

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอและอุณหภูมิผิวน้ำทะเล บริเวณทะเลอ่าวไทยตอนในและตอนกลางจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ปี 2018-2024 Analyzing Chlorophyll-a Concentration and Sea Surface Temperature Changes in the Upper and Central Gulf of Thailand Based on Satellite Imagery Data during 2018-2024

นารทิป เพือกพงษ์ไสิ^{1*}, ณัฐธิกา หิเมพัทธสุวรรณ¹, เนรตา ปิ่นเนตรหาญ¹, อัครพงศ์ อ้นทอง² และ ศันสนีย์ หวังวรลักษณี¹

Naratip Pueakpongsai^{1*}, Nuttiga Hempattarasuwan¹, Nayrata Pinnetdharn¹,

Akarapong Untong² and Sansanee Wangvoralak¹

¹ภาควิชาการจัดการประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประเทศไทย

²คณะพัฒนาการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประเทศไทย

¹Department of Fishery Management, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Thailand

²School of Tourism Development, Maejo University, Thailand

Received : 25 July 2025, Received in revised form : 7 November 2025, Accepted : 7 November 2025

Available online : 18 November 2025

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : การเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมทางทะเล โดยเฉพาะอุณหภูมิผิวน้ำทะเล เป็นปัจจัยทางสมุทรศาสตร์ที่สำคัญเนื่องจากมีอิทธิพลต่อกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยาในทะเล ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการเจริญเติบโตและการกระจายตัวของแพลงก์ตอนพืชในทะเล บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเล บริเวณอ่าวไทยตอนในและตอนกลาง ในช่วงปี 2018 ถึงปี 2024 และตรวจสอบความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปร สารสนเทศที่ได้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการใช้เป็นแนวทางสำหรับประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในการประเมินความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศและการวางแผนจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทั้งในเชิงพื้นที่และเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย : ทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 25 กริด ครอบคลุมพื้นที่อ่าวไทยตอนบนและตอนกลาง ขนาดพื้นที่กริดละ 55x55 กิโลเมตร มีพื้นที่ศึกษา 57,949 ตารางกิโลเมตร ด้วยโปรแกรม ArcGIS Pro 3.3.0 แล้วรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่เป็นข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-3 ผลิตภัณฑ์ Ocean and Land Colour Instrument (OLCI) ระดับ 2 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากผลิตภัณฑ์ที่ประมวลผลปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศเรียบร้อยแล้ว และตั้งค่าก่อนดาวน์โหลดข้อมูลให้มีอัตราเมกซ์พิกเซลไม่เกินร้อยละ 20 และข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมจากชุดข้อมูล Group for High Resolution Sea Surface Temperature (GHRSSST) โดยดาวน์โหลดข้อมูลทั้งสองปัจจัยทุกสัปดาห์ตั้งแต่ ปี 2018-2024 และทำการการสกัดข้อมูลทั้งสองปัจจัยด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลดาวเทียม Sentinel Applications Platform (SNAP) เวอร์ชัน 10.0.0 และนำมาเฉลี่ยรายเดือน ก่อนนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในรอบปี โดยประยุกต์ใช้สถิติพรรณนา สำหรับการวิเคราะห์

ขนาดการกระจุกตัวในรอบปี ประยุกต์ใช้ค่าสัมประสิทธิ์จีนิ (Gini-coefficient) ตรวจสอบขนาดความเข้มข้นของความผันผวนในรอบปีของทั้งความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเล นอกจากนี้ ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลประยุกต์ใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman's Rank Correlation analysis)

ผลการวิจัย : ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ยรายเดือน มีความผันผวนในรอบปีแตกต่างกัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ยในช่วงปี 2018-2020 มีค่า 1.276 mg/m^3 ($SD = 0.514$) ส่วนหลังปี 2020 มีปริมาณและความผันผวนในรอบปีเพิ่มขึ้นเป็น 3.419 mg/m^3 ($SD = 1.616$) ขณะที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีความผันผวนในรอบปีน้อยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และมีแนวโน้มคงที่ โดยในช่วงปี 2018-2024 อุณหภูมิผิวน้ำทะเลไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบแผนความผันผวนในรอบปี (หรือ ความเป็นฤดูกาล) ผลการวิเคราะห์ขนาดการกระจุกตัวในรอบปีด้วยค่าสัมประสิทธิ์จีนิ พบว่า ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าสัมประสิทธิ์จีนิระหว่าง 0.18-0.31 ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ที่มีค่าสัมประสิทธิ์จีนิต่ำมาก คือ ระหว่าง 0.014-0.022 แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ มีการกระจุกตัวในบางเดือนสูงกว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเล หรืออาจกล่าวได้ว่า อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีความสม่ำเสมอในรอบปีมากกว่าความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ทั้ง 25 กริด พบว่าพื้นที่อ่าวไทยตอนบนบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัด สมุทรสงคราม และเพชรบุรี (กริดที่ 1) มีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ สูงเกือบตลอดทั้งปี เนื่องจากเป็นเขตทะเลค่อนข้างตื้น ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศสูง อีกทั้งยังได้รับอิทธิพลของน้ำจืดที่ไหลมาจากแม่น้ำแม่กลองและแม่น้ำเพชรบุรีลงสู่อ่าวบางตะนูน ก่อให้เกิดตะกอนและธาตุอาหารปริมาณมาก เหมาะต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช โดยเฉพาะช่วงเดือนเมษายนถึงกรกฎาคม ที่มีค่าเฉลี่ยมากกว่า 12.000 mg/m^3 ในช่วงปี 2018-2023 อุณหภูมิผิวน้ำทะเลส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษามีค่าเฉลี่ยในช่วง 29.000-30.000 องศาเซลเซียส ขณะที่ในปี 2024 อุณหภูมิผิวน้ำทะเลเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด คือ มากกว่า 30.000 องศาเซลเซียส บริเวณอ่าวไทยตอนกลาง ผลการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ตั้งแต่เดือนมกราคม 2018 ถึงธันวาคม 2024 พบว่า ทั้งสองมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผกผัน (หรือ ทิศทางตรงข้าม) ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($Z = -5.130, p < 0.05$) โดยมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ ($r_s = -0.076$) ทั้งนี้ เมื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนในช่วงปี 2018-2020 พบว่า มีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ และมีลักษณะแปรผกผันหรือในทิศทางตรงข้ามกันคือ เมื่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเลเพิ่มขึ้น น้ำชั้นบนจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าชั้นล่างจนเกิดการแยกชั้นส่งผลให้สารอาหารจากน้ำลึกไม่สามารถไหลเวียนขึ้นมาสู่ผิวน้ำได้เพียงพอ จึงจำกัดการเจริญของแพลงก์ตอนพืช และการผลิตขั้นต้นของระบบนิเวศทางทะเล และทำให้ค่าคลอโรฟิลล์ เอ ลดลง ($r_s = -0.051$) ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($Z = -2.325, p = 0.020$) ขณะที่ในช่วง ปี 2021-2024 ความสัมพันธ์ของทั้งสองยังคงมีลักษณะแปรผกผัน หรือเป็นไปในทิศทางตรงข้ามกัน ($r_s = -0.119$) แต่มีระดับความสัมพันธ์ลดลง และมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับ 0.05 ($Z = -3.129, p = 0.002$) ในทางตรงกันข้ามหากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลลดลงความหนาแน่นระหว่างชั้นน้ำจะลดลงเช่นกันทำให้สารอาหารสามารถถูกยกขึ้นสู่ผิวน้ำเกิดการผสมกันตามแนวตั้ง (Vertical mixing) และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ส่งผลให้แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้นและมีค่าคลอโรฟิลล์ เอ ที่สูงขึ้นตาม

สรุปผลการวิจัย : งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าในรอบ 12 เดือน ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ยรายเดือนมีความผันผวนในรอบปีแตกต่างกันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนอุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีความผันผวนในรอบปีน้อยเมื่อเทียบกับ ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และมีแนวโน้มคงที่ ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเล มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน (ทิศทางตรงข้าม) โดยมีความสัมพันธ์ระดับต่ำ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการประเมินพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็วและมีศักยภาพด้านการฟื้นฟูทรัพยากรประมงและแหล่งทำการประมง และยังสนับสนุนให้เห็นถึงประโยชน์ของการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการประเมินสภาวะทรัพยากรประมงหรือสถานการณ์สิ่งแวดล้อมทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา เพื่อสนับสนุนการวางแผนการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืนในอนาคต

คำสำคัญ : คลอโรฟิลล์ เอ ; เซนทิเนล 3 ; ภาพถ่ายดาวเทียม ; อ่าวไทยตอนในและตอนกลาง ; อุณหภูมิผิวน้ำทะเล

Abstract

Background and Objectives : Changes in the marine environment such as sea surface temperature (SST) can influence the physical, chemical, and biological processes of the sea and directly affect the growth and distribution of marine phytoplankton. This study analyzes the changes in the concentration of chlorophyll-a (Chl-a) and sea surface temperature in the inner and central Gulf of Thailand between 2018 and 2024 and aims to identify any relationship between them. This information can be beneficial in informing how satellite imagery data can be applied to assess the risk of climate change and to plan and manage marine and coastal resources more effectively, both spatially and temporally.

Methodology : The study area was divided into 25 grids to facilitate spatial analysis, covering the upper and central Gulf of Thailand by using ArcGIS Pro 3.3.0. Each grid was 55×55 kilometers. The total area of the 25 grids was 57,949 square kilometers. Chl-a concentration data was obtained by Sentinel-3 Ocean and Land Colour Instrument (OLCI) Level-2 products which had previously performed an atmospheric correction. Prior to downloading, data were filtered to include only images with cloud coverage not exceeding 20 percent. Additionally, SST data were obtained from satellite imagery provided by the Group for High Resolution Sea Surface Temperature (GHRSSST). Both Chl-a and SST datasets for the period of 2018-2024 were downloaded on a weekly basis and subsequently processed using Sentinel Applications Platform (SNAP) version 10.0.0. The datasets were aggregated into monthly means prior to analysis. Annual variations in chlorophyll-a concentration and SST were examined using descriptive statistics to assess the degree of seasonal clustering. The Gini coefficient was applied to quantify the extent of intra-annual variability in both chlorophyll-a concentration and SST. Furthermore, the relationship between chlorophyll-a concentration and SST was evaluated using Spearman's rank correlation analysis.

Main Results : The average monthly concentration of Chl-a fluctuated month-to-month throughout the year and tended to increase year over year. During 2018-2020, Chl-a averaged 1.276 mg/m³ (SD = 0.514) per month. After 2020, annual

Chl-a concentration increased to 3.419 mg/m^3 ($SD = 1.616$) per month. SST fluctuated less throughout the year than the Chl-a concentration and tended to be more stable year to year. During 2018-2024, there was no change in annual SST variability nor did there appear to be any seasonality. The annual concentrations of Chl-a were found to have a Gini coefficient between 0.18 and 0.31. This reflects that Chl-a content has a greater annual variability than SST which has much lower Gini coefficients ranging from 0.014 to 0.022. This also demonstrates that the amount of Chl-a was concentrated in some months higher than SST, and it shows the consistency of SST values throughout the year. The results of the spatial analysis of chlorophyll-a concentrations across all 25 grids revealed that the upper Gulf of Thailand, particularly the coastal areas of Samut Songkhram and Phetchaburi provinces (Grid 1), had a high Chl-a concentration nearly throughout the year because it is a coastal area with shallow water and high ecological abundance. It is also influenced by freshwater flowing from the Mae Klong and Phetchaburi rivers flowing into Bang Taboon Bay which can result in the deposit of a substantial amount of sediment and nutrients. Sediment and nutrients are conducive to phytoplankton growth, especially during April to July when the average Chl-a was more than 12.000 mg/m^3 . During 2018-2023, most SSTs were in the range of 29.000-30.000 degree Celsius, while in 2024, SST increased significantly to more than 30.000 degree Celsius in the central Gulf of Thailand. The relationship between Chl-a and SST from January 2018 to December 2024, were inversely related at a statistically significant level of 0.05 ($Z = -5.130$, $p < 0.05$), exhibiting a low significant relationship at ($r_s = -0.076$). In this regard, Spearman Rank Correlation was used to analyze the relationship between Chl-a concentration and SST during 2018-2020. It was found that they were inversely related at a statistically significant level of 0.05 ($Z = -2.325$, $P = 0.020$); increased SST reduce the density of the surface layer, enhancing thermal stratification. This stable stratification inhibits the vertical mixing and upwelling of nutrient-rich deep water to the sunlit surface layer. Consequently, the resulting nutrient limitation restricts phytoplankton growth and primary productivity exhibiting a low significant relationship at ($r_s = -0.051$) as SST increase, Chl-a concentration tends to decrease. In 2021-2024, they remained inversely related at ($r_s = -0.063$), reflecting a decreased relation level that is statistically significant level of 0.05 ($Z = -3.129$, $p = 0.002$). Conversely, a decrease in SST weakens the density gradient between the layers. This reduced stratification enhances vertical mixing, allowing nutrient-rich deep water to be transported to the surface. This nutrient enrichment (or *nutrient replenishment*) subsequently promotes phytoplankton growth leading to a corresponding increase in chlorophyll-a concentrations.

Conclusions : The results showed that during a given 12-month period, the monthly Chl-a average fluctuated throughout the year and tended to increase year-over-year. SST fluctuated less throughout a given year than the Chl-a concentration and tended to be more stable year-over-year during the time period that was subject to analysis. Chl-a concentration and SST had a low inverse relationship. The study results demonstrate the utility of applying satellite imagery data, particularly

to rapidly assess large fishery resource areas and fishing grounds with a potential for restoration. Application of satellite imagery can assist in assessing fisheries or environmental circumstances, both spatially and temporally, and support planning for sustainable resource use in the future.

Keywords : chlorophyll-a ; Sentinel-3 ; satellite imagery ; Upper and Central Gulf of Thailand ;
sea surface temperature

*Corresponding author. E-mail: naratip.pue@ku.th

Introduction

อ่าวไทยเป็นน่านน้ำสำคัญของประเทศไทยซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตกตอนกลาง (FAO Area 71) โดยในปี ค.ศ. 2022 พื้นที่มหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตกตอนกลางมีปริมาณสัตว์น้ำเค็มที่จับได้ทั้งหมด 13.7 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 17.3 ของปริมาณสัตว์น้ำเค็มที่จับได้ทั้งหมดของโลก (FAO, 2024) ทำให้เป็นพื้นที่ที่มีปริมาณการจับสัตว์น้ำเค็มมากเป็นอันดับสองของโลก ในส่วนของอ่าวไทยมีลักษณะเป็นพื้นที่ลาด ส่วนใหญ่เป็นดินปนทราย ยกเว้นบริเวณปากแม่น้ำที่เป็นหาดโคลนจากการสะสมตะกอน มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 44 เมตร บริเวณกลางอ่าวลึกที่สุดประมาณ 85 เมตร (National Geographic Committee (Thailand), 1984) นอกจากนี้ อ่าวไทยยังเป็นที่รองรับกิจกรรมทางเศรษฐกิจหลายด้าน เช่น การทำการประมง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การท่องเที่ยว การขนส่งทางน้ำ เป็นต้น รวมถึงเป็นระบบนิเวศที่สำคัญของสัตว์น้ำ เช่น เป็นเส้นทางอพยพของปลาทู ซึ่งมีแหล่งวางไข่ในพื้นที่อ่าวไทยตอนกลางบริเวณหมู่เกาะอ่างทอง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ก่อนจะอพยพไปยังพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ และเข้าสู่อ่าวไทยตอนใน (Mekasampan, 2020) การเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมทางทะเล โดยเฉพาะอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature: SST) เป็นปัจจัยทางสมุทรศาสตร์ที่สำคัญ เนื่องจากมีอิทธิพลต่อกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยาในทะเล ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการเจริญเติบโตและการกระจายตัวของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตและการกระจายของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศทะเล เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชเป็นผู้ผลิตขั้นต้นที่สำคัญในห่วงโซ่อาหาร มีบทบาทเป็นแหล่งพลังงานให้กับสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ (Wongrat, 1999) ปริมาณแพลงก์ตอนพืชสามารถประเมินจากค่าคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll-a) ซึ่งเป็นรงควัตถุหลักในการสังเคราะห์แสง โดยการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ สามารถคำนวณผ่านการวัดค่าการสะท้อนแสงหลายช่วงคลื่นจากผิวน้ำ ค่านี้สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำและแหล่งทำการประมงในแต่ละพื้นที่ตามลักษณะทางภูมิศาสตร์ (Thongjub & Chayakul, 2023) ปัจจุบันเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) มีบทบาทสำคัญในการติดตามและประเมินสภาวะสิ่งแวดล้อมทางทะเล โดยเฉพาะการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในเชิงพื้นที่และเชิงเวลาทดแทนการสำรวจภาคสนามที่อาจมีความล่าช้าภายใต้ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ (Buranapratheprat & Annyadamiksuk, 2013; Inthajaroen *et al.*, 2018) หนึ่งในดาวเทียมสำคัญที่ประยุกต์ใช้ศึกษาตรวจวัดค่าทางสมุทรศาสตร์คือ ดาวเทียม Sentinel-3 ภายใต้โครงการ Copernicus Programme ขององค์การอวกาศยุโรป European Space Agency (ESA) และองค์การยุโรปเพื่อการใช้ประโยชน์จากดาวเทียมอวกาศยุโรป (European Organisation for the Exploitation of

Meteorological Satellites : EUMETSAT) ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อเป็นเครื่องมือตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ด้านสมุทรศาสตร์บรรยากาศ และพื้นดิน อย่างเช่น วัดอุณหภูมิพื้นผิวทะเลและพื้นดิน (Sea and Land Surface Temperature Radiometer : SLSTR) และวัดสีของมหาสมุทรและพื้นดิน (Ocean and Land Colour Instrument : OLCI) เป็นต้น สำหรับการวัดสีของมหาสมุทรนิยมประยุกต์ใช้การประเมินคลอโรฟิลล์ เอ และสารแขวนลอยในน้ำ โดยใช้เซนเซอร์ OLCI ที่ระดับ 2 (Level-2) ที่มีความละเอียดภาพเชิงพื้นที่ 300 เมตร ซึ่งมีการพัฒนาให้สามารถปรับแก้ข้อมูลที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Correction) โดยอัตโนมัติ (EUMETSAT, 2021; European Space Agency, 2020) ส่วนการศึกษาข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่มีคุณภาพสูงสามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลจากชุดข้อมูล GHR SST (Group for High Resolution Sea Surface Temperature) Level 4 MUR SST v4.1 ที่พัฒนาโดยองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (National Aeronautics and Space Administration – Jet Propulsion Laboratory : NASA JPL) ซึ่งรวบรวมและประมวลผลข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากดาวเทียมหลายดวงและจากแหล่งข้อมูลอื่นๆ ทั่วโลก และใช้เทคนิค Multi-scale Ultrahigh Resolution (MUR) ผสานกับข้อมูลจากดาวเทียมหลายดวงร่วมกับข้อมูลภาคพื้นทำให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก และมีความต่อเนื่องทางเวลา ซึ่งเหมาะสำหรับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และเชิงเวลาทั้งแบบรายวันและรายเดือน หรือศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว (JPL MUR MEaSUREs Project, 2015)

การศึกษาเกี่ยวกับการติดตามและประเมินสิ่งแวดล้อมทางทะเลจากข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีความซับซ้อน ขณะเดียวกันข้อมูลสามารถแปรผันได้ตามพื้นที่และฤดูกาล ซึ่งโดยทั่วไปแล้วตัวแปรทั้งสองอาจมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผันตรงหรือแปรผกผัน (เชิงบวกหรือเชิงลบ) ขึ้นอยู่กับกระบวนการทางสมุทรศาสตร์และชีวภาพ ในพื้นที่นั้นๆ จากการศึกษาในอดีตเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ในอ่าวไทยตอนบน พบว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในลักษณะแปรผันตรง (หรือ ในเชิงบวก) ในช่วงที่ไม่มีลมมรสุม (เดือนมีนาคม-พฤษภาคม) และในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) ที่เป็นช่วงที่อากาศเย็นและแห้งจากจีนแผ่ลงมา โดยเมื่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงขึ้น (หรือ ลดลง) ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (หรือ ลดลง) ตาม ขณะที่ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนมิถุนายน-ตุลาคม) อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ กลับมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผกผัน หรือในทางตรงกันข้ามกับ (หรือ ในเชิงลบ) กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเลลดลง (หรือ เพิ่มขึ้น) ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ก็เพิ่มขึ้น (หรือ ลดลง) (Thongchub & Chayakul, 2023) นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับอัลกอริทึมของคลอโรฟิลล์ เอ จากดาวเทียม Sentinel-3 ที่บริเวณทะเลจังหวัดตราด ซึ่งยืนยันว่าข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมมีความแม่นยำเพียงพอที่สามารถใช้แทนการตรวจวัดจากภาคสนามโดยไม่ต้องปรับแก้อัลกอริทึมเพิ่มเติม (Thaipichitburapha *et al.*, 2024) และยังพบอีกว่า เมื่อนำข้อมูลคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเล มาวิเคราะห์ร่วมกันสามารถใช้บ่งชี้พื้นที่ที่เป็นไปได้ในการทำประมงที่ดี (Potential Fishing Zone: PFZs) (Solanki *et al.*, 2003)

แม้ว่าการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมจะมีการศึกษาเป็นจำนวนมาก แต่การศึกษานี้มุ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงปี 2018-2024 ที่มีความละเอียดรายเดือน และเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่แบบกริดทั้งการเปลี่ยนแปลงในรอบปี

และระหว่างปี รวมทั้งตรวจสอบความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรในพื้นที่อ่าวไทยตอนในและตอนกลาง ซึ่งเป็นพื้นที่อพยพของประชากรปลาหูฉลามทะเลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้อาจเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อทรัพยากรปลาทูทั้งหมดในเชิงพื้นที่และเวลาต่อไปในอนาคต

Methodology

วิธีดำเนินการวิจัยที่แสดงใน Figure 1 เป็นภาพรวมของขั้นตอนการดำเนินการที่มีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้

1. การจัดแบ่งพื้นที่ศึกษาโดยใช้โปรแกรม ArcGIS Pro 3.3.0 ในพื้นที่อ่าวไทยตอนบนและตอนกลางฝั่งตะวันตกครอบคลุมพื้นที่ 10 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี แบ่งออกเป็น 25 กริด มีขนาดพื้นที่กริดละ 55x55 กิโลเมตร จากนั้นได้ดำเนินการประมวลผลตัดพื้นที่ที่ทับกับแผ่นดินออก และคงเหลือเฉพาะพื้นที่ศึกษาในทะเลทั้งหมดประมาณ 57,949 ตารางกิโลเมตร ตามแผนที่แสดงการแบ่งเขตแหล่งทำประมงไทยในรายงานสถิติการประมงทะเลของกรมประมง (Sukdanon, 2017) ในระบบพิกัด UTM (Universal Transverse Mercator) โซน 47 P ตามระบบพิกัดมูลฐาน (Global Datum) WGS 84 (World Geodetic) ดัง Figure 2

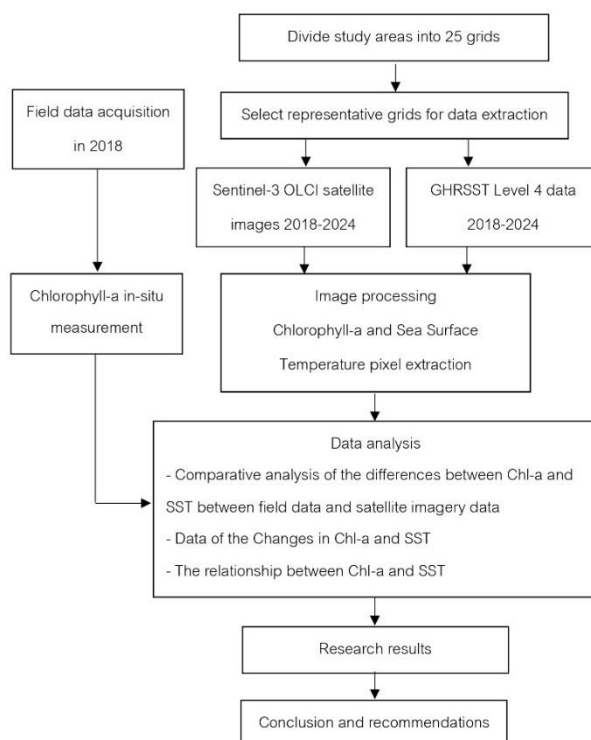


Figure 1 The Research Process

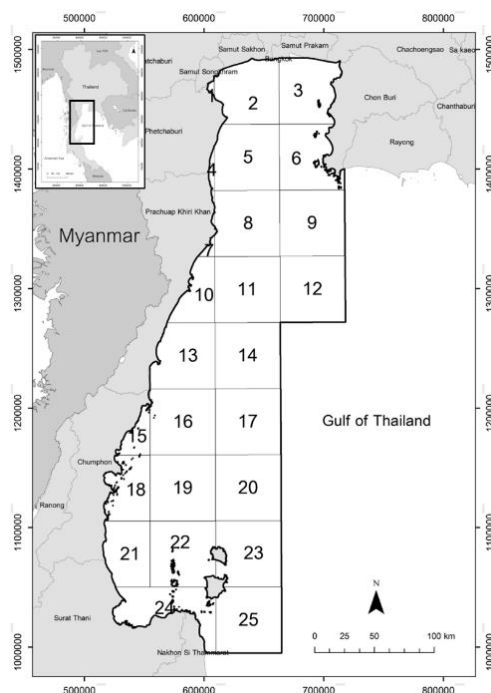


Figure 2 Study area in the Inner and Central Western Gulf of Thailand

2. การรวบรวมข้อมูลคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยข้อมูลคลอโรฟิลล์ เอ รวบรวมจากดาวเทียม Sentinel-3 โดยเลือกผลิตภัณฑ์ Ocean and Land Colour Instrument (OLCI) Level 2 Water Full Resolution (WFR) ซึ่งเป็นข้อมูลของ European Space Agency (ESA) ที่ได้ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศ และประมวลผลเบื้องต้นแล้ว โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network Algorithm) เพื่อคำนวณค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ (Band: CHL_NN) ดังนั้น ข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้จึงเป็นค่าที่ได้จากผลิตภัณฑ์ที่ประมวลผลเรียบร้อยแล้ว ตามที่ปรากฏในเว็บไซต์ <https://browser.dataspace.copernicus.eu/> โดยทำการตั้งค่าก่อนดาวน์โหลดข้อมูลให้มีอัตราเมฆปกคลุมไม่เกินร้อยละ 20 ในฤดูฝนที่มีเมฆหนาแน่น และดาวน์โหลดข้อมูลทุกสัปดาห์ตั้งแต่วันที่ 1 เดือนมกราคม ปี 2018 ถึงธันวาคม ปี 2024 รวม 84 เดือน ส่วนข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม เลือกใช้ภาพวันเดียวกับข้อมูลคลอโรฟิลล์ เอ โดยรวบรวมจากชุดข้อมูล GHRSSST Level 4 MUR ของ US NASA Jet Propulsion Laboratory Physical Oceanography Distributed Active Archive Center ภายใต้ NOAA National Centers for Environmental Information ผ่านเว็บไซต์ <https://search.earthdata.nasa.gov/search/> (Chin *et al.*, 2017) โดยเลือกพื้นที่จาก 25 กริดจากข้อที่ 1 มาเป็นพื้นที่ศึกษา โดยมีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 8,400 ชุดข้อมูล (1 ชุดข้อมูลประกอบด้วย ข้อมูลความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ และข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล)

3. การสกัดข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ทางภูมิสารสนเทศ Sentinel Applications Platform (SNAP) เวอร์ชัน 10.0.0 ที่พัฒนาโดย European Space Agency (ESA) ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลดังนี้

3.1 การสกัดข้อมูลคลอโรฟิลล์ เอ จากแถบเครื่องมือ Band CHL_NN (Algal Pigment Concentration, Neural Net) ซึ่งเป็นแถบข้อมูลที่คำนวณค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ โดยอ้างอิงจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network Algorithm) หลังจากนั้นทำการปรับแก้ภาพแผนที่โดยแปลงระบบพิกัด (Reprojection) ให้สอดคล้องกับระบบพิกัดภูมิศาสตร์มาตรฐานของพื้นที่ศึกษา และทำการสกัดข้อมูลให้ตรงกับขอบเขตพื้นที่ศึกษา โดยค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ที่ได้มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3) ซึ่งเป็นหน่วยมาตรฐานสำหรับการประเมินปริมาณชีวมวลของแพลงก์ตอนพืชที่ผิวน้ำทะเล

3.2 การสกัดข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature: SST) ซึ่งสกัดจากไฟล์ GHRSS.dim ที่รวบรวมมา หลังจากนั้นจะดำเนินการตามขั้นตอนเดียวกับข้อ 3.1 โดยค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่สกัดออกมาจะมีหน่วยเป็น องศาเคลวิน (K) และนำมาแปลงให้อยู่ในหน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) โดยใช้สมการ $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$

4. การวิเคราะห์ข้อมูล เริ่มจากการตรวจสอบความใกล้เคียงกันของข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมกับภาคสนาม ข้อมูลภาคสนามที่ได้จากการสำรวจของศูนย์พัฒนาการประมงแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Southeast Asian Fisheries Development Center : SEAFDEC) ปี 2018 จำนวน 11 ชุดข้อมูล เป็นตัวแทนช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และจากโครงการแนวทางการพัฒนาการประมงอวนลากในอ่าวไทยสู่ความยั่งยืนตามแนวปฏิบัติมาตรฐานสากล ในช่วงปี 2021-2023 จำนวน 37 ชุดข้อมูล เป็นตัวแทนช่วงนอกฤดูมรสุม และฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยทดสอบความแตกต่างระหว่างข้อมูล 2 ชุด ด้วย Wilcoxon Signed-Rank ซึ่งสถิติทดสอบนี้มีการแจกแจงเข้าสู่การแจกแจงแบบ Z ในกรณีที่ข้อมูลมีจำนวนมาก เนื่องจากข้อมูลไม่ได้มีการแจกแจงปกติ แล้วพิจารณาตัดสินใจ ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 หากพบว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ลำดับต่อมาจะทำการทดสอบอัตราความแตกต่างจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ด้วยสถิติทดสอบ t ในกรณีที่มีการแจกแจงปกติ

ส่วนการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมเป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในรอบปี หรือการวิเคราะห์ความเป็นฤดูกาล (Seasonality) ของข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม 2018 ถึงธันวาคม 2024 (รวม 84 เดือน) รวมถึงการวิเคราะห์ขนาดของการกระจุกตัวของข้อมูลในรอบปีด้วยค่าสัมประสิทธิ์จีนิ (Gini-coefficient) ที่เป็นวิธีการวัดความไม่เท่าเทียมกันในการกระจายตัวของคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในรอบปีอันเนื่องมาจากอิทธิพลฤดูกาล โดยสูตรการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์จีนิ (G) ที่ใช้ในบทความมีลักษณะดังนี้ (Tsitouras, 2004; Untong *et al.*, 2011)

$$G = \frac{n+1-2\sum_{i=1}^n iS_i}{n}$$

โดยที่	G	= ค่าสัมประสิทธิ์จีนี้
	i	= อันดับของสัดส่วนของเดือนที่ i
	S _i	= สัดส่วนคลอโรฟิลล์ เอ หรืออุณหภูมิผิวน้ำทะเลของเดือนที่ i
	n	= จำนวนเดือนในรอบปี (12 เดือน)

ค่าสัมประสิทธิ์จีนี้ที่คำนวณได้มีค่าระหว่าง 0 (ข้อมูลมีการกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอในทุกเดือน) ถึง

$\lim_{S \rightarrow 1} G \rightarrow (n-1)/n \approx 0.9167$ (ข้อมูลมีการกระจุกตัวสูงในช่วงเวลา) (Tsitouras, 2004) ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์จีนี้ที่

คำนวณได้จึงแสดงถึง ลักษณะความไม่สม่ำเสมอ (inequality) ของการกระจายตัวของข้อมูลคลอโรฟิลล์ เอ หรืออุณหภูมิผิวน้ำทะเลในรอบปี หรือแสดงถึงความผันผวนในรอบปีของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (หรือความเป็นฤดูกาล) ก่อนแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบกราฟ สำหรับการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม ปี 2018-2024 มาประยุกต์ใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman Rank Correlation) ทั้งนี้ เนื่องจากข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ

Results

1. ความสอดคล้องของข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากการสำรวจ และจากภาพถ่ายดาวเทียม

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าคลอโรฟิลล์ เอ ที่ระดับผิวน้ำจากการสำรวจกับจากภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงนอกฤดูมรสุม และฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พบว่า มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($Z = -1.874, p = 0.061$ และ $Z = 1.936, p = 0.053$) ในช่วงนอกฤดูมรสุม (มีนาคม-พฤษภาคม) ค่ามัธยฐานของคลอโรฟิลล์ เอ จากภาพถ่ายดาวเทียมมีค่า 2.979 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3) ขณะที่จากการสำรวจภาคสนามมีค่า $1.600 \text{ mg}/\text{m}^3$ ส่วนในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (มิถุนายน-ตุลาคม) ค่ามัธยฐานจากภาพถ่ายดาวเทียมมีค่า $1.860 \text{ mg}/\text{m}^3$ และจากการสำรวจภาคสนามมีค่า $4.630 \text{ mg}/\text{m}^3$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ จากภาพถ่ายดาวเทียมกับจากการสำรวจมีความสอดคล้องกัน

สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากการสำรวจกับจากภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงนอกฤดูมรสุม (มีนาคม-พฤษภาคม) และฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (มิถุนายน-ตุลาคม) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($Z = -3.408, p = 0.001, Z = -3.210, p = 0.001$) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาอัตราความแตกต่างค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมเทียบกับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากการสำรวจพบว่า มีค่าไม่เกินร้อยละ 3.0 ในช่วงนอกฤดูมรสุม ($t = 0.611, p = 0.551$) และไม่เกินร้อยละ 2.0 ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ($t = -0.040, p = 0.968$) ซึ่งหมายความว่าข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมมีความแตกต่างสัมพันธ์จากข้อมูลสำรวจจริงอยู่

ระหว่างร้อยละ 2.0-3.0 ดังนั้นเมื่อพิจารณาในภาพรวมจะเห็นได้ว่า ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมมีความสอดคล้องกับข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำจากการสำรวจภาคสนาม

2. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเวลา

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ยรายเดือน ในรอบปี (12 เดือน) พบว่า มีความผันผวนในรอบปีแตกต่างกัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (หรือ มีความเป็นฤดูกาลเพิ่มขึ้น) ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจาก Figure 3 พบว่าความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ในช่วงปี 2018-2020 และช่วงปี 2021-2024 มีปริมาณและความผันผวนในรอบปีเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ยของช่วงปี 2018-2020 มีค่า 1.276 mg/m^3 (SD = 0.514) เพิ่มขึ้นเป็น 3.419 mg/m^3 (SD = 1.616) ในช่วงปี 2021-2024 หรืออาจกล่าวได้ว่า หลังปี 2020 คลอโรฟิลล์ เอ มีปริมาณและความผันผวนในรอบปีเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ยในแต่ละเดือน ระหว่างปี 2018-2024 (Figure 4) พบว่า เดือนตุลาคม เป็นเดือนที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 3.017 mg/m^3 ส่วนเดือนเมษายนมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด คือ 1.873 mg/m^3

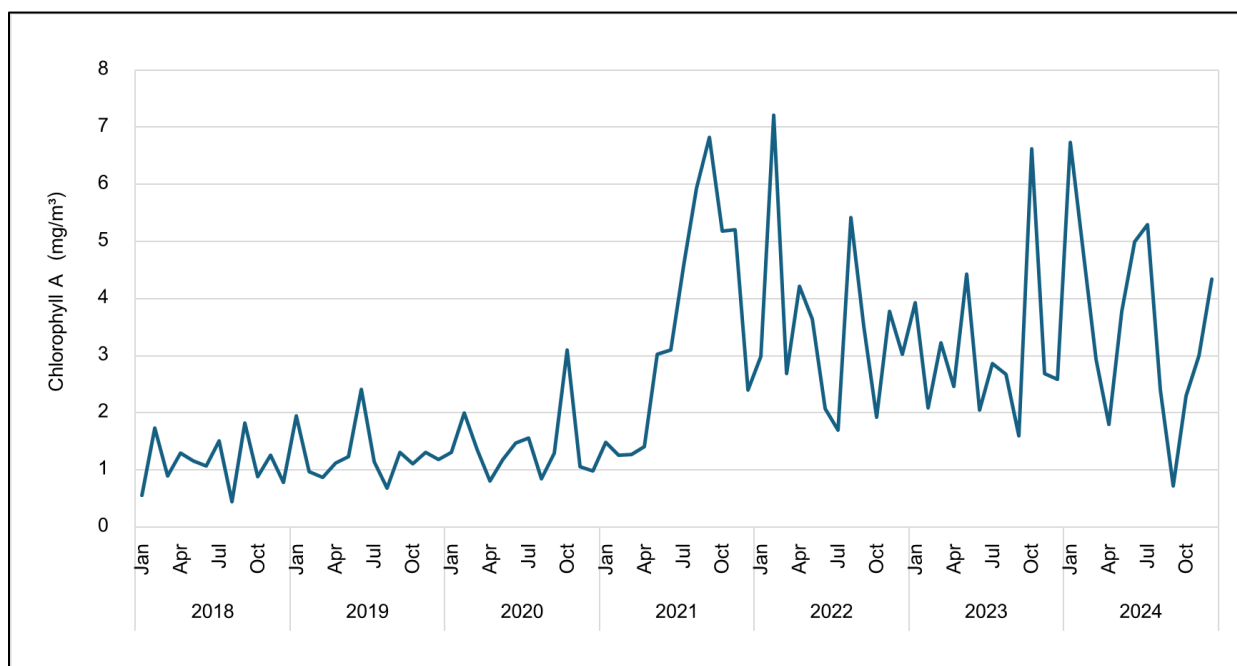


Figure 3 Monthly mean concentration of Chlorophyll-a in the study area between 2018-2024

(Source: Sentinel-3 satellite of European Union's Copernicus Programme)

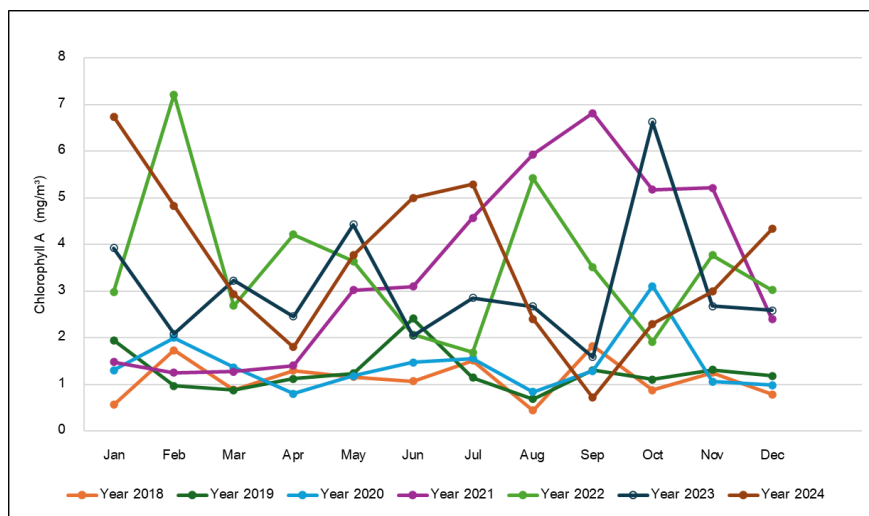


Figure 4 Inter-annual variability of monthly mean Chlorophyll-a in the study area from 2018 to 2024

(Source : Sentinel-3 satellite of European Union's Copernicus Programme)

สำหรับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงปี 2018-2024 มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 27.003-31.402 องศาเซลเซียส ซึ่งจาก Figure 5 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีความผันผวนในรอบปีน้อยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และมีแนวโน้มคงที่ หรืออาจกล่าวได้ว่า ในช่วงปี 2018-2024 อุณหภูมิผิวน้ำทะเลไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบแผนความผันผวนในรอบปี หรือความเป็นฤดูกาล ขณะที่ข้อมูลใน Figure 6 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยที่สูงกว่า 30 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วงเดือนเมษายน ถึงมิถุนายน (มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนพฤษภาคมที่ 31.034 องศาเซลเซียส) และหลังจากเดือนกรกฎาคม อุณหภูมิผิวน้ำทะเล มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนมกราคม ซึ่งเป็นเดือนที่มีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 27.888 องศาเซลเซียส

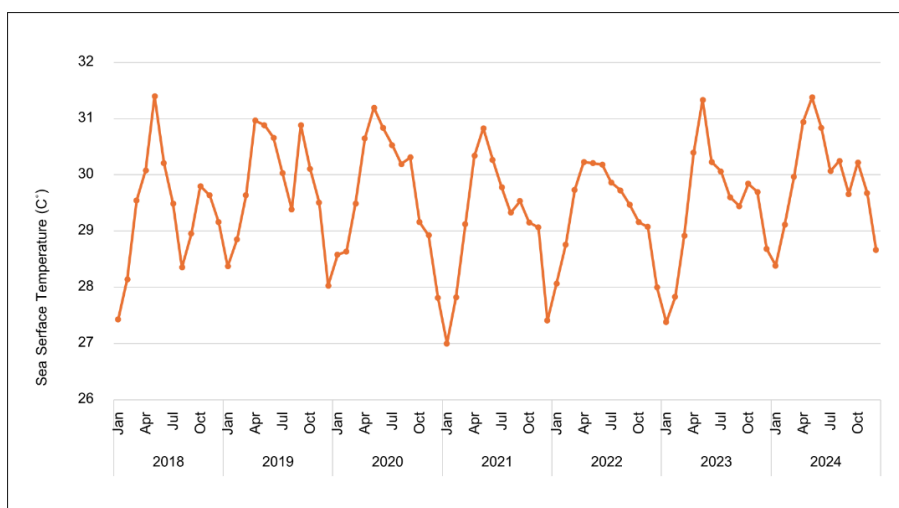


Figure 5 Average monthly Sea Surface Temperature between 2018-2024

(Source : GHRST Level 4 sea surface temperature analysis of NOAA National Centers for Environmental Information)

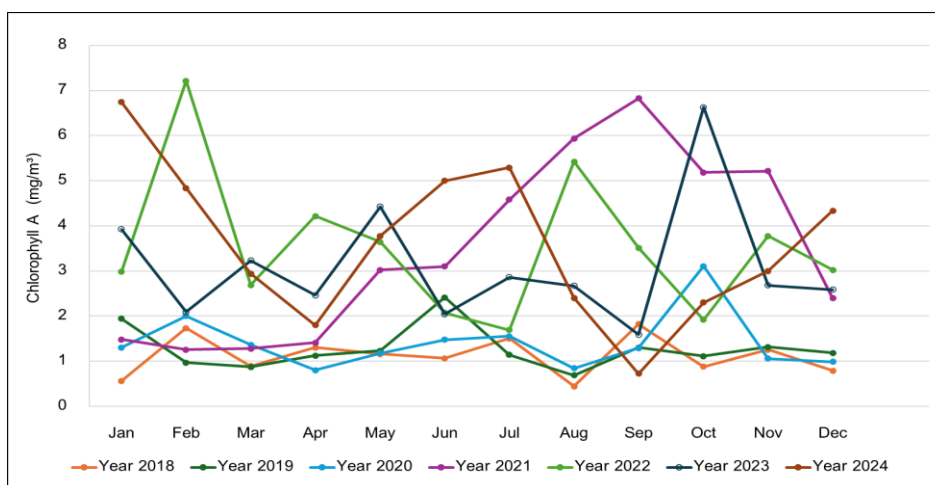


Figure 6 Monthly Sea Surface Temperature from 2018 to 2024

(Source : GHRST Level 4 sea surface temperature analysis of NOAA National Centers for Environmental Information)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่

เมื่อพิจารณาแบบแผนการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ รายเดือน ตั้งแต่ปี 2018-2024 ใน Figure 7 พบว่า มีเพียงเดือนมีนาคมและเมษายนเท่านั้นที่ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ยมีความแตกต่างกันน้อย และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ พบว่าการแพร่กระจายมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละพื้นที่และในแต่ละช่วงเวลาของปี โดยสามารถแบ่งการวิเคราะห์ตามพื้นที่ที่กำหนดบริเวณหลักจากพื้นที่ศึกษาพบว่า บริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนบน (กริด 1-6) มีความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ในพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ไม่เกิน 3.000 mg/m³ และมีความเข้มข้นสูงที่สุดในเดือนตุลาคม ในหลายพื้นที่ มีความเข้มข้นอยู่ที่ 3.001-6.000 mg/m³ และค่อย ๆ ลดลงและกลับมาสูงอีกครั้งในเดือนมิถุนายน และ (กริดที่ 1) พื้นที่บริเวณจังหวัดสมุทรสงคราม เพชรบุรี ที่มีค่าสูงที่สุดในช่วงเดือนเมษายนถึงกรกฎาคม โดยมีค่าเฉลี่ยมากกว่า 12.000 mg/m³ แต่โดยรวมบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนบนยังไม่พบการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลที่ชัดเจนนัก สำหรับพื้นที่อ่าวไทยตอนกลาง (กริด 8-9, 11-12, 14, 17, 19, 20) มีค่าความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ในระดับปานกลาง และแสดงให้เห็นถึงความผันแปรตามฤดูกาล โดยช่วงต้นปี (มีนาคม – กรกฎาคม) ความเข้มข้นของพื้นที่ส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง อยู่ในระดับ 3.001-6.000 mg/m³ และช่วงปลายปี (สิงหาคม - กันยายน) ความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งพบค่าความเข้มข้นสูงในระดับ 9.001-12.000 mg/m³ (สีเขียวเข้ม) และช่วงท้ายปี (ตุลาคม - ธันวาคม) ความเข้มข้นจะค่อย ๆ ลดระดับลงมาอยู่ที่ 3.001-6.000 mg/m³ อีกครั้ง และพื้นที่ตามแนวชายฝั่งของอ่าวไทยตอนกลาง (กริด 7, 10, 13, 15, 18, 21, 22-25) มีความผันผวนมากที่สุด รูปแบบการเปลี่ยนแปลงสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา คือช่วงเดือน (กุมภาพันธ์ - เมษายน) เป็นช่วงที่พบความเข้มข้นสูงสุดของปี โดยเฉพาะในเดือนกุมภาพันธ์ หลังจากนั้นความเข้มข้นจะลดระดับลงในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม และช่วงเดือน (สิงหาคม - กันยายน) โดยรวมความเข้มข้นกลับมาเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง แต่โดยรวมยังไม่เห็นเป็นรูปแบบที่ชัดเจนมากนัก Figure 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ รายปี ซึ่งเผยให้เห็นแนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวตั้งแต่ปี 2018-2024 พบว่า คลอโรฟิลล์ เอ มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่าง

เห็นได้ชัดในช่วงปี 2021-2024 ขณะที่ (กริดที่ 8) บริเวณทะเลชายฝั่งของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีความเข้มข้นความผันผวนที่เพิ่มขึ้น และตั้งแต่ปี 2021 เป็นต้น ทั้งอ่าวไทยตอนบน อ่าวไทยตอนกลางและพื้นที่แนวชายฝั่ง ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์เอชัดเจน มีความเข้มข้นกระจุกกระจายในหลายพื้นที่ และมีแนวโน้มพุ่งสูงขึ้นเมื่อเทียบกับปีก่อนหน้าและปีถัดมา โดยเฉพาะบริเวณอ่าวไทยตอนกลางที่ติดกับเขตพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก (กริดที่ 17 และ 20) และเมื่อพิจารณาร้อยละของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ เปรียบเทียบปี 2018 และปี 2024 พบว่าบริเวณอ่าวไทยตอนกลาง (กริดที่ 9 และ 20) มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ เพิ่มขึ้นกว่ากริดอื่นๆ ร้อยละ 55.5 และ 54.3 ตามลำดับ ขณะที่ (กริดที่ 8) พื้นที่ชายฝั่งบริเวณน่าน้ำจังหวัดประจวบคีรีขันธ์มีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงมากที่สุด ร้อยละ 10.5

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากชุดข้อมูล GHRST ในรอบเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม 2018 ถึงธันวาคม 2024 ซึ่งแสดงเป็นแผนที่ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ และใช้ค่าความเข้มของสีแทนระดับของอุณหภูมิ ในหน่วยองศาเซลเซียส จากภาพที่ 9 พบว่า อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงต้นปี (เดือนมกราคม-มีนาคม) มีค่าต่ำ คือ น้อยกว่า 30.000 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 30.000-32.000 องศาเซลเซียส ในช่วงเดือนเมษายน-กรกฎาคม และตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงเดือนธันวาคม อุณหภูมิผิวน้ำทะเลส่วนใหญ่ลดลงน้อยกว่า 30 องศาเซลเซียส ยกเว้น เดือนกันยายน ที่พบว่า (กริดที่ 25) พื้นที่อ่าวไทยตอนกลาง จะมีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ย 30.106 องศาเซลเซียส ส่วนในเดือนพฤษภาคม พบว่า อุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงมากกว่าเดือนอื่นๆ และพื้นที่อ่าวไทยทั้งตอนบนและตอนกลางส่วนใหญ่ (กริดที่ 1-9, 11, 12, 14, 17 และ 20-25) มีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยมากกว่า 31 องศาเซลเซียส หากพิจารณาเปรียบเทียบในลักษณะรายปีตลอดระยะเวลาตั้งแต่ปี 2018-2024 (Figure 10) พบว่า ในช่วงปี 2018-2023 อุณหภูมิผิวน้ำทะเลส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษามีค่าเฉลี่ยในช่วง 29.000-30.000 องศาเซลเซียส ขณะที่ในปี 2024 อุณหภูมิผิวน้ำทะเลเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด คือ มากกว่า 30.000 องศาเซลเซียส บริเวณอ่าวไทยตอนกลาง (กริดที่ 8, 12, 14, 17 และ 20-25)

ผลการวิเคราะห์ขนาดกระจุกตัวในรอบปีของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเล

ผลการวิเคราะห์ขนาดการกระจุกตัวในรอบปีด้วยค่าสัมประสิทธิ์จินี ตั้งแต่ปี 2018-2024 ที่แสดงใน Figure 11 พบว่า ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าสัมประสิทธิ์จินีระหว่าง 0.18-0.31 แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ มีระดับการกระจายตัวในรอบปีไม่สม่ำเสมอ หรืออาจกล่าวได้ว่า ในช่วงปี 2018-2024 อ่าวไทยมีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ที่มีความผันผวนในรอบปี (หรือ มีความเป็นฤดูกาล) แตกต่างกัน โดยในปี 2021 เป็นปีที่มีความผันผวนในรอบปีสูงกว่าปีอื่นๆ (มีค่าสัมประสิทธิ์จินีสูงสุดถึง 0.31) หรืออาจกล่าวได้ว่า ในปี 2021 พื้นที่อ่าวไทยที่เป็นพื้นที่ศึกษามีปริมาณคลอโรฟิลล์เอกระจุกตัวอยู่ในเดือนใดเดือนหนึ่งสูงกว่าปีอื่น (กระจุกตัวอยู่ในเดือนกันยายน) ทั้งนี้เมื่อเทียบกับอุณหภูมิผิวน้ำทะเล พบว่า ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์เอมีความผันผวนในรอบปีมากกว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเล โดยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีค่าสัมประสิทธิ์จินีต่ำมาก โดยมีค่าระหว่าง 0.014-0.022 นอกจากจะมีความผันผวนในรอบปีต่ำแล้ว ยังมีความสม่ำเสมอของความผันผวนในรอบปีตลอดช่วงที่ศึกษา

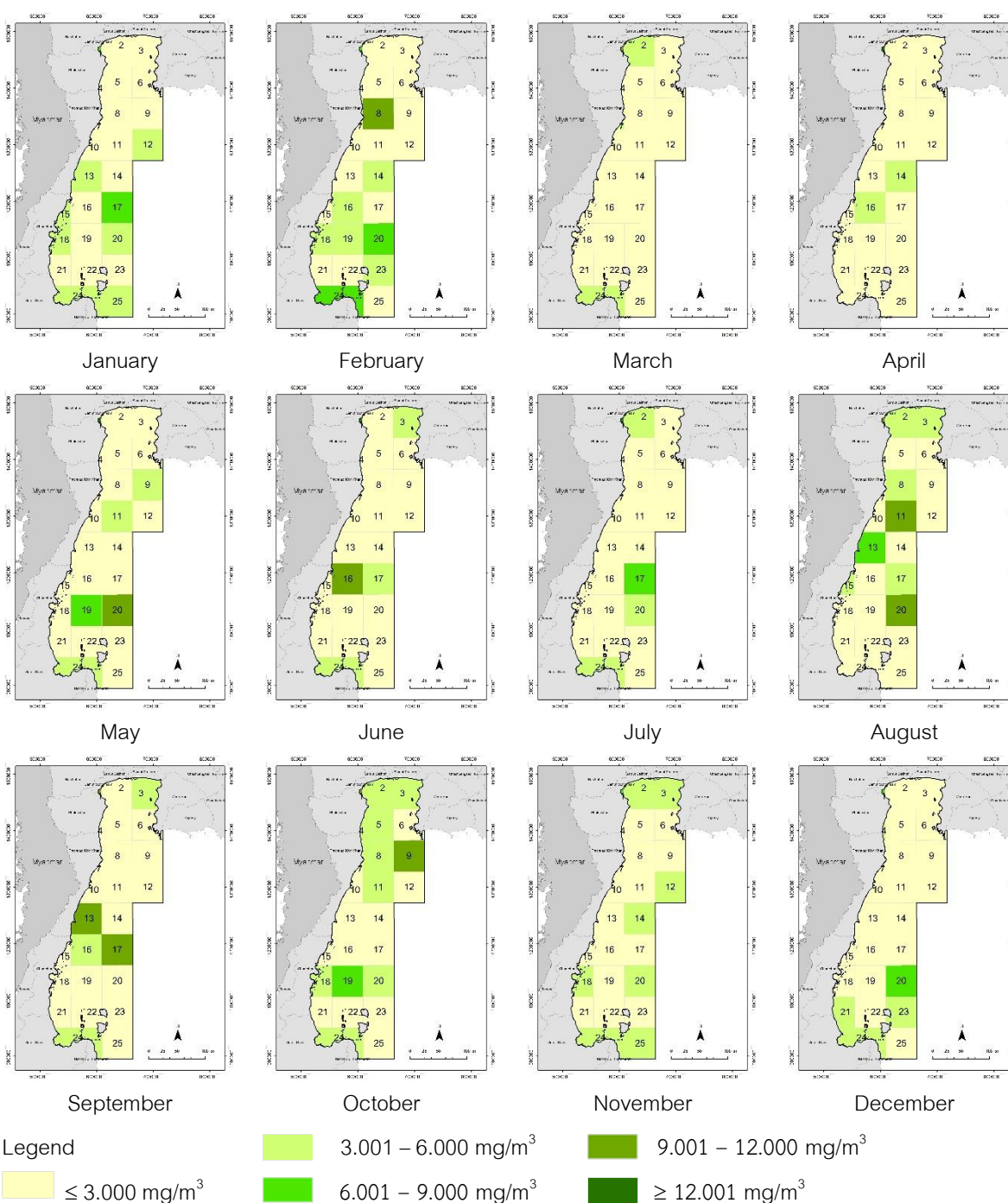


Figure 7 Average monthly Chlorophyll-a concentration from 2018 to 2024 in 25 grids

based on Sentinel-3 Satellite Imagery

(Source : Sentinel-3 satellite of the European Commission's Copernicus Earth Observation Programme)

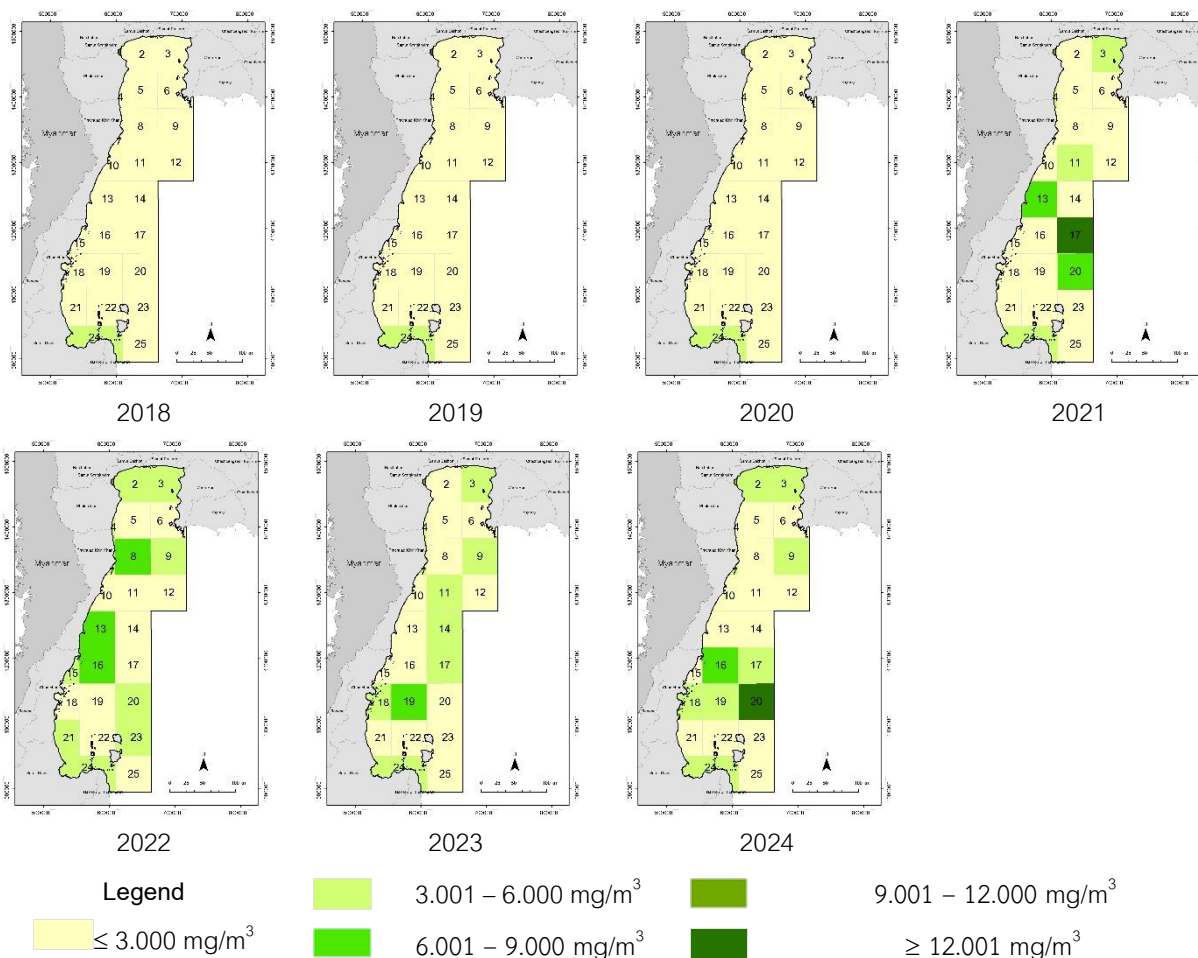


Figure 8 Annual Chlorophyll-a concentration in 25 grids derived from Sentinel-3 Satellite Imagery, 2018-2024

(Source : Sentinel-3 satellite of the European Commission's Copernicus Earth Observation Programme)

3. การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม

ผลการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม รายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2018 ถึงธันวาคม 2024 โดยข้อมูล ในช่วงบางเดือน โดยเฉพาะในฤดูฝน บางพื้นที่อาจมีเมฆ ปกคลุมทำให้ไม่มีข้อมูลคลอโรฟิลล์ เอ ซึ่งจะส่งผลต่อจำนวนข้อมูลในการคำนวณเหลือตัวอย่าง $n = 4,549$ พบว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผกผันกัน (หรือ มีทิศทางตรงข้ามกัน) ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($Z = -5.130$, $p < 0.05$) โดยมีระดับความสัมพันธ์ต่ำ ($r_s = -0.076$) สารสนเทศดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีค่าสูงขึ้นความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าลดลง และหากตรวจสอบความสัมพันธ์ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนของตัวแปรทั้งสอง ในช่วงปี 2018-2020 พบว่า มีระดับความสัมพันธ์ต่ำ และมีลักษณะความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกัน หรือมีทิศทางตรงข้ามกัน ($r_s = -0.051$) ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($Z = -2.325$, $p = 0.020$) ส่วนในช่วงปี 2021-2024 ความสัมพันธ์ยังคงเป็น

ลักษณะเดียวกัน คือ แปรผกผันกัน หรือ มีทิศทางตรงข้ามกัน ($r_s = -0.063$) แต่เป็นที่น่าสนใจว่า มีระดับความสัมพันธ์ลดลง และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($Z = -3.129$, $p = 0.002$)

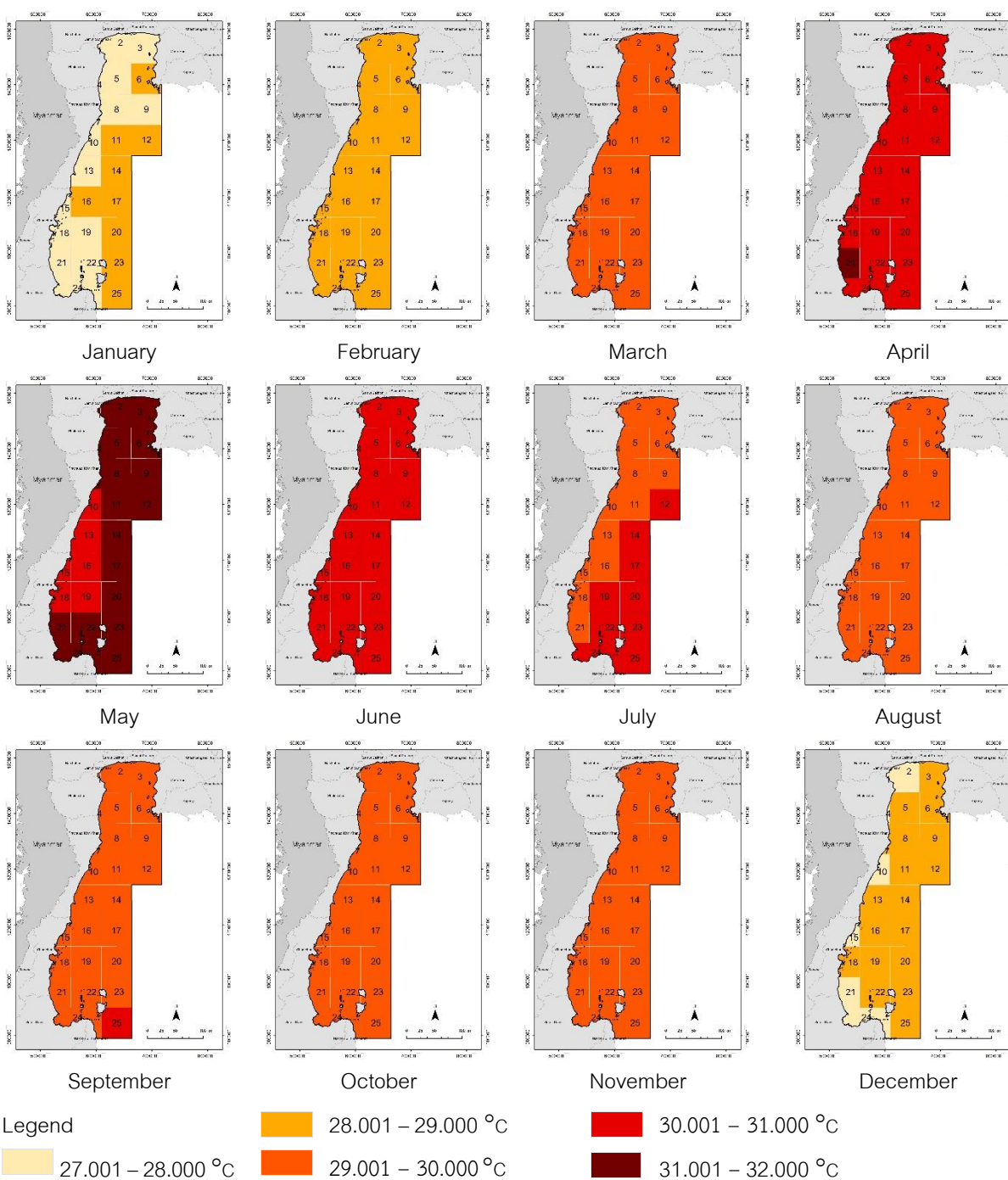


Figure 9 Average monthly Sea Surface Temperature in 25 grids (Source: GHRSSST Level 4 MUR imagery from 2018 to 2024)

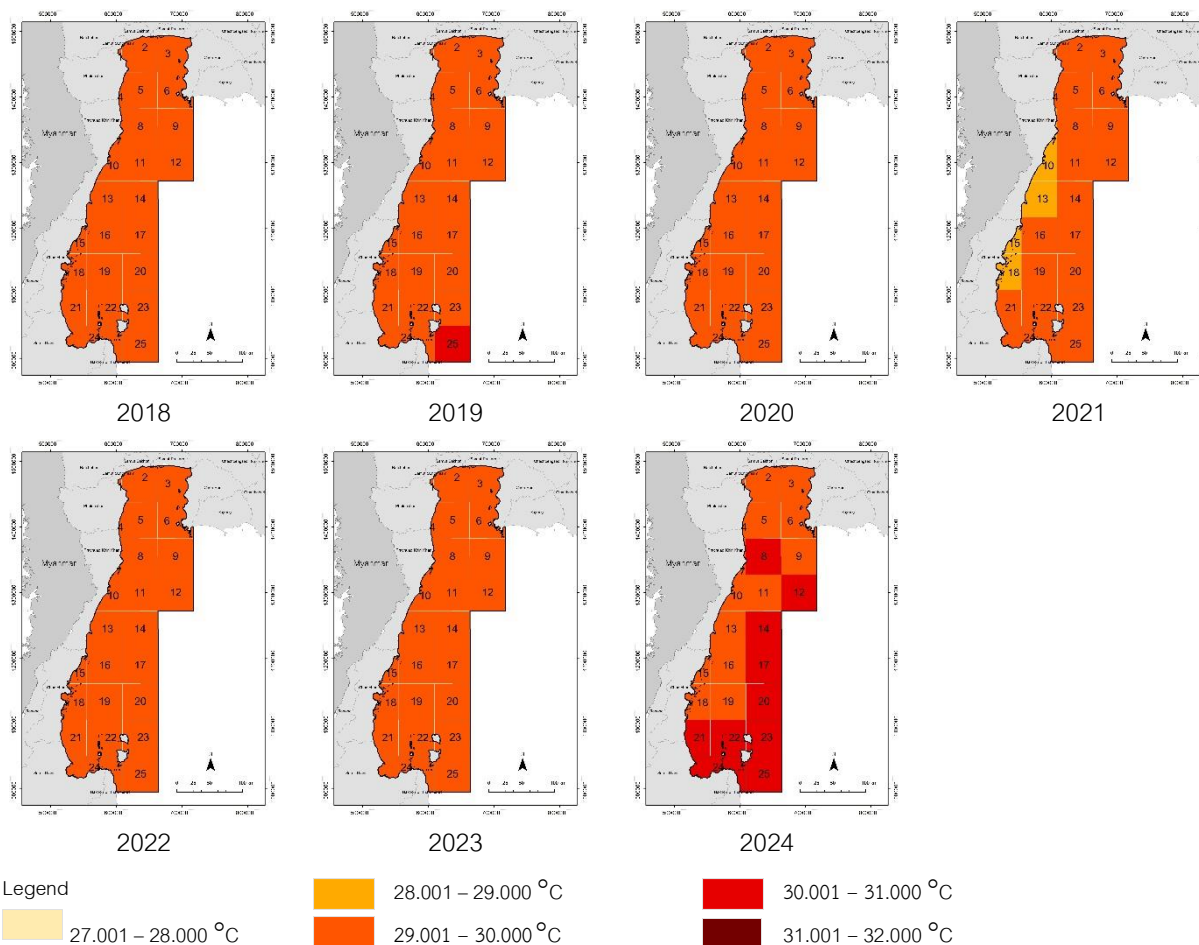


Figure 10 Annual Sea Surface Temperature in 25 grids based on Sentinel-3 Satellite Observations from 2018 to 2024

(Source: GHR SST Level 4 MUR imagery from 2018 to 2024)

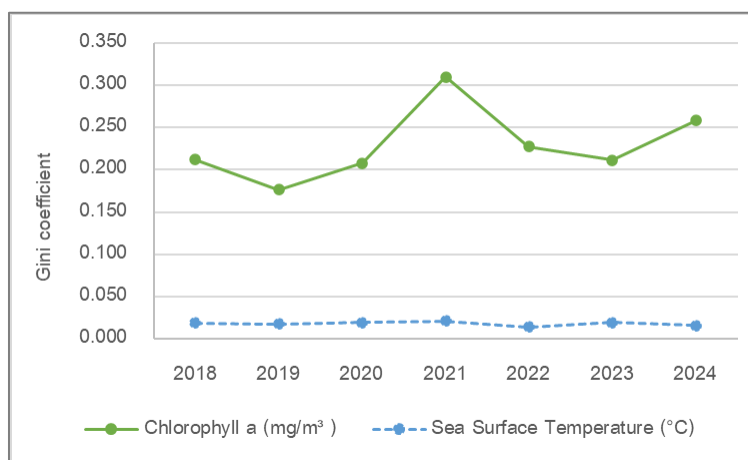


Figure 11 The Gini coefficients of Chlorophyll-a concentration and Sea Surface Temperature during 2018–2024

Discussion

1. ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากการสำรวจและจากภาพถ่ายดาวเทียม

จากการศึกษาพบว่า ข้อมูลคลอโรฟิลล์ เอ จากภาพถ่ายดาวเทียมมีความสอดคล้องกับข้อมูลคลอโรฟิลล์ เอ ที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ *Thaiphichitburapha et al. (2024)* ที่พบว่า ข้อมูลคลอโรฟิลล์ เอ จากดาวเทียม Sentinel-3 ในรูปแบบ Neural Network (NN) โดยเซนเซอร์ OLCI ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงและเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าคลอโรฟิลล์ เอ จากการสำรวจภาคสนามอย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าจะมีข้อจำกัดในบางช่วงเวลาและบริเวณที่มีความขุ่นของน้ำสูง สำหรับผลการวิเคราะห์อุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากการสำรวจภาคสนาม พบว่า ในภาพรวมมีความสอดคล้องกับข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ *Chin et al. (2017)* ที่เปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม GHRST Level 4 MUR กับข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากการสำรวจภาคสนามโดยหุ่น Argo และสถานีวัดในทะเลในหลายพื้นที่ทั่วโลก ซึ่งพบว่ามีค่าสอดคล้องกัน แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในการประยุกต์ใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ซึ่งเหมาะสำหรับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และเชิงเวลาในระดับโลก

2. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงปี 2018-2024 พบว่า ทั้งสองตัวแปรมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนทั้งในเชิงฤดูกาลและแนวโน้ม โดยเฉพาะความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ยรายเดือนแสดงให้เห็นถึงความผันผวนในรอบปี โดยมีเฉลี่ยของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ สูงในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน ขณะที่ฤดูร้อนช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายนมีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ระดับปานกลางถึงต่ำ ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ *Tang et al. (2018)* และ *Thongchub & Chayakul (2023)* ที่พบว่า ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ในอ่าวไทยตอนบนมีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงฤดูฝน เนื่องจากมีการพัดพาไหลบ่าของน้ำจืดและสารอาหารจากแผ่นดินลงสู่พื้นที่ชายฝั่งทะเล และก่อให้เกิดปรากฏการณ์น้ำผุด (Upwelling) สารอาหารจากน้ำลึกขึ้นสู่ผิวน้ำทะเล ก่อให้เกิดอิทธิพลต่อการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ นอกจากนี้ การศึกษาของ *Behrenfeld et al. (2006)* ยังระบุว่า ในช่วงฤดูร้อนอุณหภูมิผิวน้ำทะเลอยู่ในระดับที่สูงขึ้นจนทำให้เกิดการแยกชั้นของน้ำ (Stratification) ทำให้ธาตุอาหารจากน้ำลึกไม่สามารถลอยขึ้นสู่ผิวน้ำได้ ส่งผลให้การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชถูกจำกัดจากภาพที่ 4 แสดงความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ รายเดือนพบว่าในปี 2023 มีค่าสูงที่สุดในเดือนตุลาคม และจาก Figure 7 สอดคล้องกับการศึกษาของ *Luang-on et al. (2022)* พบว่าการกระจายตัวของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์เชิงพื้นที่ที่มีความสอดคล้องกับอิทธิพลของกระแสลมในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ กระแสน้ำมาจากอ่าวไทยทางตะวันออกเฉียงเหนือและอ่าวไทยตอนกลางไหลขึ้นไปทางตะวันตกเฉียงใต้ของอ่าวไทยตอนบน ทำให้ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ พบปริมาณมากในจังหวัดสมุทรสงคราม สมุทรสาคร และสมุทรปราการ (กริด 1-2) และในช่วงเดือนมีนาคม-กันยายน กระแสน้ำมาจากทางใต้ของอ่าวไทยไหลเคลื่อนตัวไปทางเหนือและทางตะวันออกเฉียงเหนือของอ่าวไทยตอนบน ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ พบปริมาณมากในจังหวัด สมุทรปราการ และชลบุรี (กริดที่ 2 และ3) และในช่วงเดือนตุลาคมเป็นเดือนที่เปลี่ยนผ่านจากมรสุมตะวันตก

เฉียงใต้ไปสู่มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือกระแสน้ำมาจากทางตะวันตกของอ่าวไทยไหลไปทางตะวันออกของอ่าวไทยตอนบน ทำให้ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ พบมากที่สุดหลายพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ สมุทรสงคราม สมุทรสาคร ชลบุรี และเพชรบุรี และช่วงเดือน พฤศจิกายน - ธันวาคม กระแสน้ำจากทางตะวันออกเฉียงเหนือของอ่าวไทยตอนบน ไหลขึ้นสู่ทิศเหนือ ก่อนจะไหลลงสู่ทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอ่าวไทยปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ พบมากในจังหวัดสมุทรสงคราม สมุทรสาคร และสมุทรปราการ

ซึ่งความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ กับอุณหภูมิผิวน้ำสอดคล้องกับการศึกษาของ Laosuan *et al.* (2022) พบว่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอจะสูงในช่วง เดือนมีนาคม-พฤษภาคม (ฤดูร้อน) และช่วงเดือนมิถุนายน-ตุลาคม (ฤดูฝน) และคลอโรฟิลล์-เอจะลดต่ำลงในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงเดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ (ฤดูหนาว) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในกรณีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ที่เพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ปี 2021 เป็นต้นมาอาจเกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ-ฮอสซิลเลชันได้ (ENSO) ตามการศึกษาของ Luang-on *et al.* (2022) ที่ศึกษาอิทธิพลของ ENSO ต่อความแปรปรวนของคลอโรฟิลล์ เอ ระหว่างปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2560 พบว่าเหตุการณ์ ENSO มีอิทธิพลต่อคลอโรฟิลล์ เอ บ่งชี้ว่าปริมาณน้ำฝน กระแสลม และปริมาณน้ำในแม่น้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี และนอกจากนั้นอาจเกิดจากของภาวะสารอาหารสะสม (Nutrient loading) อย่างต่อเนื่องทุกปี และเมื่อปัจจัยเร่งจากลมมรสุมที่ทำให้เกิดการแบ่งชั้นของน้ำมีความเหมาะสม สารอาหารปริมาณมหาศาลที่ถูกปลดปล่อยออกมาจึงกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชอย่างรวดเร็ว การที่ปรากฏการณ์นี้ทวีความรุนแรงขึ้น ตามงานวิจัยของ Rakserree *et al.* (2025) อย่างไรก็ตาม ปรากฏการณ์การที่เพิ่มขึ้นของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ที่สังเกตการณ์ได้ตั้งแต่ปี 2021 นั้น ยังจำเป็นต้องมีการศึกษาเชิงลึกเพิ่มเติม เพื่อรวบรวมข้อมูลสนับสนุนให้มีความชัดเจนที่เพียงพอต่อการอธิบายสาเหตุที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สำหรับการวิเคราะห์อุณหภูมิผิวน้ำทะเล พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนเมษายน ถึงเดือนพฤษภาคม และต่ำสุดในเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม รูปแบบการเปลี่ยนแปลงนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sasamal *et al.* (2005) ที่พบว่า อุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณอ่าวเบงกอล มีความผันแปรตามฤดูกาลภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม และค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลยังสอดคล้องกับช่วงฤดูมรสุมในการศึกษาของ Luang-on *et al.* (2022) พบว่า อุณหภูมิผิวน้ำทะเลอยู่ในระดับต่ำ (ประมาณ 27-29 องศาเซลเซียส) ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ฤดูหนาว) และช่วงนอกมรสุมในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม (ฤดูร้อน) และช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ช่วงเดือนมิถุนายนถึงตุลาคม (ฤดูฝน) อุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงขึ้น (มากกว่า 30 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ขนาดของการกระจายตัวของข้อมูลในรอบปีด้วยค่าสัมประสิทธิ์จีนิ (Gini coefficient) ยังแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ มีความผันผวนในรอบปีสูง (มีความเป็นฤดูกาลสูง) ขณะเดียวกัน การพิจารณาในเชิงพื้นที่ พบว่า ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ก็มีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอมากกว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเล โดยเฉพาะในปี 2021 ที่พบการกระจุกตัวของคลอโรฟิลล์ เอ ในบางพื้นที่อย่างชัดเจน โดยเฉพาะช่วงฤดูฝนและช่วงที่มีการไหลเวียนของธาตุอาหารจากปรากฏการณ์น้ำผุด (upwelling) ขณะที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป และแสดงลักษณะการกระจายตัวในเชิงพื้นที่ที่สม่ำเสมอมากกว่าตัวแปรชีวภาพอย่างคลอโรฟิลล์ เอ โดยเฉพาะในเขตร้อนและกึ่งร้อนที่ได้รับอิทธิพลจากระบบมรสุมและกระแสน้ำในระดับฤดูกาล (Tang

et al., 2004) นอกจากนี้ บริเวณชายฝั่งทะเลบางส่วนของจังหวัดสมุทรสงครามและจังหวัดเพชรบุรี (กริดที่ 1) พบว่า มีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ สูงเกือบตลอดทั้งปี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Rattanavijit et al. (2019) ที่พบว่า ชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวบางตะนูน จังหวัดเพชรบุรี มีการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนพืชในปริมาณมาก โดยสัดส่วนของแพลงก์ตอนพืชที่พบมากที่สุด คือ กลุ่มไดโนแฟลกเจลเลต (Dinoflagellates) และเมื่อประยุกต์ใช้ผลการกระจายตัวความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเล กับข้อมูลของทรัพยากรปลาจากการศึกษาของ Mekasampan (2020) พบว่าปัจจัยปัจจัยทั้งสองมีส่วนกระตุ้นทางนิเวศวิทยาที่สำคัญ และมีบทบาทต่อประชากรปลาขนาดใหญ่ที่มีความสมบูรณ์เพศพร้อมจะปล่อยไข่เคลื่อนที่มายังบริเวณแนวหมู่เกาะอ่างทอง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลลดลง และบริเวณดังกล่าวมีมวลน้ำมีการเคลื่อนที่หมุนวนคล้ายเป็นวงขนาดใหญ่ มีการกระจายของตะกอนและอินทรีย์สารในน้ำที่อุดมสมบูรณ์กว่าพื้นที่ตอนนอกบริเวณ (กริดที่ 24) ละสามารถส่งเสริมการเจริญพันธุ์ของปลาในวัยวัยอ่อนได้ และสัมพันธ์กันกับฝูงปลาจะเคลื่อนฝูงว่ายทวนน้ำเข้าไปแนวใกล้ฝั่งตะวันตกของอ่าวไทย โดยไล่เลาะขึ้นไปบริเวณพื้นที่ตอนล่างของชุมพร โดยเฉพาะตั้งแต่ทะเลเขตอำเภอละแม (กริด 10 13 และ 15) เนื่องจากในช่วงต้นฤดูฝนมักพบแพลงก์ตอนพืชเจริญขึ้นมาในแนวใกล้ฝั่งและอุณหภูมิไม่สูงมาก จะทำให้ประชากรปลาสาวสามารถเจริญเติบโตในพื้นที่ใกล้ฝั่งได้ดี จนเข้าสู่ช่วงของการเปลี่ยนฤดูเป็นฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ฤดูหนาว) ประชากรปลาจะมุ่งหน้าขึ้นไปสู่พื้นที่อ่าวไทยตอนบน ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ พบปริมาณมากในจังหวัด สมุทรสงคราม สมุทรสาคร และสมุทรปราการ (กริด 1 2 และ 3)

3. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเล

จากการวิเคราะห์พบว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผกผันกัน (หรือ ทิศทางตรงกันข้าม หรือ เชิงลบ) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sasamal et al. (2005) ที่พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในอ่าวอาหรับและอ่าวโอมานบางพื้นที่มีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผกผันกัน และบางพื้นที่ไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจน ขณะที่การศึกษาของ Thongchub & Chayakul (2023) บอกว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผกผันกันในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Dewi et al. (2024) เมื่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเลเพิ่มขึ้น กลไกทางกายภาพจะทำให้ น้ำชั้นบนมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำชั้นล่าง ทำให้เกิดการแยกชั้นของน้ำส่งผลให้สารอาหารที่สะสมอยู่ในชั้นน้ำลึกไม่สามารถไหลเวียนขึ้นมาสู่ผิวน้ำได้อย่างเพียงพอ จึงทำให้เกิดจำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชและส่งผลให้ค่าคลอโรฟิลล์ เอมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ ในการศึกษาของ Tang et al. (2018) พบว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจยับยั้งการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในบางพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่การพาความร้อน (Thermal Stratification) ทำให้การหมุนเวียนของสารอาหารจากชั้นล่างลดลง อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ มีความซับซ้อนและขึ้นอยู่กัหลายปัจจัย เช่น ฤดูกาล ระบบมรสุม การไหลเวียนของน้ำ และปริมาณสารอาหารในน้ำ โดยในบางพื้นที่อาจพบความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผันตรง (ในเชิงบวก) ขณะที่ในบางพื้นที่อาจพบความสัมพันธ์ที่แปรผกผันกัน (ในเชิงลบ) หรืออาจไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจน

Conclusions

บทความนี้มุ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเล บริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนบนและอ่าวไทยตอนกลาง และตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสอง ตั้งแต่ปี 2018-2024 โดยประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-3 และชุดข้อมูล GHRST ผลการศึกษา พบว่าการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอเฉลี่ยรายเดือน มีความผันผวนในรอบปีแตกต่างกัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ยในช่วงปี 2018-2020 มีค่า 1.276 mg/m^3 ($SD = 0.514$) ส่วนหลังปี 2020 มีปริมาณและความผันผวนในรอบปีเพิ่มขึ้นเป็น 3.419 mg/m^3 ($SD = 1.616$) และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ที่เพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ปี 2021 เป็นต้นมาอาจเกิดจากปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ปฏิกิริยาการทางธรรมชาติ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอาจรวมถึงการไหลเวียนของธาตุอาหารจากปรากฏการณ์น้ำผุด (upwelling) จึงควรมีการติดตามสถานการณ์ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่อไปในอนาคต และควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอื่น ๆ ควบคู่ด้วย เช่น ปัจจัยทางกระแสน้ำ กระแสลม สำหรับการวิเคราะห์อุณหภูมิผิวน้ำทะเล พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล มีความผันผวนในรอบปีน้อยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และมีแนวโน้มคงที่กว่า โดยมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม (ฤดูร้อน) และต่ำสุดในเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม (ฤดูหนาว) สำหรับผลการวิเคราะห์ขนาดการกระจุกตัวในรอบปีด้วยค่าสัมประสิทธิ์จีนิ ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์จีนิของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเล สะท้อนให้เห็นว่าการกระจุกตัวของคลอโรฟิลล์ เอ มีความชัดเจนในบางฤดูกาล โดยเฉพาะช่วงฤดูฝนและช่วงที่มีการไหลเวียนของธาตุอาหารจากการพัดพา (upwelling) ในขณะที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีการกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอมากกว่า

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2018 ถึงธันวาคม 2024 พบว่า ทั้งสองมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผกผันกัน (หรือ ในทิศทางตรงข้ามกัน) ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($Z = -5.130$, $p < 0.05$ และมีระดับความสัมพันธ์ต่ำ ($r_s = 0.076$) คือเมื่อค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกันเมื่อทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน ในช่วงปี 2018-2020 พบว่า ปัจจัยทั้งสองมีลักษณะที่แปรผกผันกัน หรือ ในทิศทางตรงข้ามกัน ($r_s = -0.051$) ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($Z = -2.325$, $p = 0.020$) และมีระดับความสัมพันธ์ต่ำเช่นเดียวกัน กับในช่วงปี 2021-2024 ความสัมพันธ์ของทั้งสองยังคงมีลักษณะแปรผกผัน หรือเป็นไปในทิศทางตรงข้ามกัน ($r_s = -0.063$) แต่มีระดับความสัมพันธ์ต่ำ และมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 ($Z = -3.129$, $p = 0.002$) ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ในช่วงฤดูฝน อาจมีเมฆมากทำให้ข้อมูลในบางพื้นที่ของแต่ละเดือนขาดหาย ทำให้ค่าของตัวอย่างมีจำนวนลดน้อยลง นอกจากนี้ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม มีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม แม้จะมีความแตกต่างในบางฤดูกาล แต่ไม่เกินร้อยละ 2-3 จึงสามารถใช้ทดแทนกันได้ในการติดตามและประเมินสภาพแวดล้อมทางทะเล และควรประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับการสำรวจภาคสนามอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มความแม่นยำของการประเมินทรัพยากรทางทะเลสำหรับสนับสนุนการจัดการเชิงพื้นที่ในอนาคต ดังนั้นผลการศึกษาการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง และความสัมพันธ์ของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ และอุณหภูมิ

ผิวน้ำทะเลบริเวณทะเลอ่าวไทยตอนในและตอนกลางจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแสดงให้เห็นถึง ประโยชน์ของการประยุกต์ใช้ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยผลการศึกษานี้อาจเป็นข้อมูลสนับสนุนในการติดตามสถานการณ์สิ่งแวดล้อมทั้งในเชิงพื้นที่และ เวลา หรืออาจนำไปประยุกต์ใช้หาความสัมพันธ์กับข้อมูลทรัพยากรสัตว์น้ำ โดยเฉพาะ ปลาทุ ในบริเวณอ่าวไทย เพื่อใช้สำหรับการวางแผนการบริหารจัดการทรัพยากรสัตว์น้ำในอนาคต

Acknowledgments

ผู้วิจัยขอขอบคุณคุณอดุลวิทย์ ชูเชิด ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมประมง เป็นอย่างสูงที่ให้ ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ในการสกัดข้อมูลคลอโรฟิลล์ เอ อุดหนุนผิวน้ำทะเล จากภาพถ่ายดาวเทียม และขอขอบคุณ ศูนย์พัฒนาการประมงแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และโครงการผลกระทบจากการประมงอวนลากต่อทรัพยากรชีวภาพและ สิ่งแวดล้อมทางทะเลในอ่าวไทย ภายใตโครงการแนวทางการพัฒนาการประมงอวนลากในอ่าวไทยสู่ความยั่งยืนตามแนว ปฏิบัติมาตรฐานสากล ที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่ให้ความ อนุเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ อุดหนุนผิวน้ำทะเลที่ผิวน้ำตามลำดับ เพื่อให้บทความฉบับนี้มีความ สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

References

- Behrenfeld, M. J., O'Malley, R. T., Siegel, D. A., McClain, C. R., Sarmiento, J. L., Feldman, G. C., Milligan, A. J., Falkowski, P. G., Letelier, R. M., & Boss, E. S. (2006). Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature*, 444(7120), 752–755. <https://doi.org/10.1038/nature05317>
- Buranapratheprat, A., & Annyadamiksuk, A. (2013). Temporal variation of surface chlorophyll-a concentration in the Andaman Sea derived from Aqua MODIS satellite imagery. *Burapha Science Journal*, 18(1), 194–201. (in Thai)
- Chin, T. M., Vazquez-Cuervo, J., & Armstrong, E. M. (2017). A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature. *Remote sensing of environment*, 200, 154-169.
- Dewi, C. D., Hidayat, M. N., Wafdan, R., Ramli, M., Muchlisin, Z. A., Rusydi, I., Muhammad, M., Rizal, S., Nanda, M., Ali Akbar, S., Prajaputra, V., & Haditir, Y. (2024). Exploring the interplay of chlorophyll-a, sea surface temperature, and sea surface salinity in aceh waters during january and july 2022. *BIO Web of Conferences*, 87. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248701001>
- EUMETSAT. (2021). *Sentinel-3 OLCI Level-2 ocean colour products user guide*. European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT). <https://www.eumetsat.int/olci-user-guide>

European Space Agency. (2020). *Sentinel-3 OLCI algorithm theoretical basis document: OLCI level-2 marine products* (Issue 2.6, Ref. S3-L2-MAR-C-ATBD). ESA. <https://sentinels.copernicus.eu>

FAO. (2024). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>

Inthajaroen, P., Buranapratheprat, A., Morimoto, A., Jintasena, P., & La-ongmanee, W. (2018). A localized algorithm for analyzing surface chlorophyll-a using MODIS satellite data in the Upper Gulf of Thailand. *Burapha Science Journal*, 23(2), 608–623. (in Thai)

JPL MUR MEaSURES Project. (2015). *Multi-sensor advanced, high-resolution global sea surface temperature dataset (v4.1)*. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. https://www.podaac.jpl.nasa.gov/dataset/JPL_MUR_Multi_Sensor_SST_V4.1

Laosuwan, T., Uttaruk, Y., & Rotjanakusol, T. (2022). Analysis of Content and Distribution of Chlorophyll-a on the Sea Surface through Data from Aqua/MODIS Satellite. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(5), 4711-4719. <https://doi.org/10.15244/pjoes/150731>

Luang-on, J., Ishizaka, J., Buranapratheprat, A., Phaksopa, J., Goes, J. I., Kobayashi, H., & Matsumura, S. (2022). Seasonal and interannual variations of MODIS Aqua chlorophyll-a (2003–2017) in the Upper Gulf of Thailand influenced by Asian monsoons. *Journal of Oceanography*, 78(4), 209-228.

Mekasampan, J. (2020). *Mackerel migration routes in the Gulf of Thailand: Impacts from aquatic environmental problems*. Faculty of Fisheries, Kasetsart University. (in Thai)

National Geographic Committee (Thailand). (1984). *Geographical characteristics of the Gulf of Thailand*. Office of the Prime Minister. (in Thai)

Rattanavijit, U., Tarnchalanukit, W., Chunkao, K., & Phewnil, O. (2019). Relationship between water qualities and phytoplankton at coastal area, Phetchaburi Province, Thailand. *Burapha Science Journal*, 24(1), 203–215. (in Thai)

- Rakseree, S., Intacharoen, P., Gunboa, V., & Buranapratheprat, A. (2025). Monsoonal effects and hydro–biogeochemical characteristics in maritime cargo areas of Siracha Bay, eastern upper Gulf of Thailand. *Journal of Fisheries and Environment*, 49(2), 67–79. <https://doi.org/10.34044/j.jfe.2025.49.2.05>
- Sasamal, S. K., Prasad, T. G., & Chauhan, P. (2005). Seasonal variability of chlorophyll concentrations in the Bay of Bengal observed from SeaWiFS. *Current Science*, 89(9), 1473–1477.
- Solanki, H., Dwivedi, R., Nayak, S., Somvanshi, V., Gulati, D., & Pattnayak, S. (2003). Fishery forecast using OCM chlorophyll concentration and AVHRR SST: Validation results off Gujarat coast, India. *International Journal of Remote Sensing*, 24(18), 3691–3699.
- Sukdanon, S. (2017). *Ports in the inner Gulf of Thailand*. Chulalongkorn University Transportation Institute. <https://www.cutl.chula.ac.th/articles/478/> (in Thai)
- Tang, D.L., Kawamura, H., Doan-Nhu, H., & Takahashi, W. (2004). Remote sensing oceanography of a harmful algal bloom off the coast of southeastern Vietnam. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C3). d <https://doi.org/10.1029/2003JC002045>
- Tang, D. L., Kawamura, H., Doan-Nhu, H., & Takahashi, W. (2018). Remote sensing of phytoplankton blooms in the South China Sea. *International Journal of Remote Sensing*, 39(14), 4745–4765.
- Thaiphichitburapha, P., Buranapratheprat, A., Kanbua, W., Chaipipatnakajorn, T., Kingkaew, N., & Intacharoen, P. (2024). Study on surface chlorophyll-a detection methods using Sentinel-3 satellite imagery along the coastal area of Trat Province. *The Journal of Spatial Innovation Development*, 5(2), 65–79. (in Thai)
- Thongchub, P., & Chayakul, T. (2023). *Relationship between sea surface temperature and chlorophyll-a concentration in the Upper Gulf of Thailand*. In *Proceedings of the 28th National Convention on Civil Engineering*. (in Thai)
- Tsitouras, A. (2004). Adjusted Gini coefficient and “months equivalent” degree of tourism seasonality: A research note. *Tourism Economics*, 10(1), 95–100.

Rattanavijit, U., Tarnchalanukit, W., Chunkao, K., & Phewnil, O. (2019). Relationship between Water Qualities and Phytoplankton at Coastal Area Phetchaburi Province, Thailand. *Burapha Science Journal*, 24(1), 203-215. (in Thai).

Wongrat, L. (1999). The role of phytoplankton as primary producers in aquatic ecosystems. *Journal of Aquatic Ecology*, 5(1), 15–24. (in Thai)

Untong, A., Ramos, V., Kaosa-ard, M., & Rey-Maqueira, J. (2011). The seasonal pattern and the effects of unexpected events on outbound Chinese tourism: The case of Chinese tourist arrivals to Thailand. *The Second International Conference on Tourism between China-Spain (ICTCHS2011)*, March 27–31, 2011, Palma de Mallorca, Spain.