

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

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

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

<sup>2</sup> Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, Kobe, Japan

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

**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  $M_w=9$ ) 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

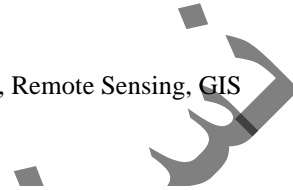
---

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

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



## ارزیابی شدت اثرات زیست‌محیطی سونامی با استفاده از روش شیء‌گرا به کمک

سیستم‌های سنجش از دور در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر *Ishinomaki* ژاپن)

محمد رضا پورصابر<sup>۱\*</sup>، یاسو اریکی<sup>۲</sup>، پدرام امیدیان<sup>۳</sup>، محمد حسین تحریری<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه آموزشی مهندسی سازه و زلزله، دانشکده مهندسی عمران آب و محیط زیست، 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 محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران



**سابقه و هدف:** زلزله‌ها از دیرباز به‌عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از زندگی بشر بوده‌اند. از آنجاکه 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  $M_w=9$ ) 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 هنشو ژاپن وارد شد.

**مواد و روش‌ها:** با توجه به حجم بالای اطلاعاتی که برای مدیریت بحران بلایای طبیعی به‌خصوص در زمینه برنامه‌ریزی یکپارچه توسعه موردنیاز 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 موردبررسی چه حدی از خرابی را داشته است. در این مطالعه، بر اساس نقشه برآورد خسارت که با استفاده

---

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

از پردازش داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای (ماهواره *Geoeye-1*) قبل و بعد از بحران برای این شهر تهیه گردیده است، میزان خسارات وارده به سازه‌ها نظیر ساختمان‌های ذکر شده به‌منظور آلودگی ناشی از آن‌ها در محیط‌زیست و غیر سازه‌های 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 غیر سازه‌ای 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 قابل‌توجه در این مطالعه آن است که به ساختمان‌هایی که در نزدیکی آب قرار داشتند، خسارات 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 سنجش از 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

## مقدمه

یکی از مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی 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 روبرو 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 شمال شرقی توکیو پایتخت ژاپن در عمق ۲۴ کیلومتری آب‌های آزاد اقیانوس آرام به وقوع پیوست. این زلزله موجب خسارات سازه‌ای و زیست‌محیطی فراوانی گردید. سونامی ناشی از این زلزله یکی از بزرگ‌ترین حوادث طبیعی تاریخ بود که در عرض کمتر از یک ساعت پس از زمین‌لرزه، امواج سونامی به سواحل شرقی

ژاپن برخورد نمود. برای پی بردن به بزرگی این پدیده می توان 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 خسارات 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 روحی و روانی مردم بی‌پناه در مرحله امداد رسانی و نیز کاستن ضایعات ثانویه کمک نماید. متأسفانه در جوامع مختلف بشری که در معرض خطر چنین بلایای طبیعی هستند، مردم در حال توسعه زیرساخت‌ها و سازه‌هایی هستند که ظاهراً بدون ارزیابی آسیب‌پذیری از تأثیر مخاطرات طبیعی است. بنابراین، بهبود درک ما از ویژگی‌های آسیب‌سازها ضروری است. کاهش خسارات ناشی از وقوع بلایای طبیعی تنها با استفاده از اطلاعات دقیق و قابل‌اعتماد از طریق پایگاه‌های داده معتبر موفقیت‌آمیز خواهد بود (Cardona et al. 2012; Ciurean, Schröter, and Glade 2013; Matsuoka and Yamazaki 2004). آمارها حکایت از این حقیقت دارند که تعداد بحران‌های طبیعی همچنین تعداد افراد آسیب‌دیده و هزینه‌های اقتصادی به طرز شگرفی افزایش داشته (Leelawat, Suppasri, and Imamura 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)\* و GIS<sup>†</sup> 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 بازیابی، 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 زیرساخت‌های یک شهر مانند

---

\* Geographic Information System

† Remote Sensing

ساختمان‌هایی که در آن‌ها جمعیت زیادی قرار دارند، می‌شود. اثربخشی چنین سیستم‌هایی مستلزم آن است که آسیب-پذیری عناصر تحت تأثیر سونامی شناخته‌شده 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. 2018; Ma et al. 2019). از موارد دیگری که باید در مدیریت بحران 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 (Omami 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 این عناصر بازسازی 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 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 بسزایی 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 به کار 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 آرایه‌های 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 در 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 این گونه 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, Caprioli, and Tarantino 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, Mas, and Navarrete 2009). در نتیجه در سال‌های اخیر با پیشرفت فناوری 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 عبارت‌اند 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 این گونه 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 2009; Zhaocong, Lina, and Maoyun 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\*) شامل بافت و شکل را به عنوان عاملی به منظور 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

---

\* Digital Elevation Model

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 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. منطقه بندی 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 به کار 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 می‌گردد. سنجش از راه دور برای نقشه‌برداری از وضعیت جدید رخداده 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 بازیابی (توان‌بخشی) مورد استفاده قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

### روش‌شناسی

با توجه به حجم اطلاعات زیادی که به‌منظور مدیریت بحران صحیح بلایای طبیعی به‌خصوص در زمینه برنامه‌ریزی یکپارچه توسعه موردنیاز 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 موردبررسی چه حدی از خرابی را داشته است. سپس باید کل گزارش‌های دریافتی در یک پوشه جمع‌بندی گردد تا مناطق موردنیاز 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 موردنیاز جهت مدیریت بحران را می‌توان به ۴ 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.

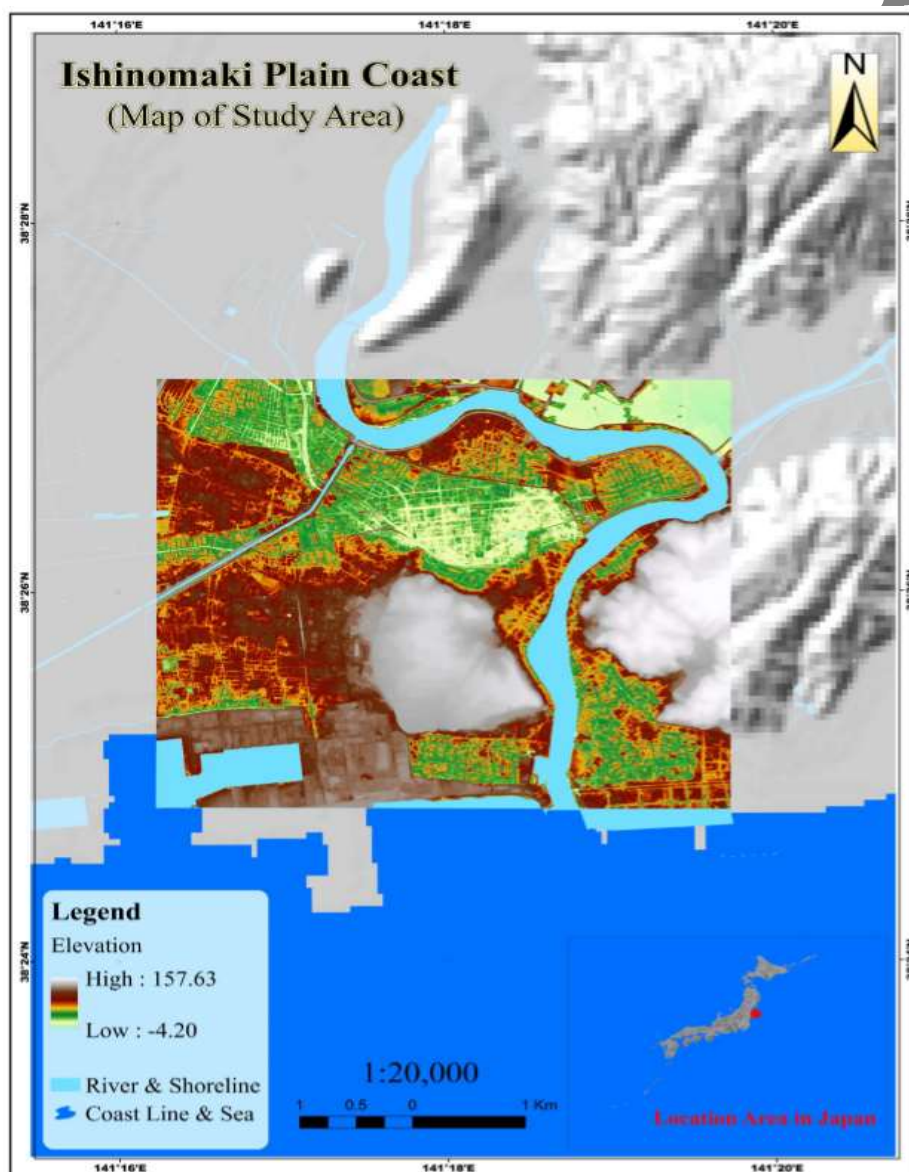
ب) داده‌های مرتبط با بلایای طبیعی (مانند زمین‌لغزش‌ها، سیل‌ها، زلزله‌ها)، موقعیت محلی، بسامد رخ داد (فرکانس و پریود)، شدت و غیره.

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 موردنیاز 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 موردنیاز 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 موردبررسی بستگی خواهد داشت. در این پژوهش، طبقه‌بندی خسارات در چندین رده موردبررسی قرار می‌گیرد که در ادامه به‌طور مفصل بررسی می‌گردد.

در این مطالعه، از داده‌های سنجش از دور دریافت شده از ماهواره *GeoEye-1* که یک ماهواره نوری با وضوح بسیار بالا است 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 به‌دست‌آمده 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)

### طبقه‌بندی خسارات

بر اساس گزارش‌های تیم‌های نقشه‌برداری *MLIT*، سطوح خرابی وارده در شهر *Ishinomaki* در اثر سونامی در ۷ طبقه دسته‌بندی شده است: (۱) بدون آسیب، (۲) آسیب کم (بیشتر آسیب‌های وارده به ساختمان به دلیل ورود آب در اثر سونامی بین زمین و طبقه اول حدود ۰ تا ۰.۲۵٪)، (۳) آسیب نسبتاً کم (آسیب وارده حدود ۲۵ تا ۵۰٪ و آب بین زمین و طبقه اول)، (۴) آسیب متوسط\* (حدود ۵۰ تا ۷۵٪)، (۵) آسیب نسبتاً زیاد (آب تا بالاتر از طبقه اول وارد شده و سازه کاملاً تخریب شده آسیب وارده بین ۷۵ تا ۱۰۰٪)، (۶) تخریب کامل (آسیب ۱۰۰٪) و (۷) ساختمان به کلی شسته (محوشده) شده است. نمونه‌ای از داده‌های تهیه‌شده 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.

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

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 هرچه 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.

\* Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (www.mlit.go.jp)

† No damage

‡ Low damage

§ Slightly damage

\*\* Moderate

†† High damage

‡‡ Collapse

§§ Washed away

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 جلوگیری کننده از خسارات ناشی از رودخانه و غیر سازه‌ای 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 ۳ نوع کاربری مختلف مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که شامل: (۱) فضای سبز و محیط زیستی\*، (۲) ساختمان جنگلداری، شیلات و کشاورزی<sup>‡</sup>، (۳) تأسیسات جلوگیری کننده از خسارات ناشی از بالآمدگی آب رودخانه<sup>§</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 بکار 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>§</sup>) به منظور تولید نقشه خطر استفاده گردیده است (Poursaber and Ariki 2016). در شکل ۲ نقشه خطر نشان داده شده است. نتایج به دست آمده از تیم‌های نقشه‌برداری توسط MLIT با داده‌های تولید شده توسط نرم‌افزار Arc GIS (جدول ۱) به منظور صحت‌سنجی روش پیشنهادی، مقایسه شده‌اند.

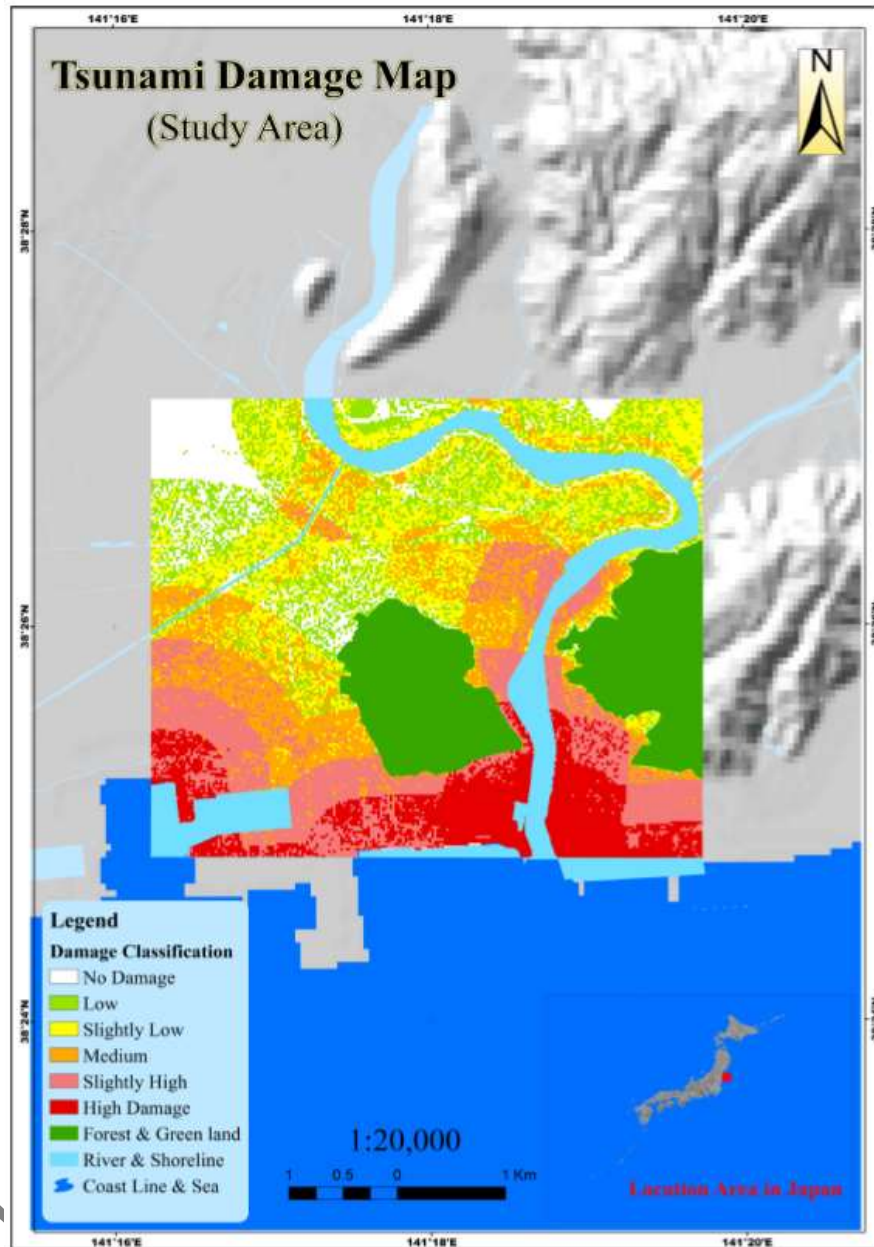
---

\* Greenfield

† Facilities for Agriculture, Forest, Fishery

‡ Damage of disaster prevention facility (River)

§ Normalized difference vegetation index



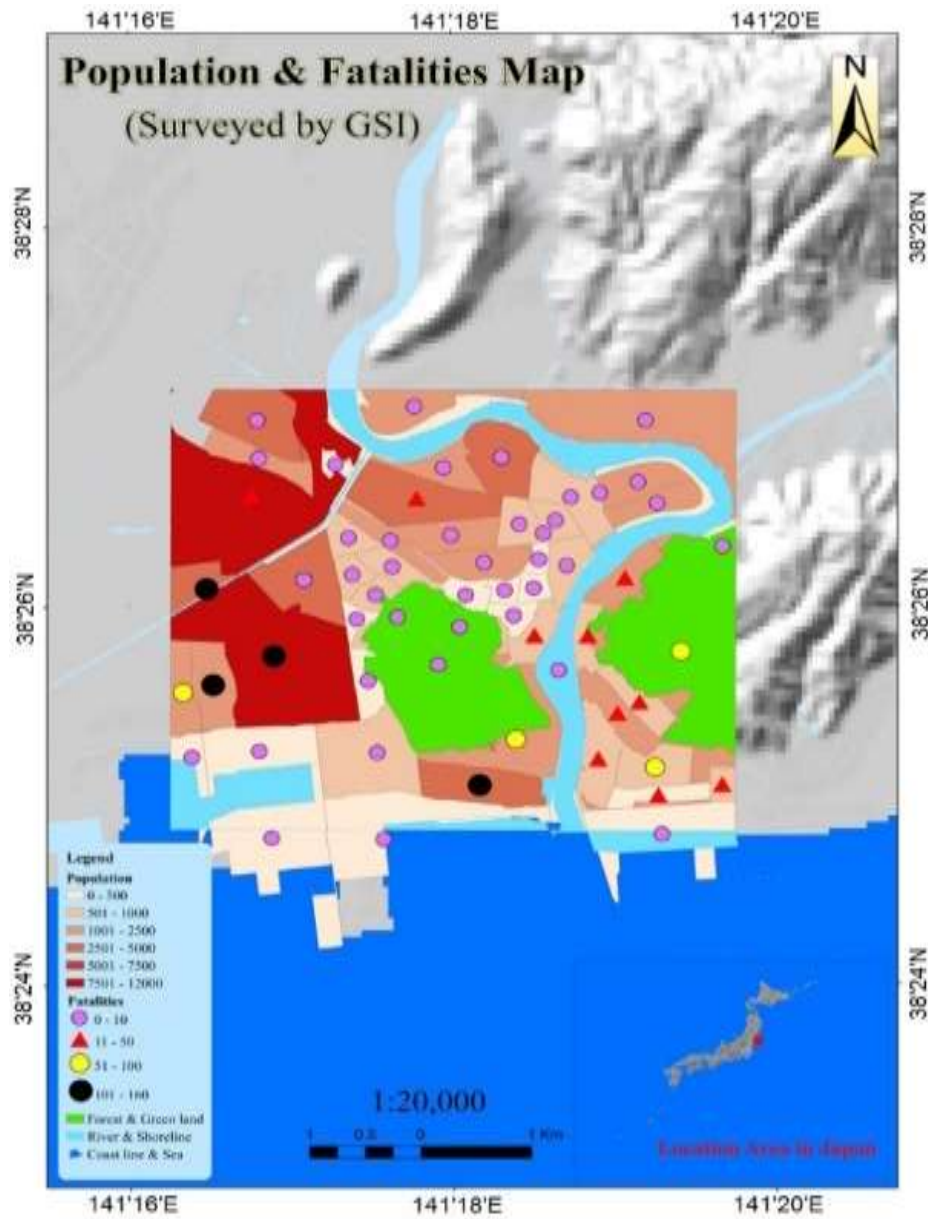
شکل ۲- نقشه برآورد خسارات و آسیب پذیری تولیدشده برای Ishinomaki (Poursaber and Ariki 2016)

Fig.2 - Damage map for Ishinomaki (Poursaber and Ariki 2016)

## نتایج و بحث

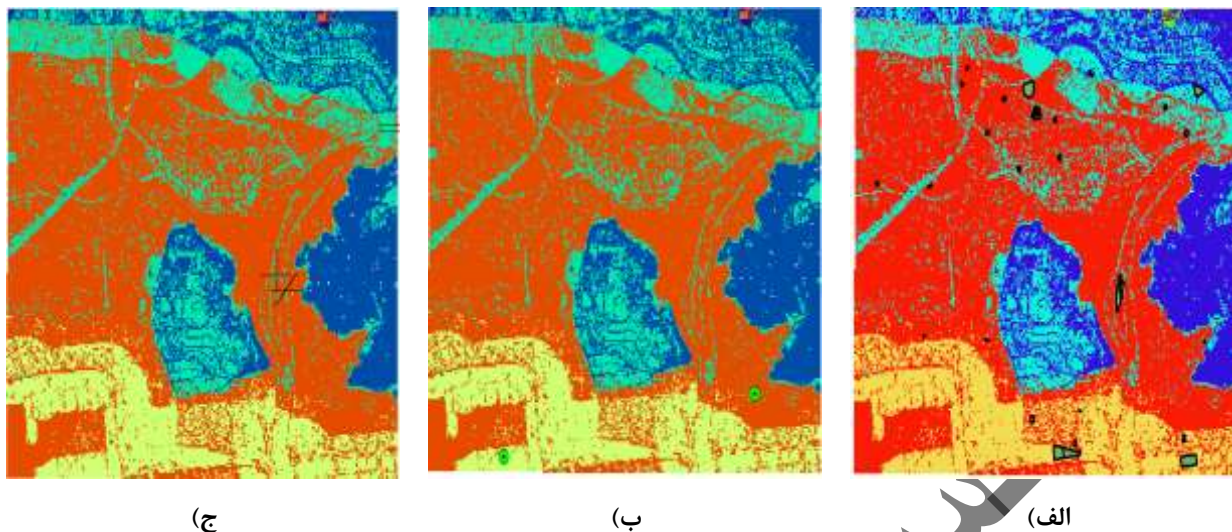
به منظور برآورد تلفات، مجروحین و همچنین کمک به فرآیند امداد رسانی و تخلیه، نیاز به نقشه جمعیت و نقشه خطر می باشد. در مورد ساحل شهر *Ishinomaki* توزیع جمعیت و تلفات ناشی از سونامی بزرگ ژاپن سال ۲۰۱۱ با توجه به

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



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 خسارات 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)**

با توجه به نقشه برآورد خسارات 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 درآمده است. چنین نقشه‌ای کمک خواهد نمود تا عملیات نجات متمرکز شده و مناطق مطلوب برای پیاده‌سازی آن پیدا شود. شکل ۴ توزیع ساختمان‌های مورد 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 خسارات 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 غیر سازه‌ای تقسیم شده است.

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**

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

\* در جدول، N بیانگر اجزای غیر سازه‌ای، S اجزای سازه‌ای، G ساختمان‌های فضای سبز و محیط زیستی، F ساختمان جنگلداری، شیلات و کشاورزی، D تأسیسات جلوگیری کننده از خسارات ناشی از بالا آمدگی آب رودخانه، C ساختمان کاملاً تخریب شده، H ساختمان با آسیب نسبتاً زیاد و W ساختمان به کلی شسته شده (محوشده) می‌باشد.

\* In the table, N indicates for Non-Structural, S for Structural, G for Greenfield, F for facilities 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 به دست آمده است.

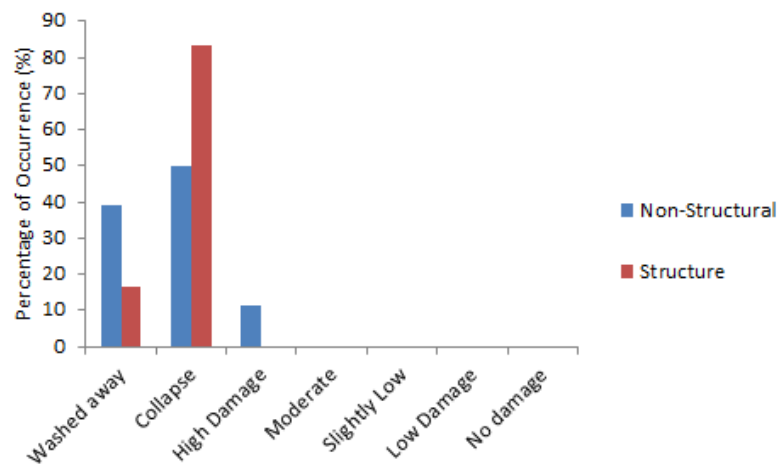
**Table.2 - Damage building characteristics conducted by MLIT and GIS damage map produced in Ishinomaki city plain coast**

ردیف	نوع ساختمان	نوع سازه	طبقه‌بندی خسارت توسط MLIT	طبقه‌بندی خسارت بر اساس نقشه آسیب (تولید شده)
.No	Building Type	Type of Structure	Damage classification MLIT by	based on Damage classification (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 غیر سازه‌ای، S اجزای سازه‌ای، G ساختمان‌های فضای سبز و محیط زیستی، F ساختمان جنگلداری، شیلات و کشاورزی، D تأسیسات جلوگیری کننده از خسارات ناشی از بالآمدگی آب رودخانه، C ساختمان کاملاً تخریب شده، H ساختمان با آسیب نسبتاً زیاد و W ساختمان به کلی شسته شده (محوشده) می‌باشد.

\* In the table, N indicates for Non-Structural, S for Structural, G for Greenfield, F for facilities 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 سازه‌های و غیر سازه‌های 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 خسارات تأسیسات جلوگیری کننده از خسارات محیط زیستی 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 خسارات شدیدی شده‌اند. در شکل ۵ نحوه توزیع دسته‌بندی هفت‌گانه برای دو نوع سازه‌های و غیر سازه نشان داده است.



شکل ۵- نحوه توزیع سطوح خرابی بر اساس نوع سیستم سازه‌ای

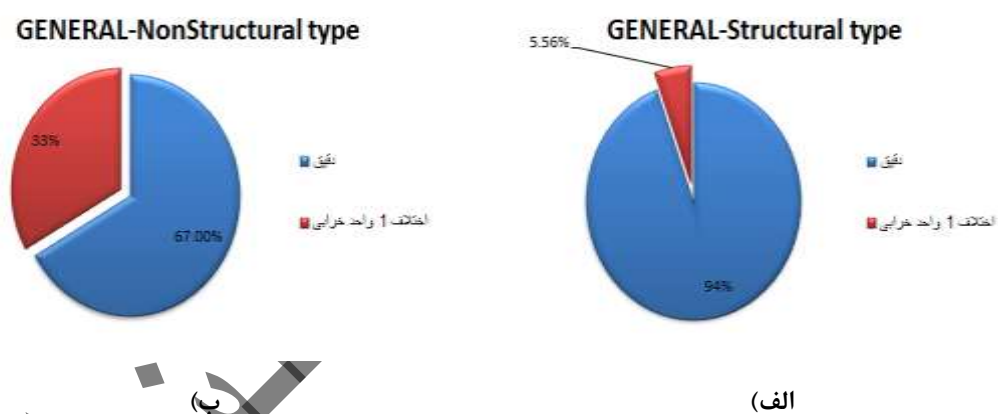
Fig.5 - Distribution of damage levels based on the type of structural system

به‌منظور بررسی صحت سنجی روش انجام‌شده در این پژوهش، داده‌های بازدید میدانی حاصل از گزارش *MLIT* به‌عنوان مرجع انتخاب می‌گردد و نتایج حاصل از نقشه برآورد خسارات و آسیب‌پذیری و همچنین *GIS* با آن مورد 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 غیر سازه‌ای (*Non-Structural*) مکان مورد بحث

ب: سطوح خرابی دارای ۷ نوع طبقه‌بندی از شماره ۱ تا ۷ می‌باشد به طوری که سطح خرابی یک بیانگر سطح بدون آسیب و سطح خرابی هفت نشانگر آن است که مکان مورد نظر خراب و توسط آب شسته شده و اثری از آن باقی نمانده است.

در این بخش اختلاف بین نتایج حاصل از GIS و MLIT به عنوان 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 جلوگیری کننده از خسارات ناشی از رودخانه و غیر سازه‌های مانند فضاهای سبز میزان درصد اختلاف حاصل از GIS و MLIT برای مجموع هفت نوع کاربری یادشده نشان داده است.



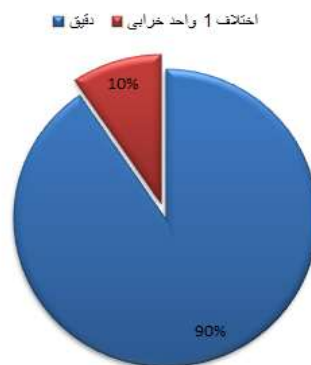
شکل ۶- میزان دقت نتایج و اختلاف حاصل از سنجش از راه دور و نتایج میدانی بر اساس الف) سازه‌های (ب) غیر سازه‌ای

Fig.6 - The accuracy of the results and differences between RS and MLIT based on a)Structural, b)Non-Structural

همان‌گونه که در نمودار فوق مشخص است، بیشترین تطبیق برای نوع غیر سازه‌ای مانند فضاهای سبز با ۹۴٪ میزان دقت و سپس نوع سازه‌ای در حدود ۶۷٪ 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٪ تطبیق یکسانی بین داده‌های حاصل از *GIS* و *MLIT* مشاهده می‌گردد و هیچ‌گونه اختلافی بیش از تنها یک واحد خرابی مشاهده نمی‌گردد و فقط ۱۰٪ از نتایج با ۱ واحد اختلاف محاسبه شده‌اند که آن‌هم مربوط عمدتاً مربوط به نوع سازه‌ای به دلیل نوع طراحی آن می‌باشد.

بر اساس سیستم ( سازه ای و غیر سازه ای)

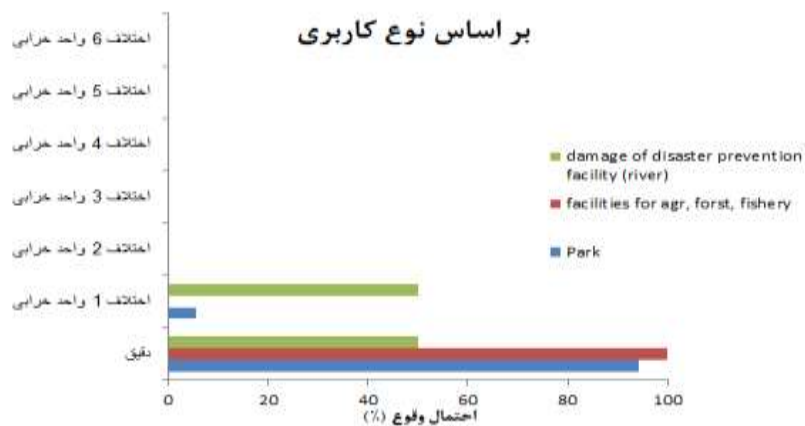


شکل ۷- میزان دقت و اختلاف نتایج حاصل از تحلیل سنجش از راه دور و نتایج میدانی بر اساس سیستم‌های سازه-

های مورد مطالعه

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

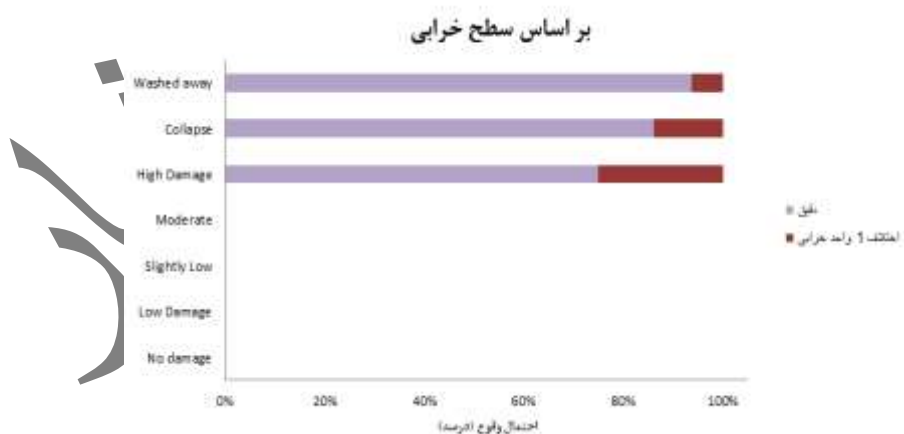
در شکل ۸ به تفکیک نوع کاربری سه‌گانه مورد این پژوهش درصد تطبیق سطوح خرابی حاصل از *GIS* و *MLIT* آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد روش پیشنهادی که بر اساس نوع کاربری ارائه شده است دارای دقت بالایی بوده به‌گونه‌ای که حدود ۹۰٪ نتایج یا به‌طور دقیق محاسبه شده و یا تنها با یک درجه اختلاف نسبت به 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 غیر سازه‌ای و هم بر اساس نوع کاربری به تخمین بسیار مناسبی از شدت وقوع خرابی در منطقه دست‌یافت و از آن به‌منظور مدیریت بحران استفاده نمود. این اختلاف ممکن است به دلیل نقش عوامل دیداری در تخمین و تفسیر خسارات 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.



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

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 بسزایی دارد زیرا که در این مناطق با توجه به وقوع خرابی بیشتر نیاز به امداد رسانی و یا میزان آسیب‌دیدگی محیط زیستی در شرایط بحرانی تری قرار می‌گیرد. در ادامه از همین منظر نتایج حاصل از GIS و MLIT از دیدگاه شدت سطح خرابی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل در شکل ۹ نشان داده است.



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

همان‌گونه که در شکل ۹ مشخص است با افزایش سطح خرابی بر اساس داده‌های میدانی MLIT دقت روش بر اساس GIS نیز بیشتر می‌گردد. به‌عنوان‌مثال برای سطح خرابی High damage نتایج در حدود ۷۵٪ و اختلاف درجه خرابی نتایج حاصل از GIS و MLIT برای یک واحد اختلاف نیز برابر ۲۵٪ می‌باشد. برای Collapse نتایج دقیق‌تر و برابر ۸۶٪ و درنهایت برای سطح خرابی Washed away دقت برابر ۹۴٪ 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 بر پایه GIS می‌باشد تا بتوان از طریق آن در مواقع بروز بلایای طبیعی نظیر سیل و یا سونامی بتوان با کاربرد تصاویر ماهواره‌ای منطقه حادثه‌دیده، بتوان اقدامات لازم جهت کمک‌رسانی، امداد و نجات و مدیریت بحران را در زمان مناسبی پیش‌بینی و اجرا نمود. در همین راستا در این 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 جلوگیری کننده از خسارات ناشی از رودخانه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. مورد اول غیر سازه‌ای 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 منظور بررسی دقت پیشنهادی مکان‌های مذکور در شهر Ishinomaki با استفاده هم‌زمان از داده‌های به‌دست‌آمده 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 غیر سازه‌ای بودن مکان مورد بحث، تأثیر مستقیمی در خرابی حاصله دارد. نیروی امواج سونامی خسارات 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 کلیدی برای به حداقل رساندن خسارات 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 خسارات شدیدی شده بودند. در نتیجه می‌توان برای خرابی نوع این نوع سازه‌ها مهم‌ترین عامل نزدیکی آن‌ها به آب را نام برد. از سوی دیگر فضاهای سبز در کل منطقه پراکنده می‌باشد. باین‌حال به علت عدم مقاومت در برابر سونامی این‌گونه مکان‌ها نیز متحمل خسارات زیادی شده‌اند. همچنین میزان دقت روش استفاده‌شده در این پژوهش بر اساس سازه‌ای و غیر سازه‌ای

مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص گردید با دقتی در حدود ۹۰٪، 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 به دست 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 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.

## References

## منابع

- AON. 2022. "2021 Weather, Climate and Catastrophe Insight." 53.
- Blaschke, Thomas. 2010. "Object Based Image Analysis for Remote Sensing." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65(1):2-16.
- Borri, D., M. Caprioli, and E. Tarantino. 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.
- Bretschneider, Charles L., and Pieter G. Wybro. 1977. "Tsunami Inundation Prediction." Pp. 1006-24 in *Coastal Engineering 1976*.
- 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, and 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.
- Chen, Minjie, Wei Su, Li Li, Chao Zhang, Anzhi Yue, and 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, and 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.
- Cirella, G. T., Elena Semenzin, Andrea Critto, and Antonio Marcomini. 2014. "Natural Hazard Risk Assessment and Management Methodologies Review: Europe." Pp. 329-58 in *Sustainable cities and military installations*. Springer.

- Ciurean, Roxana L., Dagmar Schröter, and 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.
- Cova, Thomas J., and Richard L. Church. 1997. "Modelling Community Evacuation Vulnerability Using GIS." *International Journal of Geographical Information Science* 11(8):763–84.
- Ebrahimian, Hossein, Fatemeh Jalayer, 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.
- Nguchi, Ronald T., Charles K. Huyck, Shubharoop Ghosh, and 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. F. Mas, and A. Navarrete. 2009. "The Improvement of an Object-Oriented Classification Using Multi-Temporal MODIS EVI Satellite Data." *International Journal of Digital Earth* 2(3):219–36.
- 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.
- 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.
- 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.
- Manfré, Luiz A., Eliane Hirata, Janaina 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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*



نسخه پیش انتشار