



Evaluation of destruction of historical cities and ancient monuments due to earthquakes using radar images and interferometric techniques

Study area: the ancient province of Gaziantep, Türkiye

Leily Zamany^{1*}, Saeed Sadeghian²

1- (*Corresponding author) Master's student of faculty of civil, Water and environmental engineering, Shahid Beheshti University of Tehran.

Email: l.zamany@mail.sbu.ac.ir

2- Associate professor of faculty of civil, Water and environmental engineering, Shahid Beheshti University of Tehran. Email: Sa_sadeghian@sbu.ac.ir

Article Info

Date of receive:

2023/11/24

Date of last review:

2025/01/04

Date of accept:

2025/01/10

Date of online publication:

2025/01/10

Keywords:

Ancient artifacts,
Interferometry,
Radar images,
Subsidence phenomenon,
Sentinel1 satellite

Extended Abstract

Introduction

Ancient cities and cultural heritage are the lasting works of past generations that make us familiar with our identity, so our duty in the present era is to preserve these precious treasures and take care of them. Buildings undergo frequent changes and damages over time. Therefore, in this article, we decided to monitor the changes and destruction of one of the important ancient provinces of Turkey, named Ghazi Ayantep. The method that was used in this research is the radar interferometric method which was obtained by using the radar data of Sentinel 1 satellite and processing them in Snap software. In the first stage, four images were collected in a period of 24 days before and after the earthquake and about 9 aftershocks at very close distances from the Sentinel 1 satellite. Points to Anatolian faults have subsided more than half a meter. The information obtained from the Geological Organization of Turkey and the images obtained from the map of the affected areas in this province provided by the United Nations Satellite Center were used as a basis for comparison. In the second stage, by overlapping the obtained map and the topographic map of the region, which was collected from the information of the Geological Organization of Turkey, we found in the GIS software that, on average, the highest amount of changes is related to the high areas of this province. The topography of ancient areas and the slope of the areas where ancient cities or valuable monuments are located will have a direct effect on the displacement and subsidence of these areas. And in the third stage, by examining the results and comparing the map obtained from the displacement with the fault map of the studied area, it can be concluded that after the earthquake in this area, the greatest amount of destruction of historical cities is related to the areas that are close to the sea and lakes. have in the end, the investigations showed that the humidity and the distance of the areas from the sea had a direct effect on the amount of destruction and damage caused to this province.. ... ► Page 66

How to Cite:

Zamany, L. Sadeghian, S (2025). Evaluation of destruction of historical cities and ancient monuments due to earthquakes using radar images and interferometric techniques - Study area: the ancient province of Gaziantep, Türkiye. Scientific - Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 33(132), 65-83.

1- Data and research method

1-1-Study area

The study area in this project is Gazi Ayantep province of Türkiye. Gaziantep province is located in the southeast of Turkey at the geographical position of 37 degrees and 4 minutes north and 37 degrees and 23 minutes east and 250 kilometers from the Anatolian fault. On February 6, 2023 (Bahman 17, 1401), a powerful earthquake measuring 7.8 on the Richter scale shook central and southern Turkey and northern and western Syria for 75 seconds. This earthquake occurred 30 km away from Ghazi Ayantep city and at a depth of 17.9 km and left irreparable damages. Also, 9 hours later, another earthquake with a magnitude of 7.5 on the Richter scale occurred 105 km from the epicenter of the first earthquake and 10 km deep, which was the largest earthquake in the Anatolian region in the last 2000 years.

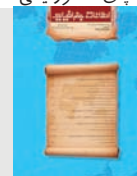
1-2-Research method

In order to receiving data, 4 images were collected at a time interval of 8 days from each other. The first image was taken on February 4, 2023, two days before the first earthquake, the second image was taken on February 12, the third image was on February 20, and the final image was taken on February 28, 2023. The information obtained from the Geological Organization of Turkey and the images obtained from the map of the affected areas in this province provided by the United Nations Satellite Center were used as a basis for comparison. It should be noted that the purpose of this research is to investigate the changes and destruction of the affected areas. It is historical as well as the prediction of high-risk points in valuable ancient areas and places, so there is no need for very accurate figures of land subsidence in these areas to match the obtained map with land use maps and other related information maps. However, due to the elimination of many errors and accurate processing of images, as well as the basis for comparing the results, the obtained numbers can be cited in most cases. The interferogram is the result of displaying the phase difference caused by the change of the distance between the ground phenomenon and the sensor in two consecutive passes. This step is simply done to obtain the phase difference between two images in consecutive passes. (Wright & et al, 1999 p. 2) In all radar images, the interference of waves as well as the topographical factor of the earth's surface creates an adverse effect on the images, which is known as speckle noise. The process of reducing image noise causes changes that require a filter to be applied to minimize the degradation of the image, which Goldstein filter is used here. The last step is to convert the obtained phase resulting from the application of filters to the amount of displacement. In other words, it is the quantification of the obtained phases. And after that, it is necessary that the obtained image of the ground be used as a reference and a small and accurate amount of displacement is extracted. In this paper, SRTM digital model is used for ground referencing of images. The Geological Organization of Turkey and the United Nations Satellite Center provided pictures and maps of the most damaged areas in the research conducted after the earthquake in this province. Finally, by examining and comparing the maps and information extracted from these institutions as a basis for comparison, the correctness of the results was determined, and after the observations, the areas were ranked

from the most to the least in terms of damage, as well as the areas exposed to earthquakes, respectively. They were classified from the most dangerous to the least dangerous.

2-Discussion and conclusion

The most important achievement of this project is to obtain the amount of destruction of ancient cities and to study high-risk areas exposed to earthquakes. By overlapping the topographic map of the region with the obtained displacement, it was found that the highest displacement is related to the western cities of the province, and the closer we get to the eastern cities, the destruction rate decreases. The city of Islahiye with an average height of 490 meters and displacement of 0.55 to 0.57 meters witnessed the highest amount of displacement. After that, the city of Noordai with an average height of 516 meters has the highest displacement of about 0.53 to 0.55 meters, and then the cities of Shahin Bey, Shahid Kamal, Yavuzli, Ogozli, Araban, Nizip and Karmamish respectively witness the highest displacement. They were the least amount of displacement. Also, by examining the land use map and examining the texture of the urban area and matching the vegetation map of the province with the extracted displacement map, it was found that the areas with agricultural texture and high humidity as well as the areas close to the rivers and water areas had the highest displacement. According to the fact that the area of Issahiye with its agricultural context and agricultural lands and numerous villages had the highest level of destruction compared to the highland cities, it was found that the humidity of the study area and its distance from the sea and water areas have a direct effect on the amount of displacement and subsidence of the land. and then the height of the studied area will be the next influencing factor directly. Investigations showed that as we move from Issahiye agricultural area to Nordai area, the height of the area will increase, and after this area, the height of the areas will decrease as we continue towards the eastern areas of the province. Interferometry using radar data is an efficient method to investigate changes, especially in the study of ancient artifacts, so the use of this method can greatly reduce possible future risks. According to the results and observations obtained from the land use map of this province, in order to prevent severe damage to ancient monuments and loss of life, it is necessary to take the most precautions in areas with high humidity and areas that have the least distance from seas and rivers and the most Renovation should be done for ancient monuments located in high areas. Considering the amount of changes in Ghazi Ayantep province, the obtained numbers are worth considering and indicate the dangers that still threaten this city. However, if it is possible to detect faults and dangerous areas in the coming years using this method and make the necessary preparations according to the mentioned recommendations, many lives can be saved when such natural disasters occur and many losses can be avoided. Sang, which threatens the ancient monuments, was prevented. Also, by increasing the accuracy of these radar images and having more advanced equipment, the details of the destruction of historical buildings can be obtained uniquely and with more accuracy and detail, which will greatly help the restoration and restoration of these buildings in the future.



پایش میزان تخریب شهرهای تاریخی و آثار باستانی بر اثر زلزله با استفاده از تصاویر راداری و تکنیک تداخل سنجی منطقه مورد مطالعه: استان باستانی غازی عیانتپ ترکیه

لیلی زمانی^{۱*}، سعید صادقیان^۲

۱- (*نویسنده مسئول) دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی تهران l.zamany@mail.sbu.ac.ir
۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی تهران Sa_sadeghian@sbu.ac.ir

چکیده

شهرهای باستانی و میراث فرهنگی، آثار ماندگار نسل‌های گذشته هستند که ما را با هویت خویش آشنا می‌کنند. بنابراین وظیفه ما در عصر حاضر حفظ این گنجینه‌های گرانبها و مراقبت از آنهاست. بناها در گذر زمان دستخوش تغییرات و آسیب‌های فراوان می‌شوند. این تغییرات در بعضی از بناها مانند ساختمان‌ها و شهرهای دارای ارزش تاریخی، اهمیت ویژه‌ای دارد. از این رو تحقیق حاضر به پایش تغییرات و تخریب یکی از استان‌های باستانی مهم کشور ترکیه، به نام غازی عیانتپ پرداخته است. استان غازی عیانتپ به دلیل وجود بناهای تاریخی ارزشمند، به عنوان یک منطقه باستانی شناخته می‌شود. اما متأسفانه وقوع چندین زلزله و پس‌لرزه‌های پیاپی در سال ۲۰۲۳ در نزدیکی آن خسارت‌های جبران‌ناپذیری برجای گذاشت. تعیین میزان کمی خسارات، در پیش‌بینی خسارت‌های آینده برای حفظ و نگهداری از این آثار و همچنین تشخیص نقاط پرخطر بسیار حائز اهمیت خواهد بود. روش مورد استفاده در پژوهش حاضر، روش تداخل سنجی راداری است که طی سه مرحله با استفاده از داده‌های راداری ماهواره سنتینل ۱ و پردازش آن‌ها در نرم‌افزار اسنپ به دست آمده است. در مرحله آخر تحقیق با استفاده از بررسی نتایج می‌توان نتیجه گرفت که پس از وقوع زلزله در منطقه مورد مطالعه بیشترین میزان تخریب شهرهای تاریخی مربوط به نقاطی است که در مجاورت دریا و دریاچه‌ها قرار دارند. در انتها بررسی‌ها نشان داد، رطوبت و فاصله از دریا نیز تأثیر مستقیم بر میزان تخریب و خسارات وارده به بناهای تاریخی استان غازی عیانتپ داشته است.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۹/۰۳

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۳/۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۱۰/۲۱

تاریخ انتشار:

۱۴۰۳/۱۰/۲۱

واژه‌های کلیدی:

آثار باستانی؛

تداخل سنجی؛

تصاویر راداری؛

پدیده فرونشست؛

ماهواره سنتینل ۱

استناد به این مقاله:

زمانی، ل.؛ صادقیان، س. (۱۴۰۳). پایش میزان تخریب شهرهای تاریخی و آثار باستانی بر اثر زلزله با استفاده از تصاویر راداری و تکنیک تداخل سنجی - منطقه مورد مطالعه: شهر باستانی غازی عیانتپ ترکیه. فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر) ۳۳ (۱۳۲)، ۸۳-۶۵

۱- مقدمه

بناها در گذر زمان دستخوش تغییرات و آسیب‌های بسیاری می‌شوند. این تغییرات ممکن است در اثر عوارض طبیعی یا توسط انسان‌ها به وجود آیند. یکی از مهم‌ترین این عوامل که تأثیرات مخرب و عمیقی بر بناها می‌گذارند زلزله است. زلزله لرزش ناگهانی پوسته جامد زمین است و گاهی در نواحی که بر روی بند زلزله‌خیز قرار دارند رخ می‌دهد. تکرار وقوع مخاطراتی مانند زلزله در مناطقی که جمعیت بزرگ انسانی یا بناهای ارزشمندی در خود جای دادند در سال‌های اخیر افزایش داشته است (شریفی و همکاران، ۱۳۹۶). این واقعه که یکی از نامالایمات عصر حاضر است، در مدت کوتاهی اتفاق افتاده و فجایع بزرگی رقم می‌زند. با توجه به اینکه زلزله‌ها از لحاظ سرعت وقوع، ناگهانی و سریع هستند، و امکان پیش‌بینی آن برای جلوگیری از وقوع خسارت‌های جانی و مالی وجود ندارد، در تقسیم‌بندی مخاطرات در گروه خطرناک‌ترین مخاطرات قرار می‌گیرد (سبزه‌کار و همکاران، ۱۳۹۷). این پدیده طبیعی دارای خصوصیات و ویژگی‌های منحصر به فردی است. آگاهی از پدیده‌های همراه زلزله، شناخت گسل‌ها و انواع آن و کمی‌سازی تغییرات ایجاد شده ناشی از وقوع زلزله در تعیین الگوی لرزه زمین ساخت و رژیم لرزه‌خیزی مناطق مختلف دارای اهمیت یکسان است (آل بویه لنگرودی و همکاران، ۱۳۹۶). این پدیده برای مناطق واقع در پهنه‌های پرخطر که به‌عنوان نواحی واقع در کمربند زمین‌لرزه شناخته می‌شوند مخاطره‌آمیزتر و در اغلب موارد بحران‌ساز و فاجعه‌آفرین است.

همانطور که گفته شد زلزله یکی از خطرات با قابلیت آسیب‌های بسیار عمیق است که از جمله آن‌ها می‌توان به پدیده فرونشست اشاره کرد. فرونشست حرکت قائم یا نشست تدریجی و یا فرو رفتن ناگهانی سطح زمین است، و به علت‌های گوناگونی نظیر انحلال، آب‌شدگی یخ‌ها و تراکم نشست‌ها، حرکات پوسته زمین و خروج گدازه‌ها از پوسته جامد زمین و یا فعالیت‌های انسانی نظیر معدن‌کاری،

برداشت آب‌های زیرزمینی و یا نفت رخ می‌دهد، که یکی از مهم‌ترین آن‌ها زلزله است. به‌طور معمول فرونشست زمین به حرکات قائم رو به پایین سطح زمین که می‌تواند با بردار اندک افقی همراه باشد، گفته می‌شود. به بیان دیگر پدیده فرونشست هرچند به‌صورت نامحسوس و تدریجی است، اما با مخاطرات زیادی همراه است که از جمله آن‌ها می‌توان به ایجاد فروچاله‌ها، شکست و ترک ساختمان‌ها، کج‌شدگی تأسیسات مرتفع، آسیب‌دیدگی تأسیسات کشاورزی، شکستگی و انهدام پله‌ها و راه‌ها و شبکه معابر شهری اشاره کرد. بنابراین، این مسئله نواحی شهری را بیشتر تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، که در صورت عدم توجه به آن می‌تواند با خسارات جانی و مالی زیادی همراه باشد. بر این اساس، نظارت بر میزان فرونشست زمین به منظور کاهش اثرات منفی و همچنین کنترل روند توسعه آن، بسیار حائز اهمیت خواهد بود و الزام است تا به‌طور مرتب روند فرونشست مناطق برآورد شود. بیشترین گزارش‌ها از سراسر جهان در ارتباط با پدیده فرونشست زمین مربوط به نقاط خشک و کم باران بوده است. این پدیده در گذشته در بسیاری از نقاط دنیا مانند ایالت آریزونا و کالیفرنای آمریکا، شهرهای اوزاکا و توکیو در ژاپن، ونیز در ایتالیا، بانکوک در تایلند، جاکارتا در اندونزی، کلکته در هندوستان و مکزیکوسیتی در مکزیک گزارش شده است.

با توجه به اینکه مخاطره زلزله به‌صورت ناگهانی و سریع اتفاق می‌افتد و باعث ایجاد پدیده فرونشست می‌شود، امکان تخمین، هشدار قبلی و تخلیه وجود ندارد. در صورت ناکافی بودن تدابیر حفاظتی و پیشگیری جامعه در مقابل چنین مخاطراتی، خسارات و تلفات جانی و مالی افزایش خواهد یافت. از طرفی امکان‌سنجش آسیب‌ها و خسارات وارد شده بر مناطق تحت‌الشعاع این پدیده می‌تواند در تخمین خطرات و آسیب‌های احتمالی آینده و همچنین جبران خسارت‌های وارد شده بسیار مؤثر باشد. به همین دلیل متخصصین و مؤسسات مرتبط با مطالعه این پدیده همواره در تلاش برای یافتن راهی نوین به منظور

بالا تر و وضوح هندسی کمتر نسبت به تصاویر پانکروماتیک برخوردارند. حسگرهای فرایطیفی با جمع‌آوری سیگنال در باندهای طیفی بیشتر نسبت به چند طیفی تصویر تولید می‌کنند. به همین ترتیب تصاویر فرایطیفی نیز اطلاعات طیفی بیشتر و وضوح هندسی کمتر نسبت به تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک دارند (Kulkarni Rege, 2020).

وضعیت نوری منطقه کاملاً بر عملکرد این نوع سنجنده‌ها اثرگذار است و در شرایط آب و هوای نامناسب مانند ابر، مه و باران کارایی خود را از دست می‌دهند و این موضوع از امکان داشتن نظارت مداوم جلوگیری می‌نماید. در چنین مواقعی جمع‌آوری تصاویر مناسب با استفاده از سنجنش از دور نوری تقریباً غیرممکن است و همین امر به شدت بر سرعت برنامه‌ریزی و امداد و نجات اضطراری تأثیر می‌گذارد. البته لازم به ذکر است که نسل جدید تصاویر نوری با وضوح بالا به‌عنوان مثال (Geo-Eye QuickBird KONOS و سری WorldView) در شرایط آب و هوایی مناسب تشخیص آسیب در مقیاس ساختمان را پس از فاجعه با استفاده از تکنیک‌های تشخیص تغییر مبتنی بر پیکسل با شی امکان‌پذیر کرده‌اند (Omarzadeh et al., 2021; Tong et al., 2012; Kaya et al 2011). پیشرفت الگوریتم‌های یادگیری عمیق مانند شبکه‌های عصبی کانولوشنال عمیق (CNN) نیز در شناسایی آسیب‌ها بسیار مؤثر بوده‌اند. (Miura et al., 2020; Ma et al., 2019, Adriano et al., 2021).

در علوم مربوط به سنجنش از دور راداری کارآمدترین روش برای بررسی تغییرات فرونشست، روش تداخل‌سنجی است. این روش انقلابی در زمینه پایش تغییرات پوسته زمین ایجاد کرد (صادقیان و همکاران، ۱۳۹۶). تداخل‌سنجی راداری روشی قدرتمند در نشان دادن تغییرات سطح با قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا است. روش تداخل‌سنجی ثابت کرده که قادر به اندازه‌گیری تغییر شکل پوسته‌ای و توپوگرافیک با قدرت تفکیک فضایی خوب در پوشش بسیار وسیع ده‌ها متر است (Rami al Ruzouq: 2017). لازم به ذکر است که تصاویر اپتیک با تفکیک مکانی بسیار بالا برای کشف

دستیابی به بیشترین و دقیق‌ترین آمار از رفتار، تأثیرات و به‌خصوص خسارات ناشی از این پدیده بوده‌اند. از این‌رو در سال‌های اخیر شاهد پیشرفت‌های چشمگیری در علوم مرتبط با مطالعات زمین و همچنین توصیف و پردازش تصاویر بوده‌ایم که نتایج بسیار مؤثری در پیشبرد اهداف مورد نظر به‌دست آمده است.

امروزه سنجنش از دور راداری به‌عنوان یکی از علوم مؤثر و پیشتاز شناخته می‌شود که به‌عنوان ابزاری کارآمد در اختیار متخصصین علوم زمین قرار گرفته است. به‌طوری‌که از این روش می‌توان در بسیاری از زمینه‌های علوم زمین و مخاطرات از جمله زلزله استفاده کرد و با آگاهی از اثرات قدرت زلزله از طریق این تخصص، می‌توان برای مخاطرات آینده برنامه‌ریزی کرد (صفائی و علی‌محمدی، ۱۳۸۵). امروزه پیشرفت فناوری و تکنولوژی به‌ویژه در زمینه سنجنش از دور راداری با ارائه مدل‌هایی از مخاطرات و تعیین موقعیت وقوع مخاطرات، تا حدودی مدیران را در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی مخاطرات یاری می‌دهد. تکنولوژی سنجنش از دور از سنجنده‌های متنوعی استفاده می‌کند که از نقطه نظر نوع منبع انرژی مورد استفاده، این سنجنده‌ها را می‌توان به دو دسته فعال و غیرفعال تقسیم نمود (دیده‌بان و همکاران، ۱۳۹۸).

حسگر تصویربرداری نوری^۱ یک سامانه غیرفعال و متکی به منبع نور خارجی مانند خورشید است. تصویر نوری با جمع‌آوری انرژی الکترومغناطیسی خورشید منعکس شده از سطح زمین به‌دست می‌آید. از نظر ویژگی طیفی، تصاویر نوری به سه بخش پانکروماتیک^۲، فرایطیفی^۳ و چند طیفی^۴ طبقه‌بندی می‌شوند. تصاویر پانکروماتیک با استفاده از حسگرهایی که محدوده فرکانسی مرئی تا بخش نزدیک به مادون قرمز طیف را پوشش می‌دهد به‌دست می‌آیند. حسگرهای چند طیفی تصاویر را در باندهای طیفی مختلف ارائه می‌دهند. بنابراین تصاویر چند طیفی از وضوح طیفی

1- Optical Image Sensor

2- Panchromatic

3- Hyperspectral

4- Multispectral

ادامه مروری بر آن‌ها خواهیم داشت.

از پروژه‌های اجرا شده می‌توان به ارزیابی و پایش تغییرات مناطق باستانی هگمتانه همدان اشاره کرد که توسط رجبی و همکاران انجام شد و شهرهای غربی استان همدان واقع در دشت همدان - بهار را به‌عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب کردند. در این پروژه از ۷۳ تصویر راداری سنتینل ۱ استفاده شده که طی بازه زمانی پنج ساله جمع‌آوری شده‌اند و از مدل رقومی ۳۰ متر srtm به‌عنوان داده و از نرم‌افزار ArcGIS و GTM برای پردازش تصاویر و تهیه نقشه استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که محدوده شهری همدان در بازه یک‌ساله اول از ۱ تا ۴۳ میلی‌متر فرونشست داشته، در بازه یک‌ساله دوم شاهد ۲ تا ۴۷ میلی‌متر فرونشست بوده و در یک‌ساله سوم بین ۳ تا ۶۸ میلی‌متر فرونشست تجربه کرده است. همچنین در یک‌ساله چهارم بین ۴ تا ۱۰۳ و در یک‌ساله آخر از ۷ تا ۱۱۴ میلی‌متر فرونشست را محاسبه کردند. می‌توان گفت که فرونشست این منطقه به‌طور میانگین سالانه ۲۳ میلی‌متر است. از دیگر نتایج این پروژه می‌توان به بیشترین میزان فرونشست در نواحی حاشیه‌ای و کمترین میزان فرونشست در نواحی مرکزی این شهر اشاره کرد که با توجه با روند ساخت و ساز در نقاط حاشیه‌ای در سال‌های اخیر می‌توان به تأثیر مستقیم ساخت و سازها بر این پدیده پی برد (رجبی و همکاران، ۱۳۹۱).

دیده‌بان و همکاران به منظور بررسی جابه‌جایی سطح زمین در اثر زلزله شش ریشتری استان خراسان رضوی، بخش سفید سنگ این استان را مورد مطالعه قرار دادند. به‌این منظور دو عکس از ماهواره سنتینل ۱ مربوط به قبل و بعد از زلزله جمع‌آوری شد. پس از بررسی‌ها مشخص شد میزان تغییرات بین ۲۴ سانتی‌متر فرونشست تا ۱۵۸ سانتی‌متر بالاآمدگی است که بیشترین تغییرات در نزدیکی گسل محل وقوع به‌وجود آمده است (دیده‌بان و رسولی، ۱۳۹۶).

در پژوهشی که کریمی در تیر ماه سال ۱۳۹۹ انجام داد توانست میزان جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای در بیابان لوت را به‌دست آورد. در این تحقیق از چهار تصویر راداری ماهواره

مناطق آسیب‌دیده بسیار مناسبند اما روش تداخل‌سنجی با استفاده از تصاویر راداری یک ابزار دقیق و قدرتمند ژئودزی با قابلیت اندازه‌گیری در تمام شرایط آب و هوایی و روز و شب، پوشش وسیع منطقه مورد مطالعه، توان تفکیک بالا و با دقت بالا است. در تداخل‌سنجی راداری بدون نیاز به اندازه‌گیری دقیق زمینی می‌توان با اندازه‌گیری اختلاف فاز بین دو تصویر از یک منطقه که در دو زمان مختلف اخذ شده‌اند، میزان جابه‌جایی سطح زمین را در این بازه زمانی تعیین نمود. همچنین از این روش می‌توان برای تولید مدل رقومی زمین استفاده کرد.

روش مورد استفاده در پژوهش حاضر نیز، روش تداخل‌سنجی راداری است که با استفاده از داده‌های راداری ماهواره سنتینل ۱ و پردازش آن‌ها در نرم‌افزار اسنپ به‌دست آمده است. به این منظور، در مرحله اول چهار تصویر در یک بازه زمانی ۲۴ روزه قبل و بعد از زلزله و حدوداً ۹ پس‌لرزه به فواصل بسیار نزدیک به یکدیگر، از ماهواره‌ی سنتینل ۱ جمع‌آوری شد، که پس از اعمال فیلترها و پردازش‌های لازم مشخص شد این منطقه در نزدیک‌ترین نقاط به گسل‌های آناطولی بیش از نیم متر فرونشست داشته است. اطلاعات به‌دست آمده از سازمان زمین‌شناسی ترکیه و تصاویر اخذ شده از نقشه مناطق آسیب‌دیده در این استان که توسط مرکز ماهواره‌ای ملل متحد ارائه شده، مبنای مقایسه قرار گرفت. در مرحله دوم با همپوشانی نقشه به‌دست آمده و نقشه توپوگرافی منطقه که از اطلاعات سازمان زمین‌شناسی ترکیه دریافت شد، در نرم‌افزار جی‌آی‌اس دریافتیم به‌طور میانگین بیشترین میزان تغییرات مربوط به مناطق مرتفع این استان است. به‌عبارت دیگر توپوگرافی مناطق باستانی و شیب نواحی که شهرهای باستانی یا بناهای ارزشمند در آن واقع هستند، تأثیر مستقیمی بر میزان جابه‌جایی و فرونشست این نواحی خواهد گذاشت.

پیشتر نیز با استفاده از سنجش از دور برای برآورد جابه‌جایی‌های افقی و عمودی و همچنین تعیین میزان تخریب آثار تاریخی اقداماتی صورت گرفته است که در

یکی دیگر از برآوردهای انجام شده پایش میزان تغییرات شهرهای استان همدان بود که توسط رجبی و همکاران استخراج شد. این تحقیق در دو مرحله انجام شده است، در مرحله اول با استفاده از تصاویر راداری، نرخ فرونشست منطقه محاسبه شده و در مرحله دوم با استفاده از اطلاعات مربوط به چاههای پیزومتری، نرخ افت سطح آب زیرزمینی و ارتباط آن با فرونشست منطقه ارزیابی شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که میانگین سالانه فرونشست در شهرهای همدان، بهار، صالح آباد و لاجین به ترتیب ۴۷، ۲۳، ۹ و ۶ میلی متر بوده است. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده، میانگین افت سالانه چاههای منطقه بین ۱۰ تا ۲۰۷۰ میلی متر بوده که بیشترین میزان افت در مناطق میانی محدوده مطالعاتی رخ داده است (روستایی و همکاران، ۱۴۰۱).

در اردیبهشت سال ۱۳۹۳ نیز شیخی کوهسار و همکاران حداکثر میزان فرونشست دشت اردکان یزد را حدود ۱۰ سانتی متر به دست آوردند. در این پژوهش از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری^۳ به منظور به تصویر کشیدن محدوده فرونشست و بررسی تغییرات زمانی کوتاه مدت و بلند مدت این حادثه کمک گرفته شده است. چهار تصویر SLC باند C، ASAR ENVISAT مربوط به بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ مورد استفاده قرار گرفت. از نتایج حاصل از تداخل سنجی راداری، حداکثر میزان فرونشست سالانه در محدوده مورد مطالعه، حدود ۱۰/۷۵ سانتی متر در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ به دست آمد (شیخی و همکاران، ۱۳۹۳).

از دیگر پروژه‌ها در استفاده از روش تداخل سنجی می‌توان به بررسی تخریب شهرستان طلحه اشاره کرد که توسط شفیعی و همکاران انجام شد. در این راستا یک زوج تصویر در بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۲ از ماهواره سنتینل ۱ جمع‌آوری شد و پس از رفع خطاهای احتمالی مانند اسپیکل^۴ و نویز، فرونشست منطقه تعیین و مشخص شد

سنتینل ۱ در بازه زمانی چهار ساله استفاده شد که به منظور حذف خطاهای ناشی از پوشش گیاهی، رطوبت و سایر عوامل از این قبیل، این تصاویر از ابتدای تابستان هر سال انتخاب شدند. با استفاده از تکنیک انحراف مقدار^۱ مشخص شد که این تپه‌ها در سال تا حداکثر سه متر امکان جابه‌جایی دارند. همچنین تپه‌های ماسه‌ای منطقه مورد مطالعه بیشتر از آن‌که تحت تأثیر جابجایی واقعی افقی باشند، بیشتر دچار تغییر شکل و تغییر فرمی دائمی هستند (کریمی، ۱۴۰۰).

در بهمن سال ۱۳۹۶ مقصودی و همکاران موفق به کمی‌سازی فرونشست زمین در منطقه غرب تهران شدند. در مقاله ارائه شده، یک سری زمانی دو ساله شامل ۳۰ تصویر سنجده سنتینل ۱ با استفاده از روش تداخل سنجی راداری مبتنی بر پراکنش گره‌ای دائمی^۲ در دو ناحیه مطالعاتی مورد پردازش قرار گرفته که بررسی‌ها، جابه‌جایی سالانه ۱۱ سانتی متری در جنوب منطقه مورد مطالعه، جایی که به دشت‌های شهریار و تهران منتهی می‌شود را، نشان داد. در این پروژه مشخص شد که جابه‌جایی تنها متوجه مناطق غیرمسکونی و دشتی نبوده و مناطق مسکونی نیز شاهد جابه‌جایی از ۹ تا ۱۳ سانتی متر بودند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۸).

یزدی و نیرومند در مطالعه فرونشست در دشت قزوین با استفاده از یک مجموعه داده ENVISAT در طی سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۰۳ و دو مجموعه داده Sentinel-1 در طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۱۴ و تجزیه و تحلیل سری زمانی از داده‌های ENVISAT دریافتند که این دشت با سرعت متوسط ۴۰ میلی متر در سال و با حداکثر مقدار ۵۰ میلی متر در سال و بر اساس نتایج Sentinel-1، با مقدار متوسط ۶۵ میلی متر در سال در حال فرونشست است. نتایج نشان داد که نرخ فرونشست زمین در جهت شمال غربی به جنوب شرقی در داخل دشت رو به رشد است و میانگین میزان فرونشست این دشت در سال حدود ۱۷ سانتی متر ارزیابی شد (یزدی و همکاران، ۱۴۰۰).

3- DInsar

4- Spekle

1- Offset Tracking

2- PSI

برای تشخیص آسیب‌های ناشی از زلزله پرداختند. در این مطالعه تصاویر SAR ماهواره‌های COSMO-Spotlight and SkyMed Sentinel-1, COSMO-StripMap SkyMed تاریخ‌های قبل و بعد از زلزله ۳۰ اکتبر ۲۰۱۶ شهر Norica ایتالیا با وضوح هندسی متفاوت مورد استفاده قرار گرفته است. نقشه‌های ارزیابی آسیب حاصل از بررسی‌های میدانی پس از زلزله، تولید شده توسط سرویس ملی آتشنشانی و نجات ایتالیا مبنای مقایسه دقت بوده است. در پایان آن‌ها دریافتند که تصاویر Spotlight SkyMed-COSMO با وضوح هندسی ۱×۱ متر قابلیت ارائه نقشه دقیق آسیب در مقیاس تک ساختمان را دارند، در حالی که تصاویر COSMO-StripMap SkyMed با دقت هندسی ۳×۳ متر محدوده‌بندی خوبی از ساختمان‌های آسیب‌دیده را نشان می‌دهند. این در حالی بوده است که تصاویر ماهواره Sentinel-1 با دقت هندسی ۵×۲۰ متر قدرت استخراج اطلاعات در مورد ساختمان‌های منفرد را نداشته اما در شناسایی تقریبی بخش‌هایی که به شدت آسیب‌دیده‌اند موفق ظاهر شده است (Mazzanti et al, 2022).

۲- داده‌ها و روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، استان غازی عیانتپ ترکیه است. دلیل انتخاب این منطقه وقوع چندین زلزله مخرب در سال‌های اخیر و همچنین وجود تعداد بسیار زیادی بنا و آثار باستانی است که این استان را در زمره اماکن تاریخی قرار می‌دهد. متأسفانه این منطقه تحت‌تأثیر زمین‌لرزه‌های اخیر به شدت تخریب شده و آسیب دید و خسارت‌های جبران‌ناپذیری را متحمل شد.

استان غازی عیانتپ که در اسناد مکتوب به عاییتپ^۱ و عانتپ^۲ به‌صورت محاوره‌ای معروف است، از دوران ماقبل تاریخ یک منطقه مسکونی بوده است. به همین دلیل در هلال حاصلخیز بین‌النهرین قرار دارد. این استان تاکنون

که حداکثر میزان فرونشست در این ناحیه ۰/۰۶۵ سانتی‌متر است (شفیعی و همکاران، ۱۴۰۱).

از این روش همچنین برای استخراج گسل‌های خطرناک نیز می‌توان استفاده کرد مانند پروژه‌ای که افشاری و همکاران در منطقه تاقدیس نادر شمال خراسان رضوی انجام دادند. داده‌های راداری مورد استفاده در این پروژه بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ و از ASAR Mode Single Look Complex و Envisat ماهواره ی تک پولاریزه از نوع IMS بود. در این پروژه که از نرم‌افزار Sarscape برای پردازش تصاویر استفاده شد، نتایج حاصل نشان داد که می‌توان با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی مایکروویو (راداری) به موقعیت جابه‌جایی ارتفاعی منطقه و نیز مکان‌هایی که در آن‌ها جابه‌جایی شدید بوده است به موقعیت احتمالی یک گسل فعال پی برد (افشاری و نوری، ۱۴۰۰).

Xiaolin sun و همکارانش سال ۲۰۲۲ در مطالعه‌ای به شناسایی مناطق آسیب‌دیده بر اثر زلزله ۵/۳ درجه ریشتری شهرستان باجینگ پرداختند. در این مطالعه از تصاویر ماهواره Sentinel- A1 و تکنیک تداخل‌سنجی راداری و رادار دیافراگم مصنوعی استفاده شده است. برآورد میزان خرابی‌ها به وسیله پهپاد ۱۱ با هدف ارزیابی پتانسیل آن‌ها در برآورد سریع آسیب قطبیده مبنای مقایسه دقت روش تداخل‌سنجی راداری بوده است. آن‌ها پس از پایش منطقه‌ای با ۱۶/۵ کیلومتر طول و ۷/۷ کیلومتر عرض دریافتند این تکنیک می‌تواند میدان تغییر شکل ناشی از زمین‌لرزه را به دقت برآورد کرده و مناطق آسیب‌دیده و ساختمان‌های فرو ریخته را شناسایی نماید. در مناطق فرو ریخته و با آسیب جدی، دقت تشخیص تغییرات ۸۶ درصد و در مناطق با آسیب‌دیدگی خفیف یا بدون آسیب، دقت تشخیص تغییرات ۸۴ درصد تعیین شده که با داده‌های مورد تأیید به‌دست آمده از بررسی میدانی توسط پهپاد پس از زلزله مطابقت داشته است (sun et al, 2022).

Paola Mazzanti و همکارانش سال ۲۰۲۲ در مطالعه‌ای

به بررسی عملکرد تصاویر SAR با وضوح هندسی متفاوت

1- Ayintep

2- Antep

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ()

پایش میزان تخریب شهرهای تاریخی و آثار باستانی بر اثر زلزله با استفاده از ... / ۷۳



نگاره ۲: بخش های تشکیل دهنده استان غازی عیانتپ

ارتفاع مرکز این استان از سطح دریا ۸۵۰ متر است. ۵۱/۹ درصد اراضی آن کوهستانی، ۲۶/۹ درصد دشت، و مابقی پوشش این منطقه را فلات تشکیل می دهد. فرات مهم ترین رودخانه غازی عیانتپ است، چراکه بخشی از اکثر رودخانه های این استان به رود فرات می ریزد و این رود، مرز بین استان غازی عیانتپ و شانلی اورفا را ایجاد می کند. مطالعات توپوگرافی این منطقه نشان می دهد که مناطق داخل مرزهای استان غازی عیانتپ عموماً دارای زمین های موج و ناهموار هستند. یک تیم تحقیقاتی تحت نظارت سازمان زمین شناسی ترکیه نقشه توپوگرافی غازی عیانتپ را به وسیله نرم افزار جی آی اس استخراج کردند و مشخص شده که ناهمواری ها و ارتفاع نقاط در این بخش از ۲۹۷ متر تا ۲۰۸۶ متر متغیر است (نگاره ۳).

دو ساختار تکتونیکی وجود دارد که در شکل گیری مورفولوژیکی کنونی غازی عیانتپ و اطراف آن مؤثر هستند: ساختار گسل های متعلق به منطقه گسلی آناتولی شرقی (EAFZ) و منطقه گسلی دریای مرده (DAFZ). گسل های مورد نظر به عنوان گسل های فعال تعریف شده و مستعد زلزله هستند و پتانسیل تولید زلزله دارند. هر دو منطقه گسل آناتولی شرقی و دریای مرده از مرزهای استانی غازی عیانتپ می گذرند. زون گسلی آناتولی شرقی یکی از دو پهنه گسلی اصلی و فعال ترکیه است. EAFZ که دریا را تشکیل می دهد، تقریباً ۶۰۰ کیلومتر بین بینگول-کارلیوا^{۱۱}

نام های متفاوتی داشته است (Gulcin kucukkaya, 2003). نام آن در اعصار ماقبل تاریخ کالسیتانان^۱ بود. نام های دیگر این استان عبارتند از: دابیگو، دابیگوبیت، دهلک، دولوک، بلبهی که در زمان آشوریان رایج بود. همچنین نام های انطاکیه و دولیخا در زمان امپراتوری سلوکی و آواسیم سرحدات در زمان عباسیان و دولوک، عاینتپ، دالوک، هانتاپ و عاینی توبه در زمان ترکی-اسلامی است (parlak Kalkan :2015, p.1). استان غازی عیانتپ؛ در محل اتصال منطقه مدیترانه و منطقه جنوب شرقی آناتولی واقع شده است. این استان که در مجموع از ۹ ناحیه به نام های: عربان^۲، اصلاحیه^۳، کارمامیش^۴، نیزپ^۵، اوغوزلو^۶، نوردائی^۷، شاهین بی^۸، شهید کامیل^۹ و یاووزلی^{۱۰} تشکیل شده، یکی از بزرگ ترین استان های ترکیه است. مساحت این استان ۶۸۰۳ کیلومتر مربع است و جمعیت آن ۲ میلیون و ۱۰۱ هزار و ۱۵۷ نفر گزارش شده است. از نظر مساحت ترکیه، این استان پنجاه و یکمین استان بزرگ و نهمین استان پرجمعیت است (map.gov.tr) (نگاره ۱ و ۲).

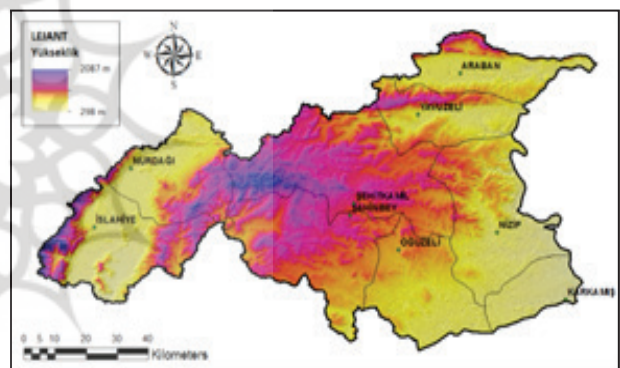


نگاره ۱: موقعیت دقیق استان غازی عیانتپ در کشور ترکیه

- 1- Kalsintanan
- 2- Araban
- 3- Islahiye
- 4- Karkamış
- 5- Nizip
- 6- Oğuzeli
- 7- Nurdagi
- 8- Şahinbey
- 9- Şehitkamil
- 10- Yavuzeli

استان غازی عیانتپ از نظر موقعیت مکانی در نقطه بسیار مهمی قرار دارد و عبور جاده ابریشم از قلمرو آن نیز بر اهمیت این استان افزوده است. این منطقه در گذشته بسیار پویا بوده و در قرن نوزدهم فعالیت محوطه‌های باستان‌شناسی مربوط به اولین تمدن‌ها در این منطقه آغاز شد. در سال ۱۹۴۶ پروفیسور انور بوستانچی طی تحقیقاتی، غارهایی را کشف کرد که گمان می‌رفت توسط انسان‌های اولیه استفاده می‌شدند. کشف آثار نمونه‌های سفالی و سنگی رنگ شده و خمیری درشت در این منطقه که قدمت آن به عصر نوسنگی می‌رسد بیانگر آن است که عمر تمدن این منطقه از ۱۸۰۰ سال قبل از میلاد و ۱۲۰۰ سال بعد از میلاد قابل اثبات است. علاوه بر قدمت طولانی، از دیگر جنبه‌هایی که این منطقه را در دسته آثار باستانی قرار می‌دهد، وجود تعداد بسیار زیادی بنا و آثار تاریخی در این شهر است که طی قرن‌ها ساخته و محافظت شده است. از نمونه‌های این آثار می‌توان به موزه موزائیک اشاره کرد. این موزه، موزائیک‌هایی را که از ویلاهای ساخته شده در روم باستان به دست آمده، دربر گرفته است. نمونه‌های باقی مانده از این شهر باستانی، موزائیک‌های کفپوش ویلاهاست که از کاوش باستان‌شناس‌ها به دست آمده و نشان از یک شهر باستانی موزائیکی دارد. قلعه غاز عیانتپ مربوط به قرن ۱۲ و ۱۳ و دوران سلجوقی است اما تخمین زده می‌شود عمر دقیق این قلعه که در مرکز شهر قرار دارد، به ۳۶۰۰ سال پیش از میلاد باز می‌گردد. از دیگر آثار می‌توان به مسجد اوزون جامی، مسجد شاهزاده کریم، کاروانسراهای تاریخی، حمام‌های تاریخی و..... اشاره کرد که قدمت هرکدام به چندصد سال می‌رسد. مسجد حسن بابا که در سال ۱۵۶۲ ساخته شده و یکی از معروف‌ترین مساجد این شهر است؛ کاخ عمومی که در سال ۱۹۰۴ ساخته شد و به عنوان مرکز اجتماعی و فرهنگی این شهر شناخته می‌شود. موزه غاز عیانتپ که دارای مجموعه‌ای از نقاشی‌ها آثار باستانی تمثال‌ها و اشیاء قدیمی است، از دیگر جاذبه‌های این شهر است که در سال ۱۹۵۳ ساخته شده است؛ کلیسای سورپ پیرگوس ساخته

و آنتاکیا^۱ است و نقش مهمی در تحولات ژئودینامیکی و لرزه‌خیزی منطقه دارد که از شش بخش گسلی با طول‌های ۵۰ تا ۱۴۵ کیلومتر تشکیل شده است. منطقه گسلی دریای مرده تقریباً ۱۰۰۰ کیلومتری از دریای سرخ تا EAFZ را شامل می‌شود که از غرب با منطقه جنوب شرقی آناتولی همسایه است و بین چلیخان^۲ و حسا^۳ قرار دارد. گسلی است که از دشت آمیک^۴ می‌گذرد با دوشاخه شدن در شمال ریحانلی^۵ به سمت شمال ادامه می‌یابد و با DAFZ در منطقه نارلی^۶ ادغام می‌شود. در این ناحیه، مناطق وسیع و به شدت آسیب دیده ناشی از این گسل وجود دارد، زمین‌لرزه‌های زیادی رخ داده و فعالیت آن‌ها همچنان ادامه دارد (tjk.jmo.org.tr) (نگاره ۳).



نگاره ۳: نقشه توپوگرافی استان غاز عیانتپ



نگاره ۴: موقعیت گسل‌های فعال استان غاز عیانتپ

- 1- Antakya
- 2- Çelikhan
- 3- Hassa
- 4- Amik
- 5- Reyhanlı
- 6- Narli

شده در ۱۸۶۸ و یکی از قدیمی‌ترین کلیساهای این شهر است؛ تپه آشانتپ که در حومه شهر واقع شده و دارای بقایای تمدن‌های قدیمی است و همچنین کاخ آتاتورک که در سال ۱۹۰۵ ساخته شده از دیگر میراث فرهنگی این منطقه است. از آثار تاریخی دیگر این استان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

شهر باستانی زوگما بلقیس در ده کیلومتری منطقه نیزیف غازی عینتاب قرار دارد که توسط یکی از ژنرال‌های اسکندر کبیر ۳۰۰ سال قبل از میلاد ساخته شده است. این شهر در دوره رم از ارزش بالایی برخوردار بود و پیشرفت بسیاری در زمینه هنر داشت. همچنین روم قلعه یک قلعه قدرتمند در رودخانه فرات است که به آن قلعه رومی نیز می‌گویند. این قلعه در طی قرون وسطی توسط حاکمان مختلف بیزانس و ارمنی اشغال شده بود. این بنا در سال‌های ۱۲۰۳ تا ۱۲۹۳ محل اقامت اسقف ارمنی بود. روم قلعه، در حال حاضر همانند یک شبه جزیره فقط با قایق قابل دسترسی است، که این امر به دلیل ساخت سد بیرجیک در آن است. موزه فضایی باز یسمک یک منطقه تاریخی مربوط به حکومت هیتی در سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۳۵ میلادی است. این موزه دارای اسفنگس، دروازه‌ها، شیرهای نشسته، شیرهای بالدار، خدای کوه امدادی که نماینده کوه‌های آمانوس هستند، تسلیحات جنگی و قطعات معماری در محیط طبیعی است. در این موزه بزرگ‌ترین مجسمه‌های تراشیده از سنگ وجود دارد که حدود ۳۰۰ مجسمه هستند. مسجد و قلعه پسیرجی یکی از قدیمی‌ترین بناهای غازی عینتاب و مربوط به قرن ۱۳ و معماری سلجوقی است. سقف این بنا با سنگ‌های حک شده ساخته شده است. این بنا یکی از نمونه‌های منحصر به فرد معماری آب زیرزمینی است. موزه حمام غازی عینتاب یکی از زیباترین نمونه‌های هنر معماری دوره عثمانی است که توسط مطلق‌پاشا در سال ۱۵۷۷ ساخته شده است. این ساختمان سال‌ها به عنوان حمام پاشا مورد استفاده قرار گرفته و در سال ۲۰۱۵ توسط شهرداری غازی عینتاب به موزه تبدیل شد. در این حمام قسمت‌های سرما، گرما، بخش‌های

درجه حرارت حمام و ظروف از مجموعه هالوک پرک، شماره حمام، مجسمه‌ها و مدل‌های موم به نمایش در آمده است. مسجد عمریه یکی از بناهای مربوط به قرن دوازدهم است که توسط خلیفه عمر ساخته شد. مسجد عمریه یک بنای سنگی است که نام مسجد اسم سازنده‌اش را گرفته است. همچنین مسجد آزادی یکی از بناهای تاریخی است که توسط سرکسیس بالین، معمار سلطنتی عبدالحمید دوم، معمار عثمانی-ارمنی در سال ۱۸۹۲ طراحی و ساخته شد. مسجد آزادی نیز در ابتدا یک کلیسای رسمی ارمنی بود که بعد از نسل‌کشی ارمنی‌ها به مسجدی تبدیل شد. این کلیسا بخشی از یک مجتمع بود که دارای یک ساختمان مدرسه و اداری در شهر عینتاب بود. علاوه بر این‌ها موزه مدوسا بزرگ‌ترین مجموعه آثار باستانی شیشه‌ای در ترکیه است که دارای ۱۵۰۰ قطعه شیشه دو هزار ساله و چهار هزار ساله است. ساختمان این موزه از شش اتاق تشکیل شده در اتاق پنجم این موزه آثار شیشه‌ای باستانی مربوط به عصر برنز، مصنوعات دوران روم باستان، طلا و جواهر و بسیاری از آثار ریز و درشت به نمایش درآمده است. همچنین در این موزه تصاویر کارگاه‌های آموزشی برای معرفی بهتر صنایع مختلف نیز وجود دارد (Wikipedia).

استان غازی عینتاب در جنوب شرقی کشور ترکیه در موقعیت جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴ دقیقه شمالی و ۳۷ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی، در ۲۵۰ کیلومتری گسل آناتولی قرار دارد. در ششم فوریه ۲۰۲۳ (۱۷ بهمن ۱۴۰۱) زمین‌لرزه‌ای سهمگین به بزرگی ۷/۸ ریشتر مرکز و جنوب ترکیه و شمال و غرب سوریه را به مدت ۷۵ ثانیه لرزاند. این زلزله در ۳۰ کیلومتری شهر غازی عینتاب و در عمق ۱۷/۹ کیلومتری زمین رخ داد و خسارت‌های جبران‌ناپذیری برجای گذاشت. همچنین ۹ ساعت بعد زلزله دیگری به بزرگی ۷/۵ ریشتر در ۱۰۵ کیلومتری کانون زلزله اول و عمق ۱۰ کیلومتری زمین رخ داد که بزرگ‌ترین زلزله در منطقه آناتولی در ۲۰۰۰ سال اخیر بود. این زمین‌لرزه‌ها در مجموع فجایع سهمگین

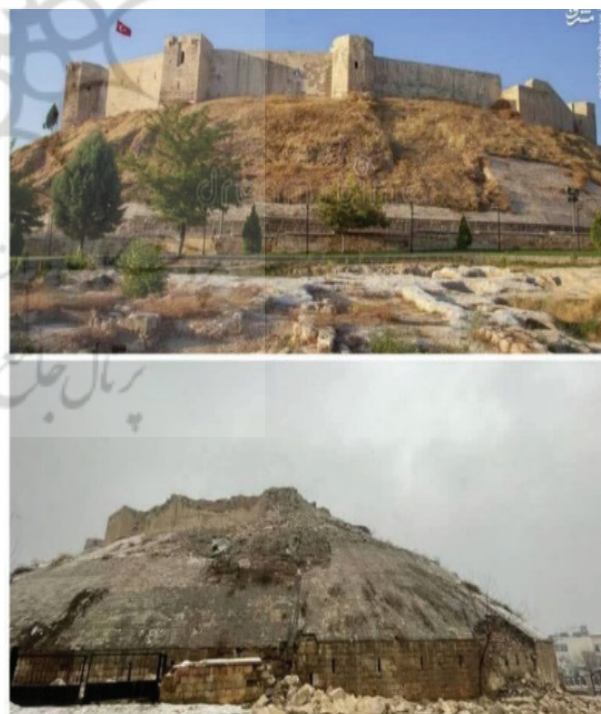


نگاره ۶: تصاویر هوایی از قلعه غازی عیانتپ
(قبل و بعد از زلزله)

۲-۲- روش تحقیق

در این پژوهش قصد داریم با تکنیک تداخل سنجی میزان جابه‌جایی زمین و تخریب آثار باستانی را بسنجیم. به این منظور تصاویر راداری مورد نیاز از ماهواره سنتینل ۱ گرفته شده‌اند. ماهواره Sentinel-1 با هدف برداشت تصاویر راداری به فضا پرتاب شد. از قابلیت‌های این ماهواره می‌توان به اخذ تصاویر راداری در تمام شرایط آب و هوایی و ۲۴ ساعت شبانه‌روز اشاره کرد. از این رو کارآمد بودن این تصاویر در هر شرایطی موجب شده تا در استفاده از تکنیک تداخل سنجی این پروژه تصاویر راداری اولویت داشته باشند (صادقیان و همکاران، ۱۳۹۸). ماهواره Sentinel-1 متشکل از دو سری ماهواره Sentinel-1A و Sentinel-1B است که در یک مدار با ارتفاع ۶۹۳ کیلومتر و با اختلاف ۱۸۰ درجه از یکدیگر قرار دارند. این نرم‌افزار که توسط آژانس فضایی اروپا به صورت رایگان در اختیار کاربران گذاشته شده،

و تخریب گسترده‌ای بر جای گذاشتند که گمان می‌رود تخریب و جابه‌جایی پوسته زمین در این منطقه بسیار شدید باشد. زمین‌شناسان مرکز زلزله را در ۳۷/۱۷۴ درجه شمالی و ۳۷/۰۳۲ درجه شرقی محاسبه کردند، از این رو میزان نزدیکی منطقه مورد مطالعه به کانون زلزله از دیگر دلایل مطالعه این منطقه بود. این زمین‌لرزه‌ها بالغ بر ۱۳۰۰۰ پس‌لرزه داشتند که ۳۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع از مساحت ترکیه را درگیر و حدود ۱/۵ میلیون نفر را بی‌خانمان کردند. همچنین در مجموع بیش از ۵۸ هزار تلفات جانی و بیش از ۱۲۱ هزار زخمی بر جای گذاشتند که بیانگر قدرت و عمق تخریب و فاجعه است. در نگاره‌های ۵ و ۶ با استفاده از تصاویر زمینی و هوایی میزان تخریب و تغییر قلعه غازی عیانتپ و مناطق باستانی قبل و بعد از زلزله در این شهر مشاهده می‌شود.



نگاره ۵: تصاویر زمینی از قلعه غازی عیانتپ
(قبل و بعد از زلزله)

جدول ۱: داده‌های راداری اخذ شده

تصویر	تاریخ اخذ	پولاریزاسیون	کد مدار	فرمت	سطح پردازش	مسیر مدار	باند	ماهواره
مرجع	2023_02_04	VV	116	IW	SLC	ACCENDING	C_SAR	SENTINEL1-A
پرو	2023_02_28	VV	116	IW	SLC	ACCENDING	C_SAR	SENTINEL1-A

ملل متحد ارائه شده، مبنای مقایسه قرار گرفت. لازم به ذکر است که هدف از پژوهش حاضر، بررسی تغییرات و تخریب مناطق آسیب‌دیده تاریخی و همچنین پیش بینی نقاط پرخطر در نواحی و اماکن ارزشمند باستانی است که از این‌رو برای تطبیق نقشه به‌دست آمده با نقشه‌های کاربری اراضی و دیگر نقشه‌های اطلاعاتی مربوطه نیازی به ارقام بسیار دقیق فرونشست زمین در این مناطق نیست. هرچند که با توجه به حذف بسیاری از خطاها و پردازش تصاویر به‌طور دقیق، و همچنین مبنای مقایسه نتایج، اعداد به‌دست آمده در بیشتر موارد قابل استناد هستند.

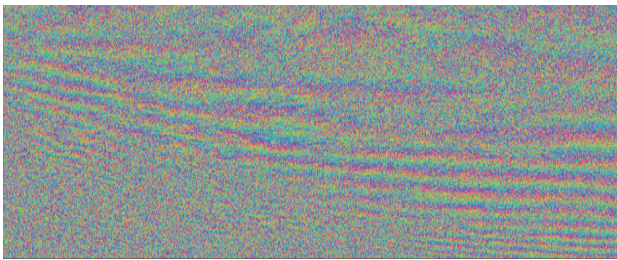
تصاویر باید اینترفروگرام مناسب برای اعمال فیلترها و حذف خطاهای ناشی از توپوگرافی داشته باشند. میزان مناسب بودن تصاویر را می‌توان از عدد کوهرنسی^۲ نمایش داده شده در قسمت اطلاعات نرم‌افزار تشخیص داد. هرچه این عدد به ۱ نزدیک‌تر باشد، تصاویر اینترفروگرام با دقت و کیفیت بالاتری خواهیم داشت که این عدد در تصاویر اخذ شده ۰/۹۶ نشان داده شد. همچنین با توجه به بررسی توپوگرافی منطقه و معرفی نقشه به نرم‌افزار مورد استفاده می‌توان به حذف خطاهای ناشی از توپوگرافی در نرم‌افزار استناد کرد. در پژوهش‌های تداخل سنجی راداری که موضوع بررسی جابه‌جایی سطح زمین است، بهتر است تصاویر از یک مدار یکسان (صعودی یا نزولی) باشند، چراکه فاز اندازگیری شده در هر مدار متفاوت بوده و منجر به ایجاد خطا در نتایج محاسبات می‌شود. هم مرجع‌سازی^۳ تصاویر گام بعدی خواهد بود. در این مرحله، نرم‌افزار تصاویر را به‌گونه‌ای هم‌پوشانی می‌دهد که هر پیکسل در تصویر اول نشان‌دهنده عوارض و اطلاعات یکسان با همان پیکسل

قابلیت پردازش تصاویر راداری و اپتیک را دارد و پس از اعمال فیلترهای لازم خروجی مورد نیاز را در اختیار ما قرار می‌دهد. دو ماهواره Sentinel-1 تصاویر باند C را در قطبش منفرد و دوگانه در چهار حالت اکتساب به‌عنوان Stripmap (SM)، تداخل سنجی گسترده (Interferometric Wide Swath) نوار عریض Extra Wide (Swath) و (Wave) و سطوح پردازش متفاوت با پیرو شش روز اخذ می‌کنند. داده‌ها از مرکز دسترسی آزاد کوپرنیک (<https://scihub.copernicus.eu/dhus>) دانلود و مشخصات آن‌ها در جدول (۱) نمایش داده شده است. داده‌های تحقیق با استفاده از نرم‌افزار اسنپ^۱ پردازش شدند. تصحیح اثر توپوگرافی با استفاده از (DEM SRTM 30m) صورت گرفت. در مرحله دریافت داده‌ها، چهار تصویر به فاصله زمانی هشت روز از یکدیگر جمع‌آوری شدند. تصویر اول در ۴ فوریه ۲۰۲۳ یعنی دو روز قبل از زلزله اول، تصویر دوم در ۱۲ فوریه، تصویر سوم در ۲۰ فوریه و تصویر نهایی در ۲۸ فوریه ۲۰۲۳ برداشت شده است که به‌طور خلاصه اطلاعات مربوط به تصاویر اول و آخر در جدول (۱) ذکر شده است. دلیل انتخاب بازه ۲۴ روزه وجود پس‌لرزه‌های بسیار زیادی است که ناشی از این دو زلزله بود. زمان عکس‌ها به نحوی انتخاب شد که نزدیک‌ترین ساعات به قبل و بعد از وقوع زلزله از ناحیه گرفته شده باشند در حالی که مدارهای گذرنده ماهواره هنگام دریافت هر دو عکس یکسان بودند. در بررسی فرونشست زمین فرمت عکس‌ها باید یکسان و سطح پردازش هردو تصویر باید به‌صورت SLC باشد. اطلاعات به‌دست آمده از سازمان زمین‌شناسی ترکیه و تصاویر اخذ شده از نقشه مناطق آسیب‌دیده در این استان که توسط مرکز ماهواره‌ای

2- Coherence

3- Coregistration

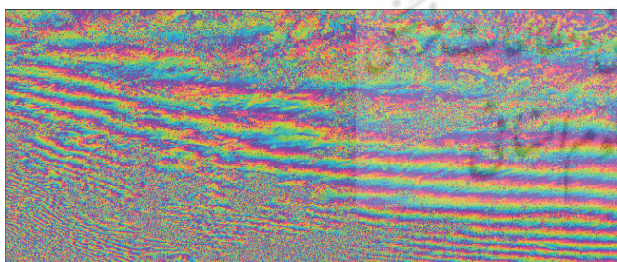
1- Sentinel Application Platform (SNAP)



نگاره ۷: تصویر اینترفروگرام پس از تصحیحات

۲-۲-۲- حذف اثر توپوگرافی

فازی که در این مرحله دریافت می‌کنیم تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند نویزها، اطلاعات مداری و بیس لاین‌ها و اثرات توپوگرافی و اتمسفری دیگر هست. از این رو برای به دست آوردن میزان دقیق جابه‌جایی لازم است که تا حد امکان اثرات خطاهای دیگر در تصاویر را از بین ببریم (Hooper & et al, 2011). خطاهای توپوگرافی به خطاهایی که ناشی از جو یا سطح زمین به مقدار فاز ما در تصویر وارد شده، گفته می‌شود. بنابراین نرم‌افزار مدل ارتفاعی رقومی انتخابی را به فاز تبدیل کرده که به آن فاز توپوگرافی گفته می‌شود. سپس این فاز از فاز تداخل نگار کم می‌شود تا فقط تغییرات حاصل از فرونشست باقی بماند (نگاره ۸).



نگاره ۸: تصویر بعد از حذف خطای توپوگرافی

۲-۲-۳- اعمال فیلتر گلدشتاین^۵ و بازیابی فاز^۶

در تمامی تصاویر راداری تداخل امواج و همچنین عامل توپوگرافی سطح زمین اثر نامطلوبی در تصاویر ایجاد می‌کند

در تصویر دوم باشد (Amelung & et al, 2000). به این منظور از مدل‌های رقومی استخراج شده زمین استفاده می‌شود که در این مرحله نرم‌افزار به صورت خودکار هنگام پردازش از این مدل‌ها برای هم مرجع‌سازی استفاده خواهد کرد. پس از آن لازم است که مراحل زیر طی شود.

۲-۲-۱- اینترفروگرام^۱

قبل از انجام این مرحله باید بدانیم که منطقه مورد نظر در کدام باند تصویر ما قرار دارد. هر قدر تصویر بزرگ‌تر و تعداد پیکسل‌ها بیشتر باشد سرعت پردازش نرم‌افزار کاهش و زمان پردازش افزایش خواهد یافت. بنابراین لازم است باندهای مورد نظر که منطقه مورد مطالعه در آن واقع است از تصویر جدا شده و به اصطلاح کراپ شود، که به این عمل سابست^۲ کردن گفته می‌شود. اینترفروگرام یا تداخل‌نما حاصل نمایش اختلاف فاز ناشی از تغییر فاصله بین پدیده زمینی و سنجنده در دو عبور متوالی است. این مرحله به زبان ساده برای به دست آوردن اختلاف فاز بین دو تصویر در عبورهای متوالی انجام می‌شود (Wright & et al, 1999 p.2). با تصویر خروجی از اینترفروگرام یک تصویر متشکل از یک فاز^۳ و یک کوهرنسی خواهد بود. ماهواره‌ها در هر مسیر عبوری خود به صورت نواری فاصله‌های موازی بین باندها ایجاد می‌کنند که در تصاویر راداری به شکل خط‌های موازی نمایش داده می‌شوند. بنابراین لازم است در مراحل پردازش این خطوط نیز حذف شوند که بتوان نتایج با دقت و صحت بیشتر استخراج کرد. اصطلاحاً به این عمل دیبرست^۴ کردن تصاویر گفته می‌شود (Ganas & et al, (2018, (p.3-4). بعد از این مرحله تصاویر یکپارچه و سبک‌تر شده و آماده فیلترهای بعدی خواهند بود. در تصویر اینترفروگرام مقدار هر پیکسل اختلاف فاز بین تصویر اول و دوم خواهد بود (نگاره ۷).

1- Interferogram

2- subset

3- phase

4- deburst

5- Goldstein

6- unwrapping

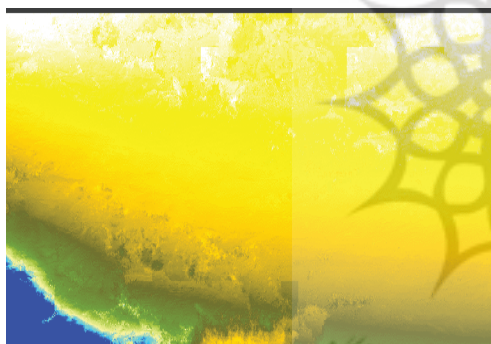
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (س)

پایش میزان تخریب شهرهای تاریخی و آثار باستانی بر اثر زلزله با استفاده از ... / ۷۹



نگاره ۱۱: تصویر زمین مرجع شده

برای دید بهتر و تشخیص دقیق میزان جابه‌جایی لازم است که تصویر در سامانه گوگل ارث^۲ بارگذاری شود تا بتوانیم مقدار تخریب را برآورد کنیم (نگاره‌های ۱۲ و ۱۳).

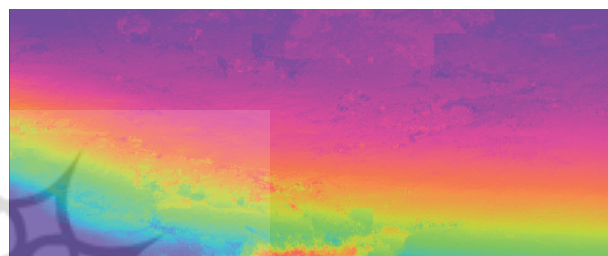


نگاره ۱۲: تصویر بارگذاری شده در گوگل ارث



نگاره ۱۳: تصویر در گوگل ارث (بزرگ‌نمایی شده)

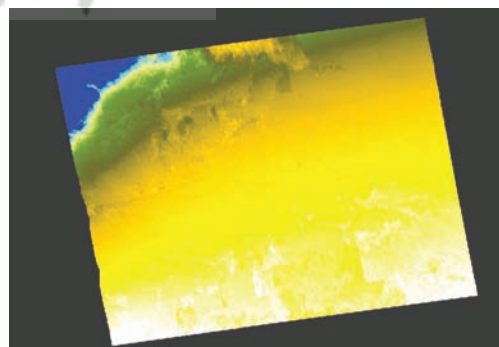
که به نویز اسپکل^۱ معروف است. فرآیند کاهش نویز تصویر را دچار تغییراتی می‌کند که نیاز است فیلتری اعمال شود تا تخریب تصویر را به حداقل برساند که در اینجا از فیلتر گلداشتاین استفاده شده است. در مرحله بازیابی فاز داده‌ها به صورت منظم یا نامنظم در تداخل‌نما پراکنده می‌شوند. یکی از راهکارهای بازیابی فاز در فضای نامنظم تبدیل این فضا به یک فضای منظم با استفاده از درونیابی نزدیک‌ترین همسایگی است (توکلی اصطهباناتی و دهقانی، ۱۳۹۵) (نگاره ۹).



نگاره ۹: تصویر بعد از اعمال فیلتر گلداشتاین و بازیابی فاز

۲-۲-۴- تبدیل فاز به جابه‌جایی

مرحله آخر تبدیل فاز به دست آمده حاصل از اعمال فیلترها به میزان جابه‌جایی؛ به بیان ساده‌تر کمی‌سازی فازهای به دست آمده است. پس از آن نیاز است که تصویر به دست آمده زمین مرجع شده و تا مقدار کمی و دقیق جابه‌جایی استخراج شود. در این مقاله از مدل رقومی SRTM برای زمین مرجع کردن تصاویر استفاده شده است (نگاره‌های ۱۰ و ۱۱).

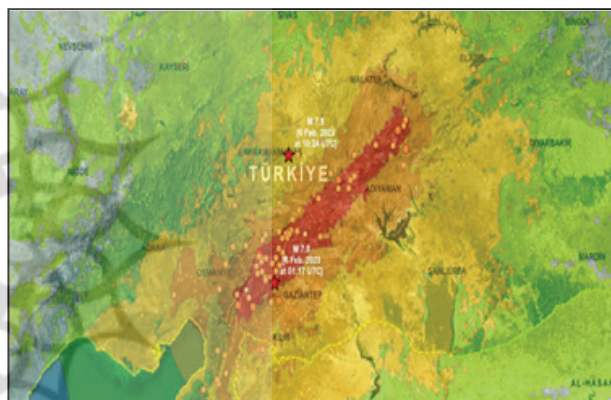


نگاره ۱۰: تصویر پس از تبدیل فاز به جابه‌جایی

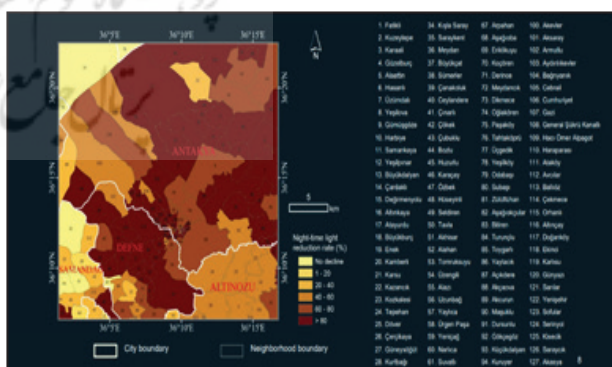
۳- بحث و نتیجه گیری

باتوجه به نتایج به دست آمده دریافتیم که میزان تغییرات پوسته زمین در این ناحیه طی زلزله های اخیر از ۴ سانتی متر تا بیش از نیم متر بوده که این اعداد با توجه به نزدیکی شهر غازی عیانتپ به کانون زلزله قابل پیش بینی بود. کمترین میزان فرونشست مربوط به نواحی سفید رنگ با حدود ۴ سانتی متر جابه جایی است و نواحی زرد رنگ با حداکثر ۳۰ سانتی متر بیشترین جابه جایی را بعد از آن دارد. نواحی سبز رنگ که فاصله کمتری را با گسل آتاتولی دارد حدود نیم متر جابه جایی داشته و نواحی آبی رنگ با بیشترین میزان جابه جایی یعنی بیش از نیم متر نزدیک ترین ناحیه به گسل آتاتولی است. همانطور که از نتایج مشخص است هر چه از شهر غازی عیانتپ به سمت مرکز زلزله و گسل های آتاتولی پیش می رویم میزان جابه جایی بیشتر و عدد آن بزرگ تر است. با همپوشانی نقشه توپوگرافی منطقه با جابه جایی به دست آمده مشخص شد بیشترین میزان جابه جایی مربوط به شهرهای غربی استان است و هرچه به شهرهای شرقی نزدیک تر می شویم میزان تخریب کاهش می یابد. شهر اصلاحیه با میانگین ارتفاع ۴۹۰ متر و با جابه جایی ۰/۵۵ تا ۰/۵۷ متر بیشترین میزان جابه جایی را شاهد بوده؛ پس از آن شهر نوردائی با میانگین ارتفاع ۵۱۶ متر دارای بیشترین جابه جایی در حدود ۰/۵۳ تا ۰/۵۵ متر است، و پس از آن شهرهای شاهین بی، شهید کمال، یاوزولی، اوگوزلی، عربان، نیزپ و کارمامیش به ترتیب شاهد بیشترین کمترین میزان جابه جایی بودند. همچنین با بررسی نقشه کاربری اراضی و بررسی بافت منطقه شهری و مطابقت نقشه پوشش گیاهی استان با نقشه جابه جایی استخراج شده مشخص شد که مناطق با بافت کشاورزی و رطوبت زیاد همچنین مناطق نزدیک به رودخانه ها و مناطق آبی بیشترین میزان جابه جایی را داشتند. باتوجه به این که منطقه اصلاحیه با بافت کشاورزی و زمین های زراعی و روستاهای متعدد دارای بیشترین میزان تخریب نسبت به شهرهای مرتفع بوده است، مشخص شد که رطوبت منطقه مورد مطالعه و فاصله

سازمان زمین شناسی ترکیه و مرکز ماهواره ای ملل متحد در تحقیقاتی که پس از زلزله در این استان انجام دادند تصاویر و نقشه هایی از نقاطی در این منطقه که بیشترین آسیب را دیدند ارائه دادند. در آخر با بررسی و تطبیق نقشه ها و اطلاعاتی که از این مؤسسات به عنوان مبنای مقایسه استخراج شدند، صحت نتایج مشخص شد و پس از مشاهدات صورت گرفته نواحی به ترتیب از بیشترین تا کمترین از نظر آسیب دیدگی و همچنین نواحی در معرض زلزله نیز به ترتیب از پرخطرترین تا کم خطرترین طبقه بندی شدند (نگاره های ۱۴ و ۱۵).



نگاره ۱۴: تصویر ارائه شده از مرکز ماهواره ای ملل متحد از مناطق آسیب دیده



نگاره ۱۵: نقشه میزان افت نور شهرهای ترکیه هنگام وقوع زلزله، ارائه شده از مرکز ماهواره ای ملل متحد

کرد. بعلاوه، با بالا بردن دقت این تصاویر راداری و با در دست داشتن تجهیزات پیشرفته‌تر می‌توان میزان تخریب بناهای تاریخی را به‌صورت منحصر به فرد و با دقت و جزئیات بیشتر به‌دست آورد که این کار به مرمت و احیای این بناها در آینده کمک فراوانی خواهد کرد.

تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

References

- 1- Afshari, Somayye and Nouri, Mohammad Reza, 2022, extraction of geological faults using radar interferometry (the study area of Nadir anticline, north of Razavi Khorasan province)[in persian].
- 2- Ale-Boye Langroudi, Saeede and Khodam, Ali and Hasanlou, Mehdi and Qanadi, Mohammad Amin, 2016, Determination of ground surface displacement using radar interferometry of Sentinel-1 satellite images (subject of study: Bojnord earthquake), 4th National Application Conference GIS spatial information system in the water and electricity industry.[in persian]
- 3-Amelung, F; Jonsson, s, Zebker, h, and Segall, p (2000): Widespread uplift and 'trapdoor' faulting on Galapagos volcanoes observed with radar interferometry. Nature, vol.407, pp.-Wikipedia.
- 4- Amigh Pey, Masoumeh and Arabi, Siavash and Talebi, Ali, 2010, investigation of Yazd subsidence using radar interferometric method and accurate leveling.[in persian]
- 5-Andrew Hooper, David Bekaert, Karsten Spaans, Mahmut Arikan (2011): Recent advances in SAR interferometry time series analysis for measuring crustal deformation. Tectonophysics. Delft University of Technology.
- 6-Athanassios Ganas, Penelope kourkouli, pierre briole, Alexandra moshou, Panagiotis elias, and Isaak parcharidis. (2018) Coseismic displacement from moderate_size earthquakes mapped by sentinel_1 differential interferometry: the case of February gulf of earthquakes sequence (biga peninsula, turkey). Remote sensing MDPI journal.

آن از دریا و مناطق آبی تأثیر مستقیم در میزان جابه‌جایی و فرونشست زمین خواهد داشت و پس از آن ارتفاع منطقه مورد مطالعه عامل تأثیرگذار بعدی به‌طور مستقیم خواهد بود. بررسی‌ها نشان داد هرچه از منطقه زراعی اصلاحیه به سمت منطقه نوردائی حرکت کنیم ارتفاع منطقه افزایش خواهد یافت و پس از این ناحیه با ادامه مسیر به سمت مناطق شرقی استان ارتفاع مناطق رو به کاهش خواهد رفت. با توجه به نقشه اگر مقدار جابه‌جایی در کل استان غازی عیانتپ را که با نواحی زرد نشان داده شده بین ۲۰ تا ۵۰ سانتی‌متر در نظر بگیریم در می‌یابیم که این عدد برای جابه‌جایی بناهای تاریخی و استانی باستانی مانند غازی عیانتپ بسیار مخرب و فاجعه‌بار است. چراکه برای محوطه‌های باستانی و میراث فرهنگی حتی تغییرات و جابه‌جایی‌هایی با مقیاس میلی‌متر نیز حائز اهمیت است. تداخل‌سنجی با استفاده از داده‌های راداری روشی کارآمد برای بررسی تغییرات به‌خصوص در مطالعه آثار باستانی است. بنابراین استفاده از این روش می‌تواند خطرات احتمالی آینده را تا حد زیادی کاهش دهد. مهم‌ترین دستاورد این پروژه به‌دست آوردن میزان تخریب شهرهای باستانی و مطالعه نقاط و مناطق پرخطر در معرض زلزله است. با توجه به نتایج و مشاهدات به‌دست آمده از نقشه کاربری اراضی این استان، برای جلوگیری از آسیب شدید به آثار باستانی و تلفات جانی لازم است بیشترین تمهیدات در مناطق با رطوبت بالا و نواحی که کمترین فاصله را با دریاها و رودخانه‌ها دارند و بیشترین مقاوم‌سازی برای آثار باستانی واقع در مناطق مرتفع انجام شود. با توجه به میزان تغییرات در استان غازی عیانتپ اعداد به‌دست آمده قابل تأمل و نشان‌دهنده مخاطراتی است که هنوز هم این شهر را تهدید می‌کنند. با این وجود اگر بتوان در سال‌های آتی با استفاده از این روش، گسل‌ها و مناطق خطرناک را تشخیص داد و آماده‌سازی‌های لازم طبق توصیه‌های گفته شده انجام شود، می‌توان جان بسیاری را هنگام وقوع اینگونه بلایای طبیعی نجات داد و از بسیاری از خسارات سنگین که آثار باستانی را تهدید می‌کند جلوگیری

- 20- Paolo Mazzanti, Stefano Scancella, Maria Virelli, Stefano Frittelli, Valentina Nocente, Federico Lombardo. 2022. Assessing the Performance of Multi-Resolution Satellite SAR Images for Post-Earthquake Damage Detection and Mapping Aimed at Emergency Response Management. Remote Sens. <https://doi.org/10.3390/rs14092210>
- 21- Pourbيرانvand, Shahrokh, 2017, the importance of documenting historical monuments under the threat of earthquakes: case studies from Iran and the world, the second national conference on documenting natural and cultural heritage. [in persian]
- 22- Rajabi, Masoumeh and Raushit, Shahram and Javadi, Seyyed Mohammad Reza, 1401, evaluation of subsidence rate in the western cities of Hamadan province using radar images. [in persian]
- 23- Rami al_ Ruzouq: (2017) Photogrammetry for archaeological documentation and cultural heritage conservation. Applied University Jordan.
- 24- Sabzekar, Hossein and Sadeghian, Saeed and Javadi, Mehrdad, 2017, geomatics in modern researches of cultural heritage; Background, capabilities and challenges, the second national conference on documenting natural and cultural heritage. [in persian]
- 25- Sadeghian, S., Mohammadkhani, K., & Senmar, M. (2017). Study of archaeological monitoring of ancient sites using remote sensing, emphasizing on-site control, the first national conference on natural and cultural heritage documentation, Tarbiat Dabir Shahid Rajaei University, 17 March 2017. [in Persian]
- 26- Sadeghian S, Rajabi A, Farokhi M. Investigation of Changes in the Ancient Areas of Hegmataneh of Hamadan using Remote Sensing and Spatial Information System. [in Persian]
- 27- Safaee, Bahram and Alimohammadi, Abbas, 2006, investigation of the capability of satellite radar image domain information to prepare a map of the destroyed areas in an earthquake (case study of the Bam earthquake), Geomatics Conference 85, Tehran. [in persian]
- 28- Samadhan C. Kulkarni, Priti P. Rege. 2020. Pixel level fusion techniques for SAR and optical images: A review. Information Fusion. <https://doi.org/10.1016/j>
- 7- Ayse Gulcin kucukkaya : (2015) Photogrammetry and remote sensing in archeology. Department of Restoration, Faculty of Engineering & Architecture, University of Trakya.
- 8- Copernicus Open Access Hub. Available online: <https://scihub.copernicus.eu>
- 9- Dideban, Khalil and Rasouli, Hamid, 2016, the use of Sentinel-1 radar images in identifying the epicenter of an earthquake and estimating the displacement of the earth's surface due to a 6-magnitude earthquake in Razavi Khorasan Province, International Conference on Earthquake, Crisis Management, Recovery and Reconstruction. [in persian]
- 10- Dideban, Khalil and Faizizadeh, Bakhtiar and Valizadeh Kamran, 2018, investigating the effect of ground displacement on demolished buildings in Bam city using object-oriented fuzzy techniques and radar interferometry. [in persian]
- 11- Gulsah parlak Kalkan: 'Gaziantep' adi uzerine.
- 12- <https://map.gov.tr>
- 13- <https://tjk.jmo.org.tr>
- 14- <https://www.unosat.org/about-us>
- 15- <http://www.wikipedia.com/>
- 16- Karimi, Nemat Allah, 2022, monitoring the movement of sand dunes in Lut desert using radar satellite images. [in persian]
- 17- Kaya, G.T.; Musaoglu, N.; Ersoy, O.K. 2011. Damage Assessment of 2010 Haiti Earthquake with PostEarthquake Satellite Image by Support Vector Selection and Adaptation. Photogramm. Eng. Remote Sens. 77, 1025–1035.
- 18- Maghsoodi, Yaser and Amani, Reza and Ahmadi, Hassan, 2018, Investigating the ground subsidence behavior in the western region of Tehran using Sentinel-1 images and radar interferometry technique based on permanent scatterers. [in persian]
- 19- Omarzadeh, D.; Karimzadeh, S.; Matsuoka, M.; Feizizadeh, B. 2021. Earthquake Aftermath from Very HighResolution WorldView-2 Image and Semi-Automated Object-Based Image Analysis (Case Study: Kermanshah, Sarpol-e Zahab, Iran). Remote Sens. 13, 4272.

satellite stereo imagery: A case study of the May 2008 Wenchuan earthquake. ISPRS J. Photo-Gramm. Remote Sens. 68, 13-27.

36- Xiaolin Sun, Xi Chen, Liao Yang, Weisheng Wang, Xixuan Zhou, Lili Wang, Yuan Yao. 2022. Using InSAR and PolSAR to Assess Ground Displacement and Building Damage after a Seismic 40- Event: Case Study of the 2021 Baicheng Earthquake.14, 3009. [https:// doi.org/10.3390/rs14133009](https://doi.org/10.3390/rs14133009).

37- Yazdi, Zahra and Niromand, Hamed, 2022, investigation of Qazvin plain subsidence with a review of radar images, 24th conference of Geological Society of Iran.[in persian]

inffus.2020.01.003.

29- Shafiei, Mehran and Milan, Asghar,2023, Estimation of land subsidence based on radar interferometric technique and using Sentinel-1A images (Study area: Talha plain of Bushehr province), 2nd international conference and 7th national conference on architecture and sustainable city.[in persian]

30- Shafiei, Mehran and Sadeghian, Saeed, 2023, detecting changes using satellite images. (case study: Gaza).[in persian]

31- Sharifi, Alireza and Qolizadeh, Mohammad Hossein and Piran, Maryam, 2016, preparation of cultural heritage risk map using remote sensing data and spatial information system, first national conference on documenting natural and cultural heritage.[in persian]

32- Sheikhi Kohsar, Zahra and Al-Modaresi, Ali and Sarkargarar-Ardakani, Ali and Ghiasvand, Soheil, 2013, Investigating the subsidence of the Yazd-Ardakan railway track using the differential radar interferometry method, 16th International Rail Transportation Conference.[in persian]

33- Tavakoli Estehbanati, Amin and Dehghani, Maryam, 2015, radar interferometric phase recovery using the transfer of irregular data to regular space, the second national conference on spatial information technology engineering.[in persian]

34-Tim Wright, Eric Fielding, Barry Parson: triggered slip: observation of the 17 August 1999 izmit (turkey) earthquake using radar interferometry. Geophysical Research Letters' vol' 28.

35- Tong, X.; Hong, Z.; Liu, S.; Zhang, X.; Xie, H.; Li, Z.; Yang, S.; Wang, W.; Bao, F.2012. Building-damage detection using pre- and post-seismic high-resolution

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 4.0 International \(CC BY-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)





پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی