Military Science and Tactics
https://www.qjmst.ir/ Online ISSN: 4520-2676 Print ISSN: 2008-191x

Investigating the Effects of Bombardment of Cities on the Displacement of the Earth's Surface Using DInSAR (Case Study: Gaza City, Before and After the Al-Aqsa Storm Operation)

Ehsan Moradi Motlagh[1] | Khalil Didehban[2] | Maryam Davud baharvandi[3]

Article type:
Research Article

Article history:
Received
6 April 2024
Received in revised form
13 December 2024
Accepted
21 May 2025
Published online
13 December 2025

Keywords:
Subsidence, DInSAR, Gaza, Sentinel-1, Destruction of war.

Abstract

Background and Objective: This research aimed to compare the vertical displacement of the earth's surface using DInSAR obtained from the processing of radar images of the Sentinel-1A satellite in the period of 168 days before and 108 days after the Al-Aqsa storm operation by the Palestinians.

Methodology: For this purpose, 2 radar images for before and one for after the operation were used. All steps of creating DInSAR and calculation of ground surface displacement were done in SNAP software.

Findings: The results indicated that the maximum vertical displacement of the ground surface in places and structures before and after the operation was 5. 06 cm and 22. 67 cm, and for roads - 6. 4 cm and 13. 25 cm, respectively. Also, the vertical displacement of the earth's surface after this operation increased from the south to the north of Gaza, which indicated the more intense bombing of the middle and northern areas of Gaza. The displacement speed of the earth's surface (mm/day) after the operation is about 4 times than before, while the time period after the operation is 60 days less than before of it.

Conclusion: This research demonstrates the ability of satellite remote sensing methods to monitor damages of cities and their infrastructures due to bombings in the least cost and time.

Cite this article: Moradi Motlagh, E. , Didehban, K & Davudbaharvandi, M. (2025). Investigating the Effects of Bombardment of Cities on the Displacement of the Earth's Surface Using DInSAR (Case Study: Gaza City, Before and After the Al-Aqsa Storm Operation). *Military Science & Technics*, 73(21), 5-40.
DOI: http//doi. org/ 10. 22034/qjmst. 2025. 2025544. 2042
Publisher: AJA University of Command and Staff, https: //www. qjmst. ir
© "Authors retain the copyright and full publishing rights. "
DOI: 10. 22034/qjmst. 2025. 2025544. 2042

1. Corresponding Author, PhD Student, Centre of Remote Sensing & GIS Studies, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: e_moradimotlagh@sbu. ac. ir
2. PhD Student of Remote Sensinf and GIS, Centre of Remote Sensing and GIS Studies, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran. E-mail: k_didehban@sbu. ac. ir
3. Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Dezful Branch, Dezful, Iran. E-mail: rs-gis@mail. ir

Military Science and Tactics
https://www.qjmst.ir/ Online ISSN: 4520-2676 Print ISSN: 2008-191x

بررسی اثرات بمباران شهرها بر میزان جابجایی سطح زمین با استفاده از تداخل سنجی تفاضلی راداری (مطالعه موردی: شهر غزه، قبل و بعد از عملیات طوفان‌الأقصی)

احسان مرادی‌مطلق [۱] ✉ | خلیل دیده‌بان [۲] | مریم داود بهاروندی [۳]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۱/۸

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۹/۲۳

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۲/۳۱

تاریخ انتشار:
۱۴۰۴/۹/۲۲

کلیدواژه‌ها:
فرونشست، تداخل‌سنجی راداری، غزه، سنتینل-۱، ویرانی جنگ.

چکیده

زمینه و هدف: : این پژوهش با هدف مقایسه مقدار جابجایی عمودی سطح زمین با استفاده از تداخل-سنجی راداری حاصل از پردازش تصاویر راداری ماهواره سنتینل-A۱ در بازه زمانی حدود ۶ ماه قبل و ۴ ماه بعد از بمباران شهر غزه (قبل و بعد از عملیات طوفان الأقصی) انجام شد.

روش‌شناسی: بدین منظور ۲ تصویر راداری قبل و یک تصویر راداری بعد این عملیات بکار گرفته شد. تمامی مراحل ایجاد تداخل‌سنجی راداری و محاسبهٔ جابجایی سطح زمین در نرم‌افزار SNAP انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مقدار بیشینه جابجایی عمودی سطح زمین در اماکن و سازه‌ها برای قبل و بعد از عملیات به ترتیب ۵/۰۶ و ۲۲/۶۷ سانتی‌متر و برای راه‌های ارتباطی به ترتیب ۶/۴- و ۱۳/۲۵ سانتی‌متر است. همچنین مقادیر جابجایی عمودی سطح زمین بعدازاین عملیات از جنوب به شمال غزه افزایش یافت که حاکی از تحمل بمباران شدیدتری توسط مناطق میانی و شمالی باریکه غزه است. سرعت جابجایی سطح زمین (برحسب میلی‌متر در روز) بعد از عملیات حدوداً ۴ برابر قبل از آن بود، درحالی‌که بازه زمانی بعد از عملیات ۶۰ روز کمتر از قبل آن بوده است.

بحث و نتیجه‌گیری: این پژوهش توانست توانایی روش‌های سنجش از دور ماهواره‌ای را در پایش میزان خسارات واردشده به شهرها و زیرساخت‌های آن در اثر بمباران را با کم‌ترین هزینه و زمان اثبات کند.

استناد: مرادی‌مطلق، احسان؛ دیده‌بان، خلیل و داود بهاروندی، مریم (۱۴۰۴). بررسی اثرات بمباران شهرها بر میزان جابجایی سطح زمین با استفاده از تداخل سنجی تفاضلی راداری (مطالعه موردی: شهر غزه، قبل و بعد از عملیات طوفان‌الأقصی). *علوم و فنون نظامی*، ۲۱(۷۳)، ۴۰-۵.

DOI: http//doi. org/ 10. 22034/qjmst. 2025. 2025544. 2042

ناشر: دانشگاه فرماندهی و ستاد ارتش جمهوری اسلامی ایران، https: //www. qjmst. ir

© «حق نشر (کپی رایت) و کلیه حقوق انتشار برای نویسندگان محفوظ است.»

DOI: 10. 22034/qjmst. 2025. 2025544. 2042

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: e_moradimotlagh@sbu. ac. ir

۲. دانشجوی دکتری، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: k_didehban@sbu. ac. ir

۳. کارشناس ارشد، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده انشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، دزفول، ایران. رایانامه: rs-gis@mail. ir

Military Science and Tactics
https://www.qjmst.ir/ Online ISSN: 4520-2676 Print ISSN: 2008-191x

Investigating the Effects of Bombardment of Cities on the Displacement of the Earth's Surface Using DInSAR (Case Study: Gaza City, Before and After the Al-Aqsa Storm Operation)

Extended Abstract

Background and Objective:

One of the cases that must be constantly monitored in cities and their vital and important infrastructures is the values of land subsidence (Asadzadeh et al. , 2016). Some factors that cause Earth's surface movement are natural, such as tectonics and earthquakes, while others are the result of human intervention, such as excessive extraction of water and oil from underground, and even wars (Boloorani et al. , 2021; Karimzadeh & Matsuoka, 2020). One of the methods that has proven to be economical and time-saving in environmental science studies is the using of various satellite remote sensing resources and GIS techniques (Moradi Motlagh, 2016). In recent years, radar interferometry techniques using data from satellites carrying active radar sensors have been used in identifying and measuring changes in the Earth's surface (Osmanoğlu et al. , 2016). Given the importance of radar satellite images, especially free images from Sentinel-1 satellites, in identifying land surface changes, this research attempts to investigate the land surface displacements caused by the bombing of Gaza City during the period of about 6 months before (May 21, 2023 to November 5, 2023) and about 4 months after the bombing of Gaza City (November 5, 2023 to February 21, 2024) using the Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) method and to determine the extent of this surface change in buildings, cities, and transportation routes.

Methodology:

Study Area:

Gaza is a small, narrow strip (141 square miles) that has width around 6 to 12 kilometers (Figure (1)).

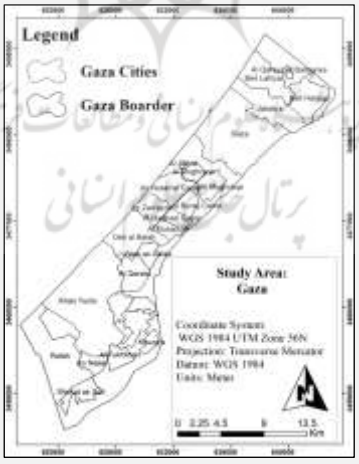


Figure 1. Study area

Data resources:

All vector maps of Gaza city were obtained from the UN Humanitarian Data Exchange (HDX) website. To produce DInSAR images before and after Al-Aqsa Storm Operation, the IW data type and VV polarization of the European Space Agency's Sentinel-1A satellite in ascending

Military Science and Tactics
https://www.qjmst.ir/ Online ISSN: 4520-2676 Print ISSN: 2008-191x

mode were used. Two radar SLC images are from before of Gaza City bombardment time (May 21, 2023 to November 5, 2023), and the third image is for February 21, 2024. The SRTM 1 Sec HGT digital elevation model used to eliminate the phase error resulting from the terrain topography.

Methods:

This study is an applied research and the terrain surface displacement was calculated according to the flowchart illustrated as Figure (2). All processing related to these calculations was performed in the free SNAP software environment using the TOPS algorithm developed by the European Space Agency (ESA). According to this algorithm, for both SLC images, the selection of polarization (VV) and IW (IW1) and Bursts (2-6) were performed (Split stage). In the next step, the orbital information of the two images was extracted (Apply Orbit File stage). Then, the two master and slave images were geometrically registered (Back Geocoding) using the one-second SRTM digital elevation model. Azimuth and range estimation were also performed using the Enhanced Spectral Diversity algorithm stage. To produce a radar interferogram, the master image was cross-multiplied with the complex conjugate of the slave image (Interfrogram stage). The created interferogram image has lines without data, which are removed in the Deburst stage. The phase error resulting from the topography of the terrain was removed using the 1-second SRTM DEM and a DInSAR image was created (Topographic Phase Removal stage). At first a multilooking filter (multi-looking stage) and then a Goldstein Phase Filter (Goldstein Phase Filter) were applied to reduce the noise of the generated DInSAR image**,**

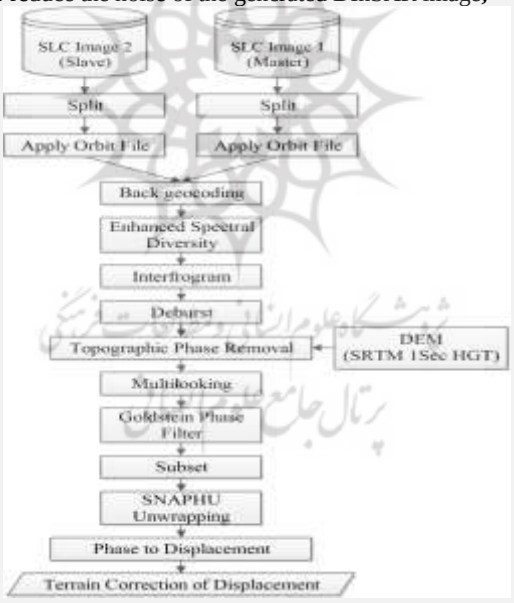


Figure 2. Methodology flowchart

The DInSAR image was cropped within the study area (Subset stage) and then the phase unwrapping step was performed (SNAPHU Unwrapping stage). The phases of the unwrapped DInSAR image were converted to terrain surface displacement in meters (Phase to Displacement stage). This operation is theoretically possible from equation (1) (Pawluszek-Filipiak & Borkowski, 2020).

Equation. **1**

Military Science and Tactics
https://www.qjmst.ir/ Online ISSN: 4520-2676 Print ISSN: 2008-191x

$$d = -\frac{\lambda}{4\pi}\Delta\emptyset_d$$

Where d is the displacement of the terrain's surface in meters, λ is the wavelength used in the satellite in meters, ΔØ is the phase difference between the two radar images (SLCs). The calculated displacement was along the sensor's line of sight, which was converted into vertical terrain surface displacement using the terrain geometry in a DEM, and finally terrain corrections (Terrain Correction of Displacement) and georeferencing was performed on it (ESA, 2020).

Findings:

Table (1) indicates som statistics aroun vertical displacement of the terrain surface before and after the bombing of Gaza City.

Table 1. minimum, maximum, and average vertical displacement of the terrain surface before and after the bombing of Gaza City

Days	Standard Deviations	Average	Maximum	Minimum	Time
168	2. 12	-3. 77	7. 08	-15. 23	Befor of bombardment
108	2. 87	10. 99	24. 28	-1. 27	After of bombardment

By comparing DInSAR images before and after the Al-Aqsa Storm Operation, it can be seen that the mild phase changes that existed in the cities before the operation intensified afterwards, resulting in an increase in the amount of displacement in the study area. The results indicted the rate of vertical uplift increases from the southwest to the northeast of Gaza, and this could indicate more bombing and destruction of the northern and central areas of study area.

Conclusion:

The results indicated the maximum displacement on the terrain surface was 7. 08 cm and 24. 28 cm before and after the operation, respectively; while some large earthquakes do not cause such vertical displacement on the terrain surface. One of these earthquakes was the 6. 5 magnitude earthquake in Norcia, Italy on October 30, 2016; the vertical displacement values of this earthquake were reported to be -20 to 20 cm (Valerio et al. , 2018). The average of terrain subsidence before and after Al-Aqsa Storm Operation in Gaza structures and places had a difference of approximately 18 centimeters. The vertical displacement rate of the terrain surface in places/structures, roads, and the entire study area after the operation was calculated to be approximately 4 times that before the operation, while the time interval after the operation is 60 days less than before. The trend of increasing land terrain displacement in Gaza is such that the amount of upward displacement of the land terrain increases towards the northern regions. The results of this study also indicated mosques and tall buildings experienced greater vertical displacement during these bombings. The accuracy of vertical displacement calculations would have been improved if a unwrapped phase interferogram had been used instead of the 1-second SRTM digital elevation model. For this purpose, it is recommended that researchers use the three-pass radar interferometry method in their future research for urban environments.

Keywords: *subsidence, DInSAR, Gaza, Sentinel-1, destruction of war*

This page is intetionally blank

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

محیط‌های شهری سامانه‌های پیچیده‌ای هستند که با زیرساخت‌های خود زندگی انسان را پشتیبانی می‌کنند و برای جلوگیری از تلفات فاجعه‌بار این زیرساخت‌ها و جان انسان‌ها، باید دائماً تحت نظارت باشند (Ruiz-Armenteros et al. , 2018). در طول تاریخ، برنامه‌ریزان نظامی به شهرها به عنوان مراکز ثقل نگاه می‌کرده‌اند؛ شهرها مکان‌هایی هستند که باید در مقابل جنگ و سایر بلایا از آن‌ها محافظت شود (Amini, 2022). یکی از مواردی که دائماً باید در سطح شهر و سایر زیرساخت‌های حیاتی و مهم پایش شود، مقدار فرونشست زمین است. فرونشست عبارت است از حرکت قائم یا نشست تدریجی و یا فرورفتن ناگهانی سطح زمین که به علت‌های گوناگونی مانند انحلال، آب شدن یخ‌ها، تراکم نهشته‌ها، حرکات پوسته زمین و خروج گدازه‌ها از پوسته جامد زمین و یا فعالیت‌های انسانی مانند معدنکاری، برداشت آب‌های زیرزمینی و نفت رخ می‌دهد (Asadzadeh et al. , 2016). برخی از عوامل جابجایی سطح زمین، طبیعی مانند تکتونیک و زلزله‌ها (Karimzadeh & Matsuoka, 2020; Nayebzadeh et al. , 2018) و برخی دیگر حاصل دخالت عوامل انسانی مانند برداشت بی‌رویه آب و نفت از زیر زمین و حتی جنگ‌ها هستند (Boloorani et al. , 2021; Zhou et al. , 2017).

شهرها در طول تاریخ توسط فرآیندهای مختلف، چه طبیعی و چه انسانی، ویران‌شده‌اند به‌ویژه در جنگ‌ها، آسیب‌های جبران‌ناپذیری به زیرساخت‌های شهری وارد می‌شود؛ بااین‌حال، یک سامانه نظارت نقشه‌برداری دقیق، قابل‌اعتماد، مقرون‌به‌صرفه و سریع در پس از جنگ، روند ارزیابی خسارات ناشی از جنگ به زیرساخت‌های شهری را تسهیل می‌کند (Boloorani et al. , 2021). یکی از روش‌هایی که در مطالعات علوم محیطی صرفه اقتصادی و زمانی آن اثبات‌شده است، منابع سنجش‌ازدور ماهواره‌ای و فنون GIS[1] است (Karami Moghadam et al. , 2021; Mokhtari et al. , 2020; Moradi Motlagh, 2016; Rahmatinia et al. , 2023). در دهه گذشته، نسل‌های جدیدی از سنجنده‌های ماهواره‌ای مورد بهره‌برداری قرارگرفته‌اند و فنون خودکار گوناگونی برای مطالعه مناطق شهری توسعه‌یافته‌اند که از رادار با دریچه مصنوعی (SAR) و سنجنده‌های چند طیفی بهره می‌گیرند (Mishra & Susaki, 2014). در سال‌های اخیر

[1] Geographic Information System

فن تداخل‌سنجی راداری با استفاده از داده‌های حاصل از ماهواره‌های حامل سنجنده‌های فعال راداری به میزان قابل‌توجهی در شناسایی و اندازه‌گیری دگرگونی‌های سطح زمین بکار گرفته‌شده‌اند (Osmanoğlu et al. , 2016). در مقایسه با روش‌های پایش سنتی، مانند سامانه ماهواره‌ای ناوبری جهانی (GNSS[1])، روش‌های بررسی زمین‌شناسی و ژئوفیزیک، تداخل‌سنجی راداری (InSAR[2]) می‌تواند فرونشست سطحی در مقیاس منطقه‌ای را با هزینه‌های کم و با دقت سانتی‌متر و میلی‌متر شناسایی و پایش کند (Zhou et al. , 2017). ماهواره‌های سنتینل- 1A و 1B متعلق سازمان فضایی اروپا باقدرت تفکیک زمانی ۱۲ روز و قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر، یکی از ناوگان ماهواره‌های دارای داده‌های راداری (باند C) است که می‌تواند در بررسی‌های مربوط به پایش جابجایی سطح زمین در اثر بلایای طبیعی، رشد پوشش گیاهی و حتی تعیین میزان خسارت‌های واردشده به مناطق درگیر جنگ مورد بهره‌برداری قرار گیرد (Boloorani et al. , 2021; Maghsoudi et al. , 2019; Osmanoğlu et al. , 2016). با توجه به اهمیت تصاویر ماهواره‌ای از نوع راداری و به‌ویژه تصاویر رایگان ماهواره‌های سنتینل-۱ در شناسایی دگرگونی‌های سطح زمین، این پژوهش سعی دارد به بررسی جابجایی‌های سطح زمین در اثر بمباران شهر غزه در بازه زمانی حدود ۶ ماه قبل (۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۲ لغایت ۱۴ آبان ۱۴۰۲) و حدود ۴ ماه بعد از بمباران شدن شهر غزه (۱۴ آبان ماه ۱۴۰۲ لغایت ۲ اسفندماه ۱۴۰۲) به روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (DInSAR) پرداخته و میزان این دگرگونی سطحی در ساختمان‌ها، شهرها و راه‌های مواصلاتی را تعیین کند.

مبانی نظری و پیشینه‌های پژوهش

مبانی نظری

سنتینل-۱ یک منظومه دو ماهواره‌ای از آژانس فضایی اروپا (ESA) است. اولین ماهواره، Sentinel-1A، در آوریل ۲۰۱۴ و دومین ماهواره، Sentinel-1B، در آوریل ۲۰۱۶ پرتاب شد. در مقایسه با منظومه‌های قدیمی، سنتینل-۱ ویژگی‌های بااهمیتی را ارائه می‌دهد که به‌طور قابل‌توجهی کاربردهای تداخل سنجی SAR را گسترش داده است (Barra et al. , 2017). قدرت تفکیک زمانی منظومه سنتینل-۱ بین ۶ تا ۲۴ روز متغیر است. این

[1] Global Navigation Satellite System
[2] Interferometric Synthetic Aperture Radar

ماهواره نسبت به سایر ماهواره-های راداری دیگر مانند Envisat، ERS و Cosmo-SkyMed دارای خطوط پایه مکانی و زمانی[1] کم‌تری است. درنهایت، داده‌های این ماهواره به‌صورت رایگان و بدون هیچ محدودیتی برای استفاده در دسترس هستند. این ویژگی‌ها منجر به ایجاد یک سامانه قابل‌اعتماد می‌شود که تداخل‌سنجی تفاضلی راداری را به ابزاری جدید و قدرتمند برای اهداف پایشی سطح زمین تبدیل کرده است (Villarroel et al. , 2018). در حقیقت تداخل‌سنجی تفاضلی یک نوع خاص از تداخل‌سنجی راداری است که در آن اثرات توپوگرافی یا توسط یک مدل رقومی ارتفاع دقیق و یا توسط یک تداخل‌سنج مربوط به قبل از واقعه سطحی رخداده حذف می‌گردند (Mohamed et al. , 2022). هدف اصلی فنون تداخل‌سنجی تفاضلی استخراج مؤلفه جابجایی فاز است، درحالی‌که اجزای فاز باقیمانده و به‌ویژه نویز را حذف می‌کند. اگرچه تداخل‌سنجی تفاضلی تشخیص و تعیین مقادیر تغییر شکل‌های سطح زمین را با دقتی در حد میلی‌متر امکان‌پذیر می‌سازد (Richard & Philipp, 1998)؛ اما با محدودیت‌ها و چالش‌های متعددی مواجه است. همبستگی مکانی-زمانی و عوامل جوی دو مانع اصلی در فنون تداخل‌سنجی تفاضلی هستند که منجر به خطاهای مختلف ارزیابی می‌شوند (Zebker et al. , 1997; Zebker & Villasenor, 1992). روش‌های متعددی برای افزایش دقت جابجایی محاسبه‌شده سطح زمین به روش تداخل‌سنجی تفاضلی وجود که یکی از این روش‌ها انتخاب دو تصویر مربوط به قبل و بعد از واقعه سطحی زمین با کم‌ترین خط پایه فاصله زمانی و مکانی است (Pawluszek-Filipiak & Borkowski, 2020). معمولاً برای پردازش مربوط به تداخل‌سنجی تفاضلی (DInSAR)، فراهم کردن ۳ تصویر راداری (SAR) با همدوسی زمانی[2] و خط پایه[3] مناسب مشکل است؛ بنابراین اگر دو تصویر راداری در دسترس باشد می‌توان به‌جای تصویر رادار سوم، از یک مدل رقومی ارتفاع (DEM[4]) باکیفیت نیز استفاده نمود. برای محاسبه تغییرات سطحی کوچک‌مقیاس زمین، از مدل رقومی ارتفاع استفاده نمی‌شود اما برای تغییرات بزرگ‌مقیاس مانند زلزله‌های بزرگ می‌توان از مدل رقومی ارتفاع باکیفیت بهره برد. در این پژوهش در پردازش‌های مربوط به تداخل‌سنجی راداری، مدل رقومی ارتفاع SRTM

[1] Spatial and Temporal Baselines
[2] Temporal Coherence
[3] Baseline
[4] Digital Elevation Model

1 Sec HGT استفاده می‌شود. با استفاده از این DEM، خطای فاز حاصل از توپوگرافی زمین از تداخل‌سنج‌ها حذف می‌شود. باید توجه داشت که اساساً فن DInSAR مؤلفه حرکت در راستای خط دید[1] سنجنده را محاسبه می‌کند و برای محاسبه مقدار جابجایی در جهت‌های خاص دیگر، باید از ترکیب داده‌های رادار بالاگذر[2] و پایین‌گذر[3] بهره برد (Gupta, 2003). در این پژوهش به‌منظور محاسبه جابجایی عمودی (در امتداد خط دید سنجنده) ۳ تصویر رادار، (۲ تصویر مربوط به قبل از عملیات طوفان الاقصی و ۱ تصویر نیز بعدازآن) مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد.

پیشینه‌های پژوهش

در رابطه با برآورد جابجایی سطح زمین با استفاده از روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری، پژوهش‌های متعددی در داخل و خارج از کشور جمهوری اسلامی ایران انجام‌شده است که چند مورد از آن‌ها از سال ۲۰۱۴ لغایت ۲۰۲۳ در جدول (۱) آورده شده است. بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که بیش‌تر پژوهشگران تصاویر راداری یا سری زمانی آن‌ها را برای بررسی فرونشست زمین دز اثر برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی، مخازن نفت و گاز، زمین‌لرزه‌ها و زمین‌لغزش‌ها و در مواردی تشخیص لکه‌های نفتی بر روی آب دریاها و اقیانوس‌ها به‌کاربرده‌اند و تاکنون در هیچ پژوهشی جابجایی‌های عمودی سطح زمین حاصل از جنگ‌های ویرانگر شهری موردبررسی قرار نگرفته است. علت این مهم را می‌توان به در دسترس نبودن سری زمانی تصاویر راداری با طول‌موج، قدرت تفکیک زمانی و مکانی مناسب (همانند ماهواره‌های سنتینل-1A و 1B) و فقدان جنگ‌های بسیار ویرانگر (همانند جنگ ویران‌گر رژیم صهیونیستی علیه فلسطینی‌های ساکن غزه) در هنگام بهره‌برداری ازاین‌گونه ماهواره‌ها دانست. دلیل دیگر می‌تواند برقراری محدودیت‌ها یا نداشتن امنیت و یا اجازه پژوهش برای پژوهشگرانی باشد که بخواهند سامانه‌های ماهواره‌های راداری اروپا را برای بیان خسارت‌های واردشده به مناطقی به کار گیرند که مورد تجاوز جنگی هم‌پیمانانشان قرارگرفته است. مطالعات جابجایی فرونشست با استفاده از تصاویر راداری اصولاً برای مناطق وسیع بکار می‌رود (همانند زلزله‌ها)، اما هنگامی‌که بمباران و تخریب مناطق شهری به‌طور وسیع و وحشیانه برای مناطق بزرگی همانند باریکه غزه اعمال شود، می‌توان از این منابع برای

[1] Line of Sight
[2] Ascending
[3] Descending

بررسی جابجایی سطح زمین و تعیین خسارات ناشی از آن پرداخت؛ بنابراین پژوهشگران در این مطالعه به دلیل گستردگی منطقه موردمطالعه (باریکه نوار غره) و بمباران‌های هوایی و موشکی شدید و بی‌سابقه توسط رژیم صهیونیستی علیه ساکنان آن، در اقدامی نو به بررسی میزان جابجایی سطح زمین قبل و بعد از طوفان الاقصی می‌پردازند.

جدول (۱) پیشینه تحقیقات انجام‌شده

پژوهشگران	کشور	اهداف	مواد و روش پژوهش	نتایج
Ge et al. ,) (2014	اندونزی	پایش فرونشست زمین در حوضه آبریز باندونگ[1]، اندونزی بین سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۱ میلادی	به روش تداخل سنجی راداری. ALOS PALSAR (24 Images, 2002-2008) ENVISAT ASAR(30 Images, 2007-2011)	نتایج نشان داد که فرونشست در بسیاری از مناطق حوضه بین سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۱ ثابت بوده است، به‌جز جنوب باندونگ. شتاب فرونشست در جنوب باندونگ بین اندازه‌گیری‌های دو مجموعه داده مشاهده شد فرونشست در حوضه عمدتاً درنتیجه استخراج بیش‌ازحد آب‌های زیرزمینی و تحکیم خاک ناشی از بارگذاری سطحی انتظار بوده است. اعتبارسنجی این روش با داده‌های قبلی حاصل GPS همبستگی خوبی نشان دادند.
(Almodaresi & Heshmati, 2015)	ایران	مدل‌سازی فرونشست دشت نیشابور با استفاده ازسری‌های زمانی و فن **DINSAR** در فاصله زمانی ۲۰۰۳-	به روش تداخل سنجی راداری. C-Band of ASAR Images from ENVISAT Satellite	نتایج نشان داد که مقادیر فرونشست زمین محاسبه‌شده توسط GPS و تداخل‌سنجی رادار اختلاف زیادی با

[1] Bandung

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگران	کشور	اهداف	مواد و روش پژوهش	نتایج
		۲۰۱۰ میلادی		یکدیگر ندارند. همچنین رابطه‌ی بین فرونشست و مقدار تغییرات سطح چاه پیزومتری (برداشت آب زیرزمینی) نشان می‌دهد که به ازای هر ۳ سانتی‌متر افت سطح چاه پیزومتری ۰/۸۱۶ سانتی‌متر فرونشست وجود دارد.
De Luca et) (al. , 2016	ایتالیا	ایجاد زنجیره پردازش خودکار و سامانمند **Sentinel-1 SBAS-DInSAR** برای تولید سری‌های زمانی تغییر شکل سطح زمین	به روش تداخل سنجی راداری. Sentinel-1 Time Series Images	زنجیره پردازش Sentinel-1 P-SBAS برای ایجاد خدمات عملیاتی تولید آسان و سریع محصولات تداخل‌سنجی پیشرفته تحت وب مناسب است، به‌طوری‌که می‌تواند نه‌تنها برای اهداف علمی بلکه برای مدیریت ریسک و نظارت بر مخاطرات طبیعی بسیار مفید باشد.
(Zhou et al. , 2017)	چین	تجزیه‌وتحلیل فرونشست سطحی ووهان[1] در ۲۰۱۵-۲۰۱۶ بر اساس داده‌های **Sentinel-1A** توسط **SBAS-InSAR**	به روش تداخل سنجی راداری. Sentinel-1A (15 Images: 2015-2016)	نتایج نشان داد که میانگین نرخ فرونشست سالانه از ۸۲- میلی‌متر در سال تا ۱۸ میلی‌متر در سال در ووهان متغیر بوده و حداکثر نرخ فرونشست در مناطق هوهو[2]

[1] Wuhan
[2] Houhu

پژوهشگران	کشور	اهداف	مواد و روش پژوهش	نتایج
				مشاهده شد. بیشینه سرعت جابجایی سطح زمین نیز ۵ میلی‌متر در سال گزارش شد.
(Nayebzadeh et al. , 2018)	ایران	بررسی فعالیت تکتونیکی در حوضه دشت اشتهارد با استفاده از تداخل‌سنج راداری و تصاویر ماهواره سنتینل-۱	به روش تداخل سنجی راداری. Sentinel-1A (2 Images: 2015-2017)	نتایج نشان داد که تمامی حوضه آبریز دارای بالاآمدگی تکتونیکی بوده است؛ اما این بالاآمدگی دربخش های غربی و شمال غربی این حوضه آبریز بیش‌تر ازبخش های شرقی و جنوبی است.
(Delgado Blasco et al. , 2019)	ایتالیا	اندازه‌گیری فرونشست شهری در منطقه شهری رم (ایتالیا) با تداخل سنجی پراکنده پایدار	به روش تداخل سنجی راداری (StaMPS[1]). Sentinel-1 (4 Images: 2015, Ascending & Descending)	فرونشست سطحی محاسبه‌شده در این پژوهش با مقادیر فرونشست اندازه‌گیری شده در مطالعات میدانی گذشته در شهر رم همبستگی بالایی داشته است.
(Karimzadeh & Matsuoka, 2020)	ایران	جابجایی زمین و برآورد خسارت ساختمان در زلزله ۲۰۱۷ کرمانشاه با استفاده از سنجش‌ازدور راداری	به روش تداخل سنجی راداری ALOS-2 images in strip map (SM) mode (VV and VH) Sentinel-1 images in interferometric wide (IW)	نتایج این پژوهش نشان داد که فن تجسم RGB به همراه مقادیر همدوسی تفاضلی[2] و پراکندگی[3] پس از وقوع زلزله قادر به تشخیص تغییرات ساختاری و مرتبط با انسان در حین و پس از زلزله هستند. بااین‌حال، به دلیل

[1] Stanford Method for Persistent Scatterers
[2] Differential Coherence
[3] Backscattering

پژوهشگران	کشور	اهداف	مواد و روش پژوهش	نتایج
				وضوح درشت‌تر داده‌های Sentinel-1 (بیش از ۲۰ متر)، در تشخیص ساختمان‌های فروریخته کوچک کاملاً موفق نبود.
(Boloorani et al. , 2021)	عراق	نقشه‌برداری آسیب شهری پس از جنگ با استفاده از تداخل‌سنجی راداری در شهر موصل واقع در کشور عراق	به روش تداخل سنجی راداری Sentinel-1 (2014-2017)	در این پژوهش مقدار جابجایی سطح زمین برحسب میلی‌متر برای شهر موصل قبل و بعد از جنگ با داعش محاسبه شد. برای ارزیابی دقت، نتایج این پژوهش با نقشه تخریب موجود پس از جنگ تهیه‌شده توسط موسسه آموزش و تحقیقات سازمان ملل متحد مقایسه شد. یافته‌ها نشان داد که ۴۰ درصد از کل شهر، بخش های غربی، به‌ویژه شهر قدیمی، بیش‌ترین آسیب را از جنگ داعش گرفته است. این مقایسه همچنین کارآمدی این روش را برای برآورد آسیب‌های شهری ناشی از جنگ اثبات می‌کند.
(Serhii et al. , 2022)	اکراین	استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور برای بررسی پیامدهای زیست‌محیطی جنگ روسیه و اوکراین	به‌منظور تشخیص آتش، دود و لکه‌های نفتی از داده‌های چند طیفی، حرارتی و راداری این ماهواره‌ها	با استفاده از داده‌های چند طیفی و حرارتی، مناطق مربوط به آتش‌سوزی در خشکی‌ها و با استفاده

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگران	کشور	اهداف	مواد و روش پژوهش	نتایج
			استفاده شد: NOAA-2, Suomi NPP, Aqua and Terra, Sentinel-1&2 and Landsat 8&9	از داده‌های راداری سنتینل-۱ لکه‌های نفتی سطح آب دریای سیاه شناسایی شدند. این پژوهش مزایای استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور در برآورد پیامدهای جنگ در مقیاس بزرگ را بر محیط‌زیست ثابت کرد.
(Qiao et al. , 2023)	امریکا	ارزیابی فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری تصاویر ماهواره سنتینل-۱ در امتداد ساحل خلیج تگزاس[1]	به روش تداخل سنجی راداری (StaMPS). Sentinel-1 (2016-2022)	نقشه فرونشست تولیدشده توسط مشاهدات ۱۱۵داده GNSS تائید شد. نوزده نقطه فرونشست شناسایی شد. نتایج نشان داد که محرک‌های بالقوه فرونشست عبارت‌اند از استخراج هیدروکربن، برداشت آب‌های زیرزمینی و گنبدهای نمکی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

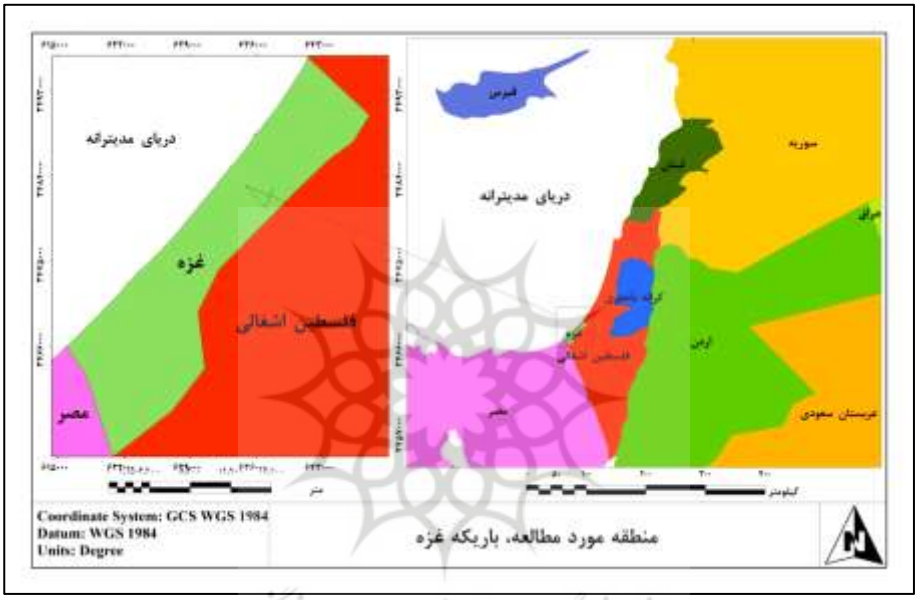
روش‌شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه

غزه یک نوار خشکی کوچک و باریک به طول ۳۶۵ کیلومترمربع (۱۴۱ مایل مربع) است که از ۶ تا ۱۲ کیلومتر عرض دارد (شکل (۱)). غزه از غرب با دریای مدیترانه، از شمال و شرق با رژیم صهیونیستی و از جنوب با کشور مصر همسایه است. غزه سرزمینی نیمه‌خشک با پوششی از مزارع کوچک، درختان، بافت شهری متراکم و مناطق بیابانی/ بایر است. در سال ۲۰۱۹، جمعیت غزه از ۲ میلیون نفر فراتر رفت که معادل تقریباً ۵۵۰۰ نفر در هر کیلومترمربع است. این تراکم شدید و رشد جمعیت به روش‌های گوناگون، ازجمله از طریق

[1] Texas Gulf

سامانه فاضلاب و خرابی زیرساخت‌های آن، بر چشم‌انداز و اکوسیستم آن فشار وارد کرده است. غزه بیش‌تر آب موردنیاز خود را از سفره‌های آبی که در زیر غزه وبخش هایی از غرب رژیم صهیونیستی قرار دارد تأمین می‌کند. کیفیت آب سفره‌های زیرزمینی در سال‌های اخیر به دلیل برداشت بیش‌ازحد که باعث نفوذ آب‌شور، آلودگی ناشی از کاربرد سموم دفع آفات و کود در کشاورزی و تخلیه کنترل نشده پساب‌های تصفیه نشده شده است، به‌سرعت کاهش‌یافته است (Ballasiotes, 2020).



شکل (۱) منطقه موردمطالعه

مواد و روش‌ها

این پژوهش از نوع کاربردی بوده و مطابق با فلوچارت شکل (۲) جابجایی سطح زمین (در اثر بمباران شهر غزه قبل و بعد از عملیات طوفان الاقصی) محاسبه شد. تمامی پردازش‌های مربوط به این محاسبات در محیط نرم‌افزار رایگان SNAP[1] توسعه داده شده توسط سازمان فضایی اروپا (ESA[2]) انجام و برای تهیه نقشه و سایر تحلیل‌های مکانی از نرم‌افزار ArcMap10. 8. 1 استفاده شد.

[1] The Sentinel Application Platform
[2] European Space Agency

شکل (۲) فلوچارت مواد و روش پژوهش

منابع داده

تمامی نقشه‌های‌برداری مربوط به غزه از سایت تبادل اطلاعات بشردوستانه سازمان ملل (HDX[1]) تهیه شدند. این نقشه‌ها شامل مرز غزه و شهرهای آن، تمامی راه‌های مواصلاتی و خیابان‌ها و نقشه حدنگاری انواع سازه‌هایی مانند منازل مسکونی، اداری، تجاری، آموزشی، رفاهی، خدماتی و صنعتی است (HDX, 2019).

[1] The Humanitarian Data Exchange

جهت تولید دو تصویر تداخل‌سنج تفاضلی قبل و بعد از عملیات طوفان الاقصی، از نوع داده IW[1] و قطبش VV[2] ماهواره سنتینل-1A سازمان فضایی اروپا در حالت بالاگذر استفاده شد. دو تصویر SLC[3] مربوط به قبل از عملیات طوفان الاقصی (۱۵ مهر ۱۴۰۲) و تصویر سوم مربوط به بعدازآن است. جهت حذف خطای فاز حاصل از توپوگرافی زمین مدل رقومی ارتفاع SRTM 1 Sec HGT[4] باقدرت تفکیک ۳۰ متر مورد بهره‌برداری قرار گرفت. مشخصات تصاویر راداری مورداستفاده در جدول (۲) آورده شده است. انتخاب تصاویر به‌گونه‌ای بوده است که برای ایجاد تداخل‌سنج تفاضلی دارای کم‌ترین خط پایه مکانی باشند (Fárová et al. , 2019). مشخصات خط پایه مکانی و زمانی هر جفت تصویر اصلی و پیرو در جدول (۳) آمده است. تمامی داده‌های سنتینل-۱ به روش TOPS[5] (Zan & Guarnieri, 2006) تهیه و به‌تبع آن پردازش‌های راداری جهت تولید تداخل‌سنج و جابجایی سطح زمین نیز به همان روش و در نرم‌افزار SNAP انجام شد (ESA, 2020).

جدول (۲) اسامی تصاویر راداری مورداستفاده

Image Full Names	Type
S1A_IW_SLC_1SDV_20230521T154057_20230521T154124_048634_05D970_51A5	SLC
S1A_IW_SLC_1SDV_20231105T154103_20231105T154130_051084_0628FB_E25E	
S1A_IW_SLC_1SDV_20240221T154059_20240221T154126_052659_065EEB_E5A5	

جدول (۳) خط پایه مکانی و زمانی هر جفت تصویر راداری

هدف	ضریب همبستگی همدوسی	فاصله زمانی (روز)	خط مبنای مکانی (متر)	بازه زمانی تصویربرداری
ایجاد تصویر تداخل‌سنج تفاضلی راداری قبل از عملیات	۰/۸۴	۱۶۸	۱۴/۷	۲۰۲۳/۰۵/۲۱ – ۲۰۲۳/۱۱/۰۵
ایجاد تصویر تداخل‌سنج تفاضلی راداری بعد از عملیات	۰/۸۸	۱۰۸	۲۳/۷۱	۲۰۲۳/۱۱/۰۵ – ۲۰۲۴/۰۲/۲۱

روش پژوهش

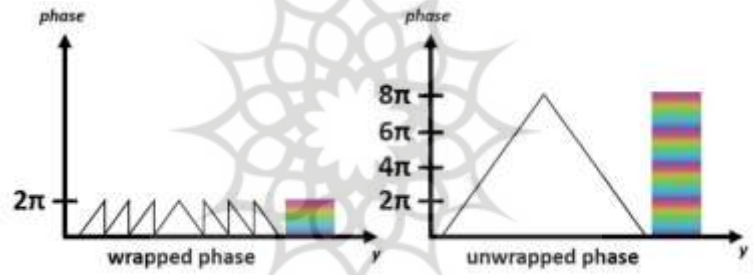
برای قبل از بمباران وسیع شهر غزه (تقریباً یک ماه بعد از عملیات طوفان الأقصی)، دو تصویر SLC بافاصله زمانی ۱۶۸ روز و خط پایه مکانی ۱۴/۱۷ متر و برای بعدازآن نیز دو

[1] The Interferometric Wide
[2] Vertival-Vertical
[3] Single Look Complex
[4] Shuttle Radar Topography Mission 1 Second Height
[5] Terrain Observation with Progressive Scan

تصویر SLC بافاصله زمانی ۱۰۸ روز و خط پایه مکانی ۲۳/۷۱ متر مطابق با جدول (۲ و ۳) انتخاب شدند (لازم به یادآوری است که بمباران در این ۱۰۸ روز نیز به شدت ادامه داشته است). تمامی پردازش‌های مربوط به تهیه لایه‌های جابجایی سطح زمین در محیط نرم‌افزار SNAP و با استفاده از الگوریتم TOPS انجام گرفت. مطابق با این الگوریتم ابتدا برای هر دو تصویر SLC که باید در محاسبه جابجایی سطح زمین شرکت کنند، مرحله انتخاب قطبش (VV) و IW (IW1) و تعدادبخش های برداشت (Bursts: 2-6) انجام شد (مرحله Split). در مرحله بعد اطلاعات مداری دو تصویر استخراج شده (مرحله Apply Orbit File) سپس به همراه مدل رقومی ارتفاع SRTM یک ثانیه، دو تصویر اصلی (قبلی) و پیرو (جدید) ثبت هندسی[1] می‌شوند (Back Geocoding). تخمین آزیموت و برد نیز توسط الگوریتم تنوع طیفی تقویت‌شده (Enhanced Spectral Diversity) انجام می‌شود. برای تولید تصویر تداخل‌سنج راداری (اینترفروگرام) تصویر مرجع یا اصلی با مزدوج پیچیده تصویر پیرو ضرب متقاطع شده و یک تصویر تداخل‌سنج تشکیل شد (مرحله Interfrogram)؛ در این صورت دامنه هر دو تصویر چند برابر شده و فاز آن نشان‌دهنده اختلاف‌فاز بین دو تصویر اصلی و پیرو می‌شود. تصویر تداخل‌سنج راداری ایجادشده دارای خطوط بدون داده است که در مرحله Deburst این خطوط حذف‌شده وبخش های مختلف آن به هم می‌پیوندند. تصویر تداخل‌سنج راداری دارای خطای فاز حاصل از توپوگرافی زمین نیز است، این خطا توسط مدل رقومی ارتفاع SRTM یک ثانیه (قدرت تفکیک حدود ۳۰ متر) حذف و تصویر تداخل‌سنج تفاضلی ایجاد شد (مرحله Topographic Phase Removal). اتمسفر ابرآلود می‌تواند باعث ایجاد نویز در پراکنش‌های دریافتی توسط ماهواره شود، این نویز باعث ایجاد خطای فاز در تداخل‌سنج شده و باید رفع شود، با توجه به محدودیت تصاویر راداری با خط پایه مکانی مناسب و نداشتن شرایط و داده‌های اتمسفری از کسر این نوع خطای فاز در تداخل‌سنج تفاضلی صرف‌نظر شد. برای کاهش نویز تصویر تداخل‌سنج تفاضلی تولیدشده، ابتدا پالایه (فیلتر) چند منظر یا دید چندگانه[2] (مرحله Multilooking) و بعدازآن پالایه گولداشتاین[3] (مرحله Goldstein Phase Filter) روی آن اعمال گردید. به علت وجود پیکسل‌های با داده‌های پرت در مرز تصویر تداخل‌سنج تفاضلی پالایه شده، این تصویر را در محدوده منطقه موردمطالعه برش داده (مرحله Subset) و سپس مرحله باز کردن فازهای آن

[1] Geocoding
[2] Multilooking
[3] Goldstein

انجام شد (مرحله SNAPHU Unwapping). فازهای تداخل‌سنج تفاضلی تولیدشده بین ۳/۱۴- تا ۳/۱۴+ (π- لغایت π+) هستند که باید به‌صورت مضربی از 2π تبدیل شوند. در اینترفروگرام، فاز تداخل‌سنجی مبهم است و تنها در مقیاس 2π شناخته‌شده است. برای اینکه بتوان فازهای تداخل‌سنج را به ارتفاع توپوگرافی مرتبط کرد، ابتدا باید فاز را باز کرد. باز کردن فاز، این ابهام را با ادغام اختلاف‌فاز بین پیکسل‌های همسایه حل می‌کند. پس از حذف هر عدد صحیحی از ارتفاعات دارای ابهام (معادل عدد صحیح چرخه فاز 2π)، تغییر فاز بین دونقطه روی تداخل‌سنج مسطح، مقادیر تغییرات ارتفاع واقعی را نشان می‌دهد (شکل (۳)). بر این اساس، نتایج باید به‌عنوان ارتفاع یا جابجایی نسبی بین پیکسل‌های دو تصویر تفسیر شوند. عملیات باز کردن فاز[1] توسط الگوریتم SNAPHU انجام شد (Chen & Zebker, 2000). این مرحله بسته به ویژگی‌های سخت‌افزاری سیستم رایانه‌ای، بیش‌ترین زمان پردازش را در این پژوهش به‌منظور تهیه تصویر جابجایی سطح زمین به خود اختصاص داد.



شکل (۳) پایه و اساس باز کردن فاز (ESA, 2020).

فازهای اینترفروگرام تفاضلی بازشده به جابجایی سطح زمین برحسب متر تبدیل شدند (مرحله Phase to Displacement). این عمل ازنظر تئوری از رابطه (۱) میسر می‌شود (Pawluszek-Filipiak & Borkowski, 2020).

رابطه (۱)

$$d = -\frac{\lambda}{4\pi}\Delta\emptyset_d$$

که در آن d، جابجایی سطح زمین برحسب متر، λ، طول‌موج بکار رفته در ماهواره برحسب متر، $\Delta\emptyset_d$، اختلاف‌فاز بین دو تصویر راداری است. جابجایی محاسبه‌شده در راستای خط دید[2] سنجنده است که توسط هندسه زمین موجود در یک مدل رقومی ارتفاع به جابجایی

[1] SNAPHU Unwrapping
[2] Line of Sight

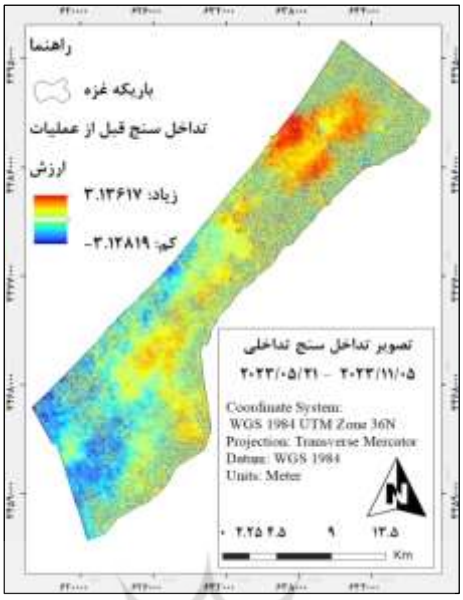
عمودی سطح زمین تبدیل، روی آن تصحیحات زمینی[1] (مرحله Terrain Correction of Displacement) انجام و زمین مرجع شد (ESA, 2020).

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

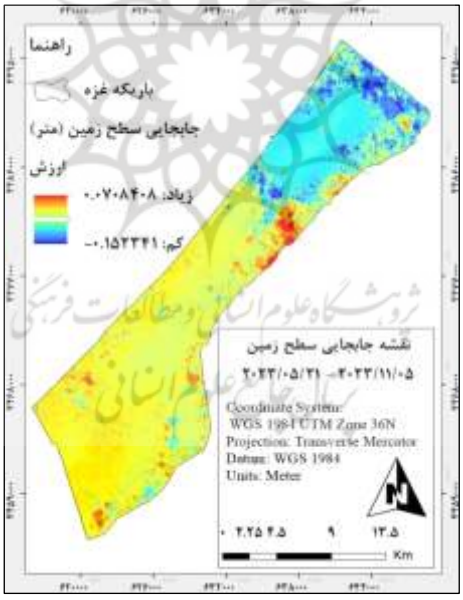
به‌منظور محاسبه جابجایی عمودی سطح زمین برای قبل از طوفان الاقصی (فاصله ۱۶۸ روز بین ۲۰۲۳/۰۵/۲۱ لغایت ۲۰۲۳/۱۱/۰۵) و بعدازآن (فاصله ۱۰۸ روز بین ۲۰۲۳/۱۱/۰۵ لغایت ۲۰۲۴/۰۲/۲۱)، از روش‌ها و مواد ذکرشده در فلوچارت موجود در شکل (۲) و جدول‌های (۲ و ۳) برای هرکدام از جفت تصاویر SLC ماهواره سنتینل-1A استفاده شد. شکل‌های (۴ و ۵) و شکل‌های (۶ و ۷) به ترتیب نقشه‌های اینترفروگرام و جابجایی عمودی سطح زمین را برای قبل و بعد از عملیات طوفان الاقصی (بمباران شهر غزه در بعد از این عملیات) نشان می‌دهند. جدول (۴) کمینه، بیشینه و میانگین جابجایی عمودی سطح زمین را در قبل و بعد از عملیات نشان می‌دهد.

با مقایسه نقشه‌های تداخل‌سنج راداری در قبل و بعد از عملیات طوفان الاقصی می‌توان دریافت که تغییرات فاز ملایمی که در سطح شهرها در قبل از عملیات وجود داشت در بعد از آن تشدید پیدا کرده و درنتیجه مقدار جابجایی را در سطح مناطق مختلف غزه افزایش داده است. در قبل از عملیات در اطراف شهرها جابجایی منفی (فرونشست سطح زمین) تا حدود ۱۵ سانتی‌متر در بازه زمانی ۱۶۸ روز وجود دارد که نشان‌دهنده برداشت محصولات زراعی در زمین‌های کشاورزی اطراف شهرهای غزه است. تقریباً قبل از عملیات با صرف‌نظر از فرونشست حاصل از برداشت محصولات زراعی، می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات ارتفاعی مهمی در این بازه زمانی در منطقه موردمطالعه رخ نداده است، اما در بازه زمانی ۱۰۸ روزه بعد از عملیات که از بازه زمانی قبل از آن (۱۶۸ روز) هم کم‌تر است، تغییرات سطحی زمین افزایش چشمگیری دارد؛ به‌طوری‌که در این بازه زمانی سطح زمین در برخی نواحی تا ۲۴ سانتی‌متر بالاآمدگی از خود نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودارهای (۱ و ۲) (که مربوط به میزان جابجایی سطحی زمین قبل و بعد از عملیات طوفان الاقصی است) نشان داده‌شده، میزان بالاآمدگی عمودی از جنوب غربی به شمال شرقی غزه بیش‌تر می‌شود و این مهم می‌تواند گویای بمباران و تخریب بیش‌تر نواحی شمالی و مرکزی غزه باشد.

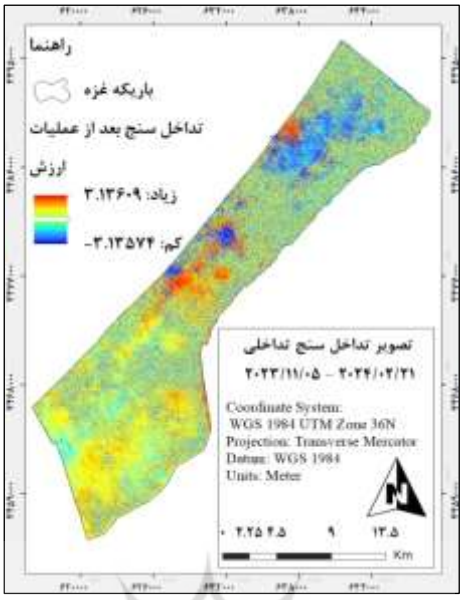
[1] Terrain Correction



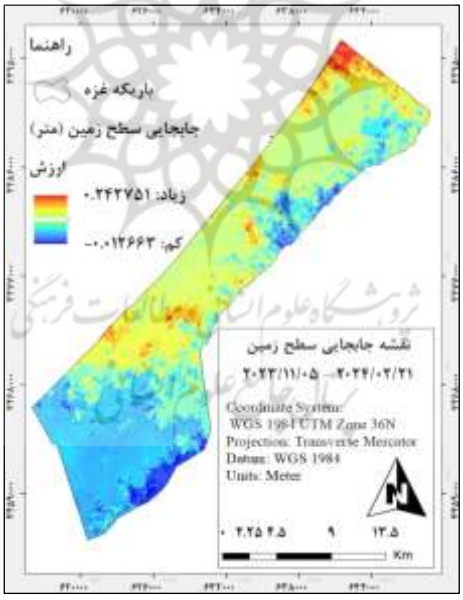
شکل (۴) نقشه تداخل‌سنج راداری قبل از عملیات طوفان الاقصی.



شکل (۵) نقشه جابجایی سطح زمین قبل از عملیات طوفان الاقصی.



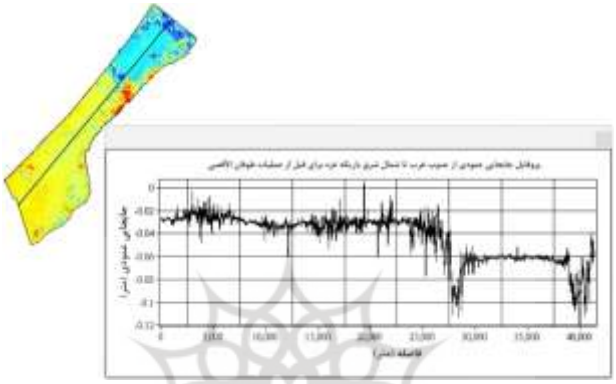
شکل (۶) نقشه تداخل‌سنج راداری بعد از عملیات طوفان الاقصی.



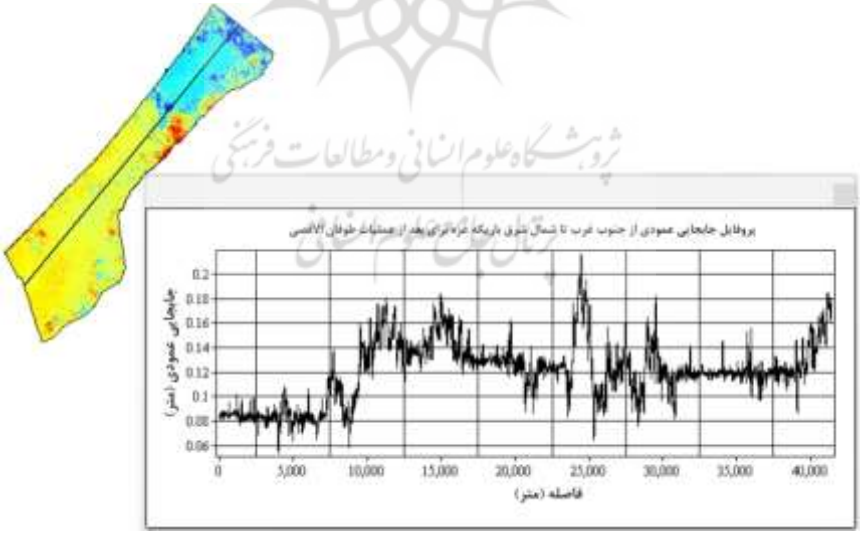
شکل (۷) نقشه جابجایی سطح زمین بعد از عملیات طوفان الاقصی.

جدول (۴) مقادیر جابجایی سطح زمین قبل و بعد از عملیات طوفان الاقصی (سانتی‌متر) در کل غزه.

زمان	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	بازه زمانی (روز)
قبل از عملیات	-۱۵/۲۳	۷/۰۸	-۳/۷۷	۲/۱۲	۱۶۸
بعد از عملیات	-۱/۲۷	۲۴/۲۸	۱۰/۹۹	۲/۸۷	۱۰۸



نمودار (۱) نیمرخ طولی جابجایی عمودی سطح زمین غزه از جنوب غربی تا شمال غربی (قبل از عملیات طوفان الاقصی)



نمودار (۲) نیمرخ طولی جابجایی عمودی سطح زمین غزه از جنوب غربی تا شمال غربی (بعدازآن عملیات طوفان الاقصی)

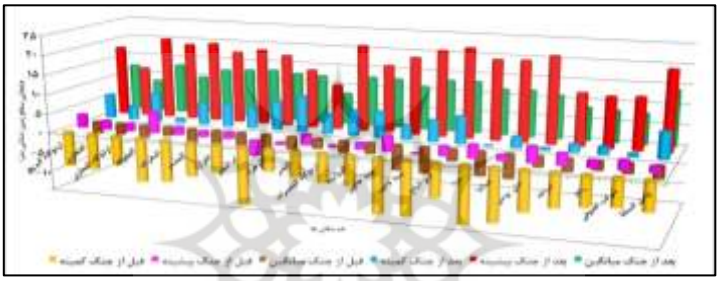
جابجایی سطحی زمین در شهرهای غزه

مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین جابجایی عمودی سطح زمین در محدوده مناطق مختلف غزه برحسب سانتی‌متر محاسبه‌شده و در جدول (۵) و نمودار (۱) آورده شده است. در جدول (۵) منظور از کمینه و بیشینه، به ترتیب مقدار جابجایی عمودی به سمت پایین (فرونشست) و مقدار جابجایی به سمت بالای سطح زمین است. همان‌طور که در جدول مذکور آورده شده است، منطقه وادی ازسلاقه، دیرالبلح و بیت لاحیا به ترتیب دارای بیشترین بالاآمدگی عمودی سطح زمین در بعد از عملیات هستند. این بالاآمدگی‌ها را می‌توان نتیجه انباشت مصالح تخریب‌شده انواع سازه‌های شهری در اثر انفجار انواع بمب‌ها در سطح منطقه موردمطالعه دانست، به‌طوری‌که بر روی مقادیر فرونشست (کمینه جابجایی سطح زمین) نیز تأثیر گذاشته و باعث افزایش آن‌هم شده است. همان‌طور که نمودار (۳) نشان می‌دهد، کمینه، بیشینه و میانگین جابجایی عمودی سطح زمین بعد از عملیات طوفان الاقصی نسبت به قبل از آن بسیار بیش‌تر است. قبل از عملیات مقادیر فرونشست (کمینه جابجایی سطح زمین) در بازه ۱۶۸ روزه زیادتر از بعد از عملیات است. این‌گونه نواحی بیش‌تر در اطراف شهرها قرار داشته و مربوط به برداشت محصولات زراعی در مزارع کشاورزی است.

جدول (۵) مقادیر جابجایی سطح زمین در محدوده شهرها (سانتی‌متر).

نام شهر/منطقه	قبل از جنگ			بعد از جنگ		
	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین
اردوگاه البریج	-۸/۸۵	۳/۳۱	-۲/۸۷	۶/۱۲	۱۸/۰۸	۱۲/۱۴
الفخاری	-۹/۱۴	۲/۱۰	-۲/۸۱	۳/۳۲	۱۲/۷۷	۸/۲۳
اردوگاه المغازی	-۷/۳۴	۱/۸۳	-۳/۱۲	۷/۳۳	۲۰/۹۹	۱۲/۹۰
المغراقه	-۱۱/۳۳	۵/۴۱	-۲/۲۳	۱/۰۲	۱۹/۸۷	۹/۹۴
المغراقه	-۱۰/۶۹	۱/۹۰	-۳/۵۴	۵/۶۸	۲۰/۴۵	۱۲/۲۷
المصدر	-۸/۶۸	۱/۳۶	-۳/۲۷	۶/۰۳	۱۸/۴۷	۱۲/۶۷
القراره	-۶/۹۹	۱/۶۸	-۳/۱۸	۵/۴۵	۱۹/۴۱	۱۳/۰۱
ام النصر	-۱۴/۶۹	-۳/۷۸	-۹/۰۷	۷/۴۷	۱۸/۳۵	۱۲/۴۹
الزهراء	-۵/۶۶	-۰/۴۷	-۳/۱۰	۹/۲۶	۱۴/۹۰	۱۲/۲۸
النصر	-۶/۵۵	۲/۵۷	-۲/۳۶	۴/۸۹	۱۱/۴۰	۷/۹۶
اردوگاه النصیرات	-۷/۳۲	۰/۲۱	-۲/۹۶	۶/۵۸	۲۱/۹۱	۱۲/۶۸
الزوایده	-۷/۵۲	۱/۵۴	-۲/۶۶	۶/۷۰	۱۷/۲۰	۱۲/۶۰
بیت حانون	-۱۳/۸۵	۳/۸۷	-۶/۲۵	۳/۶۳	۱۹/۶۶	۱۱/۰۷

نام شهر/منطقه	قبل از جنگ			بعد از جنگ		
	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین
بیت لاحیا	-۱۳/۷۸	۰/۰۰	-۶/۴۸	۵/۵۰	۲۱/۷۲	۱۳/۰۶
دیر البلح	-۸/۴۸	۲/۳۳	-۲/۸۲	۶/۹۲	۲۲/۷۶	۱۳/۱۸
غزه	-۱۴/۵۰	۳/۲۷	-۵/۹۸	۰/۰۰	۲۰/۲۸	۱۱/۶۶
جبالیا	-۱۳/۳۴	۱/۲۶	-۶/۰۴	۲/۷۶	۲۰/۴۵	۱۱/۸۰
خان یونس	-۱۰/۰۶	۴/۰۰	-۲/۵۸	۰/۴۷	۲۱/۹۱	۱۱/۰۱
خزاعه	-۸/۳۹	۲/۸۸	-۳/۱۶	۲/۰۵	۱۳/۲۵	۸/۳۶
رفح	-۷/۵۴	۱/۶۹	-۲/۲۱	۱/۹۶	۱۲/۷۹	۸/۰۸
شوکت الصوفی	-۶/۹۶	۲/۳۵	-۲/۴۵	۰/۷۴	۱۳/۱۵	۷/۸۷
وادی السلقا	-۷/۳۶	۱/۴۷	-۳/۰۳	۶/۶۳	۲۰/۲۳	۱۴/۱۴



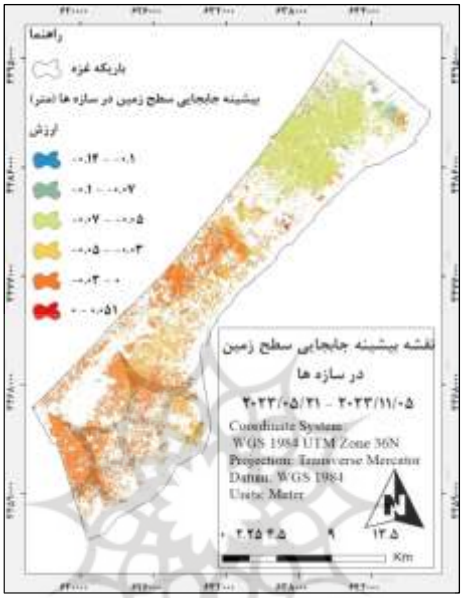
نمودار (۳) مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین جابجایی سطح زمین در محدوده شهرها (سانتی‌متر)

جابجایی سطحی زمین در سازه‌ها

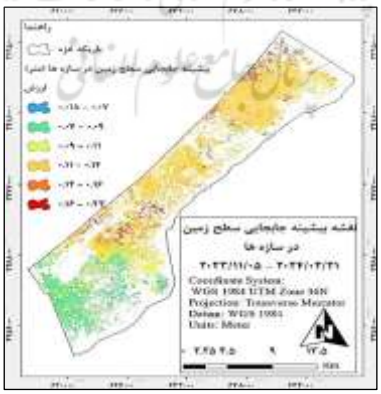
کم‌ترین، بیش‌ترین و میانگین جابجایی عمودی سطح زمین در درون محدوده سازه‌های مسکونی، صنعتی، رفاهی، آموزشی و مذهبی در قبل و بعد از عملیات طوفان الاقصی در جدول (۶) آورده شده است. محاسبات حاکی از آن است که بیش‌ترین جابجایی (بالاآمدگی) مربوط به اماکن بعد از عملیات حدود ۲۲/۶۷ سانتی‌متر است که در مقایسه با همین پارامتر در قبل از عملیات (۵/۰۶ سانتی‌متر) مقدار زیادی است. شکل‌های (۸ و ۹) به ترتیب بیشنه بالاآمدگی برحسب متر را در اماکن و سازه‌های مختلف غزه نشان می‌دهند. به‌عنوان نمونه بیشینه جابجایی عمودی در محدوده چندین ساختمان در جدول (۷) آورده می‌شود. انهدام برخی از این ساختمان‌ها توسط رسانه‌های مختلف ثبت و ضبط‌شده است (شکل (۱۰)).

جدول (۶) مقادیر جابجایی سطح زمین در محدوده سازه‌ها (سانتی‌متر).

زمان	کمینه	بیشینه	میانگین جابجایی سازه‌ها
قبل از عملیات	-۱۴/۴۳	۵/۰۶	-۴/۱۷
بعد از عملیات	۰	۲۲/۶۷	۱۱/۲۷



شکل (۸) نقشه بیشینه جابجایی سطح زمین در سازه‌های غزه قبل از عملیات طوفان الاقصی.



شکل (۹) نقشه بیشینه جابجایی سطح زمین در سازه‌های غزه بعد از عملیات طوفان الاقصی.

جدول (۷) مقادیر بیشینه جابجایی سطح زمین برای قبل و بعد از عملیات طوفان الاقصی در چندین ساختمان (سانتی‌متر).

ردیف	نام	مساحت (مترمربع)	قبل از عملیات	بعد از عملیات
۱	برج‌های الفیروز	۶۸۷/۶	-۵/۷۳	۱۸/۹۲
۲	برج‌های الفیروز	۷۱۹/۹	-۶/۲۵	۱۸/۵۴
۳	مسجد امام ملک	۶۶۵/۲	-۶/۱۶	۱۸/۴۸
۴	کارخانه گرانیت و آهک	۹۸۳/۹	-۷/۰۸	۱۸/۳۴
۵	برج‌های الفیروز	۷۱۸/۷	-۵/۸۶	۱۸/۲۶
۶	خانه ابو معتصم السقی	۲۲۵/۵	-۳/۸۰	۱۸/۱۴
۷	صاله بانوراما للافراح	۱۲۸۲/۴	-۳/۱۴	۱۷/۹۴
۸	مسجد حذیفه بن الیمان	۶۶۵/۴	-۵/۷۳	۱۷/۶۷
۹	مسجد خلیل الوزیر	۸۳۸/۰	-۵/۳۰	۱۷/۰۶
۱۰	جامعه القدس	۱۲۵۳/۶	-۶/۵۹	۱۶/۸۸
۱۱	مسجد الایمان و التقوی	۵۵۰/۶	-۲/۷۸	۱۶/۶۴
۱۲	درمانگاه السورانی	۵۱۶/۵	-۶/۳۸	۱۶/۵۱
۱۳	منزل المرحوم: ابو ایمن شاهین	۱۷۳/۶	-۶/۵۵	۱۶/۴۵
۱۴	کارخانه مدرن مبلمان	۱۰۶۰/۳	-۲/۷۹	۱۶/۴۰
۱۵	مسجد حی الناصر	۳۴۰/۳	-۲/۵۱	۱۶/۳۶
۱۶	هتل المشتال	۵۵۴۲/۶	-۵/۰۵	۱۶/۲۹
۱۷	مرکز ورزشی الصداقه	۲۲۰۱/۹	-۶/۱۲	۱۶/۱۸
۱۸	بیمارستان اندونزی ها	۲۲۴۲/۵	-۶/۲۰	۱۶/۱۵
۱۹	برج النادا	۳۹۶/۰	-۲/۶۷	۱۶/۰۶
۲۰	مسجد	۴۱۴/۲	-۵/۵۲	۱۶/۰۵
۲۱	جمعیهٔ تنمیهٔ المراهٔ الریفیهٔ	۲۴۴/۰	-۲/۴۹	۱۵/۹۶
۲۵	مدرسه رانندگی اتومبیل الحوریه	۲۲۹/۵	-۲/۲۶	۱۵/۸۴
۲۶	مسجد الکبیر	۱۵۳۳/۸	-۲/۹۳	۱۵/۷۳
۲۸	مسجد بنت خویلد	۶۵۴/۸	-۵/۰۷	۱۵/۵۷
۲۹	مسجد الصابرین	۲۱۵/۸	-۷/۹۶	۱۵/۵۳
۳۰	وزارت اقتصاد ملی	۱۹۳/۵	-۳/۹۴	۱۵/۴۱
۳۱	مسجد خالد بن الولید	۲۴۷/۴	-۲/۷۱	۱۵/۳۹
۳۲	مسجد عمروبن‌العاص	۵۶۹/۲	-۵/۹۴	۱۵/۳۵
۳۳	دفتر پست الشجائیه غزه	۱۶۳/۱	-۶/۴۲	۱۵/۲۸
۳۴	مسجد الهدایه	۵۵۷/۱	-۲/۶۹	۱۵/۲۶

ردیف	نام	مساحت (مترمربع)	قبل از عملیات	بعد از عملیات
۳۵	عمارة الدوحة	۶۲۹/۱	-۵/۴۵	۱۵/۲۶
۳۶	مسجد معاذ بن جبل	۲۷۸/۹	-۱/۸۲	۱۵/۱۳
۳۷	پمپ بنزین السلام	۲۱۲/۷	-۶/۷۹	۱۵/۱۱
۳۸	مسجد الایمان	۳۰۵/۰	-۳/۵۱	۱۵/۰۹
۳۹	مسجد الخلفاء الراشدین	۹۰/۵	-۶/۵۳	۱۴/۹۸
۴۰	وزارت اوقاف و امور دینی	۴۴۸/۳	-۶/۳۷	۱۴/۸۵
۴۱	مسجد الکتیبة	۸۱۵/۶	-۲/۹۸	۱۴/۸۰
۴۲	پمپ بنزین علی ابوجبه	۳۸۳/۹	-۳/۹۶	۱۴/۷۹
۴۳	مرکز پلیس القراره	۲۵۳/۴	-۳/۰۶	۱۴/۶۹
۴۴	مسجد شهداء الشاطی	۹۲۱/۷	-۶/۷۷	۱۴/۵۳
۴۵	درمانگاه ژاپنی ها	۶۶۹/۷	-۲/۸۲	۱۴/۴۴
۴۶	بیمارستان الکرامه	۸۱۶/۱	-۶/۳۹	۱۴/۳۸
۴۷	مسجد الرباط	۱۶۱/۵	-۲/۴۷	۱۴/۲۹

شکل (۱۰) سمت راست: مسجد خالد بن ولید قبل از انهدام بمباران (Mashreghnews, 2023) و سمت چپ: همان مسجد بعد از بمباران (Alhorianews, 2023)

جابجایی سطحی زمین در خیابان‌ها و راه‌های مواصلاتی

کم‌ترین، بیش‌ترین و میانگین جابجایی عمودی سطح زمین در جاده‌ها و خیابان‌ها در قبل و بعد از عملیات طوفان الاقصی در جدول (۸) آورده شده است. این مقادیر به‌خوبی نشان‌دهنده میزان تخریب زیرساخت‌های ارتباطی زمینی در غزه است.

جدول (۸) مقادیر جابجایی سطح زمین در خیابان‌ها و جاده‌ها (سانتی‌متر).

زمان	کمینه	بیشینه	میانگین جابجایی سازه‌ها
قبل از عملیات	-۶/۹	-۶/۴	-۶/۷
بعد از عملیات	۱۲/۰۲	۱۳/۲۵	۱۲/۴۷

سرعت جابجایی سطحی زمین

با توجه به اینکه بازه در نظر گرفته‌شده برای تعیین جابجایی سطح زمین برای قبل و بعد از عملیات طوفان الاقصی به ترتیب ۱۶۸ و ۱۰۸ روز است، بنابراین با محاسبه مقادیر جابجایی سطحی زمین در این بازه‌های زمانی، کمینه، بیشینه و میانگین سرعت جابجایی عمودی سطح زمین در نواحی و محدوده‌های راه‌ها، سازه‌ها و کل منطقه موردمطالعه محاسبه می‌شوند (جدول (۹)). با توجه به اینکه بازه زمانی بعد از عملیات ۶۰ روز کم‌تر از قبل آن است اما سرعت تغییر شکل سطح زمین در این بازه حدود ۴ برابر بیش‌تر است.

جدول (۹) بزرگی سرعت متوسط جابجایی سطح زمین در منطقه موردمطالعه (mm/day).

زمان	بازه زمانی (روز)	بزرگی سرعت متوسط جابجایی عمودی سطح زمین (میلی‌متر بر روز)	
قبل از عملیات	۱۶۸	تمامی محدوده غزه	۰/۲۲
		سازه‌ها و اماکن	۰/۲۵
		خیابان‌ها و جاده‌ها	۰/۴
بعد از عملیات	۱۰۸	تمامی محدوده غزه	۱/۰۲
		سازه‌ها و اماکن	۱/۰۴
		خیابان‌ها و جاده‌ها	۱/۱۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش به‌منظور تعیین جابجایی عمودی سطح زمین در اثر بمباران غزه بعد از حدود ۱۰۸ از عملیات طوفان‌الاقصی (۱۵ مهر ۱۴۰۲) و مقایسه آن با یک بازه زمانی ۱۶۸ روزه قبل از این عملیات و بررسی اثر بمباران بر زیرساخت‌های غزه توسط رژیم صهیونیستی انجام شد. بدین منظور از ۳ تصویر راداری از نوع SLC حاصل از ماهواره سنتینل-1A استفاده شد که دو تصویر آن مربوط به قبل و یک تصویر آن مربوط به بعد از عملیات طوفان الاقصی بود. با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری مقدار جابجایی عمودی سطح زمین برای این دو بازه زمانی مشخص شد. نتایج نشان داد که بیشینه جابجایی در سطح زمین به ترتیب برای قبل و بعد از عملیات، ۷/۰۸ سانتی‌متر و ۲۴/۲۸ سانتی‌متر است؛ این در حالی است که برخی از زلزله‌های بزرگ نیز چنین جابجایی عمودی را برای سطح زمین رقم نمی‌زنند. یکی از این زلزله‌ها مربوط به زلزله ۶/۵

ریشتری نورسیا[1] ایتالیا در ۳۰ اکتبر ۲۰۱۶ بود؛ مقادیر جابجایی عمودی این زلزله ۲۰- تا ۲۰ سانتی‌متر گزارش شد (Valerio et al. , 2018). میانگین فرونشست زمین قبل و بعد از عملیات طوفان الاقصی در سازه‌ها و اماکن غزه اختلافی حدوداً ۱۸ سانتی-متری دارند. سرعت جابجایی عمودی سطح زمین در اماکن/ سازه‌ها، راه‌ها و کل منطقه موردمطالعه بعد از عملیات حدوداً ۴ برابر قبل از عملیات محاسبه شد، درحالی‌که بازه زمانی بعد از عملیات، ۶۰ روز کم‌تر از قبل از این آن است. روند افزایش مقدار جابجایی سطح زمین در غزه به‌گونه‌ای است که به سمت مناطق شمالی بر مقدار برآمدگی سطح زمین افزوده می‌شود و بیشینه آن در شمال غزه بیش‌تر نمایان است.

رسانه‌ها در بعد از عملیات طوفان‌الاقصی اعلام کردند که رژیم صهیونیستی مساجد و برج‌های بلند غزه را هدف بمباران موشکی خود قرار داده و آن‌ها را منهدم می‌کند (Aljazeera, 2023; Etemadonline, 2023)؛ نتایج این پژوهش نیز نشان داد که مساجد و ساختمان‌های بلند در این بمباران‌ها تغییرات جابجایی عمودی بیش‌تری داشته‌اند (جدول (۷)).

درصورتی‌که میزان خسارت حاصل از بمباران شهرها در بازدیدهای میدانی به‌صورت عددی مقداردهی شود (بدین معنی که در صورت تخریب هر طبقه از واحد مسکونی یک مقدار عددی ثبت شود) می‌توان بین این مقادیر نمونه‌برداری شده و مقادیر جابجایی سطح زمین (محاسبه‌شده توسط روش‌های تداخل‌سنجی راداری)، یک رابطه خطی برقرار کرده و درنتیجه میزان خسارات را برای تمامی اماکن و زیرساخت‌ها بدون مراجعات میدانی فراگیر محاسبه و تخمین زد. پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی این رابطهٔ رگرسیونی محاسبه و در برآورد خسارت به سایر سازه‌های منطقه موردمطالعه استفاده شود. درصورتی‌که بجای مدل رقومی ارتفاع ۱ ثانیه (قدرت تفکیک حدود ۳۰ متر) شاتل فضایی (SRTM)، از یک اینترفروگرام دارای فاز-بازشده قبل از رخداد استفاده شود دقت محاسبات جابجایی عمودی بالا می‌رود. بدین منظور توصیه می‌شود که پژوهشگران در پژوهش‌های آتی خود برای محیط‌های شهری به‌صورت روش تداخل‌سنجی راداری سه گذر بهره بگیرند.

[1] Norcia

قدردانی

از کلیهٔ اندیشمندان و پژوهشگرانی که در خلال تحقیق، خالصانه دیدگاه‌ها و نقطه‌نظرات علمی و کارشناسی خود را ارائه نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Alhorianews. (2023). *Destruction of Khalid Ibn Walid Mosque in Gaza*. Alhorianews Press. Retrieved 2024/27/3 from https: //alhorianews. com/%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%AD%D8%AA%D9%84%D8%A7%D9%84-%D9%8A%D9%82%D8%B5%D9%81-%D9%85%D8%B3%D8%AC%D8%AF-%D8%AE%D8%A7%D9%84%D8%AF-%D8%A8%D9%86-%D8%A7%D9%84%D9%88%D9%84%D9%8A%D8%AF-%D8%A8%D8%AE%D8%A7%D9%86/

Aljazeera. (2023). *Israeli Strikes Flatten Buildings, Mosques in Gaza*. Aljazeera Press. Retrieved 2024/27/3 from https: //www. aljazeera. com/gallery/2023/10/8/israeli-strikes-flatten-buildings-mosques-in-gaza

Almodaresi, S. A. , & Heshmati, S. (2015). Modeling the Subsidence of the Neyshabour Plain by Using Time Series and DINSAR. *Geography and Environmental Planning*, *26*(1), 67-84. https: //gep. ui. ac. ir/article_18710_07c888aab17090bca209bcc5a182d1dd. pdf

Amini, D. (2022). An Analysis of the Influential Indicators in the Implementation of Urban Warfare Tactics by the ISIS Armed Forces in The Occupation of Mosul (2014-2017). *Military Science and Tactics*, *18*(59), 111-140. https: //doi. org/10. 22034/qjmst. 2022. 533242. 1555

Asadzadeh, F. , Kaki, M. , Shakiba, S. , & Raei, B. (2016). Impact of Drought on Groundwater Quality and Groundwater Level in Qorveh-Chardoli Plain. *Iran-Water Resources Research*, *12*(3), 153-165.

Ballasiotes, A. D. (2020). Mapping Untreated and Semi-treated Wastewater Effluent off the Coast of Gaza with Sentinel-1 Time Series Data.

Barra, A. , Solari, L. , Béjar-Pizarro, M. , Monserrat, O. , Bianchini, S. , Herrera, G. , Crosetto, M. , Sarro, R. , González-Alonso, E. , Mateos, R. M. , Ligüerzana, S. , López, C. , & Moretti, S. (2017). A Methodology to Detect and Update Active Deformation Areas Based on Sentinel-1 SAR Images. *Remote Sensing*, *9*(10), 1002. https: //www. mdpi. com/2072-4292/9/10/1002

Boloorani, A. D. , Darvishi, M. , Weng, Q. , & Liu, X. (2021). Post-War Urban Damage Mapping Using InSAR: the Case of Mosul City in Iraq. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *10*(3), 140.

Chen, C. W. , & Zebker, H. A. (2000). Network Approaches to Two-Dimensional Phase Unwrapping: Intractability and Two New Algorithms. *JOSA A*, *17*(3), 401-414.

De Luca, C. , Bonano, M. , Casu, F. , Fusco, A. , Lanari, R. , Manunta, M. , Manzo, M. , Pepe, A. , & Zinno, I. (2016). Automatic and Systematic Sentinel-1 SBAS-DInSAR Processing Chain for Deformation Time-Series Generation. *Procedia Computer Science*, *100*, 1176-1180.

Delgado Blasco, J. M. , Foumelis, M. , Stewart, C. , & Hooper, A. (2019). Measuring Urban Subsidence in the Rome Metropolitan Area (Italy) with Sentinel-1 SNAP-StaMPS Persistent Scatterer Interferometry. *Remote Sensing*, *11*(2), 129.

ESA. (2020). *Displacement Mapping with Sentinel-1 IW TOPS Data*. European Space Agency. Retrieved 2024/3/8 from https: //step. esa. int/main/doc/tutorials/

Etemadonline. (2023). *Bombing the Gaza Towers Was a Way to Vent Our Sense of Failure*. Etemadonline Press. Retrieved 2024/27/3 from https: //www. etemadonline. com/%D8%A8%D8%AE%D8%B4-%D8%A8%DB%8C%D9%86-%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%84%D9%84-17/488476-%D8%A8%D9%85%D8%A8%D8%A7%D8%B1%D8%A7%D9%86-%D8%A8%D8%B1%D8%AC-%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D8%BA%D8%B2%D9%87-%D8%B1%D8%A7%D9%87%DB%8C-%D8%A8%D8%B1%D8%A7%DB%8C

Fárová, K. , Jelének, J. , Kopačková-Strnadová, V. , & Kycl, P. (2019). Comparing DInSAR and PSI Techniques Employed to Sentinel-1 Data to Monitor Highway Stability: A Case Study of a Massive Dobkovičky Landslide, Czech Republic. *Remote Sensing*, *11*(22), 2670. https: //www. mdpi. com/2072-4292/11/22/2670

Ge, L. , Ng, A. H. -M. , Li, X. , Abidin, H. Z. , & Gumilar, I. (2014). Land Subsidence Characteristics of Bandung Basin as Revealed by ENVISAT ASAR and ALOS PALSAR Interferometry. *Remote Sensing of Environment*, *154*, 46-60. Gupta, R. P. (2003). *Remote Sensing Geology* (2 ed.). Springer. https: //doi. org/https: //doi. org/10. 1007/978-3-662-05283-9

HDX. (2019). *The Humanitarian Data Exchange*. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA). Retrieved 2024/3/8 from https: //data. humdata. org/dataset

Karami Moghadam, M. , Moradi Motlagh, E. , Sabzevari, T. , & Mohammadpour, R. (2021). Application of Remote Sensing and GIS Techniques in SCS-CN Model (Case Study: Balarood Basin, Khuzestan). *Environment and Water Engineering*, *7*(1), 157-169. https: //doi. org/10. 22034/jewe. 2020. 252569. 1441

Karimzadeh, S. , & Matsuoka, M. (2020). Ground Displacement and Building Damage Estimation of the 2017 Kermanshah Earthquake Using SAR Remote Sensing. *Advance Researches in Civil Engineering*, *2*(1), 49-56.

Research, *15*(1), 299-313. https: //www. iwrr. ir/article_80494. html

Mashreghnews. (2023). *The Terrible Bombing of a Mosque in Khan Yunis*. Mashreghnews Press. Retrieved 2024/27/3 from https: //www. mashreghnews. ir/news/1544827/%D9%81%DB%8C%D9%84%D9%85-%D9%84%D8%AD%D8%B8%D9%87-%D8%A8%D9%85%D8%A8%D8%A7%D8%B1%D8%A7%D9%86-%D9%88%D8%AD%D8%B4%D8%AA%D9%86%D8%A7%DA%A9-%DB%8C%DA%A9-%D9%85%D8%B3%D8%AC%D8%AF-%D8%AF%D8%B1-%D8%AE%D8%A7%D9%86-%DB%8C%D9%88%D9%86%D8%B3

Mishra, B. , & Susaki, J. (2014). Optical and SAR Data Integration for Automatic Change Pattern Detection. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. , II-7*, 39-46. https: //doi. org/10. 5194/isprsannals-II-7-39-2014

Mohamed, S. A. , Nasr, A. H. , & Keshk, H. M. (2022). Three-Pass (DInSAR) Ground Change Detection in Sukari Gold Mine, Eastern Desert, Egypt. Pervasive Computing and Social Networking: Proceedings of ICPCSN 2021.

Mokhtari, d. , Valizadeh Kamran, K. , & Moradi Motlagh, E. (2020). The Role of Interpolation Methods for the Production of R factor to Estimate Soil Erosion of Basins Using RUSLE Model (Case Study: Balarood Basin). *Quantitative Geomorphological Research*, *8*(3), 222-241. https: //www. geomorphologyjournal. ir/article_102803. html

Moradi Motlagh, E. (2016). *Monitoring the Changes of Hawizeh Marshes Using the Object-Oriented Method and Landsat 5 and 8 Satellite Images Between 1986 and 2016*. International Conference on Ceographic and Environmental Impacts of Urmia Lake Conditions, Tabriz, Iran.

Nayebzadeh, F. , Madadi, A. , & Azizi, G. (2018). The Evaluation of Tectonic Activity in Eshtehard Plain Basin with Interferometry. *Geography and Environmental Sustainability*, *8*(1), 15-27. https: //ges. razi. ac. ir/article_894_a217055826cbd02d0bc0926603eca09a. pdf

Osmanoğlu, B. , Sunar, F. , Wdowinski, S. , & Cabral-Cano, E. (2016). Time Series Analysis of InSAR Data: Methods and Trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *115*, 90-102.

Pawluszek-Filipiak, K. , & Borkowski, A. (2020). Integration of DInSAR and SBAS Techniques to Determine Mining-Related Deformations Using Sentinel-1 Data: The Case Study of Rydułtowy Mine in Poland. *Remote Sensing*, *12*(2), 242.

Qiao, X. , Chu, T. , Tissot, P. , & Holland, S. (2023). Sentinel-1 InSAR-Derived Land Subsidence Assessment Along the Texas Gulf Coast. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *125*, 103544. https: //doi. org/https: //doi. org/10. 1016/j. jag. 2023. 103544

Rahmatinia, V. , Moradi, E. , Jafari, M. , & Mehrabi, M. R. (2023). Lotting Out the Minefields by Means of Remote Sensing Sources and GIS Techniques (Case Study: The Common Border Region of Iraq with the Cities of Dehloran, Shush and Dasht-e-Azadegan). *Military Science and Tactics*, *19*(65), 113-141. https: //doi. org/10. 22034/qjmst. 2024. 560739. 1762

Richard, B. , & Philipp, H. (1998). Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Inverse Problems*, *14*(4), R1. https: //doi. org/10. 1088/0266-5611/14/4/001

Ruiz-Armenteros, A. M. , Lazecky, M. , Hlaváčová, I. , Bakoň, M. , Delgado, J. M. , Sousa, J. J. , Lamas-Fernández, F. , Marchamalo, M. , Caro-Cuenca, M. , Papco, J. , & Perissin, D. (2018). Deformation Monitoring of Dam Infrastructures via Spaceborne MT-InSAR. The Case of La Viñuela (Málaga, Southern Spain). *Procedia Computer Science*, *138*, 346-353. https: //doi. org/https: //doi. org/10. 1016/j. procs. 2018. 10. 049

Serhii, A. S. , Vyshnevskyi, V. I. , & Olena, P. B. (2022). The Use of Remote Sensing Data for Investigation of Environmental Consequences of Russia-Ukraine War. *Journal of Landscape Ecology*, *15*(3), 36-53.

Valerio, E. , Tizzani, P. , Carminati, E. , Doglioni, C. , Pepe, S. , Petricca, P. , Luca, C. , Bignami, C. , Solaro, G. , Castaldo, R. , De Novellis, V. , & Lanari, R. (2018). Ground Deformation and Source Geometry of the 30 October 2016 Mw 6. 5 Norcia Earthquake (Central Italy) Investigated Through Seismological Data, DInSAR Measurements, and Numerical Modelling. *Remote Sensing*, *10*, 1901. https: //doi. org/10. 3390/rs10121901

Villarroel, C. D. , Tamburini Beliveau, G. , Forte, A. P. , Monserrat, O. , & Morvillo, M. (2018). DInSAR for a Regional Inventory of Active Rock Glaciers in the Dry Andes Mountains of Argentina and Chile with Sentinel-1 Data. *Remote Sensing*, *10*(10), 1588.

Zan, F. D. , & Guarnieri, A. M. (2006). TOPSAR: Terrain Observation by Progressive Scans. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *44*(9), 2352-2360. https: //doi. org/10. 1109/TGRS. 2006. 873853

Zebker, H. A. , Rosen, P. A. , & Hensley, S. (1997). Atmospheric Effects in Interferometric Synthetic Aperture Radar Surface Deformation and Topographic Maps. *Journal of geophysical research: solid earth*, *102*(B4), 7547-7563.

Zebker, H. A. , & Villasenor, J. (1992). Decorrelation in Interferometric Radar Echoes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *30*(5), 950-959. https: //doi. org/10. 1109/36. 175330

Zhou, L. , Guo, J. , Hu, J. , Li, J. , Xu, Y. , Pan, Y. , & Shi, M. (2017). Wuhan Surface Subsidence Analysis in 2015–2016 Based on Sentinel-1A Data by SBAS-InSAR. *Remote Sensing*, *9*(10), 982.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی