Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

The Relationship between Land Subsidence and Water Use in Yazd-Ardakan Plain Using Sentinel-1 Images

Mohammad Reza Goodarzi[1]✉ | Maryam Sabaghzadeh[2] | Amir Reza R. Niknam[3]

1. Corresponding author, Department of Civil Engineering, Yazd University, Yazd, Iran. **Email**: **Goodarzimr@yazd.ac.ir** And Faculty of Civil Engineering, Faulty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. **Email**: **Goodarzimr@un.ac.ir**
2. Master's student, Water Resource Management, Yazd University, Yazd, Iran. **E-mail: Maryam.sabagh405@gmail.com**
3. Master's student, Water Resource Management, Yazd University, Yazd, Iran. **E-mail: Amirrezar.niknam@gmail.com**

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2021/08/31
Received in revised
2021/06/10
Accepted
2021/10/23
Pre-Published
2021/10/23
Published online
2025/03/21

Keywords:
DInSAR,
Interferogram,
SNAP,
Subsidence.

ABSTRACT

In arid and semi-arid regions, groundwater is more important for humans and ecosystems than surface water. Land subsidence is caused by the pumping and uncontrolled use of groundwater in an area. When the extracted quantities are not replenished by rainfall, it leads to damages such as road failures, destruction of residential areas, railways, as well as water and gas pipelines. The Yazd-Ardakan plain is one of the main plains in Yazd province, hosting 75% of the province's population density and most industrial centers. Additionally, this plain has been subjected to a ban by the Ministry of Energy due to a sharp decline in groundwater levels. This study aimed to quantify and compare the extent of subsidence using four Synthetic Aperture Radar (SAR) images of the C-band from the Sentinel-1 satellite and the radar differential interferometry method from 2017 to 2021. The maximum subsidence recorded in 2017 was 13 cm, while in 2020 and 2021, it decreased to 9 cm, primarily concentrated in the Shamsi region between Meybod and Ardakan. Furthermore, to validate the satellite-derived results, they were compared with those obtained through accurate leveling methods conducted by the Iran National Cartographic Center. The study revealed that Sentinel images exhibit a strong capability to estimate the extent of subsidence. Considering the examination of groundwater consumption and depletion statistics in recent years, potential reasons for the reduction in subsidence in the study area could be attributed to management measures such as water transfer to this basin, alterations in agricultural practices, and a decrease in groundwater depletion compared to previous years in this region.

Cite this article: Goodarzi, Mohammad Reza., Sabaghzadeh, Maryam., & R.Niknam, Amir Reza. (2025). The Relationship between Land Subsidence and Water Use in Yazd-Ardakan Plain Using Sentinel-1 Images . Journal of Applied researches in Geographical Sciences, 25 (76), 144-161. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.13

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University.
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.13

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

In arid and semi-arid regions with low rainfall, water requirements are primarily fulfilled through groundwater and well extraction, often resulting in land subsidence. In recent years, radar interferometry and differential radar interferometry have been employed to measure land deformation. The Yazd-Ardakan Plain is faced with a critical situation due to population growth, traditional irrigation methods in agricultural areas, and the presence of numerous industrial centers. Recently, the Yazd-Ardakan Plain has been designated as a restricted area, leading to more cautious groundwater exploitation. Moreover, traditional agriculture in this area has declined, with a shift towards greenhouse cultivation and modern irrigation techniques. Additionally, the introduction of a water transmission line from Isfahan to Yazd has supplemented the region's drinking water supply. As a result, it is expected that groundwater extraction and subsequent subsidence rates in this area have decreased. The objective of this research is to assess the extent of subsidence in the Yazd-Ardakan Plain using Sentinel-1 satellite images and the differential radar interferometric method. The study aims to compare current subsidence levels with those of previous years and analyze them in conjunction with recent trends in water consumption.

Methods and Material

In this research study, Sentinel-1 images spanning from 2017 to 2021 were employed to determine the annual rate of subsidence. The differential radar interferometric technique was utilized to quantify the deformation of the Earth's surface. SNAP software was employed to process the Sentinel-1 images and generate interference maps. Subsequently, the SNAPHU algorithm was employed to analyze these interference maps and obtain the interferometry phase. Finally, the Snap software was utilized to compute the magnitude of the land deformation.

Results and Discussion

Based on the findings of this study, the maximum amount of subsidence observed between the years 2017 and 2018 was 13 cm. Subsequently, there was a decrease in the highest recorded subsidence between 2018 and 2019, which amounted to 8 cm. This indicates a reduction in subsidence during that particular period. The amount of subsidence remained relatively constant at a peak of 9 cm between the years 2019 and 2020, as well as 2020 and 2021, compared to the initial measurement in 2017. This suggests a stabilization of subsidence rates during these years. It is worth noting that the region experiencing the highest levels of subsidence consistently across all years was Rastaq, located between the cities of Yazd and Meybod. In the past, traditional irrigation methods in agriculture heavily relied on the extraction of groundwater in this area. However, with the designation of the Yazd-Ardakan Plain as a critical area in terms of water resources and subsequent enforcement of prohibitions, management efforts have focused on reducing water consumption. As a result, farmers have transitioned to greenhouse agriculture and modern irrigation techniques, leading to a decrease in water usage. This shift in agricultural practices may contribute to the

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]

Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

observed decrease in subsidence rates in recent years . Furthermore, in previous years, groundwater was used to supply drinking water to the cities surrounding the Yazd-Ardakan Plain. However, with the implementation of water transfer projects from Isfahan to Yazd, a significant portion of the drinking water demand has been met through this external source. This has resulted in a reduction in groundwater extraction. This suggests that water transfer initiatives have been effective in conserving groundwater resources and mitigating subsidence rates within the basin. Additionally, the agricultural sector, which historically accounted for the highest water consumption, experienced a notable decrease of 705.27 million cubic meters in water usage from 2011 to 2019. This reduction coincided with a decline in the number of wells, springs, and aqueducts, with the number of wells decreasing by 191 units during the same period.

Conclusion

In this study, the subsidence of the Yazd-Ardakan plain in the region between the cities of Yazd and Ardakan was assessed using Sentinel-1 images and the differential radar interferometry method for the period from 2017 to 2021. The solar area, primarily used for agriculture and dependent on underground water extraction for irrigation, exhibited the highest degree of subsidence. By analyzing and comparing water resource consumption, discharge, and the number of wells in recent years, it was discovered that water consumption, particularly in the agricultural sector, decreased by 705.27 million cubic meters in 1399 compared to 1381. This decline in water consumption could be attributed to the reduction in subsidence observed in comparison to previous years. Additionally, both the number and volume of discharge from wells, springs, and aqueducts have decreased over time. Furthermore, the Rastaq region, which experiences the most significant subsidence, has witnessed a shift from conventional agricultural techniques to greenhouse farming in recent years. This transition has contributed to a decrease in water consumption within the agricultural sector. Although land subsidence is a challenging issue to reverse, efficient water resource management can play a vital role in mitigating subsidence rates in a given area.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]

تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۲۲۲۸-۷۷۳۶ شاپا الکترونیکی: ۲۵۸۸-۵۱۳۸
https://jgs.khu.ac.ir/

رابطه بین فرونشست زمین و مصرف آب در دشت یزد-اردکان با استفاده از تصاویر سنتینل ۱

محمدرضا گودرزی[۱] ✉، مریم صباغ زاده[۲]، امیررضا رجب پور نیکنام[۳]

۱. نویسنده مسئول، دانشیار مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: Goodarzimr@yazd.ac.ir و دانشیار مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: Goodarzimr@un.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: Maryam.sabagh405@gmail.com

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: Amirrezar.niknam@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۶/۰۹
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۰/۰۷/۱۴
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۸/۰۱
تاریخ پیش انتشار:
۱۴۰۰/۰۸/۰۱
تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۴/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
تداخل سنجی تفاضلی راداری،
تداخل نگاشت،
فرونشست،
SNAP.

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک آب زیرزمینی دارای اهمیت بیشتری نسبت به آب سطحی برای انسان‌ها و اکوسیستم‌ها می‌باشد. فرونشست زمین ناشی از پمپاژ و استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در یک منطقه است. زمانی که مقادیر برداشت با بارندگی جبران نشود، خساراتی مانند شکست جاده‌ها، تخریب مناطق مسکونی، خطوط راه‌آهن و لوله‌گذاری‌های آب و گاز به همراه دارد. دشت یزد-اردکان یکی از دشت‌های مهم استان یزد می‌باشد که ۷۵ درصد تراکم جمعیتی استان و بیشترین مراکز صنعتی را به خود اختصاص داده است، به‌علاوه دشت مذکور به دلیل افت شدید سطح آب زیرزمینی توسط وزارت نیرو ممنوعه اعلام شده است. در این مطالعه با استفاده از ۴ تصویر SLC باند C ماهواره سنتینل-۱ و روش تداخل سنجی تفاضلی راداری مقدار فرونشست در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ به دست آمد و با هم مقایسه شد. مقدار بیشینه فرونشست در سال۲۰۱۷، ۱۳ سانتی‌متر و در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱، ۹ سانتی‌متر به دست آمد که این مقدار مربوط به منطقه شمسی در محدوده بین میبد و اردکان است. همچنین برای اطمینان از نتایج حاصل از تصاویر ماهواره‌ای به مقایسه آن‌ها با نتایج روش ترازیابی دقیق که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور صورت گرفته بود، پرداخته شد. بر طبق نتایج، تصاویر سنتینل از قابلیت خوبی برای تخمین میزان فرونشست برخوردار هستند. با توجه به بررسی آمار مصرف و برداشت آب زیرزمینی در سال‌های اخیر، دلایل احتمالی کاهش فرونشست در منطقه موردمطالعه را می‌توان اقدامات مدیریتی انجام شده مانند انتقال آب به این حوضه، تغییر در شیوه‌های کشاورزی و کاهش برداشت آب زیرزمینی نسبت به سال‌های قبل در این منطقه بیان کرد.

استناد: گودرزی، محمدرضا؛ صباغ‌زاده، مریم؛ و رجب‌پور نیکنام، امیررضا (۱۴۰۴). رابطه بین فرونشست زمین و مصرف آب در دشت یزد-اردکان با استفاده از تصاویر سنتینل۱. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی ، ۲۵ (۷۶)، ۱۶۱-۱۴۴.
http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.13

CC BY NC

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.
© نویسندگان.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]

مقدمه

پدیده‌ی فرونشست[1] یکی از مخاطرات زمینی است که بنا بر تعریف یونسکو، به فروریزش و یا نشست سطح زمین بر اثر عوامل طبیعی یا انسانی متفاوت در مقیاس‌های کوچک تا بزرگ گفته می‌شود. همچنین، این پدیده که گاهی نیز با جابه جایی‌های ناچیز افقی همراه است، می‌تواند به‌طور ناگهانی یا تدریجی رخ دهد (USGS, 2017). در سال‌های اخیر به علت افزایش روزافزون جمعیت، نیاز به آب برای مصارف شهری و خانگی افزایش یافته است. از طرف دیگر کشاورزی به شیوه سنتی با مصرف آب زیادی همراه است (گودرزی، پولادی و نیازکار، ۲۰۲۲). در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بارندگی کم است، اکثر آب موردنیاز از آب زیرزمینی و از طریق چاه‌ها تأمین می‌شود که این امر ممکن است موجب فرونشست زمین شود (گودرزی، صباغ‌زاده و نیازکار، ۲۰۲۳). در ایران دشت‌های زیادی به همین دلیل وضعیت بحرانی دارند مانند تهران، کرج، گرگان، یزد، همدان، اردبیل، دامنه و ... (فروغ نیا و همکاران، ۲۰۱۸، آمیغ پی و همکاران، ۲۰۱۰، صفاری و همکاران، ۲۰۱۸، تورانی و همکاران، ۲۰۱۸، سودمندافشار و احمدی، ۲۰۲۰، عالی پور اردی و همکاران، ۲۰۱۷، اسفندیاری و همکاران، ۲۰۲۱، کیانی و همکاران، ۲۰۲۱). در سال‌های اخیر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مقادیر مختلفی اندازه‌گیری و موردتحقیق و بررسی قرار گرفته است (گودررزی، صباغ‌زاده و مختاری، ۲۰۲۲). اندازه‌گیری میزان فرونشست از طریق ماهواره روش نوینی است که طی دهه ۱۹۹۰ مطرح شد. در سال‌های اخیر از روش تداخل سنجی راداری[2] و تداخل سنجی تفاضلی راداری[3] برای محاسبه میزان تغییر شکل زمین استفاده شده است. تداخل سنجی تفاضلی راداری تاکنون یک از دقیق‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های سنجش‌ازدوری برای نمایش جابه‌جایی‌های به وجود آمده در سطح زمین بوده است (شریفی کیا، ۱۳۹۱).

دوانتری[4] و همکارانش در سال ۲۰۱۶ اولین پایش تغییرات سطح زمین با استفاده از داده‌های راداری سنتینل- ۱ را انجام دادند. در طی این تحقیق، توانایی داده‌های سنتینل- ۱ در آشکارسازی میزان تغییرات سطح توسط روش‌های پیشرفته‌ی تداخل سنجی تفاضلی بررسی شد. در مکزیک از داده‌های سنتینل-۱ جهت تعیین نرخ سالانه فرونشست به‌وسیله‌ی تداخل سنجی راداری به روش طول خط مبنای کوتاه متناوب (ISBAS) استفاده شده است. در این بررسی با تشکیل تداخل‌نما از بین ۱۸ تصویر سنتینل- ۱ در بازه زمانی ۳ اکتبر ۲۰۱۴ تا ۷ می ۲۰۱۵ نرخ فرونشست سانتیمتر در سال برآورد ه شد (دوانتری و همکاران، ۲۰۱۶). در مطالعه‌ای هو[5] و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی فرونشت در پکن با استفاده از روش TS-InSAR[6] با داده‌های سنتینل-۱ پرداخته شد. نتایج نشان داد که مناطق وسعی در شرق پکن با حداکثر ۱۴ سانتی‌متر در سال در حال کاهش بودند و با داده‌های زمینی نیز مطابقت داشتند (هو و همکاران، ۲۰۱۹). ژانگ[7] و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به بررسی فرونشست در کل استان جیانگ سو در چین با استفاده از سری زمانی InSAR پرداختند. تصاویر سنتینل-۱ (IW[8]) برای دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ تهیه گردید. در انتها مقدار میانگین فرونشست ۳/۹ میلی‌متر در سال نشان داده شد و همچنین به بررسی عوامل تأثیرگذار بر فرونشست استان پرداخته شد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۳). از عوامل اصلی می‌توان به حفاری‌های زیرزمینی، برداشت آب‌های زیرزمینی، کاربری زمین اشاره کرد. در ایران نیز مطالعاتی در این زمینه انجام شده است برای مثال آمیغ پی و همکاران (۲۰۱۰)، فرونشست زمین در یزد را با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و تصاویر سنجنده ASAR در بازه زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۶ موردبررسی قرار دادند. بیشینه نرخ فرونشست در این منطقه ۱۲ سانتی‌متر در سال به دست آمد که دلیل آن عمدتاً برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی و کمبود بارندگی و جایگزین نشدن آب برداشت شده عنوان شد (آمیغ پی و همکاران، ۲۰۱۰). صفاری و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی با عنوان پایش فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیرزمینی در محدوده دشت کرج-شهریار با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و

[1] Land Subsidence
[2] InSAR
[3] D-InSAR
[4] Devanthéry
[5] Hu
[6] Time Series Interferometric Synthetic Aperture Radar
[7] Zhang
[8] Interferometric Wide-Swath

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]

تصاویر ماهواره Envisat در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ به این نتیجه رسیدند که نرخ متوسط سالانه فرونشست با بیشینه مقدار ۱۳۶ میلی‌متر در سال بود که علت اصلی این موضوع در این مقاله برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و افت سطح آب چاه‌ها عنوان شده است (صفاری و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین در تحقیقی دیگر فروغ‌نیا و همکاران (۲۰۱۸) برای برآورد میانگین نرخ سالیانه فرونشست و تحلیل سری زمانی برای شهر تهران از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ به این نتیجه رسیدند که نرخ فرونشست در تهران از سال ۲۰۰۳ تاکنون افزایش‌یافته که دلیل مهم آن برداشت بی‌رویه از سفره آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی است (فروغ نیا و همکاران، ۲۰۱۸). تورانی و همکاران (۲۰۱۸) به مطالعه فرونشست در غرب استان گلستان با استفاده از روش تداخل سنجی راداری پرداختند که هدف آن‌ها شناسایی مناطق محتمل فرونشست به‌خصوص در محدوده شهر گرگان بود. طی نتایج به‌دست‌آمده محدوده فرونشست تقریباً روندی شرقی-غربی داشت که با روند ساختارهایی نظیر گسل خزر یکسان بود و میزان فرونشست در آن، طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸ حدود ۴/۸ سانتی‌متر محاسبه شد (تورانی و همکاران، ۲۰۱۸). در مقاله‌ای آروین و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی فرونشست زمین در جنوب حوزه آبخیز میناب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای راداری سنتینل-۱، در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۷ به روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری پرداختند. نتایج نشان داد که منطقه موردمطالعه در این دوره حدود ۱۳ سانتی‌متر فرونشست داشته است (آروین و همکاران، ۲۰۱۹). در تحقیقی دیگر زارعی و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی رابطه فرونشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی با دو روش تداخل سنجی راداری و ایستگاه ثابت GPS در دشت سلماس پرداختند. بیشینه نرخ فرونشست با استفاده از تصاویر راداری ماهواره ALOS در سال ۲۰۰۹، ۱۱ سانتی‌متر در سال و نتایج حاصل از GPS به ازای یک متر افت سطح آب زیرزمینی، ۰/۰۷۸ متر نشست در سطح زمین به دست آمد. همچنین بین این دو روش رابطه‌ای استخراج شد که موجب تعمیم رابطه استخراجی بین نشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی از روش GPS (ایستگاه قره قشلاق) به کل دشت سلماس گردید (زارعی و همکاران، ۲۰۱۹). امامی و همکاران (۲۰۲۰) به تحلیل راداری در سنجش وضعیت تغییرات هیدرومورفوتکتونیک با استفاده از تصاویر Envisat و پالسار[9] در دشت یزد – اردکان پرداختند که طبق نتایج آن‌ها در بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ حداکثر میزان جابجایی توسط باند C برابر ۰/۱۴ متر و توسط باند L ۰/۱۲ متر به دست آمد. در واقع به ازای هر متر تغییر در سطح آب زیرزمینی ۰/۰۲۵ متر تغییر در ارتفاع سطح زمین خواهیم داشت (امامی و همکاران، ۲۰۲۰). سودمندافشار و احمدی (۲۰۲۰) به پایش فرونشست زمین در اثر برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری به روش پراکنش گرهای دائمی در شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور پرداختند که طبق نتایج آن‌ها بیشینه نرخ میانگین فرونشست ۲۰۰ تا۲۲۰ میلی‌متر در سال در منطقه روستای بادخوره و جنت‌آباد طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ است. به‌علاوه طبق نتایج نرخ فرونشست از مناطق شهری به سمت دشت‌های اطراف صعودی بوده است (سودمندافشار و احمدی، ۲۰۲۰).

همان‌طور که مشاهده شد اکثر دشت‌های ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی دچار فرونشست شده است. دشت یزد-اردکان هم به دلیل رشد روزافزون جمعیت در این منطقه و وجود مناطق کشاورزی با شیوه آبیاری سنتی و همچنین وجود مراکز صنعتی متعدد، در وضعیت بحرانی قرار دارد.

در سال‌های اخیر دشت یزد-اردکان به‌عنوان دشت ممنوعه اعلام شده و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی با دقت بیشتری انجام می‌شود همچنین بر اساس آمار، کشاورزی سنتی در این منطقه به‌خصوص در منطقه شمسی کاهش یافته و بیشتر کشاورزی به سمت گلخانه‌ای شدن و روش‌های آبیاری نوین رفته است. همچنین با ورود خط انتقال آب اصفهان به یزد بخشی از آب موردنیاز شرب منطقه، از این آب تأمین شده است؛ بنابراین انتظار می‌رود که برداشت آب زیرزمینی و به‌تبع آن سرعت فرونشست در این منطقه کاهش یافته باشد. هدف از این پژوهش بررسی میزان فرونشست دشت یزد-اردکان با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۱ به روش تداخل سنجی تفاضلی راداری و مقایسه با میزان فرونشست در سال‌های قبل و همین‌طور تحلیل آن با روند میزان مصرف آب در سال‌های اخیر است.

[9] PALSAR

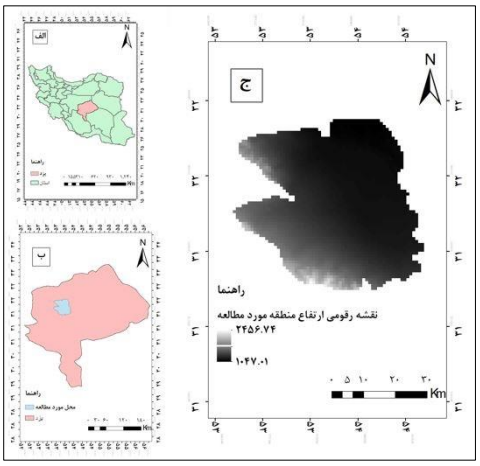
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]

روش‌شناسی

موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

دشت یزد-اردکان با مساحتی حدود ۴۱۱۷ کیلومترمربع در غرب و جنوب غربی به شیرکوه و در شرق به کوه‌های خرانق، در جنوب به کفه بهادران و در شمال به چله عقدا محدود می‌شود. این منطقه جزئی از حوزه آبریز کویر سیاه کوه است که بین طول‌های′۱۵ °۵۳ تا′۵۰ °۵۴ شرقی و عرض‌های′۱۵ °۳۱ تا ′۴۵ °۳۲ شمالی و تقریباً در مرکز استان یزد واقع شده است و شامل شهرهای اردکان، میبد، اشکذر، مهریز و یزد است. ارتفاع متوسط این حوزه ۱۵۶۵ متر از سطح دریا است و متوسط بارندگی در سطح حوزه ۱۱۸ میلی‌متر و تبخیر بالقوه بین ۲۲۰۰ تا ۳۲۰۰ میلی‌متر در سال است (اکرامی و همکاران، ۲۰۱۳). در این مطالعه بخشی از این دشت که حدفاصل شهرهای یزد و اردکان است در نظر گرفته شده است شکل (۱).



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه الف) نقشه ایران ب) استان یزد و منطقه موردمطالعه ج) نقشه رقومی ارتفاع منطقه موردمطالعه

داده‌های مورداستفاده

داده‌های مورداستفاده در این مطالعه تصاویر سنتینل-۱ بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ است که در جدول ۱ مشخصات آن آمده است. همین‌طور منطقه‌ای که تصاویر پوشش می‌دهند در شکل۲ نشان داده شده است.

ماهواره سنتینل-۱ در تاریخ ۳ آوریل ۲۰۱۴ به فضا پرتاب شد و تصاویر آن از ۳ اکتبر ۲۰۱۴ در دسترس بود. این پروژه با همکاری اتحادیه اروپا و آژانس فضایی اروپا صورت می‌پذیرد. این پروژه از ترکیب دو سکوی A و B با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه نسبت به هم تشکیل شده است. این ماهواره به‌صورت راداری و در تمام شب و روز و حتی در بدترین شرایط آب‌وهوایی قادر به جمع‌آوری اطلاعات از سطح زمین است (قنادی و همکاران، ۲۰۱۹، گودرزی، صباغ‌زاده و نیازکار، ۲۰۲۳). ماهواره سنتینل-۱ قادر است هر ۱۲ روز یک‌بار از کل کره زمین تصویربرداری کند و در صورت استفاده از هر دو سکوی سنتینل-۱ توان تفکیک زمانی به ۶ روز می‌رسد. این ماهواره در محدوده طول‌موج ماکروویو و باند C تصویربرداری می‌کند. سنتینل-۱ با وضوح تا حد ۵ متری و پوششی در عرض ۴۰۰ کیلومتر را فراهم می‌کند و با داشتن راداری با روزنه مجازی تصاویری با قدرت تفکیک بالا را ارائه می‌دهد. سنجنده سنتینل-۱ با ۴ حالت از سطح زمین تصویربرداری می‌کند که اصلی‌ترین نوع آن IW[10] است (لازیکی و همکاران[11]، ۲۰۱۷). هر IW از سه قسمت IW1 و IW2 و IW3 تشکیل شده است.

جدول (۱). مشخصات تصاویر ماهواره‌ای

سنجنده	تاریخ	نوع و پردازش تصویر	پولاریزاسیون
Sentinel-1A	۲۰۱۷/۰۳/۲۰	SLC-IW	VV
Sentinel-1A	۲۰۱۸/۰۲/۰۷	SLC-IW	VV

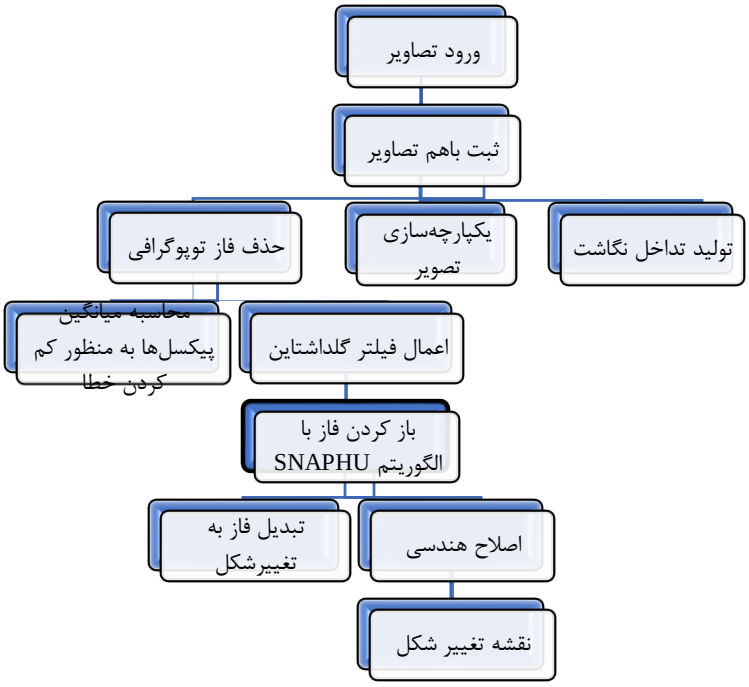
[10] Interferometric Wide Swath
[11] Lazecky

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]

Sentinel-1A	۲۰۱۹/۰۲/۰۲	SLC-IW	VV
Sentinel-1A	۲۰۲۰/۰۲/۰۹	SLC-IW	VV
Sentinel-1A	۲۰۲۱/۰۲/۲۷	SLC-IW	VV

تداخل سنجی راداری

روش تداخل سنجی راداری با روش تداخل سنجی تفاضلی راداری متفاوت است. در روش تداخل سنجی راداری از اطلاعات فازی دو تصویر راداری روزنه مصنوعی[۱۲] برای به دست آوردن اختلاف فازی یک نقطه مشابه در دو تصویر به کار می‌رود و یک تداخل نگاشت ایجاد می‌شود. روش تداخل سنجی تفاضلی راداری یک روش پردازش تصویر است که نقشه‌های جابجایی زمین و همچنین وابستگی مربوطه را نشان می‌دهد (یو و همکاران، ۲۰۱۸). در این مطالعه به‌منظور به دست آوردن تغییر شکل زمین از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری استفاده شد. تصاویر سنتینل-۱ با نرم‌افزار اسنپ[۱۳] پردازش شدند تا تداخل نگاشت‌ها را تولید کنند. در انتها تداخل نگاشت‌ها باز شدند تا فاز اینترفرامتری با الگوریتم SNAPHU[14] به دست آید. سپس مقدار تغییر شکل زمین توسط نرم‌افزار اسنپ محاسبه شد (فالز و فلورز[۱۵]، ۲۰۲۰). مراحل پردازش تصاویر در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲). مراحل پردازش تصاویر ماهواره‌ای

رابطه (۱) تداخل سنجی تفاضلی راداری که فاز تداخل نگاشت را محاسبه می‌کند (کارستو[۱۶]، ۲۰۱۶):

$$\Delta\varphi D-\text{int}=\Delta\varphi\text{Int}-\Delta\varphi\text{TOPOsim}=\Delta\varphi\text{Displ}+\Delta\varphi\text{TOPOres}+\Delta\varphi\text{Atms}-\Delta\varphi\text{Orbs}-\Delta\varphi\text{orbM}+\Delta\varphi\text{Noise}+2k\pi$$

رابطه (۱)

$\Delta\varphi\text{Int}$: اجزای اینترفرومتری، $\Delta\varphi\text{TOPOsimu}$: مؤلفه توپوگرافی شبیه‌سازی شده که شامل مؤلفه زمین مسطح هم می‌شود، $\Delta\varphi\text{TOPOres}$: مؤلفه خطای توپوگرافی باقیمانده (RTE)، $\Delta\varphi\text{Atms}$: مؤلفه فاز اتمسفری در زمان به دست

[12] SAR
[13] Sentinel Application Platform
[14] Statiscal-cost Network-flow Algorithm for Phase unwrapping
[15] Falls and Flores
[16] Crosetto

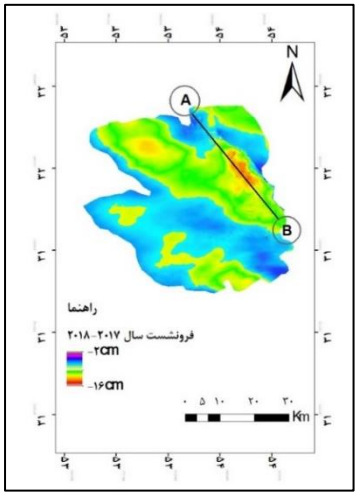
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]

آوردن هر تصویر، $\Delta\varphi Orbs$: مؤلفه فازی به علت خطاهای اوربیتالی در هر تصویر، $\Delta\varphi Noise$: فاز نویز، $2k\pi$: فاز ابهام (نتیجه باز کردن تداخل نگاشت $\Delta\varphi Int$). در رابطه (۱) منظور از S: تصویر اصلی و M: تصویر فرعی است. کیفیت مقادیر تغییر شکل به‌دست‌آمده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری به کیفیت فاز اینترفرومتریک تفاضلی بستگی دارد. باندهای اینترفرومتریک یک تغییر 2π فازی را نشان می‌دهند که در یک تداخل نگاشت به‌صورت باندهای رنگی ظاهر می‌شوند و هریک اختلاف دامنه نسبی نیمی از طول‌موج‌ها را نشان می‌دهند. حرکت نسبی زمین را می‌توان با شمارش نوارها و ضرب در نصف طول‌موج به دست آورد (فالز و فلورز، ۲۰۲۰[۱۷]).

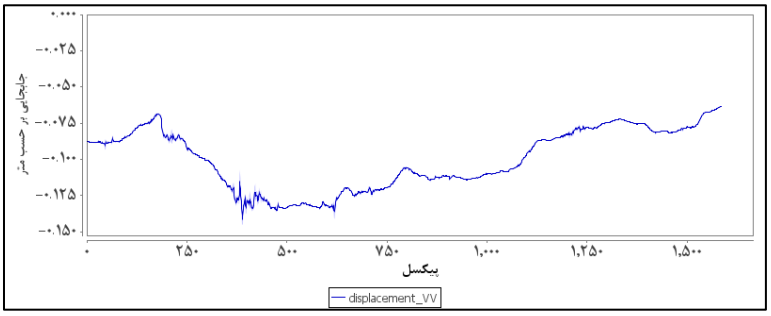
نتایج و بحث

نتایج فرونشست به‌دست‌آمده از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱

تصاویر به‌دست‌آمده از ماهواره سنتینل۱ برای منطقه موردنظر در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ توسط نرم‌افزار اسنپ که نرم‌افزاری تخصصی مربوط به تصاویر سنتینل است و به روش تکنیک تداخل‌سنجی راداری پردازش شد و نقشه فرونشست مربوط به هرسال حاصل شد. هم‌چنین به‌منظور درک بهتر از نحوه تغییر ارتفاع زمین در منطقه، در محل بحرانی که مربوط به بخش رستاق در حدفاصل شهرستان‌های یزد و اردکان است، پروفیل طولی A-B زده شد که نحوه جابجایی زمین به‌طور عمودی و همین‌طور بیشترین مقدار فرونشست در منطقه در پروفیل قابل مشاهده است. در شکل (۳ الف)، فرونشست زمین بین سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ نشان داده شده است. در این روش تصویر سال ۲۰۱۷ به‌عنوان تصویر مبنا در نظر گرفته شد و با قرار دادن تصویر سال ۲۰۱۸ بر روی آن میزان تغییرات سطح زمین محاسبه و نقشه فرونشست، حاصل شد. همان‌طور که در شکل مشخص است در منطقه بحرانی پروفیل طولی زده شده و در شکل (۳ ب) نشان داده شده است تا درک بهتری از میزان جابجایی زمین حاصل شود. طبق این نتایج بیشینه مقدار فرونشست در این سال۱۳ سانتی‌متر است.



شکل (۳) الف. نقشه فرونشست منطقه بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸

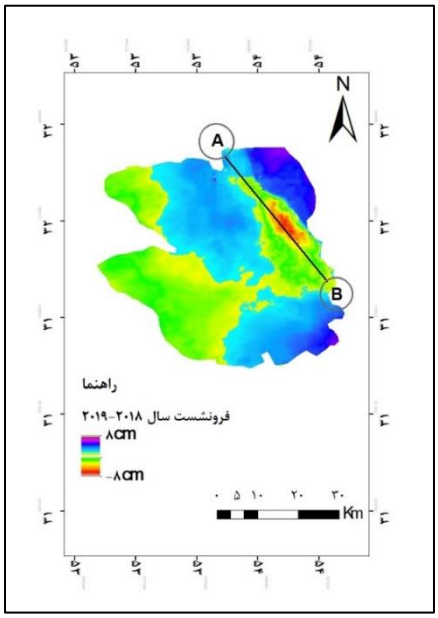


شکل (۳) ب. پروفیل طولیA-B فرونشست بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸

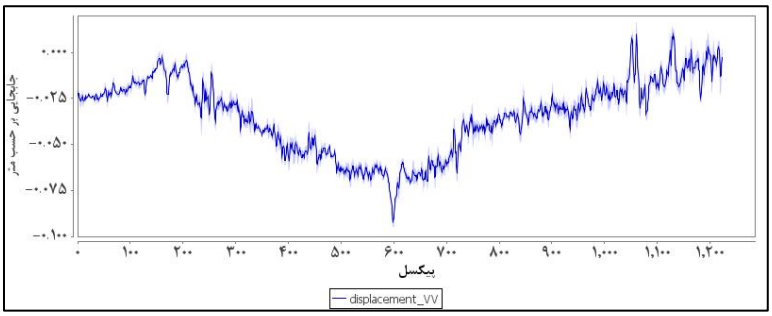
[17] Falls and Flores

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]

همچنین طبق نقشه فرونشست در سال ۲۰۱۸ تا۲۰۱۹ که در شکل ۴ الف نشان داده شده است و پروفیل طولی رسم شده در محل بحرانی که در منطقه رستاق، حدفاصل یزد-اردکان واقع شده است، مناطق به رنگ قرمز دارای فرورفتگی و مناطقی که به رنگ آبی و بنفش هستند بالاآمدگی رخ داده است. بیشترین مقدار فرونشست در سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹، ۸ سانتی‌متر است که شاهد کاهش مقدار فرونشست در این سال هستیم شکل (۴ ب).



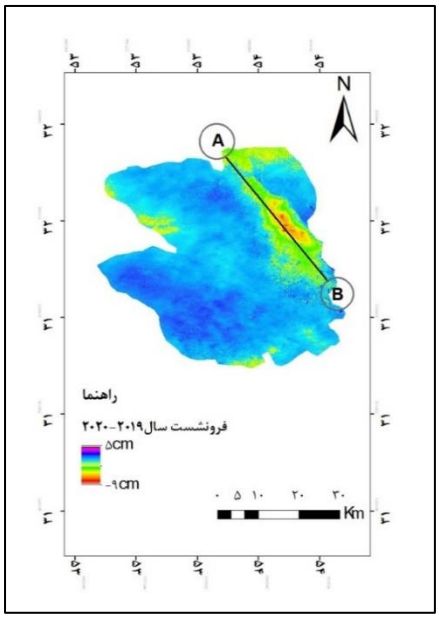
شکل (۴) الف. نقشه فرونشست منطقه بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹



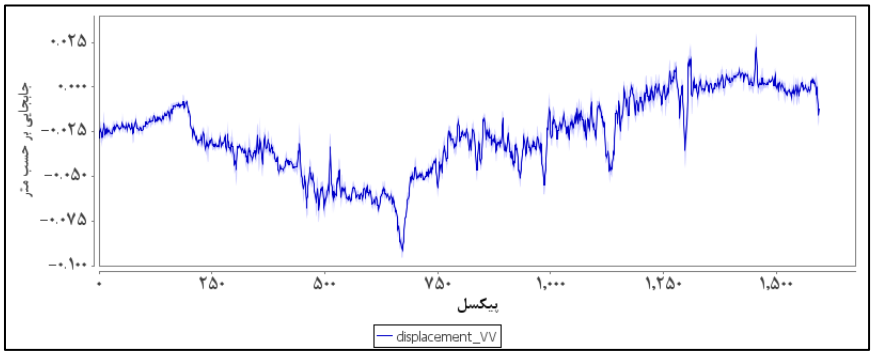
شکل (۴) ب. پروفیل طولیA-B فرونشست بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹

در ادامه به‌منظور بررسی میزان فرونشست، مقدار فرونشست در سال‌های ۲۰۱۹ تا۲۰۲۰ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ هم موردبررسی قرار گرفت که در اشکال (۵ و۶) نشان داده شده است. طبق پروفیل‌های طولی رسم شده برای این ۲ سال نیز مقدار فرونشست تقریباً مقدار ثابتی داشته که بیشترین مقدار ۹ سانتی‌متر است که نسبت به سال۲۰۱۷ این مقدار کاهش یافته است اشکال (۵ ب و ۶ ب). در تمام این سال‌ها منطقه‌ای که بیشترین مقدار فرونشست را داشته است منطقه شمسی در رستاق است که بین شهرهای یزد و میبد واقع شده است. از آن‌جا که دلیل عمده فرونشست برداشت آب بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی است دلیل بحرانی بودن این منطقه در این است که در این منطقه در یک‌سو زمین‌های کشاورزی متعدد موجود است و کشاورزی و آبیاری به شیوه سنتی صورت می‌گیرد و مستلزم مصرف آب زیادی می‌باشد که تمام این آب از چاه‌های موجود در همان منطقه استخراج می‌گردد، از سوی دیگر این منطقه قطب صنعتی استان نیز به حساب می‌آید و کارخانجات و مراکز صنعتی متعددی در آن موجود است که همه آب موردنیاز خود را از چاه‌های موجود در همان منطقه استخراج می‌کنند و هم‌چنین وجود چندین روستا در این منطقه نیز نیازمند وجود آب برای بخش شرب است که قبل از ورود آب انتقالی از اصفهان به یزد، به ناچار تمام آب موردنیاز باید از طریق برداشت از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شد و به دلیل کمبود بارندگی در منطقه این آب جبران نشده و فرونشست اتفاق می‌افتد.

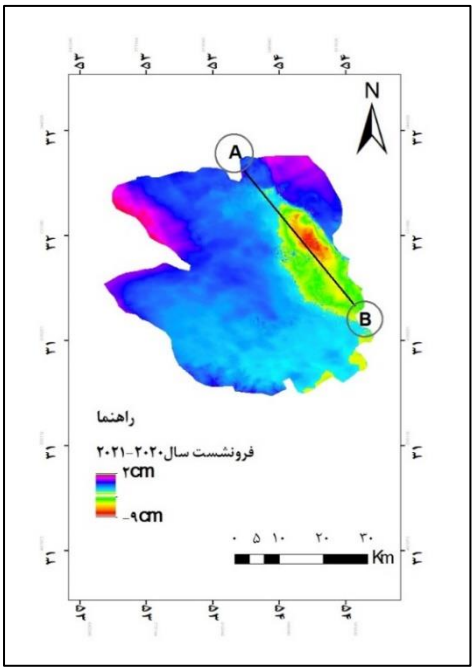
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]



شکل (۵) الف. نقشه فرونشست منطقه بین سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰



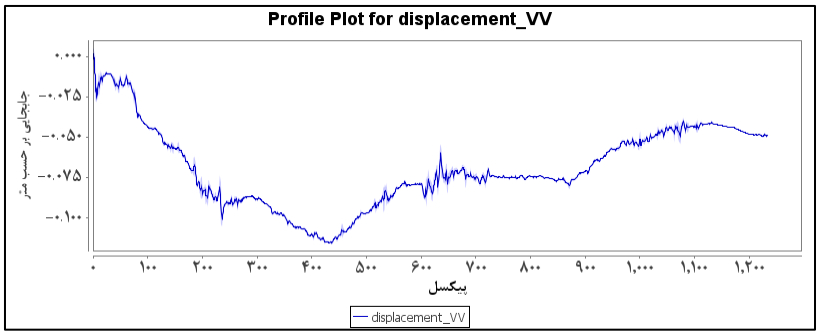
شکل (۵) ب. پروفیل طولی A-B فرونشست بین سال‌های ۲۰۱۹ تا۲۰۲۰



شکل (۶) الف. نقشه فرونشست منطقه بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]



شکل (۶) ب. پروفیل طولیA-B فرونشست بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱

آمیغ‌پی و همکاران به بررسی میزان فرونشست همین منطقه در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶ پرداختند. در مطالعه مذکور از روش تداخل‌سنجی راداری و ترازیابی دقیق برای بررسی میزان فرونشست منطقه استفاده شد. در آن مطالعه نیز منطقه رستاق به‌عنوان منطقه‌ای با بیشترین میزان فرونشست معرفی شد و سرعت فرونشست در این منطقه ۱۲ سانتی‌متر در سال عنوان شد که دلیل آن وجود مناطق کشاورزی در این منطقه و برداشت آب زیرزمینی به‌منظور کشاورزی و از طرفی جبران نشدن این میزان آب توسط بارندگی که درنتیجه باعث کاهش پیزومتریک و فرونشست زمین شده است، عنوان شد. کوهساری و همکاران نیز در ادامه این کار به بررسی میزان فرونشست همین منطقه در سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ پرداختند که بیشینه مقدار فرونشست ۱۰/۷۴ سانتی‌متر در سال برآورد شد و عنوان شد که میزان فرونشست روند کاهشی داشته است. مطالعه حاضر در ادامه مطالعات پیشین و براساس آن‌چه طبق نتایج به‌دست‌آمده از تصاویر بیان شد، خلاصه بیشینه مقدار فرونشست بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ در جدول۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است مقدار فرونشست در این سال‌ها نیز روند نزولی داشته است که در ادامه به دلایل و چرایی این امر پرداخته شد.

جدول (۲). بیشترین مقدار فرونشست در هر سال

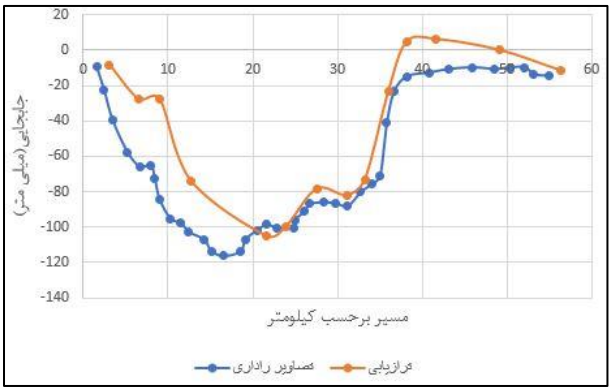
	۲۰۱۷-۲۰۱۸	۲۰۱۸-۲۰۱۹	۲۰۱۹-۲۰۲۰	۲۰۲۰-۲۰۲۱
بیشترین مقدار فرونشست(CM)	۱۳	۸	۹	۹

از جمله دلایل کاهش فرونشست در این مطالعه کاهش میزان مصرف آب در بخش کشاورزی در منطقه است که در ادامه آمار و ارقام مربوطه ذکر شده است هم‌چنین پورعلی مقدم و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی تأثیر مؤلفه‌های کشاورزی بر میزان مصرف آب پرداختند که طبق نتایج ارائه شده، استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری تا ۸۰ درصد بر کاهش میزان مصرف آب در کشاورزی تأثیر خواهد گذاشت. عامل دیگری که در کاهش فرونشست می‌تواند نقش مؤثری ایفا کند، آب انتقالی به دشت یزد-اردکان است که در مطالعات انجام گرفته توسط ژو و همکاران در سال ۲۰۲۰ به تأثیر پروژه انتقال آب بر روی آب زیرزمینی و فرونشست در چین پرداخته شد که طبق نتایج حاصله بعد از ۳ سال از شروع اجرای پروژه ، سطح پیزومتریک از ۳ تا۱۰ متر بالاتر آمده و نرخ فرونشست تا ۱۰ میلی‌متر در سال کاهش یافته است. راتب و ابوطلیب در سال ۲۰۲۰ به بررسی میزان فرونشست در دلتای نیل بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ پرداختند. در این مطالعه از تصاویر سنتینل-۱ برای تعیین میزان فرونشست منطقه استفاده شد و سپس با ترازیابی دقیق نتایج به‌دست‌آمده صحت سنجی شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده تصاویر سنتینل-۱ از دقت قابل قبولی برای تعیین میزان فرونشست برخوردار هستند. در مطالعه حاضر نیز نتایج حاصل شده از تصاویر سنتینل با ترازیابی دقیق انجام شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور در بخش بعد مقایسه شد که نتایج از دقت خوبی برخوردار بودند.

صحت سنجی

در مطالعه انجام شده توسط سازمان نقشه‌برداری ایران، مقدار فرونشست کل ایران به دو روش ترازیابی دقیق و تصاویر ماهواره‌ای محاسبه شد که نتایج حاصل برای مقدار فرونشست در منطقه موردمطالعه در شکل (۷) نشان داده شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]



شکل (۷). مقایسه پروفیل A-B با مقدار فرونشست به‌دست‌آمده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور در سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۱۹

در شکل (۷) مقادیر ترازیابی به‌دست‌آمده برای پروفیل A-B که توسط سازمان نقشه‌برداری و مقادیر به‌دست‌آمده و نتایج مطالعه حاضر که در شکل‌های ۳ ب تا ۶ ب نشان داده شد، مربوط به سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ در یک نمودار آمده است، همان‌طور که مشخص است بیشترین مقدار فرونشست به‌دست‌آمده توسط سازمان نقشه‌برداری به روش ترازیابی بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹، ۱۲ سانتی‌متر در سال است که با مقدار به‌دست‌آمده در این مطالعه یعنی ۱۳ سانتی‌متر در سال نزدیک است. همان‌طور که مشخص است مقادیر بقیه نقاط نیز به هم نزدیک است که نشان دهنده این موضوع است که تصاویر سنتینل از قابلیت خوبی برای تخمین میزان فرونشست برخوردار هستند. در مورد سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ تاکنون اندازه‌گیری دقیقی برای میزان فرونشست انجام نشده است و با توجه میزان نزدیکی مقادیر سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ می‌توان نتیجه گرفت که مقادیری که برای سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ به مقدار ۹ سانتی‌متر، تخمین زده شد، می‌تواند به مقدار واقعی نزدیک باشد.

رابطه فرونشست با مصرف آب

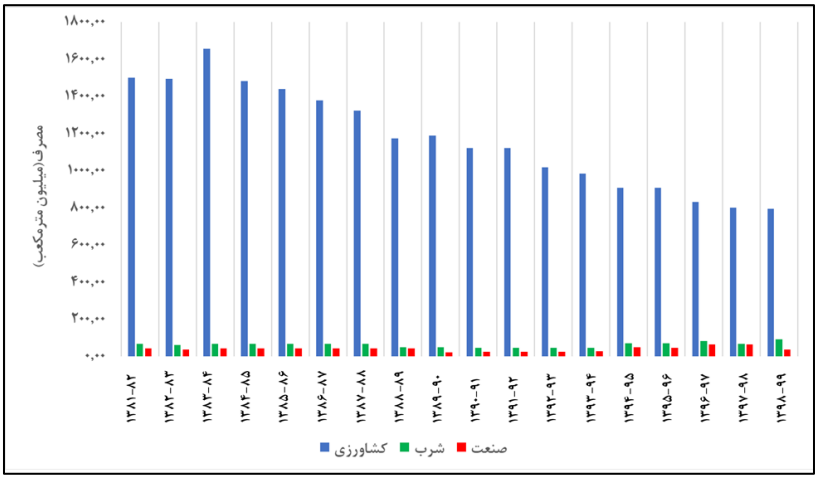
طبق نتایج به‌دست‌آمده بیشترین مقدار فرونشست در سال ۲۰۱۸-۲۰۱۷، ۱۳ سانتی‌متر، در سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱۸، ۴ سانتی‌متر، ۲۰۲۰-۲۰۱۹ و هم‌چنین ۲۰۲۱-۲۰۱۹ ، ۹ سانتی‌متر به دست آمد که روند نزولی در میزان فرونشست منطقه قابل مشاهده است. در ادامه دلایل احتمالی این کاهش موردبررسی قرار خواهد گرفت. همان‌طور که گفته شد در تمام سال‌ها بیشترین مقدار فرونشست مربوط به منطقه رستاق است که بین شهرهای یزد و میبد واقع شده است. در این منطقه از دیرباز کشاورزی با آبیاری به شیوه سنتی انجام می‌شود که باعث برداشت آب زیادی از چاه‌ها بدین منظور می‌گردد. با اعلام دشت یزد-اردکان به‌عنوان دشت بحرانی از نظر وضعیت آبی و ممنوعه اعلام شدن آن در سال‌های اخیر کارهای مدیریتی به‌منظور کاهش مصرف آب صورت گرفت، از جمله، کشاورزان در این منطقه به سمت کشاورزی گلخانه‌ای و آبیاری به شیوه‌های نوین رفته‌اند که باعث شده مصرف آب کمتری داشته باشند که در شکل۸ نیز کاهش مصرف آب کشاورزی به‌وضوح مشخص است که می‌تواند یکی از دلایل کم شدن مقدار فرونشست در سال‌های اخیر باشد. هم‌چنین در سال‌های قبل برای تأمین آب شرب شهرهای اطراف دشت یزد-اردکان از آب زیرزمینی استفاده می‌شد که با ورود آب انتقالی از اصفهان به یزد، بخش اعظمی از آب موردنیاز برای شرب از این محل استفاده شده است و برداشت آب زیرزمینی کاهش یافته است و حاکی از آن است که انتقال آب به حوضه در برداشت آب‌های زیرزمینی و کاهش میزان فرونشست حوضه تأثیرگذار است.

از آن‌جا که میزان فرونشست در مطالعات پیشین که مربوط به سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ بودند نیز با مطالعه حاضر مقایسه شد و همین‌طور تأثیر میزان مصرف آب بر مقدار فرونشست به‌صورت آنی نیست و به‌مرور نمود پیدا می‌کند، در این مطالعه میزان مصرف آب و برداشت از چاه‌ها از سال ۱۳۸۱ دز نظر گرفته شد تا روند کلی میزان مصرف و برداشت آب استان ملموس‌تر باشد.

اطلاعات به‌دست‌آمده از شرکت آب منطقه‌ای استان یزد نشان می‌دهد، کل مصرف آب در استان یزد در سال ۱۳۸۲-۱۳۸۱ ، ۱۶۱۱/۵۷ میلیون مترمکعب بوده است که از این مقدار ۱۵۰۰/۷۲ میلیون مترمکعب مربوط به بخش کشاورزی و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]

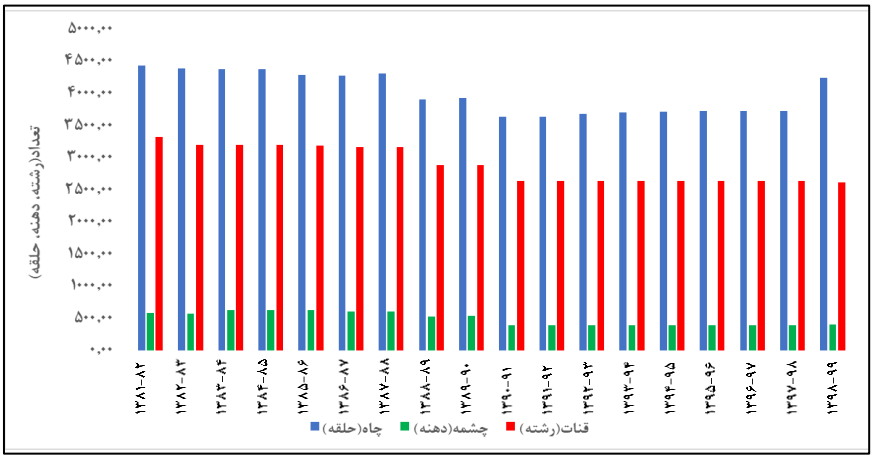
۴۲/۴۹ میلیون مترمکعب مربوط به بخش صنعت و ۶۸/۳۶ میلیون مترمکعب مربوط به بخش شرب است در مقابل میزان مصرف کل آب در سال ۱۳۹۹-۱۳۹۸، ۹۲۳.۶۱ میلیون مترمکعب بوده است که از این مقدار ۷۹۵.۴۵ میلیون مترمکعب مربوط به بخش کشاورزی، ۳۶.۱۹ میلیون مترمکعب مربوط به بخش صنعت و ۹۱.۹۷ میلیون مترمکعب مربوط به شرب بوده است. همان‌طور که در شکل۸ هم مشخص است بیشترین مصرف آب مربوط به بخش کشاورزی است که در سال۱۳۹۹ نسبت به ۱۳۸۱، ۷۰۵.۲۷ میلیون مترمکعب کاهش یافته است شکل (۸).



شکل (۸). تغییرات میزان مصرف از منابع آب زیرزمینی در یزد سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۹ (شرکت آب منطقه‌ای استان یزد)

رابطه فرونشست با تغییر تعداد چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات

در شکل (۹) تغییر تعداد چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات نشان داده شده است.



شکل (۹). تغییرات تعداد چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات استان یزد از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۹(شرکت آب منطقه‌ای استان یزد)

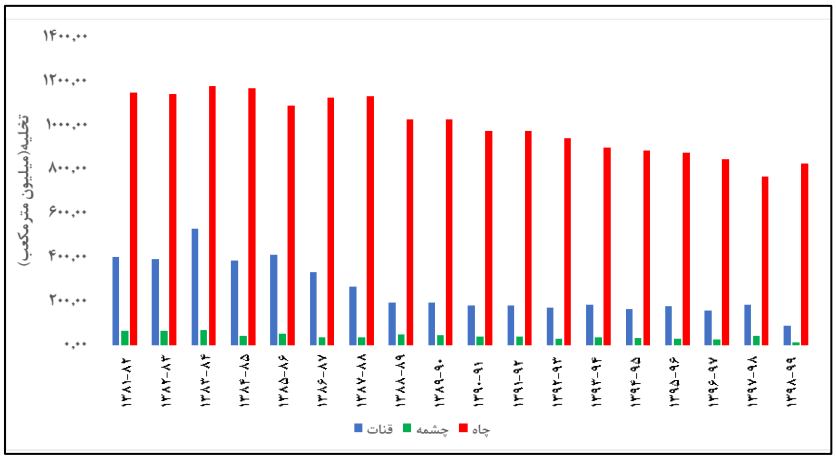
همان‌طور که مشخص است تعداد چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها کاهش یافته است. تعداد چاه‌ها از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۹، ۱۹۱ حلقه کاهش یافته است.

رابطه فرونشست با تغییرات مقدار تخلیه از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات

در شکل (۱۰) میزان تغییرات تخلیه از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها در استان یزد در سال‌های اخیر نشان داده شده است که تخلیه از چاه‌ها از ۱۱۴۷ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۲-۱۳۸۱ به ۸۲۶ میلیون مترمکعب در سال۱۳۹۹-۱۳۹۸ رسیده است، همان‌طور که مشخص است این مقادیر به‌مرور کاهش یافته است. از جمله دلایل آن می‌توان به انجام کارهای مدیریتی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]

و تغییر شیوه کشاورزی و آبیاری و استفاده از سیستم‌های نوین در سال‌های اخیر در منطقه موردمطالعه اشاره کرد که می‌تواند دلیلی برای کاهش مقدار فرونشست در سال‌های اخیر باشد.



شکل (۱۰). تغییرات مقدار تخلیه از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها در یزد از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۹(شرکت آب منطقه‌ای استان یزد)

نتیجه‌گیری

در این مطالعه مقدار فرونشست دشت یزد-اردکان در محدوده بین شهرهای یزد و اردکان با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ و روش تداخل سنجی تفاضلی راداری برای سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ به دست آمد. با توجه به قدرت نفوذ بالای امواج راداری حتی در آب‌وهوای نامساعد و ابری، تصاویر سنتینل نسبت به سایر ماهواره‌ها دقت بهتری داشته و گزینه خوبی برای استفاده در مطالعات مربوط به فرونشست می‌باشد. در مطالعه حاضر بیشترین میزان فرونشست مربوط به منطقه شمسی بوده است. منطقه‌ای که بیشترین بخش آن به کشاورزی اختصاص دارد و آب موردنیاز مربوط به کشاورزی از طریق برداشت آب زیرزمینی حاصل می‌شود. بیشینه میزان فرونشست، در سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸، ۱۳ سانتی‌متر و در سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱، ۹ سانتی‌متر به دست آمد. با توجه به مطالعات پیشین که در این منطقه انجام شده در سال ۲۰۰۳ تا۲۰۰۶ مقدار فرونشست ۱۲ سانتی‌متر در سال تخمین زده شد. همچنین در مطالعه دیگری مقدار فرونشست در سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰، ۱۰.۷۴ سانتی‌متر در سال برآورد شد که با مقایسه این مقادیر با مقادیر به‌دست‌آمده از مطالعه حاضر، کاهش میزان فرونشست در سال‌های اخیر مشاهده شد. برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و جبران نشدن آن با بارندگی می‌تواند دلیل اصلی کاهش پیزومتریک و فرونشست در منطقه باشد. همین‌طور مقادیر به‌دست‌آمده با مقادیر ترازیابی دقیق توسط سازمان نقشه‌برداری مقایسه شد که روند نسبتاً مشابهی داشتند. با تحلیل و مقایسه مصرف منابع آبی، تخلیه و تعداد چاه‌ها در سال‌های اخیر مشاهده شد که میزان مصرف آب به‌خصوص در بخش کشاورزی در سال ۱۳۹۹ نسبت به سال ۱۳۸۱، ۷۰۵.۲۷ میلیون مترمکعب کاهش یافته است که این موضوع می‌تواند دلیلی بر کاهش میزان فرونشست نسبت به سال‌های قبل باشد. همین‌طور تعداد و مقدار تخلیه از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها نیز روند نزولی داشته است که از جمله دلایل آن می‌توان به ورود آب انتقالی به یزد اشاره کرد که بخشی از آب شرب منطقه از این طریق تأمین می‌شود، همین‌طور کشاورزی در سال‌های اخیر در این منطقه به‌خصوص در منطقه رستاق که بیشترین فرونشست را دارد از شیوه سنتی به گلخانه‌ای تغییر کرده است و همین باعث مصرف کمتر آب در بخش کشاورزی در این منطقه شده است. هرچند فرونشست زمین به‌راحتی قابل جبران نیست اما با مدیریت مصرف منابع آب می‌توان سرعت فرونشست را در یک منطقه کاهش داد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]

منابع

آروین، عبدالخالق؛ وهابزاده کبریا، قربان. ، موسوی، سید رمضان؛ و بختیاری کیا، مسعود. (۱۳۹۸). مدل‌سازی مکانی فرونشست زمین در جنوب حوزه آبخیز میناب با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۰(۳), ۱۹-۳۴.

آمیغ پی، معصومه؛ عربی، سیاوش؛ و طالبی، علی. (۱۳۸۹). بررسی فرونشست یزد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و ترازیابی دقیق. فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین، ۲۰(۷۷)، ۱۵۷-۱۶۴.

اکرامی، محمد؛ ملکی نژاد، حسین؛ و اختصاصی، محمدرضا. (۱۳۹۲). بررسی تأثیر خشک‌سالی‌های اقلیمی و آب‌شناختی بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت یزد-اردکان). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۷(۲۰) ,۴۷-۵۴.

امامی، صدیقه؛ المدرسی، سیدعلی؛ و موسائی سنجره ای، محمد. (۱۳۹۹). رویکرد تحلیل راداری در سنجش وضعیت تغییرات هیدرومورفوتکتونیک مرکز ایران (دشت یزد اردکان). مخاطرات محیط طبیعی، ۹(۲۶)، ۱-۱.

تورانی، م؛ آق آتابای، م؛ و روستایی، م. آ. (۱۳۹۷). مطالعه فرونشست در شهر گرگان با استفاده از روش تداخل سنجی راداری. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۸(۲۷)، ۱۱۷-۱۲۸.

زارعی، کیوان؛ رسول‌زاده، علی؛ صدیقی، مرتضی؛ احمدزاده، غلامرضا؛ و رمضانی مقدم، جواد. (۱۳۹۹). تعیین رابطه فرونشست زمین و افت سطح آب‌زیرزمینی با دو روش تداخل سنجی راداری و ایستگاه ثابت GPS (مطالعه موردی: دشت سلماس). نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۱(۱)، ۱۶۸-۱۸۲.

سودمندافشار، رضا؛ و احمدی، سلمان. (۱۳۹۹). پایش فرونشست زمین در اثر برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری به روش پراکنش‌گرهای دائمی (مطالعه موردی: شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور). مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، ۸(۱)، ۷۹-۹۹.

شریفی کیا، م. (۱۳۹۱) تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری (D-InSAR)در دشت نوق -بهرمان .برنامه‌ریزی و آمایش فضا (مدرس علوم انسانی) ,(۱۶) ۳ پیاپی ۷۵.

صفاری، امیر؛ جعفری، فرهاد؛ و توکلی صبور، سید محمد. (۲۰۱۸). پایش فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیرزمینی مطالعه موردی: دشت کرج–شهریار. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، ۵(۲)، ۸۲-۹۳.

عالی پور اردی، مهدی؛ ملک محمدی، بهرام؛ و جعفری، حمیدرضا. (۲۰۱۷). پهنه‌بندی ریسک فرونشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: دشت اردبیل). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۱(۳۸)، ۲۵-۳۴.

فروغ نیا، فاطمه؛ نعمتی، صادق. و مقصودی، یاسر. (۲۰۱۸). آنالیز سری زمانی تداخل سنجی راداری مبتنی بر پراکنش گرهای دائم، با استفاده از تصاویر Sentinel-1A وENVISAT-ASAR ، برای برآورد پدیده فرونشست شهر تهران، فصلنامه سنجش‌ازدور و GIS ایران،۱۰(۱)، ۵۷-۷۲.

قنادی، محمد. عنایتی، حمید. و خصالی، الهه. (۲۰۱۹). تولید مدل رقومی ارتفاعی زمین با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ و تکنیک تداخل سنجی راداری. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۷(۱۰۸)، ۱۰۹-۱۲۱.

Alipour Erdi, M., Malekmohammadi, B., & Jafari, H. R. (2017). Risk zoning of land subsidence due to groundwater level declining using fuzzy analytical hierarchy process. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 11(38), 25-34. (In Persian)

Amighpei, M., Arabi, S., & Talebi, A. Investigation of subsidence of Yazd using radar interferometric method and accurate leveling. Scientific Quarterly Journal of GEOSCIENCES, 20(77), 157-164. (In Persian)

Arvin, A., Vahabzadeh Kberia, G., Mousavi, R., & Bakhtyarikia, M. (2019). Geospatial modeling of land subsidence in the south of the Minab watershed using remote sensing and GIS. RS & GIS for Natural Resources, 10(3), 19-34. (In Persian)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]

Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthéry, N., and Crippa, B. (2016). Persistent Scatterer Interferometry: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 115, 78-89. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.011

Ekrami, M. (2013). Investigating the impact of climatic and hydrological droughts on underground water resources (case study: Yazd-Ardakan plain). Iran-Watershed Management Science & Engineering, 7(20), 47-54. (In Persian)

Emami, S., Almodaresi, S. A., & Musaie Sanjarehi, M. (2020). Radar Analysis Approach to Assess the Status of Hydromorphotectonic Changes in Central Iran(Yazd Ardakan Plain). Journal of Natural Environmental Hazards, 9(26), 1-1. (In Persian)

Esfandyari, F., Ghale, E., and Mohamadzadeh Shishegaran, M. (2021). Assessing the rate of land subsidence and the role of groundwater level and land use in its occurrence (Case study: Ardabil plain). Journal of Applied researches in Geographical Sciences.

Foroughnia, F., Nemati, S., & Maghsoudi, Y. (2018). PS-InSAR Time Series Analysis Using Sentinel-1A and ENVISAT-ASAR Data Stacks for Subsidence Estimation in Tehran. Iranian Remote Sensing & GIS, 10(1), 57-72. (In Persian)

Ghannadi, M. A., Enayati, H., & Khesali, E. (2019). Generating Digital Elevation Model of the Earth Using Sentinel-1 Images and Interferometry. Scientific-Research Quarterly of Geographical Data(SEPEHR), 27(108), 109-121. (In Persian)

Goldstein, R. M., and Werner, C. L. (1998). Radar interferogram filtering for geophysical applications. Geophysical Research Letters, 25(21), 4035-4038.

Goodarzi, M. R., Pooladi, R., & Niazkar, M. (2022). Evaluation of satellite-based and reanalysis precipitation datasets with gauge-observed data over Haraz-Gharehsoo basin, Iran. Sustainability, 14(20), 13051. https://doi.org/10.3390/su142013051

Goodarzi, M. R., Sabaghzadeh, M., & Mokhtari, M. H. (2022). Impacts of aspect on snow characteristics using remote sensing from 2000 to 2020 in Ajichai-Iran. Cold Regions Science and Technology, 204, 103682. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2022.103682

Goodarzi, M. R., Sabaghzadeh, M., & Niazkar, M. (2023). Evaluation of snowmelt impacts on flood flows based on remote sensing using SRM model. Water, 15(9), 1650. https://doi.org/10.3390/w15091650

Goodarzi, M. R., Sabaghzadeh, M., & Niazkar, M. (2023). Evaluation of winter snow properties effects on spring soil moisture using satellite images in the Northwest of Iran. Acta Geophysica, 1-13. https://doi.org/10.1007/s11600-023-01177-3

Hu, L., Dai, K., Xing, C., Li, Z., Tomás, R., Clark, B., Shi, X., Chen, M., Zhang, R., Qiu, Q., and Lu, Y. (2019). Land subsidence in Beijing and its relationship with geological faults revealed by Sentinel-1 InSAR observations. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 82, 101886. https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.05.019

kiani, s., mazidi, a., and Hosseini, S. Z. A.-A. (2021). Identification of subsidence areas using radar interferometry (Case study: Damaneh plain). Journal of Applied researches in Geographical Sciences.

Lazecky, M., Canaslan Comut, F., Qin, Y., and Perissin, D. (2017). Sentinel-1 Interferometry System in the High-Performance Computing Environment. 131-139. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45123-7_10

N. Devanthéry, M., Crosetto, O., Monserrat, M., and Cuevas-González (2016). Deformation monitoring using Sentinel-1 SAR data. JISDM. https://doi.org/10.3390/ecrs-2-05157

Pérez-Falls, Z., and Martínez-Flores, G. (2020). Land Subsidence in Villahermosa Tabasco Mexico, Using Radar Interferometry. 1276, 18-29.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]

Saffari, A., Jafari, F., & Tavakkoli Sabour, S. M. (2018). Monitoring its land subsidence and its relation to groundwater harvesting Case study: Karaj Plain - Shahriar. Journal statistical information, 5(2), 82-93. (In Persian)

Sharifikia, M. (2012). Determining the amount and range of land subsidence using the radar interferometric method (D-InSAR) in the Nuq-Behrman plain. The Journal of Spatial Planning, 16(3), 55-77. (In Persian)

SoudmandAfshar, R., & Ahmadi, S. (2020). Monitoring of land subsidence due to overexploitation of groundwater using PS-InSAR in the region in hamadan proviance, Iran. Engineering Journal of Geospatial Information Technology, 8(1), 79-99. (In Persian)

Sowter, A., Bin Che Amat, M., Cigna, F., Marsh, S., Athab, A., and Alshammari, L. (2016). Mexico City land subsidence in 2014–2015 with Sentinel-1 IW TOPS: Results using the Intermittent SBAS (ISBAS) technique. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 52, 230-242. https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.015

Tourani, M., Agh-Atabai, M., & Roostaei, M. (2018). Study of subsidence in Gorgan using InSAR method. Geographical Planning of Space Quarterly Journal, 8(27), 117-128. (In Persian)

U.S. Geological Survey (2017). Land Subsidence in California. accessed June 18, 2021 at URL https://www.usgs.gov/centers/ca-water-ls.

Yu, H., Lee, H., Yuan, T., and Cao, N. (2018). A Novel Method for Deformation Estimation Based on Multibaseline InSAR Phase Unwrapping. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 56(9), 5231-5243. https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2812769

Zarei, K., Rasoulzadeh, A., Sedighi, M., Ahmadzadeh, G., & Ramezani, J. (2019). Determination of the relationship between land subsidence and ground water level loss with radar interferometry and GPS station methods (Case study: Salmas Plain). Journal of Irrigation and Water Engineering, 11(1), 168-182. (In Persian)

Zhang, Y., Wu, H., Li, M., Kang, Y., and Lu, Z. (2021). Investigating Ground Subsidence and the Causes over the Whole Jiangsu Province, China Using Sentinel-1 SAR Data. Remote Sensing, 13(2), 179. https://doi.org/10.3390/rs13020179

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.13]