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

Time series analysis of the subsidence of Esfarayen plain using radar interferometric method

Mohammad Motamedi Rad[1]✉ | **Reza Arjmandzadeh**[2] | **Ebrahim Amiri** [3] | **Farzad amiri** [4]

1. Corresponding author. Assistant Professor, Department of Geography Education, Farhangian University,Tehran, Iran. **E-mail:** m.motamedirad@cfu.ac.ir
2. Assistant Professor, Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran. **E-mail:** r.arjmandzadeh@pnu.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Geography Education, Farhangian University,Tehran, Iran. **E-mail:** Dr.amiri@cfu.ac.ir
4. Architecture Engineering Student , Department of Architecture, Bojnourd Branch,Islamic Azad University, Bojnourd, Iran. **E-mail:** Faarzaad.amiirii@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2024/06/30
Received in revised
2024/09/28
Accepted
2024/10/12
Published
2024/10/15
Published online
2025/09/23

Keywords:
Esfarayen,
radar,
Interpolation,
Sentinel,
Subsidence.

ABSTRACT

The persistent drought conditions and the increasing reliance on groundwater resources over the past decades have significantly expanded the areas affected by land subsidence across various regions of the country, leading to substantial damage. To mitigate the impacts of subsidence, a comprehensive and precise understanding of this phenomenon is essential. In recent decades, the Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometric technique has emerged as a widely used method for measuring subsidence. This study utilizes field data, including piezometric wells, groundwater level fluctuations during minimum and maximum periods, and exploitation wells, to calculate aquifer discharge rates using Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation. The aim is to analyze the time series of subsidence in the Esfarayen plain. Additionally, radar data from Sentinel-1 images were employed to estimate the subsidence rate during the first eight months of 2023. The findings reveal that subsidence in the study area ranged from 1 to 12 mm over the eight-month period, with 75.2% of the basin area classified as medium to highly critical. This indicates that the Esfarayen plain is in a critical state. The highest levels of water extraction and subsidence were observed in the southern regions of Sankhasat, Kharasha, Arg, Gazan, Jafarabad Kharaba, and Mehdiabad of Kal Beko wells, all of which fall within the highly critical zone. These areas require efficient groundwater management strategies to control and mitigate land subsidence.

Cite this article: Motamedi Rad, Mohammad., Arjmandzadeh, Reza., Amiri, Ebrahim & Amiri, Farzad. (2025). Time series analysis of the subsidence of Esfarayen plain using radar interferometric method. Applied Researches in Geographical Sciences, 25 (78), 376-397. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.22

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.22

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

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

Extended Abstract

Introduction

The rapid growth of population and industrial development has led to a significant increase in the extraction and utilization of groundwater resources. This excessive withdrawal of groundwater has, in turn, triggered land subsidence in many regions. Geological and hydrogeological factors play a critical role in the occurrence of land subsidence, particularly when groundwater extraction is not managed sustainably. Subsidence typically results from the mining or dissolution of subsurface materials, as well as the extraction of fluids from the ground, which can be driven by both natural and anthropogenic factors. Given the significance of this issue, and in light of the official reports from the North Khorasan Meteorological Department, approximately 59% of the 2.8 million hectares in this northeastern province are affected by drought. According to the Standardized Precipitation Index (SPI) over the 10-year period ending in March of last year, more than half of the province's area is experiencing drought conditions. Specifically, 13.1% of the province is under severe drought, 13.9% under extreme drought, 16.1% under moderate drought, and 15.6% under mild drought. Among the eight counties in this region, Maneh and Samalghan, which are key agricultural hubs, are the most severely affected by drought. Following these, the counties of Esfarayen, Raz, and Jarglan have also been significantly impacted.

Material and Methods

The study began by delineating the boundary of the Esfarayen plain basin using Google Earth software and 1:50,000 scale topographic maps. Contour lines and the drainage system were digitized using ArcGIS software, and topographic features such as elevation levels and slope gradients were extracted. Geological information for the region was obtained from 1:100,000 scale geological maps of Shirvan, Safiabad, Bojnord, Joghatai, Sankhasat, and Forumad. This research combines analytical techniques and field surveys as its primary methodological components. Ground data, including piezometric wells and groundwater level decline, were analyzed using Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation. Additionally, radar data from Sentinel-1 images were processed using SNAP software to calculate the subsidence rate during the first eight months of 2023. The results were subsequently validated through field surveys to ensure accuracy and reliability.

Results and Discussion

Using piezometric data from the periods 2018–2019, 2019–2020, 2020–2021, 2021–2022, 2022–2023, and 2018–2023, the groundwater level and its decline were evaluated using the Inverse Distance Weighting (IDW) method. The resulting maps indicate that the piezometric wells of Shorb 4 Borj, south of Zarqabad, Kalateh Shur, East Izi, northwest of Stin, and East Toy, as well as the wells of Sorkh Tapeh, Kalateh Karbalai Hossein, and south of Qamiteh, exhibit the lowest groundwater levels. This suggests that the groundwater level is significantly higher in the northern, central, and southeastern parts of the basin. The presence of karst limestone formations, permeable sandstones in the Binalud zone, and alluvial, fan,

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

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

and Quaternary foothill deposits, along with numerous faults in the northern region, contribute to the enrichment of the groundwater table. However, excessive extraction in these areas has led to a decline in water levels. Similarly, the central and southeastern parts of the basin, characterized by loose, porous, and permeable sediments, show high groundwater level anomalies. To further analyze groundwater loss, the Change Detection tool in ArcGIS Pro software was used to calculate and map the decline in groundwater levels for the years 2017–2018, 2018–2019, 2019–2020, 2020–2021, 2021–2022, 2022–2023, and the cumulative period of 2018–2023. The results reveal a consistent decline in groundwater levels over these years. The piezometric wells south of Arg, south of Khorasha, south of Gazan, north of Abbas Abad, and the exploratory wells of Qasem Abad experienced the highest groundwater declines during 2018–2023, with values of -3.5, -3.2, -3.07, -2.985, and -2.65 meters, respectively. These significant declines are likely contributing to land subsidence in the region. Subsidence rates were estimated using SNAP software. The analysis focused on the first four months and the subsequent four months of 2023, followed by calculating the overall subsidence growth rate over the eight-month period. This was achieved by summing the two outputs (from the first and second four-month periods) and then multiplying by 8 to derive the final subsidence growth rate and its spatial distribution.

Conclusion

This study determined that the subsidence rate in the Esfarayen plain ranged from 1 to 12 mm over an eight-month period, as calculated using SNAP software. Subsidence zoning revealed that 26.45% of the basin falls within the "high critical" zone (5 to 12 mm), and when combined with the "medium critical" areas, a total of 75.2% of the basin is classified as critical. This indicates that the Esfarayen Plain is in a critical state regarding land subsidence. The highest levels of groundwater extraction were observed in the southern regions of Sankhasat, Khorasha, Arg, Gazan, Jafarabad Kharaba, and Mehdiabad Kal Beko, all of which are located in the "very critical" zone. Wells in the "medium critical" zone include Kalate Shur, Imamzade Abdullah, Hassan Abad, and south of Koboterkhane, while those in the "slightly critical" zone include Seyed Abad, Firoz Abad, south of Kashtargah, north of Abbas Abad, Sarmaran, and Khosh. Additionally, several villages, including Firouzeh, Hossein Abad, Kalate Hori, Kalate Musa Al-Reza, Kalate Yusuf, Darband, Tawakkel, Kemer Boland, Gazan, Kazaki, and Arak, are situated in the "very critical" zone, where subsidence poses significant risks to residents. Villages such as Haji Abad, Kalate Alimardan, Mehdi Abad, Kalate Sardari, Tokal Abad, Do Shah, and Ali Abad are in the "medium critical" zone and are also vulnerable to subsidence. Although villages like Dehak, Zari, Mehrabad, Rizk-Abad, Kruzhdeh, Ajghan, Kasreq, Sarmaran, and Jafar-Abad are in the "slightly critical" zone, excessive groundwater extraction could accelerate subsidence in these areas as well. Given the importance of controlling land subsidence, efficient management of groundwater resources in the region is urgently needed. To mitigate subsidence, it is essential to implement measures such as changing cultivation patterns, modernizing traditional irrigation systems, adopting advanced irrigation technologies, and artificially recharging the groundwater table. These steps are crucial to preventing further subsidence or at least minimizing its rate of acceleration.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

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

تحلیل سری زمانی فرونشست دشت اسفراین با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری

محمد معتمدی راد[۱]✉، رضا ارجمند زاده[۲]، ابراهیم امیری[۳]، فرزاد امیری[۴]

۱. نویسنده مسئول، استادیار، گروه آموزش جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران. رایانامه:m.motamedirad@cfu.ac.ir
۲. استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: r.arjmandzadeh@pnu.ac.ir
۳. استادیار، گروه آموزش جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران. رایانامه: Dr.amiri@cfu.ac.ir
۴. دانشجوی مهندسی معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد. ایران. رایانامه: Faarzaad.amiirii@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۴/۱۰

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۷/۰۷

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۷/۲۱

تاریخ انتشار:
۱۴۰۳/۰۷/۲۴

تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
اسفراین،
راادار،
درون‌یابی،
فرونشست.

چکیده

تداوم خشک‌سالی و هم‌زمان افزایش میزان وابستگی به منابع آب زیرزمینی در دهه‌های گذشته دامنه نواحی واقع در معرض فرونشست را به بسیاری از نواحی مختلف کشور گسترش داده که خسارات زیادی را به دنبال دارد. لذا جهت کاهش خسارات ناشی از پدیده فرونشست درک دقیق و کامل فرونشست رخ داده ضروری است. در دهه‌های اخیر تکنیک تداخل سنجی رادار با روزنه مجازی (SAR) روش متداولی برای اندازه‌گیری فرونشست گردیده است. در این پژوهش که با هدف تحلیل سری زمانی فرونشست دشت اسفراین با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری انجام شده از داده‌های زمینی نظیر چاه‌های پیزومتریک و میزان افت آب زیرزمینی سطح آب زیرزمینی در دوره‌های حداقل و حداکثر و چاه‌های بهره‌برداری جهت محاسبه میزان تخلیه در سطح آبخوان با استفاده از درون‌یابی به روش IDW استفاده گردید. همچنین از داده‌های راداری شامل تصاویر ۱ جهت محاسبه نرخ فرونشست در بازه زمانی ۸ ماهه اول سال 2023 میلادی استفاده گردید. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد میزان فرونشست در حوضه مطالعاتی از ۱ تا ۱۲ میلی‌متر در بازه ۸ ماهه بوده و ۷۵/۲ درصد از مساحت حوضه در پهنه متوسط بحرانی و خیلی بحرانی قرار گرفت که بر این اساس می‌توان اذعان نمود که دشت اسفراین در حالت بحرانی قرار گرفته است. بیشترین برداشت آب و فرونشست مربوط به چاه‌های جنوب سنخواست، جنوب خراشا، جنوب ارگ، جنوب گازان، جعفرآباد خرابه و مهدی‌آباد کال بکو بوده که در پهنه خیلی بحرانی قرار داشته است که جهت کنترل نشست زمین، مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی منطقه ضروری است.

استناد: معتمدی راد، محمد؛ ارجمند زاده، رضا؛ امیری، ابراهیم و امیری، فرزاد (۱۴۰۴). *تحلیل سری زمانی فرونشست دشت اسفراین با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۸)، ۳۹۷-۳۷۶.
http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.22

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

© نویسندگان.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

مقدمه

در اغلب مناطق کشور، به علت فقدان رودخانه‌های دائمی، بخش اعظم نیاز آبی (کشاورزی، صنعت و شرب) از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود .یکی از مشکلات مهم در ارتباط با برداشت بی‌رویه آب از سفره‌های زیرزمینی، افت ممتد سطح آب و متراکم شدن لایه‌ها و رسوبات سفره است (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۴). تراکم سفره بر خصوصیات هیدرودینامیکی سفره تأثیر گذاشته و باعث کاهش نفوذپذیری و افت ضریب ذخیره آن خواهد شد. چنین دشت‌هایی مستعدترین مناطق برای وقوع پدیده فرونشست منطقه‌ای سطح زمین می‌باشند (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۶).

فرونشست عبارت است از حرکت عمودی زمین به سمت پایین که می‌تواند با جابه‌جایی‌های ناچیز افقی نیز همراه باشد(USGS, 2011). گاهی به‌صورت کند و حتی در بعضی مواقع به‌طور غیر محسوسی سطح زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد اما در برخی موارد نیز زمین به‌صورت کاملاً ناگهانی فرو می‌ریزد. فرونشست می‌تواند منطقه‌ای به مساحت چند مترمربع و یا محدوده‌ای به وسعت و بزرگی هزاران کیلومترمربع را تحت تأثیر قرار دهد معمولاً هنگامی‌که سطح زمین به‌صورت کند و تدریجی به سمت پایین حرکت می‌کند نسبت به حالتی که زمین به‌طور ناگهانی فرو می‌ریزد، محدوده وسیع‌تری از سطح زمین دچار فرونشست می‌شود. در حالت اول فرونشست در مقیاس ناحیه‌ای و در حالت دوم فرونشست به‌صورت محلی رخ می‌دهد.

فرونشست زمین ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی به‌عنوان مشکلی اساسی همراه با پیامدهای محیطی در بسیاری از نواحی، شناخته شده است (آملونگ[1] و همکاران، ۱۹۹۹؛ عابدین[2] و همکاران، ۲۰۰۱). مهم‌ترین علت فرونشست منطقه‌ای سطح زمین در حوضه‌های رسوبی مناطق خشک و نیمه‌خشک، تراکم سفره‌های آب زیرزمینی در اثر پمپاژ بی‌رویه از این منابع است (پاچکو[3] و همکاران، ۲۰۰۶). این وضعیت به‌ویژه در جایی که پمپاژ بی‌رویه از سفره‌های آب‌دار ماسه‌ای متخلخل که به‌صورت بین لایه‌ای با لایه‌های آب، مقدار فرونشست در زمین رسی نفوذناپذیر قرار دارد، بسیار حاد بوده و موجب فرونشست گسترده می‌شود (لیو[4] و همکاران، ۲۰۰۶).

در ایجاد پدیده فرونشست در اثر برداشت نامناسب آب زیرزمینی، عوامل زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی بسیاری مؤثرند . تخلخل مصالح تشکیل دهنده لایه‌های خاک، تراکم، نوع، جنس و ترکیب لایه‌ها، نحوه پمپاژ، ساختار زمین‌شناسی منطقه، هدایت هیدرولیکی لایه‌های آبدار، بارندگی و دما، همگی از عوامل مؤثر در فرونشست زمین به شمار می‌روند (حقیقت مهر و همکاران، ۱۳۹۱). در صورت افت ممتد سطح آب، افزایش تجمعی تراکم تأخیری لایه‌های زمین به وقوع می‌پیوندد. تأخیر در آغاز عملیات کنترل سطح آب، نشست بیشتری را به دنبال خواهد داشت و نشست رخ داده در این مناطق معمولاً برگشت‌ناپذیر خواهد بود (حمیدی، ۱۳۸۰). فرونشست زمین به‌طور معمول بلافاصله با خروج سیال رخ نمی‌دهد بلکه در زمانی طولانی‌تر از برداشت اتفاق می‌افتد (اسکات، ۱۹۷۹).

به‌طورکلی از دلایل ایجاد فرونشست می‌توان به فرونشست در اثر معدن‌کاری یا انحلال مواد جامد و فرونشست در اثر استخراج سیالات از زمین اشاره کرد که هر دو ین موارد می‌تواند در اثر عوامل طبیعی یا مصنوعی ایجاد شود (داوودی جم، ۱۳۸۹). به علت موقعیت جغرافی ایران استفاده از آب‌های زیرزمینی در بخش کشاورزی و مصارف خانگی از گذشته امری طبیعی بوده است امروزه با رشد جمعیت و گسترش صنعت استخراج آب‌های زیرزمینی افزایش پیدا کرده است. گرم شدن جهانی هوا و تغییرات آب و هوایی نیز در آینده استخراج آب‌های زیرزمینی را تشدید خواهد کرد. به‌منظور کاهش خسارات ناشی از پدیده فرونشست درک دقیق و کامل فرونشست رخ داده در منطقه ضروری است. در دهه‌های اخیر تکنیک تداخل سنجی رادار با روزنه مجازی (SAR) روش متداولی برای اندازه‌گیری تغییر شکل زمین گردیده است. تولید پوشش‌های مکرر و وسیع و قدرت تفکیک مکانی بالای تصاویر راداری و دقت قابل‌قبول این روش در مطالعه پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی

1. Amelung
2. Abidin
3. Pacheco
4. Liu

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

همچون زلزله، فرونشست زمین و زمین‌لغزش ابزار نیرومندی برای محققین فراهم آورده است. در ایران فرونشست زمین سابقه به نسبت طولانی دارد. حاکم بودن شرایط اقلیمی خشک در اغلب نواحی داخل ایران و تمرکز بهره‌برداری روزافزون صنعتی، کشاورزی و مصارف آب شرب بر منابع آب زیرزمینی، زیرساخت مناسبی برای رویداد این پدیده فراهم آورده است. متأسفانه تداوم خشک‌سالی و هم‌زمان افزایش میزان وابستگی به منابع آب زیرزمینی در دهه‌های گذشته دامنه نواحی واقع در معرض فرونشست را به بسیاری از نواحی مختلف کشور گسترش داده است.

با توجه به اهمیت فرونشست و عواقب ناشی از آن، این موضوع موردتوجه بسیاری از محققین داخلی و خارجی قرار گرفته است که به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌گردد:

عثمان اوقلو[5] و همکاران (۲۰۱۱) نرخ فرونشست شهر مکزیکوسیتی در کشور مکزیک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ENVISAT با روش پراکنشگرهای پایدار را به میزان ۳۰۰ میلی‌متر بر سال محاسبه نمودند. برونی[6] و همکاران (۲۰۱۵) میزان فرونشست منطقه جالیسکو در مکزیک را ۲۰ میلی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. دیو[7] و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست سالانه زمین در شبه‌جزیره لیژاوودر چین را حدود ۳۲ میلی‌متر محاسبه نموده‌اند. ژانگ[8] و همکاران(۲۰۱۹) فرونشست شهر ووهان در چین را بین ۲۷,۸ تا ۵۱,۵۶ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. ژائو و همکاران(۲۰۱۹) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست سالانه زمین در منطقه ساحلی شانگهای چین را حدود ۳۰ میلی‌متر محاسبه کرده‌اند. خان[9] و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی فرونشست زمین در شهر اسلام‌آباد پاکستان با استفاده از تصاویر راداری ۱ پرداختند و میزان فرونشست در سال ۲۰۱۹ را ۶۹- میلی‌متر و در سال ۲۰۲۰ را ۹۸- میلی‌متر برآورد کردند. شانکار[10] و همکاران(۲۰۲۴) به بررسی فرونشست زمین ناشی از آب‌های زیرزمینی در شهر لودیانا با استفاده از داده‌های InSAR و Sentinel1 پرداختند. آن‌ها ۱۹۷ تداخل گرا از ۶۵ تصویر Sentinel-A که در گذر نزولی بین سپتامبر ۲۰۱۹ تا ژوئیه ۲۰۲۲ برای استخراج سری‌های زمانی جابجایی خط دید رادار (LOS) و میانگین سرعت LOS ایجاد نمودند. نتایج تغییر شکل نشان داد که بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی شهر با میانگین نرخ فرونشست ۲۴,۷ میلی‌متر در سال به‌طور پیوسته به سمت پایین حرکت کرده‌اند، درحالی‌که در غرب، چند لکه کوچک در مناطق شرقی و شمالی بین ۲ تا ۲۱ میلی‌متر متغیر است. مقایسه کلی اندازه‌گیری‌های InSAR و GWL مطابقت خوبی دارد و به‌طور قابل‌توجهی همبستگی دارد که می‌تواند اطلاعات کافی دقیق در مورد LS ارائه دهد.

در ایران نیز حقیقت مهر و همکاران (۱۳۸۹) از تکنیک تداخل‌سنجی راداری برای تعیین نرخ فرونشست و لنداسلایدهای دشت هشتگرد، با استفاده از تصویر راداری ENVISAT ، در بازه‌ی زمانی ۴ ماهه (۱۱ جولای ۲۰۰۸ تا ۲۴ اکتبر ۲۰۰۸)، بیشینه مقدار نرخ فرونشست را در این دشت ۳۵ میلی‌متر در ماه به دست آوردند. داوودی جم و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از تصاویر ماهواره ENVISAT و با روش تداخل سنجی راداری طول باز کوتاه، فرونشست دشت مهیار جنوبی اصفهان را ۶/۸ سانتیمتر در سال محاسبه کردند. حداد و خراسانی (۱۳۹۸) در پژوهشی اثر تغییرات سطح آب زیرزمینی بر فرونشست دشت سمنان را در بازه زمانی 1382/03/26 تا 1383/08/23 با استفاده از روش تداخل سنجی تصاویر ماهواره‌ای (InSAR) انجام دادند. با هدف شناسایی عوامل مؤثر در فرونشست بخشی از دشت سمنان، نوسانات عمق سطح آب زیرزمینی نیز به همراه ترسیم نمودار هیدروگراف از نتایج ۱۵ چاه مشاهده‌ای موردبررسی قرار گرفت که نشان‌دهنده افت ممتد سطح آب در طی دوره‌های آبی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۸ بوده؛ به‌طوری‌که کمینه نرخ افزایش ژرفای سطح آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی برابر ۲۲ سانتیمتر در سال است. ازاین‌رو مدیریت منابع آب باید هر چه بیشتر موردتوجه سیاست‌گذاران قرار گیرد تا همگام با توسعه پایدار کشاورزی و صنعت بتوان از ادامه روند کنونی فرونشست زمین جلوگیری کرد. حاجب و همکاران

5. Osmanoglu
6. Brunori
7. Du
8. Zhang
9. Khan
10. Shankar

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

(۱۳۹۸) با استفاده از داده‌های ماهواره ENVISAT و به کمک تکنیک تداخل سنجی رادار دهانه مصنوعی، نرخ فرونشست سالانه زمین در دشت‌های جعفرآباد و قنوات استان قم را بررسی کردند و با استفاده از تغییرات تراز آب چاه‌های پیزومتری منطقه و مشاهده نمودارهای هیدروگراف واحد دشت‌ها، ارتباط تغییرات مکانی نرخ فرونشست در نقاط مختلف آبخوان با برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی را بررسی و تائید کردند. فرزین کیا و همکاران(۱۳۹۸) در پژوهشی ارتباط فعالیت‌های تکتونیکی و تأثیر آن در فرونشست زمین در حوضه آبریز دشت جوین را بررسی نمودند. جهت دستیابی به این امر از روش‌های کمی از جمله شاخص شکل حوضه ,(BS) شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی (F) شاخص تقارن توپوگرافی معکوس ,(T) شاخص سینوسی جبهه کوهستان ,(J) انتگرال هیپسومتری ,(Hi) شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن ,(VF) شاخص سینوسیته رودخانه (S) شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL) استفاده کردند. همچنین با بهره از روش تداخل سنج راداری سعی نمودند ژئودوالیتی را در دشت جوین بیان نمایند. نتایج به دست آمده نشان داد فعالیت‌های تکتونیکی باعث کشیدگی دشت و نامتقارن شدن حوضه و عمیق شدن دره‌ها در محدوده‌ی مطالعاتی شده است. نتایج مربوط به تداخل سنج راداری نشان داد که در بخش‌هایی که میزان بالاآمدگی بیشتر است، به‌موازات آن در دشت با فرونشست (با متوسط نرخ ۴/۶ سانتی‌متر در سال) همراه است. آروین و همکاران (۱۳۹۸) در مدل‌سازی مکانی فرونشست زمین در جنوب حوزه آبخیز میناب با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی بر اساس نتایج پردازش‌های انجام‌شده بر روی این تصاویر نشان دادند که در دوره مطالعاتی، حدود ۱۳سانتیمتر فرونشست داشته است. شفیعی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی تحت عنوان بررسی فرونشست آبخوان دشت نورآباد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری که با استفاده از نرم‌افزار SNAP انجام داده و ا ز داده‌های 1A در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ استفاده نموده و نتیجه گرفتند که ارتباط مستقیم بین افت و میزان فرونشست وجود دارد. همچنین با استفاده از نقشه‌های حاصل از فرونشست نشان دادند که نرخ نشست در هر سال میانگین ۴ سانتی‌متر و طی بازه زمانی ۴ ساله حدود ۱۶ سانتی‌متر می‌باشد. اسدی و همکاران (۱۴۰۰) به ارزیابی ارتباط بین عوامل طبیعی و میزان فرونشست در دشت ایوانکی با استفاده از تصاویر رادار پرداختند. بررسی‌های صورت گرفته بیانگر این است که عوامل طبیعی شامل روند و جهت ناهمواری‌ها در شکل‌گیری وضعیت اقلیمی و محدودیت منابع آبی نقش اصلی را داشته است و محدودیت دسترسی به منابع آبی سبب بهره‌برداری بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی و افت شدید سطح آن شده است. نتایج محاسبه میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی منطقه بیانگر این است که میانگین افت چاه‌های مطالعاتی در حدفاصل سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۴ بین ۰,۸۵ تا ۲,۰۱ سانتیمتر در سال بوده است. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی میزان فرونشست منطقه نیز بیانگر این است که محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۳ ساله (از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۰۶ تا ۲۰۱۸/۱۲/۲۱) بین ۰,۹- تا ۳۳,۲- سانتیمتر افت داشته است که بیشترین میزان فرونشست در مرکز دشت ایوانکی در نزدیکی روستای چشمه نادی بوده است. گنجائیان و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی و تحلیل مخاطره فرونشست در دشت کبودرآهنگ-فامنین پرداختند. آن‌ها از اطلاعات ۱۳ چاه پیزومتریک، تصاویر راداری مربوط به ماهواره ۱، تصاویر ماهواره لندست، مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM و همچنین اطلاعات به دست آمده از بازدیدهای میدانی به‌عنوان داده‌های تحقیق استفاده نمودند. بر اساس نتایج حاصله، منطقه موردمطالعه با افت شدید منابع آب زیرزمینی مواجه است به‌طوری‌که در بیشتر چاه‌های موردمطالعه، میانگین افت سالانه آب زیرزمینی بیش از ۲ متر بوده و همین مسئله سبب شده است تا دشت کبودرآهنگ-فامنین در طی دوره زمانی ۵ ساله از تاریخ ۲۰۱۵/۰۱/۱۶ تا ۲۰۲۰/۰۱/۱۴ بین ۲۹ تا ۲۱۶ میلی‌متر فرونشست داشته باشد. زنگنه اسدی و همکاران(۱۴۰۲) به بررسی نوع کشت در میزان فرونشست حوضه آبریز نورآباد از روش‌های تداخل سنجی راداری، ماشین بردار پشتیبان و رگرسیون فضایی پرداخته و نشان دادند که بیشترین میزان فرونشست زمین در مناطقی که به کشت گونه‌های برنج اختصاص یافته به حداکثر میزان حدود ۱۰سانتیمتر در سال رسیده است. همچنین نتایج حاصل از الگو کشت و ارتباط آن با فرونشست زمین نشان از وجود همبستگی مثبت ضریب R2 برابر ۰/۹۰ و کمترین میزان خطا حدود ۰,۰۰۱ را به خود اختصاص داد. عماد الدین و نظری گزیک (۱۴۰۲) برآورد میزان فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

راداری و تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت مشهد در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ پرداختند. نتیجه مطالعات حاصل از تداخل-سنجی راداری نشان داد، در طول دوره آماری در منطقه موردمطالعه ۶۴ سانتیمتر فرونشست اتفاق افتاده است.

با توجه به اهمیت موضوع همچنین بر اساس گزارش رسمی اداره کل هواشناسی خراسان شمالی که حدود ۵۹ درصد از پهنه این استان ۲ میلیون و ۸۰۰ هزار هکتاری واقع در شمال شرق کشور درگیر خشک‌سالی و تحت تأثیر این پدیده است به‌طوری‌که بر اساس شاخص SPI (شاخص بارش استاندارد شده) در بازه ۱۰ ساله تا پایان اسفند ماه سال گذشته، بیش از نیمی از مساحت استان تحت تأثیر خشک‌سالی قرار دارد و ذکر این نکته که هم اکنون ۱۳,۱ درصد از گستره استان درگیر خشک‌سالی بسیار شدید، ۱۳,۹ درصد تحت تأثیر خشک‌سالی شدید، ۱۶,۱ درصد خشک‌سالی متوسط و ۱۵,۶ درصد خشک‌سالی خفیف دارد و در بین هشت شهرستان این خطه شمال شرق کشور شهرستان‌های مانه و سملقان به‌عنوان قطب کشاورزی بیشترین پهنه تحت تأثیر از خشک‌سالی را دارد و پس از آن شهرستان اسفراین و راز و جرگلان درگیر با این پدیده شده‌اند و از طرفی در دشت اسفراین مطالعه نظام‌مندی صورت نپذیرفته است لذا این پژوهش با هدف تحلیل سری زمانی فرونشست دشت اسفراین با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری انتخاب گردید.

روش تحقیق

موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

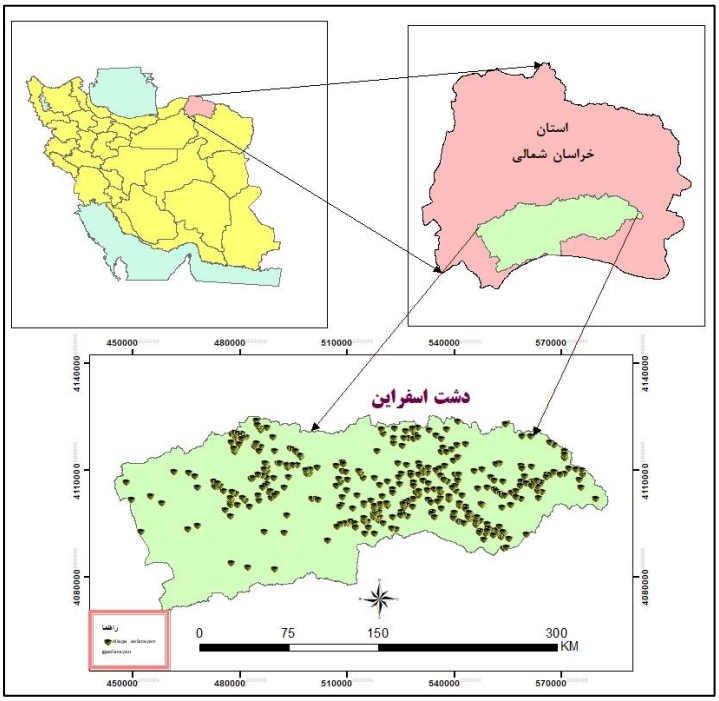
دشت اسفراین در جنوب استان خراسان شمالی در محدوده ´۵۷ °۵۶ تا ´۷ °۵۸ درجه طول شرقی و ´۴۰ °۳۶ تا ´۱۷ °۳۷ درجه عرض شمالی واقع شده است. حوضه مذکور دارای مساحتی معادل ۴۵۷۵,۷۹ کیلومترمربع و محیطی برابر با ۴۵۱,۰۸ کیلومتر بوده و فاصله تقریبی آن تا بجنورد ۶۰ کیلومتر است. متوسط بارندگی حوضه نیز ۲۵۵ میلی‌متر است.

پهنه ماگمایی- رسوبی شمال شرق ایران از چند بلوک و زون کنار هم شامل کپه داغ در شمال، پهنه البرز در شمال غرب و بلوک لوت در جنوب تشکیل شده است که با زمین درز سبزوار از هم جدا شده‌اند (ارجمند زاده[11] و همکاران، ۲۰۱۰؛ ارجمند زاده و همکاران، ۲۰۲۲). محدوده موردمطالعه بخشی از برگه‌های ۱:۱۰۰,۰۰۰ زمین‌شناسی شیروان، صفی‌آباد، بجنورد، جغتای، سنخواست و فرومد است و زیرمجموعه زون‌های ساختاری کپه داغ و بینالود به حساب می‌آیند. در قسمت‌های شمالی محدوده موردمطالعه سازندهای مربوط به زون بینالود با سن پالئوزئیک رخنمون دارند و تا قسمت‌های غربی و اطراف شهر جاجرم ادامه دارند. این سازندها شامل سازند باروت (شیل توفی و ماسه‌سنگ)، قلی (شیل، ماسه سنگ و بازالت)، میلا (آهک، دولومیت و شیل)، زاگون (شیل آهک‌دار و ماسه سنگ)، لالون (ماسه سنگ و شیل)، پاد هات (ماسه‌سنگ و شیل مارنی)، خوش ییلاق (آهک تیره و شیل) و آهک‌های مبارک می‌باشند. سازندهای ژوراسیک شامل سازندهای شمشک، چمن بید و مزدوران می‌باشند. سازند شمشک شامل ماسه سنگ و شیل‌های زغال دار هستند که پراکندگی زیادی در محدوده دارند. سازند چمن بید از نوع نهشته‌های مارنی تیره‌رنگ، پیریتی و آمونیت‌دار به همراه سنگ‌آهک‌های نازک‌لایه می‌باشند که بیشتر در شمال و شرق محدوده گسترش یافته‌اند. سازند مزدوران از سازندهای زمین‌شناسی ایران در کپه‌داغ با سن ژوراسیک پسین است. از نظر سنگ‌شناسی شامل آهک ضخیم‌لایه تا ماسیف به رنگ روشن، آهک دولومیتی متخلخل و دولومیت است و در نوار شمالی محدوده پراکنده شده است. ماسه‌سنگ‌های قرمز سازند شوریجه و سنگ‌آهک‌های ستبر لایه تا توده‌ای با میان‌لایه‌های اندکی از سنگ‌آهک مارنی، مارن و شیل آهکی مربوط به سازند تیرگان از سازندهای کرتاسه هستند که رخنمون زیادی در نوار شمالی دارند (آقانباتی، ۱۳۸۳). همچنین سنگ‌های رسوبی آهکی، ماسه سنگی، شیل و مارن با سن ائوسن گسترش زیادی در نوار جنوبی و قسمت‌های غربی محدوده دارند. بیشترین وسعت دشت اسفراین را رسوبات آبرفتی عهد حاضر، رسوبات بادبزنی، آبرفت‌های پادگانه‌ای و کوهپایه‌ای کوارترنری و پلیوسن تشکیل می‌دهند. شکل (۱) موقعیت و شکل (۲) زمین‌شناسی حوضه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

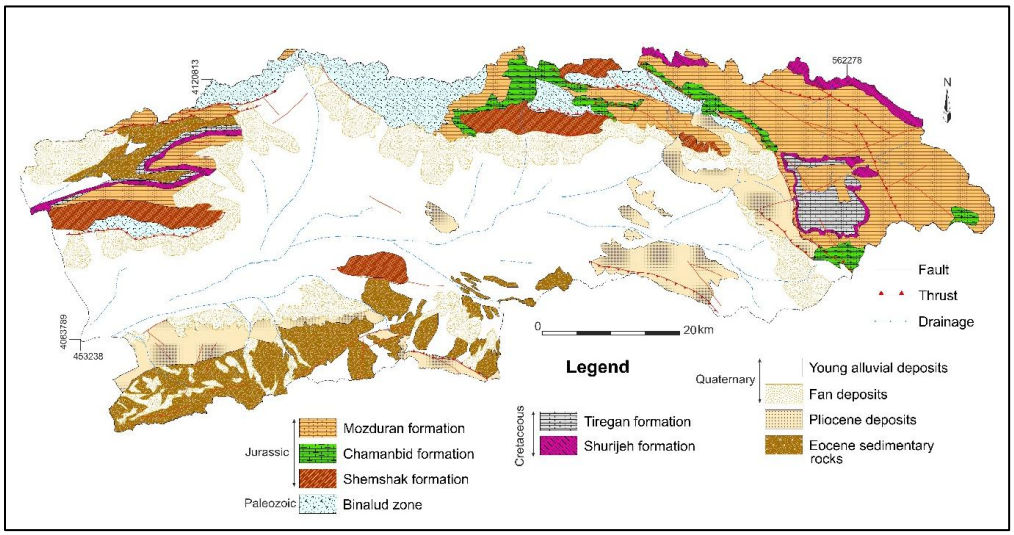
[11]. Arjmandzadeh

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]



شکل (۱). موقعیت حوضه موردمطالعه (منبع: نگارندگان)



شکل (۲). نقشه زمین‌شناسی حوضه موردمطالعه

روش انجام پژوهش

ابتدا مرز حو ضه موردمطالعه با ا ستفاده از نرم‌افزار google Earth و نق شه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ تعیین شد. خطوط منحنی میزان و آبراهه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS رقومی گردید و اطلاعات توپوگرافی مانند سطوح ارتفاعی و شیب توپوگرافی ا ستخراج گردید. جهت ا ستخراج اطلاعات زمین شنا سی منطقه از برگه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شنا سی شیروان، صفی‌آباد، بجنورد، جغتای، سنخوا ست و فرومد ا ستفاده گردید. روش کار در این پژوهش تحلیلی و میدانی ا ست. در این پژوهش از داده‌های زمینی نظیر چاه‌های پیزومتریک و میزان افت آب زیرزمینی سطح آب زیرزمینی در دوره‌های حداقل و حداکثر و چاه‌های بهره‌برداری جهت محاسبه میزان تخلیه در سطح آبخوان با استفاده از درون‌یابی به روش IDW استفاده گردید. همچنین از داده‌های راداری شامل تصاویر ۱ جهت محا سبه نرخ فرونشست در بازه زمانی ۸ ماهه اول سال ۲۰۲۳

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

میلادی ا ستفاده گردید. سپس ضریب همب ستگی بین دو فاکتور افت آب زیرزمینی و فرون ش ست در منطقه موردمطالعه محاسبه و پیمایش میدانی نیز انجام شد.

تداخل‌سنجی رادار

تداخل سنجی رادار دهانه ترکیبی یا InSAR یک فناوری دورسنجی است که به‌منظور مطالعه حرکات سطح زمین در زمین‌لرزه ۱۹۹۲ لندرز کالیفرنیا ابداع شد. InSAR برگرفته از Synthetic Aperture Radar Interferometry است که پس از این در این نوشتار با InSAR مطرح می‌شود. امروزه تداخل‌سنجی ماهواره‌ای (InSAR) به‌عنوان تکنیکی که جابه‌جایی سطح زمین را با دقت و توان تفکیک بالا برآورد می‌کند؛ ابزار متداولی برای بررسی تغییر شکل سطحی زمین در اثر عوامل مختلف از جمله فرونشست زمین است. در این روش با استفاده از دو تصویر ماهواره‌ای می‌توان یک اینترفروگرام تهیه کرد. به‌طوری‌که با به‌کارگیری ابزار اینترفرومتری فازهای سیگنال برگشتی از زمین، در دو تصویر ماهواره‌ای دارای تأخیر زمانی از یک منطقه، برای استخراج تغییرات سطح زمین از هم کم می‌شود. این اختلاف فاز می‌تواند شامل اثرات اتمسفری، توپوگرافی و مداری نیز باشد؛ بنابراین برای رسیدن به نتیجه دقیق‌تر در به دست آوردن نقشه تغییرات سطح زمین باید این عوامل شناخته و حذف شوند. بدین ترتیب با استفاده از تغییرات دینامیک یک منطقه اینترفروگرام تغییرات با دقتی در حدود میلی‌متر از چند تصویر ماهواره‌ای به دست می‌آید. به‌عبارت‌دیگر این روش از یک اینترفروگرام و اختلاف فاز بین دو ت صویر ماهواره‌ای بازتابیده شده جهت اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین که بین دو زمان برداشت تصاویر رخ داده، استفاده می‌کند و امکان اندازه‌گیری دقیق حرکت پوسته زمین را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در پوشش وسیع فراهم می‌سازد (حداد و خراسانی، ۱۳۹۸).

به عبارتی می‌توان گفت یکی از روش‌هایی که در اندازه‌گیری فرونشست زمین به کار می‌رود، روش تداخل سنجی راداری ا ست. در این روش ت صاویر مختلط راداری که دارای مقادیر فاز و دامنه موج برگ شتی از عار ضه به سمت سنجنده هستند با یکدیگر تلفیق شده و تصویری به نام تداخل نگاشت[12] تولید می‌شود. تداخل نگاشت تصویری است که از اختلاف فاز دو تصویر به د ست آمده در دو زمان مختلف که از نظر هندسی به‌طور دقیق بر روی هم منطبق شده‌اند، حاصل می‌شود (دانیل[13] و همکاران، ۲۰۰۳). لازم به بیان است که ثبت هندسی دو تصویر طی دو مرحله به‌صورت تقریبی و دقیق انجام می‌شود (هانسن[14]، ۲۰۰۱). در یک تداخل نگاشت اطلاعات اختلاف فاز دو تصویر که گویای اختلاف فاصله عارضه تا سنجنده در دو زمان ت صویربرداری ا ست، وجود دارد. به کمک مقدار اختلاف فاز می‌توان متغیرهای مختلف از جمله میزان جابه‌جایی سطح زمین تا کسری از سانتیمتر و اطلاعات توپوگرافی سطح زمین با دقت ۱۰ متر ا ستخراج کرد. باید در نظر دا شت که جابه‌جایی به د ست آمده از یک تداخل نگا شت در را ستای خط دید رادار[15] بوده و تجزیه این بردار جابه‌جایی در جهات قائم و افق نیازمند تداخل نگاشتهای دیگر با هندسه تصویربرداری متفاوت و یا داده‌های زمینی اضافی است.

- روش انجام کار جهت برآورد میزان فرونشست

برای انجام این مهم مراحل ذیل انجام شد:

۱- دانلود تصاویر از سایت ASF DATA search

الف - ورود شیپ فایل محدوده به نرم‌افزار qGIS

ب-ترسیم پلیگون ساده‌تر (دارای vertex کمتر) و گرفتن خروجی شیپ فایل

ج- انتخاب فریم‌های مناسب در سایت که محدوده را شامل گردد. در این بخش فایل‌های زیر را خواهیم داشت:

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S۱A_IW_SLC_۱SDV_۲۰۲٤۰۳۲۱T۱٤۱۱٤۸_۲۰۲٤۰۳۲۱T۱٤۱۲۱٥_۰٥۳۰۸۱_۰٦٦DC٦_۷٦۰D.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S۱A_IW_SLC_۱SDV_۲۰۲۳۱۲۰٤T۱٤۱۱٥۰_۲۰۲۳۱۲۰٤T۱٤۱۲۱۷_۰٥۱٥۰٦_۰٦۳۷۸D_۰۷۹B.zip

12. Interferogram
13. Daniel
14. Hanssen
15. Sight Of Line (LOS)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S۱A_IW_SLC_۱SDV_۲۰۲۳۰۸۰۶T۱٤۱۱٤۹_۲۰۲۳۰۸۰٦T۱٤۱۲۱٦_۰٤۹۷٥٦_۰٥FBA۳_٥٥۹۸.zip

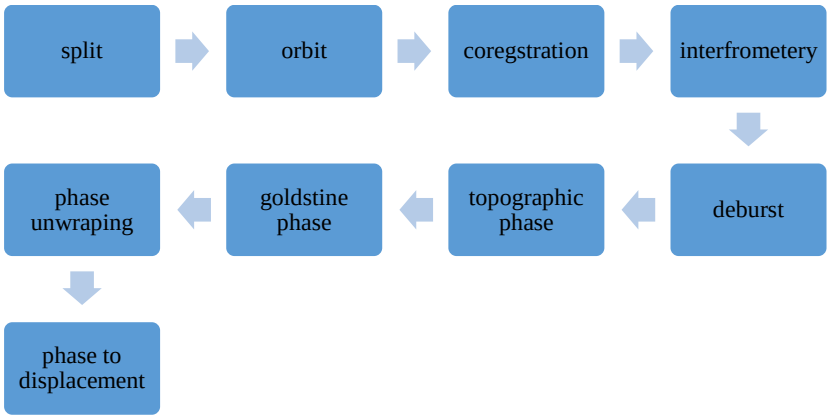
https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S۱A_IW_SLC_۱SDV_۲۰۲۳۰٤۲۰T۱٤۱۱٤۳_۲۰۲۳۰٤۲۰T۱٤۱۲۱۰_۰٤۸۱۸۱_۰٥CAF۸_٥٤۷۳.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S۱A_IW_SLC_۱SDV_۲۰۲۳۰۱۰۲T۱٤۱۱٤٤_۲۰۲۳۰۱۰۲T۱٤۱۲۱۱_۰٤٦٦۰٦_۰٥۹٥EA_۸٤CE.zip

مشخصات تصاویر مورد استفاده در جدول (۱) آمده است. برای هر زوج تصویر مراحل زیر انجام شد (شکل ۳).

جدول (۱). مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده

شماره	تاریخ تصویر	فرمت تصویر	گذر تصویر
1	۲۰۲۳/۰۶/۰۸	slc	صعودی
2	۲۰۲۳/۰۴/۲۰	slc	صعودی
3	۲۰۲۳/۰۲/۰۱	slc	صعودی



شکل (۳). مراحل انجام هر زوج تصویر

پس نهایتاً ۷ تصویر خروجی خواهیم داشت. باید به این نکته توجه داشت که برای تصاویر فوق باید ۱۴ تا تصویر خروجی گرفته شود چون در مرحله split تصویر را به سه قسمت می‌کند و نصف محدوده در هرکدام از این سه بخش قرار می‌گیرد. در نهایت ۱۴ تصویر موزاییک می‌گردند تا به هفت خروجی برسیم.

۲- مراحل محاسبه فرونشست با جزئیات در نرم‌افزار SNAP

الف – برش باند سوم تصویر (نصف محدوده سمت چپ منطقه)

ب- توجیه پارامترهای مداری داده‌ها

پ- هم‌پوشانی کردن دو داده: که در این مرحله دو تصویر برش خورده توجیه شده مداری وارد می‌شود. برای انجام این مرحله اتصال به اینترنت لازم است.

ج- اعمال ESD

چ- حذف شکاف و گپ‌های تصاویر

ح-ایجاد تداخل نما

خ- حذف اثر توپوگرافی

د- multilook

ذ- فیلتر گلدنشتاین و تداخل نما در محیط prompt:

برای محاسبه تداخل نما در محیط prompt باید ابتدا به دایرکتوری فایل دانلودی snaphu esa در پوشه bin وارد شد و فایل را برای محاسبه تداخل سنجی فراخوان نمود، سپس خروجی مجدداً از طریق snaphu import وارد نرم‌افزار می‌شود.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

ز-تبدیل فاز به فاصله

ژ- توجیه مکانی فرونشست در این مرحله

۳- موزاییک کردن ۴ تصویر که ۲ تصویر نهایتاً به دست می‌آید. برای انجام این کار ۴ دیتا را در نرم‌افزار ArcGIS pro وارد کرده و موزاییک می‌کنیم طبق مراحل زیر:

الف- وارد کردن دو تصویر سمت چپ و سمت راست

ب- سپس استفاده از قسمت raster function تابع موزاییک mosaic

ج- برش‌زدن شیپ فایل محدوده (clip)

- روش درون‌یابی IDW[16]

در این روش برآورد بر اساس مقادیر نقاط نزدیک به نقطه برآورد که بنا برعکس فاصله وزن‌دهی می‌شوند، انجام می‌گیرد. به‌عبارت‌دیگر، به نقاط نزدیک به نقطه برآورد وزن بیشتری نسبت به نقاط دورتر داده می شود. این روش برخلاف روش کریجینگ از فرضیات مربوط به ارتباط مکانی بین داده‌ها پیروی نمی‌کند (واریوگرام ندارد) و تنها بر این فرض متکی است که نقاط نزدیک‌تر به نقطه برآورد، شباهت بیشتری به آن نقاط دورتر دارند. قابل‌ذکر است این روش مهم‌ترین و گسترده‌ترین روش درون‌یابی است که بر پایه مدل‌ها و روابط آماری پایه‌ریزی شده است. لایه رستری تولید شده ازاین روش، سطحی بسیار دقیق را نمایش می‌دهد (اخوان و همکاران، ۱۳۹۰؛ سیفی و میرزایی، ۱۳۹۶؛ معتمدی راد و بهرامی، ۱۴۰۱).

بحث و نتایج

پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی

پس از شناسایی و تعیین حوضه مطالعاتی اقدام به دانلود تصاویر ماهواره‌ای موردنظر گردید. از طرفی با استفاده از داده‌های پیزومتریک برای بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۸، ۱۳۹۸-۱۳۹۹، ۱۳۹۹-۱۴۰۰، ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ پهنه‌بندی میزان سطح آب بر اساس داده‌های آب منطقه‌ای خراسان شمالی با استفاده از روش IDW انجام و مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸). شکل (۹) نیز نمودار سطح آب زیرزمینی طی سال‌های مختلف به متر و جدول (۲) مشخصات چاه‌های پیزومتری محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.

جدول (۲). مشخصات چاه‌های پیزومتری محدوده مطالعاتی

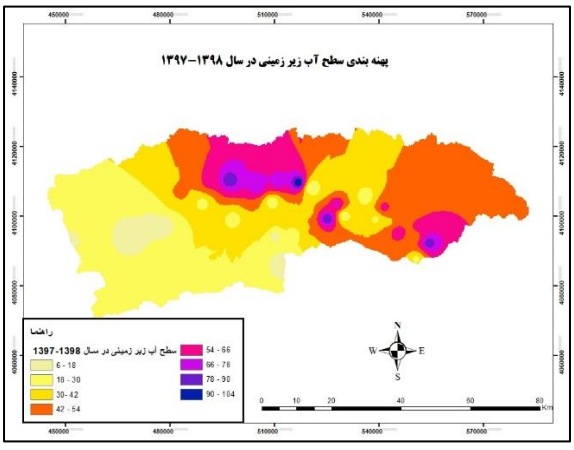
شماره	نام ایستگاه	utmX	utmY	ارتفاع نقطه نشانه به متر	افت آب سال‌های ۱۴۰۲-۱۳۹۷ به متر
1	اسماعیل‌آباد	506232	4097570	۹۸۲/۵	-۰/۳۸
2	اکتشافی قاسم‌آباد	550277	4093941	۱۲۳۱/۷	-۲/۹۳
3	امامزاده عبدالله	515595	4094729	۱۰۰۸/۲	-۰/۷۵
4	امامزاده کوران	510183	4094103	۹۸۶/۸	-۰/۱۰۸
5	بین ایزی وفرتان	551399	4096809	۱۲۴۲/۷	-۱/۹۸۳
6	بین سارمران و چهاربرج ۲	520885	4108111	۱۰۵۶/۶	-۱/۷۳۱
7	تپه سرخ	512277	4086591	۱۰۰۴	-۰/۶۸
8	جاده سنخواست ۱	452386	4093358	۹۲۱/۷	-۰/۵۵
9	جاده سنخواست ۲	456539	4095075	۹۱۲/۳	-۱/۳۱۶
10	جعفر آباد خرابه	480671	4103665	۹۵۵/۷	-۲/۴۵
11	جنوب اجقان	530090	4100044	۱۰۸۵/۲	-۰./۸۵
12	جنوب ارگ	498197	4099290	۹۳۶/۳	-۳/۵

[16]. Inverse distance weighting

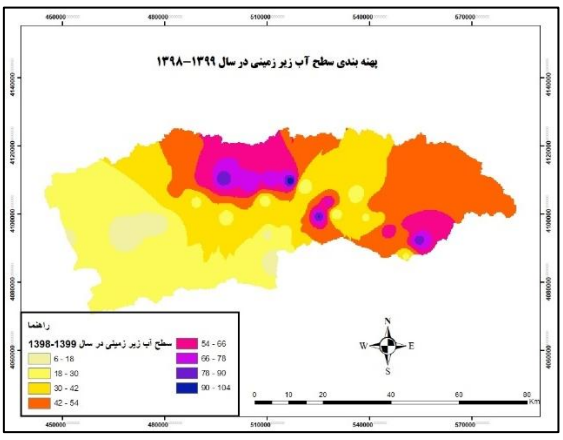
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

13	جنوب خراشا	482675	4106336	۹۷۴/۵	-۳/۲
14	جنوب زرق آباد	525212	4099296	۱۰۵۱/۶	-۲/۴۵۹
15	جنوب سنخواست	489393	4103696	۹۵۸/۹	-۱/۰۰۹
16	جنوب قمیته	478513	4097809	۹۳۳/۸	-۰/۵
17	جنوب کبوترخانه	541564	4102467	۱۱۹۸/۷	-۰/۴۵
18	جنوب کشتارگاه	542731	4098248	۱۱۸۱	۲/۴۱۴
19	جنوب گازان	491405	4109888	۹۹۰/۱	-۳/۰۷
20	حسین آباد خانه کور	509346	4104002	۱۰۱۷/۱	-۱/۱۳۵
21	خوش	530265	4109812	۱۱۱۲/۷	-۰/۶۴
22	سارمران	524744	4108770	۱۰۷۹	-۰/۸۶
23	سید اباد	536193	4105539	۱۱۵۲/۳	-۰/۰۵
24	شرب چهار برج	516978	4109624	۱۰۹۸/۹	-۲/۸۸۵
25	شرق ایزی	554456	4092402	۱۳۰۸	-۱/۵۶
26	شرق توی	511022	4109726	۱۰۵۹/۸	-۲/۳۳۳
27	شمال اجقان	527925	4103338	۱۰۶۷//۲	-۳/۰۶۸
28	شمال عباس‌آباد	545290	4095394	۱۱۹۹/۴	-۲/۹۸۵
29	شمال عمارت	519665	4101525	۱۰۲۸/۲	۱/۵
30	شمالغرب استین ۲	505218	4108538	۱۰۴۸/۵	-۲/۵۶۸
31	شمالغرب قلعه سفید	474652	4098339	۹۳۳/۹	-۰/۹۲۸
32	فیروزآباد	539138	4099088	۱۱۶۳/۷	-۰/۶۷۶
33	قهرمان آباد	550765	4087771	۱۲۵۳/۴	-۰/۵۴
34	کلاته شور	497108	4110261	۱۰۳۶/۶	-۱/۸۲
35	کلاته کربلائی حسینعلی	468156	4094746	۹۱۹/۱	-۰/۳۵
36	کوران	520481	4095491	۱۰۲۹/۶	-۰/۱
37	مهدی آباد کال بکور	512938	4098314	۹۹۶/۹	-۲/۶۵



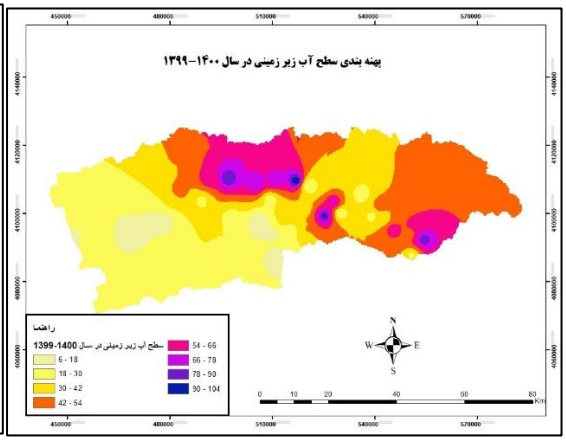
شکل (۴). پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی در سال ۹۸-۹۷



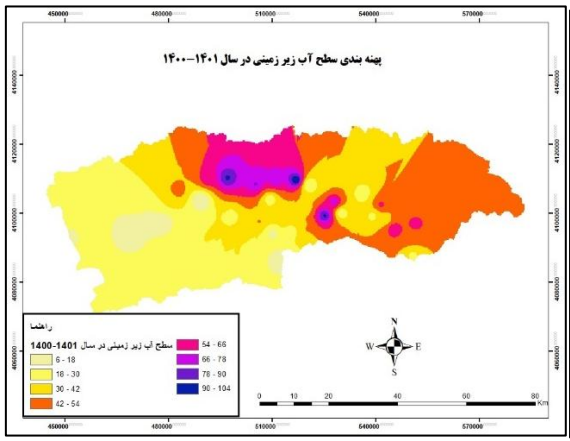
شکل (۵). پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی در سال ۹۹-۹۸

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

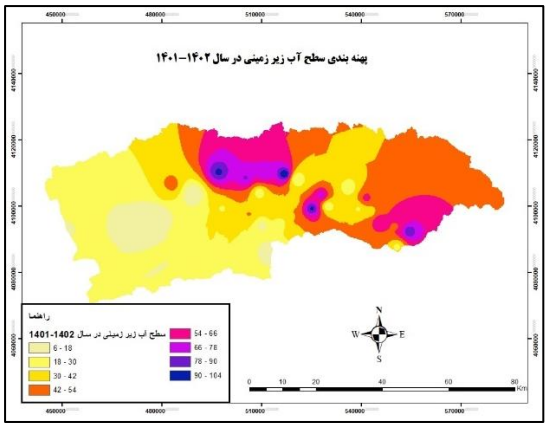
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]



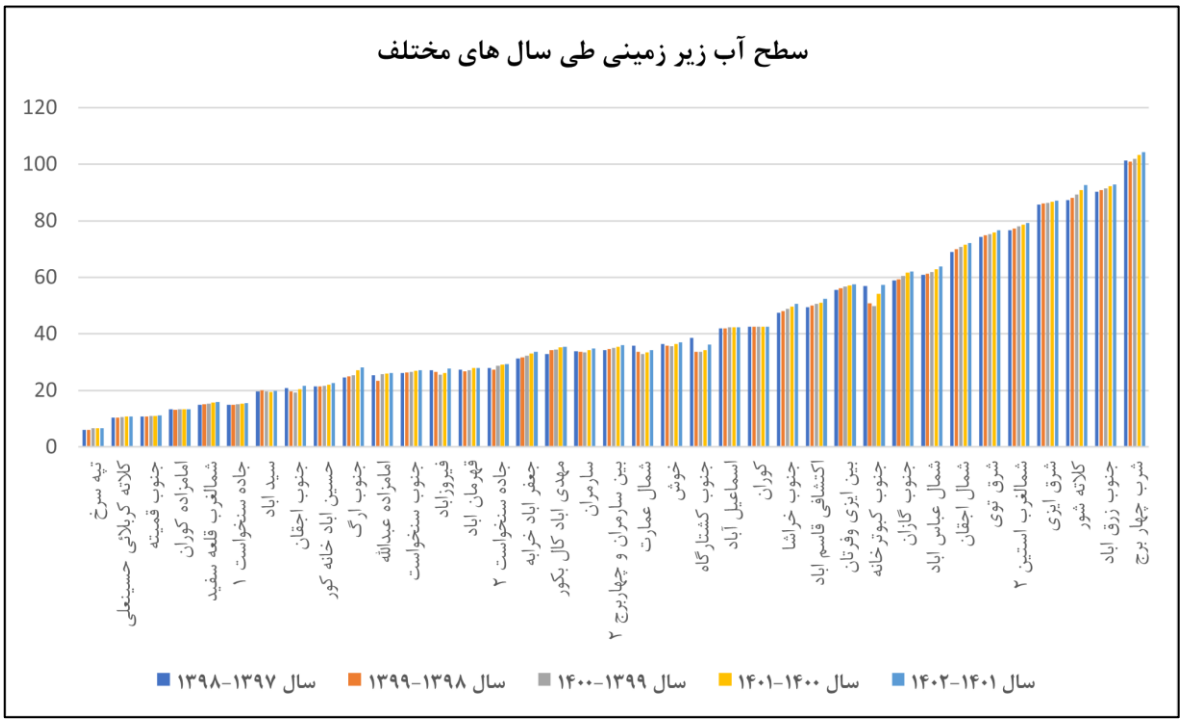
شکل (۶). پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی در سال ۴۰۰-۹۹



شکل (۷). پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰



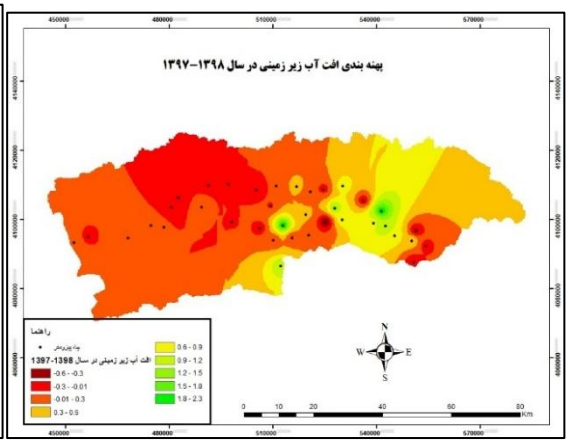
شکل (۸). پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱



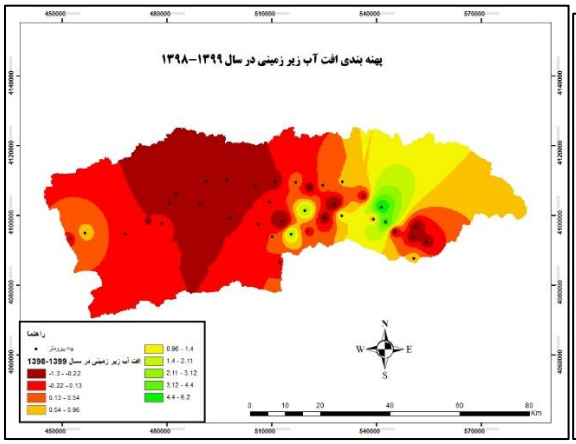
شکل (۹). نمودار سطح آب زیرزمینی طی سال‌های مختلف به متر

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

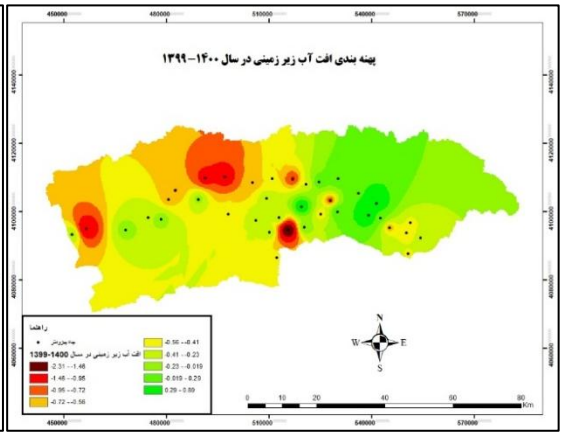
همان‌طور که نقشه‌های تهیه شده نشان می‌دهد، چاه‌های پیزومتری شرب چهار برج، جنوب زرق آباد، کلاته شور و شرق ایزی، شمال غرب استین و شرق توی بیشترین و چاه‌های پیزومتری تپه سرخ، کلاته کربلایی حسینعلی جنوب قمیته کمترین میزان سطح آب را دارا می‌باشند. لذا می‌توان گفت سطح آب زیرزمینی در شمال، مرکز و جنوب شرق حوضه بسیار بالا ا ست. رخداد سازندهای آهکی کار ستی و ما سه سنگ‌های نفوذپذیر زون بینالود، ر سوبات آبرفتی، بادبزنی و کوهپایه‌ای کوارترنری و وجود گسل‌های متعدد در شمال محدوده، در غنی‌شدگی سفره آب زیرزمینی و پیرو آن، برداشت بی‌رویه تأثیرگذار ا ست. سایر مناطق مرکزی و جنوب شرق حو ضه با ناهنجاری بالای سطح آب زیرزمینی در ارتباط با ر سوبات سست، متخلخل و نفوذپذیر عهد حاضر هستند. اشکال ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ نرخ افت آب زیرزمینی در بازه سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۷، ۱۳۹۹-۱۳۹۸، ۱۴۰۰-۱۳۹۹، ۱۴۰۱-۱۴۰۰، ۱۴۰۲-۱۴۰۱ و سال‌های ۱۴۰۲-۱۳۹۷ را نشان می‌دهد. اشکال مذکور نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی در سال‌های مختلف افت داشته به‌طوری‌که بر اساس شکل ۱۵ چاه‌های پیزومتری جنوب ارگ، جنوب خرا شا، جنوب گازان، شمال عباس‌آباد و اکت شافی قا سم‌آباد بی‌شترین افت آب زیرزمینی در طول سال‌های ۱۴۰۲-۱۳۹۷ را به ترتیب برابر با ۳/۵-، ۳/۲-، ۳/۰۷-، ۲/۹۸۵- و ۲/۶۵- را به خود اختصاص داده‌اند که این میزان افت می‌تواند منجر به فرونشست گردد.



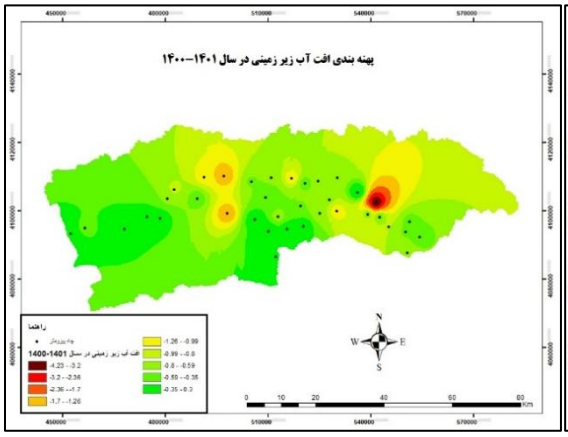
شکل (۱۰). پهنه‌بندی افت آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷



شکل (۱۱). پهنه‌بندی افت آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۹-۱۳۹۸



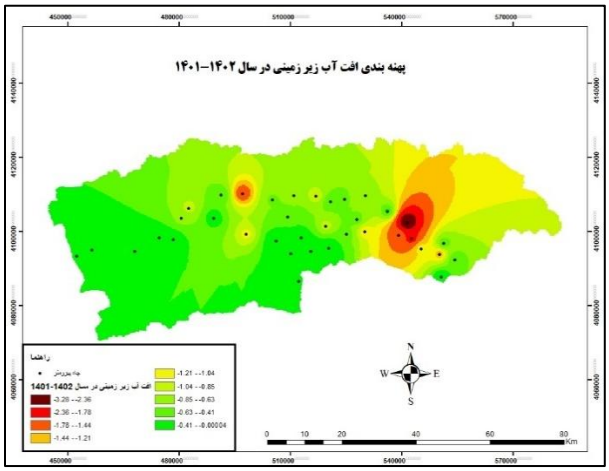
شکل (۱۲). پهنه‌بندی افت آب زیرزمینی در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹



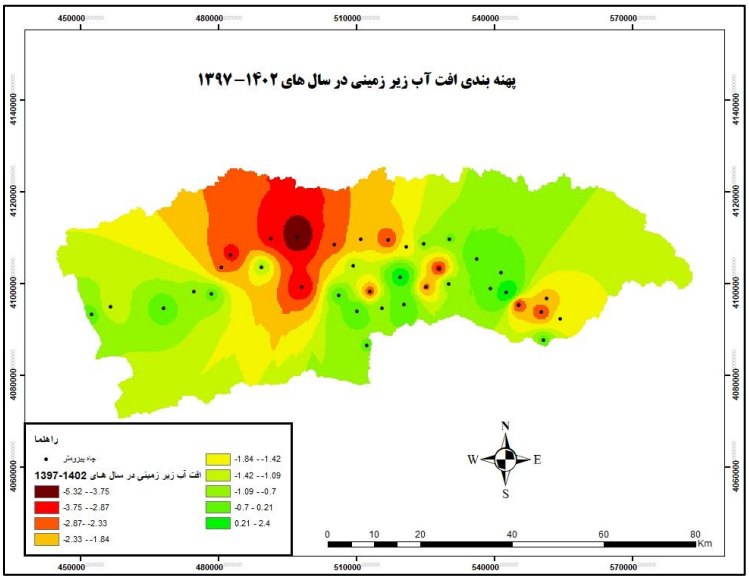
شکل (۱۳). پهنه‌بندی افت آب زیرزمینی در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]



شکل (۱۴). پهنه‌بندی افت آب زیرزمینی در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱



شکل (۱۵). پهنه‌بندی افت آب زیرزمینی در سال‌های ۱۴۰۲-۱۳۹۷

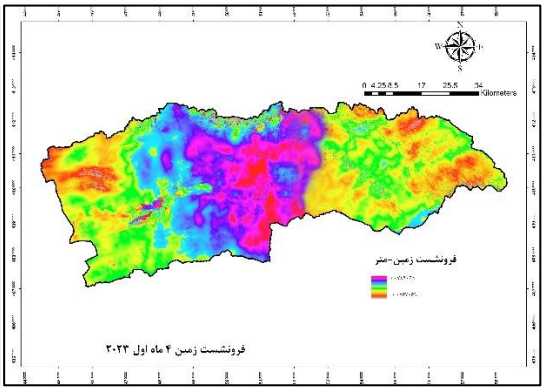
برآورد میزان فرونشست در حوضه مطالعاتی

فرونشست زمین در ۴ ماه اول سال ۲۰۲۳ و چهار ماه دوم آن (اشکال ۱۶ و ۱۷) و سپس محاسبه سرعت رشد فرونشست در ۸ ماه که بدین منظور دو خروجی قبلی (۲ خروجی ۴ ماهه اول و دوم) را تجمیع سپس آن را بر ۸ تقسیم نموده تا سرعت رشد فرونشست نهایی و پهنه‌بندی آن حاصل گردید (شکل ۱۸). جدول ۳ میزان و درصد هر پهنه را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول ۲۶/۴ درصد از مساحت حوضه در پهنه خیلی بحرانی و در مجموع ۷۵/۲ درصد از حوضه مطالعاتی در پهنه فرونشست متوسط و خیلی بحرانی است. از مهم‌ترین چاه‌هایی که در پهنه خیلی بحرانی قرار گرفته‌اند می‌توان به چاه‌های جنوب سنخواست، جنوب خراشا، جنوب ارگ، جنوب گازان، جعفرآباد خرابه و مهدی‌آباد کال بکو اشاره کرد. چاه‌های کلاته شور، امامزاده عبدالله، حسن‌آباد، جنوب کبوترخانه در پهنه متوسط بحرانی و چاه‌های سیدآباد، فیروزآباد، جنوب کشتارگاه، شمال عباس‌آباد، سارمران و خوش در پهنه کمی بحرانی قرار گرفته‌اند.

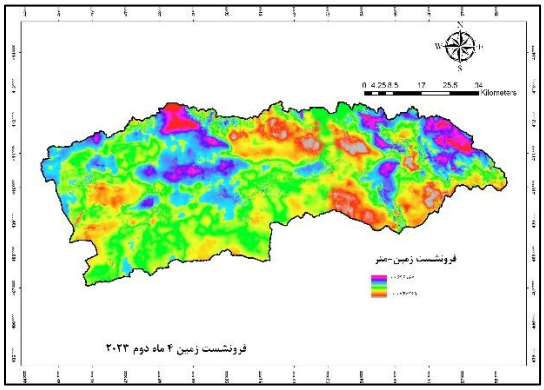
ضریب همبستگی میزان افت آب زیرزمینی و میزان فرونشست محاسبه و برابر با ۰/۶۲- حاصل گردید. قابل‌ذکر است ضریب همبستگی چاه‌های پیزومتری جنوب ارگ، جنوب خراشا، جنوب گازان، شمال عباس‌آباد و اکتشافی قاسم‌آباد که بیشترین افت آب زیرزمینی را داشتند برابر با ۰/۷۲- محاسبه گردید که نشان می‌دهد با تغییر میزان افت آب زیرزمینی،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

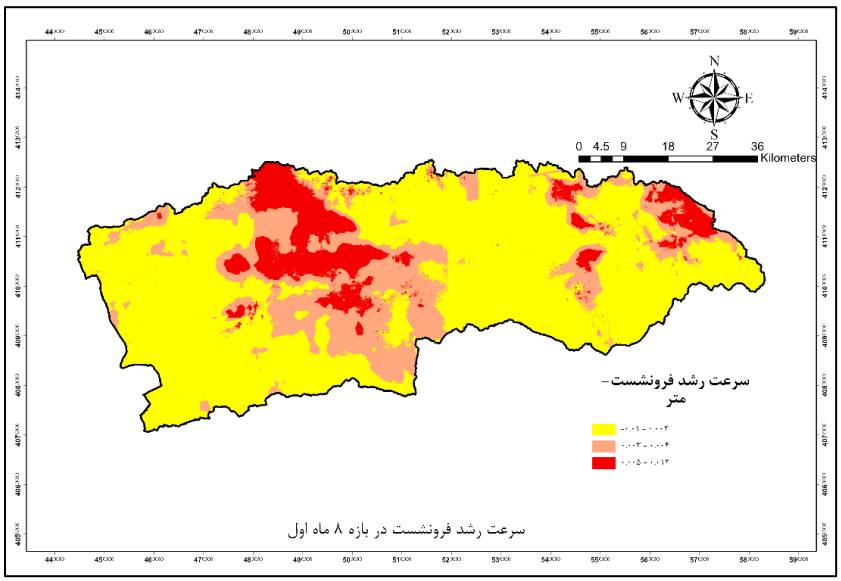
میزان فرونشست تغییر می‌کند. البته باید گفت عواملی نظیر جنس زمین، بافت خاک، ضخامت رخساره‌ها و ... نیز تأثیرگذار می‌باشند.



شکل (۱۶). فرونشست زمین ۴ ماه اول ۲۰۲۳



شکل (۱۷). فرونشست زمین ۴ ماه دوم ۲۰۲۳



شکل (۱۸). سرعت رشد فرونشست برحسب متر در هر ماه

جدول (۳). درصد مساحت فرونشست در هر پهنه

مساحت		
درصد مساحت	کیلومترمربع	طبقه
۲۴/۸۰	۱۱۳/۴۶۷۱۳۶۰	کمی بحرانی
۴۸/۷۵	۲۳۳۰/۷۰۷۰۳۸	متوسط بحرانی
۲۶/۴۵	۱۲۰۹/۶۸۹۴۴۰	خیلی بحرانی

نتیجه‌گیری

در این پژوهش فرونشست زمین در دشت اسفراین با استفاده از SentineL1 در بازه زمانی ۸ ماه اول سال ۲۰۲۳ (ژانویه تا آگوست) موردبررسی قرار گرفت. بدین منظور از داده‌های چاه‌های پیزومتری و بازدید میدانی به‌منظور صحت سنجی و تفسیر نتایج استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار SNAP میزان فرونشست در حوضه مطالعاتی از ۱ تا ۱۲ میلی‌متر در بازه ۸ ماهه تعیین شد. پهنه‌بندی میزان سرعت فرونشست انجام و ۲۶,۴۵ درصد از مساحت حوضه در پهنه خیلی بحرانی (۵ تا ۱۲

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

میلی‌متر) قرار گرفت. با احتساب پهنه متوسط بحرانی و خیلی بحرانی (۷۵،۲ درصد) می‌توان گفت که دشت اسفراین در حالت بحرانی قرار گرفته است. بیشترین فرونشست زمین مربوط به چاه‌های جنوب سنخواست، جنوب خراشا، جنوب ارگ، جنوب گازان، جعفرآباد خرابه و مهدی‌آباد کال بکو بوده که در پهنه خیلی بحرانی قرار داشته همچنین می‌توان از چاه‌های کلاته شور، امامزاده عبدالله، حسن‌آباد، جنوب کبوترخانه و ... که در پهنه متوسط بحرانی قرار گرفته‌اند، نام برد. در پهنه کمی بحرانی نیز می‌توان به چاه‌های سیدآباد، فیروزآباد، جنوب کشتارگاه، شمال عباس‌آباد، سارمران و خوش اشاره نمود. از طرفی روستاهای فیروزه، حسین‌آباد، کلاته هوری، کلاته موسی‌الرضا، کلاته یوسف، دربند، توکل، کمر بلند، گازان، قزاقی و ارک در محدوده خیلی بحرانی قرار گرفته که فرونشست می‌تواند مسائل و مشکلات زیادی را برای ساکنین این روستاها به بار آورد. روستاهای حاجی‌آباد، کلاته علیمردان، مهدی‌آباد، کلاته سرداری، توکل‌آباد، دو شاخ، علی‌آباد و ... نیز در پهنه متوسط بحرانی قرار گرفته که این روستاها هم با مسائل فرونشست درگیر می‌باشند. گر چه روستاهایی نظیر دهک، زاری، مهرآباد، رزق‌آباد، کروژده، اجقان، کسرق، سارمران، جعفرآباد و دیگر روستاها در پهنه کمی بحرانی قرار گرفته‌اند ولی نباید با برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی زمینه تسریع فرونشست را فراهم نمود.

ضریب همبستگی بین میزان افت آب زیرزمینی و میزان فرونشست برابر با ۰/۶۲- و همچنین ضریب همبستگی چاه‌های پیزومتری جنوب ارگ، جنوب خراشا، جنوب گازان، شمال عباس‌آباد و اکتشافی قاسم‌آباد که بیشترین افت آب زیرزمینی را داشتند نیز برابر با ۰/۷۲- محاسبه گردید.

بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهد که در دشت اسفراین در چند گذشته در اثر استفاده بی‌رویه از آب زیرزمینی منطقه، سطح آب زیرزمینی مرتباً کاهش یافته است. بر اساس نظر باقریان کلات و همکاران(۱۳۹۲) در اثر کاهش فشار هیدرواستاتیک که ناشی از کاهش مداوم سطح آب زیرزمینی است زهکشی آب از لایه‌های ریزدانه آبخوان مرتباً صورت گرفته و تراکم برگشت‌ناپذیر خاک در لایه ریزدانه را سبب شده است. در چنین وضعیتی، آرایش خاکدانه‌ها در لایه ریزدانه به‌هم‌خورده و آرایش جدید باعث کاهش حجم و ضخامت عمودی لایه و در نهایت نشست زمین گردیده است. بخشی از آثار ناشی از تراکم برگشت‌ناپذیر خاک و نشست زمین، ترک‌ها و شکاف‌های کششی طولی در سطح زمین می‌باشد که در دشت اسفراین نیز قابل‌مشاهده می‌باشد.

شایان‌ذکر است آروین و همکاران(۱۳۹۸) در جنوب میناب، شفیعی و همکاران(۱۳۹۹) در دشت نورآباد، مرادی و همکاران(۱۳۹۹) در منطقه شهری ۱۸ تهران، اطهری و همکاران(۱۴۰۱) در دشت ورامین و عمادالدین و نظری گزیک(۱۴۰۲) در دشت مشهد با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و نرم‌افزار SNAP به برآورد میزان فرونشست زمین پرداخته و به نتایج دقیق و مطمئنی دست یافتند. در نهایت می‌توان گفت جهت کنترل نشست زمین، مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی منطقه ضروری است. بدین منظور باید با مدیریت بهینه و کنترل برداشت آب از طریق تغییر الگوی کشت، اصلاح سیستم‌های آبیاری سنتی و استفاده از سیستم‌های آبیاری مدرن و همچنین تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی از فرونشست زمین جلوگیری به عمل آورد و یا میزان تسریع آن را به حداقل ممکن رساند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

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

مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها:؛ تهیه گزارش پژوهش:؛ تحلیل داده‌ها:

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی ندارد.

منابع

اخوان، رضا، کرمی خرم‌آبادی، منا و سوسنی، جواد. (۱۳۹۰). کاربرد دو روش کریجینگ و IDW در پهنه‌بندی تراکم و تاج پوشش جنگل‌های شاخه زاد بلوط (مطالعه موردی: منطقه کاکارضای خرم‌آباد لرستان). مجله جنگل ایران، ۳(۴)، ۳۰۵-۳۱۶.

اسدی، معصومه، گنجاییان، حمید، جاودانی، مهناز و قادری حسب، مهدیه (۱۴۰۰). ارزیابی ارتباط بین عوامل طبیعی و میزان فرونشست در دشت ایوانکی با استفاده از تصاویر رادار. *هیدروژئولوژی*، ۶(۱)، ۱۳-۲۲.

اطهری، محمدعلی، عزیزی، حمیدرضا، هاشمی، سیدشهاب و هنری، حمیدرضا. (۱۴۰۱). بررسی رابطه بین میزان تغییرات سطح زمین در اثر فرونشست و آب زیرزمینی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-۱ و مدل‌های آماری (منطقه موردمطالعه: دشت ورامین). علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۷(۱)، ۳۴-۴۳.

آروین، عبدالخالق، وهاب‌زاده کبریا، قربان، موسوی، سید رمضان و بختیاری کیا، مسعود (۱۳۹۸). مدل‌سازی مکانی فرونشست زمین در جنوب حوزه آبخیز میناب با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش‌ازدور و GIS در علوم منابع طبیعی)*، ۱۰(۳ (پیاپی ۳۶))، ۱۹-۳۴.

آقا نباتی، سید. علی، (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران. تهران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تعداد صفحات ۵۸۵.

باقریان کلات، علی، لشکری پور، غلامرضا، غفوری، محمد و پژمان، حسین (۱۳۹۲). بررسی نشست زمین و ایجاد شکاف در دشت سبزوار، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۸-۱

حاجب، زهرا، موسوی، زهرا، معصومی، زهره و رضایی، ابوالفضل (۱۳۹۸). مطالعه فرونشست دشت قم با استفاده از تداخل سنجی راداری و ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان. *علوم زمین*، ۲۹(۱۱۴)، ۲۵۱-۲۵۸.

حداد، عبدالحسین و خراسانی، الهام (۱۳۹۸). اثر تغییرات سطح آب زیرزمینی بر فرونشست دشت سمنان. *علوم زمین*، ۲۸(۱۱۲)، ۱۸۱-۱۹۰.

حقیقت مهر، پریسا، ولدان زوج، محمدجواد، تاجیک، رضا، جباری، سعید، صاحبی، محمودرضا، اسلامی، رضا، گنجیان، مصطفی و دهقانی، مریم (۱۳۹۱). تحلیل سری زمانی فرونشست هشتگرد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و سامانه موقعیت‌یابی جهانی. *علوم زمین*، ۲۲(۸۵)، ۱۰۵-۱۱۴.

حمیدی، بابک (۱۳۸۰). تحکیم سه‌بعدی زمین در یکی از طرح‌های استان خوزستان. *مجموعه مقالات نخستین کنفرانس بهسازی زمین*، تهران، ۸۳-۷۶

داوودی جم، منصوره (۱۳۸۹). تعیین محدوده نشست زمین و بررسی تغییرات زمانی آن با استفاده از روش تداخل سنجی راداری در دشت مهیار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش سنجش‌ازدور، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اصفهان

داوودی جم، منصوره، معتق، مهدی، مؤمنی، مهدی و هاشمی، محمود (۱۳۹۱). کشف و نمایش فرونشست دشت مهیار اصفهان به کمک تداخل سنجی راداری، *نشریه علمی ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات*، دوره سوم (۲).

زنگنه اسدی، زندی، رحمان و شفیعی، نجمه (۱۴۰۲). سنجش و ارزیابی کشت برنج و صیفی‌جات و تأثیر آن بر بحران نشست زمین آبخوان نورآباد ممسنی، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال ۱۲، شماره ۲، پیاپی ۴۶، ۱۹۹-۱۸۴.

سیفی، یونس و میرزایی، روح اله. (۱۳۹۶). مقایسه روش‌های درون‌یابی مکانی جهت پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی شهرستان آران و بیدگل. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۹(۱ (مسلسل ۷۲))، ۱۳۱-۱۴۷.

شفیعی، نجمه، گلی مختاری، لیلا، امیراحمدی، ابوالقاسم و زندی، رحمان. (۱۳۹۹). بررسی فرونشست آبخوان دشت نورآباد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۸(۴)، ۹۳-۱۱۱.

عمادالدین، سمیه و نظری گزیک، زهرا (۱۴۰۲). برآورد میزان فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و تغییرات

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

تراز آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت مشهد)، *جغرافیا و توسعه*، سال ۲۱، شماره ۷۳، ۲۳۹-۲۲۱

فرزین کیا، ربابه، زنگنه اسدی، محمدعلی، امیراحمدی، ابوالقاسم و زندی، رحمان (۱۳۹۸). ارتباط فعالیت‌های تکتونیکی و تأثیر آن در فرونشست زمین در حوضه‌ی آبریز دشت جوین. هیدروژئومورفولوژی، ۵(۲۰)، ۱۶۵-۱۸۵.

گنجائیان، حمید، منبری، فاطمه، قاسمی، افشان و نصرتی، مژگان (۱۴۰۱). ارزیابی و تحلیل مخاطره فرونشست در دشت کبودرآهنگ-فامنین. *اطلاعات جغرافیایی*، ۳۱(۱۲۴)، ۷۵-۸۶.

لشکری پور، غلامرضا. رستمی بارانی، حمیدرضا و صداقت خواهی، حسین (۱۳۸۶). ارزیابی زیست‌محیطی نشست منطقه‌ای زمین بر اثر افت سطح آب زیرزمینی در دشت‌های بحرانی ایران. مجموعه *مقالات اولین کنگره زمین‌شناسی کاربردی ایران*، مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، جلد اول، ۴۳۲۸-۴۳۲۰.

لشگری پور، غلامرضا، غفوری، محمد، سویزی، زینب و پیوندی، زکیه. (۱۳۸۴). افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت مشهد. همایش انجمن‌های زمین‌شناسی ایران.

مرادی، آیدین، عمادالدی، حسین، آرخ، صالح و رضائی، خلیل. (۱۳۹۹). تحلیل فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری، اطلاعات چاه‌های ژئوتکنیکی و پیزومتری (مطالعه موردی: منطقه شهری ۱۸ تهران). تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۷(۱)، ۱۷۶-۱۵۳.

معتمدی راد، محمد و بهرامی، شهرام (۱۴۰۱). تحلیل میزان غلظت و آلودگی عناصر سنگین رسوبات (مطالعه موردی: حوضه گلیان در استان خراسان شمالی)، فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی، سال سوم، شماره دوم (پیاپی ۱۰)، ۸۱-۵۷

Abidin, H. Z., Djaja, R., Darmawan, D., Hadi, S., Akbar, A, Rajiyowiryono, H Sudibyo Y,Meilano, L., Kusuma, M. A., Kahar, J. & Subarya, C., (۲۰۰۱)- Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and ..its geodetic monitoring system, Nat. *Hazards*, ۲۳: ۳۶۵-۳۸۷ https://doi.org/10.1023/A:1011144602064

Agha Nabati, Seyyed Ali, (2013). Geology of Iran. Tehran, Publications of Iran's Geology and Mineral Exploration Organization, 585 pages. (In Persian)

Akhavan, r., Karami khorramabadi, m., & Soosani, j.. (۲۰۱۲)/ Application of kriging and idw methods in mapping of crown cover and density of coppice oak forests (case study: kakareza .region, khorramabad). iranian journal of forest, ۳(۴)' ۳۰۵-۳۱۶ https://www.ijf-isaforestry.ir/article_۴۶۶۶.html (in persian)

Amelung, F., Galloway, D. L., Bell, J. W., Zebker, H. A. & Laczniak, R. J (۱۹۹۹)Sensing the ups and downs of Las Vegas: InSAR reveals structural control of land subsidence and aquifer system .deformation, Geology, ۲۷(۶): ۴۸۳-۴۸۶// *Geology* (۱۹۹۹) ۲۷ (۶): ۴۸۳–۴۸۶ https://doi.org/10.1130/0091-7613(1999)027<0483:STUADO>2.3.CO;2

Arjmandzadeh, R, Alirezaei S, Almasi, A., (2022). Tectonomagmatic reconstruction of the Upper Mesozoic-Cenozoic Neotethyan arcs in the Lut block, East Iran: a review and synthesis. Turkish Journal of Earth Sciences, 31:520-544. https://doi.org/10.55730/1300-0985.1818

Arjmandzadeh, R, Karimpour, MH, Mazaheri, SA, Santos, JF, Medina, JM, Homam, SM., (2010). Two sided asymmetric subduction: new hypothesis for the tectonomagmatic and metallogenic setting of the Lut Block, Eastern Iran. 15t Symposium of Society of Economic Geology of Iran, Ferdowsi University of Mashhad

Arvin, A.K., Vahabzadeh Kebria, Gh., Ramazan Mousavi, S., & Bakhtyari Kia, M.. (2019). Geospatial modeling of land subsidence in the south of the Minab watershed using remote sensing and GIS. Journal Of Rs And Gis For Natural Resources (Journal Of Applied Rs And Gis Techniques In Natural Resource Science), 10(3 (36)), 19-34. https://dorl.net/dor/http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1398.10.3.2.3 (In Persian)

Asadi, Maesomeh, Ganjaeian, Hamid, Javedani, Mahnaz, & Ghaderi Hasab, Mahdyeh. (2021). Evaluation of the Relationship between Natural Factors and Subsidence in Ivanaki Plain Using Radar Imaging. Hydrogeology, 6(1), 13-22. https://doi.org/ 10.22034/HYDRO.2021.13016 (In Persian)

Athari, M. A., Azizi, H.R, Hashemi, S. Sh., & Honari, H.R., (2022). Investigation of the Relationship

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

between Land Surface Changes due to Subsidence and Groundwater using Sentinel-1 Satellite Images and Statistical Models (Case study: Varamin plain). journal of water and wastewater science and engineering,7(1),34-43. https://doi.org/10.22112/jwwse.2021.261650.1232 (In Persian)

Bagharian Kalat, A., Lashkaripour, Gh.R., Ghafouri, M and Pezhman, Hossein., (۲۰۱۲)، Investigating land subsidence and crevice creation in Sabzevar Plain, ۸th Conference of Iran .Engineering and Environmental Geology Association, Ferdowsi University of Mashhad, ۱-۸ (In Persian)

Brunori, C., Bignami, C., Albano, M., Zucca, F., Samsonov, S., Groppelli, G., Norini, G., Saroli, M., Stramondo, S., (2015). Land subsidence, Ground Fissures and Buried Faults: InSAR Monitoring of Ciudad Guzmán (Jalisco, Mexico). Remote Sen, 7, 8610–8630. https://doi.org/10.3390/rs70708610

Daniel, R. C ,Maisons., C., Carnec, S., Mouelic, L., King, C.& Hosford, S., (2003), Monitoring of slow ground deformation by ERS radar interferometry on the Vauvert salt mine(France) Comparison with ground- based measurement, Remote Sensing of Environment,88: 468-478.. https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.09.005

Davoudi Jam, M. (2008). Determining the range of land subsidence and investigating its temporal changes using radar interferometric method in Mehyar plain, Master's thesis in the field of civil engineering, remote sensing, Faculty of Engineering and Technology, Isfahan University (In Persian)

Dawoodi Jam, M. Mutaq, M. Momeni, M. and Hashemi, M. (2012). Discovery and representation of the subsidence of Mahyar Plain of Isfahan with the help of radar interferometry, Scientific Journal of Mapping and Information Engineering, Volume 2, No. 2. https://elmnet.ir/doc/898065-26186 (In Persian)

Du, Y., Feng, G., Peng, X., Li, Z. (2017). Subsidence Evolution of the Leizhou Peninsula, China, Based on InSAR Observation from 1992 to 2010, Appl. Sci. 2017, 7, 466; https://doi:10.3390/app7050466.

Emadodin,S.,Nazari Gazik,Z (2023). Estimation of Subsidence Rate and Groundwater Level Changes in Mashhad Plain Journal: Geography and development,Volume:21 ,Issue:73 ,P: 221-239 . . https://doi.org/ 10.22111/GDIJ.2023.8029 (In Persian)

Farzinkia, R., Zanganeh Asadi, M. A., Amirahmadi, A., & Zandi, R., (۲۰۱۹)، The Relationship between Tectonic Activity and Its Impact on Land Subsidence in the Jovein Basin. .Hydrogeomorphology, ۵(۲۰)، ۱۶۵-۱۸۵20.1001.1.23833254.1398.6.20.9.2. (In Persian)

Ganjaeian, Hamid, Menbari, Fatemeh, GHASEMI, AFSHAN, & Nosrati, Mozhgan. (2023). Assessment and analysis of subsidence risk in Kaboudar Ahang-Famenin plain. Geographical Data, 31(124), 75-86.. https://doi.org/ https://doi.org/10.22131/sepehr.2023.553000.2871 (In Persian)

Haddad, A., & Khorasani, E.. (2019). Groundwater level changes effect on the subsidence in Semnan plain. Geosciences, 28(112), 181-190. https://doi.org/10.22071/gsj.2019.93191 (In Persian)

Haghighatmehr, P., Valadanzouj, M.J., Tajik, R., Jabari, S., Sahebi, M.R., Eslami, R., Ganjiyan, M., & Dehghani, M.. (2012). Time Series Analysis Of Hashtgerd Subsidence Using Radar Interferometry And Global Positioning System. Geosciences, 22(85), 105-114. https://doi.org/10.22071/gsj.2012.54026 (In Persian)

Hajeb, z., Mousavi, Z., Masoumi, Z., & Rezaei, A.. (2020). Investigation of Qom plain subsidence using synthetic aperture radar Interferometry and aquifer hydrogeological characterization.Geosciences,29(114),251-258. https://doi.org/10.22071/gsj.2018.113987.1367. (In Persian)

Hamidi, B. (2001) 3D land consolidation in one of the projects of Khuzestan province. Proceedings of the First Land Development Conference, Tehran, pp. 76-83. https://civilica.com/doc/3689. (In Persian)

Hanssen,R.F., 2001, Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. Dordrecht Kluwer Academic Publishers, http://resolver.tudelft.nl/uuid:a83859d5-c034-427e-b6a9-114c4b008d19

Khan, J., R, X., Afaq Hussain, M., Qasim Jan, M., (2022), Monitoring Land Subsidence Using PS-

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]

InSAR Technique in Rawalpindi and Islamabad, Pakistan, Remote Sensing, 14,3722, 1-25. https://doi.org/10.3390/rs14153722

Lashgaripour, Gh., Ghafouri, M., Soeyzi, Z., and Takhni, Z. (۲۰۰۵)' Groundwater level drop and .ground subsidence in Mashhad plain. Conference of Geological Societies of Iran (In Persian)

Lashkaripur, Gh. R. Rostami Barani, H.R., Sedaghat, H (2007). Environmental assessment of regional land subsidence due to the drop of underground water level in critical plains of Iran. Proceedings of the First Applied Geology Congress of Iran, Mashhad, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Volume 1, pp. 4328-4320. (In Persian)

Liu, C.W., Lin, W.S. & Cheng, L.H. (2006). Estimation of land subsidence caused by loss of smectite inter layer water in shallow aquifer systems. Hydrogeology Journal, 14:508-525.. https://doi.org/10.1007/s10040-005-0459-0

Moradi, A., Emadodin, S., Arekhi, S., & Rezaei, Kh., (2020). Earth subsidence analysis using radar interferometry technique, geotechnical and piezometric wells (case study: Urban region 18 Tehran). journal of spatial analysis environmental hazarts, 7(1), 153-176. https://doi.org / 10.29252/jsaeh.7.1.11 (In Persian)

Motamedi Rad, M., Bahrami.Sh (2022). Analyzing the rate of concentration and pollution of heavy metals of sediments (case study: Gelian catchment in North Khorasan province). Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas, 3(10), 57 -81. https://doi:10.52547/gsma.3.2.57 (In Persian)

Osmanoglu, B. and Dixon, T. H., Wdowinski, Sh., Cabral-Cano, E. and Yan, J., (2011).Mexico city subsidence observed with persistent scatterer InSAR. Int JAppl Earth Obs. 13. 1- 12.. https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.05.009

Pacheco, J., Arzate, J., Rojas, E., Arroyo, M., Yutsis, V., & Ochoa, G., (2006). Delimitation of ground failure zones due to land subsidence usind gravity data and finite element modeling in the Queretaro valley, Mexico. Engineering Geology, 84:143-160. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.12.003

Scott, R.F., (1979). Subsidence-revaluation and prediction of subsidence. (eds.) Saxema, S.K., Proc. Conf. ASCE, Gainsville, 1-25.

Seifi, Y., Mirzaei, R., (۲۰۱۷)/ comparison of spatial interpolation methods to mapp heavy metals concentrations in surface soil of aran-o-bidgol city. journal of environmental science and .technology, ۱۹(۱ (۷۲))' ۱۳۱-۱۴۷https://doi.org/ 10.22034/jest.2017.10341) in Persian(

Shafiei, N., Goli mokhtari, L., Amirahmadi, A., & Zandi, Rahman. (۲۰۲۰)/ Investigation of subsidence of Noorabad plain aquifer using radar interferometry method. quantitative .geomorphological researches, ۸(۴)' ۹۳-۱۱۱https://doi.org/ 10.22034/gmpj.2020.106424. (In Persian)

Shankar,H., Singh,D., Chauhan,P.,(2024), Investigation of groundwater induced land subsidence in Ludhiana City using InSAR and Sentinel-1 data, Quaternary Science Advances13,January 2024,100151. https://doi.org/10.1016/j.qsa.2023.100151

USGS (United States Geological Survey), Research and Review Information Located, Assess on September 2011: http://water.usgs.gov/ogw/pubs/fs00165.

Zanganeh Asadi,M.A., Zandi, R, and Shafiei, N., (۲۰۲۳)/ Measurement and evaluation of rice and summer crops and its impact on the land subsidence crisis of Noor Abad Mamsani aquifer, .Quantitative Geomorphology Research, Year ۱۲' Number ۲' Serial ۴۶' ۱۸۴-۱۹۹ https://doi.org/ 10.22034/gmpj.2023.393690.1432. (In Persian)

Zhang, Y., Liu, Y., Jin, M., Jing, Y., Liu, Y., Liu, Y., Sun, W., Wei, J., Chen, Y., (2019). Monitoring Land Subsidence in Wuhan City (China) using the SBASInSAR Method with Radarsat-2 Imagery Data, Sensors, 19(3): 743. https://doi.org/10.3390/s19030743

Zhao, Q., Ma. G., Wang. Q., Yang. T., Liu, M., Gao, W., Falabella, F., Mastro, P., Pepe, A. (2019). Generation of long-term InSAR ground displacement time-series through a novel multi-sensor data merging technique: The case study of the Shanghai coastal area, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 154, August 2019, Pages 10-27. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.05.005

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.22]