



การประเมินพื้นที่อ่อนไหวจากสึนามิในจังหวัดภูเก็ต ด้วยการวิเคราะห์แบบลำดับชั้นและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

Tsunami Susceptibility Area Assessment in Phuket Province Using Analytical Hierarchy Process and Geographic Information System

สลิตา รักษ์ร่วม, ชนนิกานต์ อ่อนชาติ และ ธงชัย สุธีรศักดิ์

Salita Raruam, Chonnikarn Ornchart and Thongchai Suteerasak

คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

Faculty of Technology and Environment, Prince of Songkla University, Phuket Campus

Received : 29 December 2022

Revised : 6 March 2023

Accepted : 7 March 2023

บทคัดย่อ

จังหวัดภูเก็ตเป็นหนึ่งในจังหวัดพื้นที่ฝั่งอันดามันที่ได้รับความเสียหายจากเหตุการณ์เกิดคลื่นสึนามิที่เกิดเมื่อ พ.ศ. 2547 ปัจจุบันพื้นที่ชายฝั่งทะเลในจังหวัดภูเก็ตหลายแห่งถูกประกาศให้เป็นพื้นที่เสี่ยงภัยจากคลื่นสึนามิ แต่ข้อมูลพื้นที่ความอ่อนไหวจากสึนามิที่ใช้กับหน่วยงานในพื้นที่ยังไม่มีมีการปรับปรุงให้เป็นปัจจุบัน ข้อมูลพื้นที่เสี่ยงสูงดังกล่าวจัดทำขึ้นจากข้อมูลพื้นที่เสียหายจากเหตุการณ์สึนามิเมื่อ พ.ศ.2547 ที่แสดงผลไม่ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งทั้งจังหวัด วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวจากสึนามิ ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยวิเคราะห์จากข้อมูลปัจจัยเชิงพื้นที่ 5 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่อ่อนไหวจากสึนามิ ได้แก่ ระยะห่างจากชายฝั่ง ความลาดชัน ธรณีสัณฐาน แนวกันภัยพิบัติ และความสูงจากระดับน้ำทะเลกลาง จากนั้นตรวจสอบความสอดคล้องเชิงพื้นที่กับข้อมูลพื้นที่เสี่ยงสูงที่จัดทำโดยหน่วยงานของรัฐที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และนำข้อมูลพื้นที่อ่อนไหวดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่จำแนกไว้ 5 ประเภท คือ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่น้ำ พื้นที่บ้านเรือนที่อยู่อาศัย และพื้นที่อื่น ๆ ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดภูเก็ตเป็นพื้นที่ไม่มีความอ่อนไหวต่อสึนามิ คิดเป็นพื้นที่ 280.25 ตารางกิโลเมตร ส่วนขนาดของพื้นที่อ่อนไหวระดับต่ำ ปานกลาง และสูง มีค่าเท่ากับ 124.40 ตารางกิโลเมตร 77.20 ตารางกิโลเมตร และ 46.78 ตารางกิโลเมตรตามลำดับ จากการตรวจสอบความถูกต้องของพื้นที่ พบว่า พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากสึนามิเมื่อ พ.ศ.2547 ทั้งหมดมีความสอดคล้องเชิงพื้นที่กับพื้นที่อ่อนไหวสูง ด้วยผลของขอบเขตของพื้นที่อ่อนไหวสูงมากกว่าพื้นที่เคยได้รับผลกระทบดังกล่าว เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่อ่อนไหวจากสึนามิและข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเชิงพื้นที่ พบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินที่ตั้งอยู่ในพื้นที่อ่อนไหวสูงมากที่สุดคือ พื้นที่บ้านเรือนที่อยู่อาศัย ด้วยขนาดพื้นที่ 17.86 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 40.40 ของพื้นที่อ่อนไหวสูงทั้งหมด) ในขณะที่พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่น้ำ และพื้นที่เกษตรกรรม มีพื้นที่เพียงร้อยละ 34.61 11.94 และ 10.43 ของพื้นที่เสี่ยงสูงทั้งหมด ตามลำดับ ทั้งนี้หน่วยงานภาครัฐและหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถนำผลการวิเคราะห์ดังกล่าวไปช่วยพัฒนาระบบการจัดการในด้านการวางแผน การป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย ควบคู่กับการเตือนภัยได้เช่นกัน

คำสำคัญ : ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ; การวิเคราะห์แบบลำดับชั้น ; สึนามิ ; การใช้ประโยชน์ที่ดิน



Abstract

Phuket, a province located in Andaman coast, was damaged from Tsunami in 2004. Since then, several Phuket coastal areas have been announced to be risky areas from Tsunami. However, data of Tsunami susceptibility areas used in local government offices was not up to date. This research aims to analyse Tsunami susceptibility areas using analytical hierarchy process and geographic information system. Five spatial data, i.e., coastal proximity, slope, landforms, wave barrier and elevation, related to Tsunami susceptibility areas were analysed. Subsequently, the obtained data were compared to the Tsunami data used in local government offices. The obtained data were then correlated to land use data, which were classified into five types, i.e., forest area, agricultural area, water area, residential area and other uses area. The results showed that areas in Phuket Province were mostly Tsunami non-susceptibility areas (280.25 km²). Low, intermediate and high Tsunami susceptibility areas were in a size of 124.40 km², 77.20 km² and 46.78 km², respectively. The analysed data also revealed that all Tsunami damaged areas in 2004 were associated with high Tsunami susceptibility areas. When compared to land use data, residential area was located in high-susceptibility areas, with an area sizes 17.86 km² (40.40% of high-susceptibility area), whereas forest, water and agricultural area covered 34.61%, 11.94% and 10.43% of the high-susceptibility area, respectively. Nevertheless, government and related offices can use the analysed data from this research to develop planning management system and disaster prevention and mitigation system.

Keyword : Geographic Information System: GIS ; Analytical Hierarchy Process: AHP ; Tsunami ;land use

บทนำ

จากเหตุการณ์คลื่นสึนามิของแผ่นเปลือกโลกทำให้เกิดแผ่นดินไหวและคลื่นสึนามิในมหาสมุทรอินเดียเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 สร้างความเสียหายและส่งผลกระทบต่อพื้นที่ชายฝั่งประเทศต่าง ๆ รอบมหาสมุทรอินเดีย โดยคลื่นสึนามิดังกล่าวพัดเข้าหาพื้นที่ชายฝั่งทางทิศตะวันตกของประเทศไทย มีจังหวัดที่ได้รับผลกระทบจำนวน 6 จังหวัด ได้แก่ ภูเก็ต พังงา ระนอง กระบี่ ตรัง และสตูล พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด คือพื้นที่ชายฝั่งทะเลจังหวัดระนอง พังงา และภูเก็ต (Thanasathitkul, 2005) พิบัติภัยดังกล่าวส่งผลกระทบต่อพื้นที่ดังกล่าวในด้านเศรษฐกิจ สังคม สภาพแวดล้อม สิ่งมีชีวิต และทรัพย์สินของประชาชน ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยมีผู้เสียชีวิตประมาณ 5,400 คน บาดเจ็บกว่า 8,000 คน และสูญหายอีกจำนวนมาก รวมมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ดังกล่าวหลายพันล้านบาท ในส่วนของจังหวัดภูเก็ต คลื่นสึนามิดังกล่าวพัดเข้ามาสู่พื้นที่ชายฝั่งด้วยระยะทางไม่เกิน 500 เมตร (Thathong & Chaimanee, 2005) และสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินจำนวนมาก รวมถึงความเสียหายที่ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรชายฝั่งทะเลในพื้นที่หาดต่าง ๆ เช่น หาดป่าตอง หาดกมลา หาดกะรน หาดในยาง และหาดบางเทา เป็นต้น (Ativitavas, 2005) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) เป็นเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับและถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการสาธารณภัย และวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยพิบัติต่าง ๆ เนื่องจากสามารถนำเสนอภาพความอ่อนไหวหรือความเสี่ยงเชิงพื้นที่ได้อย่างชัดเจน และง่ายต่อการทำความเข้าใจ (Duangpiboon et al., 2018) ตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยของ Thanarun & Amornsanguansin (2010) และงานของ Noichaisin (2016) นำมาใช้กับการวิจัยเชิงพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับ อุทกภัย หรือการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในหลายงานวิจัย (Chanchum, 2014 ; Wunbua et al., 2014 ; Buatama, 2021) หรือด้านการจัดการภัยแล้ง ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อความแห้งแล้งในพื้นที่อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม (Chanhaeng, 2010) การหาพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งและจัดทำแผนที่เชิงนิเวศเกษตรในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำยมตอนกลาง (Inplaeng, 2017) และการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งในจังหวัดศรีสะเกษ (Ruangthong et al., 2020) ส่วนการประเมินพิบัติภัยจากคลื่นสึนามิด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศสามารถพบได้ในหลายงานวิจัย เช่น งานของ Thanawut & Yongchalermchai (2008) ที่กำหนดพื้นที่ที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิ ในอำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา โดยใช้เครื่องมือทาง GIS และการสำรวจระยะไกล (Remote sensing : RS) ส่วนพื้นที่เสี่ยงสึนามิในจังหวัดภูเก็ตจัดทำขึ้นโดยกรมทรัพยากรธรณี (Thathong & Chaimanee, 2005) อาศัยการประเมินความเสียหายจาก RS และตรวจสอบความถูกต้องด้วยภาพความเสียหายจากพื้นที่จริง ซึ่งแผนที่พื้นที่เสี่ยงดังกล่าวแสดงเฉพาะพื้นที่เสี่ยงสูงเท่านั้น และงานของ Marfai et al. (2019) ที่ใช้วิธีการทางภูมิสารสนเทศในการทำแผนที่เสี่ยงที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิ และการประมาณการสูญเสียในหาดตริณี บริเวณชายฝั่งภูเก็ต ยอภยการร์ตา ประเทศอินโดนีเซีย รวมถึงการประยุกต์เครื่องมือทาง GIS ในการทำแบบจำลองสึนามิของ Bantul Regency ใน Yogyakarta ประเทศอินโดนีเซียของ Wiguna (2014) ทั้งนี้วิธีการวิเคราะห์แบบลำดับขั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP) เป็นหนึ่งวิธีการที่พบบ่อยนำมาใช้ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อจัดทำแผนที่ประเมินความเสี่ยงพิบัติภัยต่าง ๆ เช่น แผนที่ประเมินพื้นที่เสี่ยงดินถล่ม (Jirakajonhkool, 2012 ; Jirakajornkul, 2012 ; Khiaosalap & Tongdenok, 2015; Jitthorn & Kaewdee, 2015) และการทำแผนที่ประเมินพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม (Wongtadam, 2016 ; Boonsorn, 2017; Meeching et al., 2019) รวมถึงนำเสนอเป็นแผนที่เหมาะสมต่อการอพยพผู้ประสบภัยจากน้ำท่วม (Anucharn, 2016) ด้วยเช่นกัน ในส่วนการประเมินพื้นที่เสี่ยงรับคลื่นสึนามิ การ

วิเคราะห์ด้วยวิธี AHP เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ช่วยจำลองพื้นที่เสี่ยงได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่น ที่พบในงานของ Sinaga *et al.* (2011) ใช้การวิเคราะห์วิธี AHP มาวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดคลื่นสึนามิพัดเข้าหาฝั่งในพื้นที่ Jembrana Regency ของเกาะบาหลี ประเทศอินโดนีเซีย และงานของ Ajin *et al.* (2014) ที่จัดทำแผนที่พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดคลื่นสึนามิชายฝั่งเมืองการาจี ในสาธารณรัฐอิสลามปาปัวนิวกินี โดยใช้เครื่องมือทาง GIS และ RS ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี AHP ทั้งนี้การวิเคราะห์ความเสี่ยงด้วยวิธีดังกล่าวต้องมีการกำหนดค่าความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดคลื่นสึนามิชายฝั่ง ซึ่งในงานของ Sinaga *et al.* (2011) ใช้ปัจจัย 5 ปัจจัยมาวิเคราะห์ ได้แก่ ความสูงจากระดับน้ำทะเลกลาง ความลาดชัน ความสัมพันธ์ของภูมิประเทศและทิศทางของคลื่น และระยะห่างจากชายฝั่ง ส่วนงานของ Ajin *et al.* (2014) ใช้ปัจจัยทั้งหมด 5 ปัจจัยเช่นกัน ได้แก่ ธรณีลักษณะ ระยะเวลาห่างจากชายฝั่ง ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชัน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทั้งนี้การเลือกปัจจัยที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์อาจแตกต่างกันได้ตามบริบทของพื้นที่ โดยผลจากการจำลองพื้นที่เสี่ยงสามารถนำมาประเมินหรือศึกษาผลกระทบเชิงพื้นที่ร่วมกับข้อมูลจาก GIS และ RS อื่น ๆ ได้เช่นกัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ การประยุกต์เครื่องมือทาง GIS และวิธีการ AHP เพื่อวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวจากสึนามิหรือมีความเสี่ยงได้รับผลกระทบจากการเกิดคลื่นสึนามิ จังหวัดภูเก็ต ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถนำเสนอสภาพความอ่อนไหวได้ในระดับต่าง ๆ แตกต่างจากการจัดทำข้อมูลเดิมที่นำเสนอเฉพาะพื้นที่ความอ่อนไหวสูงเท่านั้น นอกจากนี้ข้อมูลพื้นที่อ่อนไหวที่จัดทำขึ้นใหม่สามารถนำเสนอสภาพพื้นที่อ่อนไหวต่อสึนามิในฝั่งตะวันออกของจังหวัดภูเก็ต โดยภาพพื้นที่เดิมที่ทำได้ไม่นำเสนอข้อมูลพื้นที่ฝั่งตะวันออกดังกล่าวเนื่องจากไม่เคยเกิดเหตุสึนามิเข้าปะทะโดยตรงกับพื้นที่ฝั่งตะวันออกของจังหวัดภูเก็ต ทั้งนี้พื้นที่ดังกล่าวตั้งอยู่ในแนวขนานกับรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยโดยตรง ผลของพื้นที่อ่อนไหวแบบแยกระดับชั้นทั้งจังหวัดสามารถช่วยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้ในการวางแผนจัดการได้ครอบคลุมทุกพื้นที่ที่ติดกับทะเล ทั้งนี้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวดังกล่าวสามารถนำมาวิเคราะห์ร่วมกับการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ เพื่อประเมินพื้นที่ที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิในระดับชุมชนที่มีพื้นที่ตั้งอยู่ติดชายทะเลในอนาคต โดยสามารถนำไปใช้ประกอบการวางแผน หรือดำเนินการการจัดทำแนวทางการป้องกันบรรเทาเหตุ ของหน่วยงานด้านการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยหรือหน่วยงานอื่น ๆ ที่ต้องใช้ข้อมูลดังกล่าว สามารถลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับชุมชนบ้านเรือนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ติดทะเล และลดการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินของคนในพื้นที่ได้เช่นกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

จังหวัดภูเก็ตมีลักษณะเป็นเกาะวางตัวในแนวยาวจากทิศเหนือไปทิศใต้ ในทะเลอันดามัน มหาสมุทรอินเดีย โดยตัวเกาะตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของภาคใต้ มีพื้นที่ประมาณ 543 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขา (ประมาณร้อยละ 70) มียอดเขาที่สูงที่สุด คือ ยอดเขาไม้เท้าสิบสอง ที่สูงจากระดับน้ำทะเลกลาง 529 เมตร และเป็นพื้นที่ราบ (ประมาณร้อยละ 30) ตั้งอยู่ตอนกลางและทางด้านตะวันออกของเกาะ พื้นที่ชายฝั่งด้านตะวันออกเป็นดินเลนและป่าชายเลน ส่วนชายฝั่งทะเลด้านตะวันตกเป็นภูเขาและหาดทราย ทิศเหนือของจังหวัดติดกับช่องแคบปากพระ จังหวัดพังงา ทิศตะวันออกติดอ่าวพังงาและอ่าวเกาะยาว จังหวัดพังงา ส่วนทิศใต้และทิศตะวันตกติดทะเลอันดามัน มหาสมุทรอินเดีย (Figure 1a) ปัจจุบันจังหวัดภูเก็ตตั้งอยู่ใกล้กับรอยเลื่อนที่มีพลัง 2 รอยเลื่อน คือ รอยเลื่อนระนอง (ตั้งอยู่ทางฝั่งตะวันตกของเกาะ)

และรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (ตั้งอยู่ทางฝั่งตะวันออกของเกาะ) โดยรอยเลื่อนที่อยู่ใกล้กับจังหวัดภูเก็ตที่สุดคือ รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (Garson *et al.*, 1975) จากเหตุการณ์การเกิดคลื่นสึนามิพัดเข้าชายฝั่งของเกาะภูเก็ต พ.ศ. 2547 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์สึนามิโดยมากเป็นพื้นที่หาดต่าง ๆ และพื้นที่ชายฝั่งข้างเคียงในฝั่งตะวันตกของจังหวัดภูเก็ต (Thathong & Chaimanee, 2005) ดังแสดงใน Figure 1b

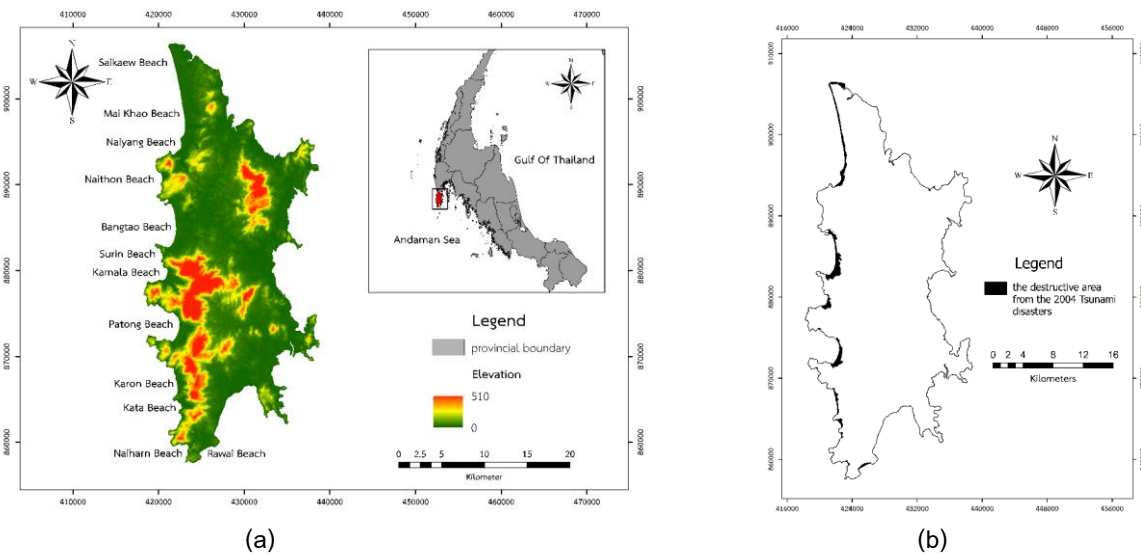


Figure 1 (a) The elevation and area study in the Phuket province and (b) the destructive area from the 2004 Tsunami disasters

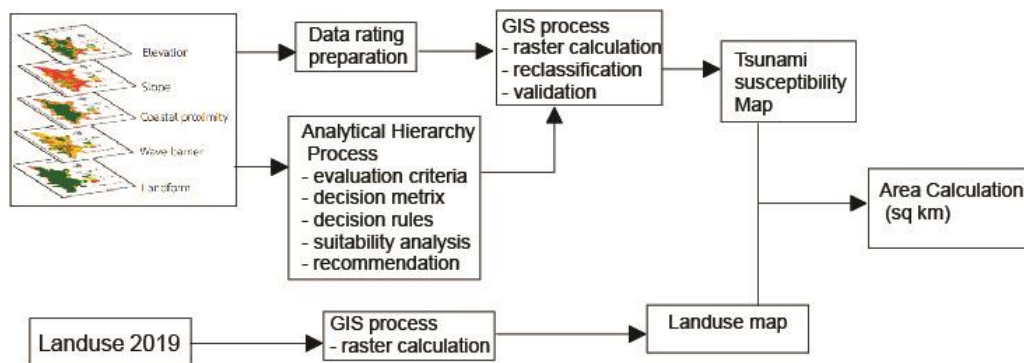


Figure 2 Workflow of methods and map analysis

Table 1 Information of factor

Factor	acquisition year	Resolution (area)	source
Elevation	2007	30 m	The National Aeronautics and Space Administration (NASA)
Slope	2007	30 m	The National Aeronautics and Space Administration (NASA)
Coastal Proximity	2020	30 m	Department of Provincial Administration
Wave barrier	2018	30 m	Land Development Department
Landforms	2007	30 m	Department of Mineral Resources

2. การรวบรวมและการเตรียมข้อมูล

การวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวจากคลื่นสึนามิ ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ด้วยวิธีการ AHP และนำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่จัดทำขึ้นเมื่อพ.ศ. 2562 โดยกรมพัฒนาที่ดิน (Land Development Department) เพื่อประเมินพื้นที่ที่มีความเสี่ยงของชุมชนในพื้นที่ ดังแสดงขั้นตอนต่าง ๆ ใน Figure 2 ข้อมูลปัจจัยสำหรับนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี AHP เป็นประเภทข้อมูลปัจจัยเดียวกันกับปัจจัยที่ถูกเลือกใช้ในหลายงานวิจัยที่มีการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดสึนามิ (Sinaga *et al.*, 2011 ; Ajin *et al.*, 2014) เนื่องจากเป็นปัจจัยมีความเชื่อมโยงกับการก่อเกิดคลื่นสึนามิในพื้นที่ชายฝั่ง ปัจจัยที่ใช้มีจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัย มีรายละเอียดข้อมูลปัจจัยแสดงดัง Table 1 โดยมีการจัดทำและแบ่งช่วงชั้นข้อมูลในการวิเคราะห์ด้วยวิธี AHP ดังนี้ (1) ความสูงจากระดับน้ำทะเลกลาง (Elevation) มีการแบ่งช่วงชั้นข้อมูลด้วยเกณฑ์เดียวกับที่ใช้ในงานวิจัยของ Thanawut & Yongchalemchai (2008) แบ่งเป็น 4 ช่วงชั้น โดยจัดทำขึ้นจากชั้นข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (ASTER GDEM Version 3) ดังแสดงใน Figure 3a (2) ความลาดชันของพื้นที่ (Slope) อาศัยเกณฑ์การแบ่งช่วงชั้นเดียวกับที่ใช้ในงานวิจัยของ Thanawut & Yongchalemchai (2008) แบ่งเป็น 4 ช่วงชั้น โดยจัดทำจากชั้นข้อมูลความลาดชัน (ASTER GDEM Version 3) ดังแสดงใน Figure 3b (3) ระยะห่างจากชายฝั่ง (Coastal Proximity) มีการจำแนกระยะห่างเป็นช่วงตามเกณฑ์ที่ใช้ในงานวิจัยของ Thanawut & Yongchalemchai (2008) มี 4 ช่วงระยะ โดยจัดทำจากข้อมูลระยะห่างจากชายฝั่งที่มีการสำรวจและกำหนดข้อมูลระยะบนแผนที่ภูมิประเทศโดยกรมแผนที่ทหาร ดังแสดงใน Figure 3c (4) แนวกันภัยพิบัติ (Wave Barrier) มีการจำแนกประเภทของแนวกำแพงธรรมชาติเช่นเดียวกับที่ใช้ในงานของ Thanawut & Yongchalemchai (2008) จำนวน 4 ประเภท จัดทำขึ้นมาจากชั้นข้อมูลแนวกันภัยพิบัติการใช้ประโยชน์ที่ดินระดับที่ 1 (Level 1) ของกรมพัฒนาที่ดิน ดังแสดงใน Figure 3d และ (5) ธรณีสัณฐาน (Landforms) มีการจำแนกประเภทของธรณีสัณฐาน ตามเกณฑ์ที่กรมทรัพยากรธรณีกำหนดไว้ แบ่งเป็น 4 ประเภท โดยจัดทำขึ้นจากข้อมูลธรณีสัณฐานชายฝั่งที่มาจากการแปลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศทางน้ำบริเวณชายฝั่งทะเล พร้อมทั้งสำรวจภาคสนาม และเจาะสำรวจ (มาตราส่วน 1:250,000) ดังแสดงใน Figure 3e

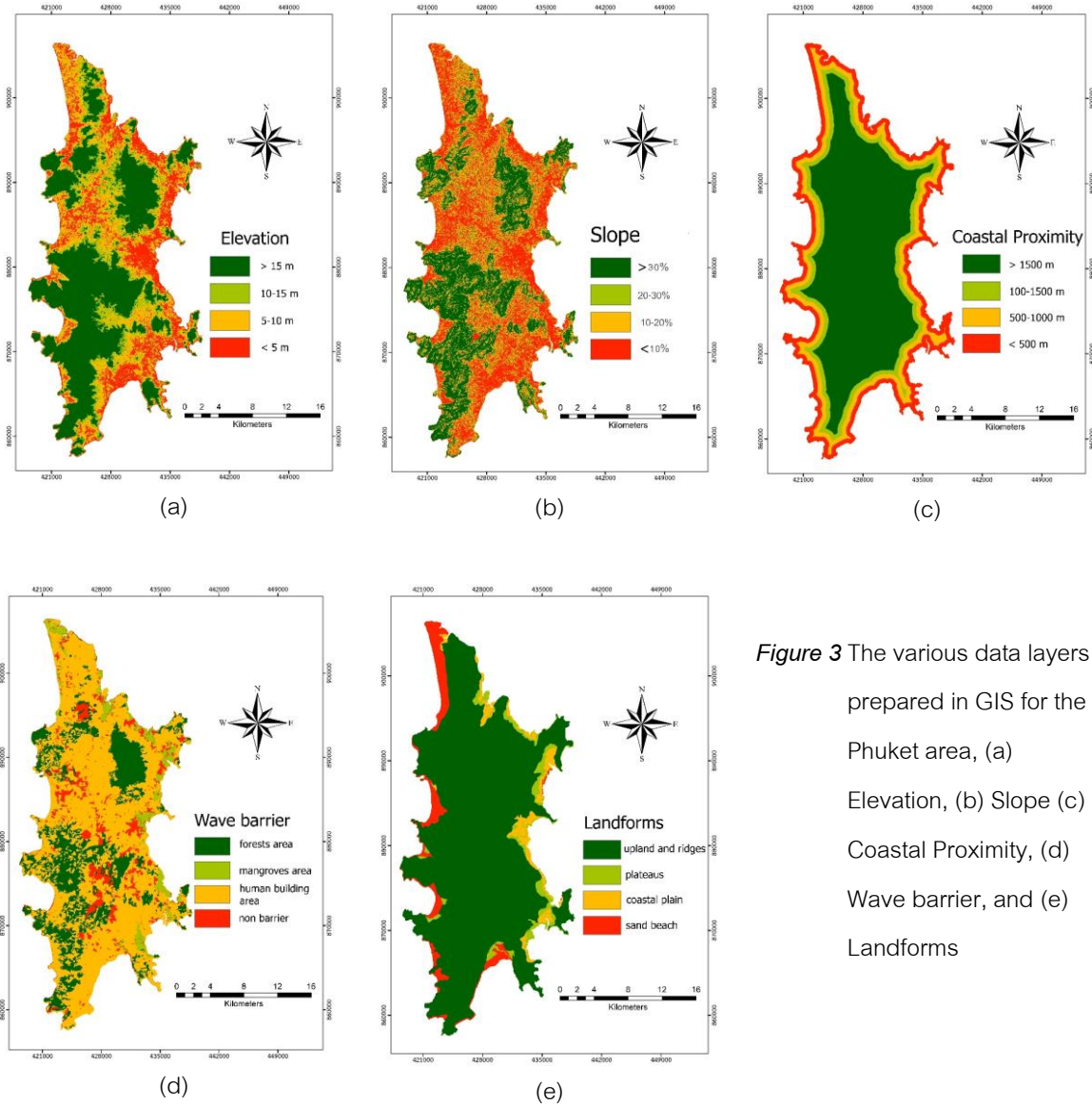


Figure 3 The various data layers prepared in GIS for the Phuket area, (a) Elevation, (b) Slope (c) Coastal Proximity, (d) Wave barrier, and (e) Landforms

3. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี AHP

การวิเคราะห์ด้วยวิธี AHP ดังกล่าว เป็นเทคนิคที่ใช้ในกระบวนการตัดสินใจเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับกรวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิสารสนเทศและช่วยตัดสินใจเมื่อมีปัจจัยให้พิจารณาหลายปัจจัย หลักการวิเคราะห์เริ่มจากการจัดลำดับชั้นในการวิเคราะห์ข้อมูล (Structuring The Hierarchy) ตามด้วยการคำนวณหาลำดับความสำคัญ (Calculation Of Relative Priority) ของข้อมูล และการเปรียบเทียบทางเลือกเป็นขั้นตอนสุดท้าย (Saaty, 1980) มีรายละเอียดขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ดังนี้

3.1) จำแนกข้อมูลออกเป็นลำดับชั้น เป็นขั้นตอนที่ใช้การจำแนกและเรียงลำดับชั้นของข้อมูลปัจจัยที่เลือกมาก่อนหน้านี้ตามโครงสร้างการวิเคราะห์ 4 ส่วน (เป้าหมาย เกณฑ์ เกณฑ์ย่อยและทางเลือก) ซึ่งอาจกำหนดให้มีจำนวนชั้นได้มากกว่า

4 ลำดับชั้น ตามวัตถุประสงค์แยกย่อยหรือผู้ตัดสินใจ (Meeching *et al.*, 2019) การกำหนดจำนวนของระดับชั้นในงานวิจัยนี้กำหนดให้เป็น 4 ลำดับชั้น ตามผลลัพธ์ระดับความเสี่ยงพื้นที่ต้องการประเมินออกมา คือ พื้นที่ไม่อันตราย พื้นที่อันตรายต่ำ พื้นที่อันตรายปานกลางและพื้นที่อันตรายสูง ทั้งนี้ขั้นตอนดังกล่าวดำเนินการพร้อมกันกับการเตรียมข้อมูลดังแสดงผลลัพธ์จากการจำแนกข้อมูลปัจจัยใน Figure 3

Table 2 Random Inconsistency Indices (RI) (ดัดแปลงจาก Ponpetch, 2010)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

3.2) การเปรียบเทียบองค์ประกอบที่ใช้ในการตัดสินใจทีละคู่ (Pairwise) เป็นกระบวนการให้ค่าถ่วงน้ำหนักวิธีหนึ่ง เพื่อเป็นการลดขั้นตอนการตัดสินใจที่ซับซ้อนให้เหลือเพียงการตัดสินใจองค์ประกอบทีละคู่ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนย่อย ขั้นตอนแรกเป็นการสร้างเมทริกซ์เปรียบเทียบทีละคู่ (Pairwise Comparison Matrix) เพื่อเปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละคู่ข้อมูลปัจจัย และกำหนดค่าระดับความสำคัญในแต่ละคู่ปัจจัย โดยอาศัยเกณฑ์การพิจารณาความสำคัญของ Saaty (1980) ที่กำหนดได้ 9 ระดับความสำคัญ เช่นเดียวกับที่ใช้ในงานของ Meeching *et al.* (2019) ผลจากค่าดังกล่าวเป็นการทำร่วมกับค่าแนวทแยงที่เป็นส่วนกลับของค่าความสำคัญ ซึ่งการให้ค่าระดับความสำคัญดังกล่าวมาจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ที่มีความรู้ทางด้านนั้น โดยในงานวิจัยนี้ใช้ผู้เชี่ยวชาญจากกรมทรัพยากรธรณีเป็นผู้ให้ค่าคะแนน 3 ท่าน ขั้นตอนที่ 2 เป็นการคำนวณผลรวมของค่าน้ำหนักที่ได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละคู่จากขั้นตอนก่อนหน้า และทำให้ข้อมูลและรวมข้อมูลในแต่ละแถวเป็นบรรทัดฐาน (Normalize) ให้ได้มาซึ่งค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งพิจารณาค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง (Consistency Index: CI) ของข้อมูลแต่ละคู่ ตามขั้นตอนเดียวกับที่ใช้ในงานของ Meeching *et al.* (2019) และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการคำนวณอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) ซึ่งค่า CR ดังกล่าวเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง (CI) กับค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Inconsistency Indices: RI) ทั้งนี้ผลการคำนวณค่า CR ผลที่ได้ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.1 จึงถือว่ามีความสมเหตุสมผล (Sorawisut, 2016) ส่วนค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (RI) ที่ใช้ค่าที่กำหนดโดย Saaty (1980) ดัง Table 2 ซึ่งค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับจำนวนหลักเกณฑ์หรือปัจจัยที่ใช้เปรียบเทียบ (N)

3.3) การเปรียบเทียบทางเลือก เป็นการนำผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบองค์ประกอบในการตัดสินใจทีละคู่ที่ให้ค่าน้ำหนักปัจจัย (Weighting) ของพื้นที่ที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากการเกิดสึนามิ กระบวนการดังกล่าวทำขึ้นหลังจากการตรวจสอบความสมเหตุสมผล จากผลลัพธ์ของค่า CR เพื่อหาลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยในภาพรวมด้วยวิธีคำนวณคะแนนรวมของแต่ละทางเลือก โดยผลการจัดลำดับคะแนนที่มีมากที่สุดเป็นลำดับที่ 1 คือ มีความเหมาะสมมากที่สุด และผลที่ได้เป็นค่าน้ำหนักของทุกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์พื้นที่อันตรายได้รับผลกระทบจากสึนามิ จากนั้นวิเคราะห์ออกมาเป็นผลลัพธ์ความอันตรายตามปัจจัยทั้งหมด ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวเป็นผลรวมของค่าน้ำหนักคูณกับค่าคะแนนของแต่ละปัจจัย ทั้งนี้คะแนนรวมของปัจจัยพื้นที่อันตรายทั้งหมดถูกนำไปวิเคราะห์ผลทาง GIS ต่อในลำดับถัดไป

(Meeching *et al.*, 2019) โดยกระบวนการจัดทำแผนที่พื้นที่อ่อนไหวดังกล่าวอาศัยโปรแกรม ArcGIS เวอร์ชัน 10.6.1 (ESRI, 2011) (มีหมายเลขลิขสิทธิ์ ESU402675569) ประมวลผลและนำเสนอความอ่อนไหวเชิงพื้นที่ ทั้งนี้การวิเคราะห์ผลทาง GIS ดังกล่าวได้มีการปรับเทียบค่าให้เป็นมาตรฐาน (Standardize) ซึ่งการปรับเทียบค่าดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนค่าของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดสึนามิให้อยู่ในระหว่างช่วง 0-1 เพื่อสะดวกต่อการแบ่งระดับความอ่อนไหวเนื่องจากข้อมูลที่นำมาใช้มีความหลากหลายของหน่วยงานจึงต้องนำมาปรับค่าให้เป็นมาตรฐาน ทั้งนี้ผลที่ได้ถูกแบ่งออกเป็นพื้นฐานค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาแจกแจงเป็นระดับความอ่อนไหว 4 ระดับ เมื่อได้ข้อมูลความอ่อนไหวที่สมบูรณ์ในแต่ละระดับเป็นที่เรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวระดับสูงมาเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากสึนามิเมื่อปี พ.ศ.2547 ที่จัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี (Thathong & Chaimanee, 2005) อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบส่วนมากเป็นหาดที่ตั้งอยู่ทางด้านตะวันตกของจังหวัดภูเก็ต (Figure 1b) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกพื้นที่หาดที่ตั้งอยู่ทางฝั่งตะวันตกที่เคยได้รับผลกระทบจากเหตุสึนามิ พ.ศ. 2547 จำนวน 10 หาด คือ หาดไม้ขาว หาดในยาง หาดทรายแก้ว หาดบางเทา หาดราไวย์ หาดป่าตอง หาดกมลา หาดกะตะ หาดกะรน และหาดในหาน นำมาใช้ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งการตรวจสอบความถูกต้องดังกล่าวเป็นการหาจำนวนพื้นที่ที่ตรงกันของพื้นที่อ่อนไหวสูงและพื้นที่ได้รับความเสียหายจริงจากสึนามิเมื่อปี พ.ศ.2547 โดยพิจารณาแยกเป็นรายหาด รวมถึงนำข้อมูลความเสี่ยงในแต่ละระดับมาเปรียบเทียบซ้อนทับกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อนำไปสู่การจำแนกความอ่อนไหวต่อประเภทที่ดินต่าง ๆ เป็นราย ๆ ไป ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่นำมาใช้วิเคราะห์ร่วมกับพื้นที่เสี่ยงดังกล่าวจัดทำขึ้นโดยกรมพัฒนาที่ดินเมื่อพ.ศ. 2562 มีการจำแนกประเภทพื้นที่ออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ ป่าไม้ เกษตรกรรม บ้านเรือน แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่น ๆ

Table 3 Score and weight of each factor from the specialist

Factor	Sub-division classes of factor	Score	Weight	Factor	Sub-division classes of factor	Score	Weight
1.Elevation	< 5 m	4	0.11	4. Wave barrier	Non barrier	4	0.17
	5-10 m	3			Human building area	3	
	10-15 m	2			Mangroves area	2	
	> 15 m	1			Forests area	1	
2. Slope	< 10%	4	0.21	5.Landforms	Sand beach	4	0.18
	10-20%	3			Coastal plain	3	
	20-30%	2			Plateaus	2	
	> 30%	1			Upland and ridges	1	
3. Coastal Proximity	< 500 m	4	0.33				
	500-1,000 m	3					
	1,000-1,500 m	2					
	> 1,500 m	1					

ผลการวิจัย

1. ผลการเตรียมข้อมูลสำหรับวิเคราะห์และจัดทำแผนที่พื้นที่เสี่ยงสึนามิ

จากการเตรียมข้อมูลปัจจัยเชิงพื้นที่ที่เชื่อมโยงกับโอกาสของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดคลื่นสึนามิ 5 ปัจจัย ที่แบ่งช่วงชั้นข้อมูลตามเกณฑ์ที่ได้กล่าวไว้ในขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูล มีการกำหนดค่าน้ำหนักและคะแนนจากกระบวนการตัดสินใจที่มีการให้ค่าระดับความสำคัญจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ที่มีความรู้จากกรมทรัพยากรธรณี 3 ท่าน ผลจากการประเมินและจัดลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือกและหาค่าน้ำหนักแต่ละปัจจัยจากกระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น ได้ผลการวิเคราะห์ในแต่ละปัจจัยแสดงดัง Table 3 ทั้งนี้ผลการคำนวณค่า CR เพื่อตรวจสอบค่าที่ได้มาจากการเปรียบเทียบความสมเหตุสมผลกันรายคู่ ได้ค่า CR เท่ากับ 0.08 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้สำหรับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัย สอดคล้องกับหลักการของ Saaty (1980) ที่กำหนดว่าควรมีค่า CR ไม่เกิน 0.1

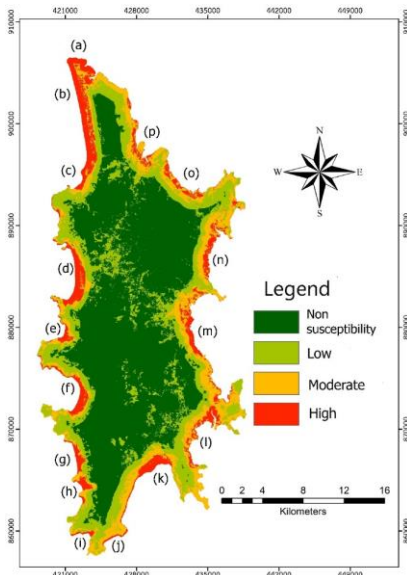


Figure 4 Tsunami susceptibility map of Phuket Province

Table 4 The Tsunami susceptibility area in each level

Susceptibility level	Area (km ²)	Percentage
Non susceptibility	280.25	53.01
Low	124.40	23.54
Moderate	77.20	14.60
High	46.78	8.85

2. ผลการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดสึนามิ จังหวัดภูเก็ต

จากการศึกษาพื้นที่อ่อนไหวจากคลื่นสึนามิ หากเกิดคลื่นสึนามิซัดเข้าหาพื้นที่จังหวัดภูเก็ตในทุกทิศทาง โดยอาศัยการวิเคราะห์ผลจากปัจจัยเชิงพื้นที่ 5 ปัจจัยด้วยวิธี AHP และกำหนดระดับความอ่อนไหวจากคลื่นสึนามิเป็น 4 ระดับ ผลที่ได้สามารถแสดงออกมาในรูปแบบแผนที่ความอ่อนไหวเชิงพื้นที่ในระดับต่าง ๆ ดัง Figure 4 และสามารถแจกแจงเป็นข้อมูลขนาดพื้นที่ดัง Table 4 ผลดังกล่าวแสดงพื้นที่ความอ่อนไหวต่ำและไม่มีควมอ่อนไหวคิดเป็นพื้นที่ 124.40 ตารางกิโลเมตร และ 280.25 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวโดยมากเป็นพื้นที่กลางเกาะและพื้นที่ห่างจากชายฝั่งประมาณ 1 กิโลเมตร ส่วนพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวปานกลางมีพื้นที่มากเป็นลำดับสาม (คิดเป็นร้อยละ 14.60 ของพื้นที่ทั้งหมด) ซึ่งโดยมากตั้งอยู่ถัดจากพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวมาก ทั้งนี้มีบางพื้นที่ที่อยู่ติดกับทะเลแต่เนื่องจากปัจจัยสภาพพื้นที่ดังกล่าวที่มีค่าความลาดชันและความสูงที่มากกว่าพื้นที่อ่อนไหวสูงทำให้พื้นที่ติดทะเลดังกล่าวแสดงผลในช่วงค่า

ความอ่อนไหวปานกลางแทน และสุดท้ายพื้นที่ที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิสูง (พื้นที่สีแดง) มีขนาดพื้นที่น้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 8.84 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยพื้นที่ดังกล่าวพบอยู่ในบริเวณที่ราบริมชายฝั่งทะเลและพื้นที่หาดต่าง ๆ รอบ ๆ จังหวัดภูเก็ต

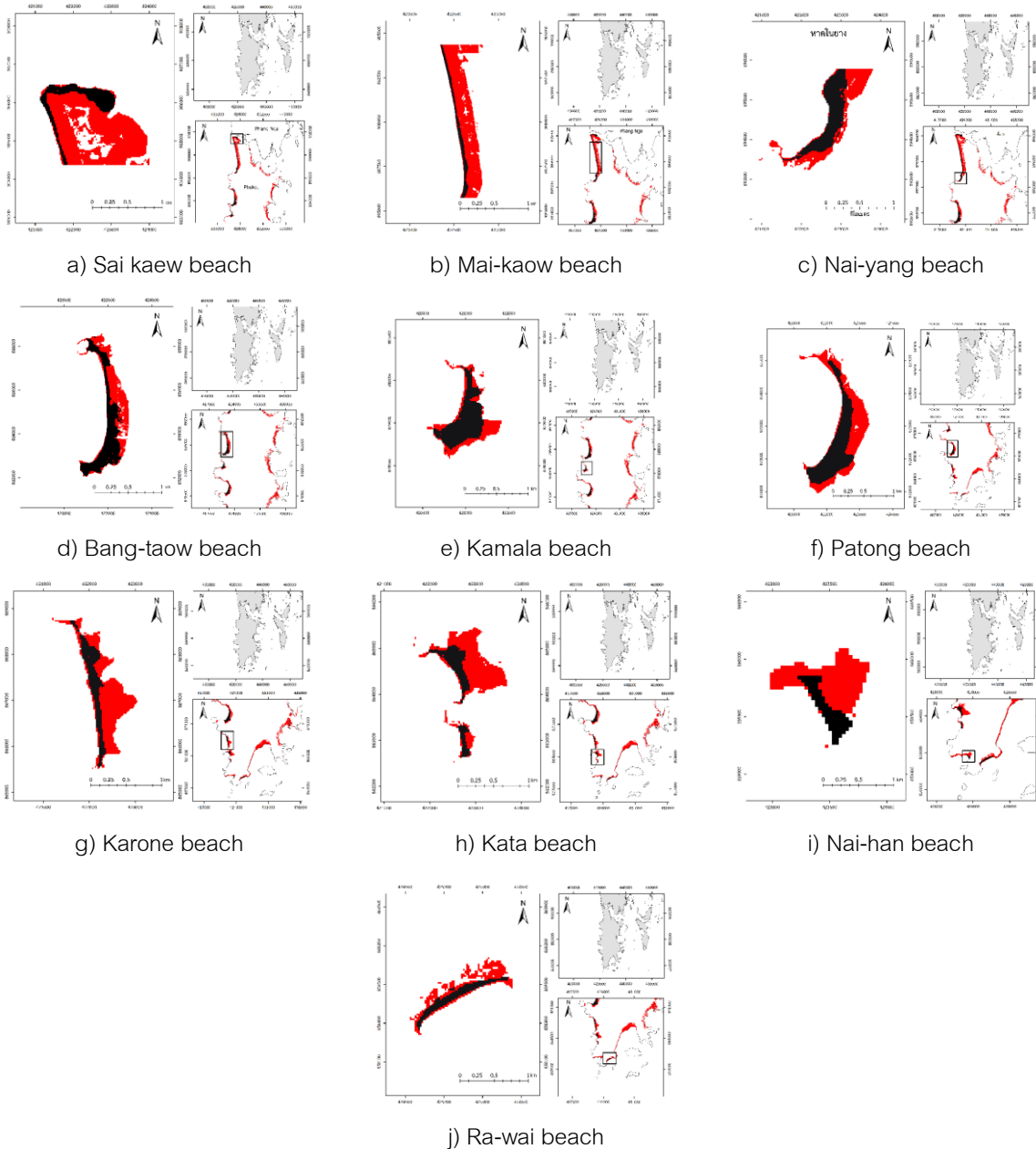


Figure 5 Spatial comparison between the destructive area from the 2004 Tsunami disasters (black zone) and the high susceptibility area derived using AHP analysis (red zone), in the ten beaches where got destructive.

จากการตรวจสอบพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดสึนามิสูงดังกล่าว เมื่อนำมาตรวจสอบความถูกต้องกับข้อมูลพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิเมื่อ พ.ศ.2547 โดยดูจากพื้นที่ที่มีผลการวิเคราะห์สอดคล้องกัน (พื้นที่ที่ตรงกัน) ของพื้นที่ทั้งสอง (เปรียบเทียบ Figure 1b และ Figure 4) พบว่า สามารถแยกพื้นที่ได้เป็น 2 ประเภท คือ พื้นที่ที่มีข้อมูลให้เปรียบเทียบ (พื้นที่ (a) ถึง (j) ใน Figure 4) และ พื้นที่ที่ไม่มีข้อมูลให้เปรียบเทียบ (พื้นที่ (k) ถึง (p) ใน Figure 4) โดยพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูลให้เปรียบเทียบความอ่อนไหว คือ พื้นที่ทางด้านตะวันออกของจังหวัดภูเก็ต เนื่องจากไม่ได้อยู่ในแนวการปะทะโดยตรงจากคลื่นสึนามิเมื่อ พ.ศ.2547 อย่างไรก็ตามหากพิจารณาพื้นที่พบความอ่อนไหวสูงในพื้นที่ฝั่งตะวันออกของจังหวัดภูเก็ตพบว่า มีพื้นที่ควรให้ความสนใจในการเฝ้าระวังจำนวนมาก (ใน Figure 4) เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำและไม่ได้เป็นพื้นที่สูงมาก แต่เป็นที่ตั้งของชุมชนและบ้านเรือนจำนวนมาก ได้แก่ พื้นที่ปากคลองฉลองและพื้นที่ใกล้เคียง (k) พื้นที่หมู่บ้านชาวเลและพื้นที่ปลายแหลมสะพานหินที่ติดกับอำเภอเมือง (l) พื้นที่ป่าชายเลนตำบลปากคลอง (m) พื้นที่หาดท่าหลาและท่าเทียบเรืออ่าวปอ (n) พื้นที่ชุมชนชาวเลอ่าวพารา (o) และพื้นที่บ้านแหลมทรายและพื้นที่ใกล้เคียง (p) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นที่ตั้งของป่าชายเลน ชุมชนชาวประมง ท่าเทียบเรือ และโรงแรมรีสอร์ทต่าง ๆ ส่วนพื้นที่อ่อนไหวสูงและมีข้อมูลให้ตรวจสอบเปรียบเทียบผลความสอดคล้องกัน โดยมากเป็นพื้นที่หาด ตั้งอยู่ทางฝั่งตะวันตกของจังหวัดภูเก็ต มีจำนวน 10 หาด สามารถแสดงผลเชิงเปรียบเทียบในแต่ละพื้นที่ย่อยได้ใน Figure 5 ผลที่ได้ในส่วนนี้ พบว่าพื้นที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดสึนามิ พ.ศ.2547 ในจังหวัดภูเก็ต (พื้นที่สีดำ) ตั้งอยู่ในพื้นที่ความอ่อนไหวสูง (พื้นที่สีแดง) ทั้งหมด เมื่อคิดเป็นขนาดพื้นที่ที่มีผลการวิเคราะห์สอดคล้องกันของข้อมูลทั้งสอง (Table 5) พบว่า มีพื้นที่สอดคล้องกันอยู่ในช่วง 0.06-2.96 ตารางกิโลเมตร หาดที่มีพื้นที่สอดคล้องกันมากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่เสี่ยงสูงทั้งหมด ได้แก่ หาดกมลา หาดบางเทา หาดในยาง และหาดป่าตอง โดยพื้นที่ที่มีผลการวิเคราะห์สอดคล้องกันมากที่สุด คือ พื้นที่หาดกมลาคิดเป็นร้อยละ 63.50 ของพื้นที่อ่อนไหวสูงในหาดกมลลา ทั้งนี้พื้นที่อ่อนไหวสูงมีปริมาณพื้นที่มากกว่าค่อนข้างชัดเจนเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มาจากประเพณีจากปัจจัยสภาพภูมิประเทศโดยตรง ประกอบกับการเกิดสึนามิในจังหวัดภูเก็ตเป็นการเกิดเพียงครั้งเดียวทำให้ข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องไม่มีมากพอให้ใช้ระบุพื้นที่ความเสียหายมากหรือน้อยกว่าที่เป็นอยู่

Table 5 The result of spatial relationship between the destructive area and the high susceptibility area from figure 5.

	Mai- kaow beach	Nai- han beach	Bang- taow beach	Nai- yang beach	Kamala beach	Patong beach	Karone beach	Ra- wai beach	Kata beach	Sai- kaew beach
Relation area /	1.40 /	0.06 /	2.96 /	0.95 /	0.86 /	1.60 /	0.49 /	0.21 /	0.42 /	0.72 /
High susceptibility area (km ²)	9.27	0.27	5.44	1.82	1.35	3.09	1.55	0.45	1.45	3.81
Percentage	15.10	22.51	54.38	52.29	63.50	51.75	31.68	46.56	28.95	18.90

Table 6 The result of spatial relationship between land use and tsunami susceptibility area.

Number	Susceptibility level	Class of land use	Area (km ²)	Percentage
1	Non susceptibility	Forest area uses	95.618	34.12
		Agricultural uses	93.149	33.24
		Water uses	2.989	1.07
		Residential uses	73.074	26.07
		Other uses	15.424	5.50
2	Low	Forest area uses	29.079	28.58
		Agricultural uses	37.184	38.93
		Water uses	3.132	2.52
		Residential uses	4.844	29.62
		Other uses	0.439	0.35
3	Moderate	Forest area uses	30.697	39.76
		Agricultural uses	15.148	19.62
		Water uses	3.706	4.80
		Residential uses	27.100	35.10
		Other uses	0.553	0.72
4	High	Forest area uses	15.298	34.61
		Agricultural uses	4.611	10.43
		Water uses	5.276	11.94
		Residential uses	17.860	40.40
		Other uses	1.158	2.62

จากการนำข้อมูลแผนที่พื้นที่อ่อนไหวหรือที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิมาพิจารณาหาพื้นที่สอดคล้องกันกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดภูเก็ต เพื่อประเมินความเสียหายเชิงพื้นที่ที่อาจเกิดขึ้นหากเกิดคลื่นสึนามิในคราวถัดไป รวมถึงนำไปใช้ประกอบการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่มีความอ่อนไหวมาก ปานกลาง ต่ำ และไม่มี ความอ่อนไหว มีพื้นที่สอดคล้องกันในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน แสดงดัง Table 6 ผลดังกล่าว พบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่อ่อนไหวสูงนั้น มีน้อยที่สุด 44.203 ตารางกิโลเมตร โดยภายในพื้นที่อ่อนไหวสูงดังกล่าวคิดเป็นพื้นที่ชุมชนหรือเมือง 17.86 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 40 ของพื้นที่อ่อนไหวสูงทั้งหมด อย่างไรก็ตามหากคิดจากพื้นที่จังหวัดภูเก็ตทั้งหมด พบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่ไม่มี ความอ่อนไหวจากสึนามิ (280.25 ตารางกิโลเมตร) รองลงมาคือพื้นที่ความอ่อนไหวปานกลางและความอ่อนไหวต่ำ ตามลำดับ ทั้งนี้พื้นที่เมืองส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่ไม่อ่อนไหวโดยมีมากถึง 73.074 ตารางกิโลเมตร

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการตรวจสอบพื้นที่สอดคล้องกันของพื้นที่อ่อนไหวจากคลื่นสึนามิที่วิเคราะห์ด้วยวิธี AHP และพื้นที่ที่เคยได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิเมื่อ พ.ศ.2547 พบว่า พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวสูงส่วนหนึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ไม่พบความเสียหายจากคลื่นสึนามิเมื่อ พ.ศ.2547 และอีกส่วนหนึ่งพบความสอดคล้องกันกับความเสียหาย พื้นที่ที่ไม่พบความเสียหายที่พบอย่างชัดเจน คือ พื้นที่ทางฝั่งตะวันออกของจังหวัดภูเก็ต เนื่องจากอุปสรรคเชิงภูมิประเทศทางทะเลทำให้คลื่นสึนามิเมื่อ พ.ศ.2547 ไม่สามารถเดินทางหรือสร้างความเสียหายในพื้นที่ดังกล่าวได้ โดยคลื่นเดินทางเข้ามาทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (Thathong & Chaimanee, 2005) หากพิจารณาพื้นที่ที่เคยได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิเมื่อ พ.ศ.2547 ทั้งหมด พบว่า พื้นที่เสียหายทั้งหมด 10 พื้นที่หาที่มีความสอดคล้องเชิงพื้นที่กับพื้นที่อ่อนไหวสูง และพบพื้นที่อ่อนไหวสูงมีขนาดพื้นที่มากกว่าขอบเขตพื้นที่หาที่ได้รับผลกระทบจริงในหลายพื้นที่ สิ่งที่เกิดขึ้นสันนิษฐานว่าเกิดจากสองเหตุผล เหตุผลแรกมาจากการวิเคราะห์ข้อมูลตามสภาพความเป็นไปเชิงภูมิศาสตร์และอัตลักษณ์เชิงพื้นที่บนพื้นฐานการตัดสินใจค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่ได้มาจากระบวนการวิเคราะห์ด้วยวิธี AHP ที่มีการวิเคราะห์เป็นลำดับขั้น ทำให้สามารถสะท้อนภาพการกระจายตัวและขอบเขตของความเสียหายเชิงพื้นที่ในระดับต่าง ๆ ได้ อย่างชัดเจน รวมถึงสามารถแสดงผลความอ่อนไหวครอบคลุมไปถึงพื้นที่ที่ไม่เคยเกิดเหตุมาก่อนด้วยเช่นกัน ส่วนเหตุผลที่สองมาจากข้อจำกัดของข้อมูลความเสียหายที่มาจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงเพียงครั้งเดียวเมื่อ พ.ศ.2547 โดยที่มาของข้อมูลดังกล่าวจากการเก็บข้อมูลสภาพความเสียหายในพื้นที่จริงนำมาประกอบการจัดทำเป็นแผนที่ความเสียหายเชิงพื้นที่และนำมาใช้ในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยในปัจจุบัน ประกอบกับลักษณะเฉพาะเชิงพื้นที่หาแต่ละพื้นที่ที่ไม่สามารถบ่งชี้ถึงความเสียหายจากการปะทะของคลื่นสึนามิเมื่อ พ.ศ.2547 เช่นพื้นที่หาดหินริมหาด พื้นที่รกร้างและพื้นที่ที่ปราศจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน ส่งผลให้ภาพของพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวสูงดังกล่าวมีจำนวนพื้นที่มากกว่าพื้นที่ที่เคยเกิดจริงเพียงครั้งเดียว อย่างไรก็ตามในอนาคตพื้นที่เสี่ยงภัยหรือพื้นที่ที่อาจได้รับผลกระทบอาจขยายขอบเขตของความเสียหายได้หากคลื่นสึนามิที่พัดเข้ามามีความรุนแรงกว่าเดิม ดังนั้นผลจากการประเมินพื้นที่อ่อนไหวจากคลื่นสึนามิดังกล่าวอาจช่วยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยในพื้นที่สามารถกำหนดเส้นทางและหาพื้นที่ที่ปลอดภัยเพื่อช่วยประชาชนในพื้นที่ได้อย่างทันท่วงที

การวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวจากคลื่นสึนามิในจังหวัดภูเก็ตด้วยวิธี AHP อาศัยการวิเคราะห์จากปัจจัยเชิงพื้นที่และการตัดสินใจแบบลำดับขั้น ผ่านกระบวนการจัดลำดับขั้นในการวิเคราะห์ข้อมูล การคำนวณหาลำดับความสำคัญของข้อมูล และการเปรียบเทียบทางเลือก มาประกอบการตัดสินใจเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลหลายปัจจัย (Saaty, 1980) รวมถึงการให้ผู้เชี่ยวชาญในพิบัติภัยดังกล่าวจำนวน 3 คนเป็นผู้คัดกรองและให้ค่าคะแนนต่าง ๆ ซึ่งวิธีการดังกล่าวแตกต่างจากวิธีการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงในงานของ Thanawut & Yongchalemchai (2008) ที่ศึกษาในพื้นที่ที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากสึนามิในจังหวัดพังงา โดยงานวิจัยดังกล่าวใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี Simple Ranking and Rating (SRR) ที่ใช้การหาค่าคะแนนความเสี่ยง จากการให้ค่าน้ำหนัก (Weighting) และการให้ค่าคะแนน (Rating) โดยทั่วไป ที่มีการนำข้อมูลแวดล้อมจากเหตุการณ์จริงที่มีการศึกษาในพื้นที่เกิดสึนามิในอำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา มาประกอบการพิจารณาในการหาความเสี่ยง อย่างไรก็ตามผลจากวิธีการดังกล่าวสามารถแสดงผลระดับความอ่อนไหวได้ในระดับต่าง ๆ ได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามด้วยการพัฒนาขึ้นของวิธีการวิเคราะห์ทางเทคโนโลยีสารสนเทศในปัจจุบัน ทำให้

วิธีการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงมีจำนวนวิธีที่เพิ่มมากขึ้นตามบริบทความพร้อมของข้อมูล (Duangpi boon et al., 2018) ซึ่งปัจจุบันวิธี AHP เป็นหนึ่งวิธีการที่มีความน่าเชื่อถือมากในการหาพื้นที่อ่อนไหวจากคลื่นสึนามิ เนื่องจากการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถวิเคราะห์และแสดงผลระดับความอ่อนไหวได้ในระดับต่าง ๆ และเป็นการวิเคราะห์จากสภาพภูมิศาสตร์จริงของพื้นที่ดังที่พบในงานวิจัยของ Sinaga et al. (2011) และ Ajin et al. (2014) เป็นต้น

พิจารณาผลการเลือกปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากคลื่นสึนามิในจังหวัดภูเก็ต ปัจจัยที่มีการเลือกใช้เป็นประเภทปัจจัยทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการก่อเกิดคลื่นสึนามิในพื้นที่ชายฝั่ง ซึ่งเหมือนกับที่พบใช้ในหลายงานวิจัย เช่น ความสูงจากระดับน้ำทะเลกลาง ความลาดชัน และระยะห่างจากชายฝั่ง ส่วนปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากปัจจัยพื้นฐานดังกล่าวคือ แนวกำแพงธรรมชาติ เช่นเดียวกับที่พบในงานวิจัยของ Thanawut & Yongchalemchai (2008) เนื่องจากพื้นที่ฝั่งตะวันออกมีพื้นที่ป่าชายเลนและบ้านเรือนที่ตั้งอยู่ติดพื้นที่ชายฝั่ง ซึ่งสามารถป้องกันคลื่นสึนามิได้ในระดับหนึ่ง ส่วนฝั่งตะวันตกมีพื้นที่บ้านเรือน และสถานประกอบการโรงแรมรีสอร์ท ตั้งอยู่ติดพื้นที่หาดจำนวนมาก สามารถใช้เป็นแนวกันภัยลดความรุนแรงของคลื่นสึนามิที่เคลื่อนตัวเข้าสู่พื้นที่ชุมชนชั้นในได้ ส่วนปัจจัยธรณีสัณฐานของภูเก็ต เป็นปัจจัยสุดท้ายที่ถูกนำมาใช้วิเคราะห์ เช่นเดียวกับที่ใช้ในงานของ Ajin et al. (2014) เนื่องจากธรณีสัณฐานฝั่งตะวันตกและฝั่งตะวันออกของจังหวัดภูเก็ตมีความแตกต่างกัน โดยฝั่งตะวันตกของจังหวัดภูเก็ตเป็นพื้นที่หาดติดกับพื้นที่ลาดชันสูงและภูเขาสูง ส่วนฝั่งตะวันออกโดยมากเป็นพื้นที่ลาดลุ่มและพื้นที่ลาดซึ่งมีความลาดชันต่ำ ทั้งนี้การวิเคราะห์ร่วมกันของความเสียหายพื้นที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิและการใช้ประโยชน์ที่ดินในงานวิจัยนี้มีลักษณะคล้ายกับงานของ Aslam et al. (2017) ที่ศึกษาเรื่องการกำหนดที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดคลื่นสึนามิ กรณีศึกษาของเมืองการาจี่ในแคว้นสินธ์ ประเทศปากีสถาน โดยใช้วิธีการ AHP เช่นกัน และเมื่อนำผลดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท พบว่าพื้นที่เสี่ยงภัยของแนวชายฝั่งการาจี่และพื้นที่ปลอดภัยอยู่ห่างไกลจากทะเลอยู่ห่างกันค่อนข้างมาก ส่งผลให้ผู้คนในพื้นที่จำนวนมากตกอยู่ในความเสี่ยงสูง ต่างจากผลในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตที่มีพื้นที่ชุมชนเมืองเพียง 17.86 ตารางกิโลเมตรเท่านั้นที่ตั้งอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยสูง อย่างไรก็ตามชนิดปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบ AHP นั้นต่างกัน โดยปัจจัยที่แตกต่างกันที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงของเมืองการาจี่คือ ความสัมพันธ์ทางภูมิประเทศกับทิศทางสึนามิและรูปร่างของชายฝั่ง ประกอบกับลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของเมืองการาจี่นั้นแตกต่างจากจังหวัดภูเก็ตด้วยเช่นกัน โดยผลการใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินมาเปรียบเทียบกับพื้นที่เสี่ยงอาจช่วยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานด้านการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยหรือหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่นำไปใช้ในการวางแผน ประเมินผล ดำเนินการจัดการและการจัดทำแนวทางการป้องกันบรรเทาเหตุ เพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับคนในชุมชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ รวมถึงเป็นการลดโอกาสการได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิ ลดการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินของคนในพื้นที่เช่นกัน

จากการศึกษาข้อมูลในการวิเคราะห์พื้นที่ที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากการเกิดคลื่นสึนามิในครั้งนี้ พบว่า มีปัจจัยเชิงพื้นที่ที่เกี่ยวข้องการเคลื่อนตัวของคลื่นสึนามิอื่น ๆ ที่ยังไม่สามารถนำมาใช้ประกอบการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวได้ ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะในบางประเด็นที่อาจสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ร่วมกันได้หากสามารถนำมาจัดทำเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ เช่น ความลาดชันชายทะเล รูปลักษณ์ของชายหาด ระยะที่คลื่นสามารถเคลื่อนตัวซัดเข้าหาฝั่งตามระดับความสูงคลื่นและลักษณะสัณฐานชายหาด เป็นต้น รวมถึงการปรับปรุงข้อมูลแนวกันภัยธรรมชาติที่อาจศึกษาเกี่ยวกับการแบ่งระยะทางห่างจากแนวกันภัยตามทิศทางที่คลื่นเคลื่อนตัวของคลื่นที่เข้าปะทะชายฝั่งมาประกอบการวิเคราะห์ผลเชิงปัจจัย ซึ่งการ

ได้มาของปัจจัยดังกล่าวข้างต้นอาจต้องศึกษาให้ได้มาซึ่งข้อมูลเชิงพื้นที่ก่อนนำมาจัดทำเป็นแผนที่ความอ่อนไหวในอนาคต นอกจากนี้อาจประเมินความเสี่ยงแยกเป็นรายฝั่งเนื่องจากกรณีฐานของทั้งสองฝั่งของจังหวัดภูเก็ตินั้นค่อนข้างแตกต่างกัน เมื่อเกิดคลื่นสึนามิซัดเข้าฝั่งด้านหนึ่งอีกด้านหนึ่งมักได้รับผลกระทบที่น้อยกว่าเสมอ นอกจากนี้ประเด็นการศึกษาพื้นที่อ่อนไหวจากสึนามิจากปัจจัยเชิงพื้นที่เพิ่มเติมที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น อาจแยกประเด็นการศึกษาในเรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ เช่น การศึกษาปัจจัยที่กระตุ้นให้เกิดคลื่นสึนามิหรือปัจจัยสำคัญในการทำให้เกิดคลื่นสึนามิในพื้นที่ทั้งสองฝั่งของจังหวัดภูเก็ต เช่น โอกาสการเกิดแผ่นดินไหวจากแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย การประมาณความรุนแรงที่อาจเกิดขึ้น และระยะห่างจากจุดศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหวที่อาจทำให้พื้นที่ศึกษาได้รับผลกระทบ โดยการนำเสนอเฉพาะแผนที่อ่อนไหวหรือเสี่ยงได้รับผลกระทบเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอต่อการวางแผนรับมือกับคลื่นสึนามิในคราวถัดไป รวมถึงอาจต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบเฝ้าระวังและการเตือนภัยการเกิดแผ่นดินไหวและสึนามิ ที่นำมาใช้ควบคู่กับข้อมูลความอ่อนไหวเชิงพื้นที่ เพื่อให้สามารถใช้ในการเตือนภัยได้อย่างทันเวลา อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้มาซึ่งผลของงานที่เป็นประโยชน์สูงสุดต่อการวางแผนรับมือป้องกันและบรรเทาภัยภายในพื้นที่ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการจัดทำและปรับปรุงข้อมูลพื้นที่อ่อนไหวหรือได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิร่วมกับการใช้ประโยชน์ที่ดินหรือพื้นที่ชุมชนที่ตั้งใกล้ชายหาดที่เปลี่ยนแปลงไปทุกครั้ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หรือข้อมูลปัจจัยเชิงพื้นที่ที่นำมาจัดทำพื้นที่เสี่ยง

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวจากสึนามิในจังหวัดภูเก็ตด้วยวิธี AHP ที่ใช้ปัจจัย 5 ปัจจัย คือ ระยะห่างจากชายฝั่ง ความลาดชัน ธรณีสัณฐาน แนวกันภัยพิบัติ และความสูงจากระดับน้ำทะเลกลาง ผลดังกล่าวสามารถนำเสนอภาพความอ่อนไหวเชิงพื้นที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลพื้นที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิเมื่อ พ.ศ.2547 (ซึ่งมีข้อมูลเฉพาะพื้นที่ได้รับความเสียหายจำนวน 10 หาด) และนำเสนอภาพความอ่อนไหวเชิงพื้นที่ดีกว่าที่ใช้อยู่เดิมมาก ทั้งนี้ด้วยมิติของข้อมูลระดับความอ่อนไหวในระดับต่าง ๆ และข้อมูลความอ่อนไหวเชิงพื้นที่ครอบคลุมถึงพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิเมื่อ พ.ศ.2547 ที่ตั้งอยู่ทางฝั่งตะวันออกของจังหวัดภูเก็ต ทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการจัดการพื้นที่ได้อย่างครอบคลุมทั่วทั้งจังหวัด นอกจากนี้ข้อมูลความอ่อนไหวเชิงพื้นที่ที่สามารถนำเสนอร่วมกับการใช้ประโยชน์ที่ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถแสดงให้เห็นภาพของพื้นที่เมืองจำนวนมากถึง 17.86 ตารางกิโลเมตร ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ความอ่อนไหวสูง และพื้นที่อ่อนไหวในระดับอื่น ๆ สามารถนำไปสู่การจัดทำและการวางแผนในการจัดการด้านการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวจากสึนามิดังกล่าวสามารถเพิ่มปัจจัยในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวเพิ่มเติมได้ เช่น ความลาดชันชายทะเล รูปลักษณะของชายหาด ระยะที่คลื่นสามารถเคลื่อนตัวซัดเข้าหาฝั่งตามระดับความสูงคลื่นและลักษณะฐานชายหาด เป็นต้น หรือวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากสึนามิด้วยวิธีการอื่นเพื่อนำผลมาเปรียบเทียบผลเชิงประสิทธิภาพ และหากมีการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ของจังหวัดภูเก็ต ที่อาจส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลปัจจัยที่ใช้อยู่เดิม เช่น ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ควรมีการปรับปรุงข้อมูลปัจจัยและจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวใหม่ทุกครั้ง รวมถึงควรปรับปรุงข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่สัมพันธ์กับพื้นที่อ่อนไหวในระดับต่าง ๆ ด้วยเช่นกัน



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่ได้ให้การสนับสนุน อุปกรณ์และทุนวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา สำหรับการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่านจากกรมทรัพยากรธรณีในการประเมินปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณ กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย กรมทรัพยากรธรณี กรมพัฒนาที่ดิน และสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดภูเก็ต สำหรับข้อมูลในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Ajin, R.S., Mathew, K.J., & Vinod, P.G. (2014). Tsunami vulnerability mapping using remote sensing and GIS techniques: A case study of Kollam District, Kerala, India. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 6(1), 44-51.
- Anucharn, T. (2016). The Application of Geographic Information System to Determine Suitable Areas for Evacuation and Evacuation Site from Inundation Zone: A Case Study in Hat Yai District, Songkhla Province. *Burapha Science Journal*, 21(3), 1-14. (In Thai)
- Aslam, B., Muhammad, J., Muhammad, Z. I., Gulraiz, A., & Quaid, I. A. (2017). GIS mapping of tsunami susceptibility: case study of the Karachi City in Sindh, Pakistan. *J Geogr Nat Disast*, 7(187), 2167-0587.
- Ativitavas, P. (2005). Coastal Management: The Guidance after Tsunami in the South, Thailand. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 3, 227-238. (in Thai)
- Boonsorn, J. (2017). An Analysis of flood risk: A case study Huai Mae ThaPhae Srisatchanalai, Sukhothai Province. In *Academic Conference Natural resources Geographic Information and Environment Naresuan*, (pp. 1-2), Thailand. (in Thai)
- Buatama, K. (2021). Analysis of landslide risk areas using Geographic Information System, Mae Sot District, Tak Province. In *Continuation report of the National Academic Conference for students Kamphaeng Phet Rajabhat University*, (pp. 573-575), Thailand. (in Thai)



- Chanchaeng, P. (2010). Drought Risk Area Assessment in Kampaengsaen District, Nakhonpathom Province Using Geographic Information System. *Thesis submitted Master of Science*, Graduate School of Social Development and Environment, National Institute of Development Administration. (in Thai)
- Duangpiboon, S., Suteerasak, T., Rattanakom, R., & Towanlong, W. (2018), Flood Susceptibility Mapping Using Geographic Information System and Frequency Ratio Analysis in the Lang Suan Watershed, Southern Thailand. *The Journal of KMUTNB*, 28(2), 259-272. (in Thai).
- ESRI. (2011). ArcGIS Desktop: Release 10.6.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Garson, M.S., Young, B., Mitchell, A.H.G., & Tait, B.A.R. (1975). The geology of the tin belt in Peninsular Thailand around Phuket, Phangnga and Takua Pa. *Overseas Memoir No.1*, Natural Environment Research Council, Institute of Geological Sciences, LONDON: HMSO.
- Inplaeng, M. (2017). GIS Application Diagnose Drought Risk Area and Agro-ecological Mapping in Middle Yom River, Song District, Phrae Province. In *Academic conference Natural resources Geographic Information and Environment Naresuan*, (pp. 84-85), Thailand. (in Thai)
- Jirakajonhkool, S. Klawwikarn, P., & Oumkratum, S. (2012). Geo-Informatics for landslide risk zone assessment in Wang Sa Pung Amphoe, Loei Province. *Thai Journal of Science and Technology*, 1(3), 197-210. (in Thai).
- Jirakajornkul, S. (2012). Geo-Informatics geographic information systems landslide hazard zone normalized difference vegetation index analysis hierarchy proc. *Thai Journal of Science and Technology*, 1(3), 197–210. (in Thai)
- Jitthorn, N., & Kaewdee, P. (2015). Analysis of mudslide disaster areas in Nam Phai Sub-district Nam Pat District, Uttaradit Province. *Thesis submitted Master of Science*, Department of Natural Resources and Environment Faculty of Agriculture natural resources and environment Naresuan University. (in Thai)



- Khiaosalap, P., & Tongdenok, P. (2015). Assessment of landslide hazard applying techniques weighted factor index method and geographic information system in huaimaesaroi watershed, Phrae province. In 53. *Kasetsart University Annual Conference, Bangkok*, (pp. 1264-1271), Thailand. (in Thai)
- Marfai, M. A., Khakim, N., Fatchurohman, H., Cahyadi, A., Wibowo, Y. A., & Rosaji, F. S. C. (2019). Tsunami hazard mapping and loss estimation using geographic information system in Drini Beach, Gunungkidul Coastal Area, Yogyakarta, Indonesia. In *E3S Web of Conferences* (76, p.03010). EDP Sciences, Indonesia.
- Meeching, K., Thongkungand, S., & Suteerasak, T. (2019) Application of Geographic Information System Data for Flood Susceptibility Area and Catchment Area Assessment: A Case Study the Southern Area of SuphanBuri Province. *The Journal of KMUTNB*, 29 (3), 372-387. (in Thai)
- Noichaisin, L. (2016) Application of GIS on Flood Risk Area Assessment in Sa Kaeo Province, *Burapha Science Journal*, 2(1), 51-63, 2016. (in Thai).
- Ponpetch, K. (2010). Geographic information system for prevention and control planning of dengue haemorrhagic fever in Phetchaburi province. *Thesis submitted Master of Science*, Department of Environment Science. Silpakorn University. (in Thai)
- Ruangthong, W., Plodpai. P., & Wimonsong, P. (2020). Assessment of drought risk areas in Sisaket Province. *Academic Journal for Spatial Innovation Development*, 1(2), 24-25. (in Thai)
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Sinaga, T., Nugroho, A., Wonlee, Y., & Suh, Y. (2011). GIS Mapping of Tsunami Vulnerability: Case Study of the Jembrana Regency in Bali, Indonesia. *Journal of Civil Engineering*, 15(3), 537-543.
- Sorawisut, A. (2016). Multi - Criteria decision making concepts and methods comparison between SAW AHP and TOPSIS. *Princess of Naradhiwas University Journal*, 8(2), 180–192. (In Thai)



- Thanarun, S., & Amornsanguansin, J. (2010). Application of Geographic Information System for Flood Risk Area Assessment in Angthong Province. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 6(2), 19-34. (in Thai)
- Thanasathitkul, J. (2005). Tsunami in Thailand and how to prepare for it in the future. Wichaya, Bangkok. (in Thai)
- Thanawut, C., & Yongchalemchai, C. (2008). *Delineating of Tsunami Hazard Areas in Takua Pa District, Phang Nga Province, using GIS and Remotely Sensed Data. Journal of Remote Sensing and GIS Association of Thailand*, 9 (2), 1-8. (In Thai).
- Thathong, T., & Chaimanee, N. (2005). The Exploration and Assessment Tsunami destructive in coastal areas Phuket and PhangNga Provinces, Research Report (5), Department of Mineral Resource, Thailand. (in Thai).
- Wiguna, P.P.K. (2014). Geographic Information Systems (GIS) Application for Tsunami Inundation Modeling in Bantul Regency, Yogyakarta. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika: JANAPATI*, 3(2), 58-63.
- Wongtadam, T. (2016). Assessment of flood hazard areas using Analytical Hierarchy Process over the Lower Yom Basin, Sukhothai province. In *Academic Conference Natural resources Geographic Information and Environment Naresuan*, (pp. 41-48), Thailand. (in Thai)
- Wunbua, J., Lakjitaro. A., & Madsaman, E. (2014). Application of the system Geographic information for estimating areas prone to landslides in the area of Srinakarin District Phatthalung Province. In *The 5th National and International Academic Conference Hat Yai*, (pp. 2064-2083), Thailand. (in Thai)