Identification Areas prone to creating sinkholes using radar images (Case study: Qorveh Plain)

Hamid Ganjaeian*

Ph. D of geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

Research Full Paper

Article History (Received: 2023/10/3 Accepted: 2024/04/29)

Extended abstract

1-Introduction

Subsidence is the collapse or subsidence of the earth's surface, which occurs for different reasons on a large scale. Usually, this term refers to the downward vertical movement of the earth's surface, which can be accompanied by a small horizontal vector. In many cases, subsidence takes place imperceptibly and gradually, *and* it is one of the risks whose effects are visible in the long term. One of the most important effects of subsidence is a sinkhole, which can cause many human and financial losses. Usually, areas that face the risk of subsidence will also face the risk of sinkholes in the long term, so it is necessary to control the increasing process of subsidence. The geographical location of Iran has caused many parts of it to be at risk of subsidence. The Qorveh plain in the east of Kurdistan province is one of the plains that has faced the crisis of subsidence due to its hydroclimatic and geomorphological conditions. In terms of geomorphology, Qorveh plain has few limiting obstacles and this problem has provided the basis for the development of human activities including agricultural activities in this plain. Due to the fact that the average rainfall of Qorve plain is about 300 mm and this plain is facing a shortage of surface water resources, therefore a large part of the water resources needed by the agricultural lands of this plain is supplied through underground water sources and this problem causes There has been a sharp drop in the underground water resources of this plain in recent years. Due to the sharp drop in underground water resources and the risk of subsidence, it can be expected that if the current trend continues, the Qorve plain will also face the crisis of sinkholes. Due to the importance of the issue, in this research, using radar images, areas prone to sinkholes have been identified in this plain.

2- Methodology

In this research, Sentinel 1 radar images, Landsat 8 satellite image, information related to piezometric wells in the area and SRTM 30 meters high digital model have been used as the most important research data. The most important tools used in the research are ArcGIS (in order to prepare the desired maps and final outputs), GMT (in order to implement the radar interferometry process), and ENVI (in order to prepare the land use map of the region). And Expert Choice (in order to give weight to the presented solutions). Also, in this research, SBAS time series models (to prepare the final subsidence map of the region), maximum likelihood (to prepare the land use map of the region) and AHP (to weight the proposed solutions) have been used. According to the objectives, this research has been done in 3 stages. In the first step, using Sentinel 1 radar images and the radar interferometry method and SBAS time series, the amount of vertical displacement in the study area has been evaluated. In the second stage, on the basis of the prepared map, library studies, as well as experts' opinions, the areas prone to sinkholes have been identified in Qorve Plain. After identifying the areas prone to sinkholes, the distribution of population points exposed to them has been evaluated. In the third stage, the effective factors in the subsidence of the region have been analyzed and effective solutions have been provided to control it.

3- Results

Examining the state of subsidence occurred in the Qorve plain has shown that this plain has subsided a maximum of 379 mm during a period of 4 years. Therefore, it can be said that the Qorve plain has faced the maximum annual subsidence of about 10 cm. Due to the fact that one of the important effects of subsidence is the creation of sinkholes, in this research, the areas exposed to this hazard have been identified. In order to identify areas prone to sinkholes, areas

* **Corresponding Author: h.ganjaeian@ut.ac.ir**

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

that have subsidence of more than 200 mm during a period of 4 years (areas that have subsidence of more than 5 cm per year) as areas in They have been identified as prone to sinkholes. It should be noted that the selection of 200 mm was based on the subsidence of the region, the topography of the region, and library studies. According to the results, the areas adjacent to Dezaj city and the areas adjacent to Vinsar, Shekohabad and Ganji villages have a high potential in terms of sinkhole occurrence.

4-Conclusion

The location of Qorve plain has made this plain one of the critical plains in the west of the country. Due to its hydroclimatic situation, Qorveh plain is facing a shortage of surface water resources, and this problem has caused excessive use of underground water resources in this plain. Excessive use of underground water resources in the Qorve plain has caused this plain to face a severe drop in underground water resources, so that the annual average drop of underground water in many parts of this plain has been more than 1 meter. The severe drop in underground water resources has caused the Qorve Plain to face 379 mm of subsidence during the years 2018 to 2022, so the Qorve Plain is facing a subsidence crisis. Due to the fact that one of the important effects of subsidence is the creation of sinkholes, in this research, the areas exposed to this risk (areas with subsidence of more than 5 cm per year) have been identified. Based on the results, the areas adjacent to Dezaj city, the areas adjacent to Vinsar village, the areas adjacent to Shekohabad village and also the areas adjacent to Ganji village have a high potential in terms of sinkhole occurrence. Considering that sinkholes are associated with many human and financial losses, in this research, in order to control the subsidence and prevent the occurrence of sinkholes in Qorve plain, various solutions have been presented, and then, using the AHP model, the most important solutions have been selected. Is. Based on the results, planning based on the environmental capabilities of the Qorve plain with a weight of 0.288 has been selected as the most important solution, followed by the solutions of improving irrigation methods and preventing the cultivation of short-term crops, respectively, with a weight of 0.217 And 0.172 have been selected as the most important solutions.

Key words: Subsidence, Sinkhole, SBAS, Qorveh Plain.

Cite this article: Ganjaeian. H (2024). Identification Areas prone to creating sinkholes using radar images (Case study: Qorveh Plain). *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2024; 13 (4) :87-105*. http//doi.org/

© The Author(s).

Published by Hormozgan University Press.

DOI: http//doi.org/

URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

شناسایی مناطق در معرض ایجاد فروچاله با استفاده از تصاویر راداری (مطالعه موردی: دشت قروه)

حمید گنجائیان*: *دانش‌آموختهٔ دکتری ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۱۰)
DOI: http//doi.org/

چکیده

یکی از مخاطراتی که بسیاری از دشت‌های ایران را دربرگرفته است، فرونشست است. فرونشست می‌تواند با اثرات منفی زیادی از جمله ایجاد فروچاله همراه باشد. یکی از دشت‌هایی که در طی سال‌های اخیر با مخاطره فرونشست مواجه شده و مستعد ایجاد فروچاله است، دشت قروه در شرق استان کردستان است. در این پژوهش به شناسایی مناطق مستعد وقوع فروچاله در این دشت پرداخته شده است. در این پژوهش از تصاویر راداری سنتینل ۱، تصویر ماهواره لندست ۸ و اطلاعات مربوط به چاه‌های پیزومتری منطقه به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده در تحقیق، ArcGIS، GMT، ENVI و Expert Choice بوده است. همچنین در این تحقیق از مدل‌های سری زمانی SBAS، حداکثر احتمال و AHP استفاده شده است. این پژوهش در چند مرحله انجام شده است که در مرحله اول به ارزیابی میزان فرونشست منطقه پرداخته شده است. در مرحله دوم، مناطق مستعد وقوع فروچاله مشخص شده است و در مرحله سوم، به تحلیل عوامل موثر در فرونشست منطقه و ارائه راهکارهای موثر در کنترل آن پرداخته شده است. بر اساس نتایج حاصله، میانگین افت سطح آب زیرزمینی در بخش زیادی از دشت قروه بیش از ۱ متر در سال بوده است و این مسئله سبب شده است تا این دشت در طی سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ با ۳۷۹ میلی‌متر فرونشست مواجه شده باشد. همچنین نتایج شناسایی مناطق مستعد وقوع فروچاله نشان داده است که مناطق مجاور شهر دزج و مناطق مجاور روستاهای وینسار، شکوه‌آباد و گنجی پتانسیل بالایی از نظر وقوع فروچاله دارند. با توجه به موارد مذکور، دشت قروه پتانسیل بالایی از نظر تشدید مخاطره فرونشست و وقوع فروچاله دارد و بهترین راهکار کنترل آن، برنامه‌ریزی بر مبنای توانمندی‌های محیطی آن است.

واژگان کلیدی: دشت قروه، فروچاله، فرونشست، **SBAS**

* **نویسندهٔ مسئول:** **h.ganjaeian@ut.ac.ir**

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

۱ـ مقدمه

بنا به تعریف سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده، فرونشست عبارت است از فروریزش و یا نشست سطح زمین که به علت‌های متفاوتی در مقیاس بزرگ روی می‌دهد (Javadi, 2021). به‌طور معمول این اصطلاح به حرکت قائم رو به پایین سطح زمین که می‌تواند با بردار اندک افقی همراه باشد، گفته می‌شود (Amighpay et al, 2008). فرونشست در بسیاری از مواقع به‌صورت نامحسوس و تدریجی صورت می‌گیرد و از جمله مخاطراتی است که اثرات آن در بلندمدت نمایان می‌شود (Ganjaeian, 2020). یکی از مهم‌ترین اثرات فرونشست، فروچاله است که می‌تواند با خسارات جانی و مالی زیادی همراه باشد (Ortiz & Crespo, 2012). به‌طورمعمول، مناطقی که با مخاطره فرونشست مواجه هستند، در بلندمدت با مخاطره فروچاله نیز مواجه خواهند شد، بنابراین لازم است تا روند افزایشی فرونشست کنترل شود (Desir et al, 2018).

موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده است تا بخش‌های زیادی از آن در معرض مخاطره فرونشست باشد. دشت قروه در شرق استان کردستان از جمله دشت‌هایی است که به دلیل وضعیت هیدرواقلیمی و ژئومورفولوژی با بحران فرونشست مواجه شده است. دشت قروه از نظر ژئومورفولوژی دارای موانع محدودکننده کمی است و همین مسئله زمینه را برای توسعه فعالیت‌های انسانی از جمله فعالیت‌های کشاورزی در این دشت فراهم آورده است. با توجه به اینکه میانگین بارش دشت قروه حدود ۳۰۰ میلی‌متر است و این دشت با کمبود منابع آب سطحی مواجه است، بنابراین بخش زیادی از منابع آب مورد نیاز اراضی کشاورزی این دشت از طریق منابع آب زیرزمینی تامین می‌شود و همین مسئله سبب افت شدید منابع آب زیرزمینی این دشت در طی سال‌های اخیر شده است. با توجه به افت شدید منابع آب زیرزمینی و بروز مخاطره فرونشست، می‌توان انتظار داشت که با ادامه روند موجود، دشت قروه با بحران وقوع فروچاله نیز مواجه شود. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش با استفاده از تصاویر راداری به شناسایی مناطق مستعد وقوع فروچاله در این دشت پرداخته شده است.

امروزه پیشرفت‌های صورت گرفته در سنجش از دور سبب شده است تا بتوان با کم‌ترین هزینه و زمان و همچنین با بالاترین دقت، وضعیت تغییرات سطح زمین از جمله وقوع فرونشست و فروچاله را بررسی کرد (Aslan, 2019 & Zhao et al, 2019). با توجه به کاربرد زیاد روش‌های سنجش از دوری از جمله روش تداخل‌سنجی راداری، در طی سال‌های اخیر تحقیقات مختلفی با استفاده از این روش‌ها صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به Bateson و همکاران (2015) اشاره کرد که با استفاده از روش سری زمانی SBAS، میزان جابجایی عمودی منطقه والز انگلستان را ۱ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. Da Lio & Tosi (2018) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست سالانه دشت ساحلی فریولی در ایتالیا را حدود ۱۵ میلی‌متر برآورد کرده‌اند. Li و همکاران (2022) با استفاده از روش سری زمانی SBAS، میزان فرونشست سالانه در بخش‌های شمالی دشت هنان را ۱۱ میلی‌متر محاسبه کرده‌اند. Shi و همکاران (2022) با استفاده از روش سری زمانی SBAS، میزان فرونشست سالانه در فرودگان دالیان چین را ۸۰ میلی‌متر محاسبه کرده‌اند. Khan و همکاران (2023) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست سالانه حوضه پیشاور پاکستان را ۳/۲۳ سانتی‌متر برآورد کرده‌اند. Sheng و همکاران (2023) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری نشان دادند که میزان فرونشست زمین در پکن چین در دوره بعد از کرونا دارای روند کاهشی بوده است. در

* نویسندهٔ مسئول: h.ganjaeian@ut.ac.ir

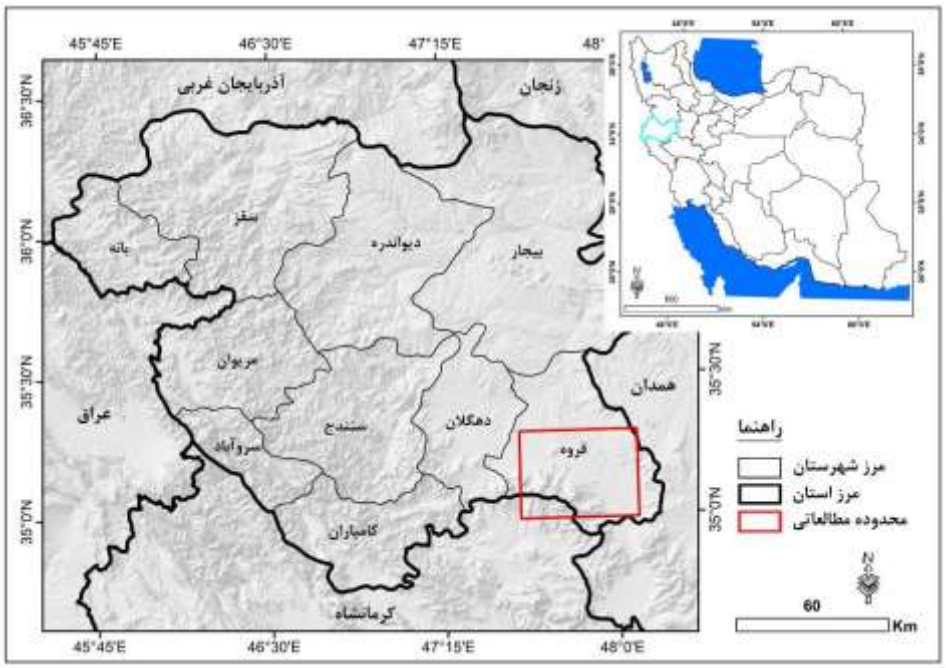
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

ایران نیز Ranjbarbarogh & Fethullah Zadeh (2022) با استفاده از روش سری زمانی SBAS، ماکزیمم فرونشست سالانه شهر کرج را ۱۴۵ میلی‌متر برآورد کرده‌اند. Hosseinzadeh و همکاران (2022) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست سالانه در دشت مرکزی شهرستان قائن را ۷/۸ سانتی‌متر برآورد کرده‌اند. Rostaei & Najafvand (2022) میزان فرونشست دشت مرند در طی سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۱۷، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ را به ترتیب ۱۳/۷، ۱۲، ۱۵/۲، ۱۲/۳ و ۱۳/۱ سانتی‌متر محاسبه کرده‌اند. Mehrabi و همکاران (2023) با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ بیان کردند که میزان فرونشست دشت جیرفت از ۱۱ سانتی‌متر در سال ۲۰۱۴ به ۱۳ سانتی‌متر در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته است. بررسی تحقیقات پیشین، بیانگر کاربردی بودن تصاویر راداری و دقت بالای روش‌های تداخل‌سنجی راداری است. در بیش‌تر تحقیقات پیشین، فقط نرخ فرونشست برآورد شده است و کم‌تر به تحلیل وقوع آن و یا راهکارهای کنترل این مخاطره پرداخته شده است. در این تحقیق بر خلاف تحقیقات پیشین، علاوه بر برآورد نرخ فرونشست و شناسایی مناطق در معرض ایجاد فروچاله، راهکارهای موثر کنترل این مخاطره نیز ارائه شده است.

۲- منطقه مورد مطالعه

دشت قروه از نظر تقسیمات سیاسی در شرق استان کردستان و در شهرستان قروه واقع شده است. شهرستان قروه از اطراف به شهرستان‌های بیجار در شمال، دهگلان در غرب، سنقر در جنوب و اسدآباد، بهار و کبودرآهنگ (استان همدان) در شرق منتهی می‌شود (شکل ۱). دشت قروه از نظر تقسیمات مورفوتکتونیکی در زیرواحد شمال غرب قرار دارد و ارتفاعات جنوبی این دشت که شامل ارتفاعات بدر و پریشان است در زون سنندج-سیرجان قرار دارند. دشت قروه در ارتفاع حدود ۱۷۵۰ متری از سطح دریا قرار دارد و بخش زیادی از آن را مناطق با شیب کم‌تر از ۱۰ درصد دربرگرفته است. همچنین از نظر اقلیمی نیز دارای میانگین دمای سالانه حدود ۱۴ درجه سانتیگراد و مجموع بارش سالانه حدود ۳۰۰ میلی‌متر است (Ganjaeian & Amani, 2019).



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

۳- مواد و روش

در این پژوهش از تصاویر راداری سنتینل ۱، تصویر ماهواره لندست ۸، اطلاعات مربوط به چاه‌های پیزومتری منطقه و مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده در تحقیق، ArcGIS (به‌منظور تهیه نقشه‌های مورد نظر و خروجی‌های نهایی)، GMT (به منظور اجرای فرایند تداخل‌سنجی راداری)، ENVI (به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه) و Expert Choice (به‌منظور وزن‌دهی به راهکارهای ارائه شده) بوده است. همچنین در این تحقیق از مدل‌های سری زمانی SBAS (به‌منظور تهیه نقشه نهایی فرونشست منطقه)، حداکثر احتمال (تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه) و AHP (به‌منظور وزن‌دهی به راهکارهای ارائه شده) استفاده شده است. با توجه به اهداف مورد نظر، این پژوهش در ۳ مرحله انجام شده است که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

مرحله اول (ارزیابی میزان فرونشست منطقه): در این مرحله با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ (به دلیل دقت بالا، در دسترس بودن و بازه زمانی تصاویر) و روش تداخل‌سنجی راداری و سری زمانی SBAS (به دلیل دقت بالا و تایید این روش در تحقیقات پیشین)، به ارزیابی میزان جابجایی عمودی در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. به‌منظور اجرای مدل سری زمانی SBAS، ابتدا ۵۵ تصویر راداری سنتینل ۱ مربوط به دوره زمانی ۴ ساله (از تاریخ ۲۰۱۸/۰۱/۲۴ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۵) تهیه شده است (جدول ۱). تصاویر تهیه شده دارای حالت مداری صعودی، نوع IW و فرمت SLC هستند. پس از تهیه تصاویر مورد نظر، با استفاده از نرم‌افزار GMTSAR، پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصاویر شامل تصحیحات مداری، حذف خطای توپوگرافی و فیلتر تصاویر انجام شده است. پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم، بر مبنای بیس‌لاین زمانی تصاویر، نقشه‌های اینترفروگرام منطقه تهیه شده است. پس از تهیه نقشه‌های اینترفروگرام، به‌منظور تهیه نقشه نهایی میزان جابجایی عمودی منطقه، از روش سری زمانی SBAS استفاده شده است.

جدول ۱: تصاویر سنتینل مورد استفاده در پژوهش

ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ
۱	۲۰۱۸/۰۱/۲۴	۱۵	۲۰۱۸/۱۲/۲۶	۲۹	۲۰۱۹/۱۱/۲۷	۴۳	۲۰۲۱/۰۱/۲۰
۲	۲۰۱۸/۰۲/۱۷	۱۶	۲۰۱۹/۰۱/۱۹	۳۰	۲۰۱۹/۱۲/۲۱	۴۴	۲۰۲۱/۰۲/۲۵
۳	۲۰۱۸/۰۳/۱۳	۱۷	۲۰۱۹/۰۲/۱۲	۳۱	۲۰۲۰/۰۱/۱۴	۴۵	۲۰۲۱/۰۳/۲۱
۴	۲۰۱۸/۰۴/۰۶	۱۸	۲۰۱۹/۰۳/۰۸	۳۲	۲۰۲۰/۰۲/۰۷	۴۶	۲۰۲۱/۰۴/۲۶
۵	۲۰۱۸/۰۴/۳۰	۱۹	۲۰۱۹/۰۴/۰۱	۳۳	۲۰۲۰/۰۳/۰۲	۴۷	۲۰۲۱/۰۵/۲۰
۶	۲۰۱۸/۰۵/۲۴	۲۰	۲۰۱۹/۰۴/۲۵	۳۴	۲۰۲۰/۰۴/۰۷	۴۸	۲۰۲۱/۰۶/۲۵
۷	۲۰۱۸/۰۶/۱۷	۲۱	۲۰۱۹/۰۵/۱۹	۳۵	۲۰۲۰/۰۵/۲۵	۴۹	۲۰۲۱/۰۷/۱۹
۸	۲۰۱۸/۰۷/۱۱	۲۲	۲۰۱۹/۰۶/۱۲	۳۶	۲۰۲۰/۰۶/۱۸	۵۰	۲۰۲۱/۰۸/۲۴
۹	۲۰۱۸/۰۸/۰۴	۲۳	۲۰۱۹/۰۷/۰۶	۳۷	۲۰۲۰/۰۷/۲۴	۵۱	۲۰۲۱/۰۹/۱۷
۱۰	۲۰۱۸/۰۸/۲۸	۲۴	۲۰۱۹/۰۷/۳۰	۳۸	۲۰۲۰/۰۸/۱۷	۵۲	۲۰۲۱/۱۰/۲۳

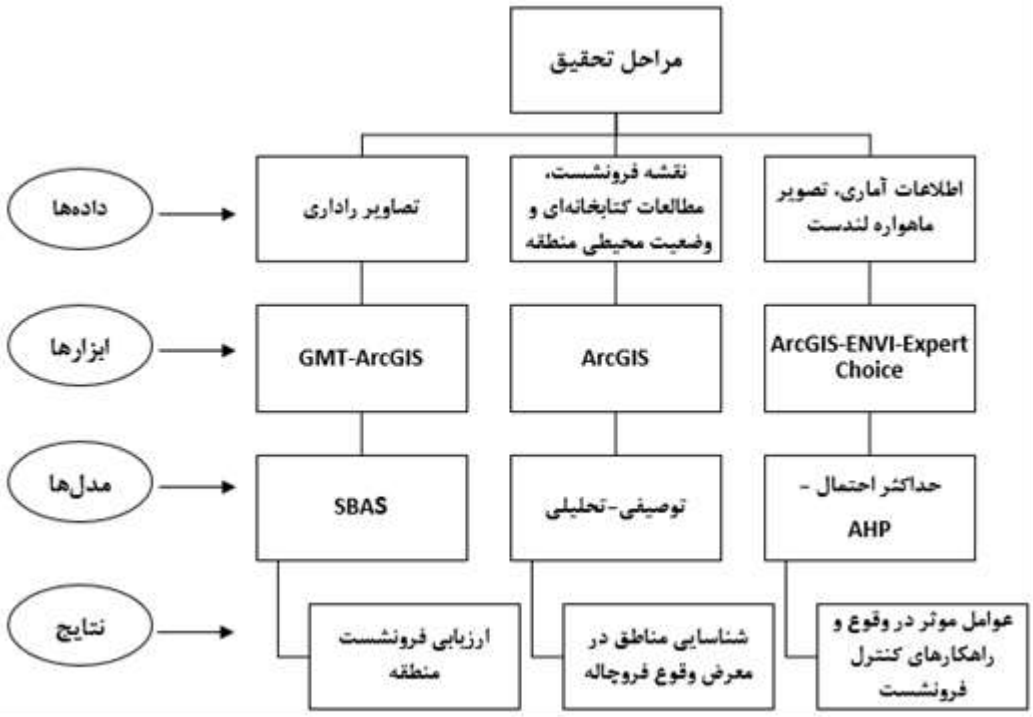
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

۱۱	۲۰۱۸/۰۹/۲۱	۲۵	۲۰۱۹/۰۸/۲۳	۳۹	۲۰۲۰/۰۹/۲۲	۵۳	۲۰۲۱/۱۱/۲۸
۱۲	۲۰۱۸/۱۰/۱۵	۲۶	۲۰۱۹/۰۹/۱۶	۴۰	۲۰۲۰/۱۰/۲۸	۵۴	۲۰۲۱/۱۲/۲۲
۱۳	۲۰۱۸/۱۱/۰۸	۲۷	۲۰۱۹/۱۰/۱۰	۴۱	۲۰۲۰/۱۱/۲۱	۵۵	۲۰۲۲/۰۱/۱۵
۱۴	۲۰۱۸/۱۲/۰۲	۲۸	۲۰۱۹/۱۱/۰۳	۴۲	۲۰۲۰/۱۲/۱۶		

مرحله دوم (شناسایی مناطق در معرض فروچاله): پس از تهیه نقشه میزان فرونشست منطقه، در این مرحله بر مبنای نقشه تهیه شده، مطالعات کتابخانه‌ای و همچنین نظرات کارشناسان، مناطق در معرض وقوع فروچاله در دشت قروه شناسایی شده است. پس از شناسایی مناطق در معرض وقوع فروچاله، به ارزیابی وضعیت پراکنش نقاط جمعیتی در معرض آن‌ها پرداخته شده است.

مرحله سوم (تحلیل عوامل موثر در فرونشست منطقه و ارائه راهکارهای موثر در کنترل آن): پس از تهیه نقشه فرونشست و شناسایی مناطق در معرض وقوع فروچاله، در این مرحله به تحلیل عوامل موثر در وقوع آن پرداخته شده است. در این مرحله وضعیت کاربری اراضی منطقه و همچنین وضعیت افت منابع آب زیرزمینی دشت قروه و ارتباط آن با فرونشست رخ داده تحلیل شده است. همچنین در این مرحله بر مبنای نتایج حاصله از پژوهش، وضعیت محیطی دشت قروه، مطالعات کتابخانه‌ای و نظرات کارشناسان، راهکارهای موثر در کنترل فرونشست و وقوع فروچاله در دشت قروه ارائه شده است و در ادامه با استفاده از مدل AHP (با توجه به اینکه هدف این بخش، انتخاب مهم‌ترین راهکارها بوده است و مدل AHP قابلیت زیادی در این زمینه دارد، از این مدل استفاده شده است)، مهم‌ترین راهکارها انتخاب شده است. در شکل ۲ چارت مراحل تحقیق نشان داده شده است.



شکل ۲: چارت مراحل تحقیق

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

۴- یافته‌ها (نتایج)

۴-۱-ارزیابی میزان فرونشست دشت قروه

در این پژوهش به‌منظور شناسایی مناطق در معرض وقوع فروچاله در دشت قروه، ابتدا نقشه میزان فرونشست منطقه تهیه شده است. به‌منظور ارزیابی میزان فرونشست منطقه، از تصاویر راداری و روش سری زمانی SBAS تهیه شده است. تصاویر راداری مورد استفاده در این پژوهش شامل تصاویر راداری ماهواره سنتینل ۱ بوده است. پس از تهیه تصاویر مورد نظر، ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم از جمله تصحیحات هندسی و توپوگرافی بر روی تصاویر انجام شده است و سپس به‌منظور ارزیابی میزان جابجایی منطقه‌با استفاده از روش سری زمانی SBAS، ابتدا بر مبنای بیس‌لاین زمانی، زوج تصاویر مورد نظر برای تشکیل اینترفروگرام انتخاب شده است (جدول ۲).

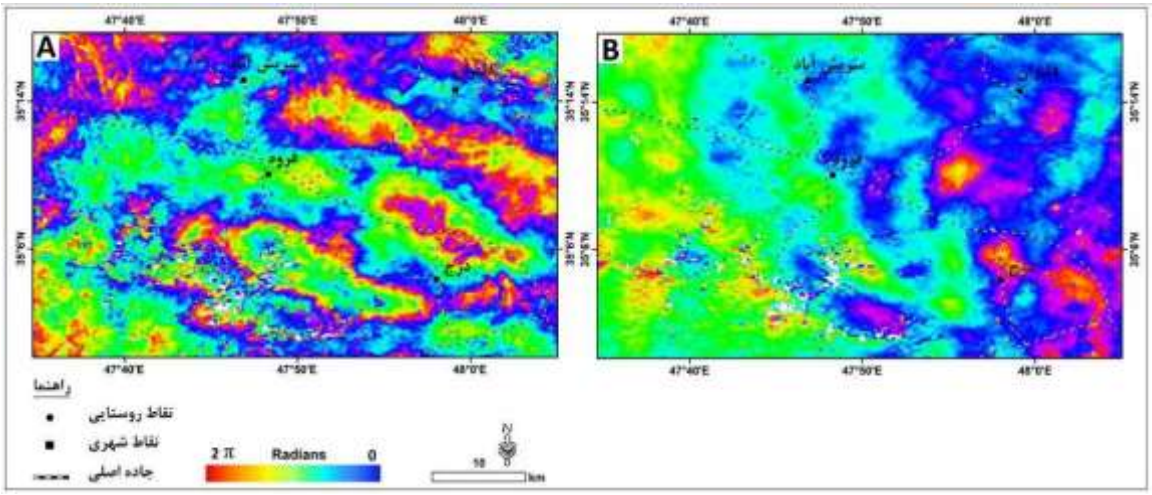
جدول ۲: زوج تصاویر انتخابی برای تشکیل اینترفروگرام‌های منطقه از تاریخ ۲۰۱۸/۰۱/۲۴ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۵

ردیف	زوج تصاویر		ردیف	زوج تصاویر		ردیف	زوج تصاویر	
۱	۲۰۱۸/۰۲/۱۷-	۲۰۱۸/۰۱/۲۴	۱۹	۲۰۱۹/۰۴/۲۵-	۲۰۱۹/۰۴/۰۱	۳۷	۲۰۲۰/۰۸/۱۷-	۲۰۲۰/۰۷/۲۴
۲	۲۰۱۸/۰۳/۱۳-	۲۰۱۸/۰۲/۱۷	۲۰	۲۰۱۹/۰۵/۱۹-	۲۰۱۹/۰۴/۲۵	۳۸	۲۰۲۰/۰۹/۲۲-	۲۰۲۰/۰۸/۱۷
۳	۲۰۱۸/۰۴/۰۶-	۲۰۱۸/۰۳/۱۳	۲۱	۲۰۱۹/۰۶/۱۲-	۲۰۱۹/۰۵/۱۹	۳۹	۲۰۲۰/۱۰/۲۸-	۲۰۲۰/۰۹/۲۲
۴	۲۰۱۸/۰۴/۳۰-	۲۰۱۸/۰۴/۰۶	۲۲	۲۰۱۹/۰۷/۰۶-	۲۰۱۹/۰۶/۱۲	۴۰	۲۰۲۰/۱۱/۲۱-	۲۰۲۰/۱۰/۲۸
۵	۲۰۱۸/۰۵/۲۴-	۲۰۱۸/۰۴/۳۰	۲۳	۲۰۱۹/۰۷/۳۰-	۲۰۱۹/۰۷/۰۶	۴۱	۲۰۲۰/۱۲/۱۶-	۲۰۲۰/۱۱/۲۱
۶	۲۰۱۸/۰۶/۱۷-	۲۰۱۸/۰۵/۲۴	۲۴	۲۰۱۹/۰۸/۲۳-	۲۰۱۹/۰۷/۳۰	۴۲	۲۰۲۱/۰۱/۲۰	۲۰۲۰/۱۲/۱۶
۷	۲۰۱۸/۰۷/۱۱-	۲۰۱۸/۰۶/۱۷	۲۵	۲۰۱۹/۰۹/۱۶-	۲۰۱۹/۰۸/۲۳	۴۳	۲۰۲۱/۰۲/۲۵-	۲۰۲۱/۰۱/۲۰
۸	۲۰۱۸/۰۸/۰۴-	۲۰۱۸/۰۷/۱۱	۲۶	۲۰۱۹/۱۰/۱۰-	۲۰۱۹/۰۹/۱۶	۴۴	۲۰۲۱/۰۳/۲۱-	۲۰۲۱/۰۲/۲۵
۹	۲۰۱۸/۰۸/۲۸-	۲۰۱۸/۰۸/۰۴	۲۷	۲۰۱۹/۱۱/۰۳-	۲۰۱۹/۱۰/۱۰	۴۵	۲۰۲۱/۰۴/۲۶-	۲۰۲۱/۰۳/۲۱
۱۰	۲۰۱۸/۰۹/۲۱-	۲۰۱۸/۰۸/۲۸	۲۸	۲۰۱۹/۱۱/۲۷-	۲۰۱۹/۱۱/۰۳	۴۶	۲۰۲۱/۰۵/۲۰-	۲۰۲۱/۰۴/۲۶
۱۱	۲۰۱۸/۱۰/۱۵-	۲۰۱۸/۰۹/۲۱	۲۹	۲۰۱۹/۱۲/۲۱-	۲۰۱۹/۱۱/۲۷	۴۷	۲۰۲۱/۰۶/۲۵-	۲۰۲۱/۰۵/۲۰
۱۲	۲۰۱۸/۱۱/۰۸-	۲۰۱۸/۱۰/۱۵	۳۰	۲۰۲۰/۰۱/۱۴-	۲۰۱۹/۱۲/۲۱	۴۸	۲۰۲۱/۰۷/۱۹-	۲۰۲۱/۰۶/۲۵
۱۳	۲۰۱۸/۱۲/۰۲-	۲۰۱۸/۱۱/۰۸	۳۱	۲۰۲۰/۰۲/۰۷-	۲۰۲۰/۰۱/۱۴	۴۹	۲۰۲۱/۰۸/۲۴-	۲۰۲۱/۰۷/۱۹
۱۴	۲۰۱۸/۱۲/۲۶-	۲۰۱۸/۱۲/۰۲	۳۲	۲۰۲۰/۰۳/۰۲-	۲۰۲۰/۰۲/۰۷	۵۰	۲۰۲۱/۰۹/۱۷-	۲۰۲۱/۰۸/۲۴
۱۵	۲۰۱۹/۰۱/۱۹-	۲۰۱۸/۱۲/۲۶	۳۳	۲۰۲۰/۰۴/۰۷-	۲۰۲۰/۰۳/۰۲	۵۱	۲۰۲۱/۱۰/۲۳-	۲۰۲۱/۰۹/۱۷
۱۶	۲۰۱۹/۰۲/۱۲-	۲۰۱۹/۰۱/۱۹	۳۴	۲۰۲۰/۰۵/۲۵-	۲۰۲۰/۰۴/۰۷	۵۲	۲۰۲۱/۱۱/۲۸-	۲۰۲۱/۱۰/۲۳
۱۷	۲۰۱۹/۰۳/۰۸-	۲۰۱۹/۰۲/۱۲	۳۵	۲۰۲۰/۰۶/۱۸-	۲۰۲۰/۰۵/۲۵	۵۳	۲۰۲۱/۱۲/۲۲-	۲۰۲۱/۱۱/۲۸
۱۸	۲۰۱۹/۰۴/۰۱-	۲۰۱۹/۰۳/۰۸	۳۶	۲۰۲۰/۰۷/۲۴-	۲۰۲۰/۰۶/۱۸	۵۴	۲۰۲۲/۰۱/۱۵-	۲۰۲۱/۱۲/۲۲

پس از انتخاب زوج تصاویر مورد نظر، از طریق نرم افزار GMT در سیستم عامل LINUX، نقشه‌های اینترفروگرام مورد نظر تهیه شده است که در شکل ۳ نمونه‌ای از آن‌ها نشان داده شده است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

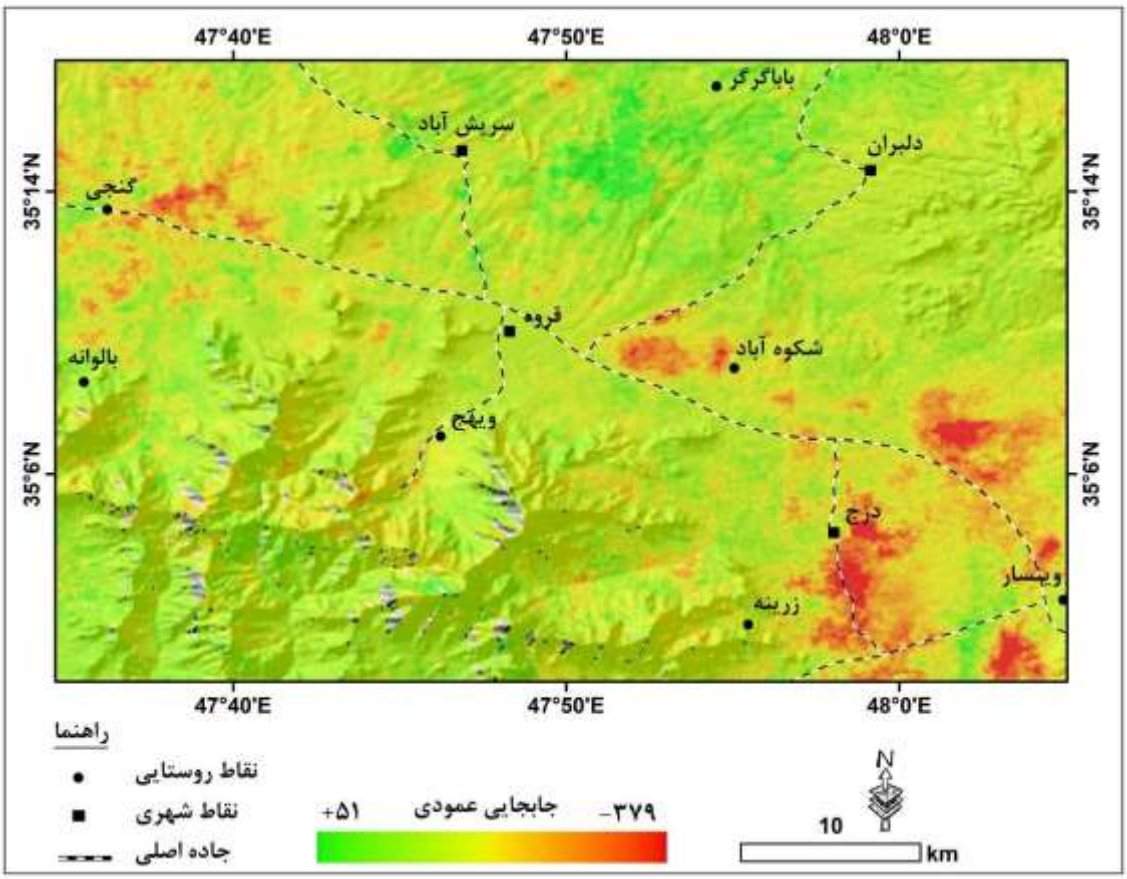


شکل ۳: نقشه‌ها اینترفروگرام A) ۲۰۱۸/۰۱/۲۰۱۸-۲۴/۰۲/۱۷ B) ۲۰۱۹/۱۱/۲۰۱۹-۰۳/۱۱/۲۷

پس از تهیه نقشه‌های اینترفروگرام، با استفاده از روش سری زمانی SBAS نقشه میزان جابجایی عمودی محدوده مطالعاتی تهیه شده است که بر اساس نتایج بدست آمده، محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی مورد مطالعه (از تاریخ ۲۰۱۸/۰۱/۲۴ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۵) دارای ۳۲۳ میلی‌متر فرونشست و ۵۱ میلی‌متر بالاآمدگی بوده است (شکل ۴). بررسی وضعیت مکانی جابجایی عمودی رخ داده بیانگر این است که محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۴ ساله با ۳۷۹ میلی‌متر فرونشست مواجه شده است. بررسی وضعیت مکانی فرونشست رخ داده نشان داده است که بیش‌ترین میزان فرونشست در مناطق مجاور شهر دزج، روستاهای شکوه‌آباد و قاسم‌آباد و همچنین مناطق مجاور روستای گنجی بوده است. همچنین بر اساس نقشه تهیه شده، ارتفاعات بدر و پریشان که در بخش جنوبی دشت قروه قرار دارند، در طی دوره زمانی مورد مطالعه با بالاآمدگی مواجه شده‌اند که می‌توان آن را به عوامل تکتونیکی نسبت داد.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

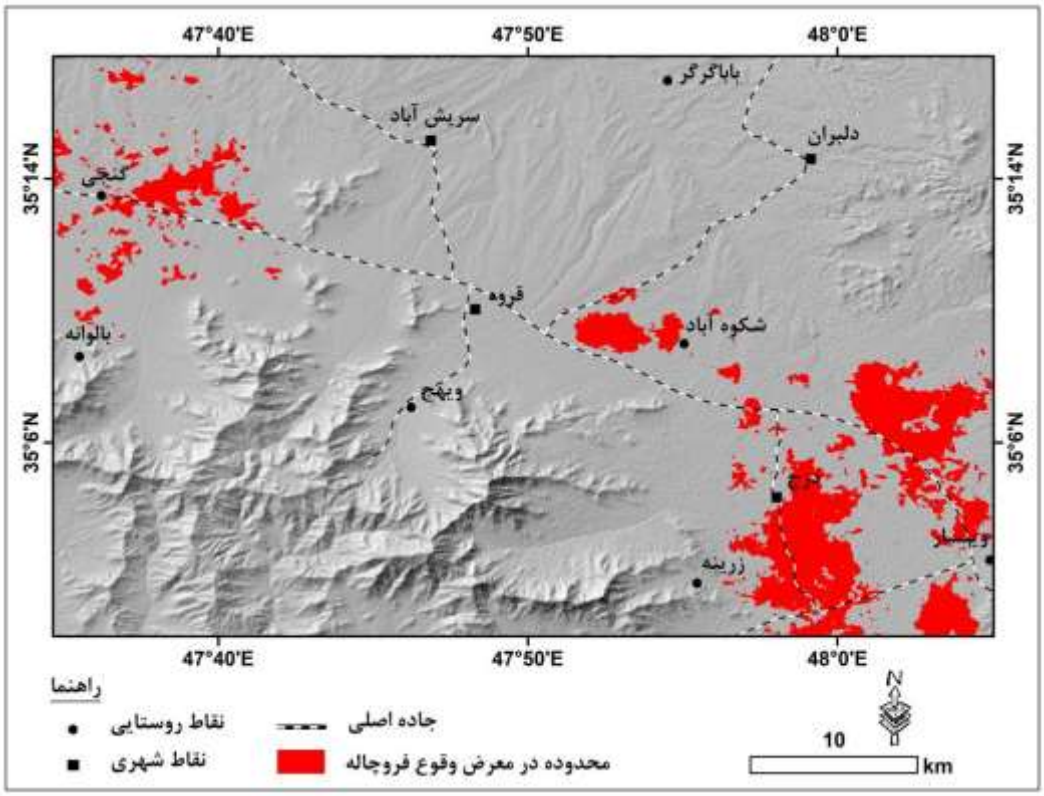


شکل ۴: نقشه میزان فرونشست محدوده مطالعاتی از تاریخ ۲۰۱۸/۰۱/۲۴ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۵

۲-۴-شناسایی مناطق در معرض وقوع فروچاله در دشت قروه

بررسی وضعیت فرونشست رخ‌داده در دشت قروه نشان داده است که این دشت در طی دوره زمانی ۴ ساله، ماکزیمم ۳۷۹ میلی‌متر فرونشست داشته است. بنابراین می‌توان گفت که دشت قروه با ماکزیمم فرونشست سالی حدود ۱۰ سانتی‌متر مواجه شده است. با توجه به اینکه یکی از اثرات مهم فرونشست، ایجاد فروچاله است، در این پژوهش مناطق در معرض این مخاطره شناسایی شده است. به‌منظور شناسایی مناطق در معرض وقوع فروچاله، مناطقی که دارای فرونشست بیش از ۲۰۰ میلی‌متر در طی دوره زمانی ۴ ساله بوده‌اند (مناطق که دارای فرونشست بیش از ۵ سانتی‌متر در سال بوده‌اند) به عنوان مناطق در معرض وقوع فروچاله شناسایی شده‌اند. لازم به ذکر است که انتخاب عدد ۲۰۰ میلی‌متر بر مبنای وضعیت فرونشست منطقه، وضعیت توپوگرافی منطقه و همچنین مطالعات کتابخانه‌ای بوده است. در شکل ۵ نقشه مناطق مستعد وقوع فروچاله در دشت قروه نشان داده است که بر اساس آن، مناطق مجاور شهر دزج، مناطق مجاور روستای وینسار، مناطق مجاور روستای شکوه‌آباد و همچنین مناطق مجاور روستای گنجی پتانسیل بالایی از نظر وقوع فروچاله دارند.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

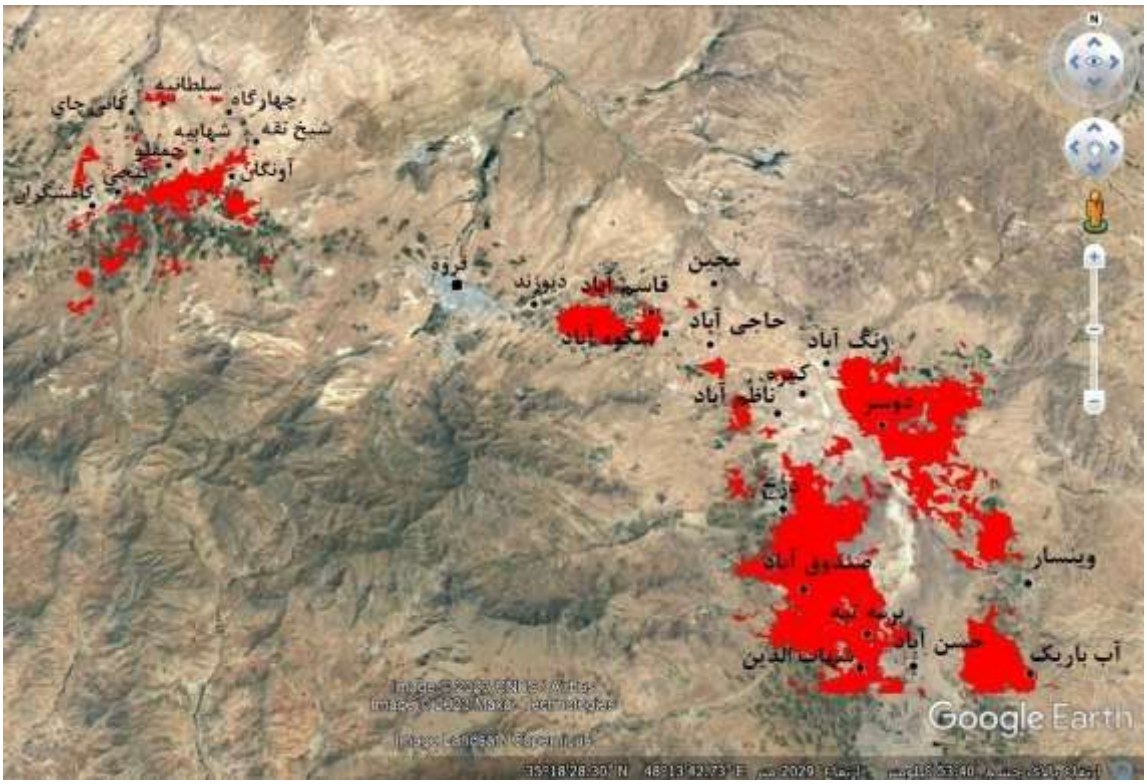


شکل ۵: نقشه مناطق مستعد وقوع فروچاله در دشت قروه

بررسی وضعیت پراکنش روستاها و نقاط شهری در معرض وقوع فروچاله در دشت قروه نشان داده است که نقاط جمعیتی زیادی در معرض این مخاطره هستند (شکل ۶). در جدول (۳) لیست روستاهای در معرض وقوع فروچاله و همچنین حداکثر و حداقل فرونشست در شعاع ۲ کیلومتری هر کدام از این روستاها نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصله، روستاهای صندوق‌آباد، دوسر، آونگان، چمقلو، شهابیه، شهاب‌الدین، برمه تپه، شکوه‌آباد و قاسم‌آباد به ترتیب دارای بالاترین پتانسیل از نظر بروز مخاطره فروچاله هستند. همچنین شهر دزج نیز در بین نقاط شهری منطقه، دارای بالاترین پتانسیل از نظر وقوع مخاطره فروچاله است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]



شکل ۶: تصویر ماهواره‌ای موقعیت نقاط جمعیتی در معرض وقوع فروچاله

جدول ۳: روستاهای در معرض مخاطره فروچاله در دشت قروه

ردیف	نقاط جمعیتی	جمعیت	حداقل فرونشست (mm)	حداکثر فرونشست (mm)
۱	وینسار	۲۳۵۰	۱۱۴	۲۴۱
۲	آب باریک	۴۸۶	۱۵۸	۳۴۵
۳	حسن آباد محمد نظر	۱۷۸	۲۸	۲۶۷
۴	شهاب‌الدین	۳۳۳	۳۸	۳۵۱
۵	برمه تپه	۲۷۲	۱۷۹	۳۴۸
۶	صندوق آباد	۶۶۰	۴۷	۳۷۹
۷	دزج	۲۲۱۴	۴۲	۳۷۱
۸	دوسر	۲۴۳	۱۶۹	۳۶۸
۹	ناظم آباد	۳۹۶	۴۸	۲۲۷
۱۰	کمره	۸۲	۴۵	۱۷۹
۱۱	حاجی آباد	۷۹	۳۶	۲۳۱
۱۲	شکوه آباد	۹۷۶	۷۷	۳۴۷
۱۳	قاسم آباد	۱۲۶	۸۳	۳۴۷
۱۴	مجین	۱۲۶	۳۷	۲۲۳
۱۵	دیوزند	۱۷۴۵	۵۲	۳۳۵

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

۱۶	آونگان	۸۹۰	۱۱۹	۳۵۹
۱۷	شیخ تقه	۱۴۰	۶۳	۲۲۹
۱۸	چهارگاه	۷۸	۴۲	۱۹۸
۱۹	کمال آباد	۱۰۰	۴۸	۳۴۵
۲۰	شهابیه	۲۰۱	۵۴	۳۵۶
۲۱	سلطانیه	۱۲	۳۹	۲۴۷
۲۲	کانی چای	۱۰۴	۴۷	۲۴۷
۲۳	چمقلو	۵۵۸	۴۴	۳۵۶
۲۴	گنجی	۵۸۸	۵۱	۳۱۹
۲۵	کامشگران	۷۶۴	۴۸	۲۶۸

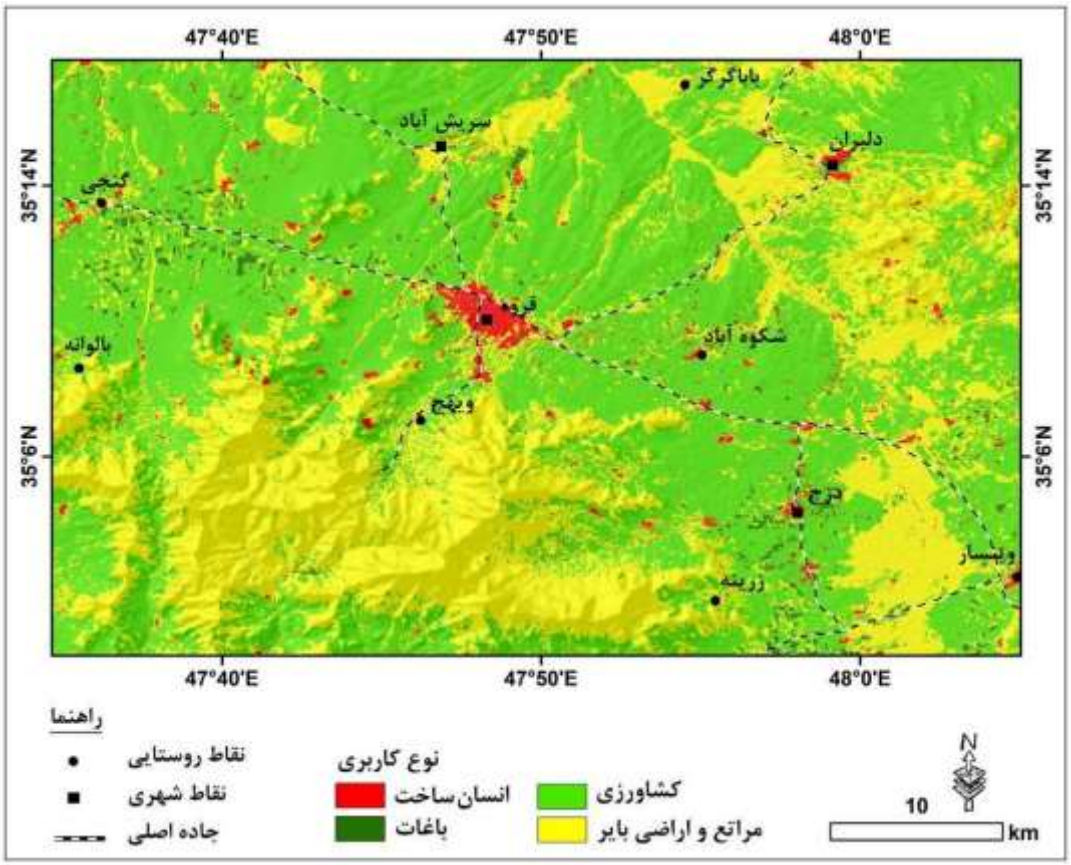
۵- بحث و نتیجه‌گیری

از جمله مخاطرات مهم ناشی از فرونشست، وقوع فروچاله است. با توجه به اینکه این مخاطره با خسارات جانی و مالی زیادی همراه است، در این بخش به تشریح عوامل موثر در وقوع این مخاطره و همچنین راهکارهای کنترل آن پرداخته شده است.

الف) تحلیل عوامل موثر در وقوع فرونشست دشت قروه: دشت قروه از نظر ژئومورفولوژی فاقد موانع محدودکننده است. در واقع، بخش زیادی از دشت قروه را مناطق با شیب کم‌تر از ۱۰ درصد در برگرفته است و همین مسئله سبب شده است تا توسعه اراضی کشاورزی در این دشت بدون هیچ محدودیتی صورت گیرد. شرایط ژئومورفولوژیکی مناسب برای توسعه اراضی کشاورزی در این دشت سبب شده است تا در طی سال‌های اخیر، بخش زیادی از این دشت به اراضی کشاورزی آبی اختصاص یابد (شکل ۷).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]



شکل ۷: نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی (استخراج شده از تصویر ماهواره لندست ۸ تاریخ ۲۰۲۲/۰۷/۰۴)

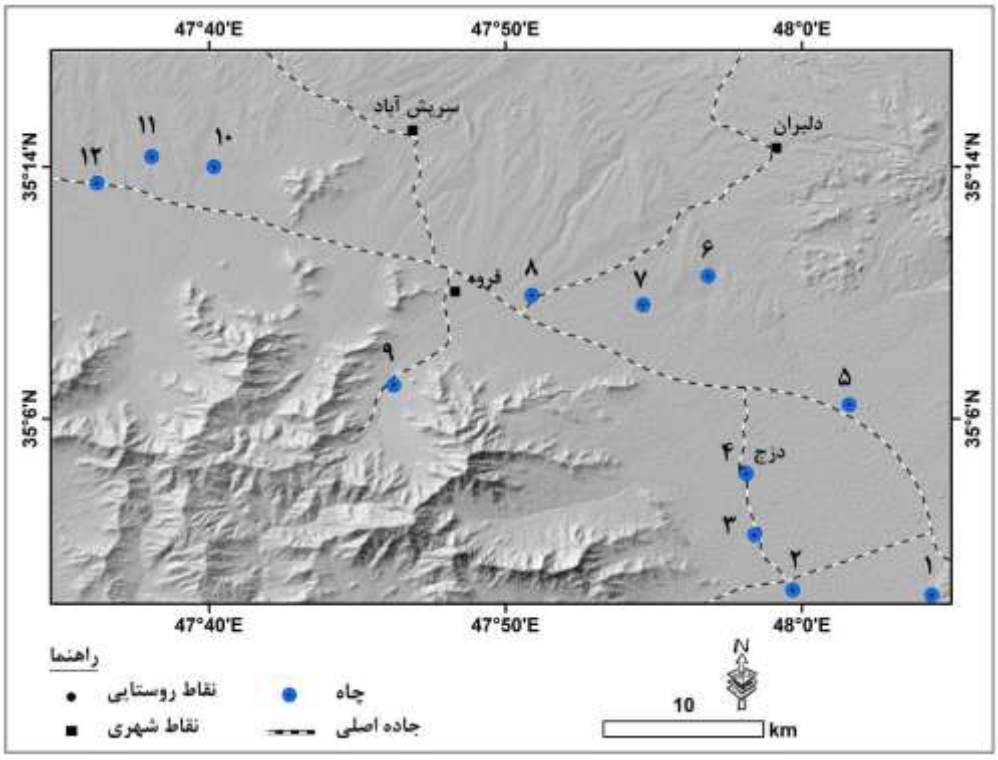
اختصاص یافتن بخش زیادی از دشت قروه به اراضی کشاورزی سبب بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی شده است و همین سبب شده تا سطح آب‌های زیرزمینی در این دشت با افت شدیدی مواجه شود. در این پژوهش به‌منظور بررسی وضعیت افت منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی، از اطلاعات ۱۲ چاه پیزومتری استفاده شده و میانگین سالانه افت آب زیرزمینی در این چاه‌ها محاسبه شده است (جدول ۴ و شکل ۸). بر اساس نتایج حاصله، بخش زیادی از چاه‌های مورد مطالعه در طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ با میانگین افت سالانه بیش از ۱ متر مواجه شده‌اند. بر اساس محاسبات صورت گرفته، چاه مطالعاتی روستای گنجی با میانگین افت سالانه ۱/۸ متر، دارای بالاترین میزان افت بوده است و بعد از آن نیز چاه‌های شهابیه و صندوق‌آباد با میانگین افت سالانه ۱/۵ متر، دارای بالاترین میزان افت بوده‌اند. بررسی وضعیت افت آب زیرزمینی در چاه‌های مورد مطالعه با نقشه فرونشست تهیه شده بیانگر این است که مناطق دارای بیش‌ترین میزان افت آب زیرزمینی، با بیش‌ترین میزان فرونشست مواجه شده‌اند. با توجه به موارد مذکور، دلیل اصلی وقوع فرونشست در دشت قروه، افت منابع آب زیرزمینی بوده است.

جدول ۴: نتایج ارزیابی میانگین افت سالانه آب زیرزمینی در چاه‌های پیزومتری منطقه مورد مطالعه (منبع: سازمان آب و منطقه‌ای استان کردستان)

موقعیت در نقشه	موقعیت چاه	میانگین افت سالانه	دوره مطالعاتی

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

۱	آب باریک	۱/۳	۱۳۹۵-۱۳۶۵
۲	شهاب‌الدین	۱/۴	۱۳۹۵-۱۳۶۵
۳	صندوق‌آباد	۱/۵	۱۳۹۵-۱۳۶۵
۴	دزج	۱/۳	۱۳۹۵-۱۳۶۵
۵	دوسر	۱/۲	۱۳۹۵-۱۳۶۵
۶	مجین	۰/۸	۱۳۹۵-۱۳۶۵
۷	قاسم‌آباد	۱/۴	۱۳۹۵-۱۳۶۵
۸	دیوزند	۱/۱	۱۳۹۵-۱۳۶۵
۹	ویهج	۰/۵	۱۳۹۵-۱۳۶۵
۱۰	آونگان	۱/۳	۱۳۹۵-۱۳۶۵
۱۱	شهابیه	۱/۵	۱۳۹۵-۱۳۶۵
۱۲	گنجی	۱/۸	۱۳۹۵-۱۳۶۵



شکل ۸: نقشه موقعیت چاه‌های مورد مطالعه

ب) راهکارهای کنترل فرونشست و پیشگیری از وقوع فروچاله در دشت قروه: در این پژوهش به‌منظور کنترل فرونشست و پیشگیری از وقوع فروچاله در دشت قروه، راهکارهای مختلفی ارائه شده است. راهکارهای ارائه شده بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش، وضعیت محیطی دشت قروه، مطالعات کتابخانه‌ای و نظرات کارشناسان بوده است که عبارتند از:

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

- **برنامه‌ریزی بر مبنای توانمندی‌های محیطی دشت قروه (A):** دشت قروه در منطقه نیمه‌خشک واقع شده است و میانگین بارش آن حدود ۳۰۰ میلی‌متر است (گنجائیان و امانی، ۱۳۹۸). با توجه به وضعیت اقلیمی منطقه، این دشت با محدودیت منابع آب سطحی و زیرزمینی مواجه است، بنابراین لازم است تا برنامه‌ریزی‌های مختلف، خصوصا برنامه‌ریزی‌های کشاورزی، متناسب با توان محیطی از جمله وضعیت اقلیمی آن صورت گیرد.
- **نصب سیستم‌های کنترل هوشمند در چاه‌ها (B):** یکی از راهکارهای موثر در کنترل مصرف بی‌رویه منابع آب زیرزمینی، نصب سیستم‌های کنترل هوشمند در چاه‌ها است که این مسئله نقش مهمی در مدیریت مصرف آب توسط کشاورزان دارد.
- **جلوگیری از کشت محصولات کم بازه (C):** با توجه به اینکه دشت قروه با محدودیت منابع آبی مواجه است، بنابراین لازم تا از منابع محدود آبی آن در جهت تولیدات مناسب استفاده کرد. به‌طور مثال، کشت بعضی از محصولات مانند هندوانه نه تنها ارزش اقتصادی برای منطقه ندارد، بلکه باعث هدر رفتن منابع آبی دشت قروه می‌شود.
- **اصلاح شیوه‌های آبیاری (D):** متاسفانه با وجود کمبود شدید منابع آبی، بسیاری از کشاورزان از روش‌های سنتی آبیاری استفاده می‌کنند که این مسئله نقش مهمی در هدر رفتن آب در دشت قروه داشته است.
- **اجرای طرح‌های آبخیزداری (E):** یکی از راهکارهای موثر در جمع آوری منابع آب سطحی و خصوصا هرزآب‌ها، اجرای طرح‌های آبخیزداری است. اجرای طرح‌های آبخیزداری از جمله بندها می‌تواند با تغذیه منابع آب زیرزمینی همراه باشند.
- **اصلاح و ارائه الگوهای بهینه مصرف آب (F):** علاوه بر هدر رفتن آب در بخش کشاورزی، متاسفانه بخش زیادی از منابع آبی نیز صرف مصارف خانگی و صنعتی می‌شود که باید بر آن نظارت و کنترل بیش‌تری صورت گیرد.

پس از ارائه راهکارهای موثر، در این بخش با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، به شناسایی مهم‌ترین راهکار کنترل فرونشست و پیشگیری از وقوع فروچاله در دشت قروه پرداخته شده است. لازم به ذکر است که به‌منظور مقایسه زوجی راهکارها از نظرات ۱۰ کارشناس ژئومورفولوژی استفاده شده است. بر اساس نتایج حاصله، برنامه‌ریزی بر مبنای توانمندی‌های محیطی دشت قروه (A) با وزن ۰/۲۸۸ به‌عنوان مهم‌ترین راهکار انتخاب شده است و بعد از آن راهکارهای اصلاح شیوه‌های آبیاری (D) و جلوگیری از کشت محصولات کم بازه (C) به ترتیب با وزن ۰/۲۱۷ و ۰/۱۷۲ به عنوان مهم‌ترین راهکارها انتخاب شده‌اند (جدول ۵).

جدول ۵: وزن نهایی راهکارها (بدست آمده از نظرات کارشناسان و مدل AHP)

راهکار	A	B	C	D	E	F
وزن	۰/۲۸۸	۰/۱۳۶	۰/۱۷۲	۰/۲۱۷	۰/۱۰۸	۰/۰۷۹

نتیجه‌گیری

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

موقعیت قرارگیری دشت قروه سبب شده است تا این دشت نیز همانند دشت‌های غربی استان همدان (Javadi, 2021)، جزء دشت‌های بحرانی غرب کشور باشد. دشت قروه با توجه به وضعیت هیدرواقلیمی که دارد با کمبود منابع آب سطحی مواجه است و همین مسئله سبب استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در این دشت شده است. استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در دشت قروه سبب شده است تا این دشت نیز همانند دشت همدان-بهار (Ganjaeian, 2019) با افت شدید منابع آب زیرزمینی مواجه باشد به‌طوری‌که میانگین سالانه افت آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط این دشت بیش از ۱ متر بوده است. افت شدید منابع آب زیرزمینی سبب شده است تا دشت قروه در طی سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ با ۳۷۹ میلی‌متر فرونشست مواجه باشد، بنابراین دشت قروه همانند بسیاری از دشت‌های کشور از جمله دشت قهاوند (Ghorbani Mohammadabadi et al, 2023) با بحران فرونشست مواجه است. با توجه به اینکه یکی از اثرات مهم فرونشست، ایجاد فروچاله است، در این پژوهش مناطق در معرض این مخاطره (مناطق که دارای فرونشست بیش از ۵ سانتی‌متر در سال بوده‌اند) شناسایی شده است. بر اساس نتایج حاصله، همانند دشت کبودرآهنگ همدان (Javadi, 2021)، مناطق مجاور شهر دزج، مناطق مجاور روستای وینسار، مناطق مجاور روستای شکوه‌آباد و همچنین مناطق مجاور روستای گنجی پتانسیل بالایی از نظر وقوع فروچاله دارند. با توجه به اینکه فروچاله با خسارات جانی و مالی زیادی همراه است، در این پژوهش به‌منظور کنترل فرونشست و پیشگیری از وقوع فروچاله در دشت قروه، راهکارهای مختلفی ارائه شده است و سپس با استفاده از مدل AHP، مهم‌ترین راهکارها انتخاب شده است. بر اساس نتایج حاصله، برنامه‌ریزی بر مبنای توانمندی‌های محیطی دشت قروه با وزن ۰/۲۸۸ به عنوان مهم‌ترین راهکار انتخاب شده است و بعد از آن راهکارهای اصلاح شیوه‌های آبیاری و جلوگیری از کشت محصولات کم بازه به ترتیب با وزن ۰/۲۱۷ و ۰/۱۷۲ به عنوان مهم‌ترین راهکارها انتخاب شده‌اند.

فهرست منابع

1. Amighpay, M., Arabi, S., & A, Talebi., 2008. Investigation of Yazd subsidence using radar interferometric method and accurate leveling. *Journal of Earth Sciences*, 20(77), 157-164. (In Persian).
2. Aslan, G., Cakir, Z., Lasserre, C., & F, Renard., 2019. Investigating Subsidence in the Bursa Plain, Turkey, Using Ascending and Descending Sentinel-1 Satellite Data. *Remote Sens*, 11(1), 1-17.
3. Bateson, L., Cigna, F., Boon, D., & A, Sowter., 2015. The application of the Intermittent SBAS (ISBAS) InSAR method to the South Wales Coalfield, UK. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 249-257.
4. Da Lio, C., & L, Tosi., 2018. Land subsidence in the Friuli Venezia Giulia coastal plain, Italy: 1992–2010 results from SAR-based interferometry. *Total Environ*, 633, 752–764.
5. Desir, G., Gutiérrez, F., Merino, J., Carbonel, D., Benito-Calvo, A., Guerrero, J., & L, Fabregat., 2018. Rapid subsidence in damaging sinkholes: Measurement by high-precision leveling and the role of salt dissolution. *Geomorphology*, 303, 393-409.
6. Ganjaeian, H., & K, Amani., 2019. Natural geography of Kurdistan province. Entekhab Publishers, 185 P. (In Persian).
7. Ganjaeian, H., 2020. Geomorphological Hazards of Urban Areas, Study Methods and Control Strategies. Entekhab Publishers, 144 P. (In Persian).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

8. Ganjaeian, H., Ghasemi, A., Ebrahimi, A., & Z, Asadpour., 2019. Evaluation of the subsidence rate of Hamadan-Bahar plain using SBAS time series method. *Journal of Geographical Studies of Arid Regions*, 9(36), 62-73. (In Persian).
9. Ghorbani Mohammadabadi, S., Nejad Hosseini, R., & H, Ganjaeian., 2023. Analysis of the effective factors in the subsidence of the Qahavand plain using radar and satellite images. *Journal of Geography and Human Relations*, 6(20), 553-542. (In Persian).
10. Hosseinzadeh, S., Akbari, I., Javanshiri, M., & Z, Mohammadpoursangani., 2022. Spatial analysis of land surface subsidence using radar interferometry (case study: central plain of Qain city). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(4), 99-126. (In Persian).
11. Javadi, S. M. R. 2021. Estimation and analysis of subsidence rate of Hamedan-Bahar plain using radar images and SBAS time series. PhD thesis, Tabriz University, *Faculty of Planning and Environmental Sciences.* (In Persian).
12. Khan, S. D., Faiz, M. I., Gadea, C. A., & A, Ahmad., 2023. Study of land subsidence by radar interferometry and hot spot analysis techniques in the Peshawar Basin, Pakista. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 26 (1), 173-184.
13. Li, Y., Zuo, X., Xiong, P., Chen, Z., Yang, F., & X, Li., 2022. Monitoring Land Subsidence in North-central Henan Plain using the SBAS-InSAR Method with Sentinel-1 Imagery Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 50, 635–655.
14. Mehrabi, A., Karimi, S., & M, Khalesi., 2023. Spatial analysis of Jiroft plain subsidence using coherence pixels technique (CPT). *Journal of Geography and Environmental Planning*, 34(1), 99-116. (In Persian).
15. Ortiz, D.G., & T.M, Crespo., 2012. Assessing the risk of subsidence of a sinkhole collapse using ground penetrating radar and electrical resistivity tomography. *Engineering Geology*, 149, 1-12.
16. Ranjbarbarogh, Z., & M, Fethullah Zadeh., 2022. Investigating land subsidence using time series of radar images and its relationship with changes in underground water level (case study: Karaj metropolis). *Journal of Quantitative Geomorphology Research*, 10(4), 155-138. (In Persian).
17. Rostaei, S., & S, Najafvand., 2022. Monitoring the subsidence phenomenon of plains based on SNAP2STAMPS automatic algorithm using radar interferometry (PSI) method (case study: Marand Plain). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(4), 42- 21. (In Persian).
18. Sheng, H., Zhou, L., Huang, C., Ma, S., Xian, L., Chen, Y., & F, Yang., 2023. Surface Subsidence Characteristics and Causes in Beijing (China) before and after COVID-19 by Sentinel-1A TS-InSAR. *Remote Sensing*, 15 (5).
19. Shi, X., Chen, C., Dat, K., Deng, J., Wen, N., Yin, Y., & X, Dong., 2022. Monitoring and Predicting the Subsidence of Dalian Jinzhou Bay International Airport, China by Integrating InSAR Observation and Terzaghi. *Remote Sensing*, 14(10).
20. Zhao, Q., Ma. G., Wang. Q., Yang. T., Liu, M., Gao, W., Falabella, F., Mastro, P., & A, Pepe., 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*, 154, 10-27.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.6]