

Research Article

การแพร่กระจายและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลา ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

The spatial and temporal variations and trends of sea surface temperature in the Gulf of Thailand from satellite imageries

ธวัชชัย นาอุดม^{1*} อานุกุล บุณยประทีปรัตน์² และ ศิราพร ทองอุดม²

Tawatchai Na-u-dom^{1*} Anukul Buranapratheprat² and Siraporn Tong-u-dom²

¹ คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว

² ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

¹ Faculty of Science and Social Sciences, Burapha University, Sa Kaeo Campus

² Department of Aquatic Sciences, Faculty of Science, Burapha University

*E-mail: tawatchai.na@buu.ac.th

Received: 20/01/2020; Revised: 17/05/2020; Accepted: 30/05/2020

บทคัดย่อ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลได้ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและทรัพยากรทางทะเลในปัจจุบันอย่างชัดเจน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแพร่กระจายและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยจากดาวเทียม Aqua MODIS ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2546 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 (15 ปี) ซึ่งพบว่าการแพร่กระจายเชิงพื้นที่และเวลาของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายปีในอ่าวไทยนั้นมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละปี (ประมาณ 29 ถึง 31 องศาเซลเซียส) และเพิ่มสูงขึ้น 1 ถึง 2 องศาเซลเซียสในช่วงปีเอลนีโญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง นอกจากนี้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามเวลา (ประมาณ 0.02 ถึง 0.06 องศาเซลเซียสต่อปี) โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนล่างที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาสูงกว่าบริเวณอื่นๆ

คำสำคัญ: อ่าวไทย, อุณหภูมิผิวน้ำทะเล, การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลา, Aqua MODIS

Abstract

Rising sea temperature have been obviously affected marine ecosystems and resources. This research aims to investigate the spatio – temporal distribution and trends of sea surface temperature in the Gulf of Thailand by using sea surface temperature data retrieved from Aqua MODIS from January 2003 to December 2017 (15 years). The results illustrated that the annual average sea surface temperature was normally between 29 to 31 °C and increased by approximately 1 to 2 °C during the El Niño condition, especially in the northern and southern Gulf of Thailand. The increasing trend was between 0.02 and 0.06 °C/year and its variation depended on sub-regions. High temporal variations were found in the upper Gulf of Thailand and along the coast of the lower gulf.

Keywords: Gulf of Thailand, Spatio – temporal distribution and trends, Sea surface temperature, Aqua MODIS

บทนำ

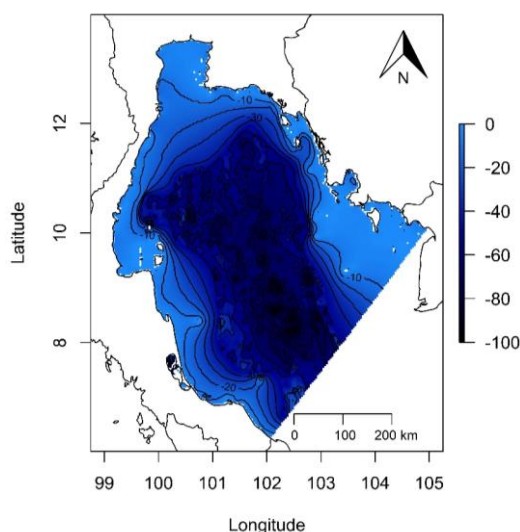
อ่าวไทยเป็นอ่าวกึ่งปิด มีพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ละติจูด 6 ถึง 14 องศาเหนือ และ ลองจิจูดที่ 99 ถึง 105 องศาตะวันออก มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 45 เมตร โดยกลางอ่าวมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะลึกประมาณ 80 เมตร มีแผ่นดินโอบล้อม 3 ด้านคือด้านเหนือ ด้านตะวันออกและตะวันตก โดยทางตอนใต้คือปากอ่าวมีความกว้างประมาณ 380 กิโลเมตรเชื่อมต่อกับทะเลจีนใต้ (South China Sea) (รูปที่ 1) สภาพภูมิอากาศของอ่าวไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งส่งผลต่อการไหลเวียนของกระแสน้ำและระยะเวลาพำนักของมวลน้ำในอ่าวไทย นอกจากนี้ยังเป็นที่ยอมรับว่าท่าจากแม่น้ำสายสำคัญหลายสาย เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำตาปี เป็นต้น (Buranapratheprat & Bunpaong, 1998; Leenawarat et al., 2019)

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิพื้นผิวน้ำทะเลอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากการกระทำของมนุษย์เป็นปัญหาที่มีความสำคัญในระดับโลกในปัจจุบัน (Yu et al., 2019; Ca, 2017; Park & Choi, 2017) สำหรับพื้นที่อ่าวไทยนั้น พบว่าอุณหภูมิของน้ำทะเลมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา (Koad et al., 2012) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเล (Sea surface temperature) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและทรัพยากรทางทะเลโดย Siswanto & Tanaka (2014) และ Ackaboot et al. (2015) พบว่าประชากรแพลงก์ตอนพืชซึ่งเป็นผู้ผลิตเบื้องต้นที่สำคัญในระบบนิเวศทางทะเลมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการไหลของกระแสน้ำและอุณหภูมิปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (Phytoplankton bloom) ที่เกิดจากการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วของประชากรแพลงก์ตอนพืชในอ่าวไทยนั้นถือได้ว่าเป็นปัญหาที่มีความสำคัญต่อทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง เนื่องจากก่อให้เกิดความ

เสียหายต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและทรัพยากรสัตว์น้ำชายฝั่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์น้ำหน้าดิน, การเกิดการฟอกขาวในหอยมือเสือ (Giant clams bleaching) (Junchompoo et al., 2013) รวมถึงการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในหลายพื้นที่ของอ่าวไทย (Chavanich et al., 2009; Hoeksema & Matthews, 2011; Sutthacheep et al., 2013)

โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในอดีตที่ผ่านมาเน้นการเก็บตัวอย่างจากพื้นที่ศึกษาในระดับภูมิภาค (Local scale) เช่น อ่าวไทยตอนบน (Na-u-dom et al., 2013) อันเนื่องมาจากข้อจำกัดด้านเวลาและงบประมาณวิจัย ทำให้ขาดความต่อเนื่องของข้อมูลทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ข้อมูลจากการรับรู้จากระยะไกล (Remote sensing) จึงได้ถูกนำใช้อย่างแพร่หลายเพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว (Boyer et al., 2009; Xu et al., 2013; Siswanto & Tanaka, 2014; Devi et al., 2015; Kratzer et al., 2014; Siswanto et al., 2016; Suwanlertcharoen & Prukpitikul, 2018) ซึ่งจะช่วยให้ได้ความต่อเนื่องของข้อมูลและทราบถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอ่าวไทยได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแพร่กระจายและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมทางทะเลภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นพื้นฐานในการเตรียมความพร้อม การประเมินความเสี่ยงและผลกระทบเชิงพื้นที่ ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอ่าวไทย รวมถึงนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดนโยบายด้านการจัดการทางด้านนิเวศวิทยาทางทะเลและชายฝั่งแบบบูรณาการในอ่าวไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต



รูปที่ 1 ขอบเขตและความลึกของอ่าวไทย โดยแถบสีและเส้นคอนทัวร์แสดงถึงความลึกน้ำ (เมตร)

วิธีการวิเคราะห์

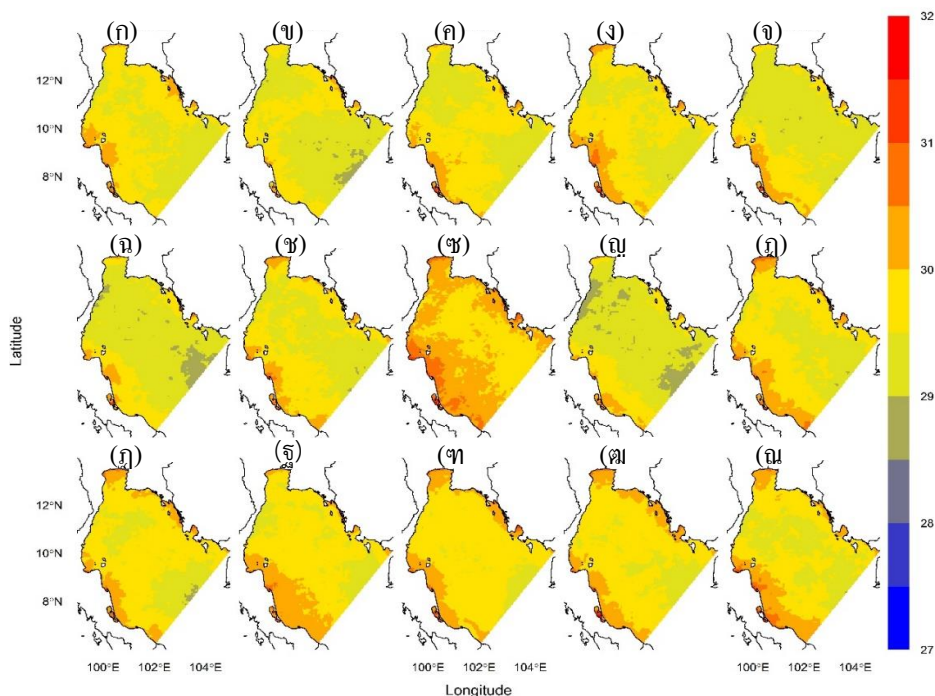
การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลระดับ 3 (Level 3) จากดาวเทียมอะควา (Aqua) ซึ่งตรวจวัดโดยเซ็นเซอร์ โมดิส (Moderate resolution imaging spectroradiometer; MODIS) มีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) ประมาณ 4 ตารางกิโลเมตร ซึ่งสามารถเข้าถึงได้จาก <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3> จากนั้นจึงดาวน์โหลดข้อมูลรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2546 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 (15 ปี) เพื่อใช้ในการศึกษาการการแพร่กระจายและแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเล โดยค่าความคลาดเคลื่อน (Bias) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูลอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลที่ได้จากเซ็นเซอร์ โมดิส เทียบกับข้อมูลตรวจวัดจริงในบริเวณทะเลจีนใต้ อยู่ในช่วง -0.19 ถึง -0.34 และ 0.58 ถึง 0.68 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Qin et al., 2014)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงรายฤดูกาล จะแยกเป็น 4 ช่วงได้แก่ช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม) ช่วงการเปลี่ยนฤดูมรสุมจากตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน) ช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม) และช่วงการเปลี่ยนฤดูมรสุมจากตะวันตกเฉียงใต้เป็นตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม) เพื่อศึกษาการแพร่กระจายและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงทั้งรายปีและรายฤดูกาลโดยวิธีการหาค่าเฉลี่ยและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) (Fang et al., 2006; Al-Rashidi et al., 2009) ตามลำดับ โดยพิจารณาการแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และ 0.05 ตามลำดับ ด้วยโปรแกรม R รุ่น 3.5.0 (R Core Team, 2018) และแพ็คเกจด้านภูมิสารสนเทศในการวิเคราะห์ข้อมูล (Na-u-dom, 2018; Pebesma et al., 2018; Dunnington, 2017; Hijmans, 2017)

ผลการวิเคราะห์

1. การแพร่กระจายเชิงพื้นที่และเวลาของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลรายปี

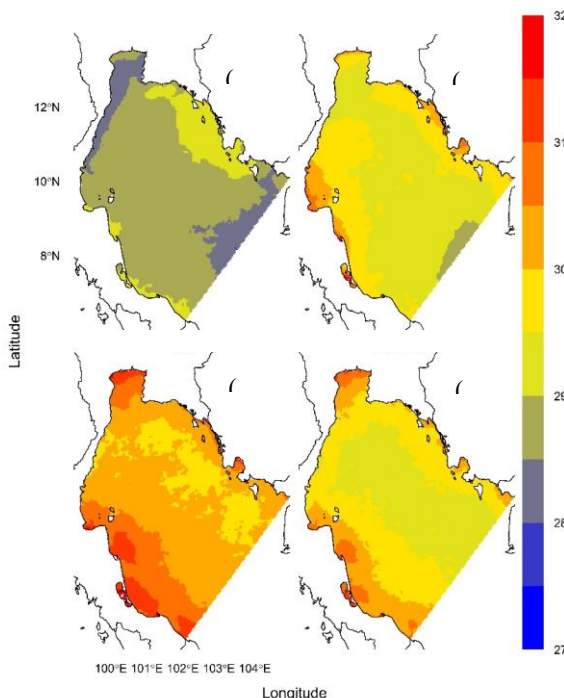
ผลการศึกษาการแพร่กระจายของอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2546 ถึง 2560 ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่าการแพร่กระจายของอุณหภูมิกำลังใกล้เคียงกันในแต่ละปี (ประมาณ 29 ถึง 31 องศาเซลเซียส) โดยมวลน้ำที่อยู่ในบริเวณปากอ่าวไทยจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ามวลน้ำภายในอ่าวและบริเวณชายฝั่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง นอกจากนี้ยังพบว่าในปี พ.ศ. 2550 (รูปที่ 2(จ)), 2551 (รูปที่ 2(ฉ)) และ 2554 (รูปที่ 2(ญ)) เป็นช่วงที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีค่าต่ำกว่าช่วงอื่น ๆ ทั้งบริเวณปากอ่าวและในอ่าว ยกเว้นบริเวณตอนในของอ่าวไทยตอนบน และชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่างตั้งแต่จังหวัดสุราษฎร์ธานีถึงจังหวัดนครศรีธรรมราชที่ค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ ในช่วงเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตามในช่วงพ.ศ. 2553 (รูปที่ 2(ซ)), 2557(รูปที่ 2(ฐ)) และ 2558(รูปที่ 2(ฑ)) มวลน้ำอ่าวไทยมีอุณหภูมิสูงกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ ประมาณ 1 ถึง 2 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2 การแพร่กระจายเชิงพื้นที่และเวลาของของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลรายปีตั้งแต่พ.ศ. (ก) 2546, (ข) 2547, (ค) 2548, (ง) 2549, (จ) 2550, (ฉ) 2551, (ช) 2552, (ซ) 2553, (ญ) 2554, (ฎ) 2555, (ฉ) 2556, (ช) 2557, (ญ) 2559 และ (ฎ) 2560 แถบสีแสดงถึงระดับของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (องศาเซลเซียส)

2. การแพร่กระจายเชิงพื้นที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาล

พิจารณาการแพร่กระจายของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาล (รูปที่ 3) พบว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีค่าต่ำสุด (ประมาณ 27 ถึง 29 องศาเซลเซียส) ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (รูปที่ 3(ก)) โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณอ่าวไทยตอนบนถึงชายฝั่งทะเลบริเวณจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และปากอ่าวไทย จากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนฤดูมรสุมจากตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้ (ประมาณ 29 ถึง 30 องศาเซลเซียส) (รูปที่ 3(ข)) โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณชายฝั่ง และมีค่าสูงสุดในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (มากกว่า 30 องศาเซลเซียส) (รูปที่ 3(ค)) โดยเฉพาะบริเวณอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่าง อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลจะลดลงเมื่อเข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนฤดูมรสุมจากตะวันตกเฉียงใต้เป็นตะวันออกเฉียงเหนือ (รูปที่ 3(ง)) แต่ในอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่างก็ยังมีอุณหภูมิสูงกว่าเมื่อเทียบกับบริเวณโดยรอบ รวมถึงรูปแบบการแพร่กระจายของอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลก็ยังคล้ายคลึงกับรูปแบบการแพร่กระจายในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แต่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

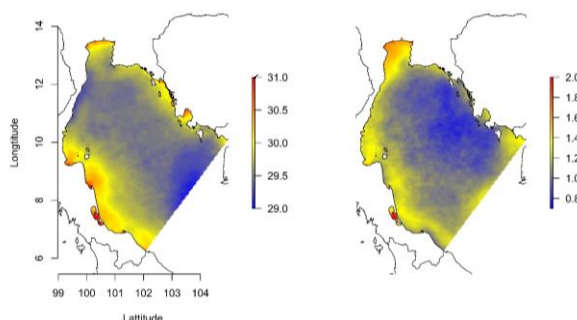


รูปที่ 3 การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยใน (ก) ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ข) ช่วงการเปลี่ยนฤดูมรสุมจากตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้ (ค) ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และ (ง) ช่วงการเปลี่ยนฤดูมรสุมจากตะวันตกเฉียงใต้เป็นตะวันออกเฉียงเหนือ โดยแถบสีแสดงถึงระดับของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (องศาเซลเซียส)

3. การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายปีตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2546 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560

อุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายปีและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (รูปที่ 4) นั้นมีรูปแบบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่อย่างชัดเจนโดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 29 ถึง 31 องศาเซลเซียส โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเล มีค่าประมาณ 30 ถึง 31 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเลของอ่าวไทยตอนล่าง ซึ่งแตกต่างจากมวลน้ำบริเวณกลางอ่าวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (ประมาณ 29 องศาเซลเซียส) (รูปที่ 4 (ก))

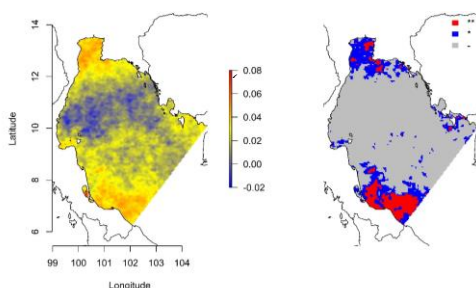
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ความแปรปรวน) ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในแต่ละปี (รูปที่ 4(ข)) ในอ่าวไทยมีค่าตั้งแต่ 0.75 ถึง 2.00 องศาเซลเซียส โดยในบริเวณชายฝั่งมีค่าความแปรปรวนจากค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยสูงกว่ามวลน้ำในบริเวณกลางอ่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณอ่าวไทยตอนบนและบริเวณทะเลสาบสงขลา



รูปที่ 4. (ก) การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายปี และ (ข) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเชิงพื้นที่ โดยแถบสีแสดงถึงระดับของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

4. การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายปีตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2546 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560

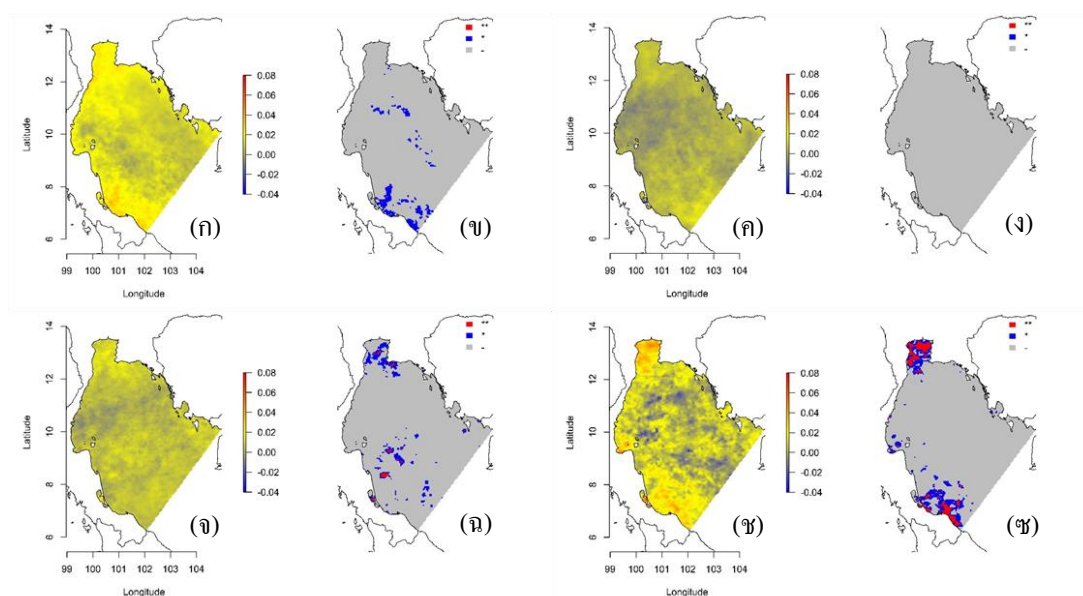
จากผลการศึกษาการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายปี (รูปที่ 4) พบว่าอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่างเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($0.01 < p\text{-value} < 0.05$ และ $p\text{-value} < 0.01$ ตามลำดับ) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณจังหวัดชลบุรี ระยองและตั้งแต่บริเวณจังหวัดสงขลาลงไปที่มีมวลน้ำในบางบริเวณมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ประมาณ 0.06 ถึง 0.08 องศาเซลเซียสต่อปี; $0.01 < p\text{-value} < 0.05$) ดังรูปที่ 4(ก) และ (ข) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามมวลน้ำบริเวณกลางอ่าวนั้นมีอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลลดลงเล็กน้อย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$)



รูปที่ 5. (ก) การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายปี โดยแถบสีแสดงถึงระดับของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง (องศาเซลเซียสต่อปี) และ (ข) ระดับนัยสำคัญ (p-value) โดยสีแดง (**) แสดงถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.01$) สีน้ำเงิน (*) แสดงถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($0.01 < p\text{-value} < 0.05$) และสีเทา (-) แสดงถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$)

5. การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาล

จากการศึกษาการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาล (รูปที่ 4) แสดงให้เห็นว่าในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมจากตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้และฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (รูปที่ 4 (ก) (ค) และ (จ)) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลโดยส่วนมากในช่วงเวลาดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลง (ประมาณ ± 0.02 องศาเซลเซียสต่อปี) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) (รูปที่ 4 (ข) (ง) และ (ฉ)) อย่างไรก็ตามเมื่อเข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนฤดูมรสุมจากตะวันตกเฉียงใต้เป็นตะวันออกเฉียงเหนือ อุณหภูมิของผิวน้ำทะเลมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($0.01 < p\text{-value} < 0.05$ และ $p\text{-value} < 0.01$ ตามลำดับ) (รูปที่ 4(ซ) และ (ซ)) โดยเฉพะอย่างยิ่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่างตั้งแต่จังหวัดสงขลาลงไป โดยมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลประมาณ 0.04 ถึง 0.07 องศาเซลเซียสต่อปี



รูปที่ 6 การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาล ใน (ก) ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ, (ค) ช่วงการเปลี่ยนฤดูมรสุมจากตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้, (จ) ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และ (ซ) ช่วงการเปลี่ยนฤดูมรสุมจากตะวันตกเฉียงใต้เป็นตะวันออกเฉียงเหนือ ตามลำดับ โดยแถบสีแสดงถึงระดับของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง (องศาเซลเซียสต่อปี) และ (ข ง ฉ และ ซ) ระดับนัยสำคัญ ($p\text{-value}$) ในแต่ละฤดูกาล โดยสีแดง (**) แสดงถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.01$) สีน้ำเงิน (*) แสดงถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($0.01 < p\text{-value} < 0.05$) และสีเทา (-) แสดงถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$)

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายปี (รูปที่ 2) เห็นได้ว่าปี พ.ศ. 2553 (รูปที่ 2(ข)) อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีค่าสูงเมื่อเทียบกับช่วงเวลาอื่น ๆ ประมาณ 1 ถึง 2 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง สะท้อนให้เห็นถึงความสัมพันธ์กับปรากฏการณ์เอลนีโญ (El Niño) ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552 ถึง เดือนเมษายน 2553 (Lorpittayakan, 2016) ซึ่งสถานการณ์การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสามารถส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลโดย Junchompoo et al. (2013) และ Prukpittikul et al. (2013) ได้สรุปถึงสถานการณ์ของปะการังและหอยมือเสือบริเวณอ่าวไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2553 พบว่าอยู่ในภาวะวิกฤต โดยหอยมือเสือบริเวณเกาะมันใน จังหวัดระยอง ที่เริ่มพบการฟอกขาวประมาณร้อยละ 90 ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2553 (Junchompoo et al., 2013) และการปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในอ่าวไทยโดยเริ่มพบการฟอกขาวตั้งแต่ปลายเดือนมีนาคม พ.ศ. 2553 เกิดซึ่งมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่สูงขึ้น (มากกว่า 31 องศาเซลเซียส) ต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน (8 ถึง 10 เดือน) รวมถึงปัจจัยทางธรรมชาติอื่นๆ เช่นความเข้มของแสงแดดที่เป็นจุดวิกฤติที่กระตุ้นให้เกิดการฟอกขาวของปะการัง (Prukpittikul et al., 2013)

ผลการศึกษาการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยเฉลี่ยรายฤดูกาลพบว่ามีค่าสูงที่สุด (ประมาณ 31 ถึง 32 องศาเซลเซียส) ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นผลมาจากการผสมผสานของมวลน้ำจากพลังงานคลื่น (Wave mixing energy) ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่มากกว่าในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลอ่าวไทยในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้สูงกว่าช่วงเวลาอื่น (Pithayamaythakul & Sojisuporn, 2016) โดย Luadnakrob & Buranapratheprat (2012) ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้นั้นค่าฟลักซ์ความร้อนรวมทั้งที่ผิวน้ำทะเลอ่าวไทย (Total heat flux) และค่าฟลักซ์ความร้อนจากการนำและการพา (Sensible heat flux) บริเวณทะเลฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยนั้นมีค่าสูงกว่าชายฝั่งทะเลฝั่งตะวันออกนั้นมีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมีทิศทางเป็นลบซึ่งแสดงถึงการส่งผ่านความร้อนจากผิวน้ำทะเลสู่บรรยากาศ ซึ่งให้เห็นว่าบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันตกของอ่าวไทยที่มีอุณหภูมิผิวน้ำสูงกว่าอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิที่ผิวน้ำ ณ บริเวณอื่น ๆ ในช่วงเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตามหากพิจารณาฟลักซ์ความร้อนรวมทั้งที่ผิวน้ำทะเลจาก Luadnakrob & Buranapratheprat (2012) มีค่าสูงที่สุดในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แทนที่จะเป็นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งผลที่ได้นี้อาจชี้ให้เห็นถึงความเกี่ยวข้องกับระยะเวลาที่เกิดปฏิสัมพันธ์ (Time lag) ระหว่างฟลักซ์ความร้อนรวมและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเล ซึ่งเป็นประเด็นที่น่าสนใจและควรศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

นอกจากนี้ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งมีค่าสูงกว่าบริเวณอ่าวไทยตอนล่างอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณน้ำท่า (Prasanchum et al., 2013; Vinayachandran et al., 2015) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา (Kim et al., 2005) ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Land use change) และผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

(Kim et al., 2005; Prasanchum et al., 2013) พบว่ากับอิทธิพลของค่าพลาซมาความร้อนรวมที่ผิวหน้าทะเลและค่าพลาซมาความร้อนจากการนำและการพาในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (Luadnakrob & Buranapratheprat., 2012) จึงทำให้ในช่วงเวลาดังกล่าวมีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงกว่าในช่วงเวลาอื่น ๆ

จากผลการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลพบว่ามีผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Koad et al. (2012) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณจังหวัดสุราษฎร์ธานีและประจวบคีรีขันธ์ นอกจากนี้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยทั้งรายปีและรายฤดูกาลที่มีแนวโน้มสูงขึ้นนั้นยังสอดคล้องกับการแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในบริเวณใกล้เคียง เช่น ชายฝั่งทะเลของประเทศเวียดนามและทะเลจีนใต้ (Yu et al., 2019; Ca, 2017; Park & Choi, 2017)

สำหรับการแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ในช่วงการเปลี่ยนฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เป็นตะวันออกเฉียงเหนือที่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นสูงสุดนั้น อาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่สูงในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีระยะเวลายาวนานมากขึ้นจนเลยเข้ามาสู่ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม จึงทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมมีการเปลี่ยนแปลงและมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าในช่วงฤดูกาลอื่น ซึ่งจะเห็นได้จากรูปแบบการเชิงพื้นที่ของบริเวณที่มีแนวโน้มอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.01$ และ $0.01 < p\text{-value} < 0.05$) นั้นสอดคล้องกับการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของบริเวณที่มีค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยสูงในช่วงการเปลี่ยนฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เป็นตะวันออกเฉียงเหนือ

สำหรับประยุกต์ใช้เทคนิคการรับรู้จากระยะไกลในการศึกษารังนี้ชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเทคนิคดังกล่าวในการประเมินสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อมทางทะเลที่มีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีความต่อเนื่องทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการประเมิน การเตรียมความพร้อม การจัดการ รวมถึงระบุพื้นที่ที่อาจได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งควรมีการถึงการต่อยอดและบูรณาการข้อมูลระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งข้อมูลตรวจวัดและข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมรวมเพื่อให้ได้การติดตามและการประเมินผลกระทบสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อมทางทะเลที่ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การระบุพื้นที่และการประเมินความเสี่ยงรวมถึงผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลที่อาจเกิดขึ้นจากเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอ่าวไทยรวมถึงนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดนโยบายด้านการจัดการทางด้านนิเวศวิทยาทางทะเลและชายฝั่งแบบในอ่าวไทยได้ต่อไปในอนาคต

สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาการแพร่กระจายและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยนั้นสรุปได้ว่า การแพร่กระจายเชิงพื้นที่และเวลาของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายปีในอ่าวไทยมีค่าใกล้เคียงกัน (ประมาณ 29 ถึง 31 องศาเซลเซียส) แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในปี พ.ศ. 2553 นั้นมีค่าสูงที่สุดอัน

เนื่องมาจากปรากฏการณ์เอลนีโญ นอกจากนี้หากพิจารณาการแพร่กระจายของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยราย ฤดูกาลพบว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีค่าสูงที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยฝั่งตะวันตกและอ่าวไทยตอนบน นอกจากนี้ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยโดยทั่วไปมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (ประมาณ 0.02 ถึง 0.06 องศาเซลเซียสต่อปี) โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงนั้นจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเลตั้งแต่จังหวัดสงขลาลงไปนั้น มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.01$ และ $0.01 < p\text{-value} < 0.05$)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว สำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยและผู้ประเมินบทความ (Reviewers) ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงบทความวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

- Ackaboot, J., Daraneesrisuk, J., Kongtong, D., Trerattawittaya, T., Waewmayara, W., Jeasombunpanit, S., & Choosungwal, A. (2015). Monitoring plankton in the upper Gulf of Thailand through remote sensing. In Proceeding of The 8th Thai student symposium on geography and geoinformatics. (pp. 1-10).
- Al-Rashidi, T. B., El-Gamily, H. I., Amos, C. L., & Rakha, K. A. (2009). Sea surface temperature trends in Kuwait Bay, *Arabian Gulf. Natural Hazards*, 50(1), 73–82.
- Boyer, J. N., Kelble, C. R., Ortner, P. B., & Rudnick, D. T. (2009). Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA. *Ecological Indicators*, 9(6), 56–67.
- Buranapratheprat, A., & Bunpamong, M. (1998). A two dimensional hydrodynamic model for the Gulf of Thailand. In Proceedings of the IOC/WESTPAC Fourth International Scientific Symposium. (pp. 469-478).
- Ca, V.T. (2017). A climate change assessment via trend estimation of certain climate parameters with in situ measurement at the coasts and islands of Viet Nam. *Climate*, 5(2), 36.
- Chavanich, S., Viyakarn, V., Loyjiw, T., Pattaratamrong, P., & Chankong, A. (2009). Mass bleaching of soft coral, sarcophyton spp. in Thailand and the role of temperature and salinity stress. *ICES Journal of Marine Science*, 66(7), 1515–1519.

- Devi, G. K., Ganasri, B. P., & Dwarakish, G. S. (2015). Applications of Remote Sensing in Satellite Oceanography: A Review. *Aquatic Procedia*, 4, 579–584.
- Dunnington, D. (2017). Package “prettymapr”. Retrived June 18, 2018, from <https://cran.r-project.org/web/packages/prettymapr/prettymapr.pdf>
- Fang, G., Chen, H., Wei, Z., Wang, Y., Wang, X., & Li, C. (2006). Trends and interannual variability of the South China Sea surface winds, surface height, and surface temperature in the recent decade. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111, 1-16.
- Hijmans, R. J. (2017). Introduction to the “raster” package. Retrived March 16, 2018, from <https://cran.r-project.org/web/packages/raster/raster.pdf>
- Hoeksema, B. W., & Matthews, J. L. (2011). Contrasting bleaching patterns in mushroom coral assemblages at Koh Tao, Gulf of Thailand. *Coral Reefs*, 30(1), 95.
- Junchompoo, C., Sinrapasan, N., Penpian, C., & Patsorn, P. (2013). Changing seawater temperature effects on giant clams bleaching, Mannai Island, Rayong province, Thailand. In Proceeding of the design symposium on conservation of ecosystem. (pp 71–76).
- Kim, W., Kanae, S., Agata, Y., & Oki, T. (2005). Simulation of potential impacts of land use/cover changes on surface wate fluxes in the Chaophraya river basin, Thailand. *Journal of geophysical research*, 110, 2-10.
- Koad, P., Jaroensutasinee, M., & Jaroensutasinee, K. (2012). Sea surface temperature trends in the gulf of Thailand and the Andaman Sea. In 2012 OCEANS - Yeosu. (pp. 1–8).
- Kratzer, S., Therese Harvey, E., & Philipson, P. (2014). The use of ocean color remote sensing in integrated coastal zone management-A case study from Himmerfjärden, Sweden. *Marine Policy*, 43, 29–39.
- Leenawarat, D., Tong-u-dom, S., & Buranapratheprat., A. (2019). A hydrodynamic model for the study of the seasonal variation in the residence time of water mass in the Inner Gulf of Thailand. *Burapha Science Journal*, 24(1), 1-16.
- Lorpittayakorn, P. (2016). Relationship between sea surface temperature in the inner Gulf of Thailand and Rainfall in Eastern Thailand during ENSO period. *Thai Science and Technology Journal*, 24, 400 - 417.
- Luadnakrob., P. & Buranapratheprat., A. (2012). Annual surface heat flux in the Gulf of Thailand. *Burapha Science Journal*, 17(1), 77-86.
- Na-u-dom, T. (2018). Application of R Programming for the Geoinformatic Display. *The Journal of Applied Science*, 17(2), 118-128.

- Na-u-dom, T., Buranapratheprat, A., Homhual, K., & Intracharoen, P. (2013). Temporal and spatial variations of water qualities in the upper Gulf of Thailand during two seasons in 2009. *Burapha Science Journal*, 18(2013), 32–42.
- Park, Y.G., & Chai, A. (2017). Long-term changes of South China Sea sea surface temperatures in winter and summer. *Continental Shelf Research*, 143, 185-193.
- Pebesma, E., Bivand, R., Rowlingson, B., Gómez-Rubio, V., Hijmans, R., Summer, M. et al. (2018). Package “sp”. Retrived March 16, 2018, from <https://cran.r-project.org/web/packages/sp/sp.pdf>
- Pithayamaythakul., P. & Sojisuporn., P. (2016). Water stratification under wave influence in the Gulf of Thailand. *Bullein of Earth Sciences of Thailand*, 7, 33-41.
- Prasanchum, H., Kangrang, A., Hormwichian, R., & Compliew, S. (2013). Impact of climate and rapid landuse change of runoff wualities in Lower-Lampao river basin. In Proceeding of The 5th International conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Weill-Being (STISWB V). pp (1-6).
- Prukpitikul, S., Buakeaw, V., Kesdesh, W., Kongprom., A., & Kaewpoo, N. (2013). The assessment of coral situation in Thailand by using geo-informatics technology. *RMUTSV Research Journal*, 5(1), 61-77.
- Qin, H., Chen, G., Wang, W., Wang, D., & Zeng, L. (2014). Validation and application of MODIS-derived SST in the South China Sea. *International Journal of Remote Sensing*, 35, 4315-4328.
- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. Retrived May 16, 2018, from <http://www.r-project.org/>
- Siswanto, E., Honda, M. C., Matsumoto, K., Sasai, Y., Fujiki, T., Sasaoka, K., & Saino, T. (2016). Sixteen-year phytoplankton biomass trends in the northwestern Pacific Ocean observed by the SeaWiFS and MODIS ocean color sensors. *Journal of Oceanography*, 72(3), 479–489.
- Siswanto, E., & Tanaka, K. (2014). Phytoplankton biomass dynamics in the Strait of Malacca within the period of the seawifs full mission: Seasonal cycles, interannual variations and decadal-scale trends. *Remote Sensing*, 6(4), 2718–2742.
- Sutthacheep, M., Yucharoen, M., Klinthong, W., Pengsakun, S., Sangmanee, K., & Yeemin, T. (2013). Impacts of the 1998 and 2010 mass coral bleaching events on the Western Gulf of Thailand. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 96, 25–31.
- Suwanlertcharoen, T., & Prukpitikul, S. (2018). Detection of Phytoplankton Blooms in the Upper Gulf of Thailand Using Sentinel-3A OLCI Imagery. *Environment and Natural Resources Journal*, 16(1), 9–20.

- Vinayachandran, P.N., Jahfer, S., & Nanjundiah, R.S. (2015). Impact of river runoff into the ocean on Indian Summer Monsoon. *Environmental Research Letters*. 10, 1-10.
- Xu, Y., Ishizaka, J., Yamaguchi, H., Siswanto, E., & Wang, S. (2013). Relationships of interannual variability in SST and phytoplankton blooms with giantjellyfish (*Nemopilema nomurai*) outbreaks in the Yellow Sea and East China Sea. *Journal of Oceanography*, 69(5), 511–526.
- Yu, Y., Zhang, H.R., Jin, J., & Wang, T. (2019). Trends of sea surface temperature and sea surface temperature fronts in the South China Sea during 2003-2017. *Acta Oceanologica Sinica*, 38(4), 106-115.