Applied Researches in Geographical Sciences

Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138

https://jgs.khu.ac.ir/

Subsidence of Critical Prohibited Well Drilling Plains (Study Area: Eshtehard Plain)

Rana Norouzi [1]✉ | Sayyd Morovat Eftekhari [2] | Ali Ahmadabadi[3] | khadijeh alinoori[4]

1. Corresponding author, Phd Student, Faculty of Geographical Sciences, University of Kharazmi Tehran, Iran.
E-mail: ra.norouzi@yahoo.com
2. Assistant Professor of Natural Geography, Faculty of Geographical Sciences, kharazmi University, Tehran, Iran.
Email: Eftekhari@khu.ac.ir
3. Associate Professor of Natural Geography, Faculty of Geographical Sciences, kharazmi University, Tehran, Iran.
E-mail: ahmadabadi@khu.ac.ir
4. Postdoctoral Student, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
E-mail:khadijehalinoori@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2024/10/12
Received in revised
2024/12/09
Accepted
2024/12/26
Published
2024/12/28
Published online
2025/09/23

Keywords:
subsidence,
Eshtehard plain,
DInSAR,
Sentinel -1,
Groundwater.

ABSTRACT

In recent decades, land subsidence has emerged as a significant geomorphological hazard and environmental crisis, resulting in extensive and often irreversible damage to the plains of Iran. The primary driver of this phenomenon is the ongoing water crisis. The Eshtehard Plain, a vital industrial and agricultural hub in Alborz Province, has been classified as a critical prohibited zone by the Ministry of Energy due to the severe decline in groundwater levels. Consequently, assessing the rate of subsidence and identifying its causes and influencing factors are essential for effective risk management. This study employed the Differential Radar Interferometry (D-InSAR) technique to analyze subsidence in the Eshtehard Plain, utilizing data from the Sentinel-1A satellite spanning the years 2017 to 2023. During this period, subsidence in the region ranged from -2.08 cm to -2.93 cm. The highest subsidence rate, approximately -2.93 cm, occurred between 2019 and 2020, while the lowest, approximately -2.08 cm, was observed between 2022 and 2023. Notably, subsidence rates exhibited an increasing trend from east to west and in the southern expanse of the plain. The maximum subsidence observed throughout all study periods was concentrated in the Eshtehard aquifer area, which encompasses a significant portion of farmland, villages, the city of Eshtehard, industrial towns (Kosar, Omid, and Eshtehard), agricultural lands, and the highest density of groundwater extraction wells. Hydrographic analysis and interpolation of piezometric well data further revealed a consistent decline in groundwater levels and an increase in water table depth in this area. Moreover, the correlation between land subsidence and changes in groundwater depth was statistically significant at the 95% confidence level, indicating that subsidence intensifies as groundwater levels decrease. The subsidence change profiles suggest a complex subsidence pattern within the study area, influenced by a combination of factors, including human activities (such as the intensity and type of land use, as well as excessive groundwater extraction), environmental conditions, geological characteristics (e.g., sediment composition, aquifer thickness, and bedrock position), and the rates of aquifer recharge and discharge. These findings underscore the urgent need for sustainable groundwater management and mitigation strategies to address the escalating subsidence crisis in the Eshtehard Plain.

Cite this article: Norouzi, Rana., Eftekhari, Sayyd Morovat., Ahmadabadi, Ali., & alinoori, khadijeh. (2025). Subsidence of Critical prohibited well drilling Plains (Study Area: Eshtehard Plain). *Applied Researches in Geographical Sciences*, 25 (78), 66-89. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.24

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.24

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

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

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

Extended Abstract

Introduction

Land subsidence is a geomorphological phenomenon and terrestrial hazard caused by the gradual compaction of subsurface deposits, leading to the downward displacement of the Earth's crust (Hu et al., 2009; Poland, 1984; Bagheri et al., 2021). It is most prevalent in alluvial and deltaic plains, where its severity varies due to natural and anthropogenic factors (Chen et al., 2018). Over the past two decades, climate change, prolonged droughts, poor water resource management, population growth, and excessive groundwater extraction have exacerbated subsidence globally (Sabouhi et al., 2014; Papi et al., 2020; Dehghani et al., 2013; Chieh Hong Chan et al., 2010). In Iran, declining groundwater levels due to over-extraction are the primary cause, threatening over half of the country's 600 plains, with projections suggesting up to 80% could be at risk (Haghighat Mehr et al., 2019; Galloway et al., 1998; Haghighi & Motagh, 2019; Safari et al., 2016). The Eshtehard Plain, a key agricultural and industrial hub in Alborz Province, has been declared a critical zone due to severe groundwater depletion, with levels dropping from 120 meters to over 300 meters in two decades (Water Resources Protection Office, 2019). Composed largely of loose Quaternary sediments, the plain is highly susceptible to subsidence, worsened by tectonic activity and faults (Geological Survey of Iran, 2000; Akbari et al., 2021). Sustainable water management and advanced monitoring techniques like radar interferometry are essential to mitigate this growing crisis (Bergman et al., 2000; Crosetto et al., 2013).

Material and Methods

To evaluate the rate of subsidence in the Eshtehard Plain and its correlation with groundwater levels, this study utilized the Differential Radar Interferometry (D-InSAR) technique. Sentinel-1 radar images from 2017 to 2023, in Single Look Complex (SLC) format with VV polarization, were processed using SNAP software. The goal was to calculate the final subsidence rate by analyzing phase differences between images captured at different times .To assess groundwater levels, statistical data from piezometric wells for the periods 1997–2021 (groundwater levels) and 2017–2022 (groundwater depth) were obtained from the Alborz Regional Water Authority. This data was processed in ArcMap (GIS 10.8 software), where annual averages were calculated. Groundwater depth maps and related charts were generated using the Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation model and subsequently analyzed .Finally, on January 8, 2024, a field visit was conducted in Fath Abad village, located within the study area. During this visit, images of ground cracks were captured to validate the results obtained from the remote sensing and groundwater data analyses.

Results and Discussion

This study employed the Differential Radar Interferometry (D-InSAR) technique to analyze subsidence in the Eshtehard Plain using Sentinel-1A satellite data from 2017 to 2023. The results revealed that subsidence in the region ranged between -2.08 cm and -2.93 cm during this period. The highest subsidence rate, approximately -2.93 cm, occurred between 2019 and 2020, while the lowest, about -2.08 cm, was observed between 2022 and 2023. Subsidence rates increased from east to west and were particularly pronounced in the southern part of the plain. The maximum subsidence was consistently concentrated in the Eshtehard aquifer area, which encompasses a significant portion of

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

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

farmland, villages, the city of Eshtehard, industrial towns (Kosar, Omid, and Eshtehard), agricultural lands, and the highest density of groundwater extraction wells .Hydrograph analysis and interpolation of piezometric well data further confirmed a consistent decline in groundwater levels and an increase in water table depth in the area. A statistically significant correlation (at the 95% confidence level) was found between land subsidence and groundwater depth changes, indicating that subsidence increases as groundwater levels drop. Subsidence change profiles revealed a complex pattern of subsidence, influenced by a combination of factors, including human activities (e.g., intensive land use and excessive groundwater extraction), environmental conditions, geological characteristics (such as sediment composition, aquifer thickness, and bedrock position), and the rate of aquifer recharge and discharge .These findings highlight the critical role of groundwater over-extraction in driving subsidence and underscore the need for sustainable water resource management to mitigate this growing environmental hazard.

Conclusion

This study employed the Differential Radar Interferometry (D-InSAR) technique to analyze subsidence in the Eshtehard Plain, utilizing data from the Sentinel-1A satellite spanning the years 2017 to 2023. During this period, subsidence in the region ranged from -2.08 cm to -2.93 cm. The highest subsidence rate, approximately -2.93 cm, occurred between 2019 and 2020, while the lowest, approximately -2.08 cm, was observed between 2022 and 2023. Notably, subsidence rates exhibited an increasing trend from east to west and in the southern expanse of the plain. The maximum subsidence observed throughout all study periods was concentrated in the Eshtehard aquifer area, which encompasses a significant portion of farmland, villages, the city of Eshtehard, industrial towns (Kosar, Omid, and Eshtehard), agricultural lands, and the highest density of groundwater extraction wells. Hydrographic analysis and interpolation of piezometric well data further revealed a consistent decline in groundwater levels and an increase in water table depth in this area. Moreover, the correlation between land subsidence and changes in groundwater depth was statistically significant at the 95% confidence level, indicating that subsidence intensifies as groundwater levels decrease. The subsidence change profiles suggest a complex subsidence pattern within the study area, influenced by a combination of factors, including human activities (such as the intensity and type of land use, as well as excessive groundwater extraction), environmental conditions, geological characteristics (e.g., sediment composition, aquifer thickness, and bedrock position), and the rates of aquifer recharge and discharge. These findings underscore the urgent need for sustainable groundwater management and mitigation strategies to address the escalating subsidence crisis in the Eshtehard Plain.

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

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

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

فرونشست دشت‌های ممنوعه بحرانی (منطقه موردمطالعه: دشت اشتهارد)

رعنا نوروزی طیولا[1]✉، سید مروت افتخاری[2]، علی احمدآبادی[3]، خدیجه علی نوری[4]

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: ra.norouzi@yahoo.com

۲. استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: Eftekhari@khu.ac.ir

۳. دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: ahmadabadi@khu.ac.ir

۴. دانشجوی پست دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: khadijehalinoori@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۷/۲۱
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۹/۱۹
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۱۰/۰۶
تاریخ انتشار:
۱۴۰۳/۱۰/۰۸
تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
فرونشست،
دشت اشتهارد،
تداخل سنجی تفاضلی راداری،
تصاویر راداری سنتینل،
آب زیرزمینی.

چکیده

در دو دهه اخیر فرونشست به‌عنوان یک مخاطره ژئومورفیک و یکی از بحران‌های زیست‌محیطی، هرساله خسارات جبران‌ناپذیری را به دشت‌های ایران تحمیل می‌کند که می‌توان گفت یکی از مهم‌ترین علل آن در حال حاضر برداشت غیراصولی و بی‌رویه از سفره‌های زمینی می‌باشد. دشت اشتهارد به‌عنوان یکی از قطب‌های صنعتی و کشاورزی استان البرز حائز اهمیت است و به دلیل افت شدید سطح آب زیرزمینی توسط وزارت نیرو ممنوعه بحرانی اعلام شده است. ازاین‌رو بررسی میزان نرخ فرونشست و پرداختن به علل و عوامل تأثیرگذار در جهت مدیریت خطر آن، دارای اهمیت زیادی است. در این پژوهش جهت بررسی فرونشست دشت اشتهارد از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری (D_ InSAR) و از داده‌های ماهواره Sentinel-1A در بازه زمانی (۲۰۲۳ تا ۲۰۱۷) استفاده شد. در این بازه زمانی فرونشست منطقه بین ۲,۰۸- تا ۲,۹۳- سانتی‌متر متغیر است که بیشترین مقدار فرونشست مربوط به بازه زمانی ۲۰۲۰ -۲۰۱۹ حدود ۲,۹۳ - سانتیمتر و کمترین مقدار فرونشست در بازه زمانی ۲۰۲۳ -۲۰۲۲ حدود ۲,۰۸- سانتی‌متر است. نرخ فرونشست از شرق به غرب و در پهنه جنوبی با افزایش همراه است. درواقع بیشینه فرونشست در تمام بازه‌های مطالعاتی در محدوده آبخوان اشتهارد متمرکز است که بخش عمده‌ای از مزارع، آبادی‌ها، کارخانه‌ها و شهر اشتهارد، شهرک‌های صنعتی (کوثر، امید و اشتهارد)، زمین‌های کشاورزی و بیشترین تمرکز و استقرار منابع زیرزمینی (چاه‌ها) را در خودش جای داده است. نتایج هیدروگراف‌ها و درون‌یابی با استفاده از آمارهای چاه‌های پیزومتری نیز افت آب‌های زیرزمینی و افزایش عمق را در این محدوده نشان می‌دهد؛ این در حالی است که نتایج بررسی همبستگی میزان فرونشست زمین با تغییرات عمق آب زیرزمینی هم در سطح ۹۵٪ معنی‌دار بوده است به‌طوری‌که با افزایش عمق آب زیرزمینی فرونشست در منطقه افزایش می‌یابد. براساس پروفیل‌های تغییرات فرونشست، فرونشست منطقه موردمطالعه الگوی پیچیده‌ای دارد که این تغییرات و نوسانات زمانی - مکانی نشان دهنده تأثیرات مختلفی ازجمله فعالیت‌های انسانی (مانند شدت، نوع فعالیت یا استخراج بی‌رویه آب از منابع زیرزمینی)، زیست‌محیطی، مشخصات زمین‌شناسی (جنس رسوبات، ضخامت سفره، موقعیت سنگ کف و...) میزان تغذیه و تخلیه آبخوان و... می‌باشد.

استناد: نوروزی طیولا، رعنا؛ افتخاری، سیدمروت؛ احمدآبادی، علی؛ و علی نوری، خدیجه (۱۴۰۴). فرونشست دشت‌های ممنوعه بحرانی (منطقه موردمطالعه : دشت اشتهارد). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۸)، ۸۹-۶۶.
http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.24

CC BY NC
© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

مقدمه

فرونشست زمین به‌عنوان یک پدیده ژئومورفولوژیکی و یک مخاطره زمینی است (صفاری و جعفری ۱۳۹۵، چن[1] و همکاران، ۲۰۱۸) که حاصل فشرده شدن آرام و تدریجی نهشته‌های زیرسطحی در دشت‌هاست که به‌صورت جابه‌جایی بخش از پوسته زمین به سمت پایین حاصل می‌شود (هو[2] و همکاران، ۲۰۰۹؛ پلند، ۱۹۸۴؛ قنواتی و همکاران، ۱۳۹۸؛ باقری و همکاران، ۲۰۲۱) که عمدتاً در دشت‌های آبرفتی و دلتایی با درجات مختلفی به دلایل گوناگون طبیعی و انسانی، در حال رخ دادن است (چن و همکاران، ۲۰۱۸). در دو دهه اخیر پیرو رخداد تغییرات اقلیم و خشک‌سالی‌های پیاپی از یکسو و نیز مدیریت غیراصولی منابع آب، رشد فزاینده جمعیت و تمرکز بهره‌برداری روزافزون از منابع آب زیرزمینی، زیرساخت مناسبی برای این پدیده فراهم‌شده است (صبوحی و همکاران، ۱۳۹۳؛ پاپی و همکاران، ۱۳۹۹؛ دهقانی[3] و همکاران، ۲۰۱۳؛ چیه هونگ چان[4] و همکاران، ۲۰۱۰). درواقع امروزه یکی از معضلات دامن‌گیر دشت‌های مناطق مختلف جهان که نتیجه بهره‌برداری نادرست انسان از محیط است، پدیده نشست و تغییرات مورفولوژی ناشی از آن است که به آهستگی و به‌تدریج گسترش می‌یابد و عامل اصلی آن به‌خصوص در ایران، افت سطح آب زیرزمینی در اثر برداشت بیش‌ازاندازه‌ی این آب‌ها در برخی از نواحی کشور است (حقیقت مهر و همکاران، ۱۳۹۸؛ گالووی[5] و همکاران، ۱۹۹۸؛ حقیقی و معتق[6]، ۲۰۱۹). لذا مطالعات مربوط به فرونشست زمین در ایران از اهمیت خاصی برخوردار بوده و به‌عنوان یکی از اولویت‌های پژوهشی بسیاری از شرکت‌های و سازمان‌های مرتبط با منابع آب و مخاطرات مطرح است. به نظر می‌رسد از مجموع ۶۰۰ دشت کشور بیش از نیمی از آن‌ها در معرض فرونشست باشند و اگر مطالعات دقیقی روی بقیه دشت‌ها صورت بگیرد، به‌احتمال زیاد خطر فرونشست و فرو چاله‌ها ۸۰ درصد دشت‌های ایران را تهدید می‌کند که دشت‌های استان البرز هم از این قاعده مستثنا نیستند (صفاری و همکاران، ۱۳۹۵). بر اساس گزارش‌های وزارت نیرو، دشت‌های استان البرز (دشت اشتهارد و دشت هشتگرد) جز دشت‌های ممنوعه‌ی بحرانی اعلام‌شده است (دفتر حفاظت و بهره برداری منابع آب و امور مشترکین، ۱۳۹۸).

در این میان دشت اشتهارد در غرب استان تهران، به‌عنوان یکی از قطب‌های صنعتی و کشاورزی استان محسوب می‌شود. این در حالی است که این منطقه کویری از آب‌های سطحی بی‌بهره بوده است و وجود بیش ۳۵۰۰ هکتار اراضی کشاورزی و باغی و بیش از ۲۰۰۰ واحد تولیدی و صنعتی در شهرستان اشتهارد که تقریباً کل آب مصرفی آن از منابع آب زیرزمینی منطقه (۱٪ برای شرب، ۲٪ برای صنعت و ۹۷٪ برای اهداف کشاورزی) استفاده می‌شود (قادری و همکاران، ۱۳۹۹). ازاین‌رو علاوه بر میزان آب‌بری بالا در صنایعی مانند ذوب‌آهن و فولاد، تولید محصولات کشاورزی و باغی با آبیاری سنتی و الگوی کشت نامناسب یکی از بزرگ‌ترین فعالیت‌های تولیدی آب‌بر در این منطقه است که بستری فراهم کرده است که میزان دسترسی به آب‌های زیرزمینی اشتهارد از ۱۲۰ متر در ۲ دهه اخیر اکنون به بیش از ۳۰۰ متر برسد که زمینه‌ی تخلیه‌ی آبخوان‌های این شهرستان را فراهم کرده و به مسئله‌ی تنش آبی و پدیده فرونشست زمین در منطقه سرعت بخشیده است. چنین دشت‌هایی مستعدترین مناطق برای وقوع پدیده فرونشست منطقه‌ای سطح زمین می‌باشند. این در حالی است که بیش از ۸۰ درصد از دشت اشتهارد روی رسوبات کواترنری قرار گرفته است، رسوباتی (رس، مارن و...) که دارای بافت سست و فرسایش پذیر هستند و به علت پوکی و تخلخل زیاد مقدار نشست بیشتری دارند و با کاهش فشار آب منفذی و به نسبت افزایش تنش مؤثر، میزان فرونشینی افزایش می‌یابد که به دلیل موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های زمین‌شناسی خاص دشت اشتهارد، تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی و گسل‌های منطقه‌ای هم قرار دارد. وجود و فعالیت گسل‌ها هم می‌تواند نقاط ضعف در ساختار زمین ایجاد کند و باعث تغییرات سطحی و زیرسطحی گردد که ممکن است به ایجاد و شدت این مخاطره بیانجامد (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۹؛ رنجبر و جعفری، ۱۳۸۸؛ اکبری و همکاران، ۱۴۰۰؛ کریمی،

[1] Chen
[2] Hu
[3] Dehghani
[4] Chieh hung chang
[5] Galloway
[6] Haghighi & Motagh

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

۱۳۹۱) یکی از جدیدترین و مؤثرترین روش‌ها در مطالعه‌ی فرونشست، تکنیک تداخل سنجی راداری است که یکی از ابزارهای قوی برای اندازه‌گیری توپوگرافی سطح و تغییرات آن در طول زمان است (برگمن[7] و همکاران،۲۰۰۰) و توانایی برآورد فرونشست را با دقت میلی‌متر با استفاده از مشاهدات فازی دارا هستند (کروستو[8] و همکاران، ۲۰۱۳) و می‌تواند در تعیین میزان فرونشست در بازه زمانی مشخص مورداستفاده قرار گیرد. با توجه به اهمیت موضوع موردمطالعه، در طی سال‌های اخیر تحقیقات متعددی در سطح جهان و ایران در رابطه با فرونشست با تکنیک تداخل سنجی راداری صورت گرفته است.

بررسی‌هایی که در این مطالعه روی آب‌های زیرزمینی انجام شد، ارتباط بالای میزان فرونشست زمین و افت سطح آب‌های زیرزمینی را نشان داد. دو[9] و همکاران (۲۰۱۷) میزان فرونشست شبه‌جزیره‌ی لیژاوو در چین با استفاده از تصاویر راداری ارزیابی کردند. در این پژوهش تصاویر راداری در بازه ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۰ حداکثر میزان فرونشست را ۳۲- میلی‌متر در نوار خط ساحلی نشان داد. جین[10] و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی نقش فعالیت‌های کشاورزی در فرونشست زمین در دره‌ی سان خواکین در کالیفرنیا پرداختند. خشک‌سالی‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ موجب افزایش شدید استفاده از آب‌های زیرزمینی در منطقه موردمطالعه و در نتیجه باعث فرونشست شد. آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی، مکان‌هایی که در آینده بیشتر در معرض تخریب قرار دارند را شناسایی و مدیریت منابع آب زیرزمینی را پیشنهاد دادند. گورابی[11] و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی فرونشست زمین در کلان‌شهر اصفهان با تصاویر Sentinel-1 میزان فرونشست زمین را به میزان ۵- تا ۱۰۰- میلی‌متر در سال برآورد کردند که از جنوب به بخش‌های شمالی، شمال شرقی و شرقی کلان‌شهر اصفهان افزایش می‌یابد، درحالی‌که بخش‌های جنوبی شهر تقریباً یک منطقه‌ی پایدار هستند و میزان فرونشست قابل‌توجه در آن مشاهده نمی‌شود. خان[12] و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی فرونشست زمین در شهر اسلام‌آباد پاکستان با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ پرداختند و میزان فرونشست در سال ۲۰۱۹ را ۶۹- میلی‌متر و در سال ۲۰۲۰ را ۹۸- میلی‌متر برآورد کرده‌اند. خرمی و همکاران در سال ۱۳۹۸ به بررسی فرونشست شهر مشهد با روش تداخل سنجی پراکنشگر دائمی از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ پرداختند و بیشینه میزان فرونشست را ۱۴ سانتی‌متر به دست آوردند. سارکر[13] و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهش خود از تجزیه‌وتحلیل رادار دیافراگم مصنوعی تداخل سنجی، از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲، برای اندازه‌گیری مؤثر فرونشست زمین و تجسم فضایی آن استفاده کردند. در منطقه موردمطالعه، نرخ فرونشست از ۳ تا ۲۰ میلی‌متر در سال متغیر است که بیشتر مناطق ۳ تا ۱۰ میلی‌متر در سال را تجربه می‌کنند. درحالی‌که برخی مناطق نرخ بالاتری از ۱۰-۱۳ میلی‌متر در سال نشان می‌دهند، تعداد کمی از آن‌ها از ۱۴ میلی‌متر در سال فراتر رفته است. میانگین نرخ فرونشست ۵,۹۸ میلی‌متر در سال بود که تنوع فضایی قابل‌توجهی را نشان می‌دهد. یافته‌ها بر اساس نقاط داده سیستم ماهواره‌ای ناوبری جهانی (GNSS) اعتبارسنجی شدند و قابلیت اطمینان آن‌ها را تأیید کردند. این تحلیل جامع ارزیابی دقیقی از فرونشست زمین در منطقه جنوب غربی بنگلادش ارائه می‌کند، تنوع فضایی قابل‌توجهی را برجسته می‌کند و بینش‌های ارزشمندی را برای توسعه ساحلی آینده و استراتژی‌های کاهش خطر ارائه می‌دهد.

آقایاری و همکاران (۱۴۰۱) در بررسی فرونشست دشت اردبیل از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰، مجموع فرونشست در مدت ۵ سال را ۲۲ سانتی‌متر برآورد کرده‌اند و بیان داشتند که بیشترین میزان پراکندگی فرونشست در حوالی چاه‌هایی که افت سطح آب به دلیل مصارف بالای کشاورزی داشته‌اند، رخ داده است. عمادالدین و گزیک (۱۴۰۲) در پایش فرونشست اتفاق افتاده در دشت مشهد، از تکنیک تداخل سنجی راداری در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ استفاده کردند. نتیجه مطالعات نشان داد، در طول دوره آماری در منطقه موردمطالعه ۶۴ سانتی‌متر فرونشست اتفاق افتاده است. در ادامه در جهت یافتن علت

[7] Burgmann et al
[8] Crosetto et al
[9] Du et al
[10] Jeanne et al
[11] Goorabi et al
[12] Khan et al
[13] Sarker et al

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

فرونشست، اطلاعات چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه اخذ و تغییرات آن‌ها در طول دوره ۱۳۷۰– ۱۳۹۸ بررسی شد. سطح آب چاه‌ها در بازه‌ی زمانی موردمطالعه به بیشترین حد کاهش خود رسیده است که به‌طورکلی بیشترین نرخ فرونشست در مناطق با افت شدید سطح آب زیرزمینی، بافت خاک ریزدانه و ضخامت آبرفت زیاد اتفاق افتاده است.دلارام و همکاران (۱۴۰۳) به بررسی میزان فرونشست در محدوده‌ای از دشت مشهد – توس با استفاده از تکنیک D_InSAR پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان فرونشست در بازه زمانی ۲۰۰۸ - ۲۰۱۰ حدود ۴۴ سانتیمتر و در بازه زمانی ۲۰۰۹ – ۲۰۰۷ به میزان ۳۷ سانتیمتر در محدوده اراضی قاسم‌آباد و کلاته برفی است که نتایج درون‌یابی با استفاده از آمارهای چاه‌های پیزومتر هم افت آب‌های زیرزمینی در این محدوده را تأیید می‌کند. کیانی و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهش خود با استفاده از دو سری زمانی تصاویر رادار با روزنه مصنوعی از سنجنده سنتینل متعلق به سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۹، میزان فرونشست در دشت دامنه (شهرستان فریدن) محاسبه کردند سپس تغییرات سطح آب چاه‌های پیزومتری منطقه با استفاده از اطلاعات موجود از ۹ حلقه چاه در بازه زمانی۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ موردبررسی قرار گرفت، نتایج بررسی همبستگی میزان فرونشست زمین با تغییرات سطح آب زیرزمینی در سطح ٪۹۵ معنی‌دار بوده است. در ادامه پژوهش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک روند فرونشست در محدوده موردمطالعه پیش‌بینی و نقشه احتمال فرونشست تهیه و به‌عنوان متغیر وابسته برای مدل رگرسیون لجستیک ایجاد شد. در خروجی مدل مشخص گردید که مساحت ۱۹۸۰ هکتار معادل ۷/۹ ٪ دارای فرونشست با درجه بسیار شدید بوده که وضعیت منطقه را در شرایط خطرناک قرار داده است و نیاز به کنترل و مدیریت برای کاهش این اثر تخریبی است. دشت اشتهارد هم جز دشت‌هایی است که با توجه به مصرف بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به مرحله‌ی بحران رسیده است که می‌تواند در آینده‌ای نه‌چندان دور، مشکلات جانی، مالی و حتی اقتصادی در سطح کلان را در پی داشته باشد. در همین راستا هدف از تحقیق حاضر، بررسی وضعیت فرونشست دشت اشتهارد در بازه زمانی ۲۰۲۳ تا ۲۰۱۷ با استفاده از تصاویر راداری سنتینل۱ 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.

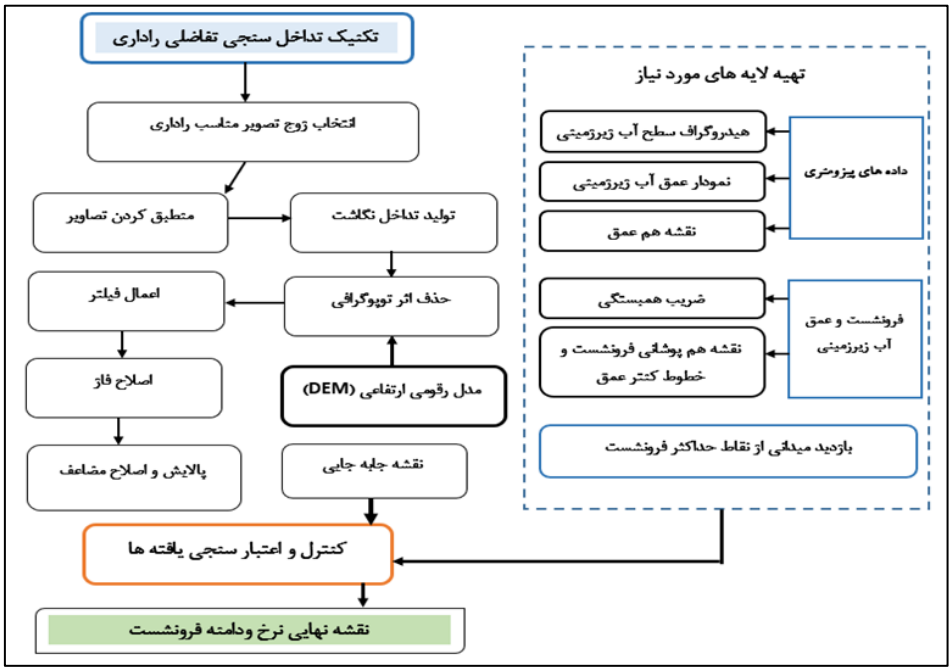
روش پژوهش

امروزه تکنیک تداخل سنجی راداری به‌عنوان یک ابزار اندازه‌گیری تغییر شکل سطحی پوسته‌ی زمین در طول زمان استفاده می‌شود و می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره‌ی پایش فرونشست ارائه دهد (نوتی و همکاران[14]، ۲۰۱۶:۱). روش تداخل سنجی راداری با مقایسه‌ی سیگنال‌های فاز برگشتی دو دسته داده‌های رادار دریچه‌ی مصنوعی که از یک منطقه در دو زمان مختلف اخذ شده‌اند، قادر به اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین در آن بازه‌ی زمانی است (محمد حسنی و شیخ شریعتی کرمانی،۱۴۰۰). به‌منظور بررسی میزان فرونشست دشت اشتهارد و ارتباط آن با آب‌های زیرزمینی، ابتدا میزان فرونشست زمین به روش تداخل سنجی راداری در بازه زمانی (۲۰۲۳تا۲۰۱۷) محاسبه شد و سپس با بررسی روند تغییرات سطح و عمق آب چاه‌های پیزومتری، ضریب همبستگی، در نهایت با پیمایش‌های میدانی مورد صحت سنجی قرار گرفت.

برای تداخل سنجی از تصاویر راداری Sentinel-1 سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ با فرمت (SLC) تک منظر با پوراریزاسیون (VV) جدول (۱) استفاده شد. به‌منظور پردازش، نرم‌افزار SNAP انتخاب شد تا نتایج نهایی نرخ فرونشست براساس اختلاف فاز بین تصاویر اخذ شده در تاریخ‌های متفاوت به دست آید. به‌منظور مطالعه آخرین وضعیت سطح آب‌های زیرزمینی موجود در بازه (۱۴۰۰ تا ۱۳۷۶) و عمق آب‌های زیرزمینی در بازه (۱۴۰۱ تا ۱۳۹۶)، اطلاعات آماری چاه‌های پیزومتری از سازمان آب منطقه‌ای البرز اخذ شد که در ادامه در نرم‌افزار GIS10.8 در محیط Arc map بعد از میانگین‌گیری سالیانه با استفاده از مدل درون‌یابی IDW نقشه عمق آب زیرزمینی و نمودارهای آن تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت در تاریخ ۱۸ دی سال ۱۴۰۲ به بازدید میدانی در روستای فتح‌آباد در منطقه موردمطالعه پرداختیم و تصاویری از شکاف‌های منطقه رو جهت صحت سنجی نتایج تهیه کردیم. شکل (۱) مراحل انجام تحقیق موردنظر را نشان می‌دهد.

[14] Notti et al

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]



شکل (۱). مراحل انجام کار تحقیق

Orbit direction: Ascending/Descending	Polarization	Acquisition mode	Format picture	Relative orbit number	Sensor	Acquisition Date time	Acquisition Date
DESCENDING	VV+VH	IW	SLC	۳۵	S1A	۰۲:۳۶:۵۰	۱۷-۰۸-۲۰۱۷
DESCENDING	VV+VH	IW	SLC	۳۵	S1A	۰۲ :۵۷:۳۶	۱۲-۰۸-۲۰۱۸
DESCENDING	VV+VH	IW	SLC	۳۵	S1A	۰۲ :۳۷ :۰۳	۱۹-۰۸-۲۰۱۹
DESCENDING	VV+VH	IW	SLC	۳۵	S1A	۰۲ :۳۷ :۰۹	۱۳-۰۸-۲۰۲۰
DESCENDING	VV+VH	IW	SLC	۳۵	S1A	۰۲ :۳۷ :۱۵	۰۸-۰۸-۲۰۲۱
DESCENDING	VV+VH	IW	SLC	۳۵	S1A	۰۲ :۳۷ :۲۲	۱۵-۰۸-۲۰۲۲
DESCENDING	VV+VH	IW	SLC	۳۵	S1A	۰۲ :۳۷ :۲۴	۱۰-۰۸-۲۰۲۳

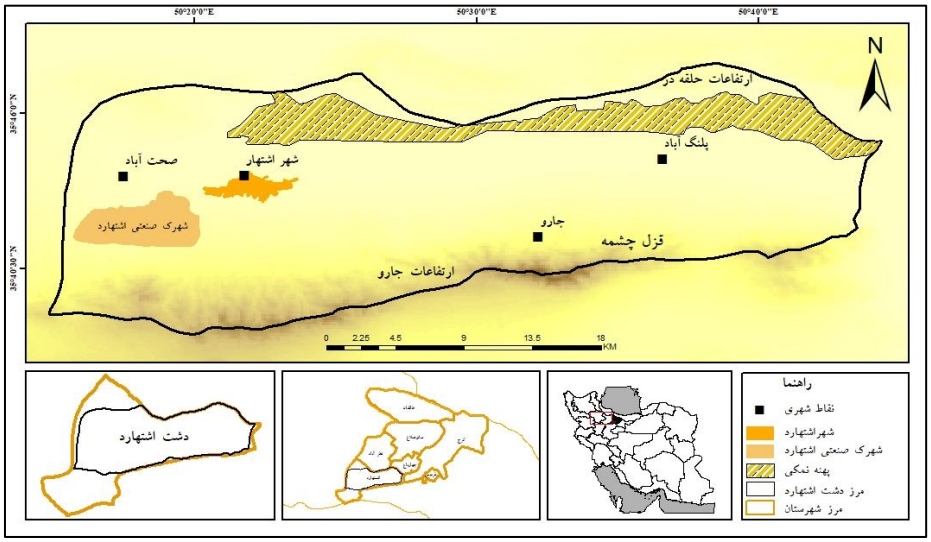
جدول (۱). مشخصات تصاویر ماهواره سنتینل-۱مورداستفاده برای تداخل سنجی راداری در تحقیق حاضر (بین سال‌های ۲۰۲۳ - ۲۰۱۷)

منطقه موردمطالعه

دشت اشتهارد در حوضه آبریز رودخانه شور و در جنوب استان البرز با وسعتی معادل ۴۶۱ کیلومترمربع در بین عرض جغرافیایی ۳۳ ۳۷ ۳۵ الی ۳۵ ۵۲ ۳۵ شمالی و طول جغرافیایی ۲۶ ۱۸ ۵۰ الی ۵۹ ۲۹ ۵۰ شرقی واقع گردیده است. دشت اشتهارد در هفتاد کیلومتری غرب شهرستان کرج است که از شمال به ارتفاعات حلقه دره و محدوده شهرستان نظرآباد، از جنوب به ارتفاعات جارو و قزل باش، از شرق به رودخانه شور و از غرب به بویین الزهرا منتهی می‌شود (رنجبر و جعفری، ۱۳۸۸). اشتهارد دشت نیمه کویری است که ادامه زمین‌های آن در بخش‌های جنوبی به مناطق کویری در استان قم و استان مرکزی می‌پیوندد. این منطقه در زون زمین‌شناسی ایران مرکزی قرار دارد. بخش عمده آن پوشیده از آبرفت، پهنه‌های رسی، ماسه‌سنگ و کنگلومراست و جنوب آن از گدازه‌های آتش‌فشانی مانند آندزیت و بازالت تشکیل شده است. شهر اشتهارد مهم‌ترین ناحیه مسکونی در این محدوده مطالعاتی است. مطابق با آخرین سرشماری جمعیت بخش اشتهارد، ۲۳۶۰۱ نفر و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

دارای یک دهستان بنام رحمانیه است. همچنین دارای ۶۱ آبادی و مزرعه است که ۲۴ آبادی آن دارای سکنه است شکل (۲) (مختاری و بیرامعلی، ۱۳۹۶).

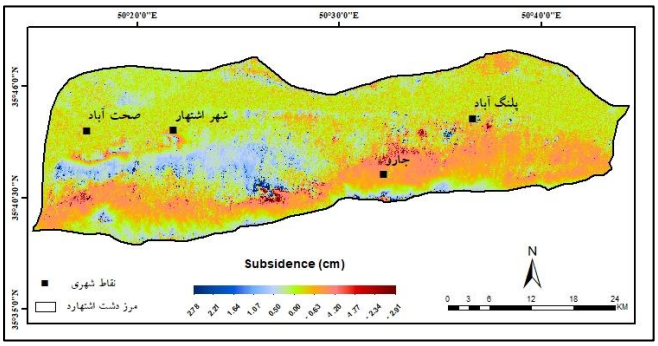


شکل (۲). موقعیت منطقه موردمطالعه

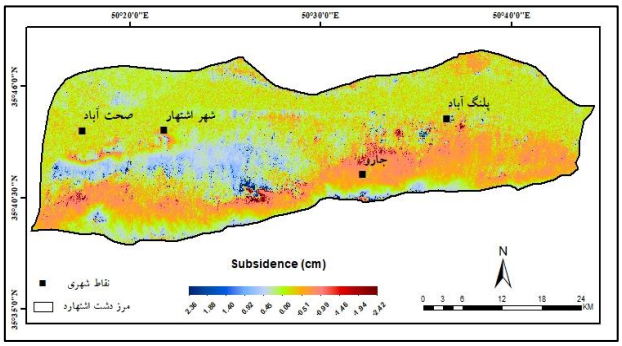
نتایج و بحث

فرونشست بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳

در تصاویر به‌دست‌آمده از ماهواره سنتینل ۱ برای منطقه موردنظر در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳، شش تصویر به‌صورت دو به دو توسط نرم‌افزار اسنپ که نرم‌افزار تخصصی مربوط به تصاویر سنتینل است و به روش تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری پردازش شد و نقشه فرونشست مربوط به هر سال به‌صورت طیفی حاصل شد که رنگ آبی نشان‌دهنده‌ی بالاآمدگی و رنگ قرمز فرورفتگی یا فرونشست و رنگ سبز منطقه پایدار را در بر می‌گیرد اشکال (۳ تا ۹). هم‌چنین به‌منظور درک بهتر از نحوه تغییرات ارتفاع زمین در محل بحرانی منطقه، پروفیل طولی و عرضی A-B در نقشه میانگین فرونشست بازه (۲۰۲۳ تا ۲۰۱۷) ترسیم شده است (شکل ۱۴ و ۱۳) که بتوانیم نگاه جامع‌تری به نحوه جابه‌جایی زمین در این مناطق داشته باشیم. درواقع ما شاهد پهنه‌های فرونشست در اکثر نقاط دشت اشتهارد هستیم که در بعضی نقاط این پهنه‌های به‌صورت گسترده‌تر، در بعضی نقاط به‌صورت پهنه‌های نقطه‌ای متمرکز و یا به‌صورت نقاط پراکنده قابل‌مشاهده هستند. فرونشست منطقه بین ۲,۰۸- تا ۲,۹۳- سانتی‌متر متغیر است که بیشترین مقدار فرونشست مربوط به بازه زمانی ۲۰۲۰ و ۲۰۱۹ حدود ۲,۹۳ - سانتیمتر و کمترین مقدار فرونشست در بازه زمانی ۲۰۲۳ و ۲۰۲۲ حدود ۲,۰۸- سانتی‌متر است جدول (۲).

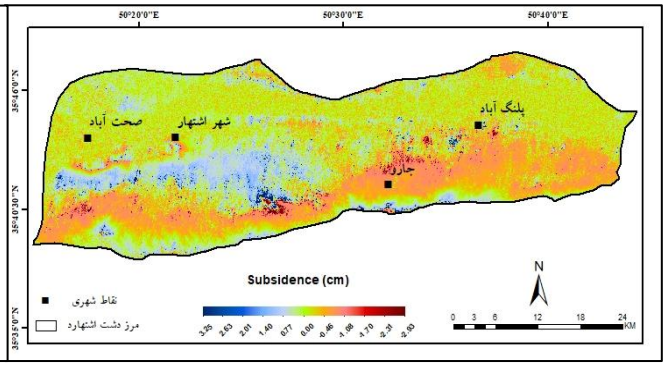


شکل (۳). فرونشست زمین در بازه زمانی (۲۰۱۸ – ۲۰۱۷)

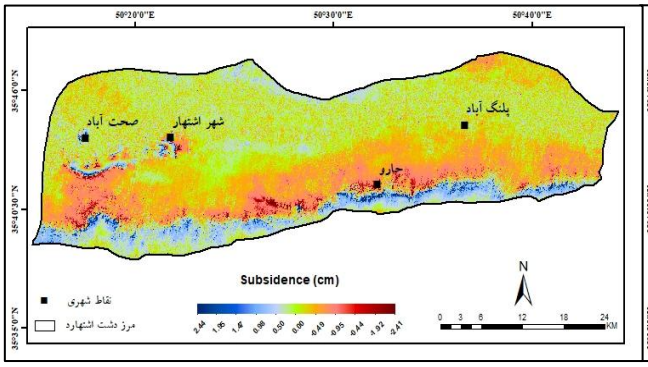


شکل (۴). فرونشست زمین در بازه زمانی (۲۰۱۹ – ۲۰۱۸)

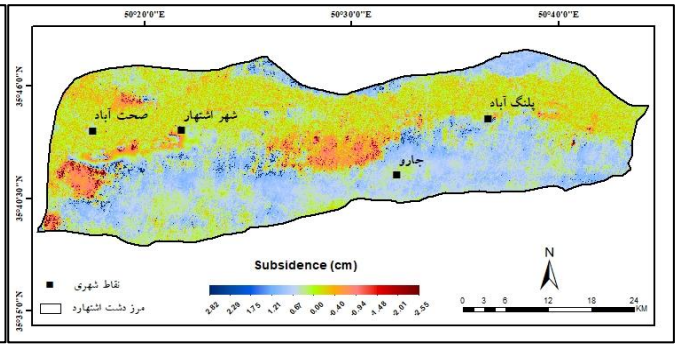
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]



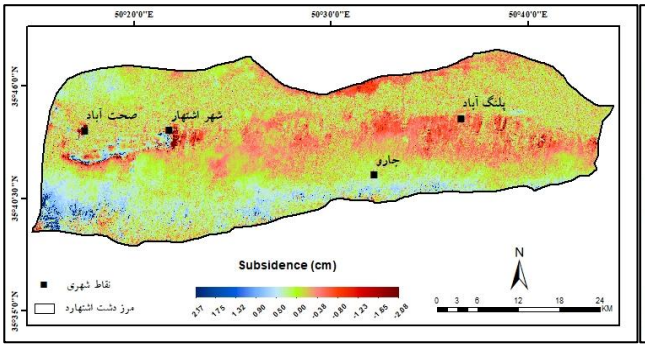
شکل (۵). فرونشست زمین در بازه زمانی (۲۰۲۰ – ۲۰۱۹)



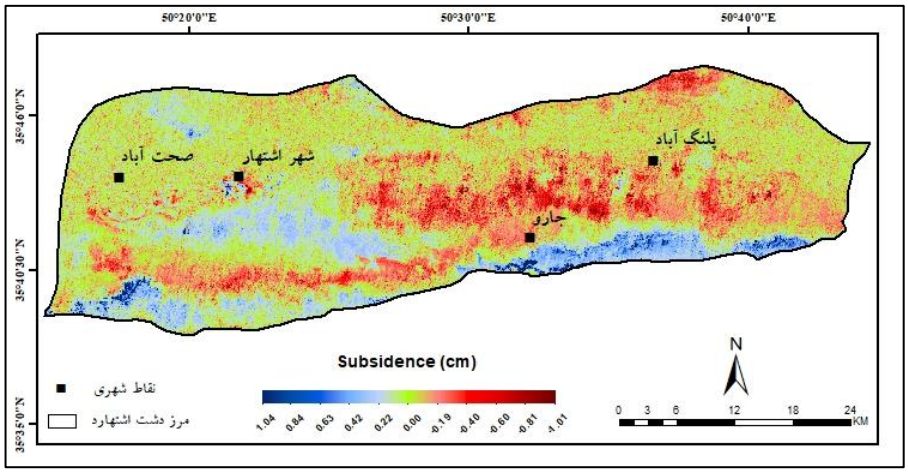
شکل (۶). فرونشست زمین در بازه زمانی (۲۰۲۱ – ۲۰۲۰)



شکل (۷). فرونشست زمین در بازه زمانی (۲۰۲۲ – ۲۰۲۱)



شکل (۸). فرونشست زمین در بازه زمانی (۲۰۲۳ – ۲۰۲۲)



شکل (۹). میانگین فرونشست زمین در بازه زمانی هفت‌ساله (۲۰۲۳ – ۲۰۱۷)

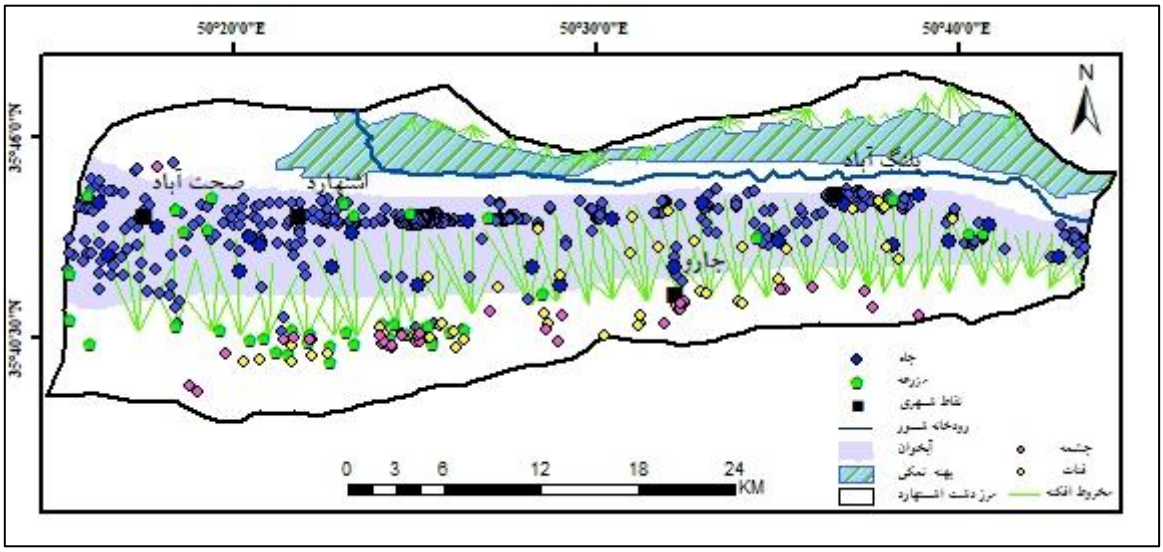
جدول (۲). نرخ جابه‌جایی فرونشست در دشت اشتهارد در بازه موردمطالعه

بازه زمانی	۲۰۱۸ – ۲۰۱۷	۲۰۱۹ – ۲۰۱۸	۲۰۲۰ – ۲۰۱۹	۲۰۲۱ – ۲۰۲۰	۲۰۲۲ – ۲۰۲۱	۲۰۲۳ – ۲۰۲۲	۲۰۲۳ – ۲۰۱۷
تاریخ تصاویر	۲۰۱۷-۰۸-۱۷ ۲۰۱۸-۰۸-۱۲	۲۰۱۸-۰۸-۱۲ ۲۰۱۹-۰۸-۱۹	۲۰۱۹-۰۸-۱۹ ۲۰۲۰-۰۸-۱۳	۲۰۱۹-۰۸-۱۹ ۲۰۲۰-۰۸-۱۳	۲۰۲۱-۰۸-۸ ۲۰۲۲-۰۸-۱۵	۲۰۲۲-۰۸-۱۵ ۲۰۲۳-۰۸-۱۰	۲۰۱۷-۰۸-۱۷ ۲۰۲۳-۰۸-۱۰
حداکثر جابه‌جایی (cm)	۲,۷۸	۲,۳۶	۳,۲۵	۲,۴۴	۲,۸۲	۲,۱۷	۲,۳۷
حداقل جابه‌جایی (cm)	- ۲,۹۱	- ۲,۴۲	- ۲,۹۳	- ۲,۴۱	- ۲,۵۵	- ۲,۰۸	- ۲,۴۵

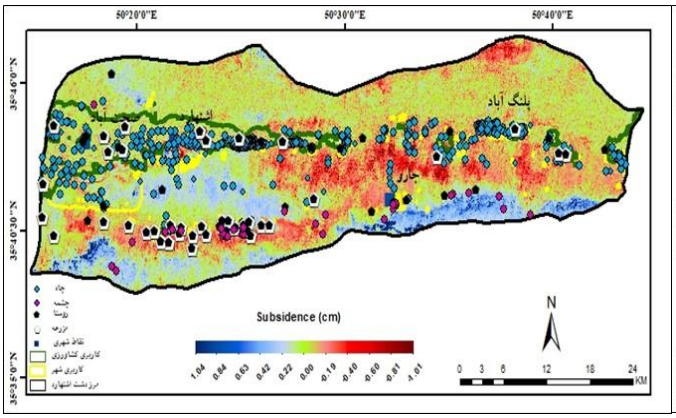
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

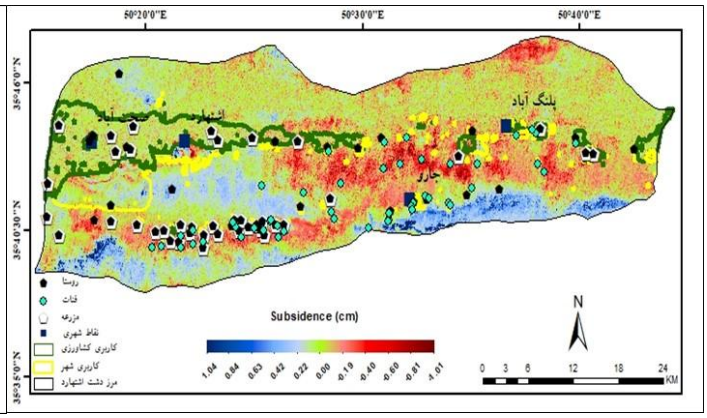
نرخ فرونشست در این منطقه از شرق به غرب و در پهنه جنوبی با افزایش همراه است. الگوی فرونشست در این منطقه دارای چند پهنه است که بیشترین تمرکز آن در محدوده آبخوان اشتهارد هست که بخش عمده‌ای از مزارع و آبادی‌ها (مزرعه فدک، متخصص، مرادآباد، سرهنگ معتمدی، عبدالله‌آباد کوشک‌آباد، خرم‌آباد، فتح‌آباد، خورشیدآباد، مروت آباد، موتورخانه شاه بختی، افشار و مزرعه اینانلو یغمرلو و...) اشکال (۱۲ تا ۱۰)، شهر اشتهارد، شهرک‌های صنعتی (کوثر، امید و اشتهارد)، زمین‌های کشاورزی و بیشترین تمرکز منابع زیرزمینی (چاه‌ها) را در خودش جای داده است. درواقع این تمرکز در پهنه‌های شرقی و میانی آبخوان و شهرک‌های صنعتی و شهر اشتهارد قابل‌رؤیت است، به‌صورت نقاط متمرکز در تمام مناطق کاربری کشاورزی و نقاط پراکنده در کل بازه‌های تحقیقاتی هم دیده می‌شود. همان‌طور که در نقشه‌های هم‌پوشانی منابع زیرزمینی و کاربری با نقشه فرونشست اشکال (۱۲ و ۱۱) مشاهده می‌کنید، بیشترین تمرکز چاه‌ها را در کاربری کشاورزی و محدوده شرقی – غربی دشت اشتهارد (آبخوان اشتهارد) مشاهده می‌کنیم. پهنه جنوبی دشت اشتهارد هم که بیشترین تمرکز قنات‌ها و چشمه‌ها را به خودش اختصاص داده و مزارع متعددی (مزرعه موسوی، مزرعه افشار آباد، برادران خدایار، بانک سفلی، بانک علیا، دوستان، کته دز، بیدارک خلج، میراز محمود، ملاکندی پائین، ملاکندی بالا، کمرک، یالاگان، علی‌اکبر سفلی، علی‌اکبر علیا، بیدارک بالا، بیدارک پائین، اوروجعلی، مویز خاک، رئیس محمد، قاضیان، یک لنگ، ینگی کهریز و مزرعه توقلی دره و...) در این محدوده دایر است که پهنه‌های فرونشستی را در طول بازه موردمطالعه پوشش داده است.



شکل (۱۰). موقعیت منابع آبی منطقه موردمطالعه



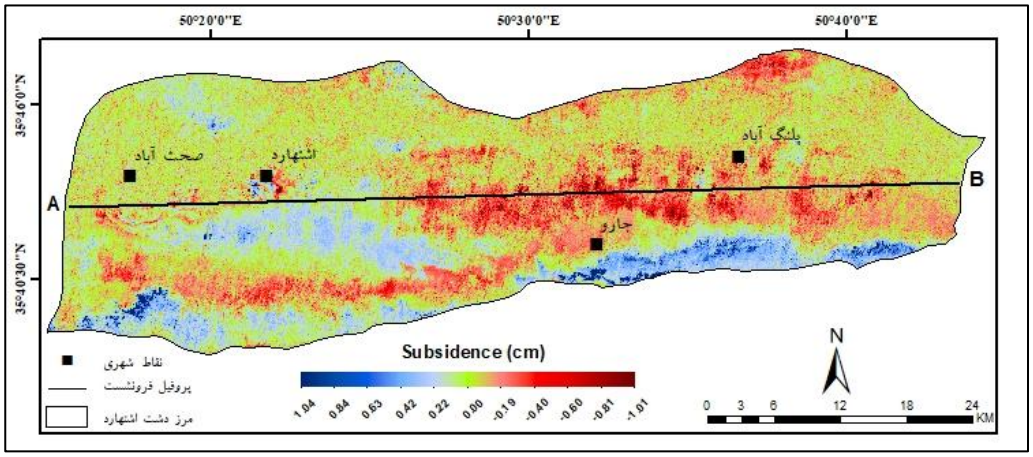
شکل (۱۲). هم پوشانی نقشه کاربری، منابع آب (چشمه و چاه)، مزارع و آبادی منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه میانگین فرونشست بازه هفت‌ساله (۲۰۲۳ – ۲۰۱۷)



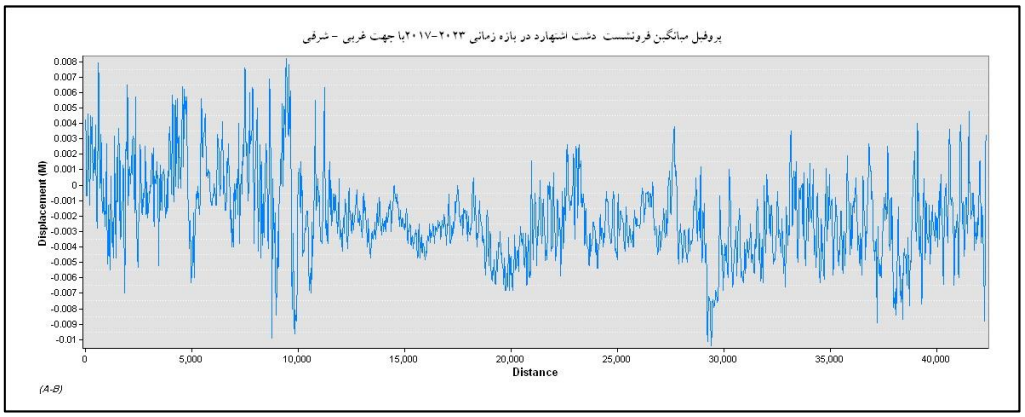
شکل (۱۱). هم پوشانی نقشه کاربری، منابع آب (قنات)، مزارع و آبادی منطقه مورد مطالعه برروی نقشه میانگین فرونشست بازه هفت ساله (۲۰۲۳ – ۲۰۱۷)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

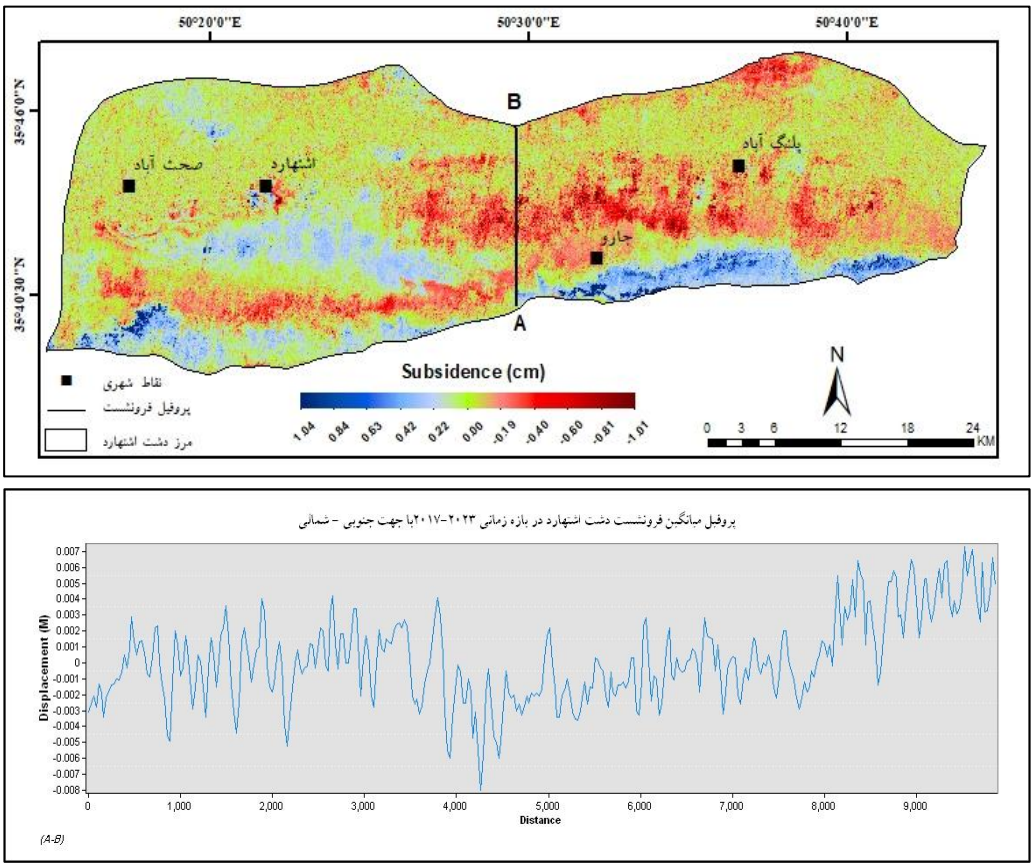
به طور کلی پهنه‌های جنوبی و جنوب غربی دشت اشتهارد هم با توجه به وسعت بالای اراضی مخروط افکنه ای، زمین حاصل خیز و آب باکیفیت بخش عمده‌ای از فعالیت‌های کشاورزی را به خود اختصاص داده است، بنابراین میزان برداشت آب در این قسمت به دلیل وجود شهرک صنعتی و بخش کشاورزی بیشتر از سایر نقاط است و اکثر کارخانه‌های موجود در شهرک صنعتی جهت تأمین آب موردنیاز برای مصارف صنعتی اقدام به حفر چاه به‌صورت غیرمجاز کرده‌اند. این در حالی است که سازندهای منطقه اشتهارد مربوط به دوران سوم زمین‌شناسی است و منطقه از رسوبات رس و مارن و گچ و نمک پوشیده شده است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۹) که در سال‌های اخیر به دلیل کاهش بارندگی و میزان برداشت بیش از ظرفیت آبخوان، سطح ایستابی بشدت کاهش‌یافته و هم‌زمان زمینه‌ی پایین آمدن سطح کیفیت آب‌ها سطحی و زیرزمینی و مخاطره ژئومورفولوژیکی فرونشست در این مناطق را با سرعت بیشتری دامن زده است که نه تنها ازنظر زیست‌محیطی تأثیرات مخربی بر جای می‌گذارد، بلکه به مرور زمان باعث کاهش امکانات معیشتی منطقه نیز می‌گردد. پروفیل تغییرات فرونشست زمین به ما کمک می‌کند تا تغییرات تدریجی و یا ناگهانی سطح زمین را در یک بازه زمانی مشخص شناسایی کنیم. پروفیل‌های فرونشست تنها تغییرات آنی را نشان نمیدهد بلکه به ما امکان تحلیل روندهای بلند مدت را نیز می‌دهند. با تحلیل این روندها می‌توان پیش بینی کرد که در آینده چگونه زمین می‌تواند در مناطق مختلف تغییر کند و براساس آن برنامه ریزی بلند مدت شهری و زیست‌محیطی انجام داد این موضوع به ویژه در شهرهای بزرگ و صنعتی که از منابع زیرزمینی استفاده می کنند می‌تواند حائز اهمیت باشد. پایین رفتن خط نمودار نشانگر وقوع فرونشست در منطقه می‌باشد که محور X نشانگر فاصله و محور Y نشانگر مقدار جابه‌جایی محدوده موردنظر براساس متر می‌باشدکه پروفیل تغییرات غربی – شرقی و جنوبی – شمالی اشکال (۱۴ و ۱۳) نقشه میانگین فرونشست، نشان‌دهنده‌ی نوسانات عمده، غیر یکنواخت و با تغییرات سریع در نقاط مختلف است که هیچ الگوی خاص و پایداری ندارد و این نشان‌دهنده تاثیرات عوامل متعدد و متنوع بر سطح زمین است. در تمام مسیر این فرورفتگی و بالا آمدگی دیده می‌شود که از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ این فرورفتگی ها در حالیکه در کل مسیرتداوم دارد ولی در بعضی نقاط خیلی عمیق تر و پایین آمدگی بیشتری قابل‌مشاهده هست در واقع نمودارها دارای چندین نقطه حداکثری و حداقلی هستند که بیان گر تغییرات شدید فرونشست زمین در این منطقه می‌باشد بعبارتی نوسانات زیاد در نمودارها حاکی از ناپایداری سطح زمین است که بیانگر یک الگوی فرونشست پیچیده، چند مرحله‌ای و نوسانی است که این تغییرات و نوسانات زمانی - مکانی نشان دهنده تأثیرات مختلفی ازجمله فعالیت‌های انسانی (مانند شدت، نوع فعالیت از جمله نوع کشاورزی، صنعت و یا استخراج بی‌رویه آب از منابع زیرزمینی برای کاربری شهری و کشاورزی است)، زیست‌محیطی، مشخصات زمین‌شناسی (جنس رسوبات، ضخامت سفره، موقعیت سنگ کف و...) میزان تغذیه و تخلیه آبخوان و... می‌باشد.



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]



شکل (۱۳). پروفیل تغییرات میانگین فرونشست زمین در بازه زمانی (۲۰۲۳ – ۲۰۱۷) با جهت غربی – شرقی در منطقه موردمطالعه



شکل (۱۴). پروفیل تغییرات میانگین فرونشست زمین در بازه زمانی (۲۰۲۳ –۲۰۱۷) با جهت جنوبی – شمالی در منطقه موردمطالعه

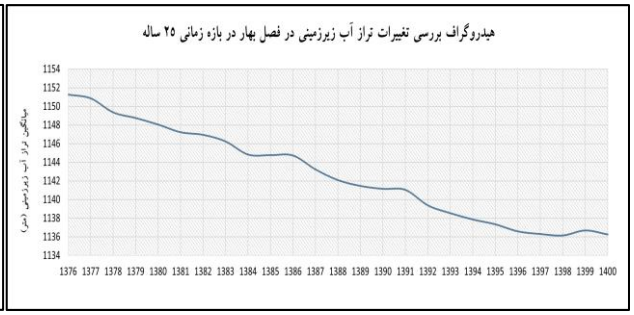
ارتباط رفتار فرونشست با تغییرات آب‌های زیرزمینی

بررسی روند تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی

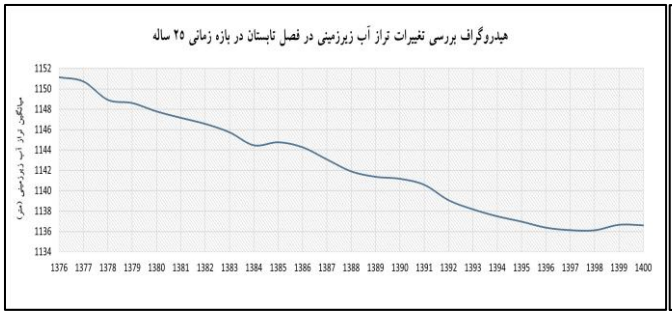
با توجه به اینکه برداشت از آب‌های زیرزمینی یکی از علل مهم فرونشست در دشت اشتهارد عنوان شده است، به‌منظور تبیین روند تغییرات تراز آب زیرزمینی، برای آبخوان محدوده مطالعاتی اشتهارد هیدروگراف های واحد تغییرات سطح آب زیرزمینی به‌صورت سالانه و فصلی تهیه شده است که از اطلاعات اندازه‌گیری چاه‌های مشاهده ای ۲۵ سال (۱۳۷۶ - ۱۴۰۰) استفاده شده است اشکال (۲۰ تا ۱۵). هیدروگراف های معرف دشت اشتهارد نشان دهنده افت مستمر سطح آب زیرزمینی در طول

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

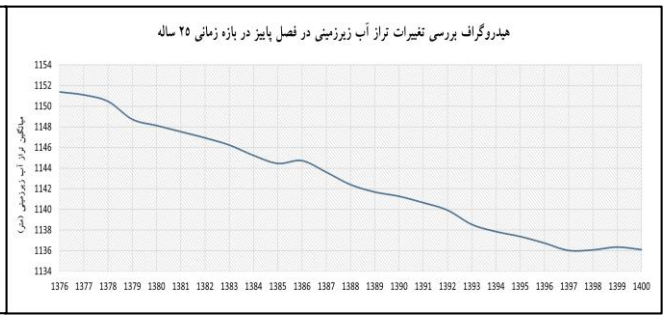
این ۲۵ سال می‌باشد. افزایش افت سطح آب در این منطقه باعث شده که تعدادی از چاه‌ها که مصارف شرب داشته خشک و با چند متر فاصله به حفاری چاه‌های جدید و غیر مجاز دامن زند. فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی هم در این منطقه نقش بسیار زیادی در افزایش عمق چاه‌ها و حفر چاه‌های غیرمجاز در سطح دشت دارد. براساس هیدروگراف معرف دشت اشتهارد، طی دوره ۲۵ ساله مذکور سطح آب زیرزمینی در این دشت تقریباً ۱۶ متر افت نموده که طی دوره آماری موجود بیشینه تراز آب زیرزمینی با رقم ۱۱۵۱ متر می‌باشد وکمینه تراز آب زیرزمینی. ۱۱۳۵ متر می‌باشد براساس آبنمود ارائه شده سطح آب زیرزمینی در دشت اشتهارد در حال افت بوده و هیدرو گراف تهیه شده دارای سیر نزولی می‌باشد.



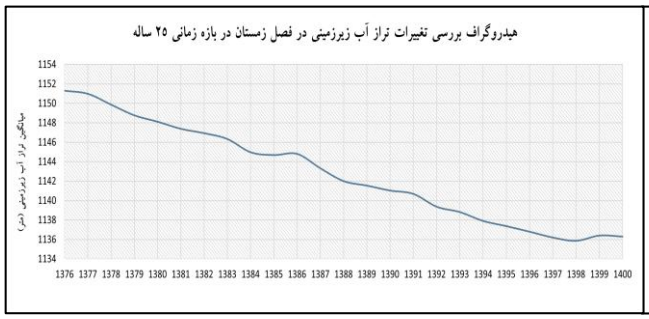
شکل (۱۵). هیدروگراف بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی در فصل بهار در بازه زمانی ۲۵ ساله (۱۴۰۰ – ۱۳۷۶)



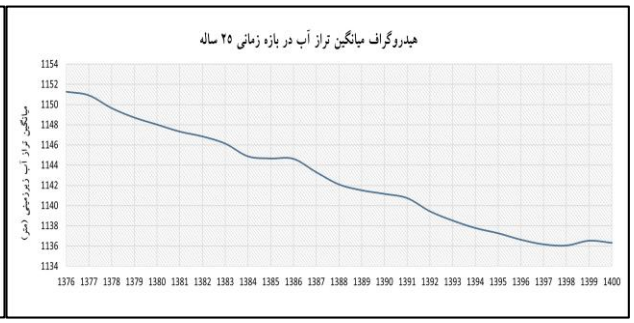
شکل (۱۶). هیدروگراف بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی در فصل تابستان در بازه زمانی ۲۵ ساله (۱۴۰۰ – ۱۳۷۶)



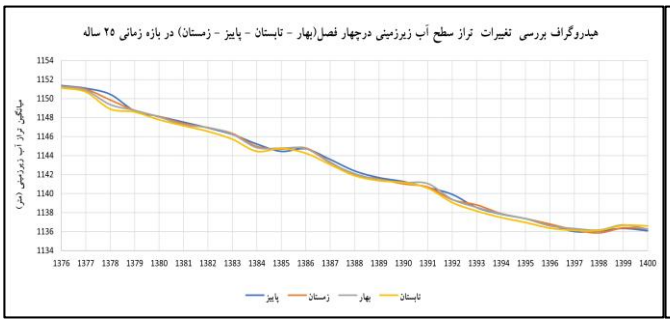
شکل (۱۷). هیدروگراف بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی در فصل پاییز در بازه زمانی ۲۵ ساله (۱۴۰۰ – ۱۳۷۶)



شکل (۱۸). هیدروگراف بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی در فصل زمستان در بازه زمانی ۲۵ ساله (۱۴۰۰ – ۱۳۷۶)



شکل(۱۹). هیدروگراف میانگین تغییرات تراز آب زیرزمینی در بازه زمانی ۲۵ ساله (۱۴۰۰ – ۱۳۷۶)



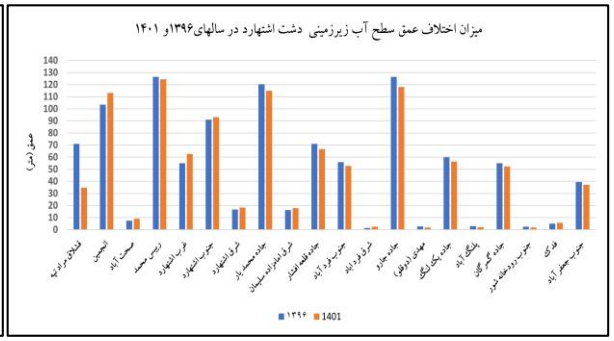
شکل (۲۰). هیدروگراف بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی در چهار فصل در بازه زمانی ۲۵ ساله (۱۴۰۰ – ۱۳۷۶)

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

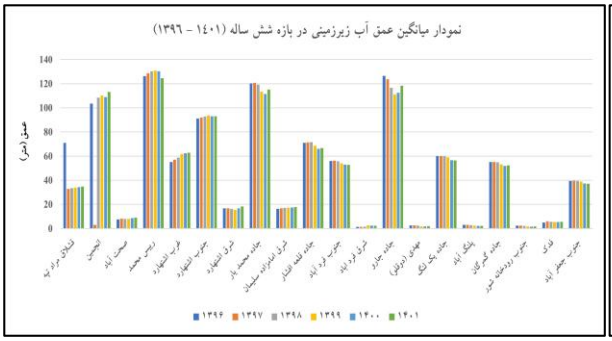
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

بررسی روند تغییرات عمق آب‌های زیرزمینی

تغییرات زمانی تراز سطح و عمق آب زیرزمینی نقاط مختلف آبخوان از جمله مشخصات هیدرودینامیکی است که معمولا از طریق رسم و ترسیم نمودار و نقشه های درون‌یابی میانگین تغییرات سطح و عمق چاه‌های مشاهده ای تعیین می گردد. این تغییرات آب زیرزمینی به موقعیت محل نسبت به مناطق تغذیه و تخلیه و هم‌چنین مقادیر تغذیه و تخلیه ی این محل ها بستگی دارد و به همین دلیل روند تغییرات آب بخش‌های مختلف آبخوان با یکدیگر متفاوت است. جهت بررسی عمق برخورد به آب زیرزمینی، تهیه ی نمودار تغییرات عمق و نقشه های هم عمق سطح آب از نتایج اندازه‌گیری ۲۰ حلقه چاه پیزومتری در بازه ۶ ساله استفاده شد. در ابتدا نمودارهای تغییرات عمق اشکال (۲۲ و ۲۱) و نقشه های هم عمق اشکال (۲۹ تا ۲۳) در بازه ۶ ساله (۱۴۰۱- ۱۳۹۶) متناسب با بازه زمانی که نقشه های فرونشست تهیه شد و در نهایت جهت افزایش دقت نتایج حاصل شده به تهیه نقشه های هم پوشانی فرونشست و خطوط کنتر عمق آب زیرزمینی در بازه ۶ ساله اشکال (۳۶ تا ۳۰) پرداختیم. بر پایه اطلاعات موجود و بررسی‌هایی که در بازه ۶ ساله انجام شد. بیشترین رقم عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی در بخش جنوب غربی قرار دارند. عمق برخورد به سطح آب در این نواحی بیش از ۱۲۰ متر است. بطور کلی در دامنه ارتفاعات، آب زیرزمینی نسبت به نواحی میانی و انتهایی دشت، در اعماق بیشتری قرار می گیرند. کمترین عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی مربوط به بخش‌های خروجی آبخوان یعنی حواشی نزدیک به جنوب پهنه تبخیری تقریباً ۲۷ متر می‌باشد. مطابق نقشه مذکور اشکال (۲۹ تا ۲۳) روند منحنی های هم عمق سطح آب زیرزمینی از گستردگی شرقی – غربی آبخوان تبعیت می نماید و ارقام منحنی های هم عمق سطح آب از شمال (حاشیه پهنه تبخیری و کویری) به سمت حاشیه ارتفاعات جنوبی، افزایش یافته و بین ۱ تا بیش از ۱۲۰ متر متغیر می‌باشد. این در حالی است که نمودارهای میانگین عمق و اختلاف عمق آب زیرزمینی اشکال (۲۲ - ۲۱) هم به خوبی گواه این افزایش می باشند و همانطور که در شکل (۲۱) مشاهده می کنید ما شاهد افزایش عمق چاه‌های قشلاق مراد تپه، انجمین، صحت آباد، رئیس محمد، غرب اشتهارد، جنوب اشتهارد، جاده جارو، جاده یک لنگ، جاده گمرکان، جنوب جعفرآباد هستیم که طبق تحقیقات انجام شده برداشت بیش از حد از آبخوان منجر به افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه می‌شود و خلل و فرج لایه های زیرین که از آب خالی شده‌اند، تحمل وزن لایه های بالاتر را نخواهند داشت، متراکم و فشرده می شوند و به دلیل عدم تناسب بین تغذیه و تخلیه عمق برخورد به آب زیرزمینی هم افزایش پیدا می‌کند که جهت برداشت مجدد، نیازمند پمپاژ هایی با شدت و سرعت بیشتر هستیم که باعث تنش در لایه خاک های متراکم شده و شکاف‌هایی را در این منطقه دامن می زند و گاها سبب مسدود شدن آبخوان ها می‌شود که براساس تحقیقات کارشناسان و گزارش های موجود، این شکاف ها یکی از بدترین نوع فرونشست ها است که با نفوذ آب‌های ناشی از نزولات جوی به داخل شکاف‌ها، افزایش سطح مقطع شکاف‌های زیرسطحی را فراهم می‌کند و در پی آن فروریزش‌های ناگهانی و عمده دیگری را در سطح زمین ایجاد می‌کند؛ درواقع با یکی از بدترین پدیده ها در حوضه بیابان زایی روبه رو خواهیم شد که به طور طبیعی نمی‌تواند جبران شود و بین ۵۰ تا ۷۰ هزار سال زمان می برد و بستری برای خطرات زیست‌محیطی و خسارت‌های زیادی بر زیر ساخت‌ها، شراین حیاتی خواهند داشت؛ خطری که هم‌اکنون سه خط موازی انتقال نیرو و خط های توزیع ۲۰ کیلوولتی را در بخشی از دشت اشتهار د تهدید کرده است شکل (۴۱).

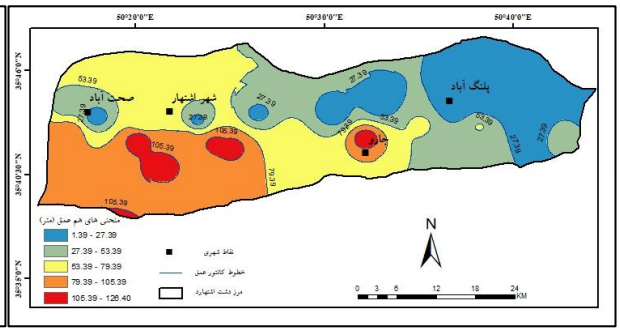


شکل (۲۱). نمودار میزان اختلاف عمق سطح آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۴۰۱

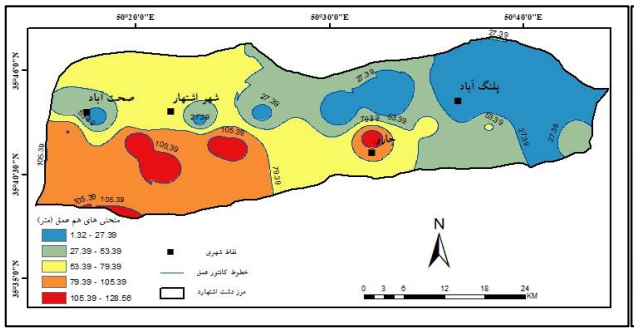


شکل (۲۲). نمودار میانگین عمق آب زیرزمینی در سال‌های (۱۴۰۱ – ۱۳۹۶)

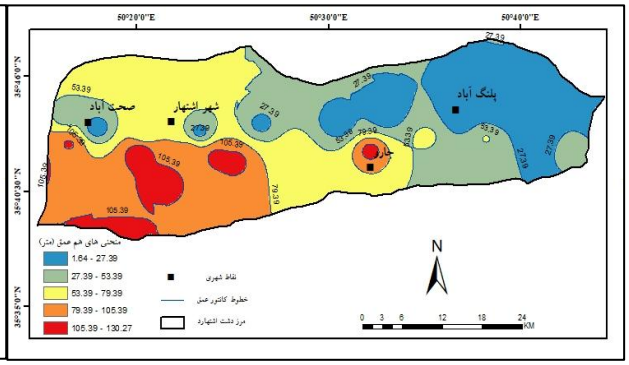
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]



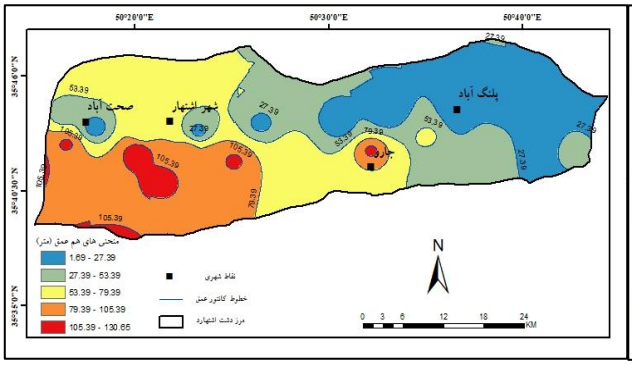
شکل (۲۳). نقشه عمق آب زیرزمینی دشت اشتهار (۲۰۱۷)



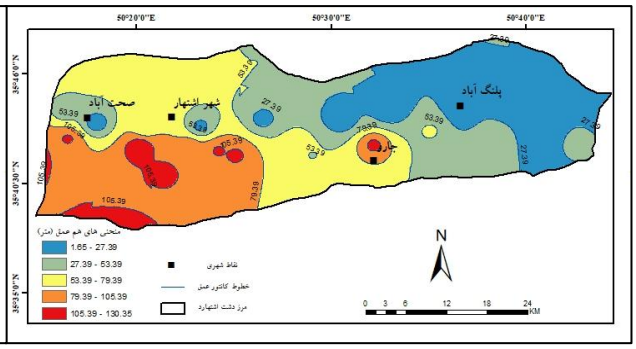
شکل (۲۴). نقشه عمق آب زیرزمینی دشت اشتهار (۲۰۱۸)



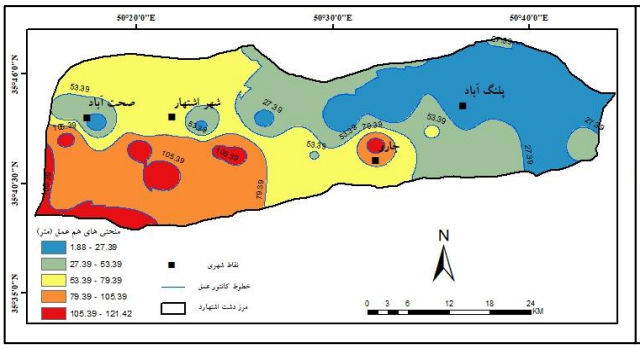
شکل (۲۵). نقشه عمق آب زیرزمینی دشت اشتهار (۲۰۱۹)



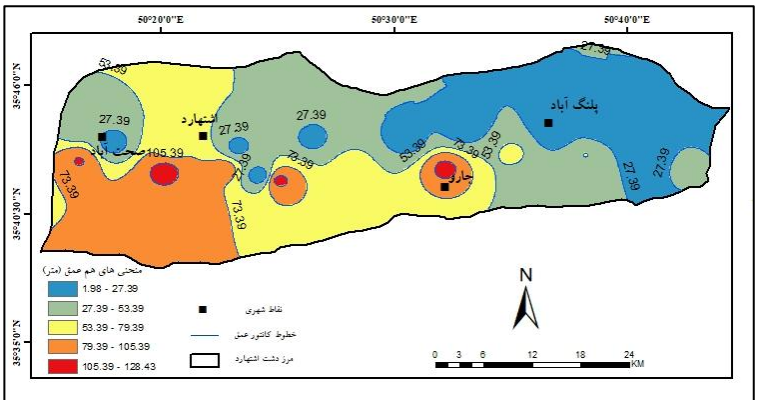
شکل (۲۶). نقشه عمق آب زیرزمینی دشت اشتهار (۲۰۲۰)



شکل (۲۷). نقشه عمق آب زیرزمینی دشت اشتهار (۲۰۲۱)



شکل (۲۸). نقشه عمق آب زیرزمینی دشت اشتهار (۲۰۲۲)

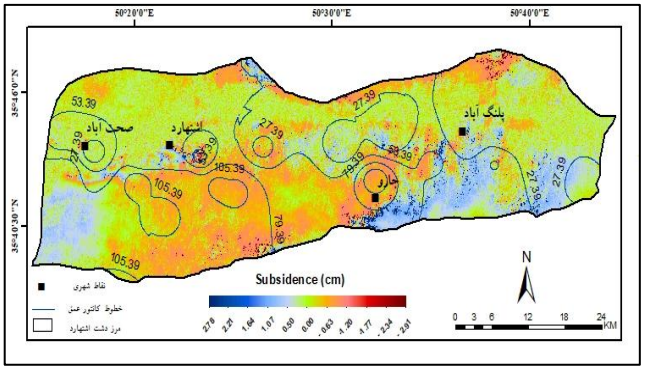


شکل (۲۹). نقشه میانگین عمق آب زیرزمینی دشت اشتهارد بازه شش ساله (۲۰۲۲– ۲۰۱۷)

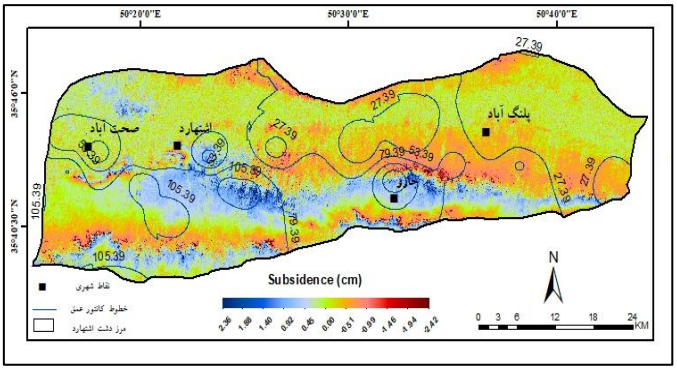
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

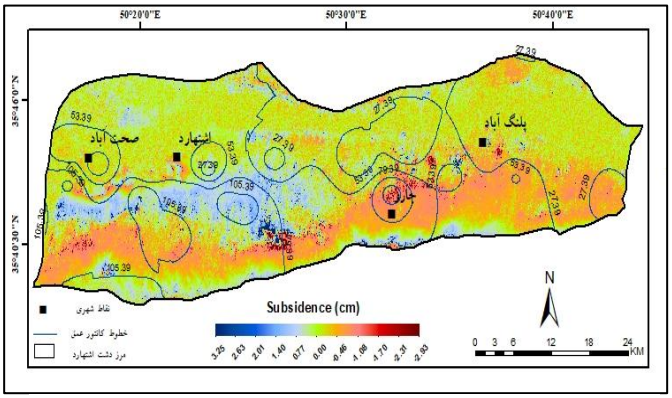
از طرفی نقشه های هم پوشانی فرونشست و خطوط کنتر عمق آب زیرزمینی در بازه ۶ ساله اشکال (۳۶ تا ۳۰) هم به خوبی بیانگر آن است که در اکثر نقاط با افزایش عمق زیرزمینی ما شاهد فرونشست بیشتری هستیم بطورکلی در فصل بارش، به دلیل افزایش بارندگی، آب به سفره‌های زیرزمینی نفوذ می‌کند و سطح آب زیرزمینی بالا می‌رود همان طور که می دانید عمق آب زیرزمینی و الگوهای بارش به‌عنوان دو فاکتور مهم در چرخه هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب در تعامل مستقیم با یکدیگر قرار دارند. در مجموع، این ارتباط را می‌توان از طریق بررسی فرآیندهای تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی و همچنین تاثیرات بارش‌های فصلی تحلیل کرد.



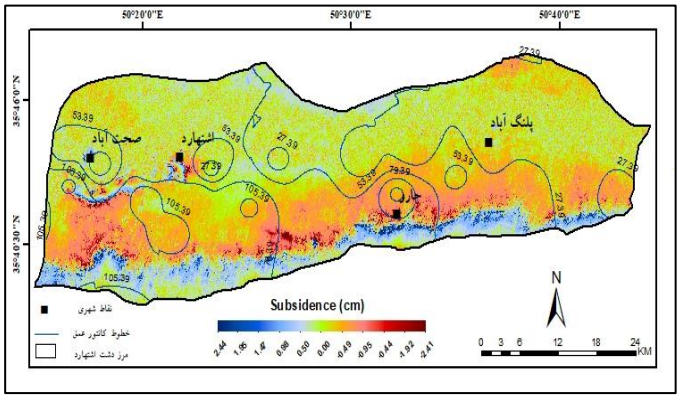
شکل (۳۰). هم‌پوشانی نقشه فرونشست (۲۰۱۸– ۲۰۱۷) با میانگین تراز عمق آب زیرزمینی(۲۰۱۷)



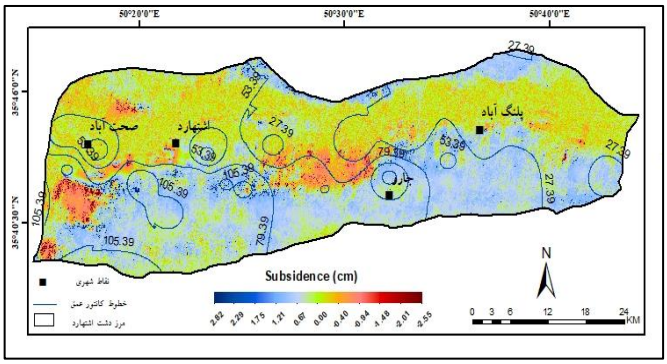
شکل (۳۱). هم‌پوشانی نقشه فرونشست (۲۰۱۹ – ۲۰۱۸) با میانگین تراز عمق آب زیرزمینی(۲۰۱۸)



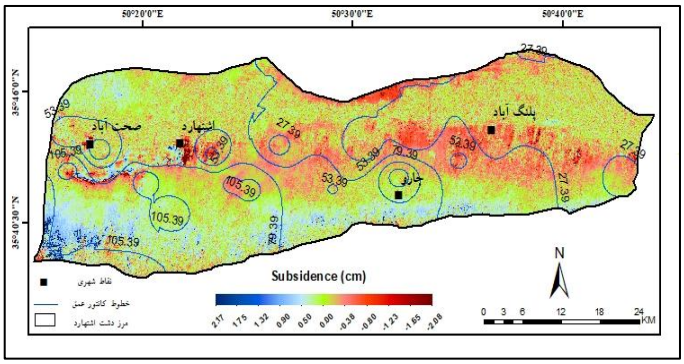
شکل (۳۲). هم‌پوشانی نقشه فرونشست (۲۰۲۰ – ۲۰۱۹) با میانگین تراز عمق آب زیرزمینی (۲۰۱۹)



شکل (۳۳). هم‌پوشانی نقشه فرونشست (۲۰۲۱ – ۲۰۲۰) با میانگین تراز عمق آب زیرزمینی (۲۰۲۰)

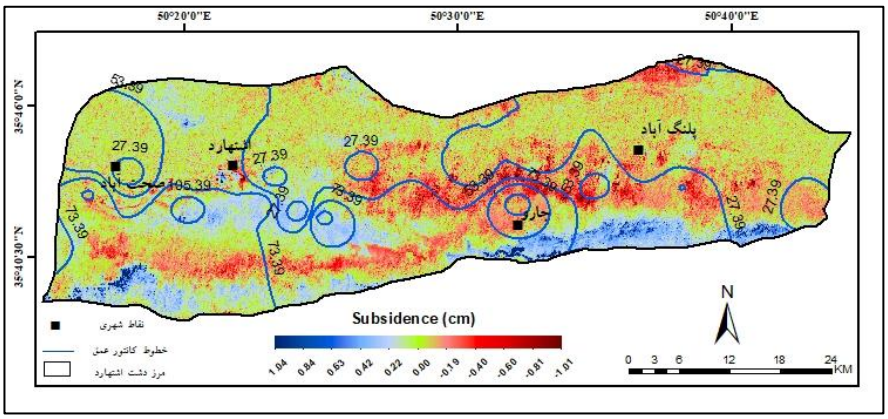


شکل (۳۴). هم‌پوشانی نقشه فرونشست (۲۰۲۲ – ۲۰۲۱) با میانگین تراز عمق آب زیرزمینی (۲۰۲۱)



شکل (۳۵). هم‌پوشانی نقشه فرونشست (۲۰۲۳ – ۲۰۲۲) با میانگین تراز عمق آب زیرزمینی (۲۰۲۲)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]



شکل (۳۶). هم‌پوشانی میانگین نقشه فرونشست (۲۰۲۳ - ۲۰۱۷) با میانگین تراز عمق آب زیرزمینی بازه شش ساله (۲۰۲۳ - ۲۰۱۷)

بررسی میزان تخلیه و آبدهی

بیلان، تراز نامه بین داشته ها و برداشته ها و در مورد منابع آب بین عوامل ورودی و عوامل خروجی آب در حوزه آبریز، یک محدوده مطالعاتی و یا یک محدوده مطالعاتی و یا یک آبخوان در زمان معین می‌باشد. در بیلان بایستی موازنه بین این دو گروه عوامل برقرار گردد، در محدوده ها یا آبخوان هایی که مجموع حجم آب‌های ورودی با مجموع حجم آب‌های خروجی تقریباً یکسان می‌باشد. بیلان حالت تعادل را نشان می‌دهد ولی چنانچه در یک محدوده یا یک آبخوان تعادل بین این دو گروه موجود نباشد و مجموع حجم عوامل خروجی که برداشت آب برای مصارف مهمترین آن است بیش از حجم عوامل ورودی می آید تا موازنه برقرار گردد در این حالت بیلان را منفی می نامند(کریمی حشمت الله، ۱۳۹۱). با برقراری بیلان وضعیت پتانسیل آب در یک محدوده مطالعاتی یا آبخوان معلوم می‌شود و براساس نتایج آن می‌توان امکان توسعه بهره برداری از منابع آب را برآورد نمود وهمچنین در محدوده های دارای بیلان منفی چگونگی کنترل اضافه برداشت را بررسی کرد. تخلیه و برداشت از آب زیرزمینی مهمترین عامل خروجی آب بوده که شامل برداشت (پمپاژ) توسط چاه و تخلیه بوسیله قنات و چشمه می‌باشد. در محدوده مطالعاتی دشت اشتهارد جمع تخلیه از آبخوان آبرفتی بوسیله چاه و قنات برابر ۳۴,۷۱ میلیون متر مکعب در سال (طبق آمار) می‌باشد که حدود ۸۳,۵ درصد مجموع عوامل خروجی بیلان را شامل می‌شود. در محدوده مطالعاتی اشتهارد برای آبخوان آبرفتی با توجه به نتایج بیلان و افت نسبتا زیاد و مستمر سطح آب زیزمینی که لزوم کاستن از بهره برداری فعلی را ضروری نموده مقدار ۷,۳۹- میلیون متر مکعب کاهش از بهره برداری توصیه می‌شود جدول (۳) در نتیجه میزان برداشت مجاز از آبخوان آبرفتی این محدوده ۲۷,۳۲ میلیون متر مکعب در سال برآورد می گردد.

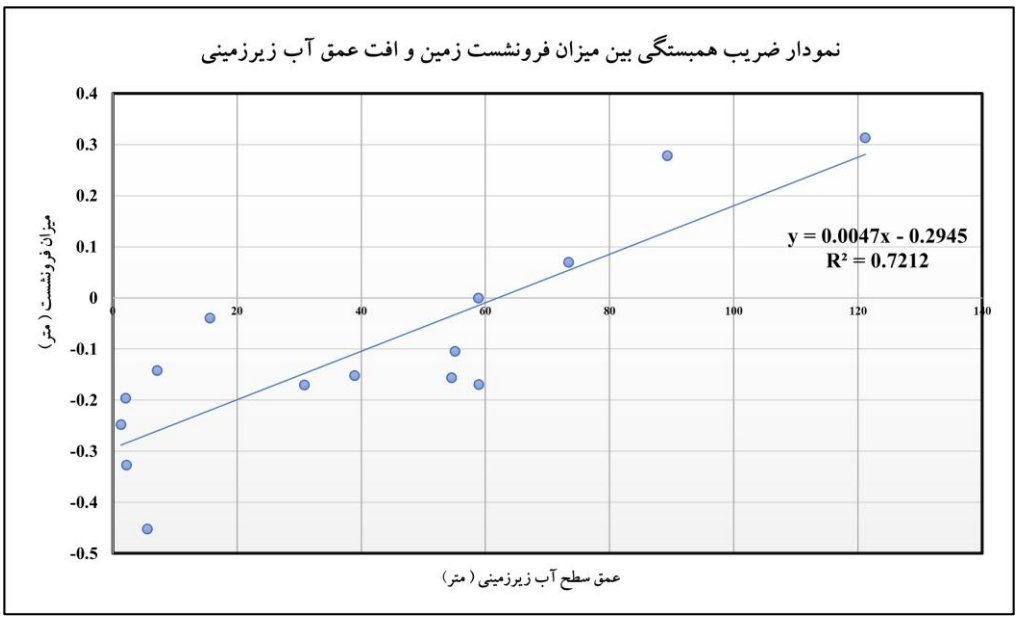
جدول (۳). بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت اشتهارد (ارقام به میلیون مترمکعب در سال) (کریمی حشمت الله، ۱۳۹۱)

وسعت ناحیه بیلان	تغذیه						تغییرات ذخیره حجم
	جریان زیرزمینی ورودی	نفوذ باران	نفوذ آب‌های سطحی	نفوذ آب‌های کشاورزی	نفوذ از آب شرب و صنعت	جمع تغذیه	
	۱۴,۴۲	۵,۵۰	۳,۴۲	۹,۲۰	۱,۶۲	۳۴,۱۶	
	تخلیه						
۲۹۵,۰۰۰	تخلیه توسط چاه، چشمه و قنات	زهکشی از آبخوان	تبخیر از آبخوان	جریان زیرزمینی خروجی	جمع تخلیه		-۷,۳۹
	۳۴,۷۱	۱,۵۰	۳,۲۶	۲,۰۸	۴۱,۵۵		

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

بررسی همبستگی میزان فرونشست با تغییرات عمق آب چاه‌های پیزومتری

استخراج بی‌رویه آب‌های زیرزمینی به‌منظور بهره برداری فعالیت کشاورزی عامل اصلی افت و افزیش عمق آب زیرزمینی به تبع آن سبب ظهور پدیده فرونشست در سطح دشت می‌باشد. به این منظور دو فاکتور موردنظرلایه میانگین عمق آب زیرزمینی و لایه میانگین فرونشست با استفاده از روش همبستگی مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت نتایج حاصله نشان داد ضریب R^2 برابر ۰,۷۲ و معناداری در سطح ۹۵ درصد می‌باشد شکل (۳۷) و این به معنای رابطه ی مستقیم بین فرونشست دشت اشتهارد و افزایش عمق آب زیرزمینی است.



شکل (۳۷). نمودار ضریب همبستگی بین میزان فرونشست و افت عمق آب زیرزمینی

بازدید میدانی

اعتبار سنجی یافته های تکنیک های سنجش از دوری فرآیندی ضروری است که می بایست از طریق پیمایش میدانی صورت پذیرد. در این تحقیق به‌منظور تعیین اعتبار یافته های تکنیک مورداستفاده و هم‌چنین جمع آوری شواهد مکانی از حدوث پدیده نشست عملیات پیمایشی به انجام رسید. بدین منظور از مناطق واقع در معرض نشست مستخرج از پردازش داده‌های SAR در منطقه مشاهده میدانی انجام پذیرفت. بررسی های زمینی موید وجود تعداد کثیری از رخنمون های مورفولوژیکی ناشی از نشست زمین در منطقه موردمطالعه است (شکل ۳۸). از جمله این رخنمون ها فروچاله ها و ترکهایی که در زمین‌های کشاورزی و در اطراف شکل گرفته سبب توسعه فرسایش خندقی شده است. بر اساس بررسی های صورت گرفته در سطح دشت وجود ترکها و شکاف ها ی خطی در منطقه نمادی از توسعه فرونشست در دشت می‌باشد ازاین‌رو بررسی موقعیت این شکاف ها، شرایط ساز و کار و تاثیرات آن ها بشدت حائز اهمیت است و پاسخ گوی خوبی برای مدیریت شرایط بحران زای این منطقه می‌باشد. این در حالی است که تأثیرات فرونشست، ممکن است به‌وسیله دیگر فعالیت‌های طبیعی، همچون زمین‌لرزه‌ها و زمین‌لغزش‌ها و غیره تسریع گردد. آنچه مشخص است، با ادامه روند کنونی برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی و روند صعودی فرونشست در یک افق بلندمدت به‌واسطه آن زیرساخت‌ها نابود می‌شوند و مصرف آب هم چه در مصارف شهری و چه در کشاورزی با مشکل مواجه خواهد شد. اولین قربانی کاهش عمده سطح آب‌های زیرزمینی و فرونشست، امنیت غذایی منطقه است که به‌عنوان یک چالش مهم زیست‌محیطی حائز اهمیت است که زمینه مهاجرت، تخریب باغات و اراضی کشاورزی، تغییر کاربری‌ها و تنش‌های اجتماعی... را دامن می‌زند (چراغی، ۱۳۹۵، میرزائی ندوشن و همکاران، ۲۰۲۱).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

شکل (۳۸). شکاف‌های ناشی از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در روستای فتح‌آباد اشتهارد

نتیجه گیری

در این پژوهش فرونشست زمین در دشت اشتهارد موردبررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده درواقع ما شاهد پهنه‌های فرونشست در اکثر نقاط دشت اشتهارد هستیم که در بعضی نقاط این پهنه‌های به‌صورت گسترده‌تر، در بعضی نقاط به‌صورت پهنه‌های نقطه‌ای متمرکز و یا به‌صورت نقاط پراکنده قابل‌مشاهده هستند که در مطالعات پیشین جعفری و همکاران (۱۴۰۰) به این مسئله اشاره نمودند که توزیع فضایی نواحی فرونشست یافته بیشتر در محدوده میانی دشت اشتهارد است که یافته های حاکی از میزان فرونشست آن در بازه پنج ساله (۲۰۲۰ تا ۲۰۱۶) حدود ۰,۰۴۶ سانتی‌متردر سال می‌باشد و حصارکی زاد و همکاران (۱۴۰۱) هم میزان فرونشست را در بازه شش ساله ۱,۵- سانتی‌متر در سال برآورد کردند و بیشترین فرونشست را در بخش میانی و شمال غربی منطقه مشخص نمودند که طبق تحقیقات ما به مرور زمان این رفتار تغییراتی را تجربه کرده است. الگوی فرونشست در این منطقه دارای چند پهنه است که بیشترین تمرکز آن در محدوده آبخوان اشتهارد هست که بخش عمده‌ای از مزارع وآبادی‌ها، شهر اشتهارد، شهرک‌های صنعتی (کوثر، امید و اشتهارد)، زمین‌های کشاورزی و بیشترین تمرکزمنابع زیرزمینی (چاه‌ها) را در خودش جای داده است. فرونشست منطقه بین ۲,۰۸- تا ۲,۹۳- سانتی‌متر متغیر است که نرخ فرونشست از شرق به غرب و در پهنه جنوبی با افزایش همراه است.

میزان فرونشست زمین در منطقه موردمطالعه متفاوت است و تفاوت هایی از لحاظ زمانی و مکانی دارد؛ که این تغییرات و نوسانات زمانی - مکانی نشان دهنده تأثیرات مختلفی ازجمله فعالیت‌های انسانی زیست‌محیطی، مشخصات زمین‌شناسی، میزان تغذیه و تخلیه آبخوان و... می‌باشد. بخش اعظمی از مساحت دشت اشتهارد را رسوبات آبرفتی کواترنر پوشانده است که به علت پوکی و تخلخل زیاد، میزان فرونشینی منطقه را افزایش می‌دهد. این در حالی است که انواع مختلف کاربری زمین هم می‌توانند به روش‌های مختلف بر فرونشست زمین تأثیر بگذارند و رابطه مستقیم بین فرونشست و برداشت آب زیرزمینی را تایید کند. همانطور که می دانیم اشتهارد به‌عنوان یکی از قطب-های صنعتی و کشاورزی استان محسوب می‌شود که با توجه به اینکه این منطقه کویری از آب‌های سطحی بی‌بهره بوده است و برای مصارف شرب، کشاورزی، باغداری و صنعت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

سفره‌های ضعیف زیرزمینی (چاه و قنات) منطقه، مورداستفاده قرار می‌گیرد که ما شاهد بیلان منفی، افت نسبتا زیاد و مستمر سطح آب زیرزمینی و افزایش عمق برخورد به آب زیرزمینی هستیم که لزوم کاستن از بهره برداری فعلی را ضروری نموده است زیرا مناطق مرکزی و غربی دشت اشتهارد با احتمال بسیار زیاد در رخداد مخاطره فرونشست قرار دارند چون به علت تراکم بالای جمعیت و فعالیت‌های عمرانی وصنعتی گسترده آسیب پذیری افزایش پیدا می‌کند.

ازاین‌رو دشت اشتهارد که به دلیل برداشت بیش‌ازحد منابع آب زیرزمینی جزو دشت‌های ممنوعه بحرانی اعلام‌شده است با رشد جمعیت و توسعه کشاورزی و صنعت در منطقه نیاز بیشتر به آب در آن امری بدیهی هست. افت سطح آب زیرزمینی می‌تواند مشکلات زیادی در کوتاه‌مدت و بلندمدت ایجاد نماید؛ کمبود آب، افزایش هزینه‌های برداشت آب، اثرات مورفولوژیکی فرونشست زمین، برهم خوردن تعادل منطقه، تغییر کاربری و هم‌زمان بر دو چالش اساسی زیست‌محیطی دیگر در این منطقه‌یعنی بیابان‌زایی و گردوغبار هم تأثیرگذار است و همچنین هیدرولوژی منطقه را تغییر خواهد داد و تغییرات ارتفاعی که به وجود می‌آید هم به‌عنوان عاملی است که خود به‌تنهایی بر تشدید سیلاب‌ها در این منطقه نقش می‌زند و این شرایطی است که در حال حاضر بعضی از مناطق اشتهارد را در برگرفته است. قابل‌ذکر است که با توجه به پویایی دشت اشتهارد به لحاظ تکتونیکی، فرونشست سبب تحریک گسل‌های فعال و افزایش آسیب‌پذیری می‌شود ازآنجاکه نشست زمین دارای تأثیرات مخرب و دائمی است، بررسی ریسک فرونشست، شناسایی عوامل تأثیرگذار برایجاد آن و به‌تبع آن ارزیابی تاثیرات تغییرات مورفولوژیکی ناشی ازآن، می‌تواند دیدی مناسب از خطرات پیش رو را روشن سازد و در راستای پیشگیری از صدمات بیشتر به منطقه برنامه‌ریزی صورت گیرد؛ بنابراین مدل‌سازی ریسک فرونشست وتحلیل تغییرات مورفولوژیکی ناشی از آن در سال‌های آینده، اقدامی مفید و مؤثر در جهت ارائه راهکارهای مدیریتی بر آبخوان دشت اشتهارد است که در صورت نظارت و آگاهی از آمار چاه‌ها، چشمه ها و قنات های مناطق کشورو بستن چاه‌های غیر مجاز و جلوگیری از برداشت بی رویه، میزان خسارات ناشی از فرونشست زمین نیز کاهش می یابد. درواقع نظارت و پایش مستمر چاههای مجاز و منع استفاده از چاه‌های آب غیرمجاز در تمامی مناطق استان، تقویت و استقرار گروههای گشت و بازرسی ونصب کنتور حجمی و هوشمند آب و برق که به دنبال آن لازم است در این راستا قوانین تعیین صلاحیت شرکتهای حفاری هم وضع شود.

این در حالی است که می‌توان جهت تغذیه آبخوان دشت اشتهارد از کانال های بتونی برای تغییر مسیر آب شیرین به منطقه استفاده نمود البته این روش نیاز به هزینه های سنگین دارد اما در جهت رفع مشکل منطقه کارساز می باشد. احداث سدهای خاکی و یا ایجاد مخازن آب غیر قابل نفوذ در فصل بارندگی از شوری و هدر رفت آب جلوگیری میکند، همچنین از میزان سیلاب و گسترش شوره زار نیز می کاهد. به‌عنوان راهکار دراز مدت بر مبنای تجربه سایر کشورها چاره ای جز اصلاح روشهای مدیریت منابع آب وجود ندارد و ایجاد و توسعه کانونهای زیستی، توسعه اراضی و کلیه فعالیتهای عمرانی بر اساس شناخت کافی از مناطق مستعد فرونشست حائز اهمیت است. تا زمان باقی است باید بسوی آن حرکت کرد؛ اما تا آن هنگام و بعنوان راهکار فوری و اضطراری دست کم میتوان به جلوگیری از ادامه فعالیت استفاده کنندگان غیر مجاز و چاههای حفر شده به این طریق (که در بسیاری موارد تعداد آنها از چاههای مجاز بیشتر است) مبادرت ورزید. در غیر اینصورت و با روند موجود ضمن از دست دادن بخش عظیمی از منابع آب برای همیشه، پدیده هایی نظیر فرونشست های نقطه ای یا ناحیه ای با ابعاد نامعلوم و با آسیب های جبران ناپذیر، باز هم بوقوع خواهد پیوست.

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

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

منابع

آقایاری، لیلا؛ عابدینی، موسی؛ اصغری سراسکانرود، صیاد اصغری (۱۴۰۱)، *برآورد میزان فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و پارامترهای آب‌های زیرزمینی و کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت اردبیل)*، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۱ (۴۱)، ۱۳۲ – ۱۱۷.

پاپی، رامین؛ عطارچی، سارا؛ سلیمانی، مسعود (۱۳۹۹)، *تحلیل سری زمانی فرونشست زمین در غرب استان تهران (دشت شهریار) و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیرزمینی با تکنیک تداخل سنجی راداری، جغرافیا و پایداری محیط (پژوهشنامه جغرافیایی)*، ۱۰(۳۴)، ۱۰۹-۱۲۸.

جعفری، فرهاد؛ صفاری، امیر (۱۳۹۵)، *سنجش مقدار و پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی: دشت کرج-شهریار). فصلنامه علمی ـــ پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیای ایران*، ۱۴ (۴۸)، ۱ – ۱۶.

چراغی، سمیرا؛ کرمی، غلامحسین (۱۳۹۵)، *بررسی تغییرات ۳۰ ساله سطح آب زیرزمینی در دشت شهریار قدیم، چهارمین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری*، تهران، ۹-۱.

حصارکی زاد، عاطفه (۱۴۰۲)، *پایان نامه ارتباط توسعه زمانی فعالیتهای انسانی و دامنه فرونشست با یافته های تکنیک تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی دشت اشتهارد)*، دانشگاه تهران.۲۶۸ – ۱.

حقیقت مهر، پریسا (۱۳۸۹). *فرونشست سطح زمین ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی و چاه‌های نفتی به کمک تداخل سنجی راداری*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران ۳۰۲- ۱.

دفتر حفاظت و بهره برداری منابع آب و امور مشترکین (۱۳۹۸). *خلاصه وضعیت دشتهای ممنوعه کشور در شرکتهای آب منطقه، وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران (معاونت حفاظت و بهره برداری)*، تهران ۱ – ۸۰.

دلارام، رقیه؛ فتوحی، صمد؛ حمیدیان پور، محسن؛ سالاری مرتضی (۱۴۰۳). *بررسی میزان فرونشست در محدوده‌ای از دشت مشهد- توس با استفاده از تکنیک DInsar، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۴ (۷۲)، ۳۷۷ – ۳۶۱.

رنجبر، محسن؛ جعفری، نسرین (۱۳۸۸). *بررسی عوامل مؤثر در فرونشست زمین دشت اشتهارد، فصلنامه جغرافیا*، ۶ (۱۹)، ۱۵۵-۱۶۶.

صبوحی، محمود؛ سلطانی، غلامرضا؛ زیبایی، منصور (۱۳۹۳). *ارزیابی راه کارهای مدیریت منابع آب زیرزمینی، (مطالعه موردی دشت نریمانی در استان خراسان)، نشریه علوم آب‌وخاک*، ۱۱ (۱)، ۴۷۵-۴۸۵.

صفاری، امیر؛ جعفری، فرهاد و توکلی صبور، سیدمحمد (۱۳۹۵). *پایش فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیرزمینی مطالعه موردی: دشت کرج- شهریار، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۵ (۲)، ۹۳-۸۲.

عمادالدین، سمیه؛ نظری گزیک، زهرا (۱۴۰۲)، *برآورد میزان فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و تغییرات تراز آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت مشهد)، جغرافیا و توسعه زمستان*، شماره ۷۳، ۲۲۱ – ۲۳۹.

قادری، شهلا؛ زارع چاهوکی، محمدعلی؛ آذرنیوند، حسین؛ طویلی، علی؛ رایگانی، بهزاد (۱۳۹۹). *پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل (CA-Markov) مطالعه موردی: اشتهارد، نشریه علمی مرتع*، ۱۴ (۱)، ۱۶۰-۱۴۷.

قنواتی، عزت اله؛ شریفی کیا، محمد و حسینی، سید ابراهیم (۱۳۹۸)، *تبیین اثر و فرایند ژئومورفولوژیکی پدیده فرونشست در تغییر الگوی لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی مطالعه موردی دشت یزد-اردکان*، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۸ (۳)، ۱-۱۶.

کریمی، حشمت الله (۱۳۹۱)، *پایان نامه بررسی وضعیت کمی وکیفی آب‌های زیرزمینی دشت اشتهارد و طراحی شبکه بهینه پایش، دانشگاه تربیت معلم*. ۱-۱۹۵.

کیانی، شکراله؛ مزیدی، احمد؛ حسینی، سیدزین العابدین (۱۴۰۳)، شناسایی مناطق دارای فرونشست با استفاده از تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی؛ دشت دامنه)، مجله تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۴ (۷۴)، ۷۶ – ۹۷.

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

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

محمد حسنی، محمد؛ شیخ شریعتی کرمانی، بهناز (۱۴۰۰)، *تعیین میزان فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری (مطالعه موردی :شریان‌های حمل و نقلی منطقه غرب شهر کرمان)*، پژوهش نامه حمل و نقل، ۱۸ (۳)، ۹۰ – ۷۵.

مختاری، گلی؛ بیرامعلی، فرشته (۱۳۹۷)، *محاسبه و تحلیل تنوع زمینی (ژئودایورسیتی) (مطالعه‌ی موردی: شهرستان اشتهارد)*. پژوهشهای جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، ۵۰ (۲)، ۳۲۲- ۳۰۷.

میرزایی ندوشن، فهیمه؛ بزرگ حداد، امید؛ خیاط خلقی، مجید (۱۳۹۸). *گزارش فنی: بهینه‌سازی و توسعه شبکه پایش سطح آب زیرزمینی در دشت اشتهارد، مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۱ (۱)، ۲۸۲-۲۷۳.

وزارت صنعت، معدن، تجارت؛ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۹)، *گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱: ۱۰۰۰۰۰ اشتهارد*، ۱۴ – ۱.

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

Burgmann, R., Rosen, P.A., Fielding, E.J (2000). Synthetic aperture radar interferometry to measure earth's surface topography and its deformation. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Vol.28, 169-209.

Chen Chieh-Hung., Wang Chung-Ho., Hsu Ya-Ju., Yu Shui-Beih., Kuo LongChen., 2010. Correlation between groundwater level and altitude variations in land subsidence area of the Choshuichi Alluvial Fan, Taiwan, Engineering Geology,115, pp 122-131 28.

Chen, G., Zhang, Y., Zeng, R., Yang, Z., Chen, X., Zhao, F., & Meng, X. (2018). Detection of land subsidence associated with land creation and rapid urbanization in the chinese loess plateau using time series insar: A case study of Lanzhou new district. Remote Sensing, 10(2), 270.

Crosetto, M., Gili, J.A., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Corominas, J., Serral, D (2013). Interferometric SAR monitoring of the Vallcebre landslide (Spain) using corner reflectors, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 13, No 4, 923-933.

Dehghani M., Hooper A., Hanssen RF., Zoej MJV., Saatchi S., Entezam I. (2013). Hybrid conventional and persistent scatterer SAR interferometry for land subsidence monitoring in Tehran Basin, Iran. Proceedings FRINGE Workshop 2009, Frascati, Italy, 30 Nov–4 Dec 2009.

Du, Y., Feng, G., Peng, X., Li, Z (2017). Subsidence Evolution of the Leizhou Peninsula, China, Based on InSAR Observation from 1992 to 2010. Applied sciences, 7(5),466.

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

Goorabi, A., Karimi, M., Yamani, M., & Perissin, D., (2020). Land subsidence in Isfahan metropolitan and its relationship with geological and geomorphological settings revealed by Sentinel-1A InSAR observations. Journal of Arid Environments, 181, 1-17

Haghighi, M. H., & Motagh, M. (2019). Ground surface response to continuous compaction of aquifer system in Tehran, Iran: Results from a long-term multi-sensor InSAR analysis. Remote sensing of environment, 221, 534-550.

Hu, B., Zhou, J., Wang, J., Chen, Z., Wang, D., & Xu, S. (2009). Risk assessment of land subsidence at Tianjin coastal area in China. Environmental Earth Sciences, 59(2), 269.

Jeanne, P., Faar, T. G., Rutqvist, J., Vasco, D. W (2019). Role of agricultural activity on land subsidence in the Jouquin Valley, California, Journal of Hydrology, Vol. 569, 462 -469.

Khan, J., R, X., Afaq Hussain, M., Qasim Jan, M., 2022, Monitoring Land Subsidence Using PS-InSAR Technique in Rawalpindi and Islamabad, Pakistan, Remote Sensing, 14,3722, 1-25.

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

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]

Notti, D., Mateos,R.M., Monserrate, O., Devanthery, N., Peinado, T., Roldan, F.J., Fernandez-Chacon,F., Galve, J.P Lamas,F., Azanon, J.M.(2016). Lithological control of land subsidence induced by groundwater withdrawal in new urban AREAS (Granada Basin, SE Spain). Multiband DInSAR monitoing. Hydrological Process, Vol.30, 1-15

Poland, J.F. (1984). Guidebook to studies of land subsidence due to groundwater withdrawal, UNESCO/IH, Michigan. USA,۱ -٥٦٥

Sarker, Md. S., Kamal, A. S. M. M., Rahman, Md. Z., & Faruki Fahim, A. K. (2024). Land subsidence monitoring using InSAR technique in the southwestern region of Bangladesh. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 15(1).

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

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.24]