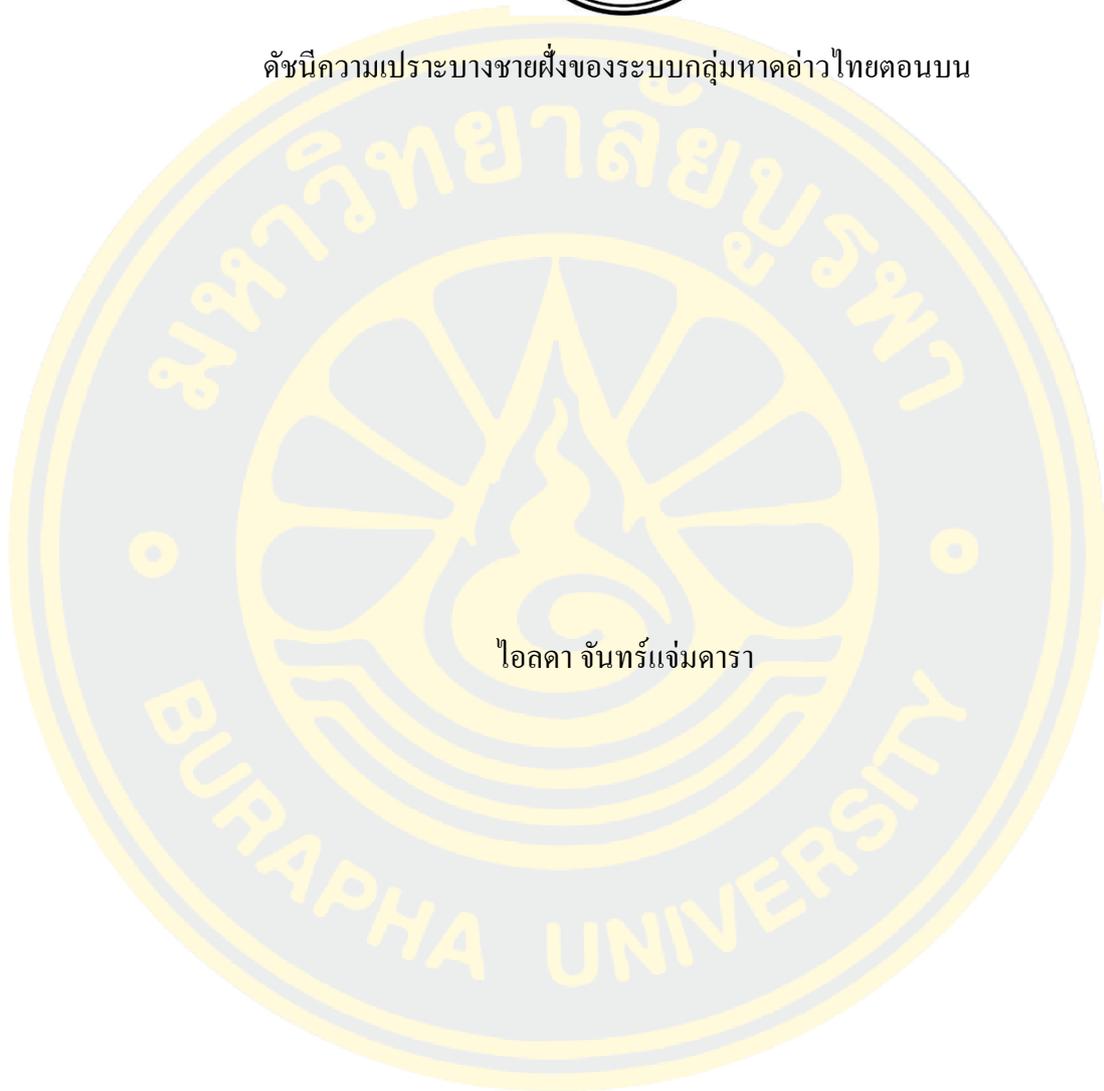




ดัชนีความเปราะบางชายฝั่งของระบบกลุ่มหาดอ่าวไทยตอนบน



ไอลดา จันทรแจ่มดารา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

ดัชนีความประอบางชายฝั่งของระบบกลุ่มหาดอ่าวไทยตอนบน



ไอลดา จันทรแจ่มคารา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

COASTAL VULNERABILITY INDEX OF MAJOR LITTORAL CELL OF THE UPPER GULF
OF THAILAND



AILADA JANJAMDARA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR MASTER DEGREE OF ENGINEERING
IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
BURAPHA UNIVERSITY

2024

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ ไอลดดา จันทร์แจ่มดารา ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

.....

ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนุญ รัศมีมาสเมือง) (รองศาสตราจารย์ ดร.เชิดวงศ์ แสงสุภวานิช)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนุญ รัศมีมาสเมือง)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีสุนิ วุฒิวงศ์โยธิน)

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณยศ คุรุกิจโกศล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัย
บูรพา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทวัส แจ่มเยี่ยม)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

62910169: สาขาวิชา: วิศวกรรมโยธา; วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา)

คำสำคัญ: ความเปราะบางชายฝั่ง; อ่าวไทยตอนบน; การกัดเซาะชายฝั่ง; ป่าชายเลน

โอลดา จันท์แจ่มคารา : ดัชนีความเปราะบางชายฝั่งของระบบกลุ่มหาดอ่าวไทยตอนบน . (COASTAL VULNERABILITY INDEX OF MAJOR LITTORAL CELL OF THE UPPER GULF OF THAILAND) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ธรรมบุญ รัศมีมาสเมือง ปี พ.ศ. 2567.

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาดัชนีความเปราะบางชายฝั่งของระบบกลุ่มหาดอ่าวไทยตอนบน โดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาพื้นที่เปราะบางชายฝั่งแต่ละระดับ พร้อมทั้งวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อระดับความเปราะบางชายฝั่ง โดยแบ่งระดับความเปราะบางออกเป็น 5 ระดับ ตั้งแต่ระดับความเปราะบางต่ำมาก (ระดับ 1) ถึงระดับความเปราะบางสูงมาก (ระดับ 5) โดยพิจารณาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อระดับความเปราะบาง 7 ตัวแปร ประกอบด้วย ความลาดชันชายฝั่ง อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความหนาแน่นของประชากร และความกว้างของป่าชายเลน

ผลจากการศึกษาพบว่า ชายฝั่งส่วนใหญ่มีระดับความเปราะบางต่ำมาก มีพื้นที่โดยรวม 42.19 ตารางกิโลเมตร (คิดเป็นร้อยละ 41.5 ของพื้นที่) รองลงมาคือ ระดับความเปราะบางสูง มีพื้นที่โดยรวม 19.60 ตารางกิโลเมตร (คิดเป็นร้อยละ 19.3 ของพื้นที่) ระดับความเปราะบางปานกลาง มีพื้นที่โดยรวม 15.85 ตารางกิโลเมตร (คิดเป็นร้อยละ 15.6 ของพื้นที่) ระดับความเปราะบางต่ำ มีพื้นที่โดยรวม 14.04 ตารางกิโลเมตร (คิดเป็นร้อยละ 13.8 ของพื้นที่) ระดับความเปราะบางสูงมาก มีพื้นที่โดยรวม 9.88 ตารางกิโลเมตร (คิดเป็นร้อยละ 9.7 ของพื้นที่) สำหรับตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อความเปราะบางสูงมากของพื้นที่ชายฝั่ง 3 ลำดับแรก ได้แก่ ความหนาแน่นของประชากร ความกว้างของป่าชายเลน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามลำดับ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการหาดัชนีความเปราะบางสัมพัทธ์ ซึ่งถือเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือช่วยเพื่อนำข้อมูลไปประกอบการนำเสนอแนวทางในการป้องกันและฟื้นฟูพื้นที่ชายฝั่งที่เปราะบาง

62910169: MAJOR: CIVIL ENGINEERING; M.Eng. (CIVIL ENGINEERING)

KEYWORDS: coastal vulnerability; Upper Gulf of Thailand; erosion; mangrove

AILADA JANJAMDARA : COASTAL VULNERABILITY INDEX OF MAJOR LITTORAL CELL OF THE UPPER GULF OF THAILAND. ADVISORY COMMITTEE: THAMNOON RASMEEMASMUANG, 2024.

This research aims to investigate Coastal Vulnerability Index of Major Littoral Cell of the Upper Gulf of Thailand. It employs geographical information systems to analyze and identify vulnerable areas along the coastline at different levels. Additionally, the study aims to analyze variables that influence the vulnerability levels of the coastal areas, which were divided into five categories, ranging from very low vulnerability (level 1) to very high vulnerability (level 5). The study considered seven variables that influence vulnerability, including coastal slope, shoreline change rate, significant wave height, mean sea level rise, land use, population density, and mangrove forest width.

Results from this study indicates that the majority of the coastline has a very low vulnerability level, covering an area of approximately 42.19 square kilometers (41.5% of the total area). The next level is high vulnerability, covering an area of 19.60 square kilometers (19.3% of the total area). The moderate vulnerability level covers approximately 15.85 square kilometers (15.6% of the total area). The low vulnerability level covers an area of about 14.04 square kilometers (13.8% of the total area). Lastly, the very high vulnerability level covers an area of 9.88 square kilometers (9.7% of the total area). The variables that have the most influence on the high vulnerability level are population density, width of mangrove forest and land use, respectively. In addition, this research has proposed a method for calculating Relative Coastal Vulnerability Index, which is considered another tool to incorporate data for presenting guidelines in the prevention and restoration of vulnerable coastal areas.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชรรมนุญ รัศมีมาสเมือง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาถ่ายทอดความรู้ เสียสละเวลาให้คำแนะนำ สนับสนุนและให้โอกาสพัฒนาตัวเอง ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เข็ควงศ์ แสงสุภาวนิช ประธานสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรีสุณี วุฒิวงศ์โยธิน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาชี้แนะข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางด้านวิศวกรรมและในด้านอื่นๆ อย่างมากมาย ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นต่างๆ ช่วยทำให้การศึกษาในระดับปริญญาโทสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบพระคุณกรมอุตุนิยมวิทยา กรมพัฒนาที่ดิน กรมเจ้าท่าและกรมอุทกศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล ทำให้การดำเนินงานวิจัยเป็นไปได้อย่างดีและครบถ้วน

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณครอบครัว บิดา มารดา และคณาจารย์ที่คอยสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ หากมีข้อบกพร่องประการใดผู้ศึกษาขอน้อมรับไว้เพื่อปรับปรุง แก้ไข ในการศึกษาครั้งต่อไป

ไอลดา จันท์แจ่มดารา

สารบัญ

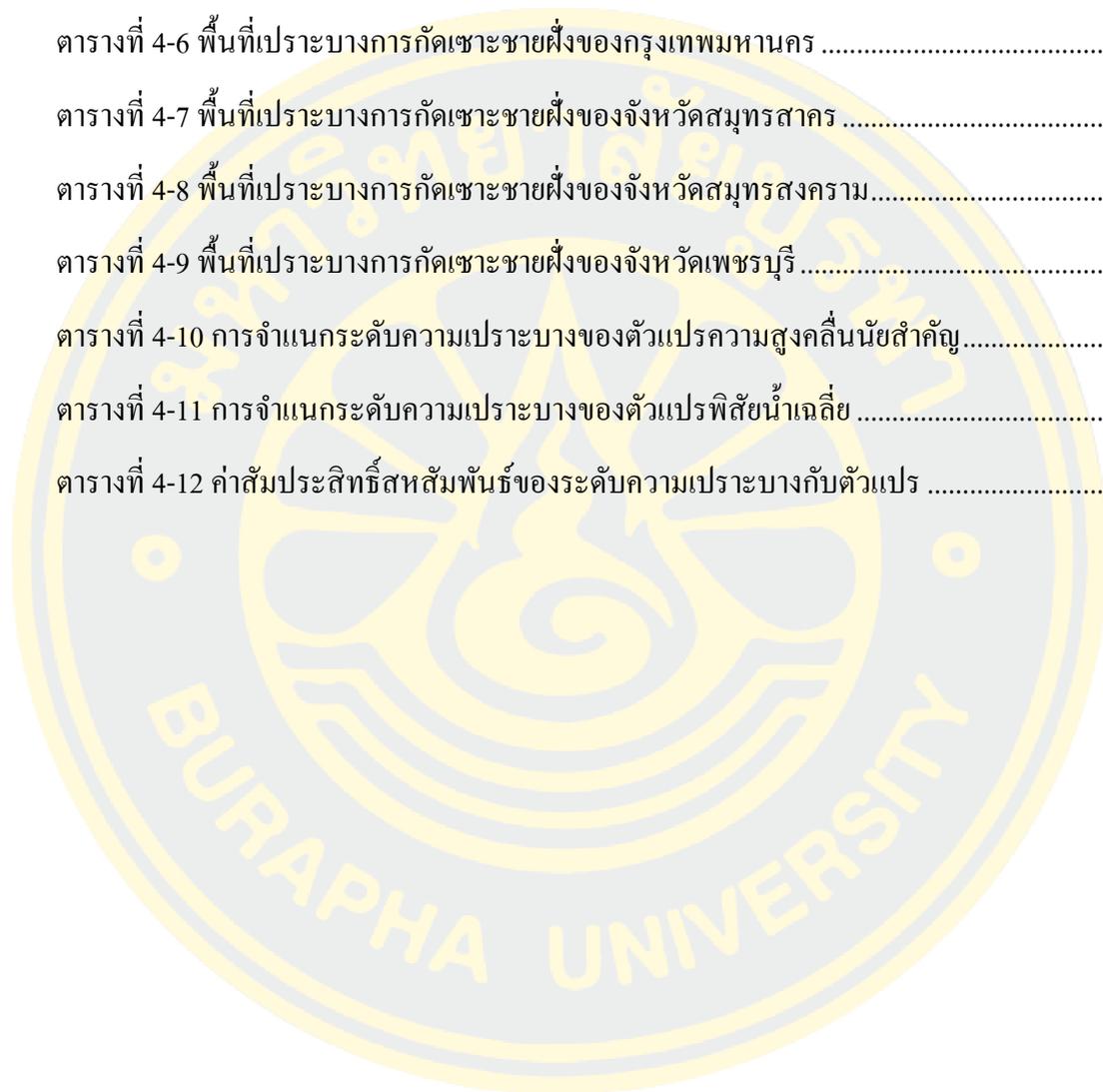
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
นิยามและประเภทของชายฝั่งทะเล	4
ลักษณะพื้นฐานของแนวชายฝั่ง	5
แนวคิดการจำแนกขอบเขตชายฝั่งแบบระบบกลุ่มหาด	8
ความหมายของระบบกลุ่มหาดและระบบกลุ่มหาดย่อย	9
ลักษณะพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทย	10
ชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน	10
กระบวนการชายฝั่ง	20
การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	25
สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	29

การศึกษาที่เกี่ยวข้อง	34
ความเปราะบาง (Vulnerability)	34
ดัชนีความเปราะบางของชายฝั่ง (Coastal Vulnerability Index: CVI)	35
การคำนวณหาดัชนีความเปราะบางของชายฝั่ง	38
การศึกษาดัชนีความเปราะบาง	49
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	75
ขอบเขตพื้นที่ศึกษา	75
ปัจจัยที่มีผลต่อความเปราะบางของชายฝั่ง	77
การคำนวณดัชนีความเปราะบางของชายฝั่ง	96
การจำแนกระดับความเปราะบางด้วยการหาเปอร์เซ็นต์ไทล์ของข้อมูล	97
การจัดทำแผนที่ความเปราะบางชายฝั่ง	98
บทที่ 4 ผลการศึกษา	99
ผลการศึกษการจัดระดับความเปราะบางของตัวแปร	99
ผลการศึกษาการประเมินหาพื้นที่เปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่ง	106
ผลการศึกษาดัชนีความเปราะบางชายฝั่งสัมพัทธ์	118
ข้อจำกัดของการศึกษา	124
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	1
สรุปผลการประเมินความเปราะบางของพื้นที่ชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน	1
ข้อเสนอแนะ	2
บรรณานุกรม	3
ประวัติย่อของผู้วิจัย	11

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 ความหมายของระดับคะแนน 1 ถึง 9 ของ Saaty (1977).....	40
ตารางที่ 2-2 ตารางเมทริกซ์แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรทางกายภาพเป็นรายคู่.....	41
ตารางที่ 2-3 ตารางเมทริกซ์แสดงการเปรียบเทียบทางเศรษฐกิจและสังคมเป็นรายคู่.....	42
ตารางที่ 2-4 Normalized Matrix ของตัวแปรทางกายภาพ.....	43
ตารางที่ 2-5 Normalized Matrix ของตัวแปรทางเศรษฐกิจและสังคม.....	44
ตารางที่ 2-6 ค่า RI.....	47
ตารางที่ 3-1 พื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน.....	76
ตารางที่ 3-2 แหล่งข้อมูลและการรวบรวมข้อมูล.....	78
ตารางที่ 3-3 การจำแนกระดับความประอบางตัวแปรความลาดชันชายฝั่ง.....	79
ตารางที่ 3-4 การจำแนกระดับความประอบางตัวแปรอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง.....	82
ตารางที่ 3-5 ข้อมูลระดับความสูงคลื่นนัยสำคัญที่ได้จากแบบจำลอง WAM Model.....	84
ตารางที่ 3-6 การจำแนกระดับความประอบางตัวแปรความสูงคลื่นนัยสำคัญ.....	85
ตารางที่ 3-7 ข้อมูลพิสัยน้ำเฉลี่ยจากสถานีวัดระดับน้ำที่ใช้ในการศึกษา.....	86
ตารางที่ 3-8 การจำแนกระดับความประอบางตัวแปรพิสัยน้ำเฉลี่ย.....	86
ตารางที่ 3-9 ความหนาแน่นประชากรของตำบลชายฝั่งทะเลในพื้นที่ศึกษา.....	89
ตารางที่ 3-10 การจำแนกระดับความประอบางตัวแปรความหนาแน่นของประชากร.....	90
ตารางที่ 3-11 การจำแนกระดับความประอบางตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	92
ตารางที่ 3-12 การจำแนกระดับความประอบางตัวแปรความกว้างของป่าชายเลน.....	95
ตารางที่ 3-13 การจำแนกระดับความประอบางโดยการหาค่าเปอร์เซ็นต์ไต้.....	97
ตารางที่ 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระดับความประอบางกับตัวแปร.....	106
ตารางที่ 4-2 พื้นที่และสัดส่วนร้อยละของระดับความประอบางชายฝั่งพื้นที่ศึกษา.....	109

ตารางที่ 4-3 พื้นที่เปราะบางการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดชลบุรี	110
ตารางที่ 4-4 พื้นที่เปราะบางการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดฉะเชิงเทรา	111
ตารางที่ 4-5 พื้นที่เปราะบางการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดสมุทรปราการ	112
ตารางที่ 4-6 พื้นที่เปราะบางการกัดเซาะชายฝั่งของกรุงเทพมหานคร	113
ตารางที่ 4-7 พื้นที่เปราะบางการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสาคร	115
ตารางที่ 4-8 พื้นที่เปราะบางการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสงคราม.....	116
ตารางที่ 4-9 พื้นที่เปราะบางการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดเพชรบุรี	117
ตารางที่ 4-10 การจำแนกระดับความเปราะบางของตัวแปรความสูงคลื่นนัยสำคัญ.....	119
ตารางที่ 4-11 การจำแนกระดับความเปราะบางของตัวแปรพิสัยน้ำเฉลี่ย	119
ตารางที่ 4-12 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระดับความเปราะบางกับตัวแปร	124



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2-1 แนวชายฝั่งที่เกิดจากการตกตะกอนทับถม	7
ภาพที่ 2-2 แนวชายฝั่งที่เกิดจากการกัดเซาะ	8
ภาพที่ 2-3 ระบบกลุ่มหาดและระบบกลุ่มหาดย่อย	9
ภาพที่ 2-4 ระบบกลุ่มหาดพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน	11
ภาพที่ 2-5 การกัดเซาะรุนแรงที่ชายฝั่ง อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา.....	13
ภาพที่ 2-6 การกัดเซาะรุนแรงบริเวณชายฝั่ง จังหวัดสมุทรปราการ	15
ภาพที่ 2-7 การกัดเซาะรุนแรงที่ชายฝั่งทะเลกรุงเทพฯ	16
ภาพที่ 2-8 การกัดเซาะปานกลางชายฝั่ง จังหวัดสมุทรสาคร	17
ภาพที่ 2-9 การกัดเซาะปานกลางบริเวณชายฝั่ง จังหวัดสมุทรสงคราม.....	18
ภาพที่ 2-10 การกัดเซาะปานกลางที่ชายฝั่งแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี	19
ภาพที่ 2-11 ลมมรสุมในประเทศไทย	21
ภาพที่ 2-12 พายุหมุนเขตร้อน.....	22
ภาพที่ 2-13 พิสัยน้ำ	24
ภาพที่ 2-14 ค่าพิสัยน้ำในอ่าวไทย (เมตร).....	25
ภาพที่ 2-15 ชายฝั่งคงสภาพ.....	26
ภาพที่ 2-16 ชายฝั่งสะสมตัว	27
ภาพที่ 2-17 ชายฝั่งที่มีการกัดเซาะ	28
ภาพที่ 2-18 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาความเปราะบางของชายฝั่ง ไออร์แลนด์เหนือ	36
ภาพที่ 2-19 แผนที่ความเปราะบางของชายฝั่งรัฐโอตติชาในประเทศอินเดีย	48
ภาพที่ 2-20 แผนที่ความเปราะบางของชายฝั่งตะวันออกของบังคลาเทศ	49
ภาพที่ 2-21 ผลการศึกษาความเปราะบางของพื้นที่ชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสงคราม	50

ภาพที่ 2-22 แผนที่ดัชนีความเปราะบางของชายฝั่งจังหวัดสมุทรสาคร	52
ภาพที่ 2-23 แผนที่แสดงความเปราะบางบริเวณชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์	53
ภาพที่ 2-24 แผนที่ความเปราะบางของชายฝั่งเซอราติง-ปักกัน (Cherating - Pekan)	55
ภาพที่ 2-25 แผนที่ความเปราะบางของชายฝั่งรัฐซานตาคาตารีนา (Santa Catarina).....	56
ภาพที่ 2-26 แผนที่ความเปราะบางของชายฝั่งโอมาน (Oman)	58
ภาพที่ 2-27 ดัชนีความเปราะบางของชายฝั่งบาร์เซิโลนา	59
ภาพที่ 3-1 ขอบเขตการศึกษา.....	77
ภาพที่ 3-2 ข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model) บริเวณพื้นที่ศึกษา.....	80
ภาพที่ 3-3 กำหนดหาความลาดชันใน โปรแกรม ArcGIS โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ.2562	80
ภาพที่ 3-4 แสดงเส้นแนวชายฝั่งปี 2559 และ 2562	81
ภาพที่ 3-5 ขั้นตอนการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดย DSAS	82
ภาพที่ 3-6 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา.....	83
ภาพที่ 3-7 ตำแหน่งตัวแทนความสูงคลื่น	84
ภาพที่ 3-8 ตัวอย่างการเลือกใช้ข้อมูลระดับน้ำจากสถานีตรวจวัด	87
ภาพที่ 3-9 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดระดับน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน	87
ภาพที่ 3-10 ข้อมูลการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษา	91
ภาพที่ 3-11 ก. การกัดเซาะชายฝั่งในธรรมชาติ; ข. การกัดเซาะเมื่อมีนาุ้งหรือโปปลา.....	93
ภาพที่ 3-12 ข้อมูลพื้นที่ป่าชายเลนในการศึกษานี้.....	95
ภาพที่ 3-13 การซ้อนทับกันของข้อมูลโดยใช้เครื่องมือจาก โปรแกรม ArcGIS 10.5.....	96
ภาพที่ 4-1 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางตัวแปรความลาดชันชายฝั่ง.....	100
ภาพที่ 4-2 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางตัวแปรอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	100
ภาพที่ 4-3 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางตัวแปรความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย	101
ภาพที่ 4-4 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางตัวแปรพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย.....	102
ภาพที่ 4-5 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดิน	103

ภาพที่ 4-6 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางตัวแปรความหนาแน่นของประชากร	104
ภาพที่ 4-7 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางตัวแปรความกว้างของป่าชายเลน	105
ภาพที่ 4-8 แผนภูมิแสดงพื้นที่เปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา	106
ภาพที่ 4-9 แผนภูมิแท่งแสดงพื้นที่ความเปราะบางชายฝั่งแต่ละระดับเป็นรายจังหวัด	108
ภาพที่ 4-10 พื้นที่เปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน	108
ภาพที่ 4-11 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางชายฝั่งจังหวัดชลบุรี	110
ภาพที่ 4-12 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางชายฝั่งจังหวัดฉะเชิงเทรา	111
ภาพที่ 4-13 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางจังหวัดสมุทรปราการ	113
ภาพที่ 4-14 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางชายฝั่งกรุงเทพมหานคร	114
ภาพที่ 4-15 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางชายฝั่งกรุงเทพมหานคร	115
ภาพที่ 4-16 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางจังหวัดสมุทรสงคราม	116
ภาพที่ 4-17 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี	118
ภาพที่ 4-18 เปรียบเทียบแผนที่ CVI VS CVI”	120

บทที่ 1

บทนำ

บทนี้อธิบายถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาเกี่ยวกับการกัดเซาะชายฝั่ง พร้อมทั้งวัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พื้นที่ชายฝั่งทะเลมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสังคมและเศรษฐกิจของประเทศ เพราะพื้นที่ชายฝั่งทะเลมีทรัพยากรธรรมชาติหลากหลายชนิดที่มีคุณค่าทั้งในลักษณะของระบบนิเวศทางธรรมชาติ และทรัพยากรที่มีคุณค่าของมนุษยชาติ ทั้งเป็นแหล่งอาหาร แหล่งที่อยู่อาศัย และแหล่งพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ เช่น เกษตรกรรม อุตสาหกรรม การคมนาคม และการท่องเที่ยว แต่เนื่องจากชายฝั่งทะเลเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลทั้งจากแผ่นดินและทะเล จึงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทั้งจากการกระบวนการทางธรรมชาติและกระบวนการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ ทำให้เกิดผลกระทบในวงกว้างทั้งต่อลักษณะทางกายภาพและชีวภาพ

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลในปัจจุบันนับเป็นปัญหาสำคัญที่ทั่วโลกให้ความสนใจเป็นอย่างมาก ในอดีตการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลเกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไปตามกระบวนการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ เช่น คลื่น ลม กระแสน้ำ น้ำขึ้นน้ำลง ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง แต่นอกจากกระบวนการทางธรรมชาติของชายฝั่งแล้ว การพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งเพื่อประโยชน์ของมนุษย์ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ทั้งเพื่อพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยว การก่อสร้างโรงแรม บ้านพักอาศัย และพื้นที่อุตสาหกรรม เช่น การถมทะเลและสร้างสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ในทะเล รวมถึงการทำลายแนวป่าชายเลนเพื่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลถือเป็นปัจจัยเร่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมนุษย์ต้องการที่จะปรับสภาพแวดล้อมธรรมชาติให้เป็นไปตามความต้องการ ซึ่งเป็นการรบกวนกระบวนการทางชายฝั่งไม่ให้เป็นไปตามธรรมชาติจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งอย่างไม่พึงประสงค์ตามมา การกัดเซาะชายฝั่งเป็นการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ทำให้ความกว้างของชายหาดลดน้อยลงถอยร่นเข้าไปในแผ่นดิน เป็นปัญหาที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากการกัดเซาะชายฝั่งทำให้สูญเสียพื้นที่ชายฝั่งที่เป็นทั้งที่อยู่อาศัย แหล่งอุตสาหกรรม และแหล่งท่องเที่ยว ดังนั้นพื้นที่ชายฝั่งจึงควรได้รับการประเมินความเปราะบาง

ต่อการกัดเซาะชายฝั่ง เพื่อเป็นแนวทางในการเสนอมาตรการในการป้องกัน แก้ไข และฟื้นฟูพื้นที่ชายฝั่งทะเล

ดัชนีความเปราะบางของชายฝั่ง (Coastal Vulnerability Index: CVI) เป็นหนึ่งในวิธีที่นิยมใช้กันมากในการประเมินความเปราะบางของชายฝั่งต่อการกัดเซาะ การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล หรือน้ำท่วม ถูกพัฒนาโดย Gornitz and Kanciruk ในปี 1989 เพื่อประเมินความเปราะบางของชายฝั่งต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำทะเลบริเวณด้านตะวันออกของชายฝั่งประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งวิธีดังกล่าวได้มีนักวิจัยจำนวนมากนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายเพื่อประเมินความเปราะบางของชายฝั่งทั่วโลก จากการศึกษาที่ผ่านมาสำหรับการประเมินความเปราะบางของชายฝั่งต่อการกัดเซาะในประเทศไทยมีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย โดย Farida Duriyapong and Kanchana Nakhapakorn (2011) ได้ประเมินความเปราะบางต่อการกัดเซาะของชายฝั่งจังหวัดสมุทรสาคร เช่นเดียวกับ อรอร สาราจิตต์ และกาญจนา นาคะภากร (2553) ได้ประเมินความเปราะบางต่อการกัดเซาะของชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี และ กัทลี คุรุกุล และกาญจนา นาคะภากร (2556) ได้ประเมินความเปราะบางต่อการกัดเซาะของชายฝั่งจังหวัดสมุทรสงคราม ซึ่งผลการศึกษาการประเมินความเปราะบางชายฝั่งทะเลได้จัดทำในรูปแบบของแผนที่แสดงความเปราะบางชายฝั่ง โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อแสดงความเปราะบางในระดับต่าง ๆ ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งควรได้รับการแก้ไขปัญหา และจัดทำมาตรการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง

แม้ว่าการประเมินความเปราะบางของชายฝั่งต่อการกัดเซาะในประเทศไทยมีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในหลายจังหวัด แต่ในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาการประเมินความเปราะบางของชายฝั่งต่อการกัดเซาะ โดยใช้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับป่าชายเลน ซึ่งเป็นตัวช่วยดูดซับแรงปะทะจากคลื่นลมและช่วยยึดเหนี่ยวหน้าดิน ที่ส่งผลกระทบต่อสถานการณ์ชายฝั่ง และเพื่อให้สามารถจัดการชายฝั่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้นำแนวคิดเรื่องระบบกลุ่มหาดมากำหนดขอบเขตการศึกษาของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและผลกระทบที่เกิดเฉพาะในพื้นที่นั้น ๆ ดังนั้น การศึกษานี้จึงกำหนดให้พื้นที่ชายฝั่งระบบกลุ่มหาดอ่าวไทยตอนบนเป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน ส่วนใหญ่เป็นหาดโคลนและเป็นแนวป่าชายเลนเดิมตามธรรมชาติ

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาดัชนีความเปราะบางต่อการกัดเซาะของชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยใช้ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเปราะบางของชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน ได้แก่ ความลาดชันชายฝั่ง อัตราการกัดเซาะชายฝั่ง พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย ความหนาแน่นของประชากร การใช้ประโยชน์ที่ดิน และเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน ส่วนใหญ่เป็นหาดโคลนและเป็นแนวป่าชายเลนเดิมตามธรรมชาติ จึงนำความกว้างของ

ป่าชายเลนมาเป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการประเมินความเปราะบางของชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาดัชนีความเปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณระบบกลุ่มหาดอ่าวไทยตอนบนโดยใช้เครื่องมือสารสนเทศทางภูมิศาสตร์
2. เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่ศึกษาโดยใช้ความสัมพันธ์ทางสถิติ

ขอบเขตของการวิจัย

1. ขอบเขตเชิงพื้นที่ที่บริเวณระบบกลุ่มหาดอ่าวไทยตอนบน ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งตั้งแต่อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ถึง อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี รวมความยาวของชายฝั่งทั้งสิ้น 201.36 กิโลเมตร
2. ขอบเขตของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ข้อมูลส่วนใหญ่จะเป็นข้อมูลปี พ.ศ.2562 แต่จะมีบางปัจจัยที่ใช้ช่วงข้อมูลที่กว้างมากกว่านั้น เช่น ปัจจัยความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย ในการศึกษาจะใช้ข้อมูลเฉลี่ยปี พ.ศ.2558 ถึง พ.ศ.2562 และอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ใช้ข้อมูลปี พ.ศ.2552 กับ พ.ศ.2562 มาเปรียบเทียบกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แผนที่แสดงระดับความเปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน สำหรับเป็นเครื่องมือในการศึกษาเพื่อรับมือกับปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง
2. ข้อมูลประกอบการนำเสนอแนวทางในการป้องกันและฟื้นฟูพื้นที่ชายฝั่งที่เปราะบาง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิยามและประเภทของชายฝั่งทะเล

ชายฝั่งทะเลมีการให้ความหมายหลายอย่างแตกต่างกันไป โดย (สุวรรณภูมิ สาธมนัส พันธุ์, 2554) ได้ให้ความหมายว่า ชายฝั่ง คือ อาณาเขตหรือพื้นที่ที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างแผ่นดินและทะเล โดยทั้งแผ่นดินและทะเลต่างก็มีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยผ่านกระบวนการต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ

ในขณะที่สุวรรณภูมิ ธีรุต (2550) กล่าวว่า ชายฝั่ง คือ แถบแผ่นดินนับจากแนวชายฝั่งทะเลขึ้นไปบนบกจนถึงบริเวณที่มีลักษณะภูมิประเทศเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด มีความกว้างกำหนดได้ไม่แน่นอน

ลักษณะภูมิประเทศชายฝั่งทะเลแต่ละแห่งนั้นแตกต่างกันออกไปตามลักษณะทางธรณีวิทยาและอิทธิพลจากการกระทำของคลื่นลมและกระแสน้ำในบริเวณนั้น Dyer (1997) ได้จำแนกชายฝั่งตามลักษณะการกำเนิดและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นออกได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. ชายฝั่งทะเลขุดจม (Submerged shorelines) เป็นชายฝั่งทะเลที่เกิดขึ้นจากเปลือกโลกบริเวณริมฝั่งขุดจมลง หรือน้ำทะเลยกกระดืบขึ้นทำให้บริเวณที่เคยโผล่พ้นระดับน้ำทะเลจมอยู่ใต้น้ำ หากลักษณะภูมิประเทศเดิมเป็นภูเขา เมื่อเกิดการขุดจมมักก่อให้เกิดเกาะต่าง ๆ ชายฝั่งทะเลของไทยที่มีลักษณะการเกิดเช่นนี้ คือ บริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันตก

2. ชายฝั่งทะเลยกตัว (Emerged shorelines) เป็นชายฝั่งทะเลที่เกิดขึ้นการที่เปลือกโลกยกตัวขึ้นหรือน้ำทะเลลดระดับลง ทำให้บริเวณที่เคยจมอยู่ใต้น้ำทะเลโผล่พ้นผิวน้ำขึ้นมา ถ้าหากแผ่นดินเดิมที่เคยจมอยู่ใต้น้ำทะเลเป็นบริเวณที่มีตะกอนกรวดทรายตกทับถมเป็นเวลานานมักก่อให้เกิดที่ราบชายฝั่งเป็นบริเวณกว้างและมีแนวชายฝั่งเรียบตรงไม่ค่อยเว้าแหว่งมาก ชายฝั่งทะเลลักษณะนี้พบได้ทั่วไปในบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออกของประเทศไทย

3. ชายฝั่งทะเลคงระดับ (Neutral shorelines) หมายถึง ชายฝั่งทะเลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ระหว่างระดับน้ำทะเลและบริเวณชายฝั่งของทวีป แต่ยังคงมีการทับถมของตะกอนต่าง ๆ เกิดขึ้นลักษณะชายฝั่งทะเลประเภทนี้ ได้แก่

- 3.1. ชายฝั่งดินตะกอนรูปพัด (Alluvial fan shorelines) เป็นชายฝั่งที่มีขอบโค้งเกิดจากลำน้ำก่ียวเซือกพัดพาตะกอนมาทับถมเกิดเป็นเนินดินตะกอนรูปพัดขึ้น

3.2. ชายฝั่งดินดอนสามเหลี่ยม (Delta shorelines) เป็นชายฝั่งที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่ลำน้ำพัดมาในขณะที่ไหลลงสู่ทะเลมี 2 รูปแบบคือ

3.2.1. ดินดอนสามเหลี่ยมรูปตีนกา (Bird's foot type of deltas) เป็นที่ราบดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำที่ตะกอนถูกพัดพามาทับถมจนสูงขึ้นทำให้ลำน้ำเปลี่ยนทางเดินเกิดเป็นลำน้ำแยกย่อยหลายสายไหลลงบริเวณปากน้ำ

3.2.2. ดินดอนสามเหลี่ยมรูปโค้ง (Arcuate type of deltas) เป็นที่ราบดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำรูปโค้งที่เกิดจากกระแสน้ำพัดพาโคลนตมและตะกอนมาทับถมกระแสน้ำจะพัดดินดอนสามเหลี่ยมเป็นรูปโค้ง

3.3. ชายฝั่งภูเขาไฟ (Volcano shorelines) เกิดจากลาวาของภูเขาไฟที่ไหลมาตามความลาดชันของภูเขาไฟ

3.4. ชายฝั่งแนวหินปะการัง (Coral reefs shorelines) เป็นชายฝั่งที่เกิดจากการทับถมของโครงหินปะการังมักเกิดในเขตร้อนระหว่างละติจูดที่ 30 องศาใต้ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปะการังชายฝั่งแนวหินปะการังนี้มี 2 ลักษณะ คือ

3.4.1. ชายฝั่งหินปะการังรูปโค้ง (Fringing reefs) เป็นแนวหินปะการังที่เกิดขึ้นติดกับฝั่งทวีปเป็นแนวกว้าง แต่ไม่อยู่ใกล้กับดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ

3.4.2. ชายฝั่งหินปะการังแนวขวาง (Barrier reefs) เป็นแนวหินปะการังที่อยู่ห่างจากชายฝั่งแยกออกไปจากแผ่นดินใหญ่และล้อมแผ่นดินไว้ภายในโดยอาจมีช่องทางผ่านได้เป็นระยะ ๆ

4. ชายฝั่งทะเลรอยเลื่อน (Fault shorelines) เป็นชายฝั่งทะเลที่เกิดจากการเลื่อนตัวของเปลือกโลก ถ้ารอยเลื่อนมีแนวเลื่อนลงไปทางทะเลทำให้ระดับของทะเลลึกลงไป หรือถ้ารอยเลื่อนมีแนวเลื่อนลึกลงไปทางพื้นดินจะทำให้น้ำทะเลไหลเข้ามาในบริเวณพื้นดิน

5. ชายฝั่งทะเลแบบผสม (Compound shorelines) เป็นชายฝั่งทะเลที่เกิดจากหลาย ๆ ลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นเกิดปะปนกัน

ลักษณะสำคัญของแนวชายฝั่ง

แนวชายฝั่ง (Coastlines) เป็นเขตแดนระหว่างพื้นดินกับพื้นน้ำมีกลไกต่าง ๆ เกิดขึ้นมากมายในบริเวณนี้ ได้แก่ คลื่น และน้ำขึ้นน้ำลง โดยเฉพาะพื้นที่ด้านนอกลงไปสู่ทะเลถึงจุดต่ำสุดที่น้ำทะเลท่วมถึง แนวชายฝั่งประกอบด้วยบริเวณที่ติดกับทะเลเปิด ชายหาด และเอสทูรี (Estuary) ชายฝั่งทะเลประเภทต่าง ๆ เหล่านี้มักมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยมีคลื่น ลม และกระแสน้ำเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดเป็นลักษณะภูมิประเทศชายฝั่งที่แตกต่างกันออกไป Garrison (1999) ได้แบ่งแนวชายฝั่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. แนวชายฝั่งที่เกิดจากการตกตะกอนทับถม (Deposition) มักเกิดขึ้นในบริเวณชายฝั่งทะเลที่มีน้ำตื้น ลักษณะชายฝั่งราบเรียบและลาดเทลงไปสู่ก้นทะเล ทำให้ความเร็วของคลื่นและกระแสน้ำลดลงเมื่อเคลื่อนตัวเข้าสู่ฝั่ง เกิดการตกตะกอนทับถมเกิดขึ้นเป็นภูมิประเทศลักษณะต่าง ๆ (ภาพที่ 2-1) อันได้แก่

1.1. สันทรายหรือสันหาด (Berms) เกิดจากดินหรือทรายที่พัดลงจากขอบฝั่งหรือเป็นทรายที่ถูกคลื่นและลมพัดพามาทับถมกันบนหาดเป็นแนวยาวขนานไปกับชายฝั่ง เมื่อเกิดขึ้นรวมกันหลาย ๆ แนวบนชายหาดทำให้บริเวณด้านในของหาดมีลักษณะเป็นสันสูงขึ้นพ้นจากระดับที่คลื่นซัดท่วมถึงในยามปกติ

1.2. สันดอน (Bars) คือ แนวสันทรายหรือตะกอนที่กระแสน้ำพัดพามาตกทับถมสะสมไว้มากจนเกิดเป็นสันอาจเป็นสิ่งกีดขวางต่อการเดินเรือได้ สันดอนอาจแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามรูปร่างและสถานที่เกิดดังนี้

1.2.1. สันดอนก้นอ่าว (Bay-head bars) เป็นสันดอนที่เกิดจากตะกอนทับถมอยู่ในบริเวณก้นอ่าว

1.2.2. สันดอนปากอ่าว (Bay-mouth bar) เป็นสันดอนที่เกิดจากตะกอนทับถมอยู่ในบริเวณปากอ่าว

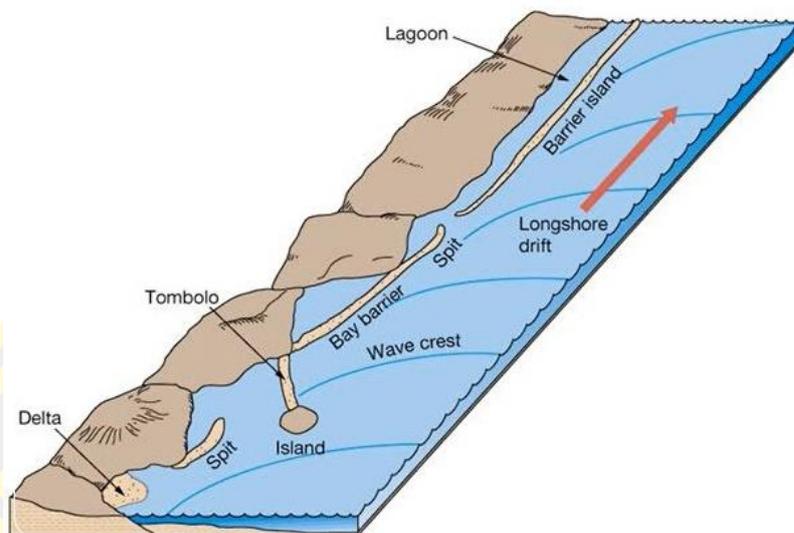
1.2.3. สันดอนจะงอยปากอ่าว (Bay-mouth spit) เป็นสันดอนที่เกิดจากตะกอนทับถมเป็นแนวยาว อยู่ใกล้ปากอ่าวปลายด้านหนึ่งติดกับฝั่ง อีกด้านหนึ่งยื่นขวางปากอ่าวตอนปลายจะงอโค้งเป็นจะงอยตามอิทธิพลของกระแสน้ำและคลื่น

1.2.4. ดอนเชื่อมเกาะ (Tombolo) เป็นสันดอนที่เชื่อมเกาะขนาดเล็กเข้ากับชายฝั่ง

1.3. ทะเลสาบน้ำเค็ม (Lagoon) เกิดขึ้นทั้งในทะเลและบริเวณชายฝั่งทะเล ได้แก่

1.3.1. ทะเลสาบน้ำเค็ม เกิดจากการปิดกั้นของแนวปะการังโดยมากมักเป็นรูปวงกลม มีทางน้ำแคบ ๆ เข้าออกได้

1.3.2. ทะเลสาบน้ำเค็มชายฝั่งทะเล เกิดจากการปิดกั้นของสันดอนบริเวณปากอ่าว แต่ยังมีทางออกแคบ ๆ ให้น้ำไหลผ่านได้



ภาพที่ 2-1 แนวชายฝั่งที่เกิดจากการตกตะกอนทับถม
(Garrison, 1999)

2. แนวชายฝั่งที่เกิดจากการกัดเซาะ (Erosion) เกิดขึ้นในบริเวณชายฝั่งทะเลน้ำลึก ลักษณะชายฝั่งมีความลาดชันลงสู่ท้องทะเล ทำให้เกิดการกัดเซาะของคลื่นและกระแสน้ำเป็นไปอย่างรุนแรงเกิดเป็นภูมิประเทศแบบต่าง ๆ (ภาพที่ 2-2) ได้แก่

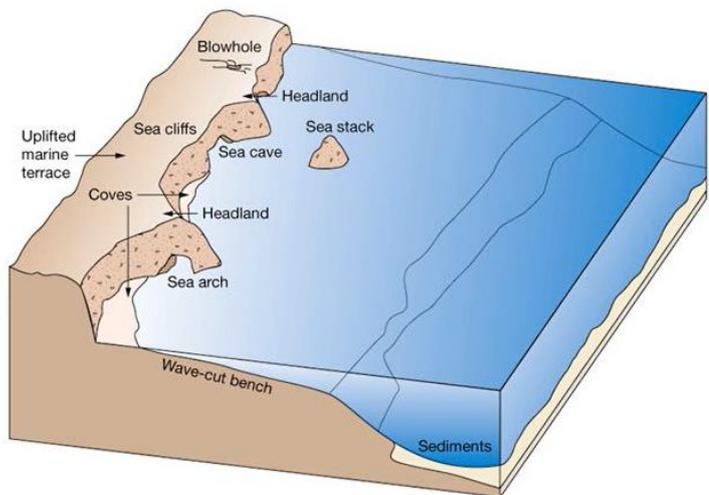
2.1. หน้าผาสูงชันริมทะเล (Sea cliffs) หมายถึง หน้าผาสูงชันที่อยู่ริมฝั่งทะเลและหันออกไปทางทะเล เนื่องจากการกัดเซาะของคลื่น มักเกิดขึ้นในบริเวณชายฝั่งทะเลขุมที่มีภูมิประเทศเป็นภูเขา หรือหน้าผาชันที่อยู่ติดทะเล

2.2. เว้าทะเล (Sea notches) เกิดจากการกัดเซาะของคลื่นบริเวณฐานของหน้าผาชันริมทะเล มีลักษณะเป็นแนวรอยเว้า

2.3. ถ้ำทะเล (Sea caves) เกิดจากการที่คลื่นกัดเซาะหินผาชายฝั่ง การกระทำของน้ำฝนและน้ำใต้ดินทำให้เป็นช่องหรือเป็นโพรงขนาดเล็ก (Grotto) แต่เมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ ก็กลายเป็นช่องหรือโพรงขนาดใหญ่ได้ง่ายขึ้น

2.4. ถ้ำลอด (Sea arches) หมายถึง โพรงหรือถ้ำที่เปิดทะลุทะเลทั้งสองด้าน

2.5. สะพานหินธรรมชาติ (Natural bridges) เกิดบริเวณหัวแหลมซึ่งมีการกัดเซาะทั้งสองด้านพร้อมกันจนโพรงนั้นทะลุถึงกันคล้ายคลึงกับถ้ำลอด



ภาพที่ 2-2 แนวชายฝั่งที่เกิดจากการกัดเซาะ
(Garrison, 1999)

แนวความคิดจำแนกขอบเขตชายฝั่งแบบระบบกลุ่มหาด

แนวความคิดเรื่องการแบ่งพื้นที่ชายหาดออกเป็นหน่วยย่อย ๆ หรือเป็นระบบกลุ่มหาด (Littoral Cell) ได้ถูกริเริ่มขึ้นมาเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2508 ที่ประเทศสหรัฐอเมริกาในบริเวณชายฝั่งแคลิฟอร์เนีย (California Coast) เพื่อศึกษาสมดุลตะกอนซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเส้นแนวชายฝั่ง (Inman & Frautschy, 1965) อีกทั้งยังช่วยให้แยกได้ว่าการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้น ๆ เกิดจากการกระทำของมนุษย์หรือจากการกระทำของธรรมชาติ นอกจากนี้การศึกษายชายฝั่งโดยแบ่งหน่วยย่อย ๆ หรือแบ่งเป็นเซลล์ (Cell) หรือระบบกลุ่มหาดซึ่งเป็นหน่วยพื้นที่ที่เล็กที่สุดทางธรณีสัณฐานวิทยาที่จะนำมาใช้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งทะเลยังเปรียบเสมือนตัวกำหนดกรอบแนวคิดที่ใช้ในการจัดการและแก้ไขปัญหาชายฝั่ง โดยการเคลื่อนที่ของตะกอนในแต่ละกลุ่มหาดแยกจากกันและไม่ขึ้นแก่กัน ในหลาย ๆ ประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา อังกฤษ ออสเตรเลีย ยุโรป อินเดีย จึงแบ่งพื้นที่ชายฝั่งออกเป็นหน่วยย่อย (เป็นเซลล์) เพื่อใช้ในการจัดการชายฝั่งและสามารถวิเคราะห์ให้เข้าใจถึงสาเหตุการเคลื่อนตัวของอนุภาคตะกอนทรายและอนุภาคตะกอนโคลนตามแนวชายฝั่ง ทั้งการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวตั้งฉากและในแนวขนานกับชายฝั่งทะเลนำไปสู่การแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งได้อย่างยั่งยืน (Montanari & Marasmi, 2012; Motyka & Brampton, 1993; Patsch & Griggs, 2006; 2013; Stul et al., 2012)

ความหมายของระบบกลุ่มหาดและระบบกลุ่มหาดย่อย

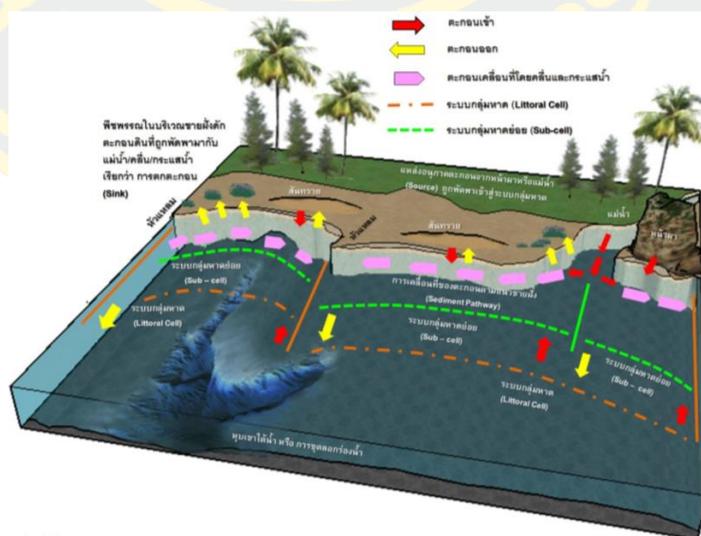
ระบบกลุ่มหาด (Littoral Cell) หมายถึง การแบ่งขอบเขตชายฝั่งเป็นหน่วยย่อยหรือเป็นเซลล์เพื่อใช้ในการจัดการชายฝั่ง โดยหลักการกำหนดขอบเขตระบบกลุ่มหาดพิจารณาจากลักษณะธรณีสัณฐาน ลักษณะธรณีวิทยา ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ หัวแหลม (Headland) ชายฝั่งหิน (Rocky Coast) และปากแม่น้ำ (Estuary) โดยขอบเขตชายฝั่งในหนึ่งเซลล์จะต้องมีสมดุลตะกอนของตัวเองและไม่มีการเคลื่อนย้ายตะกอนจากกลุ่มหาดหนึ่งไปสู่อีกกลุ่มหาดหนึ่ง ซึ่งขอบเขตชายฝั่งในหนึ่งเซลล์จะประกอบด้วย

1. แหล่งกำเนิดตะกอน (Sediment Source) ได้แก่ แม่น้ำ หน้าผา สันทราย ตะกอนทรายนอกชายฝั่งที่ถูกพัดพามาตามกระแสน้ำ

2. การตกตะกอนหรือแหล่งกักเก็บตะกอน (Sediment Sink) ได้แก่ หุบเขาใต้ทะเล การสะสมตัวของ สันทราย กระแสน้ำเลียบชายฝั่งที่พัดพาตะกอนออกไปจากพื้นที่การขุดลอกตะกอนจากแม่น้ำ

3. เส้นทางเคลื่อนย้ายตะกอน (Sediment Pathway) เช่น การเคลื่อนย้ายตะกอนตามแนวชายฝั่ง โดยกระแสน้ำ และการเคลื่อนที่ของตะกอนเข้าและออกชายฝั่ง

ระบบกลุ่มหาดย่อย (Sub-cell) หมายถึงการแบ่งขอบเขตของกลุ่มหาดหลักเป็นหน่วยย่อยลงไปอีกเพื่อใช้ในการจัดการชายฝั่ง โดยพิจารณาจากลักษณะทางธรณีสัณฐานชายฝั่ง เช่นเดียวกับเซลล์หลัก โดยระหว่างระบบกลุ่มหาดย่อยตะกอนสามารถเคลื่อนที่ไปมาระหว่างเซลล์รองได้ (ภาพที่ 2-3)



ภาพที่ 2-3 ระบบกลุ่มหาดและระบบกลุ่มหาดย่อย
(กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557)

ลักษณะพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทย

อ่าวไทยเป็นเขตพื้นที่ทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของทะเลจีนใต้และเป็นน่านน้ำที่ติดต่อกับ 3 ประเทศ คือ มาเลเซียทางทิศใต้และทางทิศตะวันออกเฉียงใต้กับน่านน้ำประเทศกัมพูชาและเวียดนาม ซึ่งปัญหาเขตน่านน้ำทางทะเลของประเทศเหล่านี้ยังไม่ลงตัวแน่นอน บางบริเวณยังมีข้อพิพาทเรื่องพื้นที่คาบเกี่ยวและการขยายเศรษฐกิจจำเพาะ ทั้งนี้เพราะอ่าวไทยเป็นแหล่งทรัพยากรที่สำคัญทั้งมีชีวิตและไม่มีชีวิต อ่าวไทยจึงเป็นแหล่งทำมาหากินตลอดจนการคมนาคมขนส่งของประชาชนในภูมิภาคนี้ ปัจจุบันอ่าวไทยยังมีปัญหาท้าทายเกิดขึ้นหลายเรื่องทั้งเรื่องการประมง การอนุรักษ์ สิ่งแวดล้อม การสำรวจและใช้ประโยชน์จากก๊าซธรรมชาติและน้ำมัน การท่องเที่ยว และความมั่นคงของประเทศ

อ่าวไทยส่วนที่เป็นของประเทศไทยครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 320,000 ตารางกิโลเมตร โดยตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 6 ถึง 14 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 99 ถึง 103 องศาตะวันออก ชายฝั่งอ่าวไทยมีลักษณะโค้งคล้ายเกือกม้ามีความยาวประมาณ 1,700 กิโลเมตร (เฉพาะชายฝั่งที่อยู่ติดแผ่นดินใหญ่) ตั้งแต่ชายแดนไทย-มาเลเซีย ด้านตะวันตกเฉียงใต้ขึ้นมาจนถึงชายแดนไทย-กัมพูชา ด้านตะวันออกของประเทศประกอบด้วยพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดต่าง ๆ รวม 17 จังหวัดแบ่งออกได้ตามระบบกลุ่มหาดเป็น 3 บริเวณ คือ

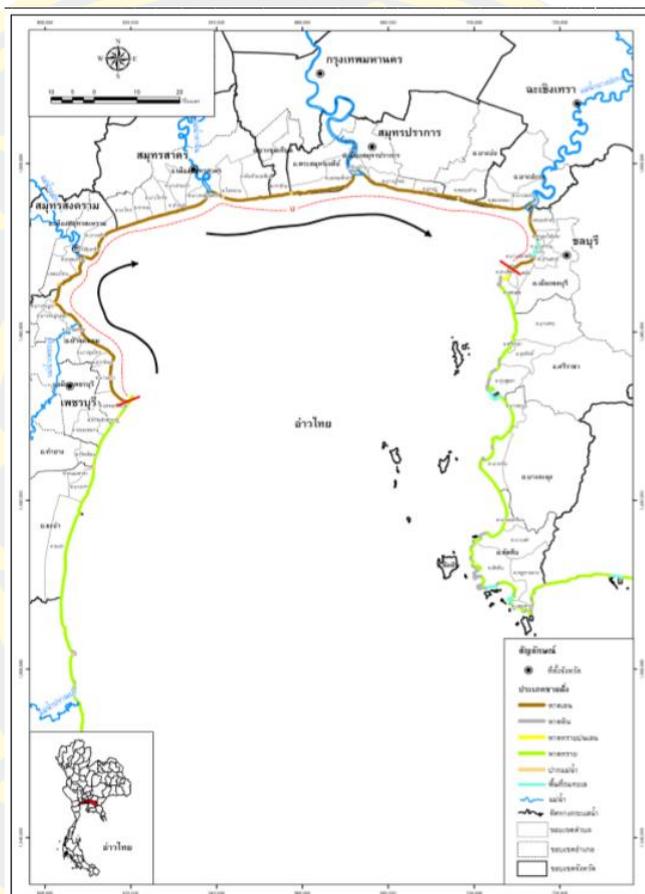
1. ชายฝั่งอ่าวไทยตะวันตก มีขอบเขตครอบคลุมพื้นที่ 8 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี และนราธิวาส
2. ชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน มีขอบเขตครอบคลุมพื้นที่ 7 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร สมุทรสาคร สมุทรสงคราม และเพชรบุรี
3. ชายฝั่งอ่าวไทยตะวันออก มีขอบเขตครอบคลุมพื้นที่ 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดตราด จันทบุรี ระยอง และชลบุรี

ชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน

ชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนเป็นพื้นที่ชายฝั่งที่อยู่ตอนบนสุดของอ่าวไทย แนวของชายฝั่งอยู่ในทิศทางเกือบตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งมีขอบเขตครอบคลุมพื้นที่ 7 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร สมุทรสาคร สมุทรสงคราม และเพชรบุรี (ภาพที่ 2-4) ส่วนใหญ่เป็นหาดโคลนหรือหาดทรายปนโคลน และเป็นแนวป่าชายเลนเดิมตามธรรมชาติ

ดังนั้นปัญหาและสาเหตุของการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่ดังกล่าวส่วนใหญ่เกิดจากการขาดตะกอนจากปากแม่น้ำเข้ามาเติมเต็มระบบเนื่องจากกิจกรรมการพัฒนาด้านต้นน้ำ เช่น การสร้างเขื่อน การก่อสร้างซัดขวางการไหลของตะกอนสู่ชายหาด การสูญเสียแนวป้องกันคลื่นลมและเป็น

แหล่งยึดเหนี่ยวของตะกอนเลนตามธรรมชาติ โดยกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น ทำนาถุ้ง การตัดไม้ป่าชายเลน เพื่อการใช้สอยและพื้นที่ที่อยู่อาศัยอย่างยาวนาน ชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนนี้มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับพื้นที่ชายฝั่งทั่วประเทศโดยการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดขึ้นในแต่ละจังหวัดมีดังนี้



ภาพที่ 2-4 ระบบกลุ่มหาดพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557)

จังหวัดชลบุรี ชายฝั่งทะเลบริเวณจังหวัดชลบุรีวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ คิดเป็นระยะทางยาวประมาณ 130 กิโลเมตร ตั้งแต่อำเภอเมืองชลบุรีลงไปทางทิศใต้จรดอำเภอศรีราชา บางละมุง เทศบาลเมืองพัทยา และสัตหีบ ตามลำดับ ลักษณะธรณีสัณฐานของจังหวัดชลบุรีส่วนใหญ่เป็นที่ลาดลอนคลื่นที่เอียงเทจากแนวเทือกเขาทางทิศตะวันออกไปสู่ชายทะเลทางทิศตะวันตก ทางน้ำส่วนใหญ่เป็นทางน้ำสายสั้น ๆ ในรูปแบบคล้ายกิ่งไม้ และมีน้ำไหลไม่ตลอดปี จึงทำให้เกิดลักษณะ

ธรณีสัณฐานชายฝั่งทะเลแบบชายหาดสันดอนและลากูน (Beach barriers and lagoon) สลับกับชายฝั่งหน้าผา (Cliff coast) เป็นส่วนใหญ่ส่วนบริเวณทางตอนเหนือของอำเภอเมืองชลบุรี เป็นที่ราบน้ำขึ้นถึงป่าชายเลนต่อเนื่องกับแม่น้ำบางปะกง

ชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี ได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในระหว่างเดือนตุลาคมถึงกุมภาพันธ์ ทำให้เกิดคลื่นทะเลรุนแรงที่พัดจากทิศเหนือไปได้ ส่วนลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในระหว่างเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม ทำให้เกิดคลื่นทะเลไม่รุนแรงพัดจากทิศใต้ขึ้นเหนือจากการที่จังหวัดเป็นศูนย์กลางการพัฒนาของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ บริเวณชายฝั่งทะเล และประชาชนอพยพเข้ามาทำงานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดผลกระทบต่อชายฝั่งทะเลชลบุรีเป็นอย่างมากโดยมีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลทั้งการกัดเซาะและการสะสมตัวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์มากกว่ากระบวนการทางธรรมชาติ การกัดเซาะชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี ส่วนมากเป็นการกัดเซาะปานกลาง

จังหวัดฉะเชิงเทรา มีพื้นที่ชายฝั่งยาวประมาณ 15 กิโลเมตร ตั้งแต่ฝั่งตะวันออกของแม่น้ำบางปะกง บริเวณบ้านคลองตำหรุที่เป็นเขตแดนระหว่างจังหวัดฉะเชิงเทรากับชลบุรี ไปทางด้านตะวันตกจนสุดเขตจังหวัดที่คลองสีลัง แนวชายฝั่งทั้งหมดอยู่ในเขตอำเภอบางปะกง ธรณีสัณฐานชายฝั่งของจังหวัดฉะเชิงเทราทั้งหมดเป็นที่ราบน้ำขึ้นถึงป่าชายเลน มีคลองมากมายที่ไหลจากที่ราบภาคกลางลงสู่อ่าวไทย เช่น คลองสีลัง คลองกันบึง คลองตาเอี่ยม เป็นต้น ตะกอนส่วนใหญ่เกิดจากการสะสมตัวจากน้ำทะเล และจากแม่น้ำบางปะกงที่ไหลท่วมพื้นที่ทั้งในอดีตและปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดขึ้นทั้งหมดในจังหวัดฉะเชิงเทราเป็นชายฝั่งที่มีการกัดเซาะรุนแรง

การกัดเซาะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการเปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียมระหว่างปี พ.ศ. 2512 กับ 2540 พบว่าในระยะเวลา 28 ปี ชายฝั่งถูกกัดเซาะหายไปเป็นระยะทาง 300 ถึง 400 เมตร อัตราการกัดเซาะประมาณ 12 เมตรต่อปี เดิมพื้นที่ชายฝั่งเป็นป่าชายเลนหนาทึบ แต่ถูกแผ้วถางลงเพื่อการอุตสาหกรรมและที่อยู่อาศัยทำให้การกัดเซาะเกิดรุนแรงขึ้นในระยะ 10 ปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณบ้านแสมขาว บ้านคลองสองคลองและบ้านหงส์ทอง (ภาพที่ 2-5) สาเหตุการกัดเซาะคือการขยายพื้นที่ออกไปในทะเลทำให้ป่าชายเลนที่เป็นปราการกันคลื่นลมธรรมชาติถูกทำลายลง นอกนั้นบริเวณนี้ไม่มีเกาะก้ำบัง รับลมมรสุมทางทิศใต้โดยตรง การทำประมงอวนรุน อวนลาก บริเวณชายฝั่งก็น่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินเคลย์ทะเล ประกอบกับมีการสร้างเขื่อนกั้นน้ำเค็มในแม่น้ำบางปะกง มีผลให้ตะกอนจาก

แผ่นดินที่เดิมเคยถูกพัดพาไปกับแม่น้ำบางปะกงลงสู่อ่าวไทยลดน้อยลง ทำให้ตะกอนที่จะมาทดแทนส่วนที่ถูกกัดเซาะลดน้อยลงมากการกัดเซาะบริเวณนี้จึงยังคงเกิดขึ้น



ภาพที่ 2-5 การกัดเซาะรุนแรงที่ชายฝั่ง อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา (สิน สินสกุล และคณะ, 2545)

จังหวัดสมุทรปราการ เป็นอีกจังหวัดหนึ่งที่อยู่อ่าวไทยตอนบนมีความยาวชายฝั่งประมาณ 45 กิโลเมตร อยู่ในแนวเกือบตะวันออก-ตะวันตกชายฝั่งทะเลจังหวัดสมุทรปราการมีความสำคัญทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และความมั่นคงของประเทศ เป็นบริเวณที่แม่น้ำเจ้าพระยาไหลลงสู่อ่าวไทย เป็นเมืองหน้าด่านที่เปิดสู่เมืองหลวงของประเทศทั้งในอดีตและปัจจุบัน นอกจากนี้ยังเป็นเมืองที่มีการแปรสภาพชายฝั่งเป็นพื้นที่ประกอบอุตสาหกรรมมากที่สุด ลักษณะธรณีสัณฐานชายฝั่งของจังหวัดสมุทรปราการทั้งหมดเป็นที่ราบน้ำขึ้นถึงป่าชายเลน โดยพื้นที่ด้านในเป็นที่ราบน้ำขึ้นถึงเดิมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอดีตและพื้นที่เหล่านี้ได้มีการแปรสภาพเป็นที่อยู่อาศัยและประกอบกิจกรรมต่าง ๆ จนไม่เหลือสภาพแวดล้อมเดิม นอกจากบริเวณขอบนอกของชายฝั่งซึ่งเป็นที่ราบน้ำขึ้นถึงป่าชายเลนใหม่ ที่น้ำขึ้น-น้ำลงในทุกวันนี้ยังท่วมถึงกำลังถูกทำลายลงทุกวันเช่นกันพื้นที่ของจังหวัดสมุทรปราการเป็นกลุ่มที่อยู่ในระดับความสูงประมาณ 0 ถึง 1 เมตรจากระดับน้ำทะเลและบางบริเวณถึงแม้จะเป็นพื้นที่ด้านใน แต่ก็มีสภาพเป็นแอ่งที่ลุ่มต่ำกว่าระดับน้ำทะเล

จากสภาพแวดล้อมธรรมชาติซึ่งเป็นที่ลุ่มต่ำประกอบด้วยไม่มีแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน และทรัพยากรที่ถูกต้อง ทำให้จังหวัดสมุทรปราการมีปัญหาด้านพิบัติภัยทางธรณีวิทยาอย่างมาก เช่น แผ่นดินทรุดจากการใช้น้ำบาดาลเกินปริมาณ มีการกัดเซาะชายฝั่งมาก นอกจากนี้ยังประสบ ปัญหานิวเคลียสในด้านอื่น ๆ อีกมากมายสำหรับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของจังหวัดสมุทรปราการมี ทั้งการกัดเซาะและการสะสมตัว

สาเหตุการกัดเซาะของชายฝั่งมีทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและกิจกรรมมนุษย์ การกัดเซาะที่เกิดจากคลื่นและลมพายุจะเห็นได้ชัดเจนในบริเวณนี้ จากการล้มตายของป่าชายเลนตามทิศทางการสะสมตัวของเปลือกหอยทั้งจากชั้นดินเคลย์ด้านล่างและจากทะเล พร้อมทรายถูกพัดพาเข้ามา โดยคลื่นและลมพายุที่มีความเร็วสูงเกิดเป็นสันทรายหรือสันเปลือกหอยอยู่บนดินเคลย์ของที่ราบ น้ำขึ้นถึง (Chenier) ทรายและเปลือกหอยเหล่านี้ทำให้ป่าชายเลนล้มตายลงด้วย การกัดเซาะก็เกิดได้ สะดวกยิ่งขึ้น กิจกรรมของมนุษย์ในบริเวณนี้ส่วนมากเป็นการเลี้ยงกุ้งทะเล โดยการทำบ่อกุ้งแล้วมี ประตูน้ำเปิดปิดให้เชือกกุ้งในทะเลเข้ามาอาศัยในบ่อแล้วเลี้ยงไว้จน โตจึงจับขายต่อไป สำหรับ โครงสร้างพื้นฐาน เดิมมีถนนในหมู่บ้านและมีเสาไฟฟ้าอยู่เรียงรายตามแนวถนน เมื่อประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา การกัดเซาะที่เกิดขึ้นในระยะหลังทำให้ถนนพังทะลายลงและเสาไฟฟ้าเรียงรายอยู่ใน ทะเลห่างจากชายฝั่งปัจจุบันประมาณ 400 ถึง 500 เมตร (ภาพที่ 2-6) นอกจากนี้ยังมีสาเหตุการกัด เซาะอย่างอื่น เช่น การที่ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นเนื่องจากก๊าซเรือนกระจก การทรุดตัวของพื้นที่จากการ พัฒนาพื้นที่ด้านใน การลดลงของตะกอนที่ไหลลงสู่ทะเลเนื่องจากลำคลองตื้นเขินเป็นและเขื่อนใน ตอนบนของแม่น้ำเจ้าพระยาทำให้ตะกอนถูกพัดพาสู่ชายฝั่งลดน้อยลง ล้วนเป็นสาเหตุที่ต้อง คำนึงถึง

ชายฝั่งทะเลของจังหวัดสมุทรปราการจึงเป็นพื้นที่ซึ่งอยู่ในขั้นวิกฤต นอกจากรัฐจะ สูญเสียที่ดินแล้วยังเป็นปัญหาด้านเศรษฐกิจเพราะชายฝั่งบริเวณนี้เป็นพื้นที่ประกอบการประมง และเป็นที่อยู่อาศัยของประชาชนที่มีอาชีพทำการประมงมีการอพยพย้ายถิ่นเพื่อประกอบอาชีพอย่าง อื่น และสูญเสียสภาพแวดล้อมธรรมชาติชายฝั่งอย่างรุนแรง เมื่อพิจารณาข้อมูลอื่นประกอบด้วย เช่น การปล่อยน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำลายทรัพยากรมีชีวิตตามชายฝั่ง พื้นที่ชายฝั่ง สมุทรปราการจึงจัดเป็นพื้นที่วิกฤต



ภาพที่ 2-6 การกัดเซาะรุนแรงบริเวณชายฝั่ง จังหวัดสมุทรปราการ
(สิน สิ้นสกุล และคณะ, 2545)

กรุงเทพมหานคร เมื่อ 6,000 ปีที่ผ่านมาบริเวณกรุงเทพฯและปริมณฑลเป็นชายฝั่งทะเล น้ำตื้นมีสภาพแวดล้อมแบบที่ราบน้ำขึ้นถึงป่าชายเลนมีน้ำขึ้นน้ำลงไหลเข้ามาตามลำคลองอยู่มากมายต่อมาเมื่ออากาศเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมเปลี่ยนตามไปด้วยระดับน้ำทะเลได้ลดลง ชายฝั่งทะเลก็ถอยออกไปตามระดับน้ำจนอยู่ในระดับปัจจุบันเมื่อประมาณ 1,000 ปีที่ผ่านมา ชายฝั่งกรุงเทพฯ อยู่ในเขตบางขุนเทียนมีความยาวประมาณ 5.5 กิโลเมตร โดยต่อเขตกับชายฝั่งอำเภอแหลมสิงห์ จังหวัดสมุทรปราการ ตั้งแต่คลองขุนราชพินิจใจไปทางตะวันตกจนถึงบ้านท่าตะโก อำเภอเมืองสมุทรสาคร การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของทะเลกรุงเทพฯ ทั้งหมดเป็นการกัดเซาะอย่างรุนแรง (ภาพที่ 2-7) สาเหตุการกัดเซาะที่นี้เกิดจากคลื่นลมพายุที่ผันแปรไปในแต่ละฤดูและการเปลี่ยนแปลงอากาศที่ทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นมากกว่ากิจกรรมของมนุษย์ ชายฝั่งบริเวณนี้ยังมีการพัฒนาน้อย ประชาชนประกอบอาชีพประมง มีการทำนาทุ่งตามแนวชายฝั่ง ถึงแม้จะมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม แต่ก็ไม่รุนแรงถึงขนาดนี้ตามแนวชายฝั่งจะเห็นสันทรายและเปลือกหอยที่ถูกพัดพามาจากทะเลโดยคลื่นลมแรงกองเป็นแนวอยู่ตามชายฝั่งทางบริเวณหนา 2 ถึง 3 เมตร ต้นไม้ป่าชายเลนล้มตายลงตามทิศทางลม แสดงว่าลมมรสุมที่เคลื่อนตัวเข้ามาทางทิศใต้มีความรุนแรงมาก



ภาพที่ 2-7 การกัดเซาะรุนแรงที่ชายฝั่งทะเลกรุงเทพฯ
(สิน สีนสกุล และคณะ, 2545)

จังหวัดสมุทรสาคร เป็นอีกจังหวัดที่อยู่ในอ่าวไทยตอนบนมีชายฝั่งทะเลยาวประมาณ 36 กิโลเมตร มีแม่น้ำท่าจีนเป็นแม่น้ำสายหลักที่ไหลผ่านที่ราบลุ่มภาคกลางผ่านเมืองสมุทรสาครลงสู่อ่าวไทยที่บ้านหัวโหลง กระแสน้ำที่ไหลออกปะทะกับคลื่นจากทะเลทำให้ปากแม่น้ำท่าจีนผายกว้างออกมีกระแสน้ำชายฝั่งพัดพาตะกอนไปสะสมตัวเป็นแนวชายฝั่งในทิศทางตะวันออกและตะวันตกทั้งสองฟากของปากแม่น้ำท่าจีน

ลักษณะธรณีสัณฐานเป็นที่ราบน้ำขึ้นถึงใหม่ที่ยังอยู่ภายใต้อิทธิพลการขี้นลงของน้ำทะเลและคลื่นที่ซัดสาดชายฝั่งอยู่ในปัจจุบัน โดยอยู่ในระดับความสูงประมาณ 0 ถึง 1 เมตรจากระดับน้ำทะเลปัจจุบัน ตะกอนที่สะสมตัวก็เช่นเดียวกับบริเวณของอ่าวไทยตอนบนที่ประกอบด้วยดินเคลย์ทะเล ดินเคลย์ป่าชายเลน เป็นต้น ชายฝั่งนี้มีป่าชายเลนขึ้นปกคลุม แต่ระยะหลังได้มีการแปรสภาพพื้นที่เป็นนาทุ่ง นาเกลือ และที่อยู่อาศัย ป่าชายเลนจึงถูกทำลายไปมาก การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่จังหวัดสมุทรสาครส่วนมากเป็นการกัดเซาะปานกลางโดยเกิดขึ้นทั้งชายฝั่งด้านตะวันออกและตะวันตกของแม่น้ำท่าจีน (ภาพที่ 2-8) มีการสะสมตัวบ้างเล็กน้อยบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนทั้งสองฝั่ง แต่การสะสมตัวบริเวณนี้ไม่แน่นอน ในช่วงฤดูมรสุมตะกอนถูกพัดพาหายไปมีเหลือตกค้างอยู่เพียงเล็กน้อย การกัดเซาะปานกลางที่เกิดขึ้นทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 87.5 ของความยาวชายฝั่งทั้งหมดเหลือชายฝั่งคงสภาพประมาณร้อยละ 12.5 เท่านั้น ชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสาครจึงควรได้รับการแก้ไขป้องกันอย่างยั่งยืนถึงแม้ว่าพื้นที่ชายฝั่งส่วนใหญ่ที่ถูกกัดเซาะไม่ได้เป็นที่ตั้งของเมืองที่

มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ แต่ก็ทำลายสภาพแวดล้อมชายฝั่งสร้างความเดือนร้อนให้กับประชาชนที่มีอาชีพประมงและอยู่อาศัยในบริเวณชายฝั่ง



ภาพที่ 2-8 การกัดเซาะปานกลางชายฝั่ง จังหวัดสมุทรสาคร
(สิน สิ้นสกุล และคณะ, 2545)

จังหวัดสมุทรสงคราม เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ชายฝั่งอยู่ทางด้านตะวันตก พื้นที่ชายฝั่งเป็นที่ยาวขึ้นถึงป่าชายเลนเช่นเดียวกับทุกจังหวัดของอ่าวไทยตอนบนพื้นที่ชายฝั่งยาวประมาณ 20 กิโลเมตรในทิศทางเกือบตะวันออก-ตะวันตก มีแม่น้ำแม่กลองซึ่งไหลจากทิศตะวันตกของประเทศผ่านที่ราบน้ำขึ้นถึงเดิมของจังหวัดลงสู่อ่าวไทย เกิดเป็นแนวชายฝั่งที่ยาวขึ้นถึงป่าชายเลนรุ่นใหม่ทั้งสองด้านของปากแม่น้ำที่มีลักษณะกว้างเป็นปากแตรเปิดโล่งสู่ทะเล แนวชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสงครามต่อเนื่องกับชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสาครตั้งแต่บ้านโรงกุ้ง บ้านบางบ่อ บ้านปากมาบ บ้านแพรกสีมาจนถึงปากแม่น้ำแม่กลองที่บ้านแพรกทะเล (บ้านคู่อี่) ซึ่งเป็นที่ตั้งของตอนหยอดตลอดสถานที่ท่องเที่ยวขึ้นชื่อของจังหวัด ชายฝั่งด้านนี้มีการพัฒนาและแปรสภาพพื้นที่เป็นที่อยู่อาศัย นาุ้ง และนาเกลือมาก ป่าชายเลนตามแนวชายฝั่งเหลืออยู่น้อยมากส่วนชายฝั่งด้านตะวันตกของปากแม่น้ำแม่กลอง ป่าชายเลนตามแนวชายฝั่งยังคงเหลืออยู่และมีการปลูกป่าเพิ่มเติมประกอบด้วยพื้นที่บ้านคลองคด บ้านคลองโคน บ้านคลองยี่สาร จนไปสุดเขตชายฝั่งทะเลของจังหวัดที่คลองซ่างที่ใช้แนวกึ่งกลางแม่น้ำเป็นแนวแบ่งเขตชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสงครามกับเพชรบุรี

จังหวัดสมุทรสงคราม มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่โดดเด่นและเห็นเด่นชัดเฉพาะพื้นที่ชายฝั่งตะวันออกของแม่น้ำแม่กลองเพียงพื้นที่เดียว ถึงแม้จังหวัดสมุทรสงครามมีชายฝั่งทะเลสั้นเพียง 20 กิโลเมตร แต่ก็มีการกัดเซาะปานกลางถึง 6.5 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 32.5 ของความยาวชายฝั่งทั้งหมด ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 67.5 เป็นชายฝั่งคงสภาพซึ่งบางที่ก็มีการกัดเซาะมาก่อน แต่พื้นสภาพขึ้นมาได้หลังจากมีการปลูกป่าและชาวบ้านช่วยกันรักษาอนุรักษ์เอาไว้การรักษาและอนุรักษ์สภาพแวดล้อมชายฝั่งให้เป็นธรรมชาติจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยป้องกันการกัดเซาะได้ (ภาพที่ 2-9)



ภาพที่ 2-9 การกัดเซาะปานกลางบริเวณชายฝั่ง จังหวัดสมุทรสงคราม
(สิน สิ้นสกุล และคณะ, 2545)

จังหวัดเพชรบุรี ชายฝั่งทะเลของจังหวัดเพชรบุรีอยู่ในเขตอำเภอบ้านแหลม อำเภอเมืองเพชรบุรี อำเภوتا่ยาง และอำเภอชะอำ รวมความยาวทั้งหมดประมาณ 75 กิโลเมตร โดยที่ชายฝั่งส่วนบนในเขตอำเภอบ้านแหลมตั้งแต่ปากคลองบางตะบูนลงมาทางใต้จนถึงบริเวณแหลมผักเบี้ย ลักษณะธรณีสัณฐานเป็นที่ราบน้ำขึ้นถึงป่าชายเลนที่มีขนาดกว้างใหญ่เกิดจากน้ำทะเลท่วมเข้ามาในอดีตครอบคลุมพื้นที่ของอำเภอเขาย้อยอำเภอบ้านลาด อำเภอเมือง อำเภอท่ายางและอำเภอบ้านแหลม เนื่องจากมีตะกอนมาสะสมตัวมากทั้งจากแม่น้ำและจากการขึ้นลงของน้ำทะเล ในปัจจุบันพื้นที่เหล่านี้ได้แปรสภาพเป็นที่อยู่อาศัย เทือกสวน ไร่ นา นาเกลือ และนาุ้ง

แหลมผักเบี้ยมีลักษณะธรณีสัณฐานเป็นสันดอนจะงอยที่ทอดยาวออกไปจากแนวหาดทรายทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของตัวเมืองเพชรบุรีประมาณ 9 กิโลเมตร สันดอนจะงอยที่แหลมผักเบี้ยเกิดจากคลื่นและกระแสน้ำชายฝั่งพัดตะกอนเคลื่อนตัวมาจากทางใต้ตามแนวชายหาดตั้งแต่อำเภอชะอำขึ้นมาโดยมีคลื่นเป็นตัวกำกับให้หาดทรายงอกยื่นยาวออกไป ส่วนด้านในของสันดอนจะงอยมีคลื่นลมไม่รุนแรงมาก จึงมีการสะสมตัวเป็นตะกอนที่ราบน้ำขึ้นถึงป่าชายเลนมีลำคลองไหลผ่านพื้นที่ กระแสน้ำไม่รุนแรงและตะกอนจากลำคลองมีไม่มาก สันดอนจะงอยแหลมผักเบี้ยจึงยื่นยาวเป็นแนวตรงสู่ทะเลไม่ได้โค้งงอเข้าหาชายฝั่งด้านในเหมือนสันดอนจะงอยทั่ว ๆ ไป

คลื่นลมที่เคลื่อนตัวมาทิศใต้และตะวันออก ในช่วงฤดูมรสุมจะมีความรุนแรงกว่าปกติได้พัดพาทรายตามขอบของสันดอนจะงอยออกไป ในขณะที่เดียวกันก็พัดพาทราย และเปลือกหอยจากทะเลด้านนอกเข้ามาสะสมตัวในป่าชายเลนที่อยู่ด้านหลังทำให้ป่าชายเลนล้มตายลง (ภาพที่ 2-10) บริเวณนี้กลายเป็นที่ราบหน้าหาดการกัดเซาะเกิดขึ้นเป็นระยะทางยาวประมาณ 3.5 กิโลเมตร ตั้งแต่บ้านแหลมหลวงขึ้นไปจนถึงปลายสันดอนจะงอยอัตราการกัดเซาะประมาณ 2 เมตรต่อปี จากลักษณะทางธรณีวิทยาหาดทรายและสันดอนจะงอยแหลมผักเบี้ยเป็นพื้นที่ไม่คงสภาพอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง บริเวณชายฝั่งที่อยู่ติดกับแหลมผักเบี้ยทางใต้มีการก่อสร้างตึกสูงมากมายทั้งที่เป็นที่พักอาศัย และสถานที่ตากอากาศทำให้ทรายเกิดการเคลื่อนตัวและทรุดตัวทรายส่วนหนึ่งถูกคลื่นซัดขึ้นไปทางแหลมผักเบี้ยท่วมป่าชายเลนการกัดเซาะที่ผ่านมาจึงเกิดขึ้นได้รวดเร็วและรุนแรงขึ้นเพราะมีกิจกรรมของมนุษย์บนชายฝั่งเป็นปัจจัยเสริม



ภาพที่ 2-10 การกัดเซาะปานกลางที่ชายฝั่งแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี
(สิน สิ้นสกุล และคณะ, 2545)

กระบวนการชายฝั่ง

กระบวนการชายฝั่ง (Coastal processes) หมายถึง กระบวนการของลม คลื่น กระแสน้ำ น้ำขึ้น-น้ำลง ที่เกิดขึ้นในทะเลและบริเวณชายฝั่งซึ่งมีผลต่อการเกิดและเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมชายฝั่งทะเลตามปกติกระบวนการเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอและมีความแตกต่างกันไปในแต่ละที่

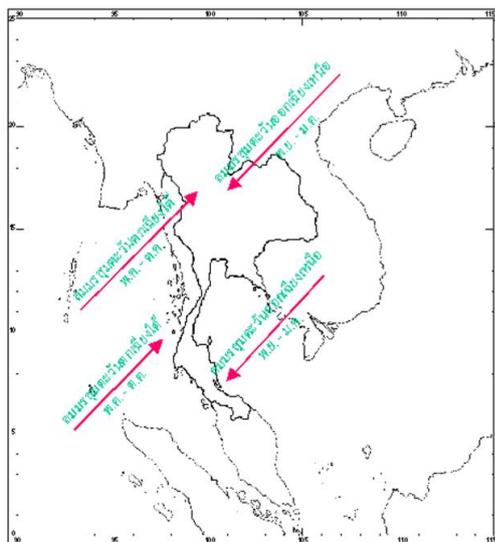
1. ลมมรสุม (Monsoonal wind)

จากสภาพภูมิศาสตร์ของอ่าวไทยซึ่งอยู่ในภูมิภาคสูงตั้งแต่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ภูมิภาคนี้มีภูเขาและแผ่นดินอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร ส่วนใต้เส้นศูนย์สูตรพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นจากทะเลและมหาสมุทร มีเกาะกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป ลักษณะละติจูดภูมิศาสตร์เช่นนี้ทำให้เกิดความกดอากาศ (Atmospheric pressures) ทั้งสูงและต่ำซึ่งมีผลต่อการเกิดมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้ (ภาพที่ 2-11) ที่มีทิศทางเคลื่อนที่ตรงกันข้ามอย่างสิ้นเชิง

ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะเกิดขึ้นระหว่างกลางเดือนตุลาคมถึงกุมภาพันธ์ เนื่องจากอากาศหนาวจากทวีปเอเชียตอนกลางเคลื่อนตัวลงมาทางใต้ผ่านเส้นศูนย์สูตรสู่อากาศอบอุ่นบริเวณมหาสมุทรอินเดียการเคลื่อนที่ของลมประกอบกับการหมุนของโลกที่หมุนจากตะวันตกยุโรปตะวันออกทำให้เกิดแรงร่วมที่มีผลให้ลมในฤดูนี้เคลื่อนที่จากตะวันออกเฉียงเหนือมาสู่ตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งลมนี้จะมีอิทธิพลต่อการกำเนิดคลื่นในบริเวณอ่าวไทยด้านตะวันตก โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณชายฝั่งทะเลภาคใต้

มรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะพัดผ่านอ่าวไทยระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน เนื่องจากบนแผ่นดินมีความร้อนสูงกว่าน้ำในมหาสมุทรทำให้อากาศร้อนบนแผ่นดินลอยตัวขึ้นสู่ที่สูงเคลื่อนตัวไปทางขั้วโลกทำให้ลมจากมหาสมุทรอินเดียตอนล่างพัดผ่านเส้นศูนย์สูตรเข้าสู่ขั้วโลกเกิดเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่มักจะมีผลกระทบต่อชายฝั่งอ่าวไทยด้านตะวันตกและตะวันออก

สำหรับเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน เป็นช่วงที่ลมมรสุมเปลี่ยนทิศ เกิดอากาศร้อนและคลื่นลมในอ่าวไทยค่อนข้างสงบ อย่างไรก็ตามทิศทางของลมมรสุมในอ่าวไทยมักแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากจะพัดในทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือแล้วยังพบว่ามากกว่า 50% ของลมมรสุมในช่วงนี้ที่พัดผ่านมาทางทิศตะวันออก มีเพียงส่วนน้อยที่พัดมาทางทิศเหนือ ส่วนลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะมีทิศทางหลักทางทิศตะวันตกเฉียงใต้และส่วนน้อยมาทางทิศใต้ (Snidvongs, 1998)



ภาพที่ 2-11 ลมมรสุมในประเทศไทย
(กรมอุตุนิยมวิทยา, 2561b)

1. พายุหมุนเขตร้อน (Tropical cyclones)

พายุหมุนเขตร้อนเป็นคำทั่วไปที่ใช้เรียกพายุหมุนหรือพายุไซโคลนที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรหรือทะเลที่มีอุณหภูมิสูงตั้งแต่ 26 องศาเซลเซียส ถึง 27 องศาเซลเซียส ขึ้นไป และมีปริมาณไอน้ำสูง เมื่อเกิดขึ้นแล้วก็จะเคลื่อนตัวตามกระแสลมส่วนมากจะเคลื่อนจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกและเคลื่อนจากบริเวณละติจูดต่ำไปสู่ละติจูดสูงแล้วเวียนโค้งกลับมาทางทิศตะวันออกอีก (ชวรี วราศรัย และคณะ, 2542) ความเร็วของลมสูงสุดใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาความรุนแรงและชนิดของพายุหมุนเขตร้อนในบริเวณทะเลจีนใต้แบ่งออกเป็น

2.1. พายุดีเปรสชัน (Tropical depression) ความเร็วลมใกล้ศูนย์กลางน้อยกว่า 63 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (34 นอต) พายุนี้มีความรุนแรงน้อยที่สุด

2.2. พายุโซนร้อน (Tropical storm) ความเร็วลมใกล้ศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 65 ถึง 118 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ (34 ถึง 64 นอต)

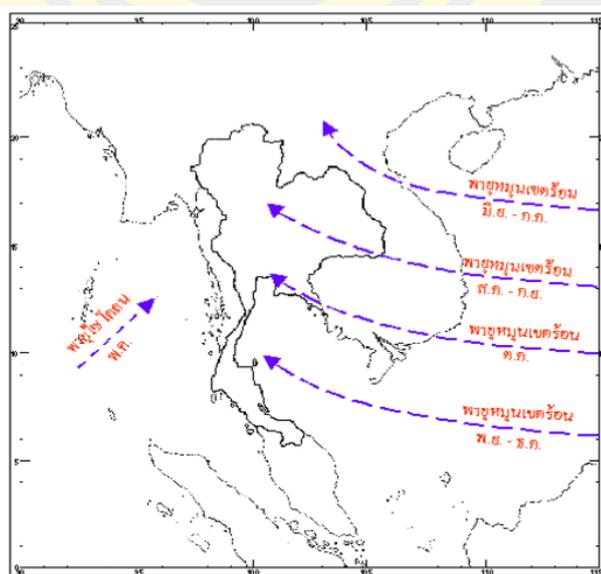
2.3. ใต้ฝุ่น (Typhoon) ความเร็วสูงสุดใกล้ศูนย์กลางตั้งแต่ 118 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (64 นอต) ขึ้นไปเป็นพายุที่มีความรุนแรงมากที่สุด

พายุหมุนเขตร้อนจะมีพลังงานมากขึ้นเพราะพลังงานความร้อนแฝงที่ได้จากไอน้ำในทะเลกลั่นตัวเป็นน้ำพายุหมุนร้อนจึงมีพลังงานมาก เมื่อเคลื่อนตัวผ่านทะเลหรือมหาสมุทร และจะมีพลังงานลดลงเมื่อเคลื่อนขึ้นฝั่งผ่านแผ่นดินและภูเขา เนื่องจากขาดพลังงานเสริมดังกล่าวจึงทำให้พายุอ่อนตัวลง

บริเวณอ่าวไทยเป็นพื้นที่ซึ่งได้รับผลกระทบจากพายุหมุนเขตร้อนอยู่เสมอ โดยพายุจะก่อตัวในทะเลจีนใต้แล้วเคลื่อนตัวเข้าสู่อ่าวไทย และเนื่องจากชายฝั่งทะเลอ่าวไทย ภาคใต้เปิดโล่งสู่ทะเลจึงได้รับผลกระทบโดยตรงจากพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนที่ขึ้นฝั่ง โดยเฉพาะ บริเวณชายฝั่งทะเลของจังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และสงขลา (ภาพที่ 2-12)

พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยส่วนมากเป็นพายุดีเปรสชัน เนื่องจากอ่อนกำลังลงก่อนถึงประเทศไทยโดยเริ่มเคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยมากขึ้นเป็นลำดับตั้งแต่เดือน พฤษภาคม เป็นต้นไป เดือนตุลาคมเป็นเดือนที่พายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยมากที่สุด รองลงไป คือ เดือนกันยายน จากสถิติในรอบ 48 ปี (พ.ศ. 2494 ถึง พ.ศ. 2541) ที่ผ่านมามีพายุที่มีกำลังแรงขนาดพายุโซนร้อนและไต้ฝุ่นที่เคลื่อนตัวเข้าสู่ประเทศไทยมีเพียง 11 ครั้ง (ชวรี วราศรัย และคณะ, 2542) โดยส่วนมากจะเข้าสู่ประเทศไทยทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (บริเวณจังหวัด นครพนมและจังหวัดหนองคาย) และชายฝั่งทะเลอ่าวไทยในบริเวณจังหวัดต่าง ๆ

พายุที่เคลื่อนเข้ามาจะมีผลทำให้เกิดฝนตกปริมาณมากเกิดน้ำท่วม ดินถล่มในทะเลมีคลื่น ลมแรงจัดและซัดสาดชายฝั่งความเร็วของพายุทำให้สิ่งก่อสร้างต้นไม้และพื้นที่ชายฝั่งพังทลาย พายุหมุนเขตร้อนส่วนมากเมื่อเคลื่อนเข้าสู่ชายฝั่งประเทศไทยด้านอ่าวไทยแล้วจะพัดผ่านตอนกลางของแหลมไทยแล้วไปสลายตัวทางฝั่งทะเลอันดามัน



ภาพที่ 2-12 พายุหมุนเขตร้อน

(กรมอุตุนิยมวิทยา, 2561a)

3. คลื่น (Waves)

ลมมรสุมจะมีผลต่อการเกิดคลื่นบริเวณอ่าวไทยในทิศทางที่ลมพัดผ่าน กล่าวคือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่กว่าปกติในบริเวณอ่าวไทยด้านตะวันตก ส่วนลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ก็จะทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่กว่าปกติในบริเวณอ่าวไทยด้านตะวันออก สำหรับอ่าวไทยตอนบนลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดผ่านจะอ่อนกำลังลงและระยะช่วงลมพัด (Fetch length) สั้นจึงทำให้เกิดคลื่นในบริเวณชายฝั่ง ไม่ใหญ่มากนัก คลื่นขนาดใหญ่มักเกิดในบริเวณอ่าวไทยด้านตะวันออกของภาคใต้ตั้งแต่สุราษฎร์ธานีลงไปเนื่องจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือกำลังแรงและมีระยะช่วงลมพัดยาว นอกจากนี้ยังได้รับอิทธิพลจากคลื่นที่เคลื่อนตัวมาจากทะเลจีนใต้เข้าสู่อ่าวไทยด้วย

โดยปกติคลื่นในอ่าวไทยจะมีขนาดเล็ก ความสูงของคลื่นจะน้อยกว่า 2 เมตร ช่วงที่เกิดพายุความสูงของคลื่นอาจจะสูงถึง 5 เมตร เช่น ช่วงที่เกิดไต้ฝุ่นเกย์ เมื่อปี พ.ศ. 2532 คลื่นในอ่าวไทยสูงถึง 10 เมตร (นภดล ธรรมศิลป์, 2533) สำหรับคนที่มีความสูงประมาณ 2 เมตร พร้อมกับคาบของคลื่น 4 ถึง 5 วินาที มักจะเกิดในบริเวณอ่าวไทยที่เปิดโล่งไม่มีเกาะกำบัง (Vongvisessomjai et al., 1996) จากการศึกษาโดย U.S. Defense Mapping Agency 1982 (อ้างโดย Snidvongs, 1998) พบว่าความถี่ของคลื่นที่สูงกว่า 60 เซนติเมตร (2 ฟุต) จะเกิดทางอ่าวไทยด้านตะวันตกตะวันออกและอ่าวไทยตอนบนตามลำดับ

ลักษณะของคลื่นที่มีผลกระทบต่อการบินเปลี่ยนแปลงชายฝั่งนอกจากความสูงของคลื่นแล้วยังต้องพิจารณาถึงคาบของคลื่น (Wave period) ด้วย เพราะถึงแม้คลื่นจะมีขนาดใหญ่ แต่ถ้าคาบของคลื่นสั้นก็อาจจะทำให้เกิดความเสียหายน้อยกว่าคลื่นขนาดเล็กที่มีคาบของคลื่นยาว ทำให้คลื่นวิ่งเข้ากระทบชายฝั่งถี่และกระชั้นชิดขึ้น

4. น้ำขึ้นน้ำลง (Tides)

น้ำขึ้นน้ำลงเป็นการเปลี่ยนแปลงระดับของผิวน้ำทะเลในแนวตั้ง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทุกวันและน้ำขึ้น-น้ำลงจะแตกต่างกันไปตามลักษณะภูมิประเทศด้วย ภายใต้แรงดึงดูดของดวงจันทร์ ดวงอาทิตย์ที่มีต่อโลก

สำหรับอ่าวไทยการขึ้นลงของน้ำทะเลในแต่ละที่มีความแตกต่างกันชนิดของน้ำในอ่าวไทย แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด (อัปสรสุดา ศิริพงษ์, 2528)

4.1. น้ำเคียว (Diurnal) น้ำขึ้น 1 ครั้งและน้ำลง 1 ครั้งต่อวัน

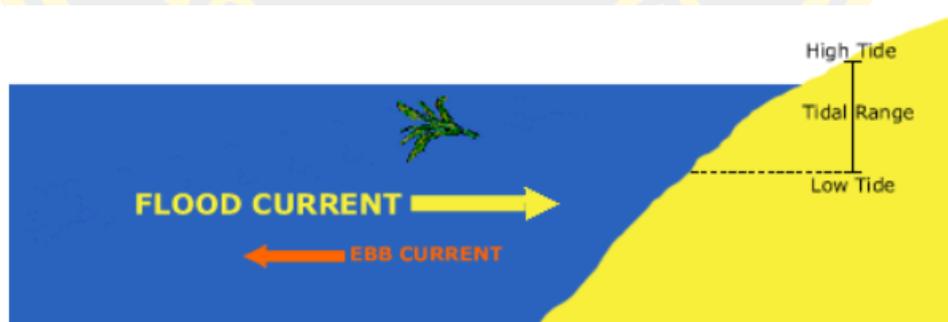
4.1.1. น้ำผสม (Mixed) เป็นลักษณะของน้ำขึ้นน้ำลงในหนึ่งวันที่ไม่เป็นระบบแน่นอน จึงต้องใช้ลักษณะเด่นที่พบมากเป็นการจัดชนิดของน้ำแบ่งออกได้เป็น

4.1.2. น้ำผสมชนิดน้ำคู่ (Mixed, Semidiurnal dominated) เป็นลักษณะที่น้ำขึ้น 2 ครั้งและน้ำลง 2 ครั้งต่อวันเป็นส่วนมาก แต่ความสูงกับเวลาน้ำขึ้นแตกต่างกันน้ำ

4.1.3. น้ำผสมชนิดเดี่ยว (Mixed, Diurnal dominant) เป็นลักษณะของน้ำขึ้น 1 ครั้งและน้ำลง 1 ครั้งต่อวันเป็นส่วนมาก (มีบางขณะที่น้ำขึ้น 2 ครั้งน้ำลง 2 ครั้งต่อวัน) ซึ่งความสูงและเวลาน้ำขึ้นจะแตกต่างกันมาก

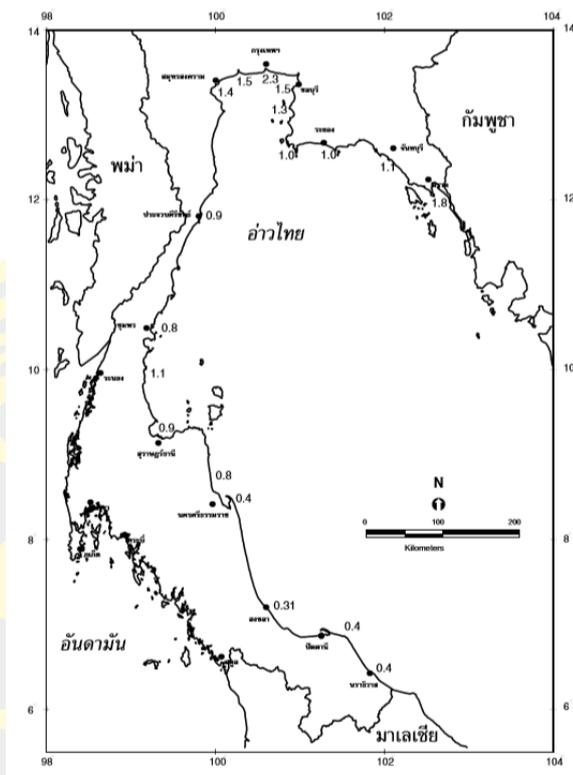
สำหรับค่าผลต่างระหว่างความสูงช่วงน้ำขึ้นเต็มที่กับน้ำลงเต็มที่ เรียกว่า พิสัยน้ำ (Tidal range) (ภาพที่ 2-13) ค่าของพิสัยน้ำในอ่าวไทย (ภาพที่ 2-14) จะเห็นว่าบริเวณอ่าวไทยตอนบนจะมีค่าของพิสัยน้ำมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.5 เมตร แล้วจะลดน้อยลงมาทางใต้จนเหลือประมาณ 0.5 เมตร ในบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออกและจะลดลงจนถึง 0.4 เมตร บริเวณเขตแดนไทย-มาเลเซีย ส่วนบริเวณอ่าวไทยตะวันออกพิสัยน้ำจะอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 1 เมตร (อัปสรสุดา ศิริพงษ์, 2528) ทั้งชนิดและพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงจะมีผลต่อการสะสมตะกอนและทำให้เกิดลักษณะธรณีสัณฐานชายฝั่งที่แตกต่างกัน

สำหรับกระแสน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal current) ในอ่าวไทยมีความสำคัญต่อพื้นที่ชายฝั่งมากกว่าในบริเวณกลางอ่าว โดยกระแสน้ำขึ้นน้ำลงไหลจากปากอ่าวเข้าสู่อ่าวไทย ในช่วงน้ำขึ้นและไหลออกจากอ่าวไทยช่วงน้ำลงน้ำขึ้นน้ำลงที่เป็นชนิดน้ำเดี่ยวจะมีการไหลเร็วกว่าชนิดน้ำคู่และกระแสน้ำไหลในทิศทางเดียวเป็นเวลาประมาณ 8 ถึง 10 ชั่วโมง พร้อมทั้งช่วงเวลาที่เป็นกระแสนิ่ง (Slack) ประมาณ 2 ถึง 4 ชั่วโมงโดยปกติความเร็วของกระแสน้ำในอ่าวไทยน้อยกว่า 3 นอต (Snidvongs, 1998)



ภาพที่ 2-13 พิสัยน้ำ

(National Oceanic and Atmospheric Administration, 2020)



ภาพที่ 2-14 ค่าพิสัยน้ำในอ่าวไทย (เมตร)
(สิน สิ้นสกุล และคณะ, 2545)

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

เนื่องจากพื้นที่ชายฝั่งมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติได้เปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งอยู่เสมอตั้งแต่การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เช่น การเคลื่อนตัวของทรายตามชายหาดไปจนถึงการเปลี่ยนแปลงระดับสากล เช่น การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในมหาสมุทร กิจกรรมของมนุษย์ได้เป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเกิดขึ้นได้รวดเร็วและเห็นเด่นชัดขึ้น

ชายฝั่งด้านอ่าวไทยมีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งมากลักษณะของการเปลี่ยนแปลงก็เช่นเดียวกับทางฝั่งอันดามันคือมีทั้งการกัดเซาะและการสะสมตัว ซึ่งเป็นลักษณะของการเปลี่ยนแปลงหลักที่มีผลกระทบต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยสามารถจำแนกได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

1. ชายฝั่งคงสภาพ (Stable coast) เป็นพื้นที่ชายฝั่งที่มีการปรับสมดุลตามธรรมชาติ (ภาพที่ 2-15) กล่าวคือ ในฤดูกาลหนึ่งมีการกัดเซาะ แต่อีกฤดูกาลหนึ่งมีการสะสมตัวในอัตราที่เกือบ

เท่ากันหรือเท่ากันจึงทำให้ชายฝั่งนั้น ๆ อยู่ในสภาพสมดุล แผนที่ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงทั้งสองรูปแบบประมาณ 1 เมตรต่อปี ชายฝั่งลักษณะนี้เห็นได้เด่นชัดในหลายบริเวณของอ่าวไทยภาคใต้ตอนล่าง จัดเป็นชายฝั่งปกติที่ควรเฝ้าระวังรักษาเป็นตัวอย่างของการศึกษากระบวนการชายฝั่ง (Coastal processes)



ภาพที่ 2-15 ชายฝั่งคงสภาพ
(กองบริหารจัดการพื้นที่ชายฝั่ง, 2561)

2. ชายฝั่งสะสมตัว (Deposition coast) เป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอีกรูปแบบหนึ่งโดยชายฝั่งนั้น ๆ มีการสะสมตะกอนในพื้นที่ทำให้ชายฝั่งพอกพูนสูงขึ้นหรือมีพื้นที่งอกยื่นยาวออกไปในทะเล (ภาพที่ 2-16) ตะกอนที่สะสมตัวมาจากหลายแหล่ง ส่วนหนึ่งมาจากตะกอนในบริเวณใกล้เคียงที่ถูกกัดเซาะแล้วถูกพัดพามาสะสมตัวตามแนวชายฝั่ง หรืออาจมาจากทะเลในช่วงที่เกิดลมพายุพัดพาตะกอนเข้าหาฝั่ง อีกส่วนหนึ่งมาจากทางน้ำ บนบก ทั้งทางน้ำที่เป็นแม่น้ำลำคลองไหลลงสู่ทะเล ทางน้ำไหลลงมาตามความลาดชันของพื้นที่ชายฝั่งจะสะสมตัวด้านอ่าวไทย มีทั้งที่เกิดขึ้นในบริเวณที่ราบน้ำขึ้นและหาดทราย บริเวณหาดทราย การสะสมตัวเกิดขึ้นในบริเวณหาดสันดอนจะงอยและในบริเวณหาดทรายที่อยู่ปากแม่น้ำ ซึ่งมีการสร้างกำแพงกันทรายปากแม่น้ำทำให้มีตะกอนทรายสะสมตัวด้านหลังกำแพง ในแผนที่การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งไม่ได้แบ่งย่อยรูปแบบของชายฝั่งสะสมตัว โดยจัดรวมไว้เป็นกลุ่มพื้นที่ซึ่งมีตะกอนมาสะสมตัวในอัตรา 1 ถึง 5 เมตรต่อปี



ภาพที่ 2-16 ชายฝั่งสะสมตัว
(กองบริหารจัดการพื้นที่ชายฝั่ง, 2561)

3. ชายฝั่งที่มีการกัดเซาะ (Erosion coast) การกัดเซาะเป็นกระบวนการทางธรณีวิทยาที่ทำให้หินและตะกอนทั้งหลายที่ประกอบกันอยู่ในพื้นที่หลุมร่องหรือเคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิมโดยตัวการหลายชนิดสำหรับพื้นที่ชายฝั่งตัวการที่ทำให้เกิดการกัดเซาะ ได้แก่ คลื่น ลม กระแสน้ำขึ้น-น้ำลง และสิ่งมีชีวิตทั้งสัตว์และมนุษย์ การกัดเซาะชายฝั่งเมื่อเกิดขึ้น ณ ที่ใดก็จะทำให้พื้นที่ชายฝั่งหดหายไป หรือชายทะเลถอยร่นเข้าไปในแผ่นดิน (ภาพที่ 2-17) ทำให้เกิดการสูญเสียที่ดินและทรัพย์สินทั้งของรัฐและประชาชนในบริเวณชายฝั่ง

ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยมีการกัดเซาะเกิดขึ้นมากกว่าทางฝั่งทะเลอันดามัน เนื่องจากการกัดเซาะเป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ส่งผลกระทบต่อในหลาย ๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านสภาพแวดล้อมที่ทำให้ทะเลรุกล้ำเข้าไปในแผ่นดินและเปลี่ยนแปลงภูมิประเทศเดิมของพื้นที่ชายฝั่ง ดังนั้นจึงแบ่งย่อยลักษณะของการกัดเซาะชายฝั่งออกเป็น 2 แบบตามอัตราของการกัดเซาะต่อปี (Rate of erosion per year) คือ

3.1. ชายฝั่งที่มีการกัดเซาะรุนแรง (Severe erosion) อัตราการกัดเซาะที่เกิดขึ้นมากกว่า 5 เมตรต่อปี

3.2. ชายฝั่งที่มีการกัดเซาะปานกลาง (Moderate erosion) อัตราการกัดเซาะตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตรต่อปี โดยอัตราการกัดเซาะพิจารณาจากผลกระทบที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นรวม 3 ประการคือ

3.2.1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชายฝั่งหรือขนาดการสูญเสียพื้นที่ทางราบของแนวชายฝั่งเดิม

3.2.2. ผลกระทบต่อเศรษฐกิจสังคมและวัฒนธรรมของพื้นที่นั้น

3.2.3. ผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและระบบนิเวศชายฝั่งตลอดจนศักยภาพในการฟื้นฟูแก้ไข



ภาพที่ 2-17 ชายฝั่งที่มีการกัดเซาะ
(กองบริหารจัดการพื้นที่ชายฝั่ง, 2561)

อัตราการกัดเซาะเปรียบเสมือนตัวบ่งชี้ถึงความอ่อนไหวของพื้นที่ต่อกระบวนการชายฝั่ง เช่น คลื่น ลม ที่เคลื่อนตัวเข้ามากระทบฝั่ง นอกจากนั้นยังมีตัวแปรอีกมากที่เป็นส่วนประกอบในการพิจารณาความอ่อนไหวของพื้นที่ชายฝั่ง เช่น ความชัน (Relief) ของพื้นที่ชายฝั่ง ชนิดของหิน และตะกอน (Lithology) ลักษณะธรณีสัณฐานและกระบวนการชายฝั่ง (Coastal process) โดยทั่วไป ชายฝั่งที่มีความชันน้อย ประกอบด้วยตะกอนที่ไม่แข็งตัวจับตัวกันไม่แน่น และบริเวณนั้นคลื่นมีขนาดสูง ก็จะทำให้เกิดการกัดเซาะได้ง่าย

สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดขึ้นบริเวณชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย มีหลายสาเหตุด้วยกัน บางสาเหตุมีปัจจัยการเกิดที่เป็นเหมือนธรรมชาติ คือ เกิดเป็นบริเวณกว้างเกือบทุกประเทศ ใช้เวลานานจึงเห็นผลกระทบต่างจากสาเหตุที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ซึ่งเห็นผลกระทบได้เด่นชัด หลังจากเกิดกิจกรรมนั้นถ้าไม่มีการวางแผนป้องกันที่ดี

ชายฝั่งถือเป็นพื้นที่ซึ่งมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก การเปลี่ยนแปลงเพื่อที่จะดำรงไว้ซึ่งระบบสมดุลตามธรรมชาติของชายฝั่งเป็นเรื่องปกติซึ่งเกิดขึ้นเป็นประจำ แต่เมื่อไรก็ตามเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นแล้วไม่คืนกลับสู่สภาพเดิมที่เคยเป็นตามธรรมชาติ ชายฝั่งบริเวณนั้นจัดเป็นชายฝั่งที่มีปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลง มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ชายฝั่งทะเลมีการเปลี่ยนแปลงไม่คืนกลับสู่สภาพเดิมปัจจัยเหล่านั้นส่วนหนึ่งเป็นปัจจัยด้านธรณีวิทยาและอีกส่วนหนึ่งเป็นปัจจัยร่วมที่มีความสัมพันธ์กับธรณีวิทยาคือ

1. การเปลี่ยนแปลงของอากาศ (Climatic change)

อากาศเป็นส่วนหนึ่งของจักรวาลและอากาศเป็นตัวการหรือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้โลกมีสภาพแวดล้อมต่างกัน จากหลักฐานทางธรณีวิทยา อากาศมีการเปลี่ยนแปลงเสมอมาตั้งแต่โลกเริ่มเย็นตัวลงเมื่อ 4,600 ล้านปีที่ผ่านมา และเปลี่ยนมาทุกยุคทุกสมัยของธรณีวิทยา ซึ่งในปัจจุบันอากาศโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น จากการติดตามผลของการเปลี่ยนอากาศโลก เชื่อกันว่าอากาศโลกมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตั้งแต่ศตวรรษที่ 18 เมื่อเริ่มมีการปฏิวัติอุตสาหกรรม ผลจากเหตุการณ์นี้ทำให้อากาศในระบบของธรรมชาติ มีก๊าซจากโรงงานอุตสาหกรรมและจากการเผาผลาญพลังงานเชื้อเพลิงขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศที่เรียกว่า "ก๊าซเรือนกระจก" ประกอบด้วยก๊าซหลัก ๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) คลอโรฟลูโอคาร์บอน ($CFC's$) โอโซน (O_3) เป็นต้น ก๊าซเหล่านี้จะปกคลุมอยู่ในชั้นบรรยากาศ และดูดซับรังสีความร้อนที่สะท้อนขึ้นไปจากโลก ต่อจากนั้นก็จะปลดปล่อยรังสีความร้อนออกมาอีกครั้งหนึ่งในบริเวณที่อยู่ระหว่างพื้นผิวโลกกับชั้นบรรยากาศโลกจึงเหมือนกับมีม่านคลุม อากาศจึงร้อนมากกว่าในอดีต

Mimura (1996) ได้อ้างอิงผลการศึกษาของคณะกรรมการระหว่างประเทศด้านการเปลี่ยนแปลงของอากาศ (Intergovernmental Panel on Climatic Change: IPCC) ในปี พ.ศ. 2539 โดยระบุว่าอุณหภูมิพื้นผิวของโลกได้สูงขึ้นประมาณ 0.3 ถึง 0.6 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา อุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้ไม่ได้เกิดเท่ากันทั่วโลก สำหรับประเทศไทยอุณหภูมิได้สูงขึ้นประมาณ 1 องศา เทียบจาก พ.ศ. 2524 – 2551 และแนวโน้มอุณหภูมิในประเทศไทยอาจเพิ่มสูงขึ้น 1.2 – 1.9 องศาเซลเซียสในปี พ.ศ. 2593 ซึ่งอากาศที่เปลี่ยนแปลงเป็นร้อนขึ้นจากเดิมนี้อาจจะทำให้ลักษณะรูปแบบของลม คลื่น กระแสน้ำขึ้น-น้ำลง เปลี่ยนแปลงทำให้เกิดพายุรุนแรงและเกิดบ่อยขึ้น

เกิดการเปลี่ยนแปลงของฝนที่ตกลงสู่พื้นดิน นอกจากนั้นยังทำให้ความเร็วของน้ำและปริมาณน้ำในแม่น้ำเปลี่ยนแปลงตลอดจนพืชที่ปกคลุมชายฝั่งด้วย

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทางด้านอ่าวไทยเนื่องจากอากาศจะเห็นได้ชัดเจนในช่วงเปลี่ยนผ่านฤดู จากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ไปเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงธันวาคม จะมีลมพายุรุนแรงมากกว่าปกติ ทำให้คลื่นสูงและพัดกระหน่ำทางฝั่งอ่าวไทย ส่วนมากจะเกิดในบริเวณจังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ที่เป็นเหมือนทางผ่านของพายุ การเปลี่ยนแปลงของอากาศจึงเป็นเหมือนแรงขับเคลื่อนอยู่เบื้องหลัง คลื่น ลม น้ำขึ้น-น้ำลง ให้มีความถี่และรุนแรงเพิ่มขึ้น จนทำให้ชายฝั่งเปลี่ยนแปลงรูปแบบในทุกประเทศที่มีพื้นที่ชายฝั่งทะเล นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงของอากาศที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นยังส่งผลให้เกิดความแห้งแล้ง และการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล

2. ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น (Sea level rise)

สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลเป็นผลสืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอากาศที่มีผลการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะ ประกอบกับปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอากาศส่งผลทำให้ระดับน้ำทะเลทั่วโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยการประเมินจากปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการคือ การขยายตัวของน้ำในมหาสมุทรและการละลายของน้ำแข็งทั้งจากธารน้ำแข็ง (Glacier) และก้อนน้ำแข็ง (Ice caps)

อย่างไรก็ตามระดับน้ำทะเลสูงขึ้นไม่ได้เกี่ยวเนื่องกับการเปลี่ยนแปลงของอากาศเนื่องจากโลกร้อนขึ้นเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เพราะการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลโลกครอบคลุมถึงปริมาณของน้ำในมหาสมุทร และการเปลี่ยนแปลงทางด้านรูปร่าง และความจุของแอ่งมหาสมุทร (Paepe et al., 2012) ได้ชี้ให้เห็นว่าระดับน้ำทะเลสูงขึ้นอาจจะเกี่ยวเนื่องกับปัจจัยอื่นอีกหลายอย่าง เช่น การเคลื่อนไหวของเปลือกโลก การเปลี่ยนแปลงของระบบสุริยะจักรวาลทั้งทางด้านวงโคจร และการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อชั้นบรรยากาศ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอากาศที่มีผลต่อระดับน้ำทะเล แต่การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ใช้ระยะเวลายาวนานเป็นหมื่นปีขึ้นไปและมักจะมิรอบของการเปลี่ยนแปลงวิกฤตของอากาศในปัจจุบันจึงน่าจะสืบเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์มากกว่าอย่างอื่น

3. การทรุดตัว (Subsidence)

การทรุดตัวของพื้นที่เป็นสาเหตุทางธรณีวิทยาแบบหนึ่งที่ทำให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งการทรุดตัวของพื้นที่เกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ธรณีแปรสัณฐานใหม่ (Neotectonics) การอัดตัวของตะกอน (Compaction) เป็นต้น ซึ่งอาจเกิดจากการอัดตัวของตะกอน การออกซิไดซ์ของชั้นพีต (Peat คือซากพืชที่สลายตัวทับถมกันอยู่ในชั้นตะกอน) หรือจากน้ำหนักของสิ่งต่าง ๆ ที่กดทับอยู่ตอนบนหรือ

อาจจะเกิดจากการสูบ การขุด การคูด ทั้งของแข็งและของเหลวที่อยู่ในพื้นที่นั้นออกไป ชายฝั่งด้าน
อ่าวไทยมีการทรุดตัวมากที่สุดบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนตั้งแต่จังหวัดสมุทรปราการ กรุงเทพฯ
จนถึงสมุทรสาคร การทรุดตัวสืบเนื่องมาจากการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในปริมาณมากเกินไป ผล
จากการศึกษาวิจัยในปี พ.ศ. 2540 พบว่าในเขตอำเภอเมืองสมุทรสาครมีการทรุดตัวประมาณ 3
เซนติเมตรต่อปี ในเขตบริเวณบางพลี บางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ มากกว่า

3.5 เซนติเมตรต่อปี ส่วนในบริเวณชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาด้านตะวันตกมีการทรุดตัวประมาณ 1
เซนติเมตรต่อปี หรือน้อยกว่านั้น (สมคิด บัวเพ็ง, 2543)

นอกจากนั้นการทรุดตัวที่เป็นปัญหาอีกสาเหตุหนึ่งในบริเวณชายฝั่งก็คือ การทรุดตัว
เนื่องมาจากน้ำหนักตะกอนที่ทับถมกันในบริเวณชายฝั่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่เป็นดินดอน
สามเหลี่ยมปากแม่น้ำขนาดใหญ่ ทั้งนี้เป็นเพราะตะกอนที่ถูกพัดพาออกมาจากบริเวณต้นน้ำของ
แม่น้ำขนาดใหญ่ทำให้บริเวณต้นน้ำลดการทับถมของตะกอน แต่จะไปเพิ่มการทับถมในดินดอน
สามเหลี่ยมปากแม่น้ำที่ไหลสู่ทะเลและในบริเวณชายฝั่งข้างเคียง เมื่อมีตะกอนใหม่มาทับถม
ตะกอนเดิมก็จะสูญเสียรูปร่างจากน้ำหนักกดทับทำให้เกิดการอัดตัวของตะกอนพื้นที่ชายฝั่งลด
ระดับลง นอกจากนี้จากนั้นแร่ที่ประกอบอยู่ในตะกอนก็จะมีการสลายตัวด้วยกระบวนการแปร
สภาพทำให้เกิดการทรุดตัวได้ (Paepe et al., 2012; Peck & Williams, 2003) ทำให้ระดับชายฝั่งลด
ต่ำลง

ชายฝั่งอ่าวไทยมีดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำอยู่หลายแห่ง เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำ
น้ำตาปี ชายฝั่งข้างเคียงถึงแม้จะไม่มีลักษณะดินดอนสามเหลี่ยมให้เห็นเด่นชัด แต่ก็เป็นลักษณะของ
ที่ราบน้ำขึ้นถึงที่มีตะกอนดินทับถมกันหนา ส่วนมากระดับน้ำทะเลปานกลางที่มีแนวโน้มสูงขึ้นใน
บริเวณที่เป็นดินดอนสามเหลี่ยม และที่ราบน้ำขึ้นถึงที่ประกอบด้วยดินเคลย์และอยู่ในระดับต่ำ

4. ปริมาณตะกอนสะสม (Sediment supply)

ชายฝั่งด้านอ่าวไทยมีแม่น้ำสายใหญ่ที่ไหลเป็นระยะทางยาวตั้งแต่บนบกผ่านพื้นที่ชายฝั่งลงสู่ทะเล
หลายสาย ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะธรณีสัณฐานของชายฝั่งด้านอ่าวไทยเป็นที่ราบและสูงจาก
ระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 0.5 ถึง 4 เมตร ทางน้ำที่พัฒนาขึ้นจากพื้นที่ภูเขา เมื่อไหลลงสู่ที่ราบเบื้องล่างซึ่ง
มีตะกอนอ่อนนุ่ม ได้พัฒนาตัวเองเป็นทางน้ำสายใหญ่พร้อมกับพัดพาตะกอนปริมาณมากไหลออก
สู่ปากแม่น้ำ และสะสมตัวอยู่ตามแนวชายฝั่งด้วยอิทธิพลของคลื่น ช่วงความต่างระหว่างน้ำขึ้นกับ
น้ำลงและกระแสน้ำชายฝั่งที่เป็นกระบวนการตามธรรมชาติ

ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพามากับแม่น้ำที่ไหลลงสู่อ่าวไทย มีความสำคัญในการคงสภาพ
ของพื้นที่ชายฝั่งมีแม่น้ำใหญ่หลายสายไหลลงสู่อ่าวไทย เช่น แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำ
ท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง เป็นต้น แม่น้ำเหล่านี้เป็นแม่น้ำสายใหญ่และยาวที่ไหลผ่านพื้นที่ลุ่มดิน

อ่อนที่เป็นส่วนหนึ่งของชายฝั่งทะเลโบราณ และมีดินน้ำอยู่บนภูเขา ปัจจุบันแม่น้ำหลายสายมีการสร้างเขื่อนในบริเวณต้นน้ำเพื่อกักน้ำไว้ใช้ประโยชน์ในขณะเดียวกันเพื่อกักเก็บตะกอนที่จะไหลลงสู่อ่าวไทยด้วยทำให้ปริมาณตะกอนที่จะสะสมตัวในบริเวณชายฝั่งตามธรรมชาติลดปริมาณลงการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจึงเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในบริเวณปากแม่น้ำที่มีการสร้างเขื่อน

นอกจากนั้นการขุดทรายก่อสร้างตามลำคลอง และแม่น้ำใหญ่ เป็นผลให้ตะกอนลดลงด้วยการสร้างถนนยกระดับสูง ๆ เพื่อป้องกันน้ำท่วมก็มีส่วนในการกักเก็บตะกอนและทำให้ปริมาณตะกอนที่จะไหลลงสู่ชายทะเลลดน้อยลงเช่นกัน ทำให้ชายหาดตะกอนที่จะมาสะสมตัวตามสภาพธรรมชาติเมื่อคลื่นลมกระทบฝั่งปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาออกไปมากกว่าตะกอนที่จะสะสมตัวให้เกิดความสมดุลตามธรรมชาติจึงเกิดการกัดเซาะได้ง่าย

5.กิจกรรมของมนุษย์

มีกิจกรรมของมนุษย์มากมายเกิดขึ้นบนชายฝั่งด้านอ่าวไทย สืบเนื่องกันมาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์เนื่องจากธรณีสัณฐานชายฝั่งทะเลอ่าวไทยเป็นหาดทรายยาวหลายแนวสลับกับลากูน (Lagoon) การใช้พื้นที่ในอดีตเป็นการสร้างที่อยู่อาศัยบนหาดทราย ในเวลาต่อมาเติบโตขึ้นเป็นเมืองส่วนที่ลุ่มก็เป็นที่ทำนาปลูกข้าว ลากูนที่เชื่อมต่อกับทะเลเป็นที่ประกอบอาชีพด้านการประมงผลผลิตจากการประมงและเป็นเส้นทางคมนาคมติดต่อจากชุมชนเล็ก ๆ ในบริเวณหาดทรายเดิมได้เติบโตขยายใหญ่ขึ้นเป็นเมือง เมืองส่วนมากจะอยู่บริเวณที่เป็นหาดทรายเดิม โดยเว้นพื้นที่ชายฝั่งส่วนที่ติดทะเลไว้เป็นที่โล่งไม่มีการพัฒนา เมื่อประชากรเพิ่มขึ้นการประกอบกิจกรรมก็อาศัยเทคโนโลยีสูงขึ้น พื้นที่ชายฝั่งติดทะเลก็ถูกพัฒนาขึ้นมาหลากหลายรูปแบบ การพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งของประเทศไทยเกิดขึ้นมากเมื่อประมาณ 30 ปีที่ผ่านมา โดยเป็นการพัฒนาที่เกิดขึ้นอย่างเร่งรีบ ไม่มีการวางแผน และศึกษาข้อมูลพื้นฐานทั้งด้านกายภาพและสังคมของพื้นที่ กิจกรรมหลายรูปแบบเป็นตัวเร่งให้เกิดการกัดเซาะมากขึ้น การพัฒนาส่วนมากจะเกี่ยวกับด้านโครงสร้างพื้นฐานอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการท่องเที่ยว

โครงสร้างพื้นฐานในบริเวณชายฝั่งส่วนมากจะเป็นถนนและท่าเทียบเรือ ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงสภาพความเป็นอยู่ให้มีความสะดวกสบายขึ้น เพื่อรองรับการอุตสาหกรรมประมงและท่องเที่ยว ถนนที่ตัดใหม่ส่วนมากจะเป็นถนนเลียบชายทะเล หลายสายอยู่บนหาดทรายชิดทะเล ถนนบางสายก็ถมลากูนและป่าชายเลน เพื่อสร้างถนนมุ่งสู่ทะเล ปรากฏว่ามีถนนและท่าเทียบเรือหลายบริเวณที่ถูกคลื่นซัดพังลงไปพร้อมกันพื้นที่ชายฝั่ง เพราะกีดขวางทางน้ำไหลและการเคลื่อนที่ของคลื่นลมจากทะเล

การท่องเที่ยว เป็นกิจกรรมที่สร้างเงิน สร้างงาน ให้กับประเทศไทยมาก และเป็นกิจกรรมที่ควรส่งเสริม ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมชายฝั่งน้อยที่สุด แต่กิจกรรมที่สืบเนื่องมากับการท่องเที่ยว ก็คือ การแปรสภาพพื้นที่ชายฝั่งเป็นรีสอร์ท เป็นตึกสูง เป็นโรงแรมขนาดใหญ่อยู่ชิดทะเลชายฝั่งด้านอ่าวไทยมีการพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยวมาก มีตึกสูงเกิดขึ้นมากมาย โดยศูนย์กลางของการท่องเที่ยวชายฝั่งทะเลทางภาคตะวันออกจะอยู่ในบริเวณจังหวัดระยอง ถึง ชลบุรี ภาคกลางตั้งแต่จังหวัดเพชรบุรี ถึง ประจวบคีรีขันธ์ ภาคใต้ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งหลายพื้นที่ในบริเวณเหล่านี้มีการแปรสภาพชายฝั่งที่ไม่สอดคล้องกับธรรมชาติจึงมีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเกิดขึ้นอย่างแพร่หลาย

การแปรสภาพป่าชายเลนเป็นนาุ้ง และการทำประมงน้ำตื้นชายฝั่ง เป็นกิจกรรมอีกรูปแบบหนึ่งที่เปลี่ยนสภาพแวดล้อมชายฝั่ง การทำนาุ้งเกิดขึ้นมากในบริเวณจังหวัดจันทบุรี สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช การทำนาุ้งในป่าชายเลนไม่ควรอยู่ชิดทะเล ควรอยู่ห่างจากชายทะเลอย่างน้อย 300 เมตร โดยเว้นป่าที่ติดทะเลไว้เป็นแนวกำบังและไม่ควรทำนาุ้งในบริเวณที่มีป่าชายเลนสมบูรณ์ เพราะการแปรสภาพชายฝั่งเป็นนาุ้ง นอกจากทำให้เกิดการกัดเซาะได้ง่ายแล้วยังทำลายสภาพน้ำบาดาลและน้ำจืดในบริเวณชายฝั่งด้วยส่วนการทำประมงชายฝั่งด้วยการใช้อวนรุน อวนลาก น้ำตื้นจะทำให้ท้องทะเลเปลี่ยนรูป สภาพคลื่นลมที่เคลื่อนเข้าหาฝั่งก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย

การถมทะเลและการสร้างสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ยื่นยาวออกไปในทะเล เช่น การสร้างท่าเรือน้ำลึก ท่าเทียบเรือขนาดใหญ่ และ โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ สิ่งก่อสร้างเหล่านี้จะไปกีดขวางระบบธรรมชาติของคลื่น และกระแสน้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งเห็นได้มากมายในบริเวณจังหวัดระยอง ชลบุรี สมุทรปราการ กรุงเทพฯ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน คือ การนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด หลังจากที่มีการก่อสร้างท่าเรือน้ำลึกเสร็จในปี พ.ศ. 2535 ทำให้มีการกัดเซาะอย่างรุนแรงเกิดขึ้นในบริเวณชายฝั่งทั้งสองด้าน (สิน สินสกุล และคณะ, 2545) ต่อมาการนิคมอุตสาหกรรมต้องสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพง ป้องกันการกัดเซาะสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ เหล่านี้ต้องมีการศึกษาผลกระทบและการก่อสร้างสิ่งป้องกันจะต้องเกิดขึ้นพร้อมกันไปกับสิ่งก่อสร้างของโครงการต่าง ๆ

กิจกรรมทั้งหมดที่กล่าวมาเป็นกิจกรรมหลัก ๆ ของมนุษย์ที่เกิดขึ้นทางฝั่งอ่าวไทย และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบางบริเวณเห็นได้ชัดเจน แต่บางบริเวณเป็นเพียงสาเหตุร่วมจะเห็นว่าสาเหตุการกัดเซาะทั้งหมดที่กล่าวมาล้วนมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยที่สาเหตุแต่ละชนิดจะส่งผลให้อีกสาเหตุหนึ่งเกิดตามมาซึ่งในที่สุดก็ส่งผลกระทบต่อมนุษย์โดยรวม

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทางด้านอ่าวไทยส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมชายฝั่งอย่างมาก ป่าชายเลนล้มตายลงความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์และพืชชายฝั่งลดปริมาณลงทำให้น้ำเค็มไหลซึมเข้ามาสู่แหล่งน้ำจืดและน้ำใต้ดินมีการสูญเสียที่ดินทั้งภาครัฐและเอกชนส่งผลให้เกิดการ

อพยพย้ายถิ่นของชุมชนริมทะเลและตลาดชุมชนชายฝั่งเป็นปัญหาทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ตามมานอกจากนั้นยังกระทบต่อโครงสร้างพื้นฐานอุตสาหกรรมที่รัฐและเอกชนได้ลงทุนไว้ด้วย ดังนั้นข้อมูลธรณีวิทยาและวิชาการด้านอื่นที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ชายฝั่งจะต้องมีการศึกษาวิเคราะห์ และประเมินเพื่อนำมาใช้ในการป้องกันแก้ไขฟื้นฟูสภาพชายฝั่งให้ยั่งยืนต่อไป

การศึกษาที่เกี่ยวข้อง

ความเปราะบาง (Vulnerability)

ความเปราะบางเป็นกรอบแนวคิดที่ยากจะเข้าใจ ซึ่งมีคำจำกัดความแตกต่างกันไป แต่การพัฒนาความเปราะบางในชุมชนกลายเป็นกรอบแนวคิดที่สำคัญที่ใช้เป็นแนวทางในการ ออกแบบ และประเมินผลแผนงาน (Moret, 2014) โดย Klein and Nicholls (1999) กล่าวว่า กรอบแนวคิดเรื่องความเปราะบางเป็นการรวมองค์ประกอบทางกายภาพ ธรณีวิทยา สังคมและเศรษฐกิจ รวมถึงคุณค่าของมนุษย์และผลกระทบที่เกี่ยวข้อง (Green & McFadden, 2007; Klein et al., 1998) เช่นเดียวกับ IPCC (2014) อธิบายไว้ว่า ความเปราะบางครอบคลุมแนวคิดและองค์ประกอบที่ หลากหลาย ซึ่งรวมถึงความอ่อนไหวต่อความอันตราย ขาดความสามารถในการรับมือ และการปรับตัว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีแนวโน้มที่จะเกิดผลกระทบในทางลบ อีกทั้ง กรอบป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (2559) ได้ให้ความหมายไว้ว่า บังคับหรือสภาวะใด ๆ ที่ทำให้ ชุมชนหรือสังคมขาดความสามารถในการปกป้องตนเอง ทำให้ไม่สามารถรับมือกับภัยพิบัติหรือไม่ สามารถฟื้นฟูได้อย่างรวดเร็วจากความเสียหายอันเกิดจากภัย บังคับเหล่านี้มีอยู่ในชุมชนหรือสังคม มานานก่อนเกิดภัยพิบัติและอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้ผลกระทบของภัยมีความรุนแรงมากขึ้นแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ความเปราะบางทางกายภาพ ความเปราะบางเชิงสังคม และ โครงสร้างทางสังคม และความเปราะบางทางทัศนคติและแรงจูงใจ ดังนั้นความเปราะบางของชายฝั่งจึงมีความสัมพันธ์ กับลักษณะทางกายภาพและธรณีวิทยาของชายฝั่ง ความถี่ในการรบกวน กิจกรรมของมนุษย์และ ความสามารถในการปรับตัว (Adger, 2006; Arkema et al., 2013; Mclaughlin & Cooper, 2010) ระดับความเปราะบางมีความสัมพันธ์กับความไว (Susceptibility) ความสามารถในการกลับคืนสู่ สภาพเดิม (Resilience) และความต้านทาน (Resistance) ของชายฝั่งเพื่อรับมือกับภัยพิบัติ

อย่างไรก็ตามอิทธิพลของมนุษย์มักมีอิทธิพลต่อความสามารถในการกลับคืนสู่สภาพเดิม และความต้านทานของชายฝั่งต่อการถูกรบกวน เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ส่งผลต่อการ เปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชายฝั่ง ทำให้ความต้านทานของระบบนิเวศลดลงและการป้องกัน โครงสร้างเกิดความเสียหาย (Klein et al., 1998) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและ

โครงสร้างในบริเวณชายฝั่งนั้น ทำให้สิ่งแวดล้อมบริเวณชายฝั่งมีความเปราะบางมากยิ่งขึ้น (Klein and Nicholls, 1999)

ดัชนีความเปราะบางของชายฝั่ง (Coastal Vulnerability Index: CVI)

ชายฝั่งมีความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรวมถึงการเปลี่ยนแปลงต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะ พายุหมุนเขตร้อน และน้ำท่วมชายฝั่ง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับกรอบการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของชายฝั่ง (Nicholls et al., 2008) โดยส่วนใหญ่เน้นประเมินความเปราะบางของชายฝั่งต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล (Gornitz et al., 1994; Özyurt* & Ergin, 2010; Pendleton et al., 2010; Thieler & Hammar-Klose, 1999) หรือการกัดเซาะชายฝั่ง (Doukakis, 2005; 2010; McLaughlin, McKenna, & Cooper, 2002; Hedge & Reju., 2007) นอกจากนี้ยังมีการประเมินความเปราะบางที่เกี่ยวข้องกับพายุซัดฝั่ง (Sahoo & Bhaskaran, 2018) และน้ำท่วมชายฝั่ง

ความเปราะบางของพื้นที่ชายฝั่งทะเลถูกยกระดับความสำคัญขึ้นเมื่อครั้งเกิดเหตุการณ์สึนามิ ครั้งใหญ่ในมหาสมุทรอินเดียปลายปี ค.ศ. 2004 จึงเริ่มมีการตั้งประเด็นอย่างจริงจังเกี่ยวกับความเปราะบางของชุมชนชายฝั่งทะเล และลักษณะทางกายภาพที่ส่งผลต่อความรุนแรงของภัยพิบัติ ซึ่งพื้นที่ชายฝั่งทะเลเป็นพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูง ทั้งในด้านกายภาพและสังคมเศรษฐกิจ ก็เนื่องมาจากเป็นพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามกระบวนการทางสมุทรศาสตร์ประกอบกับการถูกใช้เป็นหลักฐานทรัพยากรที่สำคัญในการพัฒนาในด้านต่าง ๆ หลายด้าน ดังนั้นเครื่องมือหนึ่งที่จะช่วยในการวางแผนการจัดการแก้ไขและป้องกันปัญหา คือ การประเมินความเปราะบางของพื้นที่ แนวคิดพื้นฐานของดัชนีความเปราะบางของชายฝั่งมี 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของชายฝั่ง (Coastal characteristics) ปัจจัยที่ควบคุมชายฝั่ง (Coastal forcing) และปัจจัยด้านเศรษฐกิจและสังคม (Socio-economic characteristics) (McLaughlin & Cooper, 2010) (ภาพที่ 2-18)



ภาพที่ 2-18 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาความเปราะบางของชายฝั่ง ไอร์แลนด์เหนือ (McLaughlin & Cooper, 2010)

การประเมินความเปราะบางที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ควบคุมชายฝั่งบ่งบอกถึงการรับมือต่อกระบวนการทางกายภาพที่เกิดขึ้นบริเวณชายฝั่ง เช่น ความสูงคลื่น พัดน้ำ (Hedge & Reju 2007; Pendleton et al. 2010) เป็นต้น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้เป็นสาเหตุของการเกิดของน้ำท่วมชายฝั่ง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง ดังนั้นการรวมกระบวนการดังกล่าวไว้ใน การประเมินความเปราะบางชายฝั่งเป็นการช่วยให้นักวางแผนประเมินความเป็นไปได้ที่จะเกิดน้ำท่วมและระยะเวลาที่น้ำทะเลจะเพิ่มสูงขึ้น (Pendleton et al. 2010) การประเมินความเปราะบางทางด้านกายภาพของชายฝั่งบ่งบอกถึงความต้านทานต่อการกัดเซาะชายฝั่ง โดยพิจารณาถึงประวัติทางธรณีวิทยาและการกัดเซาะอันเนื่องมาจากธรณีวิทยา ซึ่งตัวแปรที่นำมาพิจารณา เช่น ธรณีสัณฐานวิทยา ระดับความสูงเฉลี่ย การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

ดังนั้นการรวมกระบวนการดังกล่าวไว้ใน การประเมินความเปราะบางชายฝั่งเป็นการช่วยให้นักวางแผนประเมินความเป็นไปได้ที่จะเกิดการกัดเซาะตามแนวชายฝั่งเนื่องจากระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น ทำให้พลังงานคลื่นและความรุนแรงของพายุเพิ่มขึ้น (Pendleton et al. 2010) ซึ่งองค์ประกอบทางกายภาพและปัจจัยที่ควบคุมชายฝั่งที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและความรุนแรงในการเกิดพายุส่งผลกระทบต่อทางเศรษฐกิจและสังคมบริเวณชายฝั่ง ดังนั้นจึงมีการประเมินความเปราะบางทางเศรษฐกิจและสังคม โดยพิจารณาจากมูลค่าทางเศรษฐกิจและสังคมบริเวณนั้น (Hedge & Reju 2007) จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 องค์ประกอบแสดงถึงลักษณะที่แตกต่างตามความสามารถในการปรับตัวของชายฝั่งเมื่อถูกรบกวน (Klein et al. 1998)

ดัชนีความเปราะบางของชายฝั่ง (Coastal Vulnerability Index: CVI) ถูกเสนอครั้งแรก โดย Gornitz & Kanciruk (1989) เพื่อใช้ในการประเมินความเปราะบางในการเพิ่มขึ้นของ ระดับน้ำทะเล โดยใช้ตัวแปรทางกายภาพเป็นตัวชี้วัดความเปราะบางของชายฝั่ง ได้แก่ ธรณีสัณฐาน ความลาดชันชายฝั่ง ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย อัตราการกัดเซาะชายฝั่ง อัตราการเพิ่มขึ้นของ ระดับน้ำทะเลและพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย เมื่อทำการจัดอันดับจะทำการคำนวณผ่านสูตรคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ค่าที่กำหนดความเสี่ยงของชายฝั่งทะเลแต่ละส่วน โดย Gornitz ได้เสนอแนะว่า การใช้ ดัชนีความเปราะบางชายฝั่งจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น หากเพิ่มตัวชี้วัดด้านความถี่ของการเกิดพายุ และ ด้านประชากร ซึ่งวิธีนี้กลายเป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปในการประเมินความเปราะบางของชายฝั่งต่อ การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง หรือแม้แต่การเกิดน้ำท่วม ต่อมา Gornitz (1991) และ Gornitz et al. (1994) ได้ประยุกต์ตัวแปรทางกายภาพที่ใช้ในการประเมินความเปราะบางของ ชายฝั่งเพิ่มเติม เนื่องจากในแต่ละพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อภัยพิบัติที่แตกต่างกัน โดยมีการเพิ่มตัวแปร เช่น ความน่าจะเป็นในการเกิดพายุเขตร้อน ความน่าจะเป็นในการเกิดพายุเฮอริเคน ความน่าจะเป็น ในการเกิดพายุหมุนนอกเขตร้อน เป็นต้น หลังจากนั้นได้มีนักวิจัยอีกจำนวนมากที่ได้้นำการศึกษา ของ Gornitz (1991) และ Gornitz et al. (1994) มาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินความเปราะบางของ ชายฝั่งทั่วโลก (เช่น Shaw et al., 1998; Thieler and Hammar-Klose, 1999, 2000; Pendleton et al., 2004; Boruff et al., 2005; Doukakis, 2005; Diez et al., 2007; Nageswara Rao et al., 2008; Ozyurt and Ergin, 2010; Abuodha and Woodroffe, 2010; Lopez et al., 2016; Mani Murali et al., 2018; Hoque et al., 2019) ซึ่งผลจากการประเมินความเปราะบางแสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่นำไปสู่การ เปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง (Gutierrez et al., 2009) ถึงแม้ว่าจะมีการใช้การประเมินความ เปราะบางชายฝั่งต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกันอยู่มาก แต่ผลลัพธ์ที่ได้ยังคงขึ้นอยู่กับ ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญเนื่องจากการมีแนวคิดที่แตกต่างกันในการจัดหมวดหมู่ นอกจากนี้ยังมีอีก หลายวิธีในการวิเคราะห์ความเปราะบางชายฝั่ง

อย่างไรก็ตามนอกจากตัวแปรทางกายภาพแล้ว บางครั้งในการประเมินความเปราะบาง ชายฝั่งยังรวมถึงตัวแปรทางเศรษฐกิจและสังคม ไปด้วย เช่น จำนวนประชากรทั้งหมดเมื่อเทียบกับ จำนวนประชากรทั้งหมดที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วม ความหนาแน่นของประชากร ระดับ ความยากจนของประชากร (McLaughlin et al., 2002; McLaughlin and Cooper, 2010) ค่าใช้จ่ายใน การป้องกันชายฝั่งโดยเฉลี่ย (Devoy, 2008) และความเปราะบางทางสังคมของชุมชนต่อภัย ธรรมชาติ (Cutter et al., 2012) เป็นต้น

การคำนวณหาดัชนีความเปราะบางของชายฝั่ง

ในการวิจัยการประเมินชายฝั่งมีการคิดค้นดัชนีจำนวนมากเพื่อประเมินความเปราะบางของชายฝั่งต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Abuodha & Woodroffe, 2006; Preston et al., 2011; Ramieri et al., 2011) ซึ่งดัชนีแต่ละตัวเป็นของตัวบ่งชี้เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยมีวิธีการคำนวณหาดัชนีความเปราะบางของชายฝั่งมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เป็นตัวเลขเดียวที่บ่งบอกถึงความเปราะบางของชายฝั่งต่ออันตรายต่าง ๆ (เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ) ในการประเมินความเปราะบางมีวัตถุประสงค์หลัก คือ การให้ข้อมูลที่ช่วยในการตัดสินใจและการวางแผนการปรับตัวตามแนวชายฝั่ง (Kelly & Adger, 2000; Mclaughlin & Cooper, 2010; Smit & Wandel, 2006) ซึ่งหนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางนำมาใช้ คือ Gornitz (1991) คำนวณ โดยใช้รากที่สองของค่าเฉลี่ยของผลคูณตัวแปรที่ใช้ในการศึกษานั้น ๆ (Gornitz et al., 1997) ดังสมการที่ 2-1

$$CVI = \sqrt{\frac{a_1 \times a_2 \times a_3 \times \dots \times a_n}{n}} \quad (2-1)$$

โดยที่ $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ คือ ตัวแปร และ n คือ จำนวนตัวแปร

นอกจากนี้ Saaty (1977) ยังเสนอวิธีการคำนวณโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ลำดับขั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) โดยแบ่งโครงสร้างปัญหาเป็นขั้นๆ แล้วจึงวิเคราะห์ทางเลือกที่ดีที่สุด โดยการเปรียบเทียบเกณฑ์คัดเลือกเป็นรายคู่ (Pair wise comparison) (Ju et al., 2012) เพื่อหาค่าน้ำหนักความสำคัญเป็นรายคู่ โดยใช้ตัวเลข 1 ถึง 9 แทนค่าน้ำหนัก (ตารางที่ 2-1) ต้องพิจารณาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้วยและการวิเคราะห์ทางเลือกทีละคู่ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ทีละเกณฑ์จนครบทุกเกณฑ์นั้นสามารถจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรที่สัมพันธ์กันได้ (Mani Murali et al., 2013)

Mahapatra et al. (2015) หาความเปราะบางของชายฝั่งคุชราตใต้ (South Gujarat coast) โดยใช้วิธี AHP จึงนำตัวแปรทางกายภาพ (ตารางที่ 2-2) และตัวแปรทางเศรษฐกิจและสังคม (ตารางที่ 2-3) มาเปรียบเทียบโดยใช้ตารางเมทริกซ์ (Matrix) จากนั้นหารค่าในตารางด้วยผลรวมของแต่ละคอลัมน์ (Normalized Matrix) และคำนวณหาค่าเฉลี่ยของแต่ละแถวของ Normalized Matrix (ตารางที่ 2-4) (ตารางที่ 2-5) เพื่อตัดสินใจว่าค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้มีความสอดคล้องกัน จึงต้องมีการ

พิจารณาอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency ratio: CR) ดังสมการที่ 2-2 ซึ่งค่า CR บอกถึงค่า สัดส่วนความสอดคล้องกับการให้คะแนนการเปรียบเทียบ หากค่า CR น้อยกว่า 1 แสดงว่ามีค่า สัดส่วนที่สอดคล้องกันในระดับที่ยอมรับได้

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2-2)$$

โดยที่ CI คือ ดัชนีวัดความสอดคล้อง (Consistency Index)

RI คือ ดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index)

ขึ้นอยู่กับจำนวนของหลักเกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบ (ภาพที่ 2-23)

การคำนวณหาค่า CI คำนวณได้จากสมการที่ 2-3

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{(n - 1)} \quad (2-3)$$

โดยที่ n คือ จำนวนหลักเกณฑ์ที่นำมาพิจารณา

λ คือ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ความสอดคล้อง

ตารางที่ 2-1 ความหมายของระดับคะแนน 1 ถึง 9 ของ Saaty (1977)

(Mahapatra et al., 2015)

Intensity of importance	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two factors contribute equally to the objective
3	Somewhat more importance	Experience and judgment slightly favor one over the other
5	Much more importance	Experience and judgment strongly favor one over the other
7	Very much more importance	Experience and judgment very strongly favor one over the other. Its importance is demonstrated in practice
9	Absolutely more importance	The evidence favoring one over the other is of the highest possible validity
2, 4, 6, 8	Intermediate value	When compromise is needed

ตารางที่ 2-2 ตารางเมทริกซ์แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรทางกายภาพเป็นรายคู่

(Mahapatra et al., 2015)

Variable	Coastal slope	Coastal landforms/ features	Rate of shoreline change	Mean spring tidal range	Mean significant wave height
Coastal slope	1.00	2.00	6.00	9.00	9.00
Coastal landforms/features	0.50	1.00	5.00	9.00	8.00
Rate of shoreline change	0.17	0.20	1.00	4.00	3.00
Mean spring tidal range	0.11	0.11	0.25	1.00	2.00
Mean significant wave height	0.11	0.13	0.33	0.50	1.00
Column total	1.89	3.44	12.58	23.50	23.00

ตารางที่ 2-3 ตารางเมทริกซ์แสดงการเปรียบเทียบทางเศรษฐกิจและสังคมเป็นรายตัว

(Mahapatra et al., 2015)

Variable	Population density (per sq km)	Land use/ land cover	Road network (distance from)	Settlement
Population density (per sq km)	1.00	4.00	8.00	7.00
Land use/land cover	0.25	1.00	4.00	6.00
Road network (distance from)	0.13	0.25	1.00	3.00
Settlement	0.14	0.17	0.33	1.00
Column total	1.52	5.42	13.33	17.00

ตารางที่ 2-4 Normalized Matrix ของตัวแปรทางกายภาพ
(Mahapatra et al., 2015)

Variable	Coastal slope	Coastal landforms/ features	Rate of shoreline change	Mean spring tidal range	Mean significant wave height	Sum	Mean	100
Coastal slope	0.53	0.58	0.48	0.38	0.3913	2.36	0.47	47.23
Coastal landforms/ features	0.26	0.29	0.40	0.38	0.3478	1.68	0.34	33.67
Rate of shoreline change	0.09	0.06	0.08	0.17	0.1304	0.53	0.11	10.53
Mean spring tidal range	0.06	0.03	0.02	0.04	0.087	0.24	0.05	4.81
Mean significant wave height	0.06	0.04	0.03	0.02	0.0435	0.19	0.04	3.73

ตารางที่ 2-5 Normalized Matrix ของตัวแปรทางเศรษฐกิจและสังคม

(Mahapatra et al., 2015)

Variable	Population density (per sq km)	Land use/ land cover	Road network (distance from)	Settlement	Sum	Mean	100
Population density (per sq km)	0.66	0.74	0.60	0.41	2.41	0.60	60.25
Land use/ land cover	0.16	0.18	0.30	0.35	0.99	0.25	24.75
Road network (distance from)	0.08	0.05	0.08	0.18	0.39	0.10	9.75
Settlement	0.09	0.03	0.03	0.06	0.21	0.05	5.25

ตารางที่ 2-6 ค่า RI

(Saaty & Vargas, 1991)

n	2	3	4	5	6	7	8
RI	0.00	0.52	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

หลังจากนั้นค่าน้ำหนักที่ได้จากวิธี AHP มาคำนวณดัชนีความเปราะบางทางกายภาพ (Physical Vulnerability Index: PVI) ดังสมการที่ 2-4 และดัชนีความเปราะบางทางเศรษฐกิจและสังคม (Socioeconomic vulnerability Index: SVI) ดังสมการที่ 2-5

$$PVI = W_1X_1 + W_2X_2 + W_3X_3 + W_4X_4 + W_5X_5 \quad (2-4)$$

$$SVI = W_1X_1 + W_2X_2 + W_3X_3 + W_4X_4 \quad (2-5)$$

โดยที่ W_n คือ ค่าน้ำหนักของตัวแปรแต่ละตัว

และ X_n คือ คะแนนความเปราะบางของตัวแปรแต่ละตัว

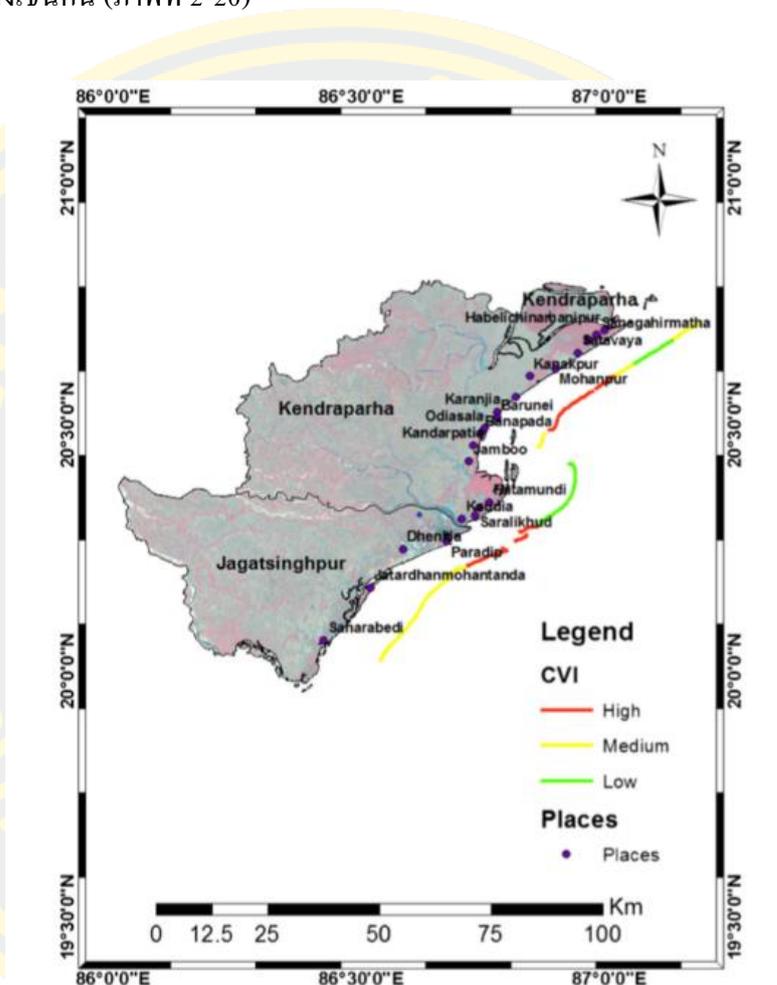
จากนั้นคำนวณดัชนีความเปราะบางของชายฝั่ง (Coastal Vulnerability Index: CVI)

ดังสมการที่ 2-6

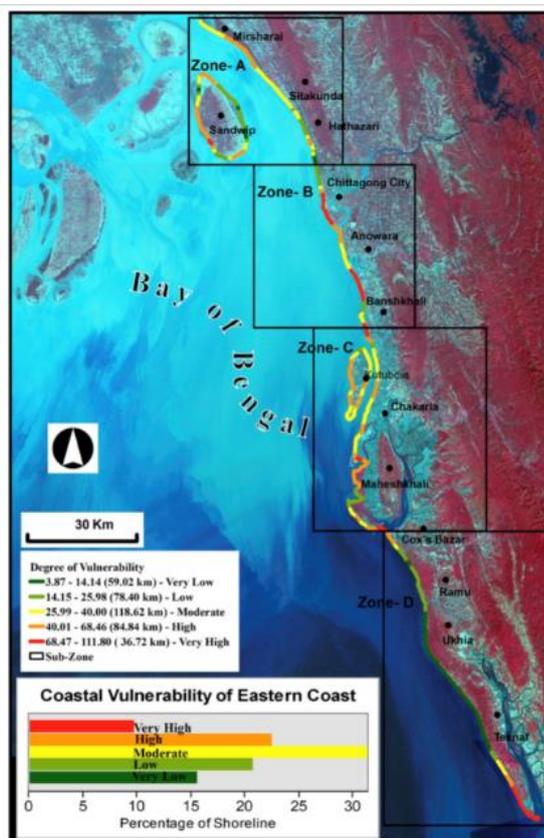
$$CVI = \frac{PVI + SVI}{2} \quad (2-6)$$

อย่างไรก็ตามการประเมินความเปราะบางของชายฝั่งมักแสดงผลโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ยกตัวอย่างเช่น Mani Murali et al. (2018) ได้ศึกษาความเปราะบางของชายฝั่งรัฐโอดิชา (Odisha state) ในประเทศอินเดีย ซึ่งคำนวณ

โดยใช้วิธี AHP หลังจากนั้นได้ใช้ GIS ในการนำเสนอแผนที่ความเปราะบางชายฝั่ง (ภาพที่ 2-19) ในทางกลับกัน Hoque et al. (2019) ได้ศึกษาความเปราะบางของชายฝั่งตะวันออกของบังกลาเทศ คำนวณโดยอ้างอิงวิธีของ Gornitz (1991) ซึ่งหลังจากการคำนวณก็ใช้ GIS ในการนำเสนอแผนที่ความเปราะบางเช่นกัน (ภาพที่ 2-20)



ภาพที่ 2-19 แผนที่ความเปราะบางของชายฝั่งรัฐโอดิชาในประเทศอินเดีย (Mani Murali et al., 2018)

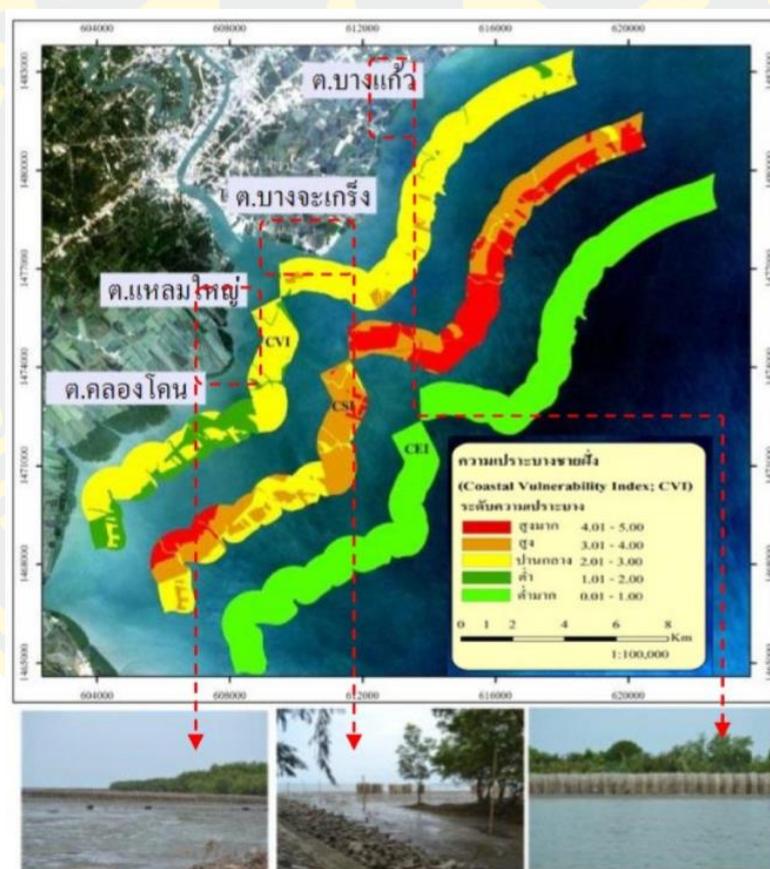


ภาพที่ 2-20 แผนที่ความเปราะบางของชายฝั่งตะวันออกของบังคลาเทศ (Hoque et al., 2019)

การศึกษาดัชนีความเปราะบาง

กัทลี คุรุกุล และกาญจนา นาคะภากร (2557) ได้ประยุกต์วิธีการประเมินความเปราะบางชายฝั่งทะเล (coastal vulnerability assessment) เพื่อศึกษาความเปราะบางของพื้นที่ศึกษาต่อการถูกกัดเซาะชายฝั่งจังหวัดสมุทรสงคราม มีความยาวตลอดแนวชายฝั่งประมาณ 23 กิโลเมตร โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการวิเคราะห์ข้อมูล สำหรับการประเมินความเปราะบางชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสงคราม ได้แบ่งตัวแปรความเปราะบางออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ปัจจัยการเปิดรับต่อสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ ตัวแปรความสูงคลื่นนัยสำคัญ ตัวแปรน้ำขึ้นน้ำลง และตัวแปรการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล และปัจจัยความอ่อนไหว ได้แก่ ตัวแปรความลาดชัน ตัวแปรอัตราการกัดเซาะชายฝั่ง ตัวแปรความหนาแน่นของประชากร ตัวแปรความหนาแน่นของหลังคาเรือน ตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดิน และตัวแปรมาตรการป้องกันแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง ผลการศึกษาพบว่าแนวชายฝั่งของพื้นที่ศึกษาพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่ำมาก มีขนาดพื้นที่ 4.42 ตารางกิโลเมตร

(2,763 ไร่) พบในพื้นที่ตำบลคลองโคน และพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูง มีขนาดพื้นที่ 0.56 ตารางกิโลเมตร (350 ไร่) พบในพื้นที่ตำบลบางจะเกร็งและตำบลบางแก้ว (ภาพที่ 2-21) สำหรับตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเปราะบาง ได้แก่ น้ำขึ้น-น้ำลง การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ความลาดชัน ความหนาแน่นของประชากร และ การใช้ประโยชน์ที่ดิน อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดในการศึกษา เนื่องจากการประเมินความเปราะบางชายฝั่งในระดับท้องถิ่น (ระดับตำบล) และพื้นที่ศึกษามีขนาดเล็ก ทำให้ค่าของตัวแปรบางตัว เช่น ความสูงคลื่นนัยสำคัญ น้ำขึ้นน้ำลง การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ไม่มีความแตกต่างกันในเชิงพื้นที่ ซึ่งค่าของตัวแปรนั้น ๆ มีค่าเท่ากันตลอดทั้งพื้นที่ศึกษา

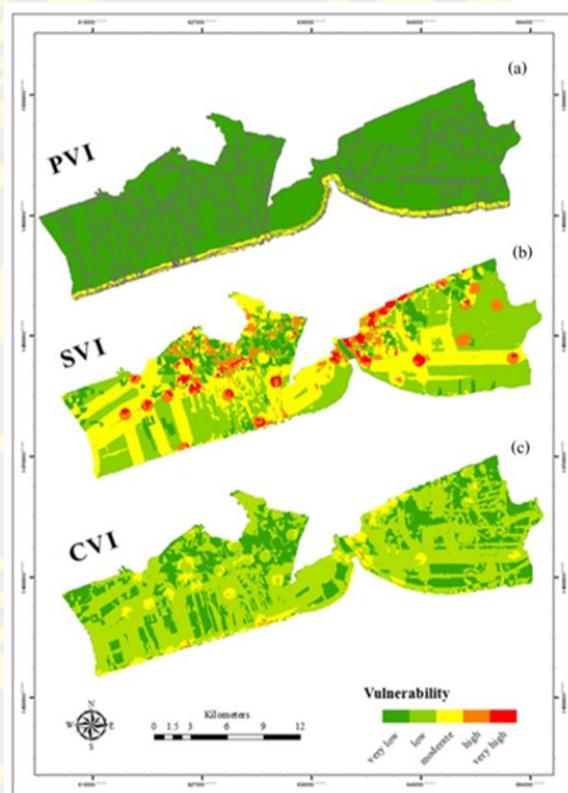


ภาพที่ 2-21 ผลการศึกษาความเปราะบางของพื้นที่ชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสงคราม (กัทลี คุรุกุล และกาญจนา นาคะภากร, 2557)

อรอร สารจิตต์ และกาญจนา นาคะภากร (2557) ได้ประเมินสถานการณ์การกัดเซาะชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรีและพิจารณาถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตามฤดูกาล โดยหาอัตราการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งระหว่างปี พ.ศ. 2544 ถึง พ.ศ. 2554 ใน 2 ช่วงฤดู คือ ฤดูแล้งและฤดูน้ำหลาก ผลการศึกษาพบว่าชายฝั่งทะเลจังหวัดเพชรบุรี ถูกกัดเซาะระยะทางรวม 11.638 กิโลเมตร ระยะทางแนวชายฝั่งที่มีอัตราการกัดเซาะรุนแรงมากกว่า 4 เมตรต่อปี รวมระยะทาง 3.7 กิโลเมตร แนวชายฝั่งที่ถูกกัดเซาะมากที่สุดอยู่ในอำเภอบ้านแหลม ที่ตำบลปากทะเลต่อเนื่องถึงตำบลบางแก้ว เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ไม่มีแนวป้องกัน เช่น ป่าชายเลนหรือโครงสร้างวิศวกรรม ประกอบกับเป็นพื้นที่ตั้งอยู่ทางตอนบนเหนือแนวกำแพงหินทิ้งที่ตำบลบางแก้ว ส่วนชายฝั่งที่มีป่าชายเลนแนวชายฝั่งจะคงสภาพหรือมีการเพิ่มขึ้น พบบริเวณพื้นที่ศึกษาตอนบนที่เป็นหาดโคลน ทั้งนี้ช่วงฤดูมรสุมที่แตกต่างกันไม่ได้ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งมีความแตกต่างกัน แต่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของตะกอนทรายแนวชายหาดของพื้นที่ศึกษาตอนล่างอย่างชัดเจน โดยพบการเพิ่มขึ้นของตะกอนทรายบริเวณชายหาดในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม ถึง กันยายน) และลดลงในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ตุลาคม ถึง กุมภาพันธ์) พบการเพิ่มขึ้นของตะกอนทรายชายหาดบริเวณปากคลองที่ขนานชายฝั่ง รวมถึงการเพิ่มขึ้นของตะกอนทรายด้านหลังเขื่อนกันคลื่นนอกชายฝั่ง บริเวณหาดเจ้าสำราญ อำเภอมือง และหาดหน้าพระราชวังมฤคทายวัน อำเภอยะอำ แต่จะมีลักษณะเว้าแหว่งตาม ระยะห่างของเขื่อนกันคลื่น

Duriyapong and Nakhapakorn (2011) ศึกษาความเปราะบางของชายฝั่งสมุทรสาคร มีความยาวตลอดแนวชายฝั่งประมาณ 41.8 กิโลเมตร เนื่องจากเป็นพื้นที่มีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นที่ราบลุ่ม ซึ่งได้รับผลกระทบมากขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและกระบวนการกัดเซาะที่ส่งผลกระทบต่อชุมชนในพื้นที่จึงได้ประเมินความเปราะบางชายฝั่ง โดยการรวมดัชนีความเปราะบางของกระบวนการทางกายภาพ (Physical process Vulnerability Index: PVI) และดัชนีความเปราะบางทางเศรษฐกิจและสังคม (Socio-economic Vulnerability Index: SVI) มีการใช้ตัวแปรทางกายภาพ 4 ตัวแปร ได้แก่ ความลาดชันของชายฝั่ง อัตราการกัดเซาะชายฝั่ง ระดับน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ยและความสูงของคลื่นเฉลี่ย และตัวแปรทางเศรษฐกิจและสังคม 4 ตัวแปร ได้แก่ การใช้ที่ดิน ความหนาแน่นของประชากร แหล่งมรดกทางวัฒนธรรม และถนน / ทางรถไฟ) ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าพื้นที่เสี่ยงสูงซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 1.3 ตารางกิโลเมตร (คิดเป็นร้อยละ 0.45 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด) อยู่ในเขตตำบลบ้านบ่อ ตำบลกาหลง ตำบลบางหญ้าแพรก ตำบลบางกระเจ้า ตำบลโคกขาม ตำบลนาโคกและพื้นที่ชายฝั่งพื้นที่เสี่ยงปานกลางครอบคลุมพื้นที่ 28 ตารางกิโลเมตร (คิดเป็นร้อยละ 9.5 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด) พื้นที่เสี่ยงต่ำ 180 ตารางกิโลเมตร (คิด

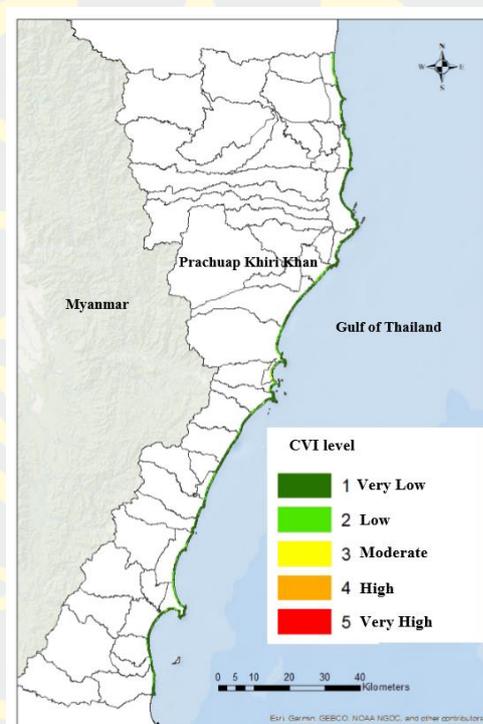
เป็นร้อยละ 60.56 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด) และพื้นที่เสี่ยงต่ำมาก 88 ตารางกิโลเมตร (คิดเป็นร้อยละ 29.52 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด) ทั้งนี้แผนที่ดัชนีความเปราะบางของชายฝั่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรทางเศรษฐกิจและสังคมมีอิทธิพลต่อระดับความเปราะบางของชายฝั่งมากกว่าตัวแปรทางกายภาพ (ภาพที่ 2-22)



ภาพที่ 2-22 แผนที่ดัชนีความเปราะบางของชายฝั่งจังหวัดสมุทรสาคร (Duriyapong and Nakhapakorn, 2011)

Nidhinarangkoon and Ritphring (2019) ศึกษา CVI ต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ บริเวณชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ การประเมินความเปราะบางในการศึกษานี้พิจารณาทั้งตัวแปรทางกายภาพ เศรษฐกิจและสังคม ได้แก่ ความลาดชันชายฝั่ง อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ธรณีสัณฐาน ความสูงคลื่นนัยสำคัญ พิสัยน้ำ ระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น ความหนาแน่นของประชากร โครงสร้างชายฝั่ง และการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยจัดระดับความเปราะบางเป็น 5 ระดับ ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ชายฝั่งส่วนใหญ่ในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์มีความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลอยู่ในระดับความเปราะบางน้อยถึงปานกลาง

(ภาพที่ 2-23) โดยพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่ำมากคิดเป็นร้อยละ 72.72 ของพื้นที่ศึกษา พื้นที่ที่มีความเปราะบางต่ำคิดเป็นร้อยละ 25.74 ของพื้นที่ศึกษา พื้นที่ที่มีความเปราะบางปานกลางคิดเป็นร้อยละ 1.32 ของพื้นที่ศึกษา พื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงคิดเป็นร้อยละ 0.18 ของพื้นที่ศึกษา พื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงมากคิดเป็นร้อยละ 0.03 ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งตัวแปรที่นำไปสู่ความเปราะบางต่ำมากได้แก่ อัตราการกัดเซาะชายฝั่ง ความลาดชันชายฝั่ง การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความหนาแน่นของประชากร และโครงสร้างชายฝั่ง โดยโครงสร้างชายฝั่งและการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นตัวแปรสำคัญในการวิเคราะห์ความเปราะบางของชายฝั่ง เนื่องจากโครงสร้างชายฝั่งมีผลต่ออัตราการกัดเซาะ และการใช้ประโยชน์ที่ดินมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของประชากร



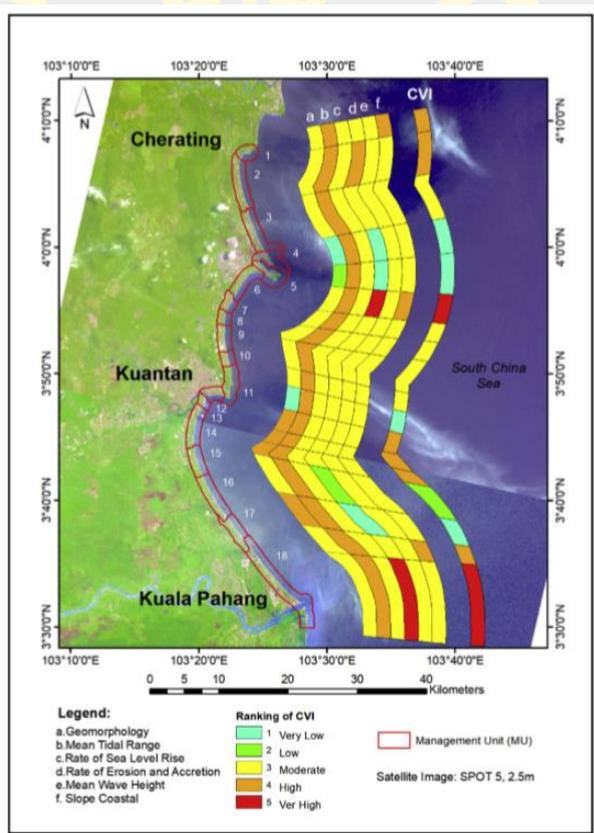
ภาพที่ 2-23 แผนที่แสดงความเปราะบางบริเวณชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์
(Nidhinrangkoon and Ritphring, 2019)

Sahoo and Bhaskaran (2018) ศึกษาความเปราะบางบริเวณชายฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ในรัฐโอดิสซา เนื่องจากบริเวณดังกล่าวประสบกับพายุไซโคลนจำนวนมากที่สุดเมื่อเทียบกับรัฐเบงกอลตะวันตก รัฐอานธรประเทศ และรัฐทมิฬนาฑู จึงพิจารณาถึงผลกระทบทางกายภาพสิ่งแวดล้อมสังคมและเศรษฐกิจต่อความเปราะบางของชายฝั่ง นอกจากนี้ยังพิจารณาถึง

สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยใช้ตัวแปร 10 ตัวแปร ได้แก่ ความลาดชันชายฝั่ง ระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง พิสัยน้ำเฉลี่ย ความสูงนัยสำคัญเฉลี่ย ธรณีสัณฐาน ปริมาณน้ำฝน ความสูงคลื่นพายุซัดฝั่ง พื้นที่น้ำท่วม ความรุนแรงของการเกิดพายุไซโคลน เพื่อประเมินดัชนีความเปราะบางทางกายภาพ (Physical Vulnerability Index: PVI) หลังจากนั้นได้มีการใช้ PVI พร้อมกับความเปราะบางทางสังคมเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมเพื่อกำหนดดัชนีความเปราะบางชายฝั่ง (Coastal Vulnerability Index: CVI) โดยรวม โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ผลการศึกษาพบว่าในเคนดราปาราและจากัดซิงห์ปุรี ที่ตั้งอยู่ใน Odisha ตอนกลางเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงสุดในขณะที่พื้นที่ทางตอนเหนือมีความเสี่ยงปานกลาง

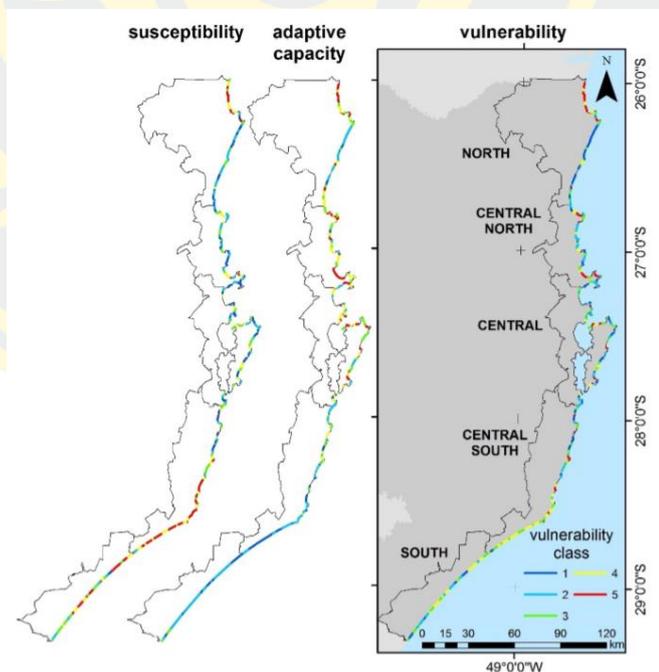
Hoque et al. (2019) ศึกษาความเปราะบางของพื้นที่ชายฝั่งตะวันออกของบังกลาเทศ ซึ่งมีชายฝั่งยาว 377 กิโลเมตร มีความเสี่ยงสูงต่อเหตุการณ์อันตรายหลายอย่าง เช่น พายุหมุนเขตร้อน น้ำท่วมชายฝั่ง การกัดเซาะชายฝั่ง และการรุกคืบของความเค็ม ความเปราะบางของพื้นที่ชายฝั่งนี้มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หากในอนาคตสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง ในการพิจารณาความเปราะบางเน้นพิจารณาทางด้านกายภาพโดยใช้ตัวแปร 8 ตัวแปร ได้แก่ ระดับความสูง ความลาดชันชายฝั่ง ธรณีสัณฐานวิทยา ความสูงคลื่นพายุซัด ความลึกของท้องน้ำ อัตราการกัดเซาะชายฝั่ง การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล พิสัยน้ำ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า แนวชายฝั่งประมาณ 121 กิโลเมตร (คิดเป็นร้อยละ 32 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด) ของพื้นที่ศึกษาที่มีความเปราะบางสูงถึงสูงมาก ระดับความสูงต่ำลาดชันชายฝั่งน้อย ผลกระทบจากความสูงพายุคลื่นซัดฝั่ง แนวชายฝั่งเป็นพื้นที่ทราย อัตราการกัดเซาะชายฝั่งสูง และการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลสูงขึ้น เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดของพื้นที่เสี่ยงสูงถึงสูงมาก พื้นที่เสี่ยงปานกลางครอบคลุมแนวชายฝั่งประมาณ 119 กิโลเมตร (คิดเป็นร้อยละ 32 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด) ในขณะที่เดียวกันแนวชายฝั่ง 78 กิโลเมตร (คิดเป็นร้อยละ 21 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด) และ 59 กิโลเมตร (คิดเป็นร้อยละ 16 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด) อยู่ในพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่ำถึงต่ำมากตามลำดับ แนวชายฝั่งเหล่านี้มีลักษณะเป็นทางลาดชันที่มีระดับความสูงมาก พิสัยน้ำขึ้นน้ำลง และความสูงของคลื่นพายุซัดฝั่งน้อย รวมทั้งการกัดเซาะน้อย ซึ่งผลศึกษานี้สามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนาแผนการบรรเทาผลกระทบที่มีประสิทธิภาพและลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากอันตรายต่อชายฝั่ง

Mohd et al. (2019) การศึกษา CVI ของชายฝั่งเซอราทิง-ปักกัน (Cherating-Pekan) ของรัฐปะหัง (Pahang) เป็นรัฐที่ใหญ่ที่สุดในมาเลเซียตะวันตก ซึ่งบริเวณชายฝั่งได้รับภัยคุกคามต่าง ๆ เช่น น้ำท่วม และการกัดเซาะ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล (SLR) การประเมินความเปราะบางนี้ ประกอบด้วย 6 ตัวแปร ได้แก่ ความลาดชันชายฝั่ง ธรณีสัณฐานวิทยา อัตราการกัดเซาะชายฝั่ง ความสูงคลื่นเฉลี่ย อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล พิสัยน้ำเฉลี่ย (ภาพที่ 2-24) ผลการศึกษาพบว่าตามแนวชายฝั่งเซอราทิง-ปักกัน (Cherating-Pekan) มีความเปราะบางต่ำและต่ำมาก คิดเป็นร้อยละ 5.56 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด และ คิดเป็นร้อยละ 22.22 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ตามลำดับ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลการศึกษานี้ไปใช้ในการกำหนดและใช้มาตรการบรรเทาและปรับตัวในเชิงปฏิบัติการเพื่อแก้ไขผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ชายฝั่ง



ภาพที่ 2-24 แผนที่ความเปราะบางของชายฝั่งเซอราทิง-ปักกัน (Cherating - Pekan) (Mohd et al., 2019)

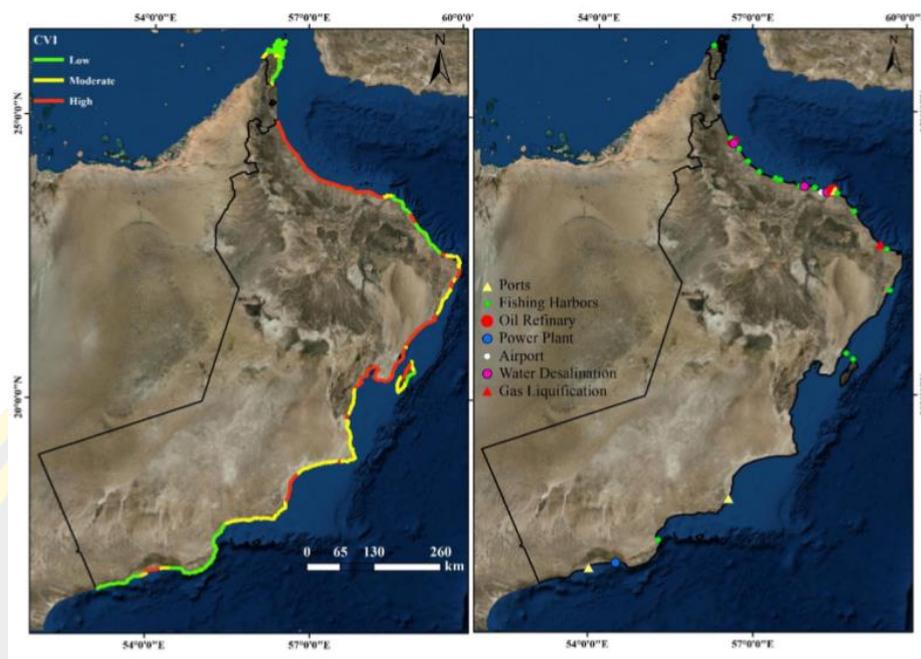
Serafim et al. (2019) ศึกษาความเปราะบางของแนวชายฝั่งของรัฐซานตาคาตารีนา (Santa Catarina) ทางตอนใต้ของบราซิล ต่อสภาพคลื่น ซึ่ง CVI ได้มาจากการรวมดัชนีความสามารถในการปรับตัว (Adaptive Capacity Index: ACI) ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรทางเศรษฐกิจ-สังคม และทำเลที่ตั้ง และดัชนีความอ่อนไหว (Susceptibility Index: SI) ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรทางกายภาพ (ภาพที่ 2-25) การเปลี่ยนแปลงแบบพลวัตของชายฝั่งที่เกิดจากกระบวนการคลื่นใกล้ชายฝั่งได้วิเคราะห์ผ่านแบบจำลองตัวเลขและรวมเข้ากับตัวแปรอื่น ๆ โดยใช้ GIS อีกหนึ่งการศึกษานี้ได้ใช้หลักการวิเคราะห์แบบหลายปัจจัย (Multi Criteria Analysis) และหลังจากนั้นนำความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยมาหาค่าดัชนีโดยได้มาจากการคำนวณการลำดับชั้นการวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) ผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรทางกายภาพถือว่ามีความเกี่ยวข้องมากกว่าตัวแปรทางเศรษฐกิจ-สังคมและทำเลที่ตั้ง โดยทั่วไปทางตอนใต้ของรัฐมีระดับความอ่อนไหวที่สูงกว่า รายได้ต่อคน และจำนวนที่อยู่อาศัยหลังที่สองต่ำกว่าทางเหนือของรัฐ การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของการแพร่กระจายคลื่นมีผลกระทบอย่างมากต่อความเปราะบาง เนื่องจากการกำหนดค่าน้ำหนักตัวแปรที่โดยผู้เชี่ยวชาญและความแปรปรวนสูงของความสูงของคลื่นนัยสำคัญตามแนวชายฝั่งของรัฐ



ภาพที่ 2-25 แผนที่ความเปราะบางของชายฝั่งรัฐซานตาคาตารีนา (Santa Catarina) (Serafim et al., 2019)

Mullick et al. (2019) ศึกษาดัชนีความเปราะบางของชายฝั่งทางตะวันตกเฉียงใต้ของบังกลาเทศแบบบูรณาการ (Composite Vulnerability Index: CVI) ซึ่งประกอบด้วยดัชนีย่อย 3 ดัชนี ได้แก่ ดัชนีย่อยลักษณะทางกายภาพของชายฝั่ง (Coastal Characteristics Vulnerability sub-index: CCVI) ดัชนีย่อยที่ควบคุมชายฝั่ง (Coastal Forcing Vulnerability Sub-index: CFVI) ดัชนีย่อยทางด้านสังคมและเศรษฐกิจ (Socio-economic vulnerability sub-index: SEVI) การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าชายฝั่งจิตตะกอง (Chittagong coast) และเขตเฟนี (Feni district) มีความเสี่ยงสูงมาก พิสัยน้ำกว้าง (> 4 เมตร) ความหนาแน่นพายุไซโคลน และความลาดชันของชายฝั่งน้อย มีส่วนทำให้ชายฝั่งจิตตะกอง (Chittagong coast) มีความเปราะบางสูง ในทางกลับกันเขตเฟนี (Feni district) แสดง SEVI สูงสุดซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นของประชากรสูงและสภาพเศรษฐกิจและสังคม นอกจากนี้ป่าชายเลนส่งผลให้ CFVI ลดลงซึ่งช่วยลดความเปราะบางของเขตปิโรจปุระ (Pirojpur), สาทคยีรา (Shatkhira), เขตขุลนา (Khulna) และเขตพาเกรหาฏะ (Bagherhat) ซึ่งเป็นเขตทางตะวันตกเฉียงใต้ของบังกลาเทศ

Hereher et al., (2020) ได้วิเคราะห์ CVI ของชายฝั่งโอมานต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลอย่างฉับพลันจากพายุไซโคลนและสึนามิ โดยใช้ตัวแปรทางกายภาพ 5 ตัวแปร ได้แก่ ธรณีสัณฐานวิทยา ระดับความสูง ความลาดชันชายฝั่ง พิสัยน้ำ และความลึกท้องทะเล ซึ่งในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ได้ใช้ GIS ดำเนินการเพื่อจัดการและประมวลผลความเปราะบางของชายฝั่งจากข้อมูลที่รวบรวมได้ ผลการวิจัยพบว่า พื้นที่ชายฝั่งที่มีความเปราะบางสูงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลคิดเป็น 805 กิโลเมตร โดยแสดงระดับความเปราะบางในแผนที่ (ภาพที่ 2-26) ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ตามที่ราบอัลบาฏินะฮ์เหนือ (Al-Batinah) โดยการตั้งถิ่นฐานและโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญจัดอยู่ในระดับความเปราะบางสูง พื้นที่ชายฝั่งที่มีความเปราะบางปานกลางคิดเป็น 695 กิโลเมตร ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่บริเวณแหลมทะเลอาหรับ (Arabian Sea) ในขณะที่ชายฝั่งที่มีความเปราะบางต่ำ ได้แก่ คาบสมุทรมุซันดัม (Musandam) และชายฝั่งตะวันออก

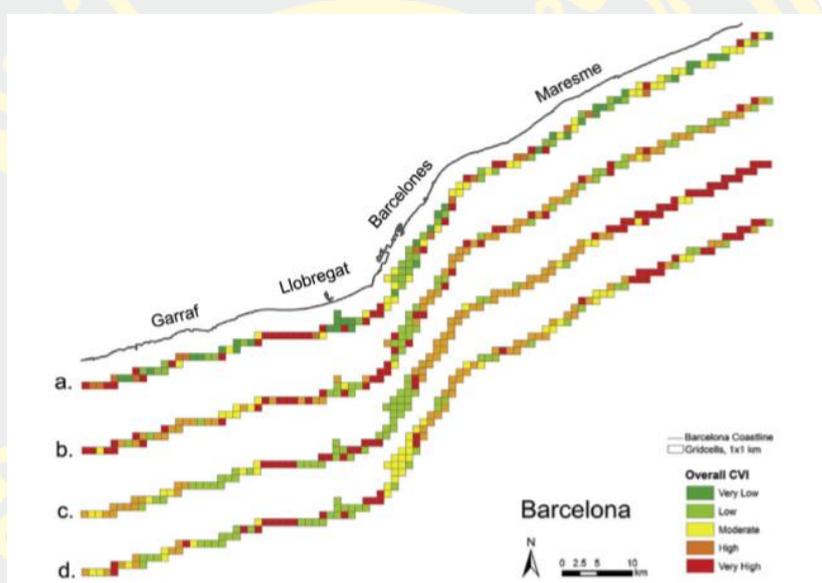


ภาพที่ 2-26 แผนที่ความเปราะบางของชายฝั่งโอมาน (Oman)
(Hereher et al., 2020)

Shetty et al. (2019) ได้การประเมินความเปราะบางชายฝั่งของรัฐकर्णाฏกะ (Karnataka) ชายฝั่งตะวันตกเฉียงใต้ของอินเดียต่อการกัดเซาะ ซึ่งมีตัวแปรที่ใช้ในการประเมินความเปราะบาง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงการกัดเซาะชายฝั่ง การใช้ประโยชน์ที่ดิน ธรณีสัณฐานวิทยา ธรณีวิทยา ระดับความสูง และความลึกที่ท้องทะเล โดยใช้เทคนิคการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing: RS) และ GIS ผลการศึกษาพบว่า ร้อยละ 87 ของพื้นที่การศึกษา (265 กิโลเมตร) ของแนวชายฝั่งมีความเปราะบางต่อการกัดเซาะคิดเป็นร้อยละ 59 ของพื้นที่การศึกษา (179.5 กิโลเมตร) ของแนวชายฝั่งที่ถูกกัดเซาะ ชายฝั่งทางตอนใต้มีการกัดเซาะและความเปราะบางสูง นอกจากนั้นบริเวณที่มีการแทรกแซงของมนุษย์นั้นมีความโน้มที่การกัดเซาะมากที่สุด

Koroglu et al. (2019) ได้เปรียบเทียบและประเมินวิธีการต่าง ๆ เพื่อกำหนด CVI และเพื่อแนะนำวิธีการที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถนำไปใช้โดยทั่วไปในการประเมินความเปราะบางของชายฝั่ง โดยมีแนวทางที่เสนอโดย Gornitz (1991), Shaw et al. (1998), Thieler and Hammar-Klose (2000) และ Lopez et al. (2016) ได้นำไปใช้ตามแนวชายฝั่งทะเลบาร์เซโลนาของสเปน โดยที่ระดับความเปราะบางโดยรวมคำนวณด้วยสมการของ Gornitz (1991) ซึ่งบอกถึงความแปรปรวนตั้งแต่ระดับความเปราะบางสูงถึงระดับความเปราะบางต่ำมาก จากการศึกษาพบว่า ในการวิเคราะห์ชายฝั่ง

มาเรสเม (Maresme) วิธีของ Shaw et al. (1998) และ Gornitz (1991). แสดงให้เห็นว่าชายฝั่งบริเวณนี้มีความเปราะบางสูง ในทางกลับกันวิธีของ Lopez et al. (2016) และ Thieler and Hammar-Klose (2000) แสดงให้เห็นว่าชายฝั่งมีความเปราะบางต่ำ (ภาพที่ 2-27) แม้ว่าวิธีการทั้งหมดจะพิจารณาความเปราะบางของชายฝั่งด้วยวิธีเดียวกัน แต่ก็ให้ค่าความเปราะบางที่แตกต่างกันเนื่องจากความแตกต่างในการจัดอันดับ ดังนั้นตารางการจัดอันดับสร้างขึ้นจากฐานข้อมูลเฉพาะที่อาจจะไม่สามารถใช้กับที่อื่นได้ จึงต้องมีการจัดอันดับเฉพาะในแต่ละพื้นที่เพื่อคำนวณ CVI โดยรวมและเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เชื่อถือได้ของชายฝั่ง



ภาพที่ 2-27 ดัชนีความเปราะบางของชายฝั่งบาร์เซโลนา

a. Lopez et al., 2016; b. Thieler and Hammar-Klose, 2000; c. Shaw et al., 1998; d. Gornitz, 1991. (Koroglu et al., 2019)

จากการทบทวนงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ทราบว่ากระบวนการทางธรรมชาติของชายฝั่งและกิจกรรมของมนุษย์เป็นตัวเร่งให้เกิดการกัดเซาะ ทำให้เกิดการสูญเสียที่ดินและทรัพย์สินในบริเวณชายฝั่ง ซึ่งอัตราการกัดเซาะเป็นเสมือนตัวบ่งชี้ถึงความเปราะบางของพื้นที่ชายฝั่งต่อกระบวนการชายฝั่ง เช่น คลื่นหรือลมที่เคลื่อนตัวเข้าหาชายฝั่ง ความชันของพื้นที่ชายฝั่ง ลักษณะทางธรณีสัณฐาน กัดเซาะพื้นที่ชายฝั่ง ซึ่งการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในแต่ละการศึกษามีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และลักษณะของพื้นที่ศึกษานั้น ๆ อย่างไรก็ตาม การประเมินความเปราะบางของชายฝั่งหลายจังหวัดในประเทศไทย จะมีเกณฑ์การจัดลำดับที่คล้ายคลึงกัน โดยอ้างอิง

จากการประเมินความเปราะบางของชายฝั่งต่างประเทศ ผู้วิจัยได้นำความรู้ในการกำหนดตัวแปรมาประยุกต์ใช้ในการศึกษานี้ด้วย ซึ่งตัวแปรที่นำมาใช้ ได้แก่ ความลาดชันชายฝั่ง อัตราการกัดเซาะชายฝั่ง พืชย่น้ำ ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย ความหนาแน่นของประชากร และการใช้ประโยชน์ที่ดิน นอกจากนี้ยังมีตัวแปรพื้นที่ป่าชายเลนอีกด้วย ซึ่งการกำหนดพื้นที่ศึกษาเข้ามาในแผ่นดิน กัทลีคุรุกุล และกาญจนา นาคะภากร (2557) ศึกษาความเปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งจังหวัดสมุทรสงคราม ระยะทาง 23 กิโลเมตร โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาเข้ามาในแผ่นดินเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร Duriyapong, F. and Nakhapakorn, K. (2011) ศึกษาความเปราะบางชายฝั่งจังหวัดสมุทรสาคร โดยใช้ขอบเขตตำบลชายฝั่งทะเลเป็นขอบเขตการศึกษาตามแนวชายฝั่ง ระยะทาง 41.8 กิโลเมตร และศึกษาเข้าไปในแผ่นดินเป็นระยะทาง 500 เมตร อรอร สารจิตต์ (2556) ศึกษาความเปราะบางชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี โดยใช้ขอบเขตตำบลชายฝั่งทะเลเป็นขอบเขตการศึกษาตามแนวชายฝั่งระยะทาง 91.2 กิโลเมตร และศึกษาเข้าไปในแผ่นดินเป็นระยะทาง 500 เมตร เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ โครงการความร่วมมือการพัฒนากระบวนการข้อมูลเชิงพื้นที่การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งทะเลไทย ระหว่าง กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2559) ซึ่งเป็นโครงการติดตามการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งทะเลประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ในการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมทางทะเลและชายฝั่ง รวมถึงการประเมินค่าดัชนีความเปราะบางชายฝั่ง (Coastal Vulnerability Index) เพื่อเป็นฐานข้อมูลกลางในการติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งในภาพรวม ซึ่งในโครงการดังกล่าวได้กำหนดขอบเขตการศึกษาไว้ที่ระยะ 500 เมตร จากแนวชายฝั่ง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

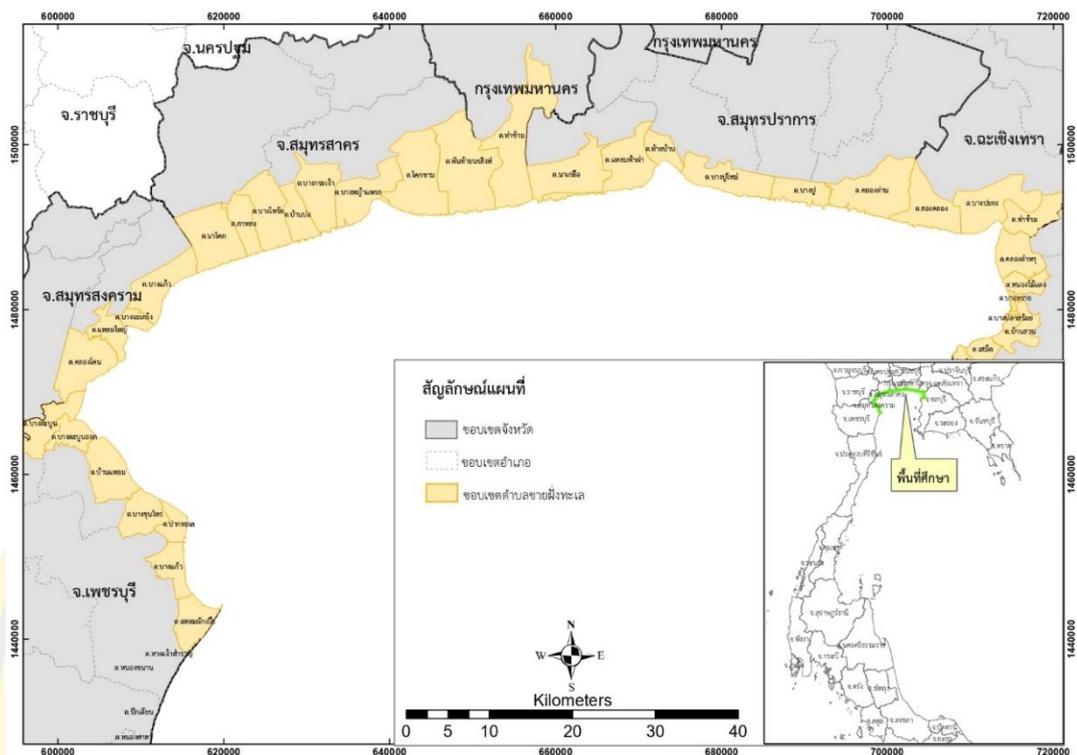
บทนี้อธิบายถึงวิธีการดำเนินการวิจัย ซึ่งการศึกษานี้เป็นการศึกษาดัชนีความเปราะบางของชายฝั่ง ซึ่งผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาปัจจัยทั้งบนบกและในทะเลที่มีผลต่อการกัดเซาะชายฝั่ง ได้แก่ ปัจจัยเรื่องความชันชายฝั่ง อัตราการกัดเซาะ ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย การใช้ที่ดิน จำนวนประชากร และความกว้างของป่าชายเลน โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษารั้งนี้ได้เลือกพื้นที่ชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน เนื่องจากบริเวณอ่าวไทยตอนบนตั้งแต่ปากแม่น้ำบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา จนถึงปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร เป็นพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวและมีการกัดเซาะขั้นรุนแรงมากที่สุด ส่วนกรุงเทพมหานครปัจจุบันชายฝั่งทะเลบางขุนเทียนประสบกับปัญหาการกัดเซาะอย่างรุนแรง บริเวณที่เคยเป็นที่ตั้งของชุมชนบางขุนเทียน ถูกน้ำทะเลกัดเซาะจนปัจจุบันกลายเป็นผืนน้ำทะเล และส่วนพื้นที่ป่าชายเลนด้านติดทะเล รวมถึงพื้นที่บ่อกึ่งจะหมดไปภายในระยะเวลา 30 ปี เพราะความแปรปรวนของกระแสคลื่นลม และผืนป่าชายเลนที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ ดังนั้นพื้นที่ศึกษาจะพิจารณาเฉพาะพื้นที่ตำบลที่อยู่ติดชายฝั่ง รวม 201.36 กิโลเมตร มีขอบเขตครอบคลุมพื้นที่ 7 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร สมุทรสาคร สมุทรสงคราม และเพชรบุรี รวม 9 อำเภอ ดังตารางที่ 3-1 (ภาพที่ 3-1) โดยจัดแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นเขตการปกครองระดับตำบลที่อยู่ริมชายฝั่ง และกำหนดขอบเขตการศึกษาเข้าไปในแผ่นดิน เป็นระยะทาง 500 เมตร เนื่องจากพิจารณาแล้วเห็นว่าบริเวณดังกล่าวอยู่ภายในเขตอิทธิพลของชายฝั่งทะเล และมีการใช้ประโยชน์ที่เกี่ยวข้องหรือส่งผลกระทบต่อพื้นที่ชายฝั่งทะเลอย่างมาก

ตารางที่ 3-1 พื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน

ชื่อกลุ่มหาด (Littoral cell)	จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	ความยาวของ กลุ่มหาด (กม.)		
U	ชลบุรี	เมืองชลบุรี	อ่างศิลา, เสม็ด, บ้านสวน, บางปลา สร้อย, บางทราย, หนองไม้แดง, คลองตำหรุ	201.36		
			ระยอง		บางปะกง, สองคลอง	
			สมุทรปราการ		บางบ่อ เมืองสมุทรปราการ พระสมุทรเจดีย์	คลองด่าน บางปู, บางปูใหม่, ท้ายบ้าน แหลมฟ้าผ่า
			กรุงเทพมหานคร		บางขุนเทียน	แขวงท่าข้าม
			สมุทรสาคร		เมืองสมุทรสาคร	พันท้ายนรสิงห์, โคกขาม, บางหญ้า แพรก, บางกระเจ้า, บ้านบ่อ, บางโหนด, กาหลง, นาโคก
			สมุทรสงคราม		เมืองสมุทรสงคราม	บางแก้ว, บางจะ เกร็ง, แหลมใหญ่, คลองโคน
			เพชรบุรี		บ้านแหลม	บางตะบูน, บาง ตะบูนออก, บ้าน แหลม, แหลม ผักเบี้ย, บางขุนไทร, ปากทะเล, บางแก้ว



ภาพที่ 3-1 ขอบเขตการศึกษา

ปัจจัยที่มีผลต่อความเปราะบางของชายฝั่ง

การศึกษาดังนี้ความเปราะบางของชายฝั่ง บริเวณอ่าวไทยตอนบน มีการพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อความเปราะบาง ได้แก่ ความลาดชันชายฝั่ง อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ความสูงคลื่น น้ำสำคัญเฉลี่ย พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความหนาแน่นของประชากร และความกว้างของป่าชายเลน ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นข้อมูลที่มีการจัดเก็บโดยหน่วยงานหรือส่วนราชการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยมีรายละเอียดของแหล่งข้อมูลและการรวบรวมข้อมูลดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 แหล่งข้อมูลและการรวบรวมข้อมูล

ปัจจัย	การรวบรวมข้อมูล
ความลาดชันชายฝั่ง	แบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) ในรูปแบบ ASTER GDEM 1 ARCSEC (30 เมตร)
อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจาก Google Earth
ความสูงคลื่นน้ำสำคัญเฉลี่ย	รวบรวมข้อมูลโดยการประมวลผลจากแบบจำลองพยากรณ์คลื่นลมในทะเล (ocean wave forecast model) หรือ The WAM model จากกรมอุตุนิยมวิทยา
พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย	รวบรวมข้อมูลจากผลการตรวจวัดระดับน้ำขึ้น-น้ำลง จากสถานีตรวจวัดระดับน้ำทะเล จากกรมเจ้าท่า
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	รวบรวมฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ (GIS data) ด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินมาตราส่วน 1:100,000 จากกรมพัฒนาที่ดิน
ความหนาแน่นของประชากร	รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิด้านประชากรและครัวเรือนเป็นรายตำบล จากสำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง
ความกว้างของป่าชายเลน	รวบรวมฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ (GIS data) ด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินมาตราส่วน 1:100,000 จากกรมพัฒนาที่ดิน

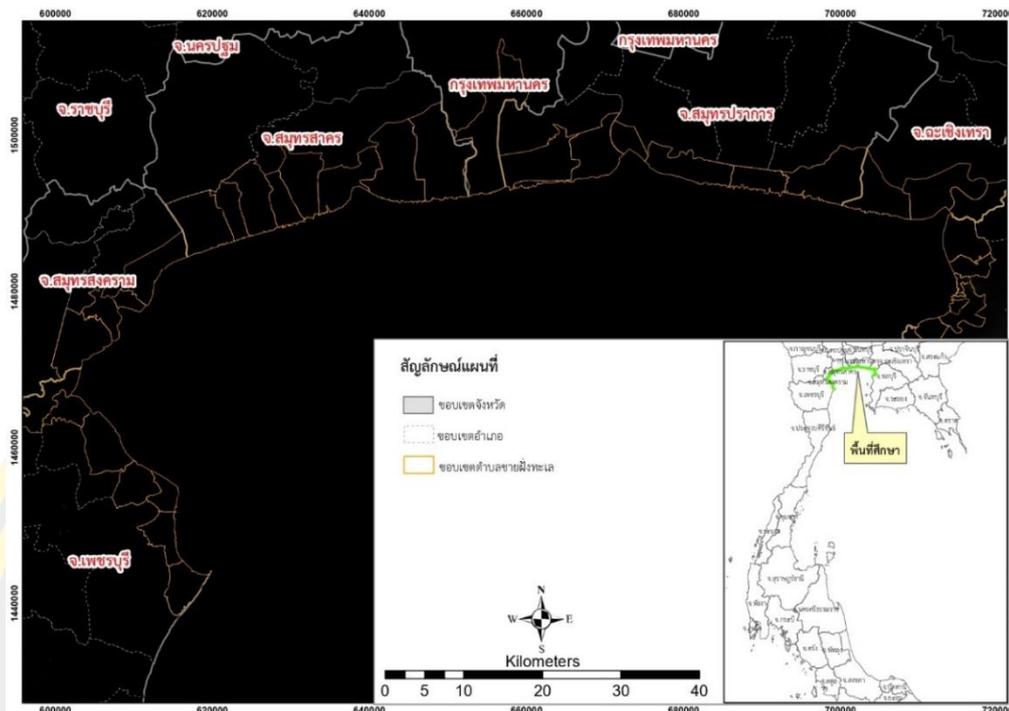
1. ความลาดชันชายฝั่ง

ความลาดชันชายฝั่งเป็นลักษณะทางกายภาพของชายฝั่งที่แสดงให้เห็นถึงความประอบางของชายฝั่งต่อการเกิดน้ำท่วมและอัตราการถล่มของชายฝั่ง ซึ่งความลาดชันของชายฝั่งคืออัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงกับระยะทางแนวนอนระหว่างจุดสองจุดใด ๆ บนชายฝั่งที่ตั้งฉากกับแนวชายฝั่งและสามารถประมาณได้โดยใช้ความลึกของมหาสมุทรเทียบกับ

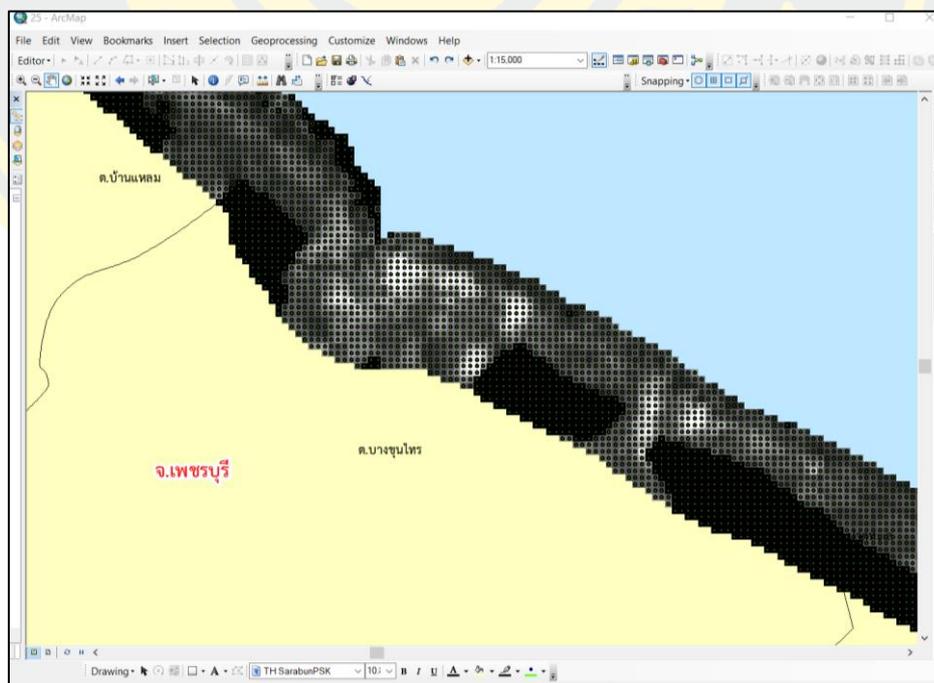
ระดับน้ำทะเลใกล้ชายฝั่ง ความลาดชันของชายฝั่งจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการประเมินความเปราะบางของชายฝั่ง เพราะยิ่งชายฝั่งมีความลาดชันน้อยยิ่งเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและสูญเสียที่ดินบริเวณชายฝั่ง เมื่อเทียบกับพื้นที่ที่มีความลาดชันมาก ดังนั้นพื้นที่ชายฝั่งที่มีความลาดชันน้อยจึงถูกพิจารณาว่าเป็นพื้นที่เปราะบางสูงและพื้นที่ที่มีความลาดชันมากมีความเปราะบางต่ำ ซึ่งความลาดชันของชายฝั่งคำนวณองศาหรือเป็นเปอร์เซ็นต์โดยใช้โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ข้อมูลความลาดชันชายฝั่งที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นชุดข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model) ซึ่งเป็นข้อมูล ASTER GDEM ความละเอียด 30 เมตร ซึ่งสามารถดาวน์โหลดผ่านทางเว็บไซต์ <https://earthexplorer.usgs.gov/> ในรูปแบบข้อมูลราสเตอร์ (Raster) (ภาพที่ 3-2) จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณหาความลาดชันในโปรแกรม ArcGIS 10.5 (ภาพที่ 3-3) และนำมาจำแนกระดับความเปราะบาง ดังตารางที่ 3-3 โดยอ้างอิงตามเกณฑ์ของกัทลี คุรุกุล และกาญจนา นาคะภากร (2557) และ Duriyapong and Nakhapakorn (2011) ดังนี้

ตารางที่ 3-3 การจำแนกระดับความเปราะบางตัวแปรความลาดชันชายฝั่ง

ระดับความเปราะบาง	ความลาดชันชายฝั่ง (%)
ต่ำมาก (1)	> 0.20%
ต่ำ (2)	0.20 – 0.07%
ปานกลาง (3)	0.07 – 0.04%
สูง (4)	0.04 – 0.025%
สูงมาก (5)	< 0.025%



ภาพที่ 3-2 ข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model) บริเวณพื้นที่ศึกษา

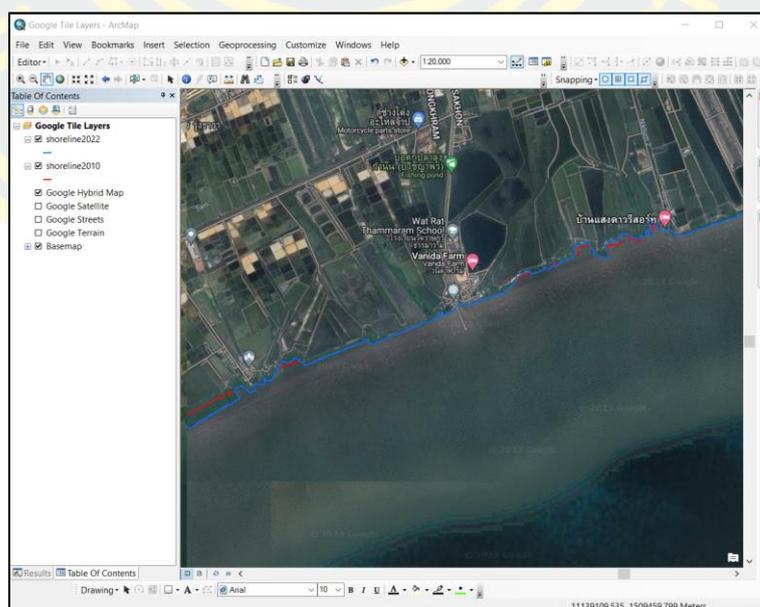


ภาพที่ 3-3 กำหนดหาความลาดชันใน โปรแกรม ArcGIS โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ.2562

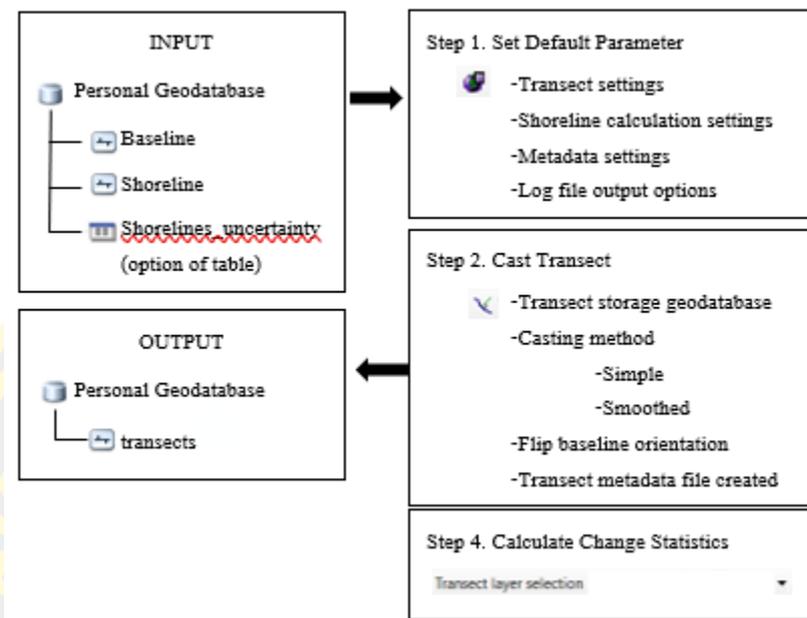
2. อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งอาจเกิดขึ้นได้จากมนุษย์และกระบวนการทางธรรมชาติ ซึ่งชายฝั่งทะเลมีการเปลี่ยนแปลงแบบไดนามิกและเปลี่ยนแปลงไปตามกระบวนการและเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่ซับซ้อนมากเนื่องจากแนวโน้มทั่วไปจะแปรผันตามเวลา ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้โดยการวัดความแตกต่างในอดีตและตำแหน่งปัจจุบันของแนวชายฝั่งผ่านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) อีกทั้งการกัดเซาะและการทับถมเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่ง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงเส้นแนวชายฝั่ง จึงถูกใช้เป็นพารามิเตอร์เพื่อประเมินความเปราะบางของชายฝั่ง ซึ่งแนวชายฝั่งที่เกิดการทับถมของตะกอนถือได้ว่ามีความเปราะบางต่ำที่สุด และแนวชายฝั่งที่กัดเซาะได้รับการพิจารณาว่ามีความเปราะบางสูงที่สุด

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจะคำนวณเนื้อที่ที่ถูกกัดเซาะและเนื้อที่ที่งอกเพิ่มขึ้น โดยใช้การเปรียบเทียบเส้นแนวชายฝั่งปี 2559 และ 2562 (ภาพที่ 3-4) ด้วยเทคนิคการวางซ้อน (Overlay Technique) ด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์โปรแกรม ArcGIS 10.5 ซึ่งสามารถคำนวณพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะและงอกเพิ่มขึ้นได้ และใช้โปรแกรม Digital Shoreline Analysis System (DSAS) ซึ่งเป็นส่วนต่อเนื่อง (Extension) ที่ทำงานบนโปรแกรม ArcGIS โดยมีขั้นตอนการทำงานดังภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-4 แสดงเส้นแนวชายฝั่งปี 2559 และ 2562



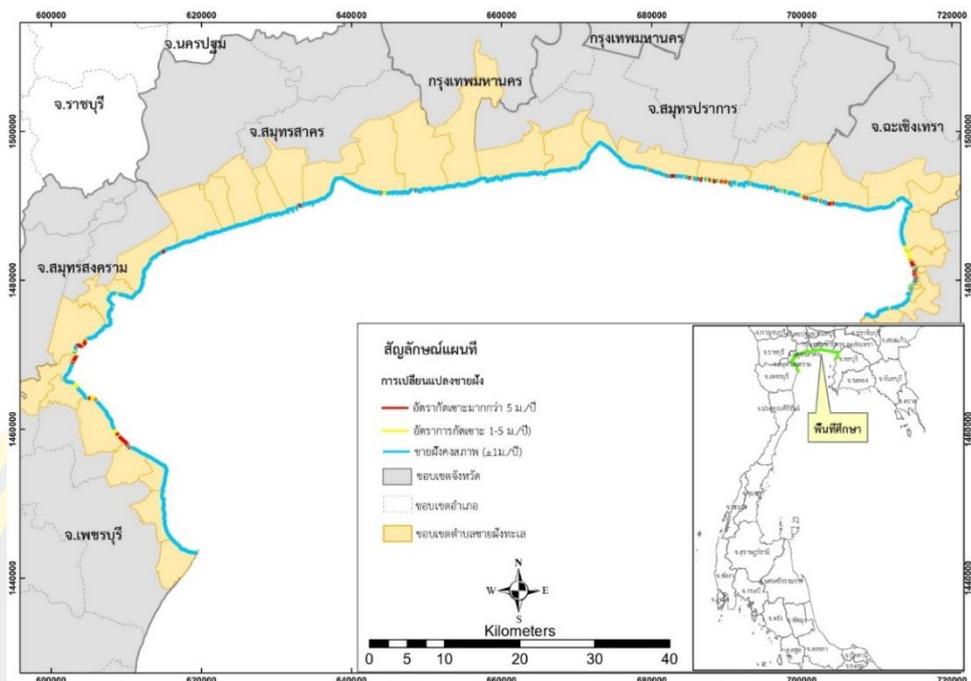
ภาพที่ 3-5 ขั้นตอนการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดย DSAS

(Himmelstoss et al., 2009)

การจำแนกระดับความประะบางของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ดังตารางที่ 3-4 โดยใช้ อัตราการกัดเซาะแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับตามความรุนแรงของการกัดเซาะ (ภาพที่ 3-6) ซึ่งอ้างอิงเกณฑ์การจำแนกระดับความประะบางของสุรศักดิ์ บุญลือ (2551) ดังนี้

ตารางที่ 3-4 การจำแนกระดับความประะบางตัวแปรอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

ระดับความประะบาง	อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง (เมตร / ปี)
ต่ำมาก (1)	ชายฝั่งถูกกัดเซาะ 1 เมตรต่อปี หรือถูกทับถมไม่เกิน 1 เมตรต่อปี
ปานกลาง (3)	ชายฝั่งถูกกัดเซาะ 1-5 เมตรต่อปี
สูงมาก (5)	ชายฝั่งถูกกัดเซาะมากกว่า 5 เมตรต่อปี



ภาพที่ 3-6 อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา

3. ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย

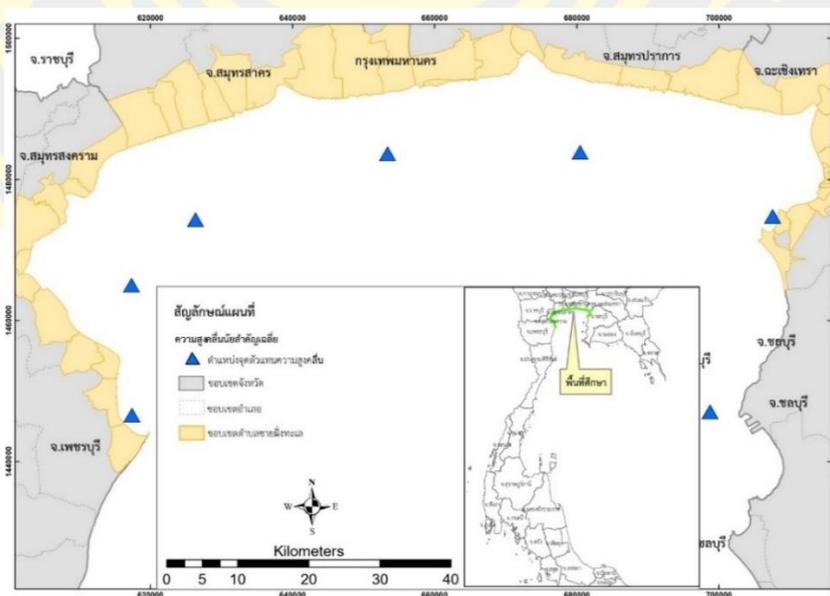
ความสูงของคลื่นมีนัยสำคัญเป็นการคำนวณความสูงเฉลี่ยของคลื่นหนึ่งในสามที่สูงสุด มีบทบาทสำคัญเคลื่อนที่ของตะกอน และถูกใช้เป็นตัวแปรในการศึกษาความแปรปรวนจำนวนมาก เนื่องจากส่งผลกระทบต่ออัตราการกัดเซาะชายฝั่งและน้ำท่วมซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่ง เมื่อความสูงของคลื่นเพิ่มขึ้น พลังงานคลื่นจะเพิ่มขึ้นตามและส่งผลต่อการกัดเซาะชายฝั่ง ดังนั้นพื้นที่ชายฝั่งที่มีความสูงของคลื่นสูงจึงถือว่าเป็นชายฝั่งที่มีความเสี่ยงมากกว่าและพื้นที่ที่มีความสูงของคลื่นต่ำเป็นชายฝั่งที่มีความเสี่ยงน้อยกว่า

การวิเคราะห์ความสูงคลื่นนัยสำคัญโดยใช้แบบจำลองพยากรณ์คลื่นลมในทะเล (Ocean Wave Forecast Model: WAM Model) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากศูนย์อุตุนิยมวิทยาทะเล กรมอุตุนิยมวิทยา โดยกำหนดจุดตัวแทนในการวัดระดับความสูงคลื่นในแต่ละจังหวัดชายฝั่งทะเลดัง (ภาพที่ 3-7) กำหนดช่วงข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาจำนวน 5 ปีย้อนหลัง ระหว่างปี พ.ศ. 2558 - 2562 ข้อมูลที่ได้รับเป็นความสูงคลื่นราย 3 ชั่วโมง นำข้อมูลมาจัดเรียง และคำนวณหาค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ยรายปีจนครบทั้ง 5 ปี จากนั้นนำความสูงคลื่นนัยสำคัญทั้ง 5 ปี มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ทำให้ได้ข้อมูลความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ยที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษาในแต่ละบริเวณ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-5 ต่อจากนั้นนำค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญที่ได้มาจำแนกระดับความ

เปราะบาง ดังตารางที่ 3-6 โดยอ้างอิงตามเกณฑ์ของกัทลี คุรุกุล และ กาญจนานาคะภากร (2557) และ Duriyapong and Nakhapakorn (2011) ดังนี้

ตารางที่ 3-5 ข้อมูลระดับความสูงคลื่นนัยสำคัญที่ได้จากแบบจำลอง WAM Model

จังหวัด	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ					เฉลี่ย
	2558	2559	2560	2561	2562	
ชลบุรี	0.183	0.232	0.279	0.241	0.267	0.240
ฉะเชิงเทรา	0.005	0.140	0.185	0.165	0.176	0.134
สมุทรปราการ	0.116	0.216	0.273	0.244	0.253	0.221
กรุงเทพมหานคร	0.091	0.237	0.302	0.276	0.277	0.237
สมุทรสาคร	0.093	0.224	0.293	0.270	0.264	0.229
สมุทรสงคราม	0.040	0.229	0.296	0.273	0.264	0.220
เพชรบุรี	0.004	0.252	0.330	0.302	0.297	0.237



ภาพที่ 3-7 ตำแหน่งตัวแทนความสูงคลื่น

ตารางที่ 3-6 การจำแนกระดับความเปราะบางตัวแปรความสูงคลื่นนัยสำคัญ

ระดับความเปราะบาง	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (เมตร)
ต่ำมาก (1)	< 0.55
ต่ำ (2)	0.55 – 0.85
ปานกลาง (3)	0.85 – 1.05
สูง (4)	1.05 – 1.25
สูงมาก (5)	> 1.25

4. พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย

พิสัยน้ำ คือความแตกต่างระหว่างน้ำขึ้นสูงและน้ำลง ซึ่งพิสัยน้ำทำให้เกิดน้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและคลื่นพายุซัดฝั่ง รวมทั้งพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงกว้างยังทำให้เกิดการกัดเซาะและการเคลื่อนย้ายตะกอนมากขึ้น ซึ่งตัวแปรนี้ถูกนำมาใช้ในการประเมินความเปราะบางแต่มีความแตกต่างกันไปในแต่ละการศึกษา โดยการศึกษาของ Gornitz et al. (1994), Doukakis (2005), Diez et al. (2007), Kumar et al. (2010), Duriyapong and Nakhapakorn (2011) พิจารณาชายฝั่งที่มีพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงกว้างถือว่ามีความเปราะบางสูงจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล เนื่องจากพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงกว้างมีความสัมพันธ์กับกระแสน้ำที่ไหลแรงซึ่งสามารถทำให้ตะกอนเคลื่อนที่ออกจากชายฝั่งได้ แต่ใน การศึกษาของ Pendleton et al. (2005), Ozyurt and Ergin (2010), Gaki-Papanastassiou et al. (2010) พิจารณาชายฝั่งที่มีความเปราะบางมากที่สุดคือชายฝั่งที่มีพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงแคบ เนื่องจากพื้นที่ชายฝั่งที่มีพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงสูงมีความสามารถในการปรับตัวได้สูงต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล แต่ในทางกลับกันชายฝั่งที่น้ำลงอาจจะมึน้ำสูงขึ้นในช่วงที่เกิดพายุ ทำให้เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมและการกัดเซาะชายฝั่ง

สำหรับการศึกษานี้ศึกษาความเปราะบางในสภาวะที่ไม่มีพายุ จึงพิจารณาบริเวณที่มีพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงกว้างมีความเปราะบางต่อการกัดเซาะสูง ในขณะที่บริเวณที่มีพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงแคบมีความเปราะบางต่อการกัดเซาะต่ำ ซึ่งวิเคราะห์ข้อมูล โดยทำการแบ่งครึ่งระยะห่างระหว่าง 2 สถานีวัดระดับน้ำ และพิจารณาพื้นที่ชายฝั่ง หากพื้นที่ชายฝั่งนั้น ๆ อยู่ใกล้สถานีวัดระดับน้ำใดให้เลือกใช้ข้อมูลพิสัยน้ำจากสถานีวัดระดับน้ำนั้น ๆ ดังภาพที่ 3-8 ซึ่งมีข้อมูลจากสถานีตรวจวัดระดับน้ำทะเลทั้งหมด 7 สถานี (ภาพที่ 3-9) ประกอบด้วย สถานีหัวหิน สถานีปากแม่น้ำบางปะกง สถานีบ้านแหลม สถานีสมุทรสาคร สถานีสมุทรสงคราม สถานีสันดอนปากแม่น้ำเจ้าพระยา และสถานีอ่าว

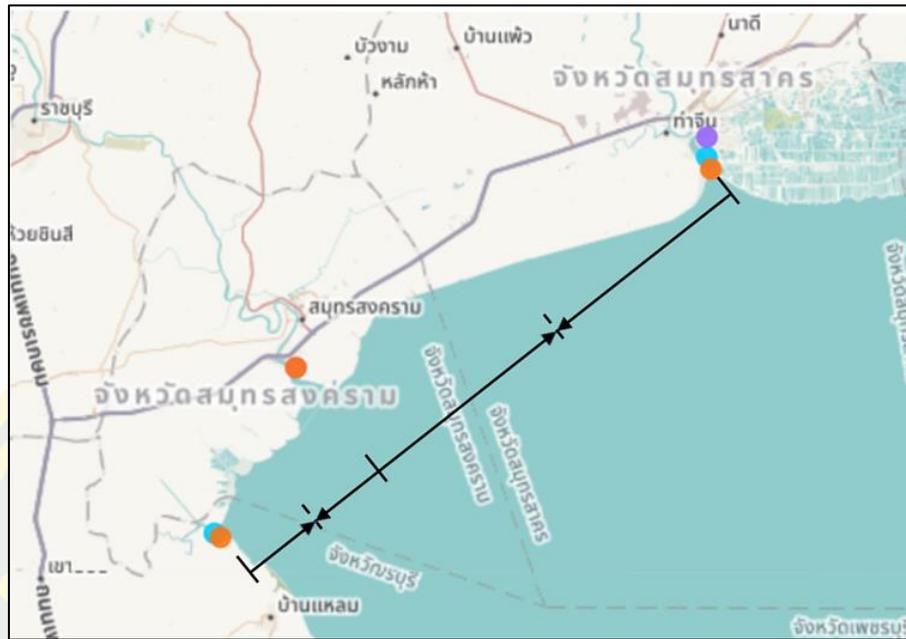
อุดม ดังตารางที่ 3-7 หลังจากนั้นนำข้อมูลมาจำแนกตามเกณฑ์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 3-8 โดยอ้างอิงเกณฑ์ของ กัทลี คุรุกุล และกาญจนา นาคะภากร (2557) และ Duriyapong and Nakhapakorn (2011) ดังนี้

ตารางที่ 3-7 ข้อมูลพิสัยน้ำเฉลี่ยจากสถานีวัดระดับน้ำที่ใช้ในการศึกษา

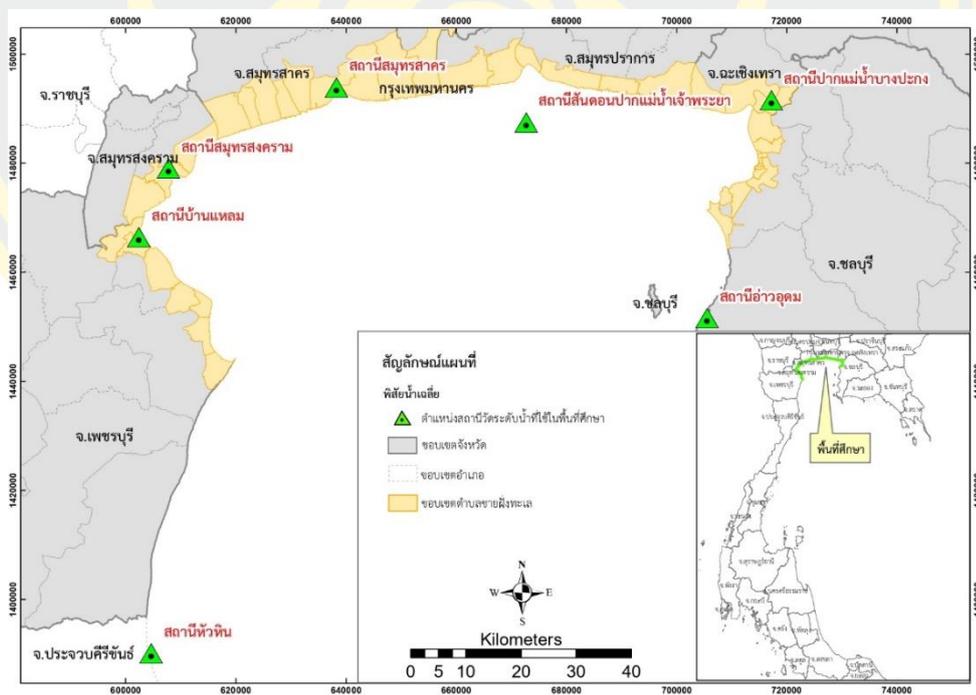
สถานี วัดระดับน้ำ	ระดับน้ำขึ้น เฉลี่ย	ระดับน้ำลง เฉลี่ย	พิสัยน้ำ เฉลี่ย	ช่วงปีข้อมูล	แหล่งข้อมูล
อ่าวอุดม	0.99	-0.8	1.79	2549-2555	กรมเจ้าท่า
ปากแม่น้ำบางปะกง	1.13	-0.74	1.87	2524-2555	กรมเจ้าท่า
สันดอนปากแม่น้ำเจ้าพระยา	0.94	-0.78	1.72	2483-2538	กรมอุทกศาสตร์
สมุทรสาคร	1.14	-0.56	1.70	2520-2555	กรมเจ้าท่า
สมุทรสงคราม	1.04	-0.63	1.67	2520-2555	กรมเจ้าท่า
บ้านแหลม	1.03	-0.76	1.79	2539-2555	กรมเจ้าท่า
หัวหิน	0.79	-0.64	1.43	2535-2548	กรมเจ้าท่า

ตารางที่ 3-8 การจำแนกระดับความแปรปรวนตัวแปรพิสัยน้ำเฉลี่ย

ระดับความแปรปรวน	พิสัยน้ำเฉลี่ย (เมตร)
ต่ำมาก (1)	< 1.0
ต่ำ (2)	1.0 – 1.9
ปานกลาง (3)	2.0 – 4.0
สูง (4)	4.1 – 6.0
สูงมาก (5)	> 6.0



ภาพที่ 3-8 ตัวอย่างการเลือกใช้ข้อมูลระดับน้ำจากสถานีตรวจวัด



ภาพที่ 3-9 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดระดับน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน

5. ความหนาแน่นของประชากร

บริเวณชายฝั่งเป็นบริเวณที่มีความสำคัญมากต่อความผาสุกของมนุษย์ ตลอดประวัติศาสตร์ที่ผ่านมามนุษย์ตั้งถิ่นฐานในบริเวณชายฝั่งทะเล ริมฝั่งแม่น้ำ และที่ราบลุ่มดินตะกอน เนื่องจากเป็นบริเวณที่เหมาะสมต่อการทำการเกษตร การประมง และการค้า มากกว่าครึ่งหนึ่งของประชากรโลกที่ปัจจุบันนี้อาศัยอยู่ห่างจากทะเลไม่เกิน 60 กิโลเมตร โดยภาพรวม อัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรแถบชายฝั่งสูงกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก ความหนาแน่นประชากรจึงถือได้ว่าเป็นตัวแปรที่ทำให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่ง เนื่องจากการที่มีผู้คนจำนวนมากอยู่ใกล้ชายฝั่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดลอม (McLaughlin et al., 2002) และขนาดของภัยพิบัติชายฝั่งมักแสดงตามผลกระทบที่มีต่อประชากรที่อาศัยอยู่ในนั้น ดังนั้นประชากรจึงเป็นหนึ่งในตัวแปรทางเศรษฐกิจและสังคมหลักที่มีอิทธิพลต่อความเปราะบาง ซึ่งพื้นที่ที่มีประชากรส่วนใหญ่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นเนื่องจากผู้คนมักจะป้องกันทรัพย์สินจากการกัดเซาะ (Dilley and Rasid, 1990; Devoy, 1992) ในทางตรงกันข้ามพื้นที่ชายฝั่งที่มีคนไม่กี่คนอาศัยอยู่อาจไม่ได้รับความสนใจ (Mahapatra et al., 2014) นอกจากนี้จำนวนผู้คนที่อาศัยอยู่บ่งบอกถึงการมีอาคารที่อยู่อาศัยหรืออุตสาหกรรมมากขึ้นซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดลอมบนชายฝั่ง (Serio et al., 2018)

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ ข้อมูลที่ใช้ได้จากสำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทยปี พ.ศ.2562 โดยใช้ฐานข้อมูลจำนวนประชากรที่จำแนกตามระดับการปกครองเป็นรายตำบล ดังตารางที่ 3-9 จากนั้นทำการคำนวณสัดส่วนจำนวนประชากรรายตำบลต่อขนาดพื้นที่ตำบลนั้น ๆ และนำค่าที่ได้มาจำแนกระดับความเปราะบางดังตารางที่ 3-10 ตามเกณฑ์การจำแนกของกัทลี และกาญจนา (2557) ดังนี้

ตารางที่ 3-9 ความหนาแน่นประชากรของตำบลชายฝั่งทะเลในพื้นที่ศึกษา

จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	ประชากร (คน)	พื้นที่ (ตร.กม)	ความหนาแน่น (คน/ตร.กม)	
ชลบุรี	เมืองชลบุรี	อ่างศิลา	5813	5.632	1032	
		เสม็ด	13482	13.808	976	
		บ้านสวน	66116	15.7632	4194	
		บางปลาสร้อย	13447	2.896	4643	
		บางทราย	11703	2.2976	5094	
		หนองไม้แดง	9522	11.0752	860	
		คลองตำหรุ	3519	25.0192	141	
		บ้านโจด	5798	0.5408	10721	
		มะขามหย่ง	5318	0.8448	6295	
ฉะเชิงเทรา	บางปะกง	บางปะกง	9203	41.4784	222	
		สองคลอง	9916	33.9632	292	
สมุทรปราการ	บางบ่อ	คลองด่าน	16941	52.0736	325	
		เมืองสมุทรปราการ	บางปู	6715	22.6992	296
		บางปูใหม่	40443	41.4822	975	
	พระสมุทรเจดีย์	ท้ายบ้าน	24543	14.5872	1683	
		แหลมฟ้าผ่า	4840	51.0096	95	
		นาเกลือ	12031	42.0944	286	
กรุงเทพมหานคร	บางขุนเทียน	แขวงท่าข้าม	61200	76.3488	802	
สมุทรสาคร	เมืองสมุทรสาคร	พันท้ายนรสิงห์	36920	65.0704	567	
		โคกขาม	23817	55.1664	432	
		บางหญ้าแพรก	25354	37.9824	668	
		บางกระเจ้า	11210	32.0288	350	
		บ้านบ่อ	8609	18.328	470	
		บางโทรัด	8499	35.5024	239	
		กาหลง	4650	18.3216	254	
		นาโคก	3687	42.4704	87	

ตารางที่ 3-9 ความหนาแน่นประชากรของตำบลชายฝั่งทะเลในพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	ประชากร (คน)	พื้นที่ (ตร.กม)	ความหนาแน่น (คน/ตร.กม)
สมุทรสงคราม	เมืองสมุทรสงคราม	บางแก้ว	9458	32.8048	288
		บางจะเกร็ง	4429	7.0768	626
		แหลมใหญ่	7757	16.0544	483
		คลองโคน	4354	37.9984	115
เพชรบุรี	บ้านแหลม	บางตะบูน	1102	26.056	42
		บางตะบูนออก	251	15.4464	16
		บ้านแหลม	2639	32.3184	82
		แหลมผักเบี้ย	2381	22.0048	108
		บางขุนไทร	7096	22.4416	316
		ปากทะเล	2448	12.24	200
		บางแก้ว	4841	19.1664	253

ตารางที่ 3-10 การจำแนกระดับความเปราะบางตัวแปรความหนาแน่นของประชากร

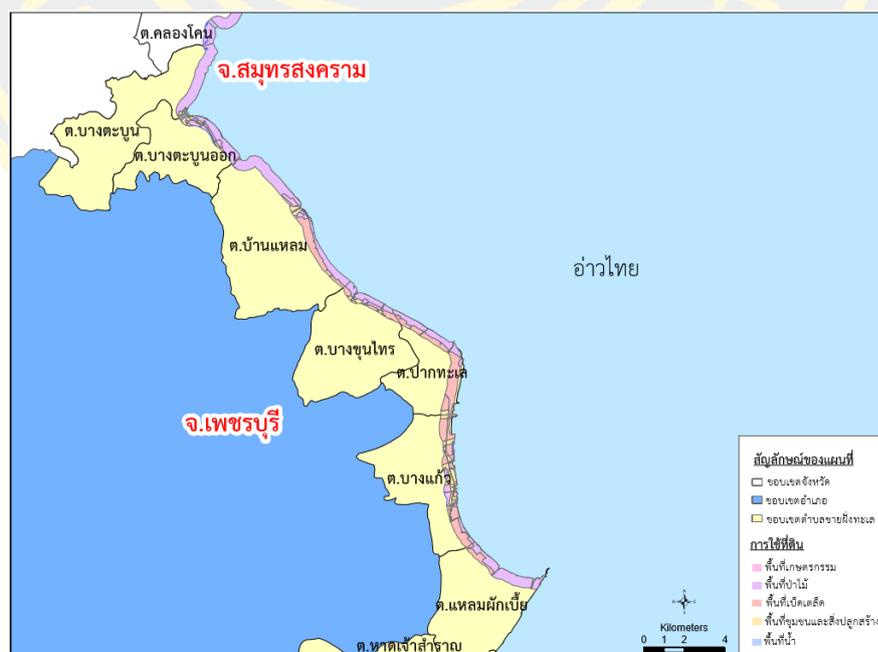
ระดับความเปราะบาง	ความหนาแน่นของประชากร (คนต่อตารางกิโลเมตร)
ต่ำมาก (1)	0 – 100
ต่ำ (2)	101 – 200
ปานกลาง (3)	201 – 400
สูง (4)	401 – 600
สูงมาก (5)	> 600

6. การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ปัจจุบันมีการรุกเข้าใช้พื้นที่ชายฝั่งทะเลเพื่อพัฒนาให้เป็นแหล่งท่องเที่ยวมากขึ้น ทำให้ที่ดินชายฝั่งเปลี่ยนแปลงจากระบบนิเวศทางธรรมชาติกลายเป็นพื้นที่ชุมชน ที่อยู่อาศัย พื้นที่พัฒนาเศรษฐกิจของท้องถิ่น เช่น การสร้างคอนโดมิเนียม บังกะโล บ้านพักตากอากาศ เป็นต้น มีผลให้เกิด

การสูญเสียคุณภาพตามธรรมชาติของชายฝั่งทะเล นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนเป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงกุ้งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พื้นที่ในบริเวณนั้นง่ายต่อการกัดเซาะได้มากขึ้น (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2021) การใช้ประโยชน์ที่ดินจึงเป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญในการกำหนดความเปราะบางของชายฝั่ง โดย McLaughlin and Cooper (2002) กล่าวว่า หากพื้นที่นั้นมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ วัฒนธรรม หรือสิ่งแวดล้อม จะได้รับการพิจารณาเพื่อป้องกันความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นเป็นอันดับต้นๆ ซึ่งในการจัดอันดับการใช้ประโยชน์ที่ดินจะบ่งบอกถึงคุณค่าทางเศรษฐกิจของพื้นที่นั้น ๆ ได้ดีกว่า (Hughes and Brundrit, 1992) แม้ว่ามูลค่าของการใช้ประโยชน์ที่ดินสามารถกำหนดได้หลายวิธี ซึ่งอาจอยู่ในรูปตัวเงินต้นทุนทดแทน ศูนย์รักษาภาพหรือคุณค่าด้านการอนุรักษ์ หากพิจารณามูลค่าด้านตัวเงินอาจถือว่าบึงหรือหาดโคลนอยู่ในระดับความเปราะบางต่ำ แต่หากพิจารณาคุณค่าด้านการอนุรักษ์นั้นจะถือว่ามีความเสี่ยงสูงและชีวภาพสูงกว่ามาก เนื่องจากเป็นแหล่งอาหารสำหรับนกหรือเป็นแหล่งแพร่กระจายของพรรณพืช

สำหรับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในการศึกษานี้ ได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลการใช้ที่ดินรายอำเภอในพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2562 ในรูปแบบฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์แบบดิจิทัล (shapefile) (ภาพที่ 3-10) หลังจากนั้นนำข้อมูลมาจำแนกดังตารางที่ 3-11 ตามเกณฑ์ความเปราะบางโดยอ้างอิงเกณฑ์ของ McLaughlin and Cooper (2010)



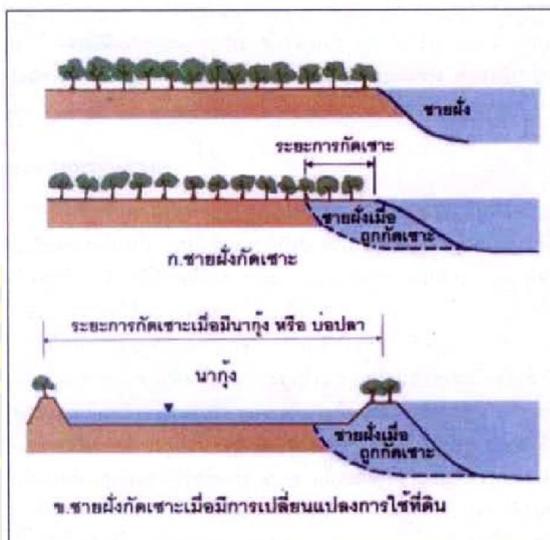
ภาพที่ 3-10 ข้อมูลการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 3-11 การจำแนกระดับความเปราะบางตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ระดับความเปราะบาง	การใช้ประโยชน์ที่ดิน
ต่ำมาก (1)	พื้นที่ว่าง ป่าพรุ/ที่ลุ่ม แหล่งน้ำ
ต่ำ (2)	ทุ่งหญ้าธรรมชาติ ป่าชายหาด ป่าชายเลน
ปานกลาง (3)	พื้นที่ป่าไม้ ป่าไม่ผลัดใบ ป่าผลัดใบ สวนป่า วนเกษตร
สูง (4)	พื้นที่เกษตรกรรม นาข้าว พืชไร่ พืชสวน ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ สถานเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
สูงมาก (5)	ตัวเมืองย่านการค้า หมู่บ้าน สถานที่ราชการ สถานีคมนาคม พื้นที่อุตสาหกรรม และอื่น ๆ

7. ความกว้างของป่าชายเลน

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่สำคัญมาก เนื่องจากทำหน้าที่หลายประการ เช่น เป็นแหล่งที่อยู่และแหล่งอาหารของสิ่งมีชีวิตจำนวนมาก นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เป็นเกาะกำบังคลื่น ลม และกระแสน้ำบริเวณชายฝั่งทะเล สร้างเสถียรภาพของตะกอนและลดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล (ธรรมบุญ รัชมีมาสเมือง, 2555) การกัดเซาะของชายฝั่งจะเร็วขึ้นหากพื้นดินชายฝั่งเปิดรับต่อกระบวนการต่าง ๆ ของชายฝั่ง สาเหตุของการกัดเซาะชายฝั่งที่สัมพันธ์กับการใช้ที่ดิน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากอดีตเป็นพื้นที่ป่าชายเลนกลายเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบัน มีการตัดโค่นป่าชายเลนลงเป็นจำนวนมาก ทำให้ชายฝั่งที่เป็นหาดเลนไม่มีป่าไม้ที่จะเป็นตัวดูดซับแรงปะทะของคลื่นลมและช่วยยึดเหนี่ยวหน้าดิน จึงถูกคลื่นกัดเซาะพังทลายได้อย่างง่ายดาย การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีการขุดตักดินมาทำเป็นคันดินขอบบ่อเพาะเลี้ยง เมื่อป่าชายเลนบริเวณริมฝั่งที่ยังหลงเหลืออยู่ไม่มากนักถูกกัดเซาะเข้ามาเรื่อย ๆ จนถึงคันดินขอบบ่อและเซาะคันดินพังทลายลง การกัดเซาะจะแผ่ขยายกินพื้นที่เข้าไปได้ไกลตามแนวความยาวของบ่อ (ภาพที่ 3-11) ทำให้อัตราการกัดเซาะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก นอกจากนี้ตะกอนดินเลนที่ถูกกัดเซาะและฟุ้งกระจายแขวนลอยอยู่ในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งส่วนหนึ่งจะถูกพัดพาออกไปนอกฝั่ง อีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทางประตูระบายน้ำ เมื่อเวลาผ่านไปนานเข้าก็จะตกตะกอนเป็นชั้นหนาอยู่บริเวณก้นบ่อและถูกขุดขึ้นมาเสริมคันขอบบ่อหรือถูกขุดไปขายเป็นดินถมที่ นับเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณตะกอนชายฝั่งเสียหายหมดไป (สุรศักดิ์ บุญลือ, 2551)



ภาพที่ 3-11 ก. การกัดเซาะชายฝั่งในธรรมชาติ; ข. การกัดเซาะเมื่อมีนาุ้งหรือบ่อปลา (สุรศักดิ์ บุญลือ, 2551)

ในปี พ.ศ.2547 ได้เกิดสึนามิ (Tsunami) ในมหาสมุทรอินเดียสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงให้กับประเทศในแอฟริกา (African) และเอเชีย (Asian) โดยเฉพาะชายฝั่งตะวันตกของไทย (Thailand) และศรีลังกา (Sri Lanka) ความเสียหายจากเหตุการณ์ดังกล่าวพบว่าหมู่บ้านที่ตั้งอยู่ด้านหลังป่าชายเลนได้รับความเสียหายน้อยกว่าเมื่อเทียบกับหมู่บ้านที่อยู่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาหลายประเทศก็เริ่มปลูกป่าชายเลนเพื่อป้องกันชายฝั่ง และมีการวิจัยอย่างกว้างขวางเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของป่าชายเลนในการลดทอนคลื่น ดังนั้นป่าชายเลนจึงถือเป็นหนึ่งในเกราะธรรมชาติอันสำคัญที่ทำหน้าที่ช่วยป้องกันพื้นที่ชายฝั่งทะเลจากคลื่นลมแรงและการกัดเซาะชายฝั่ง

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการฟื้นฟูป่าไม้บริเวณชายฝั่ง ซึ่งตั้งระยะห่างจากเอกสารและการศึกษาจากกรณีต่าง ๆ ที่ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติสึนามิทำให้ค้นพบปัจจัยด้านป่าไม้ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำหน้าที่ป้องกันคลื่นลมของป่าไม้บริเวณชายฝั่ง ได้แก่ ความกว้างของผืนป่า ความหนาแน่นของ ต้น ไม้อายุของต้นไม้ และชนิดพันธุ์ไม้ ปัจจัยเหล่านี้เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงหากจะดำเนินการฟื้นฟูป่าไม้บริเวณชายฝั่งเพื่อให้สามารถทำหน้าที่ดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ (เบญจมาศ โชติทอง, 2553)

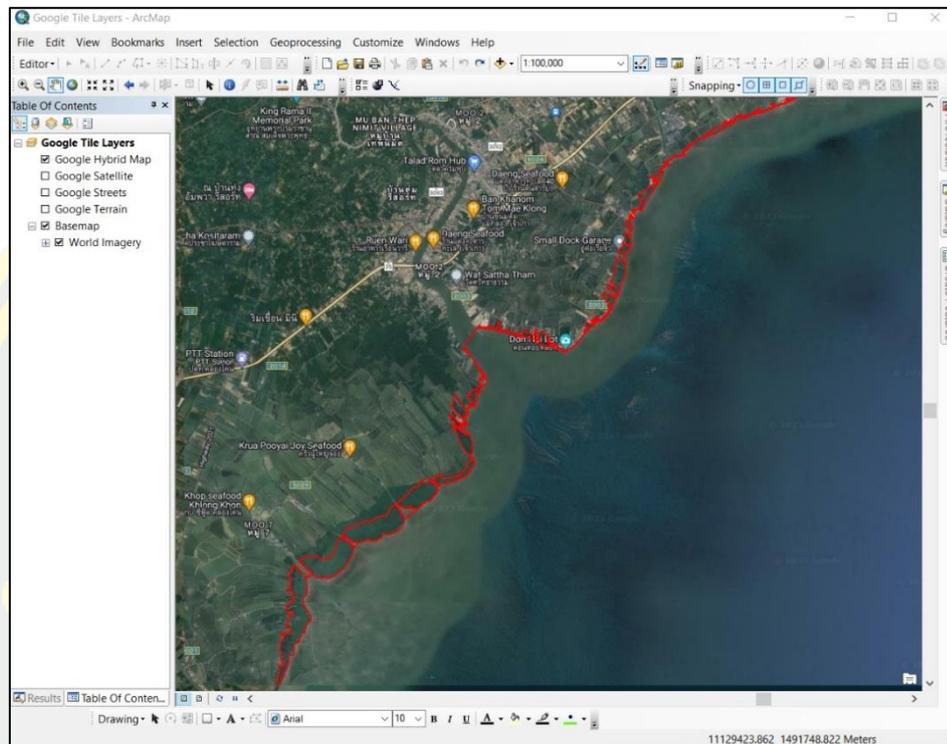
อย่างไรก็ตามเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติตามธรรมชาติ คือ ความกว้างของผืนป่า โดยมีการรวบรวมหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่าความกว้างของป่ามีผลโดยตรงต่อการลดผลกระทบที่ได้รับภัยพิบัติตามธรรมชาติในประเทศญี่ปุ่น พบว่าพื้นที่ป่าชายฝั่งที่มีความกว้างประมาณ 200 เมตร สามารถเป็นเกราะป้องกัน และลดผลกระทบจากคลื่นสึนามิได้ ใน

ประเทศไทย พบว่า คลื่นสึนามิระดับ 8 เมตร สามารถเข้าทำลายพื้นที่ป่าชายเลนได้เพียง 50 เมตร และในบริเวณที่อยู่หลังลึกจากชายฝั่งเข้าไปไม่เกิน 100 เมตร ส่วนใหญ่ยังคงมีสภาพเหมือนเดิม (สนิท อักษรแก้ว & สนใจ หะวานนท์, 2548) เช่นเดียวกับในศรีลังกา พบว่า คลื่นสึนามิระดับ 6 เมตร สามารถทำลายพื้นที่ป่าชายเลนได้ประมาณ 2-3 เมตรแรกเท่านั้น (Kashio, 2005)

Hashim and Catherine (2013) ศึกษาความสามารถในการลดทอนคลื่นกับความหนาแน่นของป่าชายเลน รวมทั้งศึกษาอิทธิพลของการเรียงแถวของป่าชายเลนที่มีผลต่อการลดทอนคลื่น ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ที่มีป่าชายเลนสามารถลดทอนคลื่นได้ประมาณ 2 เท่าเมื่อเทียบกับพื้นที่ที่ไม่มีป่าชายเลน และความแตกต่างในการจัดรูปแบบของแถวเป็นแนวตรงและสลับฟันปลามีความแตกต่างในการลดทอนคลื่นน้อยกว่า 10% นอกจากนี้พบว่าความกว้างของป่าโกงกาง (*Rhizophora*) 80 เมตร สามารถลดทอนคลื่นได้ 80% เนื่องจากความกว้างของป่าชายเลนที่เหมาะสมสำหรับการป้องกันชายฝั่งขึ้นอยู่กับชนิดของป่าชายเลน ความหนาแน่น และลักษณะของพื้นที่ ในบางประเทศได้กำหนดความกว้างของป่าชายเลนขั้นต่ำที่จำเป็นสำหรับการป้องกันชายฝั่งตั้งแต่ 500 เมตร ถึง 1,000 เมตร เป็นแนวกันชนตลอดแนวชายฝั่งสามเหลี่ยมปากแม่น้ำโขงประเทศเวียดนาม (Lacambra et al., 2008) อย่างไรก็ตามของกันชนป่าชายเลนในฟิลิปปินส์ (Philippines) มีความกว้างอยู่ที่ 20 เมตร ส่วนในมาเลเซีย (Malaysia) ฤดูระเบียบปี 1950 ได้กำหนดพื้นที่ป่าชายเลนกว้าง 200 เมตร เพื่อปกป้องพื้นที่เกษตรกรรม (Othman, 1994)

Ismail et al., (2012) ปฏิสัมพันธ์ของคลื่นสึนามิกับป่าชายเลนและพิจารณาประสิทธิภาพในการลดความสูงคลื่นซัด (Wave runup) ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้อัตราส่วน 1 ต่อ 100 ในการปรับความกว้างของป่าชายเลน ในการทดลองความกว้างของป่าชายเลนจึงเป็น 0, 1, 2 และ 3 เมตร ความหนาแน่นเฉลี่ย 4, 6 และ 8 ต้นต่อตารางเซนติเมตร และใช้ระดับความสูงคลื่นระหว่าง 2.4 ถึง 14 เซนติเมตร ผลจากการทดลองพบว่าความกว้างและความหนาแน่นของป่าชายเลนสามารถลดความเสียหายที่เกิดจากสึนามิได้ โดยความกว้างของป่าชายเลน 1 เมตร สามารถลดความสูงคลื่นซัดได้ 23 ถึง 32 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงระดับน้ำสูง และ 31 ถึง 36 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงระดับน้ำต่ำ เมื่อเพิ่มความกว้างของป่าชายเลนเป็น 2 และ 3 เมตร ความสามารถในการลดความสูงคลื่นซัดก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสามารถลดความสูงคลื่นซัดได้ถึง 39 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงระดับน้ำสูง และ 34 ถึง 41 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงระดับน้ำต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าความหนาแน่นของป่าชายเลนไม่ส่งผลต่อการลดลงของความสูงคลื่นซัดอย่างมีนัยสำคัญเท่ากับความกว้างของป่าชายเลน สำหรับข้อมูลพื้นที่ป่าชายเลนในการศึกษานี้ ได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลการใช้ที่ดินรายอำเภอในพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2562 ในรูปแบบ

ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์แบบดิจิทัล (shapefile) หลังจากนั้นนำข้อมูลเข้าไปโปรแกรม ArcGIS 10.5 (ภาพที่ 3-12) มาจำแนกตามเกณฑ์ความเปราะบางดังตารางที่ 3-12



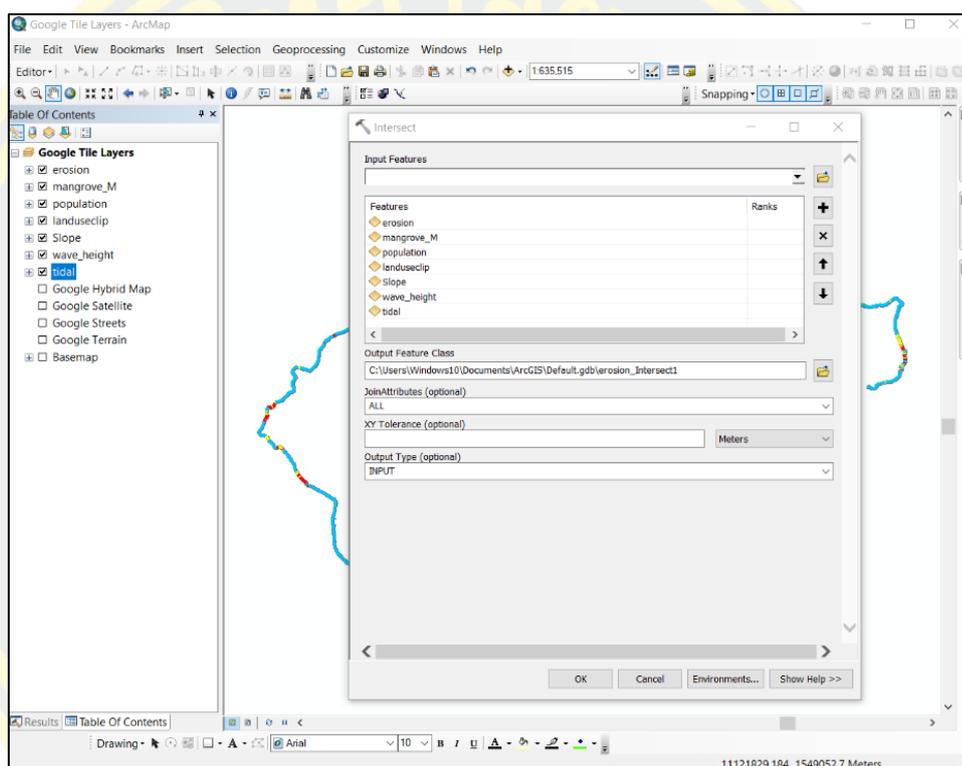
ภาพที่ 3-12 ข้อมูลพื้นที่ป่าชายเลนในการศึกษานี้

ตารางที่ 3-12 การจำแนกระดับความเปราะบางตัวแปรความกว้างของป่าชายเลน

ระดับความเปราะบาง	ความกว้างของป่าชายเลน (เมตร)
ต่ำมาก (1)	มากกว่า 200
ต่ำ (2)	150 - 200
ปานกลาง (3)	100 - 150
สูง (4)	50 - 100
สูงมาก (5)	น้อยกว่า 50

การคำนวณดัชนีความเปราะบางของชายฝั่ง

หลังจากให้ค่าคะแนนความเปราะบางของตัวแปรแต่ละตัวแล้ว จะนำค่าตัวแปรแต่ละตัวมาซ้อนทับกัน (Overlay) (ภาพที่ 3-13) โดยใช้เครื่องมือจากโปรแกรม ArcGIS 10.5 และใช้สมการคำนวณหาดัชนีความเปราะบางของชายฝั่ง ซึ่งในการศึกษานี้อ้างอิงการคำนวณจาก Gornitz (1990) (สมการ 3-1)



ภาพที่ 3-13 การซ้อนทับกันของข้อมูล โดยใช้เครื่องมือจากโปรแกรม ArcGIS 10.5

$$CVI = \frac{\sqrt{a_1 \times a_2 \times a_3 \times a_4 \times a_5 \times a_6 \times a_7}}{n} \quad (3-1)$$

เมื่อ CVI = ดัชนีความประมาทของชายฝั่ง

a_1 = ความลาดชันชายฝั่ง

a_2 = อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

a_3 = ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย

a_4 = พิสัยน้ำเฉลี่ย

a_5 = การใช้ประโยชน์ที่ดิน

a_6 = ความหนาแน่นของประชากร

a_7 = ความกว้างของป่าชายเลน

n = จำนวนตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด

การจำแนกระดับความประมาทด้วยการหาเปอร์เซ็นต์ไทล์ของข้อมูล

เมื่อทำการซ้อนทับข้อมูลความประมาทของแต่ละตัวแปร และคำนวณหาดัชนีความประมาทของชายฝั่งดังสมการที่ 3-1 จากนั้นนำค่าที่ได้จากการคำนวณของแต่ละพื้นที่มาจำแนกระดับความประมาทโดยอาศัยวิธีทางสถิติ คือ การหาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ (Percentile, P) ของข้อมูล โดยการแบ่งข้อมูลที่เรียงจากน้อยไปมากออกเป็น 100 ส่วนเท่า ๆ กัน จึงสามารถนำมาจัดชั้นข้อมูลระดับความประมาทได้ดังตารางที่ 3-13

ตารางที่ 3-13 การจำแนกระดับความประมาทโดยการหาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์

ระดับความประมาท	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์
ต่ำมาก	0 – 20%
ต่ำ	20 – 40%
ปานกลาง	40 – 60%
สูง	60 – 80%
สูงมาก	80 – 100%

นำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณมาจัดระดับความเปราะบางตามช่วงข้อมูลที่คำนวณได้ในแต่ละตัวแปรและนำเสนอเป็นแผนที่ความเปราะบาง

การจัดทำแผนที่ความเปราะบางชายฝั่ง

เมื่อได้ค่าความเปราะบางชายฝั่งแล้วจะนำมาแสดงผลในรูปแบบของแผนที่ความเปราะบางชายฝั่ง (Coastal vulnerability Map) เป็นรายจังหวัดชายฝั่งทะเลของประเทศไทย และแสดงผลแยกเป็นแผนที่ตามระดับความเปราะบาง



บทที่ 4

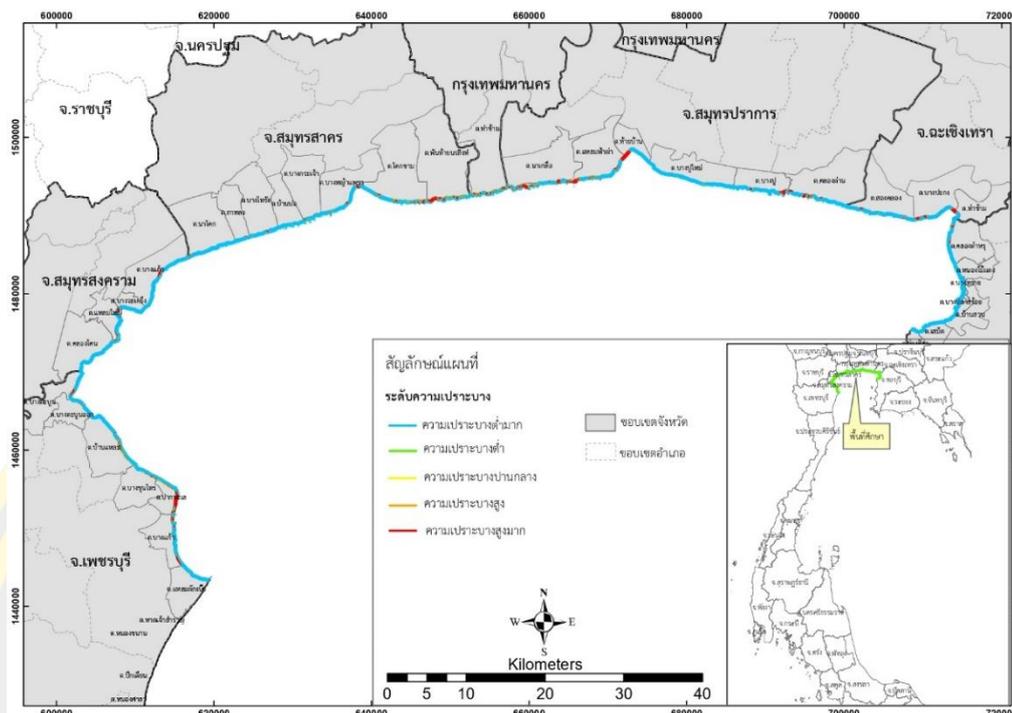
ผลการศึกษา

บทนี้อธิบายถึงผลการศึกษาระดับความเปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยพิจารณาตัวแปรที่ส่งผลให้พื้นที่ชายฝั่งมีความเปราะบางต่อการกัดเซาะ ได้แก่ ความลาดชันชายฝั่ง อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความหนาแน่นของประชากร และความกว้างของป่าชายเลนเพื่อประเมินความเปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยมีรายละเอียดดังนี้

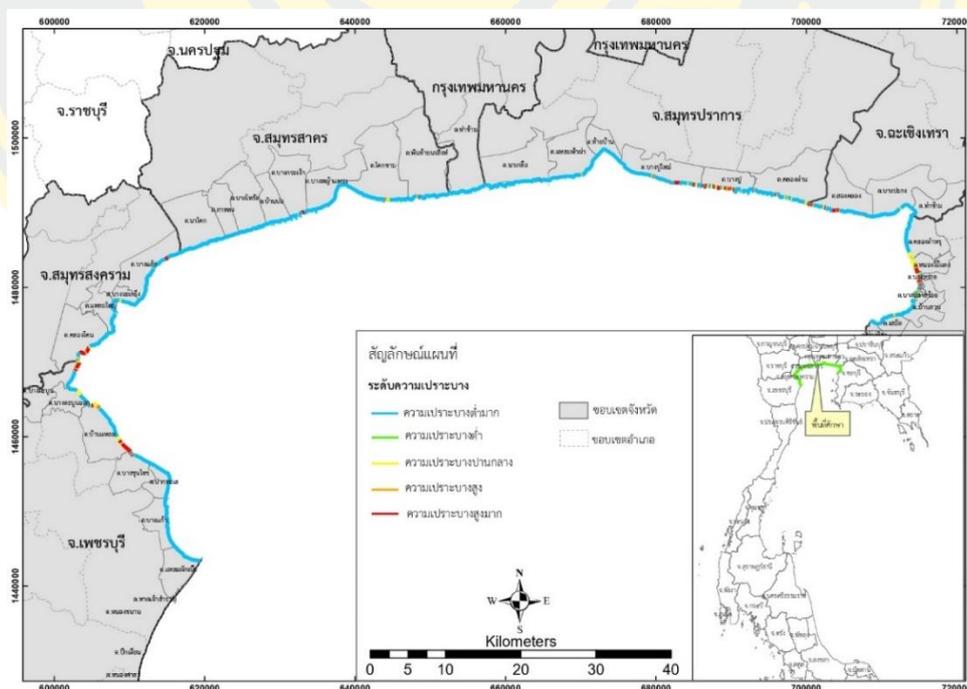
ผลการศึกษาการจัดระดับความเปราะบางของตัวแปร

1. ความลาดชัน ผลการศึกษา พบว่าพื้นที่แนวชายฝั่งที่มีความเปราะบางในระดับต่ำมาก (ความลาดชันมากกว่า 2%) มีเนื้อที่รวม 85.5 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 84.2 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด รองลงมาคือความเปราะบางในระดับสูงมาก (ความลาดชันน้อยกว่า 0.025%) มีพื้นที่รวม 10.5 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 10.3 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ตำบลที่มีระดับความเปราะบางสูงมากจากตัวแปรความลาดชันของพื้นที่ศึกษาคือ ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ ภาพรวมการจำแนกระดับความเปราะบางของตัวแปรความลาดชันแสดงดังภาพที่ 4-1

2. อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ผลการศึกษา พบว่าแนวชายฝั่งส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นชายฝั่งคงสภาพ กล่าวคือ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในลักษณะกัดเซาะหรือทับถมไม่เกิน 1 เมตรต่อปี (ความเปราะบางระดับต่ำมาก) มีเนื้อที่รวม 87.7 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 87.7 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด รองลงมาคือ ชายฝั่งที่มีอัตราการกัดเซาะมากกว่า 1 - 5 เมตรต่อปี (ความเปราะบางระดับสูงมาก) มีเนื้อที่รวม 7.4 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 7.3 ของพื้นที่ศึกษา ตำบลที่มีระดับความเปราะบางสูงมากจากตัวแปรความลาดชันของพื้นที่ศึกษาคือ ตำบลบางปู อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ และชายฝั่งที่มีอัตราการกัดเซาะ 1 - 5 เมตรต่อปี (ความเปราะบางระดับปานกลาง) มีเนื้อที่รวม 6.4 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 6.4 ของพื้นที่ศึกษา ภาพรวมการจำแนกระดับความเปราะบางของตัวแปรอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งแสดงดังภาพที่ 4-2

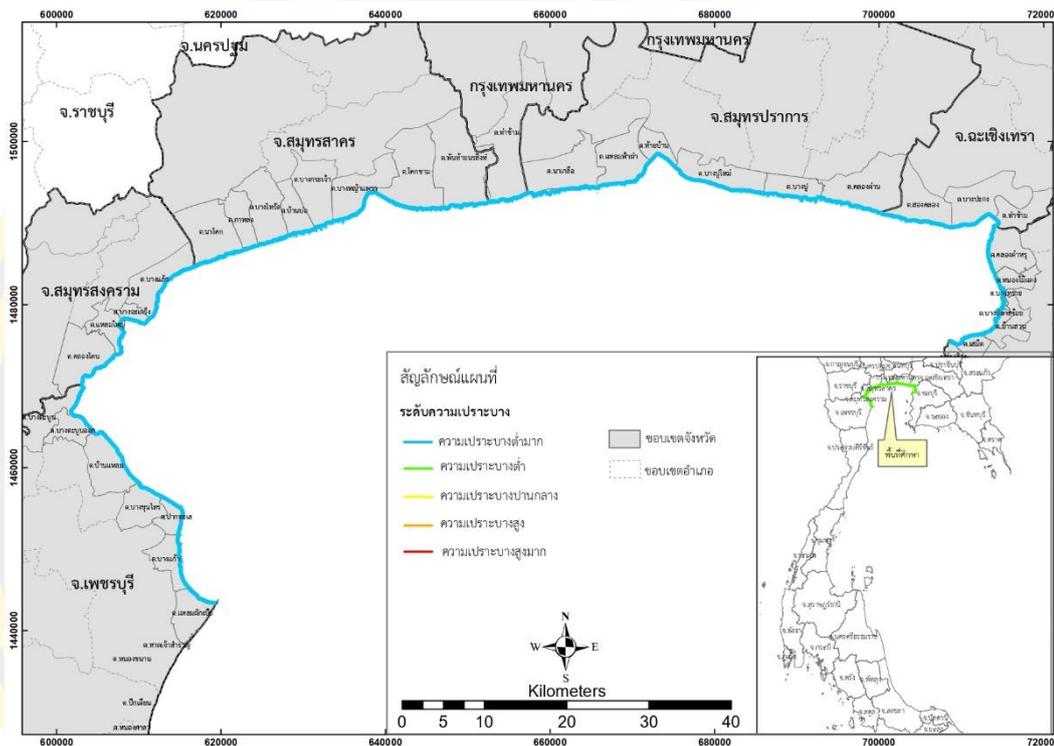


ภาพที่ 4-1 แผนที่จำแนกระดับความแปรปรวนตัวแปรความลาดชันชายฝั่ง



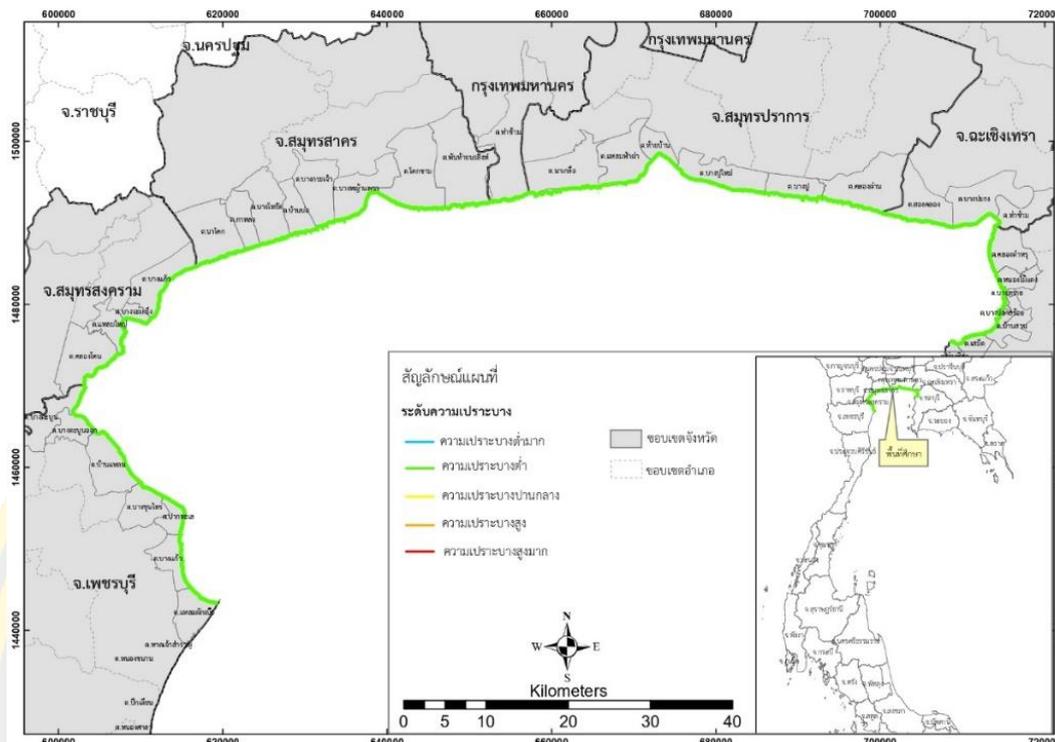
ภาพที่ 4-2 แผนที่จำแนกระดับความแปรปรวนตัวแปรอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

3. ความสูงคลื่นน้ำสำคัญเฉลี่ย ผลการศึกษา พบว่าแนวชายฝั่งทั้งหมดของพื้นที่ศึกษา มีระดับความแปรปรวนของพิสัยน้ำเฉลี่ย คือ ความแปรปรวนระดับต่ำมาก ความสูงคลื่นน้ำสำคัญเฉลี่ยน้อยกว่า 0.55 เมตร มีเนื้อที่รวม 101.6 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 100 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ภาพรวมการจำแนกระดับความแปรปรวนของตัวแปรพิสัยน้ำเฉลี่ยแสดงดังภาพที่ 4-3



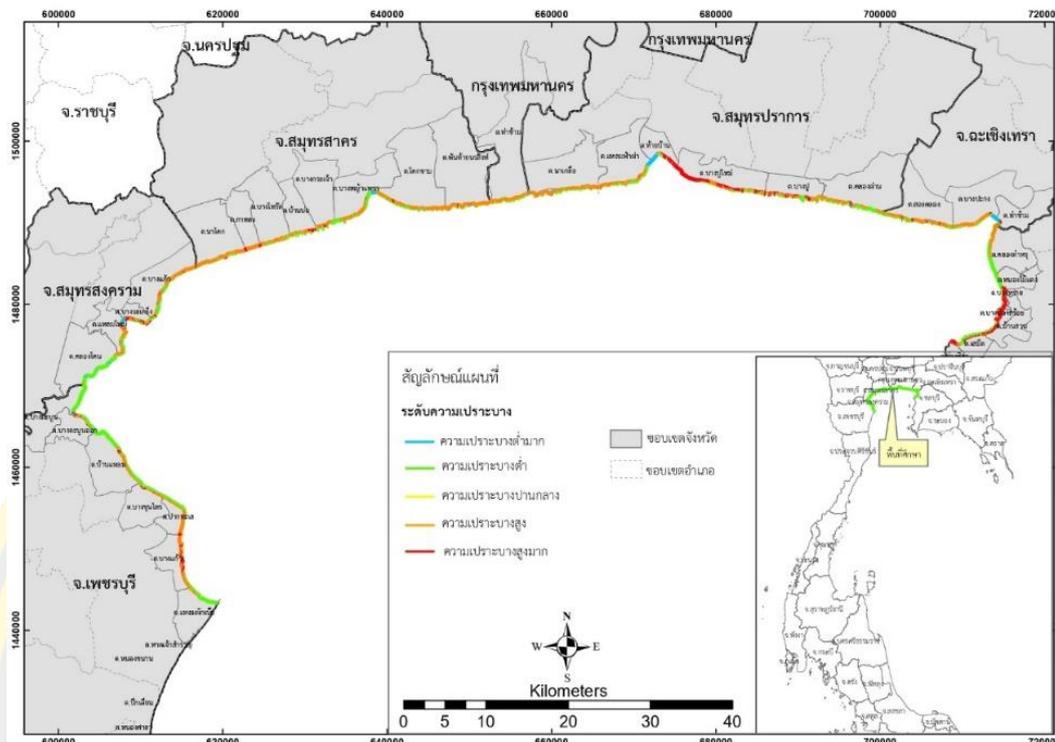
ภาพที่ 4-3 แผนที่จำแนกระดับความแปรปรวนตัวแปรความสูงคลื่นน้ำสำคัญเฉลี่ย

4. พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย ผลการศึกษา พบว่าแนวชายฝั่งทั้งหมดของพื้นที่ศึกษา มีระดับความแปรปรวนของพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย คือ ความแปรปรวนระดับต่ำ มีพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.0 – 1.9 เมตร มีเนื้อที่รวม 101.6 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 100 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ภาพรวมการจำแนกระดับความแปรปรวนของตัวแปรพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย แสดงดังภาพที่



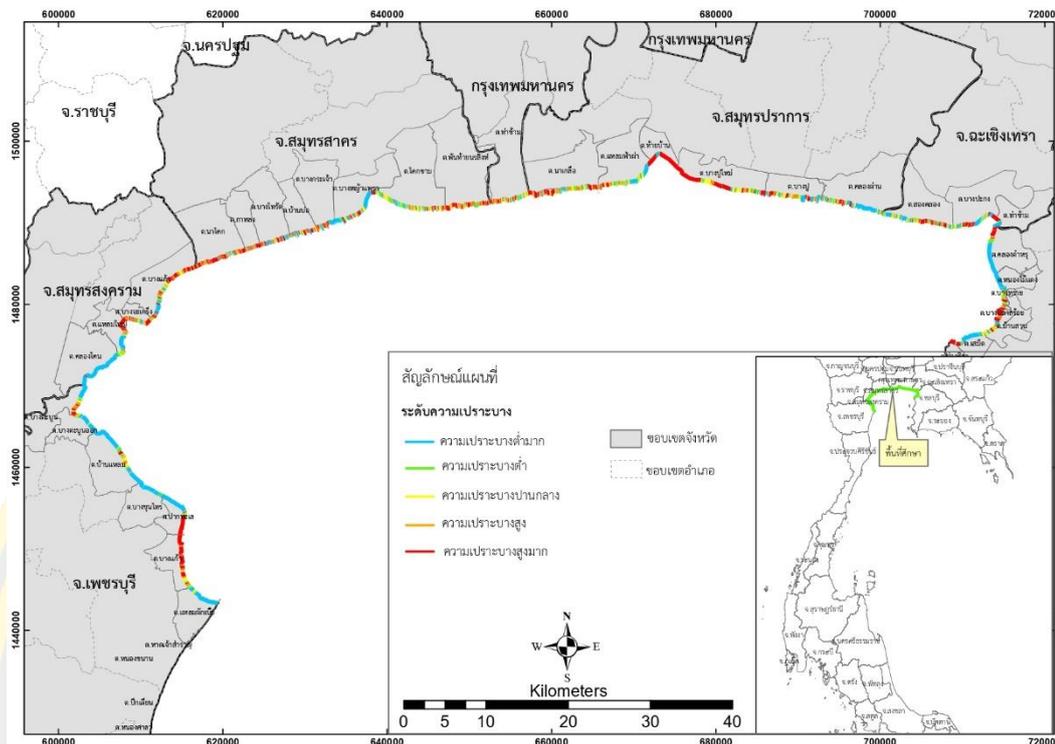
ภาพที่ 4-4 แผนที่จำแนกระดับความแปรปรวนตัวแปรพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย

5. การใช้ประโยชน์ที่ดิน ผลการศึกษา พบว่า พื้นที่ชายฝั่งส่วนใหญ่มีความแปรปรวนระดับสูง มีเนื้อที่รวม 48.8 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 48 ของพื้นที่ศึกษา รองลงมาคือ ความแปรปรวนระดับต่ำ มีเนื้อที่รวม 34.3 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 33.7 ของพื้นที่ และความแปรปรวนระดับสูงมาก มีเนื้อที่รวม 15.3 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 15 ของพื้นที่ศึกษา ตำบลที่มีระดับความแปรปรวนสูงมากจากตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ศึกษาคือ ตำบลบางปูใหม่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ ภาพรวมการจำแนกระดับความแปรปรวนของตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดินแสดงดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 แผนที่จำแนกระดับความประบางตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดิน

6. ความหนาแน่นของประชากร ผลการศึกษา พบว่า พื้นที่ที่มีความประบางระดับสูงมากอยู่ในพื้นที่ตำบลสองคลอง อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา มีพื้นที่รวม 23.8 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 23.5 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด แต่โดยภาพรวมแล้วพื้นที่ส่วนใหญ่ในพื้นที่ศึกษามีความประบางในระดับปานกลาง รวม 32 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 31.5 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด และพื้นที่ที่มีความประบางระดับต่ำมาก มีพื้นที่รวม 20.5 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 20.1 ของพื้นที่ทั้งหมด ภาพรวมการจำแนกระดับความประบางตัวแปรความหนาแน่นของประชากรแสดงดังภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-7 แผนที่จำแนกระดับความประบางตัวแปรความกว้างของป่าชายเลน

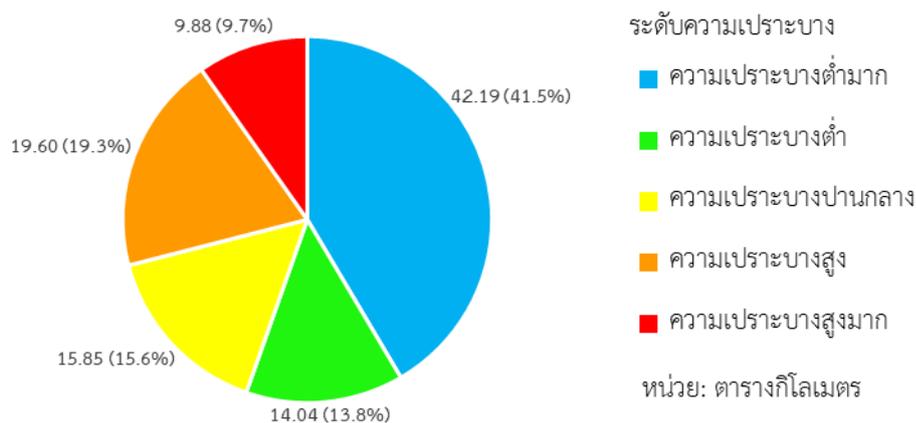
จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: r) ของระดับความประบางกับตัวแปร ดังตารางที่ 4-1 พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อระดับความประบางสูงมากของพื้นที่ชายฝั่ง 3 ลำดับแรก ได้แก่ ความหนาแน่นของประชากร ความกว้างของป่าชายเลน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย และพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย ไม่มีความสัมพันธ์กับดัชนีความประบางชายฝั่งของระบบกลุ่มอ่าวไทยตอนบน เนื่องจาก 2 ตัวแปรนี้เมื่อจัดระดับความประบางข้อมูลอยู่ในระดับความประบางเดียวกันทั้งพื้นที่

ตารางที่ 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระดับความเปราะบางกับตัวแปร

ตัวแปร	r
ความลาดชันชายฝั่ง	0.36
อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	0.17
ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย	N/A
พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย	N/A
ความหนาแน่นของประชากร (คน/ตร.กม.)	0.55
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	0.43
ความกว้างของป่าชายเลน	0.51

ผลการศึกษาการประเมินหาพื้นที่เปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่ง

จากผลการซ้อนทับชั้นข้อมูลทั้ง 7 ตัวแปร ได้แก่ ได้แก่ ความลาดชันชายฝั่ง อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความหนาแน่นของประชากร และพื้นที่ป่าชายเลน ทำให้ได้พื้นที่เปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งของพื้นที่ศึกษาดังแสดงเป็นแผนภูมิในภาพที่ 4-8



ภาพที่ 4-8 แผนภูมิแสดงพื้นที่เปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา

เมื่อจำแนกผลการศึกษาความเปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งเป็นรายระดับ พบว่า

1. ชายฝั่งที่มีความเปราะบางระดับสูงมาก พบมากที่สุดบริเวณชายฝั่งจังหวัดสมุทรสาคร (2.54 ตารางกิโลเมตร) รองลงมาคือ จังหวัดสมุทรปราการ (2.46 ตารางกิโลเมตร) และจังหวัด เพชรบุรี (1.58 ตารางกิโลเมตร) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเป็นสัดส่วนต่อพื้นที่ จังหวัด พบว่า กรุงเทพมหานครกลับมีสัดส่วนพื้นที่ความเปราะบางระดับสูงมากต่อพื้นที่จังหวัด สูงสุด (ร้อยละ 30.98) รองลงมาคือ จังหวัดชลบุรี (ร้อยละ 12.07) และจังหวัดสมุทรสาคร (ร้อยละ 11.50) ตามลำดับ

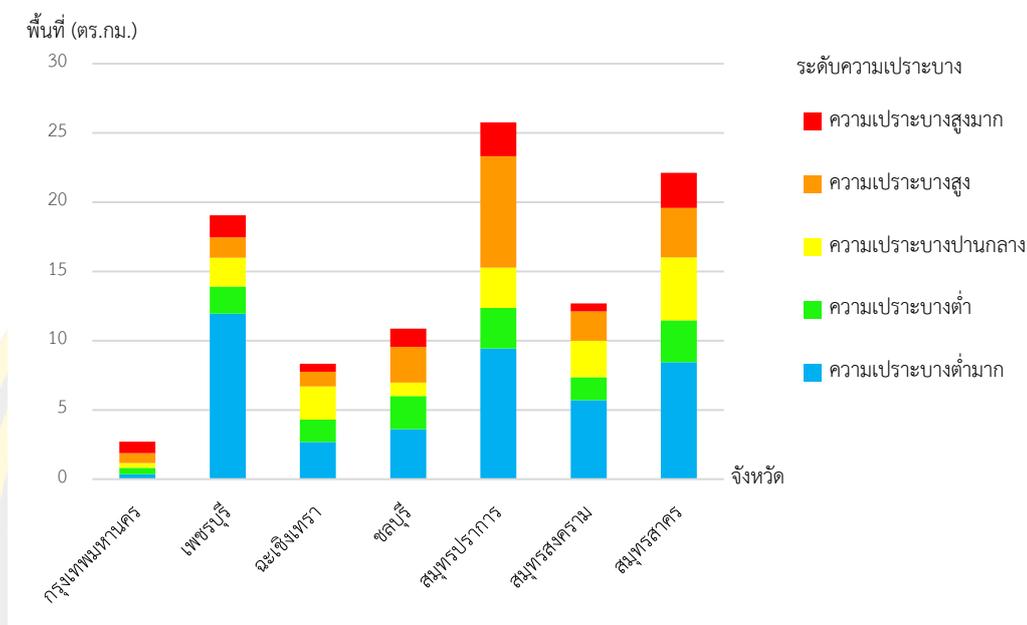
2. ชายฝั่งที่มีความเปราะบางระดับสูง พบมากที่สุดบริเวณชายฝั่งจังหวัดสมุทรปราการ (8.04 ตารางกิโลเมตร) รองลงมาคือ จังหวัดสมุทรสาคร (3.58 ตารางกิโลเมตร) และจังหวัดชลบุรี (2.57 ตารางกิโลเมตร) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเป็นสัดส่วนของพื้นที่ความเปราะบางระดับสูงต่อ พื้นที่จังหวัด พบว่า จังหวัดสมุทรปราการมีสัดส่วนพื้นที่สูงสุด (ร้อยละ 31.18) รองลงมาคือ กรุงเทพมหานคร (ร้อยละ 26.59) และจังหวัดชลบุรี (ร้อยละ 23.70) ตามลำดับ

3. ชายฝั่งที่มีความเปราะบางระดับปานกลาง พบมากที่สุดบริเวณชายฝั่งจังหวัด สมุทรสาคร (4.54 ตารางกิโลเมตร) รองลงมาคือ จังหวัดสมุทรปราการ (2.90 ตารางกิโลเมตร) และ จังหวัดสมุทรสงคราม (2.62 ตารางกิโลเมตร) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเป็นสัดส่วนของ พื้นที่ความเปราะบางระดับปานกลางต่อพื้นที่จังหวัด พบว่า จังหวัดฉะเชิงเทรากลับมีสัดส่วนพื้นที่ สูงสุด (ร้อยละ 28.69) รองลงมาคือ จังหวัดสมุทรสงคราม (ร้อยละ 20.64) และจังหวัดสมุทรสาคร (ร้อยละ 20.53) ตามลำดับ

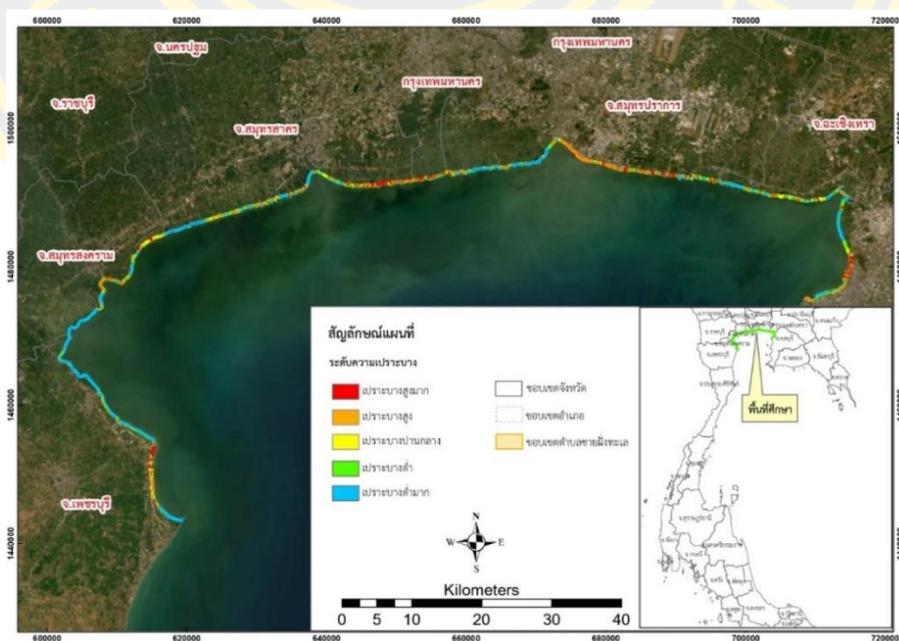
4. ชายฝั่งที่มีความเปราะบางระดับต่ำ พบมากที่สุดบริเวณชายฝั่งจังหวัดสมุทรสาคร (3.01 ตารางกิโลเมตร) รองลงมาคือ จังหวัดสมุทรปราการ (2.95 ตารางกิโลเมตร) และจังหวัดชลบุรี (2.39 ตารางกิโลเมตร) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเป็นสัดส่วนของพื้นที่ความเปราะบาง ระดับต่ำต่อพื้นที่จังหวัด พบว่า จังหวัดชลบุรีกลับมีสัดส่วนพื้นที่สูงสุด (ร้อยละ 22.04) รองลงมาคือ จังหวัดฉะเชิงเทรา (ร้อยละ 19.30) และจังหวัดสมุทรสาคร (ร้อยละ 13.67) ตามลำดับ

5. ชายฝั่งที่มีความเปราะบางระดับต่ำมาก พบมากที่สุดบริเวณชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี (11.95 ตารางกิโลเมตร) รองลงมาคือ จังหวัดสมุทรปราการ (9.43 ตารางกิโลเมตร) และจังหวัด สมุทรสาคร (8.45 ตารางกิโลเมตร) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเป็นสัดส่วนของพื้นที่ความ เปราะบาง ระดับต่ำมากต่อพื้นที่จังหวัด พบว่า จังหวัดเพชรบุรีมีสัดส่วนพื้นที่สูงสุด (ร้อยละ 62.73) รองลงมาคือ จังหวัดสมุทรสงคราม (ร้อยละ 45) และจังหวัดสมุทรสาคร (ร้อยละ 38.19) ตามลำดับ รายละเอียดผลการศึกษาดูสรุปแสดงเป็นแผนภูมิแท่งดังภาพที่ 4-9 และผลการประเมิน ความเปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งจำแนกเป็นรายจังหวัดแสดงดัง ภาพที่ 4-10 และตาราง สำหรับผล

การศึกษาดัชนีความเปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งของประเทศไทย สามารถสรุปแยกเป็นรายจังหวัดได้ ดังนี้



ภาพที่ 4-9 แผนภูมิแท่งแสดงพื้นที่ความเปราะบางชายฝั่งแต่ละระดับเป็นรายจังหวัด



ภาพที่ 4-10 พื้นที่เปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน

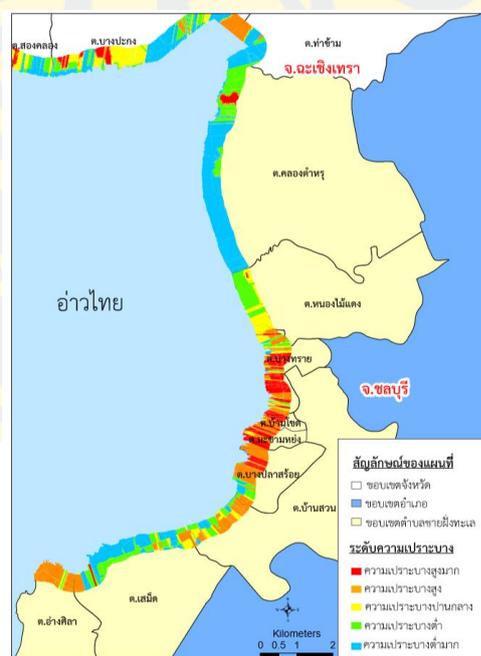
ตารางที่ 4-2 พื้นที่และสัดส่วนร้อยละของระดับความเปราะบางชายฝั่งพื้นที่ศึกษา

จังหวัด	พื้นที่ (ตร.กม.) และสัดส่วนร้อยละของระดับความเปราะบาง										พื้นที่รวม (ตร.กม.)
	ต่ำมาก	ร้อยละ	ต่ำ	ร้อยละ	ปาน	ร้อยละ	สูง	ร้อยละ	สูงมาก	ร้อยละ	
	กลาง										
กรุงเทพมหานคร	0.34	12.70	0.47	17.16	0.34	12.57	0.72	26.59	0.84	30.98	2.71
เพชรบุรี	11.95	62.73	1.96	10.29	2.04	10.94	1.47	7.74	1.58	8.30	19.05
ฉะเชิงเทรา	2.69	32.27	1.61	19.30	2.39	28.69	1.08	12.93	0.57	6.81	8.33
ชลบุรี	3.61	33.25	2.39	22.04	0.97	8.94	2.57	23.70	1.31	12.07	10.86
สมุทรปราการ	9.43	36.58	2.95	11.43	2.90	11.27	8.04	31.18	2.46	9.54	25.77
สมุทรสงคราม	5.71	45.00	1.65	13.03	2.62	20.64	2.13	16.80	0.57	4.53	12.70
สมุทรสาคร	8.45	38.19	3.01	13.61	4.54	20.53	3.58	16.17	2.54	11.50	22.12

จังหวัดชลบุรี ผลการศึกษาพื้นที่เปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดชลบุรี พบว่า ส่วนใหญ่มีความเปราะบางในระดับต่ำมาก (ร้อยละ 33.25) รายละเอียดผลการศึกษานี้เป็นรายตำบลแสดงดังตารางที่ 4-3 และภาพที่ 4-11 โดยปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อระดับความเปราะบางของชายฝั่งจังหวัดชลบุรี คือ ความกว้างของป่าชายเลน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงป่าชายเลน เพื่อกิจกรรมอื่น ๆ เช่น การเกษตร นาเกลือ ทำเทียบเรือ เป็นต้น ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลรองลงมา คือ การใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยส่วนใหญ่เป็นย่านชุมชนและพาณิชยกรรม ชายหาดและสถานประกอบการด้านการท่องเที่ยว สถานที่ราชการ ท่าเรือและนิคมอุตสาหกรรมเกือบทุกตำบล ซึ่งแนวชายฝั่งที่ประสบปัญหาการกัดเซาะ ได้แก่ ตำบลบางทราย ตำบลบ้านโจด และตำบลมะขามหย่ง

ตารางที่ 4-3 พื้นที่เปราะบางการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดชลบุรี

ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พื้นที่ (ตร.กม) ระดับความเปราะบาง					พื้นที่รวม (ตร.กม)
			1	2	3	4	5	
เสม็ด	เมืองชลบุรี	ชลบุรี	0.97	0.58	0.12	0.24	0.03	1.94
คลองตำหรุ	เมืองชลบุรี	ชลบุรี	2.41	0.74	0.001	0.04	0.11	3.30
หนองไม้แดง	เมืองชลบุรี	ชลบุรี	0.003	0.52	0.31	0.02	0.01	0.86
บางทราย	เมืองชลบุรี	ชลบุรี	0.04	0.15	0.29	0.45	0.65	1.58
บ้านโหนด	เมืองชลบุรี	ชลบุรี	-	0.001	0.01	0.15	0.15	0.31
มะขามหย่ง	เมืองชลบุรี	ชลบุรี	-	-	0.02	0.15	0.23	0.40
บางปลาสร้อย	เมืองชลบุรี	ชลบุรี	0.08	0.14	0.02	0.58	0.14	0.95
บ้านสวน	เมืองชลบุรี	ชลบุรี	0.11	0.23	0.17	0.43	0.001	0.93
อ่างศิลา	เมืองชลบุรี	ชลบุรี	-	0.03	0.03	0.53	0.0002	0.59
รวมจังหวัดชลบุรี			3.61	2.39	0.97	2.57	1.31	10.86
ร้อยละ			33.25	22.04	8.94	23.70	12.07	100



ภาพที่ 4-11 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางชายฝั่งจังหวัดชลบุรี

จังหวัดฉะเชิงเทรา ผลการศึกษาพื้นที่เปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า ส่วนใหญ่มีความเปราะบางในระดับต่ำมาก (ร้อยละ 32.27) รายละเอียดผลการศึกษาจำแนกเป็นรายตำบลแสดงดังตารางที่ 4-4 และภาพที่ 4-12 โดยปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อระดับความเปราะบางของชายฝั่งจังหวัดฉะเชิงเทรา คือ ความลาดชันชายฝั่ง มีสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบ จึงมีความลาดชันต่ำมาก ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลรองลงมา คือ การใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยริมชายฝั่งส่วนใหญ่พบเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ นาเกลือ และเกษตรกรรม

ตารางที่ 4-4 พื้นที่เปราะบางการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดฉะเชิงเทรา

ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พื้นที่ (ตร.กม) ระดับความเปราะบาง					พื้นที่รวม (ตร.กม)
			1	2	3	4	5	
บางปะกง	บางปะกง	ฉะเชิงเทรา	1.10	0.52	0.78	0.37	0.19	2.96
สองคลอง	บางปะกง	ฉะเชิงเทรา	1.22	1.04	1.61	0.54	0.37	4.77
ท่าข้าม	บางปะกง	ฉะเชิงเทรา	0.37	0.05	0.01	0.17	-	0.60
รวมจังหวัดฉะเชิงเทรา			2.69	1.61	2.40	1.08	0.57	8.33
ร้อยละ			32.27	19.30	28.69	12.93	6.82	100

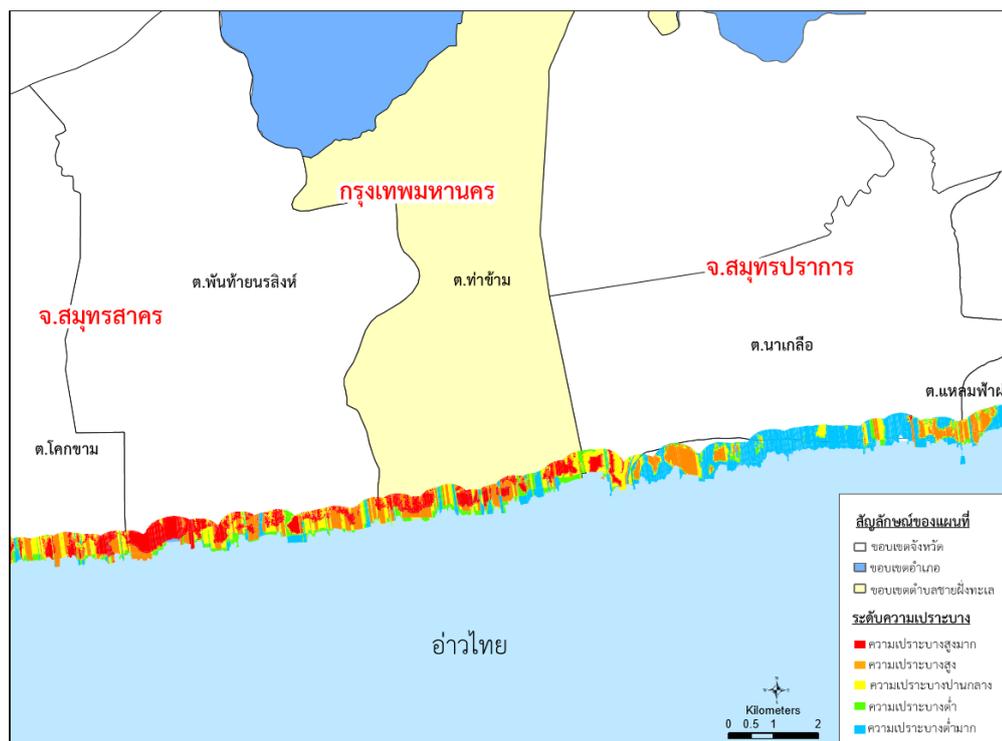


ภาพที่ 4-12 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางชายฝั่งจังหวัดฉะเชิงเทรา

จังหวัดสมุทรปราการ ผลการศึกษา พบว่าพื้นที่เปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งของ จังหวัดสมุทรปราการ พบว่า ส่วนใหญ่มีความเปราะบางระดับมาก (ร้อยละ 36.58) รายละเอียดผล การศึกษาจำแนกเป็นรายตำบลแสดงดังตารางที่ 4-5 และภาพที่ 4-13 โดยปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อ ระดับความเปราะบางของชายฝั่งจังหวัดสมุทรปราการ คือ ความหนาแน่นของประชากร ส่วนปัจจัย ที่มีอิทธิพลรองลงมา คือ ความกว้างของป่าชายเลน การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าชายเลนในจังหวัด สมุทรปราการ เกิดจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในพื้นที่ป่าชายเลนเพื่อกิจกรรมอื่น ๆ เช่น การเกษตร นาเกลือ นากุ้ง ทำเทียบเรือ โรงงานอุตสาหกรรม ที่อยู่อาศัย เป็นต้น ซึ่งส่งผลให้ตัวแปรการใช้ ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดสมุทรปราการ มีระดับความเปราะบางสูง

ตารางที่ 4-5 พื้นที่เปราะบางการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดสมุทรปราการ

ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พื้นที่ (ตร.กม) ระดับความเปราะบาง					พื้นที่รวม (ตร.กม)
			1	2	3	4	5	
ท้ายบ้าน	เมืองสมุทรปราการ	สมุทรปราการ	0.16	0.09	0.24	1.49	0.002	1.99
บางปูใหม่	เมืองสมุทรปราการ	สมุทรปราการ	0.24	0.55	0.51	3.95	0.73	5.97
บางปู	เมืองสมุทรปราการ	สมุทรปราการ	0.97	0.41	0.72	1.02	1.09	4.20
คลองด่าน	บางบ่อ	สมุทรปราการ	2.06	0.83	0.59	0.36	0.47	4.31
นาเกลือ	พระสมุทรเจดีย์	สมุทรปราการ	0.06	0.08	0.32	0.09	0.17	0.72
แหลมฟ้าผ่า	พระสมุทรเจดีย์	สมุทรปราการ	5.95	0.98	0.53	1.13	0.01	8.59
รวมจังหวัดสมุทรปราการ			9.43	2.95	2.90	8.04	2.46	25.77
ร้อยละ			36.58	11.43	11.27	31.18	9.54	100



ภาพที่ 4-14 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางชายฝั่งกรุงเทพมหานคร

จังหวัดสมุทรสาคร ผลการศึกษา พบว่าพื้นที่ที่เปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสาคร พบว่า ส่วนใหญ่มีความเปราะบางระดับต่ำมาก (ร้อยละ 38.19) รายละเอียดผลการศึกษจำแนกเป็นรายตำบลแสดงดังตารางที่ 4-7 และภาพที่ 4-15 โดยปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อระดับความเปราะบาง คือ ความลาดชันชายฝั่ง ปัจจัยด้านลักษณะทางกายภาพเช่นเดียวกับจังหวัดริมชายฝั่งอ่าวไทยตอนใน เนื่องจากมีลักษณะชายฝั่งเป็นหาดโคลน สภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบตะกอนน้ำพาจึงมีระดับความ ลาดชันต่ำมาก อีกทั้งแนวชายฝั่งส่วนใหญ่ยังเป็นพื้นที่ประสบปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง ปัจจัยที่มีอิทธิพลรองลงมา คือ ความกว้างของป่าชายเลน โดยการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าชายเลนในจังหวัดสมุทรปราการ เกิดจากการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พื้นที่ป่าชายเลนเพื่อกิจกรรมอื่น ๆ เช่น การเกษตร นาเกลือ นาุ้ง ทำเทียบเรือ โรงงานอุตสาหกรรม ที่อยู่อาศัย เป็นต้น

ตารางที่ 4-7 พื้นที่เปราะบางการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสาคร

ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พื้นที่ (ตร.กม) ระดับความเปราะบาง					พื้นที่รวม (ตร.กม)
			1	2	3	4	5	
นาโคก	เมืองสมุทรสาคร	สมุทรสาคร	3.30	0.17	0.01	0.04	-	3.52
กาหลง	เมืองสมุทรสาคร	สมุทรสาคร	0.08	0.09	0.67	0.18	0.06	1.07
บางโทรัด	เมืองสมุทรสาคร	สมุทรสาคร	0.76	0.30	0.95	0.05	0.09	2.15
บ้านบ่อ	เมืองสมุทรสาคร	สมุทรสาคร	0.63	0.39	0.43	0.57	0.06	2.09
บางกระเจ้า	เมืองสมุทรสาคร	สมุทรสาคร	0.42	0.25	0.45	0.13	0.10	1.36
บางหญ้าแพรก	เมืองสมุทรสาคร	สมุทรสาคร	2.04	0.30	0.30	0.73	0.18	3.55
โคกขาม	เมืองสมุทรสาคร	สมุทรสาคร	1.02	1.16	1.22	0.95	0.69	5.04
พันท้ายนรสิงห์	เมืองสมุทรสาคร	สมุทรสาคร	0.19	0.36	0.52	0.92	1.36	3.35
รวมจังหวัดสมุทรสาคร			8.45	3.01	4.54	3.58	2.54	22.12
ร้อยละ			38.19	13.61	20.53	16.17	11.50	100



ภาพที่ 4-15 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางชายฝั่งกรุงเทพมหานคร

จังหวัดสมุทรสงคราม ผลการศึกษา พบว่าพื้นที่ที่เปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งของ จังหวัดสมุทรสงคราม พบว่า ส่วนใหญ่มีความเปราะบางระดับต่ำมาก (ร้อยละ 45) รายละเอียดผล การศึกษาจำแนกเป็นรายตำบลแสดงดังตารางที่ 4-8 โดยปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อระดับความ เปราะบาง คือ ความกว้างของป่าชายเลน ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลรองลงมา คือ ความลาดชันชายฝั่ง พบว่าแนวมีชายฝั่งบางส่วนของตำบลบางแก้ว และตำบลคลองโคนที่พบการกัดเซาะชายฝั่งใน ระดับรุนแรงมาก

ตารางที่ 4-8 พื้นที่เปราะบางการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสงคราม

ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พื้นที่ (ตร.กม) ระดับความเปราะบาง					พื้นที่รวม (ตร.กม)
			1	2	3	4	5	
คลองโคน	เมืองสมุทรสงคราม	สมุทรสงคราม	3.04	0.02	0.0001	-	-	3.06
แหลมใหญ่	เมืองสมุทรสงคราม	สมุทรสงคราม	1.21	0.38	0.43	0.73	0.11	2.85
บางจะเกร็ง	เมืองสมุทรสงคราม	สมุทรสงคราม	0.25	0.39	0.24	1.12	0.07	2.07
บางแก้ว	เมืองสมุทรสงคราม	สมุทรสงคราม	1.22	0.87	1.95	0.29	0.40	4.72
รวมจังหวัดสมุทรสงคราม			5.71	1.65	2.62	2.13	0.57	12.70
ร้อยละ			45.00	13.03	20.64	16.80	4.53	100



ภาพที่ 4-16 แผนที่จำแนกระดับความเปราะบางจังหวัดสมุทรสงคราม

จังหวัดเพชรบุรี ผลการศึกษา พบว่าพื้นที่ที่เปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดเพชรบุรี พบว่า ส่วนใหญ่มีความเปราะบางระดับต่ำมาก (ร้อยละ 62.73) รายละเอียดผลการศึกษาดำเนกเป็นรายตำบลแสดงดังตารางที่ 4-9 และภาพที่ 4-17 โดยปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อระดับความเปราะบาง คือ ความกว้างของป่าชายเลน ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลรองลงมา คือ การใช้ประโยชน์ที่ดิน เนื่องจากพบการใช้ที่ดินประเภทย่านชุมชน พาณิชยกรรม และโรงงานอุตสาหกรรม บริเวณตำบลปากทะเล และตำบลบางแก้ว ชายหาดและสถานประกอบการด้านการท่องเที่ยว บริเวณตำบลแหลมผักเบี้ย นอกจากนี้ยังมีแนวชายฝั่งประสบปัญหาการกัดเซาะระดับรุนแรงมาก บริเวณตำบลบางขุนไทร ตำบลบ้านแหลม และตำบลบางตะนูน

ตารางที่ 4-9 พื้นที่เปราะบางการกัดเซาะชายฝั่งของจังหวัดเพชรบุรี

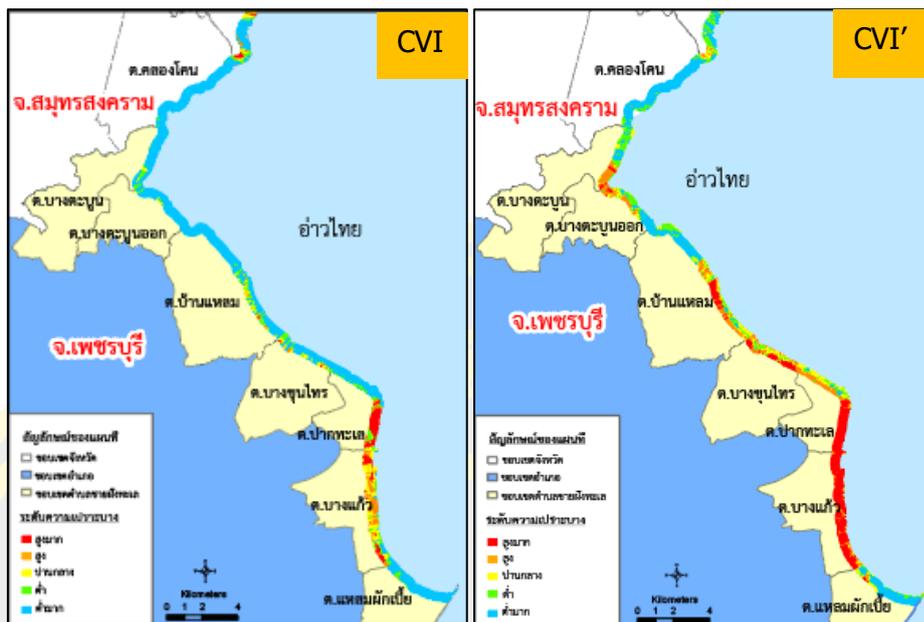
ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พื้นที่ (ตร.กม) ระดับความเปราะบาง					พื้นที่รวม (ตร.กม)
			1	2	3	4	5	
แหลมผักเบี้ย	บ้านแหลม	เพชรบุรี	2.02	0.14	0.004	0.01	-	2.17
บางแก้ว	บ้านแหลม	เพชรบุรี	0.19	0.28	1.47	1.02	0.62	3.58
ปากทะเล	บ้านแหลม	เพชรบุรี	1.64	0.54	0.06	0.21	0.93	3.37
บางขุนไทร	บ้านแหลม	เพชรบุรี	0.95	0.28	0.20	0.10	0.02	1.55
บ้านแหลม	บ้านแหลม	เพชรบุรี	3.71	0.39	0.24	0.14	0.01	4.50
บางตะนูนออก	บ้านแหลม	เพชรบุรี	1.72	0.07	0.04	0.0001	-	1.83
บางตะนูน	บ้านแหลม	เพชรบุรี	1.71	0.26	0.07	-	-	2.05
รวมจังหวัดเพชรบุรี			11.95	1.96	2.08	1.47	1.58	19.05
ร้อยละ			62.73	10.29	10.94	7.74	12.07	100

ตารางที่ 4-10 การจำแนกระดับความเปราะบางของตัวแปรความสูงคลื่นนัยสำคัญ

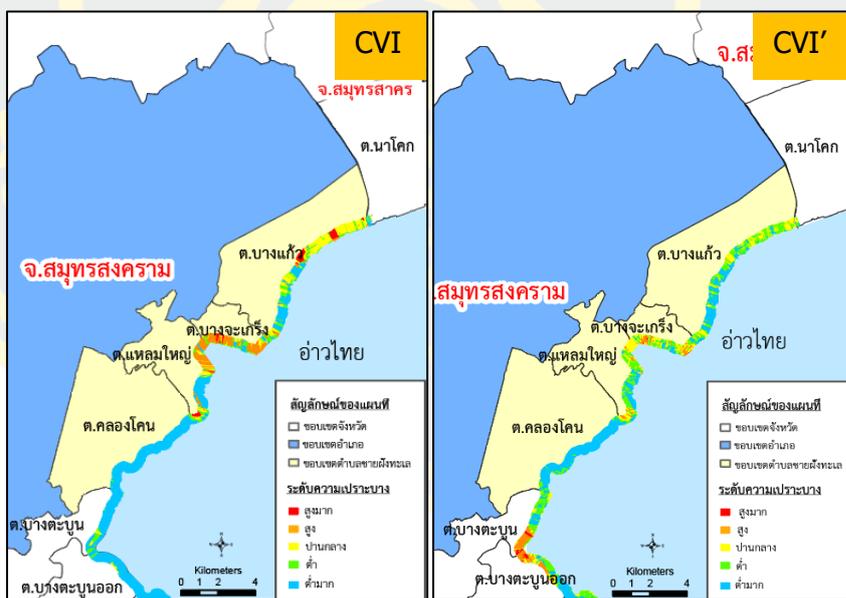
ระดับความเปราะบาง	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (เมตร)
ต่ำมาก (1)	< 0.22
ต่ำ (2)	0.22 – 0.23
ปานกลาง (3)	0.23 – 0.24
สูง (4)	> 0.24
สูงมาก (5)	0.25

ตารางที่ 4-11 การจำแนกระดับความเปราะบางของตัวแปรพิสัยน้ำเฉลี่ย

ระดับความเปราะบาง	พิสัยน้ำเฉลี่ย (เมตร)
ต่ำมาก (1)	< 1.7
ต่ำ (2)	1.70 – 1.72
ปานกลาง (3)	1.72 – 1.79
สูง (4)	1.79 – 1.87
สูงมาก (5)	> 1.87

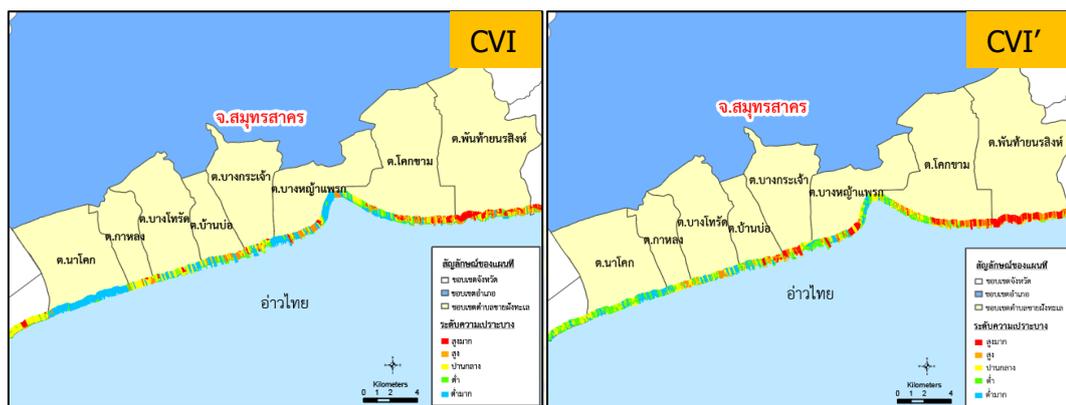


จังหวัดเพชรบุรี

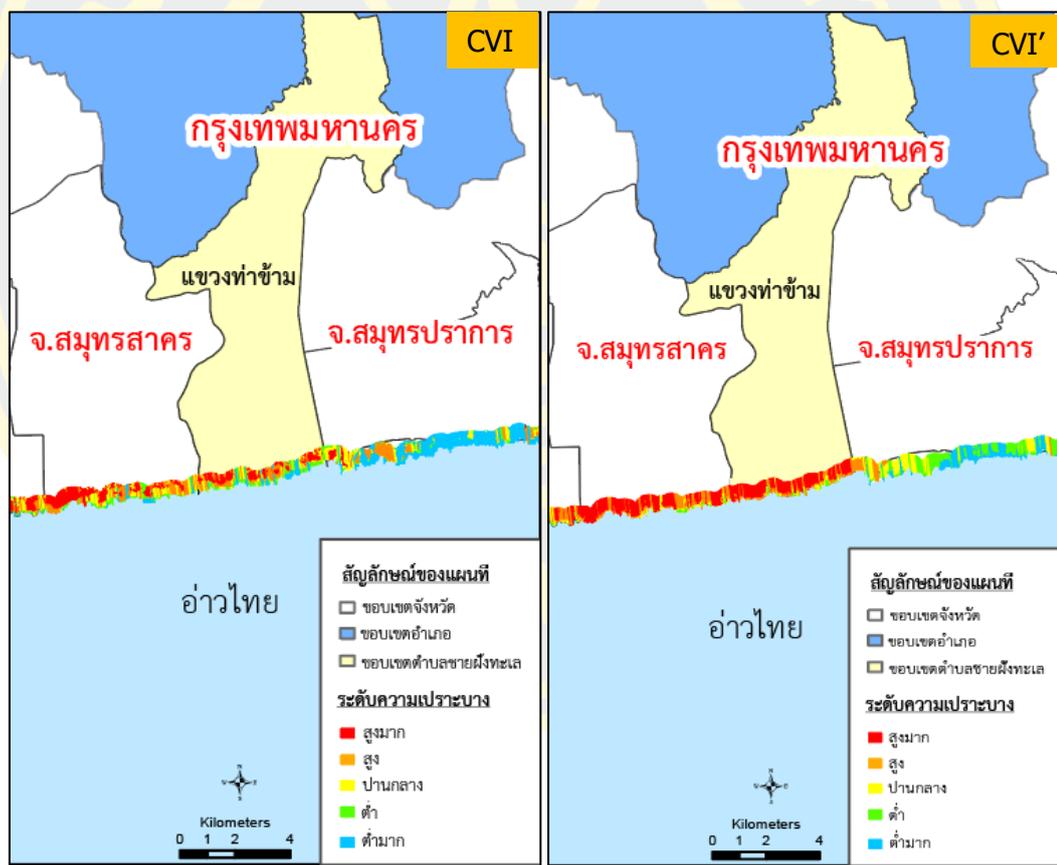


จังหวัดสมุทรสงคราม

ภาพที่ 4-18 เปรียบเทียบแผนที่ CVI VS CVI'

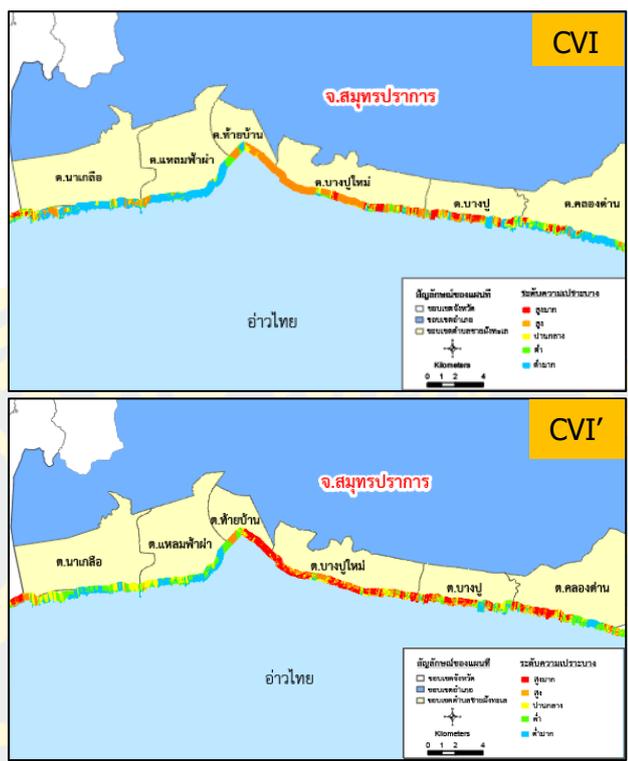


จังหวัดสมุทรสาคร

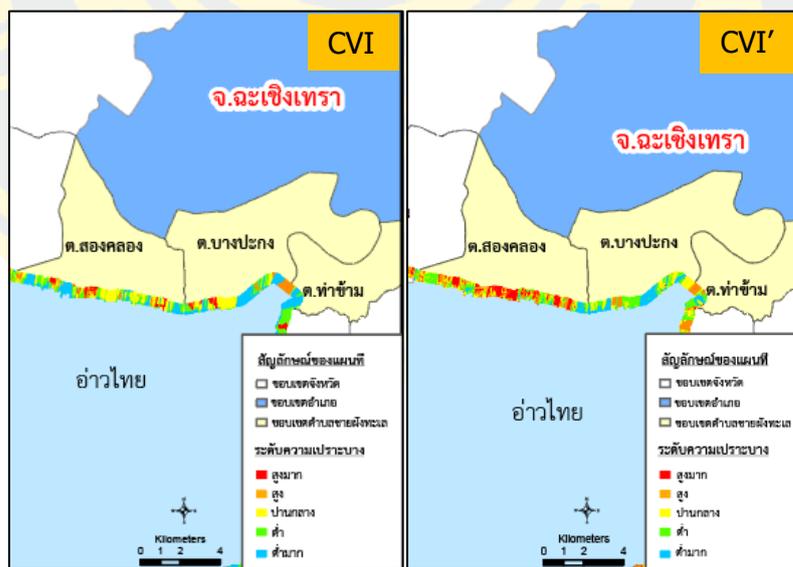


กรุงเทพมหานคร

ภาพที่ 4-18 เปรียบเทียบแผนที่ CVI VS CVI' (ต่อ)

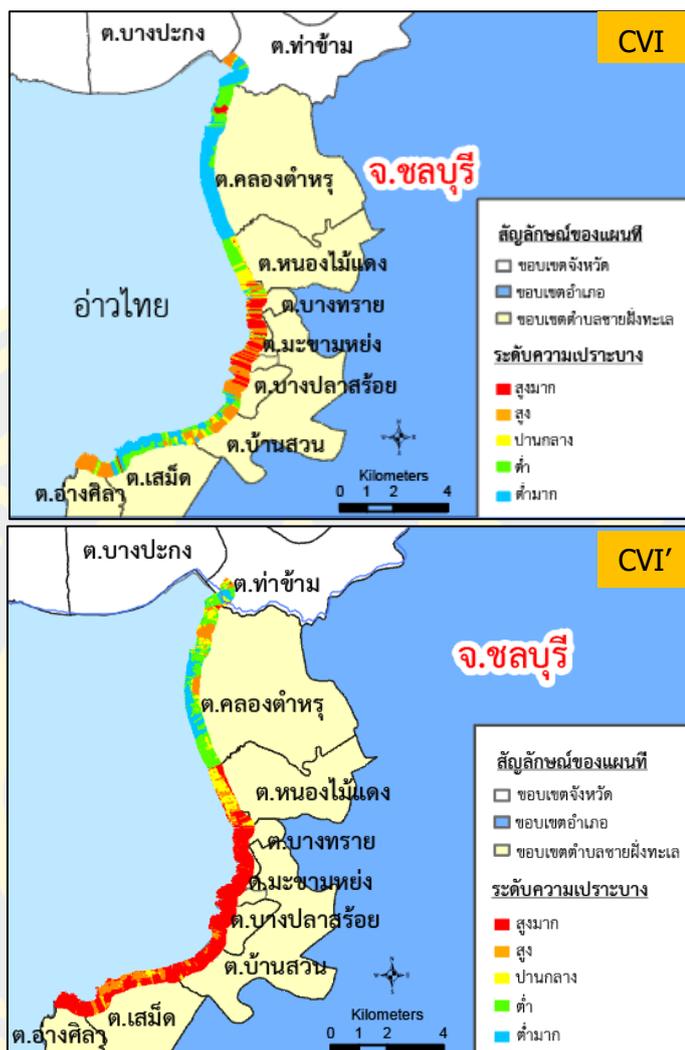


จังหวัดสมุทรปราการ



จังหวัดฉะเชิงเทรา

ภาพที่ 4-18 เปรียบเทียบแผนที่ CVI VS CVI' (ต่อ)



จังหวัดชลบุรี

ภาพที่ 4-18 เปรียบเทียบแผนที่ CVI VS CVI' (ต่อ).

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: r) ของระดับความเปราะบางกับตัวแปร ดังตารางที่ 4-12 พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อระดับความเปราะบางสูงมากของพื้นที่ชายฝั่ง 3 ลำดับแรก ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความหนาแน่นของประชากร และความกว้างของป่าชายเลน ตามลำดับ ดังนั้นหากจะกำหนดมาตรการในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน ควรมุ่งเน้นไปที่การปลูกป่าชายเลนหรือการเพิ่มพื้นที่แนวป่าชายเลนเพื่อเพิ่มแนวกำบังคลื่น เนื่องจากปัจจัยความหนาแน่นของประชากรและการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์จึงยากต่อเปลี่ยนแปลงและแก้ไข

ตารางที่ 4-12 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระดับความเปราะบางกับตัวแปร

ตัวแปร	r
ความลาดชันชายฝั่ง	0.32
อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	0.36
ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย	0.32
พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ย	0.37
ความหนาแน่นของประชากร	0.54
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	0.77
ความกว้างของป่าชายเลน	0.40

ข้อจำกัดของการศึกษา

1. ข้อจำกัดเรื่องการใช้สมการคำนวณความเปราะบาง

สมการคำนวณความเปราะบางชายฝั่งถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความเปราะบางชายฝั่ง โดยการคำนวณหาความเปราะบางชายฝั่งสามารถคำนวณได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันเป็นอย่างมาก คือ การคำนวณแบบสมการของ Gornitz (1991) โดยใช้รากที่สองของค่าเฉลี่ยของผลคูณ ซึ่งวิธีนี้ถูกนำไปใช้เป็นจำนวนมาก นอกจากนั้น Diez et al. (2007) ใช้การคำนวณโดยการให้ค่าน้ำหนักกับตัวแปร และคำนวณโดยการหาค่าเฉลี่ยของตัวแปร อีกทั้งยังเปรียบเทียบการประเมินความเปราะบางของทั้ง 2 สมการ พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณสมการของ Gornitz (1991) ไม่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของผลลัพธ์ แต่ในทางกลับกัน วิธีการคำนวณโดยการหาค่าเฉลี่ยของ Diez et al. (2007) พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการนี้ สามารถตอบสนองต่อความหลากหลายทางสิ่งแวดล้อมของมันได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ใช้วิธีการคำนวณของ Gornitz (1991) เนื่องจากให้ค่าความสำคัญของทุกตัวแปรเท่ากัน เพราะหากคุณค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละตัวแปรเข้าไป ผลลัพธ์ที่ได้สามารถตอบสนองต่อความหลากหลายทางสิ่งแวดล้อม แต่ในทางกลับการระบุค่าความสำคัญของตัวแปรก็แสดงให้เห็นว่าตัวแปรนั้น ๆ มีความสำคัญและมีอิทธิพลต่อความเปราะบางชายฝั่งบริเวณนั้น ๆ มากน้อยเพียงใด

2. ข้อจำกัดเรื่องตัวแปรโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง

เนื่องจากในพื้นที่ศึกษามีโครงสร้างหลายประเภท แต่ยังขาดการติดตามประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างทำให้ยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่า โครงสร้างแต่ละประเภท สามารถป้องกันได้ หรือส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งข้างเคียงมากน้อยเพียงใด

ดังนั้นการศึกษานี้ยังไม่ได้นำตัวแปร โครงสร้าง มาใช้ในการศึกษา อย่างไรก็ตาม ในอนาคตในงานวิจัยต่อไปควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของโครงสร้างแต่ละประเภทและผนวกตัวแปร โครงสร้าง ป้องกันชายฝั่งมาใช้ในการศึกษา เนื่องจากโครงสร้างเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ภาครัฐใช้ในแก้ไขปัญหาการกัดเซาะและลดความเปราะบางต่อการกัดเซาะได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ควรจะมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพหรือประสิทธิผลของโครงสร้างแต่ละประเภทที่มีความเหมาะสมทางกายภาพของระบบนิเวศหาดโคลนและทำการจำแนกระดับความเปราะบางตามความเหมาะสมของโครงสร้างแต่ละประเภท



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาดัชนีความเปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งโดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศ เพื่อแสดงให้เห็นถึงพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่อการกัดเซาะบริเวณอ่าวไทยตอนบน และเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการดำเนินมาตรการการบริหารจัดการชายฝั่ง

สรุปผลการประเมินความเปราะบางของพื้นที่ชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน

การวิเคราะห์ดัชนีความเปราะบางของชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบนโดยประยุกต์ใช้ GIS เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์หาพื้นที่เปราะบางชายฝั่ง พร้อมทั้งวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อระดับความเปราะบาง ทำให้ได้พื้นที่ที่มีความเปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่ง และจัดทำออกมาเป็นแผนที่ความเปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งระบบกลุ่มหาดอ่าวไทยตอนบนที่จำแนกระดับความเปราะบางออกเป็นเจ็ดสีต่าง ๆ สำหรับตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาจำนวน 7 ตัวแปร ประกอบด้วย อัตราการกัดเซาะชายฝั่ง ความลาดชันชายฝั่ง ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ย พิสัยน้ำขึ้นน้ำลง ความหนาแน่นประชากร การใช้ประโยชน์ที่ดิน และความกว้างของป่าชายเลน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อระดับความเปราะบางของพื้นที่ชายฝั่ง 3 ลำดับแรก ได้แก่ ความกว้างของป่าชายเลน ความหนาแน่นของประชากร และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามลำดับ ผลการศึกษาเพื่อหาพื้นที่เปราะบางต่อการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน ซึ่งมีพื้นที่ศึกษารวมทั้งสิ้น 101.55 ตารางกิโลเมตร พบว่า ชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบนส่วนใหญ่มีความเปราะบางระดับต่ำมาก มีเนื้อที่รวม 42.19 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 41.54 ของพื้นที่ศึกษา พบมากที่สุดบริเวณชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี รองลงมาคือ ความเปราะบางระดับสูง เนื้อที่รวม 19.60 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 19.30 ของพื้นที่ศึกษา พบมากที่สุดบริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรี และกรุงเทพมหานคร ความเปราะบางระดับต่ำ มีเนื้อที่รวม 14.04 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 13.82 ของพื้นที่ศึกษา พบมากที่สุดบริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรี และกรุงเทพมหานคร ความเปราะบางระดับปานกลาง มีเนื้อที่รวม 15.85 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 15.61 ของพื้นที่ศึกษา พบมากที่สุดบริเวณชายฝั่งจังหวัดฉะเชิงเทรา สมุทรสงครามและสมุทรสาคร ความเปราะบางระดับสูงมาก มีเนื้อที่รวม 9.88 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 9.73 ของพื้นที่ศึกษา พบมากที่สุดบริเวณชายฝั่งจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อระดับความเปราะบางของพื้นที่

ชายฝั่ง 3 ลำดับแรก ได้แก่ ความหนาแน่นของประชากร ความกว้างของป่าชายเลน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามลำดับ

ดังนั้นหากจะกำหนดมาตรการในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณอ่าวไทย ตอนบน ควรมุ่งเน้นไปที่การปลูกป่าชายเลนหรือการเพิ่มพื้นที่แนวป่าชายเลน เพื่อเพิ่มแนวกำบังคลื่น เนื่องจากปัจจัยความหนาแน่นของประชากรและการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ซึ่งยากต่อเปลี่ยนแปลงและแก้ไข

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษานี้เป็นการศึกษาดัชนีความเปราะบางของชายฝั่ง โดยใช้ข้อมูลในปัจจุบัน ดังนั้นหากนำข้อมูลไปใช้ประกอบเพื่อหาแนวทางในการป้องกันและรับมือกับปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต อาจใช้ปัจจัยและข้อมูลจากการพยากรณ์ได้

2. สำหรับการปลูกป่าชายเลนข้อจำกัดในการหาพื้นที่ปลูกที่เหมาะสม อีกทั้งยังต้องคัดเลือกพันธุ์ไม้ท้องถิ่นที่เหมาะสม และปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีส่วนช่วยให้พืชที่ปลูกมีโอกาสรอดสูง รวมทั้งในระยะแรกของการปลูก เพื่อให้ชายฝั่งมีการสะสมตัวของดินตะกอนได้ดียิ่งขึ้น อาจใช้พันธุ์ไม้เบิกนำให้เหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพของชายหาดแต่ละประเภท เช่น หาดโคลนอาจใช้แสม หาดทรายอาจใช้หญ้าดอกขาว เป็นต้น หรือผสมผสานใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่งเข้าร่วมด้วย เช่น การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น เขื่อนเรียงหินริมฝั่ง เพื่อลดพลังงานคลื่นที่จะเข้าปะทะชายฝั่ง และปลูกป่าชายเลนด้านหลังเพิ่มเติม

บรรณานุกรม

- Abuodha, P. A., & Woodroffe, C. D. (2006). Assessing vulnerability of coasts to climate change: A review of approaches and their application to the Australian coast.
- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 268-281.
- Arkema, K. K., Guannel, G., Verutes, G., Wood, S. A., Guerry, A., Ruckelshaus, M., . . . Silver, J. M. (2013). Coastal habitats shield people and property from sea-level rise and storms. *Nature climate change*, 3(10), 913-918.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2012). Social vulnerability to environmental hazards. In *Hazards vulnerability and environmental justice* (pp. 143-160): Routledge.
- De Serio, F., Armenio, E., Mossa, M., & Petrillo, A. F. (2018). How to define priorities in coastal vulnerability assessment. *Geosciences*, 8(11), 415.
- Devoy, R. J. (2008). Coastal vulnerability and the implications of sea-level rise for Ireland. *Journal of Coastal Research*, 24(2), 325-341.
- Doukakis, E. (2005). Coastal vulnerability and risk parameters. *European Water*, 11(12), 3-7.
- Duriyapong, F., & Nakhapakorn, K. (2011). Coastal vulnerability assessment: a case study of Samut Sakhon coastal zone. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 33(4).
- Dyer, K. R. (1997). *Estuaries: a physical introduction* (2 ed.): Wiley.
- Gaki-Papanastassiou, K., Karymbalis, E., Poulos, S. E., Seni, A., & Zouva, C. (2010). Coastal vulnerability assessment to sea-level rise based on geomorphological and oceanographical parameters: the case of Argolikos Gulf, Peloponnese, Greece. *J. Geosci*, 45, 109-122.
- Garrison, T. (1999). *Oceanography: an invitation to marine science* (3 ed.): Wadsworth Publishing Company.
- Gornitz, V. (1991). Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 89(4), 379-398.
- Gornitz, V., & Kanciruk, P. (1989). *Assessment of global coastal hazards from sea level rise*. Retrieved from
- Gornitz, V. M., Daniels, R. C., White, T. W., & Birdwell, K. R. (1994). The development of a coastal risk assessment database: vulnerability to sea-level rise in the US Southeast. *Journal of Coastal Research*, 327-338.

- Green, C., & McFadden, L. (2007). Coastal vulnerability as discourse about meanings and values. *Journal of Risk Research*, 10(8), 1027-1045.
- Gutierrez, B., Williams, S., & Thieler, E. (2009). Basic approach for shoreline change projections. *Coastal Sensitivity to Sea-Level Rise: A Focus on the MidAtlantic Region. A Report by the US Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. US Environmental Protection Agency, Washington DC*, 239-242.
- Hashim, A. M., & Catherine, S. M. P. (2013). A laboratory study on wave reduction by mangrove forests. *APCBEE procedia*, 5, 27-32.
- Hereher, M., Al-Awadhi, T., Al-Hatrushi, S., Charabi, Y., Mansour, S., Al-Nasiri, N., . . . El-Kenawy, A. (2020). Assessment of the coastal vulnerability to sea level rise: Sultanate of Oman. *Environmental Earth Sciences*, 79, 1-12.
- Hoque, M. A.-A., Ahmed, N., Pradhan, B., & Roy, S. (2019). Assessment of coastal vulnerability to multi-hazardous events using geospatial techniques along the eastern coast of Bangladesh. *Ocean & Coastal Management*, 181, 104898.
- Inman, D. L., & Frautschy, J. D. (1965). *Littoral processes and the development of shorelines*. Paper presented at the American Society of Civil Engineers (ASCE), New York.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Climate change 2014: mitigation of climate change. In Edenhofer O., PichsMadruga R., Sokona Y., Farahani E., Kadner S., Seyboth K., Adler A., Baum I., Brunner S., Eickemeier P., Kriemann B., Savolainen J., Schlömer S., von Stechow C., Zwickel T., & J. C. Minx (Eds.), *Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climatic Change: IPCC. (1996). Change in sea level: University press. In. Cambridge: Great Britain.
- Ismail, H., Abd Wahab, A., & Alias, N. E. (2012). Determination of mangrove forest performance in reducing tsunami run-up using physical models. *Natural Hazards*, 63, 939-963.
- Ju CY, Jia YG, Shan HX, Tang CW, & Ma WJ. (2012). GIS-based coastal area suitability assessment of geo-environmental factors in Laoshan district, Qingdao. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(1), 143-150.

- Kashio, M. (2005). Tsunami impact assessment in mangroves and other coastal forests in the southern Thailand. *FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand*.
- Kelly, P. M., & Adger, W. N. (2000). Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and Facilitating adaptation. *Climatic change*, 47(4), 325-352.
- Klein, R. J., & Nicholls, R. J. (1999). Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio*, 182-187.
- Klein, R. J., Smit, M. J., Goosen, H., & Hulsbergen, C. H. (1998). Resilience and vulnerability: coastal dynamics or Dutch dikes? *Geographical Journal*, 259-268.
- Koroglu, A., Ranasinghe, R., Jiménez, J. A., & Dastgheib, A. (2019). Comparison of coastal vulnerability index applications for Barcelona Province. *Ocean & Coastal Management*, 178, 104799.
- Kumar, T. S., Mahendra, R., Nayak, S., Radhakrishnan, K., & Sahu, K. (2010). Coastal vulnerability assessment for Orissa State, east coast of India. *Journal of Coastal Research*, 26(3), 523-534.
- Lacambra, C., Spencer, T., & Moeller, I. (2008). Tropical coastal ecosystems as coastal defences. *ProAct network. The role of environmental management and eco-engineering in disaster risk reduction and climate change adaptation*.
- López Royo, M., Ranasinghe, R., & Jiménez, J. A. (2016). A rapid, low-cost approach to coastal vulnerability assessment at a national level. *Journal of Coastal Research*, 32(4), 932-945.
- Mahapatra, M., Ramakrishnan, R., & Rajawat, A. (2015). Coastal vulnerability assessment of Gujarat coast to sea level rise using GIS techniques: a preliminary study. *Journal of coastal conservation*, 19, 241-256.
- Mani Murali, R., Ankita, M., Amrita, S., & Vethamony, P. (2013). Coastal vulnerability assessment of Puducherry coast, India, using the analytical hierarchical process. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(12), 3291-3311.
- Mani Murali, R., Ankita, M., & Vethamony, P. (2018). A new insight to vulnerability of Central Odisha coast, India using analytical hierarchical process (AHP) based approach. *J. Coast. Conserv*, 22, 799-819.
- Mclaughlin, S., & Cooper, J. A. G. (2010). A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers? *Environmental Hazards*, 9(3), 233-248.

- McLaughlin, S., McKenna, J., & Cooper, J. (2002). Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities. *Journal of Coastal Research*(36), 487-497.
- Mimura, N. (1996). *Data book of sea-level rise*: Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Environment Agency of Japan.
- Mohd, F. A., Maulud, K. N. A., Karim, O. A., Begum, R. A., Awang, N. A., Ahmad, A., . . .
- Mohtar, W. H. M. W. (2019). Comprehensive coastal vulnerability assessment and adaptation for Cherating-Pekan coast, Pahang, Malaysia. *Ocean & Coastal Management*, 182, 104948.
- Montanari, R., & Marasmi, C. (2012). New tools for coastal management in Emilia-Romagna. *Regione Emilia-Romagna, Assessorato alla Sicurezza Territoriale Difesa del Suolo e della Costa Protezione Civile, Bologna, Italy*.
- Moret, W. (2014). Vulnerability assessment methodologies: A review of the literature. *Washington, DC: FHI*, 360.
- Motyka, J., & Brampton, A. (1993). Coastal management: mapping of littoral cells.
- Mullick, M. R. A., Tanim, A., & Islam, S. S. (2019). Coastal vulnerability analysis of Bangladesh coast using fuzzy logic based geospatial techniques. *Ocean & Coastal Management*, 174, 154-169.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2020). Tides and Water Levels. Retrieved from https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_tides/tides01_intro.html
- Nicholls, R. J., Wong, P. P., Burkett, V., Woodroffe, C. D., & Hay, J. (2008). Climate change and coastal vulnerability assessment: scenarios for integrated assessment. *Sustainability Science*, 3, 89-102.
- Nidhinarangkoon, P., & Ritphring, S. (2019). *Assessment of coastal vulnerability to sea level rise: a case study of Prachuap Khiri Khan, Thailand*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Othman, M. A. (1994). Value of mangroves in coastal protection. *Hydrobiologia*, 285(1), 277-282.
- Özyurt*, G., & Ergin, A. (2010). Improving coastal vulnerability assessments to sea-level rise: a new indicator-based methodology for decision makers. *Journal of Coastal Research*, 26(2), 265-273.

- Paepe, R., Fairbridge, R. W., & Jelgersma, S. (2012). *Greenhouse effect, sea level and drought* (Vol. 325): Springer Science & Business Media.
- Patsch, K., & Griggs, G. B. (2006). *Littoral cells, sand budgets, and beaches: understanding California's shoreline*: Institute of Marine Sciences, University of California, Santa Cruz.
- Peck, D. L., & Williams, S. J. (2003). *Sea-level rise and its implication in coastal planning and management*. Paper presented at the Ocean Management in Global Change: Proceedings of the Conference on Ocean Management in Global Change, Genoa, 22-26 June 1992.
- Pendleton, E. A., Barras, J., Williams, S., & Twichell, D. (2010). *Coastal vulnerability assessment of the Northern Gulf of Mexico to sea-level rise and coastal change* (2331-1258). Retrieved from
- Pethick, J., Ramesh, R., & Purvaja, R. (2013). Coastal sediment cells: a guide for coastal managers. *National Centre for Sustainable Coastal Management, Ministry of Environments and Forests, Chennai*, 20.
- Preston, B. L., Yuen, E. J., & Westaway, R. M. (2011). Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks. *Sustainability Science*, 6, 177-202.
- Ramieri, E., Hartley, A., Barbanti, A., Santos, F. D., Gomes, A., Hilden, M., . . . Santini, M. (2011). Methods for assessing coastal vulnerability to climate change. *ETC CCA technical paper*, 1(2011), 1-93.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (1991). Prediction, projection and forecasting: applications of the analytic hierarchy process in economics, finance, politics, games and sports.
- Sahoo, B., & Bhaskaran, P. K. (2018). Multi-hazard risk assessment of coastal vulnerability from tropical cyclones—A GIS based approach for the Odisha coast. *Journal of environmental management*, 206, 1166-1178.
- Serafim, M. B., Siegle, E., Corsi, A. C., & Bonetti, J. (2019). Coastal vulnerability to wave impacts using a multi-criteria index: Santa Catarina (Brazil). *Journal of environmental management*, 230, 21-32.
- Shaw, J., Taylor, R. B., Forbes, D. L., Ruz, M., & Solomon, S. (1998). *Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise*: Geological Survey of Canada Ottawa.

- Shetty, A., Jayappa, K., Ramakrishnan, R., & Rajawat, A. (2019). Shoreline dynamics and vulnerability assessment along the Karnataka Coast, India: A geo-statistical approach. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47, 1223-1234.
- Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 282-292.
- Snidvongs, A. (1998). The oceanography of the Gulf of Thailand: Research and management policy. *SEAPOL integrated studies of the Gulf of Thailand*, 1, 1-68.
- Stul, T., Gozzard, J., Eliot, I., & Eliot, M. (2012). Coastal sediment cells between cape naturaliste and the Moore river, Western Australia. *Report prepared by Damara WA Pty Ltd and Geological Survey of Western Australia for the Western Australian Department of Transport, Fremantle*, 44.
- Thieler, E. R., & Hammar-Klose, E. S. (1999). *National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: preliminary results for the US Atlantic coast (2331-1258)*. Retrieved from
- Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., & Ergul, A. (2009). *The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0-an ArcGIS extension for calculating shoreline change (2331-1258)*. Retrieved from
- Vittal Hegde, A., & Radhakrishnan Reju, V. (2007). Development of coastal vulnerability index for Mangalore coast, India. *Journal of Coastal Research*, 23(5), 1106-1111.
- Vongvisessomjai, S., Polsi, R., Manotham, C., Srisaengthong, D., & Charulukkana, S. (1996). Coastal erosion in the Gulf of Thailand. In *Sea-level Rise and Coastal Subsidence: Causes, Consequences, and Strategies* (pp. 131-150): Springer.
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2021). สาเหตุของปัญหาการกัดเซาะในประเทศไทย. สืบค้นจาก https://km.dmcr.go.th/th/c_55/d_325
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2557). บทเรียนการจัดการปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งที่สอดคล้องกับระบบชายฝั่ง (พิมพ์ครั้งที่ 1). ปทุมธานี: บริษัท วิสุทธิ คอนซัลแตนท์ จำกัด
- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. (2559). การลดความเสี่ยงจากสาธารณภัย (พิมพ์ครั้งที่ 3): บริษัท เวิร์ค พรีนติ้ง จำกัด.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2561a). พายุหมุนเขตร้อน. สืบค้นจาก <https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=58>.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2561b). ลมมรสุม. สืบค้นจาก <https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=52>.

- กองบริหารจัดการพื้นที่ชายฝั่ง. (2561). คู่มือความรู้"การกักเซาะชายฝั่ง". กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.
- กัทลี คุรุกุล, & กาญจนา นาคะภากร. (2014). การประเมินหาพื้นที่เปราะบางชายฝั่งโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศจังหวัดสมุทรสงคราม. *Thai Science and Technology Journal*, 775-788.
- ธรรมนุญ รัศมีมาสเมือง. (2555). การลดทอนของคลื่นในป่าชายเลน. *KKU Engineering Journal*. นกคณ วรรณศิลป์. (2533). ใต้ฝุ่นเกย์ และแนวทางการบรรเทาภัย. In สุรพล สุคารา, ปริญญา นุคาลัย, & ธงชัย พรรณศักดิ์ (บ.ก.), เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง การอนุรักษ์ทรัพยากรทางธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย.
- เบญจมาศ โชติทอง. (2553). ความมั่นคงของระบบนิเวศและชุมชนชายฝั่งในพื้นที่ประสบภัยพิบัติสินามิ (พิมพ์ครั้งที่ 1): บริษัท ชิโน พับลิชชิ่ง (ประเทศไทย) จำกัด.
- สนิท อักษรแก้ว, & สนใจ หะวานนท์. (2548). ป่าชายเลน...ป้อมปราการธรรมชาติชายฝั่งทะเล "ป่าชายเลนไทยช่วยต้านภัยคลื่นสินามิ": วารสารราชบัณฑิตยสถาน.
- สมคิด บัวเพ็ง. (2543). วิกฤตการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุดในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี.
- สิน สิ้นสกุล, สุวัฒน์ ดิยะไพรัช, นิรันดร ชัยมณี, & บรรเจิด อร่ามประยูร. (2545). การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทย (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: บริษัท โมเดิร์น फिल्म เซ็นเตอร์ จำกัด.
- สุรศักดิ์ บุญลือ. (2551). การสำรวจและศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน (จังหวัดเพชรบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ ฉะเชิงเทรา และชลบุรี). กรุงเทพฯ: กองธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อม กรมทรัพยากรธรณี.
- สุวลักษณ์ สาธมนัสพันธุ์. (2554). การจัดการชายฝั่ง:การบูรณาการสู่ความยั่งยืน (พิมพ์ครั้งที่ 1). นครปฐม: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สุวัญ ธีรุต. (2550). วิทยาศาสตร์ทางทะเลเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- อรอร สาราจิตต์, & กาญจนา นาคะภากร. (2557). การประเมินความเปราะบางของพื้นที่ชายฝั่งตามฤดูกาล กรณีศึกษาจังหวัดเพชรบุรี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- อัปสรสุดา ศิริพงษ์. (2528). ลักษณะของน้ำขึ้นน้ำลงในอ่าวไทย. In เอกสารประกอบการสัมมนา ระบบนิเวศวิทยาป่าชายเลน. ภูเก็ต.

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

ไอลดา จันทร์แจ่มดารา

วัน เดือน ปี เกิด

25 ธันวาคม 2539

