Incidents and Disasters Resilience

Homepage: https://disaster.ndri.ac.ir/

Spatiotemporal analysis of land subsidence in the koohdasht plain using the SBAS-InSAR technique and sentinel-1 images

Ava Osman Pour[1], Peyman Heidarian[2]✉, Seyed Davoud Mohammadi[3], Somayeh Fathtabar Firoozjaei[4], Ali Movahedian[5], and **Habib Salehi[6]**

1. PhD Student in Engineering Geology, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. Email: Ava.osmanpour@gmail.com
2. Corresponding author, Independent Scholar, PhD in Space Technology Applications - Remote Sensing, Beijing, China. Email: Peyman.2012rs@gmail.com
3. Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. Email: D.mohammadi@basu.ac.ir
4. Remote Sensing and GIS Expert, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Ahvaz, Iran. Email: Fathtabar.s@gsi.ir
5. PhD Student in Hydrogeology, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: Ali_movahedian@yahoo.com
6. Geology Expert, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Ahvaz, Iran. Email: Salehih7@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 24 May 2025
Received in revised form 1 August 2025
Accepted 11 September 2025
Available online 29 September 2025

Keywords:
Multi-stakeholder Approach,
Disaster Management,
Stakeholder Analysis,
Power–Interest Matrix.

ABSTRACT

Objective: In recent years, the Koohdasht Plain has experienced significant land subsidence due to intensive groundwater exploitation and its distinctive geological characteristics. This study aims to monitor, quantify, and analyze the spatiotemporal rate and pattern of land subsidence across the plain over two time periods (2018–2023 and 2015–2024), to compare the results of these intervals, and to examine surface manifestations of ground deformation.

Method: The SBAS-InSAR (Small Baseline Subset-Interferometric Synthetic Aperture Radar) technique was applied in conjunction with regional hydrogeological and geological data. Ascending and descending Sentinel-1 SAR images were processed using the LiCSBAS software package. After atmospheric phase correction using GACOS data, ground surface displacement time series were derived for five-year and nine-year intervals. Annual subsidence rates were then calculated from the SBAS results, and the spatial distribution of subsidence across the plain was evaluated through integration with hydrogeological and geological datasets.

Results: The maximum annual subsidence rate was estimated at approximately 59.9 mm yr^{-1} for the five-year period and 71.9 mm yr^{-1} for the nine-year period. Given that the nine-year interval encompasses a longer observation window, its results were adopted as the primary basis for interpretation. Within this period, the years 2015–2016 and 2017–2018 exhibit the highest cumulative subsidence. These intervals show clear correspondence with groundwater-level declines recorded in hydrographs of the selected Omour-Ashayer and Sari piezometers, indicating a direct relationship between groundwater depletion and subsidence rates. The spatial distribution pattern reveals that the highest subsidence values are concentrated in the southern, southeastern, and southwestern sectors of Koohdasht City, coinciding with significant groundwater drawdown and thicker fine-grained alluvial deposits.

Conclusions: Overall, within the Koohdasht aquifer, the annual variation in subsidence rate demonstrates a decreasing trend from east to west, while persistent subsidence continues in the westernmost sector. This pattern suggests a reduced capacity of the aquifer to recover its initial conditions and an increasing vulnerability to sustained groundwater extraction. Furthermore, the findings confirm the decisive role of hydrogeological and lithological factors in controlling land subsidence in the Koohdasht Plain and highlight the effectiveness of advanced remote sensing approaches—particularly the SBAS-InSAR technique—for accurate and continuous monitoring of geological hazards.

Cite this article: Osman Pour, A., Heidarian, P., Mohammadi, S.D., Fathtabar Firoozjaei, S., Movahedian, A., & Salehi, H. (2025). Spatiotemporal analysis of land subsidence in the koohdasht plain using the SBAS-InSAR technique and sentinel-1 images. ***Incidents and Disasters Resilience,*** *1*(3), 47-62. https://doi.org/10.22034/1.3.4

© Author(s) retain the copyright.

Publisher: Natural Disasters Research Institute (NDRI).
DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]

تاب‌آوری در برابر حوادث و سوانح

Homepage: https://disaster.ndri.ac.ir

تحلیل مکانی–زمانی فرونشست زمین دشت کوهدشت با بهره‌گیری از تکنیک SBAS-InSAR و تصاویر Sentinel-1

آوا عثمان‌پور[۱]، پیمان حیدریان[۲]✉، سید داود محمدی[۳]، سمیه فتح‌تبار فیروزجائی[۴]، علی موحدیان[۵]، حبیب صالحی[۶]

۱. دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: Ava.osmanpour@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، پژوهشگر مستقل، دکترای کاربردهای فناوری فضایی- سنجش از دور، پکن، چین. رایانامه: Peyman.2012rs@gmail.com

۳. دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: D.mohammadi@basu.ac.ir

۴. کارشناس سنجش از دور و GIS، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، اهواز، ایران. رایانامه: Fathtabar.s@gsi.ir

۵. دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران. رایانامه: Ali_movahedian@yahoo.com

۶. کارشناس زمین‌شناسی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، اهواز، ایران. رایانامه: Salehih7@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۷

کلیدواژه‌ها:
تکنیک تداخل‌سنجی سری–زمانی،
سنجش‌ازدور،
فرونشست،
دشت کوهدشت،
مخاطرات زمین‌شناسی.

چکیده

هدف: دشت کوهدشت در سال‌های اخیر به دلیل بهره‌برداری گسترده از منابع آب زیرزمینی و ویژگی‌های خاص زمین‌شناسی، با پدیده فرونشست زمین با نرخ‌های قابل‌توجه مواجه بوده است. این پژوهش با هدف پایش، کمی‌سازی و تحلیل نرخ و الگوی مکانی–زمانی فرونشست زمین در این دشت طی دو دوره زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۱ و ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۲، مقایسه نتایج آن‌ها و در کنار آن بررسی نشانه‌های سطحی نشست زمین انجام شده است.

روش پژوهش: در این پژوهش از تکنیک SBAS-InSAR در کنار داده‌های هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی منطقه استفاده شده است. برای نیل به اهداف پژوهش، تصاویر گذر صعودی و نزولی ماهواره Sentinel-1 با استفاده از بسته نرم‌افزاری LiCSBAS پردازش شدند. پس از اعمال تصحیحات جوی با بهره‌گیری از داده‌های GACOS، سری‌های زمانی جابه‌جایی سطح زمین در دو بازه زمانی پنج‌ساله و نه‌ساله استخراج شد. سپس نرخ سالانه فرونشست بر اساس نتایج SBAS محاسبه و الگوی مکانی فرونشست در سطح دشت با تلفیق اطلاعات هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی موردبررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که بیشینه نرخ سالانه فرونشست در بازه پنج‌ساله حدود ۵۹/۹ میلی‌متر در سال و در بازه نه‌ساله حدود ۷۱/۹ میلی‌متر در سال برآورد شده است. باتوجه‌به اینکه بازه نه‌ساله دوره زمانی طولانی‌تری را پوشش می‌دهد، نتایج این بازه به‌عنوان مبنای اصلی تجزیه‌وتحلیل انتخاب شد. بررسی‌ها حاکی از آن است که در بازه نه‌ساله، سال‌های ۱۳۹۳–۱۳۹۴ و ۱۳۹۵–۱۳۹۶ بیشترین میزان نشست تجمعی را نشان می‌دهند؛ این دوره‌ها به‌طور آشکار با افت سطح آب ثبت‌شده در هیدروگراف پیزومترهای منتخب امور عشایر و ساری همخوانی دارد و بیانگر ارتباط مستقیم میان افت تراز آب زیرزمینی و نرخ فرونشست است. الگوی توزیع مکانی فرونشست نیز تمرکز بیشترین مقادیر را در بخش‌های جنوبی، جنوب شرقی و جنوب غربی شهر کوهدشت نشان می‌دهد؛ مناطقی که با افت قابل‌توجه سطح آب زیرزمینی و ضخامت بالاتر رسوبات آبرفتی ریزدانه مطابقت دارند.

نتیجه‌گیری: درمجموع، در آبخوان کوهدشت روند نوسان سالانه نرخ نشست از شرق به غرب کاهشی بوده و در انتهای بخش غربی به‌صورت پیوسته تداوم یافته است؛ وضعیتی که می‌تواند بیانگر کاهش ظرفیت آبخوان در بازیابی شرایط اولیه و افزایش آسیب‌پذیری این نواحی در برابر برداشت‌های مستمر آب زیرزمینی باشد. افزون بر این، یافته‌های این پژوهش نقش تعیین‌کننده عوامل هیدروژئولوژیکی و لیتولوژیکی در کنترل فرونشست دشت کوهدشت را تأیید کرده و کارایی روش‌های نوین سنجش‌ازدور، به‌ویژه تکنیک SBAS-InSAR را در پایش دقیق و مستمر مخاطرات زمین‌شناسی برجسته می‌سازد.

استناد: عثمان‌پور؛ آوا، حیدریان؛ پیمان، محمدی؛ سید داود، فتح‌تبار فیروزجائی؛ سمیه، موحدیان؛ علی، صالحی؛ حبیب. (۱۴۰۴). تحلیل مکانی–زمانی فرونشست زمین دشت کوهدشت با بهره‌گیری از تکنیک SBAS-InSAR و تصاویر Sentinel-1. *تاب‌آوری در برابر حوادث و سوانح*، ۳ (۱)، ۴۷-۶۲.
https://doi.org/10.22034/1.3.4

ناشر: پژوهشکده سوانح طبیعی.

© نویسندگان.

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]

مقدمه

شواهد هیدروژئولوژیکی و نتایج پژوهش‌های منطقه‌ای در استان لرستان حاکی از افت محسوس سطح ایستابی آب زیرزمینی، به همراه حساسیت بالای ژئومورفولوژیکی و شرایط خاص زمین‌شناسی مهندسی این پهنه است که زمینه‌ساز بروز پدیده فرونشست زمین شده است (Vayskarami et al., 2013; Hadipour Hafshejani et al., 2018). در این میان، دشت کوهدشت به دلیل بهره‌برداری شدید و مستمر از منابع آب زیرزمینی، وجود رخساره‌های آبرفتی نسبتاً ضخیم و تراکم‌پذیر، و تداوم فشارهای انسانی بر سامانه آبخوان، طی سال‌های اخیر با نرخ‌های قابل‌توجهی از فرونشست زمین مواجه شده و به دلیل قرارگیری شهر کوهدشت در مرکز دشت به‌عنوان یکی از پهنه‌های مستعد و بحرانی در سطح منطقه شناخته می‌شود (Geological survey and mineral explorations of Iran, 2022).

فرونشست زمین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان شناخته می‌شود و آثار قابل‌توجهی بر زیرساخت‌ها، سازه‌های عمرانی، شبکه‌های حمل‌ونقل، اراضی کشاورزی و منابع آب دارد (Bagheri Gavkosh et al., 2021؛Heidarian et al., 2025). این پدیده عمدتاً با افت سطح آب زیرزمینی و تراکم لایه‌های ریزدانه آبرفتی در پی برداشت بیش‌ازحد آب مرتبط است (Leake, 1998؛ Galloway et al., 1998). بااین‌حال، نشست زمین لزوماً به‌طور هم‌زمان با تخلیه آب زیرزمینی اتفاق نمی‌افتد، بلکه معمولاً با یک تأخیر زمانی کوتاه یا بلندمدت بروز کرده و پیامدهای اجتناب‌ناپذیر آن نمایان می‌شود. مقدار نشست زمین به ازای هر ۱۰ متر افت سطح آب زیرزمینی بین ۱۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر متغیر است و این دامنه به عواملی نظیر ضخامت و میزان تراکم لایه‌ها، مدت‌زمان بارگذاری و شرایط تنش‌های منطقه‌ای وابسته است (Khaksar et al., 2025).

در سال‌های اخیر، پدیده فرونشست زمین در بسیاری از دشت‌های ایران –ازجمله تهران، مرودشت، رفسنجان و سایر پهنه‌های مستعد– به‌طور گسترده گزارش شده است (Motagh et al., 2008; Dehghani et al., 2013; Yousefi & Talebbeydokhti, 2021). ازاین‌رو، پایش مستمر و تحلیل دوره‌ای این پدیده در مقیاس‌های محلی تا منطقه‌ای، به‌منظور مدیریت مخاطرات ژئومورفولوژیکی و برنامه‌ریزی بهینه منابع آب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این میان، داده‌های راداری ماهواره‌ای با فراهم‌سازی امکان آشکارسازی و پایش تغییر شکل سطح زمین با قدرت تفکیک زمانی بالا و دقتی در حد سانتی‌متر تا میلی‌متر، ضمن ارائه جزئیات فضایی مناسب و پوشش گسترده مناطق دوردست و صعب‌العبور (Heidarian et al., 2018)، ظرفیت قابل‌توجهی برای مطالعه این پدیده فراهم می‌کنند (Ferretti et al., 2002). بنابراین، بهره‌گیری از این داده‌ها و روش‌های پردازش سری زمانی مرتبط با آن‌ها، رویکردی کارآمد و مقرون‌به‌صرفه ازنظر زمان و هزینه محسوب می‌شود و امکان بازبینی و تحلیل دقیق الگوی فرونشست را در دشت‌های مستعد فراهم می‌سازد.

در گذشته در قالب پژوهش‌های مختلف، به‌منظور پایش زمانی و مکانی این پدیده، در کنار روش‌های کلاسیک نظیر مشاهدات میدانی، مدل‌سازی عددی، اندازه‌گیری مستقیم، گرانی‌سنجی، ترازیابی دقیق[1] و GPS[2]، به‌کارگیری تداخل‌سنجی راداری تفاضلی و به‌ویژه رویکردهای سری زمانی مانند PSI[3] و SBAS[4]، امکان بازبینی دقیق تغییرات سطحی را در مقیاس‌های زمانی–مکانی گسترده فراهم کرده است (Berardino et al., 2002; Crosetto et al., 2016; Xue et al., 2020; Du et al., 2023; Heidarian et al., 2025). افزون بر این، داده‌های Sentinel-1A/B به دلیل پوشش مکانی مناسب، تناوب بازدید بالا و دسترسی رایگان، به‌طور وسیع در پایش فرونشست در ایران و جهان استفاده می‌شوند (Morishita, 2021; Raspini et al., 2018). باتوجه‌به پژوهش‌های گذشته، پیش‌درآمد فوق و راهکارهای موجود جهت پایش حرکات پدیده‌های زمین‌شناسی

1. Leveling
2. Global Positioning System
3. Persistent Scatterer Interferometry
4. Small Baseline Subset

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]

هدف پژوهش حاضر، پایش، کمی‌سازی و تحلیل نرخ و الگوی فرونشست دشت کوهدشت در دو بازه زمانی نه‌ساله (۱۳۹۳-۱۴۰۲) و پنج‌ساله (۱۳۹۶-۱۴۰۱) با استفاده از تکنیک SBAS-InSAR[5] و داده‌های ماهواره‌ای Sentinel-1 است. به همین منظور، داده‌های گذر صعودی و نزولی پردازش شده و نرخ سالانه فرونشست در دو بازه زمانی یادشده استخراج شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند در شناخت بهتر فرایندهای زمین‌شناسی مهندسی، مدیریت منابع آب زیرزمینی و کاهش مخاطرات ناشی از فرونشست در منطقه مؤثر واقع شود.

پیشینه پژوهش

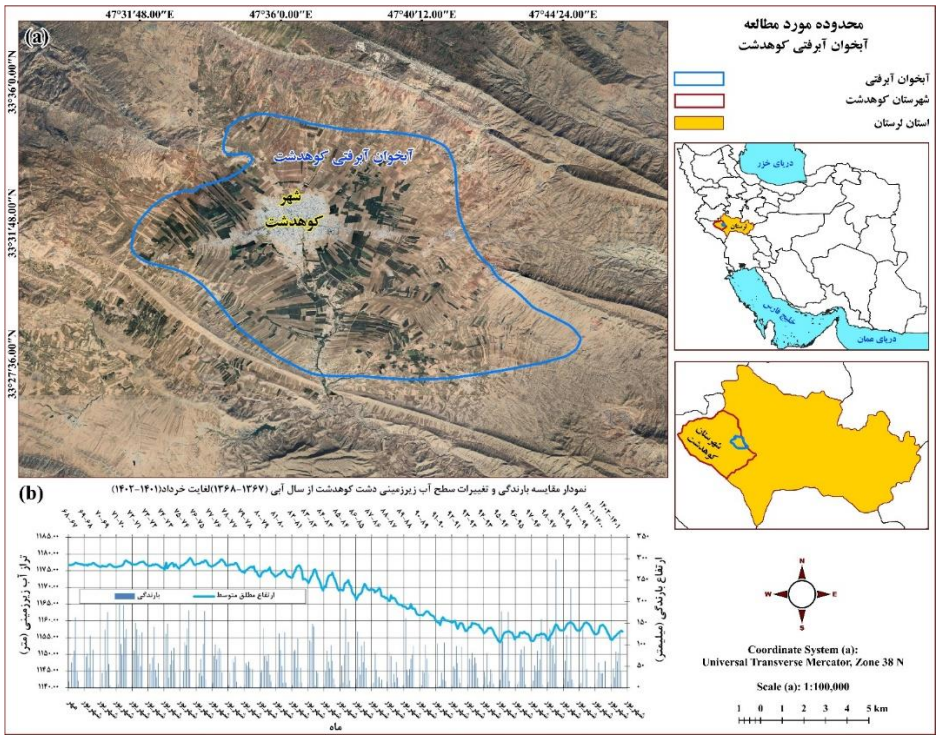
دشت کوهدشت در غرب استان لرستان و در محدوده جغرافیایی تقریبی ´۳۲ °۳۳ تا ´۳۳ °۳۵ عرض شمالی و ´۴۳ °۴۷ تا ´۵۱ °۴۷ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱a). این دشت در میان ارتفاعات زاگرس چین‌خورده قرار دارد و ازنظر زمین‌شناسی در مرز زاگرس مرتفع و زاگرس چین‌خورده جای گرفته است. آبخوان آن در یک ناودیس ساختاری میان دو تاقدیس پشت‌جنگل در شمال و هلیلان در جنوب توسعه یافته است (Hadipour Hafshejani et al., 2018). از دیدگاه لیتولوژیکی، رسوبات سطحی منطقه عمدتاً از آبرفت‌های کواترنری است (شکل ۲) که ضخامت آن‌ها در بخش‌های شمالی دشت حدود ۲۵ متر بوده و در قسمت مرکزی به حدود ۱۰۰ متر می‌رسد؛ سنگ کف منطقه نیز از سازند ناتراوای امیران تشکیل شده است (Vayskarami et al., 2013). ترکیب رسوبات شامل آبرفت‌های دانه‌ریز و درشت‌دانه، همراه با واحدهای دولومیتی، آهکی و مارنی است که نقش مهمی در رفتار هیدروژئولوژیکی آبخوان ایفا می‌کنند.

ازنظر ژئومورفولوژیکی، شیب عمومی زمین به سمت جنوب غرب بوده و جهت جریان آب زیرزمینی نیز عمدتاً همسو با این شیب است (Geological survey and mineral explorations of Iran, 2022). این محدوده در تقسیمات هیدرولوژیکی به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های رودخانه کشکان محسوب می‌شود که خود از سرشاخه‌های اصلی رودخانه کرخه در حوضه آبریز خلیج فارس است (Saffari et al., 2014). اقلیم منطقه مدیترانه‌ای با تابستان‌های خشک و زمستان‌های نسبتاً مرطوب است و میانگین بارندگی سالانه آن حدود ۵۵۷/۴ میلی‌متر گزارش شده است. تأمین آب موردنیاز منطقه تقریباً به‌طور کامل متکی بر منابع آب زیرزمینی بوده و آبخوان آبرفتی آن از نوع نامحصور با مساحت مفید حدود ۲۹۰۰۰ هکتار است. میانگین ضریب انتقال آبخوان حدود ۲۵۰ مترمربع در روز و متوسط ضریب ذخیره آن حدود ۶/۵ درصد برآورد شده است (Vayskarami et al., 2013). بهره‌برداری گسترده از این منابع طی دو دهه اخیر، به‌ویژه برای مصارف کشاورزی و شرب، موجب افت محسوس سطح ایستابی (شکل ۱b) و در پی آن بروز و تشدید فرونشست زمین، به‌ویژه در بخش‌های مرکزی و جنوب غربی دشت گردیده است (Geological survey and mineral explorations of Iran, 2022).

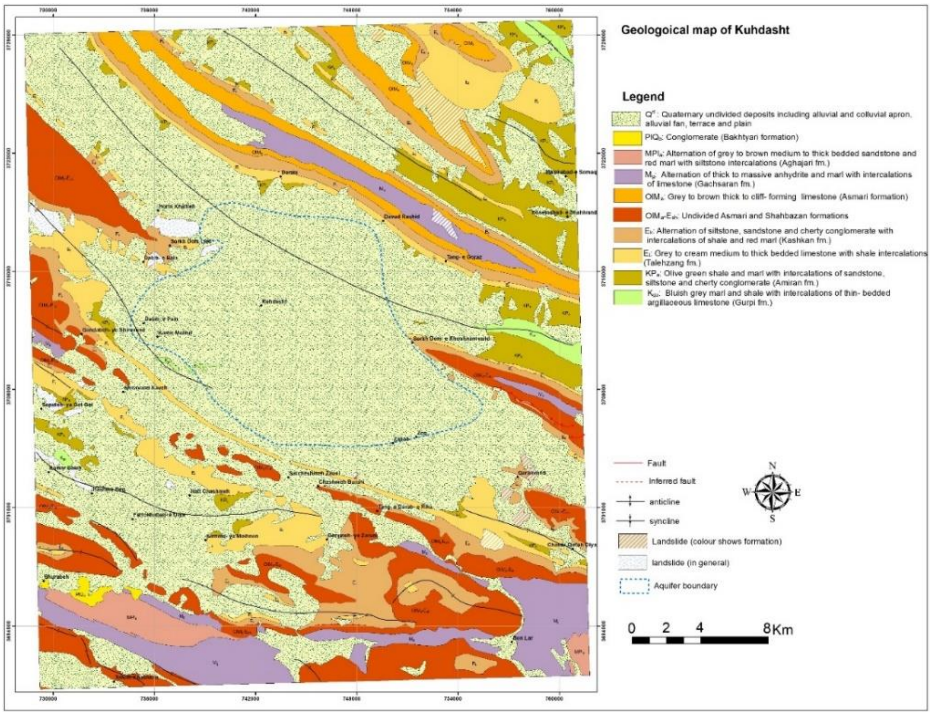
5 .Small Baseline Subset-Interferometric Synthetic Aperture Radar

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]



شکل ۱. محدوده موردمطالعه (a) و هیدروگراف واحد آب زیرزمینی (b) دشت کوهدشت



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی آبخوان کوهدشت (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور)

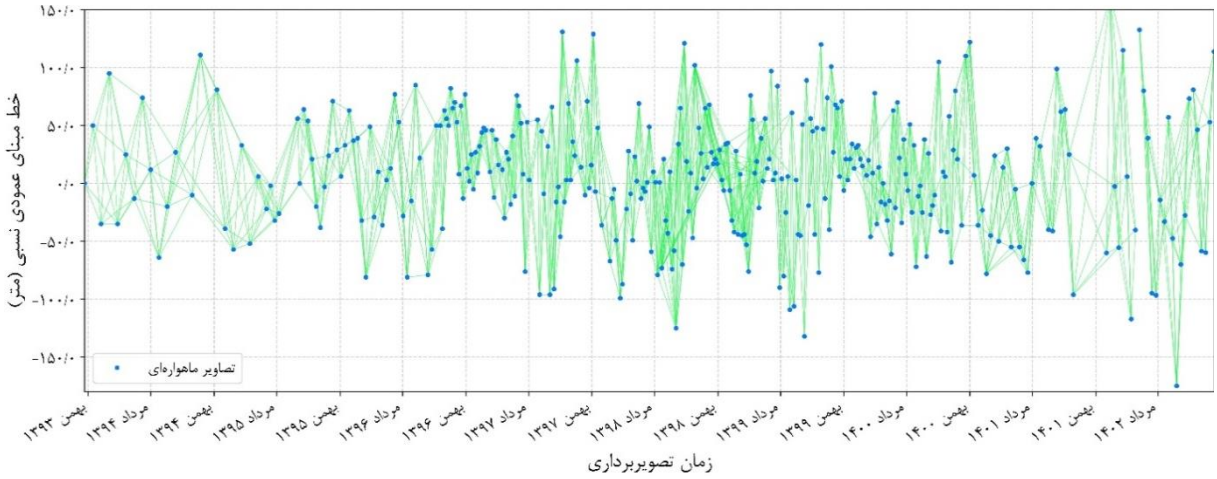
[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]

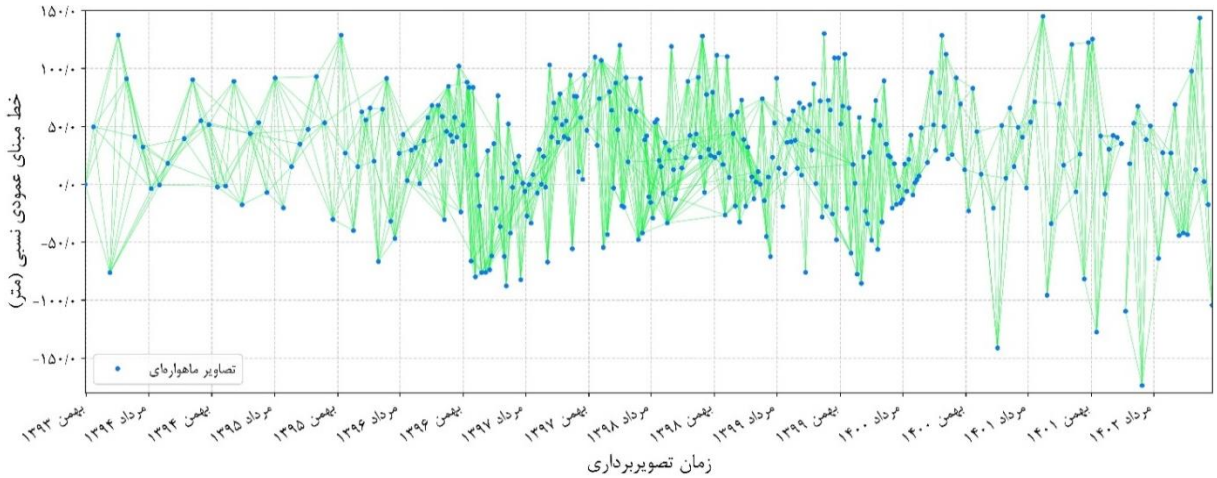
روش‌شناسی پژوهش

داده‌های ماهواره‌ای و پیش‌پردازش

داده‌های مورداستفاده در پژوهش حاضر، شامل داده‌های هواشناسی، داده‌های مربوط به پایش آب‌های زیرزمینی مانند چاه‌های پیزومتری، چاه‌های اکتشافی و چاه‌های بهره‌برداری، داده‌های زمین‌شناسی مانند نقشه‌های زمین‌شناسی و لاگ چاه‌های اکتشافی، و به‌ویژه تصاویر سار ماهواره Sentinel-1 است. برای پایش تغییرات سطح زمین از تصاویر ماهواره Sentinel-1 متعلق به آژانس فضایی اروپا (ESA) به سبب پوشش مکانی مناسب، تناوب بازدید بالا و دسترس‌پذیری، به‌طور گسترده در پایش فرونشست استفاده شد (Morishita, 2021؛ Raspini et al., 2018). به‌منظور پردازش، از هر دو گذر نزولی و صعودی ماهواره‌های Sentinel-1 A-B در دو بازه زمانی ۵ ساله (۱۴۰۱-۱۳۹۶) و ۹ ساله (۱۴۰۲-۱۳۹۳) استفاده شد. همچنین، برای گذر نزولی و صعودی تعداد ارتباط تصویر ۴ در هر بازه، به ترتیب ۲۸۵ و ۳۶۳ تصویر (۱۰۷۷ و ۱۴۷۶ تداخل‌نگار) و ۲۶۷ و ۳۶۰ تصویر (۱۰۰۱ و ۱۳۷۰ تداخل‌نگار) در نظر گرفته شده است.



شکل ۳. گراف خط مبنای کوتاه گذر صعودی برای محدوده دشت کوهدشت



شکل ٤. گراف خط مبنای کوتاه گذر نزولی برای محدوده دشت کوهدشت

روش پردازش SBAS

برای استخراج نرخ و الگوی فرونشست از تکنیک خط مبنای کوتاه[6] تداخل‌سنجی رادار دیافراگم مصنوعی[7] و تحلیل سری زمانی

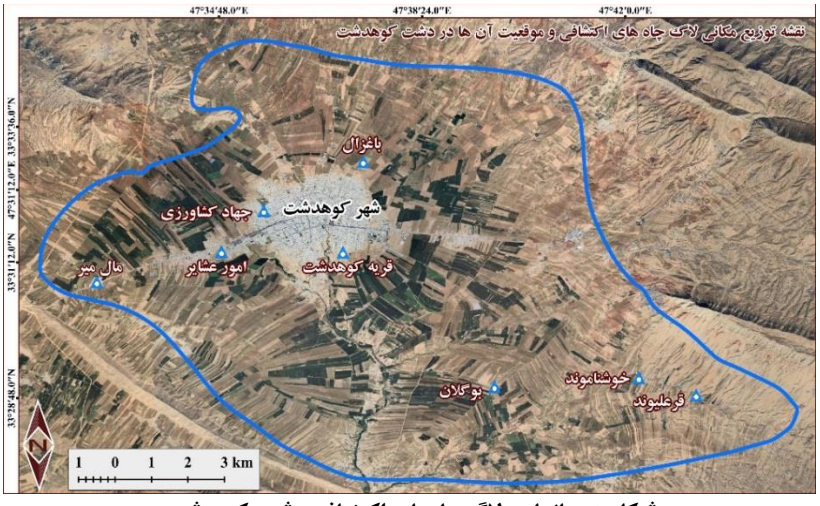
6. SBAS
7. InSAR

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]

کاربردی استفاده شد. در این روش، تصاویر با خطوط مبنای زمانی و مکانی کوتاه (شکل ۳ و ۴) انتخاب و جفت‌های تداخلی تولید می‌شوند (Xue et al., 2020؛ Berardino et al., 2002). به‌عبارت‌دیگر، در روش SBAS تنها زوج تصویری مورداستفاده قرار می‌گیرند که مؤلفه قائم خط مبنای آن‌ها کمتر از مقدار بحرانی خط مبنا باشد، همچنین خط مبنا زمانی آن‌ها نیز هم‌زمان کمینه باشد. به‌این‌ترتیب، فقط تداخل نگارهایی تشکیل می‌شوند که کیفیت مناسبی داشته باشند. پس از تشکیل این تداخل نگارها، یک شبکه از تصاویر ایجاد می‌شود، سپس با استفاده از روش کمترین مربعات، مقدار جابه‌جایی هر پیکسل تخمین زده می‌شود. در این پژوهش، پردازش داده‌ها در محیط نرم‌افزار LiCSBAS انجام شده است (Lazecký et al., ؛ Morishita et al., 2020 2020). همچنین، نمودارهای نرخ فرونشست سالانه، میزان فرونشست تجمعی سالانه و خط مبنای زمانی و مکانی برای گذرهای صعودی و نزولی با استفاده از برنامه‌نویسی پایتون[8] پیاده‌سازی شدند. مراحل اصلی پردازش شامل: (۱) تولید تداخل‌سنج‌ها، (۲) حذف نویز جوی با استفاده از داده‌های GACOS، (۳) استخراج سری زمانی جابجایی سطح زمین، و (۴) محاسبه نرخ سالانه فرونشست است (Zebker et al., 1997؛ Morishita et al., 2020؛ Xue et al., 2020) که در ادامه نتایج پیاده‌سازی این مراحل به تفصیل ارائه شده است.

داده‌های هیدروژئولوژیکی

به‌منظور تفسیر نتایج حاصل از InSAR، از داده‌های هیدروژئولوژیکی مربوط به سطح ایستابی چاه‌های مشاهده‌ای واقع در دشت کوهدشت استفاده شد (شکل ۱b). این داده‌ها توسط شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان گردآوری شده و تغییرات سطح ایستابی طی بازه زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۲ را نشان می‌دهند. علاوه بر این، لاگ چاه‌های اکتشافی (پراکندگی مکانی آن‌ها در شکل ۵ آورده شده است)، نقشه‌های زمین‌شناسی و لیتولوژی منطقه (شکل ۲) برای بررسی ارتباط میان الگوهای مکانی فرونشست و ویژگی‌های زمین‌شناسی مورداستفاده قرار گرفتند. برای بررسی لایه‌بندی زمین‌شناسی رسوبات تشکیل‌دهنده آبخوان دشت کوهدشت و ارزیابی تعامل بین لایه‌های رسوبات، ویژگی‌های آبخوان و میزان نشست اتفاق افتاده در دشت، لاگ چاه‌های اکتشافی موجود در منطقه در نظر گرفته شد. برای این کار، تعداد ۶ لاگ حفاری در دشت کوهدشت با استفاده از داده‌های حفاری چاه‌های اکتشافی (باغزال، مال میر، قریه کوهدشت، بوگلان، خوشناموند، قرعلیوند، امور عشایر و جهاد کشاورزی) ترسیم شد که دو نمونه آن‌ها، یعنی باغزال و قرعلیوند در ادامه آورده شده‌اند (شکل ۶).



شکل ۵. جانمایی لاگ چاه‌های اکتشافی دشت کوهدشت

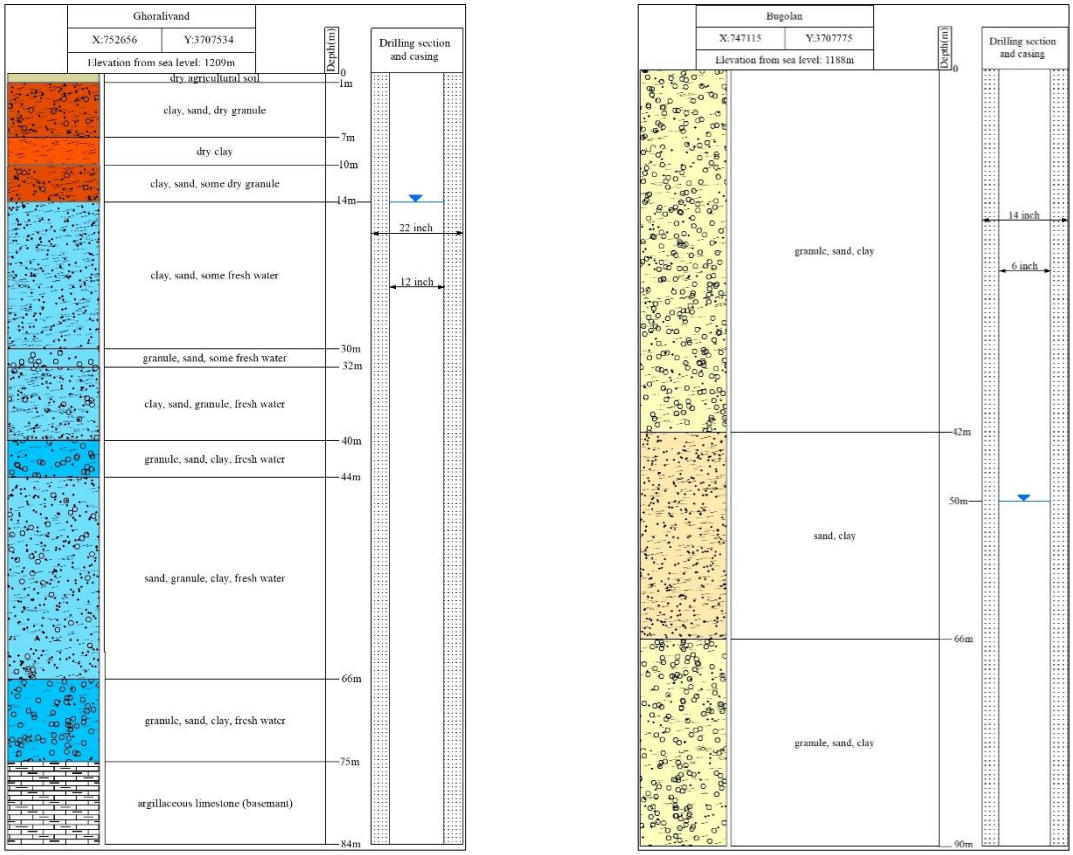
ارزیابی دقت

به‌منظور ارزیابی کیفیت نتایج SBAS، نسبت سیگنال به نویز[9] و انسجام[10] تصاویر موردبررسی قرار گرفت و پیکسل‌های دارای

8. Python
9. SNR

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]

انسجام کمتر از ۰/۳ حذف شدند. همچنین، نتایج حاصل از پردازش گذر صعودی و نزولی با یکدیگر مقایسه و درنهایت نقشه تلفیقی نرخ فرونشست تهیه شد. این نقشه‌ها نشان‌دهنده توزیع مکانی دقیق نشست زمین در دشت کوهدشت طی دو بازه زمانی پنج‌ساله و نه‌ساله هستند.



شکل ٦. نمونه لاگ چاه‌های اکتشافی دشت کوهدشت، لاگ چاه بوگلان (سمت راست) و لاگ چاه قرعلیوند (سمت چپ)

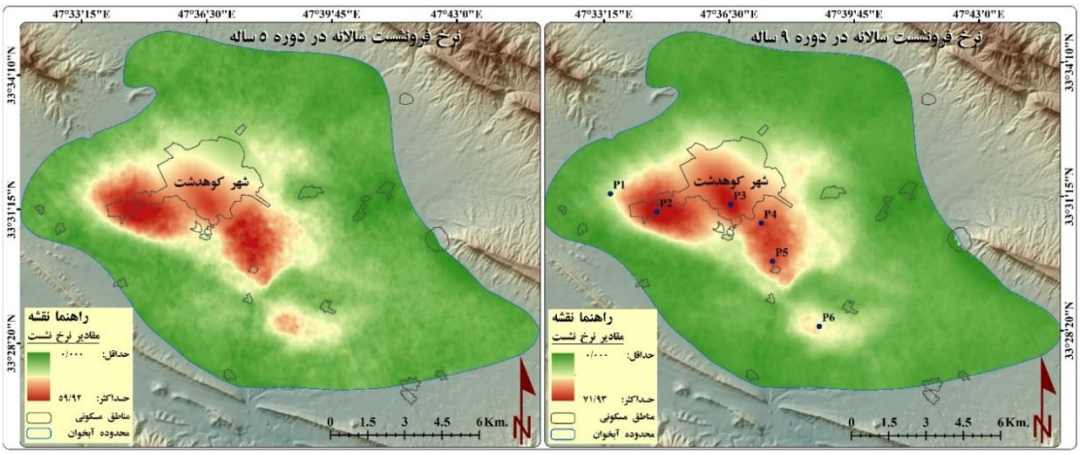
یافته‌های پژوهش

نتایج پایش سری زمانی میزان فرونشست در دشت کوهدشت گویای این است که بیشترین میزان نرخ نشست سالانه در دو بازه ۵ و ۹ ساله (گذر نزولی؛ گذر صعودی) برای دشت کوهدشت، به ترتیب ۴۸/۱- ؛ ۴۹/۱- و ۴۷/۹- ؛ ۵۷/۹- میلی‌متر در سال است. حاصل تلفیق دو گذر برای بازه‌های یادشده، ۵۹/۹- و ۷۱/۹- میلی‌متر در سال است (شکل ۷) (جدول ۱). باتوجه‌به اینکه بازه نه‌ساله دوره زمانی طولانی‌تری را پوشش می‌دهد، در ادامه نتایج این بازه به‌عنوان مبنای اصلی تجزیه‌وتحلیل در نظر گرفته می‌شود که میزان فرونشست میانگین سالانه از صفر تا ۷۱/۹ میلی‌متر در سطح دشت کوهدشت را نشان می‌دهد و میزان نشست تجمعی سالانه در جدول ۲ آورده شده است.

10. Coherence

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]



شکل ۷. نقشه نرخ فرونشست سالانه دشت کوهدشت در بازه ۵ ساله (تلفیق دو گذر) (سمت چپ)، نقشه نرخ فرونشست سالانه دشت کوهدشت در بازه ۹ ساله (تلفیق دو گذر) (سمت راست)

جدول ۱. بیشترین نرخ نشست سالانه زمین در دشت کوهدشت در دو بازه ۵ و ۹ ساله و دو گذر صعودی و نزولی

نرخ نشست در بازه ۹ ساله		نرخ نشست در بازه ۵ ساله	
گذر صعودی	گذر نزولی	گذر صعودی	گذر نزولی
-۵۷/۹	-۴۷/۹	-۴۹/۱	-۴۸/۱
تلفیق نرخ نشست دو گذر		تلفیق نرخ نشست دو گذر	
-۷۱/۹		-۵۹/۹	

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان نشست در محدوده مرکز، غرب و جنوب غرب دشت و به عبارتی در تمام بخش‌های شهر کوهدشت، به‌ویژه قسمت‌های جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب آن رخ داده است که این می‌تواند یک هشدار بسیار مهم برای مسئولین امر در حوزه امور شهری و مدیریت منابع آب، کشاورزی و منابع طبیعی باشد. همچنین، در محدوده جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب روستای بوگلان فرونشست دیده می‌شود. شایان توجه است که متوسط نرخ نشست سالانه در بازه ۹ ساله به میزان ۱۲ میلی‌متر در سال بیشتر از بازه ۵ ساله است که حاکی از روند نشست سریع‌تر زمین در سال‌های قبل از دی‌ماه ۱۳۹۶ است.

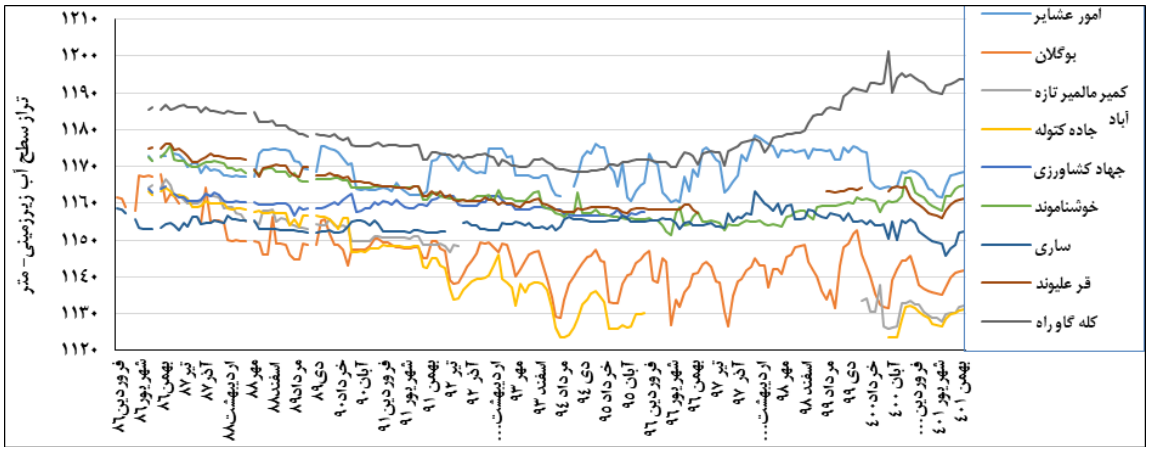
جدول ۲. میزان فرونشست تجمعی سالانه در شش نقطه و دو پیزومتر منتخب (در مناطق با حداکثر فرونشست) طی دوره ۱۴۰۲-۱۳۹۳، سال بیشینه مقدار فرونشست در هر نقطه با رنگ قرمز مشخص شده است.

	نقطهP1	نقطهP2	نقطهP3	نقطهP4	نقطهP5	نقطهP6	پیزومتر امور-عشایر	پیزومتر ساری
۹۴-۱۳۹۳	-۱۸/۷۰	-۱۶۰/۹۵	-۱۵۱/۰۲	**-۱۱۸/۹۸**	-۹۷/۱۵	-۴۳/۲۶	**-۱۴۸/۵۳**	۲/۶۶
۹۵-۱۳۹۴	-۲۶/۷۴	-۹۹/۰۲	-۹۳/۶۷	-۶۳/۶۳	-۶۵/۰۵	-۲۲/۷۰	-۱۰۱/۵۱	-۱۷/۶۷
۹۶-۱۳۹۵	**-۳۷/۱۹**	**-۱۱۴/۲۳**	**-۱۵۲/۵۴**	-۱۱۰/۳۹	**-۱۱۵/۵۵**	**-۶۶/۱۴**	-۱۰۷/۰۸	**-۴۳/۶۷**
۹۷-۱۳۹۶	-۳۰/۰۰	-۷۹/۱۳	-۹۲/۵۱	-۶۵/۶۲	-۵۸/۱۸	-۴۳/۶۸	-۶۹/۹۹	-۲۶/۲۷
۹۸-۱۳۹۷	-۳۵/۱۰	-۵۳/۸۷	-۲۷/۹۹	-۲۰/۰۶	-۱۹/۰۳	-۱۹/۲۸	-۴۱/۳۳	-۴/۶۸
۹۹-۱۳۹۸	-۱۹/۸۴	-۳۹/۱۲	-۳۱/۷۷	-۴۵/۴۸	-۴۸/۱۴	-۳۸/۵۳	-۳۶/۴۱	-۱۹/۰۰
۰۰-۱۳۹۹	-۱۷/۶۰	-۵۱/۵۵	-۴۷/۳۱	-۵۴/۲۲	-۵۷/۰۸	-۲۴/۶۶	-۵۳/۱۶	-۲۲/۲۴
۰۱-۱۴۰۰	-۲۵/۱۹	-۴۴/۸۷	-۴۲/۹۷	-۵۶/۱۸	-۹۳/۵۸	-۲۱/۱۶	-۴۲/۱۱	-۴۱/۲۳
۰۲-۱۴۰۱	-۳۰/۶۴	-۱۰۱/۶۲	-۱۱۰/۶۴	-۶۷/۱۴	-۳۲/۷۴	-۵۱/۵۴	-۹۱/۱۶	-۱۲/۰۷
نشست تجمعی کل دوره	**-۲۴۷/۴۹**	**-۷۵۱/۹۳**	**-۷۵۲/۸۰**	**-۶۱۴/۴۲**	**-۵۹۰/۶۶**	**-۳۳۹/۰۷**	**-۶۹۸/۱۰**	**-۱۸۵/۱۷**

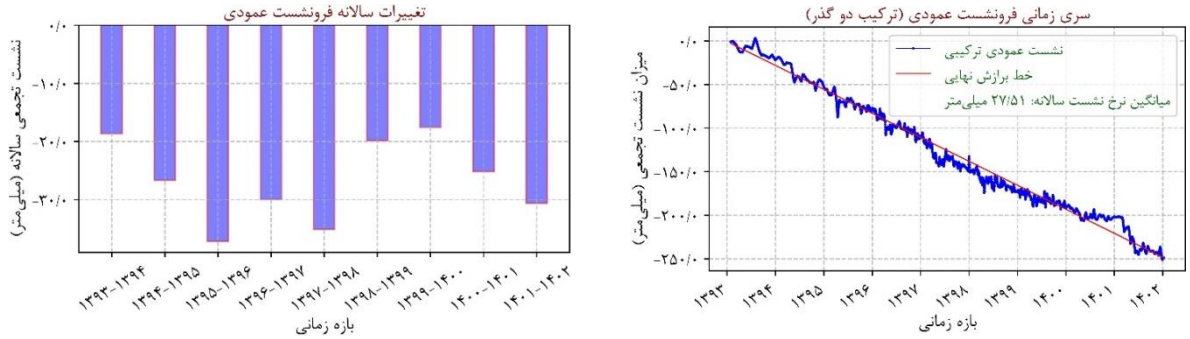
[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]

بررسی سری زمانی نشست زمین و ارتباط آن با افت سطح ایستابی

بر اساس داده‌های ارائه‌شده در جدول ۲ و نمودارهای نرخ نشست سالانه (شکل‌های ۹ تا ۱۸) در بازه نه‌ساله –که موقعیت مکانی نقاط منتخب در شکل ۷ نمایش داده شده است– بیشینه نشست تجمعی به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۹۵–۱۳۹۶ و ۱۳۹۳–۱۳۹۴ است. مقدار نشست تجمعی در این سال‌ها در نقاط منتخب، از ۴۳/۴۷– میلی‌متر در محدوده پیزومتر ساری تا ۱۵۲/۵۴– میلی‌متر در نقطه P3 متغیر بوده است که بیانگر شدت قابل‌توجه تغییر شکل سطح زمین در این دوره‌ها است. علاوه بر این، در اغلب نقاط منتخب و نیز در محدوده دو پیزومتر ساری و امور عشایر، بازه زمانی ۱۴۰۰–۱۴۰۲ نیز مقادیر بالایی از نشست تجمعی را نشان می‌دهد. این روند با الگوی افت سطح ایستابی در نمودار مقایسه هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای (شکل ۸) همخوانی معناداری دارد؛ به‌گونه‌ای که در سال‌های ۱۳۹۳–۱۳۹۴، ۱۳۹۵–۱۳۹۶ و ۱۴۰۰–۱۴۰۲ افت محسوس سطح آب زیرزمینی به‌وضوح قابل‌مشاهده است. برای نمونه، در محدوده پیزومتر امور–عشایر طی بازه‌های ۱۳۹۳–۱۳۹۴ و ۱۳۹۵–۱۳۹۶ افت سطح ایستابی در حدود ۱۰ متر ثبت شده که با میزان بالای نشست تجمعی در همان سال‌ها تطابق دارد و نشان‌دهنده ارتباط مستقیم میان افت تراز آب و تشدید فرونشست است. در مقابل، در محدوده پیزومتر ساری بیشترین افت سطح ایستابی در بازه ۱۳۹۸–۱۴۰۲ مشاهده می‌شود که با افزایش میزان فرونشست تجمعی در همین دوره هماهنگ است. بااین‌حال، بیشینه نشست تجمعی در این محدوده (مطابق شکل‌های ۱۷ و ۱۸) مربوط به سال ۱۳۹۵–۱۳۹۶ است که لزوماً با افت سطح ایستابی همان سال انطباق کامل ندارد. این عدم هم‌زمانی می‌تواند ناشی از پدیده نشست تأخیری پس از تخلیه آب زیرزمینی[11] (Chen et al., 2007) و یا تأثیر سایر عوامل محیطی و ژئوتکنیکی مؤثر بر رفتار تراکمی لایه‌های آبرفتی باشد.



شکل ۸. نمودار مقایسه هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای مناطق مختلف کوهدشت

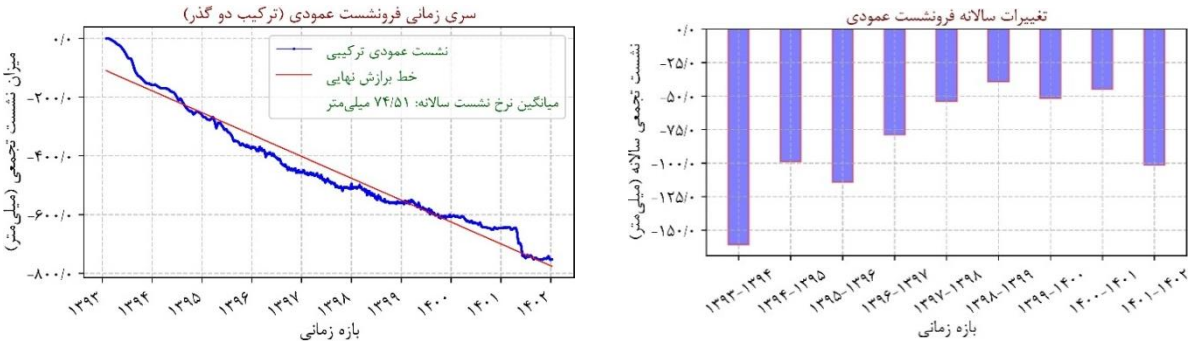


شکل ۹. نمودار نقاط نمونه (P1) نرخ نشست در دشت کوهدشت در بازه ۹ ساله (سمت چپ) و فرونشست تجمعی سالانه (سمت راست)

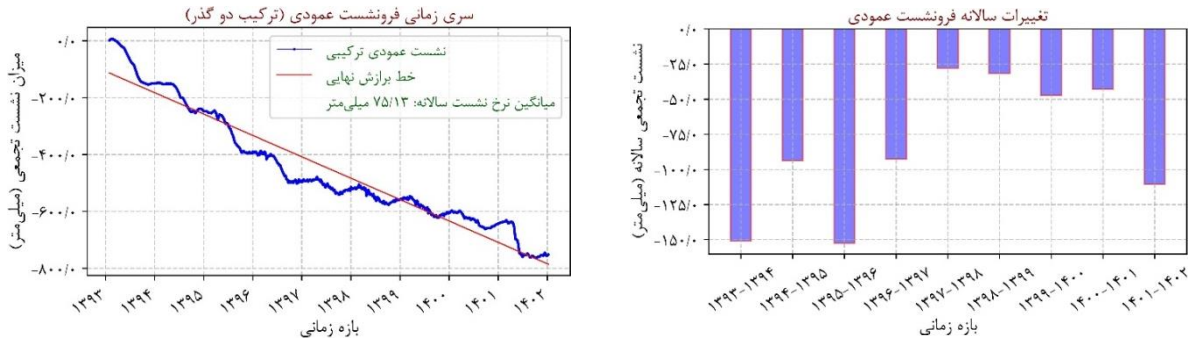
11. Post-pumping Subsidence

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]

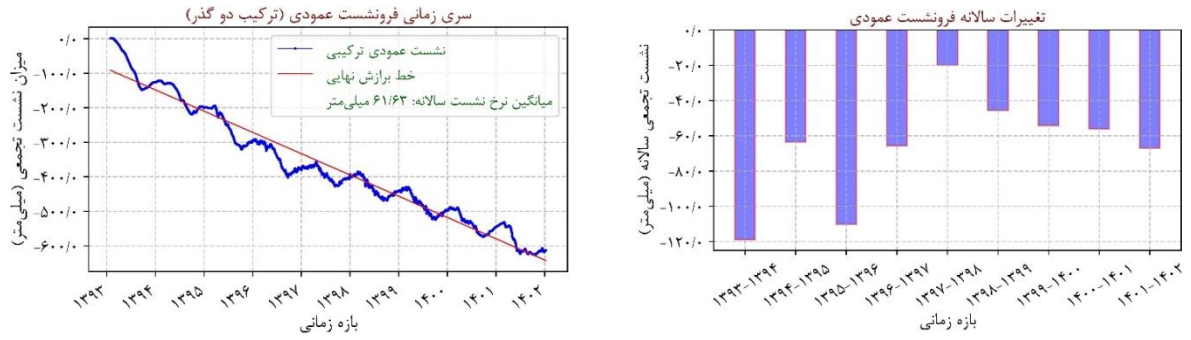
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]



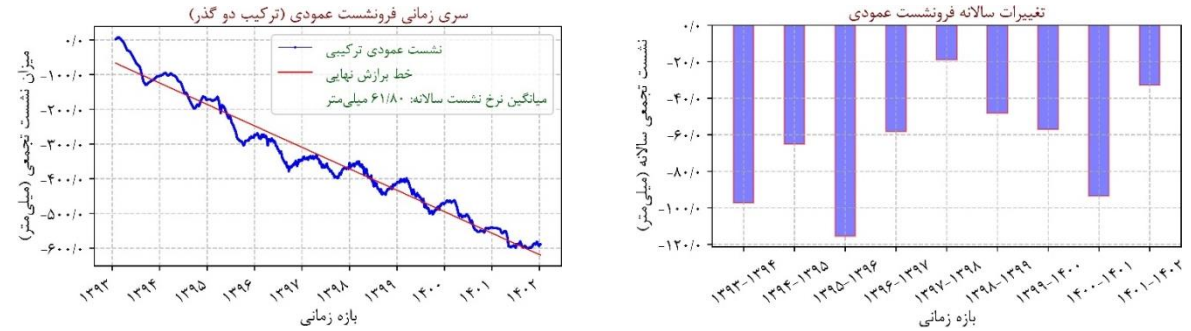
شکل ۱۰. نمودار نقاط نمونه (P2) نرخ نشست در دشت کوهدشت در بازه ۹ ساله (سمت چپ) و فرونشست تجمعی سالانه (سمت راست)



شکل ۱۱. نمودار نقاط نمونه (P3) نرخ نشست در دشت کوهدشت در بازه ۹ ساله (سمت چپ) و فرونشست تجمعی سالانه (سمت راست)



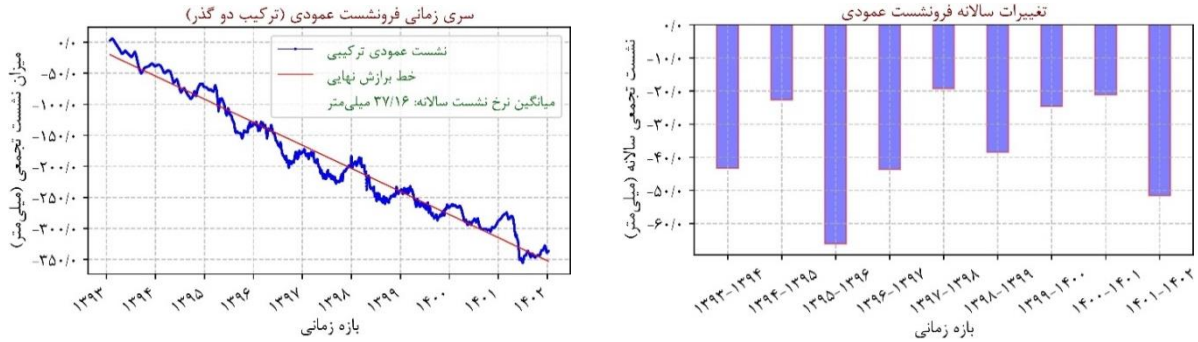
شکل ۱۲. نمودار نقاط نمونه (P4) نرخ نشست در دشت کوهدشت در بازه ۹ ساله (سمت چپ) و فرونشست تجمعی سالانه (سمت راست)



شکل ۱۳. نمودار نقاط نمونه (P5) نرخ نشست در دشت کوهدشت در بازه ۹ ساله (سمت راست) و ۵ ساله (سمت چپ)

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]



شکل ۱۴. نمودار نقاط نمونه (P6) نرخ نشست در دشت کوهدشت در بازه ۹ ساله (سمت راست) و ۵ ساله (سمت چپ)

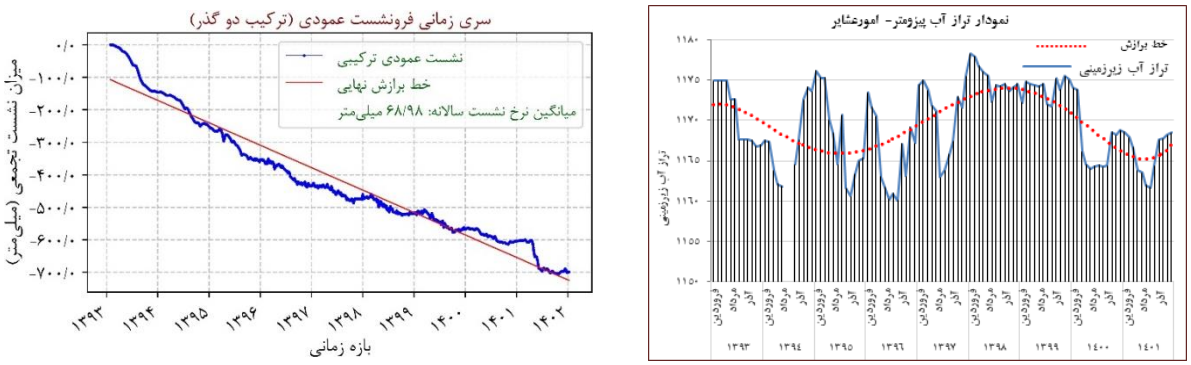
بحث

نتایج به‌دست‌آمده از پردازش داده‌های Sentinel-1 با استفاده از تکنیک SBAS نشان‌دهنده وجود یک الگوی مکانی مشخص و پایدار فرونشست در دشت کوهدشت است؛ به‌طوری‌که بیشترین نرخ نشست در بخش‌های جنوبی، غربی و جنوب غربی دشت رخ داده و این نواحی دارای بیشترین ضخامت رسوبات آبرفتی، تراکم‌پذیری بالا و افت سطح آب زیرزمینی شدید هستند. در آبخوان کوهدشت، از سمت جنوب شرق و شرق محدوده نشست به سمت غرب از روند نوسانی نرخ نشست زمین کاسته شده و در منتهاالیه بخش غربی به یک روند نزولی بدون نوسان نزدیک می‌شود که می‌تواند تابعی از تغییرات فصلی تغذیه و تخلیه آبخوان باشد. این الگوی تغییر تدریجی روند نوسانی به روند غیر نوسانی (از شرق به غرب) تا حد زیادی گویای ریزدانه‌تر شدن جنس لایه‌های تشکیل‌دهنده در بخش غربی منطقه نشست است که شاهد این تحلیل، لاگ چاه‌های پیزومتری امور-عشایر و جهاد کشاورزی است. به‌طوری‌که بر اساس لاگ پیزومتر امور-عشایر و جهاد کشاورزی، محدوده آن‌ها به ترتیب تا عمق ۵۷/۳ و ۳۸ متر از جنس رس (۱۰۰ درصد) تشکیل یافته و بر اساس ویژگی‌های تراکم‌پذیری و ضریب نگهداشت آن، نشست صورت‌گرفته در این لایه‌ها غیرقابل‌بازگشت است (Chen et al., 2007؛ Motagh et al., 2017). درنتیجه در این مناطق شاهد روند نشست تقریباً بدون نوسان هستیم. اما در مناطق دارای نوسان فصلی (شرق و جنوب شرق محدوده نشست)، پیزومترهای بوگلان و قریه کوهدشت بیان‌کننده شکل‌گیری آبخوان از مواد درشت دانه‌تر (شن و گراول) است که به نوبه خود نه‌تنها شرایط روند نوسانی را در این محدوده‌ها ایجاد کرده‌اند، بلکه درنتیجه فرایند آبشست دانه‌های رس و تخلیه آن‌ها به همراه استخراج آب، روند نشست زمین تسریع می‌گردد.

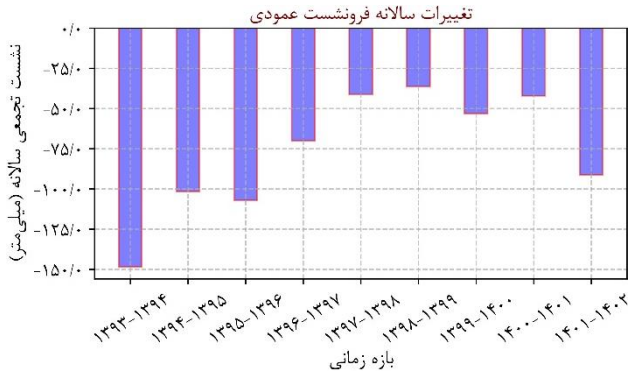
در آبخوان کوهدشت، نواحی فرونشست با پراکنش و تراکم چاه‌ها همخوان است؛ عمیق‌ترین و پرمصرف‌ترین چاه‌های عمدتاً کشاورزی در مرکز دشت با هم‌پوشانی مخروط‌های افت، یک پهنه زهکشی بزرگ ایجاد کرده‌اند. هیدروگراف پیزومترهای نزدیک به فرونشست مانند امور عشایر (شکل ۱۵)، جهاد کشاورزی (خشک‌شده در سال‌های اخیر)، جاده کتوله و مالمیر، کاهش یا نوسان شدید سطح آب را نشان می‌دهد. درحالی‌که، با افزایش فاصله از محدوده فرونشست، این افت کمتر شده و در نقاط دورتر مانند منطقه "کله گاو راه" در بخش شمالی دشت روند افزایشی دیده می‌شود (شکل ۸). بنابراین، فرونشست دشت کوهدشت مستقیماً با بهره‌برداری بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی مرتبط است و علاوه بر افت هم‌زمان سطح ایستابی در سال‌های مطالعه، می‌تواند برآیند افت‌های غیرهم‌زمان سال‌های پیشتر نیز باشد.

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]

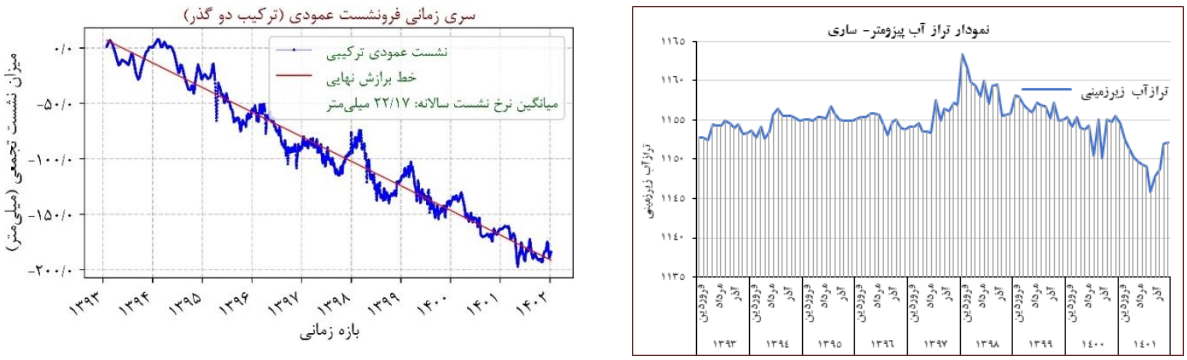
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]



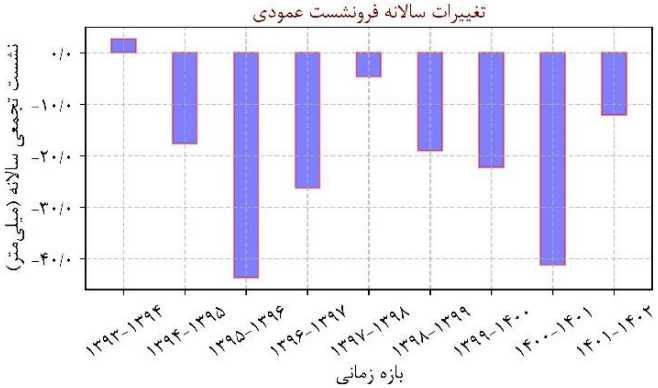
شکل ۱۵. نمودار تراز آب زیرزمینی (سمت راست) و نرخ نشست (سمت چپ) در محدوده پیزومتر امور عشایر



شکل ۱۶. نمودار نرخ نشست تجمعی سالانه در محدوده پیزومتر امور عشایر



شکل ۱۷. نمودار تراز آب زیرزمینی (سمت راست) و نرخ نشست (سمت چپ) در محدوده پیزومتر ساری



شکل ۱۸. نمودار نرخ نشست تجمعی سالانه در محدوده پیزومتر ساری

در ادامه، به‌منظور بررسی شواهد سطحی احتمالی ناشی از فرونشست زمین، با هماهنگی‌های انجام‌شده و همراهی کارشناسان

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]

سازمان آب و فاضلاب شهرستان کوهدشت از چاه‌ها و محل‌هایی که قبلاً گزارش لوله‌زایی و ترک‌خوردگی ساختمان‌های مسکونی و اداری آن‌ها در سطح شهر داده شده بود، بازدید به عمل آمد. همچنین از تعدادی از زمین‌های کشاورزی و چاه‌های بهره‌برداری منطقه نیز بازدید صورت گرفت. ترک‌های کششی زیادی در بخش‌های مرکزی و شرقی شهر مشاهده و گزارش شد که بیشتر ترک‌ها در یک راستا و بازشدگی آن‌ها گاهاً تا چند سانتی‌متر نیز مشاهده شد، به‌طوری‌که در بیشتر منازل باوجود پر کردن ترک‌ها با سیمان، مجدد در محل قبلی ترک‌خوردگی ایجاد شده است. اگرچه گسترش این ترک‌خوردگی‌ها در بخش‌های جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق شهر مشهودتر هستند (شکل ۲۰)، اما هیچ نوع آثار یا گزارشی از ایجاد فروچاله در دشت کوهدشت تاکنون به ارگان‌های دولتی گزارش نشده است و در سطح شهر نیز چیزی مشاهده نگردید. اما در بخش شمالی جاده کوهدشت-زانوگه (روستای اکبرآباد) دهانه چاه کشاورزی هم‌زمان با لوله‌زایی نشست کرده و می‌توان گفت فروچاله کم‌عمقی ایجاد کرده است (شکل ۱۹).



شکل ۱۹. شواهد لوله‌زایی در چاه‌های تأمین آب شرب شهری (چاه شماره ۱۰ شهر کوهدشت با عمق ۶۰ متر) و چاه کشاورزی واقع در غربی و مرکزی دشت



شکل ۲۰. نشست پایه و گسیختگی ساختمان ورودی اداره راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای شهر کوهدشت

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که آبخوان کوهدشت یک آبخوان بسته است و تبادل قابل‌توجهی با آبخوان‌های مجاور ندارد. هیدروگراف واحد دشت افتی حدود ۲۰ تا ۲۵ متر را از سال ۱۳۶۸ تاکنون نشان می‌دهد و این روند در دهه اخیر تشدید شده است. کاهش بارش‌ها و افزایش برداشت، به‌ویژه برای کشاورزی (و در مرتبه بعد شهری و صنعتی)، مهم‌ترین علل افت سطح آب زیرزمینی‌اند. بیشترین نشست به میزان ۷۱/۹- میلی‌متر در سال در پهنه مرکزی دشت و شهر کوهدشت (بخش‌های جنوب، جنوب شرق، جنوب غرب و مرکز) رخ داده و با تراکم و عمق چاه‌ها همخوانی مستقیم دارد. هم‌پوشانی مخروط‌های افت چاه‌های عمدتاً کشاورزی یک ناحیه تخلیه وسیع در مرکز آبخوان ساخته است. ریزدانگی رسوبات مرکزی و توالی لایه‌های ریز و درشت‌دانه در غرب دشت نیز با نتایج هیدروژئولوژی و دورسنجی هم‌راستا است.

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]

هیدروگراف پیزومترهای منتخب، ارتباط مستقیم افت تراز آب زیرزمینی با فرونشست را تأیید می‌کند. در ایستگاه‌های نزدیک به پهنه‌های نشست (امور عشایر، جهاد کشاورزی، جاده کتوله) افت یا نوسان شدید سطح آب‌دیده می‌شود، اما با فاصله گرفتن، میزان افت کاهش یافته و در نقاط دورتر مانند خوشنامونده و کله‌گاوراه روند افزایشی ثبت شده است.

بر اساس شواهد موجود، فرونشست دشت کوهدشت در حال حاضر وارد مرحله بلوغ شده و ارتباط مستقیمی با برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و تحکیم تدریجی لایه‌های رسی آبخوان دارد. تناوب لایه‌های رسی، ماسه‌ای و گراولی که شرایط زهکشی و تحکیم تدریجی را تسهیل می‌کند، در کنار وجود بستر آهکی، ازجمله عوامل زمین‌شناسی مؤثر در تشدید و تداوم این پدیده به شمار می‌روند. باتوجه‌به اینکه بخش عمده مصرف آب در این دشت به مصارف کشاورزی و تا حدودی شهری و صنعتی اختصاص دارد، و با در نظر گرفتن نتایج مطالعات اخیر، اتخاذ راهبردهای مدیریتی فوری و هدفمند به‌منظور کنترل و کاهش مخاطرات احتمالی ضروری است. ازجمله پیامدهای بالقوه می‌توان به تهدید معیشت ساکنان محلی به دلیل وابستگی بالا به فعالیت‌های کشاورزی و نیز خطر آسیب به زیرساخت‌های مسکونی، اداری و خدماتی اشاره کرد که جبران آن‌ها مستلزم هزینه‌های اقتصادی سنگین خواهد بود. به این منظور، برنامه‌ریزی اصولی برای کاهش فشار بر آبخوان، از طریق مدیریت و کاهش برداشت آب زیرزمینی، جایگزینی محصولات کشاورزی با گونه‌های کم‌آب‌بر، بهینه‌سازی الگوی کشت، و توسعه صنایع با نیاز آبی حداقلی، امری اجتناب‌ناپذیر است. در غیر این صورت، تداوم روند کنونی می‌تواند به تشدید نرخ فرونشست، گسترش پهنه‌های درگیر و بروز مشکلات فزاینده زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی در سال‌های آتی منجر شود.

تقدیر و تشکر

نگارندگان این مقاله از همکاری و پشتیبانی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به‌ویژه مرکز لرستان و شرکت آب منطقه‌ای این استان که در پیشبرد اهداف این مطالعه سهیم بوده‌اند، قدردانی می‌نمایند.

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]

References

Geological Survey and mineral explorations of Iran. (2022). Geological map of Khorramabad sheet (1:100,000 scale). Geological survey and mineral explorations of Iran, Tehran. (in Persian)

Saffari, A., Ramasht, M. H., & Hatamifard, R. (2014). Explanation of paleohydrogeomorphological changes in the Kouhdasht region. *Applied Researches in Geographical Sciences*, 14(33), 51–74. (in Persian)

Bagheri-Gavkosh, M., Hosseini, S. M., Ataie-Ashtiani, B., Sohani, Y., Ebrahimian, H., Morovat, F., & Ashrafi, S. (2021). Land subsidence: A global challenge. *Science of The Total Environment*, 778, 146193.

Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., & Sansosti, E. (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms (SBAS). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(11), 2375–2383.

Chen, C. T., Hu, J. C., Lu, C. Y., Lee, J. C., & Chan, Y. C. (2007). Thirty-year land elevation changes from subsidence to uplift following the termination of groundwater pumping and its geological implications in the Metropolitan Taipei Basin, Northern Taiwan. *Engineering Geology*, 95(1-2), 30-47.

Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthéry, N., & Crippa, B. (2016). Persistent scatterer interferometry: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 78-89.

Dehghani, M., Zoej, M. J. V., Hooper, A., Hanssen, R. F., Entezam, I., & Saatchi, S. (2013). Hybrid conventional and persistent scatterer SAR interferometry for land subsidence monitoring in the Tehran Basin, Iran. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 79, 157–170.

Du, Q., Chen, D., Li, G., Cao, Y., Zhou, Y., Chai, M., ... & Li, C. (2023). Preliminary Study on InSAR-Based Uplift or Subsidence Monitoring and Stability Evaluation of Ground Surface in the Permafrost Zone of the Qinghai–Tibet Engineering Corridor, China. *Remote Sensing*, 15(15), 3728.

Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2002). Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 38(5), 2202-2212.

Galloway, D. L., Hudnut, K. W., Ingebritsen, S. E., Phillips, S. P., Peltzer, G., Rogez, F., & Rosen, P. A.; "Detection of aquifer-system compaction and land subsidence using interferometric SAR, Antelope Valley, California", *Water Resources Research*, 34(10), 2573–2585, 1998.

Hadipour Hafshejani, Z., Nassery, H., & Alijani, F. (2018). The Hydrogeochemical processes of Kuhdasht aquifer. *Hydrogeology*, *3*(1), 32-46. (In Persian)

Heidarian, P., Azhdari, A., Joudaki, M., Khatooni, J. D., & Firoozjaei, S. F. (2018). Integrating remote sensing, GIS, and sedimentology techniques for identifying dust storm sources: a case study in Khuzestan, Iran. *Journal of the Indian Society of remote sensing*, *46*(7), 1113-1124.

Heidarian, P., Antezana Lopez, F. P., Tan, Y., Fathtabar Firozjaee, S., Yousefi, T., Salehi, H., ... & Shahbazi, R. (2025). Deep Learning and Transformer Models for Groundwater Level Prediction in the Marvdasht Plain: Protecting UNESCO Heritage Sites—Persepolis and Naqsh-e Rustam. *Remote Sensing*, 17(14), 2532.

Khaksar, A., Shoaei, G., Ghaedi Vanani, A. (2025). Spatial assessment of land subsidence in the Sefid Dasht plain using a one-dimensional consolidation model and hydrogeological data. *Natural Disasters*, 1 (2): 43-54. (in Persian)

Lazecký, M., Spaans, K., González, P. J., Maghsoudi, Y., Morishita, Y., Albino, F., … & Wright, T. J. (2020). LiCSAR: An automatic InSAR tool for measuring and monitoring tectonic and volcanic activity. *Remote Sensing*, 12(15), 2430.

Leake, S. A. (1990). Interbed storage changes and compaction in models of regional groundwater flow. *Water Resources Research*, 26(9), 1939–1950.

Motagh, M., Shamshiri, R., Haghighi, M.H., Wetzel, H.U., Akbari, B., Nahavandchi, H., Roessner, S. and Arabi, S. (2017). Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan plain, southeastern Iran, using InSAR time-series and in situ measurements. *Engineering geology*,

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]

218,134-151.
Motagh, M., Walter, T. R., Sharifi, M. A., Fielding, E., Schenk, A., Anderssohn, J., & Zschau, J. (2008). Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation. *Geophysical Research Letters*, 35(16).
Morishita, Y. (2021). Nationwide urban ground deformation monitoring in Japan using Sentinel-1 LiCSAR products and LiCSBAS. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8(1), 1–23.
Morishita, Y., Lazecky, M., Wright, T. J., Weiss, J. R., Elliott, J. R., & 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.
Raspini, F., Bianchini, S., Ciampalini, A., Del Soldato, M., Solari, L., Novali, F., … & Casagli, N. (2018). Continuous, semi-automatic monitoring of ground deformation using Sentinel-1 satellites. *Scientific Reports*, 8(1), 7253.
Vayskarami, I., Payamani, K., Shahkarami, A., Sepahvand, A. (2013). The Effects of Water spreading on Groundwater Resources in Kohdasht Plain. *JWSS*, 17 (65) :153-160. (in Persian)
Xue, F., Liu, X., Ding, F., & Ye, Y. (2020). A review of time-series interferometric SAR techniques: A tutorial for surface deformation analysis. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 8(1), 22–42.
Yousefi, R., & Talebbeydokhti, N. (2021). Subsidence monitoring by integration of time series analysis from different SAR images… in Tehran, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 80(11), 418.
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.

DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.3.4]