



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ท้องน้ำตามฤดูกาล บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
The study of seasonal bathymetry changes in Pranburi River Mouth, Prachuap Khiri Khan Province using mathematical model.

ชื่อนิสิต นางสาว จิราภา อังสุวรรณฤกษ์ **เลขประจำตัว** 6032804223

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล

ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ท้องน้ำตามฤดูกาล บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี
จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

นางสาว จิราภา อังสุวรรณฤกษ์

โครงการการเรียนการสอนเพื่อประสบการณ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563

The study of seasonal bathymetry changes in Pranburi River Mouth,
Prachuap Khiri Khan Province using mathematical model.

Miss Jirapa Augsuvorapruk

A Senior Project in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Science in Marine Science
Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2020

ชื่อโครงการ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ต้งน้ำตามฤดูกาล บริเวณปากแม่น้ำ
ปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ชื่อนิสิต นางสาว จิราภา อังศุรพฤกษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรียัณฑ์ สาระมูล
ปีการศึกษา 2563
ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับโครงการ
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรบัณฑิต ในรายวิชา 2309499 โครงการวิทยาศาสตร์

..... หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
(ศาสตราจารย์ ดร.วรรณพ วิทยาญจน์)

คณะกรรมการสอบโครงการงาน

..... อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรียัณฑ์ สาระมูล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชญา ชวนิชย์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัทมา สิงห์รักษ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมฤดี จิตประไพ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุชาพร บุญญเจตนพงษ์)

Project Title The study of seasonal bathymetry changes in Pranburi River Mouth, Prachuap Khiri Khan Province using mathematical model.

Name Miss Jirapa Augsuvorapruk

Advisor Assistant Professor Suriyan Saramul, Ph.D.

Academic Year 2020

Department Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Accepted by the Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirement for the Requirement Bachelor's Degree.

..... Head of Marine Science Department

(Prof. Voranop Viyakarn, Ph.D.)

Project committee

..... Project Advisor

(Asst. Prof. Suriyan Saramul, Ph.D.)

..... Member

(Assoc. Prof. Suchana Chavanich, Ph.D.)

..... Member

(Asst. Prof. Patama Singhruck, Ph.D.)

..... Member

(Asst. Prof. Somrudee Jitpraphai, Ph.D.)

..... Member

(Sutaporn Bunyajetpong, Ph.D.)

ชื่อโครงการ	การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ท้องน้ำตามฤดูกาล บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ชื่อนิสิต	นางสาว จิราภา อังศุรพฤกษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยัณห์ สาระมูล
ปีการศึกษา	2563
ภาควิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ท้องน้ำบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ด้วยแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ Delf3D-FLOW ร่วมกับแบบจำลองคลื่น Delf3D-WAVE โดยพิจารณาปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ท้องน้ำจำนวน 4 ปัจจัย ได้แก่ น้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม คลื่น และน้ำท่า แบ่งพื้นที่สำหรับแบบจำลองเป็น 2 พื้นที่ พื้นที่ใหญ่ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่บริเวณหัวหินถึงเกาะหลัก และพื้นที่เล็กซึ่งได้จากการทำ nesting จากแบบจำลองพื้นที่ใหญ่จะครอบคลุมพื้นที่ปากแม่น้ำปราณบุรี ขนาดกริดแบบจำลองอุทกพลศาสตร์และแบบจำลองคลื่นสำหรับพื้นที่ใหญ่มีขนาดเท่ากับ 20x20 และ 40x40 ตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนขนาดกริดของพื้นที่เล็กจะมีขนาดเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของพื้นที่ใหญ่ ทำการ nesting ระดับน้ำจากแบบจำลองพื้นที่ใหญ่สู่แบบจำลองพื้นที่เล็ก โดยกำหนดให้แบบจำลองพื้นที่เล็กมีแรงขับที่เกิดจากน้ำขึ้นน้ำลงและคลื่นบริเวณขอบเขตเปิดด้านตะวันออก มีลมเป็นแรงขับที่ผิวน้ำ และมีน้ำท่าเป็นแรงขับที่แม่น้ำปราณบุรี ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ท้องน้ำบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรีส่วนใหญ่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางตอนใต้ของ Jetties โดยจะมีการพัดพาตะกอนจากบริเวณปาก Jetties มาทับถมในบริเวณใกล้ชายฝั่งทางด้านข้าง Jetties ส่วนในบริเวณด้านนอกชายฝั่งจะเกิดการกัดเซาะและการทับถมตัวในบริเวณใกล้เคียงกัน สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้อาจเป็นผลมาจากอิทธิพลของคลื่นในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่มีขนาดประมาณ 0.33 เมตร และมีทิศทางเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง ในขณะที่ช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ขนาดของคลื่นมีค่าต่ำ จึงพบการเคลื่อนที่ของตะกอนน้อย การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปากแม่น้ำปราณบุรีจากการศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ พบว่าได้รับอิทธิพลหลักมาจากลมในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ คลื่น และน้ำท่า โดยที่มือน้ำขึ้นน้ำลงเป็นอิทธิพลร่วม

คำสำคัญ: Jetties, Delft3D-FLOW, Delft3D-WAVE

Project Title	The study of seasonal bathymetry changes in Pranburi River Mouth, Prachuap Khiri Khan Province using mathematical model.
Name	Miss Jirapa Augsuvorapruk
Advisor	Assistant Professor Suriyan Saramul, Ph.D.
Academic Year	2020
Department	Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Abstract

The study of seasonal bathymetry changes in Pranburi River Mouth, Prachuap Khiri Khan Province was investigated using a couple Delft3D-FLOW and Delft3D-WAVE model. In this study, 4 physical factors affecting bathymetry change tides, wind, wave and river discharge were taken into consideration. The model domain was divided into 2 areas. The large domain covered from Hua Hin to the main Ko Lak, while the small domain, nested from large domain will cover Pranburi River Mouth. Model grid resolution of hydrodynamic and wave models for large domain were respectively 20x20 and 40x40 m². While the grid resolution of nested model (small domain) was half of the large domain. Water level nested from large model domain was applied at eastern boundary of small model domain. Variable winds were forced at the surface and river discharge was applied at Pranburi River. From the model study, it was found that south of Jetties was the place where bathymetry change mostly occurred, Sediments were carried from the river mouth to the area near Jetties. While in offshore area, there existed erosion and sedimentation. Shoreward direction toward south jetties of wave size of approximately 0.33 m during northeast monsoon may cause these changes. On the other hands, during southwest monsoon bathymetry was rarely altered due to small wave height (less sediment transport). In conclusion, bathymetry changes based on model simulation in Pranburi River Mouth was dominantly controlled by northeast monsoon wave and river discharge, while tides was co-factor.

Keywords: Jetties, Delft3D-FLOW, Delft3D-WAVE

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยัณฑ์ สาระมุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขมาโดยตลอด จนโครงการสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ นางสาวชุตามาศ เจริญพร และนางสาวธนาภา เนียมสูงเนิน สำหรับข้อมูลขนาดของอนุภาคตะกอนชายฝั่งทะเลทางตอนเหนือและตอนใต้ของ Jetties (D50) บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ขอขอบคุณ นางสาวศิริพัชรี ยิ่งอริยกุล สำหรับคำแนะนำ และการช่วยเหลือ จนโครงการสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล และขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ ทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจ จนโครงการสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ที่สนับสนุนเงินทุนสำหรับโครงการนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าของบทความ งานวิจัย ผู้เขียนหนังสือต่างๆ ที่ได้ให้ความรู้ในการทำโครงการได้เป็นอย่างดีและสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวสำหรับการสนับสนุนที่มีให้เสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการศึกษา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ลักษณะพื้นฐานของปากน้ำปราณบุรี	4
2.1.1 ลักษณะภูมิประเทศ.....	4
2.1.2 ลักษณะภูมิอากาศ.....	4
2.2 น้ำขึ้นน้ำลง.....	4
2.3 ลมมรสุม	7
2.3.1 ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้	8
2.3.2 ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ	8
2.4 กระแสน้ำ	8
2.4.1 กระแสน้ำที่เกิดจากคลื่นและลม	8
2.4.2 กระแสน้ำที่เกิดจากน้ำขึ้นน้ำลง	9
2.4.3 กระแสน้ำที่เกิดจากน้ำท่า.....	9
2.5 คลื่น.....	9
2.5.1 คลื่นที่เกิดจากลม	10

2.5.2 คลื่นที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง.....	10
2.5.3 คลื่นที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก	11
2.6 การเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง	11
2.6.1 การเคลื่อนที่ของตะกอนที่เกิดจากคลื่นและกระแสน้ำ	11
2.6.2 การเคลื่อนที่ของตะกอนที่เกิดจากน้ำขึ้นน้ำลง.....	12
2.6.3 การเคลื่อนที่ของตะกอนที่เกิดจากกระแสนลม	12
2.7 แบบจำลอง Delft3D.....	12
2.7.1 แบบจำลองระดับน้ำ.....	12
2.7.2 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์	13
2.7.3 การเคลื่อนที่ของตะกอน.....	14
2.7.4 การเปลี่ยนแปลงธรณีสันฐาน.....	15
บทที่ 3 วิธีการศึกษา.....	16
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	16
3.2 การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล	17
3.3 การเตรียมแบบจำลอง	18
3.4 การทดลองแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องน้ำ.....	21
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	23
4.1 ผลการปรับเทียบ (calibrate) และการทวนสอบ (validate) แบบจำลองอุทกพลศาสตร์	23
4.2 ขนาดและทิศทางของลม.....	25
4.3 ขนาดและทิศทางของคลื่น	27
4.4 ลักษณะของสภาพแวดล้อม เมื่อมีน้ำขึ้นน้ำลงเป็นแรงขับ.....	29
4.5 ลักษณะของสภาพแวดล้อม เมื่อมีกระแสนลมเป็นแรงขับ.....	32
4.6 ลักษณะของสภาพแวดล้อม เมื่อมีน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนลมเป็นแรงขับ	34
4.7 พื้นที่ท้องน้ำเริ่มต้น.....	37
4.8 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องน้ำ เมื่อมีน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนลมเป็นแรงขับ	37
4.8.1 Bed Load Transport	37

4.8.2 Suspended Transport	40
4.8.3 Total Transport (Sedimentation and Deposition)	42
4.8.4 ลักษณะพื้นที่ท้องน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป.....	44
4.9 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องน้ำ เมื่อมีน้ำขึ้นน้ำลง กระแสนม และคลื่นเป็นแรงขับ	45
4.9.1 Bed Load Transport	45
4.9.2 Suspended Transport	48
4.9.3 Total Transport (Sedimentation and Deposition).....	50
4.9.4 ลักษณะพื้นที่ท้องน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป.....	52
4.10 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องน้ำ เมื่อมีน้ำขึ้นน้ำลง กระแสนม คลื่น และน้ำท่าเป็นแรงขับ	54
4.10.1 Bed Load Transport	54
4.10.2 Suspended Transport	57
4.10.3 Total Transport (Sedimentation and Deposition).....	59
4.10.4 ลักษณะพื้นที่ท้องน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป	61
บทที่ 5 สรุปผลศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	64

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	สภาพแรงของดวงจันทร์ที่กระทำต่อโลกแบบต่างๆ ที่มีผลต่อปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลง5
2.2	ลักษณะของน้ำเกิดและน้ำตาย..... 6
2.3	รูปแบบการขึ้น-ลงของระดับน้ำทะเลทั้ง 3 แบบ 6
2.4	ทิศทางและช่วงเวลาในการเกิดลมมรสุมที่มีอิทธิพลต่อประเทศไทย 7
3.1	กริดแบบจำลองขนาดใหญ่ที่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี โดยมีระยะทางตั้งแต่ จังหวัดเพชรบุรีถึงจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 16
3.2	กริดแบบจำลองขนาดเล็กที่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์17
3.3	กริดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสของแบบจำลองพื้นที่ใหญ่ (ก) ขนาด 20x20 ตารางเมตร สำหรับ Delft3D- FLOW และ (ข) ขนาด 40x40 ตารางเมตร สำหรับ Delft3D-WAVE ที่เตรียมจากโมดูล RGFGRID18
3.4	ความลึกน้ำของแบบจำลองพื้นที่ใหญ่ที่ได้จากการ interpolate ด้วยโมดูล QUICKIN สำหรับ (ก) Delft3D-FLOW และ (ข) Delft3D-WAVE19
3.5	กริดลักษณะ curvilinear ของแบบจำลองพื้นที่เล็ก (ก) ขนาด 10x10 ตารางเมตร สำหรับ Delft3D-FLOW และ (ข) ขนาด 20x20 ตารางเมตร สำหรับ Delft3D-WAVE 20
3.6	ความลึกของแบบจำลองพื้นที่เล็กน้ำสำหรับ (ก) Delft3D-FLOW และ (ข) Delft3D-WAVE 21
4.1	เปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดกับแบบจำลองที่บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรีใน เดือนมีนาคม พ.ศ. 2548 (บน) และแอมพลิจูด (ล่างซ้าย) และเฟส (ล่างขวา) ที่ได้จากการวิเคราะห์ ระดับน้ำแบบฮาร์โมนิก 23
4.2	เปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดกับแบบจำลองที่บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี หลังจากทำการปรับค่าองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลง ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2548 (บน) และแอมพลิจูด (ล่างซ้าย) และเฟส (ล่างขวา) ที่ได้จากการวิเคราะห์ระดับน้ำแบบฮาร์โมนิก24
4.3	เปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดกับแบบจำลองที่บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เพื่อการทดสอบแบบจำลองในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2548 (บน) และแอมพลิจูด (ล่างซ้าย) และเฟส (ล่างขวา) ที่ได้จากการวิเคราะห์ระดับน้ำแบบฮาร์โมนิก 24
4.4	ขนาดและทิศทางของกระแสลมเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 ถึง พ.ศ. 2563 บริเวณปาก แม่น้ำปราณบุรี 25
4.5	ขนาดและทิศทางเฉลี่ยรายเดือนของความสูงคลื่นนัยสำคัญที่ได้จากแบบจำลองคลื่นบริเวณ

	ปากแม่น้ำปราณบุรี	27
4.6	รูปแบบของระดับน้ำและทิศทางของกระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง	30
4.7	การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำและทิศทางของกระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เมื่อได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำ	32
4.8	การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำและทิศทางของกระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสน้ำ	35
4.9	ความลึกของพื้นที่น้ำเริ่มต้นบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี	37
4.10	Bed Load Transport ของตะกอนดินเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เมื่อได้รับ อิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสน้ำ	38
4.11	Suspended Transport ของตะกอนดินเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เมื่อได้รับ อิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสน้ำ	40
4.12	Total Transport ของตะกอนดินเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เมื่อได้รับอิทธิพล จากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสน้ำ	42
4.13	การเปลี่ยนแปลงพื้นที่น้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสน้ำในช่วง (ก) มรสุมตะวันตก เฉียงใต้ (นำค่าของเดือนมิถุนายนลบด้วยเดือนพฤษภาคม) และ (ข) มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (นำค่าของเดือนธันวาคมลบด้วยเดือนพฤศจิกายน)	45
4.14	Bed Load Transport ของตะกอนดินเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เมื่อได้รับ อิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสน้ำ และคลื่น	46
4.15	Suspended Transport ของตะกอนดินเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เมื่อได้รับ อิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสน้ำ และคลื่น	48
4.16	Total Transport ของตะกอนดินเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เมื่อได้รับอิทธิพล จากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสน้ำ และคลื่น	50
4.17	การเปลี่ยนแปลงพื้นที่น้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสน้ำ และคลื่นระยะเวลา 1 ปี ในช่วง (ก) มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (นำค่าของเดือนมิถุนายนลบด้วยเดือนพฤษภาคม) และ (ข) มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (นำค่าของเดือนธันวาคมลบด้วยเดือนพฤศจิกายน)	53
4.18	การเปลี่ยนแปลงพื้นที่น้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสน้ำ และคลื่นระยะเวลา 5 ปี	

	ในช่วง (ก) มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (นำค่าของเดือนมิถุนายนลบด้วยเดือนพฤษภาคม) และ	
	(ข) มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (นำค่าของเดือนธันวาคมลบด้วยเดือนพฤศจิกายน)	53
4.19	การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องน้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม และคลื่นระยะเวลา 10 ปี	
	ในช่วง (ก) มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (นำค่าของเดือนมิถุนายนลบด้วยเดือนพฤษภาคม) และ	
	(ข) มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (นำค่าของเดือนธันวาคมลบด้วยเดือนพฤศจิกายน)	54
4.20	Bed Load Transport ของตะกอนดินเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เมื่อได้รับ	
	อิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม คลื่น และน้ำท่า	55
4.21	Suspended Transport ของตะกอนดินเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เมื่อได้รับ	
	อิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม คลื่น และน้ำท่า.....	57
4.22	Total Transport ของตะกอนดินเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เมื่อได้รับอิทธิพล	
	จากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม คลื่น และน้ำท่า.....	59
4.23	การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องน้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม คลื่น และน้ำท่า ในช่วง	
	(ก) มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (นำค่าของเดือนมิถุนายนลบด้วยเดือนพฤษภาคม) และ (ข) มรสุม	
	ตะวันออกเฉียงเหนือ (นำค่าของเดือนธันวาคมลบด้วยเดือนพฤศจิกายน)	62

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการศึกษา

บริเวณปากแม่น้ำปราณมีลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นพื้นที่ราบที่มีแนวทอดยาวลงมาติดต่อกับชายฝั่งทะเลอ่าวไทย และเป็นพื้นที่ภูเขาสลับกับที่ราบลาดเทลงสู่ทะเล ลักษณะพื้นที่ท้องน้ำในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรีประกอบด้วยดินโคลนปนทราย มีชายหาดยาวประมาณ 2 กิโลเมตร และมีแม่น้ำปราณบุรีนำตะกอนจากแผ่นดินลงสู่ทะเลอ่าวไทย (เทศบาลตำบลปากแม่น้ำปราณ, 2558) โดยลักษณะทางธรณีสัณฐานของปากแม่น้ำจะถูกควบคุมด้วยอิทธิพลของกระแสน้ำขึ้นน้ำลง กระแสนม คลื่น การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล รวมไปถึงการไหลเวียนของกระแสน้ำและตะกอน ที่ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ท้องน้ำขึ้น (สุรเชษฐ์ รวมธรรม และคณะ, 2555)

ปริมาณตะกอนที่พบในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรีส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการตกตะกอนที่บริเวณปากแม่น้ำ เนื่องจากน้ำจืดที่ไหลผ่านพื้นที่บริเวณต่างๆ ตามลำน้ำมีการพัดพาตะกอนให้เคลื่อนที่มาตามกระแสน้ำ เมื่อมวลน้ำจืดมาปะทะกับมวลน้ำเค็มที่มีความหนาแน่นสูงและมีน้ำหนักที่มากกว่า จึงทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของมวลน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ตะกอนแขวนลอยเกิดการตกตะกอนสะสมตัวลงสู่บริเวณปากแม่น้ำ (ศูนย์ศึกษาเรียนรู้ระบบนิเวศป่าชายเลนสิรินาถราชินี, 2559) ลักษณะสัณฐานของพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่งทะเล และพื้นที่ท้องน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่ตลอดเวลา ทั้งจากการกัดเซาะและการทับถมตัวของตะกอนดิน ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะภูมิประเทศทางทะเลขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ท้องน้ำเป็นผลมาจากปัจจัยต่อไปนี้ (ครองชัย ทัศน, 2014)

1. อิทธิพลของลมฟ้าอากาศ (Meteorological factor) ได้แก่ ฤดูกาล ทิศทาง ความเร็วของกระแสนม ปริมาณ การกระจายตัว และรูปแบบการตกของน้ำฝน
2. อิทธิพลของอุทกวิทยา (Hydrological factor) ได้แก่ น้ำขึ้นน้ำลง กระแสน้ำ ปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงสู่ทะเลบริเวณชายฝั่ง ปริมาณและขนาดของตะกอนในแหล่งน้ำ
3. อิทธิพลขององค์ประกอบทางธรณีวิทยา (Geological factor) ได้แก่ ลักษณะทางธรณีสัณฐานของชายฝั่ง ชนิดและโครงสร้างทางธรณีวิทยาของชายฝั่ง
4. อิทธิพลขององค์ประกอบทางชีวภาพ (Biological factor) ได้แก่ ชนิด ปริมาณ และความหนาแน่นของป่าชายเลนและพืชน้ำ

หลังจากที่มีการสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นปากร่องน้ำ (jetty) กับเขื่อนกันคลื่น (breakwater) ขึ้นมา ทำให้การกระจายตัวของตะกอนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรีเกิดการเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากโครงสร้างชายฝั่งแต่ละประเภทจะส่งผลต่อการไหลเวียนของกระแสน้ำและการทับถมของตะกอนแตกต่างกัน โดยเขื่อนกันทรายและคลื่นปากร่องน้ำ (jetty) ช่วยรักษาสภาพปากแม่น้ำให้มีความเสถียรภาพ และช่วยให้ตะกอนที่พัดพามาตามกระแสน้ำไม่ตกตะกอนในบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งอาจทำให้ปากแม่น้ำตื้นเขินและเป็นอุปสรรคต่อการสัญจรทางเรือได้ เนื่องจากโครงสร้างที่บริเวณปากแม่น้ำจะส่งผลกระทบทำให้ชายหาดด้านท้ายน้ำ (downdrift) เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงและเกิดการทับถมบริเวณชายหาดด้านเหนือน้ำ (updrift) ส่วนเขื่อน

กันคลื่น (breakwater) เป็นโครงสร้างช่วยลดพลังงานคลื่นที่จะเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง และช่วยให้เกิดพื้นที่อับคลื่นหรือพื้นที่สงบด้านหลังโครงสร้าง ทำให้เกิดการทับถมตัวบริเวณด้านหลังของโครงสร้าง ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะบริเวณช่องว่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นขึ้น (รัฐพล รุ่งโรจน์เจริญผล และสมปรารถนา ฤทธิ์พริ้ง, 2561)

การศึกษาในครั้งนี้จะเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ท้องน้ำที่เปลี่ยนไปตามฤดูกาลในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผู้วิจัยเลือกศึกษาในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เนื่องจากพื้นที่ชายฝั่งในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรีเกิดการเปลี่ยนแปลงไป หลังจากที่มีการสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นปากร่องน้ำ (jetty) กับเขื่อนกันคลื่น (breakwater) ขึ้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตของผู้คนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ เช่น เกิดปัญหาการกัดเซาะพื้นที่ชายฝั่งขึ้นอย่างรุนแรง ส่งผลให้มีพื้นที่ในการประกอบอาชีพลดลง นอกจากนี้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมาจะช่วยทำให้ผู้ศึกษาเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางธรณีสัณฐานในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรีที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากอิทธิพลทางธรรมชาติและมนุษย์มากยิ่งขึ้น ทั้งกระแสที่ขึ้นน้ำลง กระแสนม คลื่น น้ำท่า การไหลเวียนของกระแสน้ำ และกระบวนการต่างๆ รวมไปถึงการกัดเซาะและการทับถมของตะกอนดินในพื้นที่บริเวณที่มีการก่อสร้างโครงสร้างชายฝั่งแต่ละประเภทขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มาปรับใช้กับสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในภายภาคหน้าได้ไม่มากนัก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ท้องน้ำตามฤดูกาลที่เป็นผลมาจากปัจจัยทางกายภาพในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

สร้างแบบจำลองรูปแบบการไหลของกระแสน้ำเนื่องจากอิทธิพลของกระแสน้ำขึ้นน้ำลง (แบบจำลองกระแสน้ำ) กระแสนม คลื่น (แบบจำลองคลื่น) และน้ำท่า ครอบคลุมพื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนบน 2 ส่วน คือ

1. พื้นที่ที่ครอบคลุมบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี มีระยะทางตั้งแต่อำเภอหัวหิน จังหวัดเพชรบุรี ถึงตำบลเกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งมีพิกัดอยู่ระหว่าง Latitude: 12.67°N - 11.67°N และ Longitude: 99.67°E - 100.58°E
2. พื้นที่บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี ซึ่งมีพิกัดอยู่ระหว่าง Latitude: 12.43°N - 12.36°N และ Longitude: 99.97°E - 100.03°E

รวมทั้งสร้างแบบจำลองคู่ควบระหว่างแบบจำลองคลื่นและกระแสน้ำเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องน้ำที่เกิดเนื่องจากอิทธิพลของคลื่นและกระแสน้ำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ต้งน้ำตามฤดูกาล ในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี โดยอิทธิพลจากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม คลื่น น้ำท่า การไหลเวียนของกระแสน้ำและตะกอน
2. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาปรับใช้ในการแก้ปัญหาและควบคุมลักษณะพื้นที่ต้งน้ำในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เช่น การเก็บตะกอนเพื่อนำมาทำการวิจัยต่อไปในอนาคต

บทที่ 2 ทฤษฎีและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะพื้นฐานของปากน้ำปราณบุรี

2.1.1 ลักษณะภูมิประเทศ

ปากน้ำปราณบุรีเป็นที่ราบมีแนวยาวลงมาติดต่อกับชายฝั่งทะเลอ่าวไทย เป็นพื้นที่ภูเขาสลับกับที่ราบลาดเทลงสู่ทะเล พื้นที่ท้องน้ำมีลักษณะเป็นดินปนทราย มีชายหาดยาวประมาณ 2 กิโลเมตร และมีแม่น้ำปราณบุรีไหลผ่านลงสู่ทะเลอ่าวไทย (เทศบาลตำบลปากน้ำปราณ, 2015)

2.1.2 ลักษณะภูมิอากาศ

ลักษณะทางภูมิอากาศเป็นแบบมรสุม มีฝนตกตลอดทั้งปี อากาศค่อนข้างเย็น และมีลมทะเลพัดผ่านอยู่ตลอดเวลา มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 39 องศาเซลเซียส ต่ำสุดประมาณ 10.5 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 26 องศาเซลเซียส สภาพอากาศบริเวณปากน้ำปราณ มี 3 ฤดูกาล (เทศบาลตำบลปากน้ำปราณ, 2015) คือ ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่ ปลายเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนมิถุนายน

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่ เดือนกรกฎาคม ถึง เดือนตุลาคม

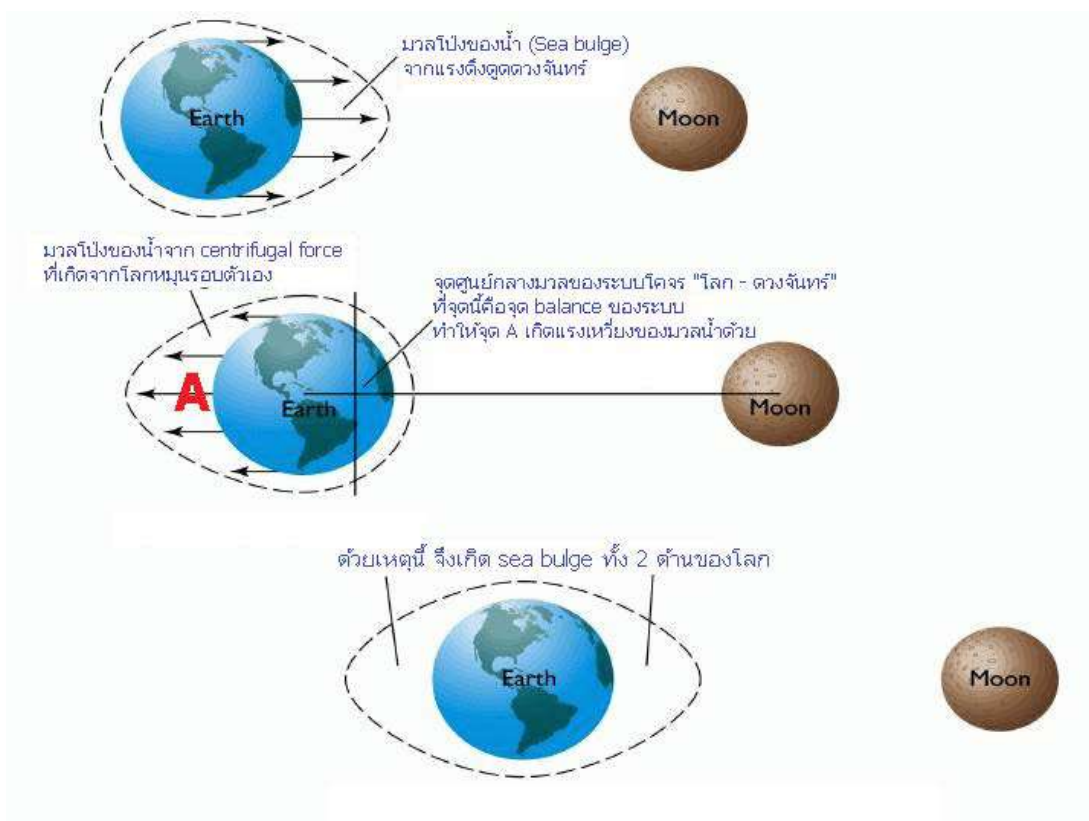
ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่ เดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนกุมภาพันธ์

2.2 น้ำขึ้นน้ำลง

เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของแรงโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ที่กระทำต่อมวลน้ำบนผิวโลก แรงโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์มีอิทธิพลต่อการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลน้อยกว่าดวงจันทร์ เนื่องจากดวงอาทิตย์มีระยะทางห่างจากโลกมากกว่าดวงจันทร์ ซึ่งคิดเป็นระยะทางประมาณ 380 เท่าของระยะทางระหว่างโลกกับดวงจันทร์ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554)

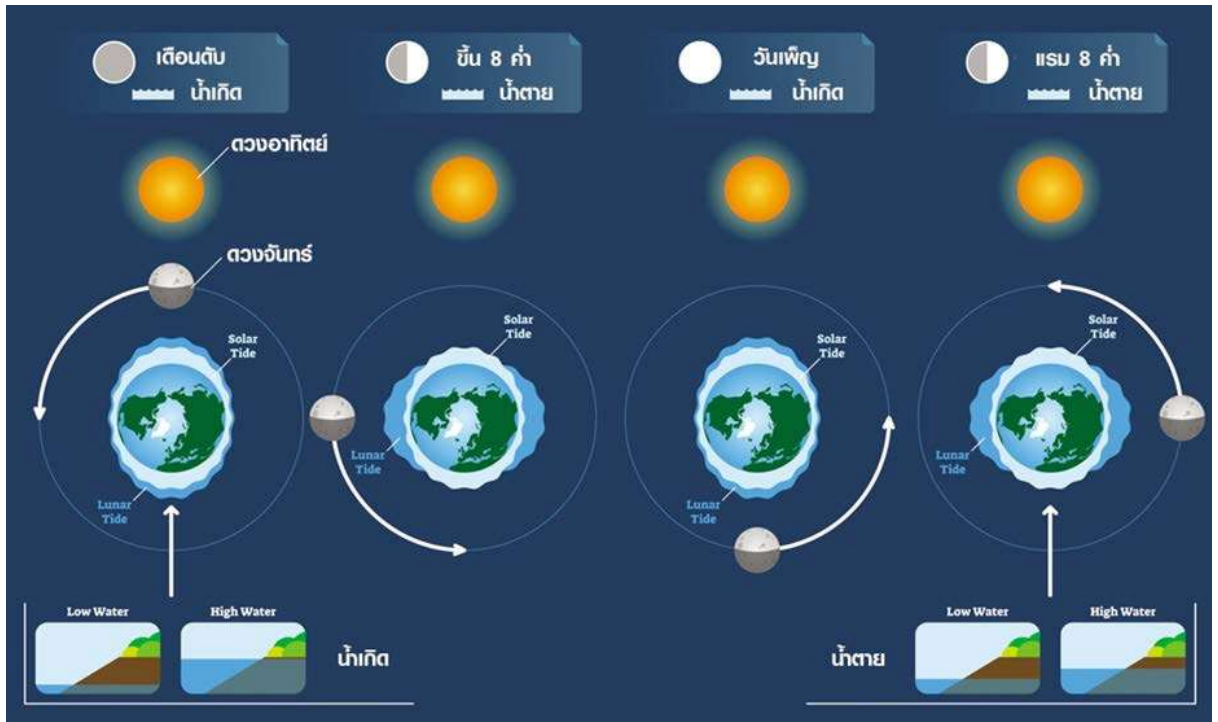
แรงโน้มถ่วงของดวงจันทร์ที่กระทำต่อวัตถุแต่ละตำแหน่งบนพื้นผิวโลกจะมีค่าไม่เท่ากัน โดยแรงที่กระทำของแรงโน้มถ่วงที่ต่างกันต่อวัตถุขึ้นเดียวกัน เรียกว่า แรงไทดัล (Tidal forces) เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลง แรงไทดัลของดวงจันทร์ที่กระทำต่อโลกจะดึงดูดมวลน้ำให้สามารถเคลื่อนที่ไปตามแรงไทดัลได้ เมื่อดวงจันทร์โคจรผ่านบริเวณใดน้ำในบริเวณนั้นจะถูกดึงดูดให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับที่ดวงจันทร์ปรากฏขึ้น ขณะเดียวกันระดับน้ำบนผิวโลกในด้านตรงข้ามกับดวงจันทร์ในแนวเดียวกันจะสูงขึ้น ส่วนบริเวณตำแหน่งของโลกที่มีระยะทางห่างจากดวงจันทร์มากหรือมีทิศที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับดวงจันทร์จะเป็นบริเวณที่มีระดับน้ำที่ค่อนข้างต่ำ หรือ “น้ำลง” จึงทำให้มีบริเวณที่น้ำลงสองจุดเหมือนกับน้ำขึ้น และจากการที่โลกหมุนรอบตัวเอง 1 รอบ ทำให้ตำแหน่งต่างๆ บนพื้นผิวโลกเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่เกิดน้ำขึ้นและน้ำลงทั้งสองด้าน ส่งผลให้บางตำแหน่งของโลกสามารถเกิดน้ำขึ้นน้ำลงได้วันละ 2 ครั้ง จากการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลที่เกิดขึ้นจากแรงโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์และดวงจันทร์มากระทำต่อมวลน้ำบนผิวโลก ดวงจันทร์

จะมีผลต่อการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลมากกว่าดวงอาทิตย์ 2 เท่า แต่แรงโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์มีผลต่อการเกิดระดับน้ำขึ้นสูงสุดและน้ำลงต่ำสุด (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554)



รูปที่ 2.1 สภาพแรงของดวงจันทร์ที่กระทำต่อโลกแบบต่างๆ ที่มีผลต่อปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลง (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554)

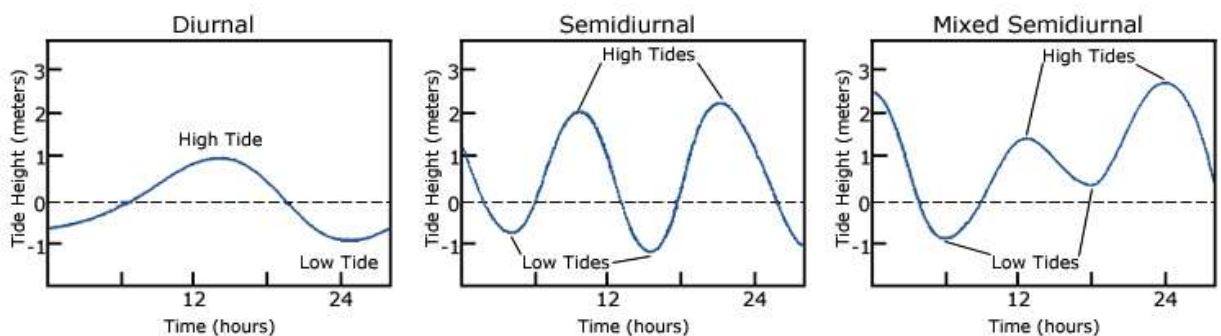
ระดับน้ำทะเลสูงสุดและระดับน้ำทะเลต่ำสุดจะเกิดในกรณีที่ดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และโลกโคจรมาอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน ทำให้แรงโน้มถ่วงจากดวงอาทิตย์และดวงจันทร์มีแรงเสริมกันมากที่สุด ทำให้แรงไทดัลที่กระทำต่อโลกเพิ่มสูงมากขึ้นด้วยเช่นกัน ส่งผลให้มวลน้ำถูกดึงดูดให้มีลักษณะโป่งออกมามากกว่าปกติ จึงทำให้ระดับน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงสูงมาก ส่งผลให้ตำแหน่งที่โลกหันหน้าเข้าหาดวงจันทร์และตำแหน่งในทางตรงกันข้ามจะมีระดับน้ำขึ้นสูงที่สุด ขณะที่ตำแหน่งที่โลกมีทิศตั้งฉากกับดวงจันทร์และในทางตรงกันข้ามจะมีระดับน้ำลงต่ำที่สุด ซึ่งเรียกการขึ้นลงของน้ำทะเลในรูปแบบนี้ว่า “น้ำเกิด” หรือ “น้ำเป็น” (Spring tide) ส่วนน้ำทะเลที่มีการขึ้นลงน้อยมาก จะเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และโลกโคจรมาอยู่ในแนวตั้งฉากกันพอดี ทำให้แรงโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ไม่เสริมกัน จึงทำให้ระดับน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยที่ระดับน้ำขึ้นไม่สูงมากและระดับน้ำลงไม่ต่ำมาก ซึ่งเป็นสภาวะที่ระดับน้ำค่อนข้างนิ่งหรือคงตัว เรียกการขึ้นลงของน้ำทะเลในรูปแบบนี้ว่า “น้ำตาย” (Neap tide) (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554)



รูปที่ 2.2 ลักษณะของน้ำเกิดและน้ำตาย (Shutterstock, 2561)

รูปแบบการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลในบริเวณต่างๆ บนโลกมีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554) ได้แก่

- 1) น้ำเตี้ย (Diurnal Tide) คือ ระดับน้ำทะเลมีการขึ้น-ลง 1 ครั้งต่อวัน
- 2) น้ำคู่ (Semidiurnal Tide) คือ ระดับน้ำทะเลมีการขึ้น-ลง 2 ครั้งต่อวัน และระดับน้ำทะเลมีขนาดพอกัน
- 3) น้ำผสม (Mixed Semidiurnal Tide) คือ ระดับน้ำทะเลมีการขึ้น-ลง 2 ครั้งต่อวัน แต่ระดับน้ำมีขนาดไม่เท่ากัน

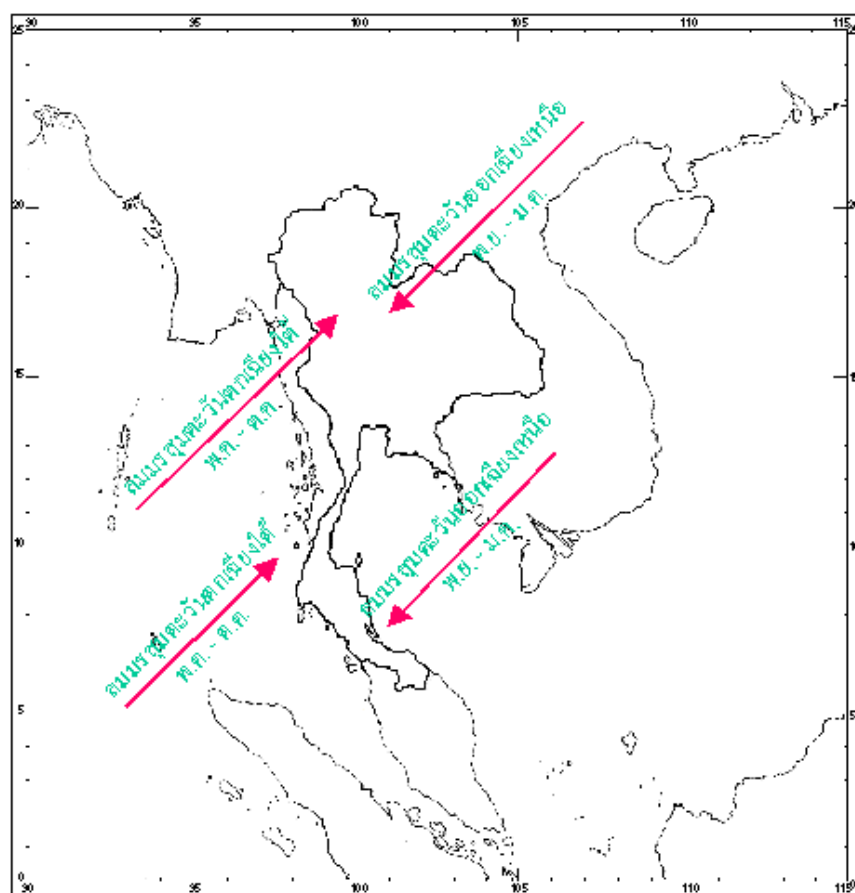


รูปที่ 2.3 รูปแบบการขึ้น-ลงของระดับน้ำทะเลทั้ง 3 แบบ (NOAA National Ocean Service Education, 2007)

การขึ้นลงของน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยเป็นแบบน้ำเดี่ยว (Diurnal Tide) คือเกิดระดับน้ำทะเลมีการขึ้น-ลง 1 ครั้งต่อวัน เนื่องจากอ่าวไทยเป็นอ่าวที่มีลักษณะตื้น มีก้นอ่าวขรุขระไม่ราบเรียบ การเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงจึงไม่สม่ำเสมอกัน เมื่อคลื่นน้ำขึ้นเดินทางเข้ามาภายในอ่าวจะเกิดการสะท้อนกลับทำให้เกิดแรงหักล้างกันและเป็นผลให้มีน้ำขึ้นน้ำลงเหลือเพียงวันละหนึ่งครั้ง และการขึ้นลงของน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยยังมีลักษณะเป็นแบบน้ำผสม (Mixed Semidiurnal Tide) คือมีระดับน้ำทะเลมีการขึ้น-ลง 2 ครั้งต่อวัน แต่ระดับน้ำมีขนาดไม่เท่ากัน (กรมอุทกศาสตร์, 2556)

2.3 ลมมรสุม

การหมุนเวียนของกระแสลมที่พัดตามฤดูกาลซึ่งเป็นลมที่มีทิศทางที่แน่นอนและมีการพัดพาอย่างสม่ำเสมอ โดยมีสาเหตุหลักมาจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นดินและพื้นน้ำ ในฤดูหนาวอุณหภูมิของพื้นดินเย็นกว่าอุณหภูมิของน้ำในมหาสมุทร อากาศเหนือพื้นน้ำจึงมีอุณหภูมิสูงกว่าและมีการลอยตัวขึ้นสู่ด้านบน ทำให้อากาศเหนือทวีปที่เย็นกว่าไหลไปแทนที่ ส่งผลให้เกิดลมพัดออกจากทวีป ส่วนในฤดูร้อนอุณหภูมิของพื้นดินร้อนกว่าน้ำในมหาสมุทร ทำให้เกิดลมพัดในทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ชนิด (ชาญชัย เลิศวิมลศักดิ์, 2553) คือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ กับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 2.4 ทิศทางและช่วงเวลาในการเกิดลมมรสุมที่มีอิทธิพลต่อประเทศไทย (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557)

2.3.1 ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทยในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม โดยมีแหล่งกำเนิดจากบริเวณที่มีความกดอากาศสูงในซีกโลกใต้ของมหาสมุทรอินเดีย ซึ่งพัดออกจากศูนย์กลาง กลายเป็นลมตะวันออกเฉียงใต้ และเปลี่ยนเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้เมื่อพัดข้ามเส้นศูนย์สูตร ลมมรสุมนี้จะนำมวลอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดียมาสู่ประเทศไทย จึงทำให้ประเทศไทยมีเมฆมากและฝนชุกทั่วพื้นที่ โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งทะเลและเทือกเขาที่รับลมจะมีปริมาณฝนมากกว่าบริเวณอื่น (ชาญชัย เลิศวิมลศักดิ์, 2553)

2.3.2 ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเกิดขึ้นหลังจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หมดลง โดยจะพัดปกคลุมประเทศไทยในช่วงกลางเดือนตุลาคมจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ลมมรสุมนี้มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณที่มีความกดอากาศสูงบนซีกโลกเหนือแถบประเทศมองโกเลียและจีน ซึ่งมีการพัดพาเอามวลอากาศที่เย็นและแห้งจากแหล่งกำเนิดเข้ามาปกคลุมประเทศไทย จึงทำให้ประเทศไทยมีท้องฟ้าโปร่ง อากาศหนาวเย็น และแห้งแล้ง โดยเฉพาะภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนภาคใต้จะมีฝนชุกโดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันออก เนื่องจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือนำความชุ่มชื้นจากทะเลอ่าวไทยเข้ามาปกคลุม (ชาญชัย เลิศวิมลศักดิ์, 2553)

2.4 กระแสน้ำ

เป็นการเคลื่อนที่ของมวลน้ำทะเลสามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ คือ กระแสน้ำผิวน้ำ (Surface current) เกิดตามทิศทางของกระแสลม และกระแสน้ำลึก (Deep water flow) เป็นกระแสน้ำที่มีผลทำให้มวลน้ำเกิดการเคลื่อนไหวตามความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำทะเล โดยส่วนใหญ่กระแสน้ำลึกจะมีอัตราการไหลที่ค่อนข้างช้าและสวนทางกับทิศทางการไหลของกระแสน้ำที่ผิวน้ำ ซึ่งบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทย กระแสน้ำส่วนใหญ่จะมีลักษณะการไหลเลียบไปตามแนวชายฝั่งจากทิศใต้ขึ้นไปยังทิศเหนือ และมีอิทธิพลต่อพื้นที่ชายฝั่ง ซึ่งในบริเวณปากแม่น้ำจะได้รับอิทธิพลของกระแสน้ำขึ้นน้ำลงด้วย ซึ่งถ้าน้ำขึ้นน้ำลงเป็นชนิดน้ำเตี้ยจะมีความแรงมากกว่าน้ำคู่ โดยจะขึ้นอยู่กับช่วงมรสุมในแต่ละฤดูกาลและลักษณะเฉพาะของพื้นที่ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2559)

กระแสน้ำในทะเลเกิดจากปัจจัยหลายประการ ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 3 ปัจจัย (Areeprasertkul, 2021) ได้แก่ คลื่นและลม, น้ำขึ้นน้ำลง, และน้ำท่า

2.4.1 กระแสน้ำที่เกิดจากคลื่นและลม

เมื่อคลื่นมีการเคลื่อนตัวออกจากจุดกำเนิดมารวมกับการพัดพาของกระแสลมจะทำให้เกิดกระแสน้ำขึ้น ส่งผลให้กระแสน้ำที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่นและการพัดพาของกระแสลม และเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งจะทำให้เกิดกระแสน้ำเคลื่อนที่เข้ามากระทบกับชายฝั่ง เรียกว่า กระแสน้ำตั้งฉากกับ

ชายฝั่ง (Shore-normal Current) และเมื่อกระแสน้ำกระทบกับชายฝั่งจะทำให้กระแสน้ำเกิดการเบี่ยงเบนทิศทางออกไปทางด้านข้างหรือขนานกับฝั่ง เรียกว่า กระแสน้ำขนานฝั่ง (Shore-parallel Current) หรือกระแสน้ำเลียบชายฝั่ง (French, 1997 อ้างอิงใน สุวลักษณ์, 2554) กระแสน้ำชายฝั่งส่วนใหญ่เกิดจากคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางตามอิทธิพลของกระแสน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล จึงทำให้กระแสน้ำมีทิศทางการเคลื่อนที่แตกต่างในแต่ละฤดูกาล (สุวลักษณ์ สารุมนัสพันธ์, 2561)

2.4.2 กระแสน้ำที่เกิดจากน้ำขึ้นน้ำลง

การเกิดน้ำขึ้นน้ำลงทำให้มวลน้ำเกิดการเคลื่อนที่ไปตามแรงโน้มถ่วงของดวงจันทร์และแรงหนีศูนย์กลางของโลก ส่งผลให้เกิดกระแสน้ำในบริเวณมหาสมุทรเปิด ความเร็วของกระแสน้ำที่เกิดจากน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Current) จะมีค่าสูงสุดในช่วงที่เกิดน้ำขึ้นสูงสุดหรือน้ำลงต่ำสุด ส่วนบริเวณชายฝั่งความเร็วสูงสุดของกระแสน้ำจะอยู่ในช่วงระหว่างการเกิดน้ำขึ้นสูงสุดหรือน้ำลงต่ำสุด และในขณะที่ความเร็วของกระแสน้ำในเวลาน้ำขึ้นสูงสุดหรือน้ำลงต่ำสุดจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ โดยในช่วงเวลาที่น้ำขึ้นกระแสน้ำจะมีทิศทางการเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง ส่วนในช่วงน้ำลงกระแสน้ำจะมีทิศทางการเคลื่อนที่ออกจากชายฝั่ง (French, 1997 อ้างอิงใน สุวลักษณ์, 2554)

2.4.3 กระแสน้ำที่เกิดจากน้ำท่า

น้ำจากแม่น้ำที่ไหลออกสู่ทะเลในบริเวณผิวน้ำแล้วทำให้เกิดการเหนี่ยวนำน้ำทะเลให้ไหลเข้าสู่ปากแม่น้ำทางด้านล่าง เนื่องจากน้ำท่ามีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำทะเลจึงทำให้น้ำท่ามีการลอยตัวอยู่เหนือน้ำทะเล และน้ำท่ามีผลกับกระแสน้ำในบริเวณปากแม่น้ำเป็นหลักโดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ไหลออกมา กระแสน้ำที่เกิดจากน้ำท่าจะทำให้เกิดกระแสน้ำไหลไปตามแนวชายฝั่ง ซึ่งในอ่าวไทยน้ำท่าไม่ค่อยมีผลต่อกระแสน้ำในทะเลมากนัก เพราะน้ำที่ไหลลงมามีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับมวลน้ำสะสมอยู่ในอ่าว แต่ปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่ทะเลจะมีผลต่อความเค็มของน้ำทะเล (Areprasertkul, 2021)

2.5 คลื่น

คลื่นที่เกิดขึ้นบนผิวน้ำเมื่อพบสิ่งกีดขวางจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามคุณสมบัติของคลื่น ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 4 แบบ (ปิตุพร ทิมพาเพชร, 2564) คือ

1. การสะท้อน (Reflection) เป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นเคลื่อนที่มากระทบสิ่งกีดขวางและเกิดการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่กลับมาในตัวกลางเดิม ซึ่งเป็นไปตามกฎการสะท้อน คือมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

2. การหักเห (Refraction) เป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อระหว่างตัวกลางที่มีสมบัติต่างกัน ทำให้ความเร็วของคลื่นเปลี่ยนไปจากเดิม โดยแหล่งกำเนิดคลื่นมักอยู่ในระดับน้ำที่มีความลึก คลื่นจากบริเวณน้ำลึกจะสามารถเคลื่อนที่ได้เร็ว แต่เมื่อเข้าสู่เขตนน้ำตื้นจะเคลื่อนที่ได้ช้าลงและหน้าคลื่นจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ไปจนมีลักษณะการเคลื่อนที่ที่ขนานกับชายฝั่ง

3. การแทรกสอด (Interference) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรวมกันของคลื่นที่มีความถี่เท่ากัน การแทรกสอดแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

- การแทรกสอดแบบเสริม เกิดขึ้นเมื่อสันคลื่นทั้ง 2 ขบวนซ้อนทับกันหรือท้องคลื่นทั้ง 2 ขบวนซ้อนทับกัน ส่งผลให้แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่าเป็น 2 เท่าจากเดิม

- การแทรกสอดแบบหักล้าง เกิดขึ้นเมื่อทิศทางของแอมพลิจูดตรงข้ามกันเคลื่อนที่เข้าหากันที่ตำแหน่งสันคลื่นของคลื่นขบวนหนึ่งซ้อนทับกับท้องคลื่นของคลื่นอีกขบวนหนึ่ง ส่งผลให้แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่าเป็นศูนย์

4. การเลี้ยวเบน (Diffraction) เป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นมีการเคลื่อนที่มากระทบสิ่งกีดขวางที่มีช่องเปิด ทำให้มีคลื่นเกิดขึ้นทางด้านหลังของสิ่งกีดขวาง โดยเมื่อคลื่นมีความยาวคลื่นมาก การเลี้ยวเบนจะเกิดมากขึ้น

คลื่นเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดมาจากแรงกระทำตามธรรมชาติ โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดคลื่นสามารถจำแนกออกเป็น 3 ปัจจัย (สุวลักษณ์ สารุมนัสพันธ์, 2561) ได้แก่ ลม, แรงโน้มถ่วง, และการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก

2.5.1 คลื่นที่เกิดจากลม

เมื่อมีการพัดพาของกระแสลมในบริเวณผิวน้ำทะเลทำให้เกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างลมไปยังผิวน้ำ ส่งผลให้มวลน้ำที่ผิวเกิดการหมุนเป็นวงกลมและยกตัวขึ้นกลายเป็นคลื่น คลื่นจะเคลื่อนตัวโดยการหมุนตัวของมวลน้ำและถ่ายทอดพลังงานไปยังมวลน้ำที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้มวลน้ำที่อยู่ใกล้เคียงเกิดการหมุนและยกตัวขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของกระแสลม ซึ่งการหมุนตัวของมวลน้ำที่อยู่ด้านล่างผิวน้ำจะมีวงหมุนของมวลน้ำจะเล็กลงเรื่อยๆ ตามความลึกที่เพิ่มขึ้น โดยในบริเวณที่ลึกคลื่นจะมีความยาวคลื่นค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งที่มีความลึกน้อยลง ฐานคลื่นจะสัมผัสกับพื้นท้องทะเล ทำให้การหมุนตัวของมวลน้ำเกิดการเสียดสีกับพื้นท้องทะเล ส่งผลให้การหมุนตัวของมวลน้ำมีการบิดตัวและเปลี่ยนจากวงกลมเป็นวงรี ทำให้มีความยาวคลื่นลดลง ส่งผลให้ยอดคลื่นมีการยกตัวสูงขึ้นหรือคลื่นมีความชันมากขึ้น โดยการม้วนตัวกลับไปมาจนเกิดการแตกตัวของคลื่นคล้ายกับคลื่นแตกเป็นฟองซึ่งเรียกว่า คลื่นหัวแตก (Breaker หรือ Surf) (สุวลักษณ์ สารุมนัสพันธ์, 2561) ซึ่งขนาดของคลื่นจะขึ้นอยู่กับความแรงกับระยะเวลาที่กระแสลมพัด (Fetch Length) มากกระทำต่อผิวน้ำทะเล (French, 1997 อ้างอิงใน สุวลักษณ์, 2554)

2.5.2 คลื่นที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง

แรงโน้มถ่วงจากดวงจันทร์เป็นแรงที่ทำให้เกิดน้ำขึ้นน้ำลง โดยคลื่นจะเกิดจากการขึ้นลงของระดับน้ำในรอบวัน ซึ่งความถี่ของการเกิดคลื่นหรือคาบของการเกิดคลื่นจะมีวงรอบการขึ้นลงของระดับน้ำยาวนานประมาณ 12 ชั่วโมง เรียก คลื่นที่มีคาบการเกิดยาว (Long-period Waves) โดยที่ยอดคลื่นสูงสุดจะอยู่ในช่วงน้ำขึ้นสูงสุดและท้องคลื่นจะอยู่ในช่วงน้ำลงต่ำสุด (French, 1997 อ้างอิงใน สุวลักษณ์, 2554)

2.5.3 คลื่นที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก

เปลือกโลกมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ใช้เวลาในการเกิดซ้ำมาก โดยที่การเปลี่ยนแปลงนั้นจะเกิดได้ทั้งจากการเคลื่อนตัวออกจากกัน เข้าหากัน และเคลื่อนที่ชนกัน เมื่อบริเวณรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกใต้ทะเลสองแผ่นเกิดการเคลื่อนตัวเข้าหากันจะเกิดแรงปะทะระหว่างเปลือกโลกทั้งสองแผ่น และเมื่อถึงจุดที่มีแรงปะทะไม่เท่ากันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน โดยการที่เปลือกโลกแผ่นหนึ่งมุดเข้าไปอยู่ใต้เปลือกโลกอีกแผ่น เรียกว่า Subduction เป็นการทำให้เปลือกโลกแผ่นหนึ่งถูกดันให้สูงขึ้นและเปลือกโลกอีกแผ่นหนึ่งยุบตัวลง ส่งผลให้น้ำทะเลปริมาณมากถูกดันขึ้นหรือทรุดตัวลงอย่างฉับพลัน น้ำทะเลจึงเกิดการกระเพื่อมอย่างรุนแรงจนเกิดเป็นคลื่นขึ้นและคลื่นจะมีขนาดใหญ่มากขึ้นเมื่อเคลื่อนที่เข้าสู่ฝั่ง เรียกว่า คลื่นสึนามิ หรือ Seismic Wave (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

2.6 การเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งส่วนหนึ่งเกิดมาจากการเคลื่อนย้ายของตะกอนทั้งในรูปแบบของการกัดเซาะและการตกทับถม โดยเกิดขึ้นจากกระบวนการชายฝั่งซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท (สุวลักษณ์ สารุมนัสพันธ์, 2561) ได้แก่ คลื่นและกระแสน้ำ, น้ำขึ้นน้ำลง, และกระแสนลม

2.6.1 การเคลื่อนที่ของตะกอนที่เกิดจากคลื่นและกระแสน้ำ

คลื่นและกระแสน้ำเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้การเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง โดยทิศทางของการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งจะขึ้นอยู่กับทิศทางของคลื่นและกระแสน้ำที่เคลื่อนตัวเข้าสู่ฝั่ง ซึ่งการเคลื่อนที่ของตะกอนที่ได้รับอิทธิพลจากคลื่นและกระแสน้ำสามารถเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ การเคลื่อนที่เข้า-ออกจากชายฝั่งในทิศทางตั้งฉากกับฝั่ง และการเคลื่อนที่ขนานกับฝั่ง ซึ่งเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งพลังงานของคลื่นจะสลายไป เนื่องจากแรงต้านที่เกิดจากการเสียดสีกับพื้นท้องทะเลทำให้ตะกอนที่พื้นท้องทะเลถูกพัดพามากับคลื่นด้วย ซึ่งหากคลื่นมีพลังงานเหลืออยู่น้อยจะทำให้ตะกอนที่คลื่นพัดพามาเกิดการตกตะกอนสะสมตัวอยู่บนฝั่งเกิดเป็นสันทรายบนชายฝั่งขึ้น แต่หากคลื่นมีพลังงานมากจะทำให้ตะกอนบริเวณชายฝั่งเกิดการฟุ้งกระจายแล้วพัดพาตะกอนออกจากฝั่งไปสะสมตัวอยู่นอกชายฝั่งเกิดเป็นสันทรายนอกฝั่ง (สุวลักษณ์ สารุมนัสพันธ์, 2561)

คลื่นกระทบกับชายฝั่งจะทำให้ตะกอนชายฝั่งเกิดการฟุ้งกระจายขึ้น ตะกอนบางส่วนถูกพัดพาออกไปสะสมตัวนอกฝั่งและตะกอนบางส่วนจะถูกพัดพาไปกั้นกระแสน้ำชายฝั่ง เมื่อกระแสน้ำชายฝั่งมีความเร็วลดลงจะทำให้ตะกอนที่พัดพามาเกิดการตกตะกอนทับถมบนชายฝั่งทำให้ชายฝั่งมีลักษณะเว้าแหว่ง ในบริเวณชายฝั่งปากแม่น้ำกระแสน้ำที่ไหลมาจากแม่น้ำมาปะทะกับกระแสน้ำชายฝั่งทำให้ความเร็วของกระแสน้ำชายฝั่งลดลงจนทำให้ตะกอนที่ถูกพัดพามาเกิดการตกตะกอนทับถมในบริเวณปากแม่น้ำ ส่วนในบริเวณชายฝั่งที่มีลักษณะเป็นหัวเกาะหรือมีโครงสร้างต่างๆ เช่น คันดักทราย (Groin), เขื่อนกันทรายและคลื่น (Jetty), และท่าเรือ มากีดขวางการไหลของกระแสน้ำ จะทำให้กระแสน้ำชายฝั่งมีความเร็วลดลงและเกิดการตกตะกอนในบริเวณด้านหน้าของโครงสร้าง ส่งผลให้ชายฝั่งด้านหลังโครงสร้างเกิดการกัดเซาะขึ้น (สุวลักษณ์ สารุมนัสพันธ์, 2561)

2.6.2 การเคลื่อนที่ของตะกอนที่เกิดจากน้ำขึ้นน้ำลง

การเคลื่อนที่ของตะกอนเป็นผลมาจากความแตกต่างของระดับน้ำในช่วงน้ำขึ้นน้ำลงหรือพิสัยของระดับน้ำ (Tidal Range) และระยะเวลาที่น้ำเกิดการท่วมซึ่งที่มีผลต่อการตกตะกอน ซึ่งในเขตน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณที่มีระดับน้ำสูงจะมีการท่วมซึ่งของน้ำสั้นกว่าบริเวณที่มีระดับน้ำต่ำ ทำให้มีการตกตะกอนน้อยกว่า โดยที่การตกตะกอนจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วของกระแสน้ำ คือในช่วงที่กระแสน้ำไหลช้าอนุภาคที่เกิดการตกตะกอนจะมีขนาดเล็ก ได้แก่ อนุภาคของดินเหนียวและดินเลน ส่วนในช่วงที่กระแสน้ำไหลเร็วอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะแขวนลอยอยู่ในน้ำ แต่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะเกิดการตกตะกอนลง ได้แก่ อนุภาคของทราย ซึ่งในบริเวณปากแม่น้ำมักจะมีลักษณะเป็นหาดโคลนหรือหาดเลน ในขณะที่บริเวณชายฝั่งที่เปิดชายฝั่งจะมีลักษณะเป็นหาดทราย (สุวลักษณ์ สารุมนัสพันธ์, 2561)

2.6.3 การเคลื่อนที่ของตะกอนที่เกิดจากกระแสลม

กระแสลมที่พัดเข้าสู่ชายฝั่งจะทำให้เกิดการพัดพาของอนุภาคดินหรือทราย ส่งผลให้ชายฝั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น ในบริเวณชายฝั่งทะเลเปิดจะเป็นบริเวณที่มีการเคลื่อนที่ของตะกอนมากกว่าบริเวณที่มีที่กำบังลม โดยกระแสลมจะมีการพัดพาตะกอนทรายไปกระทบกับสิ่งกีดขวางต่างๆ ทำให้มีความเร็วของลมลดลงและทำให้อนุภาคของทรายเกิดการตกตะกอนทับถมเกิดเป็นสันทรายขึ้น (สุวลักษณ์ สารุมนัสพันธ์, 2561)

2.7 แบบจำลอง Delft3D

โปรแกรมสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วยโมดูลหลายชุด เพื่อใช้ในการคำนวณกระแสน้ำ (FLOW), คลื่น (WAVE), การเคลื่อนที่ของตะกอน (Sediment transports), และลักษณะทางธรณีสันฐาน (MOR) โดย Delft3D-FLOW เป็นหนึ่งในโมดูลของโปรแกรม Delft3D ซึ่งแบบจำลองอุทกพลศาสตร์สามารถคำนวณได้ทั้งรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ส่วน Delft3D-WAVE เป็นแบบจำลองแสดงการเกิดคลื่นและการกระจายตัวของคลื่นที่ถูกจำลองโดย SWAN นอกจากนี้โปรแกรม Delft3D ยังสามารถทำการประมวลผลร่วมกันระหว่าง Delft3D-FLOW และ Delft3D-WAVE เพื่อแสดงผลของกระแสน้ำและการเคลื่อนที่ของตะกอนที่ได้รับอิทธิพลจากคลื่นร่วมด้วย ส่วนของการเคลื่อนที่ของตะกอนนั้นจะถูกคำนวณด้วย advection-diffusion equation และสัญญาณวิทยา ซึ่งสามารถเร่งความเร็วของปัจจัยความเร็วทางสัญญาณวิทยา (morphological factor) ได้ (Delteres, 2014)

2.7.1 แบบจำลองระดับน้ำ

เป็นการวิเคราะห์ระดับน้ำด้วยวิธีแบบฮาร์โมนิกที่มีการคำนวณค่าแอมพลิจูดและเฟสขององค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงที่แตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณ โดยการนำองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงเหล่านี้มาใช้ในการคำนวณระดับน้ำที่ขอบเขตเปิด (Delteres, 2014 และศิริพัทธ์, 2016) ดังสมการ

$$H(t) = A_0 + \sum_{i=1}^k A_i F_i \cos(\omega_i t + (V_0 + u)_i - G_i) \quad (1)$$

$H(t)$	=	water level at time t	(m)
A_0	=	mean water level over a certain period	(m)
k	=	number of relevant constituents	(-)
i	=	index of a constituent	(-)
A_i	=	local tidal amplitude of a constituent	(m)
F_i	=	nodal amplitude factor	(-)
ω_i	=	angular velocity	(°/s)
$(V_0 + u)_i$	=	astronomical argument	(°)
G_i	=	improved kappa number or local phase lag	(°)

2.7.2 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์

ในการคำนวณในโมดูล FLOW Lesser et al. (2004) ได้อธิบายสมการของโมดูล FLOW ใน Delft3D ตามแนวแกน x และ y ดังนี้

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + c_f \frac{\bar{u} |\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}|}{h} - \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right) - f_{cor} \bar{v} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + c_f \frac{\bar{v} |\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}|}{h} - \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} \right) + f_{cor} \bar{u} = 0 \quad (3)$$

$$c_f = \frac{g}{C^2} \quad (4)$$

ζ	=	water level	(m)
h	=	depth water	(m)
\bar{u} and \bar{v}	=	depth averaged velocity	(m/s)
g	=	Gravity value	(m ² /s)
c_f	=	friction coefficient	(-)
C	=	Chèzy coefficient	(m ^{1/2} /s)
f_{cor}	=	Coriolis parameter	(1/s)

2.7.3 การเคลื่อนที่ของตะกอน

Van Rijn (1993) กล่าวว่า การเคลื่อนที่ของตะกอนแขวนลอยจะเป็นไปตามสมการ advection diffusion equation ดังนี้

$$\frac{\partial h\bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial h\bar{c}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{c}}{\partial y} - D_H \frac{\partial^2 h\bar{c}}{\partial x^2} - D_H \frac{\partial^2 h\bar{c}}{\partial y^2} = h \frac{\bar{c}_{eq} - \bar{c}}{T_s} \quad (5)$$

D_H	=	the horizontal dispersion	(m ² /s)
\bar{c}	=	the depth-average sediment concentration	(kg/m ³)
\bar{c}_{eq}	=	the depth-average equilibrium concentration	(kg/m ³)
T_s	=	adaptation time scale	(s)

และเป็นไปตาม Bed load sediment transport rate ดังนี้

$$|S_b| = f_{bed} \eta \times 0.5 \rho_s d_{50} u_* D_*^{-0.3} T_a \quad (6)$$

$$D_* = d_{50} \left[\frac{(S-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3} \quad (7)$$

$$T_a = \frac{(\tau'_b - \tau_{b,cr})}{\tau_{b,cr}} \quad (8)$$

S_b	=	bed load transport rate	(kg/m/s)
f_{bed}	=	calibration factor	(-)
η	=	relative availability of sand at bottom	(-)
d_{50}	=	mean grain diameter	(m)
ρ_s	=	density of sediment	(kg/m ³)
f'_c	=	current-related friction factor	(-)
\bar{u}	=	the depth-average velocity	(m/s)
ν	=	the horizontal eddy viscosity	(m ² /s)
$\tau_{b,cr}$	=	critical bed shear stress for initiation of sediment transport	(N/m ²)
D_*	=	diameter non-dimensional particle	(-)
T_a	=	the non-dimensional bed shear stress	(-)

2.7.4 การเปลี่ยนแปลงธรณีสัณฐาน

การเปลี่ยนแปลงทางธรณีสัณฐานของปากแม่น้ำจะเกิดจากการทับถมและการกัดเซาะของตะกอนโดยการปรับ bed level ดังสมการ

$$(1 - \varepsilon) \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial S_x}{\partial x} + \frac{\partial S_y}{\partial y} = T_d \quad (9)$$

S_x And S_y	=	Sediment transport component	(-)
z_b	=	bed level	(-)
ε	=	bed porosity	(-)
T_d	=	deposition or erosion rate	(-)

Lesser et al. (2004) และ Roelvink (2006) เสนอการใช้ morphological acceleration factor (MORFAC) ในโปรแกรม Delft3D เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณ bed level โดยการเพิ่มอัตราการสะสมตัวและกัดเซาะของตะกอน ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของตะกอนมากขึ้น (Delterres, 2014 อ้างอิงใน ศิริพัชรี, 2016) ดังสมการ

$$\Delta t_{morphology} = MORFAC \times \Delta t_{morphology} \quad (10)$$

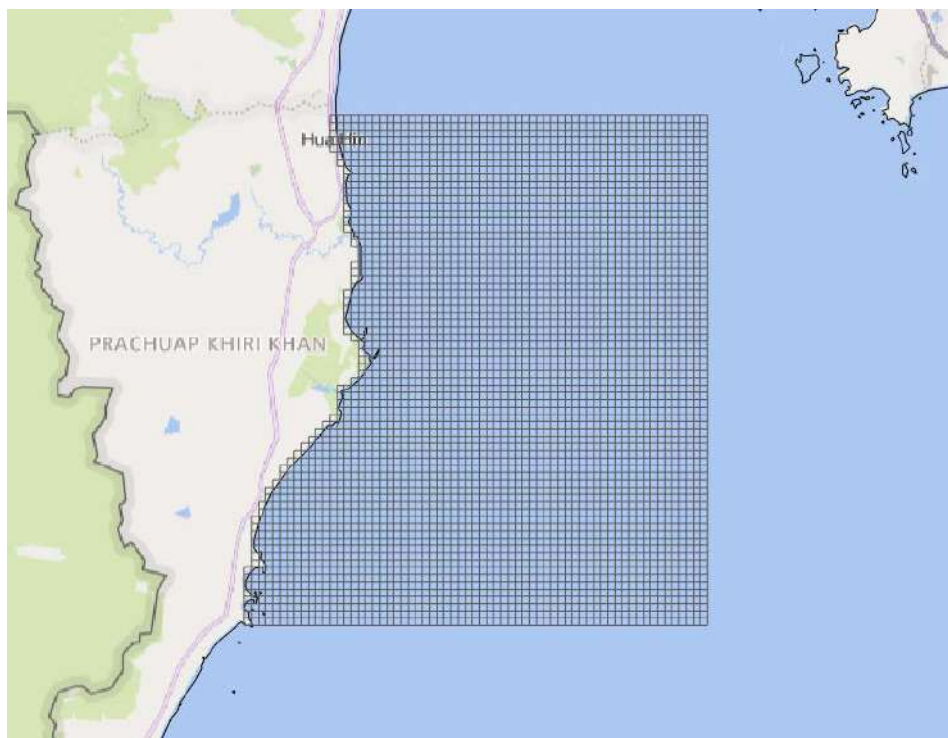
บริเวณอ่าวไทยตอนในอนุภาคของตะกอนพื้นท้องน้ำมีการเปลี่ยนแปลงของไปตามปริมาณน้ำท่าฤดูกาล และการไหลเวียนของกระแสน้ำ โดยมีสัดส่วนอนุภาคทรายสูงในช่วงฤดูฝน แล้วสัดส่วนอนุภาคตะกอนละเอียด ได้แก่ ทรายแป้ง, ดินเหนียว เพิ่มขึ้นหลังจากหมดฤดูฝน ซึ่งอนุภาคตะกอนพื้นท้องน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันตกจะมีสัดส่วนอนุภาคทรายแป้งเป็นหลัก ส่วนบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกเป็นอนุภาคทรายละเอียด (ปราโมทย์ โศจิศุภกร และคณะ, 2019) การเปลี่ยนแปลงพื้นท้องน้ำบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี ก่อนการสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นปากร่องน้ำ (jetty) ตะกอนดินจะมีการเคลื่อนที่ไปทางตอนใต้มากกว่าตอนเหนือ และหลังจากการสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นปากร่องน้ำ (jetty) พบว่า ชายฝั่งบริเวณใกล้กับเขื่อนกันทรายและคลื่นปากร่องน้ำ (jetty) ทางตอนใต้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่พื้นที่ชายฝั่งทางตอนเหนือจะมีปริมาณลดลง (Phanomphongphaisarn, Rukvichai, and Bidorn, 2020)

บทที่ 3 วิธีการศึกษา

3.1 พื้นที่ศึกษา

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ตื้นน้ำตามฤดูกาลในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยแบ่งพื้นที่ทำการศึกษากออกเป็น 2 ส่วน เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี คือ

3.1 พื้นที่ที่ครอบคลุมบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี มีระยะทางตั้งแต่อำเภอหัวหิน จังหวัดเพชรบุรี ถึงตำบลเกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งมีพิกัดอยู่ระหว่าง Latitude: 12.67°N - 11.67°N และ Longitude: 99.67°E - 100.58°E (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 กริดแบบจำลองขนาดใหญ่ที่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี โดยมีระยะทางตั้งแต่จังหวัดเพชรบุรีถึงจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

3.2 พื้นที่บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี ซึ่งมีพิกัดอยู่ระหว่าง Latitude: 12.43°N - 12.36°N และ Longitude: 99.97°E - 100.03°E (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 กริดแบบจำลองขนาดเล็กที่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

3.2 การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.1 ข้อมูลระดับน้ำ นำข้อมูลระดับน้ำแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งใช้เป็นข้อมูลที่ขอบเขตเปิดคือ ที่สถานีหัวหินและเกาะหลัก ซึ่งจะใช้ข้อมูลประมาณ 2 ปี มาวิเคราะห์หองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงเพื่อให้ได้หองค์ประกอบ SA (คาบ 1 ปี) และ SSA (คาบ 0.5 ปี) ด้วย toolbox T_Tide จากโปรแกรม MATLAB และ TIDE จากโปรแกรม Delft3D ในส่วนที่สองจะใช้สถานีปากน้ำปราณบุรี เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการปรับเทียบ (Calibration) และทวนสอบ (Validation) แบบจำลอง โดยในส่วนนี้จะหองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงทั้ง 8 หองค์ประกอบหลัก คือ K1, O1, P1, Q1, M2, S2, K2 และ N2

3.2.2 ข้อมูลความลึกท้องน้ำ ทำการ digitize แผนที่ความลึกน้ำ ด้วยโปรแกรม Surfer โดยใช้แผนที่ร่องน้ำปราณบุรีจากกรมเจ้าท่า ที่สำรวจโดย บริษัท เคเจเซอร์เวย์ แอนด์ คอนซัลแตนท์ จำกัด ในวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 – 15 กันยายน พ.ศ. 2562 (สำหรับแบบจำลองขนาดเล็ก) และแผนที่เดินเรือของอ่าวไทยตอนในจากกรมอุทกศาสตร์ ระวังที่ 001 (สำหรับแบบจำลองขนาดใหญ่)

3.2.3 ข้อมูลคลื่นที่ขอบเขตเปิดสำหรับแบบจำลองคลื่น Delft3D-WAVE สามารถดาวน์โหลดข้อมูลผ่านทางเว็บไซต์ของ ECMWF หรือ <https://www.ecmwf.int/> โดยทำการดาวน์โหลดข้อมูล ERA-Interim ทุกๆ 6 ชั่วโมง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 ถึง พ.ศ. 2561 ครอบคลุมพื้นที่ปากแม่น้ำปราณบุรี

3.2.4 ข้อมูลกระแสลม สามารถดาวน์โหลดข้อมูลผ่านทางเว็บไซต์: <https://cds.climate.copernicus.eu/#/home> โดยทำการดาวน์โหลดข้อมูล reanalysis ERA5 ทุกๆ 3 ชั่วโมง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 ถึง พ.ศ. 2563 ครอบคลุมพื้นที่ปากแม่น้ำปราณบุรี

3.2.5 ข้อมูลน้ำท่า สามารถดาวน์โหลดข้อมูลผ่านเว็บไซต์ของกรมชลประทานที่เขื่อนปรมาณบุรี สามารถดาวน์โหลดข้อมูลผ่านทางเว็บไซต์: http://app.rid.go.th/reservoir/rsvmiddle/dam_detail โดยทำการดาวน์โหลดข้อมูล ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ถึง พ.ศ.2563

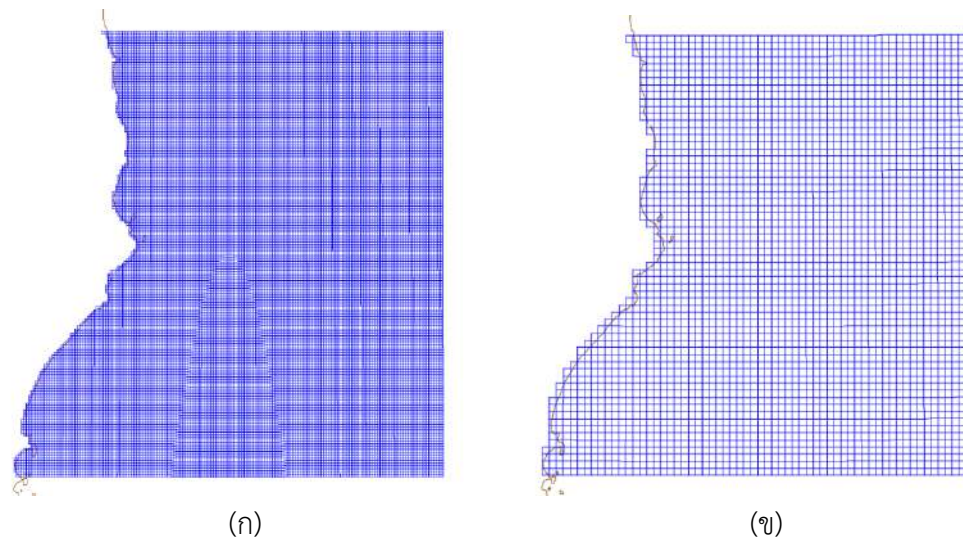
3.2.6 ข้อมูลตะกอน ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูล D50 (ขนาดของอนุภาคตะกอนที่สามารถผ่านตะแกรงได้ร้อยละ 50) บริเวณพื้นที่ท้องน้ำใกล้ชายฝั่งทางตอนเหนือและใต้ของ Jetty จากโครงการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ปีการศึกษา 2563 ของนางสาวชุตามาศ เจริญพร กับนางสาวธนาภา เนียมสูงเนิน

3.3 การเตรียมแบบจำลอง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ท้องน้ำบริเวณปากปรมาณ จะแบ่งแบบจำลองออกเป็น 2 พื้นที่ คือ

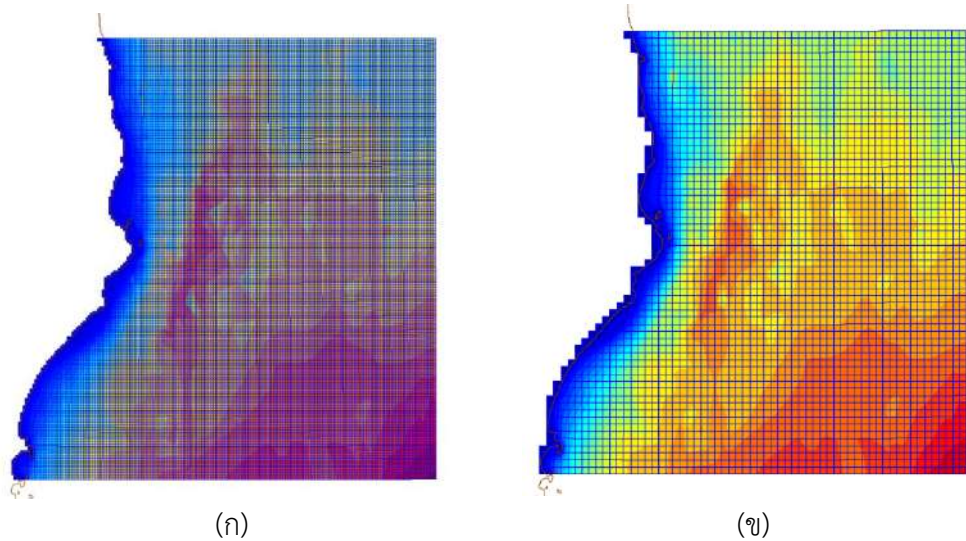
3.3.1 แบบจำลองพื้นที่ใหญ่ ที่มีระยะทางตั้งแต่จังหวัดเพชรบุรีจนถึงจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (รูปที่ 3.1)

3.3.1.1 เตรียมกริดสำหรับใช้ใน Delft3D-FLOW และ Delft3D-WAVE ด้วย RGFGRID จากโปรแกรม Delft3D โดยเตรียมกริดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 20x20 ตารางเมตร สำหรับ Delft3D-FLOW และเตรียมกริดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 40x40 ตารางเมตร สำหรับ Delft3D-WAVE (รูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.3 กริดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสของแบบจำลองพื้นที่ใหญ่ (ก) ขนาด 20x20 ตารางเมตร สำหรับ Delft3D-FLOW และ (ข) ขนาด 40x40 ตารางเมตร สำหรับ Delft3D-WAVE ที่เตรียมจากโมดูล RGFGRID

3.3.1.2 นำข้อมูลจากการ digitize มาสร้างเป็นความลึกน้ำในกริดของแบบจำลอง Delft3D-FLOW และแบบจำลอง Delft3D-WAVE (รูปที่ 3.4) ด้วยโมดูล QUICKIN จากโปรแกรม Delft3D Modeling suite



รูปที่ 3.4 ความลึกน้ำของแบบจำลองพื้นที่ใหญ่ที่ได้จากการ interpolate ด้วยโมดูล QUICKIN สำหรับ (ก) Delft3D-FLOW และ (ข) Delft3D-WAVE

3.3.1.3 เตรียมแบบจำลอง Delft3D-FLOW สำหรับพื้นที่ใหญ่ ดังนี้

1. เตรียมขอบเขตเปิด โดยใช้ข้อมูลแอมพิจูดและเฟสขององค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงที่ได้เตรียมไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1

2. เตรียมไฟล์ master definition flow (*.mdf) สำหรับการจำลองระดับน้ำและกระแสน้ำที่ใช้สำหรับ Delft3D-FLOW

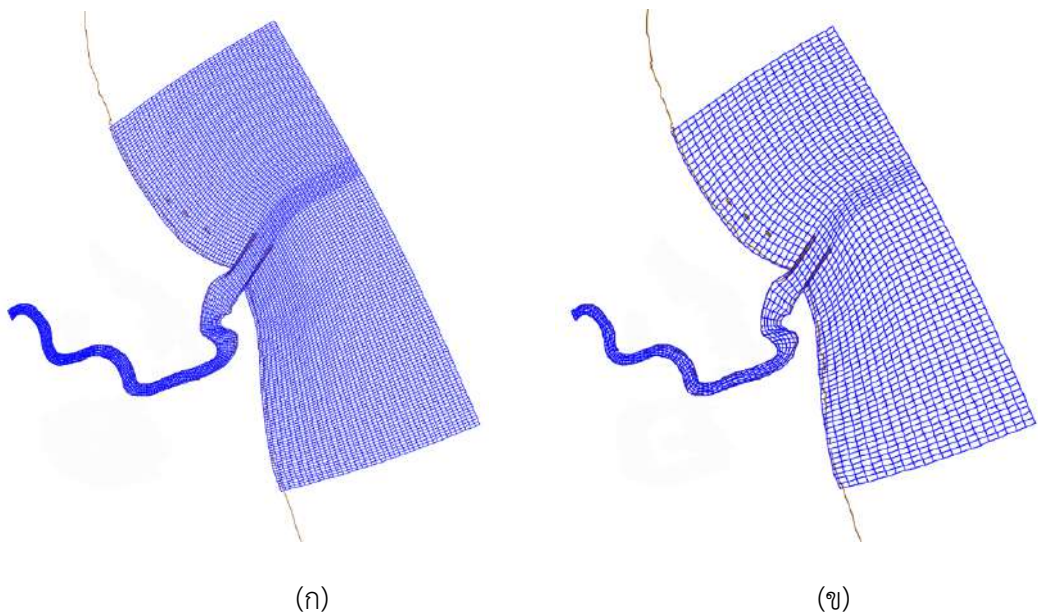
3. ทำการปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ โดยจำลองระดับน้ำตั้งแต่วันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ถึงวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2548 แต่นำข้อมูลระดับน้ำเฉพาะวันที่ 1 ถึงวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2548 (3 วันแรกไม่นำมาเปรียบเทียบเนื่องจากเป็นช่วงที่แบบจำลองยังไม่เข้าสู่สถานะเสถียร) เปรียบเทียบกับข้อมูลระดับน้ำจากการตรวจวัดที่สถานีปากน้ำปราณด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากแบบจำลอง และปรับตัวแปรองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงจนกว่าความคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงจนเป็นที่น่าพอใจโดยใช้ตัวแปรทางสถิติมาใช้ ได้แก่ root mean squared error (RMSE), mean absolute error (MAE), และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยกกำลังสอง หรือ R^2

4. ทำการทวนสอบ (validate) แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ เพื่อพิจารณาความสามารถของแบบจำลองที่ได้จากการปรับเทียบในการจำลองระดับน้ำ แต่เปลี่ยนช่วงเวลาในการจำลองเป็นระหว่างวันที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ. 2548 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2548 เปรียบเทียบระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองและจากการตรวจวัดและพิจารณาค่า ได้แก่ root mean squared error (RMSE), mean absolute error (MAE), และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยกกำลังสอง หรือ R^2 ที่ได้จากการทวนสอบ

5. เตรียมแบบจำลอง Delft3D-WAVE เนื่องจากคลื่นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเคลื่อนตัวของตะกอนบริเวณชายฝั่ง ดังนั้นจึงทำการศึกษาคลิ้นที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาด้วย แต่เนื่องจากในการศึกษานี้ไม่มีข้อมูลคลื่นในแบบจำลองจึงไม่มีการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง ในการจำลองคลื่นจะทำการเตรียมไฟล์ master definition wave (*.mdw) โดยใช้ข้อมูลความสูงคลื่น ทิศทางคลื่น และคาบคลื่นที่ได้จากข้อมูลในหัวข้อ 3. และข้อมูลลมในหัวข้อ 4. เป็นแรงขับที่ขอบเขตเปิดด้านตะวันออก และจำลองคลื่นในช่วงเวลาเดียวกับการจำลองแบบลองอุทกพลศาสตร์ ข้อมูลระดับน้ำจากแบบจำลองพื้นที่ใหญ่จะนำไปใช้เป็นแรงขับสำหรับแบบจำลองพื้นที่เล็กในหัวข้อที่ 3.2.3

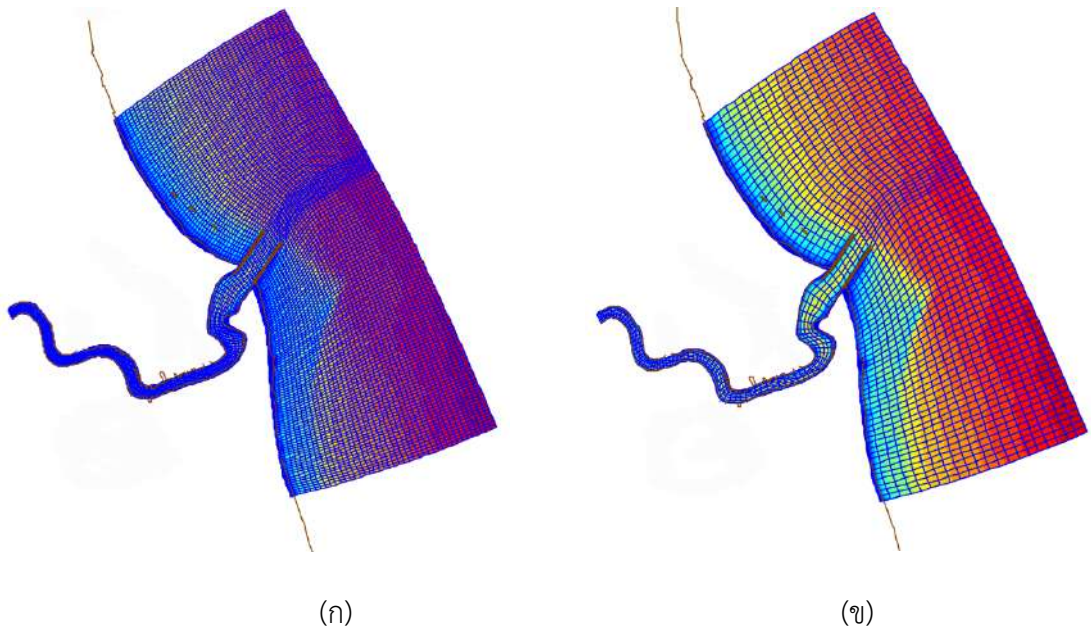
3.3.2 แบบจำลองพื้นที่เล็ก บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี (รูปที่ 3.2)

3.3.2.1 เตรียมกริดสำหรับใช้ใน Delft3D-FLOW และ Delft3D-WAVE ด้วยโมดูล RGFGGRID จากโปรแกรม Delft3D Modeling suite โดยเตรียมกริดในลักษณะ curvilinear ขนาด 10x10 ตารางเมตร สำหรับแบบจำลอง Delft3D-FLOW และกริดในลักษณะ curvilinear ขนาด 20x20 ตารางเมตร สำหรับ Delft3D-WAVE (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 กริดลักษณะ curvilinear ของแบบจำลองพื้นที่เล็ก (ก) ขนาด 10x10 ตารางเมตร สำหรับ Delft3D-FLOW และ (ข) ขนาด 20x20 ตารางเมตร สำหรับ Delft3D-WAVE ที่เตรียมจากโมดูล RGFGGRID

3.3.2.2 นำข้อมูลจากการ digitize แผนที่ความลึกน้ำมาสร้างเป็นความลึกน้ำในกริดของแบบจำลอง Delft3D-FLOW และแบบจำลอง Delft3D-WAVE (รูปที่ 3.6) ด้วยโมดูล QUICKIN จากโปรแกรม Delft3D Modeling suite



รูปที่ 3.6 ความลึกของแบบจำลองพื้นที่เล็ก ที่ได้จากการ interpolate ด้วยโมดูล QUICKIN สำหรับ (ก) Delft3D-FLOW และ (ข) Delft3D-WAVE

3.3.2.3 เตรียมแบบจำลอง Delft3D-FLOW สำหรับพื้นที่เล็ก ดังนี้

1. ทำการ nest ระดับน้ำจากแบบจำลองพื้นที่ใหญ่ลงในแบบจำลองพื้นที่เล็ก เพื่อใช้เป็นแรงขับที่ขอบเขตเปิดของแบบจำลองขนาดเล็ก
2. เตรียมไฟล์ master definition flow (*.mdf) สำหรับการจำลองพื้นที่ขนาดเล็กด้วยแบบจำลอง Delft3D-FLOW โดยใช้ระยะเวลาเช่นเดียวกับแบบจำลองพื้นที่ใหญ่
3. เพิ่มแบบจำลองตะกอน Delft3D-SED และแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องน้ำ Delft3D-MORPH เพื่อดูผลของกระแสน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงตะกอนและการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องน้ำ
4. ทำการ coupling แบบจำลอง Delft3D-FLOW แบบจำลองคลื่น Delft3D-WAVE แบบจำลองตะกอน Delft3D-SED และแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องน้ำ Delft3D-MORPH ของพื้นที่เล็ก เพื่อดูผลของกระแสน้ำและคลื่นต่อการเปลี่ยนแปลงตะกอนและการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องน้ำบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

3.4 การทดลองแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องน้ำ

จากการพิจารณาอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ท้องน้ำในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี ด้วย Delft3D-MOR โดยแบ่งปัจจัยที่ทำการศึกษาออกเป็น กระแสลม, น้ำขึ้นน้ำลง, คลื่น, และขนาดของตะกอน ซึ่งจะแบ่งการทดลองออกเป็นหัวข้อย่อย ดังนี้

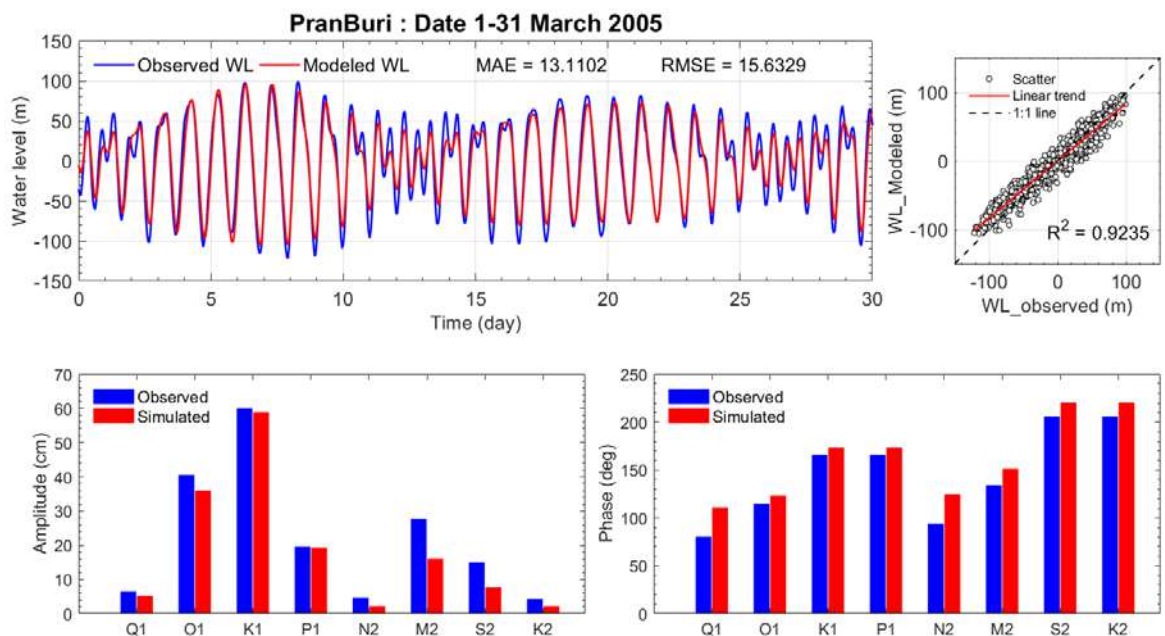
3.4.1 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางธรณีสัณฐาน เมื่อกำหนดให้กระแสลมและน้ำขึ้นน้ำลงเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะทางธรณีสัณฐานในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี

3.4.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางธรณีฐาน เมื่อกำหนดให้กระแสลม, น้ำขึ้นน้ำลง, น้ำท่า, และคลื่น เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะทางธรณีฐานในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี โดยทำการประมวลผลกระแสลมและน้ำขึ้นน้ำลงร่วมกับคลื่น (coupling)

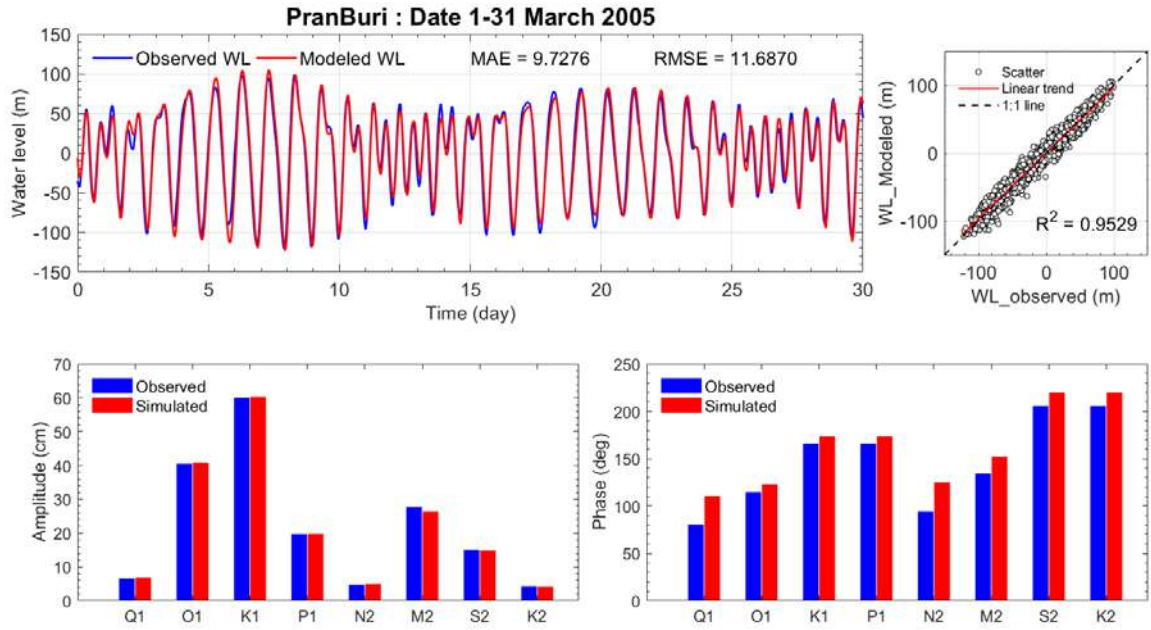
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการปรับเทียบ (calibrate) และการทวนสอบ (validate) แบบจำลองอุทกพลศาสตร์

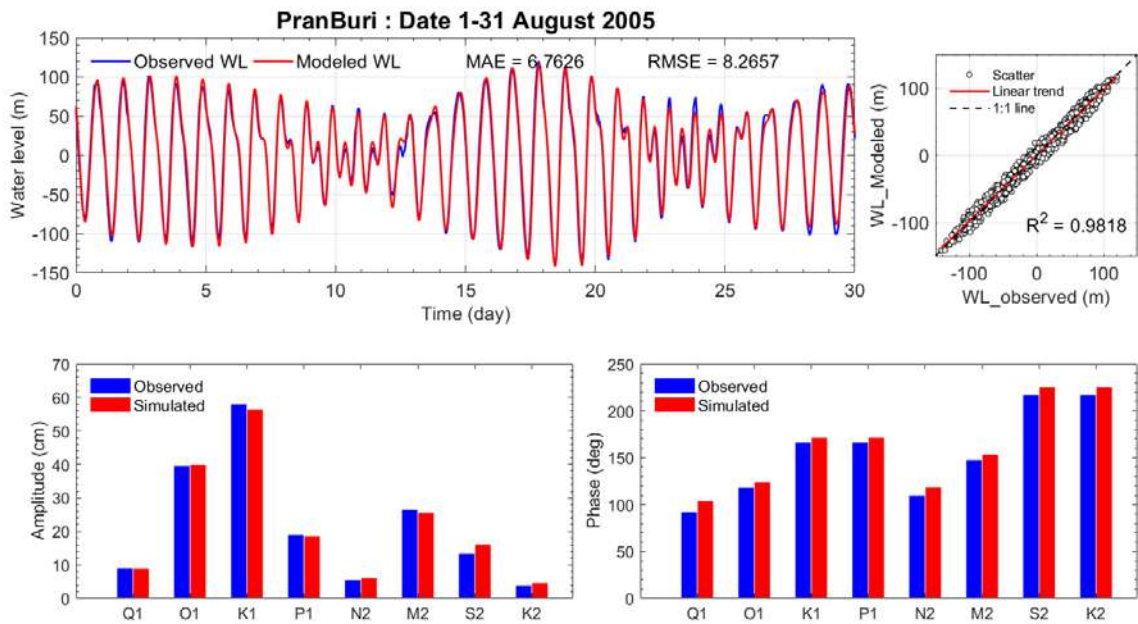
จากการปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ โดยจำลองระดับน้ำตั้งแต่วันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ถึงวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2548 เปรียบเทียบกับข้อมูลระดับน้ำจากการตรวจวัดที่สถานีปากน้ำปราณด้วยโปรแกรม MATLAB พบว่า แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ที่สร้างขึ้นมีค่า root mean squared error (RMSE) เท่ากับ 15.6329, mean absolute error (MAE) เท่ากับ 13.1102 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยกกำลังสอง หรือ R^2 เท่ากับ 0.9235 ดังที่แสดงในรูปที่ 4.1 เมื่อทำการปรับค่าตัวแปรองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงของแบบจำลองให้มีความคลาดเคลื่อนมีค่าลดลง พบว่า แบบจำลองที่ได้มีค่า root mean squared error (RMSE) เท่ากับ 11.6870, mean absolute error (MAE) เท่ากับ 9.7276 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยกกำลังสอง หรือ R^2 เท่ากับ 0.9529 ดังที่แสดงในรูปที่ 4.2 และทำการทวนสอบ (validate) แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ โดยจำลองระดับน้ำระหว่างวันที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ. 2548 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2548 พบว่า แบบจำลองที่ได้มีค่า root mean squared error (RMSE) เท่ากับ 8.2657, mean absolute error (MAE) เท่ากับ 6.7626 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยกกำลังสอง หรือ R^2 เท่ากับ 0.9818 ดังที่แสดงในรูปที่ 4.3 ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองอุทกพลศาสตร์มีการผันแปรของระดับน้ำในแง่ของแอมพลิจูดและเฟสเป็นไปตามความแม่นยำที่สามารถยอมรับได้



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดกับแบบจำลองที่บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2548 (บน) และแอมพลิจูด (ล่างซ้าย) และเฟส (ล่างขวา) ที่ได้จากการวิเคราะห์ระดับน้ำแบบฮาร์โมนิก



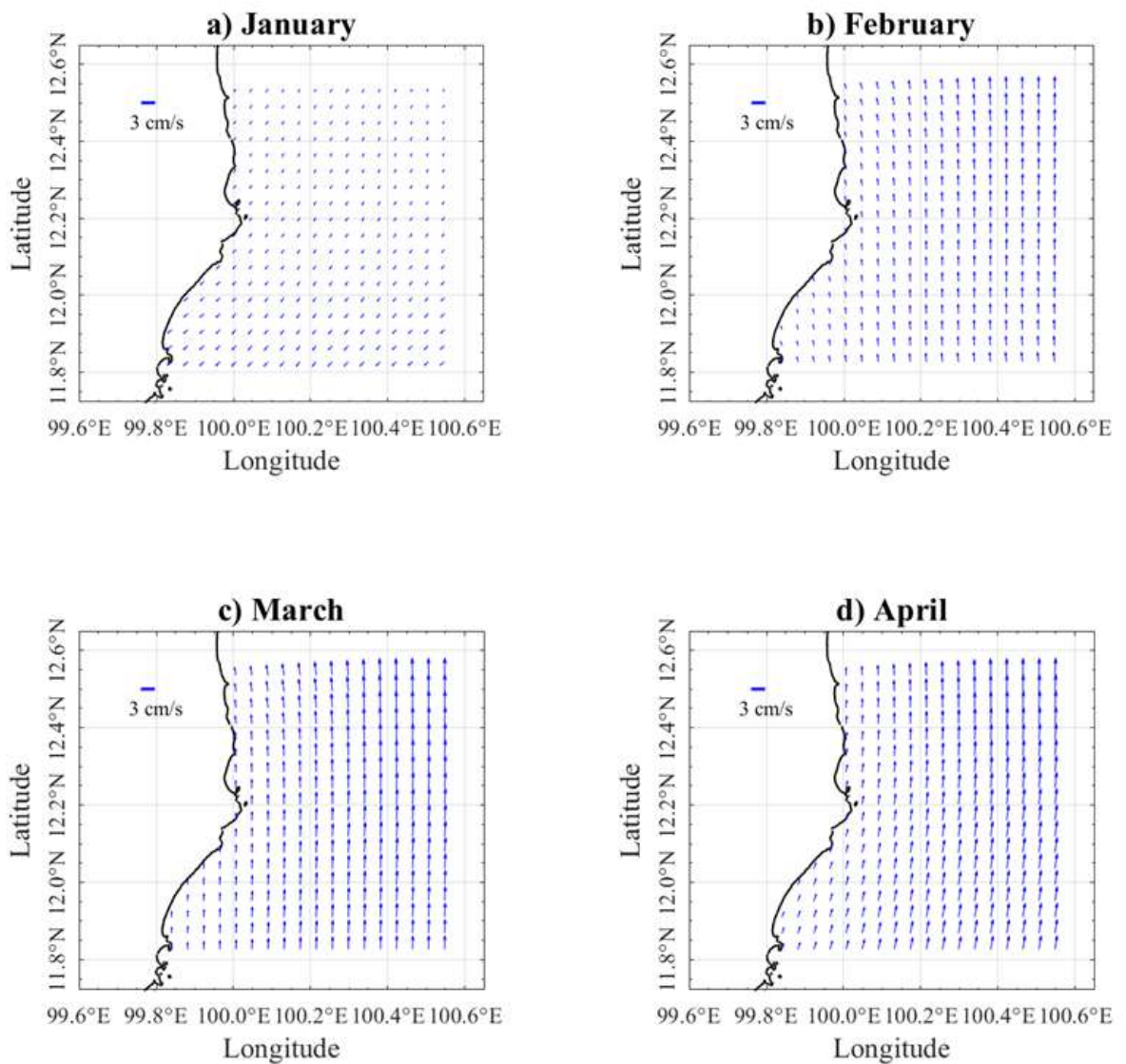
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดกับแบบจำลองที่บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี หลังจากทำการปรับค่าองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลง ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2548 (บน) และแอมพลิจูด (ล่างซ้าย) และเฟส (ล่างขวา) ที่ได้จากการวิเคราะห์ระดับน้ำแบบฮาร์โมนิก

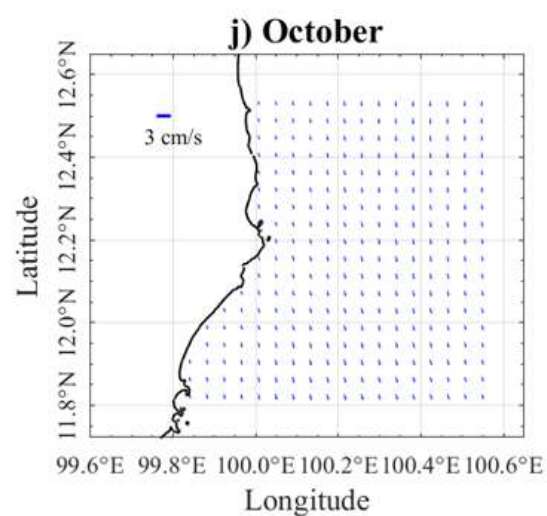
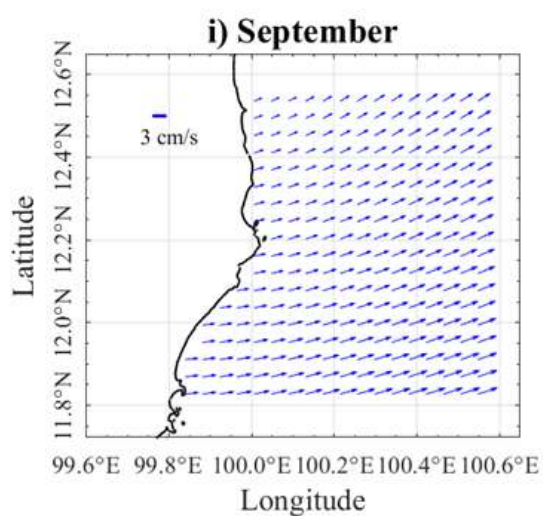
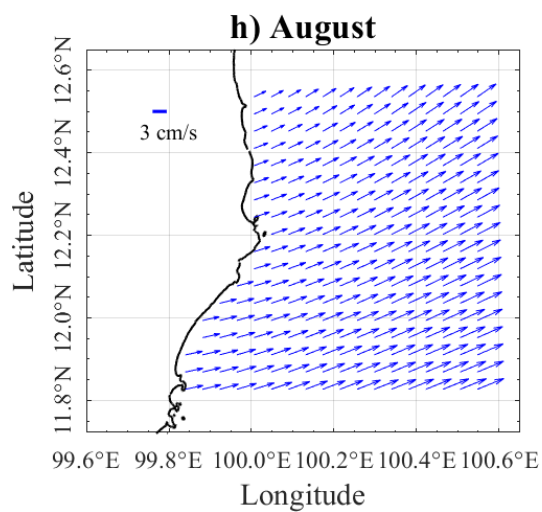
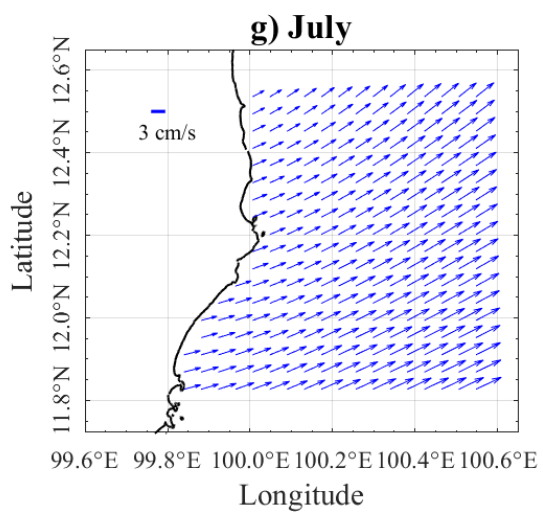
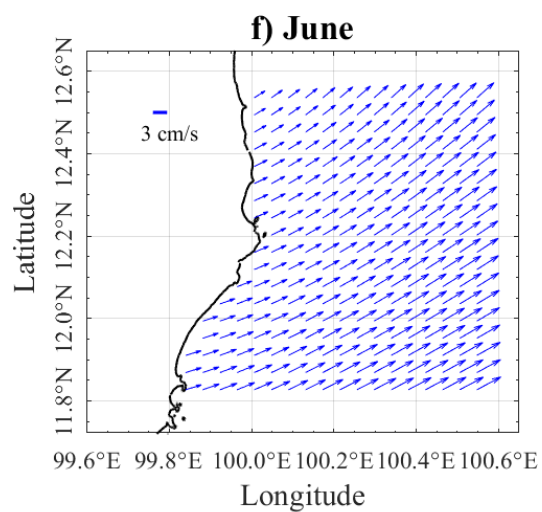
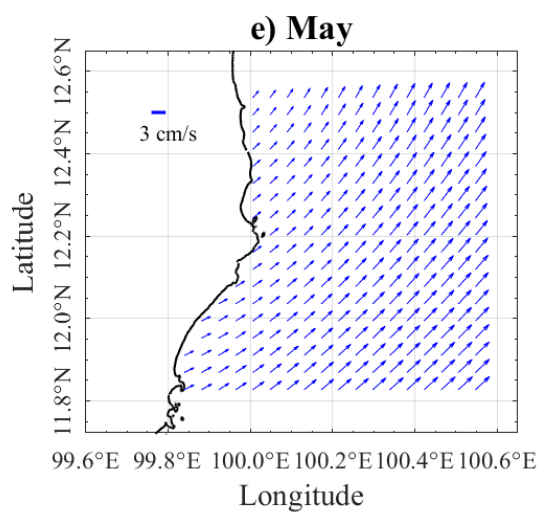


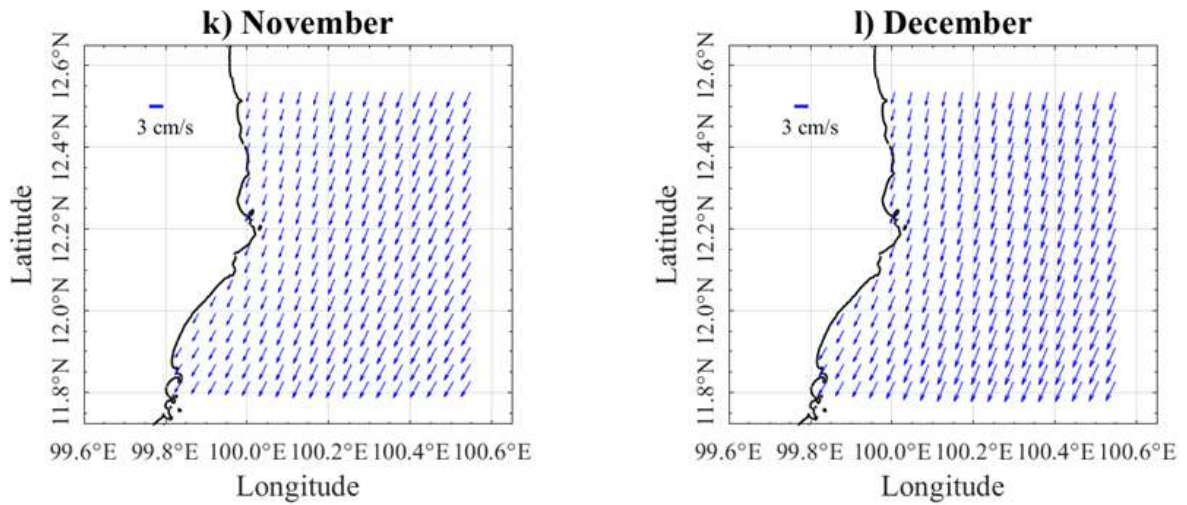
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดกับแบบจำลองที่บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เพื่อการทดสอบแบบจำลองในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2548 (บน) และแอมพลิจูด (ล่างซ้าย) และเฟส (ล่างขวา) ที่ได้จากการวิเคราะห์ระดับน้ำแบบฮาร์โมนิก

4.2 ขนาดและทิศทางของลม

จากการนำข้อมูลกระแสลม reanalysis จาก ERA5 ทุกๆ 3 ชั่วโมง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 ถึง พ.ศ. 2563 บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรีที่ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่อำเภอหัวหิน จังหวัดเพชรบุรี ถึงตำบลเกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มาทำการหาขนาดและทิศทางของกระแสลมแบบเฉลี่ยรายเดือนใน 1 ปี ได้ผลดังที่แสดงในรูปที่ 4.4 พบว่า ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายนจะได้รับอิทธิพลหลักมาจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และในเดือนตุลาคมกระแสลมจะเริ่มมีการเปลี่ยนทิศทางในการเคลื่อนที่โดยจะมีการเคลื่อนที่ไปในทิศตะวันออกเฉียงใต้เพื่อเข้าสู่ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคมจะได้รับอิทธิพลหลักมาจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และในช่วงเดือนกุมภาพันธ์จนถึงเดือนเมษายนกระแสลมจะมีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่โดยจะเคลื่อนที่ไปในทางทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อเข้าสู่ช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ต่อไป



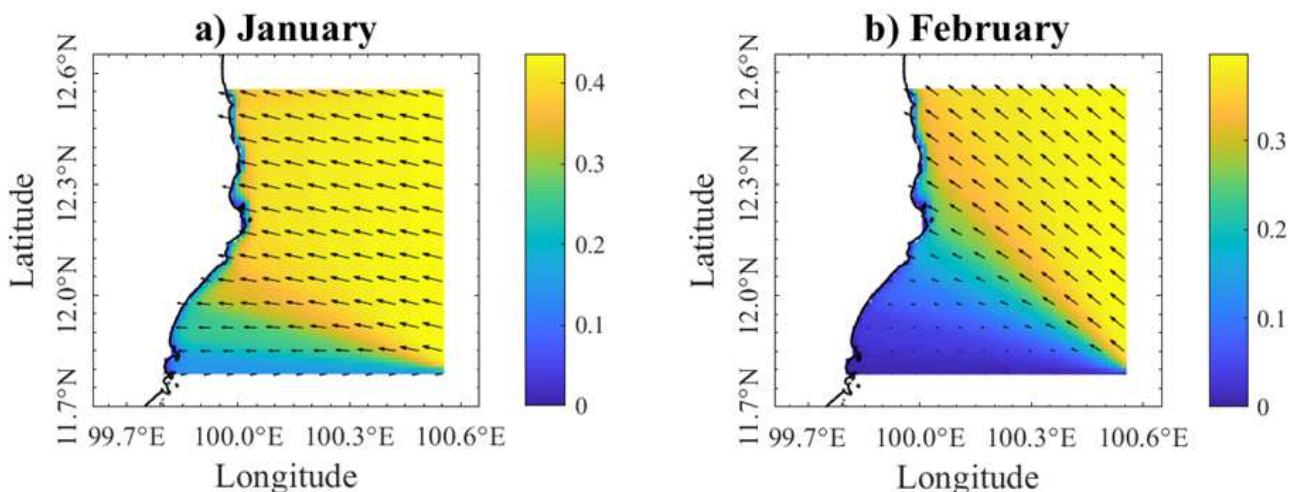


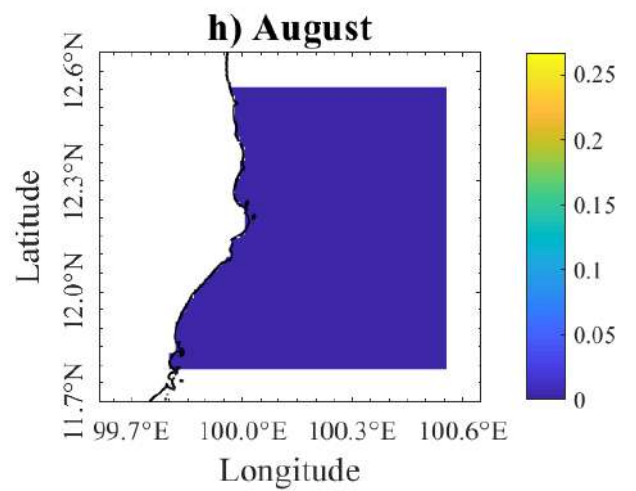
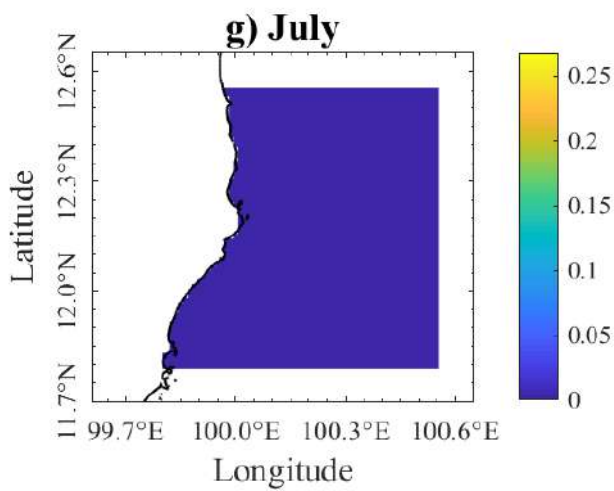
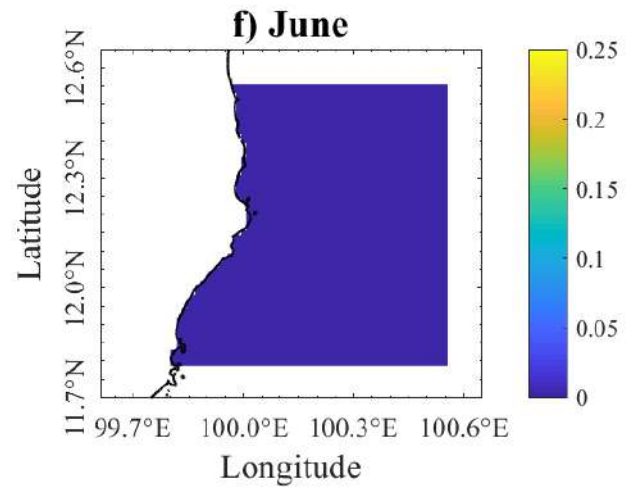
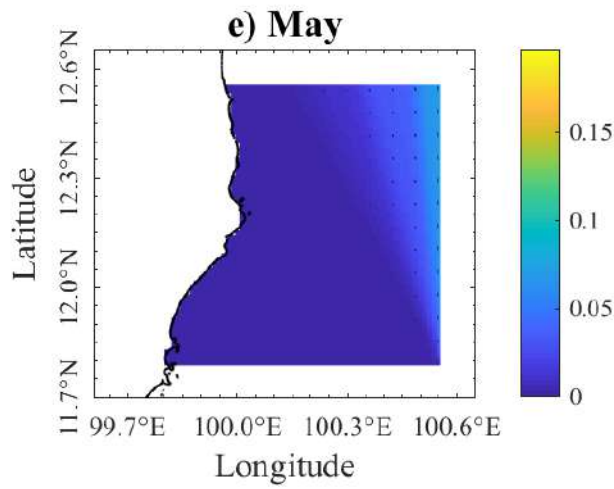
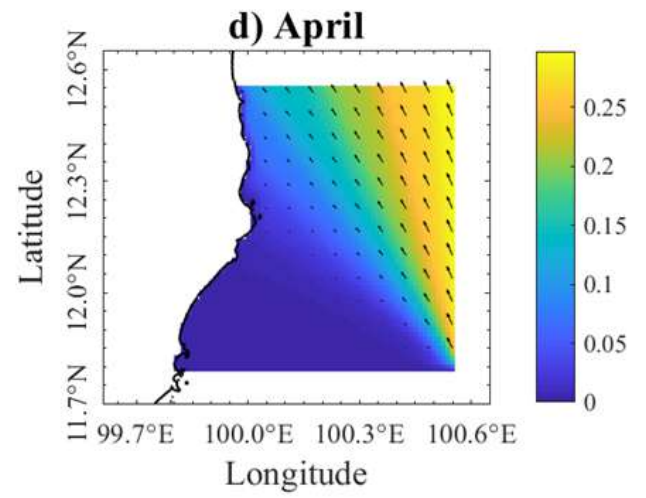
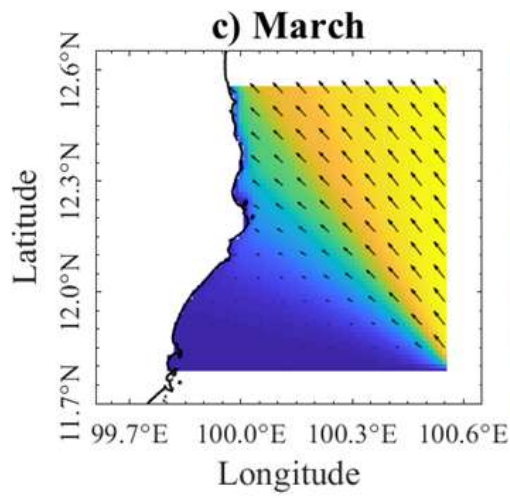


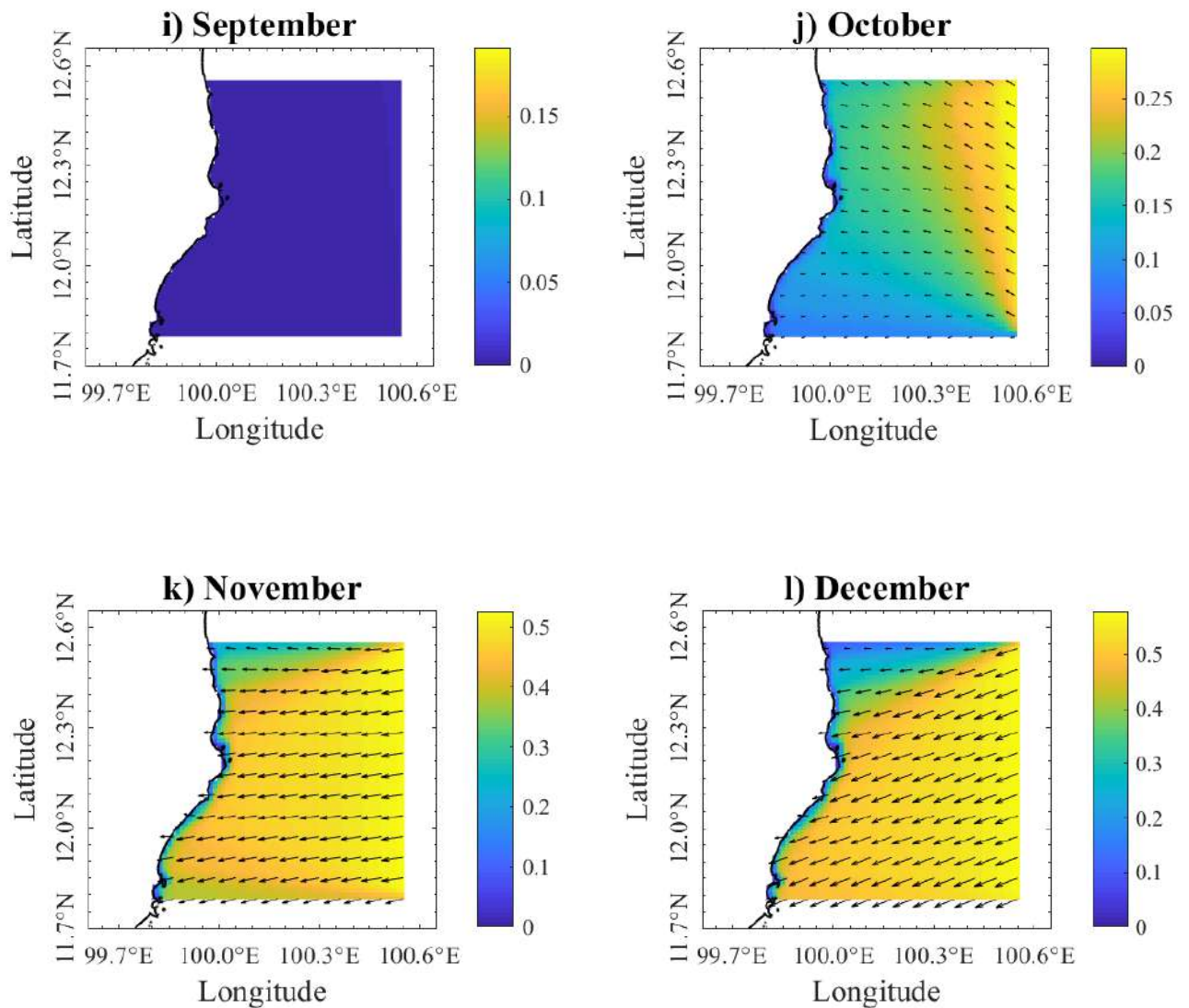
รูปที่ 4.4 ขนาดและทิศทางของกระแสลมเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 ถึง พ.ศ. 2563
บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี

4.3 ขนาดและทิศทางของคลื่น

จากการนำข้อมูลคลื่นจาก ECMWF ทุกๆ 6 ชั่วโมง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 ถึง พ.ศ. 2561 บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรีที่มีระยะทางตั้งแต่อำเภอหัวหิน จังหวัดเพชรบุรี ถึงตำบลเกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (รูปที่ 3.1) มาใช้เป็นข้อมูลที่ขอบเขตเปิดด้านตะวันออกในการวิเคราะห์แบบจำลองคลื่นได้ผลเฉลี่ยข้อมูลความสูงคลื่นนัยสำคัญแบบรายเดือนใน 1 ปี บริเวณบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรีที่แสดงในรูปที่ 4.5 พบว่า ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ความสูงเฉลี่ยของคลื่นมีค่าเท่ากับ 0 เมตร และในเดือนตุลาคมความสูงของคลื่นจะเริ่มมีขนาดเพิ่มขึ้นและมีการเคลื่อนที่ไปในทิศตะวันตกเฉียงเหนือบริเวณขอบเขตเปิดทางด้านตะวันออกและมีการเคลื่อนที่ไปในทิศตะวันตกเมื่อเข้าใกล้ชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา เมื่อเข้าสู่ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือความสูงของคลื่นที่มากที่สุดจะพบในเดือนธันวาคม ซึ่งมีค่าประมาณ 0.55 เมตร และมีทิศทางการเคลื่อนที่เฉลี่ยไปในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ในช่วงเดือนมีนาคมจนถึงเดือนเมษายนความสูงของคลื่นจะค่อยๆ ลดลงและมีทิศทางการเคลื่อนที่เบนไปทางทิศเหนือ





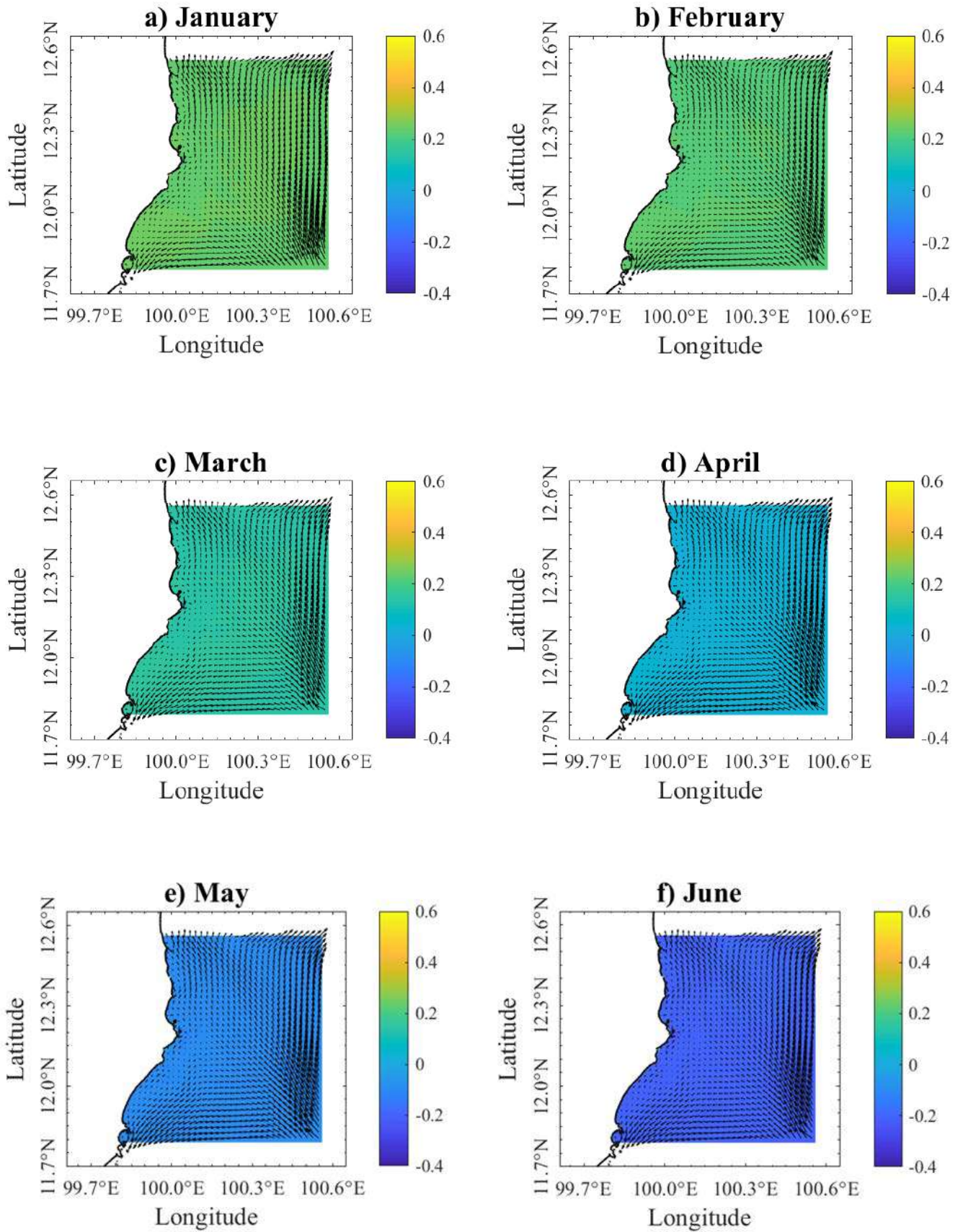


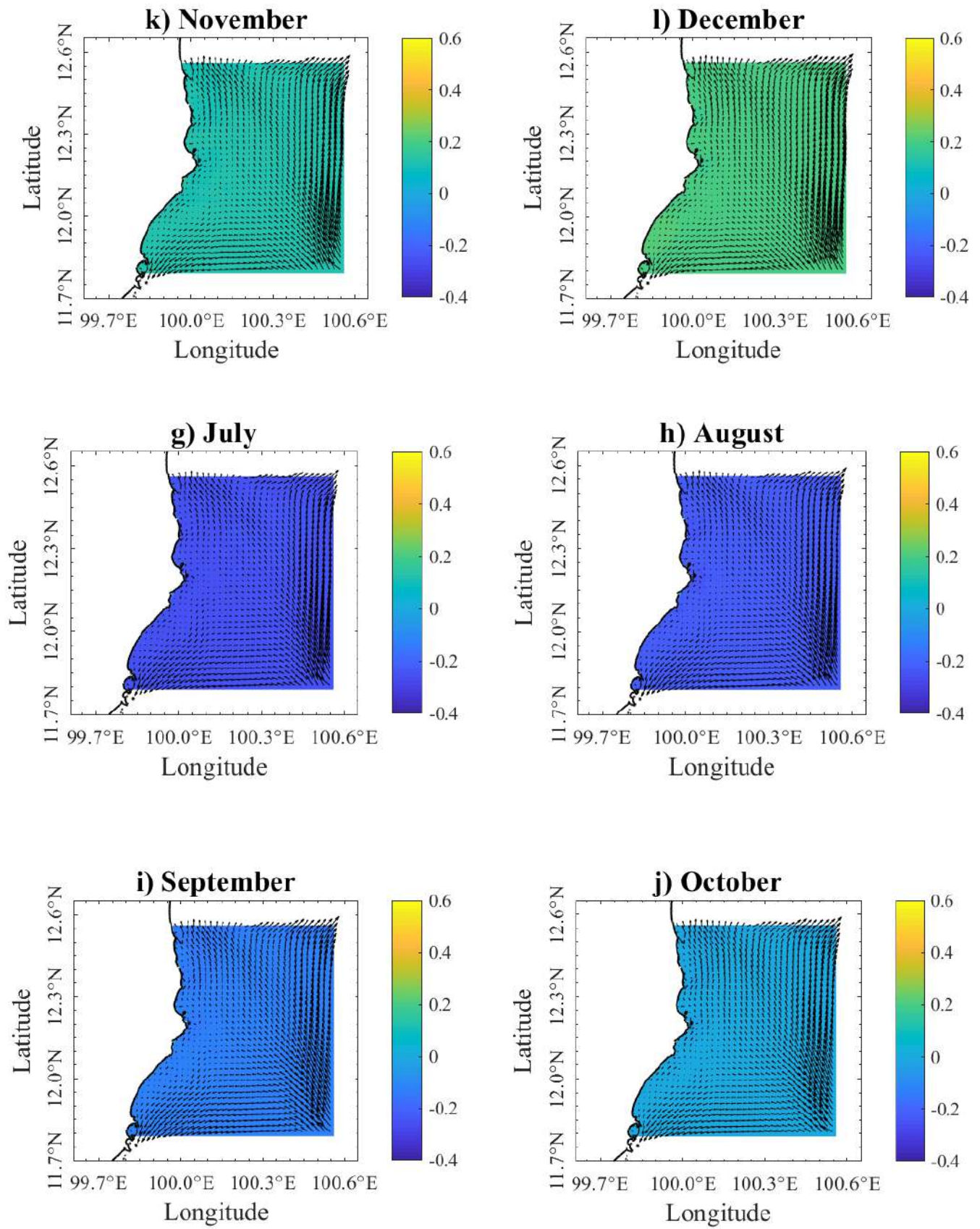
รูปที่ 4.5 ขนาดและทิศทางเฉลี่ยรายเดือนของความสูงคลื่นนัยสำคัญที่ได้จากแบบจำลองคลื่น บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี

4.4 ลักษณะของสภาพแวดล้อม เมื่อมีน้ำขึ้นน้ำลงเป็นแรงขับ

การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรีเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงเป็นดังที่แสดงในรูปที่ 4.6 พบว่า ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีค่าระดับน้ำอยู่ในช่วง -0.3 ถึง 0.0 เมตร และในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือระดับน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นมาอยู่ในช่วง 0.0 ถึง 0.3 เมตร ส่วนทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำเฉลี่ยทั้ง 12 เดือน พบว่ารูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงในบริเวณพื้นที่ศึกษามีลักษณะคล้ายคลึงกันในทุก 12 เดือน โดยที่ในบริเวณทางด้านทิศตะวันออกตอนล่างของพื้นที่ศึกษากระแสน้ำจะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และบริเวณด้านทิศตะวันออกตอนบนของพื้นที่ศึกษากระแสน้ำจะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในบริเวณด้านทิศตะวันตกตอนล่างของพื้นที่

ศึกษากระแสน้ำจะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ และบริเวณด้านทิศตะวันตกตอนบนของพื้นที่ศึกษา
กระแสน้ำจะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

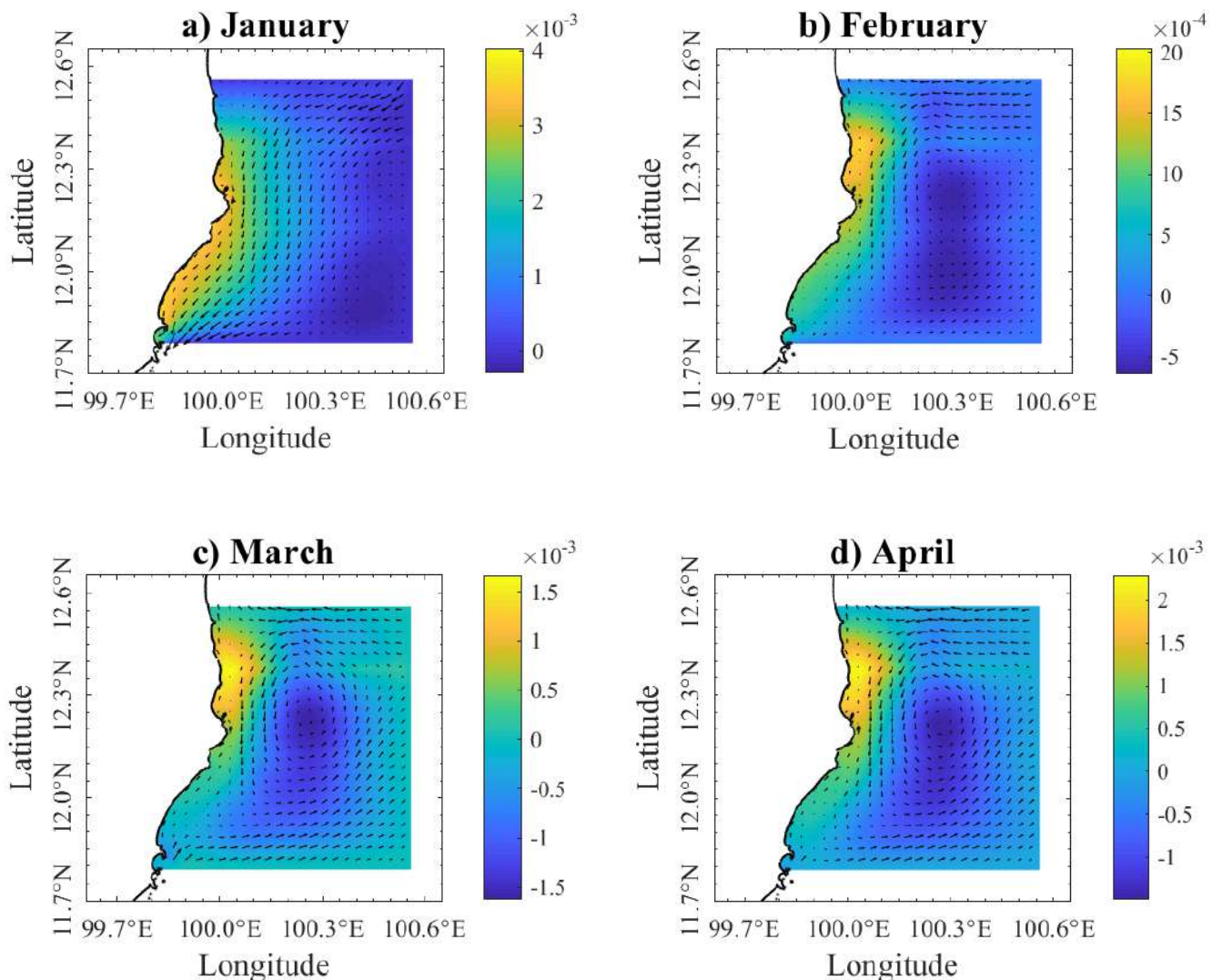


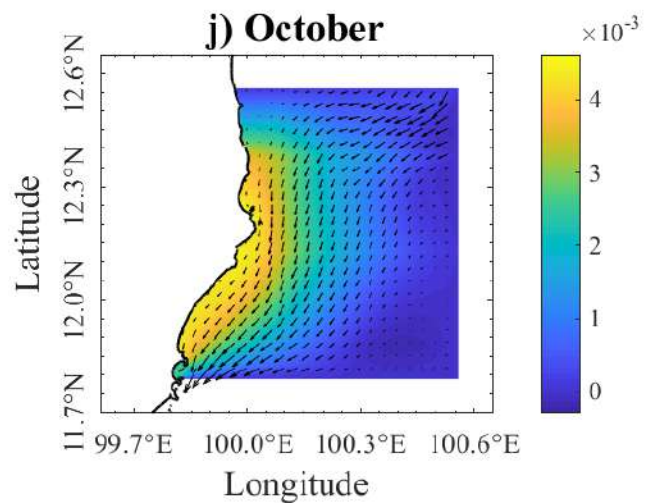
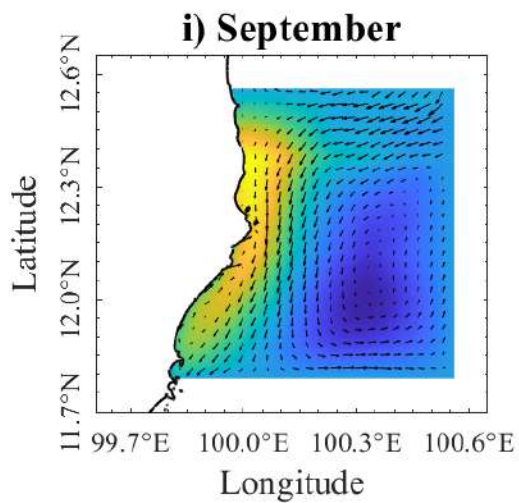
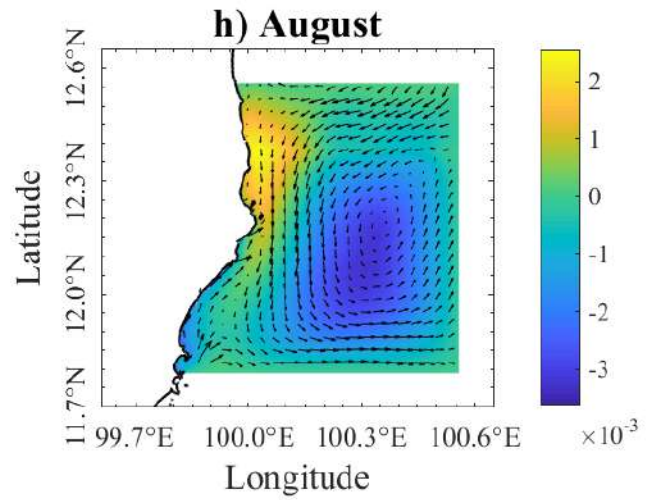
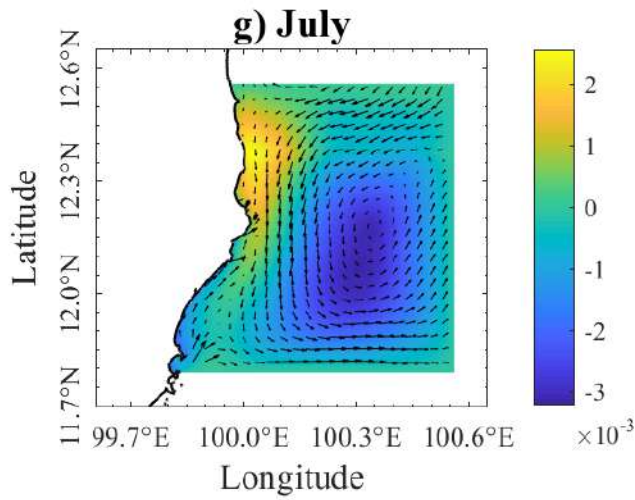
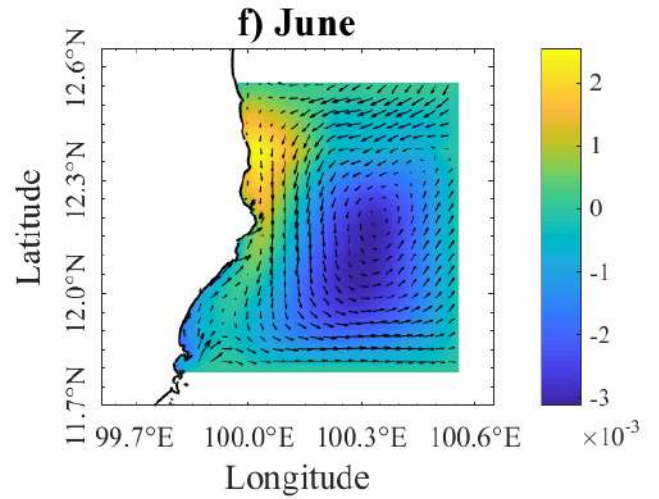
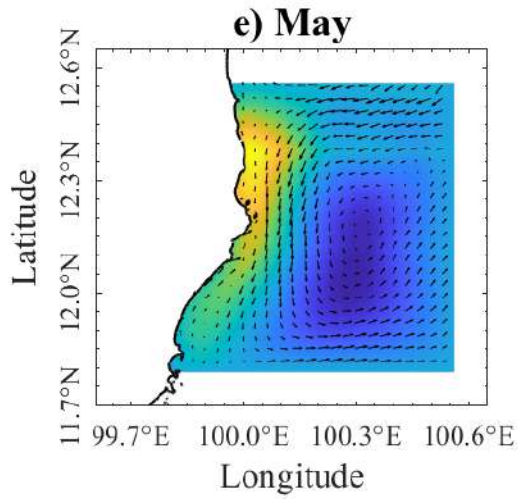


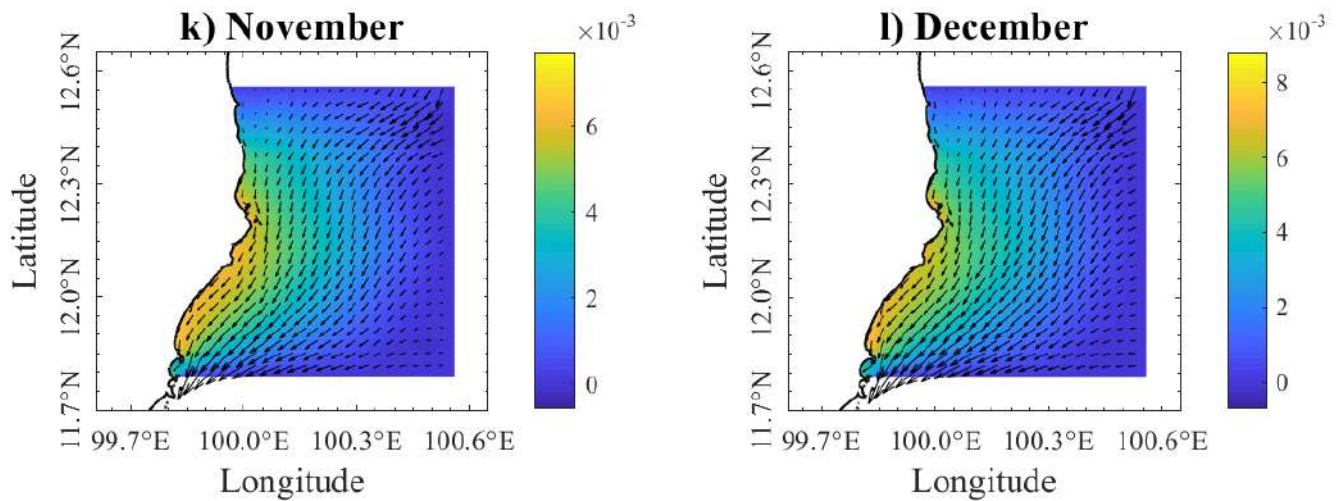
รูปที่ 4.6 รูปแบบของระดับน้ำและทิศทางของกระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปารามบุรี
เมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง

4.5 ลักษณะของสภาพแวดล้อม เมื่อมีกระแสลมเป็นแรงขับ

การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในบริเวณปากแม่น้ำปราชญ์บุรี เมื่อได้รับอิทธิพลจากกระแสลมเป็นดังที่แสดงในรูปที่ 4.7 พบว่า ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีค่าระดับน้ำสูงสุดประมาณ 3×10^{-3} เมตร บริเวณชายฝั่งทางตอนเหนือ และมีค่าระดับน้ำต่ำสุดประมาณ -3.5×10^{-3} เมตร บริเวณนอกชายฝั่งตรงกลางพื้นที่ศึกษา ส่วนในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือระดับน้ำมีค่าระดับน้ำสูงสุดประมาณ 8.5×10^{-3} เมตร บริเวณชายฝั่งทางตอนใต้ และมีค่าระดับน้ำต่ำสุดประมาณ -5×10^{-4} เมตร บริเวณพื้นที่ห่างจากชายฝั่งออกไป และมีทิศทางการเคลื่อนที่เฉลี่ยของกระแสน้ำรายเดือนในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ไปในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือกระแสน้ำมีการเคลื่อนที่ไปในทิศตะวันตกเฉียงใต้ รูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษาอาจแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้ ในช่วงเปลี่ยนลมมรสุมครั้งที่ 2 (ตุลาคม) และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤศจิกายน-มกราคม) กระแสน้ำมีทิศไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นส่วนใหญ่สอดคล้องกับทิศทางลม ส่วนในเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน ซึ่งยังคงอยู่ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือต่อเนื่องถึงช่วงเปลี่ยนลมมรสุมครั้งที่ 1 โดยลมจะพัดจากทิศใต้เป็นหลัก สิ่งที่พบคือ กระแสน้ำไหลเป็นวงในลักษณะทวนเข็มนาฬิกาเริ่มเกิดขึ้นบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา และเกิดขึ้นต่อเนื่องจนถึงช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้



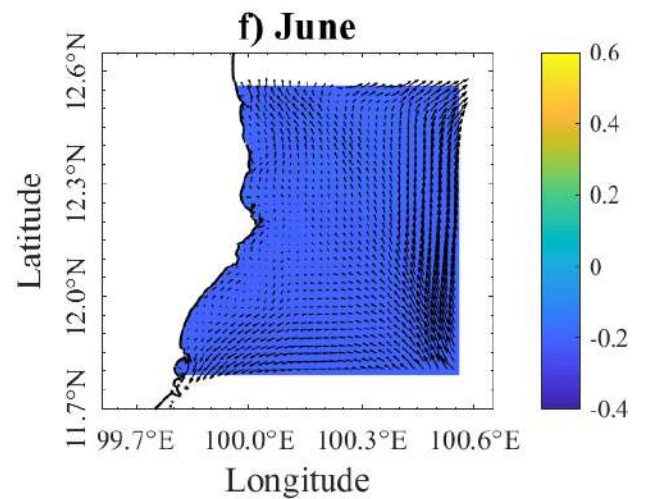
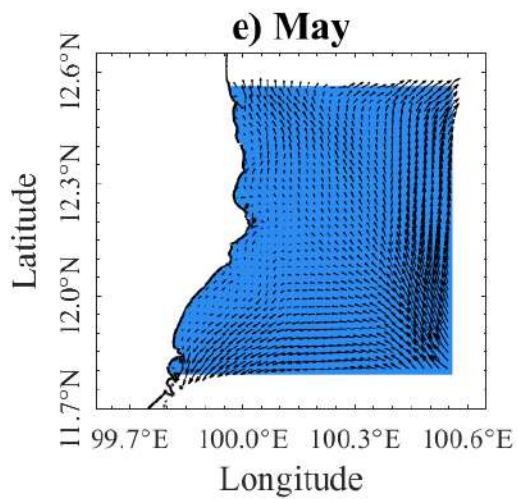
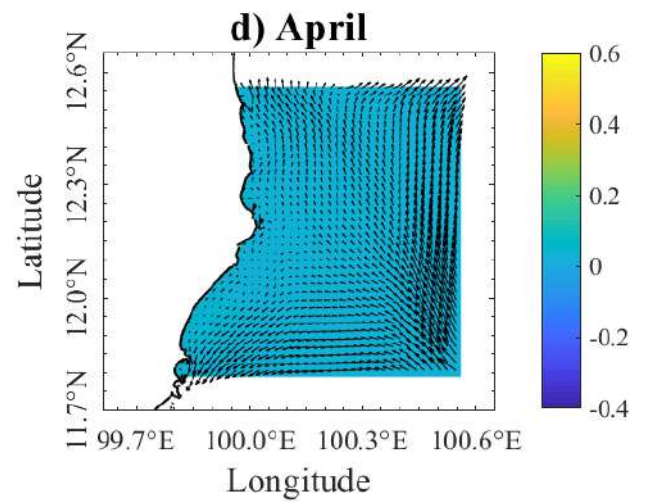
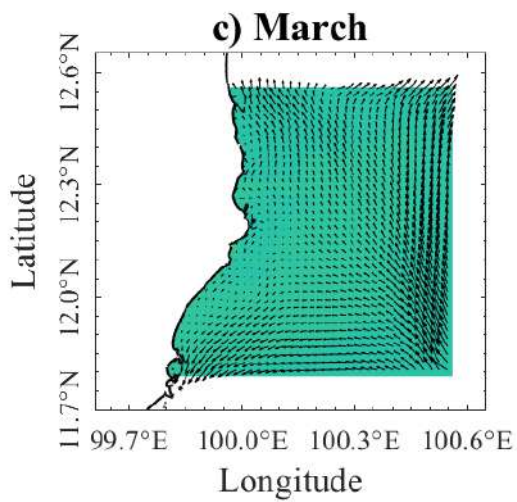
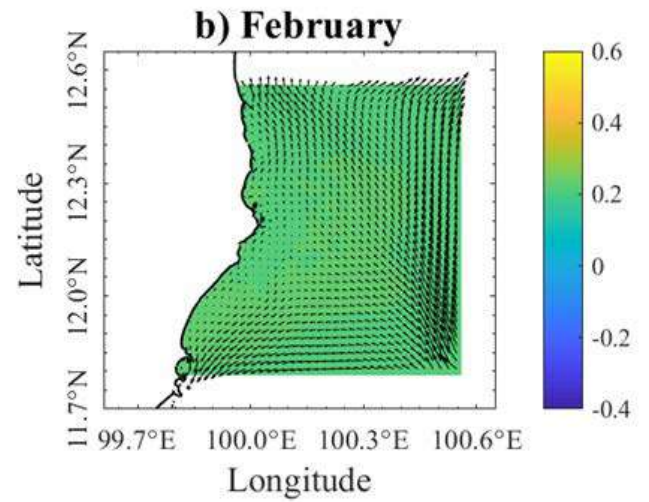
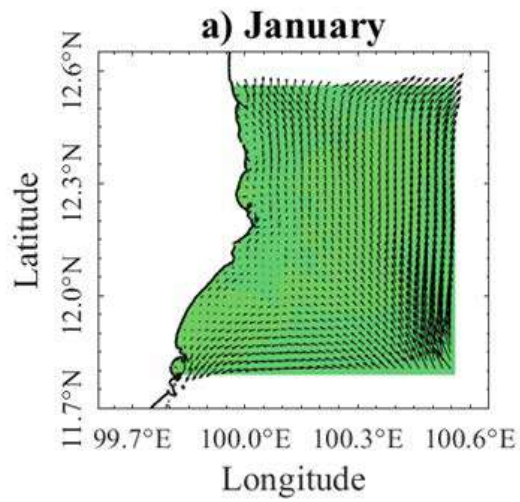


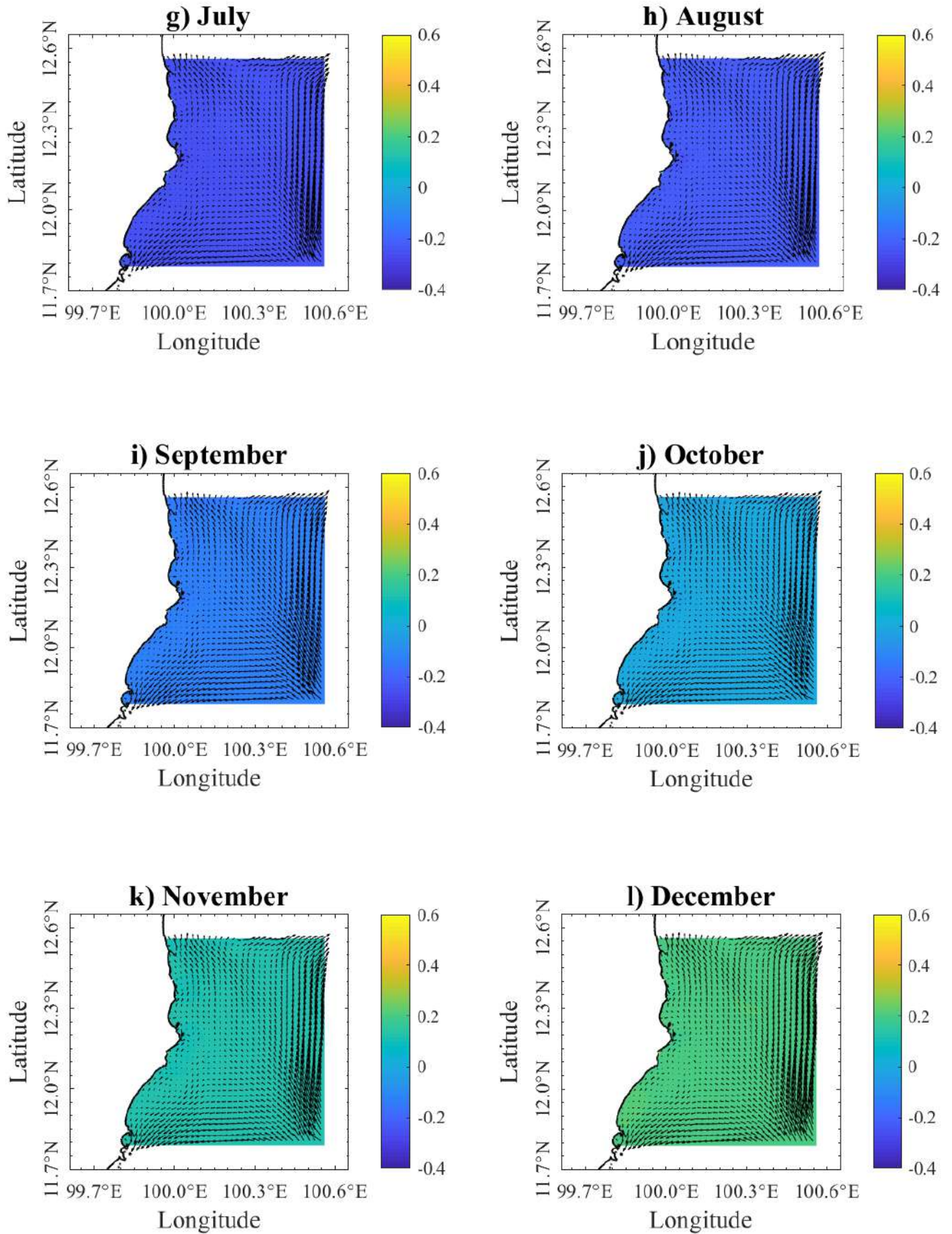


รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำและทิศทางของกระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปทุมบุรี เมื่อได้รับอิทธิพลจากกระแสนม

4.6 ลักษณะของสภาพแวดล้อม เมื่อมีน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนมเป็นแรงขับ

การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในบริเวณปากแม่น้ำปทุมบุรี เมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนมเป็นดังที่แสดงในรูปที่ 4.8 พบว่า ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีค่าระดับน้ำอยู่ในช่วง -0.3 ถึง 0.0 เมตร และในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือระดับน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นมาอยู่ในช่วง 0.0 ถึง 0.3 เมตร ส่วนทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำเฉลี่ยทั้ง 12 เดือน พบว่า ในบริเวณด้านทิศตะวันออกตอนล่างของพื้นที่ศึกษากระแสน้ำจะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และบริเวณด้านทิศตะวันออกตอนบนของพื้นที่ศึกษากระแสน้ำจะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในบริเวณด้านทิศตะวันตกตอนล่างของพื้นที่ศึกษากระแสน้ำจะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ และบริเวณด้านทิศตะวันตกตอนบนของพื้นที่ศึกษากระแสน้ำจะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นไปทิศทางเดียวกับกรณีที่กำหนดให้น้ำขึ้นน้ำลงเป็นแรงขับเพียงอย่างเดียวในหัวข้อที่ 4.3 โดยอาจกล่าวได้ว่าในพื้นที่ศึกษารูปแบบการไหลเวียนที่พบได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงมากกว่าอิทธิพลจากแรงลม

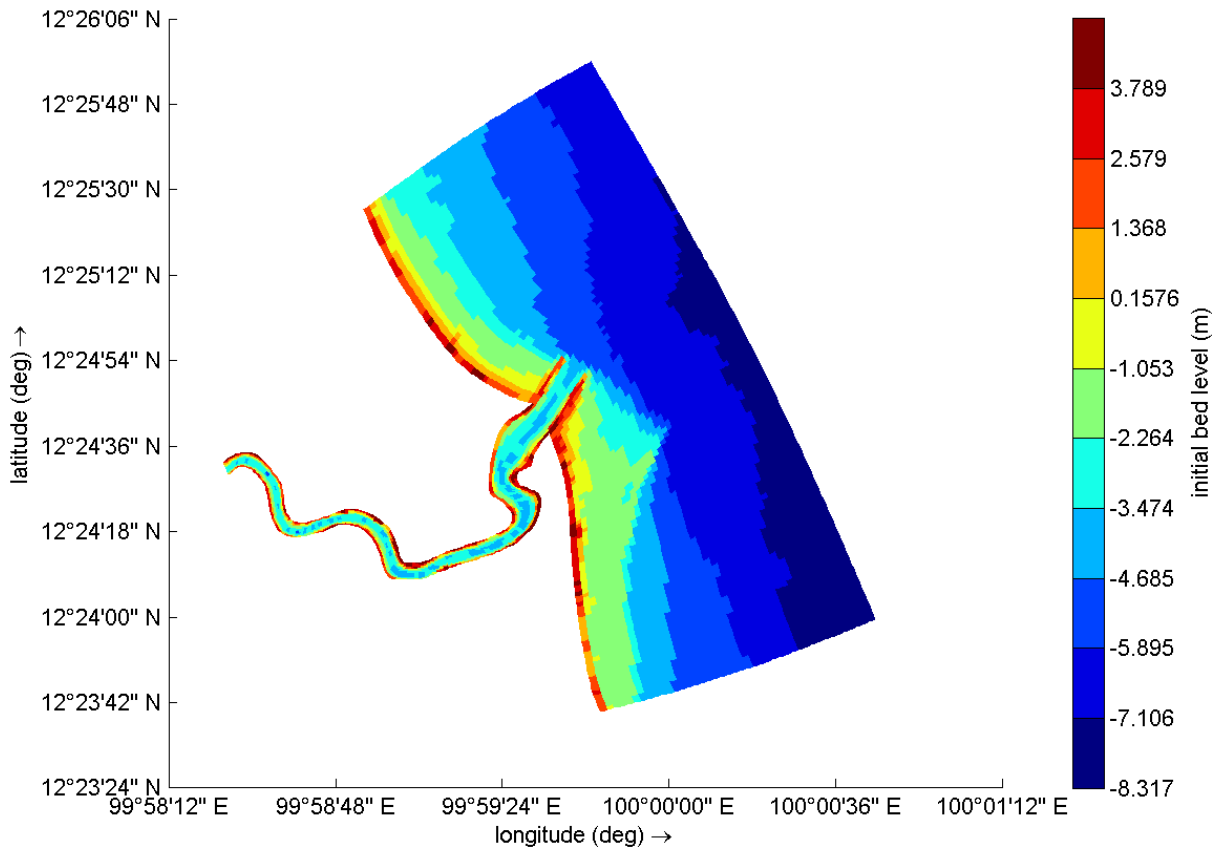




รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำและทิศทางของกระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปาดมบุรี
เมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนม

4.7 พื้นท้องน้ำเริ่มต้น

จากการเตรียมแบบจำลองในหัวข้อที่ 2 พบว่า บริเวณพื้นที่ศึกษามีความลึกของพื้นท้องน้ำเริ่มต้นประมาณ 8 เมตร และมีความสูงของแผ่นดินประมาณ 4 เมตร ส่วนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรีมีความลึกสูงสุดประมาณ 4 เมตร โดยที่ลักษณะพื้นท้องน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลทางตอนใต้จะมีความลาดชันมากกว่าตอนเหนือ โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้กับ Jetties (แนวสันทรายใต้น้ำ) ดังที่แสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ความลึกของพื้นท้องน้ำเริ่มต้นบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี

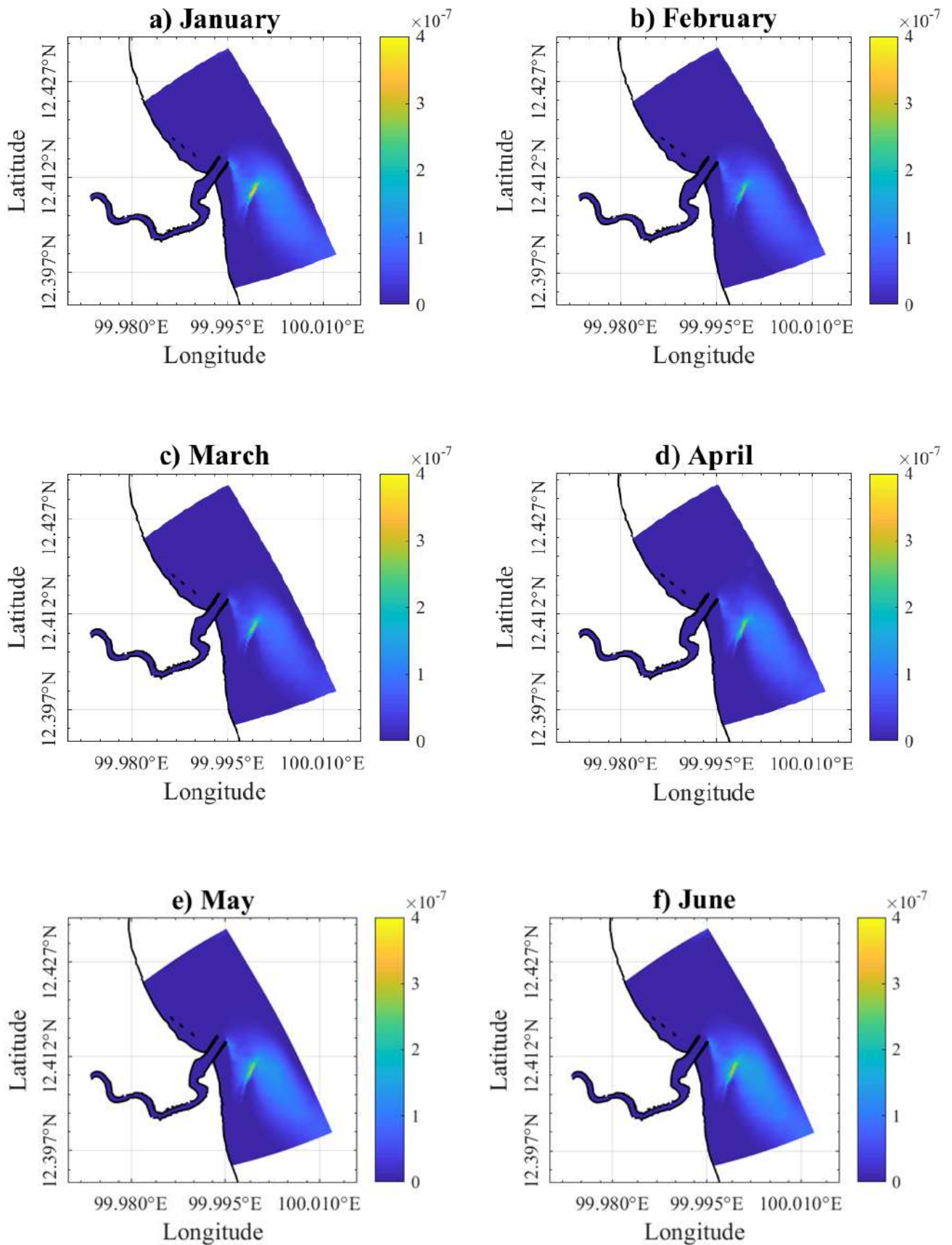
4.8 การเปลี่ยนแปลงพื้นท้องน้ำ เมื่อมีน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนเป็นแรงขับ

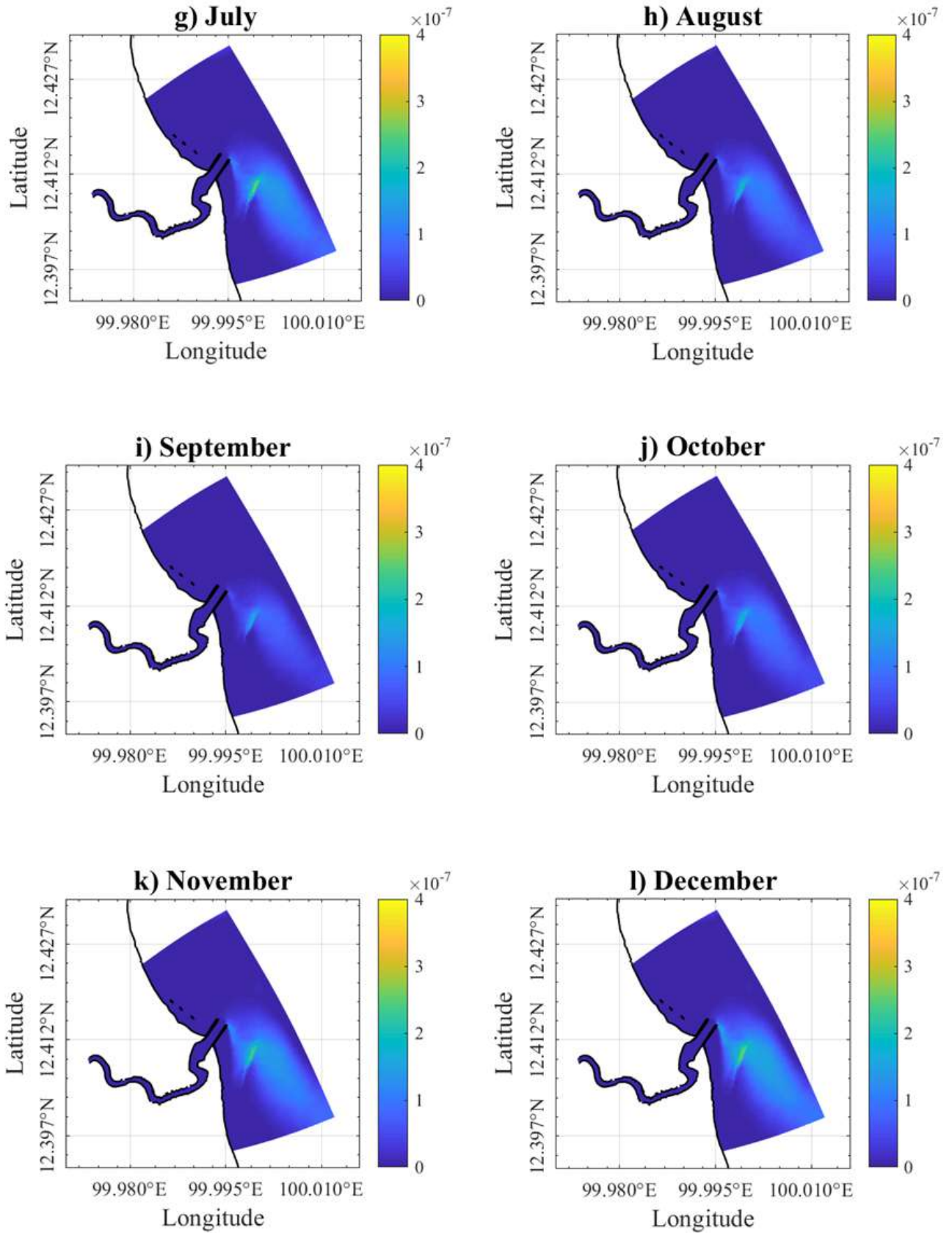
ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นท้องน้ำเมื่อกำหนดให้น้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนเป็นอิทธิพลหลักในบริเวณพื้นที่ศึกษา พบว่า กระแสน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนมีผลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนไปยังบริเวณต่างๆ ซึ่งจะทำให้การพิจารณาการเคลื่อนที่ของตะกอน 3 ลักษณะ ได้แก่ Bed Load Transport, Suspended Transport, Total Transport ดังนี้

4.8.1 Bed Load Transport

Bed Load Transport ที่ถูกพัดพาตามกระแสน้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนเป็นดังที่แสดงในรูปที่ 4.10 พบว่า ส่วนใหญ่ Bed Load Transport จะเคลื่อนที่ไปทางตอนใต้ของ Jetties ซึ่ง

จะมีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นไปในรูปแบบเดียวกันทั้ง 12 เดือน แต่จะมีปริมาณที่แตกต่างกันไปในแต่ละเดือน โดยที่เดือนมกราคมจะมีปริมาณ Bed Load Transport มากที่สุดประมาณ $4 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$

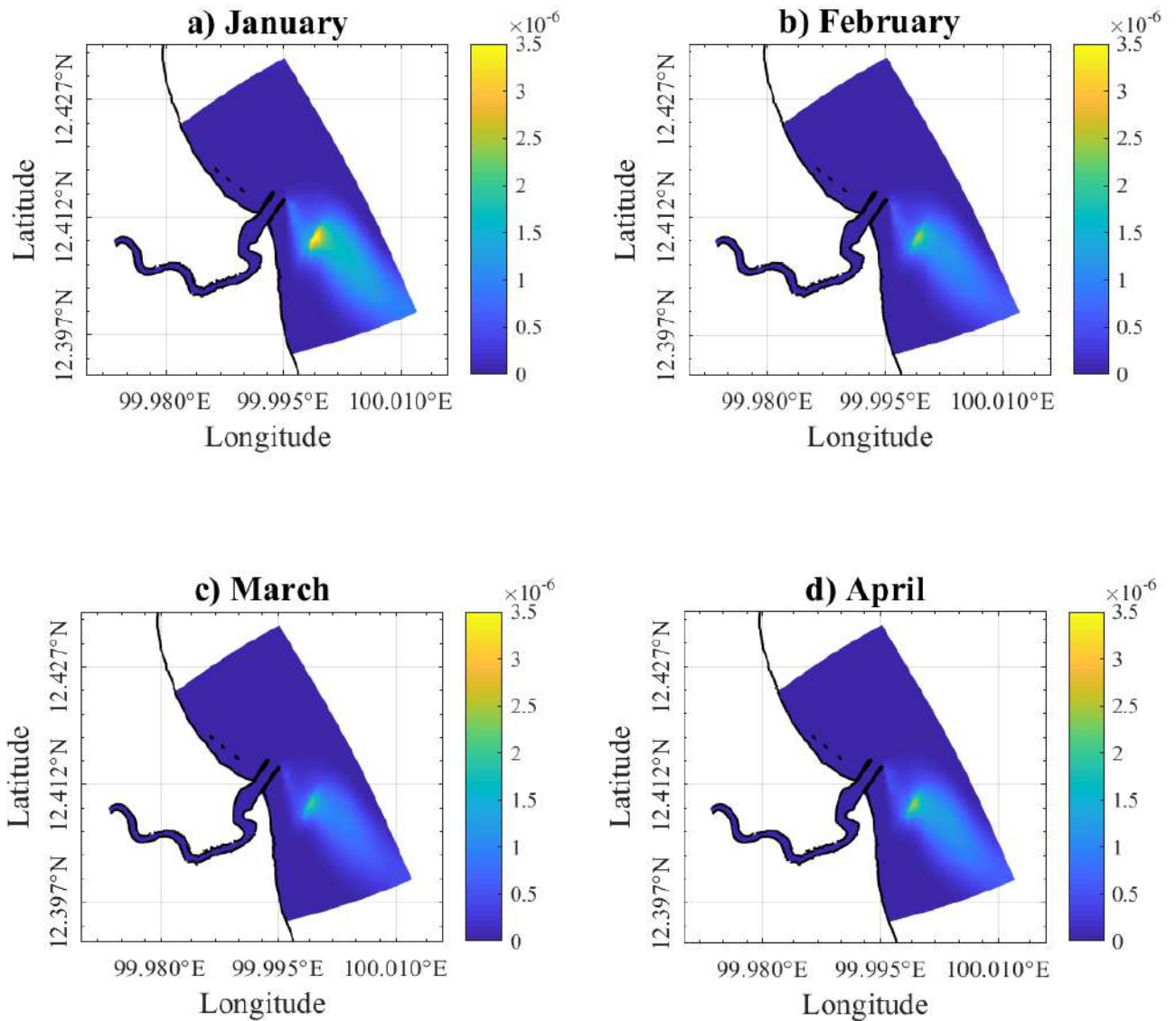


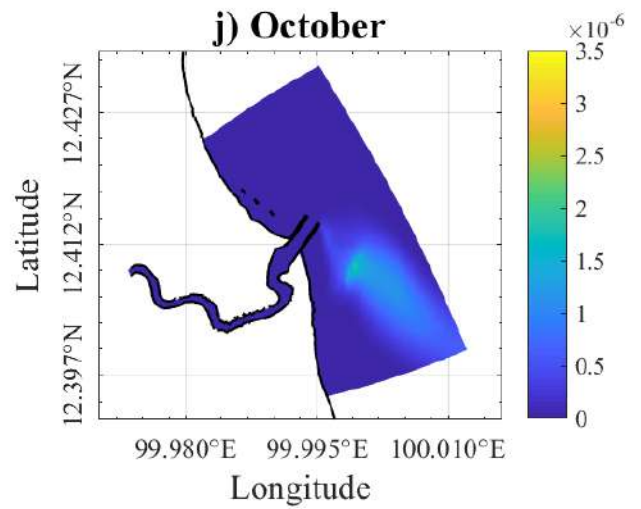
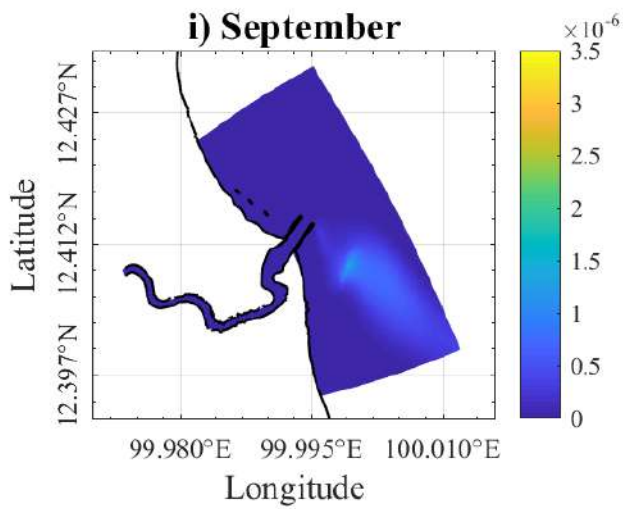
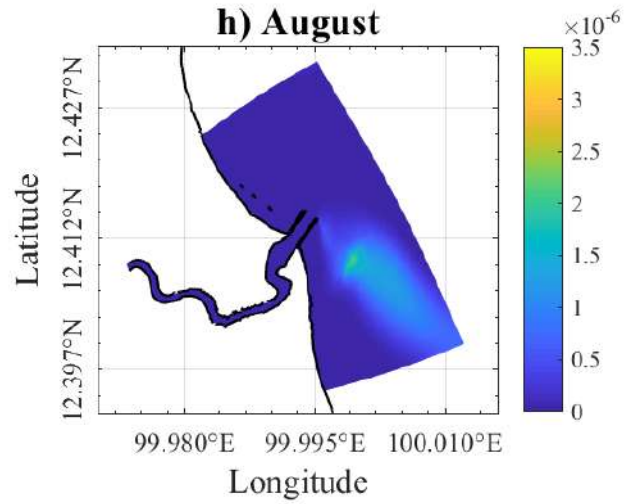
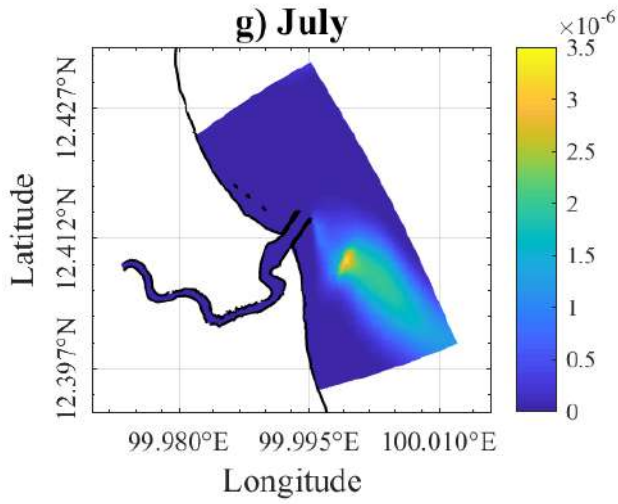
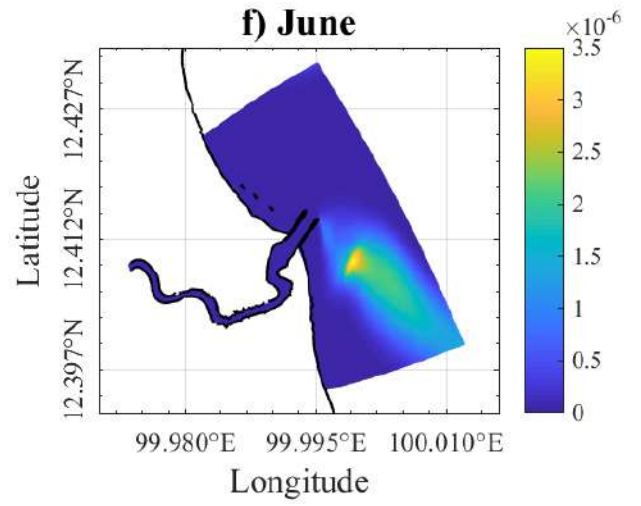
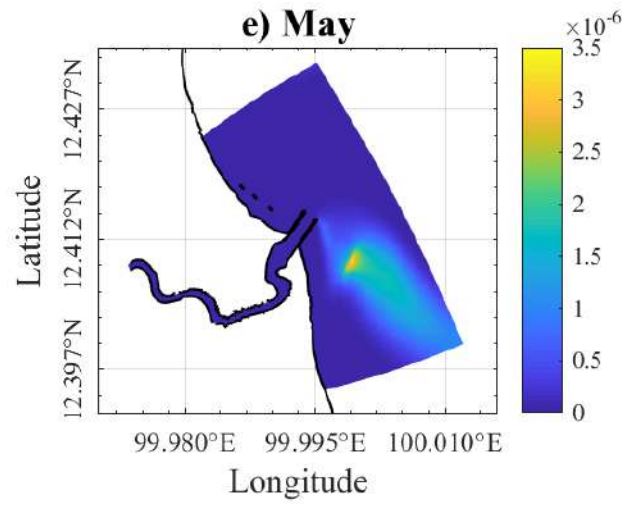


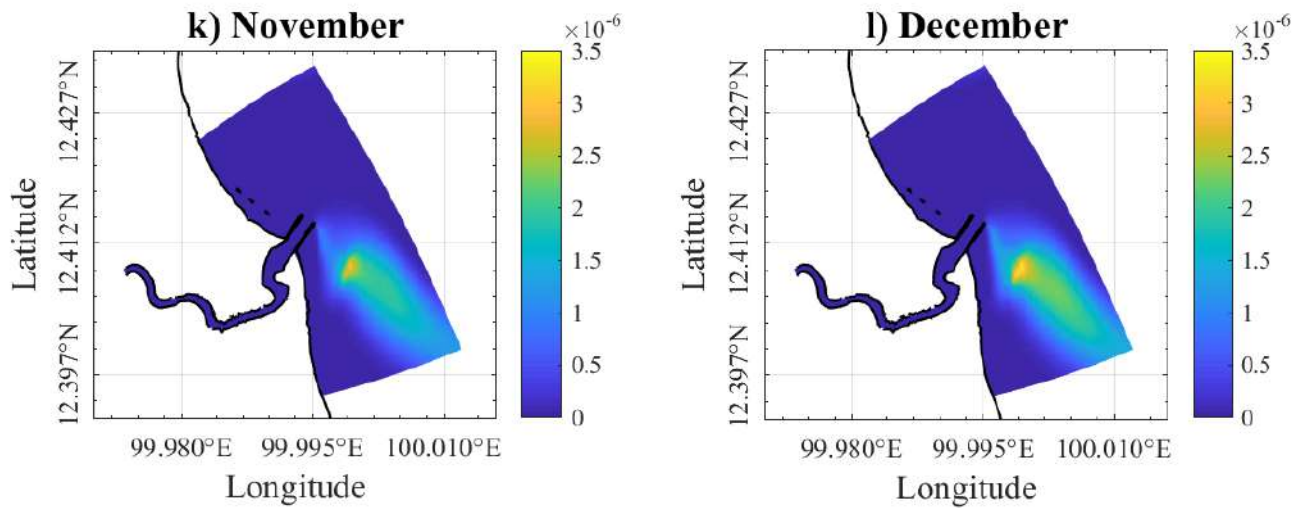
รูปที่ 4.10 Bed Load Transport ของตะกอนดินเหนียวรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปรางบุรี
เมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนม

4.8.2 Suspended Transport

Suspended Transport ที่ถูกพัดพามาตามกระแสน้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนมเป็นดังที่แสดงในรูปที่ 4.11 พบว่า Suspended Transport ส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ไปทางตอนใต้ของ Jetties และจะมีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นไปในรูปแบบเดียวกันทั้ง 12 เดือนเช่นเดียวกับ Bed Load Transport แต่จะมีการกระจายตัวออกไปในบริเวณนอกชายฝั่งทางตอนใต้และมีปริมาณการสะสมตัวที่มากกว่า Bed Load Transport ซึ่งในช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะมีปริมาณของ Suspended Transport มากกว่าช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยที่เดือนธันวาคมจะมีปริมาณ Suspended Transport มากที่สุดประมาณ $3.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$



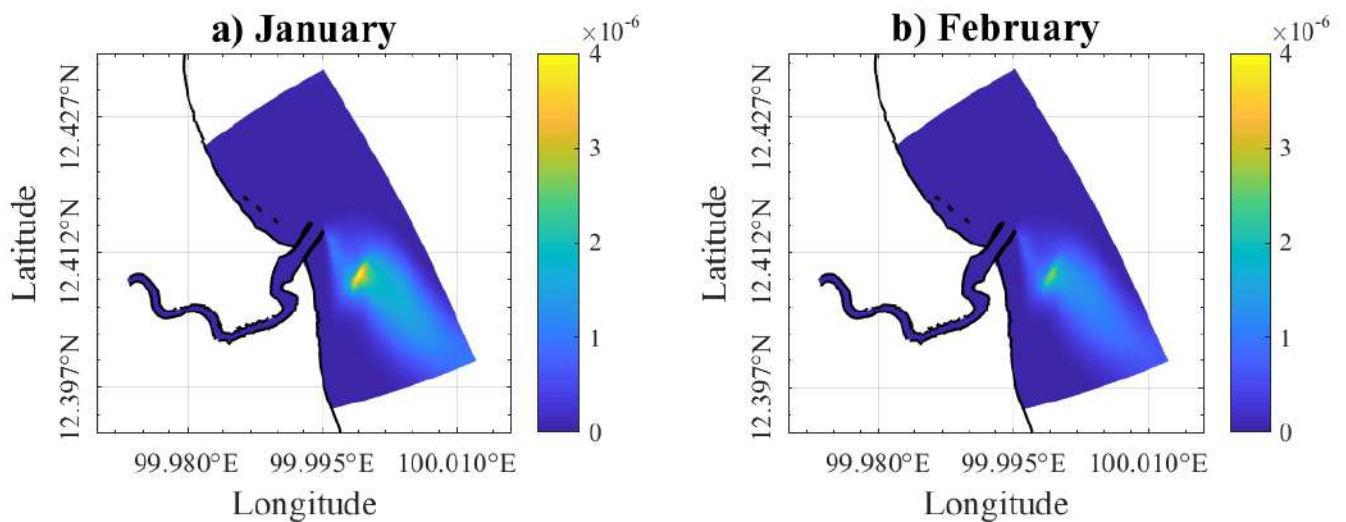


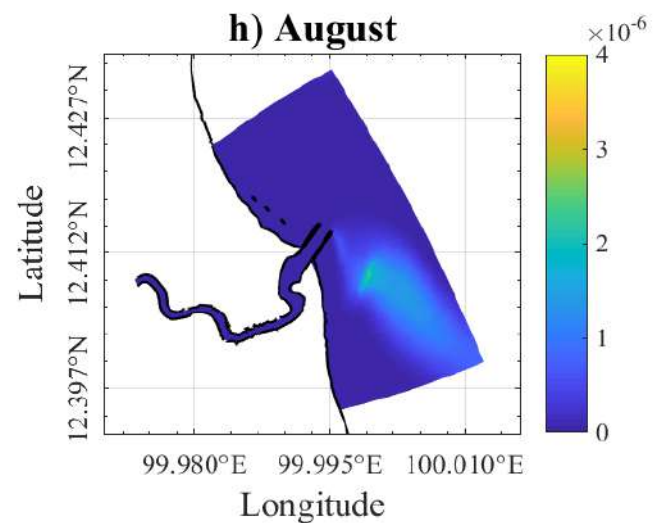
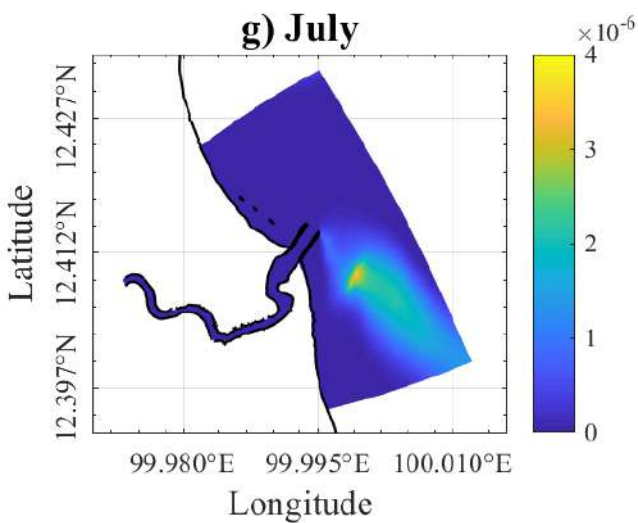
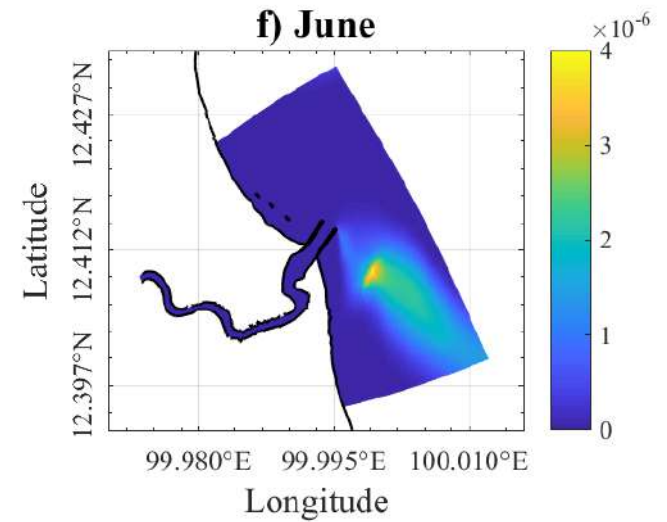
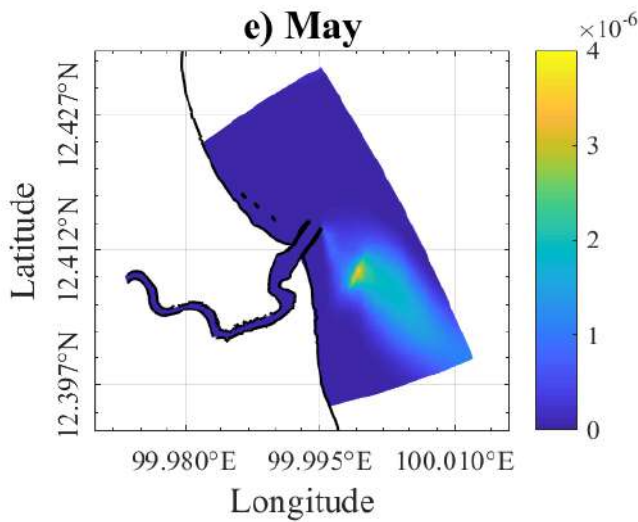
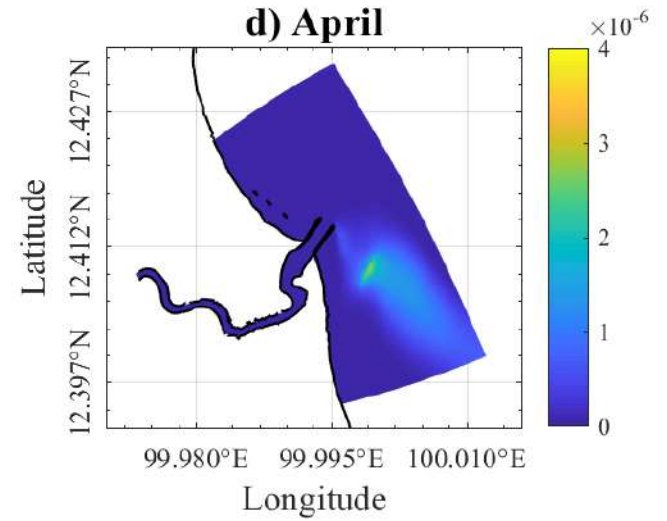
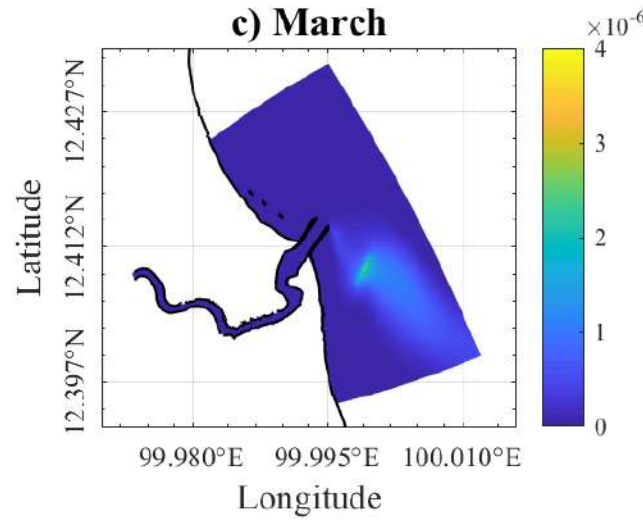


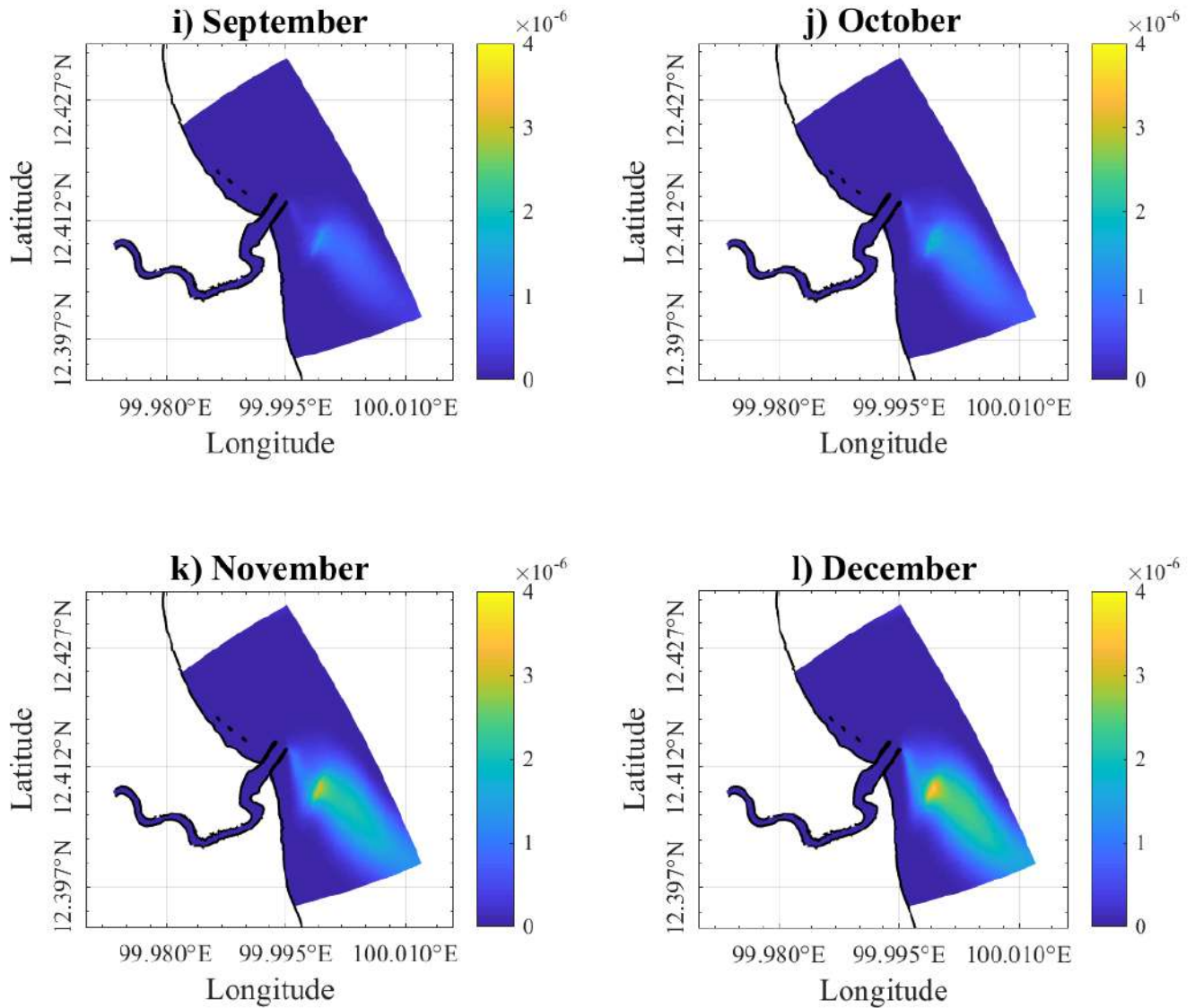
รูปที่ 4.11 Suspended Transport ของตะกอนดินเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี
เมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนม

4.8.3 Total Transport (Sedimentation and Deposition)

Total Transport ของตะกอนที่ถูกพัดพามาตามกระแสน้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนมเป็นดังที่แสดงในรูปที่ 4.12 พบว่า ส่วนใหญ่ Total Transport จะเคลื่อนที่ไปทางตอนใต้ของ Jetties ซึ่งจะมีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นไปในรูปแบบเดียวกันทั้ง 12 เดือน แต่จะมีปริมาณที่แตกต่างกันไปในแต่ละเดือน โดยที่ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และตะวันออกเฉียงเหนือจะมีปริมาณ Total Transport ที่มากกว่าในช่วงนอกฤดูมรสุม ซึ่งจะมีปริมาณมากที่สุดในเดือนมิถุนายนและธันวาคมประมาณ $4 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$



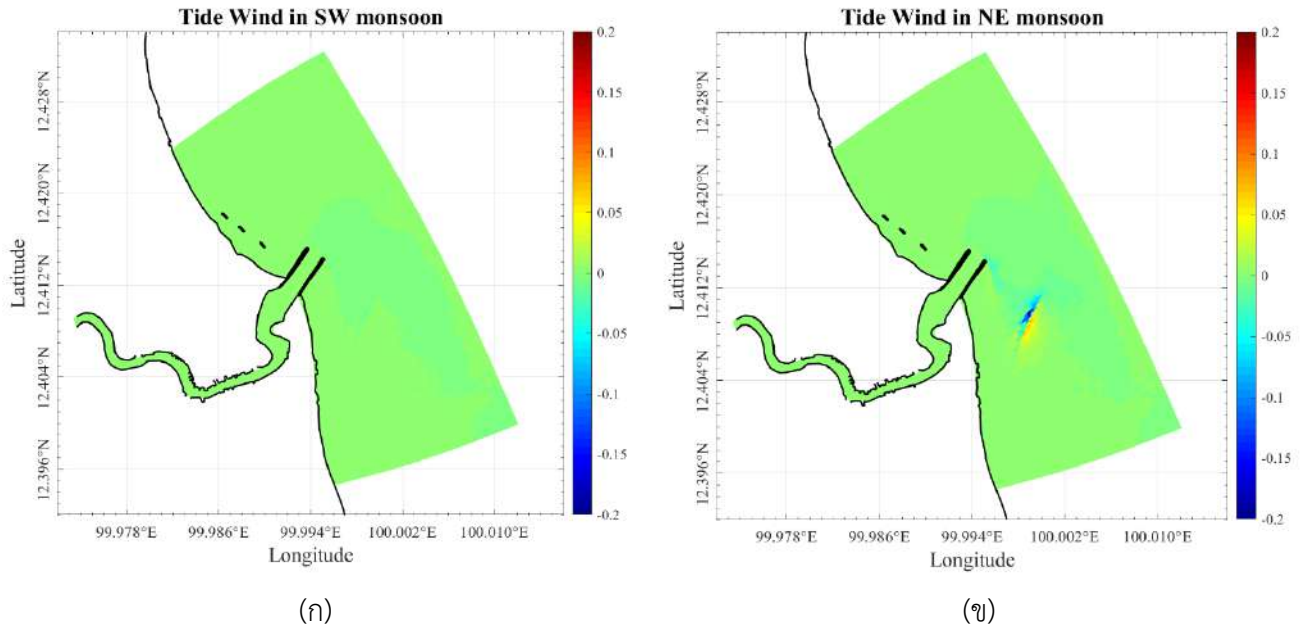




รูปที่ 4.12 Total Transport ของตะกอนดินเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี
เมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนม

4.8.4 ลักษณะพื้นที่ท้องน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป

ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ท้องน้ำบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรีเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนมเป็นดังที่แสดงในรูปที่ 4.13 พบว่า ในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อิทธิพลจากการขึ้นลงของระดับน้ำและกระแสนม มีผลทำให้พื้นที่ท้องน้ำมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมเพียงเล็กน้อย โดยจะเกิดการกัดเซาะอย่างต่อเนื่องที่บริเวณปลาย Jetties ทั้ง 2 ด้านออกไปทางด้านนอกชายฝั่งทะเลทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา ส่วนในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะเกิดการกัดเซาะที่ปลาย Jetties ทั้ง 2 ด้านกับชายฝั่งทะเลด้านนอกและจะเกิดการสะสมตัวในบริเวณด้านข้างของ Jetties กับด้านนอกชายฝั่งหลังจากบริเวณที่เกิดการกัดเซาะขึ้นทางตอนใต้ของ Jetties พบว่ามีการกัดเซาะของตะกอนท้องน้ำประมาณ 0.2 เมตรและเกิดการทับถมในบริเวณใกล้เคียงสอดคล้องกับความลึกท้องน้ำเบื้องต้นที่มีลักษณะเป็นแนวของสันทรายใต้น้ำในบริเวณดังกล่าว



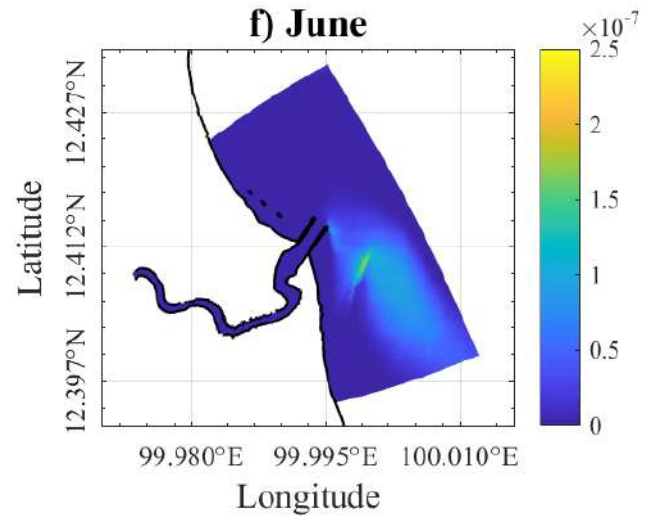
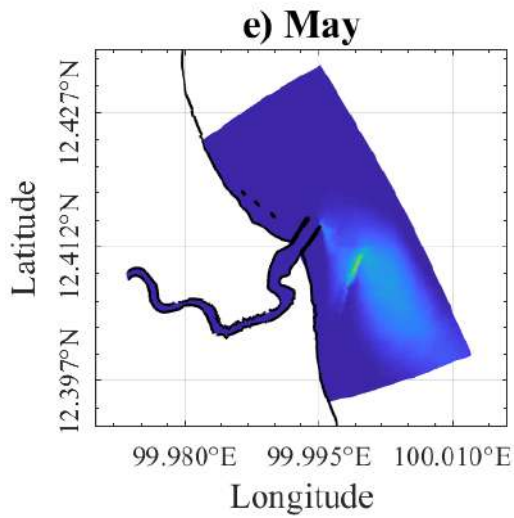
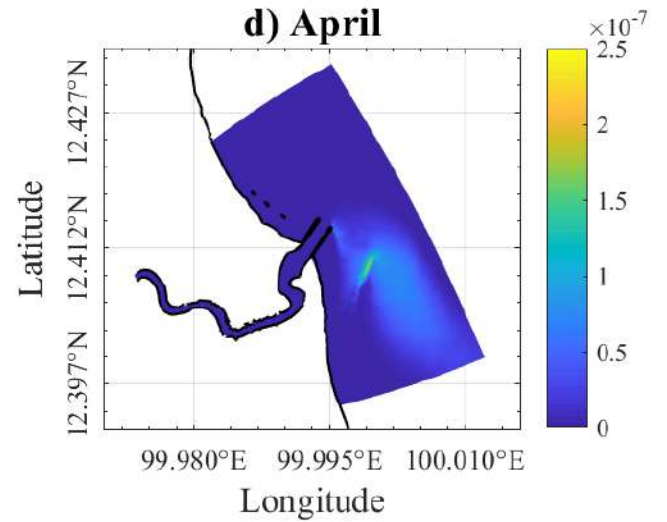
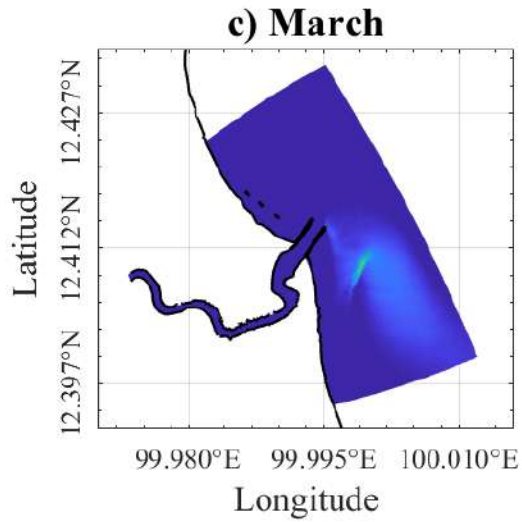
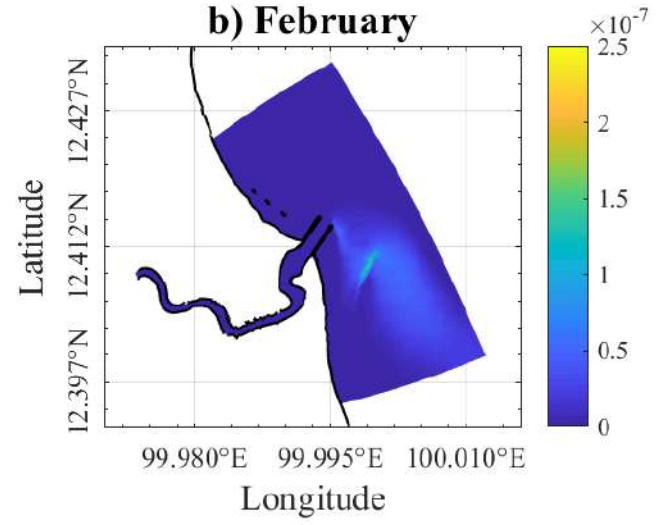
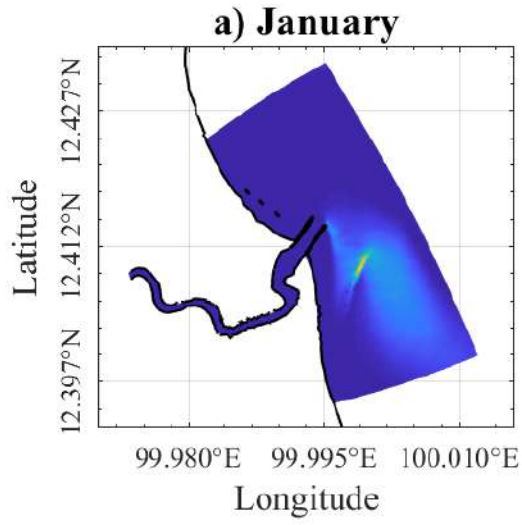
รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของน้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนม
ในช่วง (ก) มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (นำค่าของเดือนมิถุนายนลบด้วยเดือนพฤษภาคม)
และ (ข) มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (นำค่าของเดือนธันวาคมลบด้วยเดือนพฤศจิกายน)

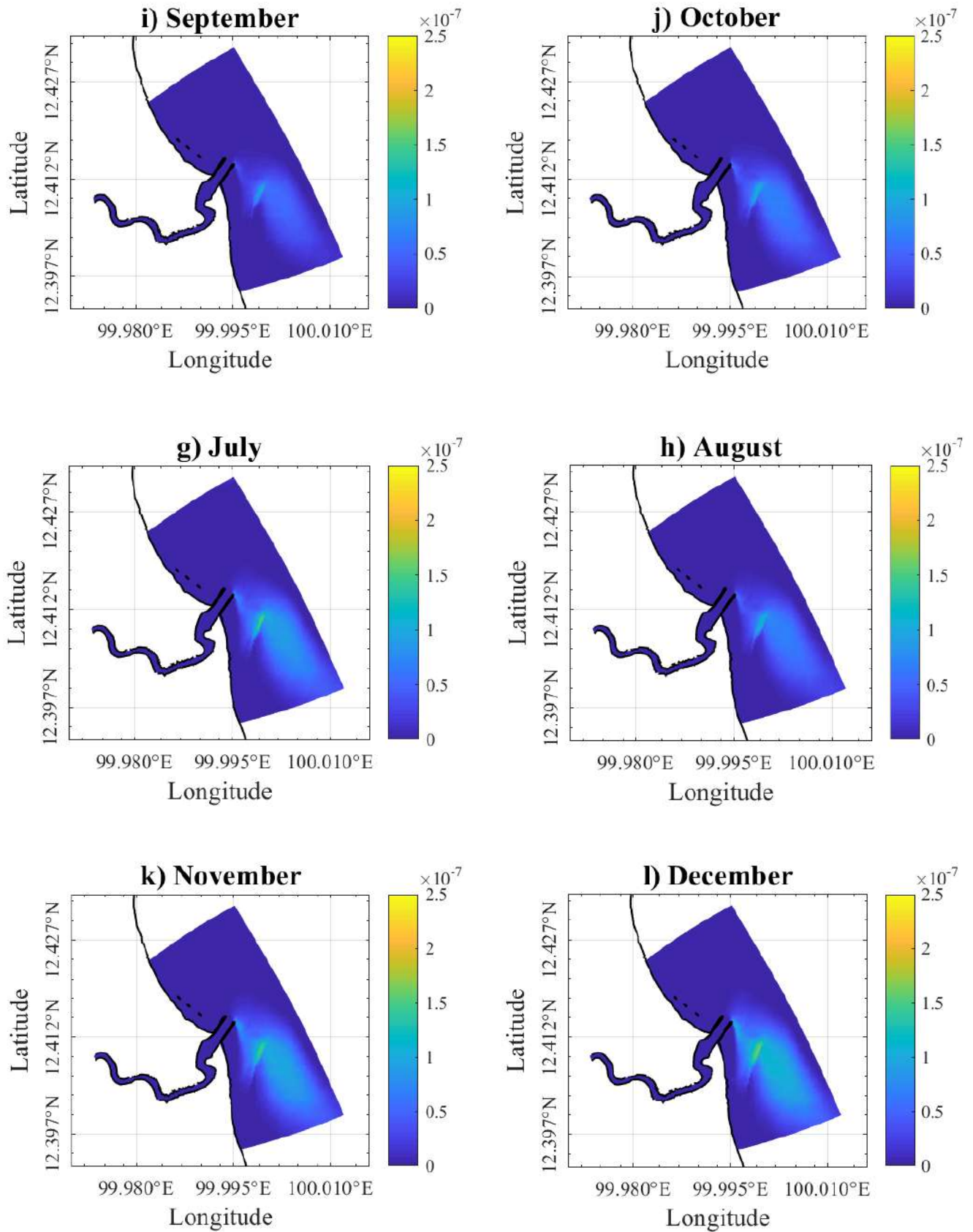
4.9 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของน้ำ เมื่อมีน้ำขึ้นน้ำลง กระแสนม และคลื่นเป็นแรงขับ

ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ของน้ำเมื่อกำหนดให้น้ำขึ้นน้ำลง กระแสนม และคลื่น เป็นอิทธิพลหลัก โดยการนำอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนม มาทำการการประมวลผลร่วมกับคลื่น (coupling) ที่มากระทำที่ขอบเขตเปิดด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา พบว่า กระแสน้ำขึ้นน้ำลง กระแสนม และคลื่น มีผลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนไปยังบริเวณต่างๆ ซึ่งจะทำให้การพิจารณาการเคลื่อนที่ของตะกอน 3 ลักษณะ ได้แก่ Bed Load Transport, Suspended Transport, Total Transport ดังนี้

4.9.1 Bed Load Transport

Bed Load Transport ที่ถูกพัฒนามาตามกระแสน้ำเป็นดังที่แสดงในรูปที่ 4.14 พบว่า ส่วนใหญ่ Bed Load Transport จะเคลื่อนที่ไปทางตอนใต้ของ Jetties ซึ่งจะมีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นไปในรูปแบบเดียวกันทั้ง 12 เดือน แต่จะมีปริมาณการสะสมตัวของตะกอนที่แตกต่างกันไปในแต่ละเดือน โดยที่เดือนมกราคมจะมีปริมาณ Bed Load Transport มากที่สุดประมาณ $4 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะมีปริมาณใกล้เคียงกับกรณีที่กำหนดให้น้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนมเป็นแรงขับในหัวข้อที่ 4.8 โดยภาพรวมในช่วงพฤศจิกายน-มกราคม จะพบการเคลื่อนตัวของตะกอนพื้นที่ของน้ำมากกว่าเดือนอื่นๆ โดยเฉพาะบริเวณสันทรายใต้น้ำทางตอนใต้ของ Jetties

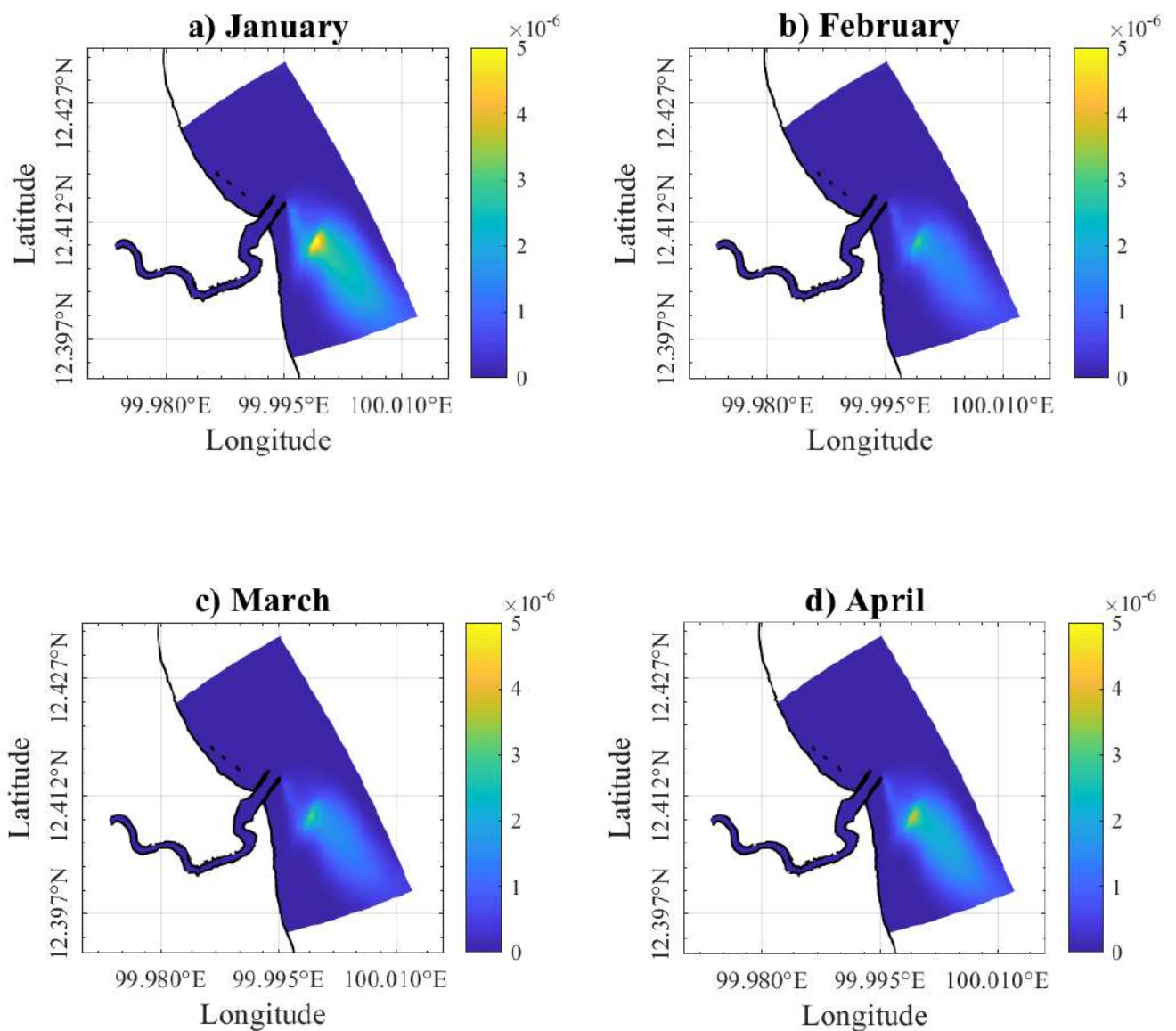


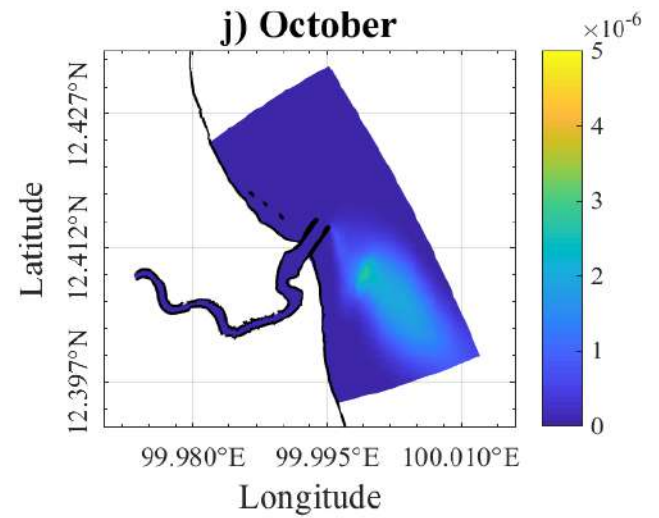
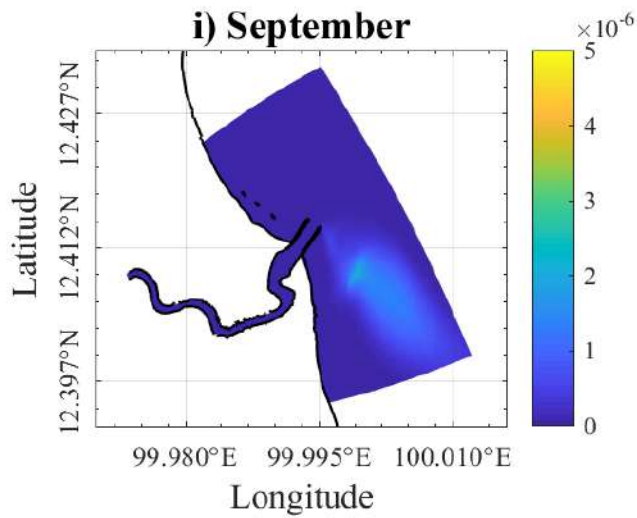
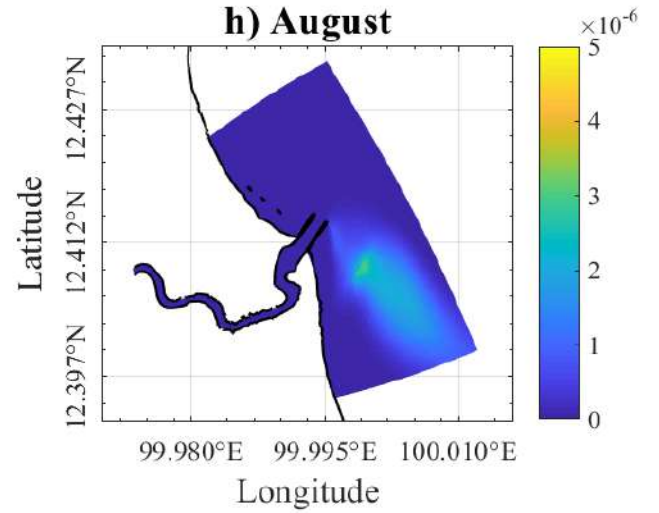
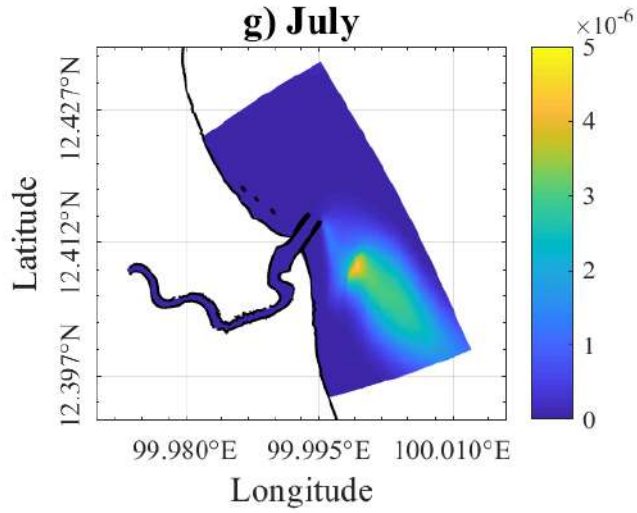
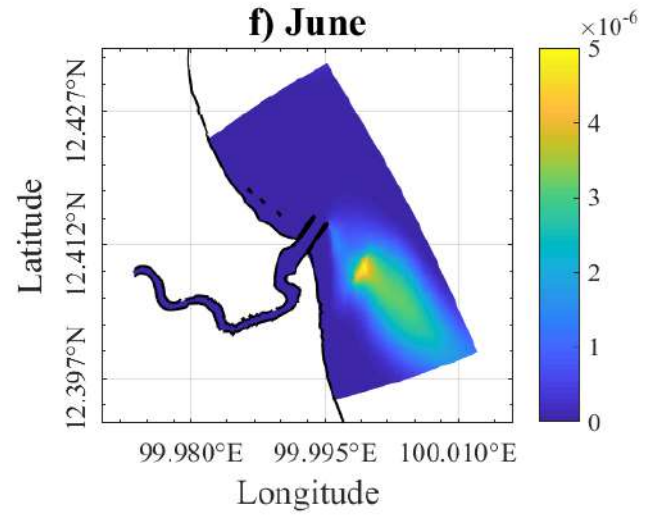
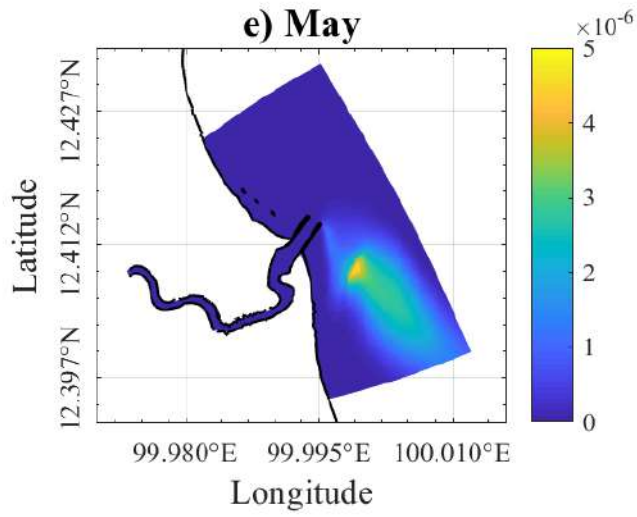


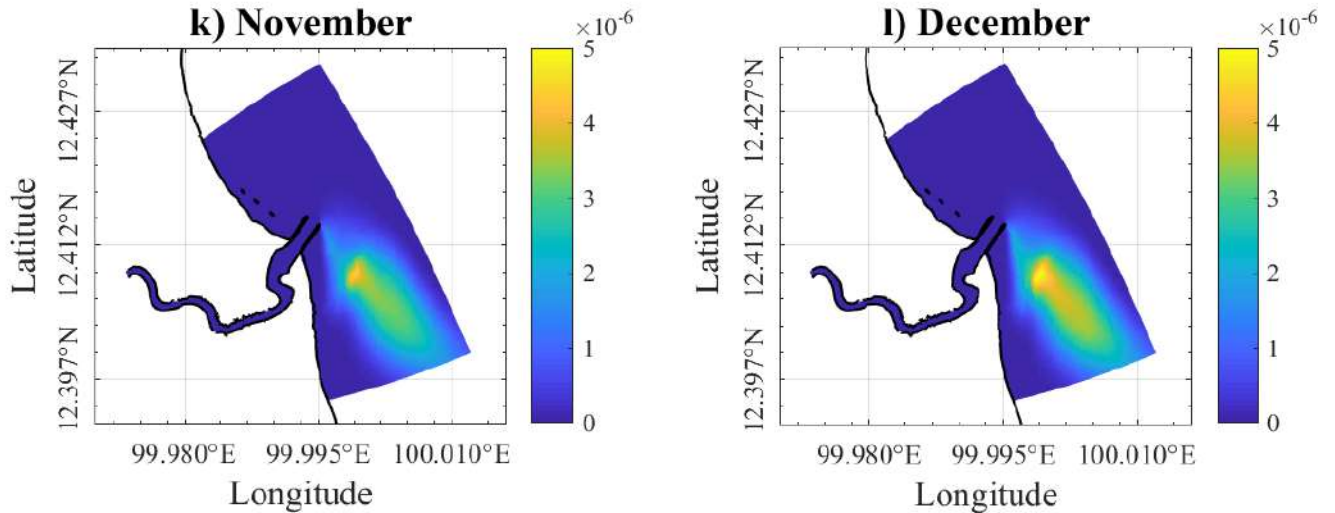
รูปที่ 4.14 Bed Load Transport ของตะกอนดินเฉื่อยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี
เมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม และคลื่น

4.9.2 Suspended Transport

Suspended Transport ที่ถูกพัดพามาตามกระแสน้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม และคลื่นเป็นดังที่แสดงในรูปที่ 4.15 พบว่า Suspended Transport ส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ไปทางตอนใต้ของ Jetties และมีลักษณะการกระจายตัวออกไปนอกพื้นที่ชายฝั่งทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งแต่ละเดือนจะมีอัตราการสะสมตัวของตะกอนที่แตกต่างกัน โดยที่เดือนธันวาคมจะมีปริมาณ Suspended Transport มากที่สุดประมาณ $5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะมีปริมาณมากกว่ากรณีที่กำหนดให้น้ำขึ้นน้ำลงและกระแสลมเป็นแรงขับในหัวข้อที่ 4.8 ประมาณ $1.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$



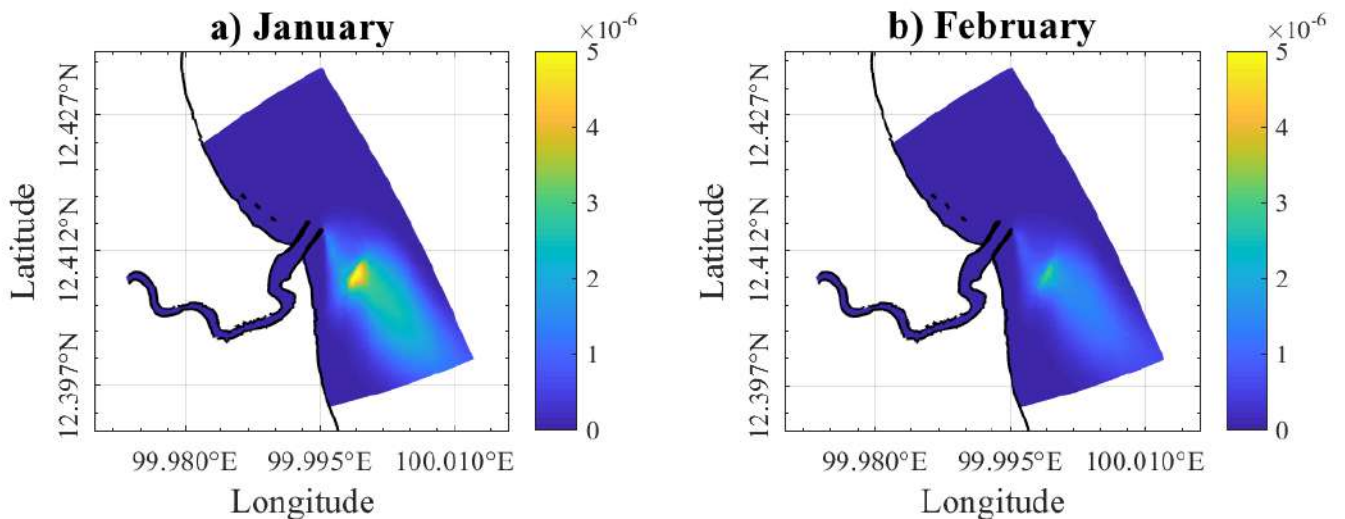


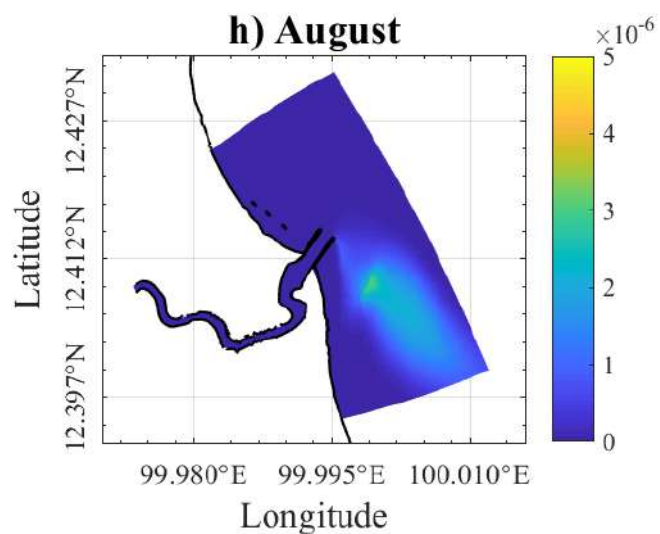
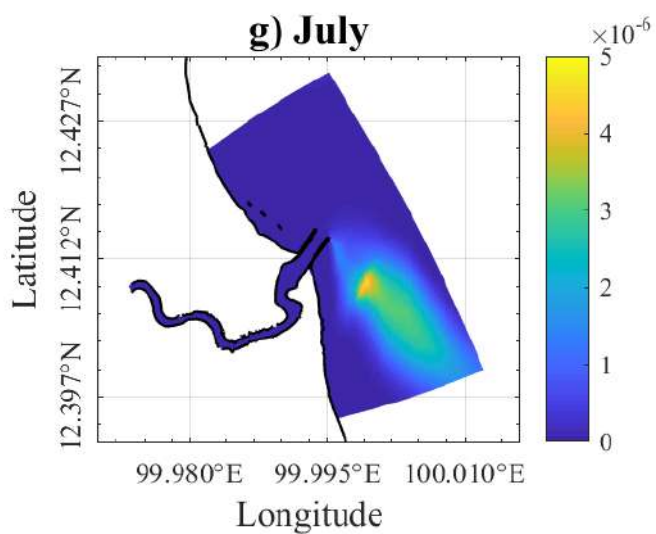
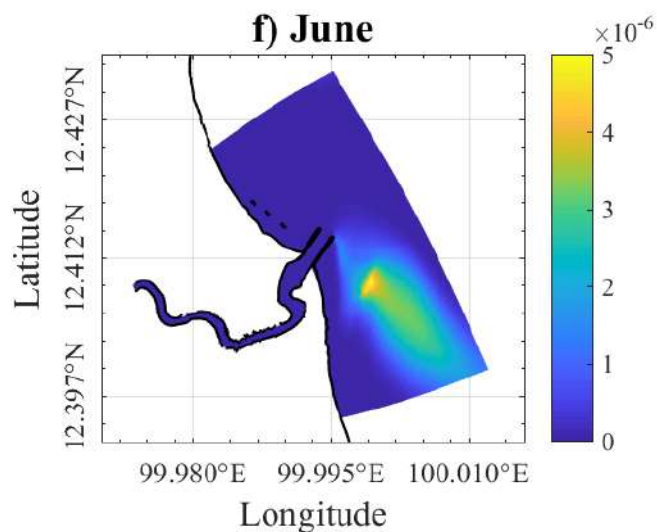
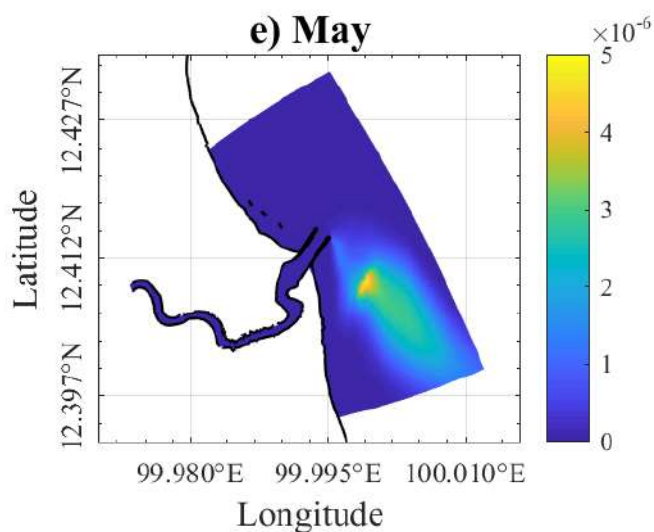
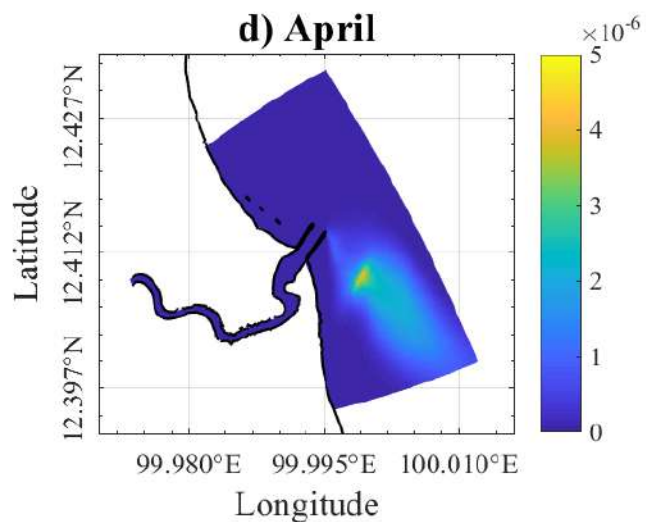
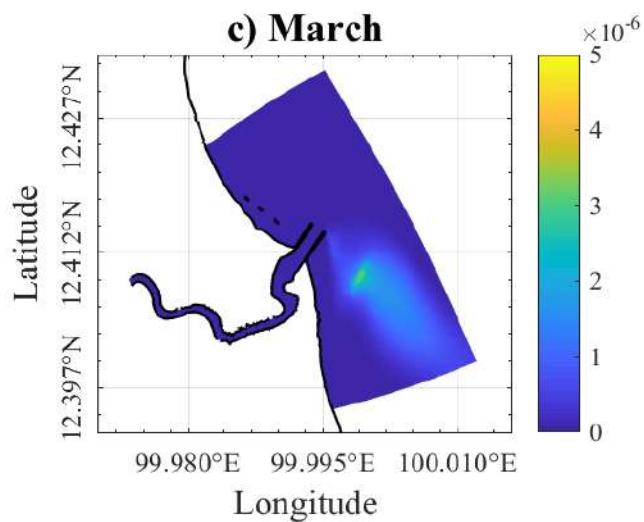


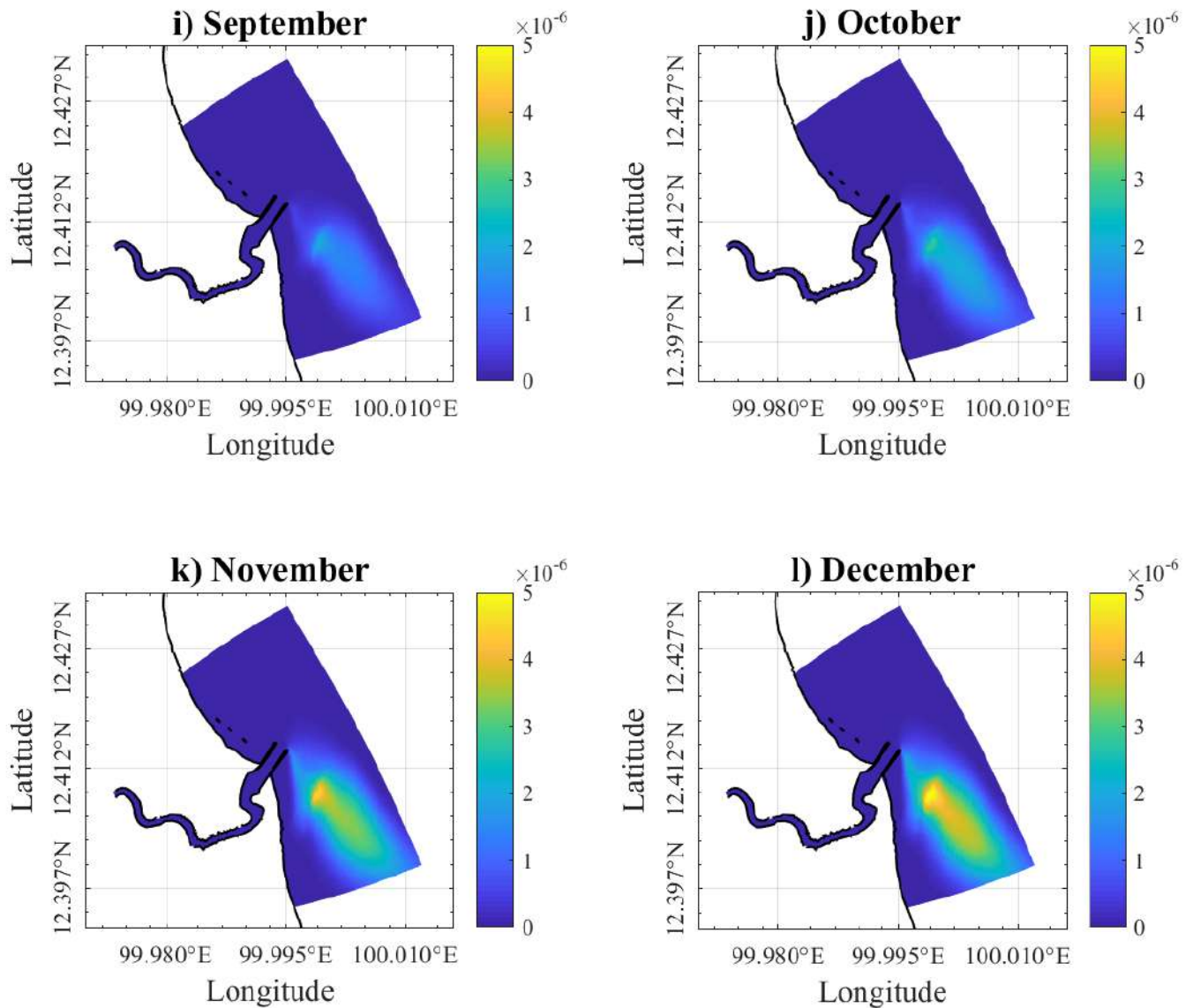
รูปที่ 4.15 Suspended Transport ของตะกอนดินเหนียวรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม และคลื่น

4.9.3 Total Transport (Sedimentation and Deposition)

Total Transport ของตะกอนที่ถูกพัดพามาตามกระแสน้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม และคลื่นเป็นดังที่แสดงในรูปที่ 4.16 พบว่า Total Transport ส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ไปทางตอนใต้ของ Jetties ซึ่งจะมีลักษณะการกระจายตัวไปทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษาและจะเป็นไปในรูปแบบเดียวกันทั้ง 12 เดือน แต่จะมีปริมาณที่แตกต่างกันไปในแต่ละเดือน โดยที่ในช่วงเดือนธันวาคมจะมีปริมาณ Total Transport มากที่สุดประมาณ $5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะมีปริมาณมากกว่ากรณีที่กำหนดให้น้ำขึ้นน้ำลงและกระแสลมเป็นแรงขับ ในหัวข้อที่ 4.8 ประมาณ $1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ ช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กรกฎาคม) เป็นช่วงที่พบการเคลื่อนตัวของตะกอนแขวนลอยทางตอนใต้ของ Jetties ในปริมาณมากเช่นเดียวกับช่วงเดือนพฤศจิกายน-มกราคม





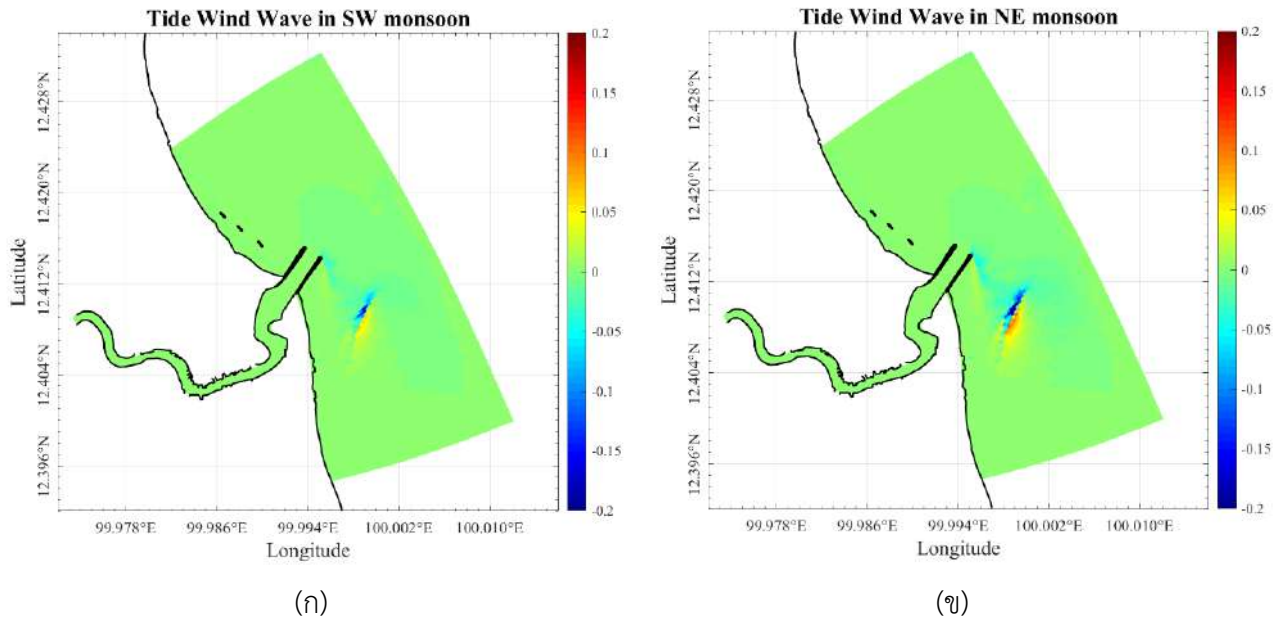


รูปที่ 4.16 Total Transport ของตะกอนดินเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี
เมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสนม และคลื่น

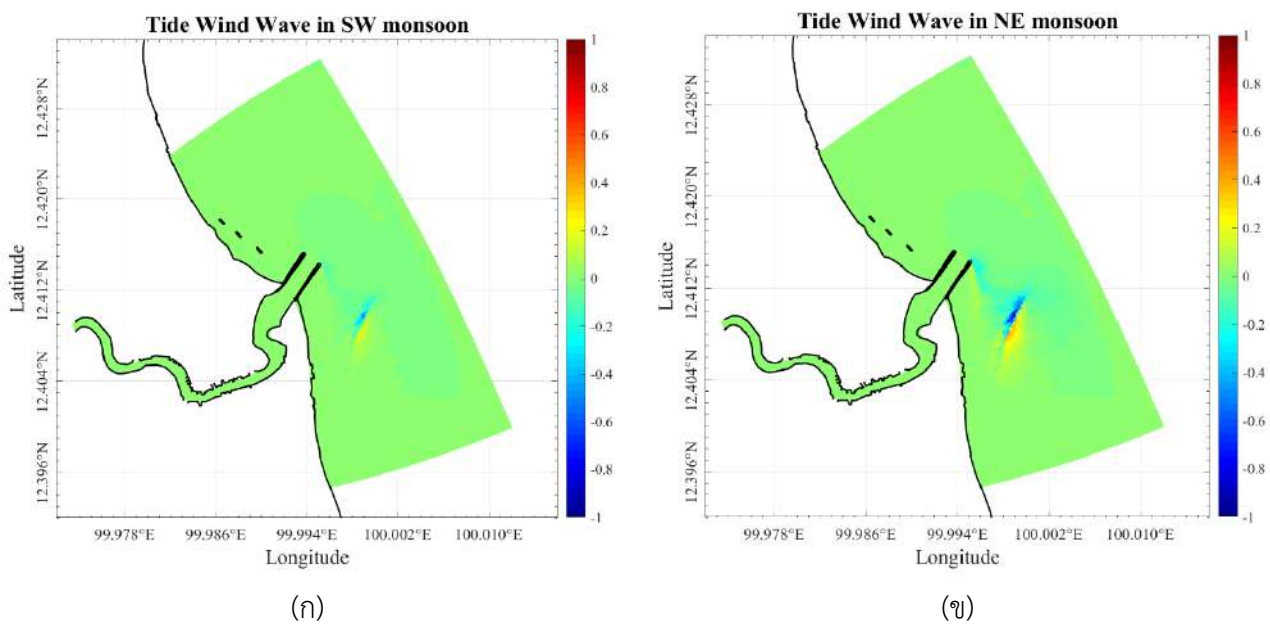
4.9.4 ลักษณะพื้นที่ท้องน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป

กำหนดให้มีค่า Morphological scale factor หรือ ความเร็วในการเปลี่ยนแปลง จำนวน 3 ค่า คือ 1, 5, และ 10 จากการวิเคราะห์แบบจำลองจำนวน 1 ปี จะได้ผลการเปลี่ยนแปลงเทียบเท่ากับ 1 ปี, 5 ปี, และ 10 ปี ตามลำดับ ดังที่แสดงในรูปที่ 17, 18, และ 19 พบว่า เมื่อมีการเพิ่มอิทธิพลจากคลื่นเข้ามา ในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จะเกิดการกัดเซาะและการสะสมตัวของตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งเพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จะพบพื้นที่ในการกัดเซาะกับการสะสมตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีที่กำหนดให้น้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนมเป็นแรงขับในหัวข้อที่ 4.7 และเมื่อเพิ่มความเร็วในการเปลี่ยนแปลงขึ้นดังที่แสดงในรูปที่ 18

และ 19 จะพบว่าทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษาจะเกิดการสะสมตัวของตะกอนในบริเวณที่ห่างจากชายฝั่งออกไป นอกจากนี้จะเกิดการกัดเซาะของตะกอนดินในบริเวณชายฝั่งทางตอนเหนือของพื้นที่ศึกษาขึ้น

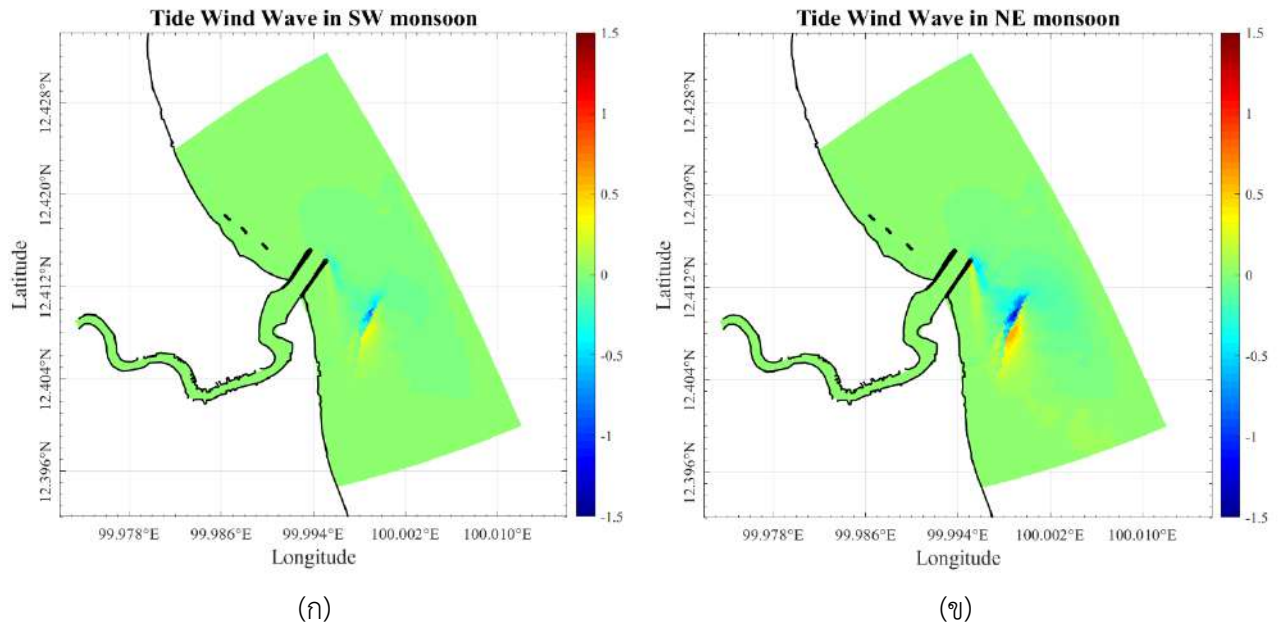


รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องน้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม และคลื่นระยะเวลา 1 ปี ในช่วง (ก) มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (นำค่าของเดือนมิถุนายนลบด้วยเดือนพฤษภาคม) และ (ข) มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (นำค่าของเดือนธันวาคมลบด้วยเดือนพฤศจิกายน)



รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ท้องน้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม และคลื่นระยะเวลา 5 ปี ในช่วง (ก) มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (นำค่าของเดือนมิถุนายนลบด้วยเดือนพฤษภาคม)

และ (ข) มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (นำค่าของเดือนธันวาคมลบด้วยเดือนพฤศจิกายน)



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ต้งน้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม

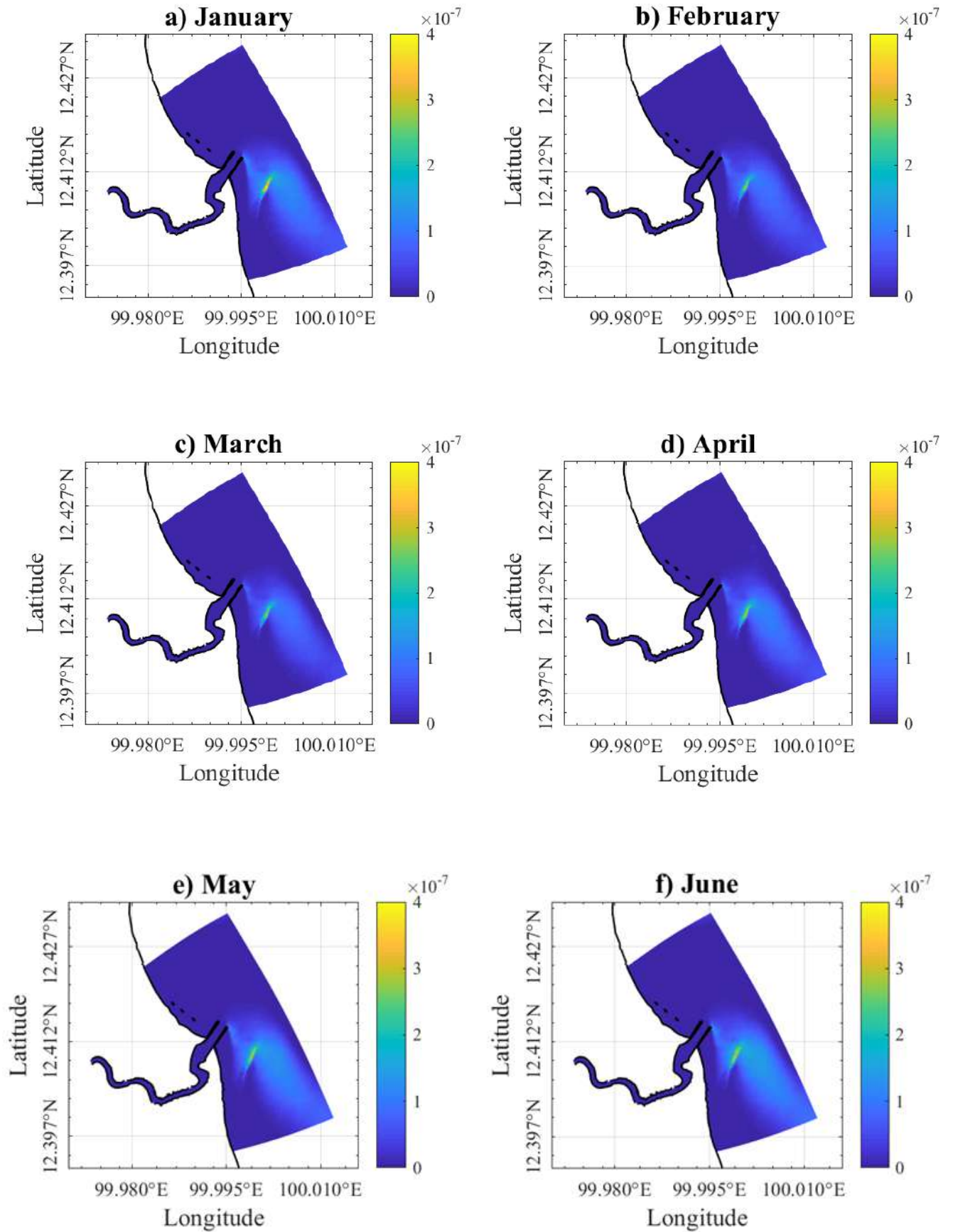
และคลื่นระยะเวลา 10 ปี ในช่วง (ก) มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (นำค่าของเดือนมิถุนายนลบด้วยเดือนพฤษภาคม) และ (ข) มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (นำค่าของเดือนธันวาคมลบด้วยเดือนพฤศจิกายน)

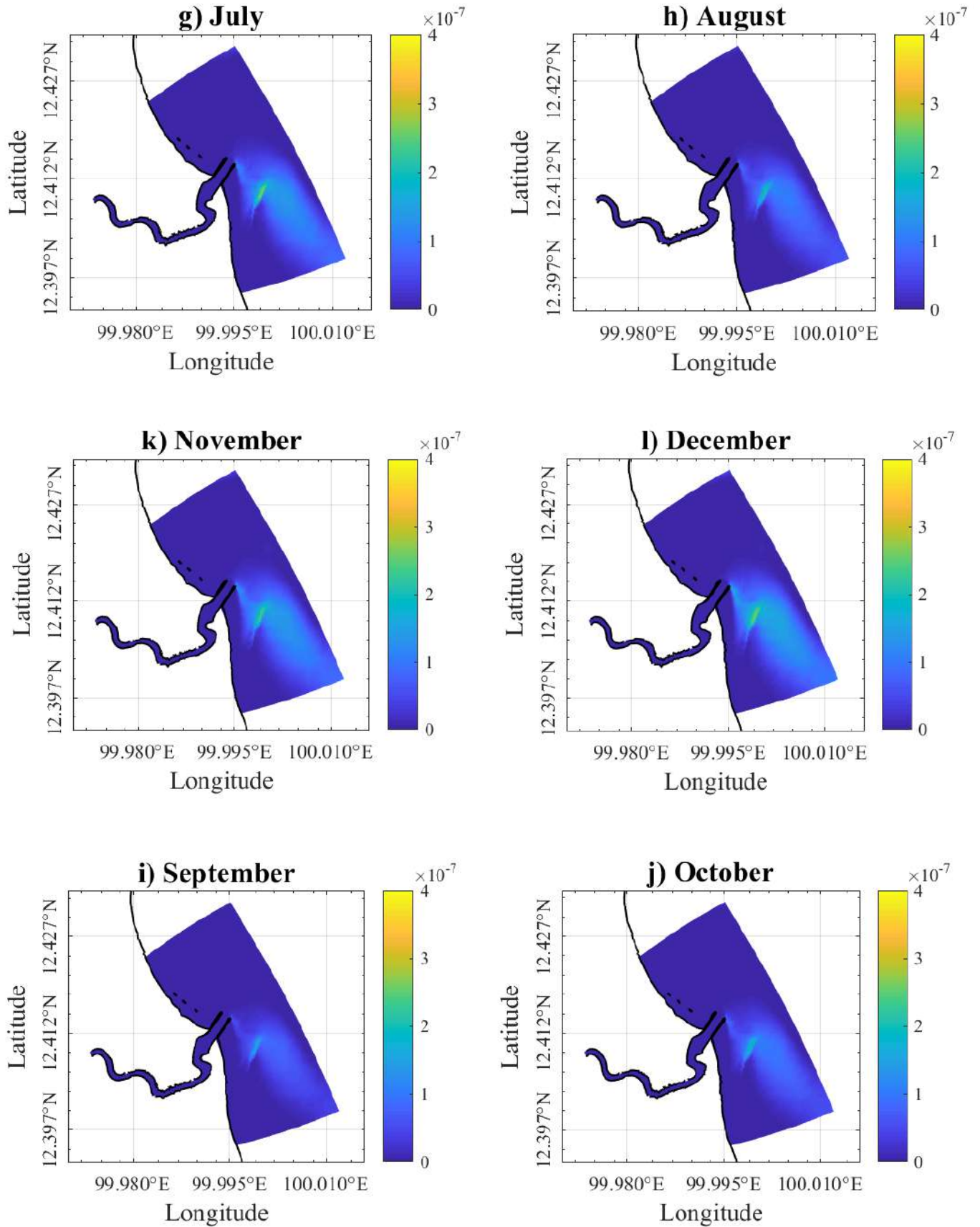
4.10 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ต้งน้ำ เมื่อมีน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม คลื่น และน้ำท่าเป็นแรงขับ

ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ต้งน้ำเมื่อกำหนดให้น้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม คลื่น และน้ำท่า เป็นอิทธิพลหลัก โดยการนำอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม และน้ำท่า มาทำการประมวลผลร่วมกับคลื่น (coupling) ที่มากระทำที่ขอบเขตเปิดทางด้านตะวันออก พบว่า น้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม คลื่น และน้ำท่า มีผลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนไปยังบริเวณต่างๆ ซึ่งจะทำให้การพิจารณาการเคลื่อนที่ของตะกอน 3 ลักษณะ ได้แก่ Bed Load Transport, Suspended Transport, Total Transport ดังนี้

4.10.1 Bed Load Transport

Bed Load Transport ที่ถูกพัดพามาตามกระแสน้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม คลื่น และน้ำท่าเป็นดังที่แสดงในรูปที่ 4.20 พบว่า ส่วนใหญ่ Bed Load Transport จะเคลื่อนที่ไปทางตอนใต้ของ Jetties ซึ่งจะมีลักษณะการกระจายตัวของตะกอนไปทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษาเป็นไปในรูปแบบเดียวกันทั้ง 12 เดือน แต่จะมีปริมาณการสะสมตัวที่แตกต่างกันไปในแต่ละเดือน โดยที่เดือนมกราคมจะมีปริมาณ Bed Load Transport มากที่สุดประมาณ $4 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะมีปริมาณการสะสมตัวของตะกอนเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.8 และ 4.9



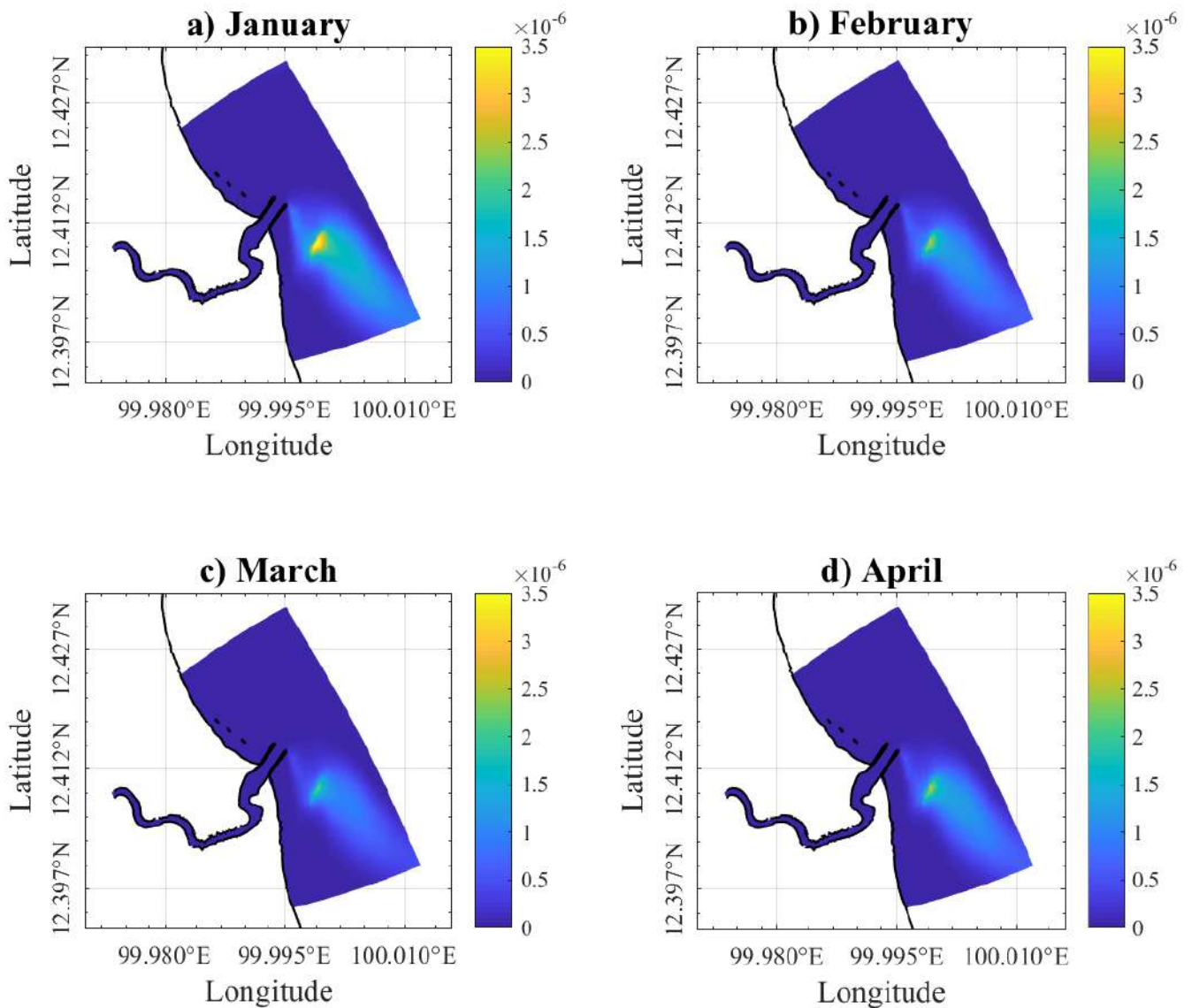


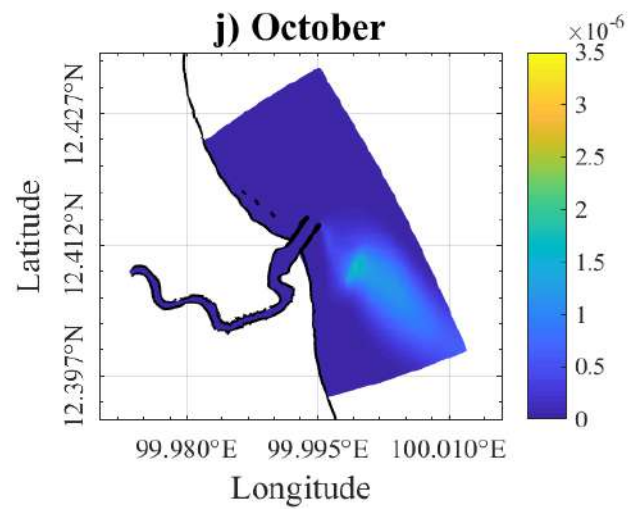
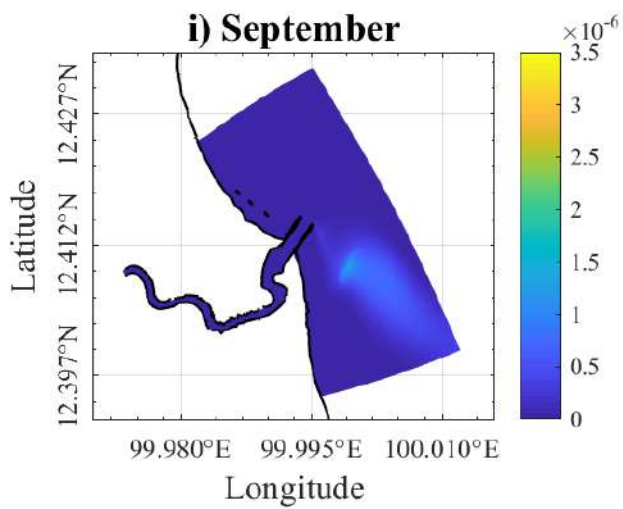
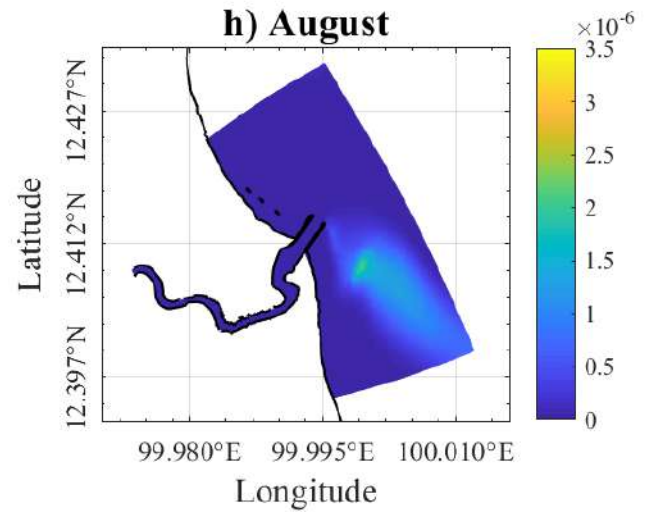
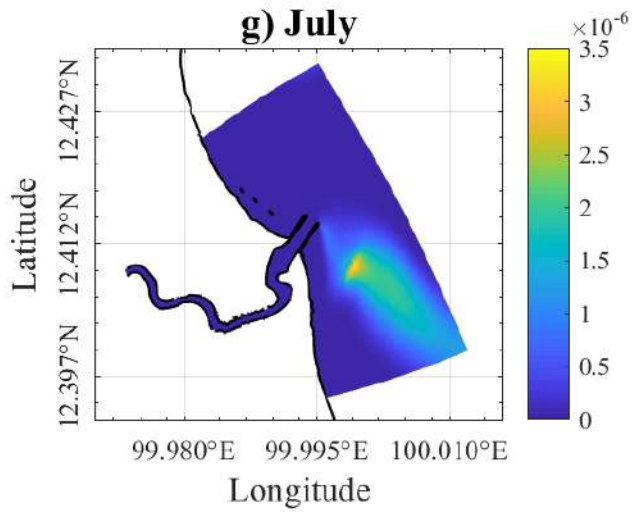
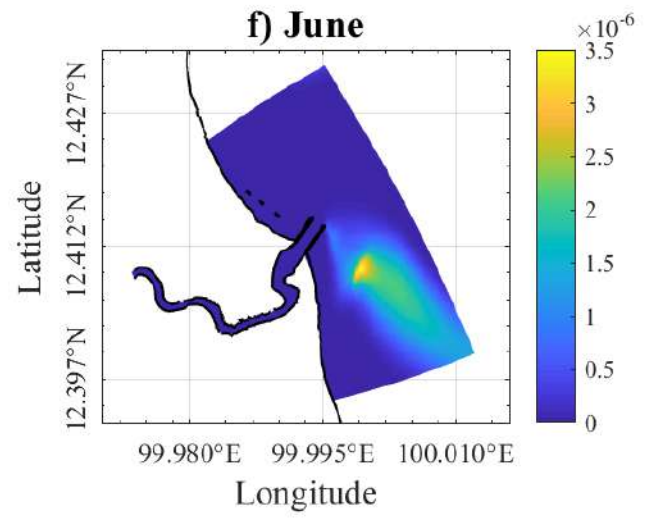
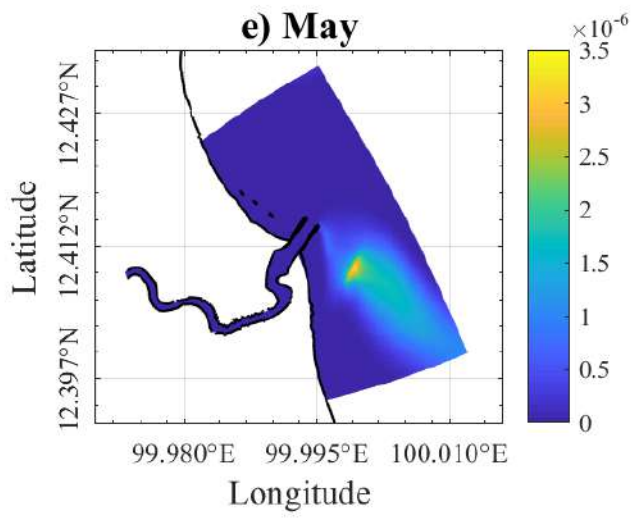
รูปที่ 4.20 Bed Load Transport ของตะกอนดินเหนียวรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี

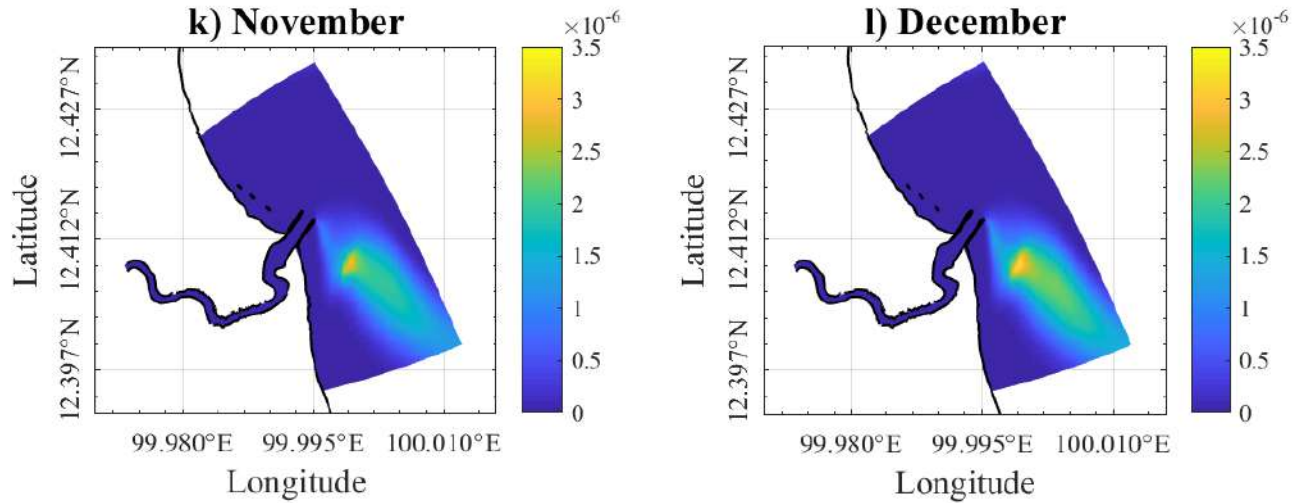
เมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง ลม คลื่น และน้ำท่า

4.10.2 Suspended Transport

Suspended Transport ที่ถูกพัดพามาตามกระแสน้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม คลื่น และน้ำท่าเป็นดังที่แสดงในรูปที่ 4.21 พบว่า ส่วนใหญ่ Suspended Transport จะเคลื่อนที่ไปทางตอนใต้ของ Jetties ซึ่งจะมีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นไปในรูปแบบเดียวกันทั้ง 12 เดือน แต่จะมีปริมาณที่แตกต่างกันไปในแต่ละเดือน โดยที่เดือนมิถุนายนและธันวาคมจะมีปริมาณ Suspended Transport มากที่สุด ประมาณ $3.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะมีปริมาณการสะสมตัวของตะกอนเช่นเดียวกับกรณีที่กำหนดให้น้ำขึ้นน้ำลง และกระแสลมเป็นแรงขับในหัวข้อที่ 4.8



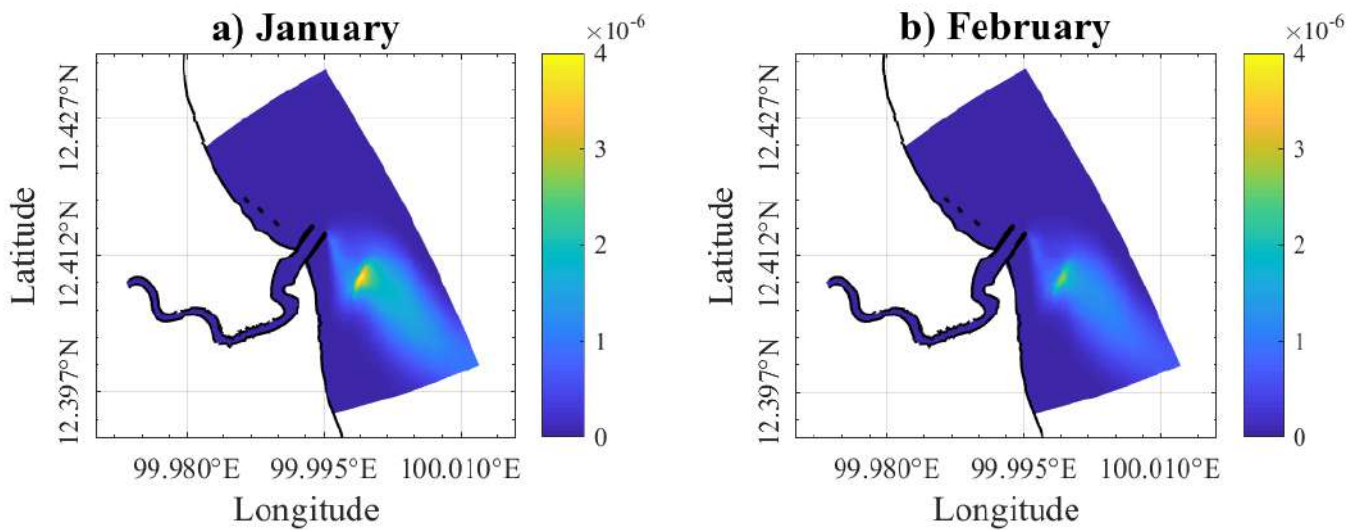


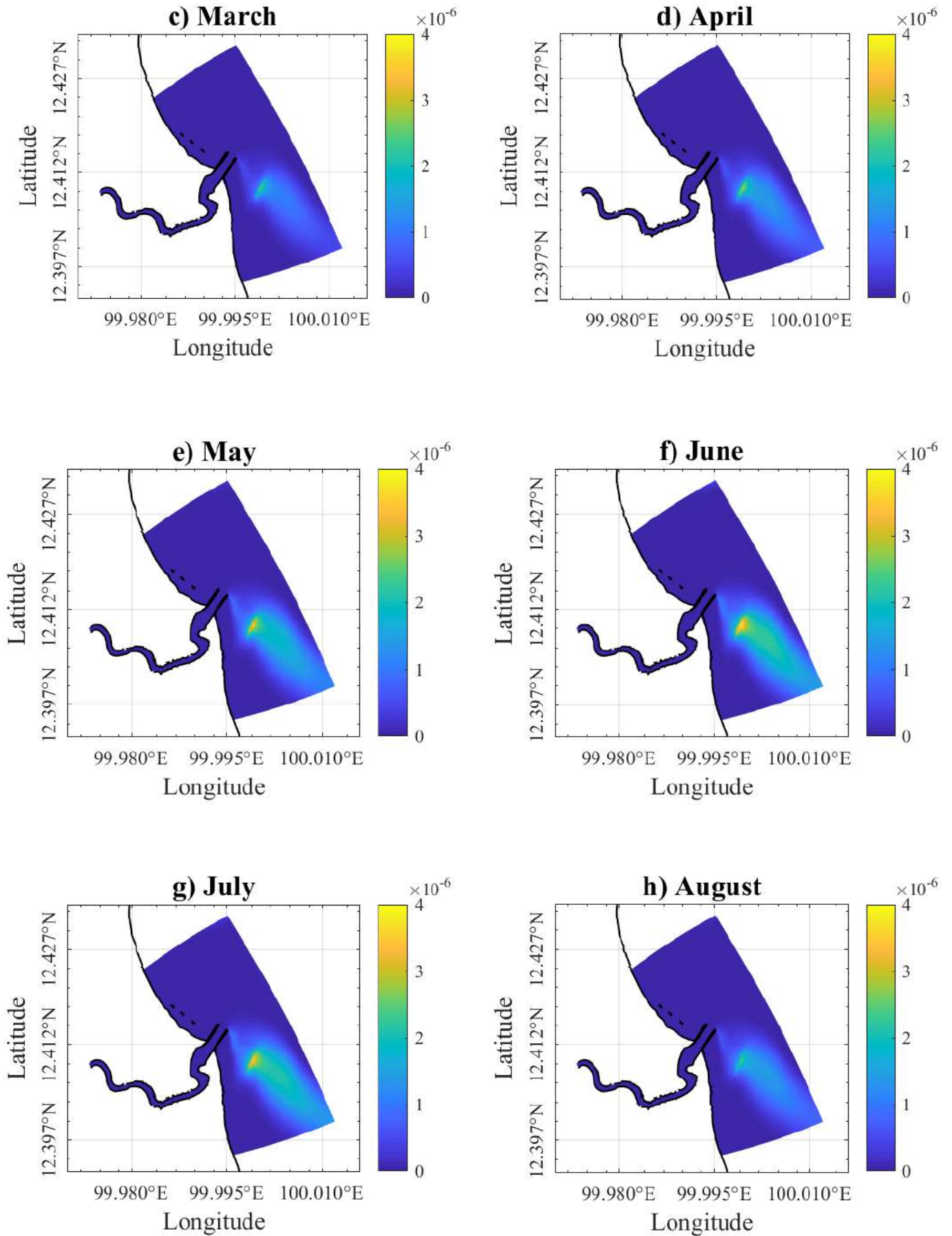


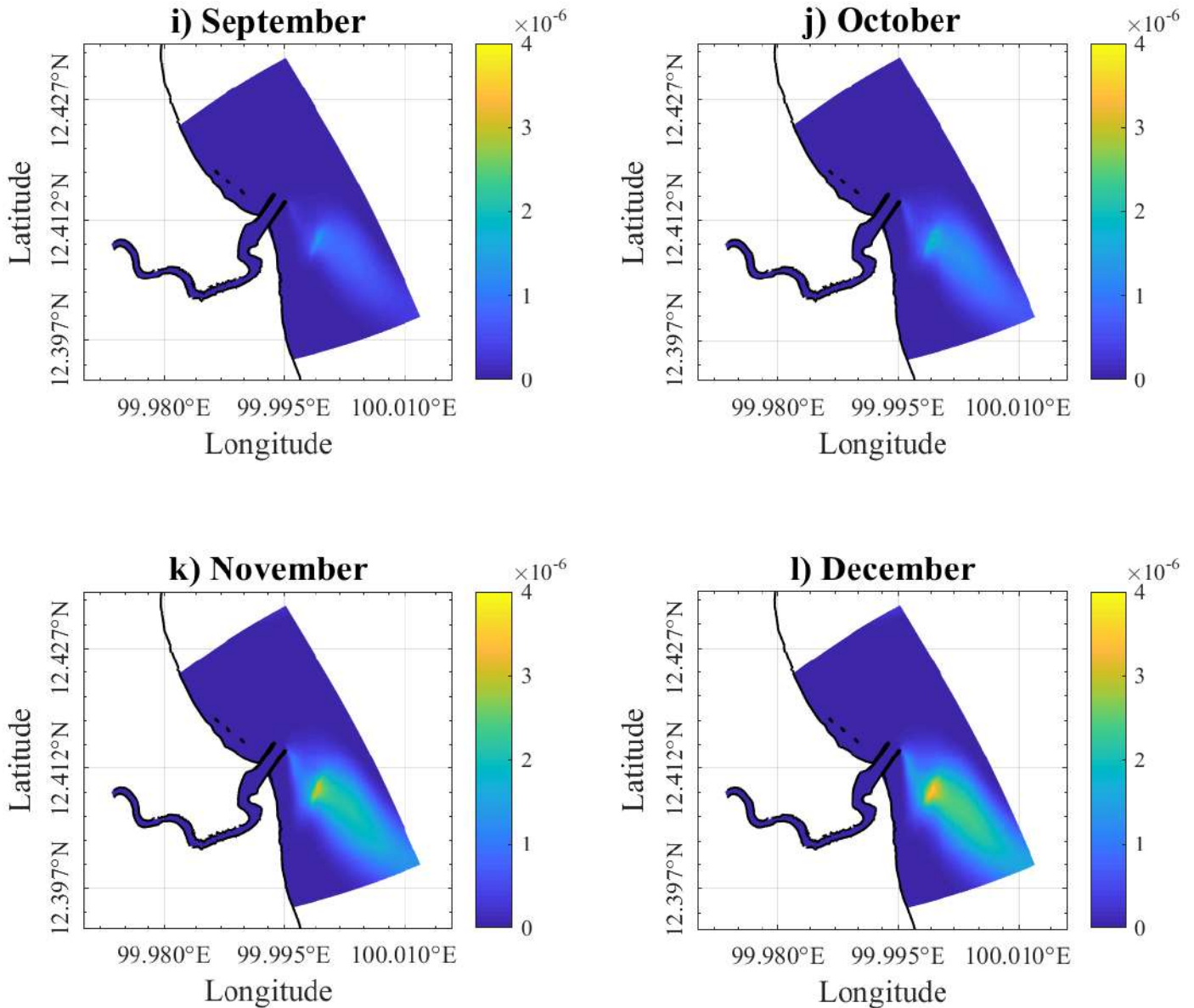
รูปที่ 4.21 Suspended Transport ของตะกอนดินเหนียวรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี เมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง

4.10.3 Total Transport (Sedimentation and Deposition)

Total Transport ของตะกอนที่ถูกพัดพามาตามกระแสน้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม คลื่น และน้ำท่าเป็นดังที่แสดงในรูปที่ 4.22 พบว่า ส่วนใหญ่ Total Transport จะเคลื่อนที่ไปทางตอนใต้ของ Jetties ซึ่งจะมีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นไปในรูปแบบเดียวกัน แต่จะมีปริมาณที่แตกต่างกันไปในแต่ละเดือน โดยที่ในช่วงเดือนธันวาคมจะมีปริมาณ Total Transport มากที่สุดประมาณ $4 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะมีปริมาณการสะสมตัวของตะกอนเช่นเดียวกับกรณีที่กำหนดให้น้ำขึ้นน้ำลงและกระแสลมเป็นแรงขับในหัวข้อที่ 4.8



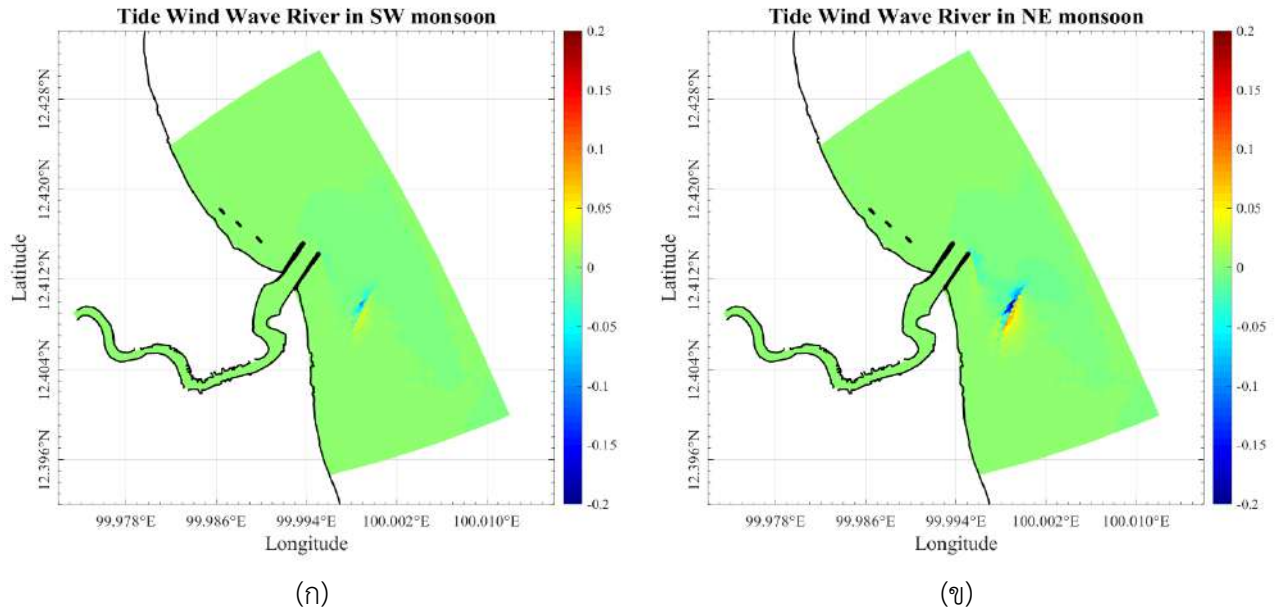




รูปที่ 4.22 Total Transport ของตะกอนดินเฉลี่ยรายเดือนบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี
เมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง

4.10.4 ลักษณะพื้นที่ท้องน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป

ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ท้องน้ำเมื่อมีกำหนดให้น้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม คลื่น และน้ำท่าเป็นอิทธิพลหลักเป็นดังที่แสดงในรูปที่ 23 พบว่า เมื่อมีการเพิ่มอิทธิพลของน้ำท่าเข้ามาจะทำให้เกิดการกัดเซาะและการสะสมตัวของตะกอนเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับกรณีที่กำหนดให้น้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม และคลื่นเป็นอิทธิพลหลักในหัวข้อที่ 4.8 แต่จะมีอัตราการกัดเซาะและการสะสมตัวลดลงทั้งในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการอิทธิพลของน้ำท่าที่เข้ามากระทำกับอิทธิพลของคลื่น จึงทำให้การเคลื่อนที่ของตะกอนเกิดได้น้อยลง



รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่น้ำเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม และคลื่น ในช่วง (ก) มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (นำค่าของเดือนมิถุนายนลบด้วยเดือนพฤษภาคม) และ (ข) มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (นำค่าของเดือนธันวาคมลบด้วยเดือนพฤศจิกายน)

บทที่ 5 สรุปผลศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาปัจจัยซึ่งมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ของน้ำบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ของน้ำที่เกิดขึ้นจะได้รับอิทธิพลหลักมาจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ คลื่น และน้ำท่า โดยที่ม่น้ำขึ้นน้ำลงเป็นอิทธิพลร่วม

จากการวิเคราะห์แบบจำลองทั้ง 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 กำหนดให้น้ำขึ้นน้ำลงและกระแสนเป็นแรงขับ กรณีที่ 2 กำหนดให้น้ำขึ้นน้ำลง กระแสน และคลื่นเป็นแรงขับ และกรณีที่ 3 กำหนดให้น้ำขึ้นน้ำลง กระแสน คลื่น และน้ำท่าเป็นแรงขับที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ของน้ำ พบว่า การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ของน้ำของทั้ง 3 กรณีเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งปัจจัยทั้ง 4 อย่าง มีผลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนดินทั้ง 3 ลักษณะ ได้แก่ Bed Load Transport, Suspended Transport, Total Transport จะมีเคลื่อนที่ไปทางตอนใต้ของ Jetties และมีลักษณะการกระจายตัวออกไปนอกพื้นที่ชายฝั่งทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษาโดยทั้ง 12 เดือนจะมีการเคลื่อนที่ของตะกอนเป็นไปในรูปแบบเดียวกัน แต่จะมีอัตราการสะสมตัวของตะกอนที่แตกต่างกันไปในแต่ละเดือน ซึ่งอัตราการสะสมตัวของตะกอนจะพบมากที่สุดในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และในช่วงนอกฤดูมรสุมจะมีการอัตราการสะสมตัวน้อยที่สุด

การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ของน้ำบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี ส่วนใหญ่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางตอนใต้ของพื้นที่การศึกษา โดยจะเกิดการกัดเซาะบริเวณปลาย Jetties และมีการสะสมตัวในบริเวณใกล้ชายฝั่งด้านข้าง Jetties ส่วนในบริเวณด้านนอกชายฝั่งจะเกิดทั้งการกัดเซาะและการทับถมตัวในบริเวณใกล้เคียงกัน และเมื่อมีการกำหนดค่า Morphological scale factor เพิ่มขึ้น จะพบการกัดเซาะบริเวณชายฝั่งทางตอนเหนือของพื้นที่ศึกษาขึ้น ซึ่งจะพบการเปลี่ยนแปลงของทั้ง 2 ฤดูมรสุมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ จะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมากกว่ามรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แต่จะมีอัตราการกัดเซาะและสะสมตัวแตกต่างกันโดยกรณีที่ 2 จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด รองลงมาคือกรณีที่ 3 และกรณีที่ 1 จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ซึ่งในอนาคตหากมีการนำโครงการนี้ไปศึกษาต่อควรที่จะกำหนดขอบเขตเปิดของอิทธิพลคลื่นในทิศเหนือและทิศใต้เพิ่มขึ้น เพื่อให้การเคลื่อนที่ของคลื่นมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

ออนไลน์

- เผชิญโชค จินตเศรษฐี,ประสาร อินทเจริญ,และ อนุกุล บรูณประทีปรัตน์. 2018. **ลักษณะกายภาพพื้นทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนใน**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:<http://science.buu.ac.th/ojs246/index.php/sci/article/viewFile/2109/2134> [24 มกราคม 2021]
- เผชิญโชค จินตเศรษฐี, และ อนุกุล บรูณประทีปรัตน์. 2012. **ความคลาดเคลื่อนของแผนที่พื้นมหาสมุทรทั่วไป (GEBCO1 และ ETOPO1) ในบริเวณอ่าวไทยตอนบน**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://science.buu.ac.th/ojs246/index.php/sci/article/viewFile/738/681> [24 มกราคม 2021]
- เผชิญโชค จินตเศรษฐี. 2013. **A Preliminary Study on a Discrepancy of the Bathymetric Data in the Gulf of Thailand**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:<http://science.buu.ac.th/ojs246/index.php/sci/article/download/681/626> [24 มกราคม 2021]
- เทศบาลตำบลปากแม่น้ำปราณ. 2015. **สภาพและข้อมูลพื้นฐาน**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.pnp.go.th/general1.php> [27 มกราคม 2021]
- ศูนย์ศึกษาเรียนรู้ระบบนิเวศป่าชายเลนสิรินาถราชินี. 2016. **ต้นน้ำ...ปลายน้ำ สายสัมพันธ์ที่ไม่อาจแยกขาด**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.facebook.com/SirinartCenter/posts/1042562455825584/> [27 มกราคม 2021]
- รัฐพล รุ่งโรจน์เจริญผล, สมปรารถนา ฤทธิ์พริ้ง. 2561. **Impacts of Jetty on Shoreline Change around Sakom River Mouth**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.ubu.ac.th/web/files_up/32f2016110317380328.pdf [28 มกราคม 2021]
- เทศบาลตำบลปากน้ำปราณ. 2010. **สภาพทั่วไปและข้อมูลพื้นฐานของเทศบาลตำบลปากน้ำปราณ**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.prachuapkhirikhan.go.th/data/T_pnp1.htm [26 มีนาคม 2021]
- Beach. 2019. **ปากแม่น้ำ**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://beachlover.net/%E0%B8%9B%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B9%81%E0%B8%A1%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3-estuary/> [26 มีนาคม 2021]
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2554. **น้ำขึ้น-น้ำลง**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://nstda.or.th/rural/public/100%20articles-stkc/71.pdf> [10 เมษายน 2021]

ปิตุพร พิมพาเพชร. 2564. **คุณสมบัติของคลื่น**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.marine.tmd.go.th/thai/oceanwave-thai.html> [10 เมษายน 2021]

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2559. **การเกิดคลื่น**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://noirneer.wordpress.com/wave/waveborn/> [10 เมษายน 2021]

ชาญชัย เลิศวิมลศักดิ์. 2553. **ลมมรสุมในประเทศไทย**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://sites.google.com/site/wwwwindwindcom/contact-me> [10 เมษายน 2021]

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2559. **อุทกศาสตร์ชายฝั่งทะเล**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://km.dmcr.go.th/th/c_59/s_246/d_1130 [10 เมษายน 2021]

ภาษาไทย

นิคม อ่อนสี และ ปราโมทย์ ไชจิสุภกร. 2553. **การประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลเวียนของกระแสน้ำบริเวณหาดขอม-หมู่เกาะทะเลใต้**. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับที่ 1, หน้า 1-25.

ปราโมทย์ ไชจิสุภกร, ทิวัตต์ ชูช่วย, และ จตุวิทย์ คุปตะสิน. 2019. **การกระจายของขนาดตะกอนพื้นผิวในอ่าวไทยตอนใน**. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปี ที่ 24 ฉบับที่ 3, หน้า 958-975.

ครองชัย หัตถา. 2014. **การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งทะเลบริเวณพื้นที่รอบ อ่าวปัตตานี**. วารสารวิชาการคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, หน้า 198-199.

สุรเชษฐ์ รวมธรรม, วิเชียร อินต๊ะเสน, วราภรณ์ จิตสุวรรณ. **การศึกษาการเปลี่ยนแปลงธรณีสัณฐานชายฝั่งทะเลจังหวัดระนอง**. พิมพ์ครั้งที่ 1. หน้า 1.

ไพฑูรย์ ปิยะปกรณ์. **พลวัตธรณีสัณฐานเนินทรายชายฝั่งทะเลอ่าวบางเบ็ด บ้านน้ำพุ จังหวัดชุมพร** (วิทยานิพนธ์ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2554) หน้า 1-3.

ภาษาอังกฤษ

Yingariyakul S. 2016. **The geomorphological change of channel at the mouth of Chak Mark canal, Rayong province**. Senior Project, Faculty of Science, Chulalongkorn University.

Liang, L. 2010. **A fundamental study of the morphological acceleration factor**. MSc thesis, Delft University of Technology.

Department of Mineral Resources. 2012. **Marine geology of the inner Gulf of Thailand**. Technical paper no. 9/2555. Geophysical and Geotechnical Survey. Department of Mineral Resources. Ministry of Natural Resources and Environment.

Phanomphongphaisarn N., Rukvichai C., Bidorn B. 2020. **Impacts of Long Jetties Construction on Shoreline Change at the Western Coast of the Gulf of Thailand.** (Research report). Bangkok: Chulalongkorn University.