

# 05

การประมาณค่าความขุ่นของน้ำ จากภาพถ่ายดาวเทียม SENTINEL-2 หลายช่วงเวลา เพื่อเพิ่มศักยภาพการประเมินคุณภาพน้ำ เพื่อการอุปโภคและบริโภค

**RETRIEVAL OF WATER TURBIDITY USING SENTINEL-2 IMAGE TIME SERIES TO ENHANCE WATER QUALITY ASSESSMENT FOR CONSUMPTION**

ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ <sup>a</sup>✉ ศิริลักษณ์ พุกษ์ปิตกุล และ วราทิพย์ บัวแก้ว<sup>a</sup>  
<sup>a</sup>สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

Teerawat Suwanlertcharoen <sup>a</sup>✉ Siriluk Prukpitikula and Varatip Buakaew<sup>a</sup>  
<sup>a</sup>Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization)

✉teerawat@gistda.or.th

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาขั้นตอนวิธีการ (algorithm) สำหรับการประมาณค่าความขุ่นของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2A และ Sentinel-2B โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวกับค่าความขุ่นจากสถานีวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติในช่วงเวลาเดียวกัน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม บริเวณแม่น้ำและปากแม่น้ำเจ้าพระยา ระหว่างวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2559 ถึง 28 ธันวาคม พ.ศ. 2561 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นต้นประกอบด้วย การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของชั้นบรรยากาศจากข้อมูลระดับ L1C ไปเป็นข้อมูลระดับ L2A ด้วยวิธี Sen2Cor ผลการศึกษาพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวจากภาพถ่ายดาวเทียมกับค่าความขุ่นของน้ำจากสถานีวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติของการประปานครหลวง ที่สถานีวัดบ้านแป้ง และสถานีสะพานพระนั่งเกล้า หลายช่วงเวลา โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.87 ซึ่งมีความสัมพันธ์กันสูงอย่างมีนัยสำคัญ ช่วงคลื่นที่นำมาใช้ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีการสำหรับประมาณค่าความขุ่นของน้ำประกอบด้วยข้อมูลช่วงคลื่นสีแดง สำหรับข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในประเมินและติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นเชิงพื้นที่ในแต่ละช่วงเวลา ทั้งนี้สามารถใช้ประเมินคุณภาพน้ำทางกายภาพเบื้องต้นก่อนเข้าสู่ระบบการผลิตน้ำประปา รวมถึงพื้นที่ที่อาจได้รับผลกระทบ เช่น การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นต้น ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ :** ความขุ่น แม่น้ำเจ้าพระยา ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 คุณภาพน้ำ การวิเคราะห์หลายช่วงเวลา

## Abstract

Objectives of this study is to develop an algorithm for estimating water turbidity from Sentinel-2A and Sentinel-2B satellite images by comparing with the surface reflectance and turbidity from an automatic water quality measurement station at the same time and to study the changes in water turbidity from Sentinel-2 satellite images at various times around the river and the Chao Phraya Delta between 18 December 2016 and 28 December 2018. The preliminary data analysis process consists of the atmospheric correction from L1C product data to L2A product data by using Sen2Cor method. The results showed that the relationship between surface reflectance of satellite images and turbidity values from the automatic water quality measurement stations of the Metropolitan Waterworks Authority at Wat Ban Paeng station and Phra Nang Klao Bridge station for several periods by analyzing Linear Regression which has a significant relationship with decision coefficient ( $R^2$ ) of 0.87. The red wavelengths (band 4) used in the development of the algorithm for estimating the turbidity of water. For changing the turbidity values of various periods from satellite, images can be used as a tool for evaluating and tracking the spatial turbidity changes in each period. This can be used to assess the primary physical water quality before entering the tap water production system including areas that may be affected, such as aquaculture, etc. in the study area efficiently.

**Key word :** Turbidity, Chao Phraya River, Sentinel-2, Water Quality, Time Series Analysis

## บทนำ

ความขุ่น (turbidity) เป็นพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่สำคัญ และเป็นตัวแทนที่เกี่ยวข้องกับความใสของน้ำ (Borok, 2014) ความขุ่นของน้ำเกิดจากอนุภาคสารแขวนลอยพวกสารอินทรีย์และของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์ แพลงก์ตอน และสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในน้ำ แหล่งน้ำที่มีความขุ่นสูงจะส่งผลให้มีการส่องผ่านของแสงน้อย ซึ่งโดยทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติไม่ควรมีความขุ่นเกิน 100 Nephelometric Turbidity Unit (NTU) เพราะจะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์และพืชน้ำ นอกจากนี้จะมีผลกระทบต่อระบบการผลิตน้ำประปาที่ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีในการกำจัดตะกอนของน้ำ (Pollution Control Department, 2005 and 2020) อนุภาคสารแขวนลอยที่ทำให้ น้ำขุ่น อาจมาจากน้ำไหลป่า น้ำไหลซึม น้ำชะล้าง ปรากฏการณ์ธรรมชาติ ฝุ่นละออง รวมถึงกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม เป็นต้น (Department of Health, 2015)

แม่น้ำเจ้าพระยา เป็นแม่น้ำสายหลักและเป็นแม่น้ำสายสำคัญของประเทศไทย โดยมีการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ ในด้านการอุปโภค-บริโภค การเกษตรกรรม การอุตสาหกรรม การประมง และรักษาระบบนิเวศทำนน้ำ ซึ่งในด้านคุณภาพน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาก็เป็นปัญหาที่มีความสำคัญ ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการระบายน้ำเสียจากแหล่งชุมชน น้ำเสียจากการทำการเกษตร และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Hydro and Agro Informatics Institute, 2012) ดังนั้นในการเฝ้าระวังและติดตามคุณภาพน้ำโดยเฉพาะพารามิเตอร์ความขุ่นจึงมีความสำคัญและ เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาสำหรับคุณภาพน้ำดิบที่นำไปใช้ในการผลิตน้ำประปา โดยการประเมินครหลวงได้กำหนด ความขุ่นน้ำดิบต้องไม่เกิน 250 NTU ซึ่งสามารถกำจัดโดยการตกตะกอนและกรอง ดังนั้นการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำดิบซึ่งเป็นแหล่งน้ำต้นทางก่อนเข้าสู่ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำหรือการผลิตน้ำประปา รวมถึงติดตามคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำบริเวณท้ายน้ำ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่อาจได้รับผลกระทบจากการพัดพาของมวลน้ำจืดและของ ตะกอนในแม่น้ำ เช่น การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งและในทะเล ในกรณีที่น้ำขุ่นมาก ทำให้ระบบหายใจและการกรองอาหารของสัตว์น้ำทำงานไม่ปกติ เป็นต้น จึงมีความสำคัญสำหรับการเฝ้าระวัง ติดตามและแจ้งเตือนคุณภาพ น้ำตั้งแต่พื้นที่ต้นน้ำถึงพื้นที่ท้ายน้ำในทะเลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปัจจุบันเทคนิควิธีการศึกษาข้อมูลคุณภาพน้ำจากข้อมูลการสำรวจระยะไกล สามารถใช้ในการประเมิน และติดตามพารามิเตอร์สำหรับคุณภาพน้ำได้ เช่น ปริมาณตะกอนแขวนลอย ความขุ่น ปริมาณคลอโรฟิลล์ในน้ำ และอุณหภูมิ เป็นต้น โดยเป็นข้อมูลที่สำคัญในการติดตามการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำ และใช้ในการ บริหารจัดการคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น (Ritchie, Zimba, & Everitt, 2003) และคุณสมบัติทางแสงสามารถประเมิน ความขุ่นได้จากข้อมูลที่ได้จากระยะไกล ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างและหลายช่วงเวลา โดยเปรียบเทียบกับวิธีการตรวจวัดแบบดั้งเดิม (Shen & Feng, 2018 as cited in Simis et al., 2007; Guttler et al., 2013)

การศึกษาค่าความขุ่นของน้ำจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในปัจจุบันมีความแพร่หลายมากยิ่งขึ้น จากการศึกษารายชื่อของ Quang, Sasaki, Higa & Huan (2017) ได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 ระบบ Operational Land Imager (OLI) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่หลายช่วงเวลาของค่าความขุ่น บริเวณ Cam Ranh Bay and Thuy Trieu Lagoon ในประเทศ เวียดนาม การศึกษาของ Shen & Feng (2018) ประยุกต์ใช้ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 ระบบ OLI เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการติดตามค่าความขุ่นของแม่น้ำ Hanjiang ในประเทศจีน และการศึกษาของ Constantin, Doxaran & Constantinescu (2016) ได้ใช้ภาพถ่าย ดาวเทียมระบบ MODIS ในการประมาณค่าความขุ่นของน้ำและการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่หลายช่วงเวลา บริเวณ ปากแม่น้ำ Danube ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาเหล่านี้ พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลค่าการสะท้อนแสงที่พื้น ผิวน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมกับข้อมูลจากการตรวจวัดมีความสัมพันธ์กัน และมีความถูกต้องสูง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (remote sensing) มาใช้ในการศึกษา ร่วมกับข้อมูลค่าความขุ่นจากสถานีวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและขั้นตอนวิธีการ สำหรับ



## การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย

1) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2A และ Sentinel-2B ระบบ Multi-Spectral Imager (MSI) ประกอบด้วย 13 ช่วงคลื่น (band) ครอบคลุมตั้งแต่ช่วงคลื่นมองเห็น (visible band) ถึงช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (shortwave infrared band) มีรายละเอียดจุดภาพเชิงพื้นที่ (spatial resolution) 10, 20 และ 60 เมตร ตามช่วงคลื่นต่างๆ และมีรอบการถ่ายภาพที่ตำแหน่งเดิมในรอบ 5 วัน สำหรับดาวเทียมทั้งสองดวง (European Space Agency, 2012) รายละเอียดดังตารางที่ 1 โดยในการศึกษานี้รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2A และ Sentinel-2B ระหว่างวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2559 ถึง 28 ธันวาคม พ.ศ. 2561 รวมทั้งหมด 46 ฉาก (scene) จากองค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency: ESA) โดยคัดเลือกภาพถ่ายดาวเทียมที่มีเมฆปกคลุมไม่เกินร้อยละ 30 (ESA, 2019) เพื่อให้ได้ข้อมูลในช่วงเวลาศึกษาได้ครบทั้งปีในช่วงปี 2560 และ 2561 สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงตามช่วงฤดูกาล และเป็นช่วงที่มีความสมบูรณ์และความต่อเนื่องของข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ ซึ่งรวบรวมข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกับที่มีการบันทึกภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2

2) ข้อมูลค่าความขุ่น รวบรวมข้อมูลค่าความขุ่น มีหน่วยเป็น NTU จากสถานีวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยา โครงการระบบเฝ้าระวังคุณภาพน้ำแบบ real time จากเว็บไซต์ <http://rwc.mwa.co.th/page/stats/> ของการประปานครหลวง โดยคัดเลือกและรวบรวมข้อมูลของสถานีวัดบ้านแป้ง อ.บางปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา และสถานีสะพานพระนั่งเกล้า อ.เมืองนนทบุรี จ.นนทบุรี เป็นตัวแทนในการศึกษา เนื่องจากมีความสมบูรณ์และความต่อเนื่องของข้อมูล ซึ่งรวบรวมข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกับที่มีการบันทึกภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อใช้สำหรับการพัฒนาขั้นตอนวิธีการสำหรับการประมาณค่าความขุ่นของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงจากสถานีตรวจวัดและค่าความขุ่นที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม

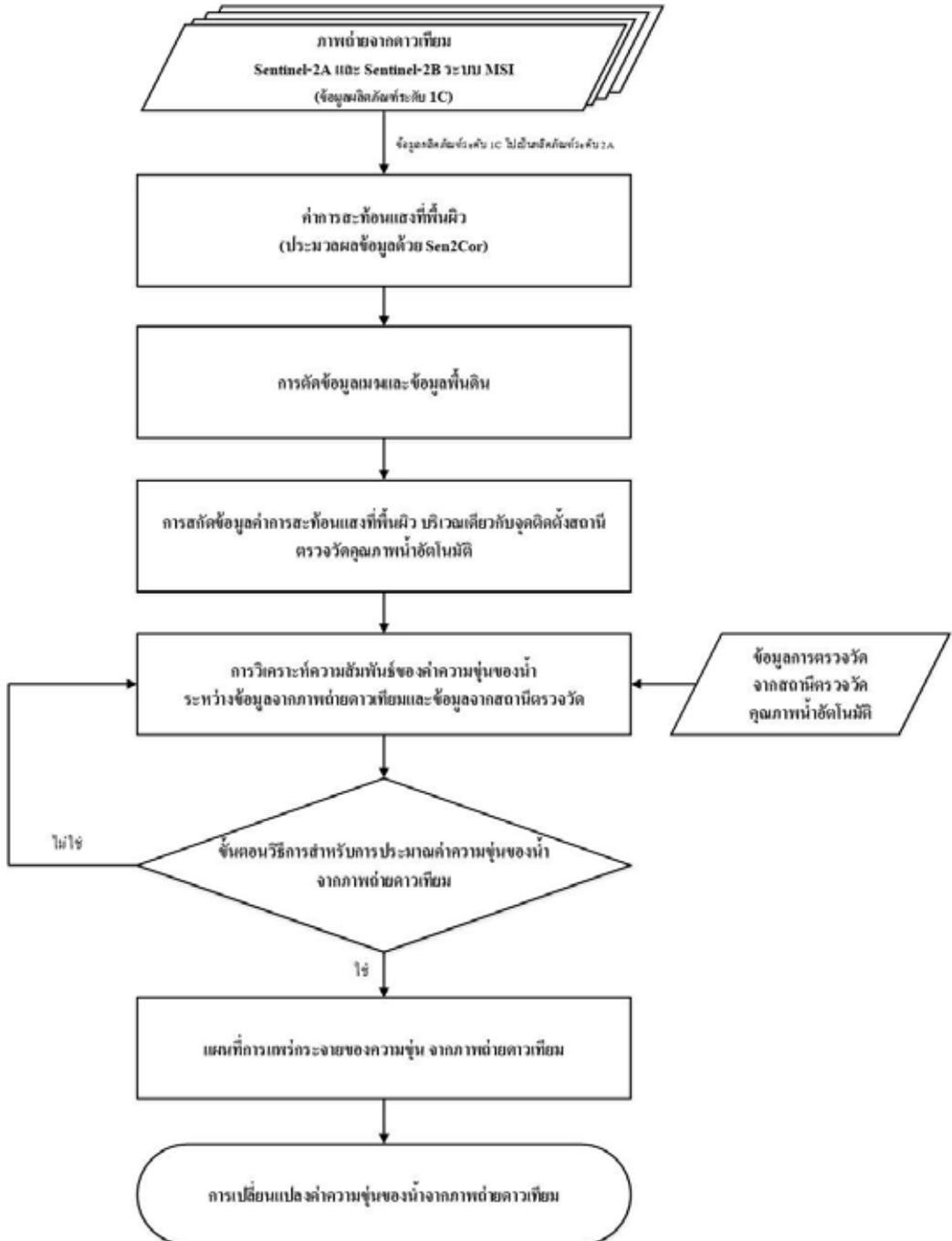
ตารางที่ 1 : ลักษณะช่วงคลื่นและรายละเอียดภาพของดาวเทียม Sentinel-2

Bands	Central wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Spatial resolution (m)
Band 1 – Coastal Aerosol	443	20	60
Band 2 – Blue	490	65	10
Band 3 – Green	560	35	10
Band 4 – Red	665	30	10
Band 5 – Vegetation Red Edge	705	15	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	740	15	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	783	20	20
Band 8 - NIR	842	115	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	865	20	20
Band 9 – Water Vapor	945	20	60
Band 10 – SWIR - Cirrus	1380	30	60
Band 11 – SWIR	1610	90	20
Band 12 – SWIR	2190	180	20

ที่มา : European Space Agency (2012)

## วิธีดำเนินการศึกษา

วิธีการดำเนินการศึกษา ประกอบด้วยขั้นตอนและกระบวนการศึกษาต่างๆ ดังภาพที่ 2 และมีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2 : ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

### การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล (Data pre-processing)

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงบรรยากาศ (atmospheric correction) จากผลิตภัณฑ์ข้อมูลระดับ L1C โดยข้อมูลในแต่ละช่วงคลื่นเป็นค่าการสะท้อนแสงที่เหนือชั้นบรรยากาศ (Top Of Atmosphere (TOA) reflectance) ไปเป็นข้อมูลผลิตภัณฑ์ระดับ L2A ได้ผลลัพธ์ของข้อมูลในแต่ละช่วงคลื่นเป็นค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิว (Bottom Of Atmosphere (BOA) reflectance) และกำหนดรายละเอียดข้อมูลภาพเท่ากับ 10 เมตรในแต่ละช่วงคลื่น ด้วยวิธีการประมวลผล Sen2Cor v2.5.5 ซึ่งติดตั้งและประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Sentinel Application Platform (SNAP) ในการวิเคราะห์ และมีขั้นตอนการประมวลผลภายในหน่วยประมวลผล ดังนี้

กระบวนการหลักของการประมวลผลข้อมูลจาก Sen2Cor จากข้อมูลระดับ L1C ประกอบด้วย การจำแนกข้อมูลเมฆ (cloud detection) และการจำแนกข้อมูลของซีนภาพถ่ายดาวเทียม (scene classification) ถัดจากนั้นการจำแนกความหนาของละอองลอย (aerosol optical thickness) และไอน้ำ (water vapor) และในขั้นตอนสุดท้าย คือ การแปลงค่าการสะท้อนแสงที่เหนือชั้นบรรยากาศ (TOA) ไปเป็นข้อมูลค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิว (BOA) (Louis et al., 2016)

### การประมวลผลข้อมูล (Data processing)

1) การตัดข้อมูลเมฆและข้อมูลพื้นดินจากภาพถ่ายดาวเทียม (cloud and land masking) เป็นกระบวนการนำข้อมูลการจำแนกข้อมูลเมฆ ซึ่งได้มีการจำแนกเป็นบริเวณที่มีความน่าจะเป็นเมฆในสูงและปานกลาง รวมถึงบริเวณที่เป็นเงาของเมฆ และข้อมูลที่เป็นพื้นดิน ที่วิเคราะห์ได้จากประมวลผล Sen2Cor มาทำการตัดข้อมูลออกในแต่ละช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียม ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นข้อมูลที่เป็นบริเวณพื้นน้ำเท่านั้นและปราศจากเมฆบดบัง เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิวและข้อมูลค่าความขุ่น จากสถานีวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติต่อไป

2) การสกัดข้อมูลค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิว (pixel extraction) ในแต่ละช่วงเวลาจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่มีการตัดข้อมูลเมฆและข้อมูลพื้นดินเรียบร้อยแล้ว โดยทำการสกัดข้อมูลค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิว ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยา โดยคัดเลือกและรวบรวมข้อมูลของสถานีวัดบ้านแป้ง อ.บางปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา และสถานีสะพานพระนั่งเกล้า อ.เมืองนนทบุรี จ.นนทบุรี เป็นตัวแทนในการศึกษา เนื่องจากมีความสมบูรณ์และความต่อเนื่องของข้อมูล ระหว่างวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2559 - 28 ธันวาคม พ.ศ. 2561

3) การพัฒนาขั้นตอนวิธีการสำหรับการประมาณค่าความขุ่นของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 โดยใช้หลักการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression) (Ritchie et al., 1974 & Ritchie et al., 2003) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิวจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของช่วงคลื่นต่างๆ กับข้อมูลค่าความขุ่นจากสถานีวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติในช่วงเวลาเดียวกัน โดยกำหนดค่าระดับค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และใช้ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (coefficient of determination: R<sup>2</sup>) เพื่อประเมินสมการที่จะใช้สำหรับการประมาณค่าความขุ่นของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม และการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยใช้ภาพการกระจายของข้อมูล (scatter plot) เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจและความถูกต้องของสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์

## การจัดทำแผนที่การแพร่กระจายของความชุ่มชื้น และการเปลี่ยนแปลงค่าความชุ่มชื้นของน้ำ จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

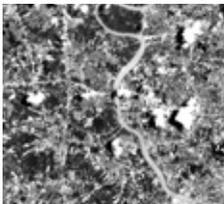
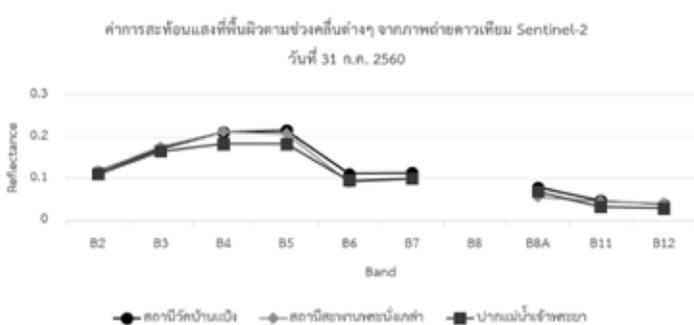
การจัดทำแผนที่การแพร่กระจายของความชุ่มชื้น และการเปลี่ยนแปลงค่าความชุ่มชื้นของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 บริเวณแม่น้ำและปากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยประยุกต์ขั้นตอนวิธีการที่ได้จากการศึกษา ระหว่างวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2559 ถึง 28 ธันวาคม พ.ศ. 2561 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ และเวลาของความชุ่มชื้นในแต่ละช่วงเวลา

## ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

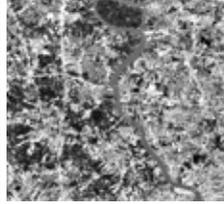
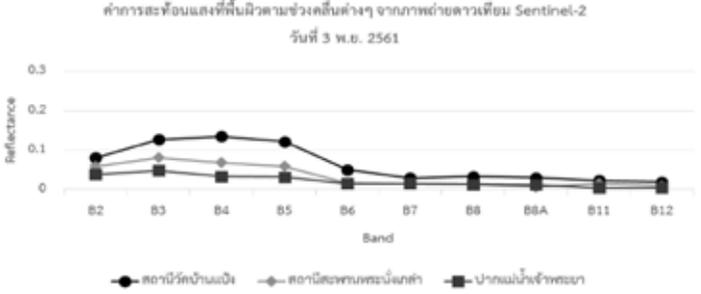
### การวิเคราะห์ลักษณะลายเซ็นเชิงคลื่นของพื้นผิวน้ำ

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงบรรยากาศ ได้เป็นข้อมูลค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิวในแต่ละช่วงคลื่น และผ่านกระบวนการตัดข้อมูลเมฆ เงามเมฆ และข้อมูลพื้นดินแล้ว นั้น นำไปวิเคราะห์ลักษณะลายเซ็นเชิงคลื่น (spectral signature) ในแต่ละช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อพิจารณาลักษณะมูลค่าการสะท้อนแสงที่ผิวน้ำที่แตกต่างกันในแต่ละความยาวช่วงคลื่น และทำการเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงที่ผิวน้ำในช่วงเวลาที่มีน้ำขุ่นมาก และช่วงที่น้ำขุ่นน้อย ในแต่ละบริเวณ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 : ตัวอย่างค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิวตามช่วงคลื่นต่างๆ จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในแต่ละบริเวณของวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 (ช่วงที่น้ำขุ่นมาก) และวันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 (ช่วงที่น้ำขุ่นน้อย)

วันที่	รายละเอียด	สถานีวัดบ้านเป็ง	สถานีสะพานพระนั่งเกล้า	ปากแม่น้ำเจ้าพระยา																																												
31 ก.ค. 2560 (ช่วงที่น้ำขุ่นมาก)	ภาพผสมสีจริง (แบนด์ 4-3-2 RGB)																																															
	Spectral Signature	<p>ค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิวตามช่วงคลื่นต่างๆ จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 วันที่ 31 ก.ค. 2560</p>  <table border="1"> <caption>Estimated Reflectance Values for 31 July 2017</caption> <thead> <tr> <th>Band</th> <th>สถานีวัดบ้านเป็ง</th> <th>สถานีสะพานพระนั่งเกล้า</th> <th>ปากแม่น้ำเจ้าพระยา</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>B2</td><td>0.11</td><td>0.11</td><td>0.11</td></tr> <tr><td>B3</td><td>0.17</td><td>0.17</td><td>0.17</td></tr> <tr><td>B4</td><td>0.21</td><td>0.21</td><td>0.21</td></tr> <tr><td>B5</td><td>0.21</td><td>0.21</td><td>0.21</td></tr> <tr><td>B6</td><td>0.10</td><td>0.10</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>B7</td><td>0.10</td><td>0.10</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>B8</td><td>0.05</td><td>0.05</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>B8A</td><td>0.05</td><td>0.05</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>B11</td><td>0.03</td><td>0.03</td><td>0.03</td></tr> <tr><td>B12</td><td>0.03</td><td>0.03</td><td>0.03</td></tr> </tbody> </table>			Band	สถานีวัดบ้านเป็ง	สถานีสะพานพระนั่งเกล้า	ปากแม่น้ำเจ้าพระยา	B2	0.11	0.11	0.11	B3	0.17	0.17	0.17	B4	0.21	0.21	0.21	B5	0.21	0.21	0.21	B6	0.10	0.10	0.10	B7	0.10	0.10	0.10	B8	0.05	0.05	0.05	B8A	0.05	0.05	0.05	B11	0.03	0.03	0.03	B12	0.03	0.03	0.03
Band	สถานีวัดบ้านเป็ง	สถานีสะพานพระนั่งเกล้า	ปากแม่น้ำเจ้าพระยา																																													
B2	0.11	0.11	0.11																																													
B3	0.17	0.17	0.17																																													
B4	0.21	0.21	0.21																																													
B5	0.21	0.21	0.21																																													
B6	0.10	0.10	0.10																																													
B7	0.10	0.10	0.10																																													
B8	0.05	0.05	0.05																																													
B8A	0.05	0.05	0.05																																													
B11	0.03	0.03	0.03																																													
B12	0.03	0.03	0.03																																													

**ตารางที่ 2 :** ตัวอย่างค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิวตามช่วงคลื่นต่างๆ จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในแต่ละบริเวณของวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 (ช่วงที่น้ำขุ่นมาก) และวันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 (ช่วงที่น้ำขุ่นน้อย)

วันที่	รายละเอียด	สถานีวัดบ้านเป็ง	สถานีสะพานพระนั่งเกล้า	ปากแม่น้ำเจ้าพระยา
3 พ.ย. 2561 (ช่วงที่น้ำขุ่นน้อย)	ภาพผสมสีจริง (แบนด์ 4-3-2 RGB)			
	Spectral Signature	<p>ค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิวตามช่วงคลื่นต่างๆ จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 วันที่ 3 พ.ย. 2561</p> 		

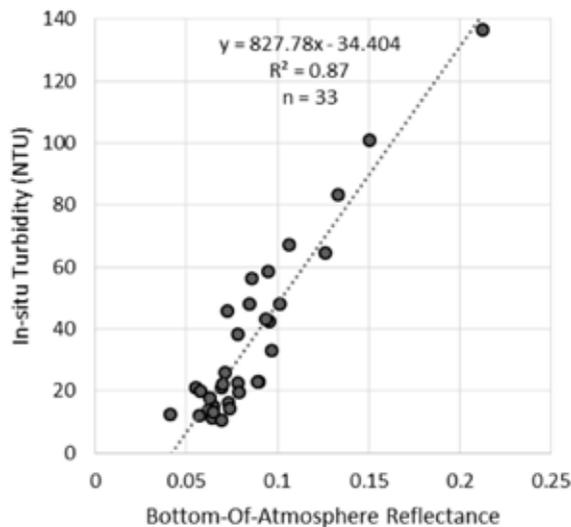
ผลการวิเคราะห์พบว่า ในช่วงเวลาที่มีน้ำขุ่นมากจะมีค่าการสะท้อนแสงที่ผิวน้ำในแต่ละความยาวช่วงคลื่นที่สูงกว่าค่าการสะท้อนแสงที่ผิวน้ำในช่วงเวลาที่มีน้ำขุ่นน้อยอย่างชัดเจน โดยในช่วงคลื่นสีแดง (band 4) และช่วงคลื่นขอบแดง (band 5) มีความแตกต่างของค่าการสะท้อนแสงที่ผิวน้ำในช่วงเวลาทั้งสองมากที่สุด แสดงถึงว่าในช่วงคลื่นนี้มีการสะท้อนแสงที่ผิวน้ำได้ดีกว่าในช่วงความยาวคลื่นอื่นๆ เมื่อมีลักษณะความขุ่นของน้ำที่แตกต่างกัน

## การพัฒนาขั้นตอนวิธีการสำหรับการประมาณค่าความขุ่นของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

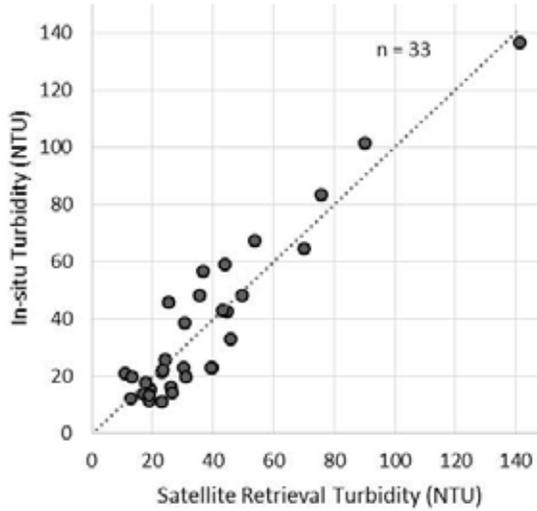
การพัฒนาขั้นตอนวิธีการสำหรับการประมาณค่าความขุ่นของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม ได้ประยุกต์หลักการของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิวจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของช่วงคลื่นต่างๆ กับข้อมูลค่าความขุ่นจากสถานีวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติในช่วงเวลาเดียวกัน จากการศึกษาค้นคว้า ในช่วงคลื่นสีแดง หรือแบนด์ 4 (band 4) ที่มีความยาวช่วงคลื่นระหว่าง 650-680 นาโนเมตร เป็นช่วงคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับมูลค่าความขุ่นจากสถานีตรวจวัดมากที่สุด โดยการพัฒนาขั้นตอนวิธีการสำหรับการประมาณค่าความขุ่นของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมในครั้งนี้ได้เลือกใช้แบนด์ 4 เป็นพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ และใช้กลุ่มตัวอย่างข้อมูล (observations) ทั้งหมด 33 ค่าที่ระดับค่าความเชื่อมั่นคือร้อยละ 95 ซึ่งพบว่าสมการที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.87 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error) เท่ากับ 10.47 โดยมีลักษณะการกระจายของข้อมูลเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ดังภาพที่ 3 และแสดงดังสมการที่ (1) สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

$$\text{Turbidity (NTU)} = 827.78 * R_{rs, B4} - 34.404 \quad (1)$$

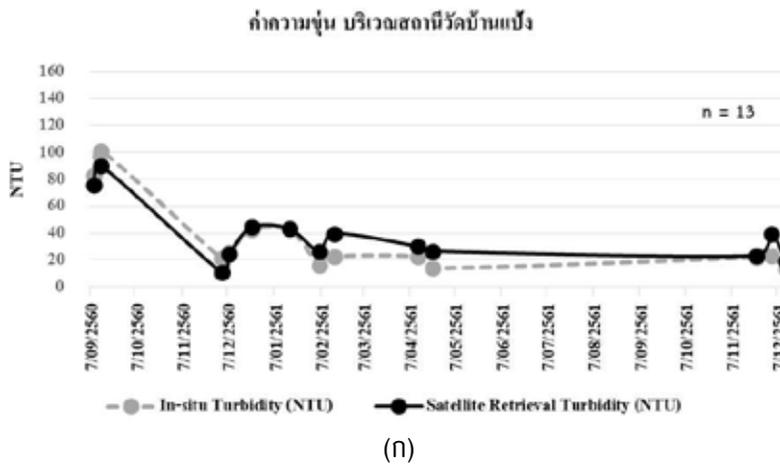
โดยที่  $R_{rs}(\lambda_{B4})$  คือ ค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิวของแบนด์ที่ 4 จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 จากสมการข้างต้นนำไปประยุกต์สำหรับการประมาณค่าความขุ่นของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กับข้อมูลตรวจวัด โดยมีภาพการกระจายของข้อมูล (scatter plot) แบบสัดส่วน 1:1 ดังภาพที่ 4 และกราฟเปรียบเทียบค่าความขุ่นที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมและจากสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติหลายช่วงเวลา บริเวณสถานีวัดบ้านแปง และบริเวณสถานีสะพานพระนั่งเกล้า ในแต่ละช่วงเวลา แสดงดังภาพที่ 5 โดยผลลัพธ์ที่ได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทิศทางเดียวกัน และข้อมูลมีความสอดคล้องกัน ทั้งนี้การพัฒนาขั้นตอนวิธีการสำหรับการประมาณค่าความขุ่นของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้นี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Quang, Sasaki, Higa & Huan (2017) ที่ศึกษาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นของค่าความขุ่นจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat - 8 ระบบ OLI โดยใช้ข้อมูลในช่วงคลื่นสีแดง หรือแบนด์ 4 เช่นเดียวกัน กับค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำ และมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจในระดับสูง ( $R^2$  เท่ากับ 0.84) รวมถึงข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนที่มีค่าความขุ่นสูงกว่าในช่วงฤดูแล้งอย่างชัดเจน



**ภาพที่ 3 :** กราฟการกระจายของข้อมูลและความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิวจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม กับข้อมูลค่าความขุ่นจากสถานีวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ



ภาพที่ 4 : กราฟการกระจายของข้อมูลค่าความขุ่นจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม กับข้อมูลค่าความขุ่นจากสถานีวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ



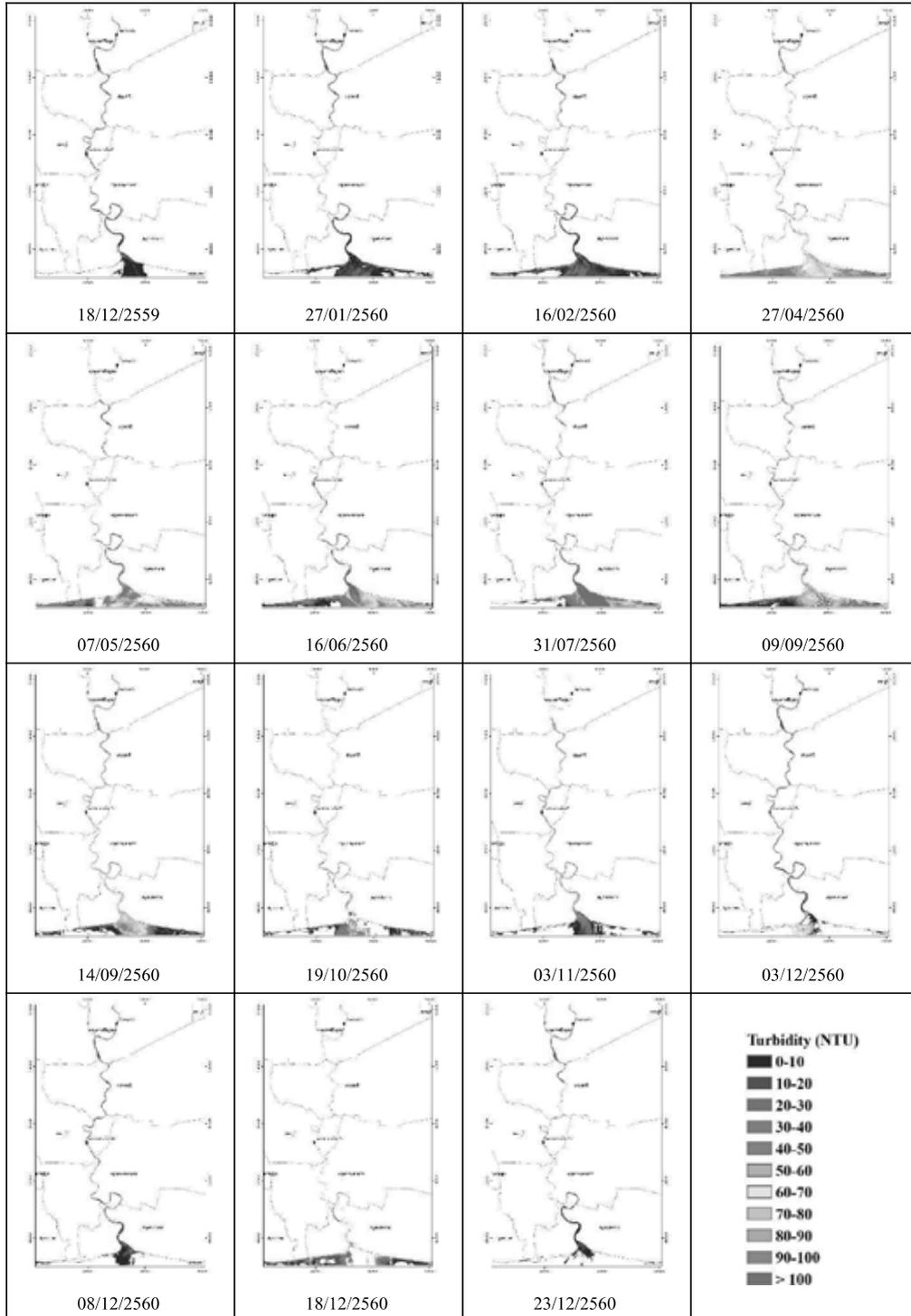
ภาพที่ 5 : กราฟเปรียบเทียบค่าความขุ่นที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมและจากสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติหลายช่วงเวลา บริเวณสถานีวัดบ้านเป็ง (ก) และบริเวณสถานีสะพานพระนั่งเกล้า (ข)

การประมาณค่าความขุ่นของน้ำ จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 หลายช่วงเวลา เพื่อเพิ่มศักยภาพการประเมินคุณภาพน้ำ เพื่อการอุปโภคและบริโภค

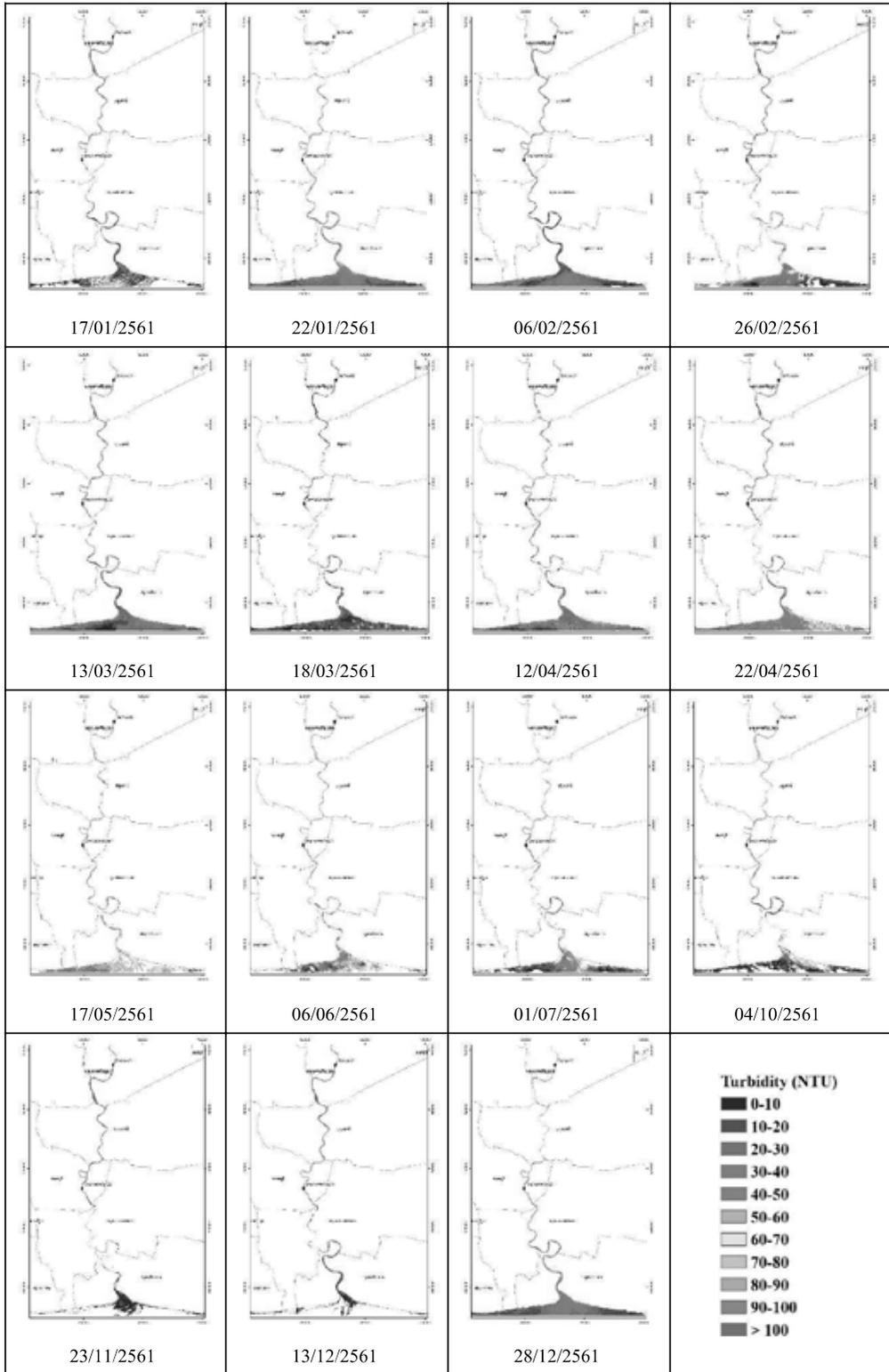
## การวิเคราะห์และประมาณค่าความขุ่นของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 หลายช่วงเวลา

การแพร่กระจายของความขุ่น (distribution of turbidity) ในแต่ละบริเวณที่วิเคราะห์และประมาณค่าความขุ่นของน้ำ จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 หลายช่วงเวลา ระหว่างวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2559 ถึง 28 ธันวาคม พ.ศ. 2561 โดยใช้สมการที่ 1 แสดงดังภาพที่ 6 และ ภาพที่ 7 ซึ่งพบว่าในช่วงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) บริเวณแม่น้ำและปากแม่น้ำเจ้าพระยามีค่าความขุ่นที่ไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับในช่วงฤดูน้ำหลาก (พ.ค.-ต.ค.) เนื่องจากในช่วงช่วงฤดูแล้งมีอัตราการไหลของน้ำและการพัดพาของตะกอนในแม่น้ำน้อย จึงทำให้มีค่าความขุ่นน้อยกว่าในช่วงฤดูน้ำหลากและหลังจากช่วงที่มีฝนตก จะมีอัตราการไหลของน้ำและการพัดพาของตะกอนในแม่น้ำในปริมาณมาก จึงทำให้มีค่าความขุ่นของน้ำสูงในช่วงเวลาดังกล่าว

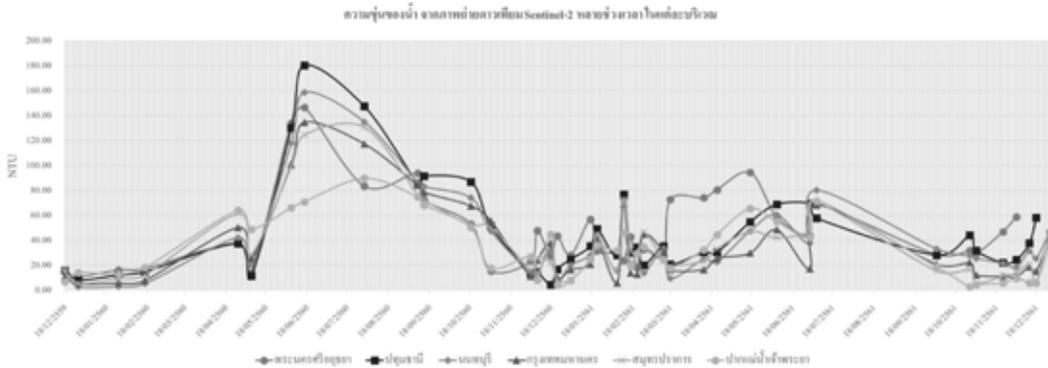
และเมื่อพิจารณาค่าความขุ่นของน้ำ จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 หลายช่วงเวลา ระหว่างวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2559 ถึง 28 ธันวาคม พ.ศ. 2561 ในแต่ละช่วงของแม่น้ำเจ้าพระยาที่ไหลผ่านจังหวัดต่างๆ แสดงดังภาพที่ 8 เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาในช่วงที่ดำเนินการศึกษา ดังภาพที่ 8 พบว่าในช่วงระหว่างวันที่ 6 มิถุนายน พ.ศ. 2560 ถึง 14 กันยายน พ.ศ. 2560 มีค่าความขุ่นเฉลี่ย มากกว่า 100 NTU ขึ้นไป โดยในช่วงวันที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2560 มีค่าความขุ่นเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 133.94 NTU และเมื่อพิจารณาค่าความขุ่นในแต่ละบริเวณ พบว่า ค่าความขุ่นเฉลี่ยของแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงที่ไหลผ่านจังหวัดปทุมธานี มีค่าความขุ่นมากที่สุด เท่ากับ 180.51 NTU รองลงมาได้แก่ ช่วงที่ไหลผ่านจังหวัดนนทบุรี พระนครศรีอยุธยา กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ และบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา มีค่าความขุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 158.78 146.82 134.81 124.54 และ 71.07 NTU ตามลำดับ ส่วนในช่วงวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2559 มีค่าความขุ่นเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 7.82 NTU และเมื่อพิจารณาค่าความขุ่นในแต่ละบริเวณ พบว่า ค่าความขุ่นเฉลี่ยของแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงที่ไหลออกบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา มีค่าความขุ่นมากที่สุด เท่ากับ 14.02 NTU รองลงมาได้แก่ ช่วงที่ไหลผ่านจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี สมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร และนนทบุรี มีค่าความขุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 10.92 8.34 5.52 5.14 และ 2.99 NTU ตามลำดับ ดังนั้นการติดตามตรวจสอบและเฝ้าระวังค่าความขุ่นของน้ำหลายช่วงเวลาจึงมีความสำคัญ ทำให้ทราบถึงสถานภาพของแหล่งน้ำในปัจจุบัน และคาดการณ์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อนำไปสู่การวางแผนและมาตรการในการแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำที่อาจส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์แหล่งน้ำผิวดินในด้านต่าง ๆ



ภาพที่ 6 : การแพร่กระจายของความขุ่น จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 หลายช่วงเวลา ระหว่างปี พ.ศ. 2560



ภาพที่ 7 : การแพร่กระจายของความขุ่น จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 หลายช่วงเวลา ระหว่างปี พ.ศ. 2561



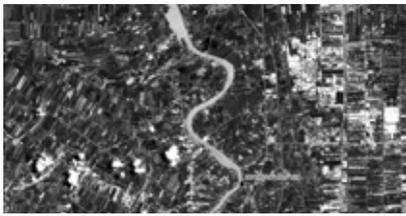
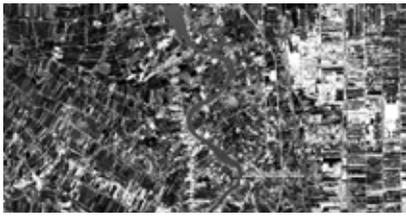
ภาพที่ 8 : กราฟแสดงค่าความขุ่นของน้ำ จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 หลายช่วงเวลา ในแต่ละบริเวณ

## การวิเคราะห์ค่าความขุ่นของแหล่งน้ำผิวดินเพื่อการอุปโภคและบริโภค และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

### ผลการวิเคราะห์ค่าความขุ่นของน้ำของแหล่งน้ำผิวดินเพื่อการผลิตน้ำประปา

แม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแหล่งน้ำดิบที่สำคัญสำหรับเพื่อการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวง โดยดำเนินการสูบน้ำที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล เพื่อลำเลียงน้ำสำหรับผลิตน้ำประปาที่โรงงานผลิตน้ำสามเสน โรงงานผลิตน้ำบางเขน และโรงงานผลิตน้ำธนบุรี การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าความขุ่นของน้ำก่อนนำเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาจึงมีความสำคัญ ซึ่งการวิเคราะห์ค่าความขุ่นจากภาพถ่ายดาวเทียม บริเวณอำเภอสามโคก จังหวัดปทุมธานี สามารถเห็นค่าความขุ่นของน้ำเชิงพื้นที่ ในบริเวณพื้นที่เหนือน้ำของน้ำดิบก่อนเข้าสู่สถานีสูบน้ำดิบสำแล ในแต่ละช่วงเวลาก็ได้ โดยในฤดูน้ำหลาก พบปัญหาคุณภาพน้ำที่มีค่าความขุ่นสูงมากกว่า 100 NTU เมื่อเปรียบเทียบกับในช่วงฤดูแล้งที่มีความขุ่นต่ำ แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 3 ดังนั้นจึงควรมีการติดตามและวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยเฉพาะค่าความขุ่นอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ เนื่องจากแหล่งน้ำดิบที่มีค่าความขุ่นที่สูงขึ้นโดยเฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลาก ต้องมีการพิจารณาคุณภาพของน้ำเมื่อนำมาใช้ในการผลิตน้ำประปา ผลกระทบที่เกิดขึ้นทำให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและการบำรุงรักษาที่มากขึ้น (Borok, 2014) และต้องมีการแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำดิบเพื่อลดความขุ่นของน้ำดิบในเบื้องต้นก่อน โดยการเติมสารสร้างตะกอนในช่วงต้น เช่น สารส้ม เป็นต้น

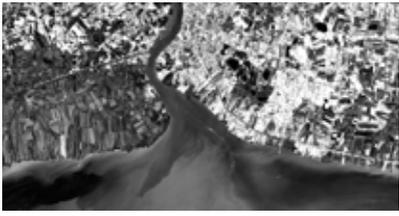
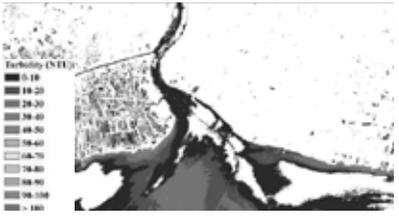
**ตารางที่ 3 : ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าความขุ่นของน้ำเพื่อการผลิตน้ำประปา**

วันที่	ภาพผสมสีจริง (แบบต์ 4-3-2 RGB)	ค่าความขุ่นของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม
31 ก.ค. 2560 (ช่วงที่น้ำขุ่นมาก)		
3 พ.ย. 2561 (ช่วงที่น้ำขุ่นน้อย)		

### ผลการวิเคราะห์ค่าความขุ่นของน้ำของแหล่งน้ำผิวดินเพื่อรักษาระบบนิเวศท้ายน้ำ และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การวิเคราะห์ค่าความขุ่นบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา และบริเวณชายฝั่งทะเลซึ่งเป็นพื้นที่ทำนํ้าคุณภาพน้ำของแม่น้ำที่ไหลมาในแต่ละช่วงเวลามีความสำคัญเพื่อรักษาระบบนิเวศท้ายน้ำ และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และยังเป็นพื้นที่ที่อาจได้รับผลกระทบจากการพัดพาของมวลน้ำจืดและของตะกอนในแม่น้ำ ความขุ่นของน้ำเป็นตัวที่กำหนดกำลังผลิตของแหล่งน้ำได้ เนื่องจากความขุ่นของน้ำเป็นตัวที่ควบคุมให้แสงที่ส่องผ่านลงสู่แหล่งน้ำ และความขุ่นของน้ำยังมีผลต่อการหายใจของสัตว์น้ำ เป็นต้น ผลจากการวิเคราะห์ค่าความขุ่นของน้ำโดยการเปรียบเทียบในแต่ละช่วงเวลา พบปัญหาคุณภาพน้ำที่มีค่าความขุ่นสูงในบางช่วงเวลามากกว่า 100 NTU ซึ่งโดยทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติไม่ควรมีค่าความขุ่นเกิน 100 NTU เมื่อเปรียบเทียบกับในช่วงฤดูแล้งที่มีความขุ่นต่ำ โดยแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 4 ดังนั้นเมื่อทราบการเปลี่ยนแปลงของความขุ่นของน้ำที่ไหลจากแม่น้ำออกสู่ทะเลที่เป็นพื้นที่ทำนํ้าแล้ว โดยอาจวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลกระแสน้ำเพื่อทราบทิศทางและความเร็วของน้ำ ซ้อนทับกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในทะเล จะทำให้สามารถคาดการณ์พื้นที่ที่อาจได้รับผลกระทบ และแจ้งเตือนไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องหรือผู้ทำการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ทันต่อเหตุการณ์

**ตารางที่ 4 :** ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าความขุ่นของน้ำบริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่งทะเล

วันที่	ภาพผสมสีจริง (แบบค 4-3-2 RGB)	ค่าความขุ่นของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม
31 ก.ค. 2560 (ช่วงที่น้ำขุ่นมาก)		
3 พ.ย. 2561 (ช่วงที่น้ำขุ่นน้อย)		

## สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการประมาณค่าความขุ่นของน้ำ จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 หลายช่วงเวลา บริเวณแม่น้ำและปากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยการพัฒนาขั้นตอนวิธีการสำหรับการประมาณค่าความขุ่นของน้ำ จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2A และ Sentinel-2B ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวกับค่าความขุ่นจากสถานีวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติในช่วงเวลาเดียวกัน รวมถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 หลายช่วงเวลา บริเวณแม่น้ำและปากแม่น้ำเจ้าพระยา ระหว่างวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2559 ถึง 28 ธันวาคม พ.ศ. 2561

ผลการศึกษาพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวจากภาพถ่ายดาวเทียมกับค่าความขุ่นจากสถานีวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติของการประปานครหลวง ที่สถานีวัดบ้านแป้ง และสถานีสะพานพระนั่งเกล้า หลายช่วงเวลา โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.87 ซึ่งมีความสัมพันธ์กันสูงอย่างมีนัยสำคัญ โดยนำช่วงคลื่นสีแดง (band 4) มาใช้ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีการ และนำไปประยุกต์ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นหลายช่วงเวลาจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยพบว่าในช่วงระหว่างวันที่ 6 มิถุนายน พ.ศ. 2560 ถึง 14 กันยายน พ.ศ. 2560 มีค่าความขุ่นเฉลี่ย มากกว่า 100 NTU ขึ้นไป และช่วงวันที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2560 มีค่าความขุ่นเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 133.94 NTU ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ระบบ MSI สามารถประยุกต์ในการประมาณค่าความขุ่นของน้ำ บริเวณแม่น้ำและปากแม่น้ำเจ้าพระยา เนื่องจากมีความถูกต้องของข้อมูลในระดับสูง ประกอบกับข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ให้รายละเอียดข้อมูลเชิงพื้นที่ และครอบคลุมที่ที่เหมาะสม สามารถนำไปใช้ในการติดตามคุณภาพน้ำได้เป็นอย่างดี สำหรับแนวทางการพัฒนาในอนาคตสามารถพัฒนาเป็นระบบติดตามคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติจากภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อเฝ้าระวัง ติดตามและแจ้งเตือนคุณภาพน้ำตั้งแต่พื้นที่ต้นน้ำถึงพื้นที่ท้ายน้ำในทะเลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าความขุ่นของน้ำของแหล่งน้ำผิวดินสำหรับการนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ โดยจำแนกเป็นการวิเคราะห์ค่าความขุ่นของน้ำของแหล่งน้ำผิวดินเพื่อการผลิตน้ำประปา ซึ่งการวิเคราะห์ค่าความขุ่นจากภาพถ่ายดาวเทียม บริเวณอำเภอสามโคก จังหวัดปทุมธานี สามารถเห็นค่าความขุ่นของน้ำเชิงพื้นที่ ในบริเวณพื้นที่เหนือน้ำของน้ำดิบก่อนเข้าสู่สถานีสูบน้ำดิบสำแล โดยในฤดูน้ำหลาก พบปัญหาคุณภาพน้ำด้านความขุ่นสูงมากกว่า 100 NTU เมื่อเปรียบเทียบกับในช่วงฤดูแล้งที่มีความขุ่นต่ำ และการวิเคราะห์ค่าความขุ่นของน้ำของแหล่งน้ำผิวดินเพื่อรักษาระบบนิเวศทำนน้ำ และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ พบปัญหาความขุ่นของน้ำที่เช่นเดียวกับบริเวณที่อยู่เหนือน้ำขึ้นไปในช่วงเวลาเดียวกัน

## เอกสารอ้างอิง

- Borok, A. (2014). Turbidity Technical Review: Summary of Sources, Effects, and Issues Related to Revising the Statewide Water Quality Standard for Turbidity. Oregon Department of Environmental Quality.
- Constantin, S., Doxaran, D., Constantinescu, S. (2016). Estimation of Water Turbidity and Analysis of Its Spatio-Temporal Variability in the Danube River Plume (Black Sea) Using MODIS Satellite Data. *Continental Shelf Research* 112, 14–30.
- Department of Health. (2015). *Water Pollution and Health Impacts* [In Thai]. Health Impact Assessment Division, Department of Health, Ministry of Public Health.
- European Space Agency. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. ESA Communications, Netherlands.
- European Space Agency. (2019). Copernicus Open Access Hub. Retrieved Feb 11, 2019, from <https://scihub.copernicus.eu/>
- Guttler, F.N., Niculescu, S., and Gohin, F. (2013). Turbidity Retrieval and Monitoring of Danube Delta Waters Using Multisensor Optical Remote Sensing Data: An Integrated View from the Delta Plain Lakes to the Western-Northwestern Black Sea Coastal Zone. *Remote Sens. Environ.* 132, 86.
- Hydro and Agro Informatics Institute. (2012). Data Warehouse System Development Project of 25 Basin and Flood and Drought Modeling [In Thai]. Retrieved May 13, 2020, from <http://www.thaiwater.net/web/attachments/25basins/10-chaopraya.pdf>
- Louis, J., Debaecker, V., Pflug, B., Main-Knorn, M., Bieniarz, J., Mueller-Wilm, U., Cadau, E., and Gascon, F. (2016). Sentinel-2 Sen2Cor: L2A Processor for Users. *Proc. 'Living Planet Symposium 2016', Prague, Czech Republic, 9–13 May 2016 (ESA SP-740, August 2016)*
- Pollution Control Department. (2005). Thailand State of Pollution Report 2005 [In Thai]. Pollution Control Department, Bangkok.
- Pollution Control Department. (2020). Water Quality and Water Pollution [In Thai]. Retrieved May 10, 2020, from [http://www.pcd.go.th/contact/FAQs\\_water.html](http://www.pcd.go.th/contact/FAQs_water.html)
- Quang, N.H., Sasaki, J., Higa, H. and Huan, N.H. (2017). Spatiotemporal Variation of Turbidity Based on Landsat 8 OLI in Cam Ranh Bay and Thuy Trieu Lagoon, Vietnam. *Water* 2017, 9, 570
- Ritchie, J.C., McHenry J.R., Schiebe F.R. and Wilson, R.B. (1974). The Relationship of Reflected Solar Radiation and the Concentration of Sediment in the Surface Water of Reservoirs. *Remote Sensing of Earth Resources Vol. III* (F. Shahrokhi, editor), The University of Tennessee Space Institute, Tullahoma, Tennessee, pp. 57–72.
- Ritchie, C.J., Zimba, V.P., Everitt, H.J. (2003). Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 69, 695–704.

- Shen, X. and Feng, Q. (2018). Statistical Model and Estimation of Inland Riverine Turbidity with Landsat 8 OLI Images: A Case Study. *Environmental Engineering Science. Volume: 35 Issue 2.*
- Simis, S.G.H., Ruiz-Verdu, A., Dominguez-Gomez, J.A., Pena-Martinez, R., Peters, S.W.M., and Gons, H.J. (2007). Influence of Phytoplankton Pigment Composition on Remote Sensing of Cyanobacterial Biomass. *Remote Sens. Environ.* 106, 414.