



การประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน

AN APPLICATION OF GEOINFORMATICS FOR SHORELINE CHANGE

MONITORING COAST ALONG UPPER GULF OF THAILAND.



ชาคริต ขวาลิต

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2567

การประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ
คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

AN APPLICATION OF GEOINFORMATICS FOR SHORELINE CHANGE
MONITORING COAST ALONG UPPER GULF OF THAILAND.



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Geoinformatics)

Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University

2024

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน
ของ
ชาคริต ขวาลิต

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก	 ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย บุญพุก)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัทมพร วงศ์วิริยะ)
..... ที่ปรึกษาร่วม	 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อสมารณ ลิขิต)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ เมฆแสงสว)

ชื่อเรื่อง	การประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน
ผู้วิจัย	ชาคริต ขวลิต
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2567
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย บุญพุท
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อสมภรณ์ สิทธิ

การกัดเซาะชายฝั่งยังคงเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในอ่าวไทยตอนบน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากกระบวนการทางธรรมชาติและปัจจัยที่เกิดจากมนุษย์ การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนบนตลอดระยะเวลา 35 ปี (พ.ศ.2531-2566) โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง และระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล ผลการศึกษาพบว่า วิธีการจำแนกแบบป่าสุ่มที่รวมแถบช่วงคลื่นและดัชนีต่าง ๆ เช่น NDVI, NDWI, MNDWI, SAVI มีความแม่นยำในการจำแนกสูงสุดที่ร้อยละ 98.17 และมีค่าสัมประสิทธิ์แคปปาที่ 0.9432 โดยสามารถแบ่งแยกขอบเขตของพื้นที่บกและพื้นที่น้ำได้อย่างถูกต้อง โดยเส้นแนวชายฝั่งประจำปี (Annual Shoreline) ทั้ง 7 ช่วงเวลา มีค่าความถูกต้องที่สูง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) จากข้อมูลเส้นอ้างอิงเท่ากับ 13.59 เมตร (พ.ศ.2561) และ 8.90 เมตร (พ.ศ.2566) จากผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัลแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญ โดยในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 ถึง 2549 เป็นช่วงเวลาที่แสดงปัญหาการกัดเซาะรุนแรงที่สุด โดยเฉพาะพื้นที่ด้านเหนือของอ่าวไทยตอนบนอันเนื่องมาจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล กระแสน้ำรุนแรงที่รุนแรง และกิจกรรมที่เกิดจากมนุษย์ ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2549 ถึง 2561 อัตราการกัดเซาะกลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ดีขึ้นจากโครงสร้างป้องกันชายฝั่งและการฟื้นฟูป่าชายเลน ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2561 ถึง 2566 เป็นช่วงเวลาที่แสดงให้เห็นถึงการผสมผสานระหว่างการกัดเซาะและการสะสมตัว ซึ่งเน้นย้ำถึงลักษณะพลวัตของกระบวนการเคลื่อนย้ายตะกอนและอิทธิพลของมาตรการการป้องกัน โดยอัตราการกัดเซาะได้ลดลงอันเนื่องมาจากการนำมาตรการป้องกันชายฝั่ง เช่น กำแพงไม้ไผ่และกำแพงหินมาใช้ รวมถึงการขยายตัวของป่าชายเลนตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม การกัดเซาะเฉพาะที่ยังคงเกิดขึ้นในพื้นที่เสี่ยงที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบต่ำ อิทธิพลของคลื่นที่รุนแรง ระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น กระแสน้ำตามฤดูกาล โดยเฉพาะในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่ประสบกับสภาพอากาศที่เลวร้าย นอกจากนี้กิจกรรมของมนุษย์ เช่น การพัฒนาเมือง การตัดไม้ทำลายป่าชายเลน และการขยายพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ยังทำให้ความคงทนของแนวชายฝั่งในพื้นที่ลดน้อยลง ในอนาคตควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งตามฤดูกาล รวมถึงการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงที่สามารถกำหนดขอบเขตชายฝั่งได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ : การกัดเซาะชายฝั่ง, การเรียนรู้ของเครื่อง, การสกัดเส้นแนวชายฝั่ง, อ่าวไทยตอนบน, การสำรวจจากระยะไกล, ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล

Title	AN APPLICATION OF GEOINFORMATICS FOR SHORELINE CHANGE MONITORING COAST ALONG UPPER GULF OF THAILAND.
Author	CHAKRIT CHAWALIT
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2024
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr Wuttichai Boonpook
Co Advisor	Assistant Professor Dr Asamaporn Sitthi

Coastal erosion remains a critical environmental issue in the Upper Gulf of Thailand, influenced by the natural processes and human-induced factors. This study analyzes long-term shoreline changes in the Upper Gulf of Thailand over a 35-year period (1988–2023) using geoinformatics, machine learning techniques, and the Digital Shoreline Analysis System (DSAS). The results showed that the Random Forest algorithm, incorporating spectral bands and indices (NDVI, NDWI, MNDWI, SAVI), achieved the highest classification accuracy (98.17%) and a Kappa coefficient of 0.9432, enabling the reliable delineation of land and water boundaries. Annual shorelines were extracted across seven time periods with high accuracy, validated by an RMSE of 13.59 meters (2018) and 8.90 meters (2023). The DSAS results revealed significant. Between 1988 to 2006, the most intense erosion occurred during the first three periods, particularly in the northern part, due to rising sea levels, strong monsoonal currents, and human disturbances. From 2006 to 2018, erosion rates declined significantly, reflecting the positive impact of coastal protection structures and mangrove restoration. From 2018 to 2023, a mix of erosion and accretion, was observed, emphasizing the dynamic nature of sediment transport processes and the influence of protection measures. Over time, erosion rates decreased due to the implementation of coastal protection measures, such as bamboo fences and rock revetments, and the natural expansion of mangrove forests. However, localized erosion persists in vulnerable regions with low-lying topography, tidal forces, rising sea levels, and seasonal currents, particularly during southwest monsoons and extreme weather events. In addition, anthropogenic activities, including urban development, mangrove deforestation, and aquaculture expansion, further exacerbate shoreline instability in these areas. Future studies should focus on, seasonal changes along the coastline. Utilizing high spatial resolution data can further enhance the accuracy of coastal boundary delineation.

Keyword : Coastal erosion, Machine Learning, Shoreline extraction, Upper Gulf of Thailand, Remote sensing, Digital Shoreline Analysis System (DSAS)

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย บุญพุก อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อสมภรณ์ ลิทธิ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการ ชี้แนะแนวทางในทุกกระบวนการของการทำวิจัยในทุกย่างก้าวด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดีมาโดยตลอด ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำหลักสูตรทุกท่าน ที่ให้ความรู้ เทคนิควิธีการ ตลอดจนแนวคิดต่าง ๆ ในทุกแง่มุมที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสารสนเทศ สำหรับนำไปใช้แก้ปัญหา และพัฒนาสังคมในด้านต่าง ๆ และขอขอบคุณ พี่น้องในทุกระดับการศึกษา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของทางภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่มีเมตตาจิตและให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้บังคับบัญชาของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ที่กรุณาให้ความไว้วางใจมอบโอกาส และสนับสนุนทุนการศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ ซึ่งเป็นสาขาวิชาที่มีประโยชน์ต่อการพัฒนากองทัพเรือในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะศาสตร์เชิงพื้นที่สำหรับสนับสนุนทุกภารกิจที่จะได้รับมอบหมายต่อไป และขอขอบคุณข้าราชการของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ แม่ ญาติพี่น้อง และเพื่อน ๆ ที่คอยเป็นกำลังใจ โดยเฉพาะคุณ สุวรรณี ขวลิต ผู้เป็นภรรยาที่แสนดี และ เด็กหญิงพิมพ์นารา ขวลิต ลูกสาวที่น่ารัก ซึ่งเป็นกำลังใจสูงสุดที่ช่วยให้ผ่านพ้นเรื่องราวต่าง ๆ ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี

ชาคริต ขวลิต

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1. ที่มาและความสำคัญของการวิจัย	1
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	7
3. ขอบเขตของการวิจัย	7
3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่.....	7
3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา	8
3.3 ขอบเขตด้านเวลา.....	8
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	8
5. คำนิยามศัพท์	9
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
1. ชายฝั่งทะเล.....	10
1.1 ความหมายและองค์ประกอบของชายฝั่งทะเล	10
1.2 ลักษณะแนวชายฝั่งทะเล	12
2. การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและสาเหตุการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	13
3. การดำเนินการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบน.....	15

4. ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System: DSAS)	17
5. การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing)	23
5.1 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก (Earth observation satellites)	25
5.2 อัตราส่วนเชิงคลื่นด้วยภาพจากการรับรู้ระยะไกล	27
5.3 การจำแนกข้อมูลภาพ (Image classification)	29
5.3 การประเมินความถูกต้องของการจำแนก	35
6. เส้นแนวชายฝั่งจากการรับรู้จากระยะไกล	37
6.1 การระบุแนวชายฝั่งด้วยการรับรู้จากระยะไกล	37
6.2 การสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยการรับรู้จากระยะไกล	39
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
7.1 การเพิ่มช่วงคลื่นให้กับภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนก	40
7.2 การสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยการดิจิทัล	41
7.3 การสกัดเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติ	42
7.4 การสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยการดิจิทัลและการสกัดเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติ ..	45
7.5 การสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยการดิจิทัล เพื่อการวิเคราะห์ชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์ แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System)	46
7.6 การสกัดเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติ เพื่อการวิเคราะห์ชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนว ชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System)	50
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	54
1. พื้นที่ศึกษา	54
1.1 ลักษณะภูมิประเทศ	55
1.2 ลักษณะภูมิอากาศ	55
1.3 ลักษณะการไหลของกระแสน้ำ	56
2. ข้อมูลที่ใช้ศึกษา	57

3. ขั้นตอนการศึกษา	66
3.1 การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมก่อนการจำแนก.....	67
3.2 การเตรียมข้อมูลการสอนและการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนก	69
3.3 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	70
3.4 การตรวจสอบความถูกต้องและการเปรียบเทียบผลการจำแนกประเภทข้อมูล	71
3.5 การสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี	71
3.6 การประเมินความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่ง	73
3.6.1 การตรวจสอบความแม่นยำด้วยการซ้อนทับข้อมูล (Overlay)	73
3.6.2 การตรวจสอบความแม่นยำโดยค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE)	74
3.7 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง.....	75
3.7.1 การแบ่งพื้นที่ในการวิเคราะห์	75
3.7.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบ ดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System)	76
3.7.3 การวิเคราะห์สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	79
บทที่ 4 ผลการศึกษา	81
1. ผลการจำแนกและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนก.....	81
2. ผลการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเลทั้ง 7 ปี.....	85
3. ผลการสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี (Annual Shoreline).....	92
4. ผลการตรวจสอบความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี.....	98
5. ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง.....	101
5.1 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System)	101

5.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางการกัดเซาะ ชายฝั่ง	104
5.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยรวมในแต่ละช่วงปี ร่วมกับลักษณะทาง กายภาพในบริเวณอ่าวไทยตอนบน	105
5.4 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละพื้นที่ศึกษาย่อย ร่วมกับลักษณะทาง กายภาพในบริเวณอ่าวไทยตอนบน	112
5.4.1 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ร่วมกับลักษณะทางกายภาพ ในพื้นที่ ศึกษาย่อยที่ 1 (อำเภอหัวหิน – แหลมผักเบี้ย).....	113
5.4.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ร่วมกับลักษณะทางกายภาพ ในพื้นที่ ศึกษาย่อยที่ 2 (แหลมผักเบี้ย – ปากแม่น้ำแม่กลอง)	119
5.4.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ร่วมกับลักษณะทางกายภาพในพื้นที่ ศึกษาย่อยที่ 3 (ปากแม่น้ำแม่กลอง – ปากแม่น้ำท่าจีน)	124
5.4.4 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ร่วมกับลักษณะทางกายภาพในพื้นที่ ศึกษาย่อยที่ 4 (ปากแม่น้ำท่าจีน – ปากแม่น้ำเจ้าพระยา).....	130
5.4.5 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ร่วมกับลักษณะทางกายภาพในพื้นที่ ศึกษาย่อยที่ 5 (ปากแม่น้ำเจ้าพระยา - ปากแม่น้ำบางปะกง).....	135
5.4.6 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ร่วมกับลักษณะทางกายภาพ ในพื้นที่ ศึกษาย่อยที่ 6 (ปากแม่น้ำบางปะกง - อำเภอสัตหีบ)	141
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลและข้อเสนอแนะ	147
1. อภิปรายผล	147
2. สรุปผล.....	156
3. ข้อเสนอแนะ	158
บรรณานุกรม	160
ภาคผนวก.....	168
ประวัติผู้เขียน.....	173



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ขนาดพื้นที่ป่าชายเลนในแต่ละจังหวัดตั้งแต่ปี พ.ศ.2504 - 2563.....	15
ตาราง 2 แนวป้องกันชายฝั่งที่ได้ดำเนินการแล้วในแต่ละจังหวัดตั้งแต่อดีต - พ.ศ.2565.....	16
ตาราง 3 ข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute data) ที่ต้องกำหนดทั้งในเส้นแนวชายฝั่งและเส้นฐาน....	18
ตาราง 4 พารามิเตอร์ของเส้นแนวชายฝั่งและเส้นฐาน.....	19
ตาราง 5 ตารางความคลาดเคลื่อนสำหรับประเมินความถูกต้อง (Confusion Matrix Table)	35
ตาราง 6 ช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่ใช้ในการศึกษา.....	58
ตาราง 7 จำนวนภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่ใช้ในการศึกษา.....	59
ตาราง 8 รายละเอียดภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่ใช้ในการศึกษา.....	59
ตาราง 9 ช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่ใช้ในการศึกษา.....	62
ตาราง 10 รายการภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่ใช้ในการศึกษา.....	62
ตาราง 11 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละช่วงปี.....	64
ตาราง 12 แผนที่ธรณีวิทยา จำนวน 4 ราวาง ที่ใช้ในการศึกษา.....	65
ตาราง 13 อัตราส่วนพื้นที่น้ำกับบก ในแต่ละช่วงปีที่ใช้จำแนก.....	70
ตาราง 14 ระยะห่างระหว่างเส้นฐานกับเส้นแนวชายฝั่งประจำปีในแต่ละช่วงปี.....	77
ตาราง 15 ที่มาของข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบกับระยะทางการกัดเซาะชายฝั่ง.....	80
ตาราง 16 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกด้วยวิธีระยะห่างต่ำที่สุด วิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และวิธีป่าสุ่ม ในวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ.2566	82
ตาราง 17 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2531 จำนวน 6 ภาพ ด้วยวิธีป่าสุ่ม.....	85
ตาราง 18 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2537 จำนวน 11 ภาพ ด้วยวิธีป่าสุ่ม.....	86

ตาราง 19 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2543 จำนวน 6 ภาพ ด้วยวิธีป่าส้ม.....	87
ตาราง 20 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2549 จำนวน 9 ภาพ ด้วยวิธีป่าส้ม.....	88
ตาราง 21 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2554 จำนวน 5 ภาพ ด้วยวิธีป่าส้ม.....	89
ตาราง 22 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2561 จำนวน 7 ภาพ ด้วยวิธีป่าส้ม.....	89
ตาราง 23 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2566 จำนวน 21 ภาพ ด้วยวิธีป่าส้ม.....	90
ตาราง 24 ผลการตรวจสอบความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี	99
ตาราง 25 อัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยตามช่วงปี จากค่าอัตราจุดสิ้นสุด โดยที่ค่าเป็นลบหมายถึงอัตราการสะสมตัว และ ค่าเป็นบวกหมายถึงอัตราการกัดเซาะ	102
ตาราง 26 ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยตามช่วงปี จากค่าการเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่งสุทธิ โดยที่ค่าเป็นลบหมายถึงระยะทางการสะสมตัว และ ค่าเป็นบวกหมายถึงระยะทางการกัดเซาะ	102
ตาราง 27 ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปี โดยที่ค่าเป็นลบหมายถึงระยะทางการสะสมตัว และ ค่าเป็นบวกหมายถึงระยะทางการกัดเซาะ	103
ตาราง 28 อัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยตามช่วงปี ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เด่นชัดในแต่ละพื้นที่ศึกษาย่อย โดยค่าเป็นบวกหมายถึงการกัดเซาะ และค่าเป็นลบหมายถึงการสะสมตัว	113
ตาราง 29 ข้อมูลค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษา	169
ตาราง 30 ข้อมูลค่าระดับน้ำทะเลจากระดับทะเลปานกลาง ที่ใช้ในการศึกษา	170
ตาราง 31 ค่าอัตราการกัดเซาะชายฝั่งในแต่ละช่วงปี ที่คำนวณได้จากระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System)	171
ตาราง 32 ค่าระยะทางการกัดเซาะชายฝั่งในแต่ละช่วงปี ที่คำนวณจากระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System)	172



สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 ส่วนประกอบของชายฝั่งทะเล	11
ภาพประกอบ 2 ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System) ...	17
ภาพประกอบ 3 กำหนดค่า Maximum Search Distance ของเส้นตัดขวาง (Transect)	20
ภาพประกอบ 4 องค์ประกอบในระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (DSAS)	20
ภาพประกอบ 5 การคำนวณ NSM SCE และEPR ในระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (DSAS)	21
ภาพประกอบ 6 การคำนวณค่า LRR ในระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (DSAS)	22
ภาพประกอบ 7 การคำนวณค่า WLR ในระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (DSAS).....	23
ภาพประกอบ 8 กระบวนการรับรู้จากระยะไกล	24
ภาพประกอบ 9 ระบบการรับรู้ของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก (ก)ระบบแฟลชีฟิเล็กทรอนิกส์ (ข)ระบบแอ็กทิฟิเล็กทรอนิกส์.....	26
ภาพประกอบ 10 หลักการทำงานของการทำงานการจำแนกแบบระยะห่างต่ำที่สุด (Minimum distance to means).....	31
ภาพประกอบ 11 หลักการทำงานของความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุด (Maximum likelihood classifier)	32
ภาพประกอบ 12 หลักการทำงานของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine)	33
ภาพประกอบ 13 หลักการทำงานของป่าสุ่ม (Random forest).....	35
ภาพประกอบ 14 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำ ความกว้าง และ ความลาดชันชายหาด	38
ภาพประกอบ 15 ตำแหน่งของแนวชายฝั่งตามนิยามที่ต่างกัน	38
ภาพประกอบ 16 พื้นที่ศึกษาชายฝั่งทะเล บริเวณอ่าวไทยตอนบน	54
ภาพประกอบ 17 การไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนในแต่ละลมมรสุม (ก)ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ข)ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้	56

ภาพประกอบ 18 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่ใช้ในการศึกษา	57
ภาพประกอบ 19 จำนวนภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่ใช้ในการศึกษา.....	59
ภาพประกอบ 20 ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่ใช้ในการศึกษา	63
ภาพประกอบ 21 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	66
ภาพประกอบ 22 ขั้นตอนการสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี	72
ภาพประกอบ 23 การตรวจสอบความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี ด้วยการซ้อนทับข้อมูล (Overlay)	73
ภาพประกอบ 24 การตรวจสอบความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี ด้วยค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย (RMSE)	75
ภาพประกอบ 25 พื้นที่ศึกษาย่อยทั้ง 6 พื้นที่	76
ภาพประกอบ 26 การสร้างเส้นฐาน (Baseline)	77
ภาพประกอบ 27 การเตรียมข้อมูลก่อนการคำนวณ	78
ภาพประกอบ 28 กำหนดค่าต่าง ๆ ในระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล	78
ภาพประกอบ 29 การวิเคราะห์ชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล ที่กำหนดระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทั้ง 7 ระดับ	79
ภาพประกอบ 30 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกด้วยระยะห่างต่ำที่สุด ความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุด ชัฟฟอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และป่าสุ่ม ในวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ.2566	82
ภาพประกอบ 31 ผลการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนทั้ง 4 วิธี ได้แก่ (ก) ระยะห่างต่ำที่สุด (ข)ความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุด (ค)ชัฟฟอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (ง)ป่าสุ่ม ในวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ.2566 ทั้ง 6 พื้นที่ ได้แก่ (A)ชายหาด (B)ป่าชายเลน (C)ประมงชายฝั่ง (D)แนวป้องกันชายฝั่งแบบติดฝั่ง (E)แนวป้องกันชายฝั่งแบบนอกฝั่งระยะใกล้ และ (F)หน้าผาชัน.....	83
ภาพประกอบ 32 (ก)ภาพดัชนีความถี่น้ำจากผลการจำแนกทั้งหมดในปี พ.ศ.2531 (ข)ภาพพื้นที่น้ำกับบกจากการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 ในดัชนีความถี่น้ำปี พ.ศ.2531 และ (ค)เส้นแนวชายฝั่งประจำปีจากการแปลงข้อมูล Raster เป็น Vector ปี พ.ศ.2531	93

ภาพประกอบ 33 (ก)ภาพดัชนีความถี่น้ำจากผลการจำแนกทั้งหมดในปี พ.ศ.2537 (ข)ภาพพื้นที่น้ำกับบกจากการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 ในดัชนีความถี่น้ำปี พ.ศ.2537 และ (ค)เส้นแนวชายฝั่งประจำปีจากการแปลงข้อมูล Raster เป็น Vector ปี พ.ศ.2537	94
ภาพประกอบ 34 (ก)ภาพดัชนีความถี่น้ำจากผลการจำแนกทั้งหมดในปี พ.ศ.2543 (ข)ภาพพื้นที่น้ำกับบกจากการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 ในดัชนีความถี่น้ำปี พ.ศ.2543 และ (ค)เส้นแนวชายฝั่งประจำปีจากการแปลงข้อมูล Raster เป็น Vector ปี พ.ศ.2543	94
ภาพประกอบ 35 (ก)ภาพดัชนีความถี่น้ำจากผลการจำแนกทั้งหมดในปี พ.ศ.2549 (ข)ภาพพื้นที่น้ำกับบกจากการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 ในดัชนีความถี่น้ำปี พ.ศ.2549 และ (ค)เส้นแนวชายฝั่งประจำปีจากการแปลงข้อมูล Raster เป็น Vector ปี พ.ศ.2549	95
ภาพประกอบ 36 (ก)ภาพดัชนีความถี่น้ำจากผลการจำแนกทั้งหมดในปี พ.ศ.2554 (ข)ภาพพื้นที่น้ำกับบกจากการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 ในดัชนีความถี่น้ำปี พ.ศ.2554 และ (ค)เส้นแนวชายฝั่งประจำปีจากการแปลงข้อมูล Raster เป็น Vector ปี พ.ศ.2554	96
ภาพประกอบ 37 (ก)ภาพดัชนีความถี่น้ำจากผลการจำแนกทั้งหมดในปี พ.ศ.2561 (ข)ภาพพื้นที่น้ำกับบกจากการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 ในดัชนีความถี่น้ำปี พ.ศ.2561 และ (ค)เส้นแนวชายฝั่งประจำปีจากการแปลงข้อมูล Raster เป็น Vector ปี พ.ศ.2561	97
ภาพประกอบ 38 (ก)ภาพดัชนีความถี่น้ำจากผลการจำแนกทั้งหมดในปี พ.ศ.2566 (ข)ภาพพื้นที่น้ำกับบกจากการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 ในดัชนีความถี่น้ำปี พ.ศ.2566 และ (ค)เส้นแนวชายฝั่งประจำปีจากการแปลงข้อมูล Raster เป็น Vector ปี พ.ศ.2566	97
ภาพประกอบ 39 เส้นแนวชายฝั่งประจำปี ทั้ง 7 เส้น ได้แก่ พ.ศ.2531, พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554, พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566.....	98
ภาพประกอบ 40 ตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูงและต่ำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี พ.ศ.2561 จากการตรวจสอบกับพื้นที่ Buffer จากเส้นอ้างอิง 30 เมตร ปี พ.ศ.2562.....	99
ภาพประกอบ 41 ตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูงและต่ำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี พ.ศ.2566 จากการตรวจสอบกับพื้นที่ Buffer จากเส้นอ้างอิง 30 เมตร ปี พ.ศ.2565.....	100
ภาพประกอบ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางการกัดเซาะชายฝั่ง ทั้งในระดับโลกและในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566.....	104

ภาพประกอบ 43 แนวโน้มของอุณหภูมิ ระดับน้ำทะเล และการกัดเซาะชายฝั่ง ในพื้นที่อ่าวไทยตอนบน	105
ภาพประกอบ 44 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบนในแต่ละช่วงปี (ก) พ.ศ.2531-2566 (ข) พ.ศ.2531-2537 (ค) พ.ศ.2537-2543 (ง) พ.ศ.2543-2549 (จ) พ.ศ.2549-2554 (ฉ) พ.ศ.2554-2561 (ช) พ.ศ.2561-2566	111
ภาพประกอบ 45 ลักษณะทางกายภาพในบริเวณอ่าวไทยตอนบน	112
ภาพประกอบ 46 อุณหภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางกัดเซาะชายฝั่ง พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1	113
ภาพประกอบ 47 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปี ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1	114
ภาพประกอบ 48 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปีที่ไม่แปรผันตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 ในพื้นที่ A บริเวณตอนใต้ของสะพานชะอำ	115
ภาพประกอบ 49 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 ในพื้นที่ A บริเวณตอนใต้ของสะพานชะอำ	116
ภาพประกอบ 50 ชายฝั่งทะเลที่เพิ่มขึ้นในบริเวณตอนใต้ของสะพานชะอำ	116
ภาพประกอบ 51 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปีที่ไม่แปรผันตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 ในพื้นที่ B บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางเก่า อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดเพชรบุรี	117
ภาพประกอบ 52 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 ในพื้นที่ B บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางเก่า อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดเพชรบุรี	118
ภาพประกอบ 53 พื้นที่กัดเซาะชายฝั่ง บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางเก่า อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดเพชรบุรี	118
ภาพประกอบ 54 อุณหภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางกัดเซาะชายฝั่ง พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2	119
ภาพประกอบ 55 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปี ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2	120
ภาพประกอบ 56 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปีที่ไม่แปรผันตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ในพื้นที่ A บริเวณชายฝั่งทะเลระหว่างปากแม่น้ำแม่กลองกับปากคลองบางตะบูน จังหวัดสมุทรสงคราม	121

ภาพประกอบ 57 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ในพื้นที่ A บริเวณชายฝั่งทะเล ระหว่างปากแม่น้ำแม่กลองกับปากคลองบางตะบูน จังหวัดสมุทรสงคราม	121
ภาพประกอบ 58 พื้นที่สะสมตัวเกิดเป็นป่าชายเลน บริเวณชายฝั่งทะเล ระหว่างปากแม่น้ำแม่ กลองกับปากคลองบางตะบูน จังหวัดสมุทรสงคราม	122
ภาพประกอบ 59 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปีที่แปลผันตามค่าอุทกภูมิและระดับน้ำใน พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ในพื้นที่ B บริเวณนาเกลือ ตำบลปากทะเล อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	123
ภาพประกอบ 60 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ในพื้นที่ B บริเวณนาเกลือ ตำบล ปากทะเล อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี.....	123
ภาพประกอบ 61 พื้นที่กัดเซาะชายฝั่ง บริเวณนาเกลือ ตำบลปากทะเล อำเภอบ้านแหลม จังหวัด เพชรบุรี	124
ภาพประกอบ 62 อุทกภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางกัดเซาะชายฝั่ง พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3.....	124
ภาพประกอบ 63 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปี ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3.....	125
ภาพประกอบ 64 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปีที่แปลผันตามค่าอุทกภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ ศึกษาย่อยที่ 3 ในพื้นที่ A บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางแพรง อำเภอมือง จังหวัดสมุทรสาคร	126
ภาพประกอบ 65 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3 ในพื้นที่ A บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางแพรง อำเภอมือง จังหวัดสมุทรสาคร.....	127
ภาพประกอบ 66 พื้นที่กัดเซาะชายฝั่ง บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางแพรง อำเภอมือง จังหวัด สมุทรสาคร	127
ภาพประกอบ 67 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปีที่ไม่แปลผันตามค่าอุทกภูมิและระดับน้ำใน พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3 ในพื้นที่ B บริเวณชายฝั่งทะเล ศูนย์ศึกษาธรรมชาติ ป่าชายเลนอ่าวมหาชัย ตำบลบางแพรง อำเภอมือง จังหวัดสมุทรสาคร.....	128
ภาพประกอบ 68 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3 ในพื้นที่ B บริเวณชายฝั่งทะเล ศูนย์ศึกษาธรรมชาติป่าชายเลนอ่าวมหาชัย ตำบลบางแพรง อำเภอมือง จังหวัดสมุทรสาคร..	129

ภาพประกอบ 69 การเพิ่มขึ้นของป่าชายเลน บริเวณชายฝั่งทะเล ศูนย์ศึกษาธรรมชาติป่าชายเลน อ่าวมหาชัย ตำบลบางแพรง อำเภอมะนัง จังหวัดสมุทรสาคร	129
ภาพประกอบ 70 อุณหภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางกัดเซาะชายฝั่ง พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4.....	130
ภาพประกอบ 71 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปี ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4.....	131
ภาพประกอบ 72 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปีที่เปลี่ยนแปลงผันตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำใน พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 ในพื้นที่ A บริเวณชายฝั่งทะเล บ้านขุนสมุทรจีน ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอ พระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ	132
ภาพประกอบ 73 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 ในพื้นที่ A บริเวณชายฝั่งทะเล บ้านขุนสมุทรจีน ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ	132
ภาพประกอบ 74 พื้นที่กัดเซาะชายฝั่ง บริเวณชายฝั่งทะเล บ้านขุนสมุทรจีน ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ	133
ภาพประกอบ 75 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปีที่ไม่เปลี่ยนแปลงผันตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำใน พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 ในพื้นที่ B บริเวณชายฝั่งทะเล สำนักงานทรัพยากร ทางทะเลและชายฝั่งที่ 8 อำเภอมะนัง จังหวัดสมุทรสาคร	134
ภาพประกอบ 76 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 ในพื้นที่ B บริเวณชายฝั่งทะเล สำนักงานทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่ 8 อำเภอมะนัง จังหวัดสมุทรสาคร	134
ภาพประกอบ 77 พื้นที่ป่าชายเลนและแนวป้องกันชายฝั่ง บริเวณชายฝั่งทะเล สำนักงานทรัพยากร ทางทะเลและชายฝั่งที่ 8 อำเภอมะนัง จังหวัดสมุทรสาคร	135
ภาพประกอบ 78 อุณหภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางกัดเซาะชายฝั่ง พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5.....	135
ภาพประกอบ 79 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปี ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5	136
ภาพประกอบ 80 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปีที่เปลี่ยนแปลงผันตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ ศึกษาย่อยที่ 5 ในพื้นที่ A บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลคลองด่าน อำเภอบางบ่อ จังหวัด สมุทรปราการ	137
ภาพประกอบ 81 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 ในพื้นที่ A บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลคลองด่าน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ	138

ภาพประกอบ 82 พื้นที่กีดเซาะชายฝั่ง บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลคลองด่าน อำเภอบางปะ จังหวัดสมุทรปราการ	138
ภาพประกอบ 83 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปีที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามค่าอุทกภูมิและระดับน้ำ ในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 ในพื้นที่ B บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางปู อำเภอเมือง จังหวัด สมุทรปราการ	139
ภาพประกอบ 84 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 ในพื้นที่ B บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางปู อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ	140
ภาพประกอบ 85 ชายฝั่งที่คงที่ บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางปู อำเภอเมือง จังหวัด สมุทรปราการ	140
ภาพประกอบ 86 อุทกภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางกีดเซาะชายฝั่ง พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6.....	141
ภาพประกอบ 87 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปี ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6.....	142
ภาพประกอบ 88 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปีที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามค่าอุทกภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ ศึกษาย่อยที่ 6 ในพื้นที่ A บริเวณปากน้ำบางปะกง ตำบลคลองตำหรุ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี	143
ภาพประกอบ 89 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6 ในพื้นที่ A บริเวณแม่น้ำบาง ปะกง ตำบลคลองตำหรุ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี	144
ภาพประกอบ 90 พื้นที่กีดเซาะชายฝั่ง บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ตำบลคลองตำหรุ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี	144
ภาพประกอบ 91 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปีที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามค่าอุทกภูมิและระดับน้ำใน พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6 ในพื้นที่ B บริเวณแหลมฉบัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี	145
ภาพประกอบ 92 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6 ในพื้นที่ B บริเวณแหลมฉบัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี	146
ภาพประกอบ 93 พื้นที่ที่มีผลต่อระดับน้ำในบริเวณผาสุกที่มีท่าเรือบริเวณดินผา บริเวณแหลม ฉบัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี	146
ภาพประกอบ 94 ความสอดคล้องระหว่างแนวโน้มอุทกภูมิและระดับน้ำของโลก กับ แนวโน้ม อุทกภูมิ ระดับน้ำ และการกีดเซาะชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบน	151

บทที่ 1

บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่เกิดจากพลวัตของคลื่นลม กระแสน้ำ น้ำขึ้นน้ำลง การเคลื่อนที่ของตะกอนบริเวณชายฝั่ง (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2563, น. 1-1) ตลอดจนระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งเกิดจากการละลายของธารน้ำแข็งอันเนื่องมาจากภาวะโลกร้อน (Global warming) ที่ส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศทั่วโลก (World Meteorological Organization, 2023) ที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ทำให้คลื่นที่ซัดเข้าหาชายฝั่งมีพลังงานเพิ่มสูงขึ้น การกัดเซาะตามแนวชายฝั่งจึงทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นไปด้วย ซึ่งส่งผลกระทบต่อดำรงชีวิตของชุมชนที่อาศัยอยู่ตามแนวชายฝั่งและก่อให้เกิดความเสียหายต่อเศรษฐกิจอย่างมหาศาล (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2563, น. 1-1) โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามแนวชายฝั่งของประเทศไทย ซึ่งมีระยะทางรวมประมาณ 3,151.13 กิโลเมตร ประกอบด้วยชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยมีระยะทาง 2,039.78 กิโลเมตร และฝั่งอันดามันมีระยะทาง 1,111.35 กิโลเมตร จากการรายงานของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง พบว่า แนวชายฝั่งทะเลของไทยปี พ.ศ.2565 มีปัญหาการกัดเซาะเป็นระยะทาง 69.74 กิโลเมตร ซึ่งแบ่งเป็นการกัดเซาะระดับรุนแรงระยะทาง 29.88 กิโลเมตร ระดับปานกลางระยะทาง 26.79 กิโลเมตร และระดับน้อยระยะทาง 13.07 กิโลเมตร (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2566, น. 94) โดยเฉพาะบริเวณอ่าวไทยตอนบนที่ประสบปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งอย่างรุนแรง นับตั้งแต่ปี พ.ศ.2526 จนถึงปัจจุบันด้วยอัตราการกัดเซาะมากกว่า 25 เมตรต่อปี ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นและภัยธรรมชาติที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อแนวชายฝั่งที่มีลักษณะเป็นชายหาดโคลนและชายหาดทรายที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557, น. 2-28)

โดยในปัจจุบันการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งนั้นสามารถทำได้ 2 วิธีการ ได้แก่ การสำรวจภาคพื้นดิน และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกล ซึ่งการสำรวจภาคพื้นดินนั้นเป็นวิธีการที่มีความสะดวก รวดเร็วและให้ค่าความแม่นยำในการวิเคราะห์ที่สูง แต่วิธีการดังกล่าวยังจำเป็นต้องใช้คนเป็นจำนวนมากและมีข้อจำกัดในขนาดพื้นที่สำรวจ อีกทั้งยังใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการลงสำรวจพื้นที่ในแต่ละแห่งที่สูง (ภัทรกร นิธิรางกูร และ สมปราวรณา ฤทธิ์พริ้ง, 2562, นน. 2106-2107) ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกลจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสำรวจการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่ง เนื่องจากวิธีการ

ดังกล่าวมีความสะดวกรวดเร็วในการวิเคราะห์ข้อมูล อีกทั้งยังสามารถสำรวจพื้นที่ได้กว้างและใช้คนสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่น้อย ทั้งนี้ข้อมูลการสำรวจจากระยะไกลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้มาจากแหล่งข้อมูลหลัก 2 แหล่ง ได้แก่ ภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม โดยภาพถ่ายทางอากาศนั้นมีคุณสมบัติข้อมูลภาพที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงและครอบคลุมพื้นที่กว้าง แต่การได้มาซึ่งข้อมูลภาพดังกล่าวมีต้นทุนที่สูง เนื่องจากการจัดการบินรวมทั้งคอมพิวเตอร์คุณภาพสูงสำหรับการประมวลผลภาพ แต่สำหรับภาพถ่ายดาวเทียมนั้นเป็นอีกหนึ่งข้อมูลภาพที่สามารถให้ความละเอียดเชิงพื้นที่สูงและครอบคลุมพื้นที่กว้างเช่นกัน แต่สามารถทำการบันทึกภาพหลายช่วงคลื่นและบันทึกซ้ำในบริเวณเดิมตามการโคจรของดาวเทียม อีกทั้งยังมีต้นทุนในการบันทึกข้อมูลภาพที่ต่ำเมื่อเทียบกับการสำรวจการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งด้วยวิธีอื่น จึงมีความเหมาะสมอย่างมากสำหรับนำมาใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่ง (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552, นน. 77-78)

กระบวนการในการสกัดเส้นแนวชายฝั่งนั้น วิธีการที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือการลากเส้นแนวชายฝั่งด้วยมือ (Digitizing) เนื่องจากความสามารถที่จะประมาณการเส้นแนวชายฝั่งด้วยสายตา แต่วิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัดด้านเวลาในการสร้างข้อมูลทีมนานและมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจากระยะไกล จึงเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ได้รับความนิยมในการนำมาวิเคราะห์ข้อมูลแบบอัตโนมัติ เพื่อทำการสร้างเส้นแนวชายฝั่งโดยกระบวนการดังกล่าวได้มีการศึกษาเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทข้อมูลในการสร้างเส้นแนวชายฝั่ง อาทิ การนำดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Water Index: NDWI), ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์ปรับปรุง (Modified Normalized Difference Water Index: MNDWI) และดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทข้อมูลการใช้ที่ดิน เพื่อแยกแยะพื้นที่บริเวณตามแนวชายฝั่งให้ชัดเจน ซึ่ง Kim et al. (2013) ได้มีการประยุกต์ใช้ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์ปรับปรุง และ ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์ ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ตั้งแต่ปี ค.ศ.1985 - 2011 ร่วมกับการตรวจจับขอบข้อมูลภาพแบบ Canny เพื่อสร้างเส้นแนวชายฝั่ง ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงอัตราการกัดเซาะชายฝั่งอยู่ที่ 5.3 เมตรต่อปีที่เกิดขึ้นในรอบ 26 ปีที่ผ่านมา ในทำนองเดียวกัน Ghosh et al. (2015) ได้ใช้ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์ปรับปรุง ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat เพื่อช่วยในการลากเส้นแนวชายฝั่งด้วยมือมีประสิทธิภาพมากขึ้นและสังเกตการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตั้งแต่ปี ค.ศ. 1987 - 2010

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงการกัดเซาะอย่างมีนัยสำคัญในส่วนทางเหนือและตะวันตก รวมถึงการสะสมตัวในทางใต้และตะวันออกของเกาะฮาดิยา นอกจากนี้ Maglione et al. (2014) ได้ใช้ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอัมัลไลซ์และดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอัมัลไลซ์ ร่วมกับกระบวนการเพิ่มความคมชัดโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Worldview-2 เพื่อปรับปรุงและระบุแนวชายฝั่งในภูมิภาคคัมปาเนีย ประเทศอิตาลี ได้อย่างแม่นยำ รวมถึง Xu (2018) ได้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในรัฐเท็กซัส ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1986 - 2015 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกัดเซาะชายฝั่งตลอดหลายทศวรรษที่ผ่านมา สำหรับการศึกษาในประเทศไทย ตัวอย่างเช่น อจิรา เทียงตรง (2549) ได้ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงบริเวณชายฝั่งในตำบลแหลมสิงห์ อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ การศึกษานี้ช่วยปรับปรุงการแยกความแตกต่างระหว่างพื้นที่ทะเลและบกด้วยช่วงคลื่นต่าง ๆ เพื่อระบุการกัดเซาะชายฝั่งที่เพิ่มขึ้นจากการหายไปของป่าชายเลนเป็นหลัก ในทำนองเดียวกัน ศุภวัฒน์ อินทร์เกิด และคณะ (2561) ได้ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Maps เพื่อลากเส้นแนวชายฝั่งด้วยมือเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลอันดามัน รวมถึง ภัทรกร นิธินรางกูร และ สมปราวรณา ฤทธิ์พริ้ง (2562) ได้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Maps เพื่อลากเส้นแนวชายฝั่งด้วยมือและติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในบริเวณอ่าวมะนาว อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

การผสมผสานรวมกันระหว่างภาพถ่ายดาวเทียมกับเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) ได้เปลี่ยนโฉมวิธีการตรวจสอบชายฝั่งด้วยการสกัดเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติที่มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพขึ้น (Vitousek et al., 2023) เนื่องจากสามารถจัดการข้อมูลภาพที่ซับซ้อนให้มีความถูกต้องได้ดียิ่งขึ้น โดยในปัจจุบันมีการศึกษาจำนวนมากได้นำเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องมาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ซึ่ง Sun et al. (2023) ได้ทบทวนการศึกษาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการติดตามชายฝั่ง พบว่า มีการศึกษาจำนวนมากได้นำภาพถ่ายดาวเทียม Landsat และ Sentinel-2 มาใช้ตรวจสอบและติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในช่วงเวลาต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากข้อได้เปรียบหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นการบันทึกภาพได้พื้นที่ขนาดใหญ่และถ่ายซ้ำในพื้นที่เดิมในระยะเวลาที่เหมาะสมและเพียงพอ จึงสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งได้บ่อยครั้ง อีกทั้งมีการบันทึกภาพตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันที่ยาวนาน ทำให้สามารถตรวจสอบและติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะยาวได้ รวมถึงมีการบันทึกภาพในหลายแถบช่วงคลื่นซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการกำหนดแนวชายฝั่งได้เป็นอย่างดี ด้วยข้อได้เปรียบต่าง ๆ ที่มีในภาพถ่ายดาวเทียมทำให้อัลกอริทึม

ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น วิธีระยะห่างต่ำที่สุด (Minimum distance to means classification: MDC), วิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุด (Maximum likelihood classification: MLC), วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดเค (K-Nearest Neighbors: KNN), วิธีป่าสุ่ม (Random forest: RF), วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machines: SVM), วิธี K-means และ วิธี ISODATA มีประสิทธิภาพอย่างยิ่งในการจำแนกลักษณะต่าง ๆ ในพื้นที่ชายฝั่งทะเล เช่น แผ่นดิน น้ำ และพืชพรรณ โดยให้ความแม่นยำและประสิทธิภาพที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิม ตัวอย่างเช่น Choung and Jo (2017) ได้เปรียบเทียบวิธีการสร้างเส้นแนวชายฝั่งระหว่างวิธีการใช้ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอมัลไลซ์ กับ วิธีการจำแนกด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่าของการเรียนรู้ของเครื่องในพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่มีความซับซ้อน ในทำนองเดียวกัน Minghelli et al. (2020) ได้ศึกษาการปรับปรุงการสกัดเส้นแนวชายฝั่งโดยการจัดการจุดภาพที่ผิดปกติในภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีประสิทธิภาพในการกำหนดแนวชายฝั่งมากกว่าวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุด โดยเฉพาะในพื้นที่ชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติธรรมชาติ เช่น สึนามิโทโฮกุ เช่นเดียวกับ Bamdadinejad et al. (2021) ได้เปรียบเทียบวิธีการสกัดเส้นแนวชายฝั่งโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat พบว่า วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุด ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งบริเวณอ่าวเปอร์เซีย โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการกัดเซาะและการสะสมตัวของดิน แต่ในเวลาต่อมา Zhou et al. (2023) ได้ทบทวนหลักการที่สำคัญเพิ่มขึ้นในการสกัดแนวชายฝั่งด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง โดยให้ความสำคัญกับความสามารถในการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ด้วยอัลกอริทึมต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น วิธีโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (Convolutional neural networks: CNN), วิธีป่าสุ่ม และ วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีในการจำแนกลักษณะชายฝั่งทะเล เช่น แผ่นดิน น้ำ และ พืชพรรณ นอกจากนี้ยังพบว่าดัชนีต่าง ๆ เช่น ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอมัลไลซ์ และ ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอมัลไลซ์ปรับปรุง ยังช่วยปรับปรุงความแม่นยำในการตรวจจับแนวชายฝั่งในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในฐานะวิธีการสกัดแนวชายฝั่งที่มีประสิทธิภาพ และการศึกษาล่าสุดที่ผ่านมาโดย Vos et al. (2019) ได้แนะนำ CoastSat ให้เป็นแพลตฟอร์มที่เชื่อถือได้สำหรับการสกัดเส้นแนวชายฝั่งทั่วโลก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำ เช่นเดียวกับ Curoy et al. (2022) ได้พิสูจน์ประสิทธิภาพของ CoastSat เพิ่มเติมเพื่อใช้แปลงข้อมูลให้เป็นดิจิทัลตามลำดับเวลาของตำแหน่งแนวชายฝั่งทะเลบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย อย่างไรก็ตาม ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ เช่น ประเภทของตะกอน ผลกระทบจาก

มรสุมในแต่ละฤดูกาล รวมถึงคุณภาพของน้ำ ยังส่งผลต่อความแม่นยำในการสกัดเส้นแนวชายฝั่งได้เช่นกัน ดังนั้นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องในแต่ละรูปแบบการจำแนก จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้เป็นสำคัญ นอกจากนี้ การเลือกใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องยังมีบทบาทอย่างมากต่อความแม่นยำและความน่าเชื่อถือในการสกัดเส้นแนวชายฝั่ง รวมถึงการใช้ดัชนีในหลายรูปแบบที่เหมาะสมกับบริเวณชายฝั่งนั้น ๆ ยังสามารถช่วยให้การจำแนกมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งความก้าวหน้าจากการศึกษาในข้างต้น ได้มีการนำอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องที่หลากหลายมาใช้จำแนกพื้นที่ชายฝั่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความเรียบง่ายต่อการใช้งานทั้งการกำหนดค่าพารามิเตอร์ ความรวดเร็วในการประมวลผล และสามารถเข้าถึงการใช้งานได้ง่าย เช่น วิธีระยะห่างต่ำที่สุด, วิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุด, วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และ วิธีป่าสุ่ม

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยใช้ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System: DSAS) นับได้ว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งช่วยคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากเส้นแนวชายฝั่งตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไป ที่ได้จากระบบการสำรวจจากระยะไกล (อนุทิน คงชาล, 2564, น. 5) ซึ่งมีการศึกษาและการประยุกต์ใช้วิธีดังกล่าวในการวิเคราะห์ชายฝั่งในแต่ละพื้นที่ได้อย่างดี เช่นเดียวกับ Kannan et al. (2015) ได้ใช้ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัลเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตั้งแต่ปี ค.ศ. 1989 – 2015 โดยใช้เทคนิคการสำรวจจากระยะไกลกับภาพถ่ายดาวเทียมหลายประเภท ได้แก่ IRS-LISS III, IRS-P6-LISS III, IRS-P6-LISS IV, Landsat 5 และ Landsat 8 ในขณะเดียวกัน Goksel et al. (2019) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณทะเลดำ เมืองอิสตันบูล ประเทศตุรกี โดยใช้ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล ร่วมกับการจำแนกด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุดจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 และ Landsat 8 เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระหว่างปี ค.ศ. 2009 – 2016 ทั้งนี้ Wang et al. (2017) ได้นำระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัลมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในบริเวณอ่าวหางโจว อ่าวเซียงซาน และอ่าวซานเหมิน ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976 - 2015 ร่วมกับการสร้างเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติจากดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอนมัลไลซ์ และ ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอนมัลไลซ์ปรับปรุง เช่นเดียวกับ Darwish and Smith (2021) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8, Planet Scope และ Sentinel-2 สำหรับติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในเมืองเอลอาลาเมน ประเทศอียิปต์ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2016 - 2021 ด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล แต่ในเวลาต่อมา Rumahorbo et al. (2023) ได้ใช้ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล เพื่อตรวจสอบ

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในเขตปกครองตนเองซูบิโอรี ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอัตราการกัดเซาะชายฝั่งที่สำคัญตั้งแต่ 1.22 – 1.46 เมตรต่อปี และอัตราการสะสมตัวตั้งแต่ 1.05 – 1.68 เมตรต่อปี ในทำนองเดียวกัน Chettiam Thodi et al. (2023) ได้ผสมผสานเทคนิคการสำรวจจากระยะไกลร่วมกับระบบภูมิสารสนเทศ (Geographic Information System: GIS) สำหรับติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในบริเวณหมู่เกาะของรัฐเกรละ ประเทศอินเดีย ตั้งแต่ปี ค.ศ.1973 - 2019 โดยสร้างเส้นแนวชายฝั่งจากการลากเส้นด้วยมือในภาพถ่ายดาวเทียม Landsat สำหรับนำมาคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล รวมถึง Quang et al. (2021) ได้ใช้ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัลเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในเมืองกว้างนาม ประเทศเวียดนาม โดยใช้เส้นแนวชายฝั่งประจำปี (Annual Shoreline) จากดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอัมัลไลซ์ปรับปรุง ที่สกัดได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat และ Sentinel-2 แต่สำหรับการศึกษาในประเทศไทย อรรถ สารจิตต์ และ กาญจนา นาคะภากร (2557) ได้สร้างเส้นแนวชายฝั่งจากการลากเส้นด้วยมือในภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 และ THEOS เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากมรสุมในแต่ละฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งในจังหวัดเพชรบุรี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2544 – 2554 ด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล ในเวลาต่อมา วุฒิพงษ์ แสงมณี และ ชาญชัย ธนาวุฒิ (2560) ได้ใช้ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากผลกระทบของโครงสร้างป้องกันชายฝั่งในจังหวัดปัตตานี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2518 - 2554 เช่นเดียวกันกับ เอกลักษณ์ ใฝ่บุญ และ วุฒิพงษ์ แสงมณี (2562) ได้ใช้เทคนิคการสำรวจจากระยะไกลและระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากผลกระทบของโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่ง ในบริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2510 - 2558 รวมถึง อนุทิน คงชาล (2564) ได้นำระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัลมาใช้ประเมินความเปราะบางของแนวชายฝั่งแบบอนุกรมเวลาจากผลกระทบของสภาพภูมิอากาศในบริเวณฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2560 - 2563 และ ปวรปรัชญ์ อัมละมัย และคณะ (2566) ได้ใช้เทคนิคการสำรวจจากระยะไกลและระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล เพื่อวิเคราะห์และประเมินการกัดเซาะชายฝั่งในจังหวัดเพชรบุรี รวมถึงตรวจจับการเคลื่อนที่ของตะกอนบริเวณชายฝั่งด้วยดัชนีวัสดุแขวนลอยแบบนอัมัลไลซ์ (Normalized Suspended Material Index: NSMI) และดัชนีตะกอนแขวนลอยแบบนอัมัลไลซ์ (Normalize Difference Suspended Sediment Index: NDSSI) จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ถึงแม้ว่าการศึกษาที่กล่าวมาในข้างต้นจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัลในหลากหลายสถานการณ์ แต่ยังคงมีการใช้ภาพถ่าย

ดาวเทียมความละเอียดปานกลางอยู่ รวมถึงการประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องที่ยังไม่เต็มประสิทธิภาพ อีกทั้งขนาดของขอบเขตการศึกษาไม่ว่าจะเป็นขนาดพื้นที่ที่เล็กและระยะเวลาที่สั้นเป็นส่วนใหญ่

การศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566 เป็นระยะเวลา 35 ปี ด้วยการบูรณาการร่วมกันระหว่างเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศกับการเรียนรู้ของเครื่องไม่ว่าจะเป็นวิธีระยะห่างต่ำที่สุด, วิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุด, วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และ วิธีป่าสุ่ม ร่วมกับดัชนีต่าง ๆ ได้แก่ ดัชนีผลต่างความชันแบบนอมลัลไลซ์, ดัชนีผลต่างความชันแบบนอมลัลไลซ์ปรับปรุง, ดัชนีผลต่างพีชพรรณแบบนอมลัลไลซ์ และ ดัชนีผลต่างพีชพรรณปรับแก้ดิน สำหรับเสริมประสิทธิภาพในการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเลให้ดียิ่งขึ้น รวมถึงการสกัดเส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่มีความแม่นยำด้วยดัชนีความถี่น้ำ (Water Frequency Index: WFI) ตลอดจนการวิเคราะห์แนวชายฝั่งทะเลด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล เพื่อการพัฒนาวิธีการที่มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำยิ่งขึ้น สำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง รวมถึงการนำเสนอกลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับบรรเทาผลกระทบของการกัดเซาะชายฝั่ง อันจะเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบนอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยการสำรวจจากระยะไกลในบริเวณชายฝั่งทะเล อ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566

2.2 เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเล บริเวณอ่าวไทยตอนบน ด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System)

3. ขอบเขตของการวิจัย

3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่

การศึกษากการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกพื้นที่ศึกษาในบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 8 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดสมุทรสงคราม จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร จังหวัดฉะเชิงเทรา และ จังหวัดชลบุรี

3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

3.2.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ด้วยการสำรวจจากระยะไกล โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ในปี พ.ศ.2531, พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554, พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 จำนวน 65 ภาพ ด้วยช่วงคลื่น Blue, Green, Red, NIR, SWIR1, SWIR2 ในภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 และ Landsat 7 และ ช่วงคลื่น Coastal Aerosol, Blue, Green, Red, NIR, SWIR1, SWIR2 ในภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 และ Landsat 9 ร่วมกับการใช้อัตราส่วนเชิงคลื่นในการเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกพื้นที่ชายฝั่ง ได้แก่ ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอมัลไลซ์, ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอมัลไลซ์ปรับปรุง, ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอมัลไลซ์ และ ดัชนีผลต่างพืชพรรณปรับแก้ดิน เพื่อใช้ในการจำแนกข้อมูลภาพจำนวน 2 ประเภท ได้แก่ พื้นที่น้ำและพื้นที่บก ด้วยการจำแนกข้อมูลแบบเชิงจุดภาพ (Pixel base) โดยอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง ได้แก่ วิธีระยะห่างต่ำที่สุด, วิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุด, วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และ วิธีป่าสุ่ม เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกประเภทข้อมูล โดยวิธีการที่มีค่าความถูกต้องในการจำแนกประเภทข้อมูลที่ดีที่สุด จะได้รับเลือกมาใช้ในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอีก 65 ภาพ เพื่อสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปีแบบอัตโนมัติด้วยดัชนีความถี่น้ำ และทำการตรวจสอบความถูกต้องด้วยเส้นแนวชายฝั่งอ้างอิงความถูกต้อง จาก กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ด้วยค่าร้อยละของซ้อนทับข้อมูล (Overlay) และ ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE)

3.2.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล มาใช้คำนวณระยะทางการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากภาวะโลกร้อน ร่วมกับลักษณะทางกายภาพและกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่มีผลต่อชายฝั่งทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนบน

3.3 ขอบเขตด้านเวลา

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 จนถึงปี พ.ศ.2566 รวมระยะเวลา 35 ปี

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

4.1 แผนที่ติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเล ในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566

4.2 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการชายฝั่งทะเล ให้สอดคล้องกับสภาพการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเล บริเวณอ่าวไทยตอนบนในระยะยาว

4.3 การศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลในพื้นที่อื่น ๆ ด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

5. คำนิยามศัพท์

5.1 ชายฝั่งทะเล (Shoreline) หมายถึง พื้นที่ที่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างทะเลกับบก ซึ่งอยู่ระหว่างแนวน้ำขึ้นสูงสุดและน้ำลงต่ำสุด โดยผ่านกระบวนการต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ

5.2 แนวชายฝั่งประจำปี (Annual Shoreline) หมายถึง แนวชายฝั่งที่ถูกระบุตำแหน่งโดยแนวบรรจบกันของน้ำและบกที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดในรอบหนึ่งปี

5.3 ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System) หมายถึง ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งในชุดเครื่องมือเสริมของ Esri ArcGIS Desktop ที่ถูกพัฒนาโดยหน่วยสำรวจธรณีวิทยา ประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Geological Survey: USGS) เพื่อช่วยคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยให้ผลลัพธ์ทางสถิติสำหรับอนุกรมเวลา

5.4 ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย หมายถึง ค่าเฉลี่ยของระยะการทางเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวตั้งฉากกับฝั่งทั้งการกัดเซาะและการสะสมตัวที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งคำนวณจากเส้นแนวชายฝั่งจำนวน 2 เส้น โดยค่าเป็นบวกแสดงถึงการกัดเซาะ ส่วนค่าเป็นลบแสดงถึงการสะสมตัว

5.5 ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปี หมายถึง ผลรวมของระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยที่สะสมกันต่อเนื่องเป็นรายปี โดยค่าเป็นบวกแสดงถึงภาพรวมของชายฝั่งเป็นการกัดเซาะ ส่วนค่าเป็นลบแสดงถึงภาพรวมของชายฝั่งเป็นการสะสมตัว

5.6 อัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย หมายถึง ค่าเฉลี่ยของอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแนวตั้งฉากกับฝั่งทั้งการกัดเซาะและการสะสมตัวที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้น ๆ ที่คำนวณจากเส้นแนวชายฝั่งจำนวน 2 เส้น โดยค่าเป็นบวกแสดงถึงการกัดเซาะ ส่วนค่าเป็นลบแสดงถึงการสะสมตัว

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัย ต้องมีการทบทวนเอกสารต่าง ๆ ตลอดจนแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงหลักเกณฑ์การศึกษาปัญหาวิจัยนั้น ๆ ว่ามีหลักการ ขั้นตอนการดำเนินงาน และมีผลการดำเนินงานเป็นอย่างไร เพื่อให้สามารถออกแบบการศึกษาให้เป็นไปตามหลักการทฤษฎี ที่ถูกต้องเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนั้น ๆ โดยมีหัวข้อการทบทวนเอกสารและงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. ชายฝั่งทะเล
2. การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและสาเหตุการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง
3. การดำเนินการแก้ไขปัญหามลพิษชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบน
4. ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System: DSAS)
5. การรับรู้จากระยะไกล (Remote sensing)
6. เส้นแนวชายฝั่งจากการรับรู้จากระยะไกล
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ชายฝั่งทะเล

1.1 ความหมายและองค์ประกอบของชายฝั่งทะเล

แนวชายฝั่งทะเล คือ พื้นที่เส้นศูนย์สูตรไปถึงเส้นขอบฝั่งที่ปรากฏในแผนที่เดินเรือของ กรมอุทกศาสตร์ หรือขอบพื้นที่ที่มนุษย์สร้างขึ้นที่ล่งล้าไปในทะเล ได้แก่ ท่าเทียบเรือ เขื่อนกัน คลื่น รวมไปถึงพื้นที่ที่เกิดจากการถมทะเลในรูปแบบต่าง ๆ (กลุ่มงานพัฒนากฎหมาย สำนักกฎหมาย สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา กลุ่มงานพัฒนากฎหมาย สำนักกฎหมาย สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา ปฏิบัติหน้าที่ สำนักงานเลขาธิการสภานิติบัญญัติแห่งชาติ, 2559, น. 3)

ชายฝั่ง คือ ขอบเขตหรืออาณาเขตหรือพื้นที่ที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างแผ่นดินและทะเล โดยทั้งแผ่นดินและทะเลต่างก็มีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยผ่านกระบวนการต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561, น. 1)

ชายฝั่ง คือ แนวเส้นที่แผ่นดินกับน้ำมาบรรจบกัน (International Hydrographic Organization, 2023)

ชายฝั่ง คือ แถบแผ่นดินนับจากแนวชายทะเลขึ้นไปบนบกจนถึงบริเวณที่มีลักษณะภูมิประเทศเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัด (สำนักงานราชบัณฑิตยสภา, 2554)

จากนิยามต่าง ๆ จึงสรุปได้ว่า ชายฝั่งทะเล คือ พื้นที่ที่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างทะเลกับบก ซึ่งอยู่ระหว่างแนวน้ำขึ้นสูงสุดและน้ำลงต่ำสุด โดยผ่านกระบวนการต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งสามารถแบ่งองค์ประกอบของชายฝั่งทะเลได้ดังนี้ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561, นน. 1-2)

1.1.1 ชายทะเล (Shore) เป็นพื้นที่ระหว่างแนวน้ำขึ้นสูงสุดและน้ำลงต่ำสุด

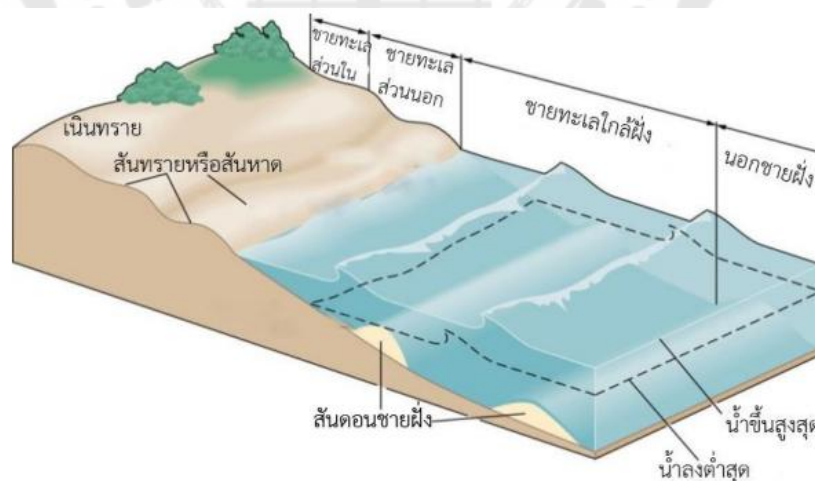
1.1.2 ชายทะเลส่วนใน (Backshore) เป็นพื้นที่ระหว่างแนวน้ำขึ้นสูงสุดถึงบริเวณขอบฝั่งที่มีลักษณะแห้งตลอดเวลา

1.1.3 สันหาด (Berm) เป็นที่ราบที่เป็นสันทรายขนาดเล็กที่อยู่เหนือระดับน้ำตลอดเวลา สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้จากการพังทลาย และการเพิ่มขึ้นจากคลื่นและลมที่พัดพาทรายมากองรวมกัน วางตัวขนานเป็นแนวยาวตลอดชายฝั่ง

1.1.4 ชายทะเลส่วนนอก (Foreshore) เป็นพื้นที่ที่อยู่ระหว่างแนวน้ำขึ้นสูงสุดและน้ำลงต่ำสุด แต่เป็นส่วนที่จะอยู่ในน้ำทะเลเกือบตลอดเวลา

1.1.5 ชายทะเลใกล้ฝั่ง (Nearshore) เป็นพื้นที่ที่อยู่ระหว่างแนวน้ำลงต่ำสุดลงไปถึงพื้นที่ได้น้ำที่มีความชันน้อยมาก พื้นที่นี้พบได้ในบางชายฝั่งที่มีการตกตะกอนมาก ๆ

1.1.6 นอกชายฝั่ง (Offshore) เป็นพื้นที่น้ำลึกที่ทอดตัวลงไปในทะเล



ภาพประกอบ 1 ส่วนประกอบของชายฝั่งทะเล

ที่มา: จาก ชายฝั่งทะเล โดย กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561, คู่มือความรู้การกัดเซาะชายฝั่ง, 2 (<https://www.dmcr.go.th/detailLib/3962>). สงวนลิขสิทธิ์ 2561 โดย กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.

1.2 ลักษณะแนวชายฝั่งทะเล

ลักษณะของชายฝั่งทะเลเกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติทั้งการกัดเซาะและการสะสมตัว มีผลต่อโครงสร้างทางธรณีวิทยาทำให้รูปร่างของชายฝั่งทะเลมีหลายรูปแบบ โดยแบ่งได้ดังนี้ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2563, นน. (2-35)-(32-40))

1.2.1 หน้าผาหิน มีลักษณะเป็นหินโผล่ (Outcrop) เกิดจากคลื่นที่มีพลังงานสูงซัดเข้าหาชายฝั่งที่มีลักษณะเป็นหินเกิดการกัดเซาะ ทำให้หินสึกกร่อนแล้วพังทลายลงมาเป็นชายฝั่งหินทำให้เกิดหาดหิน (Shingle beach), แท่งหินตั้ง (Stack), ชุ้มหินโค้งและถ้ำลอด (Sea arch), สะพานหินธรรมชาติ (Natural bridge), หน้าผาริมทะเล (Sea cliff) และ เว้าทะเล (Sea notch) โดยลักษณะทางธรณีวิทยานี้พบมากที่สุดที่สุดในทะเลฝั่งอันดามัน

1.2.2 หาด (Beach) คือ พื้นที่ภายในแนวที่น้ำทะเลขึ้นสูงสุดถึงแนวที่น้ำทะเลลงต่ำสุดตามปกติ แบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ หาดหินหรือหาดกรวด (Shingle beach), หาดทราย (Sand beach) และ หาดเลนหรือที่ราบน้ำทะเลขึ้นถึง (Tidal flat)

1.2.3 ลากูน (Lagoon) คือ พื้นที่ลุ่มน้ำตื้น อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำขึ้นสูงสุดในหน้าน้ำเกิด มักอยู่ด้านหลังหาดสันดอนติดกับชายฝั่ง มีรูปร่างไม่แน่นอน สามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ ลากูนเก่า (Old lagoon) และ ลากูนปัจจุบัน (Young lagoon)

1.2.4 พรุหรือมาบ (Marsh) เป็นพื้นที่ลุ่มต่ำหรือพื้นที่ชุ่มน้ำพัฒนามาจากที่ราบน้ำท่วมถึงอยู่ระหว่างแผ่นดินกับภูเขา หรือห้วยแหลมที่ติดกับทะเล

1.2.5 เนินทรายชายฝั่งทะเล (Coastal sand dune) เกิดจากลมที่พัดพาทรายมาสะสมตัวกัน เกิดขึ้นได้ยากในประเทศไทยเนื่องจากมีความชื้นสูงทำให้ทรายเปียกและมีต้นไม้ปกคลุมหาด จึงทำให้ทรายเคลื่อนที่ไปสะสมได้ยาก

1.2.6 ชะวากทะเล (Estuary) คือ บริเวณที่มีป่าชายเลนสองฝั่งขนานข้างปากแม่น้ำ มีลักษณะคล้ายกรวยโดยด้านกว้างอยู่ในทะเลแล้วแคบเข้าหาปากแม่น้ำเป็นพื้นที่น้ำกร่อยเนื่องจากเป็นปากน้ำ มีความอุดมสมบูรณ์สูง

1.2.7 เกาะ (Island) คือ บริเวณแผ่นดินที่มีน้ำล้อมรอบ ส่วนใหญ่มักอยู่ในทะเล เกาะในประเทศไทยมักเป็นเกาะริมทวีปหมายความว่าพื้นดินติดกับพื้นทวีปเดียวกันแต่มีบางส่วนต่ำกว่าน้ำจึงกลายเป็นเกาะ หรืออาจเกิดจากการยุบตัวของแผ่นดินจนน้ำทะเลท่วมส่วนต่ำตัดขาดแผ่นดินกับเกาะ

2. การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและสาเหตุการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

2.1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่เกิดจากพลวัตของคลื่น ลม กระแสน้ำ น้ำขึ้นน้ำลง และการเคลื่อนที่ของตะกอนบริเวณชายฝั่งที่เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนไปจากเดิม (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2563, น. 1-1) โดยสามารถจำแนกได้เป็น 3 ลักษณะดังนี้ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561, นน. 9-11)

2.1.1 ชายฝั่งที่มีการกัดเซาะ เป็นชายฝั่งที่มีการสะสมตัวน้อยกว่าการพัดพาออกจากชายฝั่ง ทำให้เกิดการถอยร่นของแผ่นดิน

2.1.2 ชายฝั่งสะสมตัว เป็นชายฝั่งที่มีการสะสมของตะกอนมากกว่าการพัดพาออกจากฝั่ง ทำให้เกิดการงอกของแผ่นดินที่ยื่นออกไปในทะเล

2.1.3 ชายฝั่งคงสภาพ เป็นชายฝั่งที่เกิดสมดุลตามธรรมชาติ โดยมีการพัดพาและการสะสมตัวที่สมดุลกันในแต่ละฤดูกาล กล่าวคือ ตะกอนจะถูกพัดพาออกไปในฤดูกาลหนึ่ง แต่จะกลับมาสะสมตัวในอีกฤดูกาลหนึ่งเป็นวัฏจักร

2.2 สาเหตุการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งมี 2 สาเหตุ ดังนี้ (อจิรา เทียงตรง, 2549, นน. 5-11)

2.2.1 สาเหตุการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดจากธรรมชาติ

ก) ลม เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เมื่อลมทะเลพัดเข้าสู่ชายฝั่งจะพัดพาทรายไปกองไว้บริเวณหลังชายฝั่งเกิดเป็นเนินทราย และลมเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดคลื่นในทะเลเข้าปะทะชายฝั่ง ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะและการสะสมตัวของตะกอนชายฝั่ง

ข) คลื่น เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวจากน้ำลึกเข้าสู่น้ำตื้น จะทำให้พลังงานของคลื่นถ่ายทอดไปยังพื้นท้องทะเล ทำให้คลื่นเกิดการแตกตัวและนำพาตะกอนจากท้องทะเลไหลไปตามกระแสน้ำ เมื่อคลื่นเข้าปะทะกับชายฝั่งก็จะนำพาตะกอนมาทับถมบริเวณชายฝั่ง ในขณะเดียวกันก็ยังนำพาตะกอนจากชายฝั่งไหลออกไปทับถมบริเวณอื่นด้วยเช่นกัน

ค) กระแสน้ำ มี 2 ชนิด ได้แก่ กระแสน้ำในแนวขนานชายฝั่ง และกระแสน้ำในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง กระแสน้ำทั้ง 2 ชนิด มีความสัมพันธ์กันมาก แต่การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะสั้นมักเกิดจากกระแสน้ำในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง ส่วนการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะยาวมักเกิดจากกระแสน้ำในแนวขนานกับชายฝั่ง

ง) น้ำขึ้นน้ำลง ทำให้เกิดคลื่นทั้งในทะเลและมหาสมุทร ซึ่งจะมีคาบเวลาตามองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงในบริเวณนั้น โดยในช่วงน้ำลงจะทำให้ชายฝั่งเกิดการกัดเซาะมากกว่าช่วงน้ำขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่นในบริเวณชายฝั่ง ได้แก่ คลื่นและระดับน้ำ

จ) เหตุการณ์พิเศษ ได้แก่ การเกิดพายุ หรือ สึนามิ ที่เป็นสาเหตุการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะสั้น แต่ส่งผลอย่างร้ายแรงต่อชายฝั่งโดยเฉพาะบริเวณที่พายุหรือสึนามิพัดเข้าสู่ชายฝั่งโดยตรง ทำให้เกิดการกัดเซาะและการสะสมตัวที่มากพอจะทำให้ชายฝั่งเปลี่ยนแปลงอย่างใหญ่หลวง

ฉ) การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล เกิดจากปัจจัย 2 ประการ ได้แก่ การขยายตัวของมหาสมุทร และการละลายของน้ำแข็งบริเวณขั้วโลก เมื่อระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้น้ำรุกเข้าแผ่นดินได้ง่ายขึ้น ทำให้เกิดการถอยร่นของแผ่นดิน

ช) แผ่นดินทรุดจากธรรมชาติเกิดได้หลายสาเหตุ เช่น กระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเปลือกโลก ทำให้พื้นโลกเปลี่ยนรูปไปจากเดิม ซึ่งอาจยกตัวสูงขึ้นหรือทรุดต่ำลงได้ หากปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นกับชายฝั่งก็จะทำให้เกิดการพังทลายและการกัดเซาะชายฝั่งได้

2.2.2 สาเหตุการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดจากมนุษย์

ก) การขัดขวางการเคลื่อนตัวของตะกอนในบริเวณชายฝั่ง เกิดจากการที่มนุษย์สร้างสิ่งล่วงล้ำลงสู่ทะเลเพื่อการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง หรือป้องกันคลื่นไม่ให้เข้าสู่ท่าเรือ ได้แก่ เขื่อนกันทรายและคลื่น (Jetty), กำแพงกันคลื่น (Seawall), รอดักทราย (Groyne) และ เขื่อนกันคลื่น (Breakwater) เป็นต้น สิ่งก่อสร้างเหล่านี้ทำให้ตะกอนตามธรรมชาติที่ไหลผ่านแนวชายฝั่งถูกดักไม่ให้ไหลผ่านได้ ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในรูปแบบการกัดเซาะและการสะสมตัวเกิดความไม่สมดุลในพื้นที่ได้

ข) การใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณชายฝั่ง นับว่าเป็นตัวเร่งที่ทำให้ชายฝั่งเสียสมดุลจนเกิดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ไม่ว่าจะเป็นการทำประมง เกษตรกรรม การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง การพัฒนาเป็นแหล่งที่พักอาศัย ท่าเรือ รวมถึงนิคมอุตสาหกรรม

ค) การเกิดแผ่นดินทรุดเนื่องจากการสูบน้ำบาดาล เกิดจากการพัฒนาที่ดินในบริเวณที่มีประชากรหนาแน่น ทำให้มีความต้องการใช้น้ำในพื้นที่ในการอุปโภคบริโภคมาก จึงมีการสูบน้ำบาดาลออกมาใช้ในพื้นที่ ส่งผลให้เกิดการทรุดตัวของดินในพื้นที่นั้น ยิ่งพื้นที่ใกล้กับชายฝั่งทะเลก็จะเกิดการทรุดตัวของดินและนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งได้ในที่สุด

3. การดำเนินการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบน

อ่าวไทยตอนบนมีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากหลายสาเหตุทั้งที่เกิดจากธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงในลักษณะการกัดเซาะที่มีความรุนแรง มาโดยตลอด ซึ่งมากกว่า 25 เมตรต่อปี (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557, น. 2-28) เนื่องจากลักษณะทางกายภาพในพื้นที่เป็นที่ราบต่ำที่มีความลาดชันต่ำเป็นส่วนใหญ่ และมีทางออกของแม่น้ำ 4 สายหลัก ได้แก่ แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา และ แม่น้ำบางปะกง ทำให้ลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นทรายและโคลนส่วนใหญ่ ซึ่งมีความอ่อนไหวต่อการกัดเซาะได้ง่าย (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2563, น. 1-1) ประกอบกับการบุกรุกพื้นที่ป่าชายเลน เพื่อการทำประมงชายฝั่ง และมีการให้สัมปทานป่าชายเลนแก่เอกชนซึ่งเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ.2504 ทำให้แนวป้องกันชายฝั่งตามธรรมชาติถูกทำลายเป็นจำนวนมาก จึงเกิดการกัดเซาะชายฝั่งจากปัจจัยต่าง ๆ ทำให้สูญเสียพื้นที่ชายฝั่งจำนวนมากหลายพันไร่ ด้วยปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นทางภาครัฐจึงได้ให้ความสำคัญกับการทวงคืนผืนป่าชายเลนด้วยการยกเลิกการให้สัมปทานป่าชายเลนแก่เอกชนตั้งแต่ปี พ.ศ.2539 เป็นต้นมา พร้อมกับรณรงค์ให้มีการปลูกป่าชายเลนเพิ่มขึ้นใหม่ในหลายโครงการ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2552, น. 42) ประกอบกับการออกมาตรการคุ้มครองป่าชายเลนที่เข้มงวดมากขึ้น ตั้งแต่ปี พ.ศ.2561 - 2563 (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2566ค, น. 43) ทำให้จำนวนป่าชายเลนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามตาราง 1 และมีการสร้างโครงสร้างตามแนวชายฝั่งในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งรูปแบบแข็งและอ่อนจำนวนมากอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีต - พ.ศ.2565 เช่น ทำเทียบเรือ กำแพงกันคลื่น ประเภตั้งตรง เขื่อนหินทิ้ง รอดักทราย เขื่อนกันทรายและคลื่น เขื่อนหินป้องกันนอกชายฝั่ง และ ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น เป็นต้น (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2567) ตามตาราง 2

ตาราง 1 ขนาดพื้นที่ป่าชายเลนในแต่ละจังหวัดตั้งแต่ปี พ.ศ.2504 - 2563

ปี	ขนาดพื้นที่ป่าชายเลนในแต่ละจังหวัด (ไร่)							
พ.ศ.	เพชรบุรี	สมุทรสงคราม	สมุทรสาคร	กรุงเทพมหานคร	สมุทรปราการ	ฉะเชิงเทรา	ชลบุรี	เจนี
2504	13,750							13,750
2518	55,000	51,250	115,625		3,750	18,750	23,750	44,687.5
2522	48,700	47,800	90,100		6,500	14,500	20,700	38,050
2529	3,606	306	887		644	4,625	9,362	3,238.33
2532	3,056					3,556	6,550	4,387.33
2534	2,100					2,293.5	937.5	1,777
2536	12,925	5,775	11,369	1,250	1,950	3,348	575	5,313.14
2539	12,936.25	7,156.25	10,601.75	1,236.25	1,857.5	3,015.75	575	5,339.82
2543	19,165.59	15,956.57	19,252.75	3,249.09	7,216.02	10,917.55	4,547.87	11,472.21
2547	6,550.71	14,112.42	14,908.92	2,537.28	9,163.91	7,812.01	4,510.31	8,513.65
2552	18,568.75	14,272.75	25,257.22	3,351.79	12,524.17	7,809.34	5,554.41	12,476.92

ตาราง 1 (ต่อ)

ปี	ขนาดพื้นที่ป่าชายเลนในแต่ละจังหวัด (ไร่)							
พ.ศ.	เพชรบุรี	สมุทรสงคราม	สมุทรสาคร	กรุงเทพมหานคร	สมุทรปราการ	ฉะเชิงเทรา	ชลบุรี	เจนี
2557	14,839.53	18,246.56	20,385.69	2,526.5	10,643.31	7,585.35	4,551.71	11,254.09
2560	12,857.34	16,427.19	19,547.57	2,943.08	13,563.52	10,694.73	4,452.82	11,498.04
2561	12,857.34	16,427.19	19,547.57	2,943.08	13,563.52	10,694.73	4,452.82	11,498.04
2563	19,486.75	28,038.33	27,068.94	4,741.24	21,087.08	11,557.73	6,656.14	16,948.03

ที่มา: ดัดแปลงจาก การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ที่มีสภาพป่าชายเลนประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2504 – 2563 โดย กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, รายงานสถานการณ์ด้านทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งและการกัดเซาะชายฝั่งของประเทศ พ.ศ.2565, 46. (<https://www.dmcr.go.th/libraryAll>). สนวนลิขสิทธิ์ 2566 โดย กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.

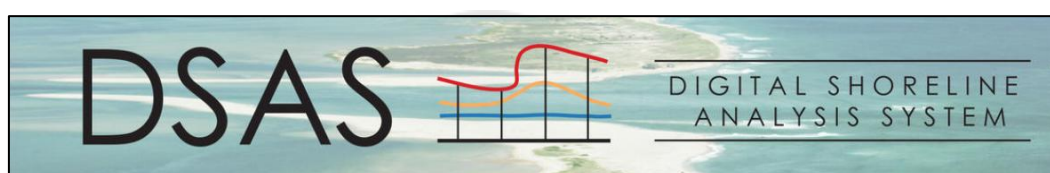
ตาราง 2 แนวป้องกันชายฝั่งที่ได้ดำเนินการแล้วในแต่ละจังหวัดตั้งแต่อดีต - พ.ศ.2565

ปี พ.ศ.	เพชรบุรี	สมุทรสงคราม	สมุทรสาคร	กรุงเทพมหานคร	สมุทรปราการ	ฉะเชิงเทรา	ชลบุรี
อดีต - 2560	- ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น	- ทำเทียมเรือ	- ทำเทียมเรือ	- ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น	- ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น	- ทำเทียมเรือ	- ทำเทียมเรือ
	- กำแพงกันคลื่น	- ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น	- ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น	- เชือกหินทิ้ง	- กำแพงกันคลื่น	- ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น	- ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น
	ประเภทตั้งตรง	- กำแพงกันคลื่น	- เชือกหินทิ้ง	- เชือกหินป้องกันนอก	ประเภทตั้งตรง	- กำแพงกันคลื่น	- กำแพงกันคลื่น
	- เชือกหินทิ้ง	ประเภทตั้งตรง	- เชือกหินป้องกัน	ชายฝั่ง	- เชือกหินทิ้ง	ประเภทตั้งตรง	ประเภทตั้งตรง
	- รอดักทรายแบบ	- เชือกหินทิ้ง	นอกชายฝั่ง	- รอดักทรายแบบตัวที่	- เชือกหินป้องกัน	- เชือกหินทิ้ง	- เชือกหินทิ้ง
	ตัวไอ	- เส้นทางศึกษา		- การปักเสาคอนกรีต	นอกชายฝั่ง	- เชือกหินป้องกัน	- เส้นทางศึกษา
	- รอดักทรายแบบ	ธรรมชาติ		- การปักเสา	นอกชายฝั่ง		ธรรมชาติ
	ตัวที่			คอนกรีต			- รอดักทรายแบบตัว
	- รอดักทรายแบบ						ที่
	ตัวแอล						- รอดักทรายแบบตัว
2561 - 2565	- เชือกหินทิ้งและ						ไอ
	คลื่น						- เชือกหินทิ้งและ
	- เชือกหินป้องกัน						คลื่น
	นอกชายฝั่ง						
	- การปักเสา						
	คอนกรีต						
	- กำแพงกันคลื่น						
2561	ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น				ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น		ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น
2562					ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น	ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น	
2563	ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น				ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น		
2564	ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น	ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น					
2565	ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น		ปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น				

ที่มา: ดัดแปลงจาก ข้อมูลทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง พ.ศ.2561 – 2565 โดย กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, ห้องสมุด อิเล็กทรอนิกส์ ทช. (<https://www.dmcr.go.th/libraryAll>). สนวนลิขสิทธิ์ 2567 โดย กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.

4. ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System: DSAS)

ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัลเป็นระบบการวิเคราะห์แนวชายฝั่งในชุดเครื่องมือเสริมของ Esri ArcGIS Desktop ที่ถูกพัฒนาโดยหน่วยสำรวจธรณีวิทยา ประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Geological Survey: USGS) เพื่อช่วยคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยให้ผลลัพธ์ทางสถิติสำหรับอนุกรมเวลา ซึ่งเป็นที่นิยมและถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการประมวลผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ใช้เวลาน้อย แต่ให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูง ทำให้เข้าใจกระบวนการชายฝั่งในพื้นที่เฉพาะได้เป็นอย่างดี (อนุทิน คงชาล, 2564, น. 5)



ภาพประกอบ 2 ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System)

ที่มา: จาก Digital Shoreline Analysis System (DSAS) โดย Woods Hole Coastal and Marine Science Center. (<https://www.usgs.gov/centers/whcmsc/science/digital-shoreline-analysis-system-dsas>). สงวนลิขสิทธิ์ 2022 โดย United States Geological Survey.

4.1 องค์ประกอบของระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล ตามภาพประกอบ 5 มีดังนี้ (United States Geological Survey, 2021, pp. 10-37)

4.1.1 เส้นฐาน (Baseline) คือ เส้นสมมุติที่อยู่ขนานกับเส้นแนวชายฝั่งทั้งในน้ำและบนบก ทำหน้าที่อ้างอิงตำแหน่งในการคำนวณสถิติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง สามารถกำหนดระยะห่างของเส้นฐานกับเส้นแนวชายฝั่งได้ตามความเหมาะสมของพื้นที่นั้น ๆ เช่นตัวอย่างการศึกษาของ อนุทิน คงชาล (2564) ได้ผสมผสานการใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลแบบอนุกรมเวลา เพื่อประเมินความเปราะบางของชายฝั่งไทยต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อชายฝั่ง ที่กำหนดระยะห่างเส้นฐานกับเส้นแนวชายฝั่งต่าง ๆ ด้วยสมการ 1 ซึ่งต้องมีการกำหนดรูปแบบข้อมูลที่เป็น ได้แก่ ข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute data) ตามตาราง 3 และ พารามิเตอร์ ตามตาราง 4

$$\text{ระยะห่างของเส้นฐาน} = \text{อัตราการกัดเซาะสูงสุด} \times \text{จำนวนปีที่ใช้ในการศึกษา} \quad (1)$$

4.1.2 เส้นแนวชายฝั่ง (Shoreline) คือ เส้นที่เป็นตัวแทนชายฝั่งสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในสถิติต่าง ๆ ซึ่งต้องมีการกำหนดรูปแบบข้อมูลที่เป็นได้แก่ ข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute data) ตามตาราง 3 และ พารามิเตอร์ ตามตาราง 4

ตาราง 3 ข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute data) ที่ต้องกำหนดทั้งในเส้นแนวชายฝั่งและเส้นฐาน

Data	Field Name	Field Type
Baseline	OBJECTID	Object ID
	SHAPE	Geometry
	ID	Long Integer
	Group	Long Integer
	Search Distance	Long Integer
	Type	Long Integer
Shoreline	OBJECTID	Object ID
	SHAPE	Geometry
	Shape_length	Double
	DSAS_date	Text
	DSAS_uncy	Double

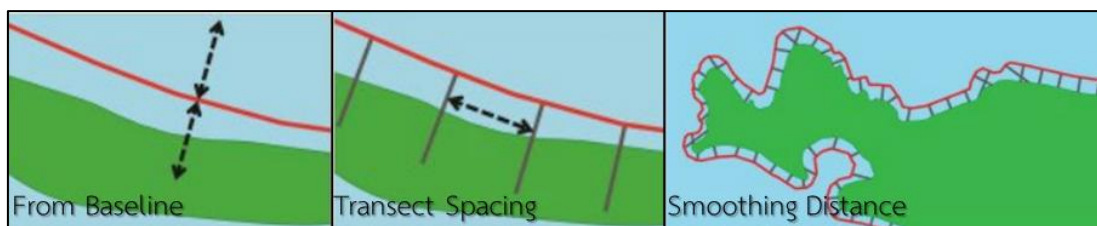
ที่มา: ดัดแปลงจาก Incorporating the Use of Time Series Remote Sensing Data to Assess the Vulnerability of the Thai Coast to Climate Change Induced Coastal Hazards โดย อนุทิน คงชาล, 2564, วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 4(1) , 9 (<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/rtna/article/view/244274>). สงวนลิขสิทธิ์ 2564 โดย อนุทิน คงชาล.

ตาราง 4 พารามิเตอร์ของเส้นแนวชายฝั่งและเส้นฐาน

Data	พารามิเตอร์ที่ต้องกำหนด	ค่าพารามิเตอร์
Baseline	Baseline Layer	Baseline
	Baseline ID Field	ID
	Baseline Group Field	Group_
	Baseline Search Distance	Search Distance
	Baseline Orientation	Left
	Baseline placement	Onshore
	Log File Output	Extended
Shoreline	Shoreline Layer	Shoreline
	Shoreline ID Field	DSAS_date
	Shoreline Uncertainty Field	DSAS_uncy
	Default Data Uncertainty	30
	Seaward Intersect	
	Log File Output	Extended

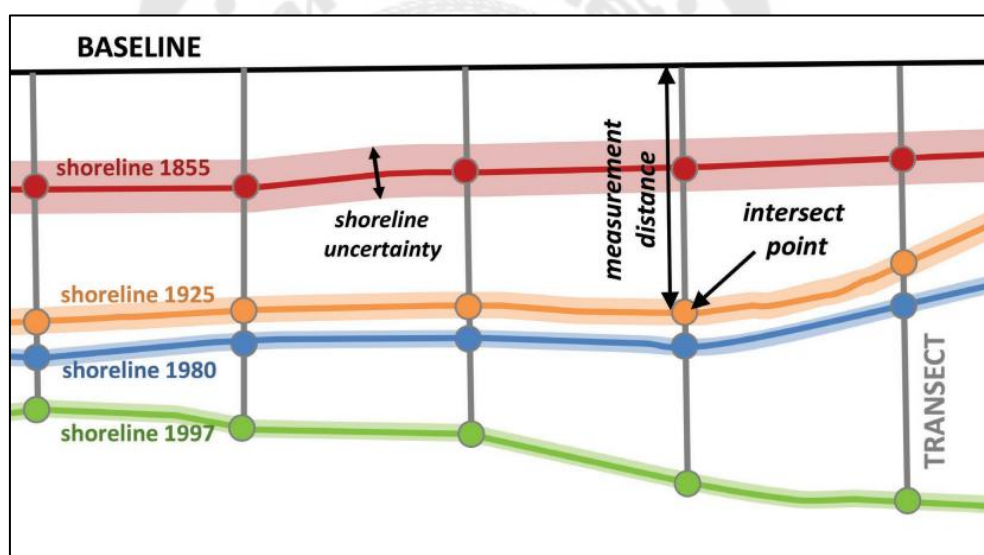
ที่มา: ดัดแปลงจาก Incorporating the Use of Time Series Remote Sensing Data to Assess the Vulnerability of the Thai Coast to Climate Change Induced Coastal Hazards โดย อนุทิน คงชาล, 2564, วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 4(1) , 9 (<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/rtna/article/view/244274>). สงวนลิขสิทธิ์ 2564 โดย อนุทิน คงชาล.

4.1.3 เส้นตัดขวาง (Transect) คือ เส้นสมมุติที่พาดผ่านเส้นฐานและเส้นแนวชายฝั่งทุกเส้น ทำหน้าที่ในการเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่เป็นตัวแทนเส้นต่าง ๆ ในตำแหน่งนั้น ๆ ในการคำนวณค่าสถิติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง สามารถกำหนดค่าเส้นตัดขวาง (Transect) ได้จากส่วน Cast Transects ที่กำหนดค่า Maximum Search Distance ได้แก่ From Baseline, Transect Spacing และ Smoothing Distance ตามภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 กำหนดค่า Maximum Search Distance ของเส้นตัดขวาง (Transect)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Transect Storage Parameters โดย United States Geological Survey, 2021, Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.1 User Guide, 32 (<https://doi.org/10.3133/ofr20211091>). สงวนลิขสิทธิ์ 2021 โดย United States Geological Survey.



ภาพประกอบ 4 องค์ประกอบในระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (DSAS)

ที่มา: จาก Tips for Collecting Shoreline Data โดย United States Geological Survey, 2021, Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.1 User Guide, 11 (<https://doi.org/10.3133/ofr20211091>). สงวนลิขสิทธิ์ 2021 โดย United States Geological Survey.

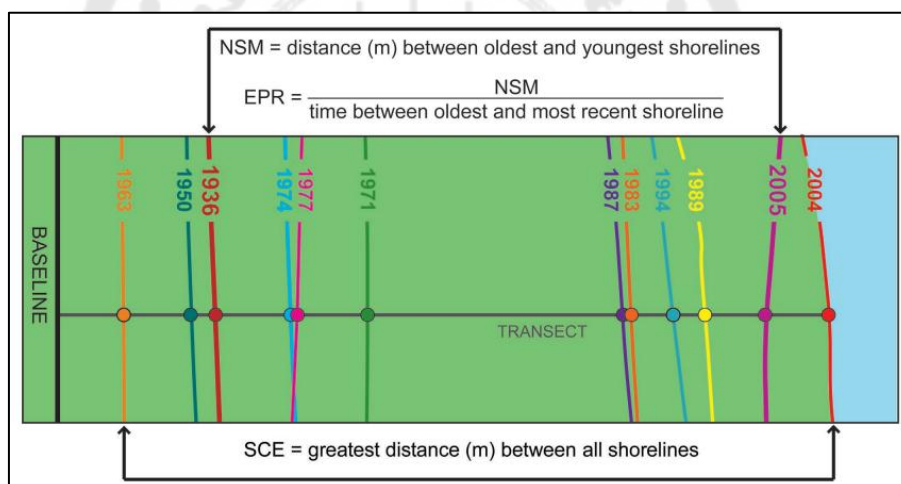
4.2 ค่าสถิติที่เป็นผลลัพธ์ของระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล มีดังนี้ (United States Geological Survey, 2021, pp. 50-53)

4.2.1 การเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่งสุทธิ (Net Shoreline Movement: NSM) เป็นการคำนวณระยะทางระหว่างเส้นแนวชายฝั่งของเวลาที่เก่าที่สุดกับเส้นล่าสุด (หน่วยเป็นเมตร)

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งชายฝั่ง (Shoreline Change Envelope: SCE) เป็นการคำนวณระยะทางระหว่างเส้นแนวชายฝั่งเส้นในสุดกับเส้นนอกสุดแต่ละแนว (หน่วยเป็นเมตร)

4.2.3 อัตราจุดสิ้นสุด (End Point Rate:EPR) เป็นการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งของเวลาที่เก่าที่สุดกับเส้นล่าสุด (หน่วยเป็นเมตรต่อปี) ตามสมการ 2

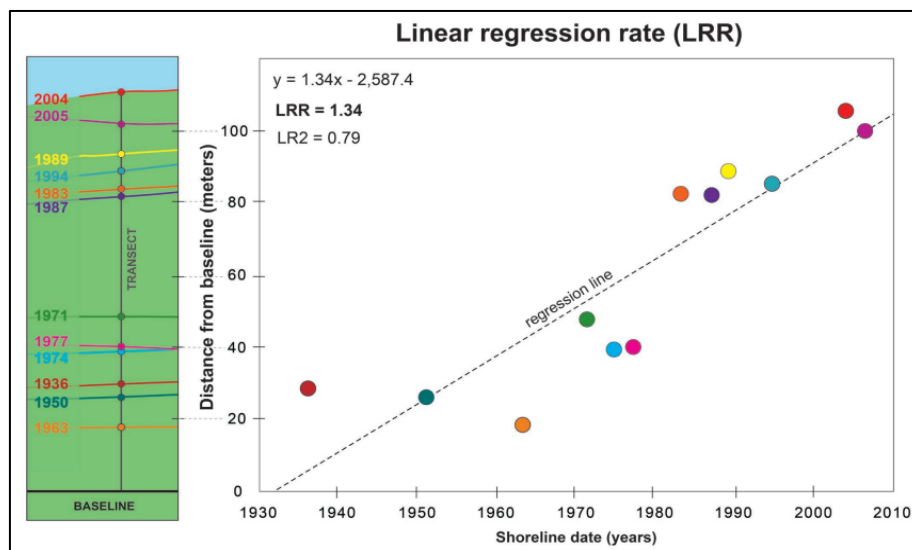
$$EPR = \frac{\text{ระยะทางระหว่างเส้นแนวชายฝั่งของเวลาที่เก่าที่สุดกับเส้นล่าสุด}}{\text{ระยะเวลาระหว่างเส้นแนวชายฝั่งของเวลาที่เก่าที่สุดกับเส้นล่าสุด}} \quad (2)$$



ภาพประกอบ 5 การคำนวณ NSM SCE และEPR ในระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (DSAS)

ที่มา: จาก End Point Rate โดย United States Geological Survey, 2021, Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.1 User Guide, 51 (<https://doi.org/10.3133/ofr20211091>). สงวนลิขสิทธิ์ 2021 โดย United States Geological Survey.

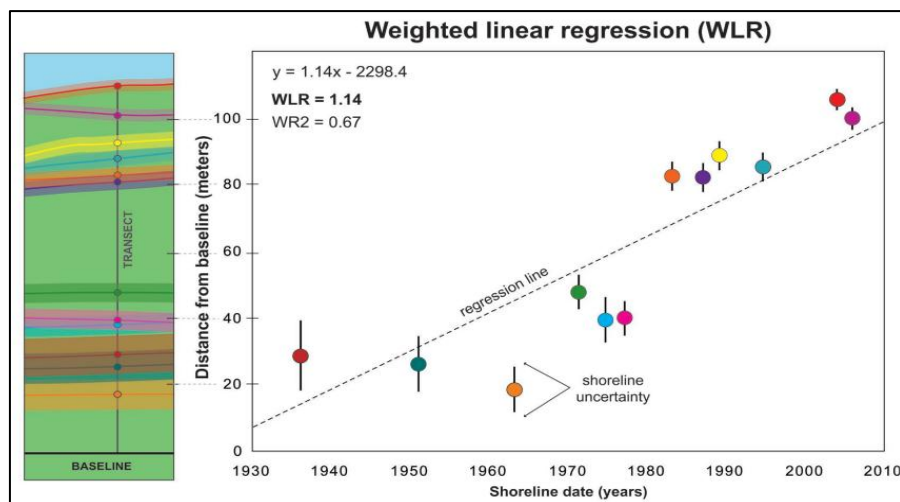
4.2.4 อัตราการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Rate: LRR) เป็นการคำนวณโดยปรับค่าเส้นถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดให้พอดีกับจุดชายฝั่งทั้งหมด วิธีนี้ไวต่อผลกระทบนอกกรอบและมีแนวโน้มของผลลัพธ์ที่จะประเมินอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับวิธีอื่น (หน่วยเป็นเมตรต่อปี)



ภาพประกอบ 6 การคำนวณค่า LRR ในระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (DSAS)

ที่มา: จาก Linear Regression Rate โดย United States Geological Survey, 2021, Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.1 User Guide, 52 (<https://doi.org/10.3133/ofr20211091>). สงวนลิขสิทธิ์ 2021 โดย United States Geological Survey.

4.2.5 การถดถอยเชิงเส้นถ่วงน้ำหนัก (Weighted Linear Regression: WLR) เป็นการกำหนดเส้นที่เหมาะสมที่สุด โดยเน้นข้อมูลที่มีค่าความไม่แน่นอนของตำแหน่งที่มีขนาดเล็กกว่า ซึ่งเป็นตำแหน่งที่น่าเชื่อถือที่สุดในการคำนวณสถิติอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง (หน่วยเป็นเมตรต่อปี)



ภาพประกอบ 7 การคำนวณค่า WLR ในระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (DSAS)

ที่มา: จาก Weighted Linear Regression โดย United States Geological Survey, 2021, Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.1 User Guide, 53 (<https://doi.org/10.3133/ofr20211091>). สงวนลิขสิทธิ์ 2021 โดย United States Geological Survey.

5. การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing)

การรับรู้จากระยะไกล คือ การได้มาซึ่งข้อมูลวัตถุ สิ่งของ เป้าหมาย โดยไม่ได้สัมผัสหรือตรวจวัดโดยตรง แต่เป็นการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการตรวจวัดและบันทึกจากระยะไกล (สุเพชร จิระจกุล, 2560, น.5)

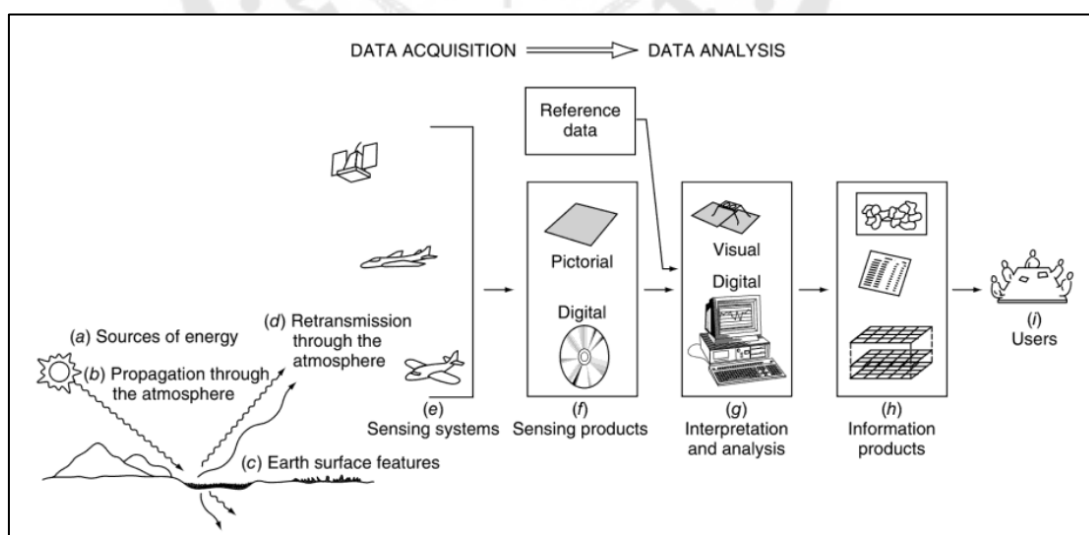
การรับรู้จากระยะไกล เป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่อาศัยคุณสมบัติ 3 ประการ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ลักษณะเชิงพื้นที่ของวัตถุบนพื้นผิวโลก และลักษณะการเปลี่ยนแปลงของวัตถุตามช่วงเวลาโดยเครื่องรับรู้ เพื่อได้มาซึ่งข้อมูลวัตถุ และ ปรากฏการณ์ต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก โดยมีได้สัมผัสวัตถุเป้าหมายโดยตรง (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552, น. 43)

การสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) เป็นการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับปรากฏการณ์วัตถุที่ปรากฏบนพื้นโลก จากเครื่องตรวจวัดโดยมิได้สัมผัสกับวัตถุที่สนใจจากระยะไกล โดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อกลาง ด้วยคุณสมบัติ 3 ประการ คือ การสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ลักษณะเชิงพื้นที่ของวัตถุบนพื้นโลก และการเปลี่ยนแปลงลักษณะตามช่วงเวลาของวัตถุ (กมลวรรณ วัฒนชัย, 2554, น. 76)

จากนิยามต่าง ๆ จึงสรุปได้ว่า การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) หมายถึง การได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับปรากฏการณ์ หรือวัตถุที่ปรากฏบนพื้นโลก โดยมีได้สัมผัสวัตถุเป้าหมายโดยตรง แต่รับข้อมูลจากเครื่องรับรู้ในระยยะไกลที่ติดตั้งกับพาหนะที่สามารถเคลื่อนที่สูงจากพื้นดิน เช่น อากาศยาน รวมไปถึงดาวเทียม โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อกลางด้วยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 3 ประการ คือ ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ลักษณะเชิงพื้นที่ของวัตถุนบนพื้นผิวโลก และลักษณะการเปลี่ยนแปลงของวัตถุตามช่วงเวลา ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการทำงาน 2 กระบวนการ ตามภาพประกอบ 8 ได้แก่ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552, น. 43)

กระบวนการได้มาซึ่งข้อมูล (Data acquisition) จะเริ่มจากแหล่งพลังงานส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านชั้นบรรยากาศ กระทบวัตถุ หรือ ปรากฏการณ์บนพื้นโลกเกิดปฏิสัมพันธ์ ทั้งการดูดกลืน การส่งผ่าน และการสะท้อน แล้วกลับเข้าสู่เครื่องบันทึกข้อมูลที่ติดตั้งอยู่บนอากาศยานหรือ ดาวเทียม บันทึกข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งรูปแบบดิจิทัล และรูปภาพ

กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) เป็นการนำข้อมูลที่ได้นบันทึกจากกระบวนการได้มาซึ่งข้อมูล (Data acquisition) ทั้งรูปแบบดิจิทัล และรูปภาพ มาแปลข้อมูลภาพด้วยสายตา (Visual Interpretation) และวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Digital Analysis) ด้วยคอมพิวเตอร์ให้เป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผู้ใช้งานนำไปใช้งานต่อไป



ภาพประกอบ 8 กระบวนการการรับรู้จากระยะไกล

ที่มา: จาก Concepts and Foundations of Remote Sensing โดย Lillesand, Thomas M., 2015, Remote sensing and Image Interpretation, 2 (https://books.google.co.th/books?id=AFHDCAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=th&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false). สงวนลิขสิทธิ์ 2015 โดย Lillesand, Thomas M.

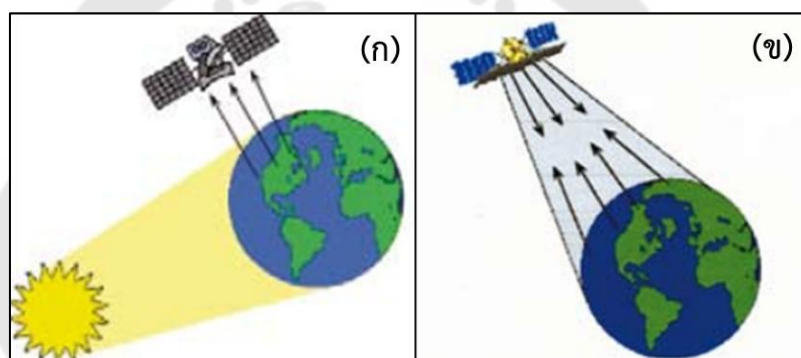
5.1 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก (Earth observation satellites)

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก (Earth observation satellites) เป็นดาวเทียมที่ถูกออกแบบมาเพื่อการสำรวจ ติดตามทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ของโลก ทั้งงานด้านป่าไม้ ด้านเกษตรกรรม ด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน ด้านธรณีวิทยาและธรณีสารสนเทศ ด้านอุทกวิทยาและการจัดการทรัพยากรน้ำ ด้านสมุทรศาสตร์และทรัพยากรชายฝั่ง ด้านการทำแผนที่ ด้านภัยธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ด้านการผังเมืองและการขยายเมือง และด้านความมั่นคงของชาติ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552, นน. 56-73)

5.1.1 ระบบเครื่องรับรู้ของดาวเทียมสำรวจทรัพยากร (Sensor systems) จำแนกเป็น 2 แบบ ตามภาพประกอบ 9 ได้แก่

ก) เครื่องรับรู้แบบแพสซีฟอิเล็กทรอนิกส์ (Passive electronic sensors) เป็นระบบรับรู้ที่บันทึกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากธรรมชาติ ซึ่งแหล่งพลังงานหลักคือดวงอาทิตย์ ข้อดีของระบบนี้คือ สามารถบันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่นเนื่องจากพลังงานจากดวงอาทิตย์เต็มไปด้วยคลื่นรังสีต่าง ๆ ข้อเสียของระบบนี้คือ ไม่สามารถบันทึกภาพในสภาวะอากาศที่มีเมฆปกคลุมมาก หรือเวลากลางคืนได้ เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวไม่มีพลังงานที่จะสะท้อนกลับเข้าเครื่องรับได้ ตัวอย่างดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกระบบแพสซีฟอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ Landsat, Sentinel-2, THEOS และ Worldview-2 เป็นต้น เครื่องรับรู้ที่ติดกับดาวเทียมระบบแพสซีฟอิเล็กทรอนิกส์ คือ ระบบกราดภาพหลายช่วงคลื่น ทำหน้าที่บันทึกช่วงคลื่นระหว่าง 0.3-14 ไมโครเมตร เครื่องกราดภาพลายเส้น (Line scanners) มี 5 ประเภท ได้แก่ เครื่องกราดภาพขวางแนวโคจร (Across track scanner), เครื่องกราดภาพตามแนวโคจร (Along track scanner), เครื่องกราดภาพแบบหมุนรอบ (Spin scanners), เครื่องกราดภาพทรงกรวย (Conical scanners) และ เครื่องกราดไฮเพอร์สเปกตรัม (Hyperspectral scanners)

ข) เครื่องรับรู้แบบแอ็กทีฟอิเล็กทรอนิกส์ (Active electronic sensors) เป็นเครื่องรับรู้ที่สามารถผลิตพลังงานได้ด้วยตนเอง โดยการยิงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังวัตถุเป้าหมายแล้วสะท้อนกลับมา ผ่านสายอากาศ (Antenna) ที่ทำหน้าที่สลับการส่งและรับสัญญาณได้ในตัวเดียวกัน บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นที่มีความถี่ระหว่าง 3-12.5 กิกะเฮิรตซ์ (ความยาวคลื่นระหว่าง 2.4-100 เซนติเมตร) จึงสามารถบันทึกข้อมูลได้ทั้งกลางวันและกลางคืนในทุกสภาพอากาศ เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในระบบนี้ คือ คลื่นไมโครเวฟที่สามารถทะลุทะลวงบรรยากาศต่าง ๆ ได้ เรียกกระบวนการบันทึกข้อมูลชนิดนี้ว่าระบบถ่ายภาพเรดาร์ (Imaging radar) ตัวอย่างดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกระบบแอ็กทีฟอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ Sentinel-1 และ RADARSAT เป็นต้น



ภาพประกอบ 9 ระบบการรับรู้ของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก (ก)ระบบแพสซีฟอิเล็กทรอนิกส์ (ข)ระบบแอ็กทีฟอิเล็กทรอนิกส์

ที่มา: ดัดแปลงจาก ระบบเครื่องรับรู้ โดย สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552, ตำราเทคโนโลยีอวกาศ และ ภูมิสารสนเทศศาสตร์, 71 และ 73. สงวนลิขสิทธิ์ 2552 โดย สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน).

5.1.2 ความแตกต่างของภาพถ่ายดาวเทียมกับภาพที่ถ่ายจากกล้องทั่วไปมีดังนี้

ก) ลักษณะข้อมูลเชิงเลข มีความละเอียดของค่าการสะท้อนช่วงคลื่นแสงเป็นค่าระดับสีเทา จำนวน 256 ระดับ (ในกรณี 8 บิต) ในแต่ละช่วงคลื่นสามารถนำข้อมูลไปผลิตเป็นภาพขาวดำและภาพสีผสม ตลอดจนนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ได้สะดวกยิ่งขึ้น

ข) ข้อมูลค่าสะท้อนจากดาวเทียมที่โคจรผ่านสถานีสามารถส่งมายังภาคพื้นดินได้ทันที

ค) สามารถบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นที่กล้องธรรมดามบันทึกไม่ได้

ง) การบันทึกข้อมูลเป็นบริเวณกว้าง (Synoptic view) สำหรับการศึกษาที่ต้องการความต่อเนื่องของภาพในภาพเดียว

จ) การบันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่น สามารถบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นและมองไม่เห็นได้ เพื่อจำแนกวัตถุต่าง ๆ บนพื้นโลกได้อย่างครบถ้วน

ฉ) การบันทึกข้อมูลซ้ำบริเวณเดิม (Repetitive coverage) เนื่องจากการโคจรของดาวเทียมมีลักษณะทิศเหนือลงใต้ ทำให้สามารถโคจรกลับมาถ่ายภาพซ้ำที่เดิมได้ขึ้นอยู่กับความเร็วของการโคจรของดาวเทียมนั้น ๆ ช่วยให้เราสามารถรับข้อมูลเป็นสถิติได้ทุกรอบการถ่ายภาพ

ช) การให้ความละเอียดภาพหลายระดับ (Multi-resolution) ทำให้สามารถเลือกใช้ข้อมูลดาวเทียมในแต่ละความละเอียดภาพได้ตามวัตถุประสงค์ของงาน เช่น ต้องการความละเอียดภาพที่สูงเพื่อใช้ในการทำแผนที่ ต้องการความละเอียดภาพปานกลางเพื่อศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ เฉพาะพื้นที่ หรือต้องการความละเอียดภาพที่ต่ำเพื่อศึกษางานในด้านสมุทรศาสตร์ อุตุนิยมวิทยาที่ต้องการประเมินสภาพอากาศในระดับภูมิภาค

ซ) การให้ภาพสีผสม (Color composite) สามารถที่จะผสมสีเพื่อใช้จำแนกวัตถุต่าง ๆ บนพื้นโลกได้ด้วยช่วงคลื่นที่บันทึกไว้

5.2 อัตราส่วนเชิงคลื่นด้วยภาพจากการรับรู้ระยะไกล

การทำอัตราส่วนเชิงคลื่น หรือ ดัชนี (Index) เป็นหนึ่งในวิธีการเน้นข้อมูลเชิงคลื่น (Spectral enhancement) สำหรับเน้นช่วงคลื่นที่ต้องการให้ปรากฏออกมาเด่นชัด เพื่อประโยชน์ต่อการจำแนกข้อมูลภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552, น. 86) สำหรับการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นที่ชายฝั่งทะเลซึ่งมีน้ำและพืชพรรณในบริเวณชายฝั่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ ดังนั้นดัชนีที่เกี่ยวข้องจึงเป็นดัชนีน้ำและดัชนีพืชพรรณ ซึ่งมีอยู่มากในปัจจุบันแต่ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดมีดังนี้

5.2.1 ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Water Index: NDWI) สูตรของ McFeeters ปี ค.ศ.1996 เป็นการใช้แถบช่วงคลื่นสีเขียว (Green) และแถบช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) สำหรับตรวจสอบระดับความชื้นในดินหรือพืชพรรณ และยังสามารถแยกพื้นที่น้ำผิวดินและพื้นที่บกออกจากกันได้ ซึ่งมีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 ตามสมการ 3 ดังนี้ (เปรมศิริ คงแสง, 2560, น. 8)

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (3)$$

โดยที่

NDWI คือ ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์

GREEN คือ ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น

NIR คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

5.2.2 ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์ปรับปรุง (Modified Normalized Difference Water Index: MNDWI) สูตรของ Xu ปี ค.ศ.2006 เป็นดัชนีที่ใช้สกัดน้ำด้วยการใช้แถบช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง (MIR) มาใช้แทนที่แถบช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) เป็นสมการที่ได้ปรับปรุงมาจาก NDWI ของ McFeeters ปี ค.ศ.1996 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับแยกพื้นที่น้ำและบ่อกอกจากกันอย่างชัดเจน โดยที่ลดข้อบกพร่องในพื้นที่น้ำตื้นและน้ำขุ่นที่มีสิ่งเจือปนจำนวนมากในน้ำให้น้อยลงที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ตามสมการ 4 ดังนี้ (ชนัตถพงศ์ เสืองามเยี่ยม, 2564, น. 48)

$$MNDWI = \frac{GREEN - MIR}{GREEN + MIR} \quad (4)$$

โดยที่

MNDWI คือ ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์ปรับปรุง

GREEN คือ ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น

MIR คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง

5.2.3 ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) เป็นดัชนีที่ใช้สกัดพืชพรรณหรือประเมินความสมบูรณ์ของพืชพรรณ ด้วยการใช้อุปช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) และแถบช่วงคลื่นสีแดง (Red) ซึ่งมีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 ตามสมการ 5 ดังนี้ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552, น. 89)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (5)$$

โดยที่

NDVI คือ ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มัลไลซ์

NIR คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

5.2.4 ดัชนีผลต่างพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil Adjustment Vegetation Index: SAVI) เป็นดัชนีที่ใช้สกัดพืชพรรณหรือประเมินความสมบูรณ์ของพืชพรรณในบริเวณที่มีพืชเบาบาง สูตรของ Huete ปี ค.ศ.1988 โดยพัฒนามาจากดัชนี NDVI ซึ่งสามารถลดปัญหาการสะท้อนของดินที่บดบังการสะท้อนของพืชพรรณในบริเวณที่มีพืชเบาบางได้ โดยใช้ค่าคงที่ (L) มาร่วมคำนวณตามสมการ 6 ดังนี้ (เปรมศิริ คงแสง, 2560, น. 9)

$$SAVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \right) \times (1 + L) \quad (6)$$

โดยที่

SAVI คือ ดัชนีผลต่างพืชพรรณปรับแก้ดิน

NIR คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

L คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0.5

5.3 การจำแนกข้อมูลภาพ (Image classification)

เป็นการแยกข้อมูลที่อยู่ในภาพให้เป็นกลุ่มเดียวกันในแต่ละประเภท ด้วยค่าทางสถิติต่าง ๆ ผ่านสมการ หรือ ชุดอัลกอริธึมต่าง ๆ โดยกลุ่มที่ถูกจัดไว้ด้วยกันจะมีค่าทางสถิติที่เหมือนกันหรือมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เรียกว่า ประเภทของการจำแนก (Class) การจำแนกข้อมูลภาพมีพื้นฐานการจำแนกอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ 1) เชิงวัตถุ (Object Base) เป็นการจำแนกที่อาศัยความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลภาพ (Homogenous areas) ด้วยการแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) และ 2) เชิงจุดภาพ (Pixel Base) ที่เป็นการจำแนกโดยอาศัยการคำนวณค่าจุดภาพด้วยหลักการทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ให้เกิดการแบ่งกลุ่มประเภทการจำแนกขึ้น สำหรับการจำแนกข้อมูลภาพ (Image classification) ในด้านการรับรู้จากระยะไกลที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบหลัก ๆ ได้แก่ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552, นน. 93-100)

5.3.1 การจำแนกแบบไม่ควบคุม (Unsupervised classification) เป็นการจำแนกด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่ไม่มีการกำหนดข้อมูลการเรียนรู้ก่อนการจำแนก (Training data) แต่สามารถจัดประเภทของการจำแนกได้ตามแนวโน้มของค่าจุดภาพด้วยสถิติต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นค่าการสะท้อนต่ำสุด-สูงสุด, ค่าเฉลี่ยเลขคณิต, ค่าเฉลี่ยเลขคณิตนิยม, ค่ากึ่งกลาง, ค่าฐานนิยม, ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าความแปรปรวน และ สหสัมพันธ์ โดยสามารถแบ่งออกเป็น

2 ประเภท ได้แก่ การรวมกลุ่มแบบลำดับชั้น (Hierarchical clustering) และ การรวมกลุ่มแบบไม่เป็นลำดับชั้น (Non-hierarchical clustering)

5.3.2 การจำแนกแบบควบคุม (Supervised classification) เป็นการจำแนกด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีการกำหนดข้อมูลการเรียนรู้ก่อนการจำแนก (Training data) โดยที่ผู้ควบคุมการจำแนกจะเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างพื้นที่ศึกษาโดยตรงจากการสำรวจพื้นที่จริง หรือมาจากแผนที่ที่มีความน่าเชื่อถือ รวมไปถึงสถิติอื่น ๆ ในพื้นที่ศึกษานั้น ๆ ให้คอมพิวเตอร์ได้เรียนรู้ก่อนที่จะจำแนกด้วยอัลกอริธึมต่าง ๆ ทำให้ได้ผลของการจำแนกที่มีประสิทธิภาพสูง โดยการจำแนกแบบควบคุมที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่

ก) การจำแนกแบบระยะห่างต่ำที่สุด (Minimum distance to means: MDC) เป็นรูปแบบการจำแนกที่มีความเรียบง่ายและทำงานเร็วที่สุด ซึ่งมีประสิทธิภาพในระดับหนึ่ง ด้วยการคำนวณจากระยะห่างของจุดศูนย์กลางค่าเฉลี่ยจุดภาพในแต่ละประเภทการจำแนก เรียกค่าเฉลี่ยนี้ว่า เวกเตอร์ค่าเฉลี่ย (Mean vector) หากจุดภาพใดมีค่าอยู่ในช่วงค่าเวกเตอร์ค่าเฉลี่ย ของประเภทการจำแนกใด ก็จะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของการจำแนกประเภทนั้น แต่ถ้าจุดภาพใดมีค่าระยะห่างเกินค่าเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของทุกประเภทการจำแนก ก็จะไม่ถูกจัดกลุ่มในประเภทการจำแนกใดเลย (Unclassified pixel) เพื่อแก้ปัญหาจุดภาพที่ไม่สามารถจัดกลุ่มได้ จึงมีวิธีกำหนดขอบเขตของค่าเฉลี่ยประเภทการจำแนกด้วยการตั้งค่าระยะห่างสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ในแต่ละประเภทการจำแนก (Distance threshold) จะช่วยให้จุดภาพที่มีค่าระยะห่างเกินค่าเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของทุกประเภทการจำแนก มีการจัดกลุ่มได้ดีมากขึ้น (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552, นน.98-99) ซึ่งระยะห่างนี้เป็นแบบยูคลิเดียน (Euclidean Distance) คำนวณตามสมการ 7 ดังนี้ (ทิฆัมพร ทิพย์รองพล, 2566, น. 21)

$$SD_{xyc} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\mu_{ci} - \mu_{xyi})^2} \quad (7)$$

โดยที่

SD_{xyc} คือ ระยะทางช่วงคลื่นจากจุดภาพ x, y ไปยังค่าเฉลี่ยขอประเภท c

n คือ จำนวนแบนด์

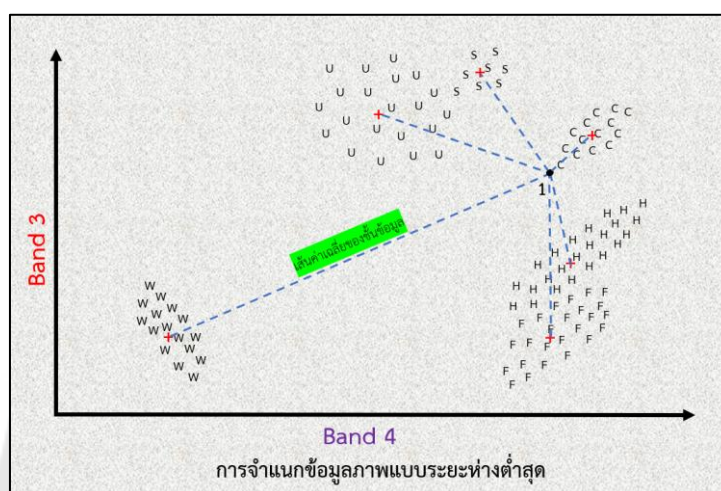
i คือ เฉพาะแบนด์

c คือ เฉพาะประเภท

μ_{xyi} คือ ค่าของจุดภาพ x, y ของแบนด์ i

μ_{ci} คือ ค่าเฉลี่ยของแบนด์ i ที่ได้จากพื้นที่ฝึกหัดของประเภท c

การจำแนกประเภทนี้มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถจำแนกข้อมูลภาพที่มีค่าความแปรปรวน (Variance) สูง และภาพที่มีค่าจุดภาพใกล้เคียงกันมากเกินไปในแต่ละประเภทการจำแนก จะทำให้การจำแนกเกิดความผิดพลาดได้ง่าย (ทิฆัมพร ทิพย์รองพล, 2566, น. 21)



ภาพประกอบ 10 หลักการทำงานของการจำแนกแบบระยะห่างต่ำที่สุด (Minimum distance to means)

ที่มา: ดัดแปลงจาก กฎการตัดสินใจเพื่อการจำแนกข้อมูลภาพ โดย สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), ตำราเทคโนโลยีอวกาศ และ ภูมิสารสนเทศศาสตร์, 98. สงวนลิขสิทธิ์ 2552 โดย สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน).

ข) การจำแนกแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum likelihood classifier: MLC) เป็นรูปแบบการจำแนกที่เป็นมาตรฐานสำหรับการรับรู้จากระยะไกล (กฤษฎาณ อินทร์ดี และ สุชาวดี ศิลปรัตน์, 2562, น. 744) ที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายที่มากที่สุด (Jensen, 2016, p. 398) ด้วยความไม่ซับซ้อนของการนำไปใช้งานและมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่สูง จึงยังคงมีการใช้งานอย่างต่อเนื่องและเป็นมาตรฐานการจำแนกในปัจจุบัน โดยมีหลักการทำงานด้วยการคำนวณเวกเตอร์เฉลี่ย ค่าความแปรปรวน และค่าสหสัมพันธ์ของช่วงคลื่นที่นำมาใช้ในการจำแนกประเภทของชั้นข้อมูลจากข้อมูลตัวอย่าง (Training data) โดยสมมติฐานว่า ชั้นข้อมูลทุกชั้นมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติ (Normal distribute) และสามารถคำนวณค่าการสะท้อนช่วงคลื่นในแต่ละประเภทด้วยหลักการความน่าจะเป็นได้ ตามสมการ 8 ดังนี้ (ขจีมาศ อนงค์ไชย, 2561, น. 13)

$$\Pr(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \frac{-(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \quad (8)$$

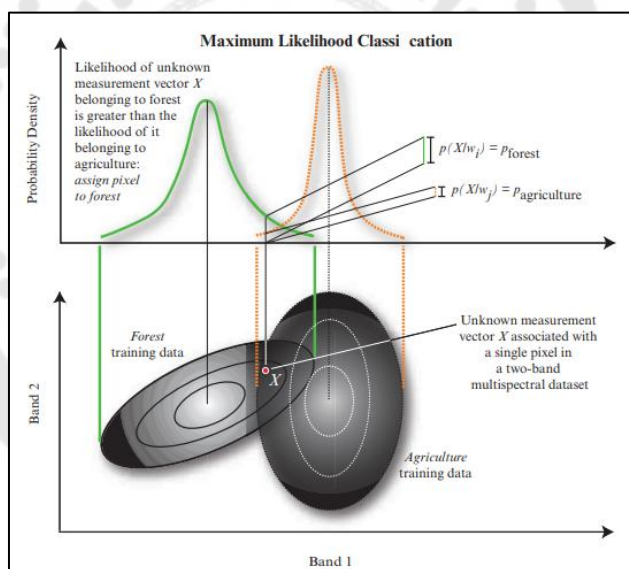
โดยที่

x คือ ค่าการสะท้อนช่วงคลื่น

μ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลตัวอย่าง

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง

การกระจายตัวของจุดภาพรอบ ๆ ค่าเฉลี่ย อธิบายได้โดยทฤษฎีของความน่าจะเป็น (Probability Function) สามารถพล็อตระดับความน่าจะเป็นสูงที่สุดจากการจำแนก 2 ช่วงคลื่น ได้จากกราฟแบบ Gaussian จะมีลักษณะเป็นระฆังคว่ำ โดยที่ค่าความน่าจะเป็นสูงที่สุดอยู่ตรงกลาง และจะลดถดถอยลงเมื่อค่าความน่าจะเป็นน้อยลง (Jensen, 2016, p. 398)



ภาพประกอบ 11 หลักการทำงานของความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุด (Maximum likelihood classifier)

ที่มา : จาก Maximum Likelihood Classification Without Prior Probability Information โดย Jensen, John R., 2016, Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, 401 (<https://books.google.co.th/books?id=IWvDrQEACAAJ>). สงวนลิขสิทธิ์ 2016 โดย Jensen, John R.

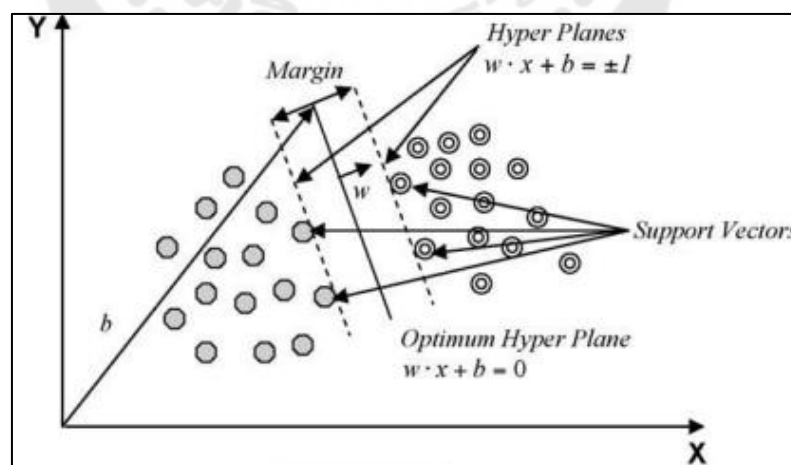
ค) การจำแนกแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine: SVM) เป็นรูปแบบหนึ่งของการจำแนกแบบควบคุม (Supervised classification) ที่มีประสิทธิภาพในระดับสูงโดยเฉพาะข้อมูลที่สามารถจับคู่เป็นแบบไบนารี (Binary Classifier) โดยมีหลักการในการสร้างข้อมูลที่ไม่เชิงเส้น (Non-linear data) ให้เป็นสมการเชิงเส้น เพื่อสร้างเส้นแบ่ง (Hyperplane) พร้อมด้วยการจัดจำข้อมูลที่อยู่รอบขอบของข้อมูลที่จำแนกเรียกว่า เวกเตอร์ซัพพอร์ต (Support vector) ที่สามารถแยกสิ่งที่จำแนกออกจากกันได้ ด้วยการกำหนดพารามิเตอร์ 2 ค่า คือ พารามิเตอร์ปรับเคอร์เนล (Kernel parameter) และพารามิเตอร์ขอบเขตแบ่งจำแนก (Error control) ซึ่งประเภทของเคอร์เนลที่นิยมใช้ คือ เกาสเซียน อาร์บีเอฟ (Gaussian radial basis function kernel) ด้วยการปรับพารามิเตอร์นี้จะทำให้เส้นแบ่ง (Hyperplane) อยู่ในตำแหน่งที่ดีที่สุด ช่วยลดการจำแนกที่ผิดพลาดได้มาก (กฤษฎาณ อินทร์ตัน, 2565, นน. 1159-1160) การจำแนกรูปแบบนี้สามารถคำนวณได้ ตามสมการ 9, สมการ 10 และ สมการ 11 ดังนี้ (ขจีมาศ อนงค์ไชย, 2561, น. 9)

$$w \cdot x_i + b \geq +1; y = 1 \quad (9)$$

$$w \cdot x_i + b \leq -1; y = -1 \quad (10)$$

จะได้

$$y_i(w \cdot x_i + b) - 1 \geq 0; y_i = \{-1, +1\} \quad (11)$$



ภาพประกอบ 12 หลักการทำงานของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine)

ที่มา: จาก A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification โดย Kavzoglu, T. and Colkesen, I., 2009, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 11(5), 354 (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303243409000464>). สงวนลิขสิทธิ์ 2009 โดย Kavzoglu, T. and Colkesen, I.

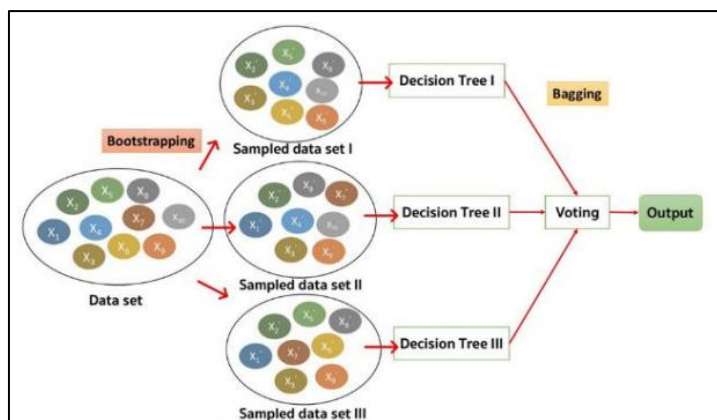
ง) การจำแนกแบบป่าสุ่ม (Random forest: RF) เป็นรูปแบบหนึ่งของการจำแนกแบบควบคุม (Supervised classification) ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการรับรู้จากระยะไกล ซึ่งให้ผลลัพธ์ของการจำแนกดีที่สุดจากทุกรูปแบบของการจำแนกชนิดเดียวกัน (กฤษฎาณ อินทรรัตน์, 2565, น. 1158) เป็นรูปแบบที่พัฒนามาจากการจำแนกแบบต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree) ที่มีลักษณะการวิเคราะห์เป็นลำดับชั้นเหมือนต้นไม้ที่แตกกิ่งก้านสาขา ตั้งแต่ราก (Root node) ไปยังส่วนต่าง ๆ (Inner node) จนถึงใบ (Leaf node) ลักษณะต้นไม้จะใหญ่หรือมีกิ่งก้านสาขามากแค่ไหนขึ้นอยู่กับผลลัพธ์สุดท้ายของการวิเคราะห์นั้นว่าเป็นที่พอใจหรือถูกต้องแล้วหรือไม่ แต่สำหรับการจำแนกแบบป่าสุ่มจะเป็นการนำรูปแบบการวิเคราะห์แบบต้นไม้ตัดสินใจมาสร้างโมเดลย่อย ๆ จำนวนมากตั้งแต่ 10 ไปถึงมากกว่า 1,000 โมเดล มารวมกันเปรียบเสมือนป่าที่มีต้นไม้ตัดสินใจอยู่เป็นจำนวนมาก แล้วทำการวิเคราะห์ร่วมกันจากชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน (Data set) แล้วนำผลลัพธ์ของการวิเคราะห์มาโหวต (Vote output) หาค่าที่ได้ผลลัพธ์เหมือนกันมากที่สุด (ค่าฐานนิยม) มาตัดสินผลลัพธ์สุดท้ายที่ดีที่สุดของการวิเคราะห์ในครั้งนั้น ๆ (จิรวัดณ์ จันทองพูน และคณะ, 2565, น. SGI05-2) ซึ่งสามารถคำนวณได้ ตามสมการ 12 ดังนี้ (กฤษฎาณ อินทรรัตน์ และ สุชาวดี ศิลปรัตน์, 2562, นน. 746-747)

$$H_r(X) = \arg \max_j \sum_{i=1}^k (I(h(X, \theta_i) = j)) \quad (12)$$

โดยที่

$H_r(X)$ คือ แบบจำลองการจำแนกรวม

$I(h(X, \theta_i))$ คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกด้วยต้นไม้ตัดสินใจที่ i ของค่านำเข้า X



ภาพประกอบ 13 หลักการทำงานของป่าสุ่ม (Random forest)

ที่มา: จาก การศึกษาการขยายตัวของเมืองด้วยเทคนิควิธี Random forest กรณีศึกษา อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา โดย จิรวัดณ์ จันทองพูน และคณะ, 2565, การประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27, SGI05-2 (<https://www.conference.thaince.org/index.php/ncce27/article/view/1760>). สงวนลิขสิทธิ์ 2552 โดย จิรวัดณ์ จันทองพูน และคณะ.

5.3 การประเมินความถูกต้องของการจำแนก

การประเมินความถูกต้องของการจำแนกเป็นการเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่าง ข้อมูลที่ได้จากการจำแนกกับข้อมูลที่ใช้อ้างอิงความถูกต้องในพิภัดเดียวกัน แล้วนำมาแจกแจงให้อยู่ในรูปแบบของตาราง Confusion Matrix ตามตาราง 5 (จิรวัดณ์ จันทองพูน และคณะ, 2565, น. SGI05-3) โดยแกนตั้งของตารางเป็นข้อมูลที่ใช้อ้างอิงความถูกต้อง ส่วนแกนนอนเป็นข้อมูลที่ได้จากการจำแนก โดยค่าความถูกต้องมี 4 ประเภท ดังนี้ (เปรมศิริ คงแสง, 2560, นน. 14-16)

ตาราง 5 ตารางความคลาดเคลื่อนสำหรับประเมินความถูกต้อง (Confusion Matrix Table)

		Ground reference				
Remote Sensing Classification	Class	1	2	3	k	n_{i+}
	1	$n_{1,1}$	$n_{1,2}$	$n_{1,3}$	$n_{1,k}$	n_{1+}
	2	$n_{2,1}$	$n_{2,2}$	$n_{2,3}$	$n_{2,k}$	n_{2+}
	3	$n_{3,1}$	$n_{3,2}$	$n_{3,3}$	$n_{3,k}$	n_{3+}
	k	$n_{k,1}$	$n_{k,2}$	$n_{k,3}$	$n_{k,k}$	n_{k+}
	n_{+j}	n_{+1}	n_{+2}	n_{+3}	n_{+k}	n

ที่มา: ดัดแปลงจาก การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินของจังหวัดภูเก็ต จากภาพถ่ายเทียมแลนด์แซต 8 ด้วยคุณสมบัติทางซีพลักษณะ โดย เปรมศิริ คงแสง, 2560, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, 14 (<https://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2016/12498>). สงวนลิขสิทธิ์ 2561 โดย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

5.4.1 ความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำให้การจำแนกขาดหายไป หรือ ความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's accuracy) คำนวณตามสมการ 13

$$\text{Producer's accuracy} = \frac{n_{ii}}{n_{+j}} \times 100 \quad (13)$$

5.4.2 ความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำให้การจำแนกเกิน หรือ ความถูกต้องของผู้ใช้งาน (User's accuracy) คำนวณตามสมการ 14

$$\text{User's accuracy} = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \times 100 \quad (14)$$

5.4.3 ความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) คำนวณตามสมการ 15

$$\text{Overall accuracy} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \times 100 \quad (15)$$

5.4.4 สัมประสิทธิ์แคปปาของโคเฮน (Cohen's kappa) คำนวณตามสมการ 16

$$\hat{K}_i = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k (n_{i+} \times n_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^k (n_{i+} \times n_{+i})} \quad (16)$$

โดยที่

$\hat{K}_i$ คือ สัมประสิทธิ์แคปปา

n_{ii} คือ จำนวนจุดที่ตรงกันระหว่างแถว i และสดมภ์ i

n_{i+} คือ จำนวนจุดทั้งหมดในแถว i

n_{+i} คือ จำนวนจุดทั้งหมดในสดมภ์ i

n คือ จำนวนจุดทั้งหมดจากการสุ่มตัวอย่าง

6. เส้นแนวชายฝั่งจากการรับรู้จากระยะไกล

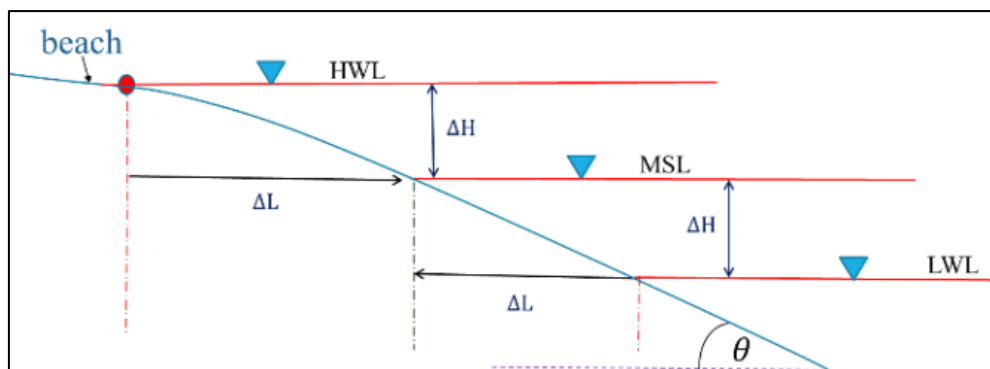
6.1 การระบุแนวชายฝั่งด้วยการรับรู้จากระยะไกล

การระบุแนวชายฝั่งเป็นการระบุตำแหน่งของชายฝั่งที่อยู่ในภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อใช้เป็นตัวแทนของแนวชายฝั่งในการศึกษา วางแผน จัดการทรัพยากรต่าง ๆ บริเวณชายฝั่ง ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ โดยการระบุแนวชายฝั่งมีความสำคัญมากกับการศึกษา การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในรูปแบบอนุกรมเวลา (Time series) เพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน โดยทั่วไปแล้วการระบุแนวชายฝั่งที่ได้จากการรับรู้จากระยะไกลที่นิยมใช้ศึกษากันมี 3 วิธี ได้แก่ (ภัทรกร นิธินรากร และ สมปราวณา ฤทธิ์พริ้ง, 2562, นน. 2106-2110)

6.1.1 แนวชายฝั่งจากพืชถาวร เป็นแนวชายฝั่งที่ถูกระบุตำแหน่งโดยแนวของขอบพืชพรรณที่อยู่ตามแนวชายฝั่งและสามารถเห็นเด่นชัดที่สุดในภาพถ่ายดาวเทียม แนวชายฝั่งชนิดนี้เป็นที่นิยมในการนำไปใช้ระบุแนวชายฝั่งของประเทศทั้งหน่วยงานของรัฐและเอกชน แต่เป็นแนวชายฝั่งที่ไม่ได้แสดงถึงพลวัตของชายฝั่งอย่างแท้จริง ซึ่งเป็นเพียงการเปลี่ยนแปลงของแนวพืชพรรณเท่านั้น

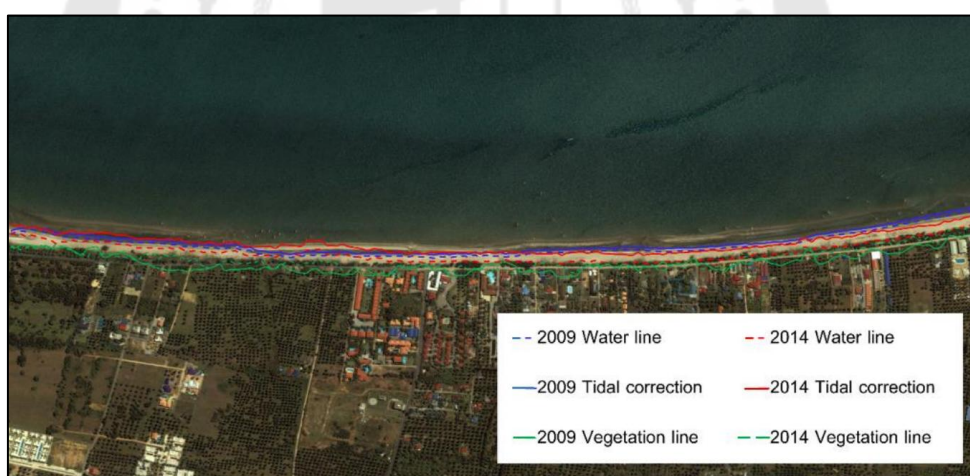
6.1.2 แนวชายฝั่งจากแนวน้ำ เป็นแนวชายฝั่งที่ถูกระบุตำแหน่งโดยแนวของน้ำที่บรรจบกับฝั่ง ซึ่งเกิดขึ้นในภาพช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง แนวชายฝั่งชนิดนี้สามารถแสดงถึงพลวัตของชายฝั่งได้เป็นอย่างดี แต่มีข้อจำกัดที่ระดับน้ำในช่วงเวลาของการบันทึกภาพจะมีความแตกต่างกัน ส่งผลให้แนวชายฝั่งที่เกิดขึ้นในภาพไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันทุกภาพ ทำให้การนำแนวชายฝั่งชนิดนี้ไปใช้ในการสังเกตการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเกิดความผิดพลาดในการแปลผลได้ง่าย

6.1.3 แนวชายฝั่งปรับแก้ระดับน้ำ เป็นแนวชายฝั่งที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับแนวชายฝั่งจากระดับน้ำทุกประการ แต่มีการปรับแก้ข้อบกพร่องจากระดับน้ำของแต่ละภาพด้วยข้อมูลความลาดชัน ข้อมูลเวลาการบันทึกภาพ และข้อมูลระดับน้ำจากสถานีวัดระดับน้ำในบริเวณใกล้เคียง มาปรับแก้ตำแหน่งของเส้นแนวชายฝั่งให้มีความถูกต้องตามระดับน้ำที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งทำให้ภาพทุกภาพที่นำมาใช้ศึกษาชายฝั่งแบบอนุกรมเวลา (Time series) มีเส้นแนวชายฝั่งที่อยู่ในเกณฑ์ระดับเดียวกัน การแปลผลจึงมีความถูกต้องแม่นยำ แต่ยังมีข้อจำกัดที่ต้องใช้ข้อมูลความลาดชันเข้ามาช่วยในการคำนวณ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะได้มาจากการทำระดับชายหาด (Beach Profile) ซึ่งต้องลงสำรวจด้วยคนในพื้นที่จริง และเป็นข้อมูลที่มีในบางหน่วยงานและไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ของชายฝั่ง



ภาพประกอบ 14 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำ ความกว้าง และ ความลาดชันชายหาด

ที่มา: จาก การเปรียบเทียบวิธีการระบุแนวชายฝั่งทะเล โดย ภัทรกร นิธินรางกูร และ สมปวรธนา ฤทธิพิริ้ง, 2562, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24, 2110 (<https://beachlover.net/การศึกษาเปรียบเทียบวิธี/>). สงวนลิขสิทธิ์ 2552 โดย ภัทรกร นิธินรางกูร และ สมปวรธนา ฤทธิพิริ้ง.



ภาพประกอบ 15 ตำแหน่งของแนวชายฝั่งตามนิยามที่ต่างกัน

ที่มา: จาก การเปรียบเทียบวิธีการระบุแนวชายฝั่งทะเล โดย ภัทรกร นิธินรางกูร และ สมปวรธนา ฤทธิพิริ้ง, 2562, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24, 2113 (<https://beachlover.net/การศึกษาเปรียบเทียบวิธี/>). สงวนลิขสิทธิ์ 2552 โดย ภัทรกร นิธินรางกูร และ สมปวรธนา ฤทธิพิริ้ง.

จากปัญหาที่เกิดขึ้นจึงได้มีการคิดวิธีระบุแนวชายฝั่งใหม่นั้นคือ แนวชายฝั่งประจำปี (Annual Shoreline) ซึ่งเป็นแนวชายฝั่งที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับแนวชายฝั่งจากระดับน้ำทุกประการ แต่มีการปรับแก้ค่าระดับน้ำให้มีเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกันด้วยการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมจำนวนมากที่มีการบันทึกไว้ในปีนั้น ๆ มาหาจุดภาพ (Pixel) ที่มีการซ้ำกันในบริเวณชายฝั่งด้วยดัชนีความถี่น้ำ (Water Frequency Index: WFI) จึงสามารถสกัดแนวชายฝั่งที่มีเกณฑ์แนวน้ำใกล้เคียงกันได้ และสามารถลดข้อบกพร่องของระดับน้ำที่ต่างกันของภาพในปีนั้น ๆ ได้ โดยมีข้อได้เปรียบที่ใช้ข้อมูลเพียงแหล่งเดียวก็สามารถระบุแนวชายฝั่งที่ลดข้อบกพร่องจากระดับน้ำที่ต่างกันในแต่ละภาพได้แล้วทำให้ประหยัดทรัพยากรได้มาก โดยคำนวณดัชนีความถี่ได้ ตามสมการ 17 ดังนี้ (Xu, 2018, pp. 6-7)

$$WFI = \frac{N_{water}}{N_{water} + N_{land}} \quad (17)$$

โดยที่

WFI คือ ดัชนีความถี่น้ำ (ค่าระหว่าง 0 – 1.0)

N_{water} คือ จำนวนจุดภาพของพื้นที่น้ำ (Water Pixel)

N_{land} คือ จำนวนจุดภาพของพื้นที่บก (Land Pixel)

6.2 การสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยการรับรู้จากระยะไกล

แนวชายฝั่งที่ได้จากข้อมูลรับรู้จากระยะไกล เป็นวิธีที่นำภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงคลื่น มาประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมทางภูมิสารสนเทศ เพื่อสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยกระบวนการต่าง ๆ โดยทั่วไปแล้วจะมีด้วยกัน 3 วิธี ได้แก่ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557, นน. (4-6)-(4-7))

6.2.1 การแปลภาพถ่ายด้วยสายตา เป็นวิธีการลากเส้นแนวชายฝั่งด้วยมือจากหลักการแปลภาพถ่ายผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ (Digitizing) ซึ่งเป็นวิธีที่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะในการแปลภาพและลากเส้นแนวชายฝั่ง ผลลัพธ์ของเส้นแนวชายฝั่งที่ได้จะมีความถูกต้องแม่นยำ แต่มีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลามาก

6.2.2 การแปลอัตโนมัติด้วยซอฟต์แวร์เฉพาะทาง เป็นการใช้สมการคณิตศาสตร์ร่วมกับค่าการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสร้างเส้นแนวชายฝั่งขึ้นมา ซึ่งเส้นที่ได้มักเป็นเส้นจากแนวน้ำเป็นส่วนใหญ่ อันเนื่องมาจากความต่อเนื่องของน้ำที่บรรจบกับฝั่ง วิธีนี้จะให้ความถูกต้องแม่นยำมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับสมการและการปรับค่าต่าง ๆ ให้มีความสอดคล้องกับข้อมูลในภาพ แต่เป็นวิธีที่รวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุด

6.2.3 การแปลงถึงอัตโนมัติด้วยซอฟต์แวร์เฉพาะทาง เป็นการบูรณาการประโยชน์จากทั้ง 2 วิธี ข้างต้น นั่นคือ การแปลงภาพถ่ายด้วยสายตา และการแปลงอัตโนมัติด้วยซอฟต์แวร์เฉพาะทางในการสร้างเส้นแนวชายฝั่ง ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากให้ความถูกต้องแม่นยำ ประหยัดเวลาและมีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงมากนัก

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

7.1 การเพิ่มช่วงคลื่นให้กับภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนก

กฤษฎาณ อินทรัตน์ (2565) ได้ศึกษาการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวดนครนายก ด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้เครื่องและภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 โดยเป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินของอัลกอริทึม 5 รูปแบบ ได้แก่ Artificial Neural Network, Decision tree, Random Forest, Support Vector Machine และ Maximum Likelihood Classifier โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ปี พ.ศ.2561 จำนวน 4 ช่วงคลื่น ได้แก่ Blue, Green, Red และ NIR ผสมผสานร่วมกับดัชนี NDVI รวมกันเป็นจำนวน 5 ช่วงคลื่น แล้วตรวจสอบประสิทธิภาพการจำแนกใน 3 เรื่อง ได้แก่ 1)Hyper Parameter 2)ค่าความถูกต้องของการจำแนกรายประเภท (F1-score) และค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) 3)ประเมินค่า Z-test ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการศึกษาพบว่า การผสมผสานดัชนีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้การจำแนกสูงขึ้นได้ในทุกรูปแบบการจำแนก ซึ่ง Random Forest มีประสิทธิภาพการจำแนกสูงที่สุด โดยมีค่า Hyper Parameter ที่ร้อยละ 85 มีค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) ที่ร้อยละ 92 โดยจำแนกพื้นที่น้ำได้ที่ร้อยละ 84 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เชื่อถือได้

จิรวุฒิ จันทองพูน และคณะ (2565) ได้ศึกษาการขยายตัวของเมืองด้วยเทคนิค Random Forest กรณีศึกษา อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกระหว่าง Random Forest และ Maximum Likelihood Classifier ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ของปี พ.ศ.2547 ที่ผสมผสานดัชนีต่าง ๆ ได้แก่ NDBI, NDVI และ NDWI แล้วนำรูปแบบการจำแนกที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดมาจำแนกพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดสงขลา 3 เวลา ได้แก่ พ.ศ.2547, พ.ศ.2556 และ พ.ศ.2563 เพื่อเปรียบเทียบการขยายตัวของเมือง ผลการศึกษาพบว่า Random Forest เป็นรูปแบบการจำแนกที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดโดยค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) อยู่ที่ร้อยละ 82 และสามารถแยกพื้นที่น้ำออกจากพื้นที่อื่นได้ค่าความถูกต้องถึงร้อยละ 97 ซึ่งมากกว่า Maximum Likelihood Classifier ในส่วนการขยายตัวของเมือง พบว่า มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นในพื้นที่เมืองเก่าและพื้นที่เกษตรกรรม โดยเฉพาะบริเวณ

ตามแนวนอน เนื่องจากการเข้าถึงได้สะดวกและมีแนวโน้มขยายตัวอย่างต่อเนื่อง เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากร ประกอบกับวิถีชีวิตที่เปลี่ยนไปเป็นสังคมเมืองมากขึ้นโดยเฉพาะจุดที่เป็นศูนย์กลางของการขยายตัวอยู่ที่เทศบาลเมืองเขารูปช้าง

7.2 การสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยการดิจิทัล

Ghosh et al. (2015) ได้ศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งของเกาะฮาดิยา ประเทศบังกลาเทศด้วยเทคนิคการสำรวจจากระยะไกล โดยการสร้างเส้นแนวชายฝั่งปี ค.ศ.1989, ค.ศ.2000 และ ค.ศ.2010 ด้วยการดิจิทัลบนภาพ MNDWI จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat แล้วปรับแก้ให้เส้นมีความแม่นยำด้วยข้อมูล DEM แผนที่แผนภูมิวิศวกรรมของรัฐบาลท้องถิ่น (LGED) และภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google earth เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งใน 3 ปี ได้แก่ ปี ค.ศ.1989 - 2000, ค.ศ.2000 - 2010 และ ค.ศ.1989 - 2010 ผลการศึกษาพบว่า การแยกพื้นที่น้ำกับบกด้วย MNDWI ปี ค.ศ.1989, ค.ศ.2000 และ ค.ศ.2010 มีความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 88, 90 และ 95 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับเชื่อถือได้ สำหรับผลการวิเคราะห์ชายฝั่งพบว่า การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งสูงสุดที่สำคัญเกิดขึ้นในภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ของเกาะ ซึ่งมีการกัดเซาะครั้งใหญ่บริเวณพื้นที่ A และ B ในขณะที่พื้นที่ C, D, E และ F มีแนวโน้มสะสมตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกาะฮาดิยาอยู่บริเวณทางออกของแม่น้ำ จึงเกิดการสะสมตัวและการกัดเซาะได้ง่าย การติดตามแนวชายฝั่งอย่างต่อเนื่องจึงเป็นสิ่งสำคัญ

ศุภวัฒน์ อินทร์เกิด และคณะ (2561) ได้ศึกษาการใช้รีโมทเซนซิงเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในบริเวณชายฝั่งอันดามัน อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง โดยการสร้างเส้นแนวชายฝั่งจากภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google earth ด้วยการดิจิทัลเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งใน 9 พื้นที่ ได้แก่ 1)หาดแหลมไทร 2)หาดหัวหิน 3)หาดลัดตะโหนด 4)หาดราชมงคล 5)หาดปากเมง 6)หาดบ่อหิน 7)หาดทุ่งทอง 8)หาดฉางหลวง และ 9)หาดเจ้าไหม ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ชายฝั่งทะเลอันดามัน มีการกัดเซาะไปแล้วทั้งสิ้น 753.194 ไร่ เป็นระยะทาง 25.46 กิโลเมตร ที่อัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 1.248 เมตรต่อปี ส่วนพื้นที่สะสมตัวมีทั้งสิ้น 140.489 ไร่ เป็นระยะทาง 7.09 กิโลเมตร ที่อัตราการสะสมตัวเฉลี่ย 1.036 เมตรต่อปี ซึ่งแนวชายฝั่งที่ถูกกัดเซาะพบมากในพื้นที่หาดเจ้าไหมมีระยะทางการกัดเซาะ 4.982 กิโลเมตร ที่อัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 1.192 เมตรต่อปี คิดเป็นพื้นที่สูญเสียจำนวน 126.659 ไร่ หาดปากเมงมีระยะทางการกัดเซาะ 4.809 กิโลเมตร ที่อัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 1.482 เมตรต่อปี คิดเป็นพื้นที่สูญเสียจำนวน 162.939 ไร่ และหาดบ่อหินมีระยะทางการกัดเซาะ 3.925 กิโลเมตร ที่อัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 2.480 เมตรต่อปี คิดเป็นพื้นที่สูญเสียจำนวน 169.106 ไร่

7.3 การสกัดเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติ

Kim et al. (2013) ได้ศึกษาการตรวจสอบการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งอัตโนมัติด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Landsat โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกน้ำกับบกด้วยดัชนี NDWI และ MNDWI ที่ปรับค่าขีดแบ่งอัตโนมัติแบบ Otsu จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat เพื่อหาดัชนีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มาสร้างเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติด้วยวิธี Canny edge ของปี ค.ศ.1985, ค.ศ.2001, ค.ศ.2002, ค.ศ.2005, ค.ศ.2008, ค.ศ.2010 และ ค.ศ.2011 เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งแล้วเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลสิ่งปกคลุมดินแห่งชาติ (NLCD) ผลการศึกษาพบว่า MNDWI เป็นดัชนีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับแยกพื้นที่น้ำกับบก เพื่อใช้สร้างเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติด้วยวิธี Canny edge และเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตามช่วงเวลาต่าง ๆ พบว่า อัตราการกัดเซาะชายฝั่งในช่วง 16 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ.1985 - 2001 อยู่ที่ 5.3 เมตรต่อปี อัตราการกัดเซาะชายฝั่งในช่วง 10 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ.2001 - 2011 อยู่ที่ 8.1 เมตรต่อปี และอัตราการกัดเซาะชายฝั่งในช่วง 1 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ.2010 - 2011 อยู่ที่ 13 เมตรต่อปี แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่การกัดเซาะชายฝั่งจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งตรงกับการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินจากฐานข้อมูลสิ่งปกคลุมดินแห่งชาติ (NLCD) แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Landsat เพียงข้อมูลเดียว โดยไม่มีการใช้ข้อมูลอื่นเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์

AL-Mansoori and AL-Marzouqi (2016) ได้ศึกษาการสกัดเส้นแนวชายฝั่งโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมและเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยเทคนิคการเน้นขอบข้อมูลภาพ (Edge detection) จากดัชนี NDVI และ NDWI จากภาพถ่ายดาวเทียม DubaiSat-1 ในฤดูร้อน ปี ค.ศ.2009 และ DubaiSat-2 ในฤดูร้อน ปี ค.ศ.2015 บริเวณชายฝั่งทะเลของเมืองดูไบ ประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ แล้วแปลงข้อมูลให้เป็น Vector เพื่อนำมาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ผลการศึกษาพบว่า การผสมผสานระหว่างเทคนิคการประมวลผลภาพด้วยการเน้นขอบข้อมูลภาพรวมกับการใช้ดัชนี NDVI และ NDWI มาสกัดเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติ นับว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง ประมวลผลเร็วและพบว่า ในช่วงปี ค.ศ.2009-2015 ชายฝั่งทะเลของเมืองดูไบ ประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์มีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ พื้นที่ A ลดลงร้อยละ 0.13, พื้นที่ B เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.20, พื้นที่ C เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.33, พื้นที่ D เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.13, พื้นที่ E เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.09, พื้นที่ F เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.03, พื้นที่ G เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.53 และ พื้นที่ H ลดลงร้อยละ 0.20

Maglione et al. (2014) ได้ศึกษาการสกัดแนวชายฝั่งพื้นที่เพลเกรน ในภูมิภาค คัมปาเนีย ประเทศอิตาลี ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Worldview-2 โดยการสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วย วิธีแปลงข้อมูล Raster เป็น Vector จากภาพดัชนี NDVI และ NDWI ของภาพถ่ายดาวเทียม Worldview-2 ทั้งภาพที่ผ่านขั้นตอน Pan-sharpening และภาพดั้งเดิม เพื่อเปรียบเทียบความ ถูกต้องกับเส้นแนวชายฝั่งอ้างอิงความถูกต้องที่ได้จากการดิจิทัลไนภาพถ่ายดาวเทียม Worldview-2 เช่นกัน ผลการศึกษาพบว่า ขนาดของจุดภาพมีผลต่อความถูกต้องของการแยกพื้นที่ น้ำกับบก การเพิ่มความละเอียดของภาพด้วยขั้นตอน Pan-Sharpening ส่งผลให้การสกัดเส้นแนว ชายฝั่งด้วยดัชนี NDVI และ NDWI มีความแม่นยำมากกว่าภาพดั้งเดิม จึงสามารถระบุตำแหน่ง ของแนวชายฝั่งได้แม่นยำยิ่งขึ้น โดยมีความคลาดเคลื่อนของเส้นด้วยวิธี NDVI จากภาพดั้งเดิม ที่ 2.497 เมตร, วิธี NDWI จากภาพดั้งเดิม ที่ 1.338 เมตร, วิธี NDVI จากภาพ Pan sharpened ที่ 1.338 เมตร และ วิธี NDWI จากภาพ Pan sharpened ที่ 0.955 เมตร

Choung and Jo (2017) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างวิธี Machine Learning กับวิธี NDWI สำหรับการหาแผนที่แนวชายฝั่งโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูง ในเกาะ ฮาวาไค ประเทศเกาหลีใต้ โดยการเปรียบเทียบความแม่นยำของการสกัดเส้นแนวชายฝั่งแบบ อัตโนมัติจากภาพถ่ายดาวเทียม Worldview-2 ที่ได้จากดัชนี NDWI และ การใช้ Machine Learning แบบ Support Vector Machine แล้วตรวจสอบความถูกต้องด้วยจุดตรวจสอบจำนวน 100 จุด ที่ได้จากเส้นแนวชายฝั่งอ้างอิงความถูกต้อง ซึ่งได้มาจากการดิจิทัลไนภาพถ่ายดาวเทียม Worldview-2 ในเวลาเดียวกัน เพื่อหาค่าความถูกต้องจากค่าสถิติทั้ง 3 ค่า ได้แก่ Mean, SD และ Max ผลการศึกษาพบว่า เส้นแนวชายฝั่งที่ได้จากดัชนี NDWI ให้ค่า Mean, SD และ Max อยู่ที่ 2.62, 5.27 และ 28.60 เมตร ตามลำดับ ส่วนเส้นแนวชายฝั่งที่ได้จาก Machine Learning แบบ Support Vector Machine ให้ค่า Mean, SD และ Max อยู่ที่ 0.79, 2.99 และ 25.02 เมตร ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า เส้นแนวชายฝั่งที่ได้จาก Machine Learning แบบ Support Vector Machine มีความถูกต้องตรงกับภาพต้นฉบับมากกว่าเส้นแนวชายฝั่งที่ได้จากดัชนี NDWI แต่เป็น วิธีที่ใช้เวลาในการประมวลผลนาน แต่การจำแนกทั้ง 2 วิธียังมีข้อบกพร่องในพื้นที่ที่มีลักษณะ ชายฝั่งไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะบริเวณที่มีเงาภาพ

Xu (2018) ได้ศึกษาการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยข้อมูลภาพถ่าย ดาวเทียม Landsat ที่มีทั้งหมดในช่วงปี ค.ศ.1986 - 2015 กรณีศึกษา: รัฐเท็กซัส สหรัฐอเมริกา โดยการสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี (Annual Shoreline) จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ทั้งหมดที่มีในพื้นที่ตั้งแต่ปี ค.ศ.1986 - 2015 จากดัชนี MNDWI มาสร้างดัชนีความถี่น้ำ (Water

Frequency Index) พร้อมกำหนดค่า Threshold ที่ 0.5 แล้วแปลงข้อมูลให้เป็น Vector สำหรับคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง พร้อมกับตรวจสอบความถูกต้องของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งร่วมกับข้อมูล LiDAR และ DEM เพื่อหาความสัมพันธ์ร่วมกับข้อมูลความถี่ในการเกิดพายุเฮอริเคน และ ข้อมูลระดับน้ำจากสถานี ผลการศึกษาพบว่า เส้นแนวชายฝั่งประจำปีสามารถลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระยะสั้นได้ และมีระดับความถูกต้องของการสกัดพื้นที่บกกับน้ำจากดัชนีความถี่น้ำใกล้เคียงกับแผนที่พื้นที่บกกับน้ำที่ได้จากข้อมูล LiDAR และ DEM ในส่วนผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง พบว่า พื้นที่ร้อยละ 52.58 มีปัญหาการกัดเซาะ และพื้นที่ร้อยละ 47.72 มีการสะสมตัว และพบว่า การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลส่งผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และการเกิดพายุเฮอริเคนก็ส่งผลให้การกัดเซาะชายฝั่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย

Minghelli et al. (2020) ได้ศึกษาการแยกชายฝั่งจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Worldview-2 เมื่อมีพิกเซลโพลีโดยใช้วิธีการจำแนกประเภทหลายสเปกตรัม โดยการสร้างเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติด้วยการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียม Worldview-2 ด้วยรูปแบบการจำแนกทั้ง 5 รูปแบบ ได้แก่ Support Vector Machine, Euclidean Distance, Spectral Angle Mapper, Maximum Likelihood Classifier และ Neuronal Network โดยจำแนกออกเป็น 3 ประเภท คือ น้ำ บก และ โพลี แล้วจึงรวมประเภทการจำแนกให้เป็น 2 ประเภท คือ น้ำและบก แล้วนำเส้นแนวชายฝั่งทั้ง 5 เส้น มาตรวจสอบความถูกต้องกับเส้นสำหรับอ้างอิงความถูกต้องที่ได้จากการดิจิทัล แล้วนำเส้นแนวชายฝั่งที่มีความถูกต้องสูงสุดมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งก่อนและหลังการเกิดสึนามิ ผลการศึกษาพบว่า เส้นแนวชายฝั่งจาก Support Vector Machine มีความถูกต้องสูงที่สุด ซึ่งมีข้อผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 2 สำหรับผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทั้งก่อนและหลังการเกิดสึนามิ พบว่า ทางตอนเหนือมีการกัดเซาะและสะสมตัวอยู่ที่ 29.10 และ 27.30 ตารางเมตรต่อกิโลเมตร ตามลำดับ โดยที่ตอนใต้มีการกัดเซาะและสะสมตัวอยู่ที่ 16.50 และ 6.90 ตารางเมตรต่อกิโลเมตร ตามลำดับ

Bamdadinejad et al. (2021) ได้ศึกษาการสกัดแนวชายฝั่งโดยใช้การประมวลผลภาพ โดยนำภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 และ Landsat 8 ตั้งแต่ปี ค.ศ.1998, ค.ศ.2001, ค.ศ.2008, ค.ศ.2009 และ ค.ศ.2017 มาหาความถูกต้องของการแยกพื้นที่น้ำและบกจากวิธีการจำแนกทั้ง 2 รูปแบบ คือ วิธี Support Vector Machine และ วิธี Maximum Likelihood Classifier กับภาพที่มีระดับค่าการปรับแก้เชิงรังสีในระดับต่าง ๆ ทั้ง 4 ระดับ เพื่อนำมาสร้างเส้นแนวชายฝั่ง ผลการศึกษาพบว่า การแยกพื้นที่น้ำและบกจากวิธี Support Vector Machine มีความแม่นยำที่สูงกว่าในทุกช่วงปี โดยภาพที่มีการปรับแก้ในขั้น Radiometric Calibration มีค่าของจุดภาพ

ในแต่ละช่วงคลื่น คือ 2.755837, 4.871054, 3.561146, 4.60311 และ 5.88445 ตามลำดับ และภาพที่มีการปรับแก้ในขั้น Atmospheric Correction ค่าของจุดภาพต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละช่วงคลื่นอยู่ในช่วง 0,1 ซึ่งแสดงถึงความถูกต้องของการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าในจุดภาพในแต่ละช่วงคลื่นจะเปลี่ยนเป็น -0.010076, -0.021611, 0.025588, 0.022304 และ -0.35799 ตามลำดับ และภาพที่มีการปรับแก้ในขั้น Noise Reduction ช่วงของการเปลี่ยนแปลงต่ำสุดและสูงสุดในค่าจุดภาพจะมีตั้งแต่ค่าลบ (ขั้นต่ำ) ไปจนถึงค่าบวก (สูงสุด)

7.4 การสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยการดิจิทัลและการสกัดเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติ

อจิรา เทียงตรง (2549) ได้ศึกษาการใช้รีโมทเซนซิงเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในบริเวณชายฝั่งบ้านแหลมสิงห์ จังหวัดสมุทรปราการ โดยนำภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 มาศึกษาปัจจัยการกัดเซาะชายฝั่ง 3 ปัจจัยหลัก ดังนี้ 1) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากพายุ โดยแบ่งพื้นที่น้ำกับบกด้วยช่วงคลื่น NIR แล้วสร้างเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติพร้อมคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในช่วงก่อนและหลังเกิดพายุเกย์ และ พายุลินดา 2) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากฤดูกาลโดยแบ่งพื้นที่น้ำกับบกด้วยช่วงคลื่น NIR แล้วสร้างเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติพร้อมคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และ ใช้ช่วงคลื่น RED เพื่อหาลักษณะการเคลื่อนที่ของตะกอนปากแม่น้ำด้วยเทคนิค Color density slicing พร้อมวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้อง 3) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยช่วงคลื่น RED, GREEN, BLUE และ NIR รวมถึงนำภาพถ่ายทางอากาศมาแปลภาพถ่ายด้วยสายตา เพื่อสร้างแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน และวาดเส้นแนวชายฝั่งด้วยการดิจิทัล แล้วคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากพายุเป็นลักษณะของการกัดเซาะ ซึ่งเกิดจากพายุลินดามากกว่าพายุเกย์ เนื่องจากในช่วงพายุเกย์มีป่าชายเลนมากกว่า ส่วนในช่วงพายุลินดามีการทำประมงชายฝั่งมากกว่าจึงเกิดการกัดเซาะได้มากกว่า ส่วนการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลมีลักษณะเป็นการกัดเซาะ ซึ่งเกิดในพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่าชายเลน และมีการกระจายตัวของตะกอนเป็นไปตามทิศทางลมที่มีผลต่อกระแสน้ำในแต่ละมรสุม ส่วนการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า พื้นที่ที่ 1 มีการกัดเซาะน้อย เนื่องจากมีป่าชายเลนอยู่ตลอดเวลา ส่วนพื้นที่ที่ 2 มีการกัดเซาะมาก เนื่องจากป่าชายเลนถูกแปลสภาพเป็นพื้นที่ทำประมงชายฝั่ง จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งมากที่สุดในพื้นที่ชายฝั่งบ้านแหลมสิงห์ จังหวัดสมุทรปราการ คือ ปัจจัยจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ภัทรกร นิธินรากร และ สมปราวณา ฤทธิพิ้ง (2562) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการระบุแนวชายฝั่งทะเล โดยการสร้างเส้นแนวชายฝั่งจากนิยามที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ได้แก่ แนวพีชถาวร แนวน้ำ และแนวปรับแก้ระดับน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google earth โดยแนวพีชถาวรกับแนวน้ำจะใช้การดิจิทัลโดยวาดเส้นตามขอบพีชถาวรและวาดเส้นตามแนวเปียก ตามลำดับ ส่วนแนวปรับแก้ระดับน้ำจะใช้วิธีประมาณความเข้มสีของน้ำกับบิกที่อยู่ในภาพ แล้วปรับแก้ตำแหน่งของเส้นให้ถูกต้องด้วยข้อมูลมุม Solar azimuth angle ข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมง และข้อมูลความลาดชันเพื่อสร้างเส้นแนวชายฝั่งใหม่ที่ระดับทะเลปานกลาง แล้วคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ของเส้นแนวชายฝั่งทั้ง 3 รูปแบบ ผลการศึกษาพบว่า การระบุแนวชายฝั่งด้วยแนวปรับแก้ระดับน้ำมีประสิทธิภาพสูงที่สุด เนื่องจากตำแหน่งของเส้นแนวชายฝั่งเกิดจากแนวน้ำในเกณฑ์เดียวกันซึ่งอ้างอิงจากระดับทะเลปานกลาง ส่วนการระบุแนวชายฝั่งด้วยแนวน้ำเป็นวิธีที่แสดงถึงพลวัตของชายฝั่งได้ดี แต่ยังมีปัญหาในเรื่องตำแหน่งของเส้นแนวชายฝั่งมีระดับน้ำในเกณฑ์ที่ต่างกัน จึงมีผลต่อความถูกต้องของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่คำนวณได้ และส่วนการระบุชายฝั่งด้วยแนวพีชถาวรซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด แต่ไม่สามารถแสดงถึงพลวัตชายฝั่งที่แท้จริงได้อย่างไรก็ตาม การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากภาพถ่ายเทียมเป็นเพียงการประเมินสภาพชายฝั่งเบื้องต้นเท่านั้น ยังจำเป็นต้องนำปัจจัยอื่น ๆ มาพิจารณาด้วย เช่น มรสุม

7.5 การสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยการดิจิทัล เพื่อการวิเคราะห์ชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System)

Kannan et al. (2015) ได้ศึกษาการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เมืองวิสาขพัฒน์ม ในรัฐอานธรประเทศ จากภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลา โดยสร้างเส้นแนวชายฝั่งในปี ค.ศ.1989, ค.ศ.1999, ค.ศ.2005, ค.ศ.2010, ค.ศ.2012 และ ค.ศ.2015 ด้วยการดิจิทัลบริเวณขอบที่เปียกของหาดในช่วงคลื่น NIR ของภาพถ่ายดาวเทียม IRS-LISS III, IRS-P6-LISS III, IRS-P6-LISS IV, Landsat 5 และ Landsat 8 โดยการเน้นขอบให้ชัดเจนขึ้นด้วยเทคนิค non-linear edge-enhancement เพื่อใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วย Digital Shoreline Analysis System (DSAS) ในการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทั้งค่า End Point Rate (EPR) และ Linear Regression Rate (LRR) ผลการศึกษาพบว่า เมืองวิสาขพัฒน์มเกิดการสะสมตัวมีระยะทาง 74.60 กิโลเมตร ที่อัตราการสะสมตัวเฉลี่ย 1.08 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ส่วนการกัดเซาะมีระยะทาง 38.40 กิโลเมตร ที่อัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 1.40 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และชายฝั่งสมดุลมีระยะทาง 41.40 กิโลเมตร แสดงให้เห็นว่าการบูรณาการระหว่างการสำรวจจากระยะไกลและระบบภูมิสารสนเทศนั้นมีประโยชน์อย่างมาก สำหรับใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะยาว ช่วยให้การจัดการชายฝั่งดียิ่งขึ้น

Rumahorbo et al. (2023) ได้ศึกษาการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง เนื่องจากการเสียตลิ่งและการสะสมโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat กรณีศึกษาพื้นที่ชายฝั่งของ เขตปกครองสุปีโอริ ประเทศอินโดนีเซีย โดยการสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยการดิจิทัลจากดัชนี MNDWI ของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 และ Landsat 9 ในช่วงปี ค.ศ.2013 – 2023 เพื่อ คำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วย Digital Shoreline Analysis System (DSAS) ในการคำนวณ อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยค่า End Point Rate (EPR) และระยะทางการเปลี่ยนแปลง ชายฝั่งโดยค่า Net Shoreline Movement (NSM) ผลการศึกษาพบว่า ชายฝั่งในเขตปกครอง สุปีโอริในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา มีระยะทางการกัดเซาะมากที่สุดที่ 67.15 เมตร ในอัตราการ กัดเซาะเฉลี่ย 1.22 – 1.46 เมตรต่อปี และมีระยะทางการสะสมตัวอยู่ที่ 92.86 เมตร ที่อัตราการ สะสมตัวเฉลี่ย 1.05 – 1.68 เมตรต่อปี ในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งส่วนใหญ่เกิดจากคลื่น กระแสน้ำ และการไหลของแม่น้ำ เนื่องจากชายฝั่งทะเลอยู่ติดกับมหาสมุทรแปซิฟิกโดยตรง รวมถึงกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์

Chettiam Thodi et al. (2023) ได้ศึกษาการใช้เทคนิคการรับรู้จากระยะไกล และ ระบบภูมิสารสนเทศ เพื่อประเมินและติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของหมู่เกาะชายฝั่งทะเลใน สภาพแวดล้อมทางทะเลของภูมิภาคเขตร้อนชื้น ประเทศอินเดีย โดยการสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วย การดิจิทัลจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในช่วงปี ค.ศ.1973 - 2019 เพื่อคำนวณการ เปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วย Digital Shoreline Analysis System (DSAS) ในการคำนวณอัตราการ เปลี่ยนแปลงชายฝั่งทั้งค่า End Point Rate (EPR) และ Linear Regression Rate (LRR) และ ระยะทางการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยค่า Net Shoreline Movement (NSM) และวิเคราะห์ร่วมกับ ปัจจัยทางกายภาพต่าง ๆ ผลการศึกษาพบว่า ตั้งแต่ปี ค.ศ.1973 - 2001 หมู่เกาะเหล่านี้มีตะกอน สะสมตัวสูงสุด แต่ระหว่างปี ค.ศ.2001 - 2019 พบว่ามีการกัดเซาะรุนแรงบริเวณชายฝั่งด้านใต้ ของเกาะไวปิน เมื่อประเมินโดยรวมแล้วพบว่าเกาะเหล่านี้ได้รับผลจากการกัดเซาะมากขึ้น และ การเพิ่มขึ้นของตะกอนทั้ง 2 ด้าน ทำให้เกิดการก่อตัวของดินแดนใหม่บนเกาะเหล่านี้ จากการ วิเคราะห์ในระยะยาวแสดงให้เห็นว่าเกาะเหล่านี้ได้รับอิทธิพลจากการสร้างสิ่งลวงล้าในทะเล อันเป็นการกระทำของมนุษย์ ดังนั้น การติดตามการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งอย่างสม่ำเสมอ จึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการประเมินและวางแผนพัฒนาและแก้ปัญหาในพื้นที่ต่อไป

อรอร สารจิตต์ และ กาญจนา นาคะภากร (2557) ได้ศึกษาการประยุกต์ภูมิ สารสนเทศสำหรับสถานการณ์การกัดเซาะของชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี โดยการสร้างเส้นแนวชายฝั่ง ด้วยการดิจิทัลจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 และ Theos เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลง

ชายฝั่งด้วย Digital Shoreline Analysis System (DSAS) ในการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทั้งค่า Linear Regression Rate (LRR) และค่า End Point Rate (EPR) ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงเปลี่ยนมรสุม ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ชายฝั่งทะเลจังหวัดเพชรบุรีถูกกัดเซาะเป็นระยะทางรวม 11,638 เมตร โดยชายฝั่งที่มีอัตราการกัดเซาะรุนแรงมีระยะทางรวม 3,700 เมตร โดยแนวชายฝั่งที่ถูกกัดเซาะมากที่สุดอยู่ที่ตำบลปากทะเล อำเภอบ้านแหลม เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ไม่มีแนวป้องกันชายฝั่ง เช่น ป่าชายเลนหรือโครงสร้างทางวิศวกรรม ประกอบกับพื้นที่ที่ตั้งอยู่ทางตอนบนเหนือแนวกำแพงหินทิ้งที่ตำบลบางแก้ว อำเภอบ้านแหลม ซึ่งช่วงฤดูมรสุมที่แตกต่างกันไม่ได้ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของตะกอนทรายแนวชายหาดของพื้นที่ศึกษาตอนล่างอย่างชัดเจน โดยพบการเพิ่มขึ้นของตะกอนทรายในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลดลงในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

วุฒิพงษ์ แสงมณี และ ชาญชัย ธนาวุฒิ (2560) ได้ศึกษาการบูรณาการข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในจังหวัดปัตตานี โดยการสร้างเส้นแนวชายฝั่งในอดีตถึงปัจจุบัน จากการดัดแปลงภาพถ่ายทางอากาศย้อนหลัง 37 ปี ซึ่งได้รับการเน้นขอบภาพด้วยตัวกรองแบบ Sobel และดัชนี NDVI และ NDWI จากภาพถ่ายดาวเทียม รวมถึงเส้นแนวชายฝั่งที่ได้จากการสำรวจจริงวัดด้วย GPS มาคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วย Digital Shoreline Analysis System (DSAS) เพื่อหาระยะทางการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยค่า Shoreline Change Envelope (SCE) และอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยค่า End Point Rate (EPR) ผลการศึกษาพบว่า การดัดแปลงเส้นแนวชายฝั่งจากภาพที่ได้รับการเน้นข้อมูลภาพทั้ง 2 วิธี ได้แก่ ภาพที่เน้นขอบด้วยตัวกรองแบบ Sobel และภาพดัชนี NDVI และ NDWI มีประสิทธิภาพที่ดีซึ่งช่วยให้การตัดสินใจในการลากเส้นแนวชายฝั่งทำได้ง่ายขึ้นและมีความถูกต้องสูง ส่วนผลการวิเคราะห์ชายฝั่ง พบว่า ช่วงก่อนการสร้างแนวป้องกันชายฝั่ง (พ.ศ. 2518 - 2538) มีอัตราการกัดเซาะปกติที่ 4.02 เมตรต่อปี แต่เมื่อมีการสร้างแนวป้องกันชายฝั่ง (พ.ศ. 2518 - 2538) ทำให้เกิดการกัดเซาะที่รุนแรงขึ้น เนื่องจากเป็นแนวกีดขวางการเคลื่อนตัวของตะกอนชายฝั่งตามธรรมชาติ

เอกลักษณ์ ใฝ่บุญ และ วุฒิพงษ์ แสงมณี (2562) ได้ศึกษาการตรวจสอบและการพยากรณ์ผลกระทบจากโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งทะเลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลาโดยใช้เทคนิคเชิงพื้นที่ โดยสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยการดัดแปลงภาพถ่ายดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศ และการปรับปรุงความถูกต้องของเส้นด้วย DEM และข้อมูลระดับน้ำจากสถานีใกล้เคียง ร่วมกับเส้นแนวชายฝั่งที่ได้จากการสำรวจจริงวัดด้วย

GPS มาคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วย Digital Shoreline Analysis System (DSAS) เพื่อหาระยะทางการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยค่า Shoreline Change Envelope (SCE) และอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทั้งค่า End Point Rate (EPR) และ Linear Regression Rate (LRR) เพื่อศึกษาสภาพชายฝั่งก่อนและหลังมีท่าเรือพร้อมกับพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในอีก 10 ปี และ 20 ปีข้างหน้า ผลการศึกษาพบว่า ชายฝั่งทะเลก่อนมีท่าเรือเกิดการสะสมตัวที่บริเวณหาดทรายแก้วตอนล่าง และหาดสมิหลา เนื่องจากไม่มีโครงสร้างแข็งกีดขวางการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งที่เคลื่อนตัวไปตามกระแสน้ำที่ไหลไปทางทิศเหนือ แต่หลังจากที่มีท่าเรือแล้ว พบว่ามีการกัดเซาะสูงในพื้นที่หาดทรายแก้วตอนบนและตอนล่าง เนื่องจากโครงสร้างท่าเรือได้กีดขวางการเคลื่อนตัวของตะกอนที่เคยไหลไปทางทิศเหนือ ทำให้ตะกอนส่วนนี้ไปสะสมตัวที่หาดสมิหลา ส่วนการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในอีก 10 ปี และ 20 ปีข้างหน้า จะเกิดการกัดเซาะบริเวณหาดทรายแก้วเป็นระยะทาง 109 เมตร และ 263 เมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากระแสน้ำจากคลื่นเป็นส่วนสำคัญต่อการสร้างสมดุลตามแนวชายฝั่ง การสร้างสิ่งล่วงล้ำในทะเลมีผลมากต่อการเคลื่อนตัวของตะกอนในพื้นที่เปาะบางที่ทำให้สภาพชายฝั่งเสียสมดุล

อนุทิน คงชาล (2564) ได้ศึกษาการผสมผสานการใช้ข้อมูลการสำรวจจากระยะไกลแบบอนุกรมเวลา เพื่อประเมินความเปราะบางของชายฝั่งประเทศไทยต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อชายฝั่ง โดยการสร้างเส้นแนวชายฝั่งจากการดิจิทัลไนต์ซัน NDWI ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Planet Scope ในปี พ.ศ.2560, พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2563 บริเวณฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา แล้วคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วย Digital Shoreline Analysis System (DSAS) เพื่อหาความเปราะบางจากการกัดเซาะชายฝั่งด้วยค่า Linear Regression Rate (LRR) ผลการศึกษาพบว่า ตั้งแต่ปี พ.ศ.2560 - 2563 พื้นที่ชายฝั่งมีการกัดเซาะร้อยละ 40.33 ที่อัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 7.58 เมตรต่อปี และพื้นที่ชายฝั่งมีการสะสมตัวร้อยละ 59.67 ที่อัตราการสะสมตัวเฉลี่ย 21.57 เมตรต่อปี อย่างไรก็ตาม ยังมีพื้นที่ที่มีการกัดเซาะร้อยละ 5 ซึ่งมีอัตราการกัดเซาะมากกว่า 30 เมตรต่อปี

ปวรปรัชญ์ อิมละมัย และคณะ (2566) ได้ศึกษาการติดตามการเปลี่ยนแปลงแนวสัณฐานชายฝั่งทะเลจากผลกระทบของโครงสร้างทางวิศวกรรมชายฝั่งพระราชานิเวศน์มฤคทายวัน จังหวัดเพชรบุรีด้วยภูมิสารสนเทศ โดยการสร้างเส้นแนวชายฝั่งจากการดิจิทัลไนต์ซันในภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในช่วงปี พ.ศ.2557 และ พ.ศ.2564 แล้วนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วย Digital Shoreline Analysis System (DSAS) เพื่อคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยค่า Linear Regression Rate (LRR) และระยะทางการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยค่า

Net Shoreline Movement (NSM) พร้อมกับวิเคราะห์ชายฝั่งร่วมกับดัชนี NSMI และ NDSSI เพื่อสังเกตการณ์เคลื่อนตัวของตะกอนชายฝั่งทั้ง 2 ฤดูกาล และข้อมูลการไหลของกระแสน้ำจากภาคสนาม ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะมีการพัดพาของตะกอนมากกว่าช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และส่งผลให้บริเวณแนวป้องกันชายฝั่งด้านใต้เกิดการกัดเซาะมาก แต่พิจารณาโดยรวมของพื้นที่ช่วงปี พ.ศ.2557 – 2564 พบว่ามีการสะสมตัวมากกว่าการกัดเซาะในอัตรา 15.70 และ 4.90 เมตรต่อปี ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า พื้นที่โดยรวมมีอัตราการสะสมตัวมากกว่าการกัดเซาะ ซึ่งเป็นกระบวนการทางธรรมชาติ แต่ยังคงมีการกัดเซาะอันเนื่องมาจากการสร้างแนวป้องกันชายฝั่งที่กีดขวางการไหลเวียนของกระแสน้ำที่เกิดจากการขึ้นลงของน้ำประจำ จึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการติดตามเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่อง

7.6 การสกัดเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติ เพื่อการวิเคราะห์ชายฝั่งด้วยระบบ

วิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System)

Wang et al. (2017) ได้ศึกษาการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของชายฝั่งหนึ่งปี แบบอนุกรมเวลา โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ระหว่างปี ค.ศ.1976 – 2015 โดยการสร้างเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติจากดัชนี NDWI และ MNDWI ในภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ตั้งแต่ปี ค.ศ.1976 – 2015 ที่ถูกบันทึกภาพตามเวลาของระดับน้ำไม่เกิน 0.63 เมตร ที่ความลาดชันของหาดระหว่างร้อยละ 21 – 56 แล้วตรวจสอบกับเส้นแนวชายฝั่งอ้างอิงจากภาพถ่ายดาวเทียม ZY-3 ปี ค.ศ.2015 แล้วคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วย Digital Shoreline Analysis System (DSAS) เพื่อหาระยะทางการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยค่า Net Shoreline Movement (NSM) แล้วนำมาวิเคราะห์ร่วมกับค่า Fractal dimension (FD) ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในช่วงปี ค.ศ.1976 – 2001 ทั้ง 3 พื้นที่ย่อย มีความสอดคล้องกับค่า Fractal dimension (FD) โดยที่การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากธรรมชาติมีน้อยมาก เนื่องจากมีสมดุลงตามธรรมชาติ แต่หลังจากปี ค.ศ.2001 เป็นต้นไป ได้มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งครั้งใหญ่จากการพัฒนาพื้นที่โดยการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ซึ่งเป็นกิจกรรมที่เกิดจากมนุษย์โดยเฉพาะอ่าวทางโจว การศึกษานี้มีประโยชน์ต่อการพัฒนาพื้นที่ และช่วยให้การตัดสินใจในการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณชายฝั่งหนึ่งปีมีประสิทธิภาพมากขึ้น

Goksel et al. (2019) ได้ศึกษาการกำหนดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตามแนวชายฝั่งทะเลดำ เมืองอิสตันบูล โดยใช้การสำรวจจากระยะไกลและระบบภูมิสารสนเทศ โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งระหว่างเส้นแนวชายฝั่งที่สกัดแบบอัตโนมัติจากดัชนี NDWI และวิธีการจำแนกแบบ Maximum Likelihood Classifier ในภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 และ Landsat 8 ในช่วงปี ค.ศ.2009 - 2016 ที่คำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วย Digital Shoreline

Analysis System (DSAS) แล้วหาอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยค่า End Point Rate (EPR) และ ระยะทางการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยค่า Net Shoreline Movement (NSM) ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นตามแนวชายฝั่งของพื้นที่ก่อสร้างสนามบินแห่งใหม่ ซึ่งตั้งอยู่ระหว่างเมืองคาราบูรูน และเมืองกิโยส โดยมีอัตราการกัดเซาะและสะสมตัวเฉลี่ยจากวิธีการจำแนกแบบ Maximum Likelihood Classifier ที่ 7.81 เมตรต่อปี และ 4.60 เมตรต่อปี ตามลำดับ ส่วนอัตราการกัดเซาะและการสะสมตัวเฉลี่ยจากวิธีดัชนี NDWI อยู่ที่ 7.58 เมตรต่อปี และ 4.86 เมตรต่อปี ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 2 วิธี มีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ในส่วนการประเมินชายฝั่งพบว่า มีการใช้พื้นที่ชายฝั่งที่ผิดวิธี จึงทำให้เกิดผลเสียต่อชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น จึงควรมีการติดตามการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งอย่างสม่ำเสมอ เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนจัดการชายฝั่งให้ถูกต้องและเหมาะสม

Darwish and Smith (2021) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI, Sentinel-2 MSI และ Planet Scope สำหรับการประเมินการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งในเมืองเอล-อะลาเมน ประเทศอียิปต์ โดยสร้างเส้นแนวชายฝั่งแบบอัตโนมัติด้วยดัชนี NDWI และ MNDWI จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8, Sentinel-2 และ Planet Scope ปี ค.ศ.2016 และ ค.ศ.2021 แล้ววิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วย Digital Shoreline Analysis System (DSAS) เพื่อกำหนดอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยค่า End Point Rate (EPR) ผลการศึกษาพบว่า อัตราการกัดเซาะชายฝั่งของเส้นแนวชายฝั่งจาก Landsat 8 มีค่าสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุด อยู่ที่ 10.07 เมตรต่อปี, 3.06 เมตรต่อปี และ 0 เมตรต่อปี ตามลำดับ ส่วนอัตราการกัดเซาะชายฝั่งของเส้นแนวชายฝั่งจาก Sentinel-2 มีค่าสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุด อยู่ที่ 8 เมตรต่อปี, 1.50 เมตรต่อปี และ 0 เมตรต่อปี ตามลำดับ และ อัตราการกัดเซาะชายฝั่งของเส้นแนวชายฝั่งจาก Planet Scope มีค่าสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุด อยู่ที่ 8.70 เมตรต่อปี, 1.52 เมตรต่อปี และ 0.01 เมตรต่อปี ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์เชิงเส้นของเส้นแนวชายฝั่งในแต่ละภาพถ่ายดาวเทียม พบว่า เส้นแนวชายฝั่งจาก Landsat 8 กับ Sentinel-2 มีค่า $R^2 = 0.39$ และ Landsat 8 กับ Planet Scope มีค่า $R^2 = 0.31$ และ Sentinel-2 กับ Planet Scope มีค่า $R^2 = 0.73$ จึงสรุปได้ว่าความถูกต้องของเส้นแนวชายฝั่งที่ได้จากดัชนี NDWI และ MNDWI ในขั้นตอนการแยกพื้นที่น้ำกับบกขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพเป็นสำคัญ ซึ่งสังเกตได้จากค่าความสัมพันธ์เชิงเส้น (R^2) ของเส้นแนวชายฝั่งที่ได้จาก Sentinel-2 กับ Planet Scope ที่มีความละเอียดของภาพอยู่ที่ 10 เมตร และ 3 เมตร ตามลำดับ ในขณะที่ Landsat 8 มีความละเอียดภาพอยู่ที่ 30 เมตร แต่ข้อดีของภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดปานกลาง ได้แก่ Landsat 8 และ Sentinel-2 คือไม่มีค่าใช้จ่าย

โดยเฉพาะข้อดีอีกประการหนึ่งของ Landsat คือ มีภาพที่ถ่ายในอดีตนานที่สุด จึงเหมาะสมสำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่ต้องใช้ค่าสถิติในอดีตเป็นเวลานาน ๆ

Quang et al. (2021) ได้ศึกษาวิวัฒนาการแนวชายฝั่งระยะยาวโดยใช้เทคนิค Digital Shoreline Analysis System กรณีศึกษาจังหวัดกวังนาม ประเทศเวียดนาม โดยการสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี (Annual Shoreline) ด้วยดัชนีความถี่น้ำ (Water Frequency Index) ที่ค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่ 0.5 จากดัชนี MNDWI ในภาพถ่ายดาวเทียม Landsat และ Sentinel-2 ทั้งหมดที่มีในพื้นที่ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 – 2019 เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วย Digital Shoreline Analysis System (DSAS) แล้วหาอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทั้งค่า End Point Rate (EPR) และ Linear Regression Rate (LRR) แล้ววิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยทางกายภาพต่าง ๆ ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่จังหวัดกวังนาม ในรอบ 30 ปีที่ผ่านมา มีอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งจากค่า EPR ทั้งการกัดเซาะและการสะสมตัวที่ 1.70 เมตรต่อปี และ 0.77 เมตรต่อปี ตามลำดับ และ ค่า LRR ทั้งการกัดเซาะและการสะสมตัวที่ 1.86 เมตรต่อปี และ 0.83 เมตรต่อปี ตามลำดับ ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งแสดงให้เห็นว่า พื้นที่ทางตอนเหนือของปากแม่น้ำเซาได้ถูกกัดเซาะด้วยความเร็วสูงถึงสูงมาก ในขณะที่ทางใต้มีการสะสมตัวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งชั่วคราวแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอย่างรุนแรงที่ปากแม่น้ำเซาได้มีความเกี่ยวข้องอย่างมากกับการสร้างเขื่อนครั้งแรกในปี ค.ศ. 1997 ซึ่งวิวัฒนาการแนวชายฝั่งในจังหวัดกวังนาม มีสาเหตุมาจากกระบวนการทางธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะแนวป้องกันชายฝั่งรูปแบบแข็ง ทำให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งอย่างรุนแรง เนื่องจากกีดขวางการเคลื่อนตัวของตะกอนชายฝั่ง

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงสรุปข้อจำกัดและประเด็นที่สำคัญได้ดังนี้

1) มีการสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยวิธีแปลภาพถ่ายด้วยสายตาแล้วลากเส้นด้วยมือ (Digitizing) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด แต่ให้ความถูกต้องในหลายระดับขึ้นอยู่กับผู้เชี่ยวชาญ ใช้เวลามาก มีค่าใช้จ่ายสูง และครอบคลุมพื้นที่ได้น้อย

2) มีการสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยการประมวลผลภาพ (Image processing) ซึ่งให้ความถูกต้องเฉพาะภาพที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน พบได้มากกับภาพความละเอียดสูง จึงมีค่าใช้จ่ายสูงและครอบคลุมพื้นที่ได้น้อย และมีปัญหาความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งเส้นจากระดับน้ำที่ต่างกันในแต่ละภาพ

3) มีการสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยดัชนีน้ำ (Water Index) ซึ่งไม่สามารถแยกพื้นที่เงาภาพ และพื้นที่ที่ต้นหรือสิ่งเจือปนในน้ำสูงได้ รวมถึงปัญหาความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งเส้นจากระดับน้ำที่ต่างกันในแต่ละภาพ

4) มีการสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยการจำแนกข้อมูลภาพ (Image classification) ซึ่งเป็นวิธีที่พบได้น้อย จะพบได้เฉพาะวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเป็นส่วนใหญ่ และยังมีปัญหาความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของเส้นจากระดับน้ำที่ต่างกันในแต่ละภาพ

5) การศึกษาส่วนใหญ่ไม่พบการปรับแก้ปัญหาความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งเส้นจากระดับน้ำที่ต่างกันในแต่ละภาพ ก่อนการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ซึ่งทำให้ผลลัพธ์การวิเคราะห์เกิดความคลาดเคลื่อนได้

6) การศึกษาส่วนใหญ่มักเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกในพื้นที่อื่น ๆ ด้วยการเพิ่มดัชนีต่าง ๆ ให้กับภาพถ่ายดาวเทียม แต่ยังไม่พบการใช้วิธีนี้ในพื้นที่ชายฝั่งทะเล

7) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะยาวเป็นการศึกษาที่ให้ประสิทธิภาพสูง โดยการศึกษาในระยะเวลาตั้งแต่ 30 ปีขึ้นไป ยังพบได้น้อย

8) การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในปัจจุบัน มีการนำระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัลมาใช้ในการศึกษาอย่างแพร่หลาย แทนการคำนวณด้วยการซ้อนทับข้อมูล (Overlay) ในรูปแบบเดิม

จากข้อจำกัดและประเด็นที่สำคัญต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น จึงได้บูรณาการข้อได้เปรียบของงานวิจัยต่าง ๆ แล้วนำมาพัฒนาให้การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในครั้งนี้เป็นการศึกษาวิวัฒนาการชายฝั่งในระยะยาว โดยใช้การสำรวจจากระยะไกลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2566 รวมระยะเวลา 35 ปี แล้วเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกด้วยการเพิ่มช่วงคลื่นด้วยดัชนีน้ำและดัชนีพืชพรรณให้กับภาพถ่ายดาวเทียม แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้วยรูปแบบการจำแนกอื่น ๆ แล้วสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี (Annual Shoreline) ซึ่งเป็นเส้นแนวชายฝั่งที่มีการปรับแก้ค่าระดับน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกันทุกปี ด้วยดัชนีความถี่น้ำ (Water Frequency Index) แล้ววิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากภาวะโลกร้อน (Global warming) ด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System) ร่วมกับลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ รวมถึงกิจกรรมของมนุษย์ ในบริเวณอ่าวไทยตอนบน

บทที่ 3

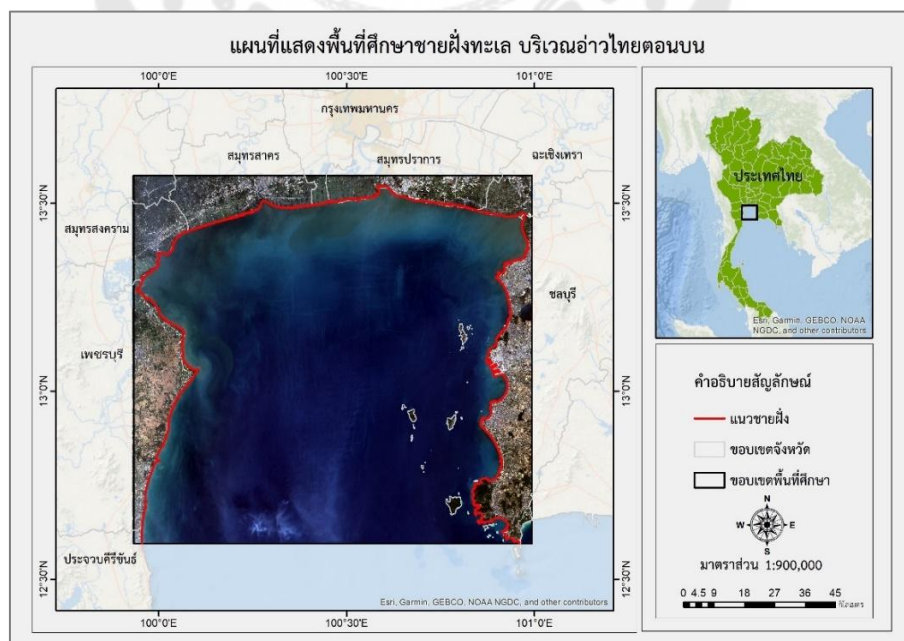
วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ได้มีการเลือกใช้พื้นที่ศึกษาบริเวณอ่าวไทยตอนบนและมีการบูรณาการกับข้อมูลอื่น ๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งตามวิธีการที่ได้นำเสนอในขั้นตอนของการศึกษา ซึ่งในบทนี้ได้อธิบายรายละเอียดการดำเนินงานวิจัยในแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

1. พื้นที่ศึกษา
2. ข้อมูลที่ใช้ศึกษา
3. ขั้นตอนการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาตามแนวชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน หรืออ่าวไทยรูปตัว ก ตั้งอยู่ตอนบนสุดของทะเลอ่าวไทย ซึ่งเป็นบริเวณตอนในสุดของมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก ครอบคลุมพื้นที่ 8 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดสมุทรสงคราม จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร จังหวัดฉะเชิงเทรา และจังหวัดชลบุรี รวมความยาวตลอดแนวชายฝั่งประมาณ 407 กิโลเมตร ตามภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 พื้นที่ศึกษาชายฝั่งทะเล บริเวณอ่าวไทยตอนบน

1.1 ลักษณะภูมิประเทศ

ภูมิประเทศบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีลักษณะเป็นพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงโดยในบริเวณตอนบนจะมีลักษณะพื้นที่ราบที่มีความสูงลาดลงสู่ทะเลไปทางตะวันออกเฉียงใต้ ส่วนทางด้านตะวันตกและด้านตะวันออกของอ่าวเป็นพื้นที่ยกตัวสูงที่ขนาบด้วยแนวเขา ทำให้พบชายฝั่งที่เป็นหน้าผาชันและมีชายฝั่งที่เป็นชายหาดต่าง ๆ ที่มีความชันที่มากกว่าบริเวณอื่น โดยเฉพาะทางด้านตะวันออกของอ่าวที่มีความชันที่สุดอันเนื่องมาจากพื้นที่มีธรณีสัณฐานส่วนใหญ่เป็นหิน ทำให้พื้นที่บริเวณใต้ท้องทะเลมีร่องน้ำที่ลึกจากข้อมูลสำรวจความลึกน้ำทะเลของกรมอุทกศาสตร์พบว่า บริเวณอ่าวไทยตอนบนมีความลึกของท้องทะเล ประมาณ 50 เมตร ที่บริเวณเกาะไผ่ เกาะล้าน และเกาะคราม ในจังหวัดชลบุรี ซึ่งใต้ท้องทะเลมีลักษณะเป็นหินต่างจากบริเวณตอนบนและด้านตะวันตกของอ่าวที่มีลักษณะเป็นโคลนและทราย ซึ่งเป็นผลมาจากการทับถมของตะกอนที่มาจากทางออกของแม่น้ำ 4 สายหลัก ได้แก่ แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง ซึ่งได้นำพาเอาตะกอนและแร่ธาตุต่าง ๆ จากแผ่นดินต้นน้ำไหลลงสู่ทะเล จึงเกิดเป็นชายฝั่งประเภทต่าง ๆ ได้แก่

ชายฝั่งที่เป็นหาดโคลน พบมากที่สุดบริเวณตอนบนของอ่าวตั้งแต่แหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี ไปจนถึง ชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ซึ่งมีป่าชายเลนตลอดแนวชายฝั่งอันเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีค่าทั้งระบบนิเวศน์และระบบเศรษฐกิจ ทั้งยังเป็นแนวป้องกันชายฝั่งตามธรรมชาติ

ชายฝั่งที่เป็นหาดหิน พบมากที่สุดในบริเวณตะวันออกของอ่าวตั้งแต่หาดบางแสน ไปจนถึง แหลมช่องแสมสาร จังหวัดชลบุรี มักเป็นสถานที่ท่องเที่ยวและกิจกรรมทำเรือของรัฐขนาดใหญ่ นั่นคือ ท่าเรือแหลมฉบัง เนื่องจากมีความลึกของน้ำมากพอ

ชายฝั่งที่เป็นหาดทราย พบมากในบริเวณด้านตะวันตกของอ่าวตั้งแต่ชายหาดหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ไปจนถึง แหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี และมีบางส่วนอยู่ทางตะวันออกของอ่าวที่จังหวัดชลบุรี มักพบแหล่งท่องเที่ยวทั้งร้านอาหาร กิจกรรมทางทะเล กิจกรรมโรงแรม จึงมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ

1.2 ลักษณะภูมิอากาศ

อ่าวไทยตอนบนตั้งอยู่ในเขตศูนย์สูตร จึงมีความชื้นสูงตลอดทั้งปี และได้รับอิทธิพลจากทะเล และลมมรสุมประจำปี ทำให้เกิดฤดูกาล 3 ฤดูกาล ได้แก่

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม - กลางเดือนตุลาคมของทุกปี อันเนื่องมาจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดพาเอาความชื้นมาจากมหาสมุทรอินเดีย ทำให้เกิดฝนตกชุก

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม - กลางเดือนกุมภาพันธ์ของทุกปี อันเนื่องมาจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดพาเอาความหนาวและความแห้งแล้งจากประเทศจีน ทำให้ในพื้นที่มีอุณหภูมิต่ำลงที่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส

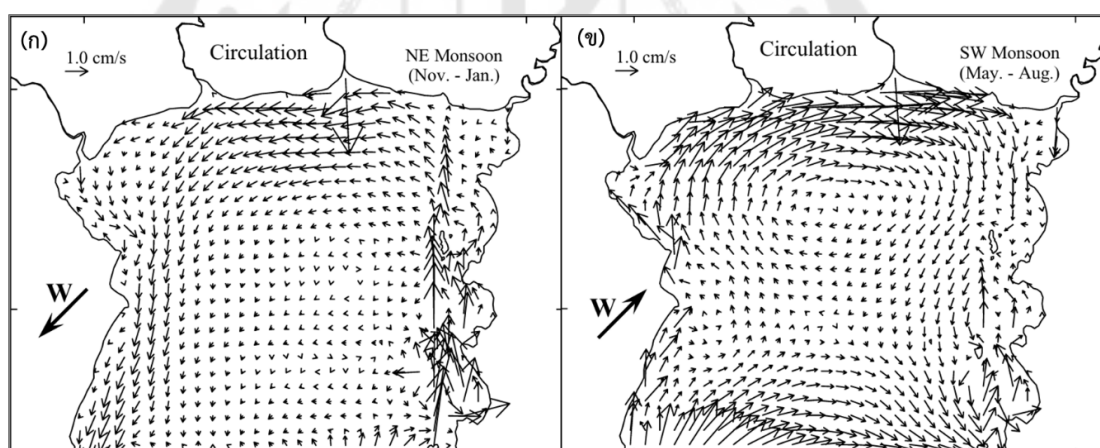
ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ - กลางเดือนพฤษภาคมของทุกปี ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนมรสุม ทำให้เกิดความชื้นสูงในพื้นที่โดยมีอุณหภูมิสูงขึ้นที่ประมาณ 33 องศาเซลเซียส

1.3 ลักษณะการไหลของกระแสน้ำ

อ่าวไทยตอนบนมีการไหลของกระแสน้ำประจำตามธรรมชาติ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามลมมรสุม ตามภาพประกอบ 17 ได้แก่

ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ กระแสน้ำส่วนใหญ่จะไหลจากฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยตอนบนเลียบชายฝั่งไปทางเหนือแล้วลงใต้เลียบฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยตอนบน

ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ กระแสน้ำส่วนใหญ่จะไหลจากฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยตอนบนเลียบชายฝั่งไปทางเหนือแล้วลงใต้เลียบฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยตอนบน



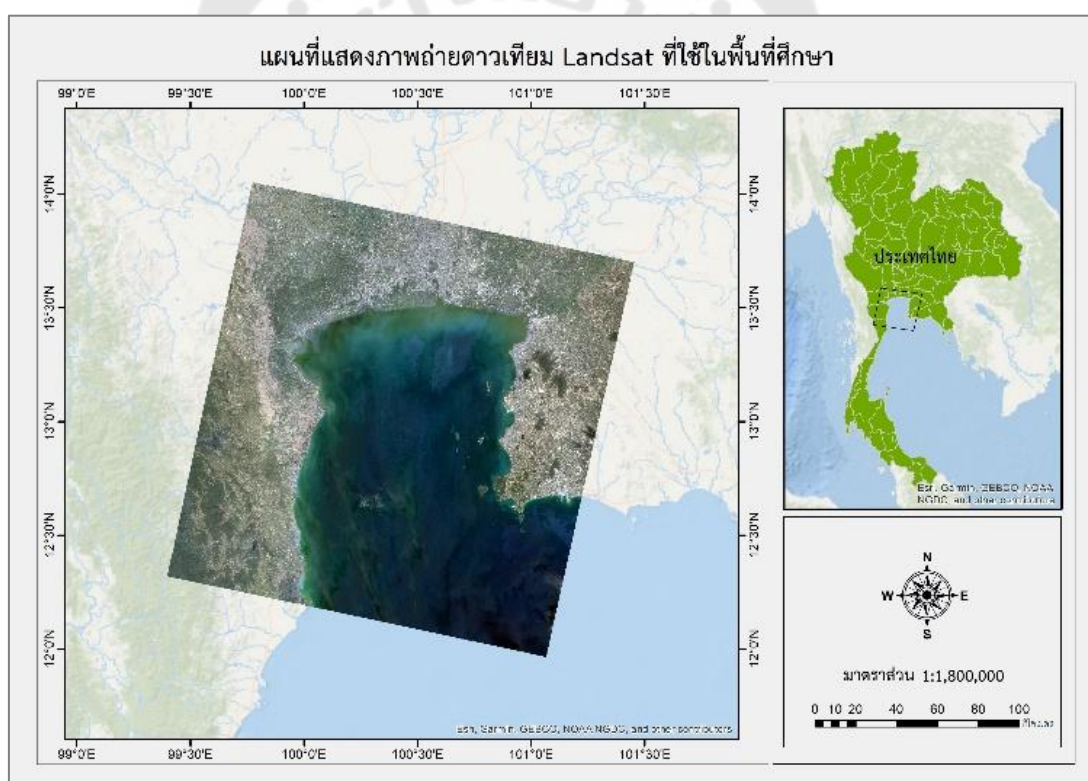
ภาพประกอบ 17 การไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนในแต่ละลมมรสุม

(ก)ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ข)ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

ที่มา: จาก การไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบน การทบทวนงานวิจัย โดย อนุกุล บุรณประทีปรัตน์, 2551, วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 13(1), 80 (<https://ojs.lib.buu.ac.th/index.php/science/article/view/10024>). สงวนลิขสิทธิ์ 2551 โดย อนุกุล บุรณประทีปรัตน์.

2. ข้อมูลที่ใช้ศึกษา

2.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat โดยเป็นข้อมูลภาพที่มีการปกคลุมของเมฆไม่เกินร้อยละ 20 ตามภาพประกอบ 18 โดยมีการบันทึกข้อมูลในตำแหน่งของ Path ที่ 129 และ Row ที่ 051 ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531, พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554 (ใช้แทนภาพในปี พ.ศ.2555 เนื่องจากจำนวนภาพไม่เพียงพอ), พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 จำนวนทั้งหมดของแต่ละปี รวมจำนวน 65 ภาพ ตามตาราง 7 และ ภาพประกอบ 19 จาก United States Geological Survey (USGS) ผ่านทาง Google earth engine โดยมีช่วงคลื่น ตามตาราง 6 และ รายละเอียดของภาพ ตามตาราง 8 โดยข้อมูลดังกล่าวใช้สำหรับเป็นข้อมูลในการจำแนก เพื่อสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี รวมถึงสร้างข้อมูลการสอนและทดสอบความถูกต้องของการจำแนกในปี พ.ศ.2531, พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549 และ พ.ศ.2554



ภาพประกอบ 18 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่ใช้ในการศึกษา

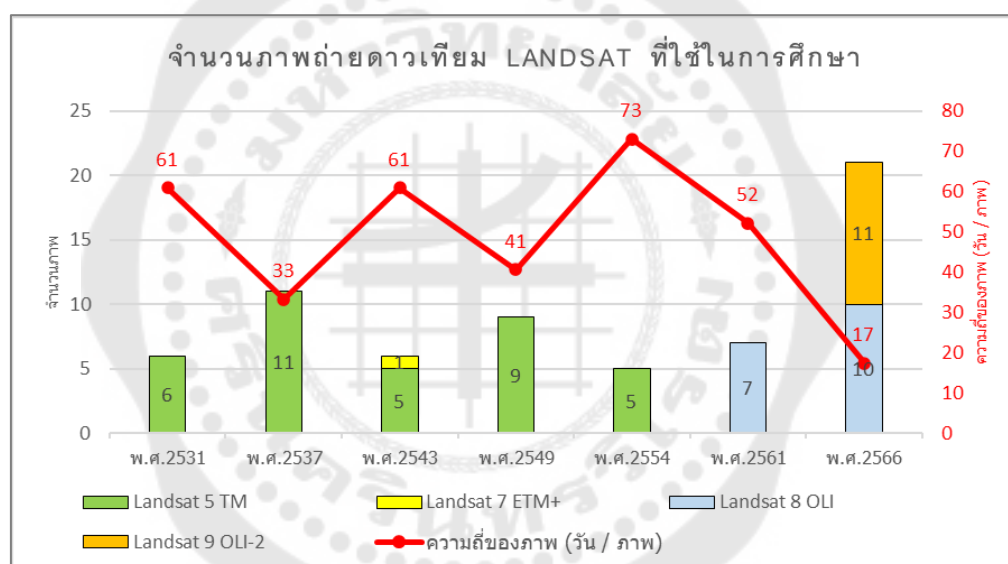
ตาราง 6 ช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่ใช้ในการศึกษา

ดาวเทียม	ช่วงคลื่นที่	ประเภทช่วงคลื่น	ขนาดช่วงคลื่น (ไมโครเมตร)	รายละเอียดเชิงพื้นที่ (เมตร)	รายละเอียดเชิงรังสี (บิต)	ถ่ายซ้ำที่เดิม (วัน)
Landsat 5 TM	1	Blue	0.45 - 0.52	30	8	16
	2	Green	0.52 - 0.60	30	8	16
	3	Red	0.63 - 0.69	30	8	16
	4	NIR	0.76 - 0.90	30	8	16
	5	SWIR 1	1.55 - 1.75	30	8	16
	7	SWIR 2	2.08 - 2.35	30	8	16
Landsat 7 ETM+	1	Blue	0.45 - 0.52	30	8	16
	2	Green	0.52 - 0.60	30	8	16
	3	Red	0.63 - 0.69	30	8	16
	4	NIR	0.77 - 0.90	30	8	16
	5	SWIR 1	1.55 - 1.75	30	8	16
	7	SWIR 2	2.09 - 2.35	30	8	16
Landsat 8 OLI, 9 OLI2	1	Coastal Aerosol	0.43 - 0.45	30	16	16
	2	Blue	0.45 - 0.51	30	16	16
	3	Green	0.53 - 0.59	30	16	16
	4	Red	0.64 - 0.67	30	16	16
	5	NIR	0.85 - 0.88	30	16	16
	6	SWIR 1	1.57 - 1.65	30	16	16
	7	SWIR 2	2.11 - 2.29	30	16	16

ที่มา: ดัดแปลงจาก Landsat Satellite Missions โดย United States Geological Survey. (<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>). สงวนลิขสิทธิ์ 2024 โดย United States Geological Survey.

ตาราง 7 จำนวนภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่ใช้ในการศึกษา

พ.ศ.	Landsat 5 TM	Landsat 7 ETM+	Landsat 8 OLI	Landsat 9 OLI-2	รวม
2531	6	0	0	0	6
2537	11	0	0	0	11
2543	5	1	0	0	6
2549	9	0	0	0	9
2554	5	0	0	0	5
2561	0	0	7	0	7
2566	0	0	10	11	21
รวม	36	1	17	11	65



ภาพประกอบ 19 จำนวนภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่ใช้ในการศึกษา

ตาราง 8 รายละเอียดภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่ใช้ในการศึกษา

ภาพที่	ดาวเทียม	บันทึกภาพเมื่อ	เวลาท้องถิ่นที่บันทึกภาพ	Path / Row
1	Landsat 5 TM	10/1/2531	10.06 น.	129 / 051
2	Landsat 5 TM	27/2/2531	10.07 น.	129 / 051
3	Landsat 5 TM	14/3/2531	10.07 น.	129 / 051
4	Landsat 5 TM	30/3/2531	10.07 น.	129 / 051
5	Landsat 5 TM	5/8/2531	10.08 น.	129 / 051
6	Landsat 5 TM	27/12/2531	10.08 น.	129 / 051

ตาราง 8 (ต่อ)

ภาพที่	ดาวเทียม	บันทึกภาพเมื่อ	เวลาท้องถิ่นที่บันทึกภาพ	Path / Row
7	Landsat 5 TM	10/1/2537	09.59 น.	129 / 051
8	Landsat 5 TM	26/1/2537	09.59 น.	129 / 051
9	Landsat 5 TM	11/2/2537	09.59 น.	129 / 051
10	Landsat 5 TM	27/2/2537	09.58 น.	129 / 051
11	Landsat 5 TM	31/3/2537	09.58 น.	129 / 051
12	Landsat 5 TM	2/5/2537	09.57 น.	129 / 051
13	Landsat 5 TM	23/9/2537	09.54 น.	129 / 051
14	Landsat 5 TM	25/10/2537	09.53 น.	129 / 051
15	Landsat 5 TM	10/11/2537	09.52 น.	129 / 051
16	Landsat 5 TM	26/11/2537	09.52 น.	129 / 051
17	Landsat 5 TM	28/12/2537	09.51 น.	129 / 051
18	Landsat 5 TM	11/1/2543	10.12 น.	129 / 051
19	Landsat 5 TM	12/2/2543	10.11 น.	129 / 051
20	Landsat 5 TM	28/2/2543	10.11 น.	129 / 051
21	Landsat 5 TM	10/11/2543	10.16 น.	129 / 051
22	Landsat 5 TM	12/12/2543	10.17 น.	129 / 051
23	Landsat 5 TM	27/1/2549	10.28 น.	129 / 051
24	Landsat 5 TM	28/2/2549	10.28 น.	129 / 051
25	Landsat 5 TM	1/4/2549	10.29 น.	129 / 051
26	Landsat 5 TM	8/9/2549	10.31 น.	129 / 051
27	Landsat 5 TM	26/10/2549	10.32 น.	129 / 051
28	Landsat 5 TM	11/11/2549	10.32 น.	129 / 051
29	Landsat 5 TM	27/11/2549	10.32 น.	129 / 051
30	Landsat 5 TM	13/12/2549	10.32 น.	129 / 051
31	Landsat 5 TM	29/12/2549	10.32 น.	129 / 051
32	Landsat 5 TM	25/1/2554	10.27 น.	129 / 051
33	Landsat 5 TM	10/2/2554	10.27 น.	129 / 051
34	Landsat 5 TM	15/4/2554	10.27 น.	129 / 051
35	Landsat 5 TM	5/8/2554	10.26 น.	129 / 051
36	Landsat 5 TM	24/10/2554	10.25 น.	129 / 051

ตาราง 8 (ต่อ)

ภาพที่	ดาวเทียม	บันทึกภาพเมื่อ	เวลาท้องถิ่นที่บันทึกภาพ	Path / Row
37	Landsat 7 ETM+	4/12/2543	10.28 น.	129 / 051
38	Landsat 8 OLI	13/2/2561	10.37 น.	129 / 051
39	Landsat 8 OLI	1/3/2561	10.37 น.	129 / 051
40	Landsat 8 OLI	17/3/2561	10.37 น.	129 / 051
41	Landsat 8 OLI	4/5/2561	10.37 น.	129 / 051
42	Landsat 8 OLI	11/10/2561	10.37 น.	129 / 051
43	Landsat 8 OLI	27/10/2561	10.37 น.	129 / 051
44	Landsat 8 OLI	12/11/2561	10.37 น.	129 / 051
45	Landsat 8 OLI	26/1/2566	10.38 น.	129 / 051
46	Landsat 8 OLI	11/2/2566	10.38 น.	129 / 051
47	Landsat 8 OLI	27/2/2566	10.37 น.	129 / 051
48	Landsat 8 OLI	15/3/2566	10.37 น.	129 / 051
49	Landsat 8 OLI	31/3/2566	10.37 น.	129 / 051
50	Landsat 8 OLI	2/5/2566	10.37 น.	129 / 051
51	Landsat 8 OLI	18/5/2566	10.37 น.	129 / 051
52	Landsat 8 OLI	3/6/2566	10.37 น.	129 / 051
53	Landsat 8 OLI	12/12/2566	10.38 น.	129 / 051
54	Landsat 8 OLI	28/12/2566	10.38 น.	129 / 051
55	Landsat 9 OLI-2	18/1/2566	10.38 น.	129 / 051
56	Landsat 9 OLI-2	19/2/2566	10.38 น.	129 / 051
57	Landsat 9 OLI-2	7/3/2566	10.38 น.	129 / 051
58	Landsat 9 OLI-2	23/3/2566	10.37 น.	129 / 051
59	Landsat 9 OLI-2	8/4/2566	10.37 น.	129 / 051
60	Landsat 9 OLI-2	24/4/2566	10.37 น.	129 / 051
61	Landsat 9 OLI-2	26/5/2566	10.37 น.	129 / 051
62	Landsat 9 OLI-2	13/7/2566	10.37 น.	129 / 051
63	Landsat 9 OLI-2	14/8/2566	10.37 น.	129 / 051
64	Landsat 9 OLI-2	18/11/2566	10.38 น.	129 / 051
65	Landsat 9 OLI-2	20/12/2566	10.38 น.	129 / 051

2.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 โดยเป็นข้อมูลภาพที่มีการปกคลุมของเมฆไม่เกินร้อยละ 20 ซึ่งเป็นภาพที่ได้บันทึกในช่วงของปี พ.ศ.2560 และ พ.ศ.2567 (ใช้แทนภาพในปี พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 เนื่องจากไม่มีข้อมูลภาพ) ตามภาพประกอบ 20 โดยมีจำนวน 4 ภาพ ตามตาราง 10 จาก European Space Agency (ESA) ผ่านทาง Google earth engine โดยมีช่วงคลื่น ตามตาราง 9 โดยข้อมูลดังกล่าวใช้สำหรับสร้างข้อมูลการสอนและทดสอบความถูกต้องของการจำแนกในปี พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566

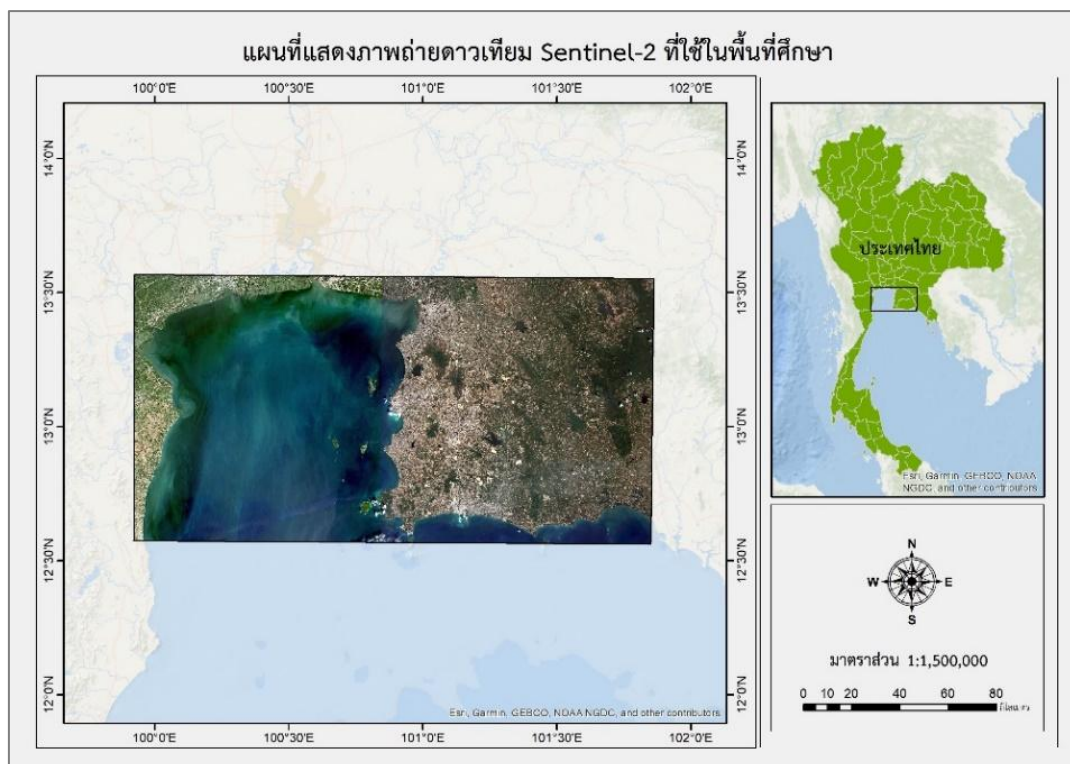
ตาราง 9 ช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่ใช้ในการศึกษา

ช่วงคลื่นที่	ประเภทช่วงคลื่น	ขนาดช่วงคลื่น (นาโนเมตร)	รายละเอียดเชิง พื้นที่ (เมตร)	รายละเอียด เชิงรังสี (บิต)	ถ่ายซ้ำที่ เดิม (วัน)
2	Blue	492.4	10	12	5
3	Green	559.8	10	12	5
4	Red	664.6	10	12	5
8	NIR	832.8	10	12	5

ที่มา: ดัดแปลงจาก Spectral Resolution โดย European Space Agency. (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/>). ส ง ว น ลิขสิทธิ์ 2024 โดย European Space Agency.

ตาราง 10 รายการภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่ใช้ในการศึกษา

ภาพที่	บันทึกภาพเมื่อ	เวลาท้องถิ่นที่บันทึกภาพ	ระวางที่
1	23/12/2560	10.41 น.	T47PPQ_20171223T085847
2	18/12/2560	10.41 น.	T47PQQ_20171218T071546
3	1/1/2567	10.41 น.	T47PPQ_20240101T064151
4	1/1/2567	10.41 น.	T47PQQ_20240101T064151



ภาพประกอบ 20 ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่ใช้ในการศึกษา

2.3 ข้อมูลเส้นแนวชายฝั่ง (CM.line) บริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน ปี พ.ศ.2562 และ พ.ศ.2565 ในรูปแบบ Shapefile จำนวน 2 ไฟล์ (ใช้แทนข้อมูลในปี พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 เนื่องจากไม่มีข้อมูล) ซึ่งได้จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงร่วมกับการสำรวจด้วย GNSS จาก กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง โดยข้อมูลดังกล่าวใช้สำหรับอ้างอิงความถูกต้องของเส้นแนวชายฝั่งที่สกัดได้ 2 ปี ได้แก่ พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 (ไม่มีข้อมูลปี พ.ศ.2561, พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549 และ พ.ศ.2554)

2.4 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ของ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์, จังหวัดเพชรบุรี, จังหวัดสมุทรสงคราม, จังหวัดสมุทรสาคร, จังหวัดสมุทรปราการ, กรุงเทพมหานคร, จังหวัดฉะเชิงเทรา และจังหวัดชลบุรี จำนวน 7 ปี ได้แก่ พ.ศ.2531, พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554, พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 ในรูปแบบ Shapefile จำนวน 54 ไฟล์ จาก กรมพัฒนาที่ดิน ตามตาราง 11 โดยข้อมูลดังกล่าวใช้สำหรับหาอัตราส่วนของการจำแนก 2 ประเภทข้อมูลการใช้ที่ดิน ทั้ง 7 ปี คือ พื้นที่น้ำและบก และเป็นข้อมูลลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

ตาราง 11 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละช่วงปี

จังหวัด	ช่วงปีที่ใช้ข้อมูล						
	พ.ศ.2531	พ.ศ.2537	พ.ศ.2543	พ.ศ.2549	พ.ศ.2554	พ.ศ.2561	พ.ศ.2566
ประจวบคีรีขันธ์	2544	2544	2544	2550	2554	2561	2563
กรุงเทพมหานคร	2544	2544	2544	2550	2554	2561	2566
ฉะเชิงเทรา	2544	2544	2544	2549	2553	2561	2564
เพชรบุรี	2544	2544	2544	2550	2554	2561	2563
สมุทรสงคราม	2543	2543	2543	2549	2554	2560	2563
สมุทรสาคร	2543	2543	2543	2550	2554	2560	2562
สมุทรปราการ	2543	2543	2543	2550	2554	2560	2562
ชลบุรี	2544	2544	2544	2549	2553	2561	2563

2.5 ข้อมูลความสูงเชิงเลข ความละเอียด 30 เมตร ด้วยขั้นตอน SRTM จากดาวเทียม ASTER GDEM, ICESat GLAS และ PRISM จาก NASA ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจและบันทึกข้อมูลในปี พ.ศ.2543 บริเวณอำเภอไทยดอนบน รูปแบบ GEOTIFF FILE จำนวน 1 ไฟล์ ผ่านทาง Google earth engine ซึ่งแปลงข้อมูลเป็น Contour โดยข้อมูลดังกล่าวใช้สำหรับเป็นข้อมูลลักษณะภูมิประเทศบนบก (ความลาดชัน) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

2.6 ข้อมูลระดับน้ำทะเลของโลกลีเยรายปีจากการประมาณค่าอ้างอิงจากระดับทะเลปานกลาง ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 – 2566 ในรูปแบบ PNG FILE จำนวน 1 ไฟล์ จาก AVISO ผ่านทางเว็บไซต์ <https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/ocean-indicators-products/mean-sea-level/data-access.html#c12195> โดยข้อมูลดังกล่าวใช้สำหรับการอ้างอิงแนวโน้มระดับน้ำทะเลของโลก

2.7 ข้อมูลอุณหภูมิโลกเฉลี่ยรายปีจากการประมาณค่าเฉลี่ยทั่วโลกโดยอ้างอิงค่าอุณหภูมิจากการบันทึกข้อมูลแผ่นดินและมหาสมุทร ตั้งแต่ ปี พ.ศ.2531 – 2566 รูปแบบ CSV FILE จำนวน 1 ไฟล์ จาก NASA ผ่านทางเว็บไซต์ https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/ โดยข้อมูลดังกล่าวใช้สำหรับอ้างอิงแนวโน้มอุณหภูมิโลก

2.8 ข้อมูลวัดระดับน้ำเฉลี่ยรายปี จำนวน 4 สถานี รูปแบบ TEXT FILE จำนวน 4 ไฟล์ จาก กรมเจ้าท่า ได้แก่ สถานีวัดระดับน้ำบางปะกง ที่บันทึกข้อมูลในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2566 สถานีวัดระดับน้ำบ้านแหลม ที่บันทึกข้อมูลในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2540 – 2566 สถานีวัดระดับน้ำสมุทรสาคร ที่บันทึกข้อมูลในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2566 และสถานี

วัดระดับน้ำอ่าวอุดม ที่บันทึกข้อมูลในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2549 – 2566 โดยข้อมูลดังกล่าวใช้สำหรับสังเกตแนวโน้มการกัดเซาะชายฝั่ง

2.9 ข้อมูลตรวจวัดอุณหภูมิจนุณภูมิเฉลี่ยรายปี ตั้งแต่ ปี พ.ศ.2531 – 2566 จำนวน 4 สถานี รูปแบบ CSV FILE จำนวน 4 ไฟล์ จาก กรมอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ สถานีตรวจอากาศเพชรบุรี สถานีตรวจอากาศกรุงเทพมหานคร สถานีตรวจอากาศสมุทรปราการ และ สถานีตรวจอากาศชลบุรี โดยข้อมูลดังกล่าวใช้สำหรับสังเกตแนวโน้มการกัดเซาะชายฝั่ง

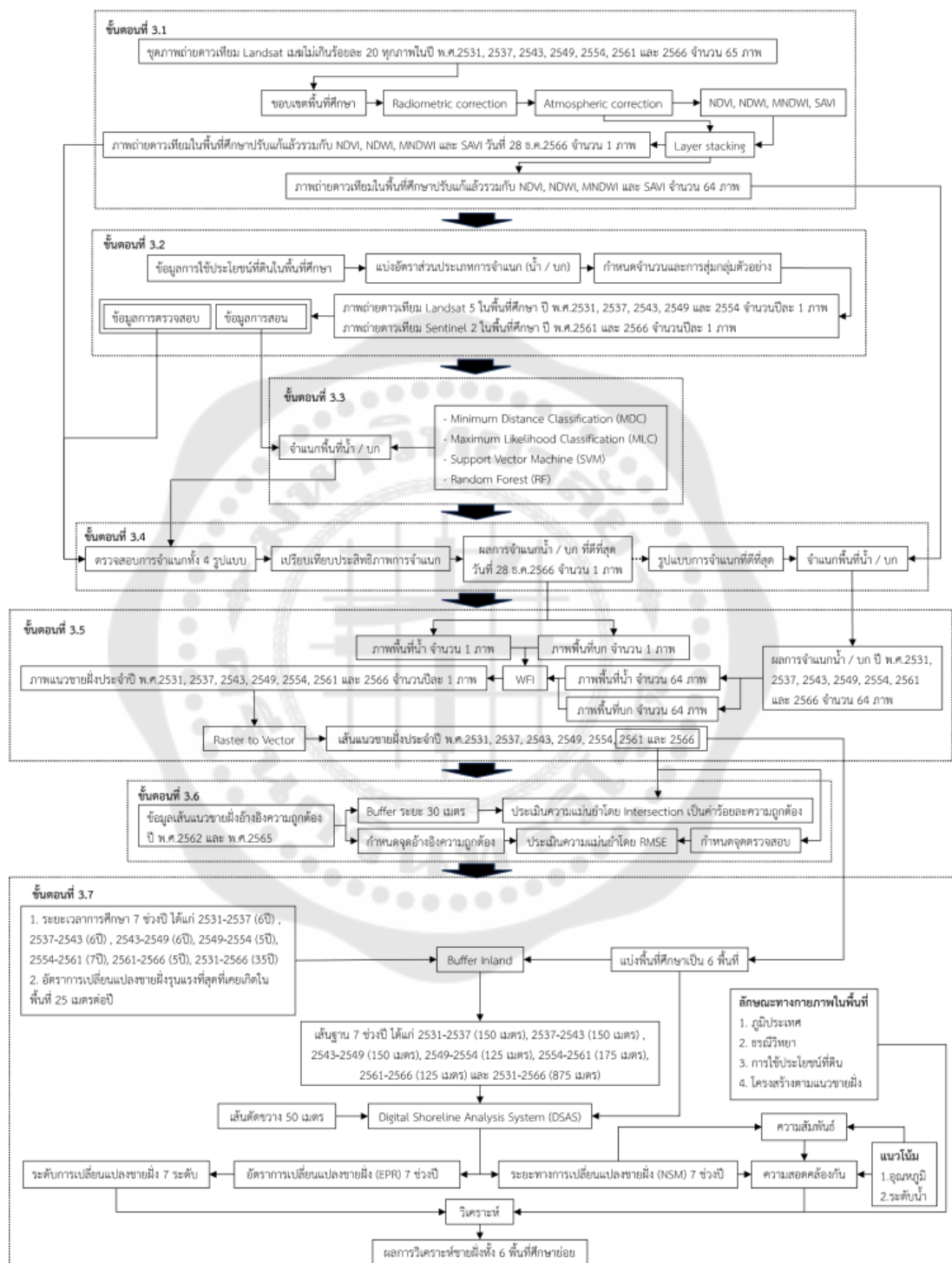
2.10 แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1: 250,000 จำนวน 4 ระวัง รูปแบบ GEOTIFF FILE จำนวน 4 ไฟล์ ตามตาราง 12 จาก กรมทรัพยากรธรณี โดยข้อมูลดังกล่าวใช้สำหรับเป็นข้อมูลลักษณะธรณีวิทยา เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

ตาราง 12 แผนที่ธรณีวิทยา จำนวน 4 ระวัง ที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ	ชื่อแผนที่	ระวัง	มาตราส่วน	พิมพ์ครั้งที่
1	จังหวัดนครปฐม	ND47-11	1: 250,000	1
2	กรุงเทพมหานคร	ND47-12	1: 250,000	1
3	อำเภอหัวหิน	ND47-15	1: 250,000	1
4	จังหวัดระยอง	ND47-16	1: 250,000	1

2.11 ข้อมูลโครงสร้างตามแนวชายฝั่ง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ในรูปแบบ Shapefile จำนวน 1 ไฟล์ จาก กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง โดยข้อมูลดังกล่าวใช้สำหรับเป็นข้อมูลด้านโครงสร้างตามแนวชายฝั่ง เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

3. ขั้นตอนการศึกษา



ภาพประกอบ 21 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมก่อนการจำแนก

การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจำเป็นต้องมีความถูกต้องทางตำแหน่ง และลดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ ที่มีผลต่อการจำแนก รวมไปถึงการเสริมสร้างประสิทธิภาพการจำแนกด้วยการผสมผสานดัชนีต่าง ๆ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

3.1.1 การกำหนดขอบเขตของภาพตามขนาดพื้นที่ศึกษา โดยการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ซึ่งเป็นภาพที่มีเมฆปกคลุมไม่เกินร้อยละ 20 ที่ถูกบันทึกในบริเวณพื้นที่ Path ที่ 129 และ Row ที่ 051 ของปี พ.ศ.2531, พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554, พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 โดยมีจำนวนทั้งหมด 65 ภาพ ตามตาราง 7 และ ภาพประกอบ 19 ซึ่งข้อมูลภาพมีช่วงคลื่น ตามตาราง 6 และ รายละเอียดของภาพ ตามตาราง 8 มาจำกัดขอบเขตให้มีเฉพาะขอบเขตพื้นที่ศึกษา

3.1.2 การปรับแก้เชิงรังสี (Radiometric Correction) เป็นการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดกับภาพถ่ายดาวเทียม อันเนื่องมาจากการรบกวนในชั้นบรรยากาศ หรือจากความบกพร่องของเครื่องรับสัญญาณ ที่ทางสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินตรวจแก้ไขไม่หมด ทำให้ภาพมีความไม่ชัดเจน มีลายเส้นปะปน (Strip/Noise) สำหรับการศึกษานี้ได้ใช้วิธีปรับแก้ 2 ขั้นตอน ดังนี้

ก) การเปลี่ยนค่าความสว่างในภาพให้เป็นค่าการแผ่รังสีสมบูรณ์ (Conversion of Digital Numbers to Absolute Radiance Value) ตามสมการ 18 (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552, น. 80)

$$L = \left(\frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} \right) DN + L_{\min} \quad (18)$$

โดยที่

L	คือ ค่าการแผ่รังสีตามช่วงคลื่น (Spectral radiance)
$L_{\max}$	คือ ค่าการแผ่รังสีสูงสุด ซึ่งแปลงจากค่าความสว่างสูงสุดในช่วงคลื่นนั้น
$L_{\min}$	คือ ค่าการแผ่รังสีต่ำสุด ซึ่งแปลงจากค่าความสว่างต่ำสุดในช่วงคลื่นนั้น
DN	คือ ค่าการสะท้อนของจุดภาพ (Digital number)

ข) การปรับแก้คลื่นรังสีจากบรรยากาศ (Atmospheric correction) ตามสมการ 19 (ชนัดถพงศ์ เลื่องงามเยี่ยม, 2564, น. 51)

$$p = \frac{Ld^2}{E_{\text{sun}} \sin} \quad (19)$$

โดยที่

- p คือ ค่าการสะท้อนแสงที่วัดได้ที่บรรยากาศด้านบน (TOA)
- L คือ ค่าการแผ่รังสีตามช่วงคลื่น (Spectral radiance)
- d คือ ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (Earth-sun distance)
- E_{sun} คือ ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ภายนอกบรรยากาศ (Mean exoatmospheric solar irradiance)
- $\sin$ คือ มุมยกของดวงอาทิตย์ (Sun elevation) คำนวณจากมุม 90 องศา ลบ ด้วย Solar Zenith Angle

ผลลัพธ์ที่ได้คือ ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่ได้รับการปรับแก้เชิงรังสี โดยมีทั้งหมด 65 ภาพ ซึ่งเป็นทั้งหมด 7 ปี

3.1.3 การสร้างดัชนีเพื่อเสริมประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทข้อมูล วิธีการนี้ได้นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ในพื้นที่ศึกษาทุกภาพที่ผ่านการปรับแก้เชิงรังสีแล้ว จำนวน 65 ภาพ มาประมวลผลข้อมูลภาพเพื่อทำการสร้างข้อมูลภาพอัตราส่วนเชิงคลื่นทั้ง 4 รูปแบบ ได้แก่ NDVI ตามสมการ 3, NDWI ตามสมการ 4, MNDWI ตามสมการ 5 และ SAVI ตามสมการ 6

ผลลัพธ์ที่ได้คือ ข้อมูลภาพอัตราส่วนเชิงคลื่นทั้ง 4 รูปแบบ จากทั้งหมด 65 ภาพ

3.1.4 การรวมชั้นข้อมูลภาพ (Layer Stacking) นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ในพื้นที่ศึกษาทุกภาพที่ผ่านการปรับแก้เชิงรังสีแล้ว โดย 1 ชุดข้อมูลภาพรวมกับ 4 อัตราส่วนเชิงคลื่น โดยนำข้อมูลภาพทั้งหมดรวมเป็นชั้นข้อมูล (Layer Stacking) ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลทั้งหมด 65 ภาพ

ผลลัพธ์ที่ได้คือ ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ทุกภาพในพื้นที่ศึกษา มีจำนวนช่วงคลื่นที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 และ Landsat 7 มีช่วงคลื่น Blue, Green, Red, NIR, SWIR1, SWIR2, NDVI, NDWI, MNDWI และ SAVI ในส่วนภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 และ Landsat 9 มีช่วงคลื่น Coastal Aerosol, Blue, Green, Red, NIR, SWIR1, SWIR2, NDVI, NDWI, MNDWI และ SAVI

3.2 การเตรียมข้อมูลการสอนและการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนก

3.2.1 กำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่าง เพื่อใช้ในการจำแนกประเภทข้อมูลจุดภาพ (Pixel) ทั้งหมดที่อยู่ในภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ในพื้นที่ศึกษา ด้วยการคำนวณจากสูตรของ Yamane ปี ค.ศ.1973 ตามสมการ 20 (สมชาย วรภิเษมสกุล, 2554, น. 170)

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (20)$$

โดยที่

n คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N คือ ขนาดของประชากร

e คือ ความคลาดเคลื่อนของการประเมินค่า (0.05 หรือ 0.01)

ผลลัพธ์ที่ได้คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการจำแนก

3.2.2 รวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดสมุทรสงคราม จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร จังหวัดชลบุรี และ จังหวัดฉะเชิงเทรา ทั้ง 7 ปี เพื่อใช้ในการจำแนกประเภทข้อมูลในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ น้ำ และ บก จากนั้นทำการคำนวณอัตราส่วนพื้นที่น้ำ และ พื้นที่บก ในพื้นที่ศึกษาให้เป็นค่าร้อยละ

ผลลัพธ์ที่ได้คือ อัตราส่วนพื้นที่น้ำ และ พื้นที่บก ในพื้นที่ศึกษาทั้ง 7 ปี

3.2.3 กำหนดจำนวนของประเภทการจำแนก ด้วยการนำอัตราส่วนพื้นที่น้ำ และ พื้นที่บก ในพื้นที่ศึกษาทั้ง 7 ปี มาคำนวณร่วมกับจำนวนกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการจำแนก

ผลลัพธ์ที่ได้คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่เป็นพื้นที่น้ำและพื้นที่บกที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาของแต่ละปี

3.2.4 การสร้างข้อมูลสุ่มกลุ่มตัวอย่างจากข้อมูลภาพทั้งหมด 7 ปี ด้วยวิธีสุ่มแบบชั้นภูมิ (Stratified Random Sampling) เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการจำแนก มีการกระจายตัวในพื้นที่อย่างเหมาะสมและเป็นอัตราส่วนที่ถูกต้องในแต่ละประเภทของการจำแนก (สมชาย วรภิเษมสกุล, 2554, น. 163) โดยสร้างข้อมูล Vector ชนิด Point ด้วยการสร้างจุดตัวอย่างของพื้นที่น้ำตามชายฝั่งและในทะเล ส่วนพื้นที่บกได้ทำการสร้างจุดตัวอย่างตามพื้นที่ต่าง ๆ ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่เมือง พื้นที่ป่าไม้ และ พื้นที่รกร้างว่างเปล่า ที่อยู่ในภาพถ่ายดาวเทียม ในพื้นที่ศึกษาของแต่ละปี

ผลลัพธ์ที่ได้คือ ข้อมูล Vector ชนิด Point จากกลุ่มตัวอย่างของการจำแนกประเภทน้ำและบกที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาของแต่ละปี

3.2.5 กำหนดข้อมูลการสอนและการตรวจสอบการจำแนก โดยสร้างข้อมูลการสอน (Training data) ที่ร้อยละ 70 และ ข้อมูลตรวจสอบ (Testing data) ที่ร้อยละ 30 ทั้ง 7 ปี โดยมีจำนวน ตามตาราง 13 ทั้งนี้ข้อมูลที่ใช้ในการสอนจะไม่ใช้ข้อมูลชุดเดียวกันกับข้อมูลตรวจสอบ

ผลลัพธ์ที่ได้คือ ข้อมูลการสอน ร้อยละ 70 และข้อมูลตรวจสอบ ร้อยละ 30 ทั้ง 7 ปี ในรูปแบบข้อมูล Vector ชนิด Point

ตาราง 13 อัตราส่วนพื้นที่น้ำกับบก ในแต่ละช่วงปีที่ใช้จำแนก

ชุด	ปีที่จำแนก	คำนวณจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน	อัตราส่วนน้ำ / บก	จำนวนตัวอย่าง น้ำ/บก (2,000จุด)	Training 70% / Testing 30%
1	พ.ศ.2531	พ.ศ.2543 - 2544	79.53% / 20.47%	1,590จุด / 410จุด	1,400จุด / 600จุด
2	พ.ศ.2537	พ.ศ.2543 - 2544	79.53% / 20.47%	1,590จุด / 410จุด	1,400จุด / 600จุด
3	พ.ศ.2543	พ.ศ.2543 - 2544	79.53% / 20.47%	1,590จุด / 410จุด	1,400จุด / 600จุด
4	พ.ศ.2549	พ.ศ.2549 - 2550	79.80% / 20.20%	1,596จุด / 404จุด	1,400จุด / 600จุด
5	พ.ศ.2554	พ.ศ.2553 - 2554	79.91% / 20.09%	1,598จุด / 402จุด	1,400จุด / 600จุด
6	พ.ศ.2561	พ.ศ.2560 - 2561	79.99% / 20.01%	1,600จุด / 400จุด	1,400จุด / 600จุด
7	พ.ศ.2566	พ.ศ.2562 - 2566	80.02% / 19.98%	1,600จุด / 400จุด	1,400จุด / 600จุด

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

การทดสอบประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลประเภทข้อมูลบนภาพถ่ายดาวเทียม Landsat โดยในการดำเนินการในครั้งนี้ได้เลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ที่ได้บันทึกข้อมูลภาพในปี พ.ศ.2566 จำนวน 1 ภาพ (ใช้ภาพในวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ.2566) ตามตาราง 8 จากนั้นทำการประมวลผลข้อมูลด้วยชุดข้อมูลการสอนที่มีทั้งหมดร้อยละ 70 โดยทำการจำแนกประเภทข้อมูลทั้งหมด 4 วิธีการ ได้แก่ วิธีระยะห่างต่ำที่สุด (Minimum distance to means), วิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุด (Maximum likelihood classifier), วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine) และ วิธีป่าสุ่ม (Random forest)

ผลลัพธ์ที่ได้คือ ผลการจำแนกประเภทข้อมูลทั้ง 4 วิธีการ

3.4 การตรวจสอบความถูกต้องและการเปรียบเทียบผลการจำแนกประเภท

ข้อมูล

ขั้นตอนนี้จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำแนกประเภทข้อมูลทั้ง 4 รูปแบบ โดยใช้ข้อมูลตรวจสอบ ร้อยละ 30 ซึ่งคำนวณค่าความถูกต้องทั้งหมด 4 ค่า ได้แก่ ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's accuracy) ตามสมการ 13, ค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน (User's accuracy) ตามสมการ 14, ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) ตามสมการ 15 และ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Cohen's kappa) ตามสมการ 16 ด้วย Confusion Matrix Table ตามตาราง 5 แล้วนำค่าความถูกต้องทั้ง 4 ค่า ของการจำแนกทั้ง 4 รูปแบบ มาเปรียบเทียบกัน

ผลลัพธ์ที่ได้คือ วิธีการในการจำแนกประเภทข้อมูลที่มีค่าความถูกต้องสูงที่สุด สำหรับใช้เป็นเครื่องมือในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ทั้งหมด 65 ข้อมูลภาพ

3.5 การสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี

การสร้างเส้นแนวชายฝั่งจากข้อมูลภาพผลลัพธ์การจำแนกประเภทข้อมูล ในกระบวนการนี้จะนำข้อมูลภาพในแต่ละปีมาทำการสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี (Annual shoreline) เพื่อเป็นตัวแทนเส้นแนวชายฝั่งในแต่ละปี เนื่องจากข้อมูลภาพในแต่ละปีอาจมีความแตกต่างในเรื่องของระดับน้ำขึ้นและน้ำลง จึงทำให้เส้นแนวชายฝั่งมีความแตกต่างกันในแต่ละข้อมูลภาพ ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบจากระดับน้ำทะเลที่ต่างกัน จึงได้ดำเนินการในการสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปีโดยมีวิธีดำเนินการ ตามภาพประกอบ 22 ดังนี้

3.5.1 นำภาพการจำแนกประเภทข้อมูลในแต่ละปี มาดำเนินการสร้างข้อมูล Binary Raster ที่ประกอบด้วย 2 พื้นที่ ได้แก่ 1) Binary Raster พื้นที่น้ำโดยระบุค่าพื้นที่น้ำ = 1, ไม่ใช่พื้นที่น้ำ = 0 และ 2) Binary Raster พื้นที่บกโดยระบุค่าพื้นที่บก = 1, ไม่ใช่พื้นที่บก = 0

ผลลัพธ์ที่ได้คือ Binary Raster ของพื้นที่น้ำและพื้นที่บกในแต่ละภาพทั้ง 7 ปี

3.5.2 รวม Binary Raster พื้นที่น้ำ (น้ำ = 1, ไม่ใช่ น้ำ = 0) จากข้อมูลภาพทั้งหมด โดยแต่ละปีจะมีจำนวนข้อมูลภาพไม่เท่ากัน

ผลลัพธ์ที่ได้คือ ผลรวมข้อมูลภาพ Binary Raster ของพื้นที่น้ำในแต่ละภาพทั้ง 7 ปี

3.5.3 รวม Binary Raster พื้นที่บก (บก = 1, ไม่ใช่บก = 0) จากข้อมูลภาพทั้งหมด โดยแต่ละปีจะมีจำนวนข้อมูลภาพไม่เท่ากัน

ผลลัพธ์ที่ได้คือ ผลรวมข้อมูลภาพ Binary Raster ของพื้นที่บกในแต่ละภาพทั้ง 7 ปี

3.5.4 นำข้อมูลผลรวมข้อมูลภาพ Binary Raster พื้นที่น้ำในแต่ละปี และข้อมูลผลรวมข้อมูลภาพ Binary Raster พื้นที่บกในแต่ละปี มาสร้างดัชนีความถี่น้ำ (Water Frequency Index: WFI) ตามสมการ 17

ผลลัพธ์ที่ได้คือ ภาพดัชนีความถี่น้ำ จำนวน 1 ภาพ ทั้ง 7 ปี

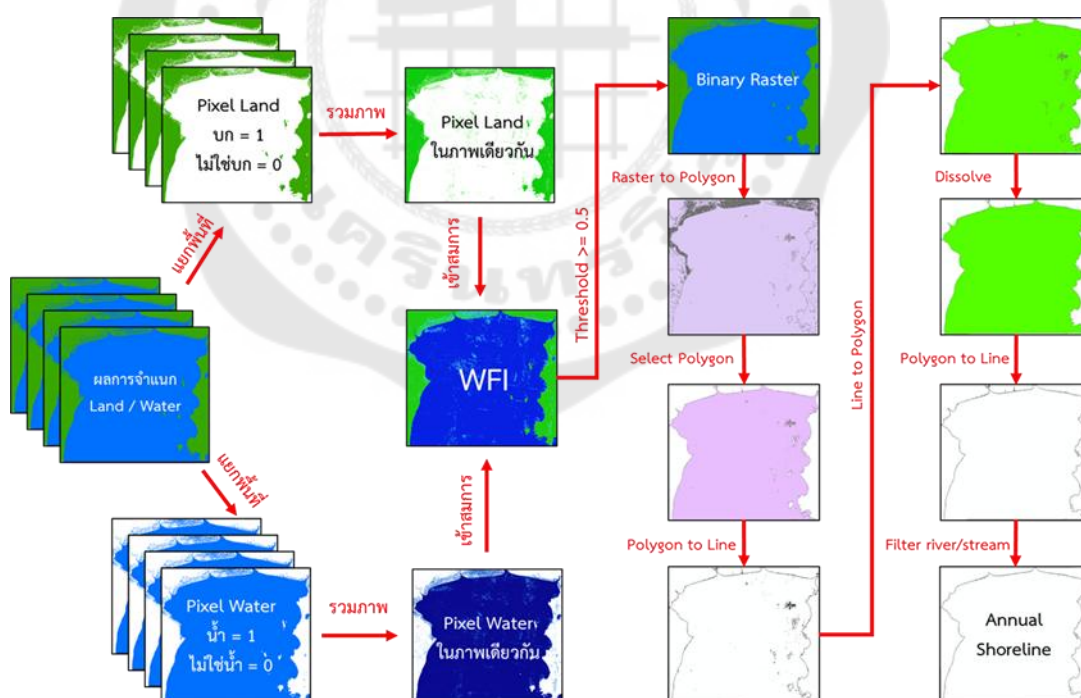
3.5.5 นำข้อมูลภาพดัชนีความถี่น้ำในแต่ละปี มากำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่ 0.5 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้แบ่งพื้นที่น้ำและพื้นที่บก (Quang et al., 2021; Xu, 2018)

ผลลัพธ์ที่ได้คือ ภาพแนวชายฝั่งประจำปีในรูปแบบ Binary Raster จำนวน 1 ภาพ ทั้ง 7 ปี

3.5.6 นำภาพแนวชายฝั่งประจำปีในรูปแบบ Binary Raster มาแปลงเป็นข้อมูล Vector ชนิด Line

3.5.7 นำข้อมูล Vector ชนิด Line มาจำกัดขอบเขตพื้นที่ปากแม่น้ำและลำคลอง

ผลลัพธ์ที่ได้คือ เส้นแนวชายฝั่งประจำปี ในรูปแบบ Vector จำนวน 1 เส้น ทั้ง 7 ปี



ภาพประกอบ 22 ขั้นตอนการสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี

3.6 การประเมินความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่ง

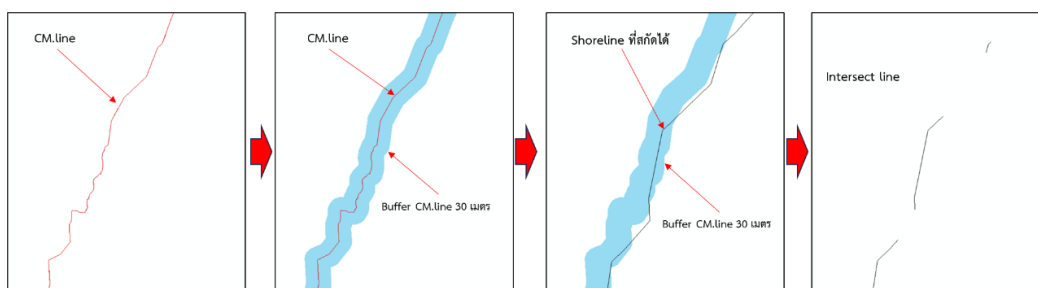
การตรวจสอบความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งที่สร้างขึ้นจากกระบวนการสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี โดยนำข้อมูลเส้นแนวชายฝั่งจากกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งมาใช้ในการตรวจสอบความแม่นยำกับข้อมูลเส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่สร้างขึ้น เนื่องจากทางกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งได้ทำการตรวจสอบและรายงานสถานภาพชายฝั่งประเทศไทยจำนวน 2 ปีเท่านั้น ได้แก่ พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบเส้นแนวชายฝั่งประจำปี พ.ศ.2531, พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549 และ พ.ศ.2554 ได้ โดยกระบวนการในการตรวจสอบความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปีมีด้วยกัน 2 ขั้นตอนดังนี้

3.6.1 การตรวจสอบความแม่นยำด้วยการซ้อนทับข้อมูล (Overlay)

ก) นำเส้นแนวชายฝั่งอ้างอิงความถูกต้อง (CM.line) ในบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน ปี พ.ศ.2562 และ พ.ศ.2565 มาทำการ Buffer โดยกำหนดระยะเท่ากับ 30 เมตร ซึ่งค่าดังกล่าวได้มีการอ้างอิงจากความละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่ได้นำมาใช้ในการประมวลผลเพื่อสกัดเส้นแนวชายฝั่ง จะได้พื้นที่แนวชายฝั่งอ้างอิงรูปแบบ Vector ชนิด Polygon โดยที่ความกว้างทั้ง 2 ด้าน ด้านละ 30 เมตร

ข) ตรวจสอบความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี ตามภาพประกอบ 23 ด้วยวิธีการซ้อนทับข้อมูล (Overlay) ระหว่างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี ในรูปแบบ Vector ชนิด Line กับพื้นที่แนวชายฝั่งอ้างอิงความถูกต้องรูปแบบ Vector ชนิด Polygon จากนั้นทำการ Intersect เพื่อคำนวณหาขนาดของข้อมูลเส้นที่อยู่ภายในและภายนอกพื้นที่แนวชายฝั่งอ้างอิง โดยทำการคำนวณความความแม่นยำสูงและต่ำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปีเป็นค่าร้อยละ ตามสมการ 21

$$\text{ร้อยละความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งที่สกัดได้} = \frac{\text{ความยาว Intersect line}}{\text{ความยาวเส้นแนวชายฝั่งที่สกัดได้}} \times 100 \quad (21)$$



ภาพประกอบ 23 การตรวจสอบความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี
ด้วยการซ้อนทับข้อมูล (Overlay)

3.6.2 การตรวจสอบความแม่นยำโดยค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE)

ก) กำหนดจุดอ้างอิงความถูกต้อง (Reference points) บนเส้นแนวชายฝั่งอ้างอิงความถูกต้อง (CM.line) ทั้งปี พ.ศ.2562 และ พ.ศ.2565 โดยที่แต่ละจุดจะเรียงต่อกันทุก ๆ 1 กิโลเมตร อย่างเป็นระบบ (Systematic) ตามภาพประกอบ 24

ข) กำหนดจุดตรวจสอบความถูกต้อง (Check points) ในเส้นแนวชายฝั่งประจำปี (Annual Shoreline) ทั้งปี พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 ซึ่งจะกำหนดให้อยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับจุดอ้างอิงความถูกต้อง (Reference points) ในแต่ละจุด ตามภาพประกอบ 24

ค) ตรวจสอบความแม่นยำระหว่างจุดอ้างอิงความถูกต้อง (Reference points) กับ จุดตรวจสอบความถูกต้อง (Check points) ในแต่ละจุด แล้วคำนวณค่าการตรวจสอบ ตามสมการ 22

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (22)$$

โดยที่

$RMSE$ คือ ความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย

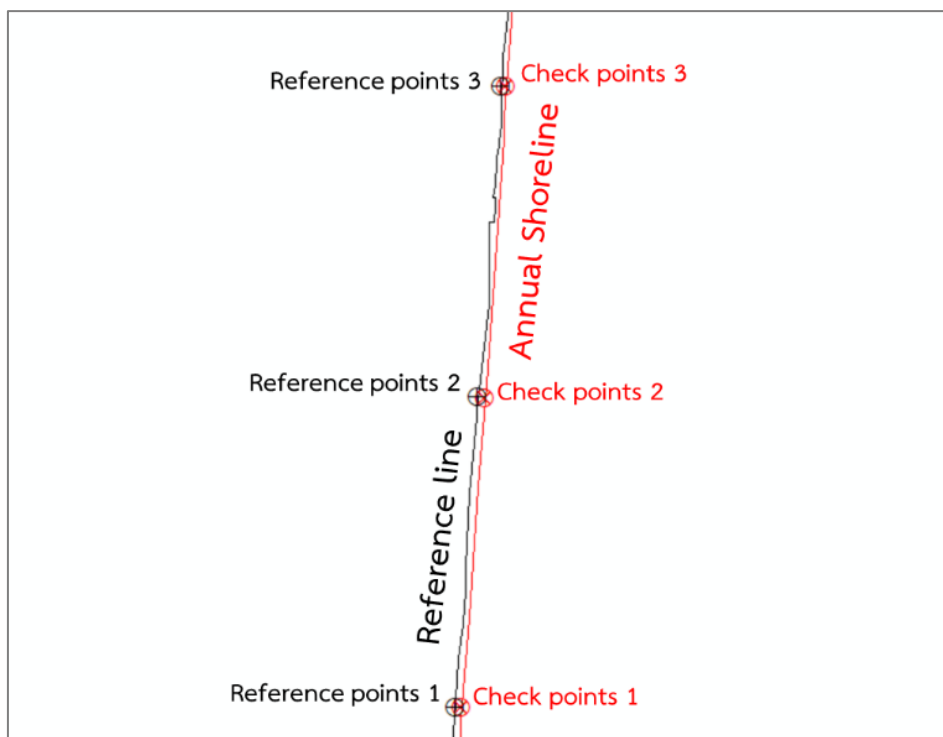
n คือ จำนวนจุดที่ใช้ตรวจสอบทั้งหมด

i คือ จุดตรวจสอบเริ่มจาก 1 ถึง n

x คือ ผลต่างค่าพิกัดระหว่างจุดตรวจสอบและจุดอ้างอิงในแกน x

y คือ ผลต่างค่าพิกัดระหว่างจุดตรวจสอบและจุดอ้างอิงในแกน y

ผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 ทั้งค่าร้อยละการซ้อนทับข้อมูล และค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย



ภาพประกอบ 24 การตรวจสอบความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี
ด้วยค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย (RMSE)

3.7 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

3.7.1 การแบ่งพื้นที่ในการวิเคราะห์

เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีลักษณะทางกายภาพที่หลากหลาย และมีพลวัตของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่แตกต่างกัน การศึกษานี้จึงได้ทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาตามลักษณะทางกายภาพออกเป็น 6 พื้นที่ศึกษาย่อย ตามภาพประกอบ 25 ดังนี้

พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 อำเภอหัวหิน - แหลมผักเบี้ย

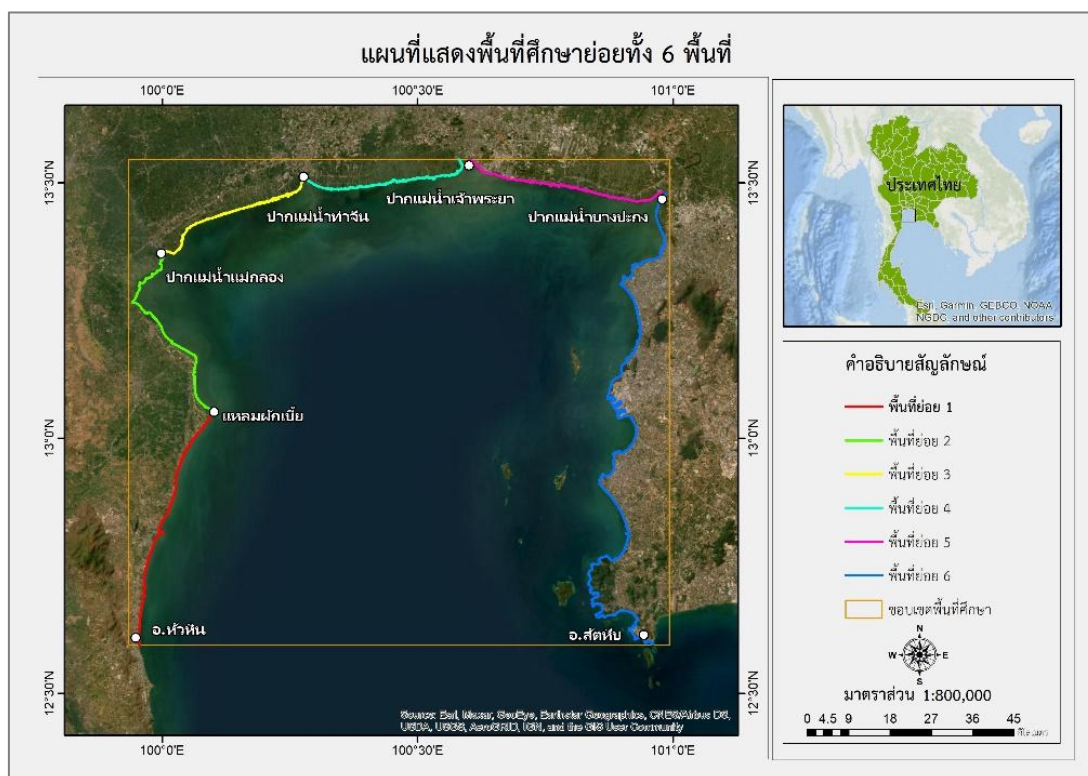
พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 แหลมผักเบี้ย - ปากแม่น้ำแม่กลอง

พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3 ปากแม่น้ำแม่กลอง - ปากแม่น้ำท่าจีน

พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 ปากแม่น้ำท่าจีน - ปากแม่น้ำเจ้าพระยา

พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 ปากแม่น้ำเจ้าพระยา - ปากแม่น้ำบางปะกง

พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6 ปากแม่น้ำบางปะกง - อำเภอสัตหีบ



ภาพประกอบ 25 พื้นที่ศึกษาย่อยทั้ง 6 พื้นที่

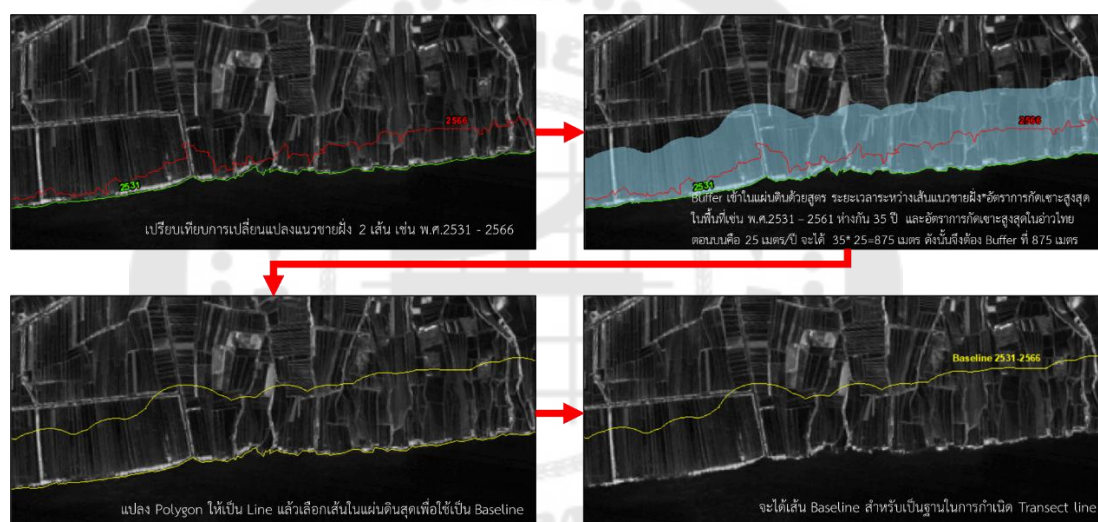
3.7.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System)

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัลนั้น มีขั้นตอนในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ก) การสร้างเส้นฐาน (Baseline) โดยนำเส้นแนวชายฝั่งประจำปีทั้งหมด 7 ปี ที่ได้ผ่านการตรวจสอบความแม่นยำแล้ว มาดำเนินการสร้างพื้นที่ Buffer เข้าไปในแผ่นดินที่ระยะห่างของเส้นฐาน ตามสมการ 1 จากข้อมูลอัตราการกัดเซาะชายฝั่งสูงสุดขั้นวิกฤตที่เคยเกิดขึ้นของอ่าวไทยตอนบนคือ 25 เมตรต่อปี ทั้งนี้ระยะเวลาที่ทำการศึกษานี้มี 7 ช่วงปี ดังนั้นจึงทำการกำหนดระยะห่างของเส้นฐานในแต่ละช่วงปี ตามตาราง 14 เพื่อใช้เป็นค่าระยะห่างระหว่างเส้นฐานกับเส้นแนวชายฝั่งประจำปี จากนั้นจึงทำการสร้างเป็นข้อมูล Vector ชนิด Line และกำหนดข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute data) ตามตาราง 3 โดยผลลัพธ์ที่ได้คือ เส้นฐาน จำนวน 6 พื้นที่ศึกษาย่อย ทั้งหมด 7 ช่วงปี ตามภาพประกอบ 26

ตาราง 14 ระยะห่างระหว่างเส้นฐานกับเส้นแนวชายฝั่งประจำปีในแต่ละช่วงปี

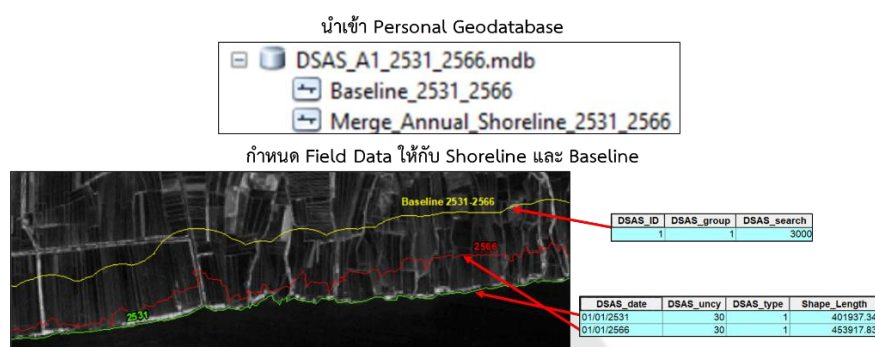
ช่วงปี พ.ศ.	ระยะห่างของช่วงปี	อัตรากัดเซาะสูงสุดในอดีต	ระยะห่างของเส้นฐาน
2531-2537	6 ปี	25 เมตรต่อปี	150 เมตร
2537-2543	6 ปี	25 เมตรต่อปี	150 เมตร
2543-2549	6 ปี	25 เมตรต่อปี	150 เมตร
2549-2554	5 ปี	25 เมตรต่อปี	125 เมตร
2554-2561	7 ปี	25 เมตรต่อปี	175 เมตร
2561-2566	5 ปี	25 เมตรต่อปี	125 เมตร
2531-2566	35 ปี	25 เมตรต่อปี	875 เมตร



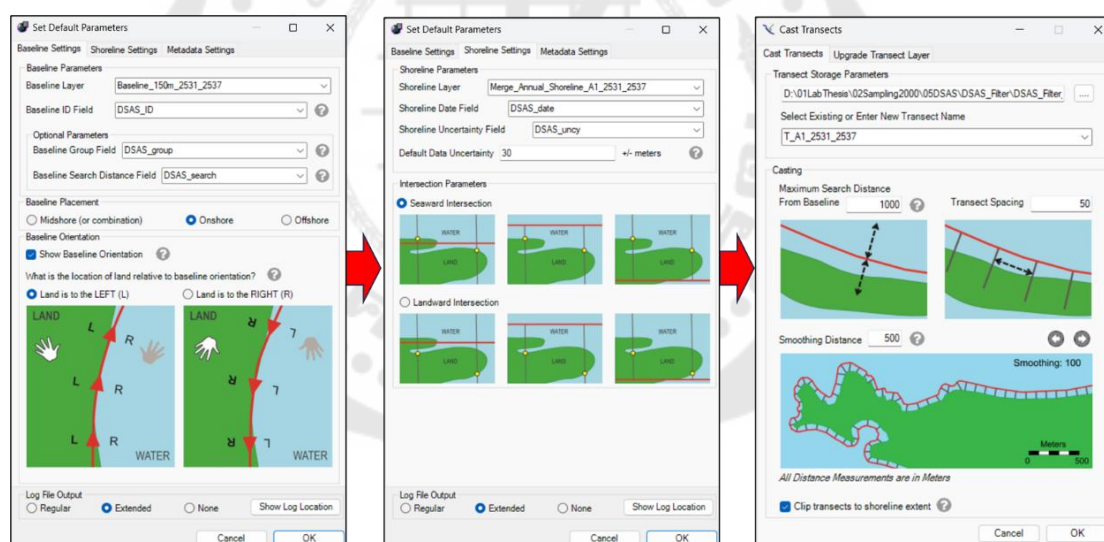
ภาพประกอบ 26 การสร้างเส้นฐาน (Baseline)

ข) การเตรียมเส้นแนวชายฝั่งประจำปีโดยกำหนดข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute data) ตามตาราง 3 และภาพประกอบ 27 และทำการกำหนดค่าใน DSAS_uncy ให้เท่ากับค่า Default Data Uncertainty ที่ 30 เมตร ซึ่งเป็นค่าที่ระบุถึงความไม่แน่นอนของความถูกต้องเชิงตำแหน่งเส้นแนวชายฝั่งตามความละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ตามภาพประกอบ 28 โดยผลลัพธ์ที่ได้คือ เส้นแนวชายฝั่งประจำปีพร้อมสำหรับการวิเคราะห์ทั้ง 6 พื้นที่ศึกษาย่อยทั้ง 7 ช่วงปี

ค) การสร้าง Personal Geodatabase โดยทำการนำเข้าเส้นแนวชายฝั่งประจำปี และเส้นฐานทั้ง 6 พื้นที่ศึกษาย่อย ทั้ง 7 ปี มาทำการคำนวณค่าสถิติต่าง ๆ ในระบบวิเคราะห์ แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล พร้อมกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามตาราง 4 และกำหนดเส้นตัดขวาง (Transect) ให้มีระยะห่างระหว่างกันที่ระยะ 50 เมตร ตามภาพประกอบ 28



ภาพประกอบ 27 การเตรียมข้อมูลก่อนการคำนวณ



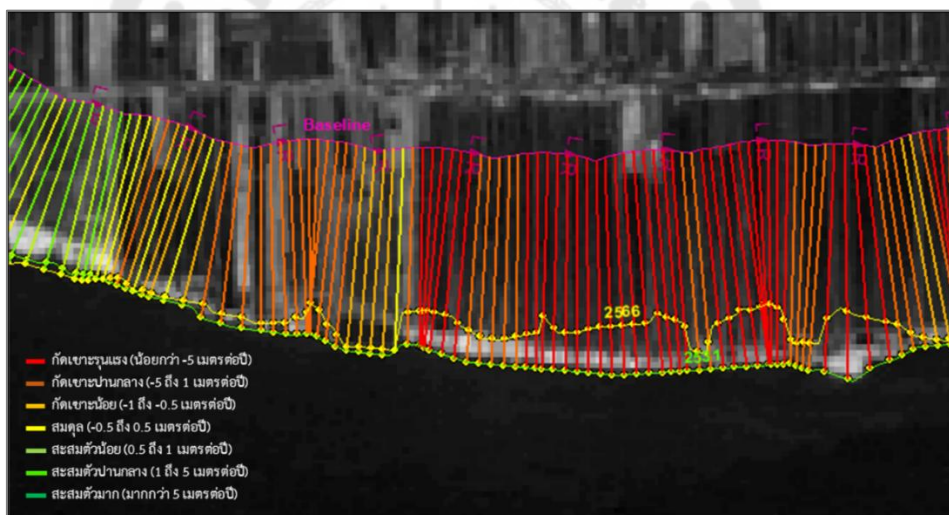
ภาพประกอบ 28 กำหนดค่าต่าง ๆ ในระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล

ง) การวิเคราะห์ระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยวิธีการนี้จะนำข้อมูลค่าการเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่งสุทธิ (Net Shoreline Movement: NSM) เป็นค่าการคำนวณระยะทางการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และอัตราจุดสิ้นสุด (End Point Rate: EPR) เป็นค่าการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ซึ่งทำการประมวลผลเฉพาะพื้นที่ตามแนวชายฝั่ง โดยจะไม่ทำการวิเคราะห์พื้นที่บริเวณปากแม่น้ำและสิ่งล่องล้าในทะเล โดยทำการกำหนดระดับความรุนแรง

ของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตามเกณฑ์ของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ซึ่งแบ่งออกเป็น 7 ระดับ ได้แก่ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2566ก, น. 16)

- กัดเซาะรุนแรง มีอัตราการกัดเซาะมากกว่า 5 เมตรต่อปี
- กัดเซาะปานกลาง มีอัตราการกัดเซาะ 1 ถึง 5 เมตรต่อปี
- กัดเซาะน้อย มีอัตราการกัดเซาะ 0.5 ถึง 1 เมตรต่อปี
- สมดุล มีอัตราการกัดเซาะ 0.5 ถึง อัตราการสะสมตัว 0.5 เมตรต่อปี
- สะสมน้อย มีอัตราการสะสม 1 ถึง 0.5 เมตรต่อปี
- สะสมตัวปานกลาง มีอัตราการสะสมตัว 1 ถึง 5 เมตรต่อปี
- สะสมตัวมาก มีอัตราการสะสมตัวมากกว่า 5 เมตรต่อปี

ผลลัพธ์ที่ได้คือ แผนที่ระดับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ตามภาพประกอบ 29 และข้อมูลระยะทางการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทั้ง 7 ช่วงปี ทั้งหมด 6 พื้นที่ศึกษาย่อย



ภาพประกอบ 29 การวิเคราะห์ชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล ที่กำหนดระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทั้ง 7 ระดับ

3.7.3 การวิเคราะห์สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

ก) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง 3 ปัจจัย ทั้งในระดับโลกและในบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในระดับโลกจะใช้ข้อมูลอุณหภูมิโลกเฉลี่ยรายปีจากการประมาณค่าเฉลี่ยทั่วโลก โดยอ้างอิงค่าอุณหภูมิจากการบันทึกข้อมูลแผ่นดินและมหาสมุทร จาก NASA และข้อมูลระดับน้ำทะเลของโลกรายปีจากการประมาณค่าอ้างอิง

จากระดับทะเลปานกลาง จาก AVISO ในส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในภาพรวมของบริเวณอ่าวไทยตอนบนจะใช้ผลรวมของค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีจากสถานีอุตุนิยมวิทยา และผลรวมของค่าระดับน้ำเฉลี่ยรายปีจากสถานีวัดระดับน้ำที่อยู่ในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ตามตาราง 15 รวมถึงค่าระยะทางการกัดเซาะชายฝั่งสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีที่ได้จากการคำนวณด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล เพื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ทั้ง 3 ปัจจัย

ข) วิเคราะห์แนวโน้มของสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งที่เกิดขึ้นทั้งภาพรวมของอ่าวไทยตอนบนและในแต่ละพื้นที่ศึกษาย่อย โดยใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีจากสถานีอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่หรือบริเวณใกล้เคียง และค่าระดับน้ำเฉลี่ยรายปีจากสถานีวัดระดับน้ำในพื้นที่หรือบริเวณใกล้เคียง ตามตาราง 15 รวมถึงค่าระยะทางการกัดเซาะชายฝั่งสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีที่ได้จากการคำนวณด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล เพื่อทำการศึกษาแนวโน้มทั้ง 3 ปัจจัย

ตาราง 15 ที่มาของข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบกับระยะทางการกัดเซาะชายฝั่ง

พื้นที่ย่อยที่ 1	พื้นที่ย่อยที่ 2	พื้นที่ย่อยที่ 3	พื้นที่ย่อยที่ 4	พื้นที่ย่อยที่ 5	พื้นที่ย่อยที่ 6
สถานีอุตุนิยมวิทยา เพชรบุรี	สถานีอุตุนิยมวิทยา เพชรบุรี	สถานีอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร	สถานีอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร	สถานีอุตุนิยมวิทยา สมุทรปราการ	สถานีอุตุนิยมวิทยา ชลบุรี
สถานีวัดระดับน้ำ บ้านแหลม	สถานีวัดระดับน้ำ บ้านแหลม	สถานีวัดระดับน้ำ สมุทรสาคร	สถานีวัดระดับน้ำ สมุทรสาคร	สถานีวัดระดับน้ำ บางปะกง	สถานีวัดระดับน้ำ อำเภอดม

ค) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของลักษณะทางกายภาพต่อการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งทั้งในภาพรวมของอ่าวไทยตอนบนและในแต่ละพื้นที่ศึกษาย่อย ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะทางธรณีวิทยา ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน และโครงสร้างตามแนวชายฝั่ง รวมถึงกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่ส่งผลต่อแนวชายฝั่ง เพื่ออธิบายถึงสาเหตุและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระดับความรุนแรงและผลกระทบที่ได้รับในแต่ละพื้นที่

บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากการดำเนินการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเล บริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลภูมิสารสนเทศด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System) ซึ่งได้ผลการศึกษาดังนี้

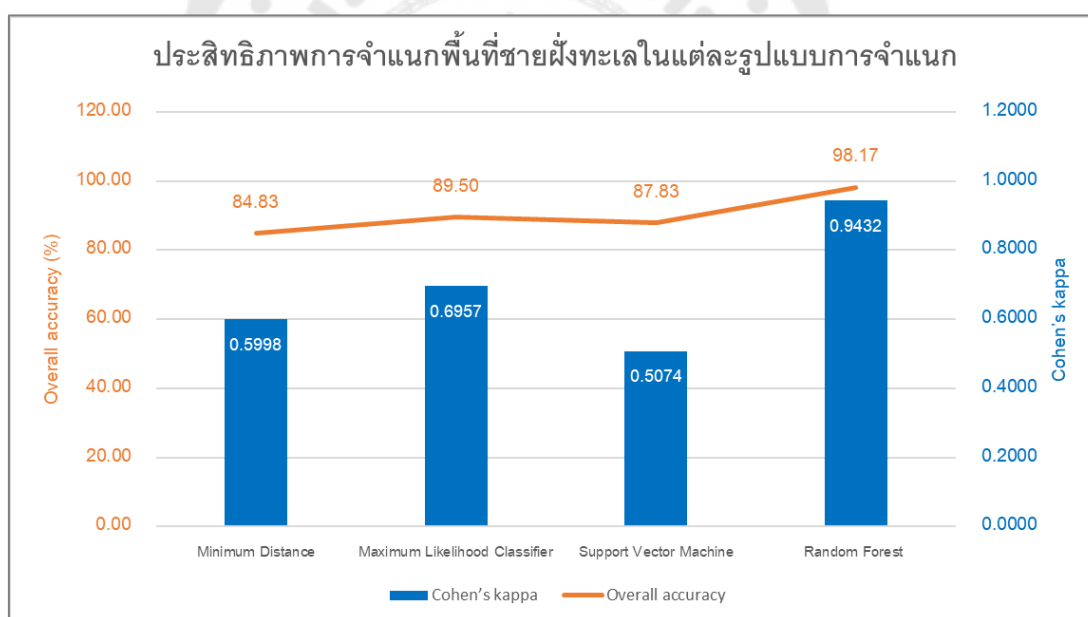
1. ผลการจำแนกและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนก
2. ผลการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเลทั้ง 7 ปี
3. ผลการสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี (Annual Shoreline)
4. ผลการตรวจสอบความถูกต้องของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี
5. ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

1. ผลการจำแนกและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนก

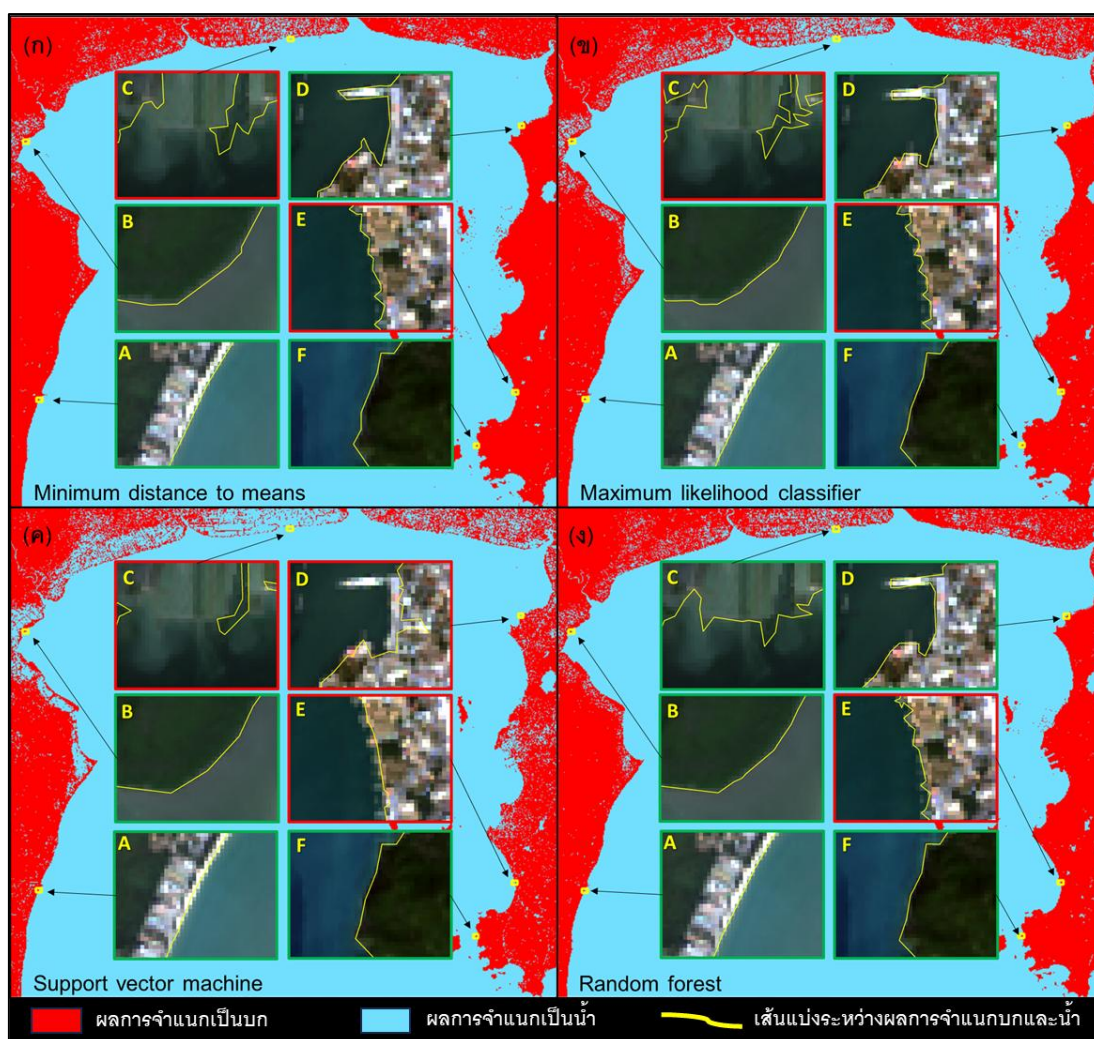
การเปรียบเทียบผลการจำแนกประเภทข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ที่ถูกบันทึกข้อมูลในวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ.2566 โดยใช้ข้อมูลหลายช่วงคลื่นและข้อมูลภาพอัตราส่วนเชิงคลื่นทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ NDWI, MNDWI, NDVI และ SAVI เพื่อทำการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พื้นที่น้ำและพื้นที่บก ด้วยวิธีการในการจำแนกประเภทข้อมูล 4 วิธีการ ได้แก่ วิธีระยะห่างต่ำที่สุด (Minimum distance to means), วิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุด (Maximum likelihood classifier), วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine) และวิธีป่าสุ่ม (Random forest) ซึ่งได้แสดงค่าความถูกต้องทั้ง 4 ค่า ได้แก่ ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's accuracy), ค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน (User's accuracy), ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Cohen's kappa) ด้วย Confusion Matrix Table โดยมีค่าความถูกต้องดังต่อไปนี้

ตาราง 16 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกด้วยวิธีระยะห่างต่ำที่สุด วิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และวิธีป่าสุ่ม ในวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ.2566

ประเภทการจำแนก	วิธี MDC		วิธี MLC		วิธี SVM		วิธี RF	
	น้ำ	บก	น้ำ	บก	น้ำ	บก	น้ำ	บก
น้ำ	405	75	436	44	480	0	473	7
บก	16	104	19	101	73	47	4	116
ผลรวม	421	179	455	145	553	47	477	123
User's accuracy (%)	84.38	86.67	90.83	84.17	100.00	39.17	99.54	96.67
Producer's accuracy (%)	96.20	58.10	95.82	69.99	86.80	100.00	99.16	94.31
Overall accuracy (%)	84.83		89.50		87.83		98.17	
Cohen's kappa	0.5998		0.6957		0.5074		0.9432	



ภาพประกอบ 30 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกด้วยระยะห่างต่ำที่สุด
ความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และป่าสุ่ม
ในวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ.2566



ภาพประกอบ 31 ผลการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนทั้ง 4 วิธี ได้แก่

(ก)ระยะห่างต่ำที่สุด (ข)ความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุด (ค)ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

(ง)ป่าสุ่ม ในวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ.2566 ทั้ง 6 พื้นที่ ได้แก่ (A)ชายหาด

(B)ป่าชายเลน (C)ประมงชายฝั่ง (D)แนวป้องกันชายฝั่งแบบติดฝั่ง

(E)แนวป้องกันชายฝั่งแบบนอกฝั่งระยะไกล และ (F)หน้าผาชัน

จากผลการตรวจสอบการจำแนกด้วยวิธีระยะห่างต่ำที่สุด พบว่า มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ที่ร้อยละ 84.83 และ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ที่ 0.5998 ในส่วนของค่าความถูกต้องของผู้ผลิต พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องร้อยละ 96.20 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องร้อยละ 58.10 ส่วนค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องร้อยละ 84.38 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องร้อยละ 86.67 ตามตาราง 16 และภาพประกอบ 30

ซึ่งในส่วนบริเวณที่จำแนกถูกต้อง คือ ชายหาด ป่าชายเลน แนวป้องกันชายฝั่งแบบติดฝั่ง และ หน้าผาชัน ส่วนบริเวณที่จำแนกผิดพลาด ได้แก่ พื้นที่ประมงชายฝั่ง และแนวป้องกันชายฝั่งแบบ นอกฝั่งระยะใกล้ ตามภาพประกอบ 31(ก)

จากผลการตรวจสอบการจำแนกด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุด พบว่า มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ที่ร้อยละ 89.50 และ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ที่ 0.6957 ในส่วนของค่าความถูกต้องของผู้ผลิต พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องร้อยละ 95.82 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องร้อยละ 69.99 ส่วนค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องร้อยละ 90.83 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องร้อยละ 84.17 ตามตาราง 16 และ ภาพประกอบ 30 ซึ่งในส่วนบริเวณที่จำแนกถูกต้อง คือ ชายหาด ป่าชายเลน แนวป้องกันชายฝั่งแบบติดฝั่ง และหน้าผาชัน ส่วนบริเวณที่จำแนกผิดพลาด ได้แก่ พื้นที่ประมงชายฝั่ง และแนวป้องกันชายฝั่งแบบนอกฝั่งระยะใกล้ ตามภาพประกอบ 31(ข)

จากผลการตรวจสอบการจำแนกด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน พบว่า มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ที่ร้อยละ 87.83 และ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ที่ 0.5074 ในส่วนของค่าความถูกต้องของผู้ผลิต พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องร้อยละ 86.80 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องร้อยละ 100 ส่วนค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องร้อยละ 100 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องร้อยละ 39.17 ตามตาราง 16 และภาพประกอบ 30 ซึ่งในส่วนบริเวณที่จำแนกถูกต้อง คือ ชายหาด ป่าชายเลน และหน้าผาชัน ส่วนบริเวณที่จำแนกผิดพลาด ได้แก่ พื้นที่ประมงชายฝั่ง แนวป้องกันชายฝั่งแบบติดฝั่ง และแนวป้องกันชายฝั่งแบบนอกฝั่งระยะใกล้ ตามภาพประกอบ 31(ค)

จากผลการตรวจสอบการจำแนกด้วยวิธีป่าสุ่ม พบว่า มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ที่ร้อยละ 98.17 และ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ที่ 0.9432 ในส่วนของค่าความถูกต้องของผู้ผลิต พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องร้อยละ 99.16 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องร้อยละ 94.31 ส่วนค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องร้อยละ 99.54 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องร้อยละ 96.67 ตามตาราง 16 และภาพประกอบ 30 ซึ่งในส่วนบริเวณที่จำแนกถูกต้อง คือ ชายหาด ป่าชายเลน พื้นที่ประมงชายฝั่ง แนวป้องกันชายฝั่งแบบติดฝั่ง และหน้าผาชัน ส่วนบริเวณที่จำแนกผิดพลาด คือ แนวป้องกันชายฝั่งแบบนอกฝั่งระยะใกล้ ตามภาพประกอบ 31(ง)

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกทั้ง 4 รูปแบบ ตามตาราง 16 และ ภาพประกอบ 30 พบว่า ทุกรูปแบบแสดงประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทข้อมูลที่สูงทั้งหมด แต่การจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธีป่าสุ่มมีค่าความถูกต้องในการจำแนกประเภทข้อมูลสูงที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ทั้งค่าความถูกต้องโดยรวม ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต และค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน ดังนั้นวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลแบบป่าสุ่มจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาทำการจำแนกประเภทข้อมูลในภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละปี ซึ่งมีทั้งหมด 65 ภาพ

2. ผลการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเลทั้ง 7 ปี

เนื่องจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งนั้นมีการใช้ข้อมูลภาพทั้งหมด 65 ภาพ ซึ่งทำการจัดกลุ่มตามปีได้ทั้งหมด 7 ปี โดยในแต่ละปีจะมีการใช้จำนวนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่แตกต่างกัน โดยมีการแสดงผลค่าความถูกต้องในการจำแนกประเภทข้อมูลภาพในแต่ละปีดังนี้

ตาราง 17 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2531 จำนวน 6 ภาพ ด้วยวิธีป่าสุ่ม

เวลา	ประเภทการจำแนก	น้ำ	บก	User's accuracy (%)	Producer's accuracy (%)	Overall accuracy (%)	Cohen's kappa
10 ม.ค.2531	น้ำ	475	2	99.58	100.00	99.67	0.9898
	บก	0	123	100.00	98.40		
27 ก.พ.2531	น้ำ	467	10	97.90	99.15	97.67	0.9297
	บก	4	119	96.75	92.25		
14 มี.ค.2531	น้ำ	468	9	98.11	99.36	98.00	0.9397
	บก	3	120	97.56	93.02		
30 มี.ค.2531	น้ำ	474	3	99.37	99.58	99.17	0.9745
	บก	2	121	98.37	97.58		
5 ส.ค.2531	น้ำ	472	5	98.95	100.00	99.17	0.9748
	บก	0	123	100.00	96.09		
27 ธ.ค.2531	น้ำ	476	1	99.79	99.79	99.67	0.9898
	บก	1	122	99.19	99.19		

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกข้อมูลภาพที่ถูกบันทึกในปี พ.ศ.2531 ด้วยวิธีป่าสุ่ม ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 6 ภาพ พบว่า ค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ระหว่างร้อยละ 97.67 - 99.67 และ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ระหว่าง 0.9297 - 0.9898 ในส่วนค่าความถูกต้องของผู้ผลิต พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 99.15 - 100 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 92.25 - 99.19 ในส่วนของค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 97.90 - 99.79 และการจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 96.75 - 100 ตามตาราง 17

ตาราง 18 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2537 จำนวน 11 ภาพ ด้วยวิธีป่าสุ่ม

เวลา	ประเภทการ จำแนก	น้ำ	บก	User's accuracy (%)	Producer's accuracy (%)	Overall accuracy (%)	Cohen's kappa
10 ม.ค.2537	น้ำ	471	6	98.74	99.79	98.83	0.9647
	บก	1	122	99.19	95.31		
26 ม.ค.2537	น้ำ	473	4	99.16	99.58	99.00	0.9695
	บก	2	121	98.37	96.80		
11 ก.พ.2537	น้ำ	459	18	96.23	98.71	96.00	0.8816
	บก	6	117	95.12	86.67		
27 ก.พ.2537	น้ำ	473	4	99.16	99.79	99.17	0.9747
	บก	1	122	99.19	96.83		
31 มี.ค.2537	น้ำ	467	10	97.90	99.15	97.67	0.9297
	บก	4	119	96.75	92.25		
2 พ.ค.2537	น้ำ	473	4	99.16	99.79	99.17	0.9747
	บก	1	122	99.19	96.83		
23 ก.ย.2537	น้ำ	473	4	99.16	99.37	98.83	0.9643
	บก	3	120	97.56	96.77		
25 ต.ค.2537	น้ำ	476	1	99.79	100.00	99.83	0.9949
	บก	0	123	100.00	99.19		
10 พ.ย.2537	น้ำ	476	1	99.79	100.00	99.83	0.9949
	บก	0	123	100.00	99.19		
26 พ.ย.2537	น้ำ	471	6	98.74	99.58	98.67	0.9596
	บก	2	121	98.37	95.28		
28 ธ.ค.2537	น้ำ	475	2	99.58	100.00	99.67	0.9898
	บก	0	123	100.00	98.40		

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกประเภทข้อมูลภาพในปี พ.ศ.2537 ด้วยวิธีป่าสุ่ม ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 11 ภาพ พบว่า มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ระหว่างร้อยละ 96 - 99.83 และ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ระหว่าง 0.8816 - 0.9949 ในส่วนค่าความถูกต้องของผู้ผลิต พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 98.71 - 100 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 86.67 - 99.19 ในส่วนค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 96.23 - 99.79 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 95.12 - 100 ตามตาราง 18

ตาราง 19 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2543 จำนวน 6 ภาพ ด้วยวิธีป่าสุ่ม

เวลา	ประเภทการ จำแนก	น้ำ	บก	User's accuracy (%)	Producer's accuracy (%)	Overall accuracy (%)	Cohen's kappa
11 ม.ค.2543	น้ำ	471	6	98.74	99.37	98.50	0.9544
	บก	3	120	97.56	95.24		
12 ก.พ.2543	น้ำ	462	15	96.86	99.78	97.33	0.9215
	บก	1	122	99.19	89.05		
28 ก.พ.2543	น้ำ	474	3	99.37	99.37	99.00	0.9693
	บก	3	120	97.56	97.56		
10 พ.ย.2543	น้ำ	464	13	97.28	99.57	97.50	0.9258
	บก	2	121	98.37	90.30		
12 ธ.ค.2543	น้ำ	477	0	100.00	100.00	100.00	1.0000
	บก	0	123	100.00	100.00		
4 ธ.ค.2543	น้ำ	462	15	96.86	100.00	97.50	0.9266
	บก	0	123	100.00	89.13		

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกประเภทข้อมูลภาพในปี พ.ศ.2543 ด้วยวิธีป่าสุ่ม ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 6 ภาพ พบว่า มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ระหว่างร้อยละ 97.50 - 100 และ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ระหว่าง 0.9215 - 1 ในส่วนค่าความถูกต้องของผู้ผลิต พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 99.37 - 100 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 89.13 - 100 ในส่วนค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 96.86 - 100 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 97.56 - 100 ตามตาราง 19

ตาราง 20 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2549 จำนวน 9 ภาพ ด้วยวิธีป่าสุ่ม

เวลา	ประเภทการจำแนก	น้ำ	บก	User's accuracy (%)	Producer's accuracy (%)	Overall accuracy (%)	Cohen's kappa
27 ม.ค.2549	น้ำ	478	1	99.79	99.79	99.67	0.9896
	บก	1	120	99.17	99.17		
28 ก.พ.2549	น้ำ	466	13	97.29	97.08	95.50	0.8598
	บก	14	107	88.43	89.17		
1 เม.ย.2549	น้ำ	463	16	96.66	98.93	96.50	0.8949
	บก	5	116	95.87	87.88		
8 ก.ย.2549	น้ำ	451	28	94.15	98.47	94.17	0.8299
	บก	7	114	94.21	80.28		
26 ต.ค.2549	น้ำ	475	4	99.16	99.37	98.83	0.9639
	บก	3	118	97.52	96.72		
11 พ.ย.2549	น้ำ	467	12	97.49	98.52	96.83	0.9032
	บก	7	114	94.21	90.48		
27 พ.ย.2549	น้ำ	477	2	99.58	100.00	99.67	0.9897
	บก	0	121	100.00	98.37		
13 ธ.ค.2549	น้ำ	474	5	98.96	99.58	98.83	0.9641
	บก	2	119	98.35	95.97		
29 ธ.ค.2549	น้ำ	478	1	99.79	99.38	99.33	0.9792
	บก	3	118	97.52	99.16		

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกประเภทข้อมูลภาพในปี พ.ศ.2549 ด้วยวิธีป่าสุ่ม ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 9 ภาพ พบว่า ค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ระหว่างร้อยละ 94.17 – 99.67 และ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ระหว่าง 0.8299 – 0.9897 ในส่วนค่าความถูกต้องของผู้ผลิต พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 98.52 – 100 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 80.23 – 99.17 ในส่วนค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 94.15 – 99.79 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 88.43 – 100 ตามตาราง 20

ตาราง 21 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2554 จำนวน 5 ภาพ ด้วยวิธีป่าสุ่ม

เวลา	ประเภทการ จำแนก	น้ำ	บก	User's accuracy (%)	Producer's accuracy (%)	Overall accuracy (%)	Cohen's kappa
25 ม.ค.2554	น้ำ	496	10	97.91	98.12	96.83	0.9020
	บก	9	112	92.56	91.80		
10 ก.พ.2554	น้ำ	473	6	98.75	97.53	97.00	0.9051
	บก	12	109	90.08	94.78		
15 เม.ย.2554	น้ำ	476	3	99.37	97.74	97.67	0.9257
	บก	11	110	90.91	97.35		
5 ส.ค.2554	น้ำ	472	7	98.54	98.13	97.33	0.9167
	บก	9	112	92.56	94.12		
24 ต.ค.2554	น้ำ	472	7	98.54	96.92	96.33	0.8832
	บก	15	106	87.60	93.81		

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกประเภทข้อมูลภาพในปี พ.ศ.2554 ด้วยวิธีป่าสุ่ม ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 5 ภาพ พบว่า มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ระหว่างร้อยละ 96.33 – 97.67 และ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ระหว่าง 0.8832 – 0.9257 ในส่วนค่าความถูกต้องของผู้ผลิต พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 93.92 – 99.37 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 91.80 – 97.35 ในส่วนค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 97.91 – 99.37 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 87.60 – 92.56 ตามตาราง 21

ตาราง 22 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2561 จำนวน 7 ภาพ ด้วยวิธีป่าสุ่ม

เวลา	ประเภทการ จำแนก	น้ำ	บก	User's accuracy (%)	Producer's accuracy (%)	Overall accuracy (%)	Cohen's kappa
13 ก.พ.2561	น้ำ	469	11	97.71	99.58	97.83	0.9341
	บก	2	118	98.33	91.47		
1 มี.ค.2561	น้ำ	452	28	94.17	97.84	93.67	0.8126
	บก	10	110	91.67	79.71		
17 มี.ค.2561	น้ำ	473	7	98.54	96.73	96.17	0.8767
	บก	16	104	86.67	93.69		

ตาราง 22 (ต่อ)

เวลา	ประเภทการ จำแนก	น้ำ	บก	User's accuracy (%)	Producer's accuracy (%)	Overall accuracy (%)	Cohen's kappa
4 พ.ค.2561	น้ำ	455	25	94.79	98.48	94.67	0.8422
	บก	7	113	94.17	81.88		
11 ต.ค.2561	น้ำ	477	3	99.38	95.98	96.17	0.8735
	บก	20	100	83.33	97.09		
27 ต.ค.2561	น้ำ	475	5	98.96	96.94	96.67	0.8925
	บก	15	105	87.50	95.45		
12 พ.ย.2561	น้ำ	461	19	96.04	99.57	96.50	0.8961
	บก	2	118	98.33	86.13		

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกประเภทข้อมูลภาพในปี พ.ศ.2561 ด้วยวิธีป่าสุ่ม ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 7 ภาพ พบว่า มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ระหว่างร้อยละ 93.67 – 97.83 และ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ระหว่าง 0.8126 – 0.9341 ในส่วนค่าความถูกต้องของผู้ผลิต พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 98.98 – 99.58 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 79.71 – 97.09 ในส่วนค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 96.04 – 99.38 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 86.67 – 98.33 ตามตาราง 22

ตาราง 23 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ.2566 จำนวน 21 ภาพ ด้วยวิธีป่าสุ่ม

เวลา	ประเภทการ จำแนก	น้ำ	บก	User's accuracy (%)	Producer's accuracy (%)	Overall accuracy (%)	Cohen's kappa
26 ม.ค.2566	น้ำ	470	10	97.91	99.16	97.67	0.9284
	บก	4	116	96.67	92.06		
11 ก.พ.2566	น้ำ	473	7	98.54	98.54	97.67	0.9271
	บก	7	113	94.17	94.17		
27 ก.พ.2566	น้ำ	473	7	98.54	99.16	98.17	0.9432
	บก	4	116	96.67	94.31		
15 มี.ค.2566	น้ำ	476	4	99.17	98.55	98.17	0.9422
	บก	7	113	94.17	96.58		
31 มี.ค.2566	น้ำ	475	5	98.96	97.54	97.17	0.9095
	บก	12	108	90.00	95.58		
2 พ.ค.2566	น้ำ	476	4	99.17	97.54	97.33	0.9145
	บก	12	108	90.00	96.43		

ตาราง 23 (ต่อ)

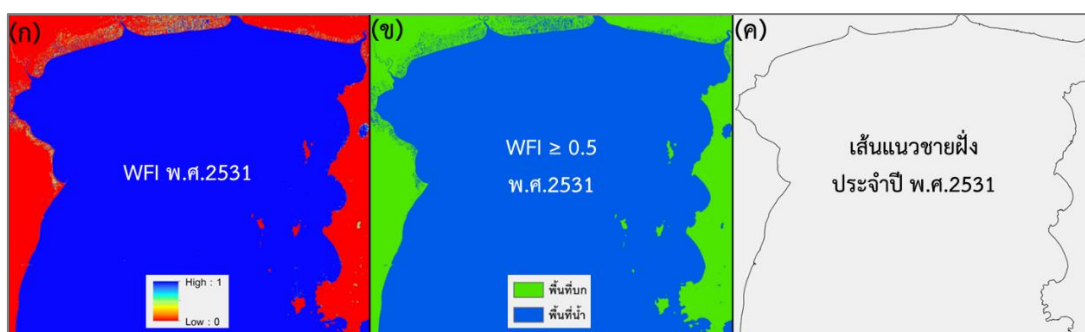
เวลา	ประเภทการ จำแนก	หน้า	บก	User's accuracy (%)	Producer's accuracy (%)	Overall accuracy (%)	Cohen's kappa
18 พ.ค.2566	น้ำ	476	4	99.17	96.36	96.33	0.8802
	บก	18	102	85.00	96.23		
3 มิ.ย.2566	น้ำ	479	1	99.79	97.36	97.67	0.9242
	บก	13	107	89.17	99.07		
12 ธ.ค.2566	น้ำ	474	6	98.75	98.54	97.83	0.9321
	บก	7	113	94.17	94.96		
28 ธ.ค.2566	น้ำ	473	4	98.54	99.16	98.17	0.9432
	บก	4	116	96.67	94.31		
18 ม.ค.2566	น้ำ	469	11	97.70	98.12	96.67	0.8965
	บก	9	111	92.50	90.98		
19 ก.พ.2566	น้ำ	477	3	99.38	98.35	98.17	0.9418
	บก	8	112	93.33	97.39		
7 มี.ค.2566	น้ำ	471	9	98.13	97.52	96.50	0.8896
	บก	12	108	90.00	92.31		
23 มี.ค.2566	น้ำ	475	5	98.96	97.54	97.17	0.9095
	บก	12	108	90.00	95.58		
8 เม.ย.2566	น้ำ	466	14	97.08	98.31	96.33	0.8875
	บก	8	112	93.33	88.89		
24 เม.ย.2566	น้ำ	473	7	98.54	96.73	96.17	0.8767
	บก	16	104	89.67	93.69		
26 พ.ค.2566	น้ำ	475	5	98.96	96.94	96.67	0.8925
	บก	15	105	87.50	95.45		
13 ก.ค.2566	น้ำ	461	19	96.04	98.72	95.83	0.8749
	บก	6	114	95.00	85.71		
14 ส.ค.2566	น้ำ	480	0	100.00	96.77	97.33	0.9123
	บก	16	104	86.67	100.00		
18 พ.ย.2566	น้ำ	459	21	95.63	98.08	95.00	0.8494
	บก	9	111	92.50	84.09		
20 ธ.ค.2566	น้ำ	452	28	94.17	98.26	94.00	0.8235
	บก	8	112	93.33	80.00		

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกประเภทข้อมูลภาพในปี พ.ศ.2566 ด้วยวิธีป่าสุ่ม ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 21 ภาพ พบว่า มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ระหว่างร้อยละ 94 – 98.17 และ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ระหว่าง 0.8235 – 0.9432 ในส่วนค่าความถูกต้องของผู้ผลิต พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 96.36 – 99.16 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 80 – 100 ในส่วนค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 94.17 – 100 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 85 – 96.67 ตามตาราง 23

ทั้งนี้จากการเปรียบเทียบผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกประเภทข้อมูล ในปี พ.ศ.2531, พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554, พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 ด้วยวิธีป่าสุ่ม จากจำนวนภาพทั้งหมด 65 ภาพ พบว่า ค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ระหว่างร้อยละ 94 – 100 และ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ระหว่าง 0.8235 – 1 ในส่วนค่าความถูกต้องของผู้ผลิต พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 95.98 – 100 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 80 – 100 ส่วนค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน พบว่า การจำแนกน้ำมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 94.15 – 100 การจำแนกบกมีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 85 – 100 ซึ่งค่าความถูกต้องดังกล่าวมีค่าความถูกต้องที่มากกว่าร้อยละ 80

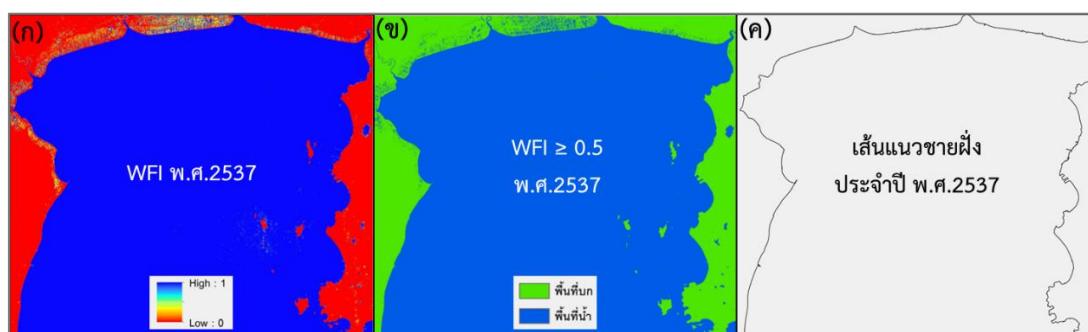
3. ผลการสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี (Annual Shoreline)

จากผลการจำแนกประเภทข้อมูลภาพทั้งหมด 65 ภาพ โดยได้ทำการจัดกลุ่มทั้งหมด 7 ปี ได้แก่ พ.ศ.2531, พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554, พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 ซึ่งเป็นการจำแนกข้อมูล 2 ประเภทการจำแนก คือ พื้นที่น้ำและพื้นที่บก โดยแบ่งข้อมูลภาพเป็น 2 ชุด ในแต่ละปี คือ ข้อมูลภาพพื้นที่น้ำจำนวน 1 ชุด และข้อมูลภาพพื้นที่บกจำนวน 1 ชุด จากนั้นนำข้อมูลภาพที่ได้ทำการจัดกลุ่มในแต่ละปีมาทำการสร้างดัชนีความถี่น้ำ (Water Frequency Index) ตามสมการ 17 ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 – 1 จากนั้นทำการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่ 0.5 เพื่อแบ่งเขตพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกออกจากกันในแต่ละปี โดยกำหนดให้บกมีค่าเป็น 0 และน้ำมีค่าเป็น 1 จากนั้นจึงนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการแปลงข้อมูลให้เป็นข้อมูล Vector แล้วดำเนินการตัดพื้นที่ที่เป็นปากแม่น้ำและลำคลอง โดยจะได้เส้นแนวชายฝั่งประจำปีในแต่ละปีโดยแสดงดังต่อไปนี้



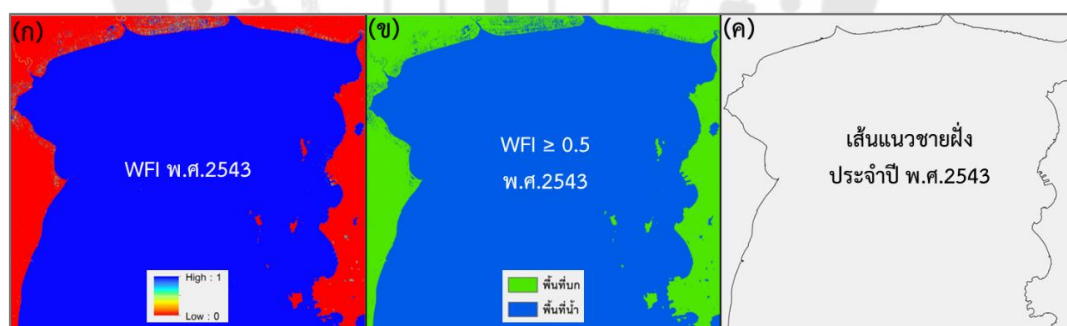
ภาพประกอบ 32 (ก)ภาพดัชนีความถี่น้ำจากผลการจำแนกทั้งหมดในปี พ.ศ.2531
(ข)ภาพพื้นที่น้ำกับบกจากการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 ในดัชนีความถี่น้ำปี พ.ศ.2531
และ (ค)เส้นแนวชายฝั่งประจำปีจากการแปลงข้อมูล Raster เป็น Vector ปี พ.ศ.2531

จากการทำดัชนีความถี่น้ำด้วยผลการจำแนกข้อมูลแนวชายฝั่งจากภาพทั้งหมด 6 ภาพ
ในปี พ.ศ.2531 พบว่า จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 แทนด้วยสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นพื้นที่น้ำถาวร ส่วนจุดภาพ
ที่มีค่าเท่ากับ 0 แทนด้วยสีแดง ซึ่งเป็นพื้นที่บกถาวร ส่วนจุดภาพที่มีค่าระหว่าง 0 – 1 แทนด้วย
สีส้ม - สีฟ้า ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกในระยะสั้นรวมถึงวัตถุ
ที่ไม่ถาวรที่เกิดขึ้นบนบกในบริเวณตอนเหนือของอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเลทั้งหมด
ตามภาพประกอบ 32(ก) เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 พบว่า เกิดเป็นพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกอย่าง
ชัดเจน โดยมีการเรียงตัวของจุดภาพที่ต่อกันเป็นแนวยาวตามชายฝั่งยกเว้นบริเวณปากแม่น้ำและ
ลำคลอง ตามภาพประกอบ 32(ข) เมื่อแปลงเป็นข้อมูล Vector และตัดพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำและ
ลำคลองออก โดยผลลัพธ์ที่ได้คือ เส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่มีการเรียงต่อกันของเส้นเป็นเส้นเดียว
ตลอดแนว ตามภาพประกอบ 32(ค)



ภาพประกอบ 33 (ก)ภาพดัชนีความถี่น้ำจากผลการจำแนกทั้งหมดในปี พ.ศ.2537
 (ข)ภาพพื้นที่น้ำกับบกจากการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 ในดัชนีความถี่น้ำปี พ.ศ.2537
 และ (ค)เส้นแนวชายฝั่งประจำปีจากการแปลงข้อมูล Raster เป็น Vector ปี พ.ศ.2537

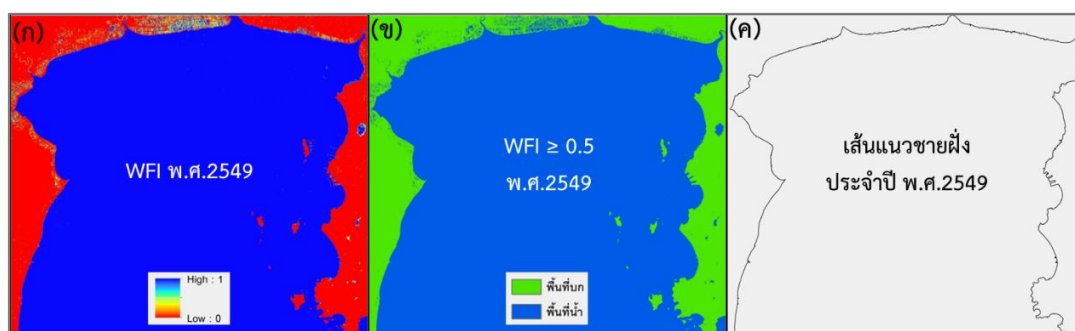
จากการทำดัชนีความถี่น้ำด้วยผลการจำแนกข้อมูลแนวชายฝั่งจากภาพทั้งหมด 11 ภาพ ในปี พ.ศ.2537 พบว่า จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 แทนด้วยสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นพื้นที่น้ำถาวร ส่วนจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 0 แทนด้วยสีแดง ซึ่งเป็นพื้นที่บกถาวร ส่วนจุดภาพที่มีค่าระหว่าง 0 – 1 แทนด้วยสีส้ม - สีฟ้า ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกในระยะสั้นรวมถึงวัตถุที่ไม่ถาวรที่เกิดขึ้นบนบกในบริเวณตอนเหนือของอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเลทั้งหมด ตามภาพประกอบ 33(ก) เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 พบว่า เกิดเป็นพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกอย่างชัดเจน โดยมีการเรียงตัวของจุดภาพที่ต่อกันเป็นแนวยาวตามชายฝั่งยกเว้นบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำและลำคลอง ตามภาพประกอบ 33(ข) เมื่อแปลงข้อมูลภาพเป็นข้อมูล Vector และตัดพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำและลำคลองออก โดยผลลัพธ์ที่ได้คือ เส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่มีการเรียงต่อกันของเส้นเป็นเส้นเดียวตลอดแนว ตามภาพประกอบ 33(ค)



ภาพประกอบ 34 (ก)ภาพดัชนีความถี่น้ำจากผลการจำแนกทั้งหมดในปี พ.ศ.2543
 (ข)ภาพพื้นที่น้ำกับบกจากการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 ในดัชนีความถี่น้ำปี พ.ศ.2543
 และ (ค)เส้นแนวชายฝั่งประจำปีจากการแปลงข้อมูล Raster เป็น Vector ปี พ.ศ.2543

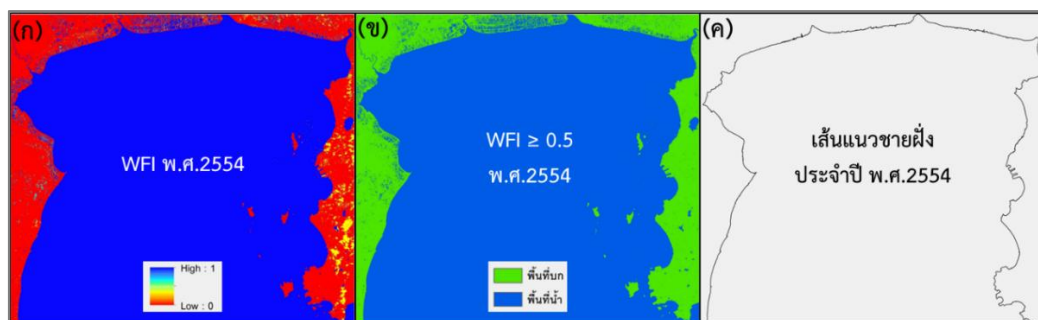
จากการทำดัชนีความถี่น้ำด้วยผลการจำแนกข้อมูลแนวชายฝั่งจากภาพทั้งหมด 6 ภาพ ในปี พ.ศ.2543 พบว่า จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 แทนด้วยสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นพื้นที่น้ำถาวร ส่วนจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 0 แทนด้วยสีแดง ซึ่งเป็นพื้นที่บกถาวร ส่วนจุดภาพที่มีค่าระหว่าง 0 – 1 แทนด้วยสีส้ม - สีฟ้า ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกในระยะสั้นรวมถึงวัตถุ

ที่ไม่ถาวรที่เกิดขึ้นบนบกในบริเวณตอนเหนือของอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเลทั้งหมดตามภาพประกอบ 34(ก) เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 พบว่า เกิดเป็นพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกอย่างชัดเจน โดยมีการเรียงตัวของจุดภาพที่ต่อกันเป็นแนวยาวตามชายฝั่งยกเว้นบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำและลำคลอง ตามภาพประกอบ 34(ข) เมื่อแปลงข้อมูลภาพเป็นข้อมูล Vector และทำการตัดพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำและลำคลองออก โดยผลลัพธ์ที่ได้คือ เส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่มีการเรียงต่อกันของเส้นเป็นเส้นเดียวตลอดแนว ตามภาพประกอบ 34(ค)



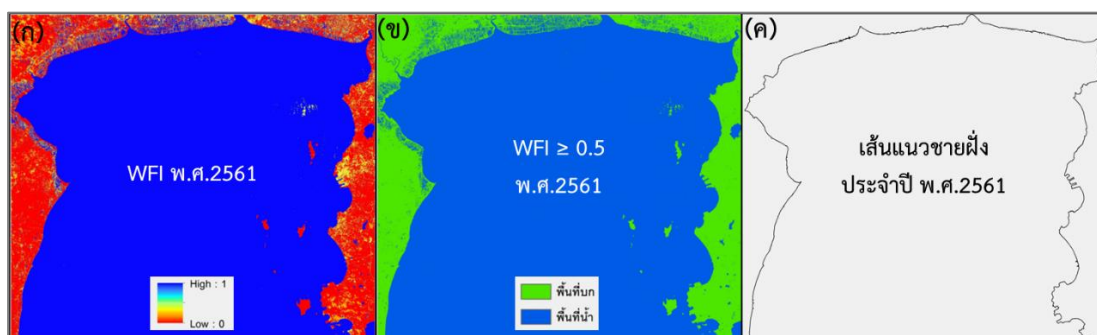
ภาพประกอบ 35 (ก)ภาพดัชนีความถี่น้ำจากการจำแนกทั้งหมดในปี พ.ศ.2549
(ข)ภาพพื้นที่น้ำกับบกจากการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 ในดัชนีความถี่น้ำปี พ.ศ.2549
และ (ค)เส้นแนวชายฝั่งประจำปีจากการแปลงข้อมูล Raster เป็น Vector ปี พ.ศ.2549

จากการทำดัชนีความถี่น้ำด้วยผลการจำแนกข้อมูลแนวชายฝั่งจากภาพทั้งหมด 9 ภาพในปี พ.ศ.2549 พบว่า จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 แทนด้วยสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นพื้นที่น้ำถาวร ส่วนจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 0 แทนด้วยสีแดง ซึ่งเป็นพื้นที่บกถาวร ส่วนจุดภาพที่มีค่าระหว่าง 0 – 1 แทนด้วยสีส้ม - สีฟ้า ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกในระยะสั้นรวมถึงวัตถุที่ไม่ถาวรที่เกิดขึ้นบนบกในบริเวณตอนเหนือของอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเลทั้งหมดตามภาพประกอบ 35(ก) เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 พบว่า ข้อมูลภาพแสดงการแบ่งแยกพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกอย่างชัดเจน โดยมีการเรียงตัวของจุดภาพที่ต่อกันเป็นแนวยาวตามชายฝั่งยกเว้นบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำและลำคลอง ตามภาพประกอบ 35(ข) เมื่อแปลงข้อมูลภาพเป็นข้อมูล Vector และทำการตัดพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำและลำคลองออก โดยผลลัพธ์ที่ได้คือ เส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่มีการเรียงต่อกันของเส้นเป็นเส้นเดียวตลอดแนว ตามภาพประกอบ 35(ค)



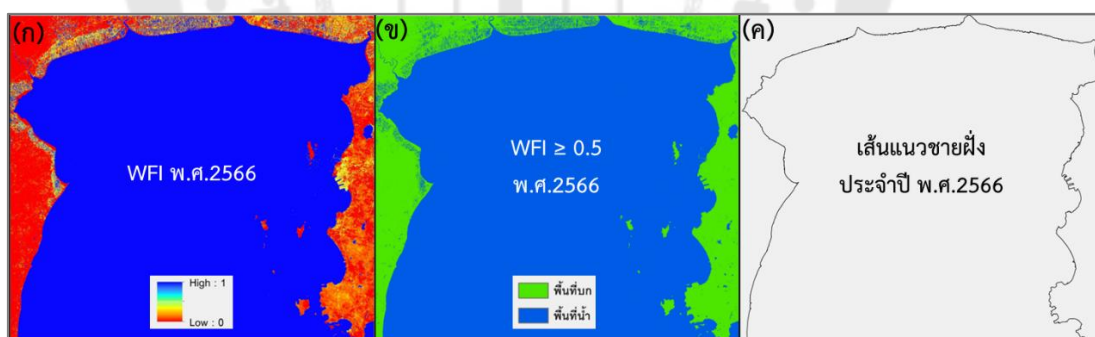
ภาพประกอบ 36 (ก)ภาพดัชนีความถี่น้ำจากผลการจำแนกทั้งหมดในปี พ.ศ.2554 (ข)ภาพพื้นที่น้ำกับบกจากการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 ในดัชนีความถี่น้ำปี พ.ศ.2554 และ (ค)เส้นแนวชายฝั่งประจำปีจากการแปลงข้อมูล Raster เป็น Vector ปี พ.ศ.2554

จากการทำดัชนีความถี่น้ำด้วยผลการจำแนกข้อมูลแนวชายฝั่งจากภาพทั้งหมด 5 ภาพ ในปี พ.ศ.2554 พบว่า จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 แทนด้วยสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นพื้นที่น้ำถาวร ส่วนจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 0 แทนด้วยสีแดง ซึ่งเป็นพื้นที่บกถาวร ส่วนจุดภาพที่มีค่าระหว่าง 0 – 1 แทนด้วยสีส้ม - สีม่วง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกในระยะสั้นรวมถึงวัตถุที่ไม่ถาวรที่เกิดขึ้นบนบกในบริเวณฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเลทั้งหมด ตามภาพประกอบ 36(ก) เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 พบว่า ข้อมูลภาพแสดงการแบ่งแยกพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกอย่างชัดเจน โดยมีการเรียงตัวของจุดภาพที่ต่อกันเป็นแนวยาวตามชายฝั่งยกเว้นบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำและลำคลอง ตามภาพประกอบ 36(ข) เมื่อแปลงข้อมูลภาพเป็นข้อมูล Vector และทำการตัดพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำและลำคลองออก โดยผลลัพธ์ที่ได้คือ เส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่มีการเรียงต่อกันของเส้นเป็นเส้นเดี่ยวตลอดแนว ตามภาพประกอบ 36(ค)



ภาพประกอบ 37 (ก)ภาพดัชนีความถี่น้ำจากผลการจำแนกทั้งหมดในปี พ.ศ.2561
(ข)ภาพพื้นที่น้ำกับบกจากการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 ในดัชนีความถี่น้ำปี พ.ศ.2561
และ (ค)เส้นแนวชายฝั่งประจำปีจากการแปลงข้อมูล Raster เป็น Vector ปี พ.ศ.2561

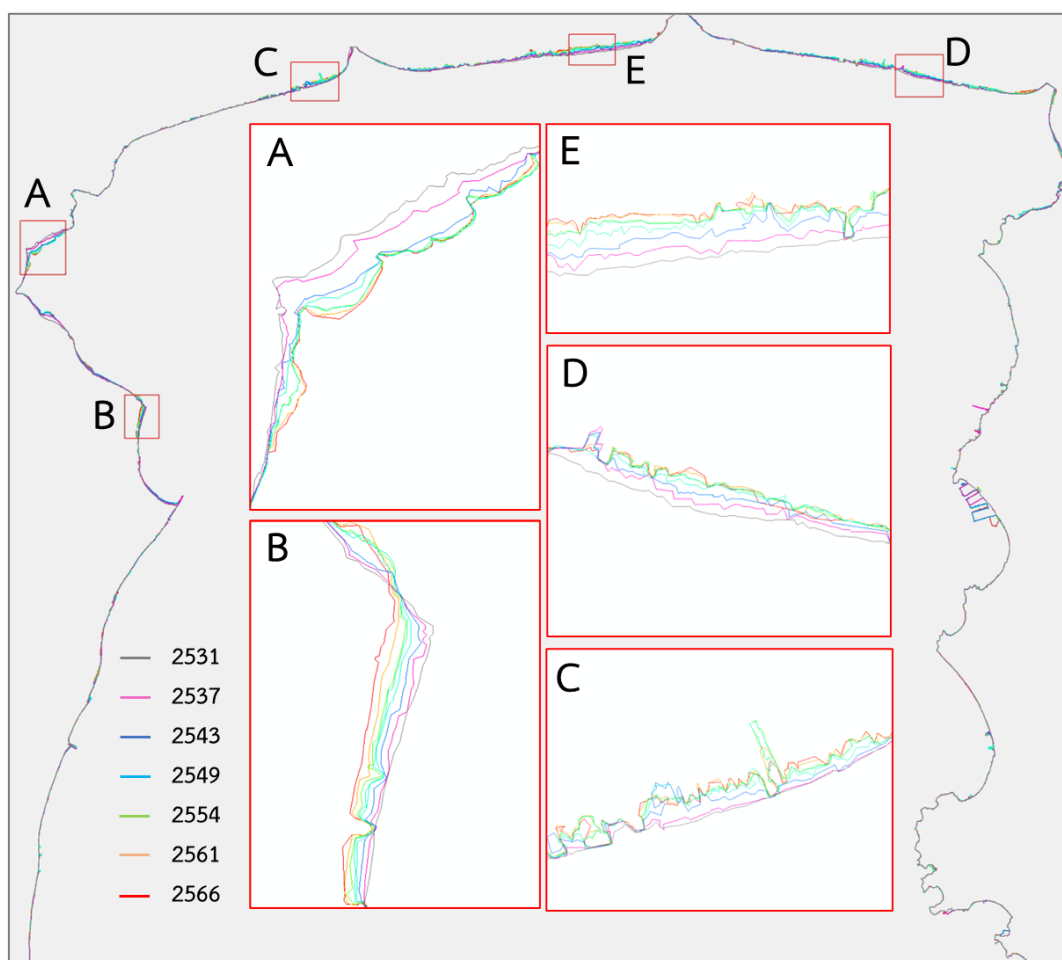
จากการทำดัชนีความถี่น้ำด้วยผลการจำแนกข้อมูลแนวชายฝั่งจากภาพทั้งหมด 7 ภาพ ในปี พ.ศ.2561 พบว่า จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 แทนด้วยสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นพื้นที่น้ำถาวร ส่วนจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 0 แทนด้วยสีแดง ซึ่งเป็นพื้นที่บกถาวร ส่วนจุดภาพที่มีค่าระหว่าง 0 – 1 แทนด้วยสีส้ม - สีฟ้า ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกในระยะสั้นรวมถึงวัตถุที่ไม่ถาวรที่เกิดขึ้นในบริเวณชายฝั่งทะเลทั้งหมดและบนบกทุกพื้นที่ ตามภาพประกอบ 37(ก) เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 พบว่า ข้อมูลภาพแสดงการแบ่งแยกพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกอย่างชัดเจน โดยมีการเรียงตัวของจุดภาพที่ต่อกันเป็นแนวยาวตามชายฝั่งยกเว้นบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำและลำคลอง ตามภาพประกอบ 37(ข) เมื่อแปลงข้อมูลภาพเป็นข้อมูล Vector และทำการตัดพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำและลำคลองออก โดยผลลัพธ์ที่ได้คือ เส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่มีการเรียงต่อกันของเส้นเป็นเส้นเดียวตลอดแนว ตามภาพประกอบ 37(ค)



ภาพประกอบ 38 (ก)ภาพดัชนีความถี่น้ำจากผลการจำแนกทั้งหมดในปี พ.ศ.2566
(ข)ภาพพื้นที่น้ำกับบกจากการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 ในดัชนีความถี่น้ำปี พ.ศ.2566
และ (ค)เส้นแนวชายฝั่งประจำปีจากการแปลงข้อมูล Raster เป็น Vector ปี พ.ศ.2566

จากการทำดัชนีความถี่น้ำด้วยผลการจำแนกข้อมูลแนวชายฝั่งจากภาพทั้งหมด 21 ภาพ ในปี พ.ศ.2566 พบว่า จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 แทนด้วยสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นพื้นที่น้ำถาวร ส่วนจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 0 แทนด้วยสีแดง ซึ่งเป็นพื้นที่บกถาวร ส่วนจุดภาพที่มีค่าระหว่าง 0 – 1 แทนด้วยสีส้ม - สีฟ้า ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกในระยะสั้นรวมถึงวัตถุ

ที่ไม่ถาวร ที่เกิดขึ้นในบริเวณชายฝั่งทะเลทั้งหมดและบนบกทุกพื้นที่ ตามภาพประกอบ 38(ก) เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 0.5 พบว่า ข้อมูลภาพแสดงการแบ่งแยกพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกอย่างชัดเจน โดยมีการเรียงตัวของจุดภาพที่ต่อกันเป็นแนวยาวยกเว้นบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำและลำคลอง ตามภาพประกอบ 38(ข) เมื่อแปลงข้อมูลภาพเป็นข้อมูล Vector และทำการตัดพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำและลำคลองออก โดยผลลัพธ์ที่ได้คือ เส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่มีการเรียงต่อกันของเส้นเป็นเส้นเดียวตลอดแนว ตามภาพประกอบ 38(ค)



ภาพประกอบ 39 เส้นแนวชายฝั่งประจำปี ทั้ง 7 เส้น ได้แก่ พ.ศ.2531, พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554, พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566

4. ผลการตรวจสอบความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี

จากการสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี โดยเป็นข้อมูลเส้นแนวชายฝั่งในแต่ละปีสำหรับนำมาใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่ง เพื่อความถูกต้องของการวิเคราะห์

ข้อมูล จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่ได้สกัดได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat แต่เนื่องจากข้อจำกัดในข้อมูลตรวจสอบ จึงทำให้สามารถทำการตรวจสอบความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปีได้ในปี พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 เท่านั้น ตามภาพประกอบ 39 โดยใช้เส้นแนวชายฝั่ง (CM.line) ที่ได้จากกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง เป็นเส้นอ้างอิงความถูกต้อง (Reference) จำนวน 2 เส้น คือ ปี พ.ศ.2562 และ พ.ศ.2565 เพื่อคำนวณค่าร้อยละความแม่นยำที่สูงและต่ำจากการซ้อนทับข้อมูล (Overlay) และการหาค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย (RMSE) โดยมีผลดังนี้

ตาราง 24 ผลการตรวจสอบความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี

เส้นแนวชายฝั่งประจำปี	ระยะทางเส้นแนวชายฝั่งประจำปีทั้งหมด	ระยะทางเส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่แม่นยำสูง	ระยะทางเส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่แม่นยำต่ำ	ร้อยละความแม่นยำสูง	ร้อยละความแม่นยำต่ำ	RMSE
พ.ศ.2561	443,823.62 เมตร	362,961.60 เมตร	80,862.02 เมตร	81.78	18.22	13.59 เมตร
พ.ศ.2566	453,917.00 เมตร	363,164.24 เมตร	90,752.76 เมตร	80.01	19.99	8.90 เมตร



ภาพประกอบ 40 ตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูงและต่ำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี พ.ศ.2561 จากการตรวจสอบกับพื้นที่ Buffer จากเส้นอ้างอิง 30 เมตร ปี พ.ศ.2562

จากการตรวจสอบความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี พ.ศ.2561 ด้วยวิธีการซ้อนทับข้อมูล (Overlay) กับพื้นที่ Buffer ข้างละ 30 เมตร จากเส้นอ้างอิงที่ได้จากเส้นแนวชายฝั่ง (CM.line) พ.ศ.2562 ตามตาราง 24 และภาพประกอบ 40 พบว่า มีความแม่นยำสูงที่ระยะทาง 362,961.60 เมตร จากระยะทางทั้งหมด 443,823.62 เมตร คิดเป็นร้อยละ 81.78 ซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณชายฝั่ง 3 พื้นที่ ได้แก่ 1)ป่าชายเลน (D) 2)ชายฝั่งที่เป็นหน้าผาชัน (H) และ 3)บริเวณชุมชนตามชายฝั่งที่มีแนวป้องกันชายฝั่งแบบติดฝั่ง (E) ส่วนบริเวณที่มีความแม่นยำต่ำมีระยะทางอยู่ที่ 80,862.02 เมตร คิดเป็นร้อยละ 18.22 ซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณชายฝั่ง 2 พื้นที่ ได้แก่ 1)บริเวณชายหาดที่มีขนาดใหญ่ เช่น บริเวณ A, B และ F 2)บริเวณท่าเทียบเรือที่ล่งล้ำในทะเลรวมถึงแนวป้องกันนอกฝั่งระยะใกล้ เช่น บริเวณ E และ G และจากการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย (RMSE) ที่ได้จากจุดตรวจสอบในเส้นแนวชายฝั่งประจำปี พ.ศ.2561 และจุดอ้างอิงความถูกต้องในเส้นแนวชายฝั่ง (CM.line) พ.ศ.2562 ตามตาราง 24 พบว่า ตำแหน่งของเส้นในภาพรวมมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 13.59 เมตร



ภาพประกอบ 41 ตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูงและต่ำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี พ.ศ.2566 จากการตรวจสอบกับพื้นที่ Buffer จากเส้นอ้างอิง 30 เมตร ปี พ.ศ.2565

จากการตรวจสอบความแม่นยำของเส้นแนวชายฝั่งประจำปี พ.ศ.2566 ด้วยวิธีการซ้อนทับข้อมูล (Overlay) กับพื้นที่ Buffer ข้างละ 30 เมตร จากเส้นอ้างอิงที่ได้จากเส้นแนวชายฝั่ง (CM.line) พ.ศ.2565 ตามตาราง 24 และภาพประกอบ 41 พบว่า มีความแม่นยำสูงที่ระยะทาง 363,164.24 เมตร จากระยะทางทั้งหมด 453,917 เมตร คิดเป็นร้อยละ 80.01 ซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณชายฝั่ง 3 พื้นที่ ได้แก่ 1) ป่าชายเลน (C) 2) ชายฝั่งที่เป็นหน้าผาชัน (H) และ 3) บริเวณชุมชนตามชายฝั่งที่มีแนวป้องกันชายฝั่งแบบติดฝั่ง (D) ส่วนบริเวณที่มีความแม่นยำต่ำมีระยะทางอยู่ที่ 90,752.76 เมตร คิดเป็นร้อยละ 19.99 ซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณชายฝั่ง 2 พื้นที่ ได้แก่ 1) บริเวณชายหาดที่มีขนาดใหญ่ เช่น บริเวณ A, B และ F 2) บริเวณท่าเทียบเรือที่ล่งล้ำในทะเลรวมถึงแนวป้องกันนอกฝั่งระยะใกล้ เช่น บริเวณ E และ G และจากการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย (RMSE) ที่ได้จากจุดตรวจสอบในเส้นแนวชายฝั่งประจำปี พ.ศ.2566 และจุดอ้างอิงความถูกต้องในเส้นแนวชายฝั่ง (CM.line) พ.ศ.2565 ตามตาราง 24 พบว่า ตำแหน่งของเส้นในภาพรวมมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 8.90 เมตร

5. ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

5.1 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System)

จากการนำเส้นแนวชายฝั่งประจำปีทั้ง 7 ช่วงปี ได้แก่ พ.ศ.2531-2566, พ.ศ.2531-2537, พ.ศ.2537-2543, พ.ศ.2543-2549, พ.ศ.2549-2554, พ.ศ.2554-2561 และ พ.ศ.2561-2566 และเส้นฐาน (Baseline) ทั้ง 7 ช่วงปี ที่มีระยะห่างจากเส้นแนวชายฝั่งประจำปี ซึ่งคำนวณจากอัตราการกัดเซาะสูงที่สุดที่เคยเกิดขึ้นในพื้นที่อ่าวไทยตอนบนที่ 25 เมตรต่อปี และระยะเวลาในการศึกษาในแต่ละช่วงปี ตามตาราง 14 พร้อมกำหนดระยะห่างระหว่างเส้นตัดขวาง (Transect) ที่ 50 เมตร แล้วคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System: DSAS) เพื่อหาระยะทางการกัดเซาะชายฝั่งด้วยค่าการเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่งสุทธิ (Net Shoreline Movement: NSM) และอัตราการกัดเซาะชายฝั่งโดยใช้ค่าอัตราจุดสิ้นสุด (End Point Rate: EPR) รวมถึงการแบ่งระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเป็น 7 ระดับ ตามเกณฑ์กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง โดยมีผลดังนี้

ตาราง 25 อัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยตามช่วงปี จากค่าอัตราจุดสิ้นสุด โดยที่ค่าเป็นลบหมายถึง อัตราการสะสมตัว และ ค่าเป็นบวกหมายถึงอัตราการกัดเซาะ

ช่วงปี พ.ศ.	อัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย (เมตรต่อปี)						ภาพรวม
	พื้นที่ย่อยที่ 1	พื้นที่ย่อยที่ 2	พื้นที่ย่อยที่ 3	พื้นที่ย่อยที่ 4	พื้นที่ย่อยที่ 5	พื้นที่ย่อยที่ 6	
2531-2537	-2.01	-10.09	-0.01	13.55	6.02	0.64	1.35
2537-2543	0.40	-8.89	5.22	12.50	6.68	0.48	2.73
2543-2549	0.04	-2.94	1.21	10.35	6.77	0.10	2.59
2549-2554	-2.81	-2.41	1.80	4.55	5.18	-0.19	1.02
2554-2561	0.71	0.18	1.31	3.88	-0.10	2.05	1.34
2561-2566	1.55	0.54	-1.31	0.40	-3.30	0.40	-0.29
2531-2566	-0.31	-3.99	1.43	7.72	3.59	0.65	1.52

จากตาราง 25 เป็นค่าที่ได้จากการนำอัตราการกัดเซาะ สะสมตัว และคงที่ ในแต่ละพื้นที่ ศึกษาย่อย มาคำนวณค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงปีให้ได้อัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย โดยพื้นที่ศึกษาย่อย ที่ 4 มีอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสูงที่สุดในภาพรวมที่ผ่านมาเป็นเวลา 35 ปี (พ.ศ.2531-2566) ที่ 7.72 เมตรต่อปี และรายช่วงปีโดยเฉพาะในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531-2537 ที่ 13.55 เมตรต่อปี และพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 มีอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยต่ำที่สุดในภาพรวมที่ผ่านมาเป็นเวลา 35 ปี (พ.ศ.2531-2566) ที่ -3.99 เมตรต่อปี และรายช่วงปีโดยเฉพาะในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531-2537 ที่ -10.09 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าอัตราการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว

ตาราง 26 ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยตามช่วงปี จากค่าการเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่งสุทธิ โดย ที่ค่าเป็นลบหมายถึงระยะทางการสะสมตัว และ ค่าเป็นบวกหมายถึงระยะทางการกัดเซาะ

ช่วงปี พ.ศ.	ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย (เมตร)						ภาพรวม
	พื้นที่ย่อยที่ 1	พื้นที่ย่อยที่ 2	พื้นที่ย่อยที่ 3	พื้นที่ย่อยที่ 4	พื้นที่ย่อยที่ 5	พื้นที่ย่อยที่ 6	
2531-2537	-12.05	-60.52	-0.08	81.29	36.12	3.82	8.10
2537-2543	2.37	-53.36	31.34	75.02	40.11	2.85	16.39
2543-2549	0.23	-17.65	7.24	62.09	40.59	0.58	15.51
2549-2554	-14.07	-12.05	9.02	22.74	25.88	-0.95	5.09
2554-2561	4.95	1.25	9.20	27.17	-0.70	14.36	9.37
2561-2566	7.74	2.70	-6.54	1.99	-16.50	2.02	-1.43
2531-2566	-10.82	-139.64	50.18	270.30	125.50	22.68	53.03

จากตาราง 26 เป็นค่าที่ได้จากการนำระยะทางการกัดเซาะ สะสมตัว และคงที่ ในแต่ละพื้นที่ศึกษาย่อย มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงปี ให้ได้ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย โดยพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 มีระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสูงที่สุดในภาพรวมที่ผ่านมาเป็นเวลา 35 ปี (พ.ศ.2531-2566) ที่ 270.30 เมตร และรายช่วงปีโดยเฉพาะในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531-2537 ที่ 81.29 เมตร และพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 มีระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยต่ำที่สุดในภาพรวมที่ผ่านมาเป็นเวลา 35 ปี (พ.ศ.2531-2566) ที่ -60.52 เมตร และรายช่วงปีโดยเฉพาะในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531-2537 ที่ -139.64 เมตร ซึ่งมีค่าระยะทางการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว

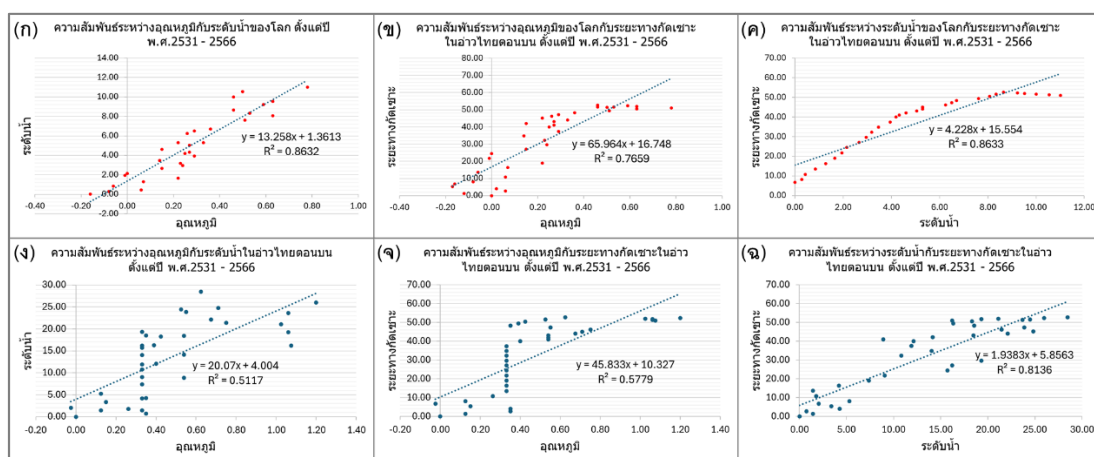
ตาราง 27 ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปี โดยที่ค่าเป็นลบหมายถึงระยะทางการสะสมตัว และ ค่าเป็นบวกหมายถึงระยะทางการกัดเซาะ

ปี พ.ศ.	ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปี (เมตร)						ภาพรวม
	พื้นที่ย่อยที่ 1	พื้นที่ย่อยที่ 2	พื้นที่ย่อยที่ 3	พื้นที่ย่อยที่ 4	พื้นที่ย่อยที่ 5	พื้นที่ย่อยที่ 6	
2531	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2537	-12.05	-60.52	-0.08	81.29	36.12	3.82	8.10
2543	-9.68	-113.89	31.27	156.32	76.22	6.67	24.49
2549	-9.45	-131.54	38.50	218.40	116.81	7.25	40.00
2554	-23.51	-143.59	47.52	241.15	142.69	6.30	45.09
2561	-18.56	-142.34	56.72	268.31	141.99	20.66	54.46
2566	-10.82	-139.64	50.18	270.30	125.50	22.68	53.03

จากตาราง 27 เป็นการรวมกันของค่าระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยตามช่วงปี ตามตาราง 24 ให้เป็นระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปี เป็นการแสดงสถานะของชายฝั่งที่เกิดขึ้นตั้งแต่ปีเริ่มต้นของการศึกษา คือ ปี พ.ศ.2531 โดยแต่ละปีที่มีค่าระยะทางการกัดเซาะเพิ่มขึ้นหมายถึงในปีนั้นมีระยะทางการกัดเซาะเพิ่มขึ้น หากแต่ละปีมีค่าระยะทางการกัดเซาะลดลงหมายถึงในปีนั้นมีการสะสมตัวเกิดขึ้น โดยพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 มีระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีสูงที่สุดที่ 270.30 เมตร และพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 มีระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีต่ำที่สุดที่ -139.64 เมตร ซึ่งมีค่าระยะทางการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว

5.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางการกัดเซาะชายฝั่ง

เป็นการนำค่าอุณหภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางการกัดเซาะชายฝั่ง ทั้งในระดับโลก และในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 – 2566 มาหาความสัมพันธ์ในแต่ละปัจจัย



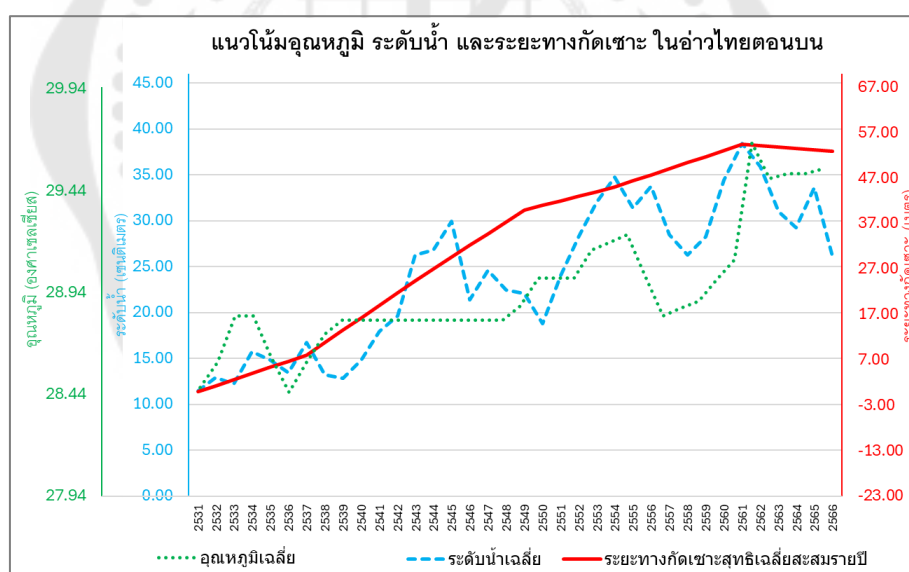
ภาพประกอบ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางการกัดเซาะชายฝั่ง ทั้งในระดับโลกและในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566

จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระดับน้ำของโลก ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 – 2566 พบว่า มีความสัมพันธ์กันมากไปในทิศทางบวก ที่ R^2 เท่ากับ 0.8632 ตามภาพประกอบ 42(ก) ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของโลกกับระยะทางการกัดเซาะชายฝั่งในอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 – 2566 พบว่า มีความสัมพันธ์กันมากไปในทิศทางบวก ที่ R^2 เท่ากับ 0.7659 ตามภาพประกอบ 42(ข) ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำของโลกกับระยะทางการกัดเซาะชายฝั่งในอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 – 2566 พบว่า มีความสัมพันธ์กันมากไปในทิศทางบวก ที่ R^2 เท่ากับ 0.8633 ตามภาพประกอบ 42(ค) ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระดับน้ำในอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 – 2566 พบว่า มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางไปในทิศทางบวก ที่ R^2 เท่ากับ 0.5117 ตามภาพประกอบ 42(ง) ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะทางการกัดเซาะชายฝั่งในอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 – 2566 พบว่า มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางไปในทิศทางบวก ที่ R^2 เท่ากับ 0.5779 ตามภาพประกอบ 42(จ) และความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับระยะทางการกัดเซาะชายฝั่งในอ่าวไทย

ตอนบน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 – 2566 พบว่า มีความสัมพันธ์กันมากไปในทิศทางบวก ที่ R^2 เท่ากับ 0.8136 ตามภาพประกอบ 42(จ)

5.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยรวมในแต่ละช่วงปี ร่วมกับ ลักษณะทางกายภาพในบริเวณอ่าวไทยตอนบน

จากการนำข้อมูลสถิติทั้ง 3 ข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิจนเฉลี่ยรายปีจากสถานีอุตุนิยมวิทยาซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจาก 4 สถานี ข้อมูลระดับน้ำทะเลเฉลี่ยรายปีจากสถานีวัดระดับน้ำซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจาก 4 สถานี ตามตาราง 15 และระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจากการคำนวณด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล ตามตาราง 27 มาแสดงในกราฟเดียวกัน เพื่อสังเกตแนวโน้มของสถิติทั้ง 3 ค่า สำหรับอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นด้วยลักษณะทางกายภาพในพื้นที่ ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะทางธรณีวิทยา ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน และโครงสร้างตามแนวชายฝั่ง รวมถึงกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่ส่งผลต่อแนวชายฝั่ง โดยมีผลการวิเคราะห์ทั้ง 7 ช่วงปี ดังนี้



ภาพประกอบ 43 แนวโน้มของอุณหภูมิจนเฉลี่ย, ระดับน้ำทะเล และการกัดเซาะชายฝั่ง ในพื้นที่อ่าวไทยตอนบน

จากกราฟแนวโน้มทั้ง 3 ค่า ในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ตามภาพประกอบ 43 พบว่า ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2566 ซึ่งเป็นช่วงเวลาโดยรวมของการศึกษาในระยะเวลา 35 ปี มีค่าอุณหภูมิจนเฉลี่ยในพื้นที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับกับค่าระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น และระยะทางการกัดเซาะตามแนวชายฝั่งที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งทั้ง 3 ค่า มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นที่ไปในทิศทางเดียวกัน

โดยเป็นช่วงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยรวมเป็นการกัดเซาะ ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 1.52 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะปานกลาง ตามตาราง 25 ซึ่งมีระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีอยู่ที่ 53.03 เมตร ตามตาราง 27 โดยพื้นที่ที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งมากที่สุด คือ พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 7.72 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะรุนแรง ตามตาราง 25 และ ภาพประกอบ 44(ก) ซึ่งในบริเวณนี้มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและมีความชันในระดับต่ำ มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประมงชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งทั้งแบบแข็งและแบบอ่อน ตามภาพประกอบ 45 ส่วนพื้นที่ที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งน้อยที่สุด คือ พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -3.99 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะการสะสมตัวของแนวชายฝั่ง ซึ่งมีระดับการสะสมตัวปานกลาง ตามตาราง 25 และ ภาพประกอบ 44(ก) ซึ่งในบริเวณนี้มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและมีความชันในระดับต่ำ มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินโคลนและทราย มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นป่าชายเลนเป็นส่วนใหญ่และมีการทำนาเกลือบางพื้นที่ โดยมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งที่เป็นแนวป้องกันชายฝั่งแบบอ่อนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีจำนวนน้อย ตามภาพประกอบ 45 และจากการสำรวจโดยกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง พบว่า ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2565 เป็นช่วงเวลาในทุกจังหวัดในบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งทั้งแบบแข็งและแบบอ่อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมาตั้งแต่อดีต - พ.ศ.2560 และ มีการสร้างแนวป้องกันชายฝั่งแบบอ่อนมากขึ้นนั่นคือการปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 – 2565 ตามตาราง 2 ประกอบกับทางภาครัฐได้ยกเลิกการให้สัมปทานป่าชายเลนแก่เอกชนตั้งแต่ปี พ.ศ.2539 เป็นต้นมา ซึ่งเคยให้สัมปทานป่าชายเลนมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2504 และทรงส่งเสริมให้มีการปลูกป่าชายเลนเพิ่มขึ้น พร้อมออกมาตรการคุ้มครองอย่างเข้มงวด ทำให้ป่าชายเลนที่เคยถูกทำลายมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี พ.ศ.2532 – 2563 จากขนาดพื้นที่เฉลี่ย 4,387.33 ไร่ เป็น 16,948.03 ไร่ ตามตาราง 1

ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2537 จากการสำรวจค่าอุณหภูมิตื้นที่ พบว่า มีค่าอุณหภูมิตื้นที่คงที่ แต่มีค่าระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น และระยะทางการกัดเซาะชายฝั่งที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทั้ง 3 ค่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยเป็นช่วงปีที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยรวมเป็นการกัดเซาะ ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 1.35 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะปานกลาง ตามตาราง 25 ซึ่งมีระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีเพิ่มขึ้นจาก 0 เมตร เป็น 8.10 เมตร ตามตาราง 27 โดยพื้นที่ที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งมากที่สุด คือ พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 13.55 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะรุนแรง ตามตาราง 25

และ ภาพประกอบ 44(ข) ซึ่งในบริเวณนี้มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและมีความชันในระดับต่ำ มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประมงชายฝั่งส่วนใหญ่ และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งทั้งแบบแข็งและแบบอ่อน ตามภาพประกอบ 45 ส่วนพื้นที่ที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งน้อยที่สุด คือ พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ในอัตรากการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -10.09 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว ในระดับการสะสมตัวมาก ตามตาราง 25 และ ภาพประกอบ 44(ข) ซึ่งในบริเวณนี้มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและมีความชันในระดับต่ำ มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินโคลนและทราย มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นป่าชายเลนส่วนใหญ่และมีการทำนาเกลือเป็นบางพื้นที่ และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งแบบอ่อนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีจำนวนน้อย ตามภาพประกอบ 45 และ จากการสำรวจโดยกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง พบว่า ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2537 เป็นช่วงเวลาในทุกจังหวัดในบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งทั้งแบบแข็งและแบบอ่อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามตาราง 2 ประกอบกับทางภาครัฐมีการให้สัมปทานป่าชายเลนแก่เอกชนตั้งแต่ปี พ.ศ.2504 ทำให้ขนาดของป่าชายเลนลดลงมากตั้งแต่ พ.ศ.2504 – 2536 จากขนาดพื้นที่เฉลี่ย 13,750 ไร่ เป็น 5,313.14 ไร่ ตามตาราง 1

ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2537 – 2543 จากการสำรวจค่าอุณหภูมิในพื้นที่พบว่า มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยคงที่ แต่ค่าระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น และระยะทางการกัดเซาะชายฝั่งก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งทั้ง 3 ค่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน โดยเป็นช่วงปีที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยรวมเป็นการกัดเซาะ ในอัตรากการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 2.73 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะปานกลาง ตามตาราง 25 ซึ่งมีระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีเพิ่มขึ้นจาก 8.10 เมตร เป็น 24.49 เมตร ตามตาราง 27 โดยพื้นที่ที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งมากที่สุด คือ พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 ในอัตรากการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 12.50 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะรุนแรง ตามตาราง 25 และ ภาพประกอบ 44(ค) ซึ่งในบริเวณนี้มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและมีความชันในระดับต่ำ มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประมงชายฝั่งส่วนใหญ่ และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งทั้งแบบแข็งและแบบอ่อน ตามภาพประกอบ 45 ส่วนพื้นที่ที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งน้อยที่สุด คือ พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ในอัตรากการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -8.89 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว ในระดับการสะสมตัวมาก ตามตาราง 25 และ ภาพประกอบ 44(ค) ซึ่งในบริเวณนี้มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและมีความชันในระดับต่ำ มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินโคลนและทราย มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นป่าชายเลนเป็นส่วนใหญ่และมีการทำนาเกลือ

ในพื้นที่เป็นบางส่วน และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งแบบอ่อน ซึ่งมีจำนวนน้อย ตามภาพประกอบ 45 และจากการสำรวจโดยกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง พบว่า ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2537 - 2543 เป็นช่วงเวลาที่ทุกจังหวัดในบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งทั้งแบบแข็งและแบบอ่อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามตาราง 2 ประกอบกับทางภาครัฐได้ยกเลิกการให้สัมปทานป่าชายเลนแก่เอกชนตั้งแต่ปี พ.ศ.2539 เป็นต้นมา ซึ่งเคยให้สัมปทานมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2504 และรณรงค์ให้มีการปลูกป่าชายเลนเพิ่มขึ้น ทำให้ป่าชายเลนที่เคยถูกทำลายมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ.2539 - 2543 จากขนาดพื้นที่เฉลี่ย 5,333.82 ไร่ เป็น 11,472.21 ไร่ ตามตาราง 1

ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2543 - 2549 จากการสำรวจค่าอุณหภูมิในพื้นที่พบว่ามีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยลดลง ค่าระดับน้ำทะเลลดลง และระยะทางการกัดเซาะชายฝั่งเพิ่มขึ้น ซึ่งทั้ง 3 ค่า ไม่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยเป็นช่วงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยรวมเป็นการกัดเซาะ ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 2.59 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะปานกลาง ตามตาราง 25 ซึ่งมีระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีเพิ่มขึ้นจาก 24.49 เมตร เป็น 40 เมตร ตามตาราง 27 โดยพื้นที่ที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งมากที่สุด คือ พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 10.35 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะรุนแรง ตามตาราง 25 และ ภาพประกอบ 44(ง) ซึ่งในบริเวณนี้มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและมีความชันในระดับต่ำ มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประมงชายฝั่งส่วนใหญ่ และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งทั้งแบบแข็งและแบบอ่อน ตามภาพประกอบ 45 ส่วนพื้นที่ที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งน้อยที่สุด คือ พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -2.94 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว ในระดับการสะสมตัวปานกลาง ตามตาราง 25 และ ภาพประกอบ 44(ง) ซึ่งในบริเวณนี้มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและมีความชันในระดับต่ำ มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินโคลนและทราย มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นป่าชายเลนส่วนใหญ่และมีพื้นที่บางส่วนทำนาเกลือ และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งแบบอ่อน ซึ่งมีจำนวนน้อย ตามภาพประกอบ 45 และจากการสำรวจโดยกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง พบว่า ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2543-2549 เป็นช่วงเวลาที่ทุกจังหวัดในบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งทั้งแบบแข็งและแบบอ่อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามตาราง 2 ประกอบกับทางภาครัฐมีการรณรงค์ให้ปลูกป่าชายเลนเพิ่มขึ้น แต่ยังคงมีการบุกรุกเข้าทำประมงชายฝั่ง ทำให้ป่าชายเลนมีจำนวนลดลงตั้งแต่ปี พ.ศ.2543-2547 จากขนาดพื้นที่เฉลี่ย 11,472.21 ไร่ เป็น 8,513.65 ไร่ ตามตาราง 1

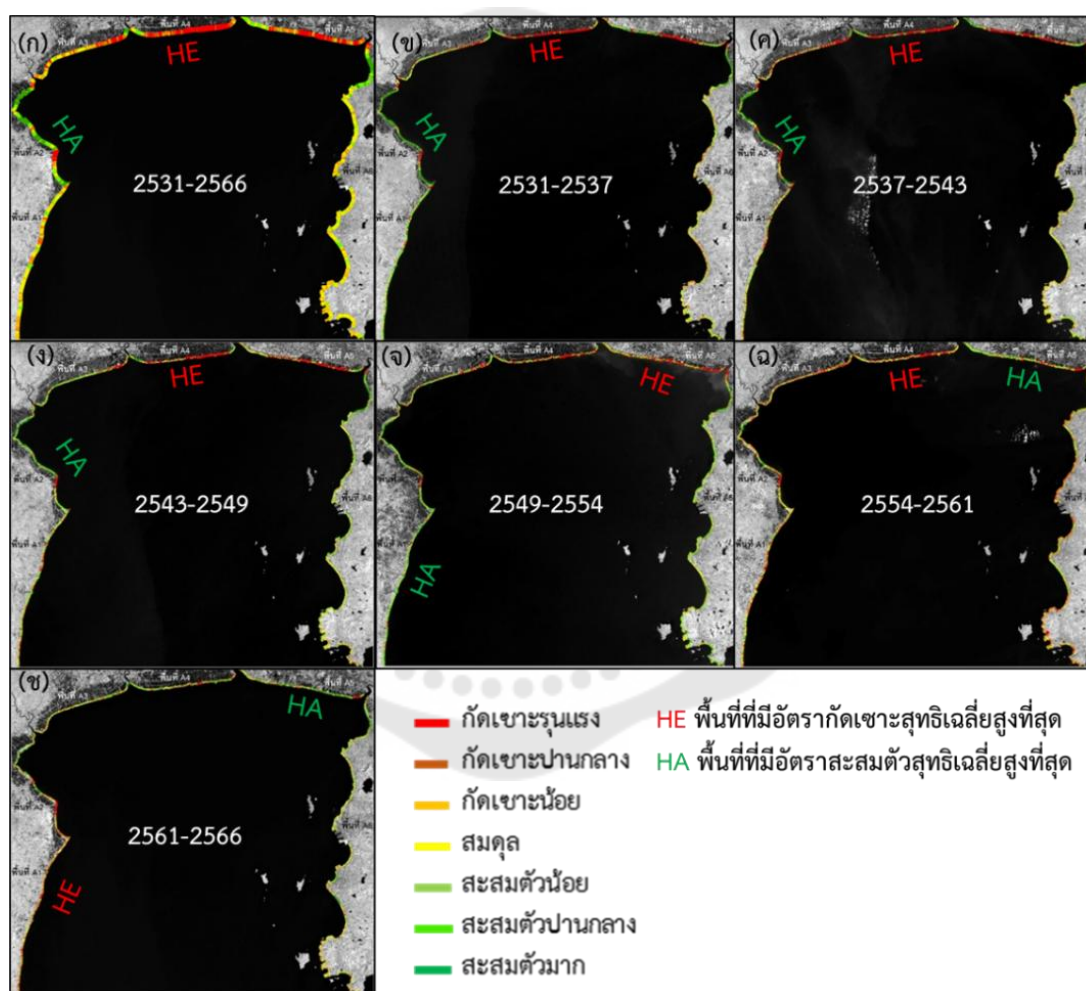
ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2549 – 2554 จากการสำรวจค่าอุณภูมิในพื้นที่พบว่ามีค่าอุณภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นและลดลงตามลำดับ ค่าระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น และระยะทางการกัดเซาะชายฝั่งเพิ่มขึ้น ซึ่งทั้ง 3 ค่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน โดยเป็นช่วงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยรวมเป็นการกัดเซาะ ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 1.02 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะปานกลาง ตามตาราง 25 ซึ่งมีระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีเพิ่มขึ้นจาก 40 เมตร เป็น 45.09 เมตร ตามตาราง 27 โดยพื้นที่ที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งมากที่สุด คือ พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 5.18 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะรุนแรง ตามตาราง 25 และ ภาพประกอบ 44(จ) ซึ่งในบริเวณนี้มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและมีความชันในระดับต่ำ มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประมงชายฝั่งส่วนใหญ่ และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งทั้งแบบแข็งและแบบอ่อน ตามภาพประกอบ 45 ส่วนพื้นที่ที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งน้อยที่สุด คือ พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -2.81 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว ในระดับการสะสมตัวปานกลาง ตามตาราง 25 และ ภาพประกอบ 44(จ) ซึ่งในบริเวณนี้มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและมีความชันในระดับปานกลาง มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินทราย มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นชุมชนเมืองและพื้นที่รกร้างว่างเปล่า และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งแบบแข็งทั้งหมด ซึ่งมีจำนวนมาก ตามภาพประกอบ 45 และจากการสำรวจโดยกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง พบว่า ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2549 - 2554 เป็นช่วงเวลาที่ทุกจังหวัดในบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งทั้งแบบแข็งและแบบอ่อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามตาราง 2 ประกอบกับทางภาครัฐมีการรณรงค์ให้ปลูกป่าชายเลนเพิ่มขึ้น ทำให้ป่าชายเลนที่เคยถูกทำลายมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ.2547 - 2552 จากขนาดพื้นที่เฉลี่ย 8,513.65 ไร่ เป็น 12,476.92 ไร่ ตามตาราง 1

ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2554 – 2561 จากการสำรวจค่าอุณภูมิในพื้นที่พบว่ามีค่าอุณภูมิเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น ค่าระดับน้ำทะเลมีค่าที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และระยะการกัดเซาะชายฝั่งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งทั้ง 3 ค่า มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน โดยเป็นช่วงปีที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยรวมเป็นการกัดเซาะ ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 1.34 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะปานกลาง ตามตาราง 25 ซึ่งมีระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีเพิ่มขึ้นจาก 45.09 เมตร เป็น 54.46 เมตร ตามตาราง 27 โดยพื้นที่ที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งมากที่สุด คือ พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 3.88 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะปานกลาง ตามตาราง 25 และ ภาพประกอบ 44(ฉ) ซึ่งในบริเวณนี้

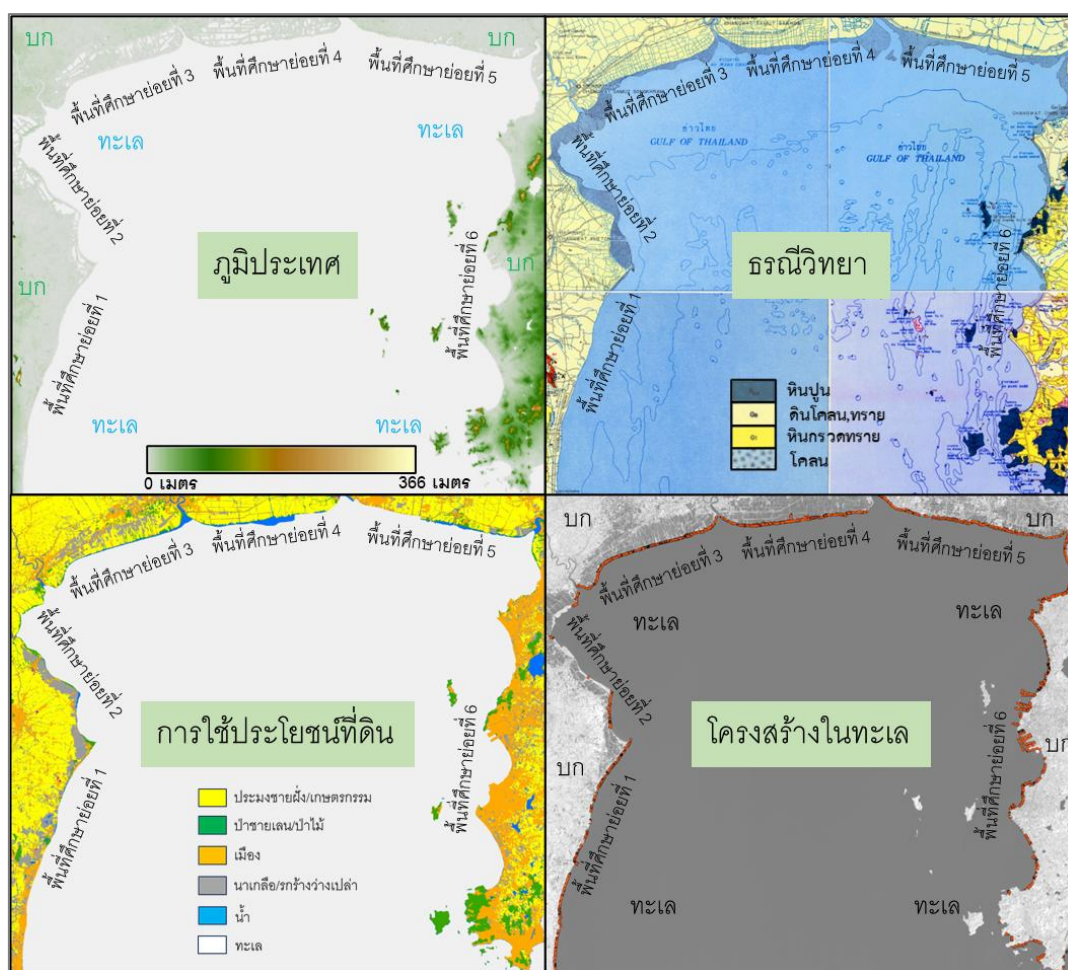
มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและมีความชันในระดับต่ำ มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประมงชายฝั่งส่วนใหญ่ และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งทั้งแบบแข็งและแบบอ่อน ตามภาพประกอบ 45 ส่วนพื้นที่ที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งน้อยที่สุด คือ พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -0.10 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว ในระดับสมดุลง ตามตาราง 25 และ ภาพประกอบ 44(จ) ซึ่งในบริเวณนี้มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและมีความชันในระดับต่ำ มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประมงชายฝั่งส่วนใหญ่ และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งทั้งแบบแข็งและแบบอ่อน ตามภาพประกอบ 45 และจากการสำรวจโดยกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง พบว่า ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2554 - 2561 เป็นช่วงเวลาที่ทุกจังหวัดในบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งทั้งแบบแข็งและแบบอ่อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามตาราง 2 ประกอบกับทางภาครัฐมีการรณรงค์ให้ปลูกป่าชายเลนเพิ่มขึ้น ทำให้ป่าชายเลนที่เคยถูกทำลายมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี พ.ศ.2557 - 2561 จากขนาดพื้นที่เฉลี่ย 11,254.09 ไร่ เป็น 11,498.04 ไร่ ตามตาราง 1

ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2561 - 2566 จากการสำรวจข้อมูลค่าคุณภูมิพบว่า ค่าคุณภูมิเฉลี่ยลดลง โดยที่ค่าระดับน้ำทะเลลดลง และระยะการกัดเซาะชายฝั่งลดลงเล็กน้อย ซึ่งทั้ง 3 ค่า มีแนวโน้มลดลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยเป็นช่วงปีที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยรวมเป็นการสะสมตัว ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -0.29 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว อยู่ในระดับสมดุลง ตามตาราง 25 ซึ่งมีระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีลดลงจาก 54.46 เมตร เป็น 53.03 เมตร ตามตาราง 27 โดยพื้นที่ที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งมากที่สุด คือ พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 1.55 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะปานกลาง ตามตาราง 25 และ ภาพประกอบ 44(ข) ซึ่งในบริเวณนี้มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและมีความชันในระดับปานกลาง มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินทราย มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นชุมชนเมืองและที่รกร้างว่างเปล่า และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งแบบแข็งทั้งหมด ซึ่งมีจำนวนมาก ตามภาพประกอบ 45 ส่วนพื้นที่ที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งน้อยที่สุด คือ พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -3.33 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว ในระดับการสะสมตัวปานกลาง ตามตาราง 25 และ ภาพประกอบ 44(ข) ซึ่งในบริเวณนี้มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและมีความชันในระดับต่ำ มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประมงชายฝั่งส่วนใหญ่ และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่ง

ทั้งแบบแข็งและแบบอ่อน ตามภาพประกอบ 45 และจากการสำรวจโดยกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง พบว่า ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2561 - 2566 เป็นช่วงเวลาที่ทุกจังหวัดในบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีการสร้างแนวป้องกันชายฝั่งแบบอ่อนมากขึ้น เช่น การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น ตามตาราง 2 ประกอบกับทางภาครัฐมีการรณรงค์ให้ปลูกป่าชายเลนเพิ่มขึ้น พร้อมออกมาตรการคุ้มครองอย่างเข้มงวด ทำให้ป่าชายเลนที่เคยถูกทำลายมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะช่วงปี พ.ศ.2561 – 2563 จากขนาดพื้นที่เฉลี่ย 11,498.04 ไร่ เป็น 16,948.03 ไร่ ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นมากที่สุด ตามตาราง 1



ภาพประกอบ 44 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบนในแต่ละช่วงปี
 (ก) พ.ศ.2531-2566 (ข) พ.ศ.2531-2537 (ค) พ.ศ.2537-2543 (ง) พ.ศ.2543-2549
 (จ) พ.ศ.2549-2554 (ฉ) พ.ศ.2554-2561 (ช) พ.ศ.2561-2566



ภาพประกอบ 45 ลักษณะทางกายภาพในบริเวณอ่าวไทยตอนบน

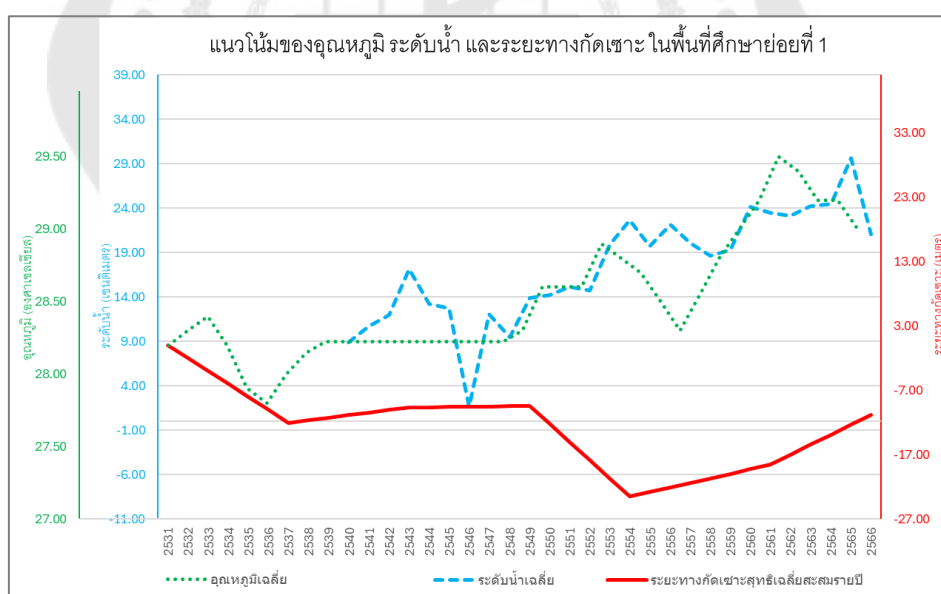
5.4 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละพื้นที่ศึกษาย่อย ร่วมกับลักษณะทางกายภาพในบริเวณอ่าวไทยตอนบน

เป็นผลจากการนำสถิติทั้ง 3 ค่า ในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีจากสถานีอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่หรือบริเวณใกล้เคียง ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยรายปีจากสถานีวัดระดับน้ำในพื้นที่หรือบริเวณใกล้เคียง ตามตาราง 15 และระยะทางการกัดเซาะชายฝั่งสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจากการคำนวณด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล ในแต่ละพื้นที่ศึกษาย่อย ตามตาราง 27 มาแสดงในกราฟเดียวกัน เพื่อสังเกตแนวโน้มของสถิติทั้ง 3 ค่า สำหรับอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นด้วยลักษณะทางกายภาพในแต่ละพื้นที่ศึกษาย่อย ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะทางธรณีวิทยา ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน และโครงสร้างตามแนวชายฝั่ง รวมถึงกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่ส่งผลต่อแนวชายฝั่ง โดยมีผลการวิเคราะห์ทั้ง 6 พื้นที่ศึกษาย่อย ดังนี้

ตาราง 28 อัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยตามช่วงปี ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เด่นชัดในแต่ละพื้นที่ศึกษาย่อย โดยค่าเป็นบวกหมายถึงการกัดเซาะ และค่าเป็นลบหมายถึงการสะสมตัว

ช่วงปี พ.ศ.	อัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย (เมตรต่อปี)											
	พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 (A)	พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 (B)	พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 (A)	พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 (B)	พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3 (A)	พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3 (B)	พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 (A)	พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 (B)	พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 (A)	พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 (B)	พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6 (A)	พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6 (B)
	พื้นที่ศึกษา	พื้นที่ศึกษา	พื้นที่ศึกษา	พื้นที่ศึกษา	พื้นที่ศึกษา	พื้นที่ศึกษา	พื้นที่ศึกษา	พื้นที่ศึกษา	พื้นที่ศึกษา	พื้นที่ศึกษา	พื้นที่ศึกษา	พื้นที่ศึกษา
2531-2537	-8.88	4.34	-19.27	10.10	5.34	-27.55	24.42	-0.65	23.36	-0.60	2.78	0.46
2537-2543	-2.96	3.94	-51.93	11.77	30.72	-3.63	31.22	-4.04	18.98	-6.30	2.71	-0.16
2543-2549	-2.87	4.13	-10.15	12.80	14.33	-0.85	23.98	-11.21	15.76	0.08	6.07	-1.04
2549-2554	-10.37	-1.50	-19.49	9.16	20.01	-2.39	5.07	-0.96	9.06	0.96	11.74	-0.66
2554-2561	-3.00	3.74	-5.74	12.76	-2.20	-1.93	2.66	-0.13	4.70	-1.16	6.85	1.22
2561-2566	-0.01	4.41	-5.41	20.07	-8.08	-12.16	-1.84	-2.50	-6.13	-0.26	-1.32	-0.43
2531-2566	-3.42	4.07	-18.40	13.39	8.86	-7.42	15.47	-2.94	11.51	-1.10	5.50	0.43

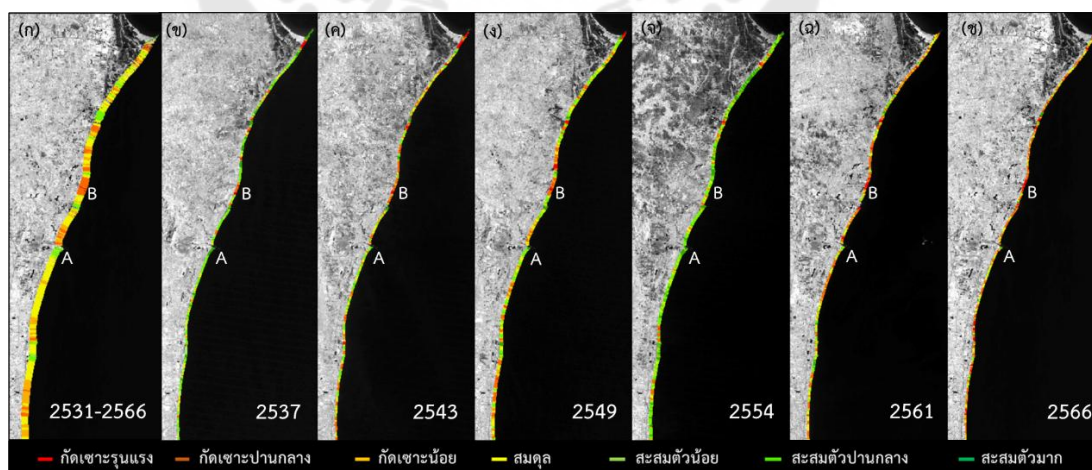
5.4.1 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ร่วมกับลักษณะทางกายภาพในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 (อำเภอหัวหิน – แหลมผักเบี้ย)



ภาพประกอบ 46 อุณหภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางกัดเซาะชายฝั่ง พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1

จากกราฟแนวโน้มทั้ง 3 ค่า ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 ตามภาพประกอบ 46 พบว่าค่าอุณหภูมิในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2537 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ลดลง ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2537 – 2549 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยคงที่ และต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2549 – 2566 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น โดยภาพรวมของค่าอุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนระดับน้ำทะเลในช่วง

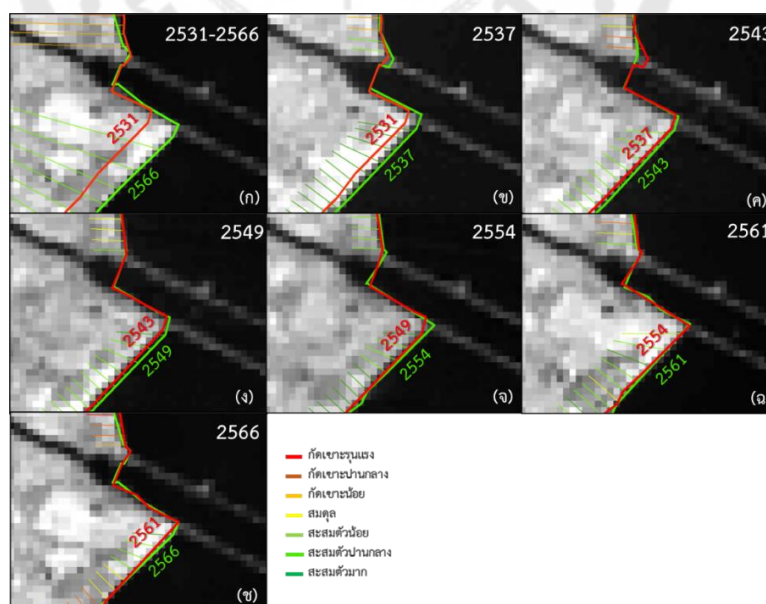
ระหว่างปี พ.ศ.2540-2549 มีระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างฉับพลันในปี พ.ศ.2536 และกลับมามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2537 – 2566 โดยภาพรวมของค่าระดับน้ำทะเลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การกัดเซาะชายฝั่งในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2537 มีการกัดเซาะลดลง ที่ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจาก 0 เมตร เป็น -12.05 เมตร ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -2.01 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว ในระดับการสะสมตัวปานกลาง ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2537 – 2549 มีการกัดเซาะเพิ่มขึ้น ที่ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจาก -12.05 เมตร เป็น -9.45 เมตร ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 0.04 – 0.40 เมตรต่อปี ซึ่งอยู่ในระดับสมดุล ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2549 – 2554 มีการกัดเซาะลดลง ที่ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจาก -9.45 เมตร เป็น -23.51 เมตร ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -2.81 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว ในระดับการสะสมตัวปานกลาง และต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2554 - 2566 มีการกัดเซาะเพิ่มขึ้น ที่ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจาก -23.51 เมตร เป็น -10.82 เมตร ที่อัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 0.71 – 1.55 เมตรต่อปี ซึ่งอยู่ในระดับการกัดเซาะน้อยถึงปานกลาง โดยภาพรวมของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 เป็นการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในลักษณะของการสะสมตัว ที่อัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -0.31 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว อยู่ในระดับสมดุล ตามตาราง 25 และ ตาราง 27 ซึ่งไม่แปรผันตามแนวโน้มของค่าอุณหภูมิและระดับน้ำทะเล



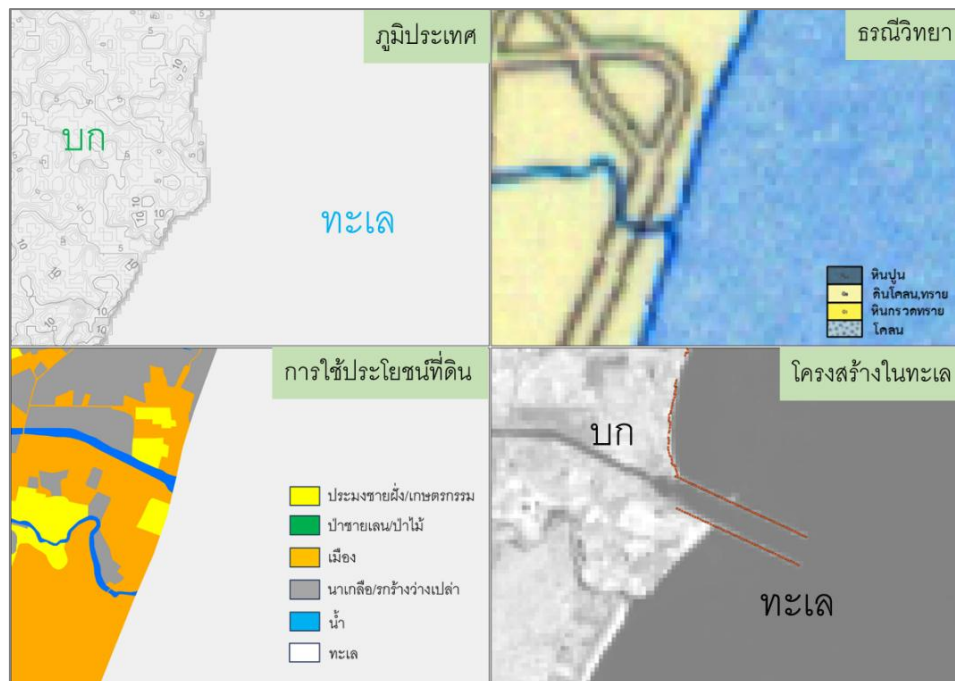
ภาพประกอบ 47 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปี ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1

จากสถิติการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปีของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 ตามตาราง 27 พบว่า มีพื้นที่ที่มีการกัดเซาะที่แปรผันตามแนวโน้มของอุทกภัยและระดับน้ำซึ่งเกิดขึ้นเป็น ส่วนน้อยในพื้นที่ และไม่แปรผันตามแนวโน้มของอุทกภัยและระดับน้ำซึ่งเกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่ใน พื้นที่ โดยพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เด่นชัดที่สุดมี 2 พื้นที่ ได้แก่

ก) บริเวณตอนใต้ของสะพานชะอำ ซึ่งอยู่ในตำแหน่ง A ตามภาพประกอบ 47 เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศตามแนวชายฝั่งเป็นที่ราบและมีความชันในระดับปานกลาง มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นทราย มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นชุมชนชายฝั่งทะเลและพื้นที่รกร้าง ว่างเปล่า ประกอบกับมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งที่สำคัญคือ สะพานปลาที่เป็นโครงสร้างแข็ง ทอดยาวลงสู่ทะเลในระยะไกลซึ่งถูกสร้างมาตั้งแต่อดีต ตามตาราง 2 และภาพประกอบ 49 จาก การคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล พบว่า ในบริเวณนี้ มีภาพรวมเป็นการสะสมตัว ได้แก่ พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554, พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 0.01 – 10.37 เมตรต่อปี และมีภาพรวมของ การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่นี้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566 เป็นการสะสมตัว ในอัตราการสะสม ตัวสุทธิเฉลี่ย 3.42 เมตรต่อปี ตามภาพประกอบ 48(ก-ข) และตาราง 28 เกิดเป็นแผ่นดินที่ขยายตัว ไปสู่ทะเลบริเวณตอนใต้ของสะพานชะอำ ตามภาพประกอบ 50 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณ นี้ไม่แปรผันตามแนวโน้มค่าอุทกภัยและระดับน้ำทะเลในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1



ภาพประกอบ 48 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปีที่ไม่แปรผันตามค่าอุทกภัย และระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 ในพื้นที่ A บริเวณตอนใต้ของสะพานชะอำ



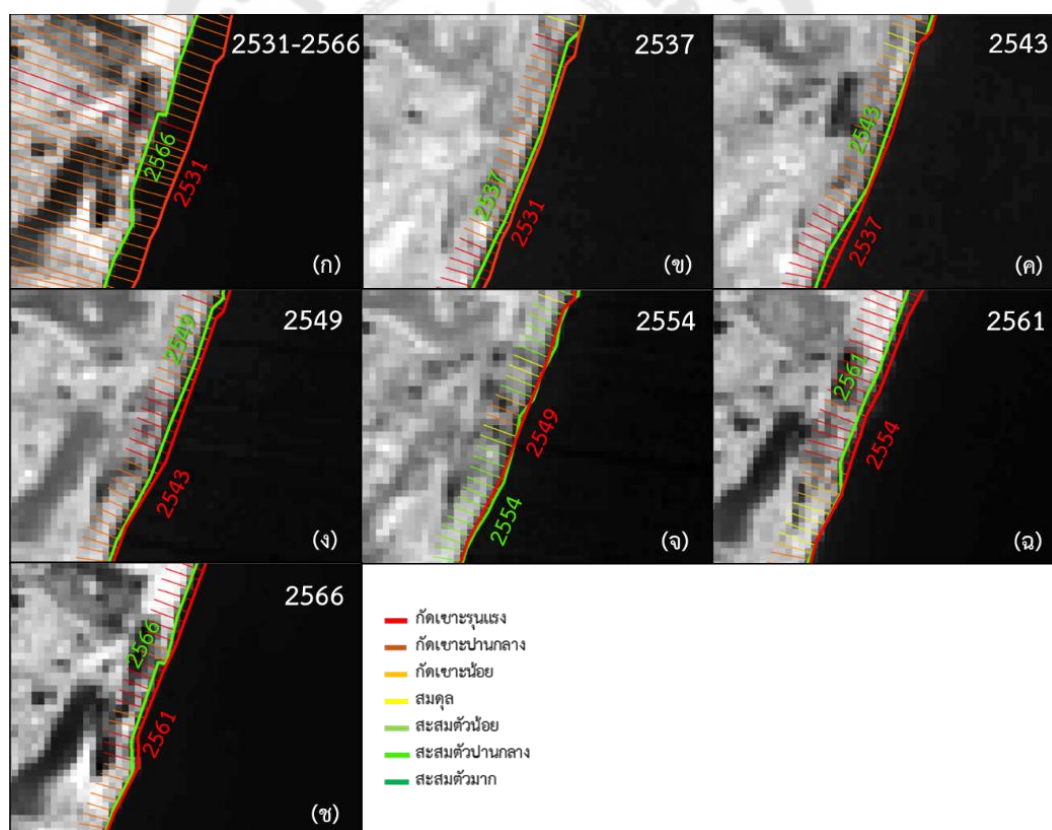
ภาพประกอบ 49 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 ในพื้นที่ A
บริเวณตอนใต้ของสะพานชะอำ



ภาพประกอบ 50 ชายฝั่งทะเลที่เพิ่มขึ้นในบริเวณตอนใต้ของสะพานชะอำ

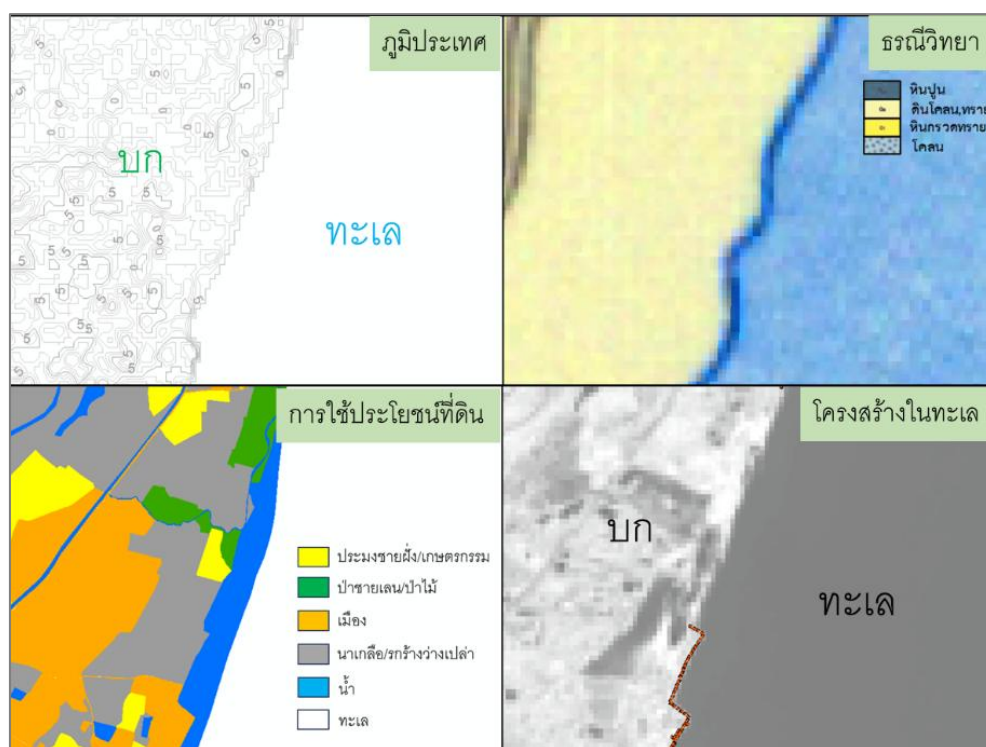
ข) บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางเก่า อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งอยู่ในตำแหน่ง B ตามภาพประกอบ 47 เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศตามแนวชายฝั่งเป็นที่ราบและ

มีความชันในระดับที่ต่ำ มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นทราย มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นที่รกร้างว่างเปล่าเป็นส่วนใหญ่ที่รูกล้าป่าชายเลนในบริเวณปากคลองบางเก่าตั้งแต่อดีต ตามตาราง 1 ประกอบกับไม่มีแนวป้องกันชายฝั่งใด ๆ ที่ได้ดำเนินการจากภาครัฐและเอกชน ตามตาราง 2 และภาพประกอบ 52 จากการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล พบว่า ในบริเวณนี้มีภาพรวมเป็นการกัดเซาะ ได้แก่ พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 3.74 – 4.41 เมตรต่อปี และมีภาพรวมเป็นการสะสมตัว คือ พ.ศ.2554 ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ย 1.50 เมตรต่อปี และมีภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่นี้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566 เป็นการกัดเซาะ ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 4.07 เมตรต่อปี ตามภาพประกอบ 51(ก-ข) และตาราง 28 เกิดการถอยร่นของแผ่นดินอย่างต่อเนื่อง ตามภาพประกอบ 53 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณนี้แปลผันตามแนวโน้มค่าอุณหภูมิต่ำและระดับน้ำทะเลในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1



ภาพประกอบ 51 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปีที่แปลผันตามค่าอุณหภูมิต่ำและระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 ในพื้นที่ B บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางเก่า

อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

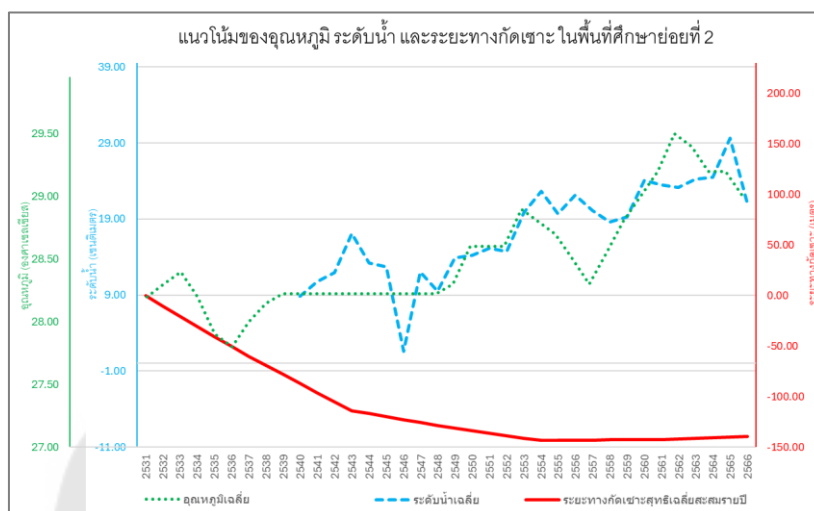


ภาพประกอบ 52 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 ในพื้นที่ B
บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางเก่า อำเภอสระอัม จังหวัดเพชรบุรี



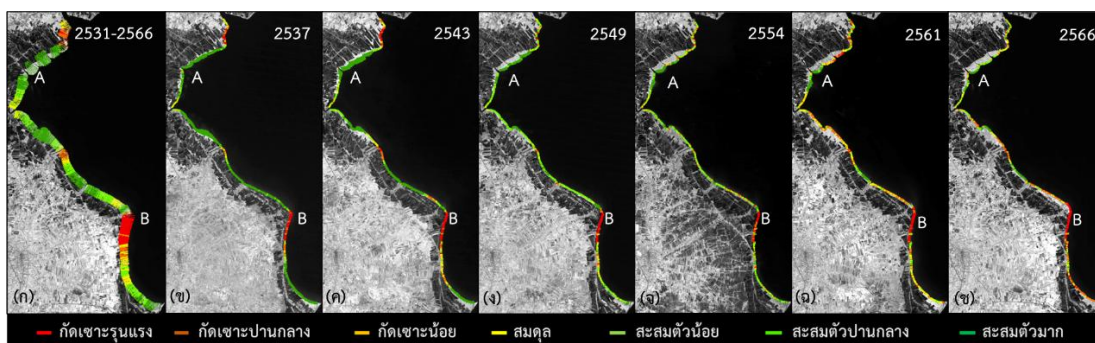
ภาพประกอบ 53 พื้นที่กัดเซาะชายฝั่ง บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางเก่า อำเภอสระอัม
จังหวัดเพชรบุรี

5.4.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ร่วมกับลักษณะทางกายภาพ ในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 (แหลมผักเบี้ย – ปากแม่น้ำแม่กลอง)



ภาพประกอบ 54 อุณหภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางกัดเซาะชายฝั่ง พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2

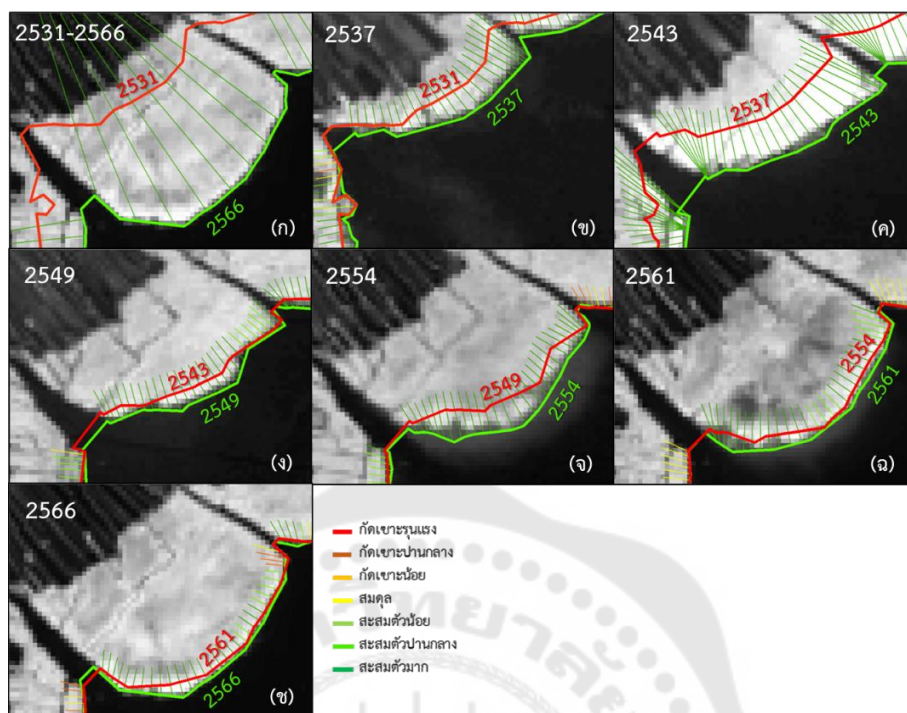
จากกราฟแนวโน้มทั้ง 3 ค่า ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ตามภาพประกอบ 54 พบว่า ค่าอุณหภูมิในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531-2537 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ลดลง ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2537-2549 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยคงที่ และต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2549 – 2566 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยภาพรวมของค่าอุณหภูมิมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนระดับน้ำทะเลในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2540-2549 มีระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างฉับพลัน ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2549-2566 มีระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น โดยภาพรวมของค่าระดับน้ำทะเลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การกัดเซาะชายฝั่งในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531–2554 มีค่าที่ลดลง ที่ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจาก 0 เมตร เป็น -143.59 เมตร ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -2.41 – -10.09 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัวในระดับการสะสมตัวปานกลางถึงมาก ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2554–2566 มีการกัดเซาะเพิ่มขึ้น ที่ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจาก -143.59 เมตร เป็น -139.64 เมตร ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 0.18 – 0.54 เมตรต่อปี ซึ่งอยู่ในระดับสมดุลถึงการกัดเซาะน้อย โดยภาพรวมของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 เป็นการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในลักษณะของการสะสมตัวที่อัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -3.99 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว อยู่ในระดับการสะสมตัวปานกลาง ตามตาราง 25 และ ตาราง 27 ซึ่งไม่แปรผันตามแนวโน้มของค่าอุณหภูมิละดับน้ำทะเล



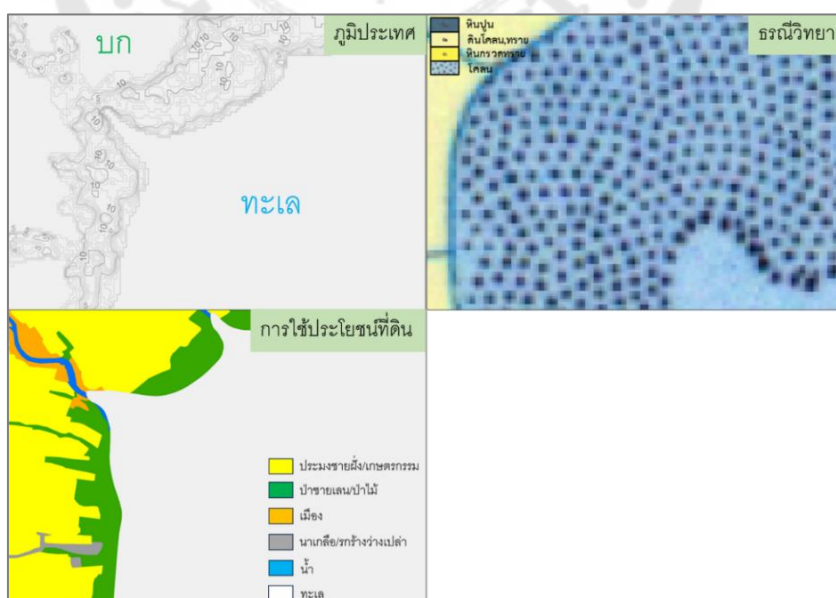
ภาพประกอบ 55 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปี ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2

จากสถิติการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปี ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ตามตาราง 27 พบว่า มีพื้นที่ที่มีการกัดเซาะที่แปรผันตามแนวโน้มของอุทกภัยและระดับน้ำซึ่งเกิดขึ้นเป็น ส่วนน้อยในพื้นที่ และไม่แปรผันตามแนวโน้มของอุทกภัยและระดับน้ำซึ่งเกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่ ในพื้นที่ โดยพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เด่นชัดที่สุดมี 2 พื้นที่ ได้แก่

ก) บริเวณชายฝั่งทะเลระหว่างปากแม่น้ำแม่กลองกับปากคลองบางตะบูน จังหวัดสมุทรสงคราม ซึ่งอยู่ในตำแหน่ง A ตามภาพประกอบ 55 เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศ ตามแนวชายฝั่งเป็นที่ราบและมีความชันในระดับที่สูง มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นทรายและโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประมงชายฝั่งและป่าชายเลนที่มีการฟื้นฟูจากการยกเลิก ให้สัมปทานแก่เอกชนและมีการรณรงค์ให้ปลูกป่าชายเลนเพิ่มขึ้น พร้อมออกมาตรการคุ้มครอง อย่างเข้มงวด ทำให้ป่าชายเลนที่เคยถูกทำลายมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามตาราง 1 และ ภาพประกอบ 57 จากการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่ง แบบดิจิทัล พบว่า ในบริเวณนี้มีภาพรวมเป็นการสะสมตัว ได้แก่ พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554, พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 5.41 - 51.93 เมตรต่อปี และมีภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่นี้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566 เป็นการสะสมตัว ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ย 18.40 เมตรต่อปี ตาม ภาพประกอบ 56(ก-ข) และตาราง 28 เกิดการขยายตัวของป่าชายเลนจำนวนมาก ตามภาพ ประกอบ 58 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณนี้ไม่แปรผันตามแนวโน้มค่าอุทกภัยและ ระดับน้ำทะเลในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2



ภาพประกอบ 56 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปีที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ในพื้นที่ A บริเวณชายฝั่งทะเลระหว่างปากแม่น้ำแม่กลองกับปากคลองบางตะบูน จังหวัดสมุทรสงคราม

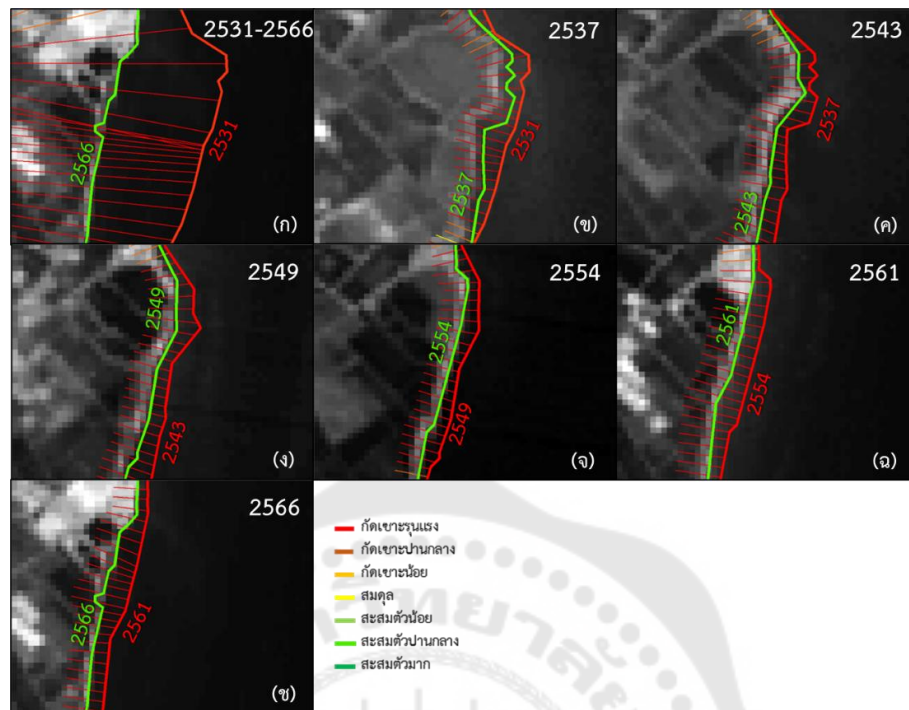


ภาพประกอบ 57 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ในพื้นที่ A บริเวณชายฝั่งทะเลระหว่างปากแม่น้ำแม่กลองกับปากคลองบางตะบูน จังหวัดสมุทรสงคราม

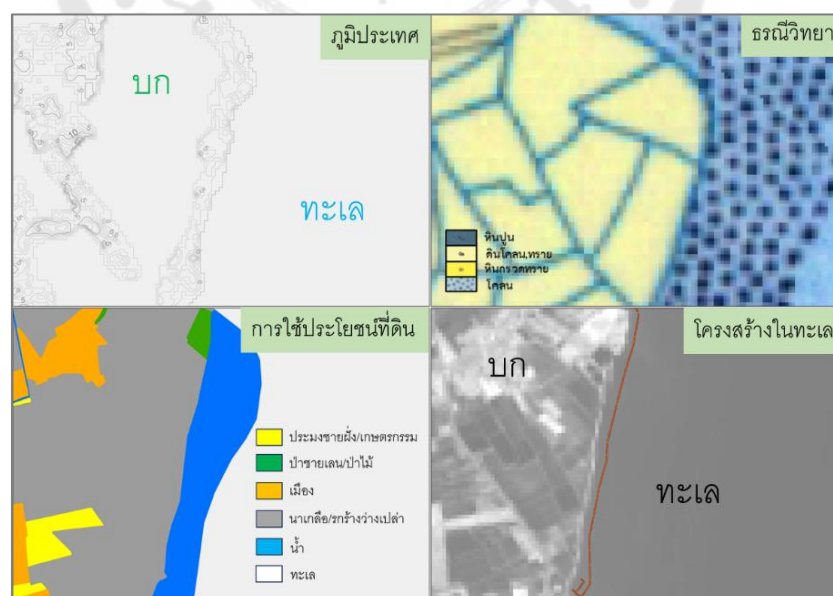


ภาพประกอบ 58 พื้นที่สะสมตัวเกิดเป็นป่าชายเลน บริเวณชายฝั่งทะเล
ระหว่างปากแม่น้ำแม่กลองกับปากคลองบางตะบูน จังหวัดสมุทรสงคราม

ข) บริเวณนาเกลือ ตำบลปากทะเล อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งอยู่ในตำแหน่ง B ตามภาพประกอบ 55 เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศตามแนวชายฝั่งเป็นที่ราบและมีความชันในระดับที่สูง มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นทรายและโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นนาเกลือและพื้นที่รกร้างว่างเปล่า และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งแบบอ่อน คือ การปักไม้ไผ่ชะลอคลื่น ซึ่งเริ่มดำเนินการมากขึ้นตั้งแต่ พ.ศ.2561-2565 ตามตาราง 2 และ ภาพประกอบ 60 จากการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล พบว่า ในบริเวณนี้มีภาพรวมเป็นการกัดเซาะ ได้แก่ พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554, พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 9.16 – 20.07 เมตรต่อปี และมีภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่นี้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566 เป็นการกัดเซาะ ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 13.39 เมตรต่อปี ตามภาพประกอบ 59(ก-ข) และตาราง 28 เกิดการพังทลายของคันนาเกลือ ทำให้น้ำทะเลสามารถรุกเข้าแผ่นดินได้ง่าย จึงเกิดการถอยร่นของแผ่นดินขึ้น ตามภาพประกอบ 61 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณนี้แปรผันตามแนวโน้มค่าอุณหภูมิและระดับน้ำทะเลในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2



ภาพประกอบ 59 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปีที่แปลผันตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ในพื้นที่ B บริเวณนาเกลือ ตำบลปากทะเล อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

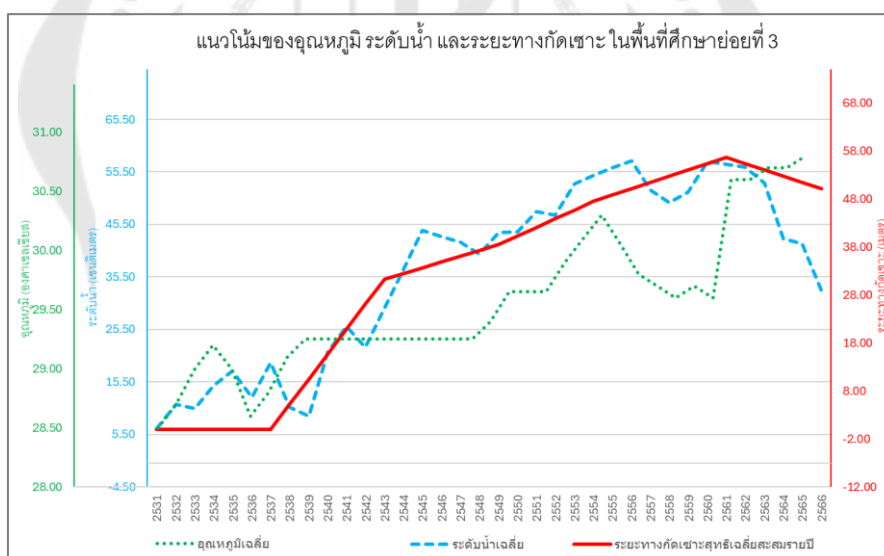


ภาพประกอบ 60 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ในพื้นที่ B บริเวณนาเกลือ ตำบลปากทะเล อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี



ภาพประกอบ 61 พื้นที่กัดเซาะชายฝั่ง บริเวณนาเกลือ ตำบลปากทะเล
อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

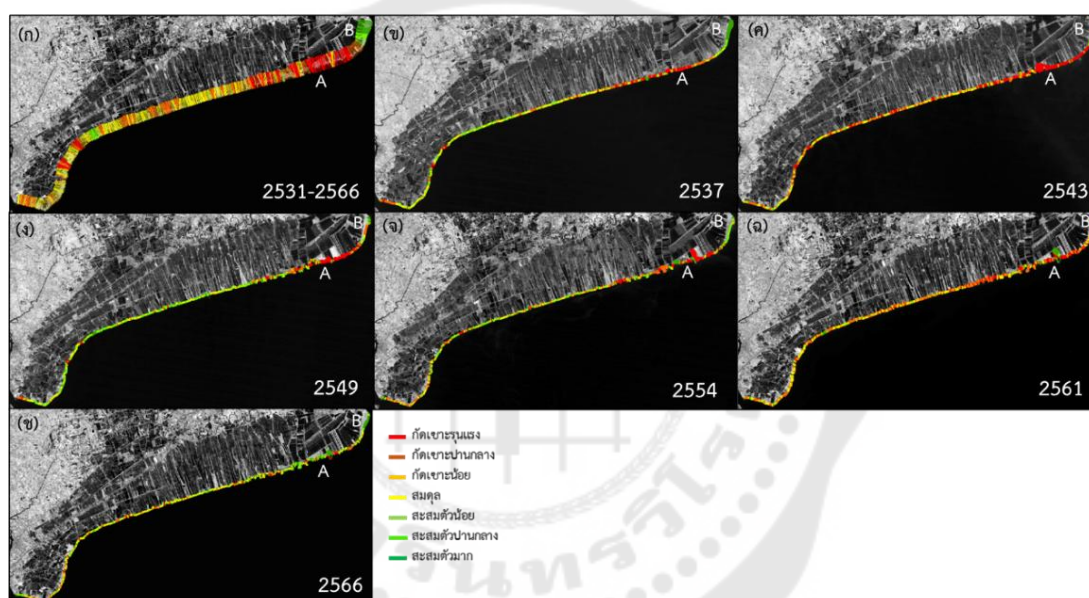
5.4.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ร่วมกับลักษณะทางกายภาพ ในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3 (ปากแม่น้ำแม่กลอง – ปากแม่น้ำท่าจีน)



ภาพประกอบ 62 อุณหภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางกัดเซาะชายฝั่ง พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3

จากกราฟแนวโน้มทั้ง 3 ค่า ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3 ตามภาพประกอบ 62 พบว่า ค่าอุณหภูมิในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 - 2566 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น ส่วนระดับน้ำทะเล ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 - 2561 มีระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2561 - 2566 มีระดับน้ำทะเลลดลง โดยภาพรวมของค่าระดับน้ำทะเลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การกัดเซาะชายฝั่งในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 - 2561 มีการกัดเซาะเพิ่มขึ้น ที่ระยะทาง

การกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจาก 0 เมตร เป็น 56.72 เมตร ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 0.01 – 1.80 เมตรต่อปี ซึ่งอยู่ในระดับสมดุลถึงการกัดเซาะระดับปานกลาง ต่อมาในช่วงระหว่าง ปี พ.ศ.2561 – 2566 มีการกัดเซาะลดลง ที่ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจาก 56.72 เมตร เป็น 50.18 เมตร ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -1.31 เมตรต่อปี ซึ่งมีการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว ในระดับการสะสมตัวปานกลาง โดยภาพรวมของพื้นที่ ศึกษาย่อยที่ 3 เป็นการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในลักษณะของการกัดเซาะ ที่อัตราการกัดเซาะสุทธิ เฉลี่ย 1.43 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะปานกลาง ตามตาราง 25 และ ตาราง 27 ซึ่งแปลผัน ตามแนวโน้มของค่าอุณหภูมิและระดับน้ำทะเล

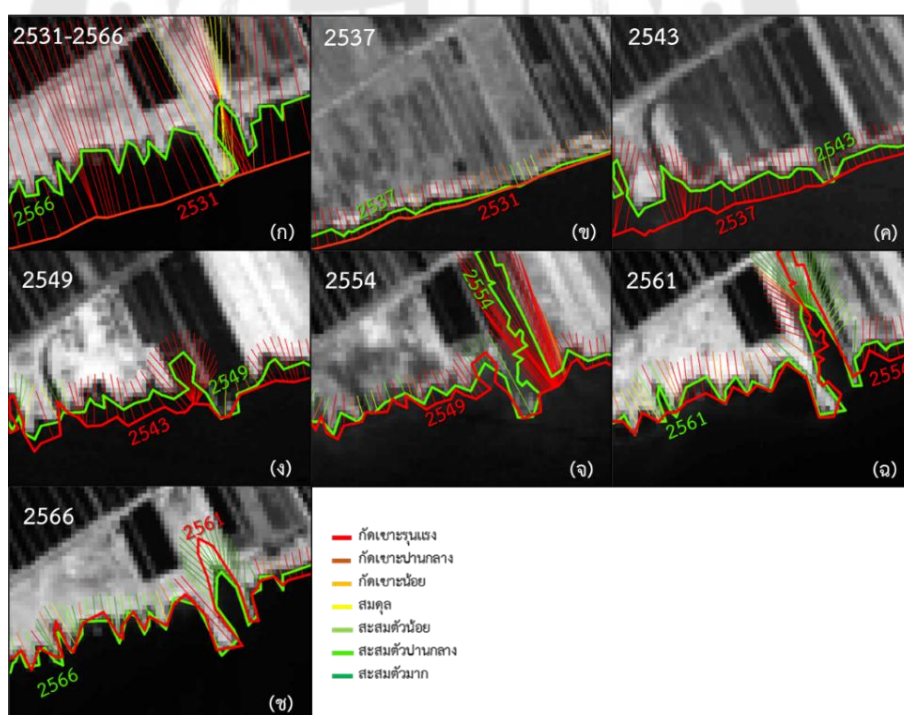


ภาพประกอบ 63 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปี ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3

จากสถิติการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งในแต่ละปี ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3 ตามตาราง 27 พบว่า มีพื้นที่ที่มีการกัดเซาะที่แปลผันตามแนวโน้มของอุณหภูมิและระดับน้ำ ซึ่งเกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่ในพื้นที่ และไม่แปลผันตามแนวโน้มของอุณหภูมิและระดับน้ำซึ่งเกิดขึ้น เป็นส่วนน้อยในพื้นที่ โดยพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เด่นชัดที่สุดมี 2 พื้นที่ ได้แก่

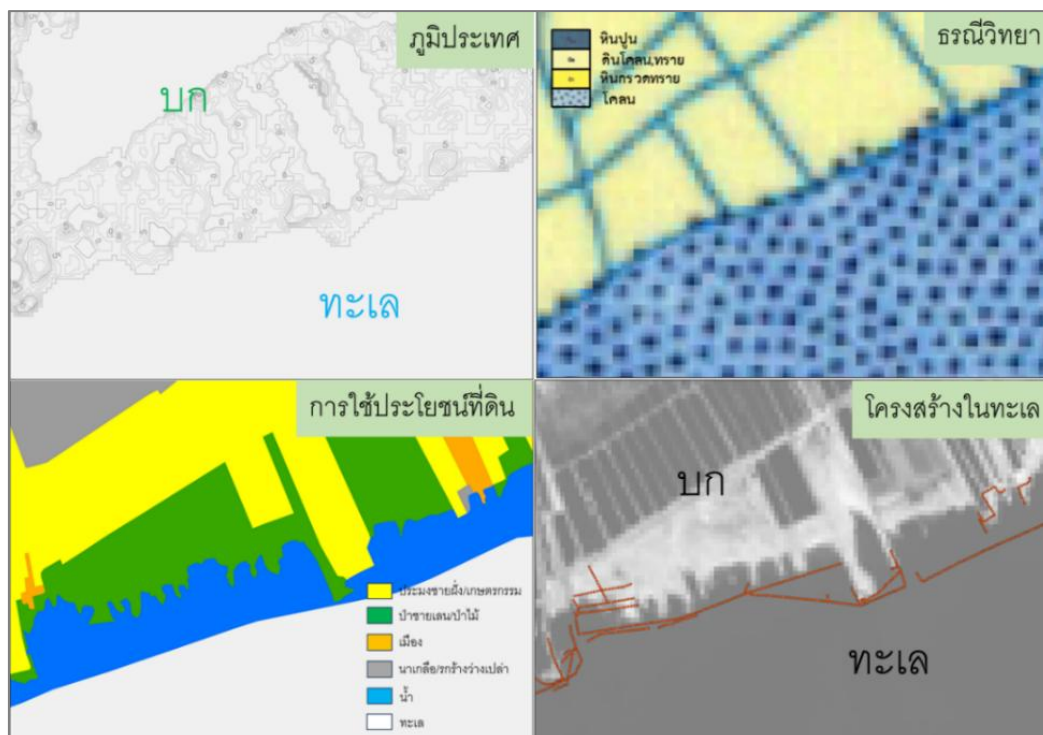
ก) บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางแพรง อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งอยู่ใน ตำแหน่ง A ตามภาพประกอบ 63 เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศตามแนวชายฝั่งเป็นที่ราบและ มีความชันในระดับที่สูง มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นทรายและโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็น ประมงชายฝั่งและป่าชายเลนที่มีการฟื้นฟูจากการยกเลิกให้สัมปทานแก่ออกชนและมีการรณรงค์

ให้ปลูกป่าชายเลนเพิ่มขึ้น พร้อมออกมาตรการการคุ้มครองอย่างเข้มงวด ทำให้ป่าชายเลนที่เคยถูกทำลายมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามตาราง 1 และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งแบบอ่อนเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ การปักไม้ไผ่กันคลื่น รวมถึงเสาไม้ปักเลน และมีแนวป้องกันชายฝั่งแบบแข็งที่เป็นโครงสร้างติดชายฝั่ง ซึ่งได้ดำเนินการมาตั้งแต่อดีต - พ.ศ.2565 จากทางภาครัฐและเอกชน ตามตาราง 2 และภาพประกอบ 65 จากการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล พบว่า ในบริเวณนี้มีภาพรวมเป็นการกัดเซาะ ได้แก่ พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549 และ พ.ศ.2554 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 5.34 - 30.72 เมตรต่อปี และมีภาพรวมเป็นการสะสมตัว ได้แก่ พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 2.20 - 8.08 เมตรต่อปี และมีภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566 เป็นการกัดเซาะ ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 8.86 เมตรต่อปี ตามภาพประกอบ 64(ก-ข) และตาราง 28 เกิดการถอยร่นของแผ่นดิน ตามภาพประกอบ 66 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณนี้แปรผันตามแนวโน้มค่าอุณหภูมิและระดับน้ำทะเลในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาอยู่ที่ 3



ภาพประกอบ 64 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปีที่แปรผันตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ที่ 3 ในพื้นที่ A บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางแพรก

อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร



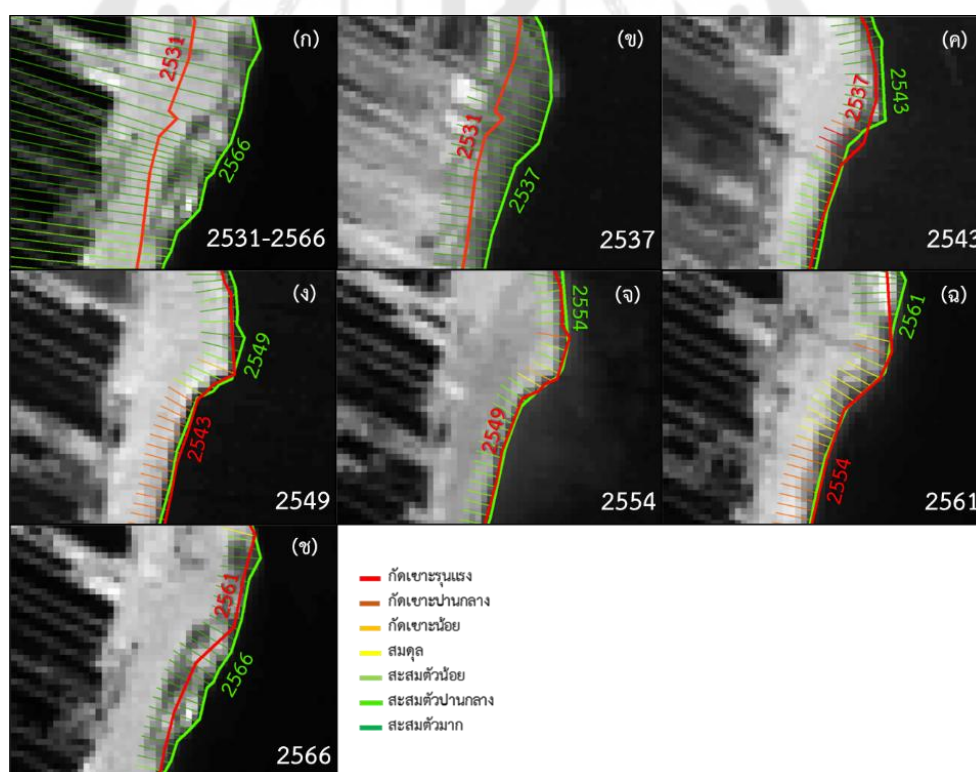
ภาพประกอบ 65 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3 ในพื้นที่ A
บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางแพรง อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร



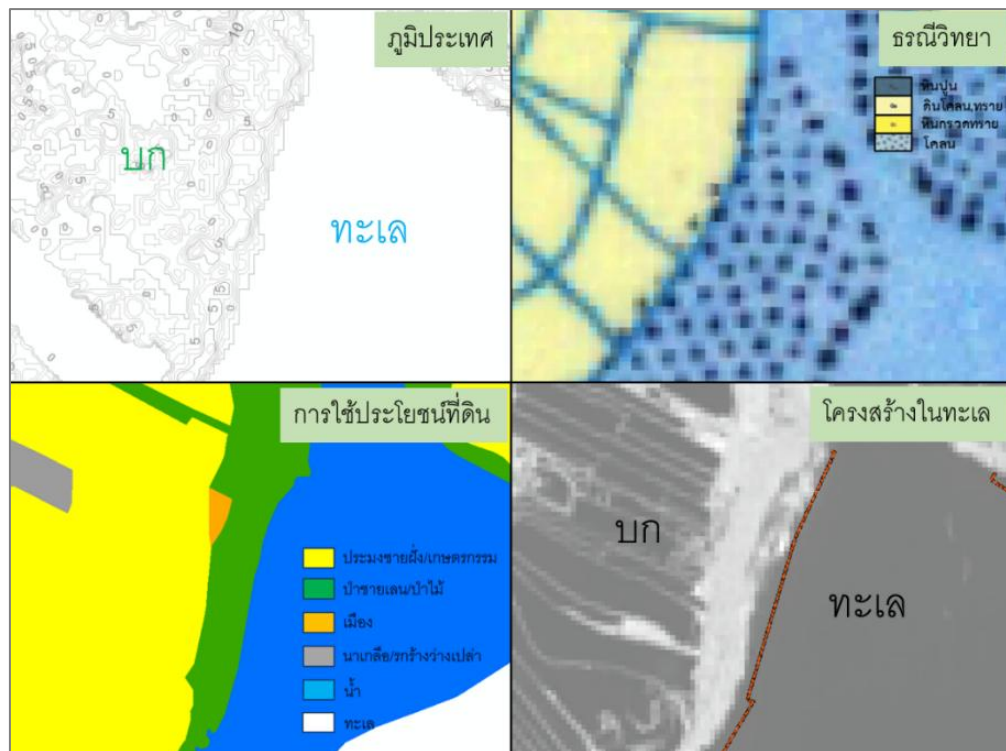
ภาพประกอบ 66 พื้นที่กัดเซาะชายฝั่ง บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางแพรง อำเภอเมือง
จังหวัดสมุทรสาคร

ข) บริเวณชายฝั่งทะเล ศูนย์ศึกษาธรรมชาติป่าชายเลนอ่าวมหาชัย ตำบลบางแพรง อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งอยู่ในตำแหน่ง B ตามภาพประกอบ 63 เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศตามแนวชายฝั่งเป็นที่ราบและมีความชันในระดับที่ต่ำ มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นป่าชายเลนที่มีการฟื้นฟูจากการยกเลิกให้

สัมปทานแก๊สเอกชนและมีการรณรงค์ให้ปลูกป่าชายเลนเพิ่มขึ้น พร้อมออกมาตรการคุ้มครองอย่างเข้มงวด ทำให้ป่าชายเลนที่เคยถูกทำลายมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามตาราง 1 และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งแบบอ่อน ได้แก่ การปักไม้ไผ่กันคลื่นและเสาไม้ปักเลน ซึ่งได้ดำเนินการมาตั้งแต่อดีต - พ.ศ.2565 จากทางภาครัฐและเอกชน ตามตาราง 2 และภาพประกอบ 68 จากการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล พบว่า ในบริเวณนี้มีภาพรวมเป็นการสะสมตัว ได้แก่ พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554, พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 0.85 – 27.55 เมตรต่อปี และมีภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่นี้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566 เป็นการสะสมตัว ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ย 7.42 เมตรต่อปี ตามภาพประกอบ 67(ก-ข) และตาราง 28 เกิดการขยายตัวของป่าชายเลนจำนวนมาก ตามภาพประกอบ 69 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณนี้ไม่แปรผันตามแนวโน้มค่าอุณหภูมิและระดับน้ำทะเลในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาอยู่ที่ 3



ภาพประกอบ 67 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปีที่ไม่แปรผันตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ที่ 3 ในพื้นที่ B บริเวณชายฝั่งทะเล ศูนย์ศึกษาธรรมชาติป่าชายเลนอ่าวมหาชัย ตำบลบางแพรง อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร

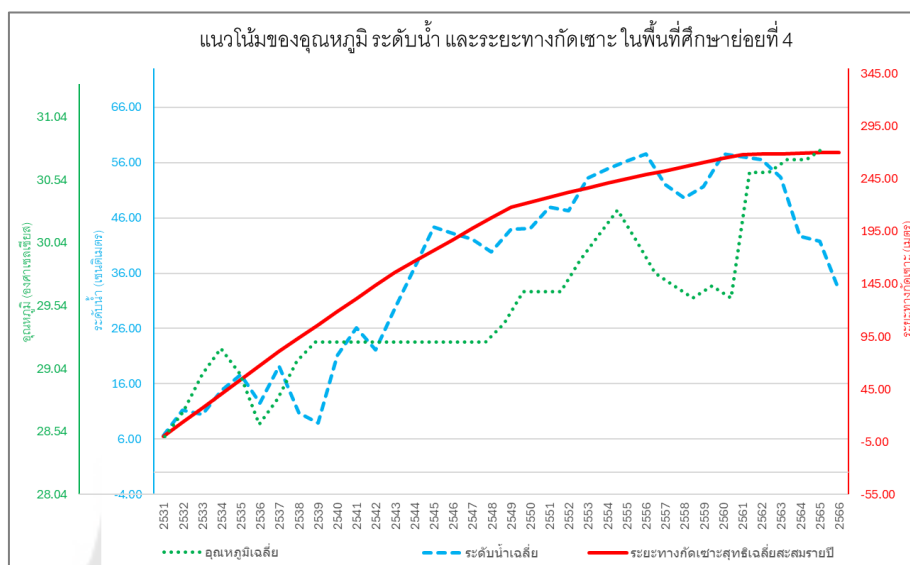


ภาพประกอบ 68 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3 ในพื้นที่ B
บริเวณชายฝั่งทะเล ศูนย์ศึกษาธรรมชาติป่าชายเลนอ่าวมหาชัย ตำบลบางแพรง
อำเภอมะนัง จังหวัดสมุทรสาคร



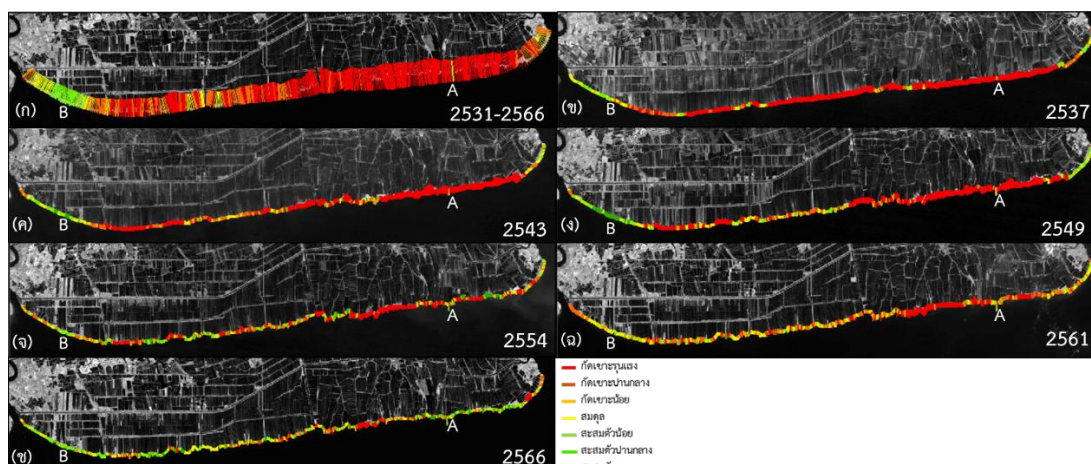
ภาพประกอบ 69 การเพิ่มขึ้นของป่าชายเลน บริเวณชายฝั่งทะเล ศูนย์ศึกษาธรรมชาติ
ป่าชายเลนอ่าวมหาชัย ตำบลบางแพรง อำเภอมะนัง จังหวัดสมุทรสาคร

5.4.4 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ร่วมกับลักษณะทางกายภาพ ในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 (ปากแม่น้ำท่าจีน – ปากแม่น้ำเจ้าพระยา)



ภาพประกอบ 70 อุณหภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางกัดเซาะชายฝั่ง พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4

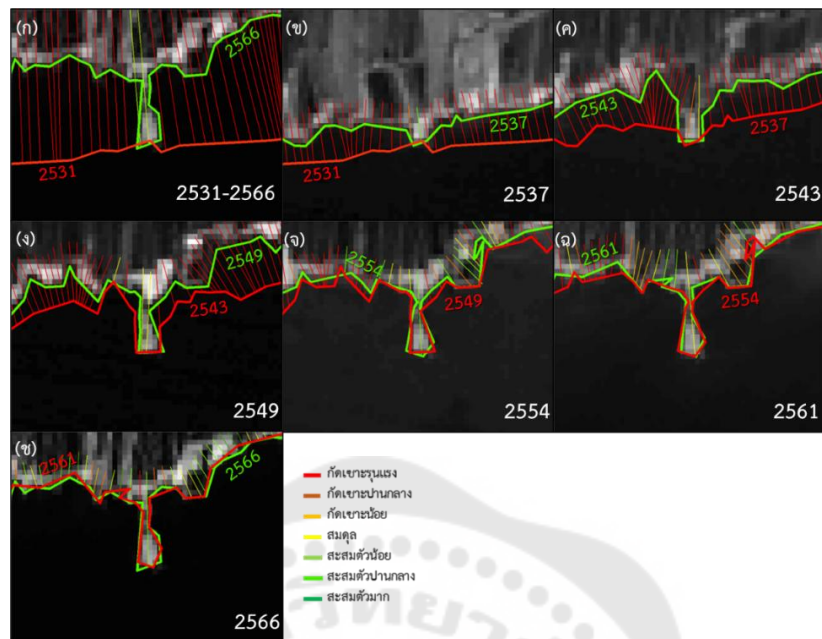
จากกราฟแนวโน้มทั้ง 3 ค่า ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 ตามภาพประกอบ 70 พบว่า ค่าอุณหภูมิในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2566 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ส่วนระดับน้ำทะเล ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 - 2561 มีระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2561 – 2566 มีระดับน้ำทะเลลดลง โดยภาพรวมของค่าระดับน้ำทะเลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การกัดเซาะชายฝั่งในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2566 มีการกัดเซาะเพิ่มขึ้น ที่ระยะทาง การกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจาก 0 เมตร เป็น 270.30 เมตร ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 0.40 – 13.55 เมตรต่อปี ซึ่งอยู่ในระดับสมดุลถึงการกัดเซาะรุนแรง โดยภาพรวมของพื้นที่ศึกษา ย่อยที่ 4 เป็นการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในลักษณะของการกัดเซาะ ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 7.72 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะรุนแรง ตามตาราง 25 และ ตาราง 27 ซึ่งแปลผันตาม แนวโน้มของค่าอุณหภูมิและระดับน้ำทะเล



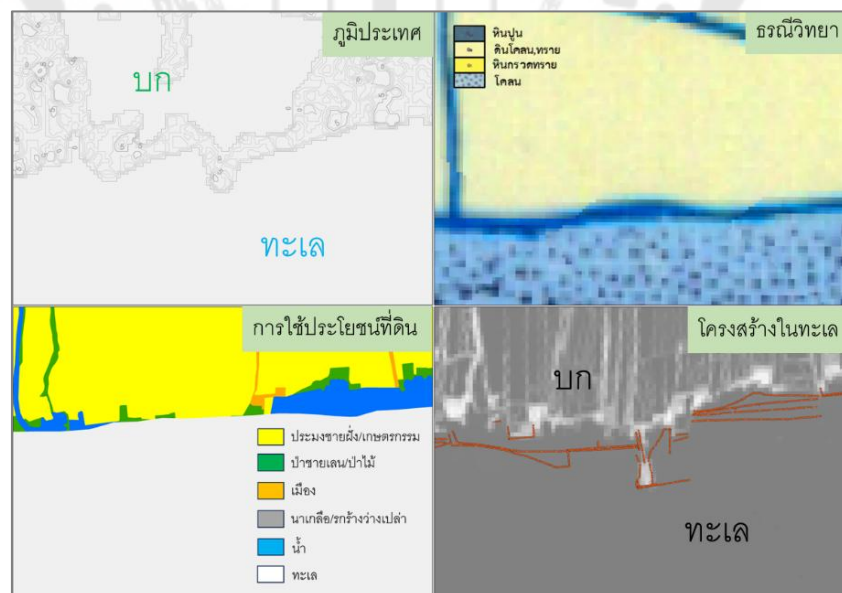
ภาพประกอบ 71 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปี ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4

จากสถิติการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปี ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 ตามตาราง 27 พบว่า มีพื้นที่ที่มีการกัดเซาะที่แปรผันตามแนวโน้มของอุทกภูมิและระดับน้ำ ซึ่งเกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่ในพื้นที่ และไม่แปรผันตามแนวโน้มของอุทกภูมิและระดับน้ำที่เกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่ในพื้นที่ โดยมีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เด่นชัดที่สุดมี 2 พื้นที่ ได้แก่

ก) บริเวณชายฝั่งทะเล บ้านขุนสมุทรจีน ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอมุทรสาคร จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งอยู่ในตำแหน่ง A ตามภาพประกอบ 71 เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศตามแนวชายฝั่งเป็นที่ราบและมีความชันในระดับที่สูง มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นทรายและโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประมงชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ที่รูกำปายเลนตั้งแต่อดีต ตามตาราง 1 และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งแบบอ่อนเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ การปักไม้ไผ่กันคลื่น รวมถึงเสาไม้ปักเลน และมีแนวป้องกันชายฝั่งแบบแข็งที่เป็นโครงสร้างติดชายฝั่ง ที่ได้ดำเนินการมาตั้งแต่อดีต - พ.ศ.2565 จากทางภาครัฐและเอกชน ตามตาราง 2 และภาพประกอบ 73 จากการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล พบว่า ในบริเวณนี้มีภาพรวมเป็นการกัดเซาะ ได้แก่ พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554 และ พ.ศ.2561 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 2.66 – 31.22 เมตรต่อปี และมีภาพรวมเป็นการสะสมตัว คือ พ.ศ.2566 ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ย 1.84 เมตรต่อปี และมีภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่นี้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566 เป็นการกัดเซาะ ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 15.47 เมตรต่อปี ตามภาพประกอบ 72(ก-ข) และตาราง 28 เกิดการถอยร่นของแผ่นดิน ตามภาพประกอบ 74 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณนี้แปรผันตามแนวโน้มค่าอุทกภูมิและระดับน้ำทะเลในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4



ภาพประกอบ 72 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปีที่แปลผันตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาซอยที่ 4 ในพื้นที่ A บริเวณชายฝั่งทะเล บ้านขุนสมุทรจีน ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอมะขาม จังหวัดสมุทรปราการ

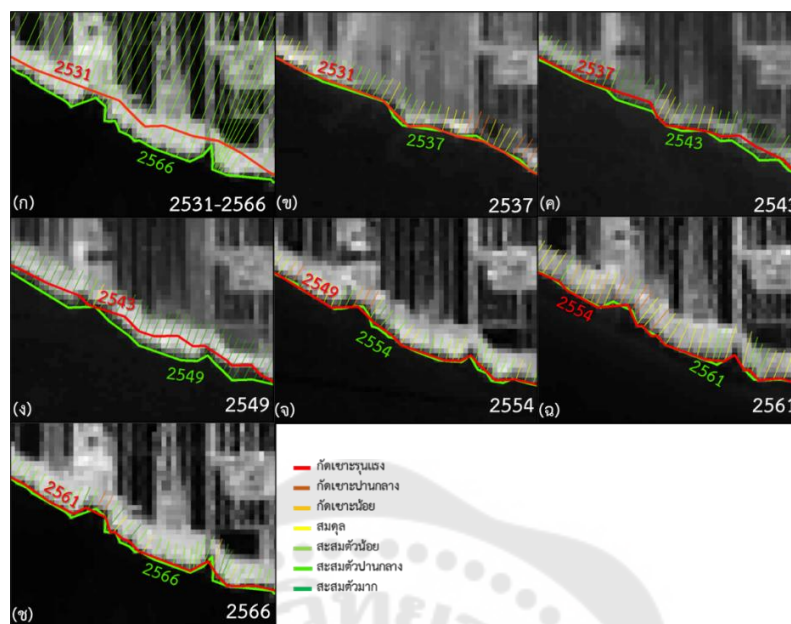


ภาพประกอบ 73 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาซอยที่ 4 ในพื้นที่ A บริเวณชายฝั่งทะเล บ้านขุนสมุทรจีน ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอมะขาม จังหวัดสมุทรปราการ

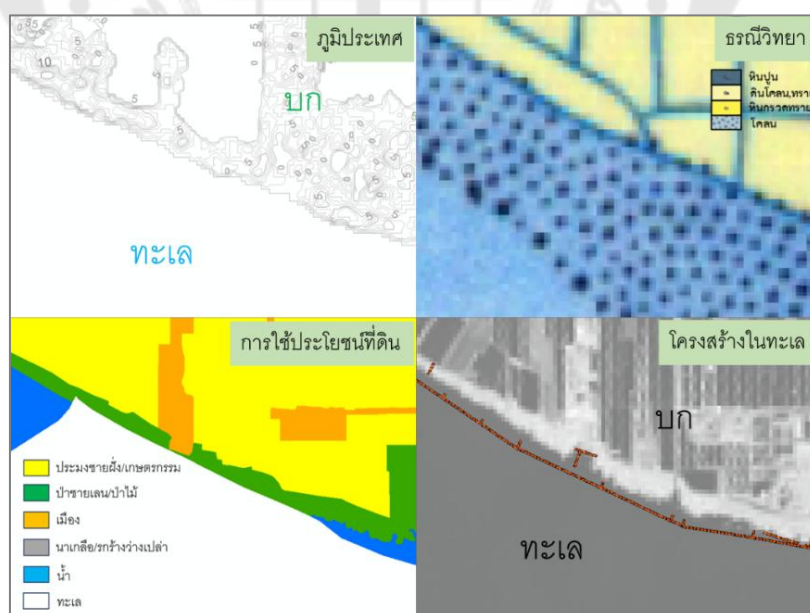


ภาพประกอบ 74 พื้นที่กัดเซาะชายฝั่ง บริเวณชายฝั่งทะเล บ้านขุนสมุทรจีน
ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอมะขาม จังหวัดสมุทรปราการ

ข) บริเวณชายฝั่งทะเล สำนักงานทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่ 8 อำเภอมะขาม จังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งอยู่ในตำแหน่ง B ตามภาพประกอบ 71 เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศตามแนวชายฝั่งเป็นที่ราบและมีความชันในระดับที่สูง มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประมงชายฝั่งและป่าชายเลนที่มีการฟื้นฟูจากการยกเลิกให้สัมปทานแก่เอกชน และมีการรณรงค์ให้ปลูกป่าชายเลนเพิ่มขึ้น พร้อมออกมาตรการคุ้มครองอย่างเข้มงวด ทำให้ป่าชายเลนที่เคยถูกทำลายมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามตาราง 1 และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งแบบอ่อนเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ การปักไม้ไผ่กันคลื่น รวมถึงเสาไม้ปักเลน และมีแนวป้องกันชายฝั่งแบบแข็งที่เป็นโครงสร้างติดชายฝั่งที่ได้ดำเนินการมาตั้งแต่อดีต - พ.ศ.2565 จากทางภาครัฐและเอกชน ตามตาราง 2 และ ภาพประกอบ 76 จากการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล พบว่าในบริเวณนี้มีภาพรวมเป็นการสะสมตัว ได้แก่ พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554, พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 0.13 – 11.21 เมตรต่อปี และมีภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่นี้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566 เป็นการสะสมตัวในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ย 2.94 เมตรต่อปี ตามภาพประกอบ 75(ก-ข) และตาราง 28 เกิดการขยายตัวของป่าชายเลนและแนวป้องกันชายฝั่งจำนวนมาก ตามภาพประกอบ 77 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณนี้ไม่แปรผันตามแนวโน้มค่าอุณหภูมิและระดับน้ำทะเล ในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาอยู่ที่ 4



ภาพประกอบ 75 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปีที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาซอยที่ 4 ในพื้นที่ B บริเวณชายฝั่งทะเล สำนักงานทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่ 8 อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร

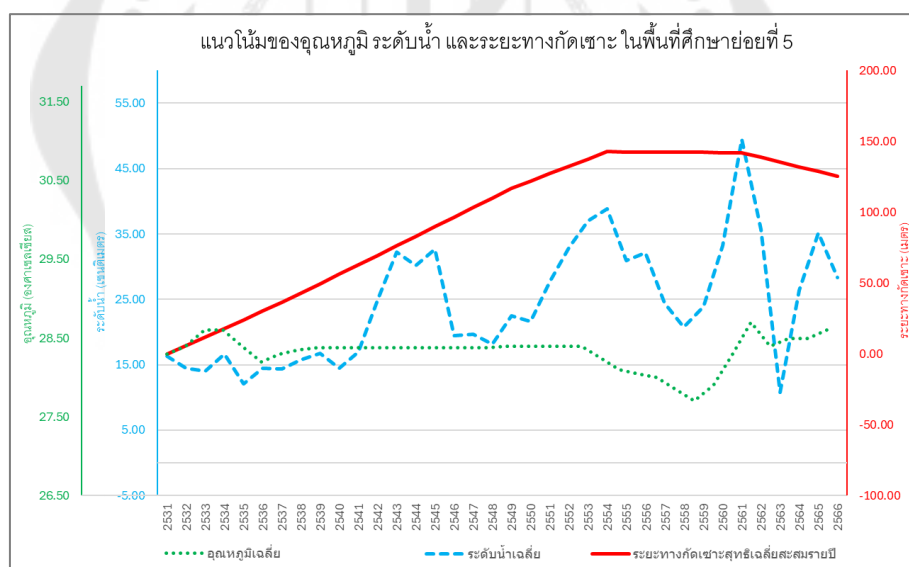


ภาพประกอบ 76 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาซอยที่ 4 ในพื้นที่ B บริเวณชายฝั่งทะเล สำนักงานทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่ 8 อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร



ภาพประกอบ 77 พื้นที่ป่าชายเลนและแนวป้องกันชายฝั่ง บริเวณชายฝั่งทะเล
สำนักงานทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่ 8 อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร

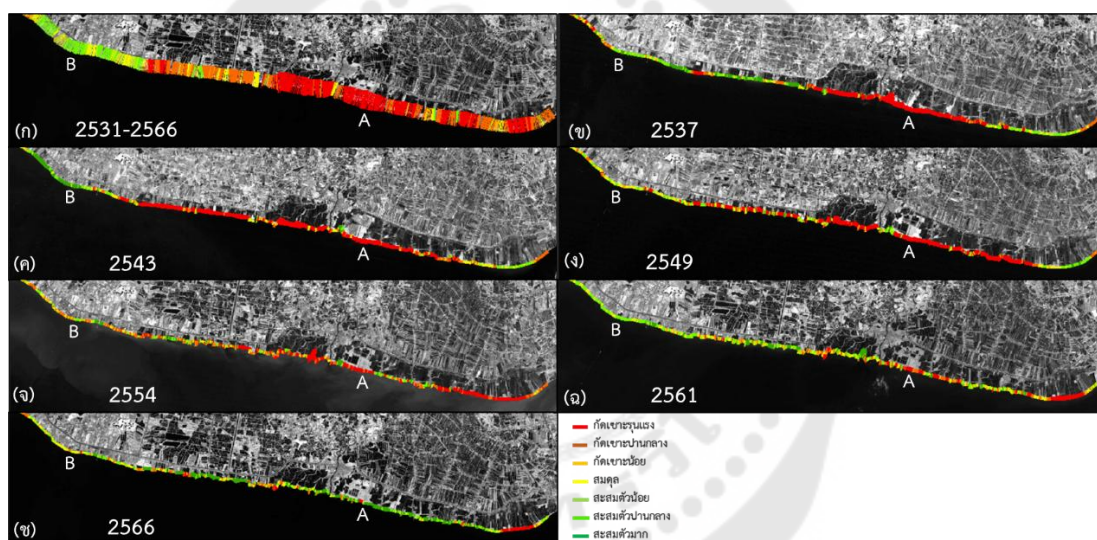
5.4.5 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ร่วมกับลักษณะทางกายภาพ ในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 (ปากแม่น้ำเจ้าพระยา - ปากแม่น้ำบางปะกง)



ภาพประกอบ 78 อุณหภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางกัดเซาะชายฝั่ง พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5

จากกราฟแนวโน้มทั้ง 3 ค่า ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 ตามภาพประกอบ 78 พบว่า ค่าอุณหภูมิในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2566 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกัน โดยภาพรวมของค่าอุณหภูมิมิแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนระดับน้ำทะเลในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 - 2561 มีระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2561 – 2566 มีระดับน้ำทะเลลดลง โดยภาพรวมของค่าระดับน้ำทะเลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การกัดเซาะชายฝั่งในช่วงระหว่างปี

พ.ศ.2531 – 2554 มีการกัดเซาะเพิ่มขึ้น ที่ระยะทางกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจาก 0 เมตร เป็น 142.69 เมตร ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 5.18 – 6.77 เมตรต่อปี ซึ่งอยู่ในระดับการกัดเซาะรุนแรง ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2554 – 2566 มีการกัดเซาะลดลง ที่ระยะทางกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจาก 142.69 เมตร เป็น 125.50 เมตร ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -0.10 – -3.30 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าการกัดเซาะเป็นลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว ในระดับสมดุลถึงการสะสมตัวปานกลาง โดยภาพรวมของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 เป็นการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในลักษณะของการกัดเซาะ ที่อัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 3.59 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะปานกลาง ตามตาราง 25 และ ตาราง 27 ซึ่งแปลผันตามแนวโน้มของอุทกภูมิและระดับน้ำทะเล

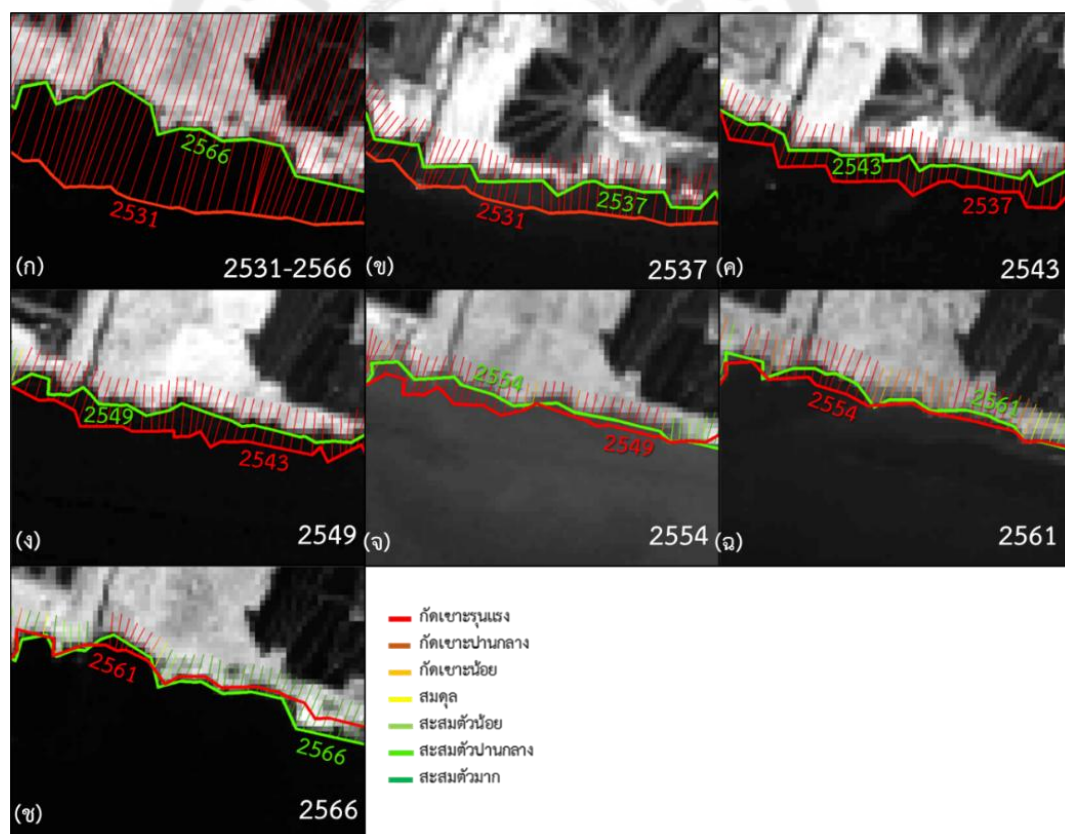


ภาพประกอบ 79 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปี ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5

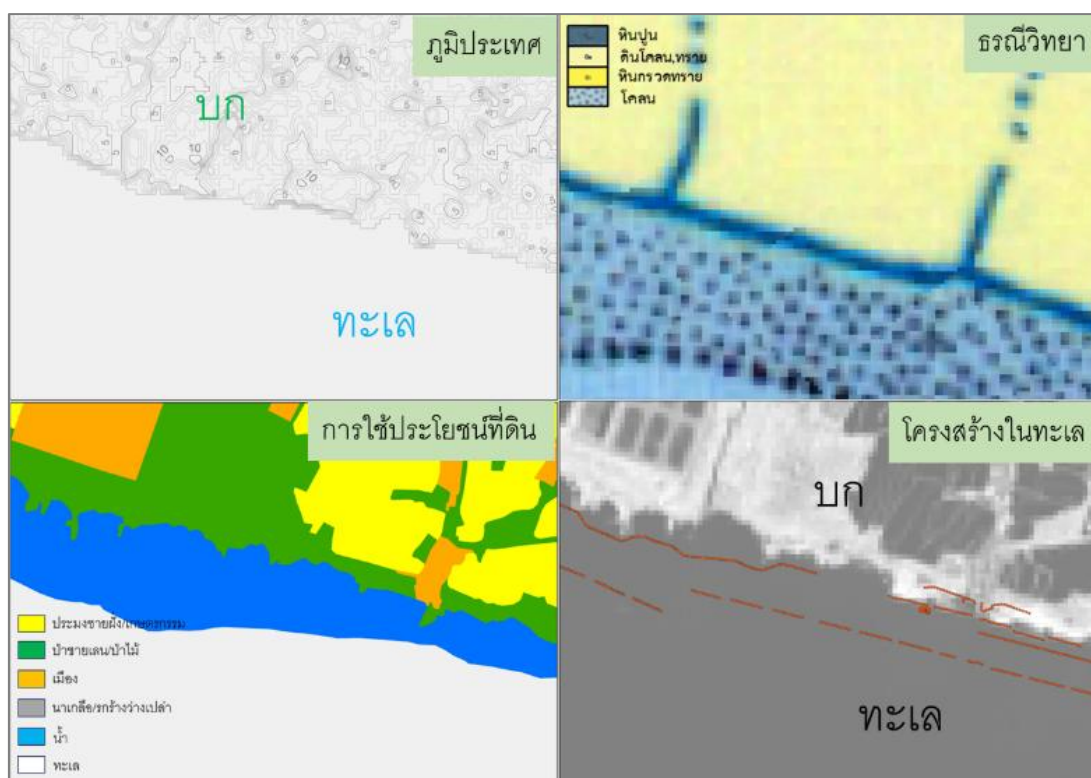
จากสถิติการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปี ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 ตามตาราง 27 พบว่า มีพื้นที่ที่มีการกัดเซาะที่แปลผันตามแนวโน้มของอุทกภูมิและระดับน้ำซึ่งเกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่ในพื้นที่ และไม่แปลผันตามแนวโน้มของอุทกภูมิและระดับน้ำซึ่งเกิดขึ้นเป็นส่วนน้อยในพื้นที่ โดยพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เด่นชัดที่สุดมี 2 พื้นที่ ได้แก่

ก) บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลคลองด่าน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งอยู่ในตำแหน่ง A ตามภาพประกอบ 79 เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศตามแนวชายฝั่งเป็นที่ราบและมีความชันในระดับที่สูง มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นทรายและโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประมงชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ที่รูกำปำชายเลนตั้งแต่อดีต ตามตาราง 1 และมีโครงสร้าง

ตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งแบบอ่อนเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ การปักไม้ไผ่กันคลื่น รวมถึงเสาไม้ปักเลน และแนวป้องกันชายฝั่งแบบแข็งที่เป็นโครงสร้างติดชายฝั่ง ที่ได้ดำเนินการมาตั้งแต่อดีต - พ.ศ.2565 จากทางภาครัฐและเอกชน ตามตาราง 2 และภาพประกอบ 81 จากการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล พบว่า ในบริเวณนี้มีภาพรวมเป็นการกัดเซาะ ได้แก่ พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554 และ พ.ศ.2561 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 4.70 – 23.36 เมตรต่อปี และมีภาพรวมเป็นการสะสมตัว คือ พ.ศ.2566 ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ย 6.13 เมตรต่อปี แต่ในภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่นี้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566 เป็นการกัดเซาะ ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 11.51 เมตรต่อปี ตามภาพประกอบ 80(ก-ข) และตาราง 28 เกิดการถอยร่นของแผ่นดิน ตามภาพประกอบ 82 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณนี้แปรผันตามแนวโน้มค่าอุณหภูมิและระดับน้ำทะเลในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาอยู่ที่ 5



ภาพประกอบ 80 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปีที่แปรผันตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ที่ 5 ในพื้นที่ A บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลคลองด่าน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ



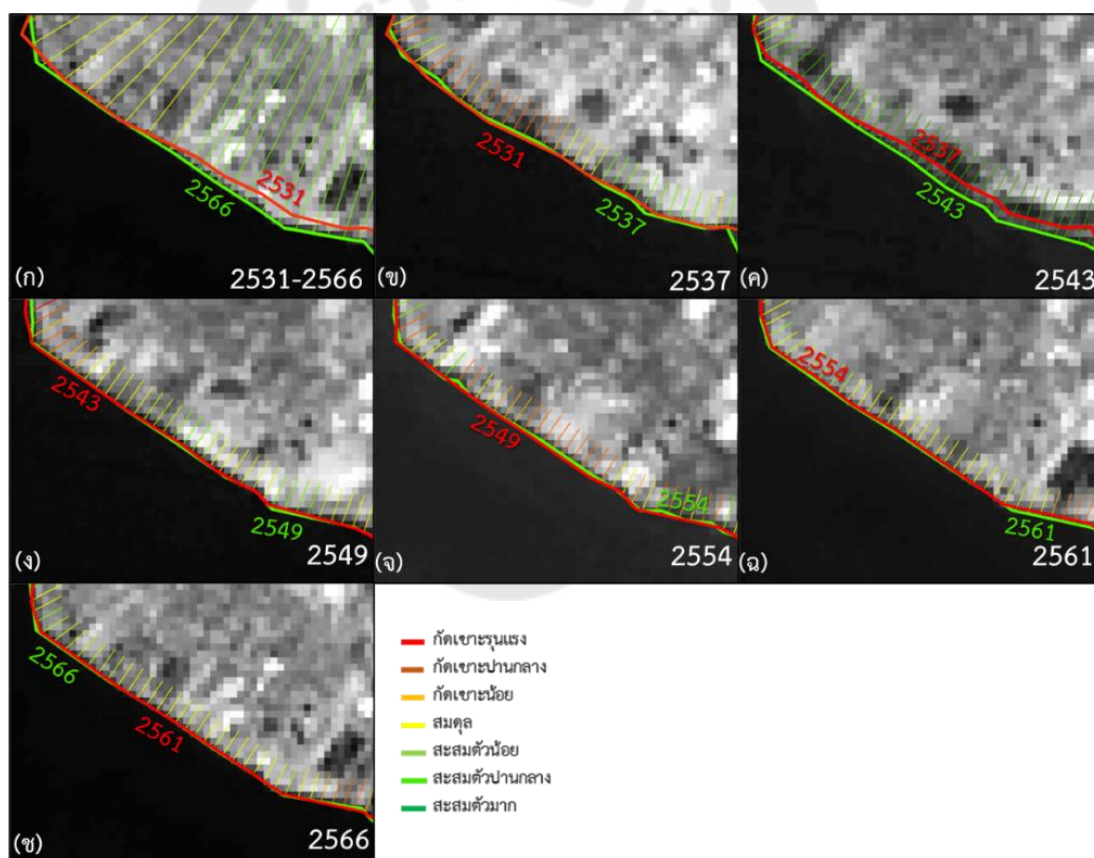
ภาพประกอบ 81 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 ในพื้นที่ A
บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลคลองด่าน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ



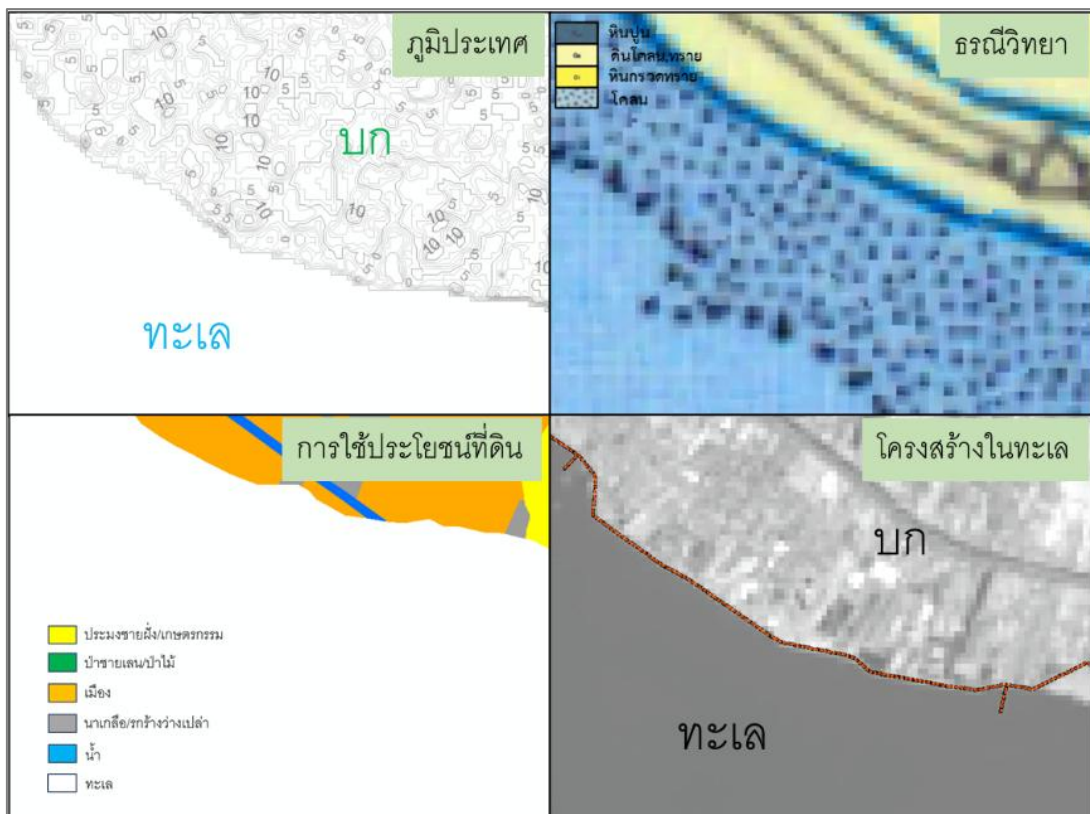
ภาพประกอบ 82 พื้นที่กัดเซาะชายฝั่ง บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลคลองด่าน
อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ

ข) บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางปู อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งอยู่ในตำแหน่ง B ตามภาพประกอบ 79 เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศตามแนวชายฝั่งเป็นที่ราบและมีความชันในระดับที่สูง มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นชุมชนเมืองและมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งแบบแข็งที่เป็นหินทิ้งและแบบตั้งตรงติดฝั่ง

ที่ได้ดำเนินการมาตั้งแต่อดีต - พ.ศ.2560 จากทางภาครัฐและเอกชน ตามตาราง 2 และภาพประกอบ 84 จากการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล พบว่า ในบริเวณนี้มีภาพรวมเป็นการสะสมตัว ได้แก่ พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 0.26 – 6.30 เมตรต่อปี และมีภาพรวมเป็นการกัดเซาะ ได้แก่ พ.ศ.2549 และ พ.ศ.2554 ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 0.08 – 0.96 เมตรต่อปี และมีภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่นี้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566 เป็นการสะสมตัว ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ย 1.10 เมตรต่อปี ตามภาพประกอบ 83(ก-ข) และ ตาราง 28 เกิดความคงที่ของแนวชายฝั่ง ตามภาพประกอบ 85 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณนี้ไม่แปรผันตามแนวโน้มค่าอุณหภูมิและระดับน้ำทะเล ในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5



ภาพประกอบ 83 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปีที่ไม่แปรผันตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 ในพื้นที่ B บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางปู อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

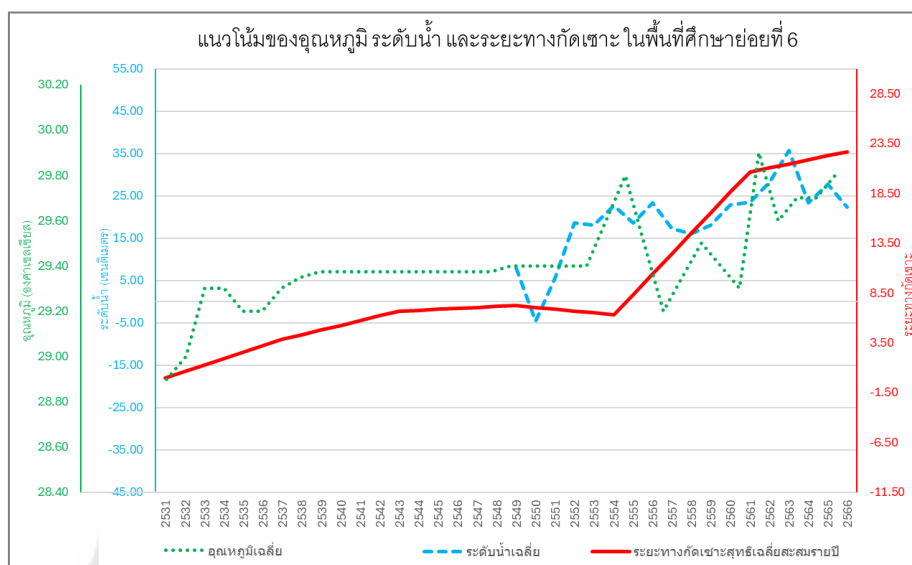


ภาพประกอบ 84 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 ในพื้นที่ B
บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางปู อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ



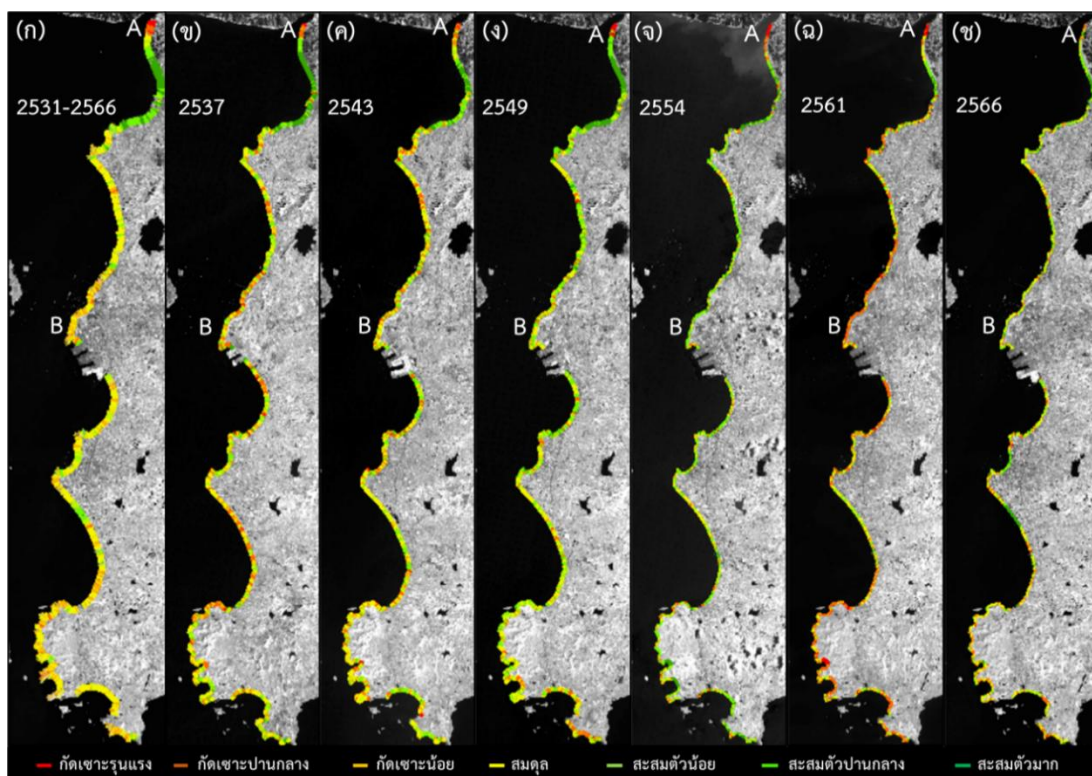
ภาพประกอบ 85 ชายฝั่งที่คงที่ บริเวณชายฝั่งทะเล ตำบลบางปู อำเภอเมือง
จังหวัดสมุทรปราการ

5.4.6 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ร่วมกับลักษณะทางกายภาพ ในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6 (ปากแม่น้ำบางปะกง - อำเภอสัตหีบ)



ภาพประกอบ 86 อุทกภูมิ ระดับน้ำ และระยะทางกัดเซาะชายฝั่ง พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6

จากกราฟแนวโน้มทั้ง 3 ค่า ของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6 ตามภาพประกอบ 86 พบว่า ค่าอุทกภูมิในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2554 มีค่าอุทกภูมิเฉลี่ยคงที่ ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2554 – 2566 มีค่าอุทกภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยภาพรวมของค่าอุทกภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนระดับน้ำทะเลในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2549 - 2566 มีระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น ในขณะที่ การกัดเซาะชายฝั่งในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2549 มีแนวโน้มการกัดเซาะเพิ่มขึ้น ที่ระยะทาง การกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจาก 0 เมตร เป็น 7.25 เมตร ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 0.10 – 0.64 เมตรต่อปี ซึ่งอยู่ในระดับสมดุลถึงการกัดเซาะน้อย ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2549 – 2554 มีการกัดเซาะลดลง ที่ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจาก 7.25 เมตร เป็น 6.30 เมตร ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย -0.19 เมตรต่อปี ซึ่งมีค่าการกัดเซาะเป็น ลบ จึงเป็นลักษณะของการสะสมตัว อยู่ในระดับสมดุล ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2554 – 2566 มีการกัดเซาะที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปีจาก 6.30 เมตร เป็น 22.68 เมตร ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 0.40 – 2.05 เมตรต่อปี อยู่ในระดับสมดุลถึงการกัดเซาะปานกลาง โดยภาพรวมของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6 เป็นการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ในลักษณะของการกัดเซาะ ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 0.65 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะ น้อย ตามตาราง 25 และ ตาราง 27 ซึ่งแปลผันตามแนวโน้มของค่าอุทกภูมิและระดับน้ำทะเล

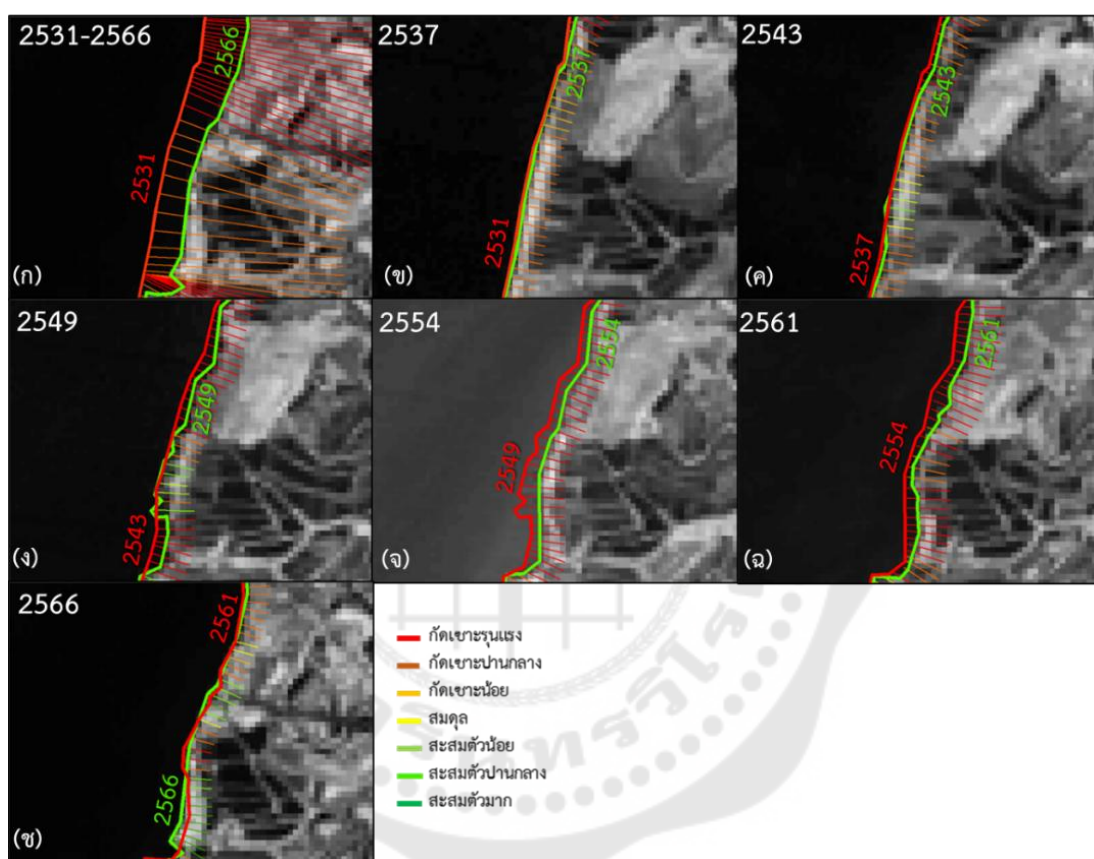


ภาพประกอบ 87 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปี ของพื้นที่ศึกษาซอยที่ 6

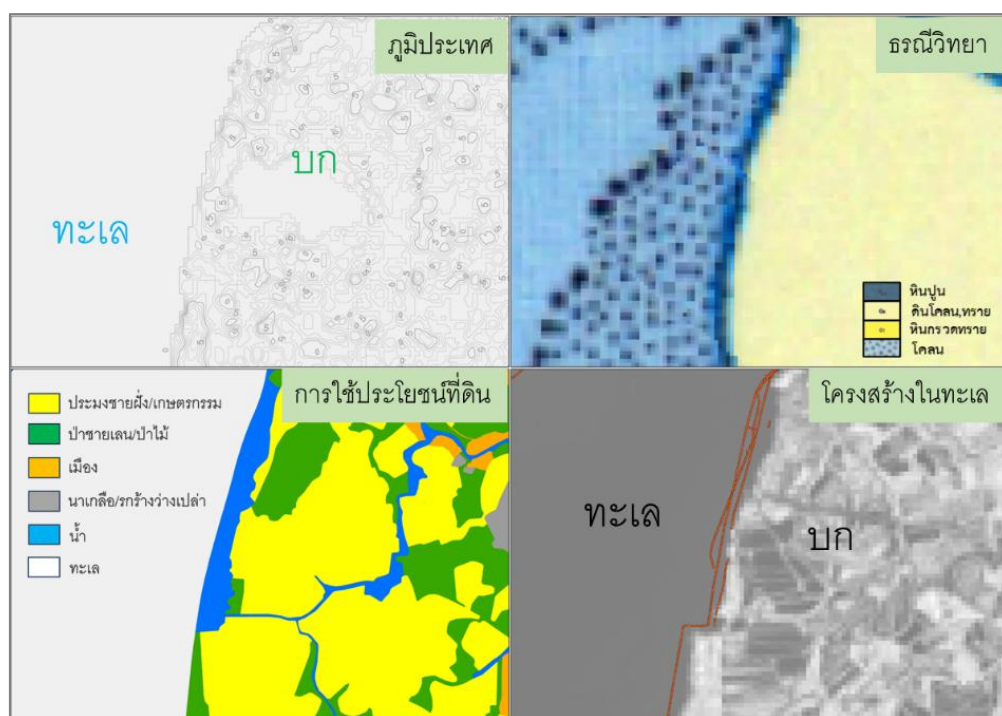
จากสถิติการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปี ของพื้นที่ศึกษาซอยที่ 6 ตามตาราง 27 พบว่า มีพื้นที่ที่มีการกัดเซาะที่แปรผันตามแนวโน้มของอุทกภูมิและระดับน้ำซึ่งเกิดขึ้นเป็น ส่วนน้อยในพื้นที่ และไม่แปรผันตามแนวโน้มของอุทกภูมิและระดับน้ำซึ่งเกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่ ในพื้นที่ โดยพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เด่นชัดที่สุดมี 2 พื้นที่ ได้แก่

ก) บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ตำบลคลองตำหรุ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ซึ่งอยู่ในตำแหน่ง A ตามภาพประกอบ 87 เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศตามแนวชายฝั่ง เป็นที่ราบและมีความชันในระดับที่ต่ำ มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นทรายและโคลน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประมงชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ที่รูกำปายเลนตั้งแต่อดีต ตามตาราง 1 และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งแบบอ่อนเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ การปักไม้ไผ่ กันคลื่น รวมถึงเสาไม้ปักเลน และมีแนวป้องกันชายฝั่งแบบแข็งที่เป็นโครงสร้างติดชายฝั่ง ชนิดหินทิ้ง ที่ได้ดำเนินการมาตั้งแต่อดีต - พ.ศ.2565 จากทางภาครัฐและเอกชน ตามตาราง 2 และภาพประกอบ 89 จากการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่ง แบบดิจิทัล พบว่า ในบริเวณนี้มีภาพรวมเป็นการกัดเซาะ ได้แก่ พ.ศ.2537, พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554 และ พ.ศ.2561 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 2.71 – 11.74 เมตรต่อปี และ

มีภาพรวมเป็นการสะสมตัว คือ พ.ศ.2566 ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ย 1.32 เมตรต่อปี และมีภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่นี้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566 เป็นการกัดเซาะ ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 5.50 เมตรต่อปี ตามภาพประกอบ 88(ก-ข) และ ตาราง 28 เกิดการถอยร่นของแผ่นดิน ตามภาพประกอบ 90 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณนี้แปรผันตามแนวโน้มค่าอุณหภูมิและระดับน้ำทะเลในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6



ภาพประกอบ 88 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปีที่แปรผันตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6 ในพื้นที่ A บริเวณปากน้ำบางปะกง ตำบลคลองตำหรุ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี



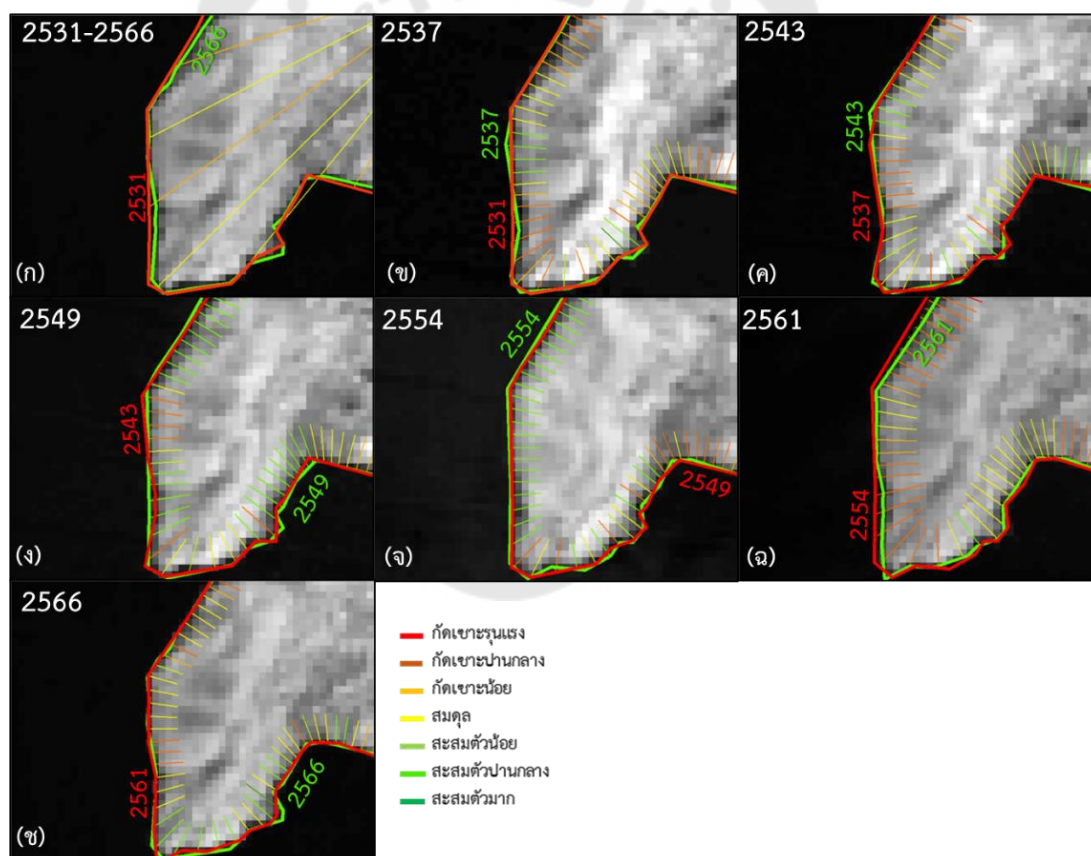
ภาพประกอบ 89 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6 ในพื้นที่ A
บริเวณแม่น้ำบางปะกง ตำบลคลองตำหรุ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี



ภาพประกอบ 90 พื้นที่กัดเซาะชายฝั่ง บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ตำบลคลองตำหรุ
อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

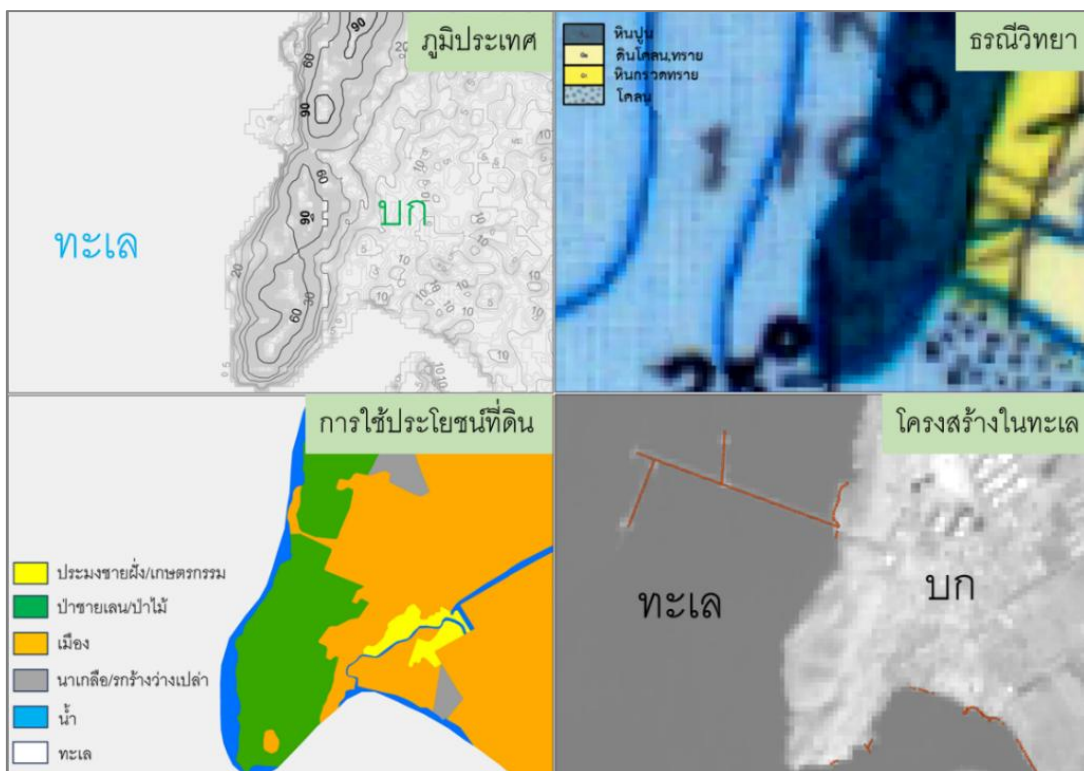
ข) บริเวณแหลมฉบัง อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งอยู่ในตำแหน่ง B ตามภาพประกอบ 87 เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศตามแนวชายฝั่งเป็นผาสูงมีที่ราบบริเวณตีนผามีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นหินปูน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นป่าไม้และชุมชนเมืองตามชายฝั่ง และมีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งเป็นสะพานเทียบเรือทอดลงสู่ทะเลระยะไกลและมีแนวป้องกัน

ชายฝั่งแบบตั้งตรงติดฝั่งที่ได้ดำเนินการมาตั้งแต่อดีต - พ.ศ.2560 จากทางภาครัฐและเอกชน ตามตาราง 2 และภาพประกอบ 92 จากการคำนวณการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์ แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล พบว่า ในบริเวณนี้มีภาพรวมเป็นการกัดเซาะ ได้แก่ พ.ศ.2537 และ พ.ศ.2561 ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 0.46 – 1.22 เมตรต่อปี และมีภาพรวมเป็นการสะสมตัว ได้แก่ พ.ศ.2543, พ.ศ.2549, พ.ศ.2554 และ พ.ศ.2566 ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ยระหว่าง 0.43 – 1.04 เมตรต่อปี และมีภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในพื้นที่นี้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 - 2566 เป็นการกัดเซาะ ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 0.43 เมตรต่อปี ตามภาพประกอบ 91(ก-ข) และตาราง 28 แต่มีการถอยร่นของแผ่นดินบางส่วนเพียงเล็กน้อยโดยเฉพาะ บริเวณดินผาที่เป็นหาดหิน ตามภาพประกอบ 93 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณนี้ไม่แปรผันตามแนวโน้มค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6



ภาพประกอบ 91 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละปีที่ไม่แปรผันตามค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6 ในพื้นที่ B บริเวณแหลมฉบัง อำเภอสัตหีบ

จังหวัดชลบุรี



ภาพประกอบ 92 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6 ในพื้นที่ B
บริเวณแหลมฉะบั้ง อำเภอสัตหิรา จังหวัดชลบุรี



ภาพประกอบ 93 พื้นที่ที่มีผลต่อระดับน้ำในบริเวณผาสูงมีที่ราบต่ำบริเวณตีนผา
บริเวณแหลมฉะบั้ง อำเภอสัตหิรา จังหวัดชลบุรี

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษากการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศสำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบน มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเส้นแนวชายฝั่งด้วยการรับรู้จากระยะไกลและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน ด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System) โดยมีหัวข้อดังนี้

1. อภิปรายผล
2. สรุปผล
3. ข้อเสนอแนะ

1. อภิปรายผล

การศึกษานี้เป็นการติดตามการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยกระบวนการศึกษานี้จะทำการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล สำหรับสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี (Annual shoreline) โดยใช้ข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลในการจำแนกพื้นที่น้ำกับพื้นที่บก จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ในหลายช่วงคลื่นและมีการเพิ่มข้อมูลภาพอัตราส่วนเชิงคลื่น ได้แก่ NDWI, MNDWI, NDVI และ SAVI จากผลการศึกษาพบว่า การจำแนกประเภทข้อมูลด้วยการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 4 วิธีการ ได้แก่ วิธีระยะห่างต่ำที่สุด (Minimum distance to means), วิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงที่สุด (Maximum likelihood classifier), วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine) และ วิธีป่าสุ่ม (Random forest) ให้ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) มากกว่าร้อยละ 80 นับได้ว่าการเพิ่มช่วงคลื่นด้วยอัตราส่วนเชิงคลื่นต่าง ๆ ให้กับภาพถ่ายดาวเทียม Landsat เพื่อใช้ในการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล ส่งผลให้ทุกรูปแบบการจำแนกมีประสิทธิภาพการจำแนกที่สูงทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กฤษฎาณอินทรัตน์ (2565) ที่ได้ทำการศึกษากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดนครนายก ด้วยอัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่องและภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 พบว่า การเพิ่มช่วงคลื่นด้วยดัชนีต่าง ๆ ให้กับภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ทำให้ประสิทธิภาพการจำแนกของทุกรูปแบบการจำแนกสูงเช่นกัน โดยเฉพาะผลการจำแนกด้วยวิธีป่าสุ่มในครั้งนี้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดทั้งในภาพรวมและรายประเภทการจำแนกไม่ว่าจะเป็นค่าความถูกต้องโดยรวม อยู่ที่ร้อยละ 98.17 และ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา อยู่ที่ 0.9432 โดยมีผลการจำแนกพื้นที่น้ำอยู่ที่ร้อยละ 99.54 และมีผลการจำแนกพื้นที่บกอยู่ที่ร้อยละ 96.67 ซึ่งทุกค่าความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก อันเนื่องมาจาก

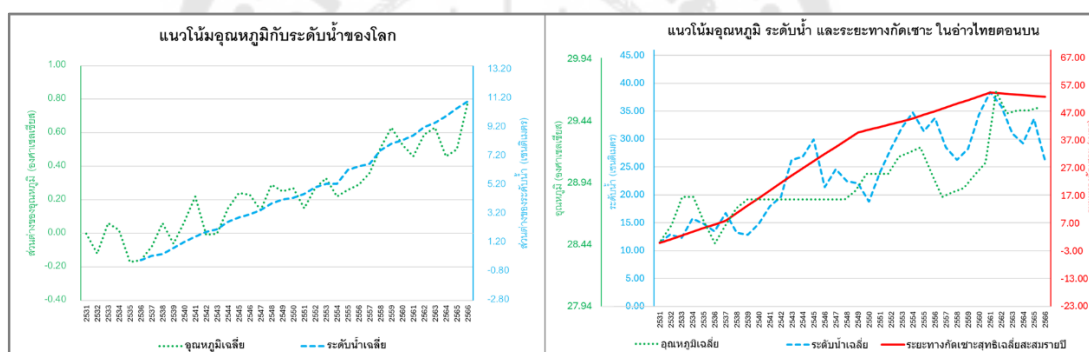
พื้นที่ชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีขนาดพื้นที่ที่ใหญ่และมีลักษณะชายฝั่งที่หลากหลาย ประกอบกับการประมวลผลของวิธีป่าชุ่มที่มีความซับซ้อนมากกว่ารูปแบบการจำแนกวิธีอื่น ๆ จึงทำให้สามารถจำแนกพื้นที่บกและพื้นที่น้ำออกมาได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กฤษฎาณ อินทรรัตน์ (2565) ที่ได้ศึกษาการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดนครนายกด้วย อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องและภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และ จิรวัดณ์ จันทองพูน และ คณะ (2565) ที่ได้ศึกษาการขยายตัวของเมืองด้วยเทคนิคป่าชุ่ม กรณีศึกษา อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา พบว่า วิธีป่าชุ่มเป็นรูปแบบการจำแนกที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อเทียบกับรูปแบบการจำแนกอื่น ๆ โดยการจำแนกด้วยวิธีป่าชุ่มในครั้งนี้ให้ประสิทธิภาพการจำแนกที่สูงใน 5 พื้นที่ ได้แก่ ป่าชายเลน หน้าผาชัน ชายหาด พื้นที่ประมงชายฝั่ง และโครงสร้างตามแนวชายฝั่งที่เป็น แนวป้องกันชายฝั่งแบบติดฝั่ง เนื่องจากทั้ง 5 พื้นที่ มีลักษณะชายฝั่งเป็นทราย พืชพรรณและ โครงสร้างที่เป็นอิฐ หิน และปูนที่อยู่ติดกับทะเล ซึ่งทั้ง 3 วัตถุนี้มีค่าการสะท้อนที่แตกต่างจากพื้นที่ น้ำเป็นอย่างมาก ทำให้สามารถจำแนกพื้นที่บกกับพื้นที่น้ำได้ถูกต้อง รวมถึงบริเวณที่ตื้นและ บริเวณน้ำขุ่นซึ่งมีค่าการสะท้อนระหว่างพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกใกล้เคียงกันมาก แต่เนื่องจากการ ประมวลผลที่ซับซ้อนของวิธีป่าชุ่ม จึงสามารถแยกพื้นที่ดังกล่าวออกจากกันได้เช่นกัน สำหรับพื้นที่ ที่ให้ประสิทธิภาพการจำแนกที่ต่ำ คือ พื้นที่โครงสร้างตามแนวชายฝั่งที่เป็นแนวป้องกันชายฝั่งนอก ฝั่งระยะไกล ซึ่งความผิดพลาดเกิดจากจุดภาพของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่มีขนาดใหญ่ ได้ครอบคลุมพื้นที่บกกับโครงสร้างตามแนวชายฝั่งให้มีค่าการสะท้อนเดียวกันในจุดภาพเดียว ทำให้การจำแนกผิดพลาด แสดงให้เห็นว่าขนาดของจุดภาพมีผลกับความถูกต้องในการจำแนก ด้วยเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Maglione et al. (2014) ที่ได้ศึกษาการสกัดแนว ชายฝั่งพื้นที่เพลเกรน ในภูมิภาคคัมปาเนีย ประเทศอิตาลี ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Worldview-2 พบว่า ขนาดของจุดภาพมีผลกับความถูกต้องต่อการแยกพื้นที่น้ำกับพื้นที่บก และ Darwish and Smith (2021) ที่ได้ศึกษาการเปรียบเทียบภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8, Sentinel-2 และ Planet Scope สำหรับประเมินการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในเมืองเอล-อะลาเมน ประเทศอียิปต์ พบว่า ความถูกต้องของเส้นแนวชายฝั่งที่ได้จากดัชนี NDWI และ MNDWI ในขั้นตอนการแยกพื้นที่น้ำกับ พื้นที่บกขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพเป็นสำคัญ และด้วยประสิทธิภาพการจำแนกที่สูงที่สุด ของวิธีป่าชุ่มในครั้งนี้ จึงได้รับเลือกให้เป็นเครื่องมือสำหรับใช้จำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่ต้องจำแนกอีก 64 ภาพ ใน 7 ปี พบว่า มีผลการจำแนกข้อมูลในภาพรวมและ รายละเอียดการจำแนกอยู่ในเกณฑ์ที่ดีถึงดีมาก ไม่ว่าจะเป็นค่าความถูกต้องโดยรวมที่อยู่ระหว่าง ร้อยละ 94 - 100 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาที่อยู่ระหว่าง 0.8235 - 1 โดยมีค่าการจำแนกพื้นที่น้ำ

อยู่ระหว่างร้อยละ 94.15 – 100 และค่าการจำแนกพื้นที่บกกอยู่ระหว่างร้อยละ 85 – 100 ซึ่งมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 ในทุกค่าความถูกต้อง ด้วยผลลัพธ์การจำแนกที่มีประสิทธิภาพสูงดังกล่าว จึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้สร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี โดยนำผลการจำแนกพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกจำนวน 65 ภาพ ใน 7 ปี มาแยกพื้นที่น้ำกับพื้นที่บกในแต่ละปีออกเป็น 2 ชุด (พื้นที่น้ำ 1 ชุด, พื้นที่บก 1 ชุด) ซึ่งแต่ละช่วงเวลาจะมีจำนวนภาพไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับจำนวนภาพที่มีการบันทึกไว้ในปีนั้น ๆ สำหรับสร้างดัชนีความถี่น้ำ (Water Frequency Index) โดยกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่ 0.5 แล้วแปลงให้เป็นข้อมูล Vector จากนั้นจึงตัดส่วนที่เป็นแม่น้ำและลำคลองออก จากผลการศึกษาพบว่า เส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่ได้เป็นเส้นที่มีความต่อเนื่องกันมาก สามารถจัดปัญหาความไม่ต่อเนื่องของเส้นในบริเวณประมงชายฝั่งได้ ซึ่งพบได้มากในบริเวณตอนเหนือของอ่าวไทยตอนบน รวมถึงสามารถแยกสิ่งล่องล้าในทะเลบางส่วนออกจากฝั่งได้ ยกเว้นบริเวณท่าเทียบเรือต่าง ๆ ซึ่งมีโครงสร้างติดกับชายฝั่งเสมือนเป็นพื้นที่บก และยังสามารถจัดปัญหาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะสั้น เช่น ระดับน้ำที่ต่างกันตามแนวชายฝั่ง และบริเวณที่ตื้นที่เกิขึ้นเมื่อน้ำทะเลลดลงมาก ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Xu (2018) ที่ได้ศึกษาการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่มีทั้งหมดในช่วงปี ค.ศ.1986 - 2015 กรณีศึกษา รัฐเท็กซัส สหรัฐอเมริกา พบว่าเส้นแนวชายฝั่งประจำปีสามารถลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะสั้นได้ และเมื่อสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปีทั้ง 7 เส้นเสร็จสิ้นแล้ว จะทำการตรวจสอบความแม่นยำของเส้น แต่เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงความถูกต้อง (Reference) มีจำกัด จึงมีเพียงเส้นแนวชายฝั่ง (CM.line) จำนวน 2 เส้น คือ ปี พ.ศ.2562 และ พ.ศ.2565 เท่านั้น ในการศึกษาจึงตรวจสอบได้เฉพาะเส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่ได้สกัดได้เพียง 2 เส้นเท่านั้น คือ เส้นแนวชายฝั่งประจำปี พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 โดยใช้วิธีตรวจสอบ 2 วิธีการ คือ 1)วิธีการซ้อนทับข้อมูล (Overlay) ระหว่างพื้นที่ Buffer ข้างละ 30 เมตร จากเส้นอ้างอิงความถูกต้องตามขนาดของจุดภาพถ่ายดาวเทียม Landsat กับเส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่ได้สกัดได้ และ 2)วิธีการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย (Root Mean Square Error) ระหว่างจุดอ้างอิงความถูกต้อง (Reference points) ในเส้นแนวชายฝั่งอ้างอิงความถูกต้อง (CM.line) กับจุดตรวจสอบความถูกต้อง (Check points) ในเส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่ได้สกัดได้ จากผลการศึกษาพบว่า เส้นแนวชายฝั่งประจำปีทั้ง 2 เส้น ได้แก่ เส้นแนวชายฝั่งประจำปี พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 มีค่าความแม่นยำที่สูงจากการซ้อนทับข้อมูลที้อยู่ระหว่าง 81.78 และ 80.01 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 จึงอยู่ในเกณฑ์ที่ดีในส่วนค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 13.59 เมตร และ 8.90 เมตร ตามลำดับ

ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่ใช้ในการสกัดเส้นที่ 30 เมตร นับได้ว่ามีความแม่นยำที่สูง จึงแสดงให้เห็นว่าภาพถ่ายดาวเทียม Landsat มีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งสำหรับนำไปใช้ตรวจสอบและติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งระดับภูมิภาคในระยะยาว โดยพื้นที่ที่มีความแม่นยำสูงมี 3 พื้นที่ ได้แก่ 1) หน้าผาชัน ซึ่งเป็นบริเวณที่รับอิทธิพลจากระดับน้ำทะเลน้อย จึงไม่มีผลต่อตำแหน่งชายฝั่งมากนัก ทำให้ตำแหน่งของเส้นแนวชายฝั่งประจำปีมีความแม่นยำสูง 2) ป่าชายเลน ซึ่งเป็นบริเวณที่พบได้มากในที่ราบต่ำ ทำให้ระดับน้ำทะเลมีผลต่อตำแหน่งแนวชายฝั่ง แต่เนื่องจากเส้นแนวชายฝั่งประจำปีถูกสร้างขึ้นจากภาพจำนวนมาก ทำให้ตำแหน่งของเส้นที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยของพื้นที่น้ำกับพื้นที่บก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วพื้นที่ป่าชายเลนจะอยู่ติดกับทะเลเกือบตลอดเวลา ทำให้ความถี่ของการแบ่งน้ำกับบกเกิดขึ้นได้มากที่บริเวณขอบป่ากับทะเล ส่งผลให้เส้นที่สกัดได้มีความแม่นยำสูง 3) บริเวณชุมชนตามชายฝั่งที่มีแนวป้องกันชายฝั่งแบบติดฝั่ง ซึ่งบริเวณนี้ได้รับอิทธิพลจากระดับน้ำทะเลน้อย ทำให้ตำแหน่งของเส้นแนวชายฝั่งประจำปีมีความแม่นยำสูง แต่สำหรับพื้นที่ที่มีความแม่นยำต่ำมีอยู่ 2 พื้นที่ ได้แก่ 1) ชายหาด ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความชันอยู่ในระดับปานกลาง โดยพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณฝั่งตะวันตกและตะวันออกของอ่าวไทยตอนบน ซึ่งอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลในระดับหนึ่ง ทำให้ระดับน้ำทะเลส่วนใหญ่อยู่น้อยกว่าแนวพีชพรรณตามชายฝั่ง จึงมีผลต่อค่าเฉลี่ยของเส้นแนวชายฝั่งที่อยู่ต่ำกว่าชายหาด ทำให้ตำแหน่งของแนวชายฝั่งประจำปีมีความแม่นยำที่ต่ำได้เช่นกัน 2) พื้นที่ที่มีโครงสร้างตามแนวชายฝั่งที่ล่องล้าไปในทะเล เช่น แนวป้องกันชายฝั่งนอกฝั่งระยะใกล้ ซึ่งเกิดจากจุดภาพของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่มีขนาดใหญ่ได้ครอบคลุมชายฝั่งและโครงสร้างตามแนวชายฝั่ง ทำให้มีค่าการสะท้อนเดียวกันในจุดภาพเดียวกัน ซึ่งเป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมาตั้งแต่ขั้นตอนการจำแนกและส่งผลมาถึงขั้นตอนการสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี รวมถึงพื้นที่สะพานเทียบเรือต่าง ๆ ที่ทอดยาวลงสู่ทะเล ซึ่งเกิดจากค่าการสะท้อนของจุดภาพในพื้นที่สะพานเทียบเรื่อนั้นมีความใกล้เคียงกับพื้นที่บกอย่างมาก จึงส่งผลต่อเนื่องมาถึงขั้นตอนการแปลงให้เป็นข้อมูล Vector เพื่อสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปี ทำให้เส้นที่สกัดได้มีความแม่นยำที่ต่ำ ด้วยสาเหตุดังกล่าวของพื้นที่ชายฝั่งทะเลทั้ง 2 พื้นที่ที่มีความแม่นยำต่ำ จึงเป็นข้อควรระวังสำหรับนำเส้นแนวชายฝั่งประจำปีไปใช้วิเคราะห์ชายฝั่ง

เมื่อได้เส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่ผ่านการตรวจสอบความแม่นยำแล้ว จึงนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบนที่ได้รับผลกระทบจากภาวะโลกร้อน (Global warming) ด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System) เพื่อหาค่าการกัดเซาะชายฝั่งมาประกอบกับข้อมูลอุณหภูมิตะเลและระดับน้ำที่ได้จากสถานีต่าง ๆ

ในพื้นที่ รวมถึงข้อมูลอุณหภูมิตะเลและระดับน้ำในระดับโลก สำหรับวิเคราะห์ความสัมพันธ์และแนวโน้มทั้ง 3 ปัจจัย ร่วมกับลักษณะทางกายภาพในพื้นที่ โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 6 พื้นที่ 7 ช่วงปี จากผลการศึกษาพบว่า ในภาพรวมของอ่าวไทยตอนบนตลอดระยะเวลา 35 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 – 2566 มีการกัดเซาะสูงที่สุดอยู่ในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 ที่ระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปี 270.30 เมตร ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 7.72 เมตรต่อปี และมีการสะสมตัวสูงที่สุดอยู่ในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ที่ระยะทางการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปี 139.64 เมตร ในอัตราการสะสมตัวสุทธิเฉลี่ย 3.99 เมตรต่อปี แต่ในภาพรวมของอ่าวไทยตอนบน เป็นการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในลักษณะของการกัดเซาะ ที่มีระยะทางการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ยสะสมรายปี 53.03 เมตร ในอัตราการกัดเซาะสุทธิเฉลี่ย 1.52 เมตรต่อปี อยู่ในระดับการกัดเซาะปานกลาง ซึ่งมีแนวโน้มที่แปรผันตามอุณหภูมิตะเลและระดับน้ำในพื้นที่ที่เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับอุณหภูมิตะเลและระดับน้ำในระดับโลกที่เพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ดังแสดงในกราฟ ตามภาพประกอบ 94



ภาพประกอบ 94 ความสอดคล้องระหว่างแนวโน้มอุณหภูมิตะเลและระดับน้ำของโลก กับแนวโน้มอุณหภูมิตะเล ระดับน้ำ และการกัดเซาะชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบน

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบนในภาพรวมแต่ละช่วงปี พบว่า ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2537 เป็นช่วงเวลาที่บริเวณอ่าวไทยตอนบนประสบปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งในภาพรวมอย่างชัดเจนและเป็นจุดเริ่มต้นของการถอยร่นของชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 และ 5 ที่มีการกัดเซาะอยู่ในระดับรุนแรง ซึ่งเกิดจากระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น ส่งผลให้คลื่นที่กระทบชายฝั่งมีพลังงานมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Xu (2018) ที่ได้ศึกษาการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่มีทั้งหมดในช่วงปี ค.ศ.1986 – 2015 กรณีศึกษา รัฐเท็กซัส สหรัฐอเมริกา พบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลส่งผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ประกอบกับในพื้นที่เป็น

ที่ราบที่มีความชันต่ำ ทำให้ระดับน้ำทะเลสามารถล้นล้าเข้าสู่ภายในแผ่นดินได้ง่าย และมีธรณีวิทยาเป็นโคลนซึ่งมีความเปะบางต่อการชะล้างและถูกพัดพาสูง อีกทั้งการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่ส่งผลต่อชายฝั่งเป็นอย่างมาก เช่น การบุกรุกป่าชายเลน เพื่อทำประมงชายฝั่งและเกษตรกรรม รวมถึงมีการให้สัมปทานป่าชายเลนแก่เอกชนตั้งแต่ปี พ.ศ.2504 ด้วยสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จึงเป็นตัวเร่งการกัดเซาะชายฝั่งให้รวดเร็วและรุนแรงมากขึ้น ส่งผลให้ความคงทนของแนวป้องกันชายฝั่งตามธรรมชาติลดลงเป็นอย่างมาก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ อจิรา เทียงตรง (2549) ได้ศึกษาการใช้リモテセンซิ่งเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในบริเวณชายฝั่งบ้านแหลมสิงห์ จังหวัดสมุทรปราการ พบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งมากที่สุดในพื้นที่ชายฝั่งบ้านแหลมสิงห์ จังหวัดสมุทรปราการ แต่ในส่วนพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 และ 6 กลับมีการกัดเซาะชายฝั่งอยู่ในระดับที่น้อยไปจนถึงการสะสมตัวในระดับปานกลาง อันเนื่องมาจากพื้นที่ชายฝั่งส่วนใหญ่เป็นที่ราบที่มีความชันปานกลางไปจนถึงหน้าผาชันที่มีความชันสูง ทำให้ระดับน้ำทะเลมีอิทธิพลกับชายฝั่งได้น้อยกว่า และยังมีธรณีวิทยาเป็นหินที่มีความทนทานต่อการกัดเซาะได้เป็นอย่างดี รวมถึงธรณีวิทยาที่เป็นทรายมีการเคลื่อนตัวตามธรรมชาติจากการพัดพาของกระแสน้ำเลียบชายฝั่งอย่างสมดุล แต่ทางตรงกันข้ามในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 กลับมีการสะสมตัวอยู่ในระดับที่มาก อันเนื่องมาจากเป็นพื้นที่ที่อยู่บริเวณปากแม่น้ำซึ่งอยู่ตอนในของอ่าวและมีตะกอนจากกระแสน้ำที่พัดพามาจากบริเวณที่มีการกระจายตัวของตะกอนจากการกัดเซาะได้มาสะสมตัวในบริเวณนี้ในปริมาณมาก ส่งผลให้ป่าชายเลนสามารถขยายตัวได้มากขึ้นแนวชายฝั่งจึงขยายตัวตามไปด้วย ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2537 – 2543 ยังคงมีปัญหากัดเซาะในภาพรวมที่ระดับรุนแรงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการกัดเซาะในภาพรวมสูงที่สุด โดยเฉพาะในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 และ 5 ที่มีการกัดเซาะอยู่ในระดับรุนแรงเช่นเดิม แต่ในทางกลับกันในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3 ที่ชายฝั่งบริเวณนี้เคยมีเสถียรภาพมาก่อนกลับมีการกัดเซาะในระดับที่รุนแรงขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการกระจายตัวของตะกอนตามแนวชายฝั่งในช่วงเวลานี้น้อยมาก ประกอบกับมีลักษณะทางกายภาพและการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่เสี่ยงต่อการกัดเซาะสูงที่เกิดขึ้นคล้ายคลึงกับพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 และ 5 แต่ยังมีลักษณะทางกายภาพที่เอื้ออำนวยต่อการสะสมตัวที่คล้ายคลึงกับพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ซึ่งมีพื้นที่ที่ติดกัน ทำให้การกัดเซาะในระดับรุนแรงเกิดขึ้นช้ากว่าพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 และ 5 แต่ในทางกลับกันในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ยังคงมีการสะสมตัวในระดับที่มากอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในบริเวณตอนบนของพื้นที่ที่เป็นปากแม่น้ำซึ่งอยู่ตอนในของอ่าว ประกอบกับปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพามากับกระแสน้ำได้มาสะสมตัวอยู่ในปริมาณมากเช่นเดิม แต่ยังมีบางพื้นที่ที่อยู่ในบริเวณตอนล่างมีการกัดเซาะ

เกิดขึ้นจากการทำนาเกลือ ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการกัดเซาะที่สูง ทำให้ภาพรวมของชายฝั่งในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 มีการสะสมตัวในระดับที่มากในอัตราสะสมตัวที่ต่ำลง ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2543 – 2549 การกัดเซาะชายฝั่งในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งมีอัตราการกัดเซาะที่ลดลง ถึงแม้ว่าพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 และ 5 จะยังคงมีการกัดเซาะในระดับที่รุนแรงเช่นเดิม แต่การกัดเซาะที่ลดลงในภาพรวมนี้อาจเกิดจากการนำโครงสร้างป้องกันชายฝั่งมาใช้ในการเริ่มแรกทั้งแบบแข็งและแบบอ่อน รวมถึงการขยายตัวของป่าชายเลนที่เกิดจากการยกเลิกการให้สัมปทานแก่เอกชนไปเมื่อ พ.ศ.2539 และมีการรณรงค์ให้ปลูกป่าชายเลนเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถป้องกันการพัดพาของตะกอนตามแนวชายฝั่งและบริเวณปากแม่น้ำได้ดีขึ้น ส่งผลให้ระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นมีอิทธิพลกับชายฝั่งน้อยลงตามไปด้วย โดยเฉพาะพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3 ที่เคยมีการกัดเซาะในระดับรุนแรงมาก่อนกลับลดระดับลงเป็นการกัดเซาะระดับปานกลาง แต่ในทางกลับกันก็ทำให้การสะสมตัวของตะกอนตามแนวชายฝั่งในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 ได้ลดลงเช่นกัน เนื่องจากตะกอนบริเวณตามแนวชายฝั่งและบริเวณปากแม่น้ำในพื้นที่อื่น ๆ ที่เคยพัดพามากับกระแสน้ำในปริมาณมากมาก่อนกลับมีน้อยลง ทำให้การสะสมตัวที่อยู่ในระดับมากมาก่อนได้ลดระดับลงเป็นการสะสมตัวในระดับปานกลาง ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2549 – 2554 การกัดเซาะในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลางที่มีอัตราการกัดเซาะที่น้อยลงอย่างมาก ถึงแม้ว่าพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 จะยังคงมีการกัดเซาะในระดับรุนแรงอยู่แต่เป็นอัตราการกัดเซาะที่ลดลง โดยเฉพาะพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 ที่เคยมีการกัดเซาะในระดับรุนแรงมาโดยตลอดกลับลดระดับลงมาเป็นการกัดเซาะในระดับปานกลาง จึงแสดงให้เห็นถึงเสถียรภาพของชายฝั่งที่มากขึ้นจากการใช้โครงสร้างป้องกันชายฝั่งทั้งแบบแข็งและแบบอ่อน ประกอบกับการขยายตัวของป่าชายเลนที่มีมากขึ้นจากการรณรงค์ให้ปลูกป่าชายเลนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการสะสมตัวที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 ที่มีอัตราการสะสมตัวจากระดับสมดุลมาเป็นระดับปานกลาง อันเนื่องมาจากพื้นที่ส่วนใหญ่มีการสร้างแนวป้องกันชายฝั่งจำนวนมากขึ้นด้วยเช่นกัน จึงสามารถป้องกันการชะล้างของตะกอนในพื้นที่และเกิดการสะสมตัวขึ้น แต่ในทางกลับกันพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 กลับพบว่าการสะสมตัวในอัตราที่ลดลงอย่างต่อเนื่องจากปริมาณที่น้อยลงของตะกอนที่พัดพามากับกระแสน้ำ ในขณะที่พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3 มีการกัดเซาะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจากการปรับสภาพของชายฝั่งตามธรรมชาติให้เข้ากับแนวป้องกันชายฝั่งที่เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างต่อเนื่อง ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2554 – 2561 มีการกัดเซาะในภาพรวมที่เพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยจากการปรับสมดุลชายฝั่งครั้งใหญ่ในพื้นที่โดยรวม โดยพื้นที่ที่มีแนวโน้มของชายฝั่งที่มีเสถียรภาพมากขึ้นอยู่ในบริเวณพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3, 4 และ 5 ซึ่งเคยเป็นพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการกัดเซาะมาโดยตลอด แต่ในทางกลับกันในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 และ 2

ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการสะสมตัวมาโดยตลอด ได้แปลสภาพมาเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการกัดเซาะแทน อันเนื่องมาจากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นได้มีอิทธิพลต่อชายฝั่งมากขึ้น ทำให้คลื่นที่ซัดเข้าหาฝั่ง มีพลังงานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการชะล้างของตะกอนในพื้นที่ ประกอบกับปริมาณตะกอนที่เคยได้รับการพัดพามากับกระแสน้ำซึ่งผ่านบริเวณตอนเหนือของอ่าวไทยตอนบนมีปริมาณน้อยลง รวมถึงการสร้างแนวป้องกันชายฝั่งที่ไม่เพียงพอและเหมาะสม ทำให้สมดุลของชายฝั่งที่เคยมี ได้สูญเสียไป ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ เอกลักษณ์ ใฝ่บุญ และ วุฒิพงษ์ แสงมณี (2562) ได้ศึกษาการตรวจสอบและการพยากรณ์ผลกระทบจากโครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งทะเลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลาโดยใช้เทคนิคเชิงพื้นที่ พบว่า กระแสน้ำจากคลื่นเป็นส่วนสำคัญต่อการสร้างสมดุลตามแนวชายฝั่ง การสร้างสิ่งล่วงล้ำในทะเล มีผลอย่างมากต่อการเคลื่อนตัวของตะกอนในพื้นที่ที่เปาะบางทำให้สภาพชายฝั่งเสียสมดุล ต่อมาในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2561 – 2566 เป็นช่วงเวลาที่ภาพรวมของชายฝั่งมีเสถียรภาพมากขึ้น จากการเป็นพื้นที่ที่มีการกัดเซาะเปลี่ยนมาเป็นพื้นที่ที่มีความสมดุล โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ศึกษา ย่อยที่ 3, 4 และ 5 ที่แปลสภาพจากพื้นที่ที่มีการกัดเซาะมาเป็นพื้นที่ที่มีการสะสมตัว อันเนื่องมาจากการสร้างแนวป้องกันชายฝั่งที่เหมาะสมและเพียงพอ ประกอบกับการเพิ่มขึ้นของป่าชายเลน ทั้งการรณรงค์ให้ปลูกป่าชายเลนเพิ่มขึ้นรวมถึงการออกมาตรการคุ้มครองที่เข้มงวด แต่ในทางกลับกันในพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการสะสมตัวมาโดยตลอด ได้แปลสภาพมาเป็นพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการกัดเซาะที่ยังคงทวีความรุนแรงมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง อันเนื่องมาจาก ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นได้มีอิทธิพลต่อชายฝั่งมากขึ้น ทำให้คลื่นที่ซัดเข้าหาฝั่งมีพลังงานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการชะล้างของตะกอนในพื้นที่ ประกอบกับปริมาณตะกอนที่เคยได้รับการพัดพามากับกระแสน้ำ ซึ่งผ่านบริเวณตอนเหนือของอ่าวไทยตอนบนมีน้อยลงมาก รวมถึงการสร้างแนวป้องกันชายฝั่งที่ไม่เพียงพอและเหมาะสม ทำให้สมดุลของชายฝั่งที่เคยมีได้สูญเสียไป และด้วย พลวัตที่เปลี่ยนแปลงไปของชายฝั่งอันเนื่องมาจากการแทรกแซงของมนุษย์ได้แก้ปัญหาชายฝั่ง ในบางพื้นที่ให้มีเสถียรภาพมากขึ้น แต่ในทางกลับกันก็ส่งผลกระทบต่อชายฝั่งในพื้นที่อื่น ๆ อันเนื่องมาจากสมดุลทางธรรมชาติที่สูญเสียไปอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้เช่นกัน

ภาวะโลกร้อนส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิเฉลี่ยและระดับน้ำทะเลทั่วโลก ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับการกัดเซาะชายฝั่งในอ่าวไทยตอนบน ในขณะที่ปัจจัยภายนอก เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกนับว่ามีบทบาทที่สำคัญในการกำหนดพลวัตของ ชายฝั่งไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าปัจจัยภายใน ชายฝั่งทะเลในบริเวณนี้จึงเป็นตัวอย่างที่สะท้อนถึง ปฏิสัมพันธ์ที่มีความซับซ้อนระหว่างพลังธรรมชาติและอิทธิพลจากมนุษย์ซึ่งมีปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่

ภูมิประเทศ ธรณีวิทยา การใช้ประโยชน์ที่ดิน กระแสน้ำตามฤดูกาล โครงสร้างตามแนวชายฝั่ง และกิจกรรมของมนุษย์ ด้วยองค์ประกอบที่เชื่อมโยงกันเหล่านี้จึงเป็นตัวกำหนดรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทั้งการกัดเซาะและการสะสมตัว โดยมีการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลเป็นตัวเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่รวดเร็วและรุนแรงมากขึ้น ทั้งการเปลี่ยนแปลงในระยะสั้น เช่น พายุ และการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว เช่น กระแสน้ำจากมรสุมต่าง ๆ จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบนในครั้งนี้ได้พบว่า ด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนบน (พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 1 และ 2) มีความลาดเอียงเล็กน้อยจากทางตะวันตกไปทางตะวันออก ทำให้ชายฝั่งทะเลส่วนใหญ่เป็นชายหาดยาวและมีป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำที่มีเสถียรภาพที่ดี โดยมีลักษณะของการกัดเซาะเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลวัดจากการเคลื่อนที่ของตะกอนบริเวณชายฝั่งตามธรรมชาติ แต่สำหรับบริเวณที่มีป่าชายเลนได้มีการสะสมตัวในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งเกิดจากภูมิประเทศที่มีความลาดเอียงและเป็นทางออกของแม่น้ำและลำคลอง ประกอบกับตะกอนที่พัดพามาตามกระแสน้ำ จึงเกิดการสะสมตัวขึ้นตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการสะสมตัวได้มีการลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2554 – 2566 ที่มีการกัดเซาะเกิดขึ้นจากการรูก้ำของน้ำทะเลทำให้เกิดคลื่นมีความรุนแรงมากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อตะกอนที่เป็นโคลนได้ถูกพัดพาออกไปจากพื้นที่อย่างต่อเนื่อง รวมถึงบริเวณที่เป็นชายหาดยาวได้มีการกัดเซาะอย่างต่อเนื่อง อันเนื่องมาจากโครงสร้างป้องกันชายฝั่งที่ไม่เพียงพอและเหมาะสม ทำให้การเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งเสียสมดุล แต่ในบริเวณตอนเหนือของอ่าวไทยตอนบน (พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 3, 4 และ 5) ประกอบด้วยที่ราบลุ่มแม่น้ำที่ราบเรียบ ซึ่งเกิดจากการสะสมตัวของตะกอนจากแม่น้ำสายหลัก 4 สาย ได้แก่ แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง ในบริเวณนี้จึงมีธรณีวิทยาเป็นโคลนและทรายที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของป่าชายเลนอย่างกว้างขวาง ซึ่งทำหน้าที่เป็นแนวป้องกันชายฝั่งตามธรรมชาติจากการกัดเซาะ อย่างไรก็ตาม ป่าชายเลนเหล่านี้ได้เสื่อมโทรมลงเรื่อย ๆ เนื่องจากการบุกรุกของมนุษย์ ทั้งการเปลี่ยนพื้นที่ชายฝั่งให้เป็นพื้นที่ประมงชายฝั่งและเกษตรกรรม การให้สัมปทานแก่เอกชน รวมถึงการขยายตัวของเมือง ซึ่งทำให้สมดุลของชายฝั่งตามธรรมชาติได้สูญเสียไป และเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการกัดเซาะได้มีการลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2554 - 2566 จากการฟื้นฟูป่าชายเลนและออกมาตรการคุ้มครองที่เข้มงวด รวมถึงการสร้างแนวป้องกันชายฝั่งที่เหมาะสมและเพียงพอ ทำให้เสถียรภาพของชายฝั่งเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ในบริเวณฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยตอนบน (พื้นที่ศึกษาย่อยที่ 6) มีลักษณะภูมิประเทศที่หลากหลาย ซึ่งในภาพรวมของชายฝั่งในพื้นที่นี้มีสภาพชายฝั่งที่ค่อนข้าง

สมดุลด้วยข้อได้เปรียบด้านลักษณะภูมิประเทศที่มีความชันที่สูงเป็นส่วนใหญ่และมีธรณีวิทยาเป็นหิน โดยบริเวณตอนบนซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนน้อยประกอบด้วยหาดโคลนและป่าชายเลนที่ช่วยรักษาแนวชายฝั่งและมีความเสี่ยงต่อการกัดเซาะชายฝั่งจากการบุกรุกเข้าทำประโยชน์เพื่อเปลี่ยนพื้นที่ให้กลายเป็นพื้นที่ประมงชายฝั่งและเกษตรกรรม ส่วนตอนกลางมีชายหาดทราย ท่าเทียบเรือน้ำลึก แหล่งท่องเที่ยว และเป็นศูนย์กลางเมือง ซึ่งรองรับกิจกรรมอุตสาหกรรมและการค้าจำนวนมากที่รบกวนพลวัตของตะกอนและก่อให้เกิดการกัดเซาะเฉพาะที่ และในส่วนของบริเวณตอนล่างเป็นชายหาดหินและหน้าผาชัน ซึ่งมีความทนทานต่อการกัดเซาะได้ดีกว่าจึงพบปัญหาการกัดเซาะได้น้อยมาก

กระแสน้ำตามฤดูกาลมีบทบาทสำคัญในการกำหนดพลวัตของตะกอนและกระบวนการกัดเซาะในอ่าวไทยตอนบน นอกจากนี้ ในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม - ตุลาคม) บริเวณอ่าวไทยตอนบนจะได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศที่รุนแรงเป็นการชั่วคราว ส่งผลให้เกิดคลื่นพายุซัดฝั่งที่มีพลังงานสูง จึงเกิดการกัดเซาะชายฝั่งที่รุนแรงขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มความเร็วให้กระแสน้ำที่ไหลจากทางตอนใต้ไปสู่ตอนเหนือ ซึ่งทำให้การกัดเซาะรุนแรงขึ้นโดยกระจายตะกอนออกจากพื้นที่ชายฝั่งจึงเกิดการสูญเสียตะกอนในพื้นที่ได้ง่าย โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นภูมิประเทศที่ราบความชันต่ำและมีโครงสร้างป้องกันชายฝั่งไม่เพียงพอจะได้รับผลกระทบเป็นพิเศษในช่วงเวลานี้ ด้วยลักษณะพลวัตของชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนนั้นเกิดจากปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างปัจจัยทางธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์ เช่น การเปลี่ยนแปลงทางภูมิประเทศ ลักษณะของตะกอน มรสุมตามฤดูกาล การขยายตัวของเมือง การตัดไม้ทำลายป่าชายเลน และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานชายฝั่ง ด้วยสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ได้ทำให้แนวชายฝั่งเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและไม่มีเสถียรภาพ โดยมีการกัดเซาะและการสะสมตัวของตะกอนที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีกลยุทธ์เพื่อจัดการเฉพาะพื้นที่ให้เหมาะสมมากที่สุด

2. สรุปผล

การศึกษาการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศสำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบนในช่วงระยะเวลา 35 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531-2566 โดยใช้การสำรวจจากระยะไกลด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat และ เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง รวมถึงระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล ผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงรูปแบบการกัดเซาะและการสะสมตัวของชายฝั่งอย่างมีพลวัตและมีความซับซ้อน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากกระบวนการทางธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ สำหรับการจำแนกประเภทพื้นที่ชายฝั่งทะเล พบว่า วิธีป่าสุ่มมีประสิทธิภาพการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเลสูงที่สุดจากทั้ง 4 วิธีการจำแนก ซึ่งให้ค่าความถูกต้องโดยรวมสูงที่สุด

ที่ร้อยละ 98.17 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาที่ 0.9432 โดยการผสมผสานอัตราส่วนเชิงคลื่น ได้แก่ NDWI, MNDWI, NDVI และ SAVI ร่วมกับดัชนีความถี่น้ำซึ่งมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงการสกัดเส้นแนวชายฝั่งประจำปีทั้ง 7 เส้น ให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น ซึ่งผ่านการประเมินความแม่นยำทั้งวิธีการซ้อนทับข้อมูลและการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยด้วยเส้นแนวชายฝั่งประจำปี พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2566 ซึ่งเป็นตัวแทนของชายฝั่งทั้ง 7 เส้น แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำที่สูง ซึ่งมีค่าการซ้อนทับข้อมูลอยู่ที่ร้อยละ 81.78 และ 80.01 ตามลำดับ และมีค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 13.59 เมตร และ 8.90 เมตร ตามลำดับ ด้วยความแม่นยำที่สูงได้แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมสำหรับการติดตามแนวชายฝั่งในระยะยาว โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ได้เป็นอย่างดี ผลลัพธ์การวิเคราะห์ชายฝั่งด้วยระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละพื้นที่ศึกษาย่อยอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งการกัดเซาะและการสะสมตัวของแนวชายฝั่งใน 6 ช่วงปี โดยพบว่าการกัดเซาะในระดับรุนแรงเกิดขึ้นในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2531–2537, พ.ศ.2537–2543, พ.ศ.2543–2549 และ พ.ศ.2549–2554 โดยเฉพาะพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 4 (ปากแม่น้ำท่าจีน–ปากแม่น้ำเจ้าพระยา) และพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 5 (ปากแม่น้ำเจ้าพระยา–ปากแม่น้ำบางปะกง) ซึ่งมีอัตราการกัดเซาะมากกว่า 5 เมตรต่อปี แต่ในทางกลับกันพื้นที่ศึกษาย่อยที่ 2 (แหลมผักเบี้ย–ปากแม่น้ำแม่กลอง) มีการขยายตัวของแนวชายฝั่งอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการสะสมตัวของตะกอนในบริเวณปากแม่น้ำและการขยายตัวของป่าชายเลน อย่างไรก็ตาม อัตราการกัดเซาะชายฝั่งได้คงที่ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งสอดคล้องกับการดำเนินมาตรการป้องกันชายฝั่งทั้งแบบอ่อน เช่น กำแพงไม้ไผ่ และแบบแข็ง เช่น กำแพงหิน การวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งได้เกิดจาก 2 ปัจจัยร่วมกัน ได้แก่ 1) ปัจจัยทางธรรมชาติ เช่น น้ำขึ้นน้ำลง มรสุมตามฤดูกาล ระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น และสภาพอากาศที่เลวร้าย ส่งผลให้การกัดเซาะในพื้นที่ลุ่มที่มีตะกอนละเอียดได้รับผลกระทบรุนแรงมากขึ้น และ 2) ปัจจัยจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงป่าชายเลนให้เป็นการทำประมงชายฝั่งและการทำนาเกลือ รวมถึงการพัฒนาเมืองใกล้ชายฝั่งทะเล ได้ส่งผลให้ความคงทนของแนวป้องกันชายฝั่งตามธรรมชาติลดลง การออกมาตรการป้องกันจึงเป็นทางออกของปัญหาที่ดีที่สุด เช่น การปลูกป่าชายเลนทดแทน การสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งที่เหมาะสมกับพื้นที่ รวมถึงการบังคับใช้กฎหมายเพื่อป้องกันป่าชายเลนให้เข้มงวดมากขึ้น ได้แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในระดับท้องถิ่นในการรักษาเสถียรภาพของแนวชายฝั่ง แต่ยังมีบางพื้นที่ที่ยังคงเผชิญกับปัญหาการกัดเซาะอย่างต่อเนื่องอยู่ อันเนื่องมาจากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งการสร้าง

แนวป้องกันชายฝั่งที่ไม่เพียงพอและเหมาะสมกับปัญหา การศึกษานี้จึงให้ความสำคัญของการบูรณาการเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ การเรียนรู้ของเครื่อง และระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล สำหรับการติดตามและจัดการชายฝั่งในระยะยาว ผลการศึกษานี้ให้ข้อมูลเชิงลึกที่สามารถนำไปปฏิบัติได้เพื่อกำหนดแนวทางกลยุทธ์การปกป้องชายฝั่ง รวมถึงการฟื้นฟูป่าชายเลน การใช้โครงสร้างตามแนวชายฝั่งที่ยั่งยืน และการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อลดผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ให้ลดน้อยลงที่สุด เนื่องจากมีความสัมพันธ์กันอย่างมากระหว่างระดับน้ำทะเล อุณหภูมิ และการกัดเซาะชายฝั่ง จึงจำเป็นต้องมีมาตรการเชิงรุกเพื่อเพิ่มความสามารถในการฟื้นตัวของบริเวณชายฝั่งที่เปราะบางในบริเวณอ่าวไทยตอนบนอย่างยั่งยืน

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 การศึกษานี้ได้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ซึ่งมีความละเอียดของภาพในระดับปานกลาง ทำให้การจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล เพื่อสกัดเส้นแนวชายฝั่งมีความคลาดเคลื่อนในบางพื้นที่อยู่เป็นจำนวนมาก เพื่อลดผลกระทบจากปัญหาดังกล่าวควรใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดสูงจะช่วยให้การจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเลมีความถูกต้องมากขึ้น และช่วยให้เส้นแนวชายฝั่งที่สกัดได้มีความถูกต้องมากขึ้นตามไปด้วย

3.2 เนื่องจากข้อจำกัดด้านข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ศึกษาในแต่ละปีมีจำนวนไม่เท่ากัน ทำให้การสร้างเส้นแนวชายฝั่งประจำปีด้วยดัชนีความถี่น้ำในแต่ละปีใช้ภาพไม่เท่ากัน จึงส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของเส้นแนวชายฝั่งที่สกัดได้ในปีนั้น ๆ ด้วยเช่นกัน

3.3 เนื่องจากการศึกษานี้ได้ใช้กลุ่มตัวอย่างสำหรับสร้างข้อมูลการสอน (Training data) และ ข้อมูลการตรวจสอบ (Testing data) สำหรับการจำแนกพื้นที่ชายฝั่งทะเล มาจากภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดปานกลางที่บันทึกภาพในอดีตแทนการใช้ภาพถ่ายความละเอียดสูง ซึ่งเป็นข้อจำกัดด้านข้อมูลของการศึกษานี้ ทำให้การแปลตีความด้วยสายตาในการสร้างข้อมูลกลุ่มตัวอย่างมีความผิดพลาดได้

3.4 ด้วยข้อจำกัดด้านข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่มีจำนวนภาพในแต่ละปีไม่เท่ากันในการศึกษานี้จำเป็นต้องเลือกใช้ปีที่มีจำนวนภาพมากที่สุดและมีระยะห่างของเวลาระหว่างช่วงปีในการศึกษาใกล้เคียงกันมากที่สุด ทำให้การกำหนดช่วงปีในการศึกษามีระยะเวลาไม่เท่ากัน ส่งผลให้การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแต่ละช่วงปีมีความแตกต่างกันตามปัจจัยด้านเวลาเพียงเล็กน้อย เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงควรกำหนดช่วงปีให้มีระยะเวลาที่เท่ากัน

3.5 ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องเส้นแนวชายฝั่งประจำปีที่สกัดได้ ควรตรวจสอบเส้นแนวชายฝั่งที่สกัดได้ทุกเส้น แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านจำนวนข้อมูลเส้นแนวชายฝั่งอ้างอิง

ความถูกต้องที่มีเพียง 2 ปีเท่านั้น ทำให้การศึกษาในครั้งนี้ไม่สามารถตรวจสอบเส้นแนวชายฝั่งที่สกัดได้ทุกเส้น จึงจำเป็นต้องตรวจสอบเฉพาะเส้นแนวชายฝั่งที่สกัดได้ที่มีปีใกล้เคียงกันกับเส้นแนวชายฝั่งอ้างอิงความถูกต้อง

3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ควรนำปัจจัยการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอื่น ๆ มาวิเคราะห์ร่วมกัน เช่น คลื่น กระแสน้ำ การเคลื่อนตัวของตะกอนชายฝั่ง รวมถึง พายุ จะช่วยให้การวิเคราะห์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3.7 การศึกษาในอนาคตควรเน้นที่ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกขั้นสูง เพื่อปรับปรุงการสกัดเส้นแนวชายฝั่งและการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงให้ดียิ่งขึ้น

3.8 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงเหตุผลและปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างปัจจัยต่าง ๆ รวมถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่เกิดขึ้นตามฤดูกาล เพื่อทำความเข้าใจกระบวนการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งให้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น โดยบูรณาการแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ทั้งแบบจำลองขั้นสูง และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ สำหรับการทํานายการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เพื่อใช้สนับสนุนการจัดการชายฝั่งที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อต้องเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น

3.9 การสร้างโครงสร้างตามแนวชายฝั่ง เช่น สะพานเทียบเรือ หรือโครงสร้างป้องกันชายฝั่งทั้งแบบแข็งและแบบอ่อน ควรคำนึงถึงลักษณะของการกัดเซาะในพื้นที่ รวมถึงพลวัตของตะกอนตามแนวชายฝั่งที่พัฒนามาตามกระแสน้ำในแต่ละฤดูกาลเป็นสำคัญ โดยเฉพาะชายฝั่งทะเลบริเวณฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยตอนบนที่กำลังประสบปัญหาการกัดเซาะอย่างต่อเนื่องจากการเสียดุลของตะกอนตามแนวชายฝั่ง อันเนื่องมาจากการสร้างแนวป้องกันชายฝั่งแบบแข็งที่กีดขวางการเคลื่อนตัวของตะกอนตามธรรมชาติ

3.10 ควรพิจารณาออกมาตรการกำหนดขอบเขตการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณชายฝั่งเพื่อลดความเสี่ยงต่อการกัดเซาะชายฝั่ง เช่น การทำประมงชายฝั่ง การทำนาเกลือ รวมถึงการขยายตัวของเมือง

3.11 ควรลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น การเผาป่าเพื่อทำเกษตรกรรม การปล่อยควันโดยโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงการใช้น้ำมันที่ปล่อยควันดำ อันเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการเกิดภัยพิบัติต่าง ๆ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก และควรรณรงค์ให้มีการปลูกป่าชายเลนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นแนวป้องกันชายฝั่งตามธรรมชาติรวมถึงช่วยในการกักเก็บก๊าซคาร์บอน

บรรณานุกรม

- AL-Mansoori, S., และ AL-Marzouqi, F. (2016). Coastline Extraction using Satellite Imagery and Image Processing Techniques. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 6(4), 1245-1251.
<https://www.researchgate.net/publication/305656580>
- Bamdadinejad, M., Ketabdari, M. J., และ Chavooshi, S. M. H. (2021). Shoreline Extraction Using Image Processing of Satellite Imageries. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(10), 2365-2375. <https://doi.org/10.1007/s12524-021-01398-3>
- Chettiyam Thodi, M. F. G., G., Surendran, U. P., Prem, P., Al-Ansari, N., และ Mattar, M. A. (2023). Using RS and GIS Techniques to Assess and Monitor Coastal Changes of Coastal Islands in the Marine Environment of a Humid Tropical Region. *Water*, 15(21). <https://doi.org/10.3390/w15213819>
- Choung, Y., และ Jo, M. (2017). Comparison between a Machine-Learning-Based Method and a Water-Index-Based Method for Shoreline Mapping Using a High-Resolution Satellite Image Acquired in Hwado Island, South Korea. *Journal of Sensors*, 2017, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2017/8245204>
- Curoy, J., Ward, R. D., Barlow, J., Moses, C., และ Nakhapakorn, K. (2022). Coastal dynamism inSouthern Thailand: An application of the CoastSat toolkit. *PLOS ONE*, 17(8). <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272977>
- Darwish, K., และ Smith, S. (2021). A Comparison of Landsat-8 OLI, Sentinel-2 MSI and PlanetScope Satellite Imagery for Assessing Coastline Change in El-Alamein, Egypt. *Engineering Proceedings*, 10(23). <https://doi.org/10.3390/ecsa-8-11258>
- European Space Agency. (2024a, March). *Spectral Resolution*. European Space Agency. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/>
- European Space Agency. (2024b, March). *Data collections*. European Space Agency. <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections>
- Ghosh, M. K., Kumar, L., และ Roy, C. (2015). Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques. *ISPRS Journal of*

- Photogrammetry and Remote Sensing*, 101(2015), 137-144.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.12.009>
- Goksel, C., Senel, G., และ Dogru, A. O. (2019). Determination of shoreline change along the Black Sea coast of Istanbul using remote sensing and GIS technology. *Desalination and Water Treatment*, 177(2020), 242-247.
<https://doi.org/10.5004/dwt.2020.24975>
- International Hydrographic Organization. (2023, July 10). *IHO S-32 Hydrographic Dictionary*. International Hydrographic Organization. http://iho-ohi.net/S32/engView.php?quick_filter=Shoreline&quick_filter_operator=Contains
- Jensen, J. R. (2016). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Pearson Education, Incorporated.
<https://books.google.co.th/books?id=IWvDrQEACAAJ>
- Kannan, R., Kanungo, A., และ Murthy, M. (2015). Detection of Shoreline Changes Visakhapatnam Coast, Andhra Pradesh from Multi-Temporal Satellite Images. *Journal of Remote Sensing & GIS*, 05(01). <https://doi.org/10.4172/2469-4134.1000157>
- Kavzoglu, T., และ Colkesen, I. (2009). A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(5), 352-359.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.06.002>
- Kim, M. K., Sohn, H. G., Kim, S. P., และ Jang, H. S. (2013). Automatic Coastline Extraction and Change Detection Monitoring using LANDSAT Imagery. *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*, 21(4), 45-53.
<https://doi.org/10.7319/kogsis.2013.21.4.045>
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., และ Chipman, J. W. (2015). *Remote sensing and Image Interpretation* (t. ed, Ed.). Lillesand, Thomas M.,.
https://books.google.co.th/books?id=AFHDCAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=th&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Maglione, P., Parente, C., และ Vallario, A. (2014). Coastline extraction using high resolution

- WorldView-2 satellite imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 47(1), 685-699. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20144739>
- Minghelli, A., Spagnoli, J., Lei, M., Chami, M., and Charmasson, S. (2020). Shoreline Extraction from WorldView2 Satellite Data in the Presence of Foam Pixels Using Multispectral Classification Method. *Remote Sensing*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/rs12162664>
- Quang, D. N., Ngan, V. H., Tam, H. S., Viet, N. T., Tinh, N. X., and Tanaka, H. (2021). Long-Term Shoreline Evolution Using DSAS Technique: A Case Study of Quang Nam Province, Vietnam. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/jmse9101124>
- Rumahorbo, B. T., Warpur, M., and Hamuna, B. (2023). Detection of Shoreline Changes due to Abrasion and Accretion Using Landsat Imagery – A Case Study in the Coastal Areas of Supiori Regency, Indonesia. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24(7), 161-171. <https://doi.org/10.12912/27197050/169358>
- Sun, W., Chen, C., Liu, W., Yang, G., Meng, X., Wang, L., and Ren, K. (2023). Coastline extraction using remote sensing: a review. *GIScience & Remote Sensing*, 60(1). <https://doi.org/10.1080/15481603.2023.2243671>
- United States Geological Survey. (2021). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.1 User Guide*. United States Geological Survey. <https://doi.org/https://doi.org/10.3133/ofr20211091>.
- United States Geological Survey. (2022, December 6). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*. United States Geological Survey. <https://www.usgs.gov/media/images/usgs-dsas>
- United States Geological Survey. (2024a, March). *Landsat Data Product Information*. United States Geological Survey. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- United States Geological Survey. (2024c, March). *Landsat Satellite Missions*. United States Geological Survey. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>

Vitousek, S., Buscombe, D., Vos, K., Barnard, P. L., Ritchie, A. C., และ Warrick, J. A.

(2023). The future of coastal monitoring through satellite remote sensing.

Cambridge Prisms: Coastal Futures, 1(e10).

<https://doi.org/https://doi.org/10.1017/cft.2022.4>

Vos, K., Splinter, K. D., Harley, M. D., Simmons, J. A., และ Turner, I. L. (2019). CoastSat: A

Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling and Software*, 122(2019).

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104528>

Wang, X., Liu, Y., Ling, F., Liu, Y., และ Fang, F. (2017). Spatio-Temporal Change Detection

of Ningbo Coastline Using Landsat Time-Series Images during 1976–2015. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(3).

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijgi6030068>

World Meteorological Organization. (2023). *State of the Global Climate 2022*. World

Meteorological Organization. <https://library.wmo.int/idurl/4/66214>

Xu, N. (2018). Detecting Coastline Change with All Available Landsat Data over 1986–

2015: A Case Study for the State of Texas, USA. *Atmosphere*, 9(3).

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/atmos9030107>

Zhou, X., Wang, J., Zheng, F., Wang, H., และ Yang, H. (2023). An Overview of Coastline

Extraction from Remote Sensing Data. *Remote Sensing*, 15(19).

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs15194865>

เปรมศิริ คงแสง. (2560). การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินของจังหวัดภูเก็ตจาก

ภาพถ่ายเทียมแลนด์แซต 8 ด้วยคุณสมบัติทางสีพลักษณ์ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์]. PSU Knowledge Bank.

<https://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2016/12498>

เอกลักษณ์ ใฝ่บุญ, และ วุฒิพงษ์ แสงมณี. (2562). การตรวจสอบและการพยากรณ์ผลกระทบจาก

โครงสร้างวิศวกรรมชายฝั่งทะเลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลาโดยใช้เทคนิคเชิงพื้นที่. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, 11(3), 165-179.

<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pnujr/article/view/160033>

กมลวรรณ วัฒนชัย. (2554). การประยุกต์การสำรวจระยะไกลเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของโลก.

FEU Academic Review, 5(1), 75-84. [https://so01.tci-](https://so01.tci-thaijo.org/index.php/FEU/article/view/24851)

[thaijo.org/index.php/FEU/article/view/24851](https://so01.tci-thaijo.org/index.php/FEU/article/view/24851)

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2552). รายงานสถานการณ์ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งของประเทศไทย ประจำปี พ.ศ.2552. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.

<https://www.dmcg.go.th/detailLib/1816>

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2557). การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการบริหารจัดการพื้นที่ชายฝั่งทะเล (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.

<https://www.dmcg.go.th/detailLib/1816>

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2561). คู่มือความรู้การกัดเซาะชายฝั่ง. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. <https://www.dmcg.go.th/detailLib/3962>

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2563). ระบบกลุ่มหาดประเทศไทย. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. <https://www.dmcg.go.th/detailLib/4934>

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2566ก). สถานภาพการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ.2515-2565. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.

<https://www.dmcg.go.th/detailLib/7775>

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2566ข). รายงานสถานการณ์ด้านทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง และการกัดเซาะชายฝั่งของประเทศไทย พ.ศ.2565. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.

<https://www.dmcg.go.th/detailLib/8098>

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2566ค). รายงานสถานการณ์ด้านทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง และการกัดเซาะชายฝั่งของประเทศไทย พ.ศ.2565. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.

<https://www.dmcg.go.th/detailLib/8098>

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2567, 29 ตุลาคม). ห้องสมุด อิเล็กทรอนิกส์ ทช. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. <https://www.dmcg.go.th/libraryAll>

กฤษฎาณ อินทรรัตน์. (2565). การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดนครนายก ด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้เครื่องและภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 27(2), 1153-1171. <https://ojs.lib.buu.ac.th/index.php/science/article/view/8152>

กฤษฎาณ อินทรรัตน์, และ สุชาวดี ศิลปรัตน์. (2562). การจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนเขตร้อนด้วยอัลกอริทึมป่าชุ่ม และข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมรายละเอียดสูง. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 24(2), 742-753. <https://ojs.lib.buu.ac.th/index.php/science/article/view/6214>

กลุ่มงานพัฒนากฎหมาย สำนักกฎหมาย สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา ปฏิบัติหน้าที่สำนักงาน
เลขาธิการสภานิติบัญญัติแห่งชาติ. (2559). พระราชกำหนดการประมง พ.ศ.2558. กลุ่ม
งานการพิมพ์ สำนักการพิมพ์ สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา ปฏิบัติหน้าที่สำนักงานเลขาธิการ
สภานิติบัญญัติแห่งชาติ.

ขจีมาศ อนงค์ไชย. (2561). การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีการชัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนจาก
ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8 เพื่อประเมินปริมาณการใช้น้ำในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์
[วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University
Theses and Dissertations (Chula ETD).

<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:261920795>

จิรวัดณ์ จันทองพูน, พัฒนิตา ไส้สาม, สัณห์ฤทัย แซ่หว่อง, และ พรนราญณ์ บุญราศรี. (2565).

การศึกษาการขยายตัวของเมืองด้วยเทคนิควิธี Random forest กรณีศึกษา อำเภอเมือง
สงขลา จังหวัดสงขลา. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27,

ชนัดตพงศ์ เสื่องามเยี่ยม. (2564). การหึงความลึกน้ำทะเลจากการรับรู้ระยะไกลในอ่าวไทยด้วย
ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 8 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University
Theses and Dissertations (Chula ETD).

<https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/5340/>

ทิมมพร ทิพย์รองพล. (2566). การประยุกต์ใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลในการจำแนกแนวปะการัง :
กรณีศึกษาเกาะกระดาน จังหวัดตรัง และเกาะไหง จังหวัดกระบี่ [วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์]. PSU Knowledge Bank.

<https://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2016/19244>

ปวรปรัชญ์ อิมละมัย, สุชาย วรชนะนันท์, และ จิตรารภรณ์ พักโสภา. (2566). การติดตามการ
เปลี่ยนแปลงแนวสัณฐานชายฝั่งทะเลจากผลกระทบของโครงสร้างทางวิศวกรรมชายฝั่งพระ
ราชินีเวศน์มฤคทายวัน จังหวัดเพชรบุรีด้วยภูมิสารสนเทศ. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา,
28(2), 730-751. <https://ojs.lib.buu.ac.th/index.php/science/article/view/8539>

ภัทรกร นิธินรางกูร, และ สมปราวธนา ฤทธิพิริ้ง. (2562). การเปรียบเทียบวิธีการระบุแนวชายฝั่ง
ทะเล. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24,

วุฒิพงษ์ แสงมณี, และ ชาญชัย ธนาวุฒิ. (2560). การบูรณาการข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลเพื่อ
ติดตามการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในจังหวัดปัตตานี. วารสารวิชาการ คณะมนุษยศาสตร์
และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 13(1), 69-101. <https://so03.tci->

thaijo.org/index.php/eJHUSO/article/view/97635

ศุภวัฒน์ อินทร์เกิด, นิคม อ่อนสี, นเรศ ขวัญทอง, นฤทธิ์ กล่อมพงษ์, และ ธีรชัย ชันขจร. (2561).

การใช้รีโมทเซนซิงเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในบริเวณชายฝั่งอันดามัน อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง. วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช, 37(มิถุนายน - สิงหาคม 2561), 84-98. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/wichcha/article/view/124883>

สมชาย วรภิเษมสกุล. (2554). ระเบียบวิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์

<https://online.pubhtml5.com/qrep/rwey/#p=1>

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2552). ตำราเทคโนโลยีอวกาศ และ ภูมิสารสนเทศศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 1.). บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. (2554). พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.2554. สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. <https://dictionary.orst.go.th/>

สุเพชร จิระจกุล. (2560). เรียนรู้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยโปรแกรม ArcGIS Desktop 10.5 (พิมพ์ครั้งที่ 1.). บริษัท เอ.พี. กราฟิคดีไซน์และการพิมพ์ จำกัด.

อจิรา เทียงตรง. (2549). การใช้รีโมทเซนซิงเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในบริเวณชายฝั่งบ้านแหลมสิงห์ จังหวัดสมุทรปราการ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. National Research Council of Thailand (NRCT).

<https://dric.nrct.go.th/Search/SearchDetail/192121>

อนุกุล บุรณประทีปรัตน์. (2551). การไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบน: การทบทวนงานวิจัย. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 13(1), 75-83.

<https://ojs.lib.buu.ac.th/index.php/science/article/view/10024>

อนุทิน คงชาล. (2564). Incorporating the Use of Time Series Remote Sensing Data to Assess the Vulnerability of the Thai Coast to Climate Change Induced Coastal Hazards. วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 4(1), 1-18.

<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/rtna/article/view/244274>

อรอร สาราจิตต์, และ กาญจนา นาคะภากร. (2557). การประยุกต์ภูมิสารสนเทศสำหรับสถานการณ์การกัดเซาะของชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 22(6), 789-800. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/22430>





ตาราง 29 ข้อมูลค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษา

ปี พ.ศ.	ส่วนต่างอุณหภูมิโลก เฉลี่ย โดย NASA (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิเฉลี่ยจากสถานีอุตุนิยมวิทยาในบริเวณอำเภอไทยดอนบน โดย กรมอุตุนิยมวิทยา (องศาเซลเซียส)				
		สมุทรปราการ	กรุงเทพมหานคร	ชลบุรี	เพชรบุรี	เฉลี่ย
2531	0.39	28.30	28.50	28.90	28.20	28.48
2532	0.27	28.40	28.70	29.00	28.30	28.60
2533	0.45	28.60	29.00	29.30	28.40	28.83
2534	0.41	28.60	29.20	29.30	28.20	28.83
2535	0.22	28.40	29.00	29.20	27.90	28.63
2536	0.23	28.20	28.60	29.20	27.80	28.45
2537	0.31	28.30	28.80	29.30	28.00	28.60
2538	0.45	28.35	29.10	29.35	28.15	28.74
2539	0.33	28.38	29.25	29.38	28.23	28.81
2540	0.46	28.38	29.25	29.38	28.23	28.81
2541	0.61	28.38	29.25	29.38	28.23	28.81
2542	0.38	28.38	29.25	29.38	28.23	28.81
2543	0.39	28.38	29.25	29.38	28.23	28.81
2544	0.54	28.38	29.25	29.38	28.23	28.81
2545	0.63	28.38	29.25	29.38	28.23	28.81
2546	0.62	28.38	29.25	29.38	28.23	28.81
2547	0.53	28.38	29.25	29.38	28.23	28.81
2548	0.68	28.38	29.25	29.38	28.23	28.81
2549	0.64	28.40	29.40	29.40	28.30	28.88
2550	0.66	28.40	29.65	29.40	28.60	28.45
2551	0.54	28.40	29.65	29.40	28.60	28.50
2552	0.66	28.40	29.65	29.40	28.60	28.70
2553	0.72	28.40	29.90	29.40	28.90	29.15
2554	0.61	28.25	30.10	29.60	28.80	28.40
2555	0.65	28.10	30.30	29.80	28.70	29.23
2556	0.68	28.05	30.05	29.50	28.50	28.93
2557	0.75	28.00	29.80	29.20	28.30	28.83
2558	0.90	27.85	29.70	29.35	28.55	29.28
2559	1.02	27.70	29.60	29.50	28.80	28.90
2560	0.92	27.90	29.70	29.40	29.00	29.00
2561	0.85	28.30	29.60	29.30	29.20	29.10
2562	0.98	28.70	30.60	29.90	29.50	29.68
2563	1.02	28.40	30.60	29.60	29.40	29.50
2564	0.85	28.50	30.70	29.70	29.20	28.68
2565	0.89	28.50	30.70	29.70	29.20	28.58
2566	1.17	28.60	30.80	29.80	29.00	29.55

ตาราง 30 ข้อมูลค่าระดับน้ำทะเลจากกระดับทะเลปานกลาง ที่ใช้ในการศึกษา

ปี พ.ศ.	ส่วนต่างระดับน้ำทะเล โลกเฉลี่ย โดย AVISO (เซนติเมตร)	ระดับน้ำทะเลจากสถานีวัดระดับน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดย กรมเจ้าท่า (เซนติเมตร)				
		บ้านแหลม	สมุทรสาคร	บางปะกง	อ่าวอุดม	เฉลี่ย
2531	-0.11		6.58	16.34		24.60
2532	0.18		11.28	14.51		12.90
2533	0.32		10.43	13.98		12.21
2534	0.73		14.80	16.66		15.73
2535	1.17		17.65	12.03		14.84
2536	1.54		12.53	14.45		13.49
2537	1.84		19.13	14.37		16.75
2538	2.04		10.68	15.78		13.23
2539	2.55		8.96	16.79		12.88
2540	2.84	8.87	21.11	14.43		14.81
2541	3.07	10.76	26.11	16.98		17.95
2542	3.36	11.97	22.10	24.83		19.63
2543	3.84	17.11	29.58	32.20		26.30
2544	4.08	13.24	36.97	30.19		26.80
2545	4.22	12.73	44.36	32.69		29.93
2546	4.50	1.63	43.14	19.44		21.41
2547	4.95	12.05	42.14	19.69		24.63
2548	5.18	9.50	39.83	18.16		22.50
2549	5.18	13.87	43.90	22.53	7.91	22.06
2550	6.14	14.25	44.04	21.66	-4.66	18.82
2551	6.39	15.13	47.89	27.70	5.54	24.06
2552	6.59	14.71	47.31	32.86	18.63	28.38
2553	7.51	19.87	53.19	36.96	18.13	32.04
2554	7.97	22.64	54.86	38.85	22.59	34.73
2555	8.23	19.73	56.23	30.95	18.57	31.37
2556	8.54	22.12	57.57	32.10	23.34	33.78
2557	9.12	20.09	52.10	24.44	17.20	28.46
2558	9.42	18.63	49.62	20.73	16.05	26.26
2559	9.89	19.28	51.70	23.91	18.06	28.24
2560	10.43	24.11	57.52	33.18	22.82	34.41
2561	10.91	23.51	56.99	49.51	23.52	38.38
2562	-0.11	23.18	56.48	35.67	28.31	35.91
2563	0.18	24.24	53.34	10.82	35.75	31.04
2564	0.32	24.45	42.71	26.39	23.33	29.22
2565	0.73	29.65	41.80	35.18	27.76	33.60
2566	1.17	21.05	32.86	28.39	22.25	26.14

ตาราง 31 ค่าอัตราการกัดเซาะชายฝั่งในแต่ละช่วงปี ที่คำนวณได้จากระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System)

ช่วงปี พ.ศ.	พื้นที่ศึกษาย่อย	อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ย (เมตรต่อปี)			หมายเหตุ
		อัตราการกัดเซาะ	อัตราการสะสมตัว	อัตราการกัดเซาะสุทธิ	
2531-2537	A1	2.29	3.22	-2.01	อัตราการสะสมตัว
	A2	5.55	14.06	-10.09	อัตราการสะสมตัว
	A3	3.65	3.69	-0.01	อัตราการสะสมตัว
	A4	16.65	1.41	13.55	
	A5	14.07	3.68	6.02	
	A6	1.27	0.39	0.64	
2537-2543	A1	2.10	1.84	0.40	
	A2	4.91	16.38	-8.89	อัตราการสะสมตัว
	A3	7.00	1.85	5.22	
	A4	16.04	2.41	12.50	
	A5	11.99	5.15	6.68	
	A6	1.18	0.40	0.48	
2543-2549	A1	1.87	1.80	0.04	
	A2	5.49	5.01	-2.94	อัตราการสะสมตัว
	A3	6.46	2.05	1.21	
	A4	16.16	3.46	10.35	
	A5	11.57	2.22	6.77	
	A6	1.48	0.82	0.10	
2549-2554	A1	1.76	3.98	-2.81	อัตราการสะสมตัว
	A2	3.24	4.61	-2.41	อัตราการสะสมตัว
	A3	6.70	3.36	1.80	
	A4	8.98	3.89	4.55	
	A5	8.13	3.30	5.18	
	A6	1.75	1.20	-0.19	อัตราการสะสมตัว
2554-2561	A1	1.98	1.73	0.71	
	A2	2.68	3.35	0.18	
	A3	2.99	4.66	1.31	
	A4	5.31	1.53	3.88	
	A5	4.27	3.59	-0.10	อัตราการสะสมตัว
	A6	2.38	0.15	2.05	
2561-2566	A1	2.42	1.58	1.55	
	A2	4.11	3.95	0.54	
	A3	1.87	3.84	-1.31	อัตราการสะสมตัว
	A4	5.05	3.16	0.40	
	A5	3.72	6.65	-3.30	อัตราการสะสมตัว
	A6	1.25	0.55	0.40	
2531-2566	A1	0.85	0.94	-0.31	อัตราการสะสมตัว
	A2	4.98	6.37	-3.99	อัตราการสะสมตัว
	A3	3.17	2.37	1.43	
	A4	9.58	1.89	7.72	
	A5	5.59	1.32	3.59	
	A6	0.60	0.58	0.65	

ตาราง 32 ค่าระยะทางการกัดเซาะชายฝั่งในแต่ละช่วงปี ที่คำนวณจากระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งแบบดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System)

ช่วงปี พ.ศ.	พื้นที่ศึกษาย่อย	ระยะทางการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเฉลี่ย (เมตร)			หมายเหตุ
		ระยะทางการกัดเซาะ	ระยะทางการสะสมตัว	ระยะทางการกัดเซาะสุทธิ	
2531-2537	A1	13.71	19.34	-12.05	ระยะทางการสะสมตัว
	A2	33.32	84.33	-60.52	ระยะทางการสะสมตัว
	A3	21.93	22.14	-0.08	ระยะทางการสะสมตัว
	A4	99.92	8.44	81.29	
	A5	84.44	22.09	36.12	
	A6	7.64	2.32	3.82	
2537-2543	A1	12.62	11.03	2.37	
	A2	29.47	98.26	-53.36	ระยะทางการสะสมตัว
	A3	42.03	11.09	31.34	
	A4	96.24	14.47	75.02	
	A5	71.93	30.88	40.11	
	A6	7.09	2.43	2.85	
2543-2549	A1	11.23	10.82	0.23	
	A2	32.92	30.07	-17.65	ระยะทางการสะสมตัว
	A3	38.76	12.30	7.24	
	A4	96.98	20.76	62.09	
	A5	69.44	13.30	40.59	
	A6	8.90	4.94	0.58	
2549-2554	A1	8.78	19.92	-14.07	ระยะทางการสะสมตัว
	A2	16.18	23.07	-12.05	ระยะทางการสะสมตัว
	A3	33.50	16.80	9.02	
	A4	44.88	19.47	22.74	
	A5	40.63	16.52	25.88	
	A6	8.77	6.01	-0.95	ระยะทางการสะสมตัว
2554-2561	A1	13.87	12.11	4.95	
	A2	18.79	23.45	1.25	
	A3	20.94	32.65	9.20	
	A4	37.18	10.71	27.17	
	A5	29.91	25.15	-0.70	ระยะทางการสะสมตัว
	A6	16.64	1.03	14.36	
2561-2566	A1	12.12	7.91	7.74	
	A2	20.53	19.73	2.70	
	A3	9.36	19.18	-6.54	ระยะทางการสะสมตัว
	A4	25.25	15.80	1.99	
	A5	18.58	33.27	-16.50	ระยะทางการสะสมตัว
	A6	6.25	2.73	2.02	
2531-2566	A1	29.75	32.94	-10.82	ระยะทางการสะสมตัว
	A2	174.44	222.82	-139.64	ระยะทางการสะสมตัว
	A3	110.84	83.10	50.18	
	A4	335.44	66.29	270.30	
	A5	195.80	46.19	125.50	
	A6	20.91	20.20	22.68	

ประวัติผู้เขียน

