



University of Tehran Press

Environmental

Hazards

Management



Iranian Hazardology Association
Online ISSN: 2383-0530

Home Page: <https://jhsci.ut.ac.ir>

Investigation of the Physical Hazards of Land Subsidence in the Varamin Plain

Manijeh Ghahroudi Tali^{1*} | Ali Ghavitan²

1. Corresponding Author, Professor of Geomorphology, Department of Physical Geography, Earth Science Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: m-ghahroudi@sbu.ac.ir

2. Department of Physical Geography, Earth Science Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: ghavitanali62@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received: 30 August 2025

Revised: 09 September 2025

Accepted: 23 October 2025

Published: 17 December 2025

Keywords:

Physical Hazards,
INSAR Data,
Land Subsidence,
Varamin,
Subsidence Portal.

ABSTRACT

Land subsidence is one of the major environmental and geological challenges in urban and agricultural areas of Iran, including Varamin County. This phenomenon leads to the formation of cracks and deep depressions and creates various hazards such as disruption of urban infrastructure and agricultural areas. The city of Varamin is located on the relatively vast and flat Varamin Plain, which, due to excessive extraction of groundwater resources and the thickness of alluvial sediments, is highly exposed to this phenomenon. The data used in this study include Sentinel-1 images from the period October 8, 2014, to March 25, 2024, extracted from the Subsidence Portal. The remaining data were obtained through field surveys of the evidence and effects of subsidence, and their geographic locations were recorded using GPS, ground photography, and the spatial matching of the GPS points with Google Earth. Interferograms and coherence data were produced using the LiCSAR system based on the GMTSAR software and interferometry methods. The interferograms were processed within the overlapping frames defined in the COMET-LiCS system. To correct the atmospheric model, the GACOS tool and InSAR data were used to effectively eliminate atmospheric (tropospheric) noise. In order to determine a transverse profile of the subsidence in the Varamin area, the point at 35°33'8.52" N latitude and 51°41'2.13" E longitude, with an elevation of 1285.97 meters above sea level, was selected. The results obtained from the land subsidence data in Varamin County showed that the average annual subsidence during the period 2014–2024 was 68.1 cm. The subsidence zoning map indicates that the phenomenon is occurring with non-uniform distribution and varying intensities, with greater subsidence observed in the central regions of Varamin—likely due to human activities and excessive groundwater extraction. The maximum recorded subsidence in the Varamin Plain reached 140 cm. The average annual subsidence over the statistical period is 68.1 cm, increasing from no measurable subsidence in 2014 to 169 cm in 2023 and 38.7 cm in 2024. This indicates that land subsidence in Varamin County, although initially a seasonal hazard occurring mainly during dry periods and partially compensated during wet seasons, has since 2019 (1398 SY) evolved into a persistent crisis. Field evidence of subsidence also reveals the vulnerability of human structures, especially residential buildings, with some areas experiencing such damage that residents have been forced to abandon their homes.

Cite this article: Ghahroudi Tali, M. & Ghavitan, A. (2025). Investigation of the Physical Hazards of Land Subsidence in the Varamin Plain. *Environmental Hazards Management*, 12 (3), 199-214. DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.401565.894>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.401565.894>

Introduction

The Varamin region is highly vulnerable to land subsidence due to excessive groundwater extraction and specific geological conditions. Varamin County is bounded by Pakdasht County to the north, Ray and Fashafuyeh Counties to the west, Qom Province to the south and southwest, and Semnan Province

to the east and southeast. The city of Varamin is situated on the relatively vast and flat Varamin plain. This phenomenon has led to the formation of valleys and deep depressions in the area and can pose various risks to local communities, including damage to urban infrastructure and agricultural zones. Studies conducted domestically and internationally indicate that various factors, including groundwater level decline, geological characteristics, and human activities, play a significant role in the subsidence phenomenon in Varamin. Simultaneously, there is a perceived need in this region for a more precise integration of geophysical data, remote sensing, and statistical analyses. Furthermore, investigating the socio-economic impacts of subsidence alongside geological assessments represents a significant research gap that the present study attempts to address.

Research Method

The data used in this research include Sentinel-1 images from the period 2014/08/10 to 2024/03/25, extracted from the Subsidence Portal website. Part of the data was obtained through field collection of subsidence evidence and effects, along with their spatial locations using GPS, Camera, and spatial alignment with Google Earth. Interferograms and coherence data were generated using the LiCSAR system, based on the GMTSAR software and interferometry. The interferograms were processed in overlapping frames defined in the COMET-LiCS system. The GACOS tool was used to effectively correct the atmospheric (tropospheric) noise from the InSAR data. Furthermore, to determine the subsidence profile in the Varamin area, the point at 35°33'8.52" N latitude and 51°41'2.13" E longitude with a ground elevation of 1285.97 meters above sea level was selected, where the coherence value was 0.65.

To remove noise caused by the ionosphere and orbital errors, spatial and temporal filters were applied. This filter is high-pass in time and low-pass in space with a one-dimensional and two-dimensional Gaussian kernel in time and space. For subsidence zoning, the coherence value was extracted, and since the average temporal period was acceptable, the land displacement was extracted. Zoning and analysis related to vulnerability and comparison with ground evidence were performed in the ARCMAP environment.

Research Findings

The results from the land subsidence data in Varamin revealed that the average annual subsidence during the 2014-2024 period was 31.5 mm. The subsidence zoning map indicates an uneven distribution with varying intensities, showing that higher subsidence occurs in the central parts of Varamin, which may be attributed to human activities and groundwater extraction. This recent study estimated the spatial average annual subsidence for Varamin County during the 2014-2024 period to be 68.1 cm per year, with the maximum in the Varamin plain being 140 cm.

Infrastructure affected by Varamin's subsidence includes approximately 25 km of the Haram-to-Haram Freeway and about 30 km of the Tehran-Mashhad railway. It can also be stated that the subsidence rate in Varamin County varies from 0 to 140 cm, and it appears that the spread of land subsidence in this county is towards the north and the city of Varamin.

A temporal review of land subsidence in Varamin shows that the maximum land subsidence in 2014 (Azar 28, 1393 SY) was 7.81 mm. This amount occurred in 2015 (Mehr 23, 1394 SY) at 9.83 mm. In 2016 (Aban 21, 1395 SY), 11.66 mm of subsidence was recorded. In 2017 (Mordad 26, 1396 SY), the maximum land subsidence of 23.95 mm occurred. In 2018 (Aban 1, 1397 SY), 32.34 mm of subsidence occurred. In 2019 (1398 SY), subsidence exceeding 30 mm occurred in several months. In 2020 (1399 SY), amounts of approximately 40 mm and higher were recorded in several months. In 2021 (1400 SY), these figures reached 50 mm in most months. In the years after 2021 (1401 SY) until 2024 (1403 SY), which is the study period of this research, subsidence exceeding 50 and 60 mm was recorded in most months. The average annual subsidence during the statistical period is 68.1 cm, which has increased from 2014, without subsidence, to more than 169 cm in 2023 and to 38.7 cm in 2024. The decrease of subsidence in 2024 was due to the availability of INSAAR data only in winter.

The overlap of field observations and subsidence zoning showed that all human structures located within the subsidence zones have been affected by ground displacement. The zones with maximum subsidence correspond most closely to urban areas and roads. The location of agricultural lands and residential areas around Varamin indicates the older occurrence of this event, likely due to the

excessive use of groundwater resources. A newer zone, related to residential areas, shows the northward expansion of subsidence.

Conclusion

The spatial analysis of vulnerability due to land subsidence indicates that all human structures within the subsidence zones have been affected by ground displacement in some way. The congruence of zones with maximum subsidence, urban areas, roads, and field evidence indicates the occurrence of a land subsidence crisis in this county. The average annual subsidence during the statistical period is 68.1 cm, which has increased from 2014, without subsidence, to more than 169 cm in 2023 and to 38.7 cm in 2024. This indicates that although land subsidence in Varamin County was initially a hazard occurring during dry seasons and partially compensating during wet seasons, from 2019 (1398 SY) onwards, it has led to a permanent hazard. Furthermore, field evidence of subsidence indicates vulnerability of human structures, particularly residential ones, and in some places, people have been forced to abandon their homes.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۸-۲۴۲۳

مدیریت مخاطرات محیطی

سایت نشریه: <https://jhsci.ut.ac.ir>



انتشارات دانشگاه تهران

بررسی مخاطرات کالبدی فرونشست زمین در دشت ورامین

منیژه قهرودی تالی^{۱*} | علی قویطن^۲

۱. نویسنده مسئول، استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: m-ghahroudi@sbu.ac.ir

۲. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: ghavitanali62@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۹/۲۶

کلیدواژه:

داده‌های INSAR

فرونشست زمین،

مخاطرات کالبدی،

ورامین،

Subsidence Portal.

فرونشست زمین از چالش‌های مهم زیست‌محیطی و زمین‌شناختی در مناطق شهری و کشاورزی ایران از جمله شهرستان ورامین است. این پدیده سبب ایجاد شکاف‌ها و فرورفتگی‌های عمیق می‌شود و خطرهای مختلفی از جمله اختلال در زیرساخت‌های شهری و مناطق کشاورزی ایجاد می‌کند. شهر ورامین بر بستر دشت به نسبت وسیع و هموار ورامین استقرار یافته است و به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و ضخامت رسوب آبرفتی، به شدت در معرض این پدیده قرار دارد. داده‌های استفاده‌شده در این پژوهش شامل تصاویر سنتینل ۱ در دوره زمانی ۲۰۱۴/۱۰/۰۸ تا ۲۰۲۴/۰۳/۲۵ است که از سایت Subsidence Portal استخراج شده است. باقی‌مانده داده‌ها در پی برداشت میدانی از شواهد و اثرهای فرونشست و موقعیت مکانی آنها توسط GPS، عکسبرداری زمینی و تطابق موقعیت مکانی نقاط برداشت‌شده با GPS با گوگل‌ارت استخراج شده است. اینترفروگرام‌ها و داده‌های کوه‌رنسی با استفاده از سامانه LiCSAR و بر اساس نرم‌افزار GMTSAR و تداخل‌سنجی تولید شده‌اند. اینترفروگرام‌ها در فریم‌های همپوشانی که در سامانه COMET-LiCS تعریف شده، پردازش شده است. از ابزار GACOS برای اصلاح مدل جوی و از داده‌های اینسار برای حذف مؤثر نویز جوی (تروپوسفر) استفاده شده است. برای تعیین نیمرخ عرضی از فرونشست، محدوده ورامین در مختصات ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه و ۵۲/۸ ثانیه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۴۱ دقیقه و ۱۳/۲ ثانیه طول شرقی با ارتفاع ۱۲۸۵/۹۷ متر از سطح دریا انتخاب شد.^۱ نتایج حاصل از داده‌های فرونشست زمین در شهرستان ورامین نشان داد که میانگین سالانه فرونشست در دوره زمانی ۲۰۲۴-۲۰۱۴ معادل ۶۸/۱ سانتی‌متر است. نقشه پهنه‌بندی فرونشست نشان می‌دهد که توزیع غیریکنواخت بوده و با شدت‌های متفاوتی در حال وقوع است، به طوری که در نواحی مرکزی ورامین، فرونشست بیشتری مشاهده می‌شود که ممکن است به دلیل فعالیت‌های انسانی و برداشت آب‌های زیرزمینی باشد. بیشترین مقدار فرونشست در دشت ورامین است که معادل ۱۴۰ سانتی‌متر بوده است. میانگین سالانه فرونشست در طول دوره آماری ۶۸/۱ سانتی‌متر است که این میزان از سال ۲۰۱۴ بدون فرونشست به بیش از ۱۶۹ سانتی‌متر در سال ۲۰۲۳ و ۳۸/۷ سانتی‌متر در سال ۲۰۲۴ رسیده است. این موضوع بیانگر این است که فرونشست زمین در شهرستان ورامین در ابتدا مشکلی بوده که در فصول خشک رخ می‌داده و در فصول مرطوب کمی جبران می‌شده، ولی از سال ۱۳۹۸ به بعد به مخاطره دائمی منجر شده است. همچنین شواهد میدانی فرونشست حاکی از آسیب‌پذیری سازه‌های انسانی و به ویژه مسکونی شده است و در مکان‌هایی ساکنان به ناچار مجبور به ترک خانه‌هایشان شده‌اند.

استناد: قهرودی تالی، منیژه و قویطن، علی (۱۴۰۴). بررسی مخاطرات کالبدی فرونشست زمین در دشت ورامین. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۲ (۳)، ۱۹۹-۲۱۴.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.401565.894>

© نویسندگان ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.401565.894>



۱. میزان کوه‌رنسی آن ۰/۶۵ بوده است.

مقدمه

فرونشست زمین پدیده‌ای طبیعی است که در مناطق مختلف جهان از جمله ایران رخ می‌دهد. این پدیده از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و زمین‌شناختی در مناطق شهری و کشاورزی ایران است. فرونشست در ورامین نیز بسیار چشمگیر بوده و سبب ایجاد شکاف‌ها و فرورفتگی‌های عمیق در منطقه شده است. این فرونشست‌ها می‌تواند خطرهای مختلفی از جمله اختلال در زیرساخت‌های شهری و مناطق کشاورزی برای جوامع محلی ایجاد کنند. منطقه ورامین، به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و وجود بستری متشکل از آبرفت‌های جوان، به شدت در معرض این پدیده قرار دارد. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی در زمینه تحلیل و ارزیابی فرونشست زمین در این منطقه انجام گرفته که به بررسی علل، پیامدها و روش‌های مقابله با آن پرداخته‌اند. برخی محققین رابطه فرونشست زمین را با زمین‌شناسی و تکتونیک بررسی کرده‌اند؛ از جمله نژادحسینی و همکاران (۱۴۰۳) در منطقه تخت جمشید با به‌کارگیری داده‌های سری‌های زمانی طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ به این نتیجه رسیدند که نرخ فرونشست زمین با میانگین ۲۶ میلی‌متر در سال با زمین‌شناسی و کاربری زمین مرتبط است و ربطی به سفره‌های آب‌های زیرزمینی ندارد. علی‌دادیانی و همکاران (۱۴۰۲) با بررسی تأثیر تغییرات نرخ فرونشست بر روند لرزه‌خیزی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، sentinel- در دامنه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۱۴ در دشت شهریار و دشت ورامین، تشدید زمین‌لرزه در این محدوده را بیان داشتند. براساس پژوهش قوامی و همکاران (۱۴۰۱)، با توجه به ساخته شدن سد ماملو در محل ورود رودخانه جاجرود به دشت ورامین، عملاً با کاهش چشمگیر جریان سطحی به منطقه، به مرور زمان تراز سطح ایستابی نیز با کاهش مواجه شده است. این کاهش در نیمه شمالی دشت و در مناطقی که ضخامت آبرفت بیشتر است مقادیر بیشتری دارد.

بیشتر پژوهش‌های اخیر فرونشست زمین را با آب‌های زیرزمینی مرتبط دانسته‌اند. براساس پژوهش قهرودی تالی و همکاران (۱۴۰۰) رخداد فرونشست در دشت سبزواری نتیجه کاهش سطح آب‌های زیرزمینی است و گسل‌ها به دلیل عمود بودن سطح فرونشست با جهت آنها اثر تشدیدکننده دارند. اکبریان و قهرودی تالی (۱۴۰۲، ۱۴۰۳) با استفاده از اطلاعات آماری چاه‌های پیژومتری و روش سری زمانی SBAS در دشت اسداباد همدان دریافتند که افت منابع آب زیرزمینی از دلایل اصلی فرونشست بوده است. آنان در سال‌های بعد پیش‌بینی فرونشست با استفاده از عوامل طبیعی را مطرح کردند. قهرودی تالی و همکاران (۱۴۰۲) با بررسی سطح آب زیرزمینی و تداخل‌سنجی راداری در دامنه زمانی ۲۰۲۱-۲۰۱۴ در دشت دهگلان استان کردستان، دریافتند که در دشت مرتفع دهگلان، افت سطح آب‌های زیرزمینی علت فرونشست زمین است. زنگانه و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی در زمینه فرونشست زمین در ورامین، تأثیرات این پدیده بر توسعه شهری و روستایی را بررسی کردند. با بهره‌گیری از روش‌های جغرافیایی و برنامه‌ریزی شهری، نتایج نشان داد که فرونشست زمین موجب تخریب زیرساخت‌ها و ایجاد چالش‌های جدی در ساختار شهری و روستایی منطقه شده است. عمادالدین و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی در خصوص فرونشست در ورامین به این نتیجه رسیدند که سطح آب زیرزمینی در محدوده‌های دارای فرونشست زمین افت داشته است و افت سطح آب، مربوط به محدوده جوادآباد ورامین است. اطهری و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی درباره اثرهای فرونشست زمین بر کشاورزی در ورامین، کاهش سطح باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی، کاهش تولید محصولات و تأثیر بر منابع آب را از پیامدهای این پدیده برشمردند. سلیمان‌پور و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی درباره علل و دلایل فرونشست زمین، عوامل ژئوتکتونیک مانند تغییرات دمای زمین و جابه‌جایی صفحات را بررسی و بر اهمیت شناخت این فرایندها برای مدیریت خطر تأکید کردند. افشاری و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از روش DInSAR، ناپایداری دامنه‌ها در راه‌آهن لرستان را ارزیابی کردند و دریافتند که داده‌های راداری ابزار کارآمد برای پیش‌بینی این تحرکات هستند. در پژوهش مصلح (۱۳۹۸)، تأثیر زلزله‌ها در تشدید فرونشست و حرکت خاک بررسی و بر ضرورت حفظ محیط زیست تأکید شد. محمدی (۱۳۹۷) در پژوهشی به بررسی علل فرونشست زمین و تأثیرات آن بر زندگی انسان پرداخت و لزوم توجه به راهکارهای پیشگیرانه را خاطرنشان کرد. حیدریان (۱۳۹۵) پدیده فرونشست را ناشی از عوامل طبیعی و انسانی دانست و بر اهمیت پیش‌بینی و کنترل آن تأکید کرد. تحقیقات در منابع خارجی با تأکید بیشتر بر روش‌ها و الگوریتم‌های نرم‌افزاری صورت گرفته است. چن^۱ و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، روشی دقیق برای پیش‌بینی فرونشست زمین ارائه دادند. ژانگ^۱

و همکاران (۲۰۲۳) با روش‌های سنجش از دور، عوامل مؤثر بر فرسایش زمین را تحلیل کردند. لیو^۲ و همکاران (۲۰۲۲) با داده‌های GPS تأثیر برداشت بی‌رویه آب در جابه‌جایی زمین را بررسی کردند. سلطان^۳ و همکاران (۲۰۲۱) روش‌های سنجش از دور مانند InSAR و GPS را برای پایش نشست زمین بررسی کردند و نتیجه گرفتند که این روش‌ها برای اندازه‌گیری دقیق، شناسایی علل (مانند برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و فعالیت معادن) و کمک به مدیریت ریسک این پدیده، ضروری و قدرتمندند. وانگ^۴ و همکاران (۲۰۲۱) با روش‌های GNSS و InSAR، فرونشست در شانگهای را ناشی از برداشت غیرقانونی آب دانستند. به‌طور کلی پژوهش‌های داخلی و خارجی نشان می‌دهند که عوامل مختلفی از جمله افت سطح آب‌های زیرزمینی، ویژگی‌های زمین‌شناسی و دیگر فعالیت‌های انسانی، تأثیر مهمی در پدیده فرونشست دارند. در عین حال، در مورد منطقه ورامین، نیاز به تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی، سنجش از دور و تحلیل‌های آماری دقیق‌تر احساس می‌شود. همچنین بررسی تأثیرات اجتماعی-اقتصادی فرونشست در کنار ارزیابی‌های زمین‌شناسی، خلأ پژوهشی مهمی است که در پژوهش حاضر تلاش می‌شود رفع شود.

منطقه پژوهش

شهرستان ورامین از لحاظ موقعیت جغرافیایی در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی واقع شده است. این شهرستان با مساحت ۱۷۷۵ کیلومتر مربع (۹/۳۹ درصد مساحت استان تهران) در انتهای جنوب شرقی استان تهران و حاشیه شمال غربی کویر مرکزی قرار دارد. دشت ورامین از نظر تقسیمات کشوری بخش‌هایی از شهرستان‌های ورامین، ری و پاکدشت را شامل می‌شود که تأکید این مقاله بر شهرستان ورامین است. این شهرستان از شمال به شهرستان پاکدشت، از غرب به ری و فشافویه، از جنوب و جنوب غربی به استان قم و از شرق و جنوب شرق به استان سمنان محدود می‌شود. شهر ورامین بر بستر دشت به نسبت وسیع و هموار ورامین استقرار یافته است. این دشت در اثر رسوبات آبرفتی حوضه آبخیز رودخانه جاجرود پدید آمده و جزء حوضه آبریز دشت کویر در جنوب رشته کوه البرز است. ارتفاع دشت ورامین از سطح آب‌های آزاد در بخش شمالی آن ۱۰۰۰ متر است که شیب آن به طرف دشت کویر ملایم است و در سمت جنوب به تدریج از ارتفاع آن کاسته می‌شود و به ۸۰۰ متر می‌رسد. شهر ورامین با ارتفاع ۹۱۵ متر از سطح آب‌های آزاد تقریباً در مرکز این دشت واقع شده است و از سمت شمال به جنوب و از سمت غرب به شرق، ارتفاع آن کاهش می‌یابد. شیب کلی شهر ملایم و از غرب به شرق است.



شکل ۱. نقشه جغرافیایی شهرستان ورامین

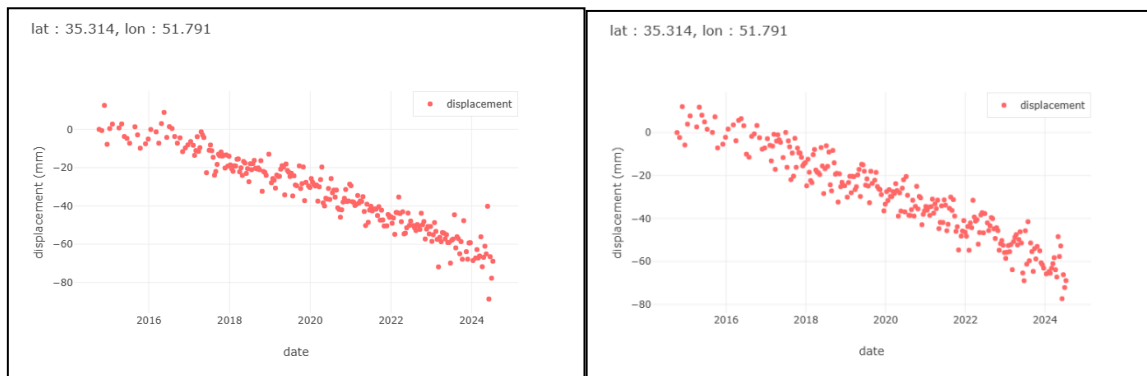
1. Zhang
2. Liu
3. Sultan
4. Wang

مواد و روش تحقیق

در این پژوهش داده‌های مربوط به فرونشست شامل تصاویر سنتینل ۱ در دوره زمانی ۲۰۱۴/۱۰/۰۸ تا ۲۰۲۴/۰۳/۲۵ شامل ۲۳۸ زوج، از سایت Subsidence Portal استخراج شد. برداشت میدانی از شواهد و اثرهای فرونشست و موقعیت مکانی آنها توسط GPS، عکسبرداری زمینی و تطابق مکانی نقاط برداشت‌شده با دستگاه GPS و تصاویر ماهواره‌ای در گوگل ارث انجام گرفت.

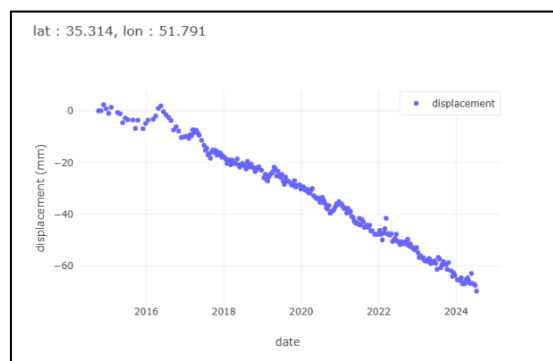
برای بررسی پدیده فرونشست زمین در این تحقیق، مراحل زیر انجام گرفته است:

۱. اینترفروگرام‌ها و داده‌های کوهرنسی با استفاده از سامانه LiCSAR، نرم‌افزار GAMMA SAR و تداخل‌سنجی تولید شده است. اینترفروگرام‌ها در فریم‌های همپوشانی در سامانه COMET-LiCS پردازش شده است (لازکی^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). برای اصلاح مدل جوی از مدل GACOS استفاده شده که مدل اصلاح جوی عمومی برای مشاهدات رادار دیافراگم مصنوعی تداخل‌سنجی است (یو^۲ و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین مدل GACOS برای «تصحیح» یا حذف مؤثر نویز جوی (تروپوسفر) از داده‌های اینسار استفاده شده است. شکل ۲ (راست) سری زمانی قبل از حذف نویز اتمسفری را نشان می‌دهد. تأثیر تصحیح GACOS و نویز اتمسفر بر داده‌های سری زمانی اینسار سنتینل ۱ در مناطق فرونشسته در شکل ۲ (چپ) مشاهده می‌شود.



شکل ۲. سری زمانی قبل (راست) و بعد از نویز اتمسفری (چپ)

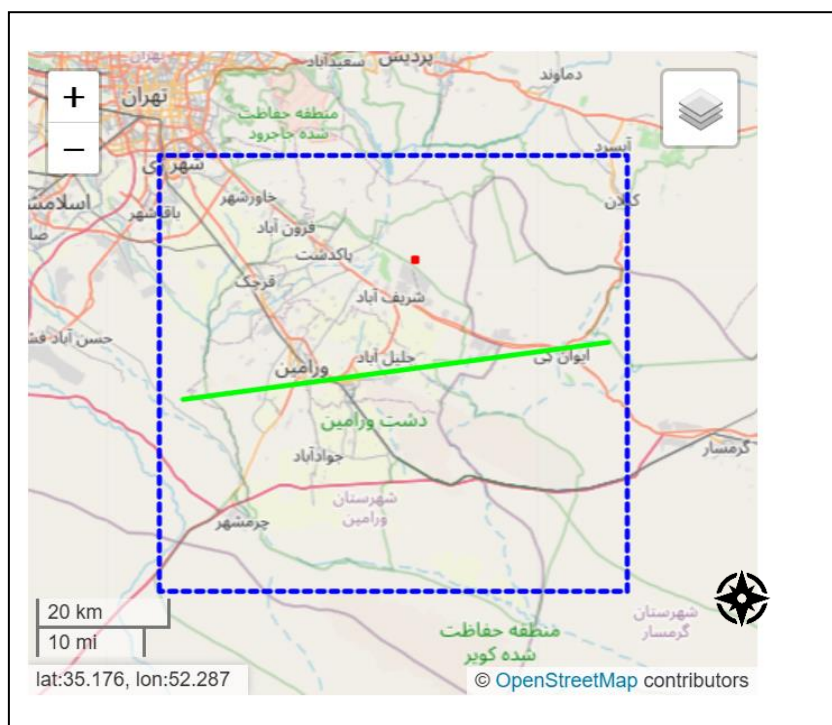
۲. داده‌های سری زمانی اینسار می‌تواند شامل نویزهای دیگری غیر از نویز جوی (تروپوسفر) از جمله نویز ناشی از یونوسفر و خطاهای مداری باشد. برای حذف این نویز از فیلترهای فضایی و زمانی استفاده شد. این فیلتر در زمان بالاگذر و در فضا کم‌گذر با هسته گاوسی یک‌بعدی و دوبعدی در زمان و مکان است (موریشیتا^۳ و همکاران، ۲۰۲۰). در شکل ۳ تأثیر فیلتر بر داده‌های سری زمانی اینسار سنتینل ۱ مناطق در حال فرونشست دیده می‌شود.



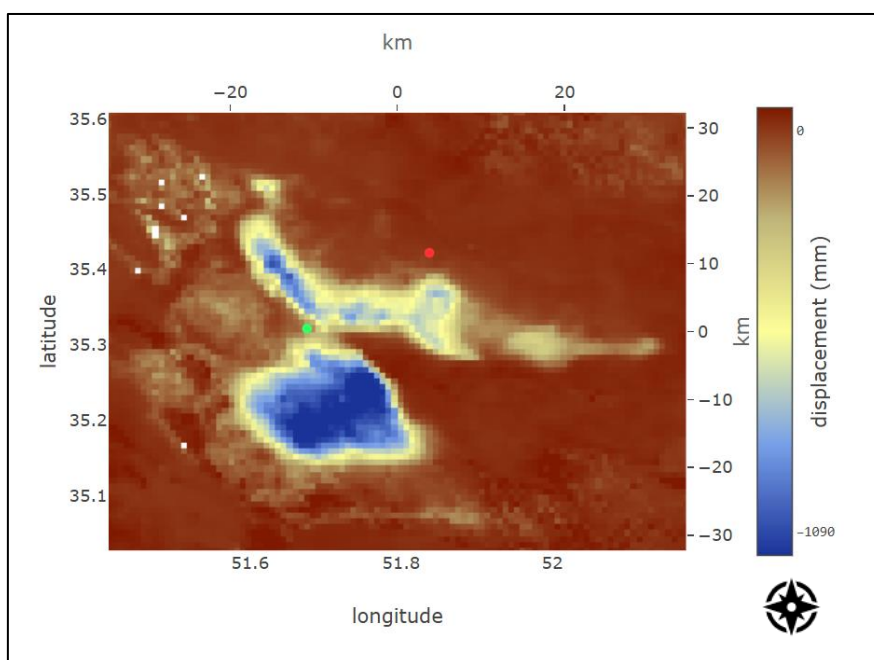
شکل ۳. سری زمانی بعد از فیلتر زمانی و مکانی

1. Lazecky
2. Yu
3. Morishita

۳. برای تعیین نیمرخ از فرونشست در محدوده شهر ورامین و اطراف، ابتدا نقطه‌ای برای رفرنس داده‌ها انتخاب شد. این نقطه باید در جایی می‌بود که فرونشستی در سطح زمین رخ نداده باشد و کوهرنسی بیشتر از $0/6$ باشد. از این رو در مختصات 35 درجه و 33 دقیقه و $52/8$ ثانیه عرض شمالی و 51 درجه و 41 دقیقه و $13/2$ ثانیه طول شرقی با ارتفاع $1285/97$ متر از سطح دریا انتخاب شد که میزان کوهرنسی $0/65$ بوده و در این نقطه جابه‌جایی در دوره زمانی مدنظر ثبت نشده است. در شکل ۴، مسیر نیمرخ انتخابی با رنگ سبز و نقطه مرجع با رنگ قرمز در محدوده مدنظر نشان داده شده است. در شکل ۵ محاسبه اولیه میزان جابه‌جایی به میلی‌متر نشان داده شده که نقطه سبز موقعیت شهر ورامین را نشان می‌دهد.

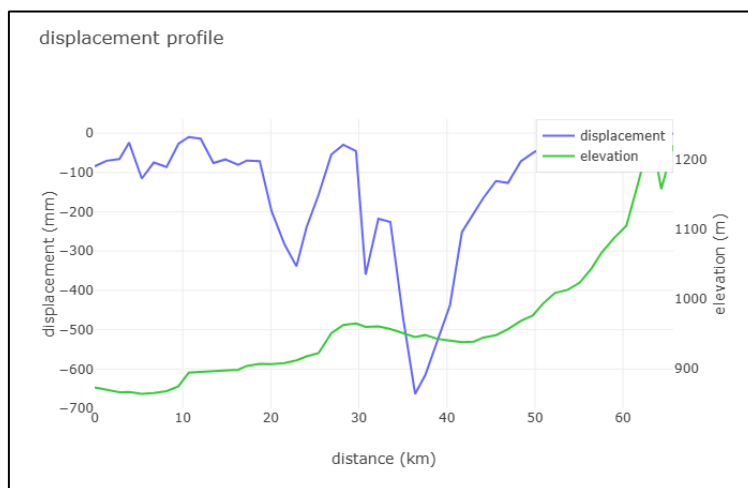


شکل ۴. موقعیت انتخابی برای استخراج داده‌ها

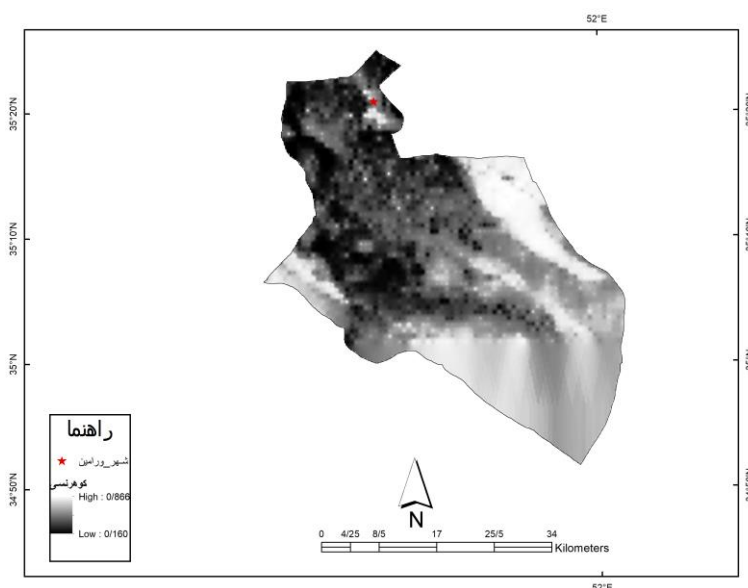


شکل ۵. محاسبه اولیه میزان فرونشست زمین

۴. برای بررسی رابطه تغییرات ارتفاع و میزان جابه‌جایی در مسیر نیمرخ انتخابی نمودار آن ترسیم شد (شکل ۶). سپس برای پهنه‌بندی فرونشست، میزان کوهرنسی استخراج شد و با توجه به اینکه میانگین دوره زمانی قابل قبول بود، میزان جابه‌جایی زمین استخراج شد. در محیط Arc map پهنه‌بندی و تحلیل‌های مربوط به آسیب‌پذیری و مقایسه با شواهد زمینی انجام گرفت (شکل ۷).



شکل ۶. نمودار میزان فرونشست و ارتفاع زمین مسیر نیمرخ انتخابی



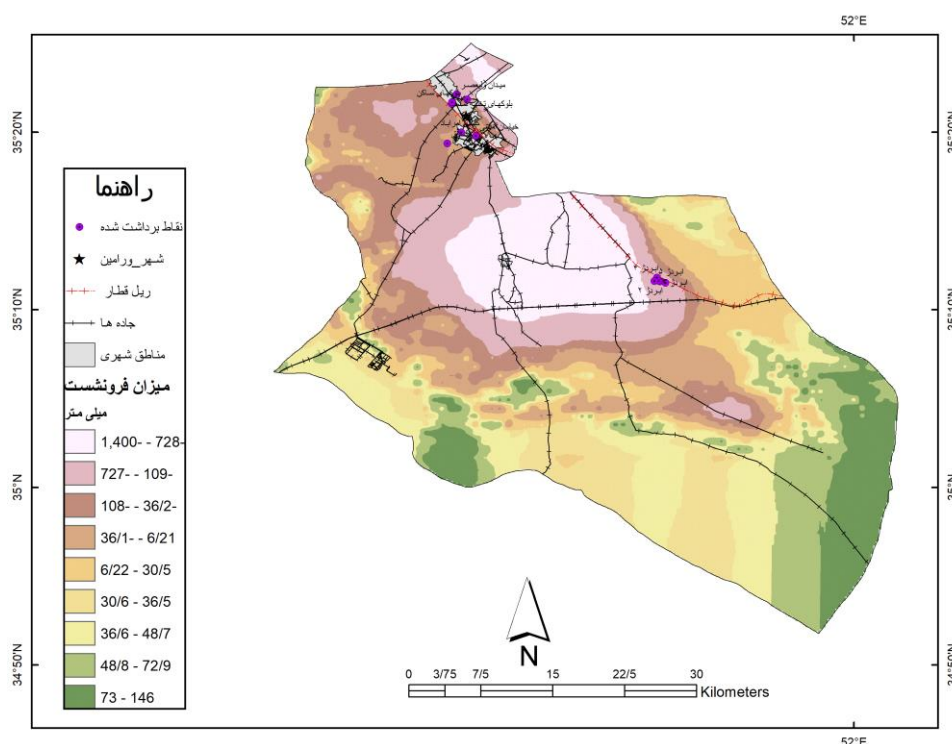
شکل ۷. میزان کوهرنسی^۱ در شهرستان ورامین

یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از داده‌های فرونشست زمین در دشت ورامین نشان داد که میانگین سالانه فرونشست در دوره زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ معادل ۶۸/۱ متر است. نقشه پهنه‌بندی فرونشست (شکل ۸) نشان می‌دهد که توزیع غیریکنواخت و با شدت‌های متفاوتی در حال وقوع است، به‌طوری که در نواحی مرکزی دشت ورامین، فرونشست بیشتری مشاهده می‌شود که می‌تواند به دلیل فعالیت‌های انسانی و برداشت آب‌های زیرزمینی باشد. از جمله زیرساخت‌هایی که از فرونشست دشت ورامین اثر می‌پذیرند می‌توان به حدود ۲۵ کیلومتر از آزادراه حرم تا حرم و حدود ۳۰ کیلومتر از راه‌آهن تهران - مشهد اشاره کرد. کاهش

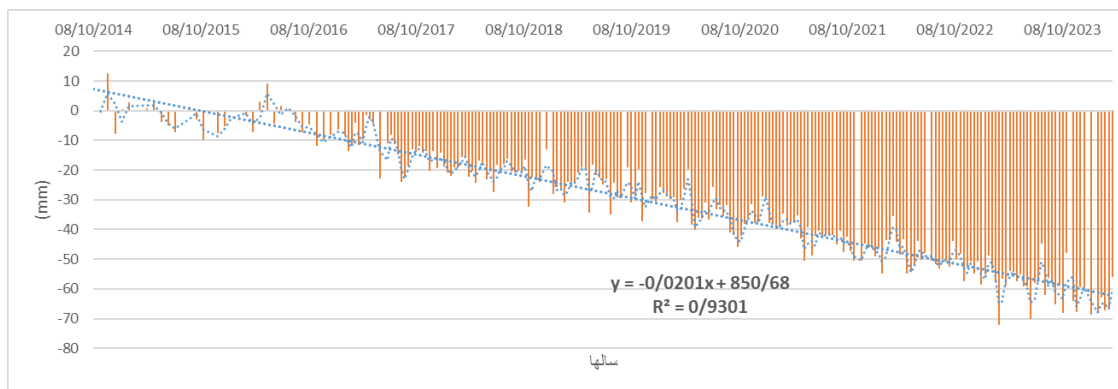
۱. کوهرنسی به میزان نظم و هماهنگی در فاز و فرکانس بین امواج می‌گویند که بین اعداد صفر تا ۱ سنجیده می‌شود.

شدید سطح آب‌های زیرزمینی سبب افت فشار هیدرواستاتیک در لایه‌های خاک شده و زمینه را برای نشست زمین فراهم آورده است. این روند همچنین شوری خاک را تشدید کرده که حاصل بالا آمدن نمک‌های محلول در نزدیکی سطح زمین است. شوری و فرونشست دو مخاطره همزمان هستند که به کشاورزی دشت ورامین به شدت آسیب زده‌اند. فرونشست زمین هم زمین‌های کشاورزی را تهدید می‌کند و هم زیرساخت‌های حیاتی مانند جاده‌ها، خطوط انتقال آب و برق، تأسیسات شهری و ساختمان‌ها را در معرض خطر قرار داده است. ترک‌ها و نشست‌های ناگهانی سبب شکستگی لوله‌های آب و برق، کاهش ایمنی سازه‌ها و افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری شده‌اند. به‌طور کلی میزان فرونشست در شهرستان ورامین از ۷ تا ۱۴۰ سانتی‌متر متغیر است و به نظر می‌رسد که گسترش فرونشست زمین در این شهرستان به سمت شمال و شهر ورامین است که با بررسی‌ها و شواهد میدانی تطبیق داده شده است.



شکل ۸. قلمروهای شهری، راه‌آهن و جاده‌ها در پهنه فرونشست زمین در شهرستان ورامین

بررسی زمانی فرونشست زمین بین زوج‌های تحت بررسی در دشت ورامین نشان می‌دهد که فرونشست زمین در ۲۸ آذر ۱۳۹۳ معادل ۷/۸۱ میلی‌متر، در ۲۳ مهر ۱۳۹۴ معادل ۹/۸۳ میلی‌متر، در ۲۱ آبان ۱۳۹۵، برابر با ۱۱/۶۶ میلی‌متر، در ۲۶ مرداد ۱۳۹۶ ۲۳/۹۵ میلی‌متر و در ۱ آبان ۱۳۹۷ معادل ۳۲/۳۴ میلی‌متر بود. در سال ۱۳۹۸ در چند ماه بیش از ۳۰ میلی‌متر فرونشست رخ داد. در سال ۱۳۹۹ در بخشی از سال ماهانه حدود ۴۰ میلی‌متر و بیشتر ثبت شد. در سال ۱۴۰۰ این ارقام در بیشتر ماه‌ها به ۵۰ میلی‌متر رسید. در سال‌های بعد از ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ که دوره این پژوهش بوده است، فرونشست بیش از ۵۰ و ۶۰ میلی‌متر در بیشتر ماه‌ها ثبت شد. میانگین فرونشست سالانه در طول دوره آماری ۶۸/۱ سانتی‌متر است که این میزان از سال ۲۰۱۴، بدون فرونشست به بیش از ۱۶۹ سانتی‌متر در سال ۲۰۲۳ و ۳۸/۷ سانتی‌متر در سال ۲۰۲۴ رسیده است (جدول ۱) کاهش میزان فرونشست در سال ۲۰۲۴ به دلیل وجود داده‌های اینسار فقط در زمستان بوده است. شکل ۹ نمودار تغییرات فرونشست را در طول سری زمانی زوج‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. خط بهینه‌ای که بر این داده‌ها برازش شده حاکی از سرعت زیاد فرونشست زمین طی ۱۰ سال بوده است. البته نوسان‌های جزئی احتمالاً فصلی بوده است.



شکل ۹. نمودار تغییرات زمانی فرونشست زمین در دشت ورامین

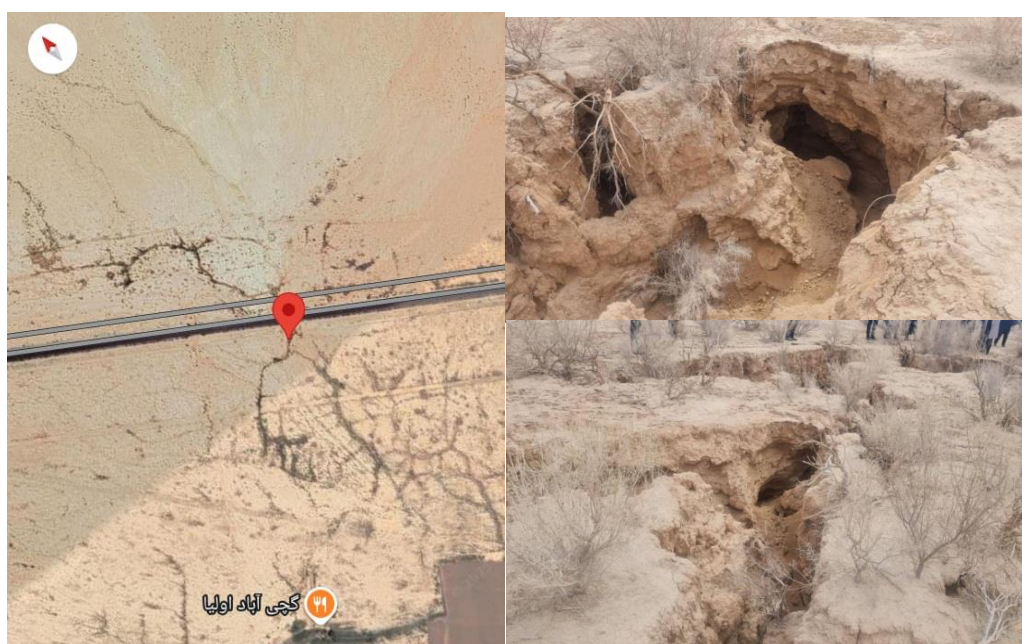
جدول ۱. تغییرات سالانه فرونشست زمین در ورامین

سالها	میانگین ماهانه فرونشست (mm)	جمع سالانه (mm)
۲۰۱۴	۰/۳۴	۴/۰۷
۲۰۱۵	-۲/۷۶	-۳۳/۰۸
۲۰۱۶	-۳/۶۷	-۴۴/۰۴
۲۰۱۷	-۲۸/۱۲	-۳۳۷/۴۸
۲۰۱۸	-۴۸/۹۴	-۵۸۷/۳۲
۲۰۱۹	-۶۰/۶۳	-۷۲۷/۵۶
۲۰۲۰	-۸۴/۱۷	-۱۰۱۰/۰۲
۲۰۲۱	-۱۰۴/۷۸	-۱۲۵۷/۳۲
۲۰۲۲	-۱۱۸/۶۵	-۱۴۲۳/۸۵
۲۰۲۳	-۱۴۱/۰۴	-۱۶۹۲/۵۳
۲۰۲۴	-۳۲/۳۲	-۳۸۷/۸۸
میانگین	-	-۶۸۱/۵۵

همپوشانی مشاهدات میدانی و پهنه‌بندی فرونشست نشان داد که همهٔ سازه‌های انسانی موجود در پهنه‌های فرونشست تحت تأثیر جابه‌جایی عمودی زمین قرار گرفته‌اند. به‌طوری که پهنه‌های با فرونشست زیاد با قلمروهای شهری و جاده‌ها تطابق دارد (شکل ۸). قرارگیری زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی اطراف ورامین بیانگر قدیمی‌تر بودن این رخداد است که احتمالاً به‌دلیل استفادهٔ بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی است (شکل ۱۰). پهنهٔ جدیدتر که مربوط به مناطق مسکونی است گسترش فرونشست به سمت شمال را نشان می‌دهد. فرونشست در منطقهٔ ابردژ در اراضی ملی شمال روستای گچی‌آباد اولیا گسترش یافته است و تا زیر خطوط ریلی تهران- مشهد ادامه دارد، به‌طوری که در هر دو طرف خط راه‌آهن مشهد است (شکل ۱۱). مناطق مسکونی متعدد آسیب‌های فراوانی از این پدیده دیده‌اند، از جمله سه دستگاه آپارتمان متروکه در ورامین، شهرک ولیعصر، خیابان آفتاب جنوبی که به گفتهٔ اهالی ۱۶ سال است که به‌دلیل فرونشست تخلیه و به‌دلیل خطر ریزش دیوارکشی و پلمپ شده است و نیز مجتمع مسکونی پارچین واقع در کمربندی ورامین- پیشوا و در مجاورت شهرک مسکونی فجر که بر اثر فرونشست در دو قسمت ترک‌های حدود ۱ تا ۲ سانت به وجود آمده و بازسازی مکرر بی‌فایده بوده است. نمونه‌های متعدد دیگری در خیابان مهدیه، شهرک ولیعصر و مناطق دیگر مشهد است (شکل ۱۲).



شکل ۱۰. منطقه‌ای در روستای قشلاق امرآباد ورامین (با موقعیت جغرافیایی $X=51/6287$ و $Y=35/3227$). فرونشست در کنار زمین‌های کشاورزی در دو نقطه با فاصله حدود ۵۵ متر (راست)؛ موقعیت در گوگل ارث (چپ).



شکل ۱۱. فرونشست زمین در منطقه ابرده (با موقعیت جغرافیایی $x=51/4956$ و $y=35/1123$) در اراضی ملی شمال روستای گچی آباد اولیا (راست)؛ موقعیت در گوگل مپ در کنار خطوط ریلی (چپ).



شکل ۱۲. شواهدی از تأثیر فرونشست زمین در آپارتمان‌های مسکونی در مرکز شهر ورامین

نتیجه‌گیری

این پژوهش، میانگین سالانه فرونشست را در دوره زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ در شهرستان ورامین سالانه ۶۸/۱ سانتی‌متر برآورد کرده است که بیشترین آن در دشت ورامین معادل ۱۴۰ سانتی‌متر بوده است. مقایسه آن با پژوهش عمادالدین و همکاران (۱۴۰۱) که فرونشست زمین را در دوره زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹ در جوادآباد ورامین حدود ۲۰ سانتی‌متر محاسبه کردند، نشان‌دهنده روند افزایشی میزان فرونشست است. این اختلاف ممکن است به دلیل استفاده این پژوهش از زوج‌های بیشتری باشد که دقت بیشتری را ارائه کرده است و می‌توان نتیجه گرفت که به واقعیت نزدیک‌تر است. به نظر می‌رسد گسترش فرونشست زمین در این شهرستان به سمت شمال و شهر ورامین است که بررسی‌ها و شواهد میدانی نیز بر وقوع آن تأکید دارد. میانگین سالانه فرونشست در طول دوره آماری ۶۸/۱ سانتی‌متر است که این میزان از سال ۲۰۱۴ که بدون فرونشست بود، به بیش از ۱۶۹ سانتی‌متر در سال ۲۰۲۳ و ۳۸/۷ سانتی‌متر در سال ۲۰۲۴ رسیده است. این موضوع بیانگر این است که فرونشست زمین در شهرستان ورامین در ابتدا مشکلی بوده که در فصول خشک رخ می‌داده و در فصول مرطوب کمی جبران می‌شده است. ولی از سال ۱۳۹۸ به بعد به مخاطره‌ای دائمی تبدیل شده است و نمودار تغییرات زمانی افزایش سالانه آن را به تصویر می‌کشد. تحلیل فضایی آسیب‌پذیری ناشی از فرونشست زمین بیانگر این است که همه سازه‌های انسانی موجود در پهنه‌های فرونشست به گونه‌ای تحت تأثیر جابه‌جایی زمین قرار گرفته‌اند. تطابق پهنه‌های با حداکثر فرونشست و قلمروهای شهری و جاده‌ها و شواهد میدانی بیانگر رخداد خطر فرونشست زمین در این شهرستان است. بررسی‌های میدانی بیانگر قدیمی‌تر بودن فرونشست‌های مربوط به زمین‌های کشاورزی است که احتمالاً به دلیل استفاده بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی است. پهنه جدیدتر مربوط به مناطق مسکونی است که گسترش فرونشست به سمت شمال را نشان می‌دهد. تکرار شواهد فرونشست در اطراف خط راه‌آهن ابردژ بیانگر فرونشست در منطقه ابردژ در اراضی ملی شمال روستای گچی آباد اولیا است، به طوری که تا قلمرو خطوط ریلی تهران - مشهد ادامه داشته و در هر دو طرف خط راه‌آهن مشهود است. برپایه پژوهش عمادالدین و همکاران (۱۴۰۱)، فرونشست سبب اختلال در شبکه زهکشی و مسیر جریان آب‌های سطحی شده که در نهایت به بروز فرسایش، هدررفت آب، ناممکن بودن آبیاری اراضی کشاورزی و سیل‌گیری انجامیده است. این موضوع تأکیدی بر اثرهای فرونشست در سازه‌های خطی طبیعی است که این پژوهش نیز به آثار آن در سازه‌های خطی انسانی راه‌آهن و جاده رسیده است. همچنین شواهد میدانی فرونشست حاکی از آسیب‌پذیری سازه‌های انسانی و به‌ویژه مسکونی است، چنانکه در مکان‌هایی انسان‌ها مجبور به ترک خانه‌هایشان شده‌اند.

تقدیر و تشکر

این مقاله در دپارتمان جغرافیای دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی تدوین شده است. بدین وسیله از اعضای گروه تشکر می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در تألیف و انتشار این پژوهش علمی رعایت کرده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در تمام مراحل نگارش، تجزیه و تحلیل، مطالعات میدانی و مدل‌سازی مشارکت داشته‌اند.

حامی مالی

این پژوهش حمایت مالی نداشته است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

هماندجویی

هماندجویی مقاله انجام گرفته است.

منابع

- [۱] اطهری، محمدعلی؛ عزیزی، حمیدرضا؛ هاشمی، سیدشهاب؛ و هنری، حمیدرضا (۱۴۰۱). بررسی رابطه بین میزان تغییرات سطح زمین در اثر فرونشست و آب زیرزمینی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1 و مدل‌های آماری (منطقه مورد مطالعه: دشت ورامین). *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۷(۱)، ۳۴-۴۳. doi: 10.22112/jwwse.2021.261650.1232
- [۲] اکبریان، مرتضی؛ و قهرودی تالی، منیژه (۱۴۰۲). ارزیابی فرونشست زمین در دشت اسداباد همدان و مخاطرات آن. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۱۰(۴)، ۲۷۷-۲۹۰. doi: 10.22059/jhsci.2024.370217.807
- [۳] اکبریان، مرتضی؛ و قهرودی تالی، منیژه (۱۴۰۳). تحلیل محیطی فرونشست زمین در دشت اسداباد همدان و مخاطرات آن. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۱۱(۱)، ۵۷-۷۲. doi: 10.22059/jhsci.2024.377484.827
- [۴] حیدریان، علی (۱۳۹۵). *کشاورزی و توسعه پایدار*، پی‌پی ۶۶-۶۷ (مهر - دی ۱۳۹۵).
- [۵] زنگانه، احمد؛ تلخابی، حمیدرضا؛ عباس‌زاده سورامی، مهدی؛ و مه‌آبادی، مهدی (۱۴۰۲). تحلیل عوامل مؤثر کالبدی و اجتماعی بر تحقق‌پذیری شهر دوستدار سالمند؛ مطالعه موردی: شهر ورامین. *پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری*، ۱۱(۴)، ۱۵۵-۱۷۴. doi: 10.22059/jurbangeo.2024.368274.1883
- [۶] سلیمانپور، سیدمسعود؛ صالحپور جم، امین؛ مصفاei، جمال؛ و نوروزی، خیرالله (۱۴۰۲). راهکارهای مدیریت خطر فرونشست زمین در دشت سیدان- فاروق استان فارس با رویکرد نیروی محرک-فشار-وضعیت-اثر-پاسخ. *پژوهش‌های آب‌خیزداری*، ۳۶(۱)، ۵۰-۶۵. doi: 10.22092/wmrj.2022.358262.1465
- [۸] علی دادیانی، بهاره؛ زارع، مهدی؛ درستیان، آرزو؛ اشجع اردلان، افشین؛ و حسینی، سید کیوان (۱۴۰۲). ارزیابی تأثیر فرونشست بر روند لرزه‌خیزی دشت ورامین و دشت شهریار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۱۰(۲)، ۱۳۷-۱۵۱. doi: 10.22059/jhsci.2023.362753.788
- [۹] عمادالدین، سمیه؛ شاهی، ویدا؛ آرخی، صالح؛ و آق‌آتابای، مریم. (۱۴۰۱). تعیین میزان فرونشست زمین در محدوده مخروط‌افکنه ورامین با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی راداری. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)*، ۵۴(۲)، ۱۶۹-۱۸۳. doi: 10.22059/jphgr.2022.319591.1007596
- [۱۰] قوامی، جمال، صادق‌غلامی، حامد؛ رجبی حران، مهرداد؛ و مبینی، محمدحسین (۱۴۰۱). تأثیر احداث سد ماملو بر فرونشست اراضی دشت ورامین. *انسان و محیط زیست*، ۲۰(۲)، ۶۱ (پیاپی)، ۱۷۱-۱۸۵. sid.ir/paper/1043233/fa.
- [۱۱] قهرودی تالی، منیژه؛ خدامرادی، فرهاد؛ و علی نوری، خدیجه (۱۴۰۲). تأثیر افت آب‌های زیرزمینی بر مخاطرات فرونشست زمین در دشت دهگلان، استان کردستان. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۱۰(۱)، ۵۷-۷۰. doi: 10.22059/jhsci.2023.359130.777
- [۱۲] قهرودی تالی، منیژه؛ علی نوری، خدیجه؛ و ریوندی، هما (۱۴۰۰). تحلیل عوامل مؤثر بر فرونشست در دشت سبزوار. *اطلاعات جغرافیایی سپهر*، ۳۰(۱۱۷)، ۱۶۵-۱۸۰. sid.ir/paper/950415/fa.
- [۱۳] نژادحسینی، رقیه؛ مقیمی، ابراهیم؛ گورابی، ابوالقاسم؛ حسینی، موسی؛ و جعفریگلو، منصور (۱۴۰۳). ارزیابی فرونشست زمین در منطقه تخت جمشید و مخاطرات آن. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۱۱(۳)، ۲۲۵-۲۳۴. doi: 10.22059/jhsci.2024.386086.853۲۳۴-۲۲۵
- [14] Chen, M., Tomás, R., Li, Zh., Motagh, M., Li, T., Hu, L., Gong, H., Li, X., Yu, J., Gong, X. (2024). Imaging Land Subsidence Induced by Groundwater Extraction in Beijing (China) Using Satellite Radar Interferometry, *Remote Sens*, 8(6), 468.
- [15] Lazecký, M., Spaans, K. González, P.J. Maghsoudi, Y. Morishita, Y. Albino, F. Elliott, J. Greenall, N. Hatton, E.L. Hooper, A. Juncu, D. McDougall, A. Walters, R.J. Watson, C. Weiss, J.R. & Wright, T. (2020). LiCSAR: An Automatic InSAR Tool for Measuring and Monitoring Tectonic and Volcanic Activity, *Remote Sensing*, 12(15), 2430, doi: 10.3390/rs12152430.
- [16] Liu, Y., Li, W., Johnson, T. C., & Gonzalez, F. M. (2022). Characterization and modeling of land subsidence induced by groundwater extraction. *Hydrogeology Journal*, 30(1), 22–37. <https://doi.org/10.1007/s10040-021-02423-z>
- [17] Morishita, Y., M. Lazecky, T. J. Wright, J. R. Weiss, J. R. Elliott, & Hooper, A. (2020), LiCSBAS: An Open-Source InSAR Time Series Analysis Package Integrated with the LiCSAR Automated Sentinel- 1 InSAR Processor, *Remote Sensing*, 12(3), 424, doi: 10.3390/rs12030424.
- [18] Sultan, M., Abotalib, A. Z., Saleh, M., & Becker, R. (2019). Review of remote sensing applications for land subsidence monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 231, 35–48. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111250>
- [19] Wang, H., Mao, J., Zhao, S., Ning, X., & Wu, Q. (2021). PS-InSAR based surface subsidence analysis in Changchun metropolitan area, in E3S Web of Conferences.

- [20] Yu, C., Li, Z., Penna, N.T., & Crippa, P. (2018). General Atmospheric Correction Model for Interferometric Synthetic Aperture Radar Observations, 123(10), 9202-9222, doi: 10.1029/2017JB015305.
- [21] Zhang, X., Chen, Y., Wang, L., & Singh, R. P. (2023). Analysis of land subsidence using in-situ and remote sensing techniques. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 128(1), 28–41. <https://doi.org/10.1029/2022JB025678>

منابع به انگلیسی

- [22] Akbarian, M., & Ghahroudi Tali, M. (2024). "Assessment of Land Subsidence in Asadabad Plain of Hamadan and its Hazards". *Environmental Management Hazards*, 10(4), 277-290. doi: 10.22059/jhsci.2024.370217.807. (in Persian)
- [23] Akbarian, M., & Ghahroudi Tali, M. (2024). Environmental analysis of land subsidence and its hazards in Asadabad plain, Hamadan, Iran". *Environmental Management Hazards*, 11(1), 57-72. doi: 10.22059/jhsci.2024.377484.827. (in Persian)
- [24] Alidadiyani, B., Zare, M., Dorostian, A., Ashja Ardalan, A. & Hosseini, S. K. (2023). Evaluation of the effect of subsidence on seismicity using satellite images in Tehran plain, a case study (Varamin plain and Shahryar Plain). *Environmental Management Hazards*, 10(2), 137-151. doi: 10.22059/jhsci.2023.362753.788. (in Persian)
- [25] Athari, M., Azizi, H. R., Hashemi, S. S. & Honari, H. (2022). Investigation of the Relationship between Land Surface Changes due to Subsidence and Groundwater using Sentinel-1 Satellite Images and Statistical Models (Case study: Varamin plain). *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, 7(1), 34-43. doi: 10.22112/jwwse.2021.261650.1232. (in Persian)
- [26] Emadodin, S., Shahi, V., Arekhi, S., & Agatabai, M. (2022). Monitoring of land Subsidence in Varamin Plain Using by Using Differential Radar Interferometry Technique. *Physical Geography Research Quarterly*, 54(2), 169-183. SID. <https://sid.ir/paper/1062541/en>. (in Persian)
- [27] Ghahroudi Tali, M., Alinoori, K. & Rivandi, H. (2021). An analysis of factors affecting subsidence in Sabzevar plain. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 30(117), 165-180. doi: 10.22131/sepehr.2021.244457. (in Persian)
- [28] Ghahroudi Tali, M., Khodamoradi, F. & Ali Nouri, K. (2023). Effects of groundwater decrease on the of land subsidence in Dehghan plain, Kurdistan province. *Environmental Management Hazards*, 10(1), 57-70. doi: 10.22059/jhsci.2023.359130.777(in Persian)
- [29] Ghavami J., Sadegh Gholami, H., Rajabi, H., & Mobini, M. (2022). Effect of the Construction of Mamloo Dam on Land Subsidence in Varamin Plain. *Journal of Human and Environment*, 20(2 (61)), 171-185. SID. <https://sid.ir/paper/1043233/en>. (in Persian)
- [30] Heydarian, A. (2016). *Journal of Agriculture and Sustainable Development*, No. 66-67 (October - January 2016). (in Persian)
- [31] Nejad Hosseini, R., Moghimi, E., Gorabi, A., Hosseini, M. & Jafarbigloo, M. (2024). Assessment of land subsidence in the Persepolis region and its hazards. *Environmental Management Hazards*, 11(3), 225-242. doi: 10.22059/jhsci.2024.386086.853. (in Persian)
- [32] Soleimanpour, S. M., Salehpour Jam, A., Mosaffaie, J. & Noroozie, K. (2023). Land Subsidence Risk Management Solutions in Seydan-Farooq Plain of Fars Province with the Driving Force-Pressure-State-Impact-Response Approach. *Watershed Management Research*, 36(1), 50-65. doi: 10.22092/wmrj.2022.358262.1465. (in Persian)
- [33] Zanganeh, A., Talkhabi, H. R., Abbas zadeh soorami, M. & Mah abadi, M. (2024). Analysis physical and social effective factors on the attainment of an age-friendly city - case study: Varamin city. *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 11(4), 155-174. doi: 10.22059/JURBANGEO.2024.368274.1883. (in Persian)