



Research Paper

Received:
24 February 2022
Revised:
12 March 2022
Accepted:
17 April 2022
Published:
3 June 2022
P.P: 133-157

ISSN: 2008-3564
E-ISSN: 2645-5285



Oman Sea Tsunami Risk Assessment along the Makran Coast

Mahyar Majidi Nik ¹ | Saadi Biglari ²

Abstract

Natural Disaster Risk Assessment Is a vital step in establishing standards and generally prioritizing efforts to decline hazards risk. therefore, The Tsunami event is considered as one of the most devastating natural disasters. This Natural Phenomenon Can be considered as a serious threat in coastal areas, ports and piers and cause irreparable damages. Historical Records Indicate that tsunamis in the Indian ocean could influence parts of southeastern Iran. in addition to the risk of tsunamis coming from the Indian ocean, the active Makran fault is located in the vicinity of the coastline of the Oman sea and at a distance of about 100 km. This Fault Is the most dangerous fault that is located parallel to the Iranian coastline and is capable of causing large tsunamis. Also, Makran region is tectonically capable of causing large earthquakes induced tsunami and obviously the tsunami risk from Makran subduction zone is a serious threat to the southern coast of Iran that making the study of tsunami risk necessary for this region. The aim of this study was to assess the vulnerability of coasts in Sistan and Baluchestan province to tsunami risk. in this study, fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) Models were combined to extract and analyze the vulnerability of the coasts in this province to tsunami risk. In This Study, the risk of tsunami vulnerability in the coasts of Sistan and Baluchestan were assessed in five classes as very low, low, medium, high and very high using four parameters including distance to coastline, elevation, slope, and vegetation cover. Fuzzy-AHP method using satellite images and spatial data within google earth engine cloud based environment and geographical information system. The results showed that 217.08 km², 542.64 km², 978.84 km², 1218.35 km², a1286.76 km² of the study area are placed in very low vulnerability, low vulnerability, moderate vulnerability, high vulnerability, and very vulnerable regions, respectively. The Chabahar, Konarak and Bryce cities as well as majority of the coastal villages are located in the high vulnerability Tsunami Zone.

Keywords: Tsunami, Makran Fault, Oman Sea, Risk Assessment, Fuzzy, AHP, Google Earth Engine.

1. Corresponding Author, Ph.D. Candidate, Department of Oceanology, Faculty of Marine Science, University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran. M.majidynik@yahoo.com
2. GIS MSc, Faculty of Remote Sensing and GIS, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Cite this Paper: Majidi Nik, M & Biglari, S. (2022). Oman Sea Tsunami Risk Assessment along the Makran Coast. *Crisis Management and Emergency Situations*, 14(1), 133–157.

ارزیابی خطر سونامی دریای عمان در طول سواحل مکران

مهیار مجیدی نیک^۱ | سعید بیگلری^۲

۱

سال چهاردهم
بهار ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۳/۱۳

صن: ۱۳۳-۱۵۷

شابا چاپی: ۲۰۰۸-۲۵۶۴

الکترونیکی: ۲۶۴۵-۵۲۸۵



چکیده

ارزیابی خطر رویداد بلایای طبیعی یک قدم حیاتی برای ایجاد استانداردها و به‌طور عام اولویت‌بندی تلاش‌ها برای کاهش ریسک مخاطرات است. از این رو، از رویداد سونامی به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی یاد می‌شود. این پدیده طبیعی می‌تواند به‌عنوان خطری جدی در نواحی ساحلی، بندرها و اسکله‌ها تلقی شود و صدمات و خسارات جبران‌ناپذیری به بار آورد. سوابق تاریخی حاکی از آن است که سونامی‌های به وجود آمده در اقیانوس هند می‌توانند بخش‌هایی از جنوب شرقی ایران را تحت تأثیر قرار دهند. علاوه بر خطر برخورد سونامی‌هایی که از اقیانوس هند می‌آیند، گسل فعال مکران نیز در مجاورت و موازات خط ساحلی دریای عمان با فاصله‌ای حدود ۱۰۰ کیلومتر امتداد یافته است. این گسل خطرناک‌ترین گسلی است که به موازات خط ساحلی ایران قرار گرفته و قادر است سونامی‌های بزرگی را به وجود آورد. هم‌چنین منطقه مکران از نظر تکنونیک، توانایی ایجاد زمین‌لرزه‌های بزرگ سونامی‌زا را داشته و به همین دلیل خطر سونامی ناشی از منطقه فرورانش مکران برای سواحل جنوبی ایران یک خطر جدی به‌شمار می‌رود. از این رو مطالعه خطر سونامی برای این منطقه ضروری است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری سواحل استان سیستان و بلوچستان در برابر خطر سونامی صورت پذیرفته است. در این تحقیق با ترکیب مدل‌های منطق‌فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی میزان آسیب‌پذیری سواحل این استان در برابر خطر سونامی، تحلیل و استخراج شده است. در این پژوهش خطر آسیب‌پذیری سونامی سواحل سیستان و بلوچستان را در ۵ کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد با استفاده از ۴ پارامتر فاصله از خط ساحلی، ارتفاع، شیب و پوشش گیاهی و با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به کمک تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های مکانی در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین و سیستم اطلاعات جغرافیایی ارزیابی گردید. نتایج حاکی از آن بود که ۲۱۷/۰۸ کیلومتر مربع از منطقه در آسیب‌پذیری خیلی کم؛ ۵۴۲/۶۴ کیلومتر مربع در آسیب‌پذیری کم؛ ۹۷۸/۸۴ کیلومتر مربع در آسیب‌پذیری متوسط؛ ۱۲۱۸/۳۵ کیلومتر مربع در آسیب‌پذیری زیاد؛ ۱۲۸۶/۷۶ کیلومتر مربع در آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارد. هم‌چنین شهرهای چابهار، کنارک و بریس در منطقه خطر سونامی با آسیب‌پذیری بالا قرار دارند و علاوه بر این بسیاری از روستای ساحلی نیز در این پهنه خطر قرار دارند.

کلیدواژه‌ها: سونامی؛ گسل مکران؛ دریای عمان؛ ارزیابی خطر؛ AHP؛ Fuzzy؛ Google Earth Engine

۱. نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری اقیانوس‌شناسی، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی، خرمشهر، ایران

M.majidynik@yahoo.com

۲. کارشناسی ارشد GIS، دانشکده سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

استناد: مجیدی نیک، مهیار و بیگلری، سعید. (۱۴۰۲). ارزیابی خطر سونامی دریای عمان در طول سواحل مکران. فصلنامه مدیریت بحران و وضعیت های اضطراری، ۱۱(۱)، ۱۳۳-۱۵۷.

مقدمه

مخاطرات طبیعی پدیده‌هایی هستند که کاهش احتمال وقوع آن‌ها تقریباً غیرممکن است. ما تنها با انجام یک ارزیابی اولیه به منظور ترسیم نقشه مناطق آسیب‌پذیر می‌توانیم تأثیر این رویدادها را به حداقل برسانیم. آسیب‌پذیری یکی از پارامترهایی است که برای تعیین ریسک فاجعه به همراه اندازه‌گیری احتمال خطر، قرار گرفتن در معرض و ظرفیت استفاده می‌شود (۳، ۱۵). یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی، سونامی است. در علم ژئوفیزیک، سونامی یا دریا لرزه به مجموعه‌ای از امواج ثقلی بلند گفته می‌شود که در اثر فرآیندهای ژئوفیزیکی مانند زمین‌لغزش‌های زیردریایی، زمین‌لرزه‌های زیردریایی، فعالیت‌های آتشفشانی که در کف اقیانوس رخ می‌دهد و گاهی در اثر برخورد اجرام آسمانی با سطح آب اقیانوس‌ها به وجود می‌آید. تجربه‌های بین‌المللی از جمله ساتاک و همکاران (۱۹۹۹) نشان می‌دهد که زمین‌لرزه به‌عنوان مهم‌ترین عامل تولید سونامی در جهان شناخته می‌گردد. امواج حاصل از سونامی ممکن است صدها کیلومتر پهنا داشته باشند و ارتفاع آن‌ها به ده‌ها متر برسد. این دیوارهای آب با سرعتی تندتر از یک هواپیمای جت پهنه اقیانوس را می‌پیمایند و به ساحل کوبیده می‌شوند و تخریب وسیعی را باعث می‌شوند.

در سال‌های اخیر و به‌خصوص پس از سونامی‌های ایجادشده در اقیانوس هند و دریای ژاپن، توجه به خطر سونامی افزایش دوچندانی یافته و مطالعات زیادی در مورد مدل‌سازی و تحلیل خطر سونامی صورت گرفته است. ارزیابی خطر سونامی می‌تواند توسط روش‌های گوناگونی صورت پذیرد؛ اما آنچه بسیار حائز اهمیت است، دستیابی به نقشه‌های ارزیابی خطر پهنه‌های در معرض خطر جهت کاهش میزان خسارت و خطرات ناشی از سونامی است.

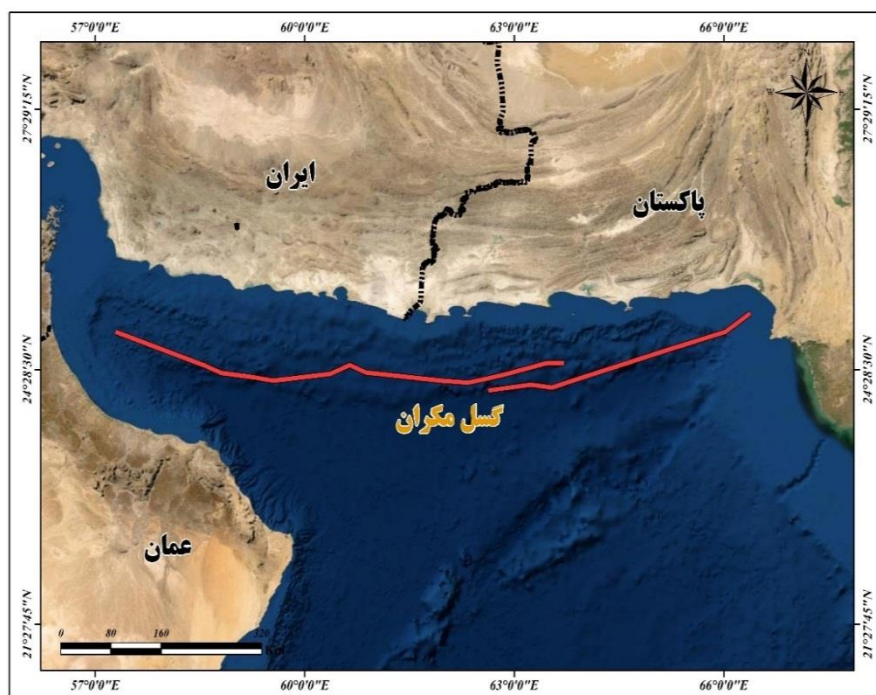
بر اساس مستندات تاریخی ارائه شده در طرح ریگارد و همکاران در سال ۲۰۱۳، می‌توان گفت که سونامی‌هایی به وجود آمده در اقیانوس هند قادر هستند تا بخش‌هایی از جنوب شرقی ایران را تحت تأثیر قرار دهند. علاوه بر خطر برخورد سونامی‌هایی که از اقیانوس هند می‌آیند، گسل فعال مکران نیز در مجاورت و موازات خط ساحلی دریای عمان وجود دارد. منطقه مکران در دریای عمان از رسوبات به‌هم‌پیوسته از شرق به غرب بیش از ۹۰۰ کیلومتر طول داشته و از شرق و غرب به‌وسیله گسل‌های بزرگ تغییر شکل داده شده و به مرزهای صفحات محدود

می‌شود. گسل مکران به موازات خط ساحلی کشور با فاصله‌ای حدود ۱۰۰ کیلومتر در دریای عمان امتداد یافته است. این گسل خطرناک‌ترین گسلی است که به موازات خط ساحلی ایران در دریای عمان قرار گرفته و قادر است سونامی‌های بزرگی را به وجود آورد.

مجموعه اطلاعات به دست آمده از شواهد تاریخی، از وقوع سونامی‌های لرزه‌ای در ناحیه فروانش مکران در گذشته و احتمال وقوع آن‌ها در آینده حکایت دارد. در مطالعه حیدرزاده و همکاران در سال ۲۰۰۸ به برجسته‌ترین زلزله و سونامی همراه آن در سال ۱۹۴۵ اشاره شده که حداقل ۴۰۰۰ کشته در سواحل پاکستان، هند، ایران و عمان بر جای گذاشت. زلزله رخ داده در سال ۱۹۴۵ در اثر لغزش صفحات مکران در بستر اقیانوس هند دارای بزرگای ۸/۱ ریشتر و عمق کانونی ۱۵ کیلومتر بوده است که محل وقوع آن در طول جغرافیایی ۶۳/۶۰۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۴/۹۲۷ شمالی در مطالعات چای و همکاران (۲۰۰۷)، حیدرزاده و همکاران (۲۰۰۷) و حیدرزاده و همکاران (۲۰۰۸) گزارش گردیده است.

۱- ادبیات و پیشینه طرح

بررسی‌های تاریخی نیز نشان می‌دهد که در چند دهه اخیر سونامی‌های مخرب و عظیمی در اقیانوس هند و دریای عمان اتفاق افتاده و تلفات انسانی و جانی زیادی را در پی داشته است. از این رو پیشینه تاریخی حکایت از این دارد که وقوع سونامی یا تأثیرپذیری از سونامی‌هایی که در اقیانوس هند و دریای عمان اتفاق می‌افتد، دور از انتظار نیست. از این رو می‌بایست ارزیابی‌های خطر سونامی در این مناطق صورت پذیرد تا به وسیله نتایج آن مخاطرات ناشی از وقوع سونامی را پیش‌بینی و هشدارهای مربوطه را اطلاع‌رسانی نمود. با توجه به سوابق موجود، منطقه مکران از نظر تکنونیک، توانایی ایجاد زمین‌لرزه‌های بزرگ سونامی‌زا را داشته و به همین دلیل خطر سونامی ناشی از منطقه فروانش مکران برای سواحل جنوبی ایران یک خطر جدی به شمار می‌رود و برای حفظ جان ساکنان نواحی ساحلی و کاهش زیان‌های اقتصادی وارده به تأسیسات ساحلی موجود، مطالعه خطر سونامی برای این منطقه ضروری است. مهم‌ترین اقدام‌هایی که برای آمادگی در زمینه مقابله با خطر سونامی می‌توان انجام داد، عبارت‌اند از ارزیابی خطر سونامی، تهیه نقشه‌های مناطق در معرض خطر سونامی و در نهایت توسعه یک سیستم هشدار سونامی برای مناطق سونامی خیز.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی گسل مکران در دریای عمان

داده‌های سنجش ازدور با ویژگی‌هایی از قبیل تصویربرداری مکرر در فواصل زمانی کم و وسیع بودن سطح پوشش زمینی برداشت شده توسط سنجنده‌ها، رایگان بودن، قدرت تفکیک طیفی و مکانی مناسب داده‌ها ابزاری مناسب را جهت پایش پارامترهای مورد نیاز است. در نتیجه با توجه به مزایای یاد شده استفاده از فناوری سنجش از امری ضروری است (کارن و همکاران، ۲۰۰۹ و یامازاکی، ۲۰۰۷). در این تحقیق از سامانه تحت وب GEE^۱ داده‌های سنجش ازدور استخراج و مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) توانایی بالایی در تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی، تولید و تلفیق نقشه‌ها، اجرا کردن مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره داشته؛ بنابراین موارد یاد شده تحقیق در بستر این نرم‌افزار انجام شده است (کارور، ۱۹۹۱). همچنین در این تحقیق با استفاده از الگوریتم تحلیل سلسله‌مراتبی^۲ فازی خطر سونامی سواحل

1. Google Earth Engine
2. Analytical Hierarchy Process

استان سیستان و بلوچستان در ۵ کلاس آسیب‌پذیری خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم ارزیابی می‌شود.

در بیشتر مطالعات، برآورد خسارت ناشی از سونامی پس از حادثه محاسبه شده است. به طوری که میزان خسارت ناشی از سونامی اندونزی در سال ۲۰۰۴ که در اثر زمین‌لرزه ۹ ریشتری در شمال سوماترا به وجود آمد توسط ایندراواتی و همکاران در سال ۲۰۰۵ مورد ارزیابی قرار گرفت. این سونامی سبب از بین رفتن ۹۷ درصد از تولید ناخالص داخلی منطقه شد و در مجموع بیش از ۵/۵ میلیارد دلار خسارت به وجود آورد که در رشد اقتصادی در سال ۲۰۰۵ نیز اثر منفی بر جای گذاشت (ایندراواتی، ۲۰۰۵). ناتو و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی زلزله دریایی ۹ ریشتری سال ۲۰۱۱ در کشور ژاپن پرداخته که در آن قریب به ۱۵ هزار نفر در اثر این فاجعه جان خود را از دست دادند و بیش از ۳ میلیارد دلار به مناطق سونامی زده خسارت وارد کرد (ناتو و همکاران، ۲۰۱۱).

در مطالعه‌ای که توسط دال‌اوسو و همکاران در سال ۲۰۱۰ انجام شده، به کمک مدل PTVA خسارت احتمالی ناشی از سونامی برای منطقه کاسکادیا^۱ در شمال آمریکا پیش‌بینی گردیده است. نتایج این طرح حاکی از آن بود تلفات جانی بیش از ۱۸۲ نفر و خسارت اقتصادی حدود ۰/۵ میلیارد دلار وارد خواهد شد (دال‌اوسو و همکاران، ۲۰۱۰). کارن و همکاران نیز در سال ۲۰۰۹ با بررسی و ارزیابی مناطق سونامی خیز استرالیا پس از تعیین میزان خسارت و پیش‌بینی آن، اقدام به ارائه نقشه تخلیه نمودند تا در صورت بروز حادثه کمترین هزینه را برای خسارات انسانی متحمل شد. این مطالعات با هدف بهبود مدیریت ریسک انجام شده و از ساکنان مناطق در معرض خطر برای تأیید نقشه‌های به‌دست‌آمده و انطباق با واقعیت مناطق استفاده شده است. نتایج مبین این است که نقشه تهیه شده توانسته است رضایت ساکنان مناطق در معرض خطر سونامی را همراه داشته باشد (کارن و همکاران، ۲۰۰۹).

در تحقیقی که توسط مقیمی و همکاران در سال ۱۳۹۳ صورت گرفته است، وقوع سونامی سواحل شهر جاسک به دلیل موقعیت راهبردی خود در دریای عمان و تمرکز تأسیسات نظامی و بندری و برنامه‌ریزی‌های بلندمدتی که برای توسعه این بندر در دست اجرا است، با استفاده از

1. Cascadia

داده‌های حاصل شده در GIS و مدل‌سازی در نرم‌افزار ComMIT پیش‌بینی گردید. نتایج حاصله نشان داد که میزان تأثیرپذیری این منطقه از سونامی، با توجه به بزرگی زلزله و موقعیت جغرافیایی سواحل این شهر، گوناگون است و در شدیدترین زلزله بخش مهمی از تأسیسات ساحلی آسیب جدی خواهد دید (مقیم و همکاران، ۱۳۹۳).

هنرمند و همکاران نیز در سال ۱۳۹۸ با در نظر گرفتن بزرگای و عمق کانونی زلزله سال ۱۹۴۵ میلادی مکران، ابتدا موج سونامی اولیه بر اساس الگوریتم پیشرفته اوکادا را تولید و سپس گسترش این موج در دریای عمان به صورت عددی با استفاده از نرم‌افزار Flow 3D در دو مرحله سراسری و منطقه‌ای شبیه‌سازی نموده‌اند. بر اساس نتایج مدل سراسری، زمان گسترش موج و میزان بالاروی آن در بندرهای اصلی اقیانوس هند و شمال دریای عمان برآورد گردیده است که با اطلاعات تاریخی موجود سازگاری منطقی دارد. رویکرد اتخاذ شده در این مقاله شامل تولید دقیق موج سونامی با استفاده از الگوریتم اوکادا و شبیه‌سازی سه‌بعدی انتشار در دو مرحله سراسری و منطقه‌ای، یک راه‌حل قابل اطمینان برای تخمین بالاروی موج سونامی در سواحل کشور در اثر سناریوهای مختلف فرونشست مکران ارائه می‌دهد.

۲- مواد و روش‌ها

همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شد، ناحیه فرورانش مکران در نزدیکی سواحل ایران، عمان، پاکستان و هند با طولی حدود ۹۰۰ کیلومتر در امتداد شرقی-غربی گسترش یافته است. در این ناحیه صفحه اقیانوسی عمان با یک حرکت رو به شمال به زیر قسمت جنوب شرقی زیر صفحه ایران فرورانش می‌کند.

پژوهش حاضر از بعد ماهیت، کاربردی و از منظر شیوه تحقیق ترکیبی از روش‌های اسنادی، توصیفی و مبتنی بر مدل‌های کمی است. در اینجا از ترکیب دو مدل ریاضی بسیار مهم و پرکاربرد یعنی منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به منظور پهنه‌بندی خطر سونامی استفاده شده است. تحلیل سلسله‌مراتبی روشی برای ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری و انتخاب بهترین گزینه برای زمانی است که تصمیم‌گیرنده دارای معیارهای متعدد است. این مدل یک سنتز ریاضی و شیوه جبری تصمیم‌گیری با مقیاس نسبی است. در این روش با استفاده از شبکه سیستمی، شاخص‌های

مختلف و ضوابط و معیارهای چندگانه با ساختارهای چندسطحی اولویت‌دار برای رتبه‌بندی با تعیین اهمیت گزینه‌های مختلف، یک فرآیند تصمیم‌گیری پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل تحلیل سلسله‌مراتبی ترکیب معیارهای کیفی همراه با معیارهای کمی را به‌طور هم‌زمان امکان‌پذیر می‌سازد. این امر به تصمیم‌گیرنده این امکان را می‌دهد که فارغ از هرگونه نفوذ و مزاحمت خارجی تنها روی مقایسه دو معیار یا گزینه تمرکز کند (وحیدنیا و همکاران، ۲۰۰۸). در تحلیل سلسله‌مراتبی ترجیح بین جایگزین‌ها به‌وسیله ساختارهای مقایسه زوجی تعیین می‌شوند. در یک مقایسه دو جانبه، تصمیم‌گیرنده دو گزینه را با در نظر گرفتن یک معیار و یک اولویت را نشان می‌دهد (ساتی، ۱۹۸۰). به‌طور کلی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی دارای چهار مرحله است. این مراحل عبارت‌اند از:

۱. وزن دادن به سنجه‌ها
۲. وزن دادن به جایگزین‌ها
۳. به دست آوردن وزن‌های مرکب
۴. آزمایش سازگاری

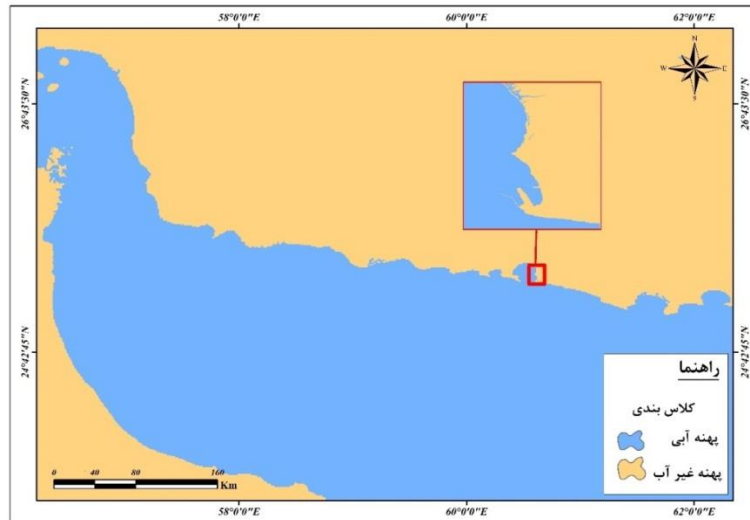
برای ارزیابی سازگاری داوری‌های تحلیل‌گر، باید «شاخص سازگاری» محاسبه شود. در صورتی که عدد شاخص از ۰/۱ کمتر باشد می‌توان حاصل کار را خوب و وزن‌ها را قابل اعتماد دانست (ساتی ۱۹۸۰).

۳- معیارهای ارزیابی خطر

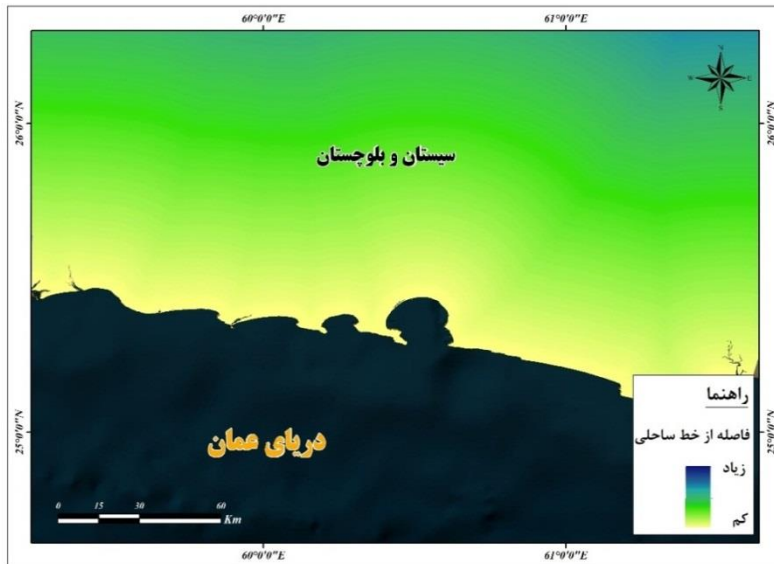
در این پژوهش جهت پهنه‌بندی خطر سونامی دریای عمان داده‌های موردنیاز از منابع قابل استناد استخراج گردیده است. مواردی که در این پژوهش به کار گرفته شده، مشتمل بر معیارهای فاصله از خط ساحلی، ارتفاع از سطح دریا، شیب ساحل و پوشش گیاهی است. نقشه خط ساحلی دریای عمان از طریق طبقه‌بندی^۱ در دو کلاس پهنه آبی و غیر آب در طول چهار سال ۲۰۱۷،

1. Classification

۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ در سامانه تحت وب GEE با استفاده از مدل جنگل تصادفی^۱ به دست آمد (شکل ۲).

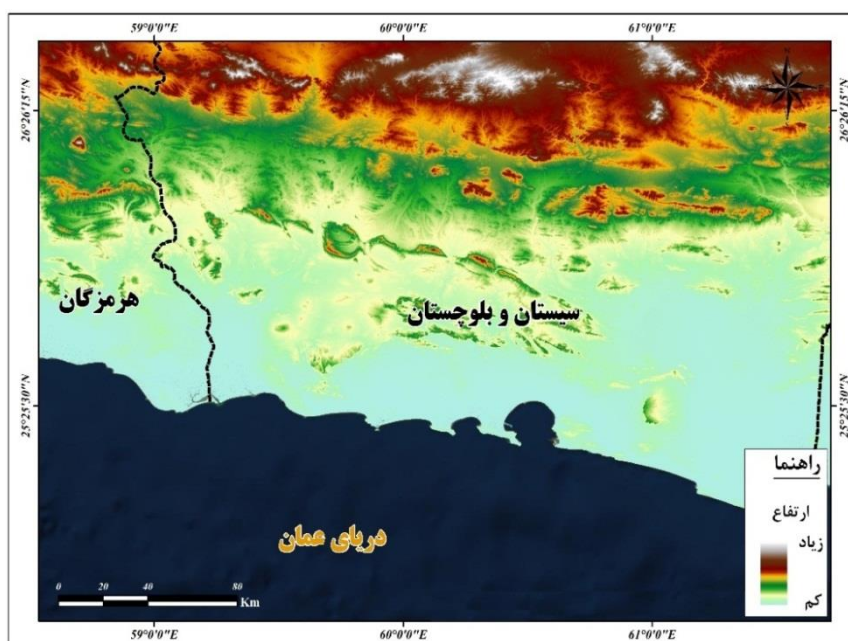


شکل ۲. طبقه‌بندی پهنه آبی از غیر آب جهت استخراج خط ساحلی



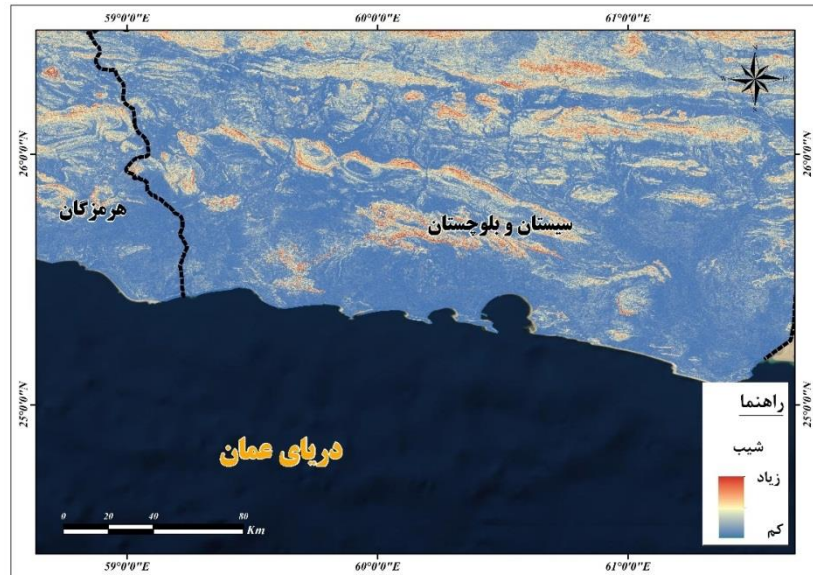
شکل ۳. فاصله از خط ساحلی استان سیستان و بلوچستان

سپس با استفاده از ابزار Euclidean distance در Arc Map 10.3 فاصله از خط ساحلی استان حاصل گردید (شکل ۳). نقشه ارتفاع (شکل ۴) و نقشه شیب (شکل ۵) ساحل از مدل رقومی ارتفاعی^۱ ۱۲/۵ متر با پوشش جهانی توسط سازمان ناسا از مجموعه داده سنجنده ALOS-2 AVNIR^۲ گرفته شد و پوشش گیاهی نیز با استفاده از شاخص NDVI از میانگین چهارساله تصاویر ماهواره لندست با استفاده از سامانه تحت وب GEE به دست آمده است.



شکل ۴. ارتفاع از سطح دریا

1. Digital Elevation Model
2. <https://search.asf.alaska.edu/#/?zoom=3.000¢er=-97.720,39.104&dataset=AVNIR>

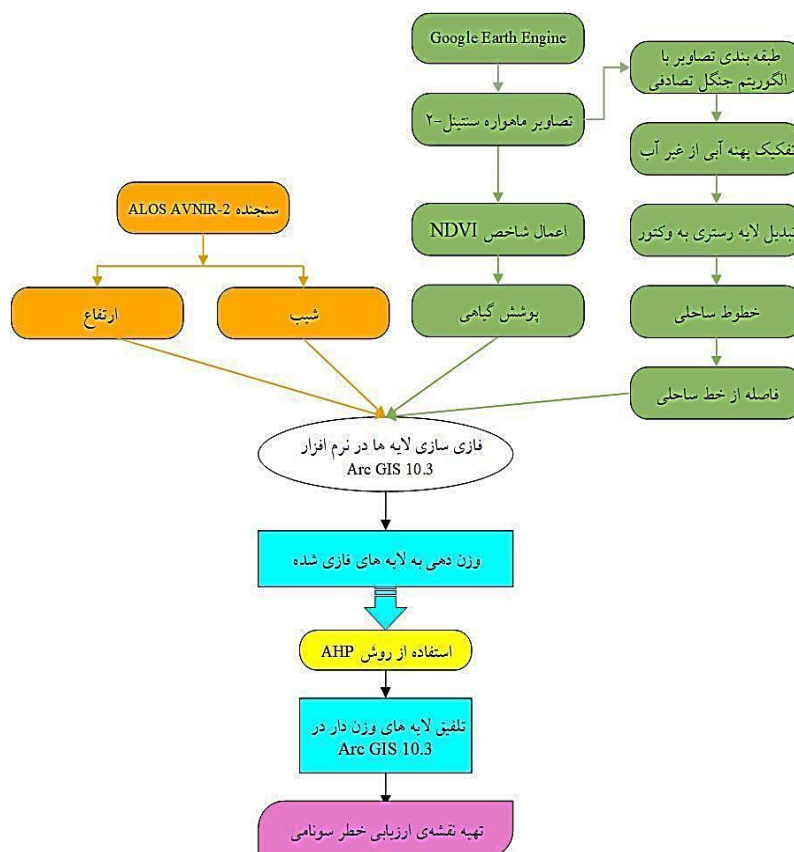


شکل ۵. شیب استان سیستان و بلوچستان



شکل ۶. پوشش گیاهی استان سیستان و بلوچستان

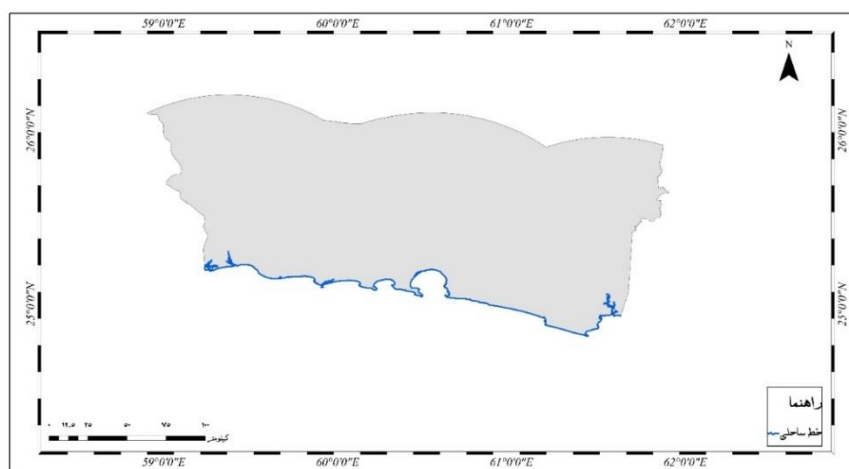
تمامی لایه‌ها با استفاده از نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس رقومی شده و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، وزن هر معیار و رده‌های آن معیار تعیین گردیده است. در نهایت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی وزن‌دار در محیط نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس و با استفاده از روش Raster Calculator صورت پذیرفت. در شکل (۷) روند نمای اجرای مراحل پژوهش نمایش داده شده است. اولین گام در پهنه‌بندی خطر سونامی ایجاد پایگاه داده و گردآوری داده‌های موردنیاز است. در این پژوهش ۴ عامل مؤثر در خطر سونامی از جمله فاصله از خط ساحلی، ارتفاع از سطح دریا، شیب ساحل و پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه به بررسی هر یک از عوامل مذکور در منطقه و نقش آن در سونامی پرداخته شده است.



شکل ۷. روند نمای مراحل انجام پژوهش

۴- فاصله از خط ساحلی

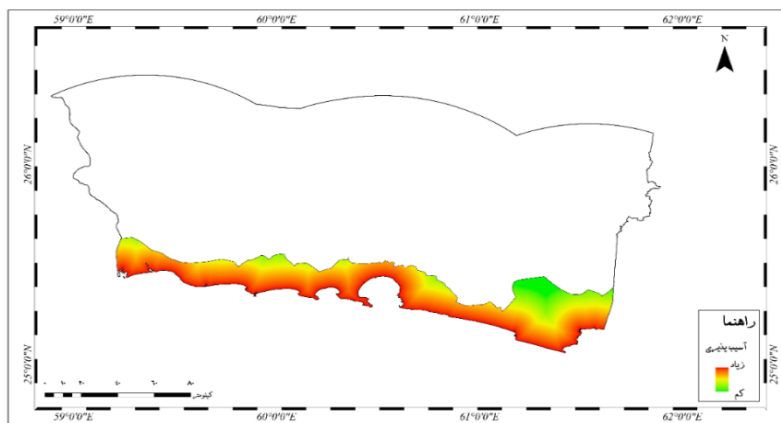
خط ساحلی در واقع محل تلاقی پهنه آبی با خشکی است. در پژوهش حاضر خط ساحلی نقش تعیین کننده در پایش مناطق خطر دارد؛ بنابراین باید به صورت دقیق استخراج شود. در این تحقیق به کمک سامانه تحت وب GEE و با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ خط ساحلی را در چهار بازه زمانی ۲۰۱۷، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ استخراج شد تا اثر جذر و مد در تصاویر ماهواره‌ای به حداقل حالت ممکن برسد. برای انجام این کار در هر بازه زمانی تمام تصاویر آن بازه را جمع‌آوری کرده و به صورت مجموعه تصاویر^۱ درآورده و سپس فیلتر ابر کمتر از پنج درصد روی این مجموعه تصاویر اعمال گردیده تا تصاویر بدون ابر به دست آید. سپس از مجموعه تصاویر میانگین‌گیری کرده تا اثر جذر و مد به حداقل حالت ممکن برسد. در مرحله بعد با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی طبقه‌بندی تصویر در دو کلاس (پهنه آبی و غیر آب) انجام می‌گیرد. در نهایت چهار تصویر طبقه‌بندی شده دو کلاسه برای چهار سال مذکور به دست آمده و از تلفیق چهار تصویر طبقه‌بندی شده، خط ساحلی نهایی مطابق با شکل شماره ۸ حاصل شده است.



شکل ۸ خط ساحلی، سواحل استان سیستان و بلوچستان

فاصله از خط ساحلی با میزان آسیب‌پذیری ناشی از سونامی رابطه عکس داشته و با دور شدن از ساحل، میزان آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد. در شکل شماره ۹ نقشه فازی خط ساحلی سواحل

شمالی دریای عمان در استان سیستان و بلوچستان نمایش داده شده است. با توجه به شکل مناطقی که فاصله کمتری از خط ساحلی دارند به رنگ قرمز درآمده و در واقع از آسیب‌پذیری بالاتری برخوردارند.



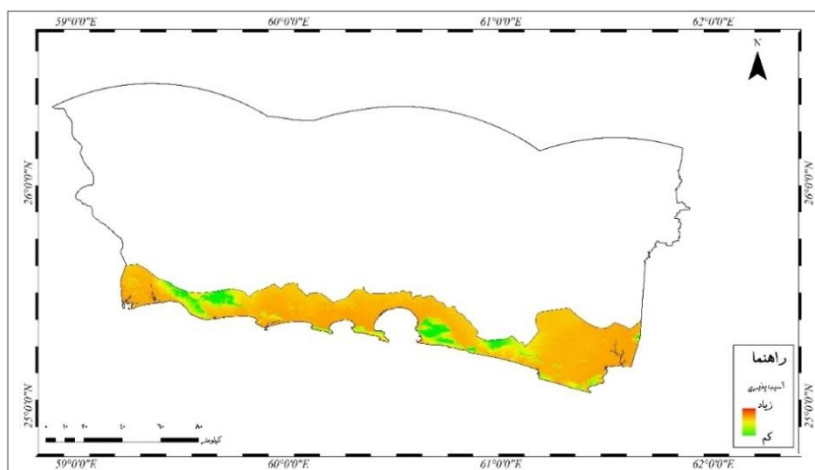
شکل ۹. فازی سازی فاصله از خطوط ساحلی استان سیستان و بلوچستان

۵- ارتفاع از سطح دریا

ارتفاع تأثیر به‌سزایی در درگیری منطقه به موج سونامی دارد. هرچه منطقه ارتفاع بیشتری نسبت به سطح دریا داشته باشد، سونامی کمتر آن منطقه را تهدید می‌کند (مطابق با شکل شماره ۱۰). از این رو، با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ۱۲/۵ متر، منطقه مطالعاتی را از حیث ارتفاع و نقش آن در سونامی به ۵ دسته تقسیم نموده‌ایم. با توجه به جدول شماره ۱، ارتفاع‌های بیشتر ۱۵ متر کمترین آسیب‌پذیری در برابر سونامی را داشته و در دسته مکان‌های بی‌خطر با آسیب‌پذیری خیلی کم قرار دارند.

جدول ۱. کلاس بندی ارتفاع و شیب ساحل از نظر آسیب‌پذیری

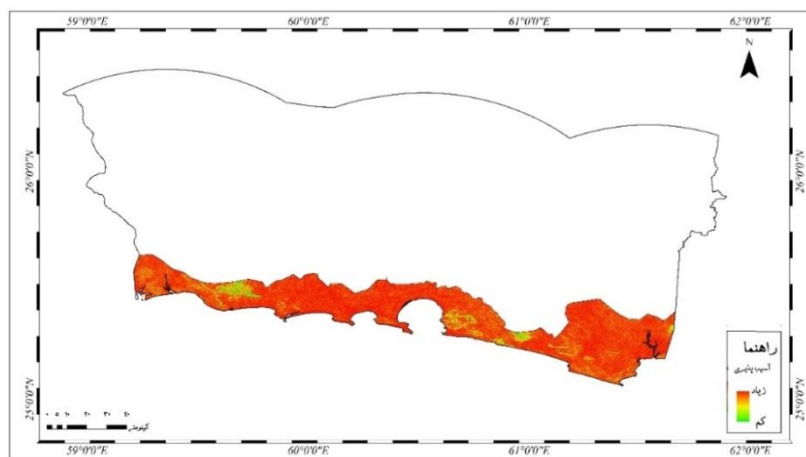
ارتفاع (m)	شیب (%)	آسیب‌پذیری
۴ <	۰-۲	خیلی زیاد
۴-۸	۲-۶	زیاد
۱۲-۸	۶-۱۰	متوسط
۱۵-۱۲	۱۰-۱۵	کم
<۱۵	۱۵ >	خیلی کم



شکل ۱۰. فازی سازی ارتفاع از سطح دریا استان سیستان و بلوچستان

۶- شیب ساحل

شیب ساحل هم مانند ارتفاع ساحل عمل می نماید و موجب می شود تا هرچه شیب بالاتر باشد میزان آسیب پذیری کاهش یابد. شیب منطقه مطالعه از اطلاعات ارتفاعسنجی ۱۲/۵ متر در آرک جی آی اس به دست آمده و در پنج کلاس طبقه بندی شده است (مطابق با جدول شماره ۱). در واقع بیشترین آسیب پذیری در شیب های پایین اتفاق می افتد.



شکل ۱۱. فازی سازی شیب استان سیستان و بلوچستان

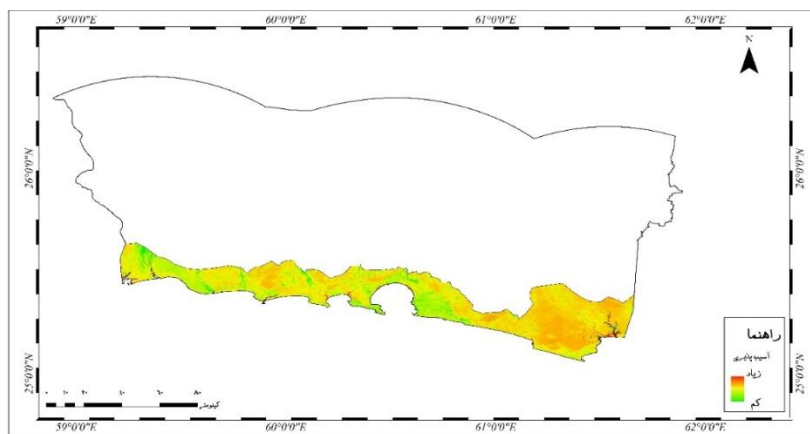
۷- پوشش گیاهی

استان سیستان و بلوچستان با توجه به موقعیت قرارگیری در عرض ۲۵ درجه شمالی، از پوشش گیاهی ضعیفی برخوردار است. پوشش گیاهی نیز از جمله عوامل مؤثر در کاهش میزان خسارات ناشی از امواج سونامی به شمار می‌آید. در واقع تراکم پوشش گیاهی به‌عنوان مانعی در برابر امواج سونامی عمل نموده و سرعت امواج را کاهش می‌دهد. میزان پوشش گیاهی مناطق ساحلی از مجموعه تصاویر ماهواره سنتینل-۲ در چهار بازه زمانی در سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ به کمک سامانه تحت وب GEE به دست آمد.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

$$NDVI = (B8 - B4) / (B8 + B4)$$

شاخص NDVI دارای مقادیر نرمال در دامنه ۱- و ۱+ بوده؛ از این رو بررسی و نمایش مقادیر را به راحتی امکان‌پذیر می‌سازد. مقادیر مختلف NDVI نمایانگر پوشش‌های مختلف می‌باشند. به‌عنوان مثال مقادیر NDVI بین ۰/۰۵ تا ۰/۱ برای مناطق گیاهی تنک، مقادیر بین ۰/۱ تا ۰/۵ برای مناطق گیاهی معمولی و از ۰/۵ به بالا برای مناطق گیاهی بسیار متراکم و غنی می‌باشد. آب، برف و یخ دارای مقادیری NDVI منفی بوده و خاک‌ها دارای مقادیر کمتر از ۰/۰۵ و ابرها نیز معمولاً دارای مقادیر نزدیک صفر هستند (کارلسون و همکاران، ۱۹۹۷). هرچه تراکم پوشش گیاهی بالا باشد میزان آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد و بالعکس.

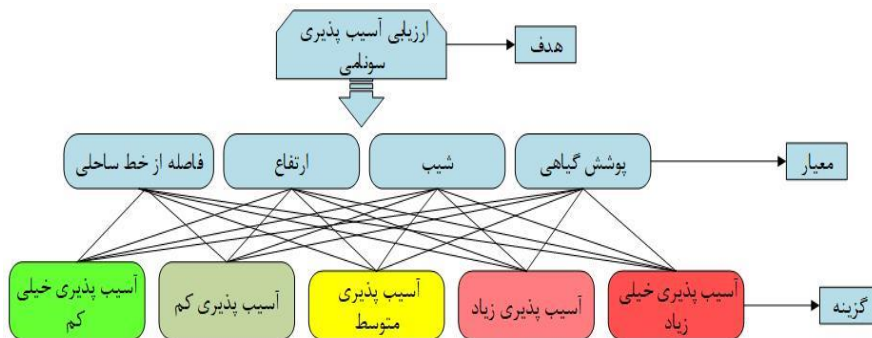


شکل ۱۲. فازی سازی پوشش گیاهی استان سیستان و بلوچستان

۸- ساختار سلسله‌مراتبی

ارزیابی خطر سونامی از جمله اقدام‌های مؤثر جهت کاستن از شدت خسارت ناشی از سونامی به شمار می‌رود. از این رو جهت ارزیابی خطر سونامی با عوامل تأثیرگذار ذکر شده، نیازمند اجرای ساختار نظام‌مند چندمعیاره تحلیل سلسله‌مراتبی می‌باشیم. مدل تحلیل سلسله‌مراتبی برای اولین بار به وسیله توماس ال‌ساتی در دهه ۱۹۸۰ ابداع شد (ساتی، ۱۹۸۰). اساس روش تصمیم‌گیری بر مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده است. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی شامل سه عنصر هدف، تعدادی معیار و گزینه است. برای رسیدن به هدف به تعدادی معیار مؤثر امتیاز داده می‌شود و وزن نسبی و وزن نهایی معیارها مشخص می‌گردد (ساتی، ۱۹۸۰). مراحل اصلی تحلیل سلسله‌مراتبی جهت ارزیابی خطر سونامی استان سیستان و بلوچستان شامل ساختن سلسله‌مراتب، تعیین ضریب اهمیت معیارها، تهیه ماتریس مقایسه زوجی، تعیین وزن معیارها و رده‌های معیارها و محاسبه نرخ ناسازگاری می‌باشد.

ساختار سلسله‌مراتبی مرتبط با پژوهش حاضر در شکل زیر ارائه شده است. تبدیل موضوع موردبررسی به یک ساختار سلسله‌مراتبی، مهم‌ترین قسمت تحلیل سلسله‌مراتبی محسوب می‌شود؛ زیرا در این قسمت با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی مسائل پیچیده را از طریق تجزیه آن به عناصر جزئی که به صورت سلسله‌مراتب به هم مرتبط بوده و ارتباط هدف اصلی مسئله با پایین‌ترین سطح سلسله‌مراتبی مشخص را به شکل ساده‌تر ارائه می‌نماید (ساتی، ۱۹۸۰).



شکل ۱۳. ساختار سلسله‌مراتب جهت ارزیابی خطر سونامی سیستان و بلوچستان

۹- تعیین ضریب اهمیت معیارها

بعد از تجزیه مسئله به سلسله مراتب، عناصر سطوح مختلف به صورت دوتایی با هم مقایسه شده و سپس بر اساس میزان اهمیت، دو معیار ارزش‌گذاری گردیده است. واژه غربال کردن که به وسیله ساتی (۱۹۸۰) در جدول زیر ارائه شده که بر اساس ارزیابی میزان اهمیت دو معیار استفاده می‌شود (ساتی ۱۹۸۰).

جدول ۲. مقیاس قضاوت شفاهی برای مقایسه زوجی

مقدار عددی	اهمیت پارامترها نسبت به یکدیگر
۱	اهمیت مساوی
۳	اهمیت به نسبت بیشتر
۵	اهمیت بیش‌تر
۷	خیلی مهم‌تر
۹	بسیار مهم‌تر
۲، ۴، ۶، ۸	اهمیت بین فواصل

۱۰- ماتریس مقایسه زوجی

در این مرحله با استفاده از روش مقایسه زوجی برای انجام مقایسه، ماتریسی به ابعاد 4×4 ایجاد شده و معیارهای مختلف دوه‌دو با هم مقایسه گردیده و مقادیر مربوط بر اساس غربال ساتی اختصاص یافته است. در جدول شماره ۳ ماتریس مقایسه‌های زوجی ارزیابی خطر ناشی از سونامی نمایش داده شده است. دو عامل اصلی فاصله از خط ساحلی و ارتفاع از سطح دریا به ترتیب با داشتن وزن‌های $45/95\%$ و $25/53\%$ مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار در ارزیابی خطر سونامی در منطقه به شمار آمده و به دلیل ضعیف بودن پوشش گیاهی در منطقه مطالعاتی، این معیار با وزن $11/81\%$ کمترین تأثیر جهت ارزیابی خطر سونامی به خود اختصاص داده است.

جدول ۳. ماتریس وزن دهی به معیارهای مؤثر در ارزیابی خطر سونامی

وزن	پوشش گیاهی	شیب	فاصله از خط ساحلی	ارتفاع
۴۵/۹۵٪	۳	۳	۲	۱
۲۵/۵۳٪	۵/۲	۲	۱	۱/۲
۱۶/۷۱٪	۳	۱	۱/۲	۱/۳
۱۱/۸۱٪	۱	۱/۳	۲/۵	۱/۳

۱۱- سازگاری قضاوت‌ها

با توجه به ضرایب در نظر گرفته شده در ماتریس ضرایب معیارهای مؤثر بر سونامی، می‌بایست سازگاری ضرایب موردسنجش قرار گیرد. از این رو در راستای محاسبه نرخ ناسازگاری، ابتدا می‌بایست ماتریس مقایسه زوجی (A) در بردار وزن (W) ضرب گردیده تا تخمین مناسبی از $\lambda_{max} W$ به دست آید. با تقسیم مقدار $\lambda_{max} W$ بر W مربوطه مقدار λ_{max} محاسبه شده و سپس مقدار شاخص ناسازگاری نیز از طریق رابطه زیر محاسبه گردیده است (شکل ۱۸).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

نرخ ناسازگاری (CR) نیز از طریق رابطه زیر قابل دسترسی است:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

n: تعداد پارامتر استفاده شده که برابر با ۴؛

RI: از جدول ۴ استخراج می‌شود و با توجه به تعداد ۴ پارامتر برابر با ۰/۹؛

CI: از پنج تکرار ماتریس نرمال شده به دست آمد برابر با ۰/۰۵۷.

جدول ۴. مقادیر RI ماتریس‌های تصادفی

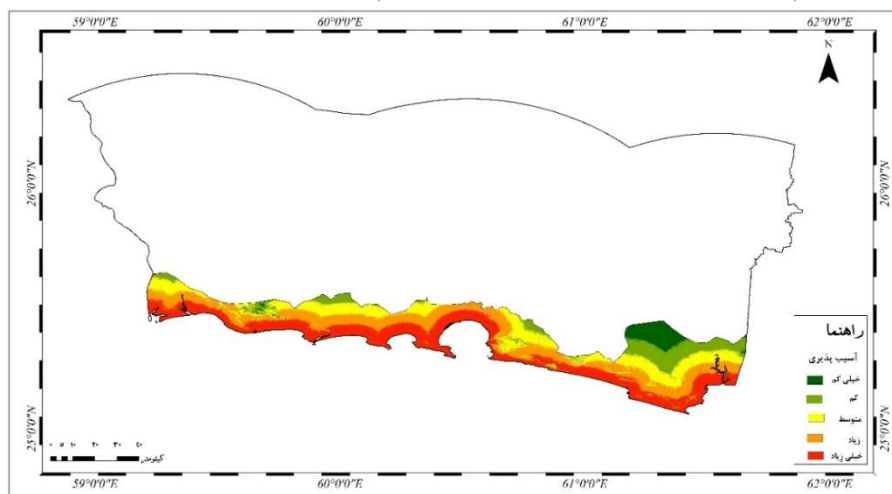
n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	...
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	...

اگر نرخ ناسازگاری کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱۰ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است و در صورتی که بیش از ۰/۱۰ حاصل ۰/۶۴۴ گردد، بهتر است تصمیم‌گیرنده در قضاوت‌های ماتریس ضرایب تجدیدنظر نماید (کارن و همکاران، ۲۰۰۹). به‌طور کلی نرخ ناسازگاری معیاری است جهت تشخیص معنی‌داری ماتریس‌های مقایسه زوجی که مقدار آن باید کمتر از ۰/۱۰ باشد. نرخ ناسازگاری برای ماتریس‌های عوامل مؤثر در ارزیابی سونامی استان سیستان و بلوچستان برابر با ۰/۶/۴ است.

پس از تأیید معنی‌داری ماتریس‌های عوامل مؤثر در خطر زمین‌لرزه، وزن نهایی معیارها جهت تهیه نقشه ارزیابی منطقه به لایه‌های متناظر اعمال شد. جهت اعمال صحیح وزن‌های به‌دست آمده در محیط آرک جی‌آی‌اس از روش Raster Calculator بهره گرفته شده و در نهایت نقشه ارزیابی خطر سونامی استان سیستان و بلوچستان تهیه گردید.

۱۲- نتایج

خسارت جانی و مالی ناشی از مخاطرات دارای آثار قابل توجهی است که از بین این مخاطرات، سونامی به دلیل آثار بسیار گسترده در جوامع ساحلی بسیار مورد توجه است. یکی از راه‌های توجه و پیشگیری از خسارات بالا، مشخص نمودن مناطق تحت خطر این مخاطره است؛ اما با توجه به هزینه‌بر بودن این اقدامات، برآورد میزان خسارت اقتصادی ناشی از سونامی در مرحله اول به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا ابعاد ضرر مالی را درک کنند و برای حداقل شدن آن اقدامات لازم را برای مدیریت ریسک مناطق ساحلی انجام دهند.



شکل ۱۴. نقشه ارزیابی خطر سونامی استان سیستان و بلوچستان

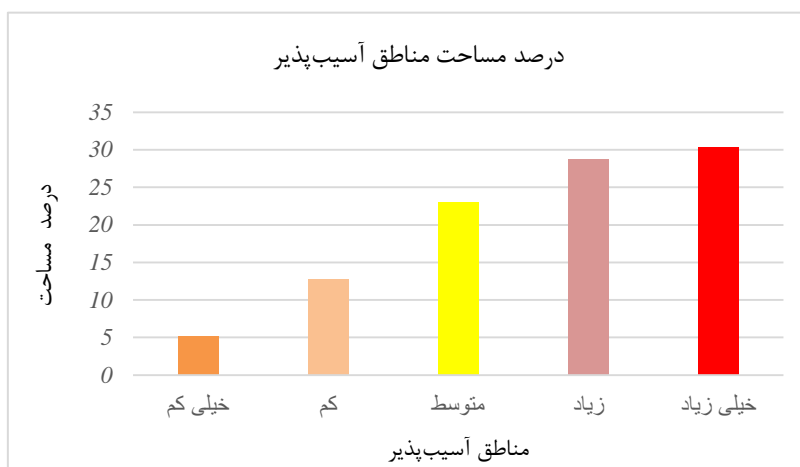
در ایران با توجه به موقعیت مکران در دریای عمان و سوابق موجود در سونامی‌های گذشته این منطقه، احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های زیردریا وجود داشته و از این رو مطالعات مرتبط در خصوص مدل‌سازی عددی سونامی در منطقه مکران انجام شده که نتایج مبین این است که خلیج چابهار و سواحل استان سیستان و بلوچستان از این واقعه متأثر خواهد شد.

■ ارزیابی خطر سونامی دریای عمان در طول سواحل مکران

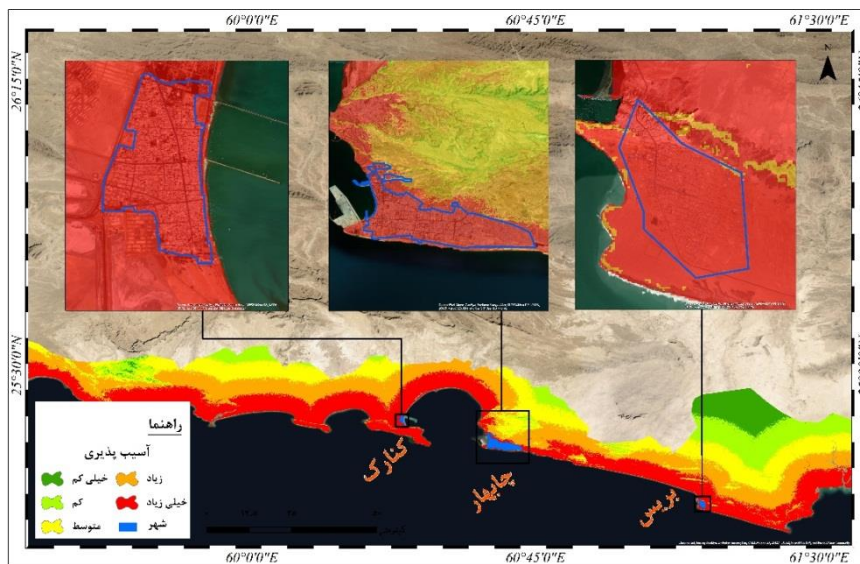
با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی خطر سونامی استان سیستان و بلوچستان در ۵ کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شده است. با توجه به اینکه ارتفاع ۱۵ متر به‌عنوان بیشترین ارتفاع امواج سونامی در نظر گرفته شده، ارتفاعات بیش از ۱۵ متر در دسته مناطق کم‌خطر طبقه‌بندی گردیده. در نتیجه در این تحقیق مناطق ساحلی تا ارتفاع ۱۵ متری در محاسبات وارد شده است.

جدول ۵. مساحت و درصد مناطق آسیب‌پذیر

کلاس‌های آسیب‌پذیر	مساحت (Km ²)	درصد مساحت
خیلی کم	۲۱۷/۰۸	۵/۱۱
کم	۵۴۲/۶۴	۱۲/۷۸
متوسط	۹۷۸/۸۴	۲۳/۰۶
زیاد	۱۲۱۸/۳۵	۲۸/۷
خیلی زیاد	۱۲۸۶/۷۶	۳۰/۲۳



شکل ۱۵. درصد مساحت مناطق آسیب‌پذیر

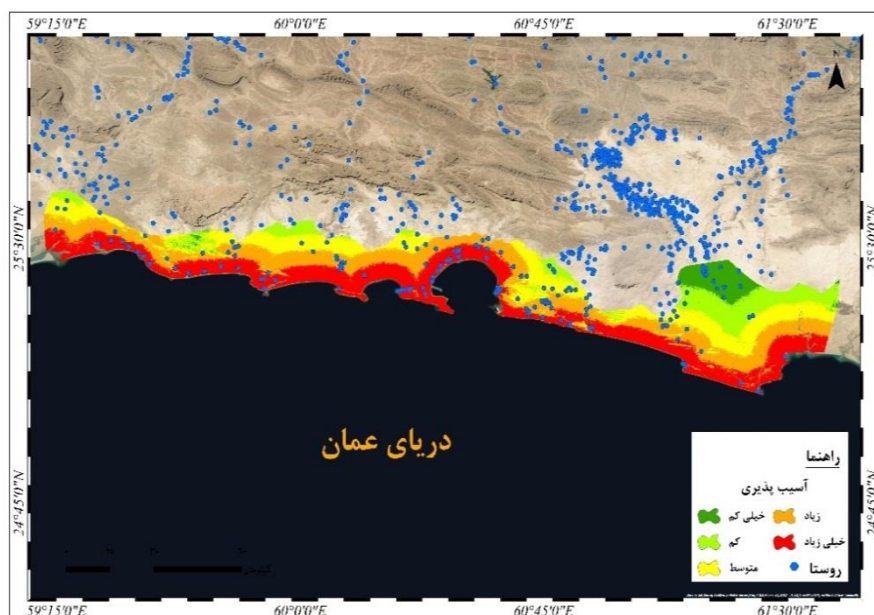


شکل ۱۶. ارزیابی آسیب پذیری خطر سونامی شهرهای استان سیستان و بلوچستان پس از بررسی آسیب پذیری شهرهای ساحلی استان سیستان و بلوچستان (شکل ۱۶) نتایج زیر حاصل گردید:

شهر کنارک؛ به طور کامل در منطقه با آسیب پذیری خیلی زیاد قرار دارد. شهر چابهار؛ قسمت شمالی این شهر در مقابل با سایر قسمت‌ها از آسیب پذیری پایین تری برخوردار است. در واقع بیشترین آسیب پذیری در قسمت‌های غرب و جنوب این شهر اتفاق می افتد.

شهر بریس؛ این شهر به طور کامل در منطقه با آسیب پذیری خیلی زیاد قرار دارد و با توجه به اینکه استحکام ساختمان‌ها ضعیف است خیلی آسیب پذیر است.

بررسی نقشه آسیب پذیری روستا (شکل ۱۷) بیشتر روستاهای ساحلی در منطقه با آسیب پذیری خیلی زیاد قرار دارند و با توجه به اینکه مسکن مناطق روستایی از مواد محلی ساخته شده‌اند باید توجه ویژه شود.



شکل ۱۷. ارزیابی آسیب پذیری خطر سونامی روستاهای استان سیستان و بلوچستان

نتیجه گیری

آسیب پذیری، منطقه‌ای را توصیف می‌کند که می‌تواند توسط خطرات طبیعی آسیب ببیند. کلاس آسیب پذیری می‌تواند بر اساس پارامترهای فیزیکی مانند ارتفاع، شیب، فاصله از خط ساحلی و تراکم پوشش گیاهی باشد. طغیان را می‌توان به‌عنوان نتیجه امواج حاصله از سونامی که مسافت طولانی را در داخل کشور طی می‌کند و در واقع اندازه‌گیری افقی مسیر سونامی است، تعریف کرد.

تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای، داده‌های ارتفاعی و داده‌های پیمایش به دنبال آنالیز چند پارامتر از طریق تحلیل سلسله‌مراتبی و پردازش داده‌های رستری با جی‌آی‌اس می‌تواند به‌عنوان اطلاعات پایه برای پهنه‌بندی آسیب پذیری و ارزیابی غرقاب ناشی از خطر سونامی استفاده شود. استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی امکان تجزیه و تحلیل چند پارامتر مکانی را بر اساس وزن آن‌ها برای ایجاد نقشه آسیب پذیری فراهم می‌سازد.

این تحقیق برای اولین بار در داخل کشور خطر آسیب‌پذیری سونامی سواحل سیستان و بلوچستان را در ۵ کلاس خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم با استفاده از ۴ پارامتر؛ فاصله از خط ساحلی، ارتفاع، شیب و پوشش گیاهی و با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به کمک تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های مکانی در سامانه تحت وب GEE و جی‌آی‌اس ارزیابی کرده است. نتایج حاکی از آن بود که $217/08$ کیلومترمربع از منطقه در آسیب‌پذیری خیلی کم؛ $542/64$ کیلومترمربع در آسیب‌پذیری کم؛ $978/84$ کیلومترمربع در آسیب‌پذیری متوسط؛ $1218/35$ کیلومترمربع در آسیب‌پذیری زیاد؛ $1286/76$ کیلومترمربع در آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارد.

مناطق با آسیب‌پذیری بالا بیشتر در نواحی ساحلی از نوع ارتفاع کم یافت می‌شوند. با توجه به نتایج به دست آمده، شهرهای بندری و پرجمعیت کنارک و چابهار و بربیس در محدوده آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارند و هم‌چنین روستاهای نزدیک به ساحل استان نیز در منطقه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارند که باید به‌صورت ویژه مورد توجه قرار بگیرند. هم‌چنین، فرض بر آن است که پوشش گیاهی نقش به‌سزایی جهت کاهش تأثیر تخریب سونامی ایفا می‌نماید؛ اما با توجه به پوشش گیاهی خیلی ضعیف سواحل استان سیستان و بلوچستان، کمترین وزن به پارامتر پوشش گیاهی تعلق گرفت. نقشه آسیب‌پذیری سونامی و مناطق خطر تحت سیلاب ایجاد شده ناشی از آن در این مطالعه، می‌تواند برای تعیین اولویت برنامه‌ریزی‌های مدیریت بحران در راستای کاهش خطرات سونامی مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست منابع

- مقیم، نام؛ صالحی پور میلانی، نام؛ چاکری، نام و مقیمی، نام (۱۳۹۳). استفاده از نرم افزار ComMIT در پهنه بندی خطر سونامی در سواحل جاسک. *مجله تحلیلی فضایی مخاطرات محیطی*، ۱(۲)، شماره صفحات. هنرمند، نام؛ شانه ساززاده، نام و زندی، نام (۱۳۹۸). شبیه سازی عددی سه بعدی تولید و انتشار موج سونامی ناشی از لغزش صفحات مکران و بالاروی موج در خلیج چابهار و سواحل مکران. *مجله مهندسی دریا*، ۱۵(۲۹)، ۱۸۹-۱۹۵.
- Bollin, C. Cardenas, H. Hahn, and K. S. Vasta. (2003). *Disaster Risk Management by Communities and Local Governments*. Inter-American Development Bank, Washington DC.
- Carlson, Toby N., and David A. Ripley. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote sensing of Environment*, 62(3), 241-252.
- Carver S. J. (1991). Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, vol. 5. 3, 321-339.
- Choi, B.-H., Kim, D. C., Pelinovsky, E. and Woo, S. B. (2007). Three-dimensional simulation of tsunami run-up around conical island. *Coastal Engineering*, 54, 618-629.
- Dall Osso, F., Dominey-Howes, D. (2010). Public assessment of the usefulness of draft tsunami evacuation maps from Sydney, Australia- implications for the establishment of formal evacuation plans. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 10, 1739-1750.
- Dall Osso, F., Maramai, A., Graziani, L., Brizuela, B., Cavalletti, A., Gonella, M., Tinti, S. (2010). Applying and validating the PTVA-3 Model at the Aeolian Islands, Italy: assessment of the vulnerability of buildings to tsunamis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 1547-1562.
- Heidarzadeh, M., Dolatshahi Pirooz, M. and Hadjizadeh zaker, N. (2007). Evaluating the potential for tsunami generation in southern Iran. *International Journal of Civil Engineering*, Vol. 5, 4, ???.
- Heidarzadeh, M., Pirooz, MD. and Zaker, NH. (2009). Modeling the near-field effects of the worstcase tsunami in the Makran subduction zone. *Ocean Engineering*, 36(5), 368-376.
- Heidarzadeh, M., Pirooz, M. D., Zaker, N. H., Yalciner, A. C., Mokhtari, M. and Esmaeily, A. (2008). Historical Tsunami in the Makran subduction zone off the outhern coasts of Iran and Pakistan and results of numerical modeling. *Ocean Engineering*, Vol. 35, 8, 774-786.
- Indrawati, Sri Mulyani. (2005). Indonesia: Preliminary Damage and Loss Assessment, the December 26, 2004 Natural Disaster. The Consultative Group on Indonesia. BAPPENAS.
- Karen E. Joyce, Kim C. Wright, Sergey V. (2009). Samsonov and Vincent G. Ambrosia, Remote Sensing and the Disaster Management Cycle, *Advances in Geoscience and Remote Sensing*, Gary Jedlovec (Ed.), ISBN: 978-953-307-005-6, InTech Published.
- Nanto, D.K., Cooper, W.H., Donnelly, M., Johnson, R. 2011. Japan's (2011). Earthquake and Tsunami: Economic Effects and Implications for the United States. CRS Report for Congress.
- Pelling M. (2003). *The vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience*. Earthscan Publication, London.
- Regard, V.; Bellier, O.; Thomas, J.C.; Abbassi, M.R.; Mercie, J. L.; Shabania, N. E.; Feghhi Kh.; Soleymani, Sh. Bonnet, S.; Bourlès, D. L.; Braucher, R; and Martinod, J. (2013).

- Tectonics of a lateral transition between subduction and collision: The Zagros-Makran Transfer Deformation Zone (SE Iran). European Geophysical Society. Journal of Geophysics Researches, 5, 12-17.
- RMS Special report. (2011). Estimating Insured Losses from the 2011 Tohoku, Japan Earthquake and Tsunami. ???, ???, ???.
- Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York, NY.
- Satake, K. and Tanioka, Y (1999). Source of Tsunami and Tsunamigenic earthquakes in subduction zones. ???, ???, ???.
- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A., Alimohammadi, A., & Bassiri, A. (2008). Fuzzy analytical hierarchy process in GIS application. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37(B2), 593-596.
- Yamazaki F and. Matsuoka M. (2007). Remote sensing technology in postdisaster damage assessment. Journal of Earthquakes and Tsunamis, World Scientific Publishing Company, vol. 1, 3, 193-210.

