

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน

THE RELATIONSHIP BETWEEN SEA SURFACE TEMPERATURE AND CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION IN COASTAL SEA UPPER GULF OF THAILAND

ภูภัศ ทองจับ^{1,*} และ ธงทิศ ฉายากุล²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: 6472102821@student.chula.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (SST) และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ (Chl-a) มีส่วนช่วยในการสนับสนุนการติดตามและประเมินสิ่งแวดล้อมทางทะเล ซึ่งคลอโรฟิลล์-เอ เป็นตัวบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ของแพลงก์ตอนพืชและมวลชีวภาพในแหล่งน้ำชายฝั่ง ในขณะที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช จึงเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบรายเดือนซึ่งเป็นข้อมูลผลิตภัณฑ์ระดับ 3 โดยผ่านการปรับแก้ทางเรขาคณิตและระบบการฉายให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ 4.6 กิโลเมตร จากดาวเทียม Aqua ระบบ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ในช่วงเวลาปี พ.ศ.2558-2565 นำมาประมวลผลสร้างเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยภูมิอากาศของแต่ละเดือนรายเดือนจากช่วงระยะเวลา 8 ปี ในการใช้หาความสัมพันธ์ อีกทั้งเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ บริเวณทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเดือนและช่วงลมมรสุมพบว่าตั้งแต่เดือนมกราคมอุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีอุณหภูมิค่อยๆเพิ่มขึ้นและค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่เดือนพฤษภาคม จากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มลดลง ในขณะที่ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์มีค่ามากที่สุดอยู่ที่เดือนกันยายน โดยค่าเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละปีของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงบวก ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และความสัมพันธ์เชิงลบในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ตามอิทธิพลของลมมรสุม นอกจากนี้ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำผุด (Upwelling) ซึ่งเป็นการพัดพามวลน้ำเย็นและสารอาหารจากน้ำลึกขึ้นมาสู่ผิวน้ำทะเล ก่อให้เกิดอิทธิพลต่อการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลลดลง

คำสำคัญ: อุณหภูมิผิวน้ำทะเล, ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์, ลมมรสุม, ดาวเทียม Aqua

Abstract

Studies of the relationship between sea surface temperature (SST) and chlorophyll-a (Chl-a) concentrations contribute to the support of monitoring and assessment of the marine environment. Chlorophyll-a is an indicator of phytoplankton abundance and biomass in coastal water sources, while sea surface temperature is one of the factors influencing the growth of phytoplankton. Therefore, monthly satellite imagery data is used, which is product data level 3, through geometric correction and projection system, providing a spatial resolution of 4.6 kilometers from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Aqua satellite for the period 2015-2022 was used to create monthly climate average data from that period 8 years to find relationships and to observe temporal and spatial changes in the coastal sea the upper Gulf of Thailand. From the results of the study of the changes according to the months and the monsoon period, it was found that since January, the sea surface temperature gradually increased and the average maximum temperature was in May, then the temperature began to decrease. While the chlorophyll concentration was highest in September. The annual monthly averages of sea surface temperature and chlorophyll concentrations show a positive relationship during the northeast monsoon and a negative relationship during the southwest monsoon. It has statistical significance at the 0.01 level with the influence of monsoon winds. In addition, during the southwest monsoon, there was upwelling. Which carries cold water masses and nutrients from deep water to the sea surface, influencing the concentration of chlorophyll and the sea surface temperature decreased.

Keywords: sea surface temperature, chlorophyll concentration, monsoon, Aqua satellite

1. คำนำ

อ่าวไทยตอนบน (Upper Gulf of Thailand) เป็นส่วนบนของอ่าวไทย มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมคล้ายตัวอักษร “ก” จึงถูกเรียกกันทั่วไปว่า อ่าว ก หรืออ่าวรูปตัว ก มีอาณาบริเวณติดกับพื้นที่จังหวัดชลบุรี, ฉะเชิงเทรา, สมุทรปราการ, กรุงเทพมหานคร, สมุทรสาคร, สมุทรสงคราม และเพชรบุรี โดยมีลักษณะภูมิอากาศที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ตั้งแต่ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน อาจไปจนถึงต้นเดือนตุลาคม และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ อาจไปจนถึงต้นเดือนมีนาคม [1] เนื่องจากอ่าวไทยตอนบนมีลักษณะทางกายภาพเป็นอ่าวกึ่งปิด จึงได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม ทำให้เกิดการไหลเวียนของกระแสน้ำ จากระดับน้ำลึกขึ้นสู่ระดับผิวน้ำทะเล ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์น้ำผุด (Upwelling) ซึ่งทำให้บริเวณผิวน้ำทะเลอุดมไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ทางท้องทะเล [2] นอกจากนี้พื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนบนยังเป็นแหล่งทรัพยากรที่มีความอุดมสมบูรณ์อย่างยิ่งทั้งทรัพยากรที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต ซึ่งการเจริญเติบโตของคลอโรฟิลล์ ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่แปรปรวน เช่น ในช่วงเหตุการณ์เอลนีโญ (El Nino) ทำให้ค่าดัชนีของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงขึ้น [3] ทำให้มีการส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ ดังนั้นการติดตามการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ ทำให้ทราบถึงการเจริญเติบโตของคลอโรฟิลล์ที่ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเล เพื่อที่จะทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบนิเวศทางทะเล เมื่อมีการเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

อุณหภูมิผิวน้ำทะเลเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งทางทะเลเนื่องจากมีความสำคัญในการศึกษากระบวนการทางฟิสิกส์, เคมี และชีววิทยาทางทะเล ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มหรือการลด การเจริญเติบโตของคลอโรฟิลล์ นอกจากนี้ อุณหภูมิยังมีผลต่อการกระจายตัวของคลอโรฟิลล์ ตามลักษณะทางภูมิศาสตร์ คลอโรฟิลล์-เอ สามารถพบได้ในสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืช เป็นสิ่งมีชีวิตหลักที่สังเคราะห์แสงในทะเลซึ่งเป็นพื้นฐานของใยอาหารจึงมีความสำคัญต่อระบบนิเวศในฐานะของผู้ผลิต (Producer) ทั้งนี้การเพิ่มจำนวนแพลงก์ตอนอย่างรวดเร็ว และเกิดการรวมตัวอย่างหนาแน่นของมวลแพลงก์ตอนที่มากเกินไป ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี [4] เป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นถึงความเสื่อมโทรมของน้ำทะเล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและความเป็นกรด-ด่างในรอบวันที่สูง อีกทั้งยังเกิดการเพิ่มปริมาณแอมโมเนียในน้ำจนเป็นสาเหตุให้สัตว์น้ำตาย ดังนั้นอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงก็จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลโดยรวม และทำให้เกิดความแปรปรวนทั้งภูมิอากาศ และสิ่งมีชีวิตในทะเล ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ อาจแตกต่างกันไปตามภูมิภาคและช่วงเวลาของปี [5] ในบางพื้นที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้การเจริญเติบโตของแพลงก์

ตอนพืชเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่บางพื้นที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น อาจจำกัดความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารซึ่งส่งผลให้การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชลดลง ซึ่งการศึกษาอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในอดีตการวัดค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ต้องอาศัยเครื่องมือบนชายฝั่ง, เรือ และทุ่น ต่อมาข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลทั่วโลก มาจากการสังเกตการณ์จากดาวเทียมถูกติดตั้งด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการตรวจจับข้อมูลด้านทะเล เช่น Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) บนดาวเทียม Terra และ Aqua ของ NASA ทำให้สามารถรวบรวมข้อมูลได้มากกว่าการวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบอื่นๆ ทั้งหมดที่เกิดขึ้นก่อนการกำเนิดของดาวเทียมสำรวจด้านทะเล รวมไปถึงค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ ที่สามารถได้จากการตรวจจับข้อมูลด้วยดาวเทียมจากความสามารถของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่และสะท้อนวัตถุ รวมไปถึงการบันทึกข้อมูลได้ในทุกวัน และช่วงเวลาเดิมทำให้สามารถติดตามบันทึกข้อมูลปัจจัยสภาพแวดล้อมทางทะเล

ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาและพื้นที่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เพราะการเกิดลมมรสุม มีผลต่อความแปรปรวนของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และคลอโรฟิลล์ในแต่ละช่วงลมมรสุม ซึ่งคาดว่าในการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิของมหาสมุทร และรูปแบบการหมุนเวียนภูมิอากาศจะส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวความอุดมสมบูรณ์ของแพลงก์ตอนพืชและสิ่งมีชีวิตในทะเลอื่น ๆ ทั้งนี้จึงได้นำความรู้เทคนิคการสำรวจระยะไกล (Remote sensing) โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ซึ่งมีความสามารถสูงในการวิเคราะห์พื้นที่ขนาดใหญ่ และติดตามการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมทางด้านทะเลในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ดี เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทางด้านทะเล รวมไปถึงเป็นประโยชน์ในด้านติดตามสิ่งแวดล้อมทางทะเล และการประมงในอนาคต

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์บริเวณพื้นที่ทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน

1.2 ขอบเขตงานวิจัย

1.2.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

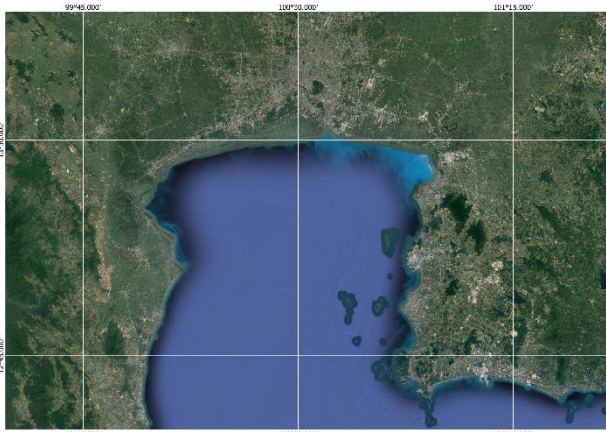
การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของคลอโรฟิลล์-เอ ไม่ว่าจะเป็นปัจจัยทางกายภาพและเคมี เช่น การหมุนเวียนของกระแสน้ำ, คลื่น, ความเค็ม, อุณหภูมิ และแร่ธาตุสารอาหาร เป็นต้น นอกจากนี้การกระทำของมนุษย์อย่างการทำเกษตรกรรมที่ทำให้สารเคมีตกค้างไหลลงแม่น้ำสายหลักออกสู่อ่าวไทยเป็นตัวกระตุ้นให้คลอโรฟิลล์-เอเจริญเติบโต รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิอากาศที่ก่อให้เกิดลมมรสุม ได้แก่ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากอ่าวไทยตอนบนมีลักษณะทางกายภาพเป็นอ่าวกึ่งปิดจึงได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมทำให้เกิดการไหลเวียนของกระแสน้ำจากระดับน้ำลึกขึ้นสู่ระดับผิวน้ำทะเลที่เรียกว่า ปรากฏการณ์น้ำผุด (Upwelling) ซึ่งทำให้

บริเวณผิวน้ำทะเลอุดมไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของคลอโรฟิลล์-เอ

ทั้งนี้ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยประกอบไปด้วยข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea surface temperature, SST) และข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll concentration, CHL) โดยข้อมูลทั้งสองสามารถตรวจจับได้จากระบบดาวเทียม ซึ่งเป็นข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนจากดาวเทียม Aqua ระบบ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ในช่วงระยะเวลาปี พ.ศ. 2558 ถึง 2565 โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์บริเวณพื้นที่ทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน และทำการดูการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลา และเชิงพื้นที่ ในช่วงระยะลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

1.2.2 ขอบเขตพื้นที่การศึกษา

พื้นที่ทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนมีอาณาบริเวณติดกับพื้นที่จังหวัดชลบุรี, ฉะเชิงเทรา, สมุทรปราการ, กรุงเทพมหานคร, สมุทรสาคร, สมุทรสงคราม และเพชรบุรี ดังรูปที่ 1 ซึ่งมีพื้นที่ขอบเขตระยะออกไป 12 ไมล์ทะเลหรือประมาณ 22.2 กิโลเมตร ซึ่งอ้างอิงจากขอบเขตทะเลอาณาเขต นิยามตามอนุสัญญาสหประชาชาติ ว่าด้วยกฎหมายทะเล ว่าเป็นแนวน่านน้ำชายฝั่งวัดจากเส้นฐานของรัฐชายฝั่งไปไกลที่สุด 12 ไมล์ทะเล [6]



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาบริเวณทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน (อ่าวรูป ก.)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดาวเทียม Aqua ระบบเซนเซอร์ MODIS

ดาวเทียม Aqua มีระบบเซนเซอร์ MODIS ติดตั้งบนดาวเทียม และเป็นดาวเทียมในกลุ่มดาวเทียมสำรวจ เป็นดาวเทียมดวงที่ 2 ในระบบ Earth Observing System (EOS) ของ NASA ได้รับการออกแบบและพัฒนาโดย Engineering Model (EM) เสร็จสมบูรณ์ในกลางปี 1995 โดยดาวเทียม Aqua เปิดตัวเมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2545 ซึ่งมีภารกิจเพื่อการสำรวจชั้นบรรยากาศ, พื้นโลก และมหาสมุทร

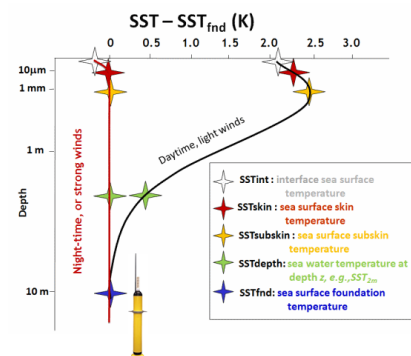
ดาวเทียม Aqua มีวงโคจรอยู่ที่ระดับ 705 กิโลเมตร โดยมีวงโคจรจากขั้วโลกใต้ขึ้นไปยังขั้วเหนือ (Ascending) ครอบคลุมทั่วโลกทุก ๆ 1-2 วัน ซึ่งดาวเทียม Aqua มีระบบเซนเซอร์ MODIS 36 ช่วงคลื่น เป็นระบบออปติคัล

(Optical) ประกอบด้วยกล้องโทรทรรศน์โฟกัสนอกแกนกระจก 2 ตัว ซึ่งจะส่งพลังงานไปยังวัตถุเป้าหมายหักเหแสงเป็น 4 ความยาวคลื่น ได้แก่ visible (VIS), near-infrared (NIR), short-wave infrared (SWIR) และ long-wave infrared (LWIR) โดยครอบคลุมความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.4 ถึง 14.4 ไมโครเมตร และมีขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ที่แตกต่างกัน 3 ระดับคือ ที่ขนาด 250 เมตร (ช่วงคลื่น 1 และ 2), ขนาด 500 เมตร (ช่วงคลื่น 3 - 7) และขนาด 1 กิโลเมตร (ช่วงคลื่น 8 - 36)

2.2 อุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea surface temperature)

อุณหภูมิผิวน้ำทะเลวัดโดยเครื่องวัดรังสีอินฟราเรดจากเซนเซอร์ MODIS โดยทั่วไปเรียกว่า อุณหภูมิผิวของมหาสมุทร ทั้งนี้ เนื่องจากรังสีที่วัดโดยเครื่องวัดรังสีอินฟราเรด มีต้นกำเนิดที่ชั้นผิวที่มีความร้อนได้ผิวของมหาสมุทรไม่ใช่การวัดอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเล โดยเครื่องวัดอุณหภูมิที่มีการวัดค่าจากแหล่งกำเนิดโดยตรง [7, 8] ซึ่งชั้นผิวความร้อนของมหาสมุทรมีความหนาแน่นน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร [9, 10] โดยใช้รังสีอินฟราเรดของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าในการตรวจจับการปล่อยความร้อน ซึ่งใช้รังสีทำการตรวจวัดได้พื้นผิวน้ำทะเล ประมาณ 10 ไมโครเมตร จนถึงความลึก 1 มิลลิเมตร [11] โดยที่พื้นผิวน้ำทะเลทั้งหมดจะสะท้อนรังสีความร้อนออกมา ซึ่งความแรงของรังสีที่ได้รับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิพื้นผิวน้ำทะเล ถ้าอุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นพลังงานที่ปล่อยออกมาก็ยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย

ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากดาวเทียม Aqua ระบบเซนเซอร์ MODIS แบ่งออกเป็น 2 ช่วงคลื่น ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นสั้น (The short-wave Sea surface temperature) ใช้ความยาวช่วงคลื่นระบบ MODIS ในความยาวช่วงคลื่นแถบ 22 - 23 เรียกว่า 'SST4' โดยที่ '4' ระบุตัวเลขความถี่ของแถบที่ใช้กับ Short wave Infrared ความยาวคลื่น 4 μm ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในเวลากลางคืน และข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาว (The long-wave Sea surface temperature) ใช้ความยาวช่วงคลื่นแถบ 31 -32 ความยาวคลื่น 11 μm ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในเวลากลางวัน เรียกว่า 'SST' ซึ่งจะให้ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในหน่วย องศาเซลเซียส [12, 13] โดยตรวจจับการแผ่รังสีความร้อนที่ปล่อยออกมาจากพื้นผิวน้ำทะเล ซึ่งในการวิจัยได้ใช้ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในเวลากลางคืนเพราะมีค่าเสถียรกว่าอุณหภูมิที่ตรวจวัดในตอนกลางวัน ดังรูปที่ 2 เพราะมีเวลากลางวันมีการรบกวนจากแสงอาทิตย์ทำให้ดาวเทียมวัดค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ได้มีความผิดพลาด



รูปที่ 2 อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในเวลากลางคืนและกลางวัน [14]

2.3 ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll concentration)

คลอโรฟิลล์-เอ (Chlorophyll-a) เป็นรงควัตถุ (Pigment) ที่สำคัญที่พบในพืช และแบคทีเรียบางชนิด มีหน้าที่รับพลังงานจากแสงที่ถูกนำไปใช้ใน การสร้างพลังงาน สามารถพบได้ในแพลงก์ตอนพืช และสาหร่าย ซึ่งแพลงก์ตอนพืชถือเป็นส่วนสำคัญของห่วงโซ่อาหารของมหาสมุทรซึ่งเป็นแหล่งอาหารของสัตว์น้ำหลายชนิด ซึ่งอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ส่งผลทั้งทางบวก และทางลบต่อการควบคุมความสามารถในการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช [5] ในบางพื้นที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์ในเชิงบวก เนื่องจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นสามารถเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง ในสิ่งมีชีวิตนำไปสู่การเพิ่มความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ ส่งเสริมการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ในขณะที่เดียวกันบางพื้นที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์ในเชิงลบ สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสามารถนำไปสู่การเพิ่มขึ้นน้ำทะเลเป็นการแบ่งแยกน้ำในมหาสมุทรออกเป็นชั้น ๆ ซึ่งสามารถจำกัดการผสมสารอาหารในแนวตั้งของน้ำทะเล และลดความอุดมสมบูรณ์สารอาหารสำหรับแพลงก์ตอนพืช ส่งผลให้การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ถูกจำกัด ทั้งนี้ความสัมพันธ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของปี รวมไปถึงกระแสน้ำในมหาสมุทร และสภาพแวดล้อมที่เฉพาะเจาะจง [15]

ข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ จากดาวเทียม Aqua ระบบเซนเซอร์ MODIS จะให้ค่าประมาณของความเข้มข้นใกล้ผิวน้ำของคลอโรฟิลล์ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3) ที่คำนวณมาจากการวัดจากแหล่งกำเนิดของคลอโรฟิลล์ และแสงสะท้อนจากระยะไกลในบริเวณพื้นที่สีน้ำเงินถึงสีเขียวของช่วงสเปกตรัม การใช้งานจะขึ้นอยู่กับความพร้อมของการวัดค่าความยาวคลื่น 3 ช่วงขึ้นไป ซึ่งครอบคลุมความยาวช่วงสเปกตรัม 440 - 670 นาโนเมตร ซึ่งการใช้งานปัจจุบันสำหรับอัลกอริทึมคลอโรฟิลล์ (chlor_a) ใช้อัลกอริทึมอัตราส่วนความยาวช่วงคลื่นมาตรฐาน (OCx) ที่ผสมกับดัชนีสี (color index, CI) โดยวิเคราะห์ความแตกต่างความยาวคลื่นช่วงสีน้ำเงินและช่วงสีเขียว ดังสมการที่ 1-3 [16]

$$CI = R_{rs}(\lambda_g) - [R_{rs}(\lambda_b) + \frac{(\lambda_g - \lambda_b)}{(\lambda_r - \lambda_b) * (R_{rs}(\lambda_r) - R_{rs}(\lambda_b))}] \quad (1)$$

$$\text{chlor}_a = 10^{(a_0 \text{CI} + a_1 \text{CI}^2)} \quad (2)$$

$$\log_{10}(\text{chlor}_a) = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i \left(\log_{10} \left(\frac{R_{rs}(\lambda_b)}{R_{rs}(\lambda_g)} \right) \right) \quad (3)$$

โดย CI คือ ดัชนีสี, $R_{rs}(\lambda_r)$, $R_{rs}(\lambda_b)$, $R_{rs}(\lambda_g)$ คือ ความยาวคลื่นช่วงสีแดง, ช่วงสีน้ำเงิน และช่วงสีเขียวของสเปกตรัม ตามลำดับ

chlor_a คือ ค่าประมาณจากอัลกอริทึมคลอโรฟิลล์, a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของดัชนีสี, $a_0 - a_4$ คือ ค่าเซนเซอร์เฉพาะ

2.4 ลักษณะทั่วไปของอ่าวไทยตอนบน

2.4.1 สภาพภูมิอากาศ

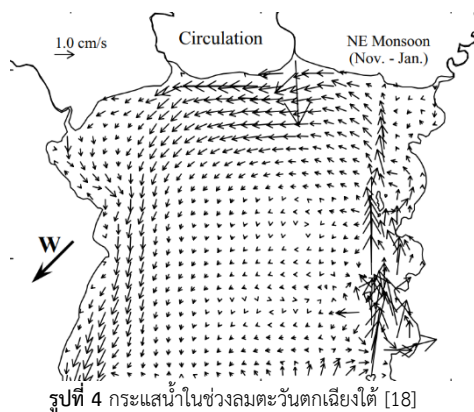
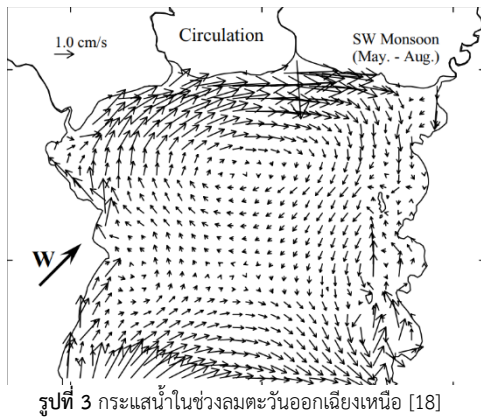
การเปลี่ยนแปลงฤดูกาลมีผลต่อการหมุนเวียนของมวลอากาศเหนือพื้นผิวน้ำทะเล เช่น การเกิดลมมรสุมในแถบทวีปเอเชีย ในช่วงฤดูร้อนอากาศเหนือบริเวณแผ่นดินจะร้อนทำให้เกิดการลอยตัวขึ้น กลายเป็นบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ ซึ่งอากาศเหนือบริเวณมหาสมุทรอินเดียที่เย็นกว่า มีลักษณะที่หนักกว่า และมีความกดอากาศสูง จึงส่งผลให้มีการไหลเข้าไปแทนที่ ทำให้เกิดเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (Southwest monsoon) ในทางกลับกันในช่วงฤดูหนาว พื้นที่บริเวณแผ่นดินมีอุณหภูมิที่เย็นเร็วกว่าอากาศเหนือบริเวณพื้นดินเย็นตัวลง และมีความหนาแน่นมาก จะจมลงสู่เบื้องล่าง เกิดหย่อมความกดอากาศสูง ขณะที่อากาศเหนือบริเวณพื้นผิวน้ำทะเลยังอุ่นอยู่ ซึ่งมีความเบา และลอยตัว เพราะความหนาแน่นน้อย เกิดหย่อมความกดอากาศต่ำ กระแสลมจึงพัดจากแผ่นดินออกสู่มหาสมุทรอินเดีย เรียกว่า ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Northeast monsoon)

อ่าวไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม ได้แก่ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงกันยายน หรือต้นเดือนตุลาคม และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ และต้นเดือนมีนาคม [1] ช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ สภาพอากาศค่อนข้างเย็นและแห้งแล้ง อุณหภูมิลดต่ำลง ส่วนช่วงที่ได้รับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ สภาพอากาศจะค่อนข้างเย็นชื้น มีฝนตกชุก ส่วนในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคมเป็นช่วงที่มีอากาศร้อน เนื่องจากได้รับอิทธิพลของลมใต้

2.4.2 การไหลเวียนของกระแสน้ำ

การไหลเวียนของกระแสน้ำในทะเล คือ มวลน้ำจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง กระแสน้ำในทะเล สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ กระแสน้ำบริเวณพื้นผิว (Surface currents) และกระแสน้ำลึก (Deep currents) ซึ่งกระแสน้ำที่มีขนาดใหญ่จะพบบริเวณพื้นผิวน้ำทะเล กระแสน้ำเหล่านี้จะช่วยเคลื่อนย้ายความร้อนจากเขตร้อนไปยังเขตหนาว กระแสลมจะเป็นตัวเคลื่อนย้ายความร้อน จากเขตร้อนประมาณ 2 ใน 3 ของความร้อนทั้งหมดไปยังแถบขั้วโลก และที่เหลืออีกประมาณ 1 ใน 3 จะถูกเคลื่อนย้ายโดยกระแสน้ำทะเล [17] รูปแบบการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนโดยกระแสน้ำทะเลจะมีลักษณะคล้ายกับการเคลื่อนย้ายโดยกระแสลม ซึ่งกระแสน้ำทะเลจะมีผลต่อภูมิอากาศในเขตชายฝั่ง โดยกระแสน้ำเย็น (Cold current) จะไหลเข้าสู่แนวศูนย์สูตร (Equator) ทางไหลทวีปด้านทิศตะวันตกทำให้มีสภาพความแห้งแล้งเกิดขึ้น ในทางตรงกันข้ามกระแสน้ำอุ่น (Warm current) จะไหลเข้าสู่ขั้วโลกจากไหลทวีปทางทิศตะวันออกทำให้สภาพอากาศอบอุ่นและมีความชุ่มชื้น กระแสน้ำมีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในทะเล ซึ่งกระแสน้ำทะเลมีอิทธิพลต่อความขุ่นของแพลงก์ตอนพืช และสาหร่ายที่อาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำทะเล โดยมีผลต่อการเจริญเติบโต และเป็นจุดเริ่มต้นของระบบห่วงโซ่อาหารในทะเล

ลักษณะการไหลเวียนของกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนขึ้นอยู่กับอิทธิพลของลมมรสุม ได้แก่ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือส่งผลให้กระแสน้ำมีทิศทางวนเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 3 ส่วนมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ส่งผลให้กระแสน้ำเกิดทั้งในแบบตามเข็มนาฬิกา และทวนเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 4 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในช่วงเวลานั้น พบว่ากระแสน้ำมีทิศทางวนเข็มนาฬิกาเกิดจากอิทธิพลของลมที่พัดสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ในช่วงนั้น สำหรับการเกิดกระแสน้ำแบบทวนเข็มนาฬิกายังไม่แน่ชัดว่าเกิดจากปัจจัยใด แต่อาจเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของลมที่พัดในบริเวณพื้นที่อ่าว การแทรกตัวของน้ำภายนอกทางด้านตะวันออกของอ่าว การไหลลงมาของน้ำท่าหรือลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ทะเลบริเวณดังกล่าว [18]



2.4.3 ปรากฏการณ์น้ำผุด (Upwelling)

ปรากฏการณ์น้ำผุดเป็นปรากฏการณ์ทางสมุทรศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวที่ซับซ้อนด้วยลม ทำให้เกิดกระบวนการน้ำเย็น และอุดมด้วยสารอาหารจากชั้นลึกของมหาสมุทรถูกดึงขึ้นสู่มิวน้ำ ซึ่งมวลน้ำจากส่วนลึกของน้ำทะเลที่อุดมด้วยสารอาหารช่วยกระตุ้นการเติบโต และการสืบพันธุ์ของผู้ผลิตหลัก เช่น แพลงก์ตอนพืช ทำให้เกิดการผสมของมวลน้ำส่วนลึกที่มีอุณหภูมิเย็น ทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีอุณหภูมิลดลงอีกด้วย การเกิดปรากฏการณ์น้ำผุด บริเวณอ่าวไทยตอนบน จะเกิดในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-ตุลาคม) ซึ่งเป็นช่วงที่ลมแรงจะพัดไปตามชายฝั่งตะวันตกของอ่าว อาจทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของน้ำห่างจากชายฝั่ง และนำไปสู่การไหลตัวของน้ำที่เย็นกว่า และอุดมด้วยสารอาหารจากชั้นที่ลึกลง

ไป ทั้งนี้สามารถส่งผลกระทบต่อสำคัญต่อระบบนิเวศทางทะเลในท้องถิ่นได้ โดยเป็นแหล่งสารอาหารเพิ่มเติม สำหรับแพลงก์ตอนพืชและสิ่งมีชีวิตในทะเลอื่น ๆ

2.4.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน เป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear relationship) ระหว่างตัวแปร 2 ตัวหรือข้อมูล 2 ชุด โดยมีข้อตกลงเบื้องต้น คือ ตัวแปรทั้งสองต้องเป็นตัวแปรต่อเนื่องอยู่ในมาตราอันตรภาคชั้น (interval scale) ขึ้นไป และมีการแจกแจงปกติสองตัวแปร (bivariate normal distribution) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง +1 เข้าใกล้ ± 1 หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอยู่ในระดับมาก ถ้าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยหรือไม่สัมพันธ์กันเลย เครื่องหมายบวก (+) จะแสดงทิศทางของความสัมพันธ์ว่ามีทิศทางเป็นแบบใด โดยถ้าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีเครื่องหมายบวก (+) หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน หากมีเครื่องหมายลบ (-) หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ไม่ไปในทิศทางเดียวกัน หรือตรงกันข้าม ดังสมการที่ 4 [19]

$$r_{xy} = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (4)$$

เมื่อ r_{xy} คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

$\sum x$ คือ ผลรวมของข้อมูลที่วัดจากตัวแปรที่ 1

$\sum y$ คือ ผลรวมของข้อมูลที่วัดจากตัวแปรที่ 2

$\sum xy$ คือ ผลรวมของผลคูณของตัวแปรที่ 1 และ 2

$\sum x^2$ คือ ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดจากตัวแปรที่ 1

$\sum y^2$ คือ ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดจากตัวแปรที่ 2

n คือ ขนาดตัวอย่าง

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ดาวเทียมโหลดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Aqua ซึ่งเป็นดาวเทียมใช้เซนเซอร์ระบบ MODIS โดยทำการเลือกข้อมูลผลิตภัณฑ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ โดยข้อมูลทั้งสองผลิตภัณฑ์ เป็นข้อมูล Level 3 แบบรายเดือน (Monthly) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ผ่านการปรับแก้ทางเรขาคณิตพร้อมทั้งได้รับการรวบรวม และฉายภาพ (projection) บนตารางเชิงพื้นที่ที่กำหนดไว้เป็นที่เรียบร้อย มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 4.6 กิโลเมตร โดยข้อมูลที่ได้อยู่ในรูปแบบ netCDF

ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมของทั้งสองผลิตภัณฑ์จะทำการเลือกดาวน์โหลดข้อมูลแบบรายเดือน ของแต่ละเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2558-2565 เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 8 ปี โดยได้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Aqua ผลิตภัณฑ์

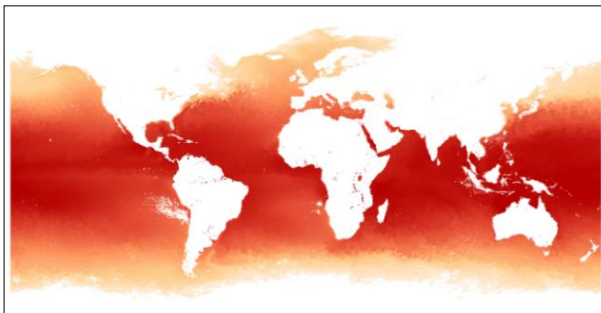
อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์เป็นจำนวนละ 96 ข้อมูลของทั้งสองผลิตภัณฑ์ สามารถดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมได้จากเว็บไซต์ <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/> ของ NASA ได้รับการสนับสนุนโดย Ocean Biology Processing Group (OBPG) ซึ่งให้ข้อมูลสีมหาสมุทร, อุณหภูมิผิวน้ำทะเล และข้อมูลความเค็มของผิวน้ำทะเล เป็นต้น

3.2 การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

เนื่องจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ได้จากการดาวน์โหลด ข้อมูลผลิตภัณฑ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์แบบรายเดือนจะได้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบ netCDF ซึ่งเป็นไฟล์ข้อมูลในรูปแบบเข้ารหัสการจัดเก็บข้อมูลเป็นฐานข้อมูลจึงต้องทำการการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ Raster ซึ่งเป็นไฟล์ภาพดิจิทัลประเภทหนึ่งทีเก็บข้อมูลเป็นตารางสี่เหลี่ยมหรือเมทริกซ์ของพิกเซล โดยแต่ละพิกเซลในตารางจะได้รับการกำหนดค่าเฉพาะ เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปในการประมวลผลและวิเคราะห์ต่อได้ ซึ่งในการแปลงข้อมูลจากรูปแบบ netCDF ไปสู่รูปแบบ Raster โดยทำการเขียน Python script ซึ่งประกอบไปด้วย library ได้แก่ xarray, rioarray และ netCDF4 ที่ช่วยในการเข้าถึงข้อมูลไฟล์รูปแบบ netCDF ไปสู่รูปแบบ Raster พร้อมทั้งระบุระบบพิกัดเพื่อนำไปใช้ในการดำเนินงานต่อไป

3.3 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

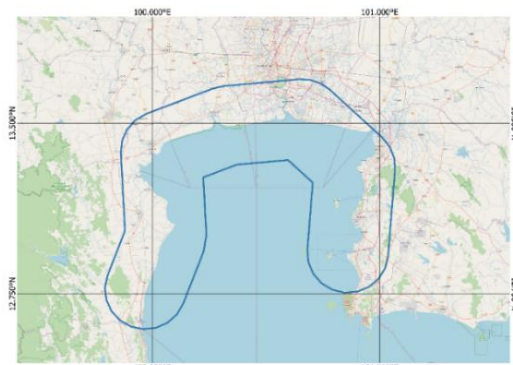
ใช้โปรแกรม Quantum GIS (QGIS) ในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เมื่อได้ข้อมูลผลิตภัณฑ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ที่เป็นรูปแบบ Raster ที่ได้จากการแปลงไฟล์แล้ว ทำการเปิดข้อมูลภายในโปรแกรม QGIS จะแสดงให้เห็นว่าข้อมูลผลิตภัณฑ์มีขนาดครอบคลุมทั้งพื้นที่ทั่วโลก แสดงดังรูปที่ 5 ในการวิจัยได้เลือกพื้นที่ศึกษาเฉพาะบริเวณพื้นที่ทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน จึงทำการเลือกเฉพาะพื้นที่ที่สนใจในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ทั้งนี้จากไฟล์ข้อมูล Raster ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์จะมีข้อมูลไฟล์บางเดือนที่มีข้อมูลขาดหาย หรือจำนวนค่าพิกเซลในขอบเขตพื้นที่ศึกษามีน้อยเกินไป ทำให้ต้องทำการกรองข้อมูลด้วยการเลือกข้อมูลนั้นออกเพื่อไม่นำมาประมวลผล



รูปที่ 5 ค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลทั้งทวีปทั่วโลก

3.3.1 กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา

โดยพื้นที่ศึกษาอ้างอิง จากตำแหน่งที่ตั้งสถานีเก็บตัวอย่างบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนใน ซึ่งครอบคลุมบริเวณอ่าวไทยตอนบน หรืออ่าวรูปตัว ก. ซึ่งตั้งอยู่ที่จังหวัด จากนั้นสร้างเส้นฐานเชื่อมระหว่างสถานี ด้วยเครื่องมือ Point to Path โดยจะลากเส้นเชื่อมระหว่างข้อมูลจุด (Point) เพื่อสร้างเป็นข้อมูลเส้น (Line) จากนั้นทำการตีขอบเขตพื้นที่ ศึกษาจากเส้นฐานที่ได้สร้างขึ้น โดยทำการ Buffer สร้างแนวกันชนเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ขอบเขตระยะออกไป 12 ไมล์ทะเลหรือประมาณ 22.2 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งอ้างอิงจากขอบเขตทะเลอาณาเขต นิยามตามอนุสัญญาสหประชาชาติ ว่าด้วยกฎหมายทะเล ว่าเป็นแนวน่านน้ำชายฝั่ง วัดจากเส้นฐานของรัฐชายฝั่งไปไกลที่สุด 12 ไมล์ทะเล [6]



รูปที่ 6 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน

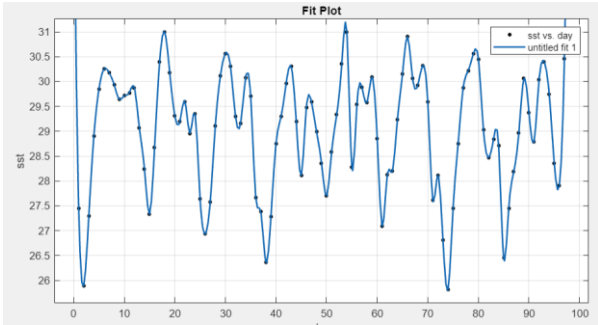
3.3.2 การประมวลผลหาค่าทางสถิติเชิงพื้นที่

ทำการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ในขอบเขตพื้นที่ศึกษาเพื่อทราบถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลว่ามีเปลี่ยนแปลงอย่างไร ในแต่ละเดือน และช่วงปีโดยใช้เครื่องมือ Zonal statistics ซึ่งเป็นการคำนวณค่าทางสถิติของไฟล์ประเภท Raster โดยใช้ข้อมูลอีกชุดหนึ่งซึ่งเป็นข้อมูลขอบเขตพื้นที่

3.3.3 การเติมข้อมูลที่ขาดหายไปด้วยการประมาณค่า

เนื่องจากมีบางไฟล์ข้อมูลของบางเดือนที่ได้ขาดหายไปแล้วไม่นำมาใช้ในการประมวลผล Zonal statistics ทำให้ไม่มีผลลัพธ์ค่าเฉลี่ย ในขอบเขตพื้นที่ศึกษาของเดือนที่ขาดหายไป จึงทำการเติมข้อมูลที่หาย (fill missing data) โดยใช้หลัก Data curve fitting เป็นกระบวนการสร้างเส้นโค้ง หรือฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่มีความเหมาะสมที่สุดกับชุดของจุดข้อมูลแล้ว สามารถทำนายข้อมูลที่ขาดหายไปให้มีความพอดีกับเส้นโค้งของชุดข้อมูลนั้น ได้ผ่านการใช้ Curve Fitting โดยเลือกวิธี Cubic spline ซึ่งข้อมูลที่ได้จะมีความพอดีกับเส้นโค้งสมการ Polynomial degree 3 ที่เชื่อมต่อกันระหว่างจุด 2 จุดที่อยู่ติดกันแล้ว ยังให้ค่าความลาดชันของเส้นโค้งทั้งสองเส้น มาติดกันที่จุดข้อมูลมีค่าเท่ากัน หรือกล่าวได้ว่าเส้นโค้งจะราบเรียบที่จุดต่อของเส้นโค้งทั้งสองเส้น แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งให้ค่าประมาณพอดีกับเส้นโค้งดีกว่า Polynomial degree 1 และ 2 [20] เมื่อได้ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ แต่

ละปิดเรียบร้อยแล้ว ทำการปรับข้อมูลด้วยวิธี Moving Average ซึ่งเป็นการกระจายความคลาดเคลื่อนของข้อมูล โดยกำหนดช่วงกระจายอยู่ที่ 3 เดือน ก็จะทำให้ข้อมูลมีความราบเรียบมากขึ้น [21]



รูปที่ 7 การประมาณค่าข้อมูลที่หายไปด้วย Curve Fitting

3.3.4 สร้างข้อมูลค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงรายเดือน

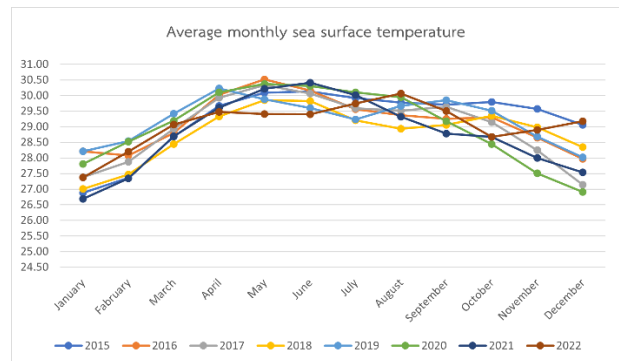
จากข้อมูลค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ ในแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2558 – 2565 นำมาสร้างข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือน ในรอบระยะเวลา 8 ปี ยกตัวอย่างเช่น นำข้อมูลค่าเฉลี่ยเดือนมกราคมของแต่ละปี มารวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ย จะได้เป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนในรอบ 8 ปี เป็นต้น พร้อมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation) เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์

4. ผลลัพธ์

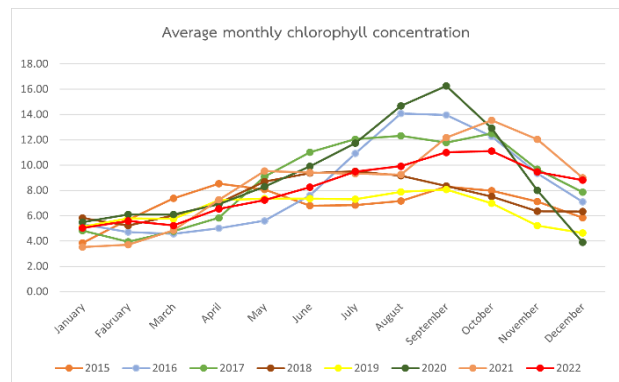
ผลลัพธ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงช่วงลมมรสุมที่แตกต่างกัน ซึ่งการเกิดช่วงลมมรสุมก่อให้เกิดกระแสน้ำและปรากฏการณ์ทางทะเล โดยอ้างอิงจากทฤษฎีของ [18] กล่าวคือ ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พฤศจิกายน-เมษายน) พัดจากบริเวณประเทศจีน ทำให้กระแสน้ำไหลทวนเข็มนาฬิกา และช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-ตุลาคม) พัดจากบริเวณมหาสมุทรอินเดีย ทำให้กระแสน้ำไหลตามเข็มนาฬิกา ซึ่งมีกำลังแรงก่อให้เกิดปรากฏการณ์น้ำผุดในช่วงลมมรสุมนี้ จากอิทธิพลช่วงลมมรสุมทั้งสอง ช่วงเวลาที่ก่อให้เกิดกระแสน้ำที่แตกต่างกัน มีอิทธิพลทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เกิดการเปลี่ยนแปลง

อุณหภูมิผิวน้ำทะเล บริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงตามฤดูกาล แสดงดังรูปที่ 8 กราฟของค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูง และต่ำรายเดือนจากดาวเทียม Aqua ระบบเซนเซอร์ MODIS เป็นเวลา 8 ปี ซึ่งโดยทั่วไปอุณหภูมิผิวน้ำทะเล จะมีค่าสูงสุดหนึ่งครั้ง และอุณหภูมิต่ำสุดหนึ่งครั้งในหนึ่งปี โดยปริมาณของอุณหภูมิในแต่ละปี จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ และความผิดปกติในทะเล จึงสามารถส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิที่สูงและต่ำได้ [22] เริ่มต้นจากเดือนมกราคม แสดงให้เห็นแนวโน้มอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงเดือนพฤษภาคม จากนั้นเดือนถัดไปอุณหภูมิจะค่อย ๆ

ลดลง ในขณะที่ค่าเฉลี่ยรายเดือนของความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ บริเวณทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน แสดงดังรูปที่ 9 ซึ่งค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์จะมีค่าสูงในช่วงเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม เนื่องจากได้รับอิทธิพลลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้เกิดการหมุนเวียนกระแสน้ำตามเข็มนาฬิกา บริเวณอ่าวไทยตอนบน ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์น้ำผุด (Upwelling) ซึ่งพัดพามวลน้ำที่มีอุณหภูมิเย็น และสารอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช จากน้ำลึกขึ้นมาสู่ผิวน้ำทะเล ทำให้น้ำเกิดการผสมของน้ำทะเลส่งผลให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเล มีแนวโน้มลดลงและเป็นการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์บนผิวน้ำให้มากขึ้นอีกด้วย [23] [24]



รูปที่ 8 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลรายเดือนในแต่ละปี



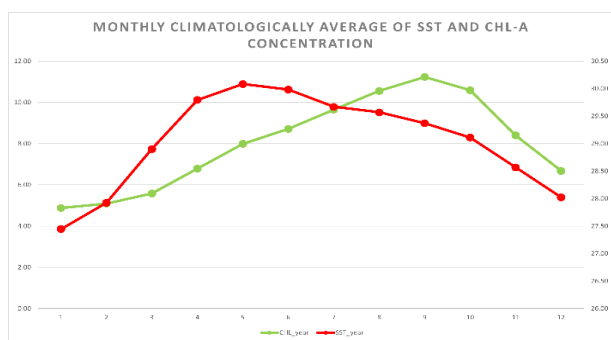
รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์รายเดือนในแต่ละปี

ค่าเฉลี่ยรายเดือนอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ ในช่วงระยะ 8 ปี แสดงดังตารางที่ 1 และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ แสดงดังรูปที่ 10 ซึ่งแสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง โดยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเริ่มมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตั้งแต่เดือนมกราคม และมีอุณหภูมิเฉลี่ยมากที่สุด ในเดือนพฤษภาคมอยู่ที่ 30.08 องศาเซลเซียส จากนั้นในเดือนมิถุนายน อุณหภูมิจะลดลง และค่าความเข้มข้นคลอโรฟิลล์มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ในเดือนกันยายน โดยมีค่าเฉลี่ย 11.23 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งรูปแบบวัฏจักรอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ บริเวณทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน ได้รับอิทธิพลจากช่วงลมมรสุม ซึ่งอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะสูงในช่วงเปลี่ยนจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ในขณะที่ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์จะมีค่าเฉลี่ยสูงในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ เฉลี่ยต่อเดือน บนผิวน้ำทะเลอ่าวไทยตอนบน เริ่มมีปริมาณสูงตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงตุลาคมซึ่งอยู่ในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และปริมาณลดลงช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเมษายนในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ก่อนจะกลับมามีค่าสูงอีกครั้ง ในเดือนมิถุนายนเป็นวัฏจักรประจำปีถัดไป ในส่วนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล มีอุณหภูมิค่าประมาณ 27-28 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ ซึ่งอยู่ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ กระแสน้ำส่วนใหญ่พัดจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไป ทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอ่าวไทยตอนบน เป็นทิศทวนเข็มนาฬิกา ทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลเปลี่ยนแปลง และการเจริญเติบโตขยายพันธุ์ของแพลงก์ตอนมีจำกัด ส่งผลให้คลอโรฟิลล์มีปริมาณน้อยในช่วงนี้ ต่อมาอุณหภูมิจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วงเปลี่ยนจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (ฤดูร้อน) อุณหภูมิของผิวน้ำทะเล จะสูงขึ้นประมาณ 29-30 องศาเซลเซียส และตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม อุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะค่อย ๆ ลดลงส่งผลต่อการเจริญเติบโต และเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยรายเดือนอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ ในช่วงระยะ 8 ปี

เดือน	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ (mg/m ³)
มกราคม	27.44	4.88
กุมภาพันธ์	27.92	5.09
มีนาคม	28.90	5.58
เมษายน	29.79	6.79
พฤษภาคม	30.08	7.99
มิถุนายน	29.98	8.72
กรกฎาคม	29.67	9.65
สิงหาคม	29.57	10.56
กันยายน	29.37	11.23
ตุลาคม	29.11	10.60
พฤศจิกายน	28.57	8.40
ธันวาคม	28.02	6.68



รูปที่ 10 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในระยะ 8 ปี

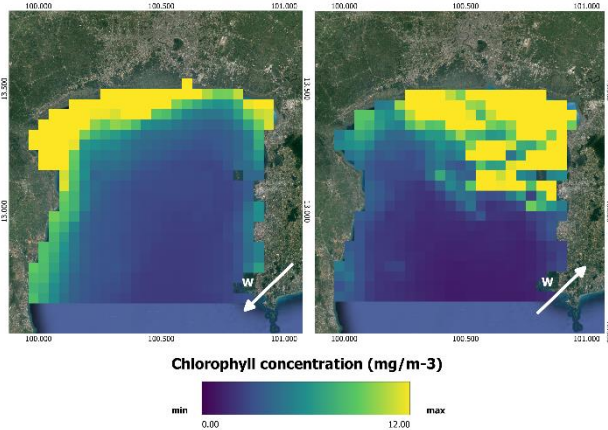
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation) ซึ่งค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ในเชิงบวก และเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 เปลี่ยนไปตามช่วงลมมรสุม ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

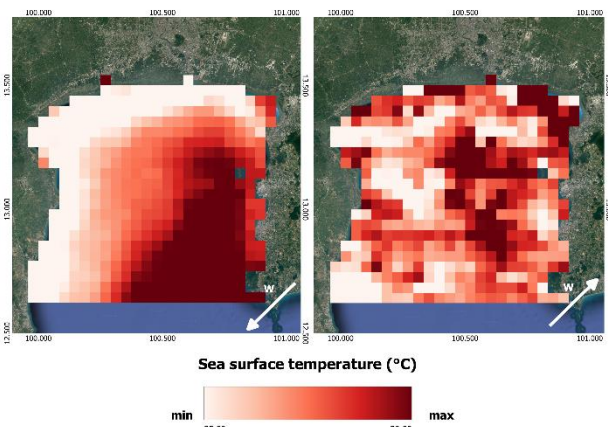
ปี	ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (r ₁)	ช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (r ₂)
2558	0.97	-0.38
2559	0.41	-0.97
2560	0.20	-0.93
2561	0.22	0.06
2562	0.73	0.05
2563	0.82	-0.59
2564	0.57	-0.84
2565	-0.25	-0.22

จากตารางที่ 2 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าสหสัมพันธ์เป็นบวก กล่าวคือ อุณหภูมิผิวน้ำทะเลเพิ่มจะส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้เกิดฝนตกน้อย ส่งผลให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีอุณหภูมิสูง ดังรูปที่ 12 ซ้ำยและลมตะวันออกเฉียงเหนือไม่แรงพอที่จะพัดน้ำให้เกิดกระแสน้ำผุดจากการศึกษาของ [25] เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากภูเขากระวาน (Cardamom Mountains) ตามแนวชายฝั่งตะวันออกของประเทศไทยที่ขวางลมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ไม่ได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์น้ำผุดที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ ดังรูปที่ 11 ซ้ำย ซึ่งปริมาณของคลอโรฟิลล์ส่วนใหญ่อยู่บริเวณทางทิศตะวันตกของอ่าวไทยตอนบนเนื่องจากกระแสน้ำในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่หมุนทวนเข็มนาฬิกา และทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณเดียวกันเอื้อต่อการเพิ่มของความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ ในขณะที่ค่าสหสัมพันธ์ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แสดงค่าเป็นลบ กล่าวคือ อุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ลดลงมีผลต่อการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้เกิดลมตะวันตกพัดแรงบริเวณใกล้ชายฝั่งและมีฝนตกชุก ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำผุดที่ทำให้เกิดการผสมของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล จากชั้นลึกมาสู่ผิวน้ำทะเล ส่งผลให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีอุณหภูมิต่ำ ดังรูปที่ 12 ซ้ำย และพัดพาสารอาหารขึ้นมาสู่ผิวน้ำทะเล ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์มีมากและรวมตัวอยู่ทางทิศทิศตะวันออกของอ่าวไทยตอนบนเนื่องจากกระแสน้ำพัดพาหมุนลักษณะตามเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 11 ซ้ำย ในฤดูกาลนี้ [26] ทั้งนี้ ผลลัพธ์ค่าสหสัมพันธ์ที่ได้เป็นการบ่งบอกทิศทางความสัมพันธ์ของข้อมูล ระดับความสัมพันธ์มากหรือน้อยระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ ซึ่งมีปัจจัย

ทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ร่วมด้วยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงให้ความสัมพันธ์ระหว่างสองข้อมูลในช่วงลมมรสุมของบางปีเกิดระดับความสัมพันธ์น้อยลง



รูปที่ 11 ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ซ้าย) และช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ขวา) พร้อมลูกศรทิศทางลม



รูปที่ 12 อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ซ้าย) และช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ขวา) พร้อมลูกศรทิศทางลม

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์บริเวณทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน จากการใช้อข้อมูลจากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ ในแต่ละช่วงของปี ได้รับอิทธิพลมาจากช่วงลมมรสุม โดยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงเปลี่ยนจากช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ หรือในช่วงฤดูร้อน มีค่าค่อนข้างสูงกว่าอุณหภูมิในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงผลกระทบของวัฏจักรมรสุม ในขณะที่ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์มีอยู่พอสมควรตลอดทั้งปี แต่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่ามรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ให้ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์สูงกว่า ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ ในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มีลมกำลังแรง ทำให้เกิดการผสมกันของผิวน้ำ และเกิดปรากฏการณ์น้ำผุดซึ่งมวลน้ำเพิ่มขึ้น จากชั้นล่างจึงมีสารอาหารที่อุดม

สมบูรณ์ และอุณหภูมิที่เย็นกว่า ทำให้สารอาหารที่ชั้นผิวทะเลเพิ่มขึ้นด้วย และตามมาด้วยการเพิ่มความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ในขณะที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะลดลงในเวลาเดียวกัน ส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม ในขณะที่ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แสดงความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน จากช่วงระยะเวลาศึกษา 8 ปี แสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ อีกทั้งยังสามารถทำนายช่วงเดือนที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ในอนาคต

อุณหภูมิผิวน้ำทะเลเป็นเพียงแค่งปัจจัยหนึ่ง ในการแสดงความสัมพันธ์ต่อความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ ทั้งนี้อาจจะมีอิทธิพลจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ความเค็ม, คุณภาพน้ำ, การไหลของเวลา เป็นต้น ที่ไม่ได้ศึกษาไว้ในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้เทคนิคการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียมสามารถให้ข้อมูลที่ดี ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของงานวิจัยครั้งนี้คือ แหล่งข้อมูลที่มาจากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS เท่านั้น ขอเสนอแนะให้มีการวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และเก็บตัวอย่างคลอโรฟิลล์ในพื้นที่ศึกษาเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบส่งผลให้เกิดความแม่นยำที่มากขึ้น และงานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลต่อความเข้มข้นคลอโรฟิลล์เพื่อการสังเคราะห์ระบบนิเวศทางทะเล และการประมง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ บุคลากร ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษา แนวคิด วิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนการดำเนินวิจัยครั้งนี้เสร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dall'Olmo, G., A.A. Gitelson, and D.C. Rundquist, *Towards a unified approach for remote estimation of chlorophyll-a in both terrestrial vegetation and turbid productive waters.* Geophysical Research Letters, 2003. **30**(18): p. n/a-n/a.
- [2] ณีฐวรรธน์ ปภาวสิทธิ์, ระบบนิเวศป่าชายเลน, in คู่มือวิธีการประเมินแบบรวดเร็วเพื่อการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมพื้นที่ชายฝั่งทะเล. 2546, ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] Boonchai, K., et al., *The Influence of El Nino on Sea Surface Temperature in the Upper Gulf of Thailand.* Burapha Science Journal, 2022. **27**(2): p. 717-733.
- [4] ส่วนแหล่งน้ำทะเล, ทะเลไทย...วันนี้. 2546, กรุงเทพฯ: สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [5] Dunstan, P.K., et al., *Global patterns of change and variation in sea surface temperature and chlorophyll a.* Scientific Reports, 2018. **8**(1): p. 14624.

- [6] กรมสนธิสัญญาและกฎหมาย, หนังสือแปล อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยกฎหมายทะเล ค.ศ. 1982. 2548: กรมสนธิสัญญาและกฎหมาย กระทรวงการต่างประเทศ.
- [7] Donlon, C., et al., *The Global Ocean Data Assimilation Experiment High-Resolution Sea Surface Temperature Pilot Project*. Bulletin of The American Meteorological Society - BULL AMER METEOROL SOC, 2007. **88**.
- [8] Minnett, P.J., *Radiometric measurements of the sea-surface skin temperature: the competing roles of the diurnal thermocline and the cool skin*. International Journal of Remote Sensing, 2003. **24**(24): p. 5033-5047.
- [9] Wong, E.W. and P.J. Minnett, *The Response of the Ocean Thermal Skin Layer to Variations in Incident Infrared Radiation*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2018. **123**(4): p. 2475-2493.
- [10] Hanafin, J., *On sea surface properties and characteristics in the infrared*. 2002.
- [11] Thurman, H.V., *Essentials of oceanography*. 2019.
- [12] Ward, B., *Near-surface ocean temperature*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2006. **111**(C2).
- [13] Kilpatrick, K.A., et al., *A decade of sea surface temperature from MODIS*. Remote Sensing of Environment, 2015. **165**: p. 27-41.
- [14] Beggs. *SST Definitions*. 2021 [cited 2023 02]; Available from: <https://www.ghrsst.org/ghrsst-data-services/products/>.
- [15] Muskananfolo, M.R., Jumsar, and A. Wirasatriya, *Spatio-temporal distribution of chlorophyll-a concentration, sea surface temperature and wind speed using aqua-modis satellite imagery over the Savu Sea, Indonesia*. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2021. **22**.
- [16] Hu, C., et al., *Improving Satellite Global Chlorophyll a Data Products Through Algorithm Refinement and Data Recovery*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2019. **124**(3): p. 1524-1543.
- [17] สุวัจน์ ธีธรส, วิทยาศาสตร์เบื้องต้นทางทะเล. 2557: odeonstore.
- [18] Buranapratheprat, A., *Circulation in the upper gulf of Thailand: A review*. Burapha Science, 2008. **13**: p. 75-83.
- [19] Pearson, K., *Notes on the History of Correlation*. Biometrika, 1920. **13**(1): p. 25-45.
- [20] โศรฎา แข็งการ และกนต์ธร ชำนิประศาสน์, *Interpolation และ Curve Fitting*, in การใช้ MATLAB สำหรับงานทางวิศวกรรม. 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [21] บุชบา พุกษาพันธุ์รัตน์, การวางแผนและควบคุมการผลิต. 2552: บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.
- [22] Abidin, A., et al., *Relationship between chlorophyll-a and sea surface temperature to tuna catch in the Southern Water of Java*. Jurnal Penelitian Sains, 2020. **22**: p. 55-68.
- [23] Leenawarat, D., et al., *Influences of tropical monsoon and El Niño Southern Oscillations on surface chlorophyll-a variability in the Gulf of Thailand*. Frontiers in Climate, 2022. **4**.
- [24] Nurdin, S., M.A. Mustapha, and T. Lihan. *The relationship between sea surface temperature and chlorophyll-a concentration in fisheries aggregation area in the archipelagic waters of spermonde using satellite images*. AIP Publishing LLC.
- [25] Li, J., et al., *Effects of Cardamom Mountains on the formation of the winter warm pool in the gulf of Thailand*. Continental Shelf Research, 2014. **91**: p. 211-219.
- [26] Kan-atireklap, S., et al. *Fluxes of Dissolved Inorganic Nutrients and Total Suspended Solid at the Phangrad River Mouth, Rayong Province During Dry and Wet Seasons in 2015*. 2017.