



# Assessing the Severity of Tsunami Effects on the Environment Using Integrated GIS and Remote Sensing Systems (Case Study: Ishinomaki, Japan)

Received: 2024.09.05  
Accepted: 2025.02.03

Mohammad Reza Poursaber,<sup>1\*</sup> Yasuo Arika,<sup>2</sup> Pedram Omidian,<sup>3</sup>  
Mohammad Hossein Tahriri<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Structure & Earthquake, Faculty of Civil, Water & Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Graduate School of System Informatics, Kobe University, Kobe, Japan

<sup>3</sup> Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Department of Structure & Earthquake, Faculty of Civil, Water & Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

## EXTENDED ABSTRACT

**Introduction:** Earthquakes have long been an integral part of human life. Since this natural phenomenon causes damage to humans and the environment, it is necessary to study and understand it. This natural phenomenon is known as a global problem, but it is not the same in America, Japan, Iran or any other country. The Tohoku earthquake that occurred on March 11, 2011, is the largest earthquake (with Mw=9) in the history of Japan. Less than an hour after the earthquake, a tsunami hit the east coast of Japan. This tsunami affected an area of about 561 square kilometers and damaged more than 400,000 buildings. According to official reports, 15,850 people were killed, 6011 were injured and 3,287 were missing, 125,000 buildings were destroyed or damaged, 4.4 million buildings with a power outage, and 1.5 million buildings with water disruptions, causing huge damage to infrastructure and the country's environment has entered the eastern shore of Hashima Island, Japan

**Material and methods:** Considering the large amount of information needed for natural disaster management, it is clear that the use of visual interpretations cannot answer this large amount of calculations. For example, the number of reports related to damage to buildings after an earthquake or the damaged city and damaged environment in a tsunami may reach a thousand reports or more. Each of these reports should be reviewed separately to determine the degree of damage the structure under investigation had. In this study, based on the damage estimation map that was prepared using satellite data and images (Geoeye-1 satellite) before and after the crisis for this city, the amount of damage to structures such as buildings mentioned has been calculated to the pollution caused by them in the environment and non-structural areas such as Greenfield and the results have been compared with the data obtained from the field visit. In this study, according to the damage map and vulnerability estimation for the studied area, several parameters such as structural or non-structural, use, and severity of environmental damage have been considered.

**Results and discussion:** The results showed that the type of structural components has a significant effect on the failure. In addition to this, the remarkable point in this study is that the buildings that were located near the water were severely damaged. In this study, the existing Facilities for Agriculture, Forest, and Fishery in the investigated area are located at a close distance on the coastline and have suffered the most severe damage. On the other hand, Greenfield has suffered severe damage due to their low resistance to tsunami.

**Conclusion:** The purpose of this study is to use a method based on remote sensing. The use of this method in the prevention and preparedness stage of crisis management before the occurrence of natural disasters has high accuracy for quick planning. The lessons learned from the results will be very useful for researchers and managers in planning and stages of crisis management and reducing damages in future events.

**Keywords:** Tsunami, Earthquake, Disaster Management, Environment, Remote Sensing, GIS

**How to cite this article:**  
Poursaber, M. R., Arika, Y., Omidian, P., and Tahriri, M. H. 2026. Assessing the Severity of Tsunami Effects on the Environment Using Integrated GIS and Remote Sensing Systems (Case Study: Ishinomaki, Japan). *Adv. Environ. Sci.* 23(4): 863-878.

\* Corresponding Author Email Address: m\_poursaber@sbu.ac.ir  
DOI: 10.48308/envs.2024.1437



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

## ارزیابی شدت اثرات زیست‌محیطی سونامی با استفاده از روش شی‌گرا به کمک سیستم‌های سنجش‌ازدور در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر Ishinomaki ژاپن)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵

محمد رضا پورصابر<sup>۱\*</sup>، یاسو اریکی<sup>۲</sup>، پدram امیدیان<sup>۳</sup>، محمدحسین تحریری<sup>۴</sup>

### چکیده مبسوط

**سابقه و هدف:** زلزله‌ها از دیرباز به‌عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از زندگی بشر بوده‌اند. از آنجا که این پدیده طبیعی باعث ایجاد خسارت و آسیب به انسان و محیط‌زیست می‌شود، تمرکز بر روی مطالعه و فهم آن بسیار مهم است. این پدیده طبیعی به‌عنوان یک معضل جهانی شناخته می‌شود ولی در آمریکا، ژاپن، ایران و یا هر کشور دیگر یکسان نیست. زلزله منطقه توهوکو که در ۱۱ مارس ۲۰۱۱ میلادی به وقوع پیوست، بزرگترین زمین‌لرزه (با بزرگی  $Mw=9$ ) در تاریخ ژاپن از نظر اندازه بزرگی زمین‌لرزه است. در عرض کمتر از یک ساعت پس از وقوع زمین‌لرزه، سونامی بزرگی به سواحل شرقی ژاپن برخورد کرد. این سونامی مساحتی در حدود ۵۶۱ کیلومترمربع را تحت تأثیر قرارداد و به بیش از ۴۰۰ هزار ساختمان خسارت وارد کرد. بر اساس آمار رسمی تعداد ۱۵۸۵۰ کشته، ۶۰۱۱ مجروح و ۳۲۸۷ ناپدید و تخریب یا آسیب به ۱۲۵ هزار ساختمان و تعداد ۴/۴ میلیون ساختمان با قطع برق و ۱/۵ میلیون ساختمان با قطع آب مواجه گردیدند و خسارات بسیار زیادی به زیرساخت‌ها و محیط‌زیست این کشور در نزدیک ساحل شرقی جزیره هانشو ژاپن وارد شد.

**مواد و روش‌ها:** با توجه به حجم بالای اطلاعاتی که برای مدیریت بحران بلایای طبیعی به‌خصوص در زمینه برنامه‌ریزی یکپارچه توسعه مورد نیاز است، واضح است که استفاده از تفاسیر بصری نمی‌تواند پاسخگوی این حجم زیاد از محاسبات باشد. به‌عنوان مثال، تعداد گزارش‌های مربوط به آسیب‌های وارد به ساختمان‌ها پس از وقوع زمین‌لرزه و یا شهر آسیب‌دیده و محیط‌زیست صدمه‌دیده در پدیده سونامی، ممکن است بالغ بر هزار گزارش و یا بیشتر برسد. هر یک از این گزارش‌ها باید به‌طور جداگانه بررسی شده تا مشخص گردد که سازه مورد بررسی چه حدی از خرابی را داشته است. در این مطالعه، بر اساس نقشه برآورد خسارت که با استفاده از پردازش داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای (ماهواره *Geoeye-1*) قبل و بعد از بحران برای این شهر تهیه شده است، میزان خسارات وارده به سازه‌ها نظیر ساختمان‌های ذکر شده به‌منظور آلودگی ناشی از آنها در محیط‌زیست و غیرسازه‌های نظیر فضاهای سبز را محاسبه و نتایج حاصله با داده‌های حاصل از بازدید میدانی، مقایسه گردیده است. در این مطالعه مطابق با نقشه خسارت و برآورد آسیب‌پذیری برای منطقه مورد مطالعه، چندین پارامتر نظیر سازه‌ای و یا غیرسازه‌ای بودن، کاربری و شدت خرابی محیط در نظر گرفته شده است.

**نتایج و بحث:** نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که نوع اجزای سازه، تأثیر به‌سزایی در میزان خرابی دارد. علاوه بر این، نکته قابل توجه در این مطالعه آن است که به ساختمان‌هایی که در نزدیکی آب قرار داشتند، خسارت‌های شدیدی وارد شد. در این مطالعه ساختمان جنگلداری، شیلات و کشاورزی موجود در منطقه مورد بررسی در فاصله نزدیکی در خط ساحلی قرار دارند و متحمل شدیدترین نوع خرابی شده‌اند. از سوی دیگر فضاهای سبز به دلیل مقاومت کم در برابر سونامی متحمل خسارات شدیدی شده‌اند.

**نتیجه‌گیری:** هدف این مطالعه استفاده از یک روش مبتنی بر سنجش‌از راه دور می‌باشد. استفاده از این روش در مرحله پیشگیری و آمادگی مدیریت بحران قبل از وقوع بلایای طبیعی دارای دقت بالایی جهت برنامه‌ریزی سریع می‌باشد. درس‌های برگرفته از نتایج حاصله به محققان و مدیران در برنامه‌ریزی و مراحل مدیریت بحران و کاهش خسارات در رخداد‌های آتی بسیار سودمند خواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** سونامی و زلزله، مدیریت بحران، محیط‌زیست، سنجش‌ازدور، GIS

<sup>۱</sup> گروه آموزشی مهندسی سازه و زلزله، دانشکده مهندسی عمران آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> مرکز تحقیقات ایمنی و حفاظت شهری، دانشگاه کوبه، کوبه، ژاپن

<sup>۳</sup> دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۴</sup> گروه آموزشی مهندسی سازه و زلزله، دانشکده مهندسی عمران آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

*استناد به این مقاله: پورصابر، م. ر.، اریکی، ی.، امیدیان، پ. و م. ح. تحریری. ۱۴۰۴. ارزیابی شدت اثرات زیست‌محیطی سونامی با استفاده از روش شی‌گرا به کمک سیستم‌های سنجش‌ازدور در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر Ishinomaki ژاپن). فصلنامه علوم محیطی نوین. ۲۳(۴): ۸۷۸-۸۶۳*

\* Corresponding Author Email Address: m\_poursaber@sbu.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1437



## مقدمه

روحي و رواني مردم بي پناه در مرحله امداد رسانی و نيز کاستن ضايعات ثانويه کمک نمايد. متأسفانه در جوامع مختلف بشري که در معرض خطر چنين بلايای طبيعی هستند مردم، در حال توسعه زیرساخت‌ها و سازه‌هایی می‌باشند که ظاهراً بدون ارزیابی آسیب‌پذیری از تأثیر مخاطرات طبيعی‌اند. بنابراین، بهبود درک ما از ویژگی‌های آسیب‌سازها ضروری است. کاهش خسارات ناشی از وقوع بلايای طبيعی تنها با استفاده از اطلاعات دقيق و قابل‌اعتماد از طريق پایگاه‌های داده معتبر موفقیت‌آمیز خواهد بود (Cardona et al., 2012; Ciurean et al., 2013; Matsuoka and Yamazaki 2004). آمارها حکایت از این حقیقت دارند که تعداد بحران‌های طبيعی همچنین تعداد افراد آسیب‌دیده و هزینه‌های اقتصادی به طرز شگرفی افزایش داشته (Leelawat et al., 2015; Van Westen 2000) و به‌کارگیری فن‌آوری‌های نوین مانند تکنیک‌های سنجش از راه دور برای مدیریت بحران توسط بسیاری از محققان ارائه و پیشنهاد گردیده است (Eguchi et al., 2008; Manfré et al., 2012).

عناصر کلیدی مورد استفاده در مدیریت جامع بحران می‌تواند با استفاده از نقشه برآورد خسارت انجام شده و داده‌های تولید شده به کمک تکنیک‌های سنجش از راه دور ( $RS^1$  و  $GIS^2$ ) به شیوه‌ای مؤثر به‌روز و دسته‌بندی گردند. از انواع تکنیک‌های  $GIS$  می‌توان به سیستم اطلاعات بحران، شریان‌های حیاتی، اثرات ترافیکی در حین یک رویداد، جستجو و نجات قربانیان، تأثیرات دریایی، پناهگاه‌های اضطراری قربانیان، شناسایی وضعیت و بازبانی آسیب‌های وارده به سازه‌ها و آواربرداری اشاره نمود. یکی از فعالیت‌های اساسی و مهم در طول یک بحران، پاسخ و بازسازی آسیب‌ها به‌منظور کاهش تلفات ناشی از یک پدیده مخرب می‌باشد (Lindell, 2013). این سیستم عمدتاً شامل

یکی از مخرب‌ترین مخاطرات طبيعی زلزله است که سالانه خسارات زیادی را به مردم در نقاط مختلف جهان وارد می‌کند. امروزه زندگی میلیون‌ها نفر از مردم جهان با خطرات ناشی از زلزله روبه‌رو است و میلیون‌ها دلار از زیرساخت‌های هر کشور در معرض خطر صدمات ناشی از زلزله قرار دارد. طبق گزارش‌های جهانی در سال ۲۰۲۲ خسارات اقتصادی جهانی ناشی از زلزله حدود ۱۴ میلیارد دلار برآورد شده است (AON, 2022). یکی از بزرگترین زلزله‌های رخ داده در جهان زمین‌لرزه بزرگی است که در ساعت ۱۴:۴۶ به‌وقت محلی روز ۱۱ مارس ۲۰۱۱ میلادی (۲۰ اسفند ۱۳۸۹)، در ۱۳۰ کیلومتری شرق شهر سندای و ۳۷۳ کیلومتری شمال‌شرقی توکیو پایتخت ژاپن در عمق ۲۴ کیلومتری آب‌های آزاد اقیانوس آرام به وقوع پیوست. این زلزله موجب خسارت‌های سازه‌ای و زیست‌محیطی فراوانی گردید. سونامی ناشی از این زلزله یکی از بزرگترین حوادث طبيعی تاریخ بود که در عرض کمتر از یک ساعت پس از زمین‌لرزه، امواج سونامی به سواحل شرقی ژاپن برخورد نمود. برای پی‌بردن به بزرگی این پدیده می‌توان برای مثال بیان نمود که در استان سندای، امواج ناشی از سونامی تا ۱۰ کیلومتر داخل خشکی پیشروی نموده و یا ارتفاع امواج سونامی در شهر میاکو تا ۳۹ متر نیز گزارش گردیده است. مساحت تحت تأثیر از این سونامی برابر ۵۶۱ کیلومترمربع تخمین زده شده است و این پدیده به بیش از ۴۰۰ هزار ساختمان خسارت وارد کرد و یا آنها را تخریب نمود (Poursaber and Ariki, 2016). در میان تمامی نقاط آسیب‌دیده در کشور ژاپن، شهر *Ishinomaki* در استان میاگی (*Miagi*) یکی از شهرهایی است که متحمل خسارت‌های سنگینی ناشی از این سونامی گردید. همان‌گونه که پیش‌بینی شده است بیش از نصف جمعیت انسان‌ها در شهرها و همچنین کلان‌شهرها متمرکز شده‌اند. در چنین شرایطی مدیریت بحران می‌تواند به کاهش آلام

در فعالیتهای مدیریت بحران نشان دهد. مطالعه حاضر با استفاده از تحلیل سونامی نشان‌دهنده این واقعیت است که چه میزان تجهیزات و امکانات در طی یک فاجعه می‌تواند مؤثر بوده و این امر بر فعالیتهای مدیریت بحران تأثیر به‌سزایی دارد.

مقابله با بلایای طبیعی تنها زمانی می‌تواند مفید واقع شود که اطلاعات جامعی در مورد دوره‌های توالی رخداد، ویژگی‌ها و بزرگی رویداد در یک مکان موردنظر در دسترس باشد. یکی از انواع اطلاعاتی که در مبحث مدیریت بحران‌های حوادث طبیعی به‌کار می‌رود داده‌های فضایی هستند. بر اساس تعریف، داده‌های فضایی داده‌هایی هستند که شامل یک جزء جغرافیایی مانند نقشه‌ها، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های GPS، داده‌های بارش، داده‌های گمانه‌ای و غیره باشند.

هر یک از تصاویر رقومی ثبت شده دارای آرایه‌ای دوبعدی از عناصر تصویری بوده و در هر یک از این آرایه‌ها، انرژی بازتابیده یا گسیل شده از محدوده متناظر آن در سطح زمین ثبت و ذخیره می‌گردد. این ارزش‌های عددی، پدیده‌های متفاوت زمینی را بر روی تصاویر رقومی سنجش از راه دور و GIS توصیف می‌نمایند، در نتیجه می‌توان نسبت به دسته‌بندی آنها اقدام نمود. همچنین می‌توان اطلاعات مربوط به پدیده‌های زمینی را در دسته‌های مشخصی استخراج کرد. در بسیاری از روش‌های طبقه‌بندی انجام شده، عموماً از اطلاعات طیفی موجود در باندهای تصویر استفاده می‌شود. در این‌گونه روش‌ها انتظار می‌رود که پیکسل‌ها یا عناصر تصویری با درجه روشنایی متفاوت در فضای چند طیفی در دسته‌های مناسب با انواع پوشش زمینی دسته‌بندی شوند (Borri *et al.*, 2004). بر اساس پژوهش‌های پیشین توسط محققین، این روش‌ها توانایی محدودی در تفکیک و جداسازی دسته‌هایی که اطلاعات طیفی مشابهی داشته‌اند و در هم ادغام می‌شوند را دارد (Gao *et al.*, 2009). در نتیجه در سال‌های اخیر با پیشرفت فناوری

زیرساخت‌های یک شهر مانند ساختمان‌هایی که در آنها جمعیت زیادی قرار دارند، می‌شود. اثربخشی چنین سیستم‌هایی مستلزم آن است که آسیب‌پذیری عناصر تحت تأثیر سونامی شناخته شده باشند. شناخت این عوامل نمی‌تواند حین و یا بعد از بحران در مورد این نوع ساختمان‌ها نظیر مدارس، سرای سالمندان، سالن اجتماعات و ... صورت پذیرد.

همان‌طور که گفته شد، یکی از مهمترین کاربردهای به‌کارگیری محصولات سنجش‌از‌دور در مدیریت بحران تسهیل امر خدمات اورژانسی، تخلیه اضطراری و اسکان موقت است. اولین واکنش پس از بحران، ارزیابی ریسک و مدیریت در انتخاب پناهگاه‌های موقت و اجتناب از مناطق پرخطر است (Cirella *et al.*, 2014). علاوه بر این، برخی از عوامل ژئوتکنیکی و زمین‌شناختی مانند فاصله از رودخانه‌ها و گسل‌ها نیز باید در نظر گرفته شود (Chen *et al.*, 2019; Ma *et al.*, 2018). از موارد دیگری که باید در مدیریت بحران در نظر گرفته شود می‌توان به احتمال وقوع زلزله‌های مهم اشاره کرد. پس از وقوع یک زلزله بزرگ، فعالیتهای بازسازی در مدیریت بحران نیاز به تحلیل احتمالاتی خطر زلزله دارد (Ebrahimian *et al.*, 2014) و یکی از اقدامات مهم در این راستا شناسایی پناهگاه‌های موقت می‌باشد (Ommi and Janalipour, 2022). از دیگر عوامل تأثیرگذار در این مبحث می‌توان به عوامل فرهنگی و اجتماعی اشاره کرد که مطالعات مختلفی در این زمینه انجام شده است (Cova and Church, 1997; Kar and Hodgson, 2008).

این پژوهش در جست‌وجوی پیشنهاد روشی برای کسب اثربخشی و ضریب اطمینان بهینه برای بازسازی این عناصر به‌منظور تدوین یک طرح مدیریت بحران جامع از طریق تجزیه و تحلیل مطالعه موردی شهر Ishinomaki در فاجعه سونامی سال ۲۰۱۱ میلادی است. در این پژوهش موردی، اثربخشی تأسیسات در سونامی نشان داده شده است که چگونه می‌تواند در طول یک فاجعه مؤثر بوده و این تأثیر را

کلی ۷۷/۷۹ درصد، در دسته‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد.

امروزه روش‌های مختلفی جهت جمع‌آوری داده‌ها و طبقه‌بندی اطلاعات نظیر سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی *GIS* وجود دارد که این روش‌ها نقشی کلیدی در بحث مدیریت بحران دارند. سنجش‌ازدور و *GIS* پایگاه‌های داده‌ای را ارائه می‌دهند که سوابق بلایای طبیعی که به وقوع پیوسته‌اند را ثبت نموده‌اند. با استفاده از این داده‌ها و با استفاده از سایر اطلاعات موجود می‌توان برای دستیابی به نقشه‌های خطر که نشان‌دهنده مناطق با پتانسیل خطر است، تلاش نمود. منطقه‌بندی خطر لازم است پایه‌ای برای هر پروژه مدیریت بحران باشد و برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران باید بر اساس آن اقدامات لازم را انجام دهند. نرم‌افزار *GIS* به‌عنوان یک ابزار برای شناسایی مسیرهای تخلیه، طراحی مراکز برای عملیات اضطراری همراه با داده‌های ماهواره‌ای برای طراحی نقشه خسارات و آسیب‌پذیری استفاده می‌گردد. نرم‌افزار *ArcGIS* به‌عنوان وسیله‌ای برای انتخاب بهترین مسیرهای تخلیه آسیب‌دیدگان، طراحی مراکز عملیات اضطراری بررسی آسیب‌های زیست‌محیطی و نیز همراه با داده‌های ماهواره‌ای و اطلاعات دیگر مرتبط در بحث سیستم‌های هشدار بحران به‌کار گرفته می‌شود.

در مرحله بازسازی بلای طبیعی، *GIS* با سازمان‌دهی اطلاعات آسیب و اطلاعات سرشماری پس از حادثه در ارزیابی مکان‌های بهینه در فرآیند بازسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سنجش از راه دور برای نقشه‌برداری از وضعیت جدید رخ داده و به همگام‌سازی پایگاه‌های داده در بازسازی یک منطقه آسیب‌دیده استفاده می‌شود و می‌تواند به پیشگیری از رخداد چنین فاجعه‌ای کمک نماید. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند توسط تیم مدیریت بحران برای هر دو مرحله واکنش و بازبانی (توان‌بخشی) مورد استفاده قرار گیرد.

پردازش کامپیوتری روش‌های نوینی ارائه شده‌اند. بر اساس ویژگی‌های پردازش تصویر، جهت استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای در این روش‌ها، آنها را می‌توان به سه گروه کلی طبقه‌بندی نمود که عبارتند از: الف) طبقه‌بندی نظارت نشده ب) طبقه‌بندی نظارت شده و در نهایت ج) طبقه‌بندی شیء‌گرا. پیکسل‌ها کوچکترین واحد نمایش هر عکس می‌باشند و بر این اساس دو نوع طبقه‌بندی اول از متداول‌ترین نوع این‌گونه دسته‌بندی‌ها می‌باشند در حالی که طبقه‌بندی شیء‌گرا در سال‌های اخیر مورد توجه بیشتری قرار گرفته و پیشگام گردیده است.

بر اساس تئوری باینری پیکسل‌ها در محدوده‌های همپوشانی عوارض تنها در یک گروه دسته‌بندی می‌گردند در حالی که این پیکسل‌ها با سایر دسته‌ها دارای همبستگی هستند (Blaschke, 2010). از سوی دیگر پیشینه تحقیق نشان‌دهنده این حقیقت است که طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش‌های مختلف، نتایج متفاوتی را ارائه می‌دهد (Platt and Schoennagel 2009; Zhaocong et al., 2009). بر اساس تحقیقات صورت گرفته می‌توان اظهار داشت که طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش‌های مختلف، نتایج متفاوتی را حاصل می‌کند. در این رابطه چن و همکاران (Chen et al., 2009) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای *Spot* نسبت به مقایسه روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه و شیء‌گرا در استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای اقدام نمودند. آنها در پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای از مدل رقومی ارتفاع (*DEM*)، اطلاعات مکانی شامل بافت و شکل را به‌عنوان عاملی به‌منظور افزایش دقت دسته‌بندی شیء‌گرا استفاده نمودند. نتیجه این تحقیق پس از انجام طبقه‌بندی با دو روش پیکسل پایه و شیء‌گرا نشانگر آن است که الگوریتم دسته‌بندی فازی در روش طبقه‌بندی شیء‌گرا با صحت کلی ۹۶/۴۲ درصد در مقایسه با الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال در روش طبقه‌بندی پیکسل پایه با دقت

## روش‌شناسی

با توجه به حجم اطلاعات زیادی که به‌منظور مدیریت بحران صحیح بلایای طبیعی به‌خصوص در زمینه برنامه‌ریزی یکپارچه توسعه مورد نیاز است، بدیهی است که استفاده از روش‌های دستی و تفاسیر بصری نمی‌تواند پاسخگوی این حجم از محاسبات باشد. برای مثال، تعداد گزارش‌های مربوط به آسیب‌های وارد به ساختمان‌ها پس از وقوع زمین‌لرزه و یا شهر آسیب‌دیده و محیط‌زیست صدمه‌دیده در پدیده سونامی، ممکن است بالغ بر هزار گزارش و یا بیشتر برسد. هر یک از این گزارش‌ها باید به‌طور جداگانه بررسی شده تا مشخص گردد که سازه مورد بررسی چه حدی از خرابی را داشته است. سپس باید کل گزارش‌های دریافتی در یک پوشه جمع‌بندی گردد تا مناطق مورد نیاز به بازسازی در یک بازه نسبتاً کوتاهی، شناسایی و مشخص شوند.

باید بر روی اطلاعات و داده‌های موردنیاز به‌منظور مدیریت بحران صحیح و کارآمد که از روش‌های مختلف علمی حاصل می‌شوند، یکپارچه‌سازی صورت گیرد و این موضوع یکی از کلیدی‌ترین نقاط قوت نرم‌افزار GIS می‌باشد. به‌طور کلی انواع داده‌های مورد نیاز جهت مدیریت بحران را می‌توان به چهار دسته، طبقه‌بندی نمود که به‌طور خلاصه در ادامه ذکر می‌گردند:

الف) داده‌های مربوط به مکانی که رویدادهای فاجعه‌ای ممکن است رخ دهند مانند: پوشش گیاهی، جنس خاک، هیدرولوژی، توپوگرافی، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، کاربری زمین و غیره.

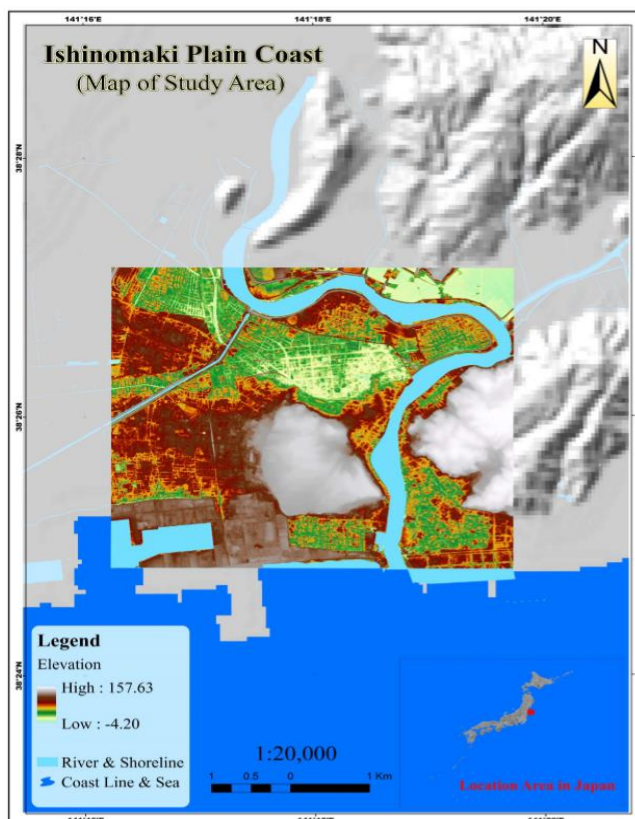
ب) داده‌های مرتبط با بلایای طبیعی (مانند زمین‌لغزش‌ها، سیل‌ها، زلزله‌ها)، موقعیت محلی، بسامد رخ داد (فرکانس و پیوند)، شدت و غیره.

ج) داده‌های مربوط به سازه‌هایی که امکان دارد در صورت وقوع رویداد و بحران طبیعی به خرابی ۱۰۰ درصد برسند مانند: زیرساخت‌ها مانند راه‌ها و سازه‌ها، جمعیت، شهرک‌ها (و اسکان)، داده‌های اجتماعی و اقتصادی و غیره.

د) داده‌هایی که در مورد منابع اضطراری امداد و نجات مانند آتش‌نشانی‌ها، بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های پلیس، انبارها و غیره وجود دارند.

نوع و مقدار اطلاعات و یا داده‌هایی که در مدیریت بحران بلایای طبیعی بایستی در GIS ذخیره گردند به سطح کاربری مورد نیاز یا مقیاس پروژه مدیریت وابسته است. داده‌های مخاطرات طبیعی به وقوع پیوسته، لازم است به‌طور منظم در برنامه‌ریزی توسعه و آماده‌سازی پروژه‌های سرمایه‌گذاری بارگزاری گردند. پروژه‌های توسعه و سرمایه‌گذاری بایستی شامل تجزیه و تحلیل هزینه/سود سرمایه‌گذاری در جهت کاستن احتمال خطر بوده و علاوه بر این، میزان خساراتی که در نبود این اقدامات ممکن است رخ دهد را ارائه نماید. اگرچه انتخاب مقیاس آنالیز توسط کاربرد مورد نیاز از نتایج نقشه‌برداری تعیین می‌گردد، انتخاب روش تجزیه و تحلیل محدودیتی نخواهد داشت. انتخاب روش تحلیلی به نوع موضوع، منابع مالی، میزان دسترسی به داده‌ها، تجربه حرفه‌ای متخصصین و زمان پروژه مورد بررسی بستگی خواهد داشت. در این پژوهش، طبقه‌بندی خسارات در چندین رده مورد بررسی قرار می‌گیرد که در ادامه به‌طور مفصل بررسی می‌گردد.

در این مطالعه، از داده‌های سنسور از دور دریافت شده از ماهواره GeoEye-1 که یک ماهواره نوری با وضوح بسیار بالاست استفاده شد. از این داده‌ها جهت شناسایی عناصر حیاتی جغرافیایی مانند ساختمان‌ها، زیرساخت‌های حمل‌ونقل، منطقه سیلاب ناشی از رویداد سونامی و ... استفاده می‌شود. برای استخراج فاکتورهای ارتفاع و شیب نیز از اطلاعات به‌دست آمده از سازمان اطلاعات مکانی ژاپن استفاده شد. جهت مشخص کردن میزان آسیب‌پذیری بر اساس فاصله از خط ساحلی، ابزار مجاورت و سایر ابزارهای تحلیل‌گر ArcGIS به کمک روش برتشنایدر و ویبرو (Bretschneider and Wybro, 1977) مورد استفاده قرار گرفت. نمای کلی شهر Ishinomaki و منطقه مورد بررسی در کشور ژاپن در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱- بخش مورد بررسی با ساحل مسطح (Poursaber and Ariki, 2016)  
Fig.1 - Area of study with plain coast (Poursaber and Ariki 2016)

۵۰ تا ۷۵ درصد)، (۵) آسیب نسبتاً زیاد<sup>۱۰</sup> (آب تا بالاتر از طبقه اول وارد شده و سازه کاملاً تخریب شده آسیب وارده بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد)، (۶) تخریب کامل<sup>۱۱</sup> (آسیب ۱۰۰ درصد) و (۷) ساختمان به کلی شسته<sup>۱۲</sup> (محو شده) شده است. نمونه‌ای از داده‌های تهیه شده توسط تیم *MLIT* در شهر *Ishinomaki* برای تعداد ساختمان‌های طبقه‌بندی شده با توجه به مصالح ساختمانی مختلف در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

### طبقه‌بندی خسارت‌ها

بر اساس گزارش‌های تیم‌های نقشه‌برداری *MLIT*<sup>۵</sup>، سطوح خرابی وارده در شهر *Ishinomaki* در اثر سونامی در ۷ طبقه دسته‌بندی شده است: (۱) بدون آسیب<sup>۶</sup>، (۲) آسیب کم<sup>۷</sup> (بیشتر آسیب‌های وارده به ساختمان به دلیل ورود آب در اثر سونامی بین زمین و طبقه اول حدود ۰ تا ۲۵ درصد)، (۳) آسیب نسبتاً کم<sup>۸</sup> (آسیب وارده حدود ۲۵ تا ۵۰ درصد و آب بین زمین و طبقه اول)، (۴) آسیب متوسط<sup>۹</sup> (حدود

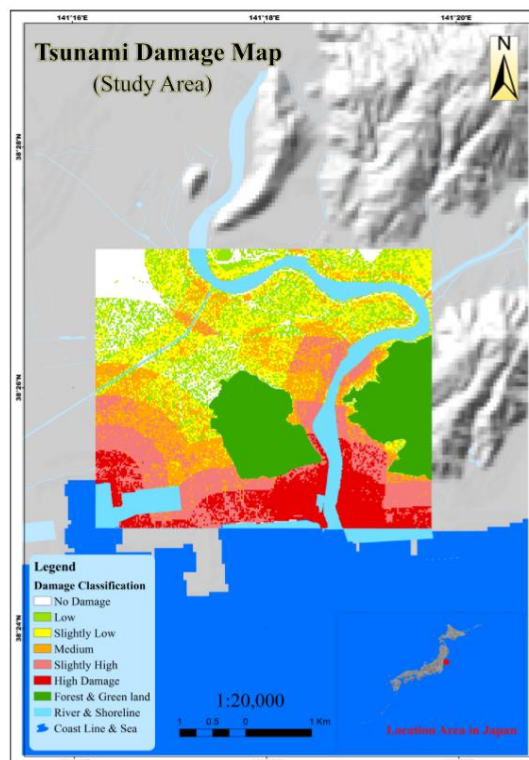
جدول ۱- تعداد ساختمان‌های طبقه‌بندی شده با توجه به مصالح ساختمانی مختلف

Table- 1 Number of buildings categorized for different building materials

شهر <i>Ishinomaki</i> - بخش ساحل مسطح	شهر <i>Ishinomaki</i>	نوع سازه
۶۹۲	۹۳۳	بتنی
۱۵۲۶	۲۴۵۰	فولادی
۲۴۹۹۷	۴۵۹۷۶	چوبی
۹۲۵۸	۱۳۷۹۸	دیگر
۳۳۴۷۳	۶۳۱۵۷	جمع

(۱) فضای سبز و محیط‌زیستی<sup>۱۳</sup>، (۲) ساختمان جنگلداری، شیلات و کشاورزی<sup>۱۴</sup>، (۳) تأسیسات جلوگیری‌کننده از خسارات ناشی از بالآمدگی آب رودخانه<sup>۱۵</sup> می‌باشند. از طرف دیگر، با استفاده از نقشه برآورد خسارات و آسیب‌پذیری که با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای *Geoeye-1* با کمک *GIS* تولید شده همراه با نتایج حاصله از تکنیک *AHP* به‌کار رفته برای منطقه ساحلی مسطح، نقشه خسارت راه‌ها و جاده‌ها برآورد شده است. لازم به ذکر است عواملی نظیر مدل رقومی ارتفاع \**DEM*، شیب، فاصله از خط ساحلی، فاصله از رودخانه‌های موجود در سایت و ضریب شاخص پوشش گیاهی (شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی یا *NDVI*<sup>۱۶</sup>) به‌منظور تولید نقشه خطر استفاده گردیده است (Poursaber and Ariki 2016). در شکل ۲ نقشه خطر نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده از تیم‌های نقشه‌برداری توسط *MLIT* با داده‌های تولید شده توسط نرم‌افزار *Arc GIS* (جدول ۱) به‌منظور صحت‌سنجی روش پیشنهادی، مقایسه شده‌اند.

یکی از دیگر ویژگی‌های ساختمان‌های مهم ارائه شده در گزارش تیم *MLIT* تعداد طبقات مربوط به هر سازه بود. با توجه به طراحی که سازه‌های بلندتر برای تحمل بارهای سنگین‌تر دارند، بدیهی است که هر چه تعداد طبقات سازه بیشتر شود، ساختمان قوی‌تر است. از آنجایی که بر اساس پایگاه داده *MLIT* حدود ۹۸ درصد از ساختمان‌ها دو طبقه‌اند، آسیب ساختمان‌ها به دلیل تعداد طبقات در این مطالعه نادیده گرفته شده است. با توجه به اطلاعات آماری خسارات وارده به سازه‌ها و زیرساخت‌های شهری توسط *MLIT* در منطقه ساحلی دشت *Ishinomaki*، اطلاعات مربوط به تمامی خرابی این نوع سازه‌ها نظیر ساختمان جنگلداری، شیلات و کشاورزی و همچنین تأسیسات جلوگیری‌کننده از خسارت‌های ناشی از رودخانه و غیرسازه‌ای مانند فضاهای سبز (در کل ۴۲ سازه) شامل اطلاعات مربوط به سطوح آسیب مختلف در جدول شماره ۲ آورده شده است. لازم به ذکر است در این مطالعه نوع کاربری مختلف مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که شامل:

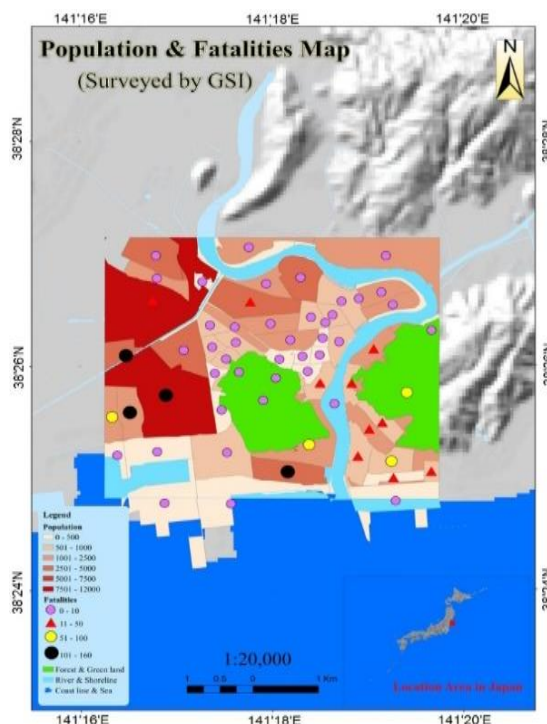


شکل ۲- نقشه برآورد خسارت‌ها و آسیب‌پذیری تولیدشده برای Ishinomaki (Poursaber and Ariki 2016)  
 Fig. 2 - Damage map for Ishinomaki (Poursaber and Ariki 2016)

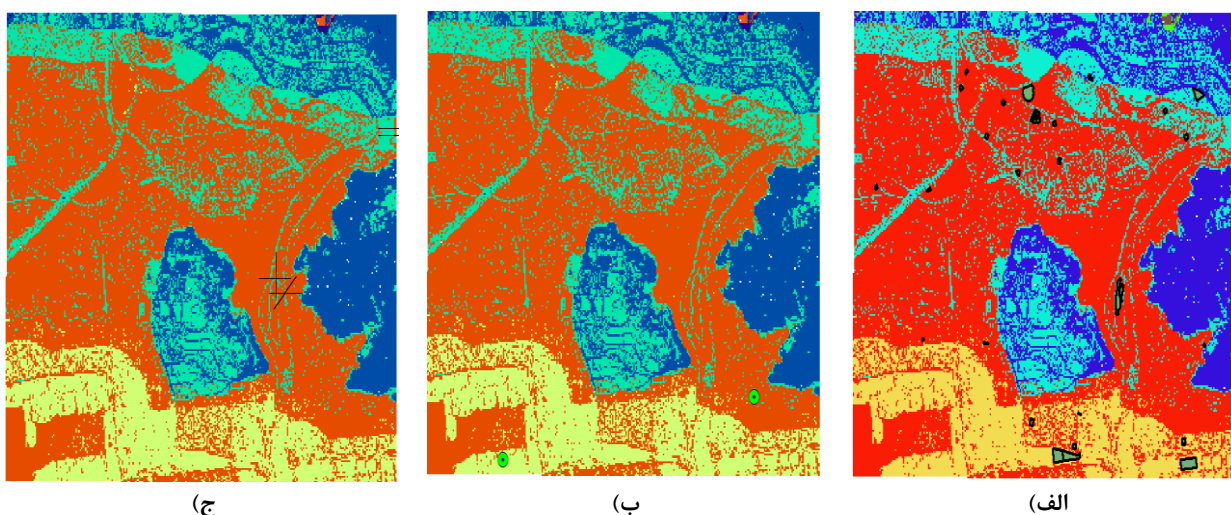
### بحث

توجه به اطلاعات تیم‌های نقشه‌برداری، داده‌های آماری *MLIT* و نیز موقعیت جغرافیایی مکان‌های سازه‌ای و غیرسازه مورد مطالعه در این پژوهش در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

به‌منظور برآورد تلفات، مجروحین و همچنین کمک به فرآیند امداد رسانی و تخلیه، نیاز به نقشه جمعیت و نقشه خطر می‌باشد. در مورد ساحل شهر *Ishinomaki* توزیع جمعیت و تلفات ناشی از سونامی بزرگ ژاپن سال ۲۰۱۱ با



شکل ۳- نقشه جمعیت و تعداد تلفات در منطقه مورد مطالعه در شهر *Ishinomaki* (Poursaber and Ariki 2016)  
 Fig. 3- The population and number of fatalities map in *Ishinomaki* (Poursaber and Ariki 2016)



شکل ۴- توزیع ساختمان‌های مورد بحث در منطقه مورد مطالعه شهر *Ishinomaki* (الف) فضای سبز، (ب) ساختمان جنگلداری، شیلات و کشاورزی و (ج) تأسیسات جلوگیری کننده از خسارت‌های ناشی از رودخانه  
 Fig.4 - Distribution of the buildings in *Ishinomaki* city a) Greenfield, b) facilities for forestry, fisheries and agriculture and c) damage of disaster prevention facility (river)

مطالعه بر روی نقشه خطر نشان می‌دهد. برای بررسی میزان آسیب‌پذیری و همچنین قابلیت کارکرد این امکانات، لازم است اطلاعاتی از سیستم‌های ساختاری و مصالح ساختمانی این نوع سازه‌ها در دسترس باشند. جدول شماره ۲ توزیع ساختمان‌های هفت‌گانه مورد مطالعه در این پژوهش در شهر *Ishinomaki* در زمان وقوع سونامی را با جزئیات مشخصات خسارت‌های وارده مطابق با داده‌های آماری بازدید میدانی *MLIT* و نقشه آسیب تولید شده با استفاده از *GIS* ارائه می‌دهد. نتایج خروجی بیانگر قدرت نرم‌افزار *GIS* در ارزیابی میزان آسیب‌های وارده به تأسیسات و سازه‌ها می‌باشد. لازم به ذکر است نوع محیط مورد بررسی به دو نوع سازه‌ای و غیرسازه‌ای تقسیم شده است.

با توجه به نقشه برآورد خسارت‌ها و آسیب‌پذیری، اولویت‌های زیر می‌تواند در دستور کار قرار گیرند:

- توزیع تلفات برای اولویت‌دهی عملیات نجات
- توزیع ساختمان‌های اضطراری مانند بیمارستان برای بهبود روند نجات
- توزیع مراکز و تأسیسات مهم و منابع شریان‌های حیاتی برای کمک به تصمیم‌گیری در روند بازسازی

در شکل ۳ نقشه تعداد تلفات در منطقه مورد مطالعه به نمایش در آمده است. چنین نقشه‌ای کمک خواهد نمود تا عملیات نجات متمرکز شده و مناطق مطلوب برای پیاده‌سازی آن پیدا شود. شکل ۴ توزیع ساختمان‌های مورد

جدول ۲- مشخصات سازه‌های آسیب‌دیده مورد مطالعه که توسط نقشه برآورد خسارت توسط *MLIT* و *GIS* در شهر *Ishinomaki* به دست آمده است.

Table.2 - Damage building characteristics conducted by *MLIT* and *GIS* damage map produced in *Ishinomaki* city plain coast

طبقه‌بندی خسارت بر اساس نقشه آسیب (تولیدشده)	طبقه‌بندی خسارت توسط <i>MLIT</i>	نوع سازه	نوع ساختمان	ردیف
Damage classification based on damage map (produced)	Damage classification by <i>MLIT</i>	Type of Structure	Building Type	No.
W	C	N	G	1
W	C	N	G	2
C	C	N	G	3
C	H	N	G	4
H	C	N	G	5
H	H	N	G	6
C	W	N	G	7
C	W	N	G	8
H	W	N	G	9
C	W	N	G	10
C	W	N	G	11
C	C	N	G	12
C	C	N	G	13
C	C	N	G	14
C	C	N	G	15
H	C	N	G	16
C	C	N	G	17
H	W	N	G	18
W	W	N	G	19
W	W	N	G	20

\* در جدول، N بیانگر اجزای غیرسازه‌ای، S اجزای سازه‌ای، G ساختمان‌های فضای سبز و محیط‌زیستی، F ساختمان جنگلداری، شیلات و کشاورزی، D تأسیسات جلوگیری‌کننده از خسارت‌های ناشی از بالابآمدگی آب رودخانه، C ساختمان کاملاً تخریب شده، H ساختمان با آسیب نسبتاً زیاد و W ساختمان به کلی شسته شده (محو شده) می‌باشد.

\* In the table, N indicates for Non-Structural, S for Structural, G for Greenfield, F for facilities for Agriculture, Forst, Fishery, D for damage to disaster prevention facility (river), C for Collapse. H for High Damage and W for Washed away.

ادامه جدول ۲- مشخصات سازه‌های آسیب‌دیده مورد مطالعه که توسط نقشه برآورد خسارت توسط MLIT و GIS در شهر Ishinomaki به‌دست آمده است.

Table.2 - (cont.). Damage building characteristics conducted by MLIT and GIS damage map produced in Ishinomaki city plain coast

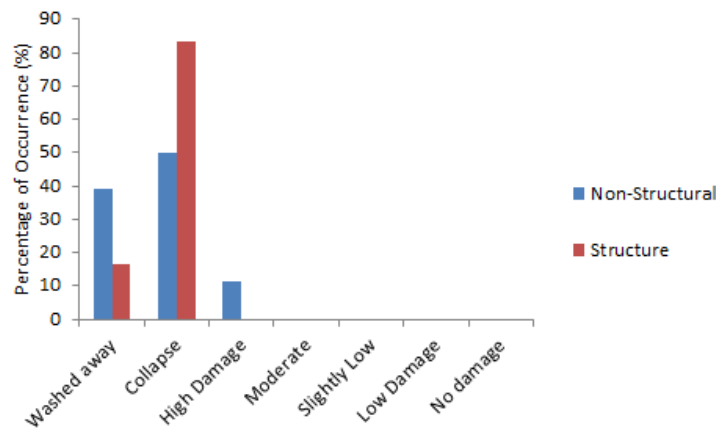
ردیف	نوع ساختمان	نوع سازه	طبقه‌بندی خسارت توسط MLIT	طبقه‌بندی خسارت بر اساس نقشه آسیب (تولیدشده)
No	Building Type	Type of Structure	Damage classification by MLIT	Damage classification based on damage map (produced)
21	G	N	W	W
22	G	N	W	W
23	G	N	W	W
24	G	N	H	C
25	G	N	C	C
26	G	N	W	C
27	G	N	C	C
28	G	N	C	C
29	G	N	C	C
30	G	N	C	W
31	G	N	C	W
32	G	N	C	W
33	G	N	C	W
34	G	N	H	W
35	G	N	C	W
36	G	N	H	C
37	F	S	W	C
38	F	S	W	W
39	D	S	W	H
40	D	S	W	C
41	D	S	W	H
42	D	S	C	C

\* در جدول، N بیانگر اجزای غیرسازه‌ای، S اجزای سازه‌ای، G ساختمان‌های فضای سبز و محیط‌زیستی، F ساختمان جنگلداری، شیلات و کشاورزی، D تأسیسات جلوگیری‌کننده از خسارت ناشی از بالآمدگی آب رودخانه، C ساختمان کاملاً تخریب‌شده، H ساختمان با آسیب نسبتاً زیاد و W ساختمان به‌کلی شسته شده (محو شده) می‌باشد.

\* In the table, N indicates for Non-Structural, S for Structural, G for Greenfield, F for facilities for Agriculture, Forst, Fishery, D for damage to disaster prevention facility (river), C for Collapse. H for High Damage and W for Washed away.

همان‌گونه که از نتایج جدول شماره ۲ مشخص است نوع سازه‌ای و غیرسازه‌ای بودن مکان مورد بحث، تأثیر مستقیمی در برابر پاسخ در برابر خرابی دارد. نکته قابل ذکر آن است که ساختمان جنگلداری، شیلات و کشاورزی (شکل ۴-ب) موجود در منطقه مورد بررسی در فاصله نزدیکی در خط ساحلی قرار دارند در نتیجه متحمل شدیدترین نوع خرابی شده است. به‌طور مشابه نیز خسارت‌های تأسیسات جلوگیری‌کننده از خسارت‌های

محیط‌زیستی ناشی از رودخانه که در کنار رودخانه‌ها قرار دارند (شکل ۴-ج) قابل توجه می‌باشد و در نتیجه می‌توان برای خرابی نوع این نوع سازه‌ها مهمترین عامل نزدیکی آنها به آب را نام برد. از سوی دیگر فضاهای سبز که در کل منطقه پراکنده می‌باشند به علت عدم مقاومت در برابر سونامی نیز متحمل خسارت‌های شدیدی شده‌اند. در شکل ۵ نحوه توزیع دسته‌بندی هفت‌گانه برای دو نوع سازه‌ای و غیرسازه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۵- نحوه توزیع سطوح خرابی بر اساس نوع سیستم سازه‌ای  
Fig.5 - Distribution of damage levels based on the type of structural system

نمانده است.

در این بخش اختلاف بین نتایج حاصل از GIS و MLIT به‌عنوان عامل مورد مقایسه میزان دقت مورد استفاده قرار می‌گیرد که از مقدار دقیق تا شش قابل تقسیم می‌باشد. این شاخص دقیق بیانگر آن است که مقدار سطح خرابی خروجی از GIS منطبق با سطح خرابی حاصل از گزارش‌های میدانی MLIT است. همچنین برای مثال اختلاف شاخص دو، بیانگر آن است که نتایج حاصل از GIS، دو سطح خرابی با سطح خرابی MLIT متفاوت است. در شکل ۶ برای دو نوع سازه‌ها نظیر ساختمان جنگلداری، شیلات و کشاورزی و همچنین تأسیسات جلوگیری‌کننده از خسارت‌های ناشی از رودخانه و غیرسازه‌های مانند فضاهای سبز میزان درصد اختلاف حاصل از GIS و MLIT برای مجموع هفت نوع کاربری یاد شده نشان داده شده است.

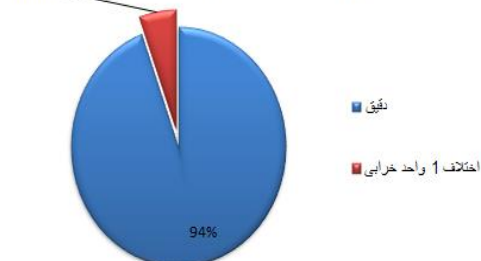
به‌منظور بررسی صحت‌سنجی روش انجام شده در این پژوهش، داده‌های بازدید میدانی حاصل از گزارش MLIT به‌عنوان مرجع، انتخاب می‌گردد و نتایج حاصل از نقشه برآورد خسارت‌ها و آسیب‌پذیری و همچنین GIS با آن مقایسه می‌گردد. نتایج حاصل از خرابی بر اساس GIS در ستون چهارم جدول شماره ۲ و همچنین نتایج حاصل از گزارش MLIT در ستون سوم جدول شماره ۲ آورده شده است. نتایج در این بخش به دو صورت زیر قابل بررسی است:  
الف: صحت پاسخ‌ها بر اساس نوع سیستم سازه‌ای (Structural) و یا غیرسازه‌ای (Non-Structural) مکان مورد بحث  
ب: سطوح خرابی دارای ۷ نوع طبقه‌بندی از شماره ۱ تا ۷ می‌باشد به‌طوری که سطح خرابی یک، بیانگر سطح بدون آسیب و سطح خرابی هفت، نشانگر آن است که مکان موردنظر خراب و توسط آب شسته شده و اثری از آن باقی

GENERAL-NonStructural type



(ب)

GENERAL-Structural type



(الف)

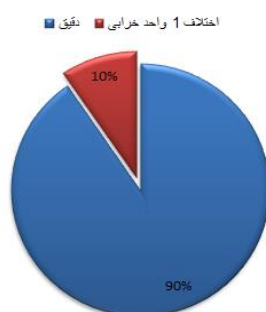
شکل ۶- میزان دقت نتایج و اختلاف حاصل از سنجش از راه دور و نتایج میدانی بر اساس الف)سازه‌های ب)غیرسازه‌ای  
Fig. 6 - The accuracy of the results and differences between RS and MLIT based on a)Structural, b)Non-Structural

درصد تطبیق سطوح خرابی حاصل از *GIS* و *MLIT* آورده شده است. همان گونه که مشاهده می‌گردد روش پیشنهادی که بر اساس نوع کاربری ارائه شده است دارای دقت بالایی بوده به گونه‌ای که حدود ۹۰ درصد نتایج یا به‌طور دقیق محاسبه شده و یا تنها با یک درجه اختلاف نسبت به گزارش‌های میدانی *MLIT* به‌دست آمده‌اند این در حالی است که در اکثر موارد سطوح خرابی حاصل از *GIS* بالاتر از *MLIT* می‌باشد. مطابق با شکل‌های ۶ تا ۸ می‌توان هم بر اساس نوع سازه‌ای و یا غیرسازه‌ای و هم بر اساس نوع کاربری به تخمین بسیار مناسبی از شدت وقوع خرابی در منطقه دست یافت و از آن به‌منظور مدیریت بحران استفاده نمود. این اختلاف ممکن است به دلیل نقش عوامل دیداری در تخمین و تفسیر خسارت‌ها در تصاویر ماهواره‌ای باشد که می‌توان در آینده با استفاده از نقشه نوع ساختمان منطقه (قبل از سونامی) و برآورد آسیب‌پذیری به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای، آن را اصلاح نمود.

همان‌گونه که در نمودار فوق مشخص است، بیشترین تطبیق برای نوع غیرسازه‌ای مانند فضاها سبز با ۹۴ درصد میزان دقت و سپس نوع سازه‌ای در حدود ۶۷ درصد می‌باشد. این اختلاف در سطوح خرابی حاصل از *GIS* و *MLIT* به بیش از یک واحد اختلاف نمی‌رسد و نشانگر دقت قابل قبول می‌باشد.

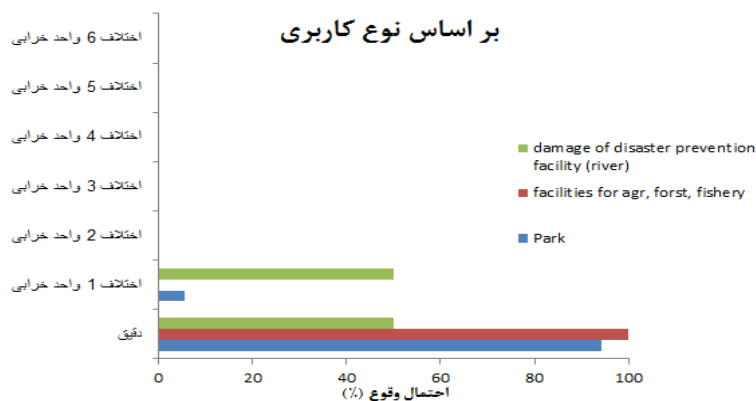
در شکل ۷ میزان دقت روش استفاده شده در این پژوهش نسبت به داده‌های آماری حاصل از *MLIT* به‌طور کلی آورده شده است. همان‌گونه که مشخص است با دقتی در حدود ۹۰ درصد تطبیق یکسانی بین داده‌های حاصل از *GIS* و *MLIT* مشاهده می‌گردد و هیچ‌گونه اختلافی بیش از تنها یک واحد خرابی مشاهده نمی‌شود و فقط ۱۰ درصد از نتایج با ۱ واحد اختلاف محاسبه شده‌اند که آن هم عمدتاً مربوط به نوع سازه‌ای به دلیل نوع طراحی آن می‌باشد. در شکل ۸ به تفکیک نوع کاربری سه‌گانه مورد این پژوهش

بر اساس سیستم (سازه ای و غیر سازه ای)



شکل ۷- میزان دقت و اختلاف نتایج حاصل از تحلیل سنجش از راه دور و نتایج میدانی بر اساس سیستم‌های سازه‌های مورد مطالعه

Fig.7 - The accuracy of the results and differences between RS and MLIT based on the type of structural systems



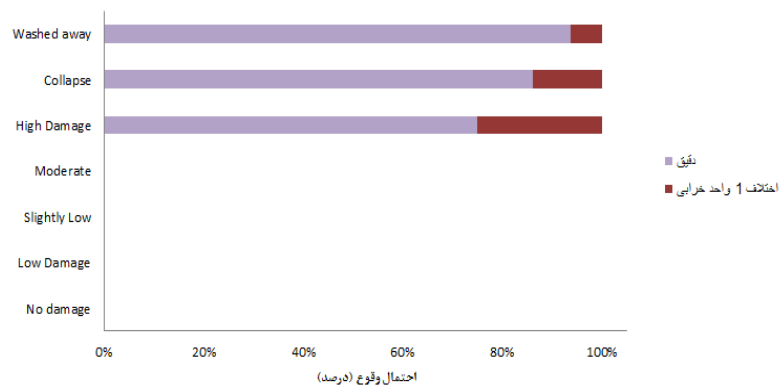
شکل ۸- میزان دقت و اختلاف نتایج حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و نتایج میدانی بر اساس کاربری‌های مورد مطالعه

Fig.8 - The accuracy of the results and differences between RS and MLIT based on the type of uses of system

آسیب‌دیدگی محیط‌زیستی در شرایط بحرانی‌تری قرار می‌گیرد. در ادامه از همین منظر نتایج حاصل از *MLIT* و *GIS* از دیدگاه شدت سطح خرابی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل در شکل ۹ نشان داده شده است.

از منظر دیگر نیز می‌توان نتایج را به‌گونه‌ای دیگر تفسیر نمود. در مدیریت بحران مناطقی که شدت خرابی در آنها متوسط و یا بیشتر باشد اهمیت به‌سزایی دارد زیرا که در این مناطق با توجه به وقوع خرابی بیشتر نیاز به امداد رسانی و یا میزان

بر اساس سطح خرابی



شکل ۹- میزان دقت و اختلاف نتایج حاصل از سنجش از راه دور و نتایج میدانی بر اساس سطح خرابی  
Fig.9 - The accuracy of the results and differences between RS and MLIT based on the level of damage

مطالعه ابتدا سه نوع مکان ساختمان و یا فضای زیست‌محیطی مرتبط شامل: (۱) پارک و فضای سبز، (۲) ساختمان جنگلداری، شیلات و کشاورزی، (۳) تأسیسات جلوگیری‌کننده از خسارت‌های ناشی از رودخانه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. مورد اول غیرسازه‌ای و دو مورد دیگر سازه‌ای می‌باشند. همچنین هفت سطح خرابی از بدون آسیب تا سازه‌ای که آب آن را از بین برده است در نظر گرفته شد. سپس به‌منظور بررسی دقت پیشنهادی مکان‌های مذکور در شهر *Ishinomaki* با استفاده هم‌زمان از داده‌های به‌دست آمده از نقشه‌برداری و آماربرداری توسط بازدیدهای میدانی *MLIT*، نرم‌افزار *GIS* و سنجش از راه دور تحلیل گردید.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهند که نوع سازه‌ای و غیرسازه‌ای بودن مکان مورد بحث، تأثیر مستقیمی در خرابی حاصله دارد. نیروی امواج سونامی خسارت‌های زیادی به ساختمان‌های شکننده وارد می‌کند. ساختمان‌هایی که در مسیر امواج هستند آب را مسدود کرده و در نتیجه فشار وارده بر آنها رفته‌رفته بیشتر می‌شود. بنابراین، یکی از عوامل

همان‌گونه که در شکل ۹ مشخص است با افزایش سطح خرابی بر اساس داده‌های میدانی *MLIT* دقت روش بر اساس *GIS* نیز بیشتر می‌گردد. به‌عنوان مثال برای سطح خرابی *High damage* نتایج در حدود ۷۵ درصد و اختلاف درجه خرابی نتایج حاصل از *GIS* و *MLIT* برای یک واحد اختلاف نیز برابر ۲۵ درصد می‌باشد. برای *Collapse* نتایج دقیق‌تر و برابر ۸۶ درصد و در نهایت برای سطح خرابی *Washed away* دقت برابر ۹۴ درصد برآورد شده است. در نتیجه با افزایش سطح خرابی، دقت نیز افزایش می‌یابد که برای مدیریت بحران کارآمد بسیار ضروری و مفید می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

هدف این مطالعه پیشنهاد یک روش بر اساس سنجش از راه دور و بر پایه *GIS* می‌باشد تا بتوان از طریق آن در مواقع بروز بلاهای طبیعی نظیر سیل و یا سونامی بتوان با کاربرد تصاویر ماهواره‌ای منطقه حادثه دیده، بتوان اقدامات لازم جهت کمک‌رسانی، امداد و نجات و مدیریت بحران را در زمان مناسبی پیش‌بینی و اجرا نمود. در همین راستا در این

روش بر اساس GIS نیز بیشتر می‌گردد. در نتیجه با افزایش سطح خرابی، دقت نیز افزایش یافته و این موضوع در تصمیم‌گیری برای مدیریت بحران کارآمد بسیار ضروری و مفید می‌باشد.

### سیاسگزاری

نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از حمایت‌های دانشگاه کوبه، مرکز تحقیقات ایمنی و حفاظت شهری دانشگاه کوبه و دانشگاه شهید بهشتی اعلام می‌دارند. همچنین، از سازمان اطلاعات مکانی ژاپن برای ارائه داده‌های مدل رقومی ارتفاع و نقشه‌های منطقه مورد مطالعه و از کارگروه بررسی مشترک سونامی زمین‌لرزه توهوگو ۲۰۱۱ بابت فراهم آوردن داده‌های میدانی صمیمانه تشکر می‌گردد.

### پی‌نوشت‌ها

- <sup>1</sup> Geographic Information System
- <sup>2</sup> Remote Sensing
- <sup>3</sup> Digital Elevation Model
- <sup>4</sup> Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (www.mlit.go.jp)
- <sup>5</sup> No damage
- <sup>6</sup> Low damage
- <sup>7</sup> Slightly damage
- <sup>8</sup> Moderate
- <sup>9</sup> High damage
- <sup>10</sup> Collapse
- <sup>11</sup> Washed away
- <sup>12</sup> Greenfield
- <sup>13</sup> Facilities for Agriculture, Forest, Fishery
- <sup>14</sup> Damage of disaster prevention facility (River)
- <sup>15</sup> Normalized difference vegetation index

### References

- AON. (2022). "2021 Weather, Climate and Catastrophe Insight." 53.
- Blaschke, T. (2010). "Object Based Image Analysis for Remote Sensing." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65(1):2-16. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>
- Borri, D., Caprioli, M. & Tarantino, E. (2004). "Spatial Information Extraction from VHR Satellite Data to Detect Land Cover Transformations." in *Proceedings of International Workshop on "Processing and Visualization using High-Resolution Imagery*. Vol. 36.

کلیدی برای به حداقل رساندن خسارت‌های ناشی از سونامی، ساخت‌وسازهایی است که بتواند الزامات اولیه مقاومت در برابر سونامی را برآورده کند.

یکی از نکات شایان توجه آن است که ساختمان‌هایی که در نزدیکی آب قرار داشتند متحمل خسارت‌های شدیدی شده بودند. در نتیجه می‌توان برای خرابی این نوع سازه‌ها مهمترین عامل نزدیکی آنها به آب را نام برد. از سوی دیگر فضاهای سبز در کل منطقه پراکنده می‌باشد. با این حال به علت عدم مقاومت در برابر سونامی این‌گونه مکان‌ها نیز متحمل خسارت‌های زیادی شده‌اند. همچنین میزان دقت روش استفاده شده در این پژوهش بر اساس سازه‌ای و غیرسازه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص گردید با دقتی در حدود ۹۰ درصد، تطبیق یکسانی بین داده‌های حاصل از GIS و MLIT وجود داشته است و هیچ‌گونه اختلافی بیش از تنها یک واحد خرابی مشاهده نمی‌گردد.

سپس بر اساس تفکیک نوع کاربری هفت‌گانه در این پژوهش درصد تطبیق سطوح خرابی حاصل از GIS و MLIT آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد روش پیشنهادی بر اساس نوع کاربری دارای دقت بالایی بوده و یا تنها با یک درجه اختلاف نسبت به گزارش‌های میدانی MLIT به‌دست آمده است.

در نهایت، نتایج حاصل از GIS بر اساس شدت خرابی و یا سطح خرابی با نتایج MLIT مورد مقایسه قرار گرفتند. با افزایش سطح خرابی بر اساس داده‌های میدانی MLIT دقت

### منابع

- Bretschneider, Charles L., & Pieter G. Wybro. (1977). "Tsunami Inundation Prediction." Pp. 1006-24 in *Coastal Engineering* 1976. <https://doi.org/10.1061/9780872620834.060>
- Cardona, Omar Dario, Maarten, K., Van Aalst, Jörn Birkmann, Maureen Fordham, Glenn Mc Gregor, Perez Rosa, Roger S. Pulwarty, E. Lisa F. Schipper, Bach Tan Sinh, & Henri Décamps. (2012). "Determinants of Risk: Exposure and Vulnerability." Pp. 65-108 in *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change*.

Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245.005>

Chen, Minjie, Wei Su, Li Li, Chao Zhang, Anzhi Yue, & Haixia Li. (2009). "Comparison of Pixel-Based and Object-Oriented Knowledge-Based Classification Methods Using SPOT5 Imagery." *WSEAS Transactions on Information Science and Applications* 6(3):477–89.

Chen, Wei, Guofang Zhai, Chongqiang Ren, Yijun Shi, & Jianxin Zhang. (2018). "Urban Resources Selection and Allocation for Emergency Shelters: In a Multi-Hazard Environment." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15(6):1261. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061261>

Cirella, G. T., Elena Semenzin, Andrea Critto, & Antonio Marcomini. (2014). "Natural Hazard Risk Assessment and Management Methodologies Review: Europe." Pp. 329–58 in *Sustainable cities and military installations*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7161-1\\_16](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7161-1_16)

Ciurean, Roxana L., Dagmar Schröter, & Thomas Glade. (2013). "Conceptual Frameworks of Vulnerability Assessments for Natural Disasters Reduction." *Approaches to Disaster Management-Examining the Implications of Hazards, Emergencies and Disasters* 1–32. DOI: 10.5772/55538

Cova, Thomas J., & Richard L. Church. (1997). "Modelling Community Evacuation Vulnerability Using GIS." *International Journal of Geographical Information Science* 11(8):763–84. <https://doi.org/10.1080/136588197242077>

Ebrahimian, H., Jalayer, F., Domenico Asprone, Anna Maria Lombardi, Warner Marzocchi, Andrea Prota, and Gaetano Manfredi. (2014). "Adaptive Daily Forecasting of Seismic Aftershock Hazard." *Bulletin of the Seismological Society of America* 104(1):145–61. <https://doi.org/10.1785/0120130040>

Eguchi, Ronald T., Charles K. Huyck, Shubharoop Ghosh, & Beverley J. Adams. (2008). "The Application of Remote Sensing Technologies for Disaster Management." in *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. Vol. 17.

Gao, Yan, J., Mas, F., & Navarrete., A. (2009). "The Improvement of an Object-Oriented Classification Using Multi-Temporal MODIS EVI Satellite Data." *International Journal of Digital Earth* 2(3):219–36. <https://doi.org/10.1080/17538940902818311>

Kar, Bandana, and Michael E. Hodgson. 2008. "A GIS-based Model to Determine Site Suitability of Emergency Evacuation Shelters." *Transactions in GIS* 12(2):227–48. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2008.01097.x>

Leelawat, Natt, Anawat Suppasri, and Fumihiko Imamura. 2015. "Disaster Recovery and Reconstruction Following the 2011 Great East Japan

Earthquake and Tsunami: A Business Process Management Perspective." *International Journal of Disaster Risk Science* 6:310–14. <https://doi.org/10.1007/s13753-015-0066-1>

Lindell, Michael K. 2013. "Recovery and Reconstruction after Disaster." *Encyclopedia of Natural Hazards* 812–24.

Ma, Yunjia, Wei Xu, Lianjie Qin, and Xiujuan Zhao. 2019. "Site Selection Models in Natural Disaster Shelters: A Review." *Sustainability* 11(2):399. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4399-4\\_285](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4399-4_285)

Manfré, Luiz A., Eliane Hirata, Janaína B. Silva, Eduardo J. Shinohara, Mariana A. Giannotti, Ana Paula C. Larocca, and José A. Quintanilha. 2012. "An Analysis of Geospatial Technologies for Risk and Natural Disaster Management." *ISPRS International Journal of Geo-Information* 1(2):166–85. <https://doi.org/10.3390/ijgi1020166>

Matsuoka, Masashi, and Fumio Yamazaki. 2004. "Use of Satellite SAR Intensity Imagery for Detecting Building Areas Damaged Due to Earthquakes." *Earthquake Spectra* 20(3):975–94. <https://doi.org/10.1193/1.1774182>

Ommi, Salma, and Milad Janalipour. 2022. "Selection of Shelters after Earthquake Using Probabilistic Seismic Aftershock Hazard Analysis and Remote Sensing." *Natural Hazards* 113(1):345–63. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05303-0>

Platt, Rutherford V, and Tania Schoennagel. 2009. "An Object-Oriented Approach to Assessing Changes in Tree Cover in the Colorado Front Range 1938–1999." *Forest Ecology and Management* 258(7):1342–49. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.06.039>

Poursaber, Mohammad Reza, and Yasuo Ariki. 2016. "Integrated GIS, Remote Sensing and Survey Data for Damage Assessment of Buildings in Tsunami Event, Ishinomaki City, Japan." *Journal of Geographic Information System* 8(2):260–81. DOI: 10.4236/jgis.2016.82023

Van Westen, C. J. 2000. "Remote Sensing for Natural Disaster Management." *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 33(B7/4; PART 7):1609–17.

Zhaocong, Wu, Yi Lina, and Qin Maoyun. 2009. "Granular Approach to Object-Oriented Remote Sensing Image Classification." Pp. 563–70 in *Rough Sets and Knowledge Technology: 4th International Conference, RSKT 2009, Gold Coast, Australia, July 14-16, 2009. Proceedings 4*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-02962-2\\_71](https://doi.org/10.1007/978-3-642-02962-2_71)

