

Research Paper

An Overview of the Application of Remote Sensing Technologies in Disaster Management (With an Emphasis on Natural Hazards)

*Ehsan Alipouri¹ , Mohammad Hassan Nami² , Mehdi Naderi³ 

1. Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Geography, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Farabi University of Science and Technology, Tehran, Iran.
3. Department of Remote Sensing (GIS), Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.



Citation Alipouri, E., Nami, M. H., & Naderi, M. (2024). [An Overview of the Application of Remote Sensing Technologies in Disaster Management (With an Emphasis on Natural Hazards) (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 13(4), 508-525. <https://doi.org/10.32598/DMKP.13.4.807.1>

 <https://doi.org/10.32598/DMKP.13.4.807.1>



ABSTRACT

Background and objective The increasing occurrence of natural or human-caused hazards is a significant global concern. These hazards often strike unexpectedly and, due to their intensity, frequency, and complexity, can inflict considerable damage on humans and their accomplishments. This article offers an overview of utilizing remote sensing technologies for managing natural hazards. It focuses on enhancing our understanding of the built environment's vulnerability to such hazards and on developing methods to more accurately assess their impact on urban areas.

Method To evaluate the effectiveness of remote sensing technology in risk management, this paper presents several case studies, including the 1999 Marmara earthquake in Turkey, the 2003 Bam earthquake in Iran, and the 2004 Indian Ocean earthquake and tsunami. These studies are based on library research and analysis of results. The paper concludes with a discussion on potential future directions of remote sensing in hazard management, exploring the technological advances and challenges that could broaden its application in addressing future hazards.

Results Analysis of sources indicates that remote sensing technology is highly effective in assessing damage post-disaster, monitoring recovery and reconstruction progress, and enhancing knowledge about urban infrastructure. Establishing a comprehensive and accurate database of critical infrastructure is essential for emergency risk management, as it provides a baseline for estimating actual damage and related losses following an event. Immediate damage assessment after a natural or man-made hazard is crucial for initiating the response process and informing the prioritization of relief efforts and initial damage evaluations. The integration of GPS-based technologies with GIS systems has notably improved field detection efforts after major disasters, underscoring the importance of these technologies in disaster response.

Conclusion Over the past decades, remote sensing technology has seen widespread use in assessing the impact of earthquakes, tsunamis, storms, floods, forest fires, and terrorist attacks. The research findings clearly indicate that remote sensing technology, leveraging satellite imagery with high spatial resolution and widespread availability, can effectively contribute to all facets of crisis management.

Keywords Remote sensing, Hazard response, Damage estimation, Geographic information system (GIS), Crisis management

Article Info:

Received: 17 Jan 2024

Accepted: 20 Dec 2024

Available Online: 01 Jan 2024

*** Corresponding Author:**

Ehsan Alipouri, PhD.

Address: Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Geography, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (936) 3387785

E-mail: ehsan.alipouri@yahoo.com

Extended Abstract

Introduction

Remote sensing yields valuable data for various aspects of hazard management, including early warning systems, damage assessment, and resource allocation. This aids in monitoring and predicting natural hazards, evaluating their impact, and facilitating efficient response and recovery efforts. Often, the adoption of new technologies is driven by the imperative to rapidly gather critical information for disaster management, enabling emergency responders to assess the impact of major disasters more efficiently and monitor recovery and response operations' progress.

Examples of technology implementation during significant disasters, such as Hurricane Andrew in 1992 and the 1994 Northridge earthquake, showcased the potential use of GIS for damage assessment and recovery. Similarly, Hurricane Charley in 2004 demonstrated the effectiveness of GPS-based field navigation technologies in mitigating damage and destruction in a timely manner.

These events underscore the importance of utilizing time-critical information for making crucial decisions during disasters. Remote sensing stands out as a technology with a significant impact on risk management over the past decade. Leveraging high-spatial resolution optical imagery and active sensors like synthetic aperture radar (SAR) and LiDAR, remote sensing technology plays a vital role in quantifying post-disaster damage, monitoring recovery progress, and developing information about urban infrastructure.

One of the main drivers behind this rapid development has been the availability of commercially accessible high spatial resolution satellite imagery, which was previously primarily accessible to government agencies, notably military entities. The impact of this technology on risk management has been remarkably significant. This paper concentrates on assessing the efficacy of remote sensing technologies across all aspects of hazard management, encompassing preparedness, mitigation, response, and recovery.

To illustrate the effectiveness of remote sensing across these four areas, historical cases and recent examples of hazards such as the Marmara Earthquake in Turkey, the Bam Earthquake in Iran, and the Indian Ocean Earthquake and Tsunami have been examined. Additionally,

the paper briefly discusses potential future directions for remote sensing in hazard management, exploring both advancements and challenges in realizing its broader application in future hazards.

Methods

To elucidate the effectiveness of remote sensing technology in risk management, particularly concerning inventory development, damage estimation, and field surveying, this research focuses on the cities of Marmara in Turkey, Bam in Iran, and the Indian Ocean region. These areas experienced extensive damage due to earthquakes in 1999, 2003, and 2004 respectively. The research methodology employed here is library-analytical. By reviewing existing studies and research in the field of risk management and analyzing their findings, the paper elucidates the role of remote sensing across all aspects of crisis management, including preparedness, mitigation, response, and recovery.

Results

This study evaluated and investigated the capability of remote sensing technology, along with satellite imagery, in all aspects of crisis management, including preparedness, mitigation, response, and recovery. Specifically, it focused on inventory development, instantaneous damage estimation, and field diagnosis. Analysis of the results revealed that remote sensing technology demonstrates significant efficiency in assessing damage post-disaster, monitoring post-disaster recovery and reconstruction progress, and gathering information about urban infrastructure. In terms of inventory development, compiling a comprehensive and accurate database of critical infrastructures proves effective in estimating actual damages post-hazard occurrence. Moreover, in the context of mitigation and preparedness, there's an increasing demand for precise inventories of the built environment to conduct vulnerability assessments, estimate repair costs, assess insurer liability, and aid in relief planning. A significant advantage of remote sensing inventories lies in their relatively easy updating, particularly crucial at the city level scale, where satellite imagery provides an overview for planning departments to monitor urban growth, especially regarding damages caused by urban settlements and critical infrastructure like roads, pipelines, and bridges. Immediate damage detection after a hazard, whether natural or man-made, initiates the response process by providing crucial information to prioritize relief efforts, direct first responders to critical locations, and optimize response time and initial damage estimation. The analysis revealed that damage estimation can be approached through direct and indirect methods. In the direct approach, damage is



detected by observing object characteristics or temporal changes, while in the indirect approach, damage is identified through surrogate markers. GPS-based technologies have significantly improved field detection efforts after major disasters. Traditional post-disaster damage assessment methods typically involve manual field surveys, where damage indicators are recorded in spreadsheets along with general damage states. However, the use of GPS-based systems has shown to significantly expedite land mapping data collection processes.

Conclusion

In recent decades, remote sensing technology has seen extensive use in quantifying the impact of earthquakes, tsunamis, hurricanes, floods, forest fires, and terrorist attacks. This research focused on utilizing remote sensing technologies for natural hazard management in Marmara, Turkey; Bam, Iran; and the Indian Ocean, aiming to enhance human understanding of the built environment's vulnerability to such hazards and improve assessment methods for their impact on urban areas. The findings of this research demonstrate that remote sensing technology, leveraging high-resolution satellite imagery, can effectively contribute to all facets of crisis management. It enables the creation of comprehensive databases documenting building existence before and after natural hazards, aiding in the explanation of damages incurred. However, the accessibility of high-resolution satellite images often comes with a cost, posing a limitation on their widespread use in natural hazard management. This financial aspect should be carefully considered by experts and planners in this field.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

There were no ethical considerations to be considered in this research.

Funding

This research did not receive any grant from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Authors' contributions

All authors equally contribute to preparing all parts of the research.

Conflicts of interest

The authors declared no conflicts of interest.



مقاله پژوهشی



مروری بر کاربرد فناوری‌های سنجش از دور در مدیریت بحران (با تأکید بر مخاطرات طبیعی)

احسان علی‌پوری^۱، محمدحسن نامی^۲، مهدی نادری^۳

۱. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه واحد آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. دانشگاه علوم و فنون فارابی، تهران، ایران.

۳. گروه سنجش از دور (GIS)، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online

**Citation** Alipouri, E., Nami, M. H., & Naderi, M. (2024). [An Overview of the Application of Remote Sensing Technologies in Disaster Management (With an Emphasis on Natural Hazards) (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 13(4), 508-525. <https://doi.org/10.32598/DMKP.13.4.807.1> <https://doi.org/10.32598/DMKP.13.4.807.1>

زمینه و هدف: امروزه، وقوع مخاطرات با منشأ طبیعی یا انسانی به موضوعی نگران‌کننده در سراسر جهان تبدیل شده است. مخاطرات عمدتاً بدون هشدار رخ می‌دهند و با توجه به شدت، فراوانی و پیچیدگی ممکن است خسارات زیادی برای انسان و دستاوردهای آن به همراه داشته باشند. مقاله حاضر، مروری بر چگونگی استفاده از فناوری‌های سنجش از دور در مدیریت مخاطرات طبیعی ارائه می‌دهد و بر روش‌هایی برای بهبود درک انسان از محیط ساخته‌شده و آسیب‌پذیری آن در برابر مخاطرات طبیعی و همچنین روش‌هایی برای ارزیابی بهتر تأثیر مخاطرات طبیعی بر مناطق شهری متمرکز شده است.

رویشه: به‌منظور بررسی کارایی فناوری سنجش از دور در مدیریت مخاطرات، تعدادی از مطالعات موردی مانند زلزله مرمره ترکیه در سال ۱۹۹۹، زلزله بم در سال ۲۰۰۳ و زلزله و سونامی اقیانوس هند در سال ۲۰۰۴ مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و تحلیل نتایج ارائه شده است. در نهایت، این مقاله بحث مختصری درباره جهت‌گیری‌های احتمالی آینده سنجش از دور را در مدیریت مخاطرات ارائه می‌دهد تا پیشرفت‌ها و چالش‌های این فناوری در تحقق کاربرد گسترده‌تر آن در مخاطرات آینده بررسی شود.

یافته‌ها: تجزیه و تحلیل منابع نشان دادند فناوری سنجش از دور، کارایی قابل‌توجهی را در تعیین مقدار خسارت پس از فاجعه، نظارت بر پیشرفت بازسازی و بازسازی پس از فاجعه و توسعه اطلاعات در خصوص زیرساخت‌های شهری آشکار می‌کند. گردآوری یک پایگاه داده جامع و دقیق از زیرساخت‌های حیاتی موجود در مدیریت مخاطرات اضطراری است؛ زیرا یک خط‌پایه برای برآورد میزان واقعی خسارت و تلفات مربوطه پس از وقوع یک رویداد تعیین می‌کند. برآورد خسارت آبی پس از وقوع یک مخاطره طبیعی یا انسانی، فرایند واکنش را آغاز می‌کند و اطلاعاتی در خصوص اولویت‌بندی تلاش‌های امدادی و خسارت اولیه فراهم می‌کند. فناوری‌های مبتنی بر سامانه موقعیت‌یابی جهانی یکی از دلایلی بود که باعث شد تلاش‌های تشخیص میدانی پس از مخاطرات بزرگ به‌طور قابل‌توجهی بهبود یابد. این قابلیت، زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی ادغام شود.

نتیجه‌گیری: در دهه‌های گذشته، فناوری سنجش از دور به‌طور گسترده‌ای برای توضیح میزان تأثیرات ناشی از زلزله، سونامی، طوفان، سیل، آتش‌سوزی جنگلی و حملات تروریستی استفاده شده است. بر اساس یافته‌های تحقیق، نمایان است که به دلیل وجود تصاویر ماهواره‌ای با وضوح مکانی بالا و همچنین در دسترس بودن آن‌ها، فناوری سنجش از دور می‌تواند در تمام جنبه‌های مدیریت بحران مؤثر باشد.

کلیدواژه‌ها: سنجش از دور، پاسخ به مخاطرات، برآورد خسارت، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدیریت بحران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۲۷ دی ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۲۹ آذر ۱۴۰۲

تاریخ انتشار: ۱۱ دی ۱۴۰۲

* نویسنده مسئول:

دکتر احسان علی‌پوری

نشانی: تهران، دانشگاه واحد آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده جغرافیا، گروه جغرافیا.

تلفن: ۳۳۸۷۷۸۵ (۹۳۶) +۹۸

رایانامه: ehsan.alipoori@yahoo.com



مقدمه

اطلاعات در مورد زیرساخت‌های شهری نشان داده‌اند.

یکی از دلایل اصلی این پیشرفت سریع، وجود تصاویر ماهواره‌ای با وضوح مکانی بالا و تجاری در دسترس عموم بوده؛ جایی که این داده‌ها در گذشته عمدتاً برای سازمان‌های دولتی (عمدتاً نظامی) در دسترس بوده‌اند. تأثیر این فناوری در حوزه مدیریت مخاطرات بسیار محسوس بوده است. این مقاله بر کارایی فناوری‌های سنجش از دور در تمام جنبه‌های مدیریت مخاطره؛ یعنی آمادگی، کاهش، پاسخ و بازیابی تمرکز دارد. به منظور نشان دادن کارایی سنجش از دور در این ۴ حوزه، تاریخچه موارد و نمونه‌هایی از مخاطرات اخیر، از جمله زلزله مرمره^۷ ترکیه، زلزله بم ایران و زلزله و سونامی اقیانوس هند بحث شده است. در نهایت، این مقاله بحث مختصری درباره جهت‌گیری‌های احتمالی آینده سنجش از دور در مدیریت مخاطرات را ارائه می‌دهد تا پیشرفت‌ها و چالش‌های این فناوری در تحقق کاربرد گسترده‌تر آن در مخاطرات آینده بررسی شود.

روش

برای تبیین کارایی فناوری سنجش از دور در خصوص مدیریت مخاطرات، به‌ویژه در بحث توسعه موجودی، برآورد خسارت و پیمایش میدانی، محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر، شهرهای مرمره ترکیه، بم ایران و همچنین اقیانوس هند است؛ جایی که مخاطره زلزله به‌ترتیب در سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ منجر به خسارات گسترده در این مناطق شده است. روش انجام این پژوهش، کتابخانه‌ای تحلیلی است. در واقع، پس از بررسی مطالعات و پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه مدیریت مخاطرات و تحلیل نتایج آن‌ها، نسبت به تبیین نقش سنجش از دور در تمام جنبه‌های مدیریت بحران از قبیل آمادگی، کاهش، پاسخ و بازیابی اقدام شد. در نهایت، این مقاله بحث مختصری در مورد جهت‌گیری‌های احتمالی آینده سنجش از دور در مدیریت مخاطرات را ارائه می‌دهد تا پیشرفت‌ها و چالش‌های این فناوری در مخاطرات آینده بررسی شود.

توسعه موجودی^۸

گردآوری یک پایگاه داده جامع و دقیق از زیرساخت‌های حیاتی موجود در مدیریت مخاطرات اضطراری است؛ زیرا مبنایی برای شبیه‌سازی اثرات احتمالی از طریق تست سناریو فراهم می‌کند و یک خط‌پایه برای برآورد میزان واقعی خسارت و تلفات مربوطه پس از وقوع یک رویداد تعیین می‌کند. در زمینه کاهش و آمادگی، تقاضا برای موجودی دقیق محیط ساخته‌شده به منظور انجام ارزیابی آسیب‌پذیری، تخمین زیان از نظر هزینه‌های تعمیر (اگوچی و همکاران، ۲۰۰۰ الف)، ارزیابی مسئولیت بیمه‌گران و

سنجش از دور، داده‌های ارزشمندی برای جنبه‌های مختلف مدیریت مخاطرات، از جمله سیستم‌های هشدار اولیه، ارزیابی خسارت و تخصیص منابع فراهم می‌کند. این امر به نظارت و پیش‌بینی مخاطرات طبیعی، ارزیابی تأثیر مخاطرات طبیعی، تسهیل واکنش مؤثر و تلاش‌های بازیابی کمک می‌کند. در بسیاری از موارد، مخاطرات به‌عنوان عاملی در پذیرش فناوری‌های جدید و نوظهور عمل می‌کنند. فناوری‌های نوظهور که به‌دلیل نیاز به جمع‌آوری سریع اطلاعات حیاتی برای مدیریت مخاطرات ایجاد شده‌اند، اغلب به پاسخ‌دهندگان اضطراری کمک می‌کنند تا تأثیر مخاطرات بزرگ را کارآمدتر و سریع‌تر ارزیابی کنند و پیشرفت در عملیات بازیابی و پاسخ را نظارت کنند.

نمونه‌هایی از مواردی که پیاده‌سازی فناوری هنگام وقوع یک مخاطره بزرگ انجام شده، عبارت‌اند از: طوفان اندرو در سال ۱۹۹۲؛ جایی که خسارت سریع و کمبود ابزارهای ارزیابی موقعیت مانع از استقرار منابع فدرال شد تا به نیاز به روش‌های برآورد خسارت آنی توجه شود. زمین‌لرزه نورتریج^۱ در سال ۱۹۹۴ که در آن سیستم اطلاعات جغرافیایی^۲ در طول دوره‌های واکنش اولیه و بازیابی با ارائه اطلاعات بصری و مکانی مهم در مورد عملیات حیاتی در مرکز توجه قرار گرفت. حملات مرکز تجارت جهانی که استفاده بالقوه از فناوری‌های سنجش از دور را برای ارزیابی خسارت و بازیابی نشان داد. طوفان چارلی^۳ در سال ۲۰۰۴ که در آن استقرار فناوری‌های پیمایش میدانی مبتنی بر سامانه موقعیت‌یاب جهانی^۴ کمک کرد تا خسارت و تخریب این فاجعه به‌موقع متوقف شود تا محققان بتوانند اثرات خطرات باد قابل توجه را به شیوه‌ای جامع‌تر و کامل‌تر بررسی کنند.

همه این رویدادها بر لزوم استفاده از اطلاعات مهم زمانی در اتخاذ تصمیم‌های حیاتی توسط کاربران در طول فاجعه تأکید می‌کنند. یکی از فناوری‌هایی که بر مدیریت مخاطرات تأثیر زیادی داشته، سنجش از دور است. در دهه گذشته، این فناوری به‌طور گسترده برای توضیح میزان تأثیرات ناشی از زلزله، سونامی، طوفان، سیل، آتش‌سوزی جنگلی و حملات تروریستی استفاده شده است. از طریق تصاویر نوری با وضوح مکانی بالا و سنجنده‌های فعال مانند رادار با روزنه مجازی که تحت عنوان «سار»^۵ شناخته شده است و همچنین «لیدار»^۶، فناوری سنجش از دور کارایی قابل توجهی در تعیین مقدار خسارت پس از فاجعه، نظارت بر پیشرفت بازیابی و بازسازی پس از فاجعه و توسعه

1. Northridge
2. Geographic Information System (GIS)
3. Charley
4. Global Positioning System (GPS)
5. Synthetic Aperture Radar (SAR)
6. Light Detection and Ranging (LiDAR)

7. Marmara

8. Inventory Development



مدل رقومی سطح زمین نشان‌دهنده عوارض طبیعی و انسان‌ساخت سطح زمین مانند ساختمان‌ها و درختان است. مدل رقومی زمین صرفاً توپوگرافی است و یک نمایش آماری از سطح پیوسته‌ای از زمین به وسیله تعداد زیادی از نقاط با مختصات x ، y و z معلوم در سیستم مختصات دلخواه را ارائه می‌دهد و از طریق دنباله‌ای از فیلترها به دست می‌آید.

همان‌طور که در تصویر شماره ۱ ب، نشان داده شده، ارتفاع ساختمان به‌عنوان بیشینه محلی در فوت‌پرینت^{۱۵} مشخص شده در عکسبرداری هوایی با وضوح مکانی بالا ثبت می‌شود. سپس ارتفاع‌ها با استفاده از یک ضریب تبدیل که با نرم‌افزار برآورد خسارت استاندارد مطابقت دارد، محاسبه می‌شود. مترای مربع سطح زمین نیز بر اساس هر ساختمان، به‌عنوان مساحت فوت‌پرینت در واحد پیکسل ثبت می‌شود.

با استفاده از یک ضریب مقیاس بر اساس وضوح تصویر، این مقدار به مترای مربع یک طبقه تبدیل می‌شود. در نهایت، از حاصل ضرب تعداد طبقات و مساحت سطح زمین، کل مترمربع برای هر سازه محاسبه می‌شود. کارایی این روش برای مناطق مطالعه‌شده در لس‌آنجلس^{۱۶} آزمایش شده است؛ جایی که مقادیر ارتفاع و مترای ساختمان با داده‌های ارزیابی مالیاتی مشتق شده مستقل مطابقت دارد (اگوچی و همکاران، ۲۰۰۰ الف).

مزیت قابل توجه موجودی‌های برگرفته از سنجش از دور، سهولت نسبی به‌روزرسانی آن‌هاست. این امر، به‌ویژه در مقیاس سطح شهر مهم است؛ جایی که نمای کلی ارائه‌شده توسط تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند توسط بخش‌های برنامه‌ریزی برای پایش رشد شهری استفاده شود (اگوچی و همکاران، ۲۰۰۰ ب).

طبقه‌بندی تصاویر به پوشش گیاهی، بتن و ساختمان‌ها یک کار ساده است که به راحتی با استفاده از تصاویر چندزمانه انجام می‌شود. میزان رشد شهری بر اساس تغییر بین صحنه‌ها تشخیص داده می‌شود. علاوه بر روش‌های تداخل‌سنجی رادار با روزنه مجازی، تکنیک‌های جدید توسعه موجودی ساختمان از طریق استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نوری با وضوح مکانی بالا توسعه یافته‌اند.

تحقیقات در دانشگاه استنفورد بر توسعه رویکردی برای به دست آوردن سریع اطلاعات مکانی و ساختاری از تصویر ماهواره‌ای با وضوح مکانی بالا با استفاده از مدل توابع چندجمله‌ای کسری^{۱۷} به‌عنوان مدل جایگزینی دوربین متمرکز شده‌اند (سارابندی و همکاران، ۲۰۰۵؛ چونگ و سارابندی، ۲۰۰۶) اطلاعات هندسی که جهت سنسور را تعریف می‌کند، به‌همراه مدل توابع

همچنین اهداف برنامه‌ریزی امداد در حال افزایش است (سینها و گوپال، ۲۰۰۱). در مناطق کمتر توسعه‌یافته جهان، موجودی‌ها اغلب حداقل است. کمیسیون ماهواره‌های مشاهده زمین^{۱۸} در سال ۲۰۰۱ برنامه‌ای برای گردآوری سوابق جامع از سکونتگاه‌های شهری که ممکن است در صورت وقوع زلزله متأثر شوند، مستند می‌کند تا از تکرار زلزله ۱۹۹۸ افغانستان جلوگیری شود؛ زمانی که به دلیل در دسترس نبودن نقشه‌ها یا تصاویر ساده، نیروهای امدادی مشکلات دشواری مانند مکان‌یابی روستاهای آسیب‌دیده را تجربه کردند.

اگرچه موقعیت مراکز شهری به‌طور کلی برای کشورهای توسعه‌یافته به‌خوبی مستند شده، اما علاقه به روش‌های دقیق کم‌هزینه برای توصیف محیط ساخته‌شده با جزئیات بیشتر در حال افزایش است. موجودی‌های ساختمان، ورودی اولیه مدل‌های برآورد خسارت مانند برنامه FEMA HAZUS[®]MH و سیستم EPEDAT^{۱۹} (ابزار ارزیابی خسارت اولیه پس از زلزله) کالیفرنیا (دفتر خدمات اضطراری فرمانداری) هستند. این برنامه‌ها به عنوان ابزار برنامه‌ریزی قبل از یک رویداد و ابزار پاسخ پس از وقوع یک رویداد استفاده می‌شوند. از جمله پارامترهای این مدل‌ها عبارت‌اند از: ارتفاع ساختمان، مترای مربع^{۱۱} و نوع سازه استفاده‌شده.

در مقیاس وسیع، دقت تخمین خسارت تا حد زیادی به کیفیت داده‌های ورودی بستگی دارد. مجموعه داده‌های پیش‌فرض اغلب بر اساس روندهای منطقه‌ای است، نه داده‌های محلی. تحقیقاتی که در مرکز چندرشته‌ای تحقیقات مهندسی زلزله^{۱۱} انجام می‌شود، نشان می‌دهد که داده‌های سنجش از دور فهرستی دقیق از ارتفاع و مترای مربع را ارائه می‌دهند که از طریق تکمیل مجموعه داده‌های موجود، ممکن است به تخمین‌های دقیق‌تر خسارات منجر شود.

تصویر شماره ۱، روشی را نشان می‌دهد که در آن اطلاعات ارتفاع ساختمان و مترای مربع با ترکیب تداخل‌سنجی رادار با روزنه مجازی و تصاویر نوری استخراج شده است (اگوچی و همکاران، ۲۰۰۰ الف). تصویر شماره ۱ الف، استخراج ارتفاع ساختمان‌ها را بر اساس یک مدل رقومی سطح زمین نرمال شده^{۱۲} نشان می‌دهد. مبتنی بر روش توسعه‌یافته توسط (هایک و همکاران، ۲۰۰۲)، این مدل رقومی سطح زمین نرمال شده از تفاضل مدل رقومی سطح زمین برگرفته از تصاویر رادار با روزنه مجازی و مدل رقومی زمین^{۱۴} به دست می‌آید.

9. Committee on Earth Observation Satellites (CEOS)

10. Early Post-Earthquake Damage Assessment Tool

11. Square Footage

12. Multidisciplinary and Multi-Hazard Earthquake Engineering Research Center (MCEER)

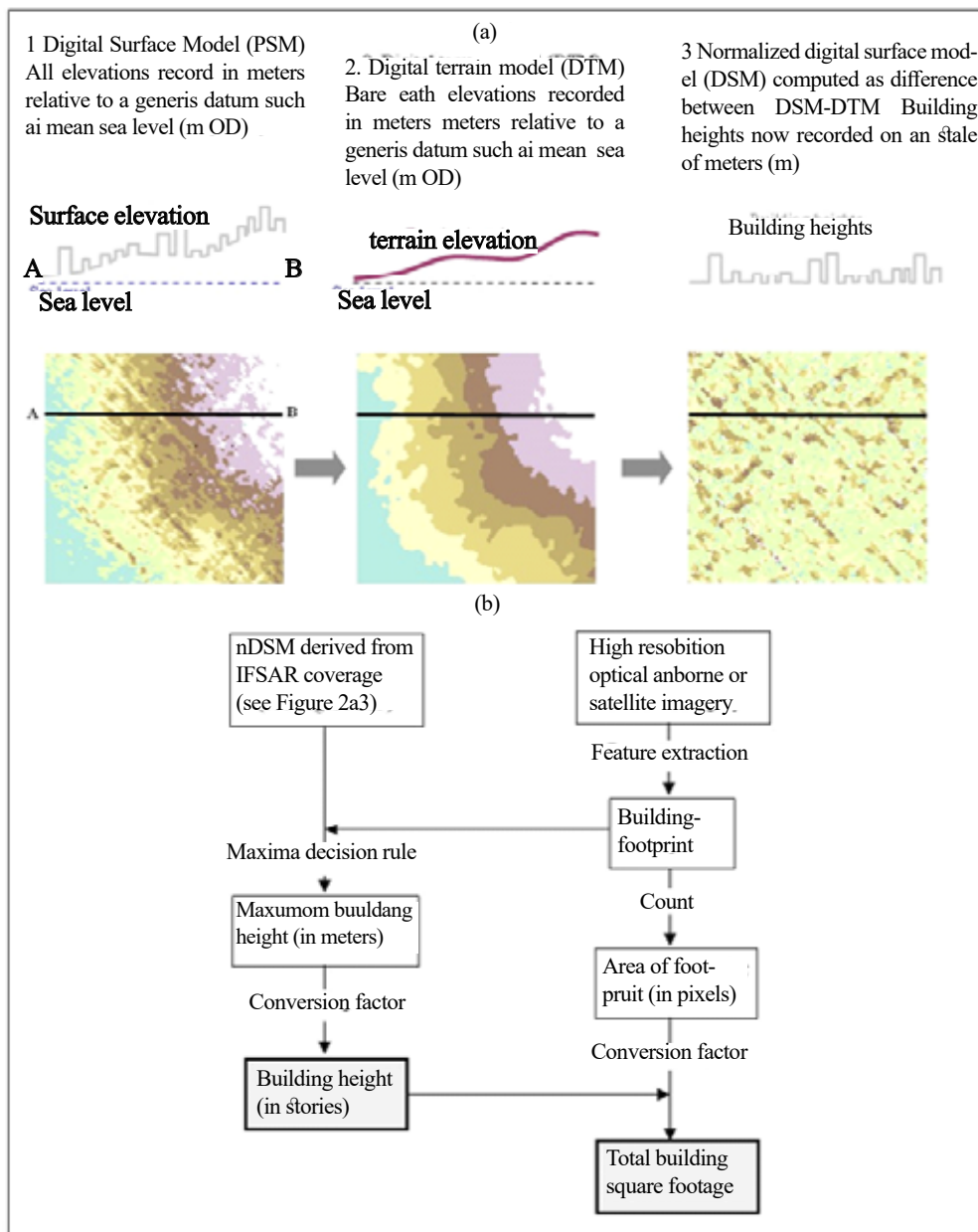
13. Normalized Digital Surface Model (nDSM)

14. Digital Terrain Model (DTM)

15. Footprint

16. Los Angeles

17. Rational Polynomial Coefficients (RPC)



تصویر ۱. روشی برای به دست آوردن داده‌های موجودی ساختمان با استفاده از سنجش از دور. الف) استخراج یک مدل رقومی سطح زمین نرمال شده از طریق تداخل سنجی رادار با روزه مجازی به عنوان مبنایی برای اندازه‌گیری ارتفاع ساختمان. ب) مراحل پردازش مربوط به محاسبه ارتفاع ساختمان (بر حسب طبقه) و متر از (در کل متر مربع) (آدامز و هایک، ۲۰۰۶)

تصویر فضا^{۱۹} و شی فضا^{۲۰} همراه با جهت سنسور استخراج شده است. تصویر شماره ۲، یک مدل ۳ بعدی از لانگ بیچ^{۲۱}، کالیفرنیا را نشان می‌دهد که با استفاده از الگوریتم استخراج ارتفاع تک تصویر^{۲۲} توسعه یافته است.

چند جمله‌ای کسری برای تولید یک مدل رقومی ارتفاعی^{۱۸} دقیق استفاده می‌شود.

روش ارائه شده توسط (سارابندی و همکاران، ۲۰۰۵) نشان می‌دهد چگونه مکان و ارتفاع هر یک از سازه‌های منطقه با اندازه‌گیری مختصات تصویر برای گوشه یک ساختمان در سطح زمین و مختصات نقطه سقف متناظر آن با استفاده از رابطه بین

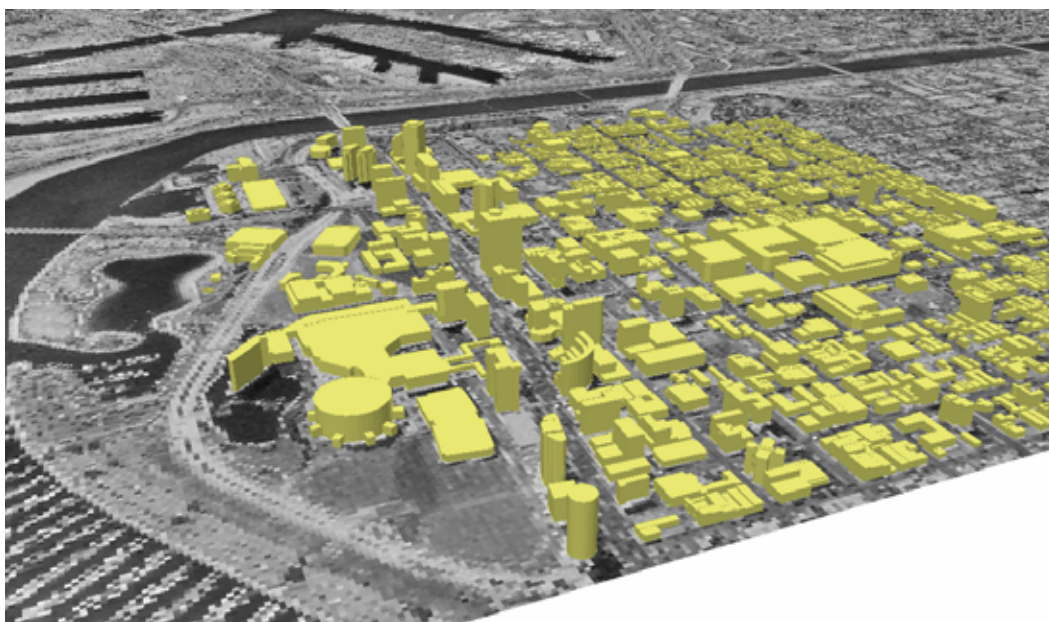
19. Image-Space

20. Object-Space

21. Long Beach

22. Mono-Image Height Extraction Algorithm (MIHEA)

18. Digital Elevation Model (DEM)



تصویر ۲. مدل ۳ بعدی موجودی ساختمان لانگ بیچ، کالیفرنیا (چونگ و سارابندی، ۲۰۰۶)

برآورد خسارت

تشخیص خسارت آنی^{۳۳} پس از وقوع یک مخاطره طبیعی یا انسانی، فرایند واکنش را آغاز می‌کند و اطلاعات مورد نیاز برای موارد زیر را فراهم می‌کند:

- اولویت‌بندی تلاش‌های امدادی

- اولین پاسخ‌دهندگان را به مکان‌های حیاتی هدایت کرده و در نتیجه زمان پاسخ را بهینه می‌کند (سینها و گوپال، ۲۰۰۱).

- خسارت اولیه را برآورد می‌کند (اگوچی و همکاران، ۲۰۰۰؛ ترالی، ۲۰۰۰)

- تعیین این که آیا این وضعیت مستلزم کمک ملی یا بین‌المللی است.

خسارات ناشی از سکونتگاه‌های شهری همراه با زیرساخت‌های حیاتی مانند جاده‌ها، خطوط لوله و پل‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این بخش، روش‌های توسعه‌یافته تشخیص خسارت از طریق سنجش از دور برای پل‌ها و ساختمان‌های بزرگراه مبتنی بر تحقیقات انجام‌شده پس از زلزله‌های اخیر و تجربیات به‌دست‌آمده پس از حمله به مرکز تجارت جهانی ارائه می‌شوند.

فرایند روش‌شناختی از ۲ رویکرد مستقیم و غیرمستقیم پیروی می‌کند. در رویکرد مستقیم، خسارت با مشاهده مستقیم ویژگی‌ها یا تغییرات زمانی یک شیء شناسایی می‌شود. در رویکرد غیرمستقیم، خسارت از طریق یک نشانگر جایگزین

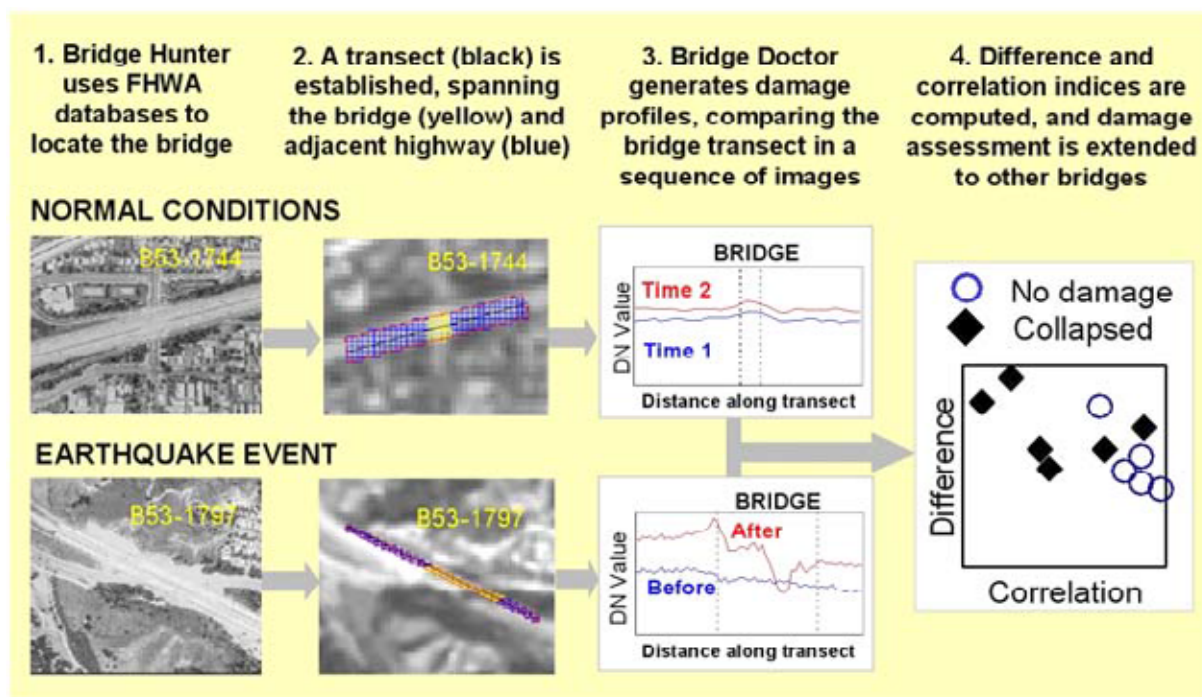
تشخیص داده می‌شود. در حوادث شدید مانند مخاطرات طبیعی و حملات تروریستی، عملکرد عناصر مهم حمل‌ونقل یک نگرانی عمده است. به عنوان مثال، ایالات متحده آمریکا شبکه حمل‌ونقل گسترده با بیش از ۵۰۰ هزار پل و ۴ میلیون مایل جاده دارد (ویلیامسون، ۲۰۰۲).

هنگامی که فاجعه‌های مانند زمین‌لرزه نورتریج در سال ۱۹۹۴ رخ می‌دهد، واکنش مؤثر حادثه مستلزم بررسی اجمالی سریع آسیب‌های متحمل‌شده توسط عناصر متعدد است که در یک منطقه جغرافیایی گسترده پخش شده است. با توجه به بزرگی و پیچیدگی سیستم‌های حمل‌ونقل، ارزیابی مبتنی بر داده‌های میدانی به‌صورت آنی امکان‌پذیر نیست. با توجه به زلزله و سونامی اخیر اقیانوس هند (۲۰۰۴) که مرکز آن در نزدیکی سوماترا^{۳۴} بود، رسانه‌ها از آسیب به جاده‌ها و پل‌ها و تخریب تعدادی از روستاها خبر دادند. با توجه به دوره بحرانی ۴۸ ساعته‌ای که تیم‌های جست‌وجو و نجات شهری برای یافتن بازماندگان دارند، دسترسی‌ها باید به سرعت و با دقت مشخص شود تا تیم‌های پاسخ، تغییر مسیر داده و از تأخیرهای تهدیدکننده جان جلوگیری شود.

صرف نظر از این که این فاجعه در اندونزی یا ایالات متحده آمریکا رخ دهد، ماهواره‌های سنجش از دور مانند IKONOS و QuickBird یک دید کلی با وضوح مکانی بالا از سیستم بزرگراه ارائه می‌دهند که می‌تواند برای نظارت بر یکپارچگی سازه و ارزیابی سریع درجه خسارت استفاده شود. DOT / NASA که کاربردهای سنجش از دور را برای حمل‌ونقل ترویج می‌کند (اگوچی و

24. Sumatra

23. Real-Time



تصویر ۴. خلاصه شماتیک روش‌های تشخیص خسارت شکارچی پل و دکتر پل با نمونه‌هایی از نتایج به‌دست‌آمده برای پل‌های فروریخته در مقابل پل‌های بدون خسارت پس از زلزله ۱۹۹۴ نورتریج (آدامز و همکاران، ۲۰۰۲الف).

را متحمل شد. ۶ نمونه از فروریختن پل برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل موجود بود. پروفیل‌های خسارت به‌دست‌آمده از تصاویر SPOT به وضوح اختلاف بین سناریوهای مختلف را نشان می‌دهد.

از نتایج ارائه‌شده در تصویر شماره ۳، نمودارهای بازتاب طیفی برای مثال بدون خسارت در زمان ۱ (پیش از زلزله) و زمان ۲ (پس از زلزله) از یک الگوی مشابه در امتداد بزرگراه و روی پل پیروی می‌کنند. برای سناریوی فروریخته، تغییرات اساسی بین تصاویر پیش و پس از زلزله مشهود است. در این حالت، پروفیل‌های خسارت دیگر از روند مشابهی پیروی نمی‌کنند و واگرایی ناگهانی در نمودار بازتاب در اطراف دهانه فروریخته قابل مشاهده است.

شاخص‌های خسارت شامل تفاضل^{۲۸} و همبستگی^{۲۹} یک مقایسه کمی ارائه می‌دهند. نمودار خسارت ۲ متغیره به وضوح برای پل‌های فروریخته، همبستگی کم و اختلاف زیاد و برای پل‌های خسارت‌ندیده، همبستگی زیاد و اختلاف کم را نشان می‌دهد. استفاده از داده‌های سنجش از دور برای ارزیابی خسارت ساختمان مزایای قابل توجهی نسبت به بررسی‌های زمینی دارد. جایی که منطقه خسارت‌دیده گسترده و دسترسی محدود است، یک دید کلی از منطقه جغرافیایی ارائه می‌دهد. طیف وسیعی از

همکاران، ۲۰۰۰ب؛ مورین و کرافت، ۲۰۰۳)، الگوریتم‌های اولیه تشخیص خسارت به نام «شکارچی پل»^{۲۵} و «دکتر پل»^{۲۶} برای پل‌های بزرگراه را توسعه داده است (آدامز و همکاران، ۲۰۰۲الف). در تصویر شماره ۳، خلاصه‌ای از روش شناختی ارائه شده است.

فاز ۱، فرایند تشخیص خسارت با استفاده از شکارچی پل، جست‌وجو و گردآوری کاتالوگ تصاویر سنجش از دور به همراه اطلاعات توصیفی از پایگاه داده اداره بزرگراه فدرال^{۲۷} است. در فاز ۲، دکتر پل سلامت پل‌ها را تشخیص داده و تعیین می‌کند که آیا آسیب فاجعه‌باری متحمل شده است یا خیر. در این مورد، وضعیت پل از نظر خسارت وارده مستقیماً بر حسب میزان تغییر بین یک توالی زمانی از تصاویر به‌دست‌آمده پیش (زمان ۱) و پس از رویداد (زمان ۲) محاسبه می‌شود. فرض بر این است که برای پل‌های فروریخته که بخشی از آن سقوط کرده یا جابه‌جا شده است، تغییرات قابل توجهی در تصاویر سنجش از دور مشهود خواهد بود. با این حال، در جایی که خسارت ناچیز متحمل شده باشد، میزان تغییرات باید حداقل باشد.

زلزله نورتریج به‌عنوان یک بستر آزمایشی برای توسعه مدل استفاده شد. هنگامی که زلزله ۶/۷ ریشتری در لس‌آنجلس در ۱۷ ژانویه ۱۹۹۴ رخ داد، شبکه حمل‌ونقل خسارت‌گسترده‌ای

25. Bridge Hunter

26. Bridge Doctor

27. Federal Highway Administration (FHWA)

28. Difference

29. Correlation



جدول ۱. روش تشخیص خسارت ساختمان‌ها و سکونتگاه‌های شهری با استفاده از تصاویر چندزمانی سنجنش از دور (آدامز و هایک، ۲۰۰۶)

متغیر	سنسور	مزیت	محدودیت
ورود داده‌های سنجنش از دور	نوری (مانند لندست، آیکنوس و اسپات)	۱. درک و تفسیر تصاویر آسان است. ۲. تصویرسازی با دید انسان قابل مقایسه است.	۱. پوشش ابر ۲. محدود به ساعات روشنایی روز ۳. زمان بازدید مجدد کم
	رادار (ERS و RADARSAT)	۱. قابلیت نفوذ در ابر ۲. تصویربرداری در هر شرایط آب‌وهوایی ۳. زمان بازدید مجدد زیاد	۱. تفسیر تصویر پیچیده ۲. تحت تأثیر نویز ۳. دید پهلونگر رادار باعث ایجاد خطاهایی می‌شود.
پیش‌پردازش			
آشکارسازی تغییرات	با استفاده از عملیات ریاضی، تغییرات بین مجموعه داده‌های سنجنش از دور «پیش» و «پس» را شناسایی کنید. شاخص‌های رایج عبارت‌اند از:	نوری	رادار
		۱. تفاضل ۲. همبستگی	۱. تفاضل ۲. همبستگی ۳. همبستگی
الگوریتم‌های آسیب اولیه	۴) الف) الگوریتم‌های آسیب اولیه میزان آسیب را در پوشش سنجنش از راه دور از طریق ارزیابی بصری شناسایی کنید. با استفاده از نمایه‌های آسیب، تغییرات مکانی در میزان آسیب را کمی کنید.	ب) اعتبارسنجی الگوریتم‌های آسیب اولیه با استفاده از داده‌های حقیقت زمینی	

مختلف با استفاده از تصاویر رادار با روزه مجازی و نوری در مقیاس‌های سطح شهر و منطقه‌ای را نشان می‌دهد.

در مقیاس سطح شهر، تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای تصاویر Landsat و ERS جمع‌آوری شده پیش و پس از زلزله سال ۱۹۹۵ هیوگوکنانو (کوبه)^۲، روندی را بین تغییرات طیفی و تخمین‌های واقعیت زمینی برای ساختمان‌های فروریخته معرفی می‌کند (ترالی، ۲۰۰۰؛ یامازاکی، ۲۰۰۱؛ ماتسوکا و یامازاکی، ۱۹۹۸؛ آتوکی و همکاران، ۱۹۹۸؛ ماتسوکا و یامازاکی، ۲۰۰۰؛ الف؛ ماتسوکا و یامازاکی، ۲۰۰۰ ب).

روش‌های کمی و کیفی مشابهی برای ارزیابی خسارت متأثر از زلزله در شهرهای مختلف مانند زلزله مرمه، ترکیه در سال ۱۹۹۹ (اگوچی و همکاران، ۲۰۰۰؛ الف؛ اگوچی و همکاران، ۲۰۰۰ ب) و زلزله بم، ایران در سال ۲۰۰۳ استفاده شد (یامازاکی و همکاران، ۲۰۰۵؛ هاجینسون و چن، ۲۰۰۵؛ گوسلا و همکاران، ۲۰۰۵؛ چیروی، ۲۰۰۵؛ رائیه و همکاران، ۲۰۰۵). مقایسه بصری تصاویر SPOT در تصویر شماره ۴ الف و ب، شهر گولجوک^۳، تغییرات در بازتاب را به دلیل خسارت زلزله نشان می‌دهد (استرادا و همکاران، ۲۰۰۱؛ الف؛ استرادا و همکاران، ۲۰۰۱ ب). نواحی تغییر برجسته با

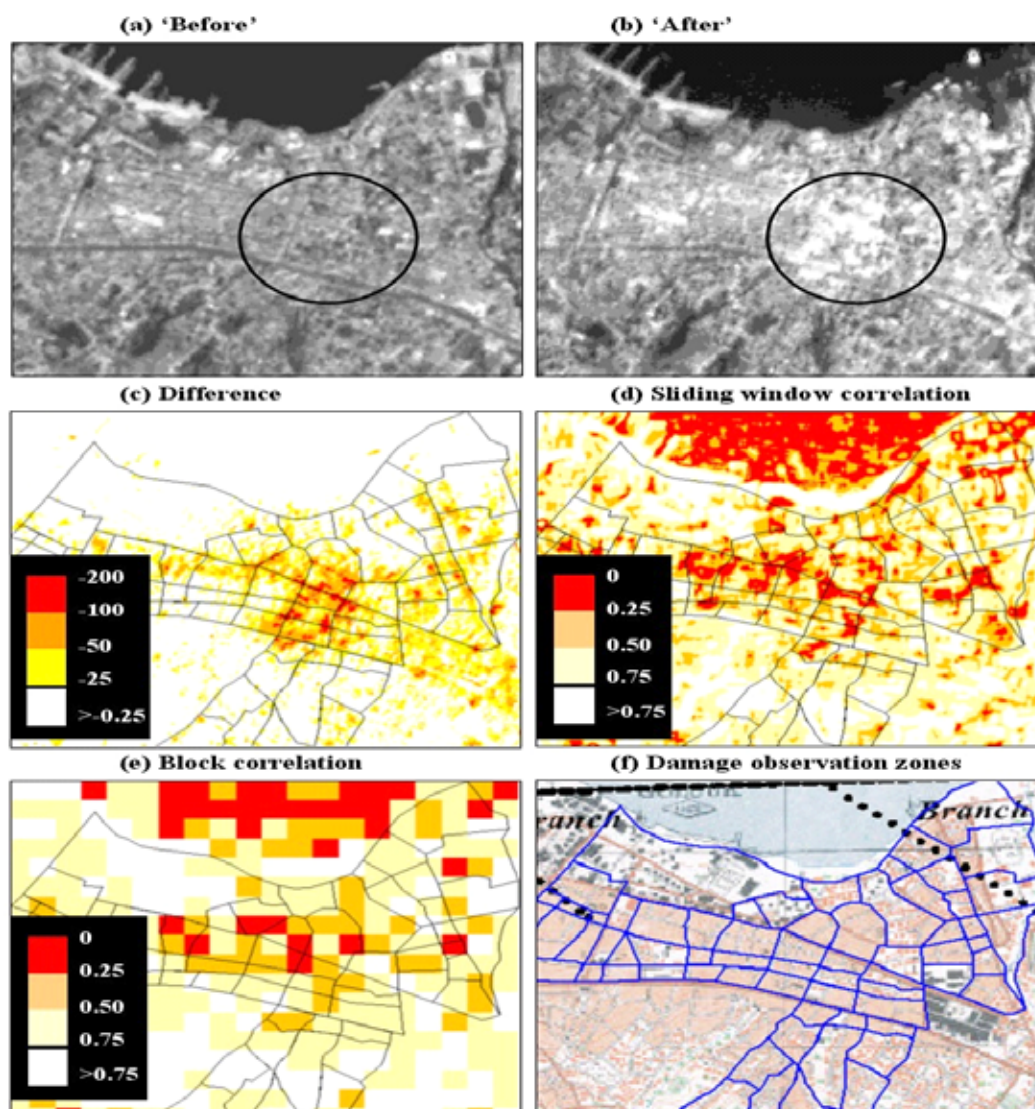
تکنیک‌های ارزیابی از جمله رویکردهای مستقیم و غیرمستقیم در ادبیات مستند شده است. در رویکرد مستقیم، خسارت ساختمان مستقیماً از طریق امضای طیفی آن در تصاویر تشخیص داده می‌شود (یامازاکی، ۲۰۰۱).

تحقیقات (ماتسوکا و یامازاکی، ۱۹۹۸؛ چیروی و همکاران، ۲۰۰۲؛ چیروی و آندره، ۲۰۰۱) پیشنهاد می‌کنند که ساختمان‌های فروریخته و بسیار خسارت‌دیده امضاهای طیفی متمایز دارند. با این حال، حالت‌های خسارت متوسط و جزئی از حالت بدون خسارت قابل تشخیص نیستند. میزان خسارت معمولاً بر حسب وسعت یا تراکم سازه‌های فروریخته تعیین می‌شود. در رویکرد غیرمستقیم، خسارت ممکن است با استفاده از یک شاخص غیرمستقیم و بر اساس این نظریه که سطوح روشنایی شبانه شهری متناسب با آسیب شهری کاهش می‌یابد، تعیین شود (اگوچی و همکاران، ۲۰۰۰ ب).

رویکردهای مستقیم ارزیابی خسارت ساختمان ممکن است به صورت یک یا چندزمانی طبقه‌بندی شود. همانند یک مبنای نظری مشابه با روش خسارت پل توضیح داده شده در بالا، تجزیه و تحلیل چندزمانی میزان خسارت ناشی از تغییرات طیفی بین تصاویر به دست آمده در چندین بازه زمانی معمولاً پیش و پس از یک رویداد را تعیین می‌کند. جدول شماره ۱، فرایند تشخیص خسارت برای ساختمان‌ها و سکونتگاه‌های شهری برای زلزله‌های

30. Hyogoken-Nanbu (Kobe)

31. Golcuk



تصویر ۴. تصویر پانکروماتیک SPOT4 از گولجوک، ترکیه. الف) تصویر قبل از زلزله، ب) تصویر بعد از زلزله، پ) مقادیر تفاضل، ت) همبستگی پنجره لغزان، ث) همبستگی بلوکی و ج) داده‌های واقعیت زمینی که شامل درصد ساختمان‌های فروریخته است (هایک و همکاران، ۲۰۰۵).

1. sliding window correlation

و یامازاکی، ۲۰۰۲؛ ماتسوکا و یامازاکی، ۲۰۰۳) این رویکرد را توسعه داده‌اند تا ثبات در روند بین فروپاشی ساختمان و اقدامات سنجش از دور برای زلزله‌های ۱۹۹۳ هوکایدو^{۳۳}، ۱۹۹۵ کوبه، ۱۹۹۹ ترکیه و ۲۰۰۱ گوجورات^{۳۴} هند را نشان دهند.

در مقیاس منطقه‌ای، (ماتسوکا و یامازاکی، ۲۰۰۲) سکونتگاه‌های آسیب‌دیده در استان‌های مرمره و گوجورات پس از زلزله‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۱ در ترکیه و هند را شناسایی کردند. این رویکرد، یک ارزیابی سریع از میزان خسارت ارائه داده و پاسخ‌دهندگان را به مناطقی که به‌شدت خسارت دیده است،

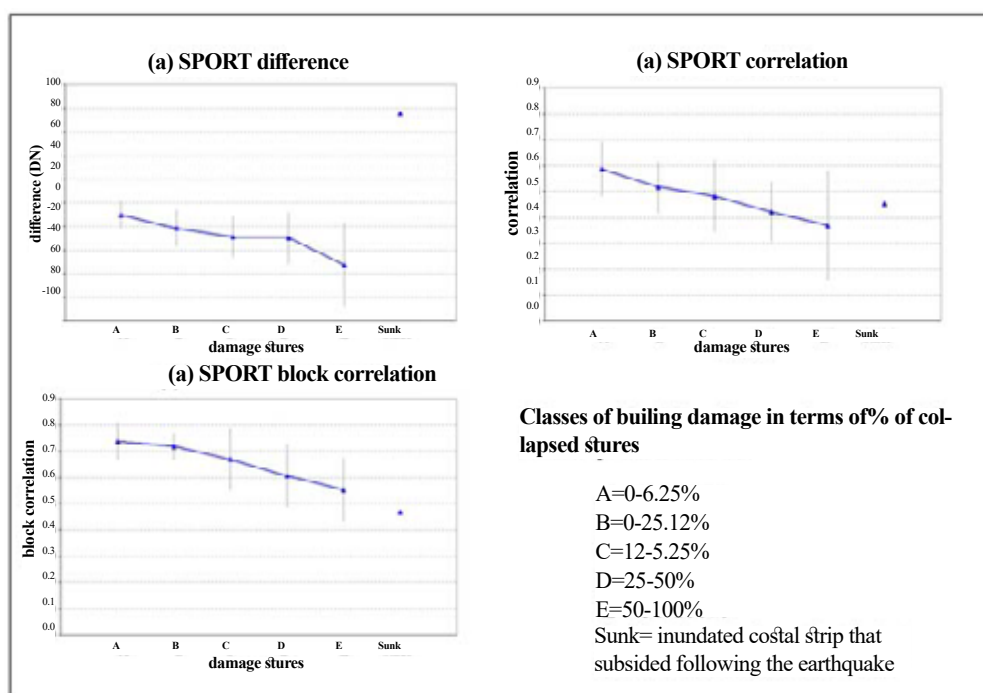
دایره نشان داده شده‌اند. تصویر شماره ۴ پ و ج، معیارهای تغییر تفاضل، همبستگی و همبستگی بلوکی^{۳۲} را نشان می‌دهد که با مناطقی که داده‌های پیمایش میدانی در آن جمع‌آوری شده‌اند، هم‌پوشانی دارند (اگوچی و همکاران، ۲۰۰۰ ب).

ترسیم میزان خسارت ساختمان با معیارهای اندازه‌گیری تغییر، پروفیل‌های خسارت را در تصویر شماره ۵ ایجاد می‌کند. با افزایش درصد سازه‌های فروریخته از کلاس A-E، روند آشکاری همراه با افزایش افست بین تصاویر پیش و پس از مخاطره وجود دارد. این روش با استفاده از تصاویر رادار با روزه مجازی ماهواره ERS نیز اجرا شده است (اگوچی و همکاران، ۲۰۰۰ ب). اخیراً (ماتسوکا

33. Hokkaido

34. Gujarat

32. Block Correlation



تصویر ۵. پروفیل‌های خسارت گولجوک، ترکیه (زلزله مرمره، ترکیه سال ۱۹۹۱) نشان می‌دهد که با افزایش درصد سازه‌های فروریخته از کلاس A-E، روند آشکاری همراه با افزایش افست بین تصاویر پیش و پس از رویداد وجود دارد (هایک و همکاران، ۲۰۰۵)

(۲۰۰۵) برای زلزله بم، ایران انجام شد. تلویزیون هوایی خودکار با سرعت بالا نیز به‌عنوان یک ابزار مفید برای ارزیابی خسارت‌های تک‌زمانی توسعه یافته است.

اوگاو و همکاران، ۱۹۹۹؛ هاسگاوا و همکاران، ۲۰۰۰ موجودی ساختمان‌های فروریخته کوبه را با استفاده از تفسیر بصری تصاویر HTTV بررسی شدند. ویژگی‌های تشخیصی آوار و خسارت‌های سازه‌ای ساختمان به‌صورت کمی توسط هاسگاوا و همکاران، ۱۹۹۹؛ میتومی و همکاران، ۲۰۰۲ بیان شده است. روش اصلی آن‌ها مبتنی بر تشخیص سناریوهای فروریخته و بدون خسارت از نظر رنگ، لبه و اطلاعات بافت بوده است. طبقه‌بندی‌کننده‌های برش چندسطحی^{۳۶} و حداکثر احتمال^{۳۷}، توزیع فضایی این طبقات را تعیین می‌کنند (میتومی و همکاران، ۲۰۰۲؛ میتومی و همکاران، ۲۰۰۱).

اگرچه این روش با استفاده از تصاویر کوبه توسعه یافته است، اما با موفقیت ساختمان‌های فروریخته را در گولجوک، چی چی^{۳۸} (میتومی و همکاران، ۲۰۰۲؛ میتومی و همکاران، ۲۰۰۱) و گوجورات (میتومی و همکاران، ۲۰۰۱ الف؛ یامازاکی، ۲۰۰۱) شناسایی کرد. یک روش غیرمستقیم ارزیابی خسارت ساختمان تک‌زمانی نیز در ادبیات مستند شده است. در این مثال، آسیب به موجودی ساختمان با استفاده از یک اندازه‌گیری جایگزین

هدایت می‌کند. تجزیه و تحلیل تک‌زمانی، خسارت ناشی از تصاویر به‌دست‌آمده پس از وقوع یک مخاطره را شناسایی می‌کند. در مواقعی که داده‌های قبل از وقوع مخاطره در دسترس نیستند، این روش کارآمد است. این روش مبتنی بر تشخیص مستقیم ساختمان‌های فروریخته از طریق تصاویر با وضوح مکانی بالا و تفسیر بصری است. همانند رویکرد چند زمانی، برای حالت‌های خسارت شدید که ساختمان‌ها فرو ریخته یا به‌شدت آسیب دیده‌اند، مؤثرتر است (چیروی و همکاران، ۲۰۰۲؛ چیروی، ۲۰۰۵؛ ساتیو و همکاران، ۲۰۰۵).

اوگاو و همکاران (۱۹۹۹) و اوگاو و یامازاکی (۲۰۰۰) از روش تفسیر عکس‌های هوایی به‌صورت تک و استریوسکوپ برای تعیین خسارت واردشده توسط سازه‌های چوبی و غیرچوبی در کوبه استفاده کردند. یک استاندارد تفسیر بر اساس وقوع آوار، سطح تغییر شکل و درجه شیب برای تمایز بین سازه‌های فروریخته، نیمه‌فروریخته و بدون خسارت توسعه یافت. موفقیت این رویکرد روش‌شناختی بر حسب مطابقت آن با داده‌های مشاهدات میدانی بررسی شد.

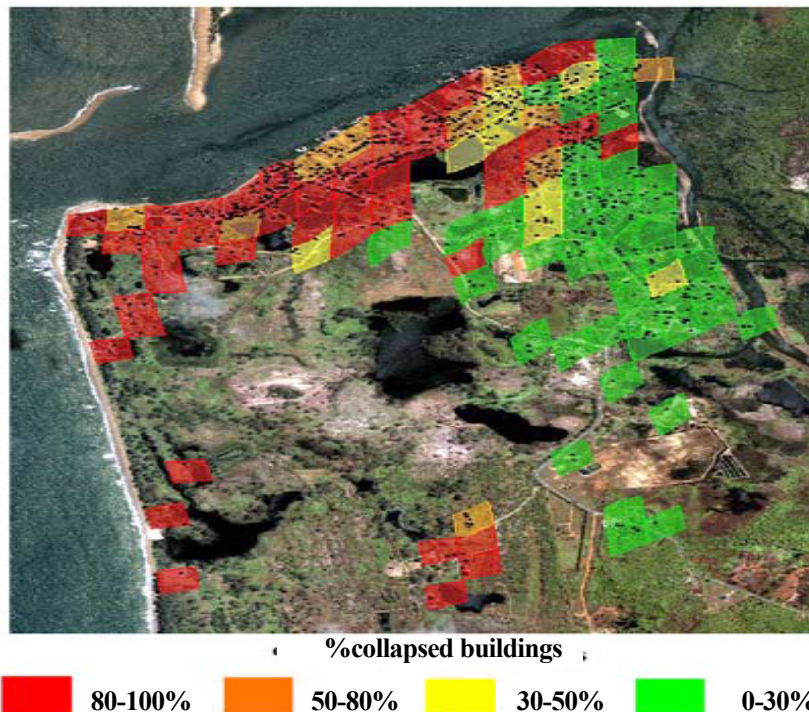
چیروی و همکاران، ۲۰۰۲ و چیروی و آندره، ۲۰۰۱ از معیارهای مشابهی به منظور تفسیر خسارت ساختمان از تصاویر ماهواره‌ای IKONOS با وضوح مکانی بالا از شهر بوج^{۳۵} استفاده کردند که در پی رخداد زلزله سال ۲۰۰۱ گوجورات، خسارت زیادی دیده بود. پژوهش مشابهی نیز توسط ساتیو و همکاران

36. Multi-Level Slice

37. Maximum Likelihood

38. Chi Chi

35. Bhuj



تصویر ۶. نقشه خسارت شهر Ban Nam Khem با استفاده از تصاویر QuickBird و IKONOS، زلزله و سونامی ۴۰۰۲ اقیانوس هند. درصد ساختمان‌های فروریخته در مناطقی در فواصل ۱۰۰ متری از ساحل باز و ورودی محاسبه می‌شود (چونگ و همکاران، ۲۰۰۶)

شد. اداره آتش‌نشانی نیویورک^{۳۹} عکس‌های مایل از یک هلیکوپتر استخراج می‌شود.

در حال چرخش و عکس‌های عمودی برای اداره مدیریت اضطراری ایالت نیویورک ثبت کرد. از ۱۵ سپتامبر تا اواسط اکتبر، داده‌های زمین به‌طور سیستماتیک از طریق عکس‌های ارتوگرافی، حرارتی و داده‌های لیدار به دست آمد (هایک و آدامز، ۲۰۰۲). در حالی که این مجموعه داده‌ها در ابتدا برای برآورد خسارت استفاده می‌شدند، با این حال پوشش زمانی آن‌ها طولانی بود؛ بنابراین کارایی و نقشی که فناوری سنجش از دور در نظارت طولانی‌مدت پس از وقوع مخاطره ایفا می‌کند، اهمیت پیدا کرد.

در تصویر شماره ۶، نمونه‌ای از نقشه خسارت تهیه‌شده پس از زلزله و سونامی اقیانوس هند در سال ۲۰۰۴ را نشان می‌دهد. نقشه خسارت برای شهر Ban Nam Khem در تایلند از طریق تفسیر بصری تصاویر با وضوح مکانی بالا برای پیش و پس از سونامی تهیه شده است. از ۷۶۱ سازه نمونه‌برداری شده، ۴۴۹ سازه (۵۹ درصد) به عنوان فروریخته طبقه‌بندی شدند و ۳۱۲ سازه نیز خسارت کمتری دیده بودند. میزان خسارت در نزدیکی ساحل باز و ورودی که بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد خانه‌ها ویران شده‌اند، بسیار شدید بود. میزان خسارتی که توسط تصاویر سنجش از دور برآورد می‌شود، در داخل خشکی کاهش می‌یابد و در فاصله تقریباً ۵۰۰ متری از خطوط ساحلی به ۰ تا ۳۰ درصد می‌رسد (چانگ و همکاران، ۲۰۰۶).

هاشیدره و همکاران، ۱۹۹۹؛ کوهیاما و همکاران، ۲۰۰۱
سطوح مختلف داده‌های شب‌هنگام را در تصاویر سیستم عملیاتی اسکن خطی برنامه ماهواره هواشناسی دفاعی ایالات متحده آمریکا (DMSP-OLS) که پیش و پس از زمین‌لرزه‌های مرمره و گوجورات به دست آمده است، مقایسه کرد. در هر ۲ مورد، مناطقی که بیشترین کاهش شدت را نشان می‌دهند، با سکونتگاه‌های آسیب‌دیده مطابقت دارند که این فرضیه را پشتیبانی می‌کند که در جایی که ساختمان‌ها به شدت خسارت دیده‌اند، نور کمتری ساطع می‌شود (چیروی و آندره، ۲۰۰۱).

این ابزار ارزیابی خسارت که هنگام شب کارایی دارد، مکمل مفیدی برای روش‌های مبتنی بر نوری است که محدود به ساعات روز است. اگرچه نمونه‌های استفاده‌شده برای نشان دادن روش‌های قبلی از رویدادهای زلزله استخراج شده‌اند، اما تشخیص خسارت از تصاویر سنجش از دور نیز در عواقب حمله تروریستی مرکز تجارت جهانی نیز مفید واقع شد (کاهان و بال، ۲۰۰۲؛ هایک و همکاران، ۲۰۰۳).

تصویر IKONOS که در ۱۲ سپتامبر ۲۰۰۱ به دست آمد و در اینترنت منتشر شد، به مردم سراسر جهان تجسم اولیه ویرانی در Ground Zero را نشان داد. اولین تصاویر دقیق روز بعد گرفته

39. Fire Department of New York (FDNY)



تشخیص میدانی

یافته‌ها

در این مطالعه، قابلیت فناوری سنجش از دور و همچنین تصاویر ماهواره‌ای در تمام جنبه‌های مدیریت بحران از قبیل آمادگی، کاهش، پاسخ و بازیابی از طریق توسعه موجودی، برآورد خسارت آنی و تشخیص میدانی ارزیابی و بررسی شد. تجزیه و تحلیل نتایج نشان دادند فناوری سنجش از دور کارایی قابل توجهی را در تعیین مقدار خسارت پس از فاجعه، نظارت بر پیشرفت بازیابی و بازسازی پس از فاجعه و توسعه اطلاعات در خصوص زیرساخت‌های شهری نشان می‌دهد.

در حوزه توسعه موجودی، گردآوری یک پایگاه داده جامع و دقیق از زیرساخت‌های حیاتی موجود می‌تواند در برآورد میزان خسارات واقعی پس از رخداد یک مخاطره مؤثر باشد. از طرفی، در زمینه کاهش و آمادگی، تقاضا برای موجودی دقیق محیط ساخته‌شده به منظور انجام ارزیابی آسیب‌پذیری، تخمین زیان از نظر هزینه‌های تعمیر، ارزیابی مسئولیت بیمه‌گران و همچنین اهداف برنامه‌ریزی امداد در حال افزایش است.

مزیت قابل توجه موجودی‌های برگرفته از سنجش از دور، سهولت نسبی به‌روزرسانی آن‌هاست. این امر، به‌ویژه در مقیاس سطح شهر مهم است؛ جایی که نمای کلی ارائه‌شده توسط تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند توسط بخش‌های برنامه‌ریزی برای پایش رشد شهری استفاده شود. خسارات ناشی از سکونتگاه‌های شهری همراه با زیرساخت‌های حیاتی مانند جاده‌ها، خطوط لوله و پل‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تشخیص خسارت آنی پس از وقوع یک مخاطره طبیعی یا انسانی، فرایند واکنش را آغاز می‌کند و اطلاعات مورد نیاز در خصوص اولویت‌بندی تلاش‌های امدادی، هدایت اولین پاسخ‌دهندگان به مکان‌های حیاتی و بهینه کردن زمان پاسخ و برآورد خسارت اولیه را فراهم می‌کند.

تجزیه و تحلیل منابع نشان دادند برآورد خسارت از ۲ رویکرد مستقیم و غیرمستقیم قابلیت انجام دارد. در رویکرد مستقیم، خسارت با مشاهده مستقیم ویژگی‌ها یا تغییرات زمانی یک شیء شناسایی می‌شود. در رویکرد غیرمستقیم، خسارت از طریق یک نشانگر جایگزین تشخیص داده می‌شود. فناوری‌های مبتنی بر سامانه موقعیت‌یاب جهانی یکی از دلایلی بوده که باعث شده است تلاش‌های تشخیص میدانی پس از مخاطرات بزرگ به‌طور قابل توجهی بهبود یابد. روش‌های سنتی ارزیابی خسارت پس از فاجعه معمولاً شامل بررسی‌های میدانی می‌شود که به موجب آن، شاخص‌های خسارت همراه با وضعیت کلی خسارت به‌صورت دستی در صفحه گسترده ثبت می‌شوند. نتایج نشان دادند استفاده از سیستم‌های مبتنی بر سامانه موقعیت‌یاب جهانی می‌تواند به‌طور قابل توجهی سرعت جمع‌آوری داده‌های نقشه‌برداری زمینی را افزایش می‌دهد.

فناوری‌های مبتنی بر سامانه موقعیت‌یاب جهانی یکی از دلایلی بوده که باعث شده است تلاش‌های تشخیص میدانی پس از مخاطرات بزرگ به‌طور قابل توجهی بهبود یابد. قبل از این‌که این فناوری در دسترس عموم قرار گیرد، مستندسازی فعالیت‌های تشخیص میدانی دست و پا گیر و زمان‌بر بود. اکنون با سیستم‌های سامانه موقعیت‌یاب جهانی که دقت موقعیتی در حدود ۱ تا ۳ متر را در هر نقطه از جهان ارائه می‌دهند، می‌توان عکس‌ها و فیلم‌ها را با نقاط واقعی روی زمین پیوند داد. این قابلیت زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که این فناوری با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی ادغام شود.

یکی از سیستم‌های میدانی که در مخاطرات اخیر پدیدار شده است، سیستم VIEWS است که برای مرکز چند رشته‌ای تحقیقات مهندسی زلزله توسعه یافته است. VIEWS یک سیستم جمع‌آوری و تجسم داده‌های میدانی قابل حمل مبتنی بر لپ‌تاپ است که در مأموریت‌های شناسایی مخاطرات برای جمع‌آوری داده‌های زمین‌مرجع به‌صورت مشاهدات خسارت، عکس‌ها و فیلم‌های ویدئویی به کار می‌رود. نحوه عملکرد آن به گونه‌ای است که از طریق یک ابزار سامانه موقعیت‌یاب جهانی زمان واقعی^{۴۰}، موقعیت جغرافیایی هر رکورد روی تصاویر سنجش از دور پیش و پس و نقشه‌های پایه خسارت قرار می‌گیرد.

از طریق عملکرد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی داخلی، تیم میدانی از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح مکانی بالا برای اولویت‌بندی فعالیت‌های بررسی میدانی، برنامه‌ریزی و ردیابی مسیر آن‌ها و همچنین مشخص کردن ساختارهای آسیب‌دیده و ویژگی‌های مد نظر استفاده می‌کند. روش‌های سنتی ارزیابی خسارت پس از فاجعه معمولاً شامل بررسی‌های پیاده‌روی می‌شود که به موجب آن، شاخص‌های خسارت همراه با وضعیت کلی خسارت به‌صورت دستی در صفحه گسترده ثبت می‌شوند.

از نظر کارایی، تحقیقات گذشته نشان داده‌اند که VIEWS به‌طور قابل توجهی سرعت جمع‌آوری داده‌های نقشه‌برداری زمینی را افزایش می‌دهد (آدامز و همکاران، ۲۰۰۴ ب). سیستم VIEWS به منظور شناسایی رویدادهایی مانند زلزله بم، ایران در سال ۲۰۰۳ (آدامز و همکاران، ۲۰۰۴ ب)، طوفان چارلی و ایوان^{۴۱} که در سال ۲۰۰۴ به سواحل خلیج آمریکا رسید (آدامز و همکاران، ۲۰۰۴ ب؛ آدامز و همکاران، ۲۰۰۴ ب)، زلزله نیگاتا^{۴۲}، ژاپن در اکتبر ۲۰۰۴ (هایک و همکاران، ۲۰۰۵) و طوفان‌های کاترینا و ریتا^{۴۳} در سال ۲۰۰۵ (وامبل و همکاران، ۲۰۰۸) استفاده شده است.

40. Real-Time

41. Ivan

42. Niigata

43. Katrina and Rita



بحث و نتیجه گیری

تجاری و صنعتی.

۵. تقویت توانایی سازمان‌های غیردولتی بر اساس توافق‌نامه‌ها یا پروتکل‌های بین‌المللی فعلی (به‌عنوان مثال، منشور بین‌المللی) به منظور ارائه ارزیابی‌های سریع و جهانی برای هر مخاطره طبیعی در سراسر جهان.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مقاله با آگاهی کامل نویسندگان از روند اجرای پژوهش به انجام رسیده است و نکات اخلاق پژوهش به‌طور کامل در آن رعایت شده است.

حامی مالی

این مقاله حامی مالی نداشته است.

مشارکت‌نویسندگان

نویسندگان به یک اندازه در نگارش مقاله مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

در دهه‌های گذشته، فناوری سنجش از دور به‌طور گسترده‌ای برای تبیین میزان تأثیرات ناشی از زلزله، سونامی، طوفان، سیل، آتش‌سوزی جنگلی و حملات تروریستی استفاده شده است. این پژوهش با هدف چگونگی به‌کارگیری فناوری‌های سنجش از دور در مدیریت مخاطرات طبیعی در محدوده مطالعاتی شهرهای مرمره در ترکیه، بم در ایران و اقیانوس هند ارائه شده است و بر روش‌هایی برای بهبود درک انسان از محیط ساخته‌شده و آسیب‌پذیری آن در برابر مخاطرات طبیعی و همچنین روش‌هایی برای ارزیابی بهتر تأثیر مخاطرات طبیعی بر مناطق شهری دلالت دارد. بر اساس یافته‌های تحقیق نمایان است که به دلیل وجود تصاویر ماهواره‌ای با وضوح مکانی بالا و همچنین در دسترس بودن آن‌ها، فناوری سنجش از دور می‌تواند در تمام جنبه‌های مدیریت بحران مؤثر باشد.

این فناوری می‌تواند در ایجاد یک پایگاه داده جامع از موجودیت ساختمان‌ها هنگام و پس از وقوع یک مخاطره طبیعی در جهت تبیین خسارات وارده مؤثر باشد. با این حال، بسیاری از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح مکانی بالا به‌صورت تجاری در دسترس هستند و به‌کارگیری تصاویر تجاری نیازمند صرف هزینه است؛ بنابراین این موضوع، از جمله محدودیت‌های سنجش از دور در مدیریت مخاطرات طبیعی مطرح است که باید مدنظر کارشناسان و برنامه‌ریزان این حوزه قرار گیرد. توصیه‌های زیر با توجه به جهت‌گیری‌های آینده برای کاربردهای سنجش از دور در مدیریت مخاطرات طبیعی ارائه می‌شود:

۱. روش‌های ارزیابی خسارت را با استفاده از سنجش از دور در پلت‌فرم‌های تجسم مبتنی بر اینترنت، مانند Google Earth یا Virtual Earth ادغام کنید. با ارائه نتایج این ارزیابی‌ها از طریق اینترنت، مخاطبان بسیار گسترده‌تری برای این برنامه‌ها امکان‌پذیر است.

۲. مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی خسارت مبتنی بر اجماع را صرفاً بر اساس داده‌های سنجش از دور ایجاد کنید. این یک گام ضروری در استانداردسازی نتایج ارزیابی‌های چندمحققه یا چندرئیدادی است.

۳. امکان‌سنجی آموزش مهندسان سازه و عمران در استفاده از پروتکل‌های استاندارد ارزیابی خسارت و تصاویر سنجش از دور برای گسترش پایگاه داده برای انجام تجزیه و تحلیل سریع خسارت برای هر مخاطره بزرگ در سراسر جهان.

۴. استفاده از داده‌های سنجش از دور برای تقویت یا اعتبارسنجی اطلاعات توصیفی ساختمان‌ها برای مناطق بزرگ شهری. سطوح یا مقیاس‌های مختلف بهبود موجودی ساختمان را بر اساس نوع موجودی در نظر بگیرید. به عنوان مثال، مسکونی،

References

- [1] Adams, B. J., & Huyck, C. K. (2006). The emerging role of remote sensing technology in emergency management. *Infrastructure Risk Management Processes: Natural, Accidental, and Deliberate Hazards*, 95-117. [\[Link\]](#)
- [2] Adams, B., Huyck, C., Mansouri, B., Eguchi, R., & Shinozuka, M. (2002). *Post-disaster bridge damage assessment*. Paper presented at: Proceedings of the 15th Pecora Conference: Integrating Remote Sensing at the Global, Regional, and Local Scale, Denver, Colorado, May 2002. [\[Link\]](#)
- [3] Adams, B. J., Huyck, C. K., Mio, M., Sungbin, C., Ghosh, S., & Chung, H. C., et al. (2004). *The Bam (Iran) Earthquake of December 26, 2003: Preliminary reconnaissance using remotely sensed data and the views (visualizing the impacts of earthquakes with satellite images) system*. New York: MCEER. [\[Link\]](#)
- [4] Adams, B. J., Huyck, C. K., Mio, M. Z., Cho, S., Eguchi, R. T., & Womble, A. J. et al. (2004). *Streamlining post-disaster data collection and damage assessment, using VIEWS (Visualizing Impacts of Earthquakes with Satellites) and VRS (Virtual Reconnaissance System)*. Paper presented at: Proceedings of 2nd International Workshop on Remote Sensing for Post-Disaster Response, Newport Beach, California, October 7-8; 2004. [\[Link\]](#)
- [5] Architectural Institute of Japan. (1999). *Report on the damage investigation of the 1999 Kocaeli Earthquake in Turkey*. Tokyo: Architectural Institute of Japan.
- [6] Aoki, H., Matsuoka, M., & Yamazaki, F. (1998). Characteristics of Satellite SAR images in the damaged areas due to the Hyogoken-Nanbu Earthquake. *Proceedings of the 1998 Asian Conference on Remote Sensing*, 7, 1-6. [\[Link\]](#)
- [7] Cahan, B., & Ball, M. (2002). GIS at Ground Zero- Spatial Technology Bolsters World Trade Center Response and Recovery. *GEO WORLD*, 15, 26-29. [\[Link\]](#)
- [8] Chang, S. E., Adams, B. J., Alder, J., Berke, P. R., Chuenpagdee, R., & Ghosh, S., et al. (2006). Coastal ecosystems and tsunami protection after the December 2004 Indian Ocean tsunami. *Earthquake Spectra*, 22(3_suppl), 863-887. [\[DOI:10.1193/1.2201971\]](#)
- [9] Chiroiu, L. (2005). Damage assessment of the 2003 Bam, Iran, earthquake using Ikonos imagery. *Earthquake Spectra*, 21(1_suppl), 219-224. [\[DOI:10.1193/1.2119227\]](#)
- [10] Chiroiu, L., & Andre, G. (2001). Damage assessment using high resolution satellite imagery: Application to 2001 Bhuj, India Earthquake. *Proceeding of 7th National Conference on Earthquake Engineering*, 1-13. [\[Link\]](#)
- [11] Chiroiu, L. (2002). *Earthquake damage assessment using high resolution satellite imagery*. Paper presented at: Proceedings of the 7th National Conference on Earthquake Engineering 2002, EERI. Boston, Massachusetts, USA, July 21 - 25; 2002. [\[Link\]](#)
- [12] Sarabandi, P., Chung, H. C., & Adams, B. J. (2006). *Remote sensing for building inventory updates in disaster management*. Paper presented at: Proceedings of the Smart Structures and Materials and NDE for Health Monitoring and Diagnostics Conference, San Diego, USA, 16 March; 2006. [\[DOI:10.1117/12.661020\]](#)
- [13] Eguchi, R., Huyck, C., Houshmand, B., Mansouri, B., Shinozuka, M., & Yamazaki, F., et al. (2000). The Marmara earthquake: A view from space. In: C. Charles (Ed.), *The Marmara, Turkey earthquake of August 17, 1999: Reconnaissance report*. Buffalo, New York, U.S. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER), Mar. 2000. (pp.151-69), illus, tab. (Technical Report MCEER, 00-0001). [\[Link\]](#)
- [14] Eguchi, R., Huyck, C., Houshmand, B., Mansouri, B., Shinozuka, M., & Yamazaki, F., et al. (2000). The Marmara, Turkey Earthquake: Using advanced technology to conduct earthquake reconnaissance. *Research Progress and Accomplishments 1999-2000*. [\[Link\]](#)
- [15] Estrada, M., Kohiyama, M., Matsuoka, M. & Yamazaki, F. (2001). *Detection of damage due to the 2001 El Salvador Earthquake using landsat images*. Paper presented at: The 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapore, 5-9 November 2001. [\[Link\]](#)
- [16] Estrada, M. (2001). Digital damage detection due to the 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake. *Bulletin of the Earthquake Resistant Structure Research Center, University of Tokyo*, 34, 55-66. [\[Link\]](#)
- [17] Gusella, L., Adams, B. J., Bitelli, G., Huyck, C. K., & Mognol, A. (2005). Object oriented image understanding and post-earthquake damage assessment for Bam, Iran, Earthquake. *Earthquake Spectra*, 21(S1), 225-238. [\[DOI:10.1193/1.2098629\]](#)
- [18] Hasegawa, H., Aoki, H., Yamazaki, F. & Sekimoto, I. (1999). Attempt for automated detection of damaged buildings using aerial HDTV images. *Proceedings of the 20th Asian Conference on Remote Sensing*, 1, 97-102. [\[Link\]](#)
- [19] Hasegawa, H., Yamazaki, F., Matsuoka, M., & Sekimoto, I. (2000). Determination of building damage due to earthquakes using aerial television images. *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, 1722(8), 1-8. [\[Link\]](#)
- [20] Hashitera, S., Kohiyama, M., Maki, N., & Fujita, H. (1999). Use of DMSP-OLS images for early identification of impacted areas due to the 1999 Marmara earthquake disaster. *Proceedings of the 20th Asian Conference on Remote Sensing*, 2, 1291-1296. [\[Link\]](#)
- [21] Hutchinson, T. C., & Chen, Z. (2005). Optimized estimated ground truth for object-based urban damage estimation using satellite images from the 2003 Bam, Iran, earthquake. *Earthquake Spectra*, 21(1_suppl), 239-254. [\[DOI:10.1193/1.2098937\]](#)
- [22] Huyck, C.K, Mansouri, B., Eguchi, R.T., Houshmand, B., Castner, L. & Shinozuka, M. (2002). Methodologies for post-Earthquake Damage Detection Algorithms Using Optical and ERS-SAR Satellite Data - Application to the August 17, 1999 Marmara, Turkey Earthquake. Proceedings of the 7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Boston.
- [23] Huyck, C. K., & Adams, B. J. (2002). *Emergency response in the wake of the World Trade Center Attack: The remote sensing perspective*. Buffalo: MCEER. [\[Link\]](#)
- [24] Huyck, C. K., Adams, B. J., & Kehrlein, D. I. (2003). An evaluation of the role played by remote sensing technology following the World Trade Center attack. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 2(1), 159-168. [\[DOI:10.1007/BF02857548\]](#)
- [25] Kohiyama, M., Hayashi, H., Maki, N., & Hashitera, S. (2001). Night time damage estimation. retrieved from: [\[Link\]](#)
- [26] Matsuoka, M., & Yamazaki, F. (2000). Interferometric characterization of areas damaged by the 1995 Kobe earthquake using satellite SAR images. *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, 2, 1-8. [\[Link\]](#)
- [27] Matsuoka, M., & Yamazaki, F. (1998). Identification of damaged areas due to the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake using satellite optical images. *Proceedings of the 19th Asian Conference on Remote Sensing*, 9, 1-6. [\[Link\]](#)



- [28] Matsuoka, M., & Yamazaki, F. (2000b). Satellite Remote Sensing of Damaged Areas Due to the 1995 Kobe earthquake. In: K. Toki (Ed), *Confronting urban earthquakes: Report of fundamental research on the mitigation of urban disasters caused by near-field earthquakes* (pp. 259-262). Kyoto: Kyoto University. [\[Link\]](#)
- [29] Matsuoka, M., & Yamazaki, F. (2003). Application of a methodology for detection building-damage area to recent earthquakes using SAR intensity images. Proceedings of the 7th EERI US Japan Conference on Urban Earthquake Hazard Reduction, Maui. [\[Link\]](#)
- [30] Mitomi, H., Matsuoka, M., & Yamazaki, F. (2002). Application of automated damage detection of buildings due to earthquakes by panchromatic television images. *Proceedings of the 7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, 1-10. [\[Link\]](#)
- [31] Mitomi, H., Saita, J., Matsuoka, M., & Yamazaki, F. (2001). *Automated damage detection of buildings from aerial television images of the 2001 Gujarat, India earthquake*. Paper presented at: IGARSS 2001. Scanning the Present and Resolving the Future. Proceedings. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Cat. No.01CH37217), Sydney, NSW, Australia, 09-13 July 2001. [\[Link\]](#)
- [32] Mitomi, H., Yamazaki, F. & Matsuoka, M. (2001). Development of automated extraction method for buildings damage area based on maximum likelihood classifier. *Proceedings of the 8th Conference on Structural Safety and Reliability*, 1-8. [\[Link\]](#)
- [33] Morain, S., & Kraft, W. (2003). Remote sensing for transportation – products and results: Foundations for the future. [\[Link\]](#)
- [34] Ogawa, N., & Yamazaki, F. (2000). Photo-interpretation of buildings damage due to earthquakes using aerial photographs. *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, 1-8. [\[Link\]](#)
- [35] Ogawa, N. (1999). Earthquake Damage Survey methods based on airborne HDTV, photography and SAR. *Proceedings of the 5th US Conference on Lifeline Earthquake Engineering*, 322-331. [\[Link\]](#)
- [36] Rathje, E. M., Crawford, M., Woo, K., & Neuenschwander, A. (2005). Damage patterns from satellite images of the 2003 Bam, Iran, earthquake. *Earthquake Spectra*, 21(1_suppl), 295-307. [\[DOI:10.1193/1.2101047\]](#)
- [37] Saito, K., Spence, R., & De C Foley, T. A. (2005). Visual damage assessment using high-resolution satellite images following the 2003 Bam, Iran, Earthquake. *Earthquake Spectra*, 21(S1). [\[Link\]](#)
- [38] Sarabandi, P., Adams, B., Kiremidjian, A. S., & Eguchi, R. T. (2005). *Infrastructure inventory compilation using single high resolution satellite images*. Proceedings of the 3rd International Workshop on Remote Sensing for Post-Disaster Response, Chiba University, Japan, 12-13 September, 2005. [\[Link\]](#)
- [39] Sinha, R., & Goyal, A. (2001). Lessons from Bhuj Earthquake. Retrieved from: [\[Link\]](#)
- [40] Tralli, D. M. (2000). *Assessment of advanced technologies for loss estimation*. New York: Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, University at Buffalo. [\[Link\]](#)
- [41] Williamson, R. A. (2002). Remote sensing for transportation security. Retrieved from: [\[Link\]](#)
- [42] Womble, A. J., Ghosh, S., Friedland, C. J., & Adams, B. J. (2008). *Hurricane Katrina. Volume 2. Remote sensing. Advance damage detection for hurricane Katrina: Integrating remote sensing VIEWS. Field reconnaissance*. Geneva: UNDRR. [\[Link\]](#)
- [43] Yamazaki, F. (2001). Applications of remote sensing and GIS for damage assessment. *Structural Safety and Reliability*, 1, 1-12. [\[Link\]](#)
- [44] Yamazaki, F., Yano, Y., & Matsuoka, M. (2005). Visual Damage Interpretation of Buildings in Bam City using QuickBird Images following the 2003 Bam, Iran, Earthquake, *Earthquake Spectra*, 21(S1). [\[DOI:10.1193/1.2101807\]](#)

This Page Intentionally Left Blank