

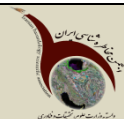


University of Tehran Press

Environmental

Hazards

Management



Iranian Hazardology Association
Online ISSN: 2383-0530

Home Page: <https://jhsci.ut.ac.ir>

"Environmental analysis of land subsidence and its hazards in Asadabad plain, Hamadan, Iran"

Morteza Akbarian¹ | Manijeh Ghahroudi Tali^{2*}

1. Department of Physical Geography, Phd Student, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: mo_akbarian@sbu.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: m-ghahroudi@sbu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received 09 May 2024
Revised 14 June 2024
Accepted 15 June 2024
Published 31 June 2024

Keywords:
Subsidence,
Environmental factors,
SBAS,
WLC,
Hazards.

ABSTRACT

Today, the phenomenon of subsidence has affected many regions of the world, including densely populated cities in arid and semi-arid regions, and has caused a lot of damage. The phenomenon of subsidence is imperceptible and gradual, and in the long term it causes a lot of damage to agricultural lands as well as urban areas. Considering the many negative effects that the subsidence phenomenon has on human activities and man-made phenomena including buildings and facilities, not paying attention to it can be associated with many human and financial losses. Based on this, it will be very important to monitor the amount of land subsidence in order to reduce the negative effects and also to control its development process, and it is necessary to regularly estimate the subsidence process of the areas. Due to the fact that the phenomenon of subsidence occurs imperceptibly and its monitoring requires high precision, therefore, new methods should be used to monitor this risk. One of the methods that has received a lot of attention in recent years is the radar interferometry method, which has high accuracy and speed in processing information and monitoring changes in the earth's surface. Accordingly, in this research, this method is used. It will be used to evaluate the subsidence of Asadabad Plain. According to the mentioned cases, in this research, using radar images and radar interferometry method, the state of subsidence and its trend in Asadabad Plain and the analysis of the geomorphological factors affecting its occurrence have been evaluated.

Cite this article: Akbarian, M. & Ghahroudi Tali, M. (2024). "Environmental analysis of land subsidence and its hazards in Asadabad plain, Hamadan, Iran". *Environmental Hazards Management*, 11 (1), 57-72. DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2024.377484.827>



© Morteza Akbarian, Manijeh Ghahroudi Tali. **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2024.377484.827>

1. Introduction

Today, the phenomenon of subsidence has affected many regions of the world, including densely populated cities in arid and semi-arid regions, and has caused a lot of damage. The phenomenon of subsidence is imperceptible and gradual, and in the long term it causes a lot of damage to agricultural lands as well as urban areas. Considering the many negative effects that the subsidence phenomenon has on human activities and man-made phenomena including buildings and facilities, not paying attention to it can be associated with many human and financial losses. Based on this, it will be very important to monitor the amount of land subsidence in order to reduce the negative effects and also to control its development process, and it is necessary to regularly estimate the subsidence process of the areas. Due to the fact that the phenomenon of subsidence occurs imperceptibly and its monitoring requires high precision, therefore, new methods should be used to monitor this risk. One of the methods that has received a lot of attention in recent years is the radar interferometry method, which

has high accuracy and speed in processing information and monitoring changes in the earth's surface. Accordingly, in this research, this method is used. It will be used to evaluate the subsidence of Asadabad Plain. According to the mentioned cases, in this research, using radar images and radar interferometry method, the state of subsidence and its trend in Asadabad Plain and the analysis of the geomorphological factors affecting its occurrence have been evaluated.

2. Materials and methods

In this research, Sentinel 1 radar images, statistical information related to piezometric wells in the region and digital layers of information have been used as the most important research data. The most important tools used in the research include ArcGIS (in order to prepare the desired maps), GMT (in order to implement the radar interferometry process and SBAS time series model), Super Decisions (in order to weight the layers of information) and IDRISI (implementation of the WLC model). According to the desired goals, this research has been done in two general stages. In the first stage, by using 97 Sentinel 1 images for a period of 7 years (January 2015 to January 2022) and using the SBAS time series method, the subsidence rate of Asadabad plain has been calculated. In the second stage, in order to evaluate the influence of natural factors on the subsidence of the Asadabad plain, to zone the areas prone to subsidence in this plain using 7 parameters of height, slope, geomorphological units, distance from the river, decline in underground water resources, lithology and land use. lands as well as the WLC-ANP integrated model have been discussed.

3. Discussion and results

According to the results obtained from the radar images, the Asadabad plain has subsided between 132 and 704 mm in this period of time, and according to the 7-year period, it can be said that the maximum annual subsidence of the Asadabad plain is about 10 cm. It corresponds to the central areas of this plain, including the areas adjacent to the village of Jant Abad, the southern areas of the city of Asad Abad, as well as the areas between the villages of Saif Abad and Dehnosh. The sum of the evaluations carried out in this section has shown that the spatial trend of Asadabad plain subsidence during the studied time period had little variability and the mentioned areas had the highest subsidence rate during the studied time periods. Therefore, it can be said that these areas have a high vulnerability potential in terms of subsidence risk. Also, the results of the zoning of areas prone to subsidence using the integrated WLC-ANP model have shown that a large part of the central areas of the Asadabad plain and the south of Asadabad city are prone to subsidence.

4. Conclusion

The geographical location of Asadabad plain has caused this plain to have a high subsidence potential. The results of this research have also confirmed this fact, so that according to the results, the Asadabad plain has subsided between 132 and 704 mm in a period of 5 years (2015 to 2022). Also, in this research, the role of environmental factors in the occurrence of subsidence has been analyzed. For this purpose, first, by using environmental parameters, areas prone to subsidence have been identified in the Asadabad plain, and then the results have been compared with the results obtained from radar images. has been the results of zoning have shown that the southern areas of Asadabad city and the central parts of Asadabad plain have a high potential in terms of subsidence. The comparison of the results obtained from this part shows its conformity with the results obtained from the radar images. In fact, the results obtained from the radar images have also shown that the highest rate of subsidence was related to the southern areas of Asadabad city and the central parts of Asadabad plain. According to the mentioned cases, by using natural parameters, it is possible to identify areas at risk of subsidence to a large extent, because subsidence is directly and indirectly affected by natural factors, including the geomorphology.



تحلیل محیطی فرونشست زمین در دشت اسدآباد همدان و مخاطرات آن

مرتضی اکبریان^۱ | منیژه قهرودی تالی^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران. رایانامه: Mo_akbarian@sbu.ac.ir
 ۲. نویسنده مسئول، استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران. رایانامه: m-ghahroudi@sbu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

فرونشست به حرکت قائم و رو به پایین زمین گفته می‌شود که در طی سال‌های اخیر بسیاری از دشت‌های کشور را تهدید کرده است. دشت اسدآباد در استان همدان با توجه به وضعیت هیدرواقليمی و ژئومورفولوژی آن در معرض این مخاطره قرار دارد. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به ارزیابی میزان فرونشست دشت اسدآباد و تحلیل عوامل مؤثر در آن پرداخته شده است. در این تحقیق از ۹۷ تصویر راداری سنتینل ۱، مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر و لایه‌های رقومی اطلاعاتی به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شد. مهم‌ترین ابزارهای استفاده شده در تحقیق شامل ArcGIS (به‌منظور تهیه نقشه‌های مدنظر)، GMT (به‌منظور اجرای فرایند تداخل‌سنجی راداری و مدل سری زمانی SBAS)، Super Decisions (به‌منظور وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعات) و IDRISI (اجرای مدل WLC) بود. در این تحقیق برخلاف بسیاری از تحقیقات پیشین، ابتدا با استفاده از تصاویر راداری، میزان فرونشست منطقه برآورد شد و سپس با استفاده از مدل تلفیقی ANP-WLC و پارامترهای محیطی، نقشه مناطق مستعد فرونشست تهیه شد. سپس نتایج با نتایج به‌دست‌آمده از تصاویر راداری مقایسه شد. نتایج حاصل از تصاویر راداری نشان داد که دشت اسدآباد در دوره زمانی هفت‌ساله (۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲) بین ۱۳۲ تا ۷۰۴ میلی‌متر فرونشست داشته و بیشترین فرونشست مربوط به مناطق مرکزی این دشت و مناطق جنوبی شهر اسدآباد بوده است. همچنین نتایج حاصل از پهنه‌بندی نیز نشان داد که مناطق جنوبی شهر اسدآباد و بخش‌های مرکزی دشت اسدآباد پتانسیل زیادی از نظر وقوع فرونشست دارند. مقایسه نتایج این بخش بیانگر انطباق آن بر نتایج حاصل از تصاویر راداری است. با توجه به موارد مذکور، با استفاده از پارامترهای طبیعی نیز می‌توان تا حد زیادی مناطق در معرض مخاطره فرونشست را شناسایی کرد، چراکه فرونشست به‌طور مستقیم و غیرمستقیم متأثر از عوامل طبیعی از جمله وضعیت ژئومورفولوژی و هیدرولوژی منطقه است.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۳۱

کلیدواژه:

عوامل محیطی،

فرونشست،

مخاطرات،

SBAS

.WLC

استناد: اکبریان، مرتضی و قهرودی تالی، منیژه (۱۴۰۳). تحلیل محیطی فرونشست زمین در دشت اسدآباد همدان و مخاطرات آن. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۱ (۱)، ۵۷-۷۳.
 DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2024.377484.827>

© مرتضی اکبریان، منیژه قهرودی تالی ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2024.377484.827>

۱. مقدمه

مخاطرات طبیعی از چالش‌های مهم در بسیاری از مناطق محسوب می‌شود و با توجه به روند افزایشی جمعیت و دخالت نابخشی انسان در طبیعت، خسارات ناشی از آن‌ها دارای روند افزایشی است [۱۱]. فرونشست زمین از جمله مخاطرات طبیعی است که در طی سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱۸]. امروزه پدیده فرونشست بسیاری از مناطق جهان از جمله شهرهای پرجمعیت مناطق خشک و نیمه‌خشک را درگیر کرده و سبب خسارات زیادی شده است [۸، ۲۱]. بر اساس گزارش ارائه شده در سال ۲۰۱۰، مخاطره فرونشست در بیش از ۱۵۰ شهر مهم جهان گزارش شده است که دلیل اصلی فرونشست در این شهرها، فعالیت‌های انسانی و بهره‌برداری نامناسب انسان از محیط بوده است [۱۶، ۱۹]. موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده که بخش بزرگی از آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک در برگیرد و با توجه به کمبود بارش ایران نسبت به میانگین جهانی و همچنین کمبود منابع آب سطحی و در نهایت استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، بسیاری از شهرهای ایران نیز در معرض مخاطره فرونشست قرار دارند [۱۸]. مخاطره فرونشست در ایران دارای سابقه طولانی است. در دوره‌های گذشته این مخاطره مخصوص مناطق خشک مانند یزد و کرمان بود، ولی متأسفانه امروزی بسیاری از استان‌های کشور از جمله تهران، خراسان، فارس، هرمزگان، خوزستان، همدان و ... را با چالش جدی مواجه کرده است [۹، ۵] و همین مسئله سبب شده که این مخاطره، مهم‌ترین مخاطره دشت‌های کشور از جمله دشت‌های استان همدان محسوب شود.

پدیده فرونشست، نامحسوس و تدریجی است و در بلندمدت سبب وارد آوردن خسارات زیادی به اراضی کشاورزی و همچنین مناطق شهری می‌شود. با توجه به آثار منفی زیاد پدیده فرونشست بر فعالیت‌های انسانی و پدیده‌های انسان‌ساخت از جمله ساختمان‌ها و تأسیسات، بی‌توجهی به آن می‌تواند با خسارات جانی و مالی زیادی همراه باشد. بر این اساس، نظارت بر میزان فرونشست زمین به‌منظور کاهش اثرهای منفی و همچنین کنترل روند توسعه آن، بسیار حائز اهمیت خواهد بود و باید به‌طور مرتب روند فرونشست مناطق برآورد شود [۱۰، ۲۳]. با توجه به اینکه پدیده فرونشست به‌صورت نامحسوس رخ می‌دهد و پایش آن نیازمند دقت زیادی است، باید از روش‌های نوین برای نظارت بر این مخاطره استفاده شود. یکی از روش‌هایی که در طی سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است، روش تداخل سنجی راداری است که دقت و سرعت زیادی در پردازش اطلاعات و پایش تغییرات سطح زمین دارد [۱۲]. بر این اساس، در این پژوهش از این روش برای ارزیابی وضعیت فرونشست دشت اسدآباد استفاده شد. با توجه به موارد مذکور، در این پژوهش با استفاده از تصاویر راداری و روش تداخل سنجی راداری، به ارزیابی وضعیت فرونشست و روند آن در دشت اسدآباد و تحلیل عوامل ژئومورفولوژیکی مؤثر در وقوع آن پرداخته شده است.

در باره موضوع پژوهش تحقیقات مختلفی صورت گرفته که از جمله می‌توان به پژوهش معتق و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد که با استفاده از تصاویر راداری Envisat مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ و تکنیک تداخل سنجی راداری، به ارزیابی وضعیت فرونشست زمین در دره شهر مشهد پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که حداکثر فرونشست سالانه زمین در این منطقه بین ۲۸ تا ۳۰ سانتی‌متر بوده است [۲۰]. سینیا و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از روش سری زمانی SBAS به ارزیابی میزان جابه‌جایی عمودی زمین در منطقه پیمانادلی^۱ کشور ایتالیا پرداختند و نتیجه گرفتند که حداکثر فرونشست رخ داده در منطقه در حدود ۵/۵ تا ۶/۴ میلی‌متر در سال بوده است [۱۷]. چاترجی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش تداخل سنجی راداری به شناسایی و پایش مخاطره فرونشست در منطقه جارخند^۲ هند پرداختند و دریافتند که بین نتایج به‌دست‌آمده از روش تداخل سنجی راداری و داده‌های GPS، تطابق زیادی وجود دارد [۱۴]. باتسون و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و سری زمانی SBAS به ارزیابی جابه‌جایی عمودی زمین در منطقه ولز^۳ انگلستان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که محدوده مطالعاتی دارای بالاترین میزان جابه‌جایی عمودی زمین در منطقه جیلین^۴ چین پرداختند. و دریافتند که بیشترین فرونشست رخ داده در منطقه در

1. Piana degli
2. Jharkhand
3. Wales
4. Jilin

حدود ۱۰۹ میلی‌متر در طول دوره پژوهش بوده است [۱۵]. وانگ و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از روش سری زمانی SBAS به پایش و پیش‌بینی میزان فرونشست در منطقه دچانگ^۱ چین پرداختند و دریافته‌اند که حداکثر فرونشست منطقه حدود ۴۱ میلی‌متر و دلیل اصلی آن افت سطح آب‌های زیرزمینی بوده است [۲۲]. در ایران نیز دهقانی (۱۳۹۳) با استفاده از دوازده تصویر ENVISAT ASAR به ارزیابی میزان فرونشست دشت مشهد پرداخت. نتایج تحقیق او نشان داد که بیشترین فرونشست محدوده مطالعاتی حدود ۲۳ سانتی‌متر در سال است. [۶]. صدیقی و گودرزی (۱۳۹۵) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری و روش سری زمانی SBAS به ارزیابی و تحلیل فرونشست زمین در منطقه نظرآباد هشتگرد پرداختند و دریافته‌اند که محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ حدود ۹۰۰ میلی‌متر فرونشست داشته است [۷]. گنجائیان و همکاران (۱۳۹۸) در ارزیابی فرونشست دشت همدان- بهار دریافته‌اند که حداکثر فرونشست این دشت از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۱۱ تا ۲۰۱۷/۱۲/۱۹ حدود ۱۳۳ میلی‌متر بوده است. [۱۱]. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۹) به ارزیابی فرونشست محدوده شهری پاکدشت در استان تهران پرداختند و نتیجه گرفتند که محدوده شهری پاکدشت از تاریخ ۲۰۱۹/۰۱/۰۸ تا ۲۰۱۹/۰۱/۱۵ بین ۱۵ تا ۸۵ میلی‌متر فرونشست داشته است [۱]. اطهری و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی رابطه بین میزان تغییرات سطح زمین در اثر فرونشست و آب زیرزمینی پرداختند. نتایج تحقیق آنان بیانگر تأثیر مستقیم افت آب زیرزمینی در فرونشست رخ داده بود [۲]. آقایاری و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی فرونشست دشت اردبیل و عوامل مؤثر در وقوع آن پرداختند و دریافته‌اند که دشت اردبیل در طی یک دوره زمانی پنج‌ساله حدود ۲۲ سانتی‌متر فرونشست داشته است [۴]. با بررسی تحقیقات پیشین درمی‌یابیم که در بسیاری از آنها فقط نرخ فرونشست منطقه محاسبه شده و کمتر به تحلیل نقش عوامل محیطی در وقوع فرونشست پرداخته شده است؛ اما در این پژوهش دو هدف کلی در نظر گرفته شد: ۱. ارزیابی فرونشست منطقه با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ و روش سری زمانی SBAS؛ ۲. پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع فرونشست و تحلیل ارتباط آن با نتایج به‌دست‌آمده از تصاویر راداری.

منطقه پژوهش

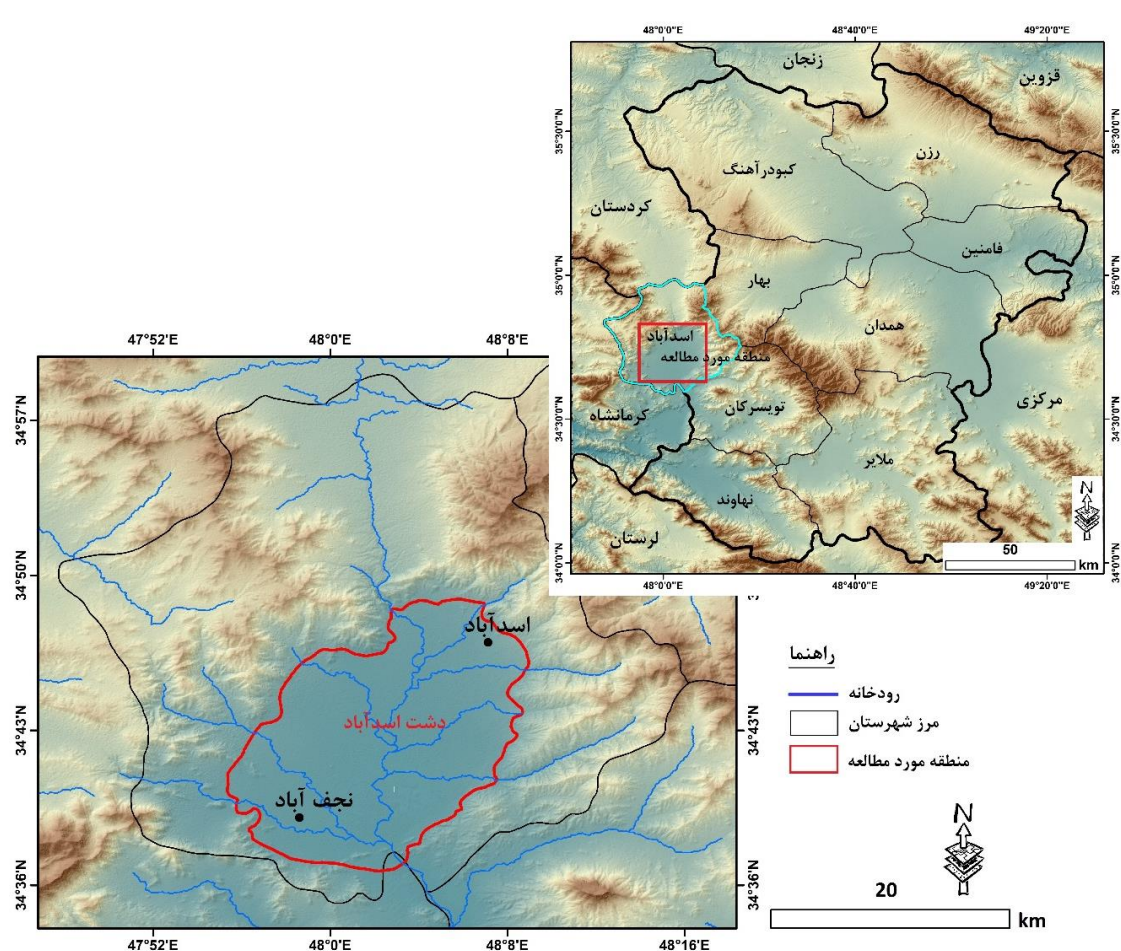
محدوده تحقیق از نظر تقسیمات سیاسی در غرب ایران، غرب استان همدان و در شهرستان اسدآباد قرار دارد (شکل ۱). شهر اسدآباد از جمله نقاط سکونتگاهی مهم در این دشت محسوب می‌شود. دشت اسدآباد یکی از دشت‌های بحرانی استان همدان است که در طی سال‌های اخیر به دلیل افزایش جمعیت و توسعه اراضی کشاورزی، با بحران افت آب‌های زیرزمینی مواجه شده است. این دشت از نظر تقسیمات مورفوتکتونیک در واحد سندج- سیرجان قرار دارد [۳] و به دلیل نداشتن اختلاف ارتفاعی زیاد، دارای شیب کمی است و از نظر آب‌وهوایی نیز با توجه به موقعیت جغرافیایی دارای زمستان‌های سرد و خشک و تابستان‌های گرم است.

۲. روش تحقیق

در این پژوهش از تصاویر راداری سنتینل ۱، اطلاعات آماری مربوط به چاه‌های پیرومتری منطقه و لایه‌های رقومی اطلاعاتی به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای به‌کاررفته در تحقیق شامل ArcGIS (به‌منظور تهیه نقشه‌های مدنظر)، GMT (به‌منظور اجرای فرایند تداخل‌سنجی راداری و مدل سری زمانی SBAS)، Super Decisions (به‌منظور اجرای مدل ANP و وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی) و IDRISI (اجرای مدل WLC) بوده است. با توجه به اهداف مدنظر، این تحقیق در دو مرحله کلی انجام گرفت که در ادامه به تشریح آنها پرداخته شده است:

مرحله اول (ارزیابی میزان فرونشست منطقه): در این مرحله با استفاده از ۹۷ تصویر سنتینل ۱ مربوط به دوره زمانی هفت‌ساله (ژانویه ۲۰۱۵ تا ژانویه ۲۰۲۲) و به‌کمک روش سری زمانی SBAS، میزان فرونشست دشت اسدآباد محاسبه شد. در این مرحله تصاویر مدنظر که دارای فواصل ۲۴ روزی هستند تهیه شد. تصاویر تهیه‌شده دارای حالت مداری صعودی، نوع IW و

فرمت SLC هستند. پس از تهیه تصاویر، به منظور پردازش تصاویر از سیستم عامل لینوکس^۱ و نرم افزار GMT استفاده شد. در این نرم افزار فرایند تهیه نقشه میزان فرونشست منطقه در سه مرحله انجام گرفت. در مرحله اول پیش پردازش های لازم روی تصاویر انجام پذیرفت و جدول بیس لاین زمانی و مکانی تصاویر تهیه شد. در مرحله دوم با توجه به بیس لاین زمانی تصاویر، جفت تصاویر مدنظر برای تهیه اینترفروگرام انتخاب شد. در این مرحله تصاویری که از نظر زمانی به هم نزدیک هستند به عنوان جفت تصاویر مدنظر برای تشکیل اینترفروگرام انتخاب شدند. در این مرحله همچنین با استفاده از کدهای مربوط، خطاها و نویزهای موجود روی تصاویر از جمله خطای توپوگرافی و اتمسفری رفع شد و در پایان، نقشه های اینترفروگرام و اینترفروگرام فیلتر شده و جابه جایی عمودی جفت تصاویر تهیه شد. در مرحله سوم نیز با استفاده از روش سری زمانی SBAS، نقشه میزان فرونشست منطقه در طی دوره زمانی تحت بررسی تهیه شد.



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه پژوهش

مرحله دوم (شناسایی مناطق مستعد وقوع فرونشست با استفاده از پارامترهای محیطی): به منظور ارزیابی تأثیرگذاری عوامل طبیعی بر فرونشست دشت اسدآباد، به پهنه بندی مناطق مستعد وقوع فرونشست در این دشت با استفاده از هفت پارامتر ارتفاع، شیب، واحدهای ژئومورفولوژی، فاصله از رودخانه، افت منابع آب زیرزمینی، لیتولوژی و کاربری اراضی و همچنین مدل تلفیقی WLC-ANP پرداخته شد. در این مرحله ابتدا لایه های اطلاعاتی تهیه شد و پس از فازی سازی آنها با استفاده از مدل ANP به آنها وزن داده شد. پس از وزن دهی به لایه های اطلاعاتی و اعمال وزن ها روی لایه های اطلاعاتی، لایه ها با استفاده از مدل WLC ترکیب شدند و در نهایت نقشه مناطق مستعد فرونشست در دشت اسدآباد تهیه شد. پس از

شناسایی مناطق مستعد فرونشست در دشت اسدآباد، ارتباط نقشه تهیه شده با نقشه به دست آمده از طریق تصاویر راداری بررسی و تحلیل شد.

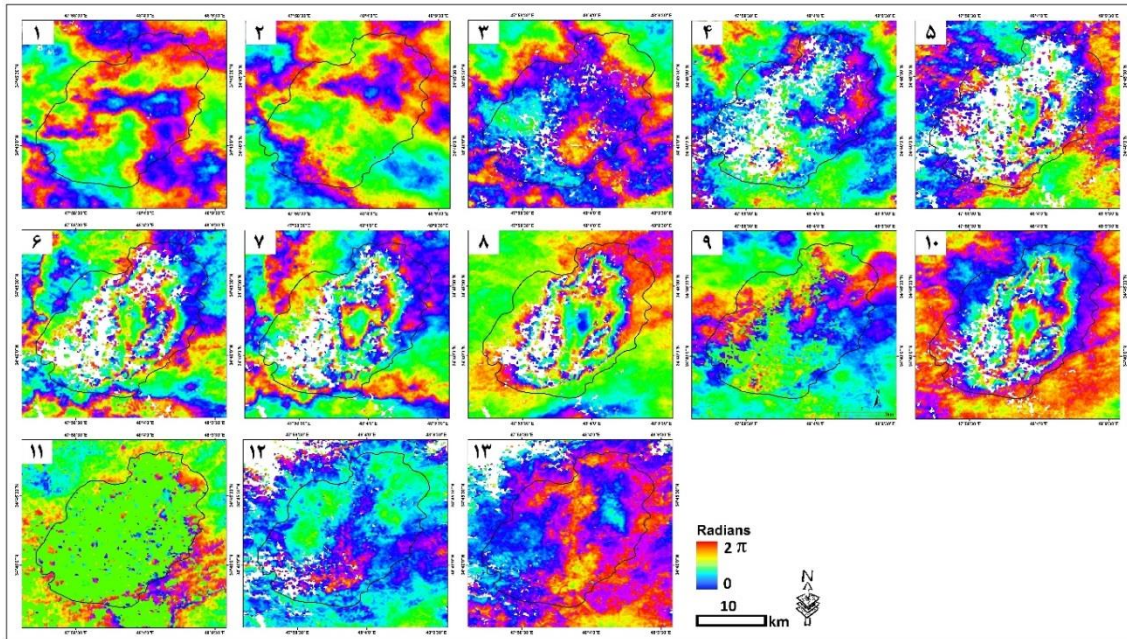
۳. بحث و نتایج

۳.۱. ارزیابی میزان فرونشست منطقه

به منظور ارزیابی فرونشست منطقه از تاریخ ۲۰۱۵/۰۱/۱۶ تا ۲۰۲۲/۰۱/۲۲ از ۹۷ تصویر راداری استفاده و براساس بیس لاین زمانی، ۹۶ زوج تصویر به منظور تهیه نقشه های اینترفروگرام انتخاب شد (جدول ۱). پس از انتخاب زوج تصاویر، اینترفروگرام های مدنظر در این دامنه زمانی تهیه شد (شکل ۲).

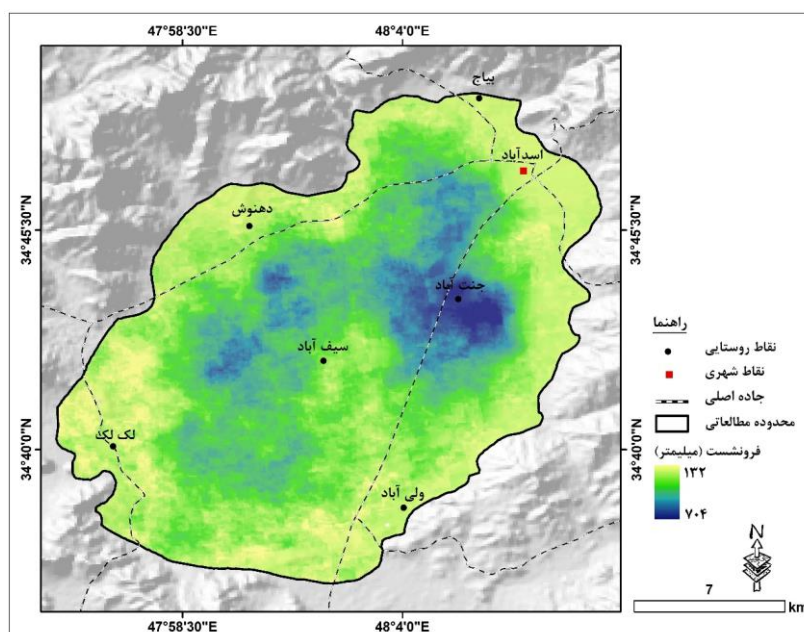
جدول ۱. زوج تصاویر انتخابی برای تشکیل اینترفروگرام های منطقه از تاریخ ۲۰۱۵/۰۱/۱۶ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۵

ردیف	زوج تصاویر	ردیف	زوج تصاویر	ردیف	زوج تصاویر	ردیف	زوج تصاویر
۱	۲۰۱۵/۰۲/۰۹	۳۳	۲۰۱۷/۰۵/۲۹	۶۵	۲۰۱۹/۰۷/۳۰	۹۷	۲۰۲۱/۱۲/۲۲
۲	۲۰۱۵/۰۳/۰۵	۳۴	۲۰۱۷/۰۶/۲۲	۶۶	۲۰۱۹/۰۸/۲۳	۹۸	۲۰۲۱/۰۱/۲۳
۳	۲۰۱۵/۰۳/۲۹	۳۵	۲۰۱۷/۰۸/۰۹	۶۷	۲۰۱۹/۰۹/۱۶	۹۹	۲۰۲۱/۰۴/۲۶
۴	۲۰۱۵/۰۴/۲۲	۳۶	۲۰۱۷/۰۹/۰۲	۶۸	۲۰۱۹/۱۰/۱۰	۱۰۰	۲۰۲۱/۰۷/۱۹
۵	۲۰۱۵/۰۵/۱۶	۳۷	۲۰۱۷/۰۹/۲۶	۶۹	۲۰۱۹/۱۱/۰۳	۱۰۱	۲۰۲۱/۰۹/۲۲
۶	۲۰۱۵/۰۶/۰۹	۳۸	۲۰۱۷/۱۰/۲۰	۷۰	۲۰۱۹/۱۱/۲۷	۱۰۲	۲۰۲۱/۱۰/۲۸
۷	۲۰۱۵/۰۷/۰۳	۳۹	۲۰۱۷/۱۱/۱۳	۷۱	۲۰۱۹/۱۲/۲۱	۱۰۳	۲۰۲۱/۱۱/۲۱
۸	۲۰۱۵/۰۷/۲۷	۴۰	۲۰۱۷/۱۲/۰۷	۷۲	۲۰۲۰/۰۱/۱۴	۱۰۴	۲۰۲۱/۱۲/۱۶
۹	۲۰۱۵/۰۸/۲۰	۴۱	۲۰۱۷/۱۲/۳۱	۷۳	۲۰۲۰/۰۲/۰۷	۱۰۵	۲۰۲۱/۰۱/۲۰
۱۰	۲۰۱۵/۰۹/۱۳	۴۲	۲۰۱۸/۰۱/۲۴	۷۴	۲۰۲۰/۰۳/۰۲	۱۰۶	۲۰۲۱/۰۴/۲۵
۱۱	۲۰۱۵/۱۱/۲۴	۴۳	۲۰۱۸/۰۲/۱۷	۷۵	۲۰۲۰/۰۴/۰۷	۱۰۷	۲۰۲۱/۰۶/۱۸
۱۲	۲۰۱۵/۱۲/۱۸	۴۴	۲۰۱۸/۰۳/۱۳	۷۶	۲۰۲۰/۰۵/۲۵	۱۰۸	۲۰۲۱/۰۷/۲۴
۱۳	۲۰۱۶/۰۱/۱۱	۴۵	۲۰۱۸/۰۴/۰۶	۷۷	۲۰۲۰/۰۶/۱۸	۱۰۹	۲۰۲۱/۰۸/۱۷
۱۴	۲۰۱۶/۰۲/۰۴	۴۶	۲۰۱۸/۰۴/۳۰	۷۸	۲۰۲۰/۰۷/۲۴	۱۱۰	۲۰۲۱/۰۹/۲۲
۱۵	۲۰۱۶/۰۲/۲۸	۴۷	۲۰۱۸/۰۵/۲۴	۷۹	۲۰۲۰/۰۸/۱۷	۱۱۱	۲۰۲۱/۱۰/۲۸
۱۶	۲۰۱۶/۰۳/۲۳	۴۸	۲۰۱۸/۰۶/۱۷	۸۰	۲۰۲۰/۰۹/۲۲	۱۱۲	۲۰۲۱/۱۱/۲۱
۱۷	۲۰۱۶/۰۴/۱۶	۴۹	۲۰۱۸/۰۷/۱۱	۸۱	۲۰۲۰/۱۰/۲۸	۱۱۳	۲۰۲۱/۱۲/۱۶
۱۸	۲۰۱۶/۰۵/۱۰	۵۰	۲۰۱۸/۰۸/۰۴	۸۲	۲۰۲۰/۱۱/۲۱	۱۱۴	۲۰۲۱/۰۱/۲۰
۱۹	۲۰۱۶/۰۶/۰۳	۵۱	۲۰۱۸/۰۸/۲۸	۸۳	۲۰۲۰/۱۲/۱۶	۱۱۵	۲۰۲۱/۰۲/۲۵
۲۰	۲۰۱۶/۰۷/۲۱	۵۲	۲۰۱۸/۰۹/۲۱	۸۴	۲۰۲۱/۰۱/۲۰	۱۱۶	۲۰۲۱/۰۳/۲۱
۲۱	۲۰۱۶/۰۸/۱۴	۵۳	۲۰۱۸/۱۰/۱۵	۸۵	۲۰۲۱/۰۲/۲۵	۱۱۷	۲۰۲۱/۰۴/۲۶
۲۲	۲۰۱۶/۰۹/۰۷	۵۴	۲۰۱۸/۱۱/۰۸	۸۶	۲۰۲۱/۰۳/۲۱	۱۱۸	۲۰۲۱/۰۵/۲۰
۲۳	۲۰۱۶/۱۰/۰۱	۵۵	۲۰۱۸/۱۲/۰۲	۸۷	۲۰۲۱/۰۴/۲۶	۱۱۹	۲۰۲۱/۰۶/۱۸
۲۴	۲۰۱۶/۱۰/۲۵	۵۶	۲۰۱۸/۱۲/۲۶	۸۸	۲۰۲۱/۰۵/۲۰	۱۲۰	۲۰۲۱/۰۷/۱۹
۲۵	۲۰۱۶/۱۱/۱۸	۵۷	۲۰۱۹/۰۱/۱۹	۸۹	۲۰۲۱/۰۶/۲۵	۱۲۱	۲۰۲۱/۰۸/۲۴
۲۶	۲۰۱۶/۱۲/۱۲	۵۸	۲۰۱۹/۰۲/۱۲	۹۰	۲۰۲۱/۰۷/۱۹	۱۲۲	۲۰۲۱/۰۹/۲۲
۲۷	۲۰۱۷/۰۱/۰۵	۵۹	۲۰۱۹/۰۳/۰۸	۹۱	۲۰۲۱/۰۸/۲۴	۱۲۳	۲۰۲۱/۱۰/۲۸
۲۸	۲۰۱۷/۰۱/۲۹	۶۰	۲۰۱۹/۰۴/۰۱	۹۲	۲۰۲۱/۰۹/۲۲	۱۲۴	۲۰۲۱/۱۱/۲۱
۲۹	۲۰۱۷/۰۲/۲۲	۶۱	۲۰۱۹/۰۴/۲۵	۹۳	۲۰۲۱/۱۰/۲۸	۱۲۵	۲۰۲۱/۱۲/۱۶
۳۰	۲۰۱۷/۰۳/۱۸	۶۲	۲۰۱۹/۰۵/۱۹	۹۴	۲۰۲۱/۱۱/۲۱	۱۲۶	۲۰۲۱/۰۱/۲۰
۳۱	۲۰۱۷/۰۴/۱۱	۶۳	۲۰۱۹/۰۶/۱۲	۹۵	۲۰۲۱/۱۲/۱۶	۱۲۷	۲۰۲۱/۰۲/۲۵
۳۲	۲۰۱۷/۰۵/۰۵	۶۴	۲۰۱۹/۰۷/۰۶	۹۶	۲۰۲۱/۱۲/۲۲	۱۲۸	۲۰۲۱/۰۳/۲۱



شکل ۲. نمونه‌هایی از اینترفروگرام‌های تهیه‌شده (از تاریخ ۲۰۱۵/۰۱/۱۶ تا ۲۰۱۶/۰۱/۱۱)

پس از تهیه نقشه‌های اینترفروگرام منطقه، با استفاده از روش سری زمانی SBAS، نقشه میزان فرونشست منطقه از تاریخ ۲۰۱۵/۰۱/۱۶ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۵ تهیه شد (شکل ۳). براساس نتایج، دشت اسدآباد در این دامنه زمانی بین ۱۳۲ تا ۷۰۴ میلی‌متر فرونشست داشته است که با توجه به دوره زمانی هفت‌ساله می‌توان گفت حداکثر فرونشست سالانه دشت اسدآباد در حدود ۱۰ سانتی‌متر است که منطبق بر مناطق مرکزی این دشت از جمله مناطق مجاور روستای جنت‌آباد، مناطق جنوبی شهر اسدآباد و همچنین مناطق حفاصل روستاهای سیف‌آباد تا دهنوش است. مجموع ارزیابی‌ها در این بخش نشان داد که روند مکانی فرونشست دشت اسدآباد در طی دوره زمانی یادشده، تغییرپذیری کمی داشته است و مناطق ذکرشده در طی دوره‌های زمانی تحت بررسی، دارای بیشترین فرونشست بوده‌اند؛ بنابراین می‌توان گفت که این مناطق پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی از نظر مخاطره فرونشست دارند.



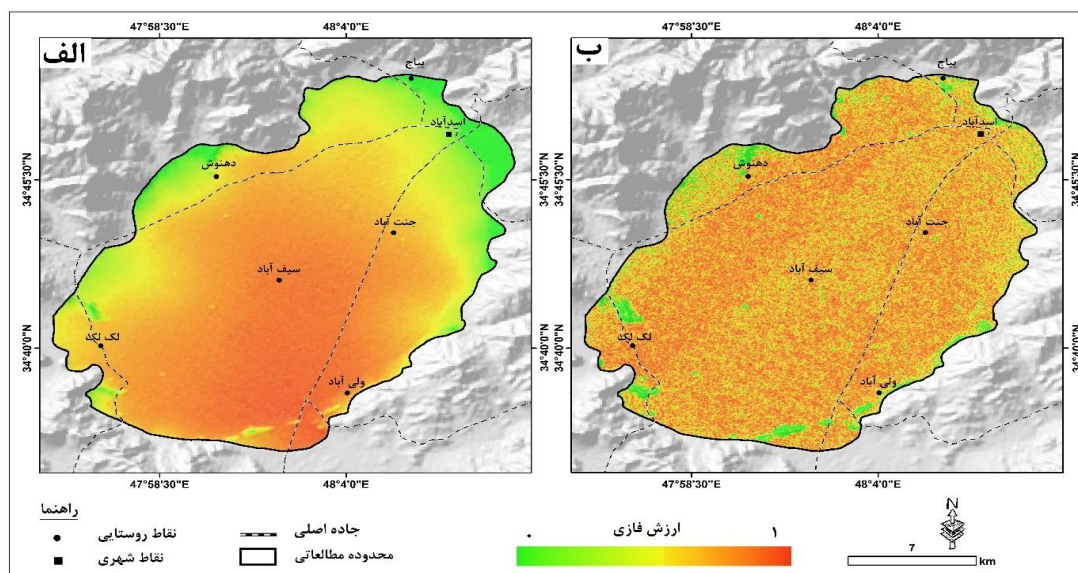
شکل ۳. نقشه فرونشست منطقه از تاریخ ۲۰۱۵/۰۱/۱۶ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۵

۲.۳. شناسایی مناطق مستعد وقوع فرونشست براساس پارامترهای محیطی

مخاطره فرونشست افزون بر عوامل انسانی، متأثر از عوامل طبیعی است. عوامل طبیعی اثر مهمی در وقوع مخاطره فرونشست به صورت مستقیم و غیرمستقیم دارند. در این پژوهش به منظور ارزیابی تأثیرگذاری عوامل طبیعی بر فرونشست دشت اسدآباد، به پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع فرونشست در این دشت با استفاده از هفت پارامتر ارتفاع، شیب، واحدهای ژئومورفولوژی، فاصله از رودخانه، افت منابع آب زیرزمینی، لیتولوژی و کاربری اراضی و همچنین مدل تلفیقی WLC-ANP پرداخته شد. در ادامه پارامترهای استفاده شده تشریح می‌شوند.

پارامترهای استفاده شده

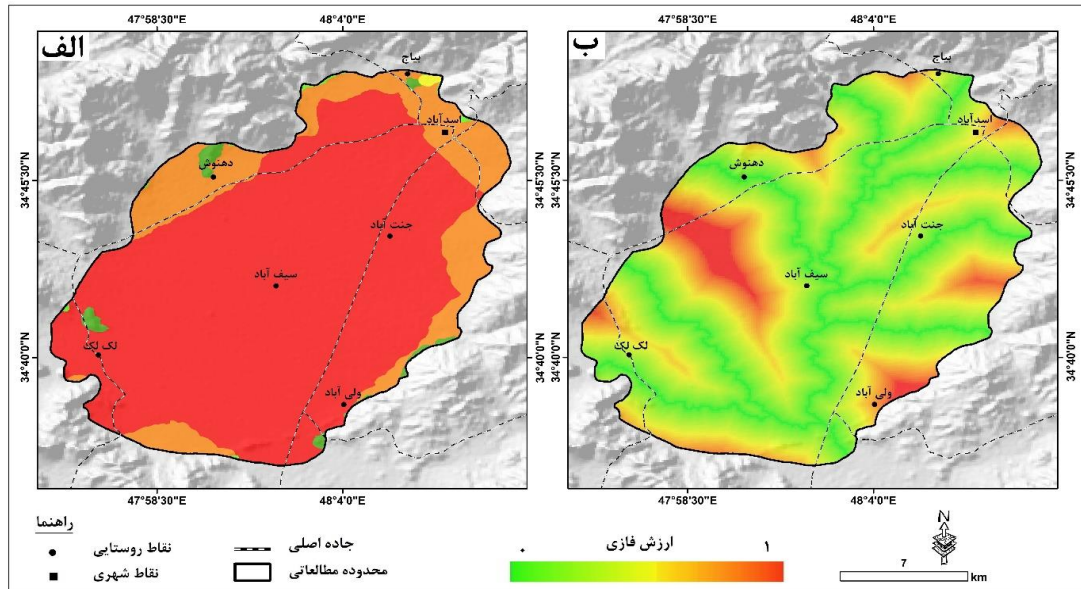
ارتفاع و شیب: ارتفاع تأثیر مهمی در مقدار بارش و رطوبت دارد. به طور معمول، مناطق مرتفع‌تر، بارش و رطوبت بیشتری دارند، بنابراین مقدار برداشت آب و افت آب‌های زیرزمینی در این مناطق کمتر است. بررسی وضعیت ارتفاعی دشت اسدآباد بیانگر این است که این دشت در بین ارتفاع ۱۴۹۰ تا ۱۶۸۰ متری از سطح دریا قرار دارد و با توجه به اینکه دارای اختلاف ارتفاع چندانی نیست، اثرگذاری این پارامتر از بقیه پارامترها کمتر است. همچنین شیب زمین تأثیر مهمی در توسعه کاربری‌های کشاورزی آبی و همچنین نوع لیتولوژی دارد. به طور معمول مناطق دارای شیب کمتر، پتانسیل زیادی برای کشاورزی آبی دارند و ضخامت مواد آبرفتی نیز در مناطق کم‌شیب، بیشتر از مناطق پرشیب است؛ بنابراین مناطق کم‌شیب پتانسیل فرونشست بیشتری دارند. بررسی وضعیت شیب دشت اسدآباد نشان می‌دهد که بخش بزرگی از این دشت را اراضی با شیب کمتر از ۱۰ درصد در بر گرفته و همین مسئله زمینه را برای توسعه اراضی کشاورزی و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی فراهم کرده است. با توجه به موارد یادشده، به منظور فازی‌سازی پارامترهای ارتفاع و شیب، به مناطق دارای ارتفاع و شیب کمتر، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دارای ارتفاع و شیب بیشتر، ارزش نزدیک به صفر داده شد (شکل ۴).



شکل ۴. نقشه فازی‌سازی شده پارامترهای (الف) ارتفاع؛ (ب) شیب.

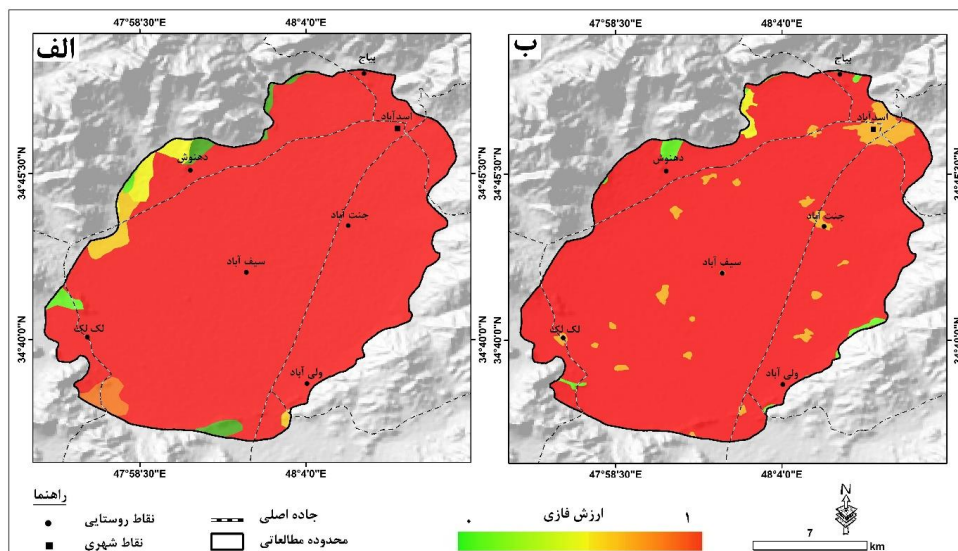
واحدهای ژئومورفولوژی و فاصله از رودخانه: واحدهای ژئومورفولوژی تأثیر مهمی در توسعه اراضی کشاورزی، ضخامت آبرفت، تغذیه آبخوان و همچنین توسعه نواحی سکونتگاهی دارند. در واحد کوهستان به دلیل ناچیز بودن ضخامت آبرفت، نبود اراضی کشاورزی آبی و نبود افت آبخوان و همچنین توسعه نیافتن واحدهای سکونتگاهی و سازه‌های سنگین، پتانسیل کمی برای فرونشست زمین وجود دارد؛ اما در واحد مخروطه‌افکنه و دشت، به دلیل ضخامت زیاد رسوبات آبرفتی، توسعه اراضی کشاورزی و برداشت از منابع زیرزمینی و همچنین توسعه کاربری نواحی سکونتگاهی، احتمال فرونشست زمین زیاد است. حد

دسترسی به منابع آب سطحی نیز تأثیر مهمی در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی دارد. در مناطق دور از رودخانه‌های دائمی، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بیشتر است؛ بنابراین این مناطق پتانسیل زیادی برای فرونشست زمین دارند. با توجه به موارد یادشده، به‌منظور فازی‌سازی پارامترهای واحدهای ژئومورفولوژی و فاصله از رودخانه، به واحد دشت و مناطق دور از رودخانه، ارزش نزدیک به ۱ و همچنین به واحد کوهستان و مناطق نزدیک به رودخانه، ارزش نزدیک به صفر داده شده است (شکل ۵).



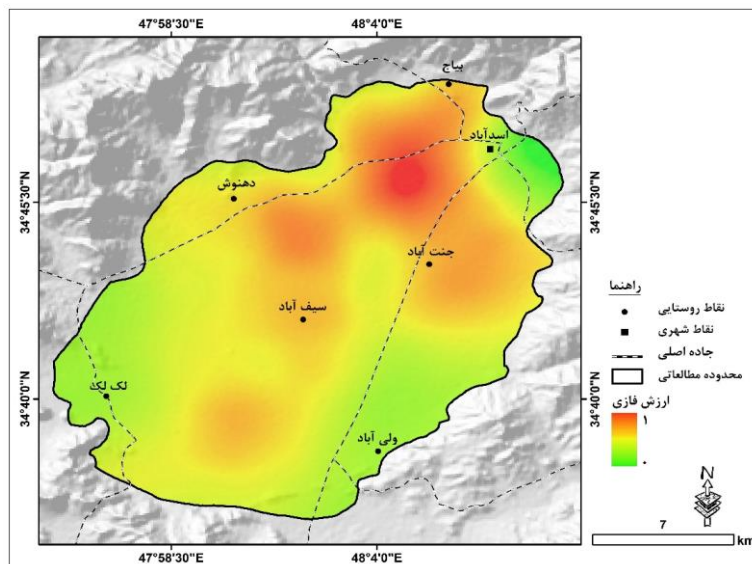
شکل ۵. نقشه فازی‌سازی شده پارامترهای الف) واحدهای ژئومورفولوژی؛ ب) فاصله از رودخانه.

– **لیتولوژی و کاربری اراضی:** نوع لیتولوژی اثر مهمی در ایجاد فرونشست دارد. مناطق دارای لیتولوژی سست‌تر (مانند رسوبات آبرفتی، مارن، ماسه، شیل و رس)، مستعد وقوع فرونشست هستند و مناطق تشکیل شده از سازندهای مقاوم مانند بازالت و آندزیت، پتانسیل کمتری برای فرونشست دارند. نوع کاربری اراضی نیز اثر مهمی در وقوع فرونشست دارد. مناطق دارای کاربری اراضی کشاورزی آبی و باغ‌ها به دلیل برداشت از منابع آب زیرزمینی و مناطق شهری نیز به دلیل ساخت‌وسازها، پتانسیل زیادی برای ایجاد فرونشست دارند. با توجه به موارد مذکور، به مناطق دارای لیتولوژی آبرفتی و کاربری اراضی کشاورزی ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دارای لیتولوژی بازالتی و کاربری مراتع، ارزش نزدیک به صفر داده شده است (شکل ۶).



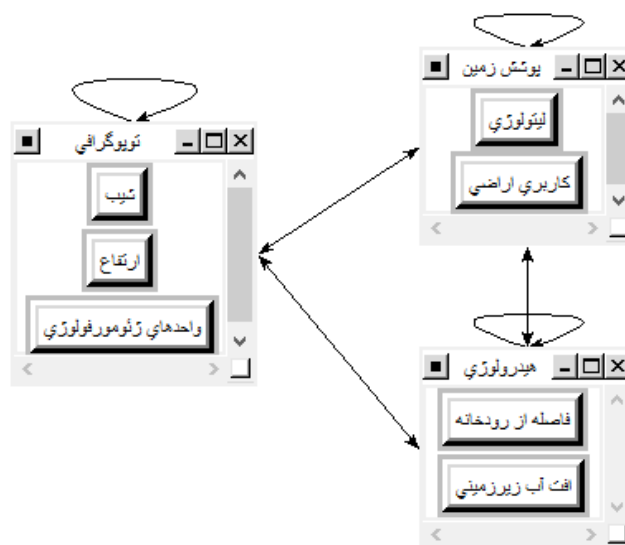
شکل ۶. نقشه فازی‌سازی شده پارامترهای الف) لیتولوژی؛ ب) کاربری اراضی.

- **افت منابع آب زیرزمینی:** مهم‌ترین عامل انسانی در وقوع فرونشست، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی است. در سال‌های اخیر، بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی سبب شده است که بسیاری از دشت‌های کشور در معرض مخاطره فرونشست قرار گیرند. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش نیز از این پارامتر برای شناسایی مناطق مستعد فرونشست استفاده شده است. با توجه به موارد مذکور، پس از تهیه لایه افت منابع آب زیرزمینی، به‌منظور فازی‌سازی آن، به مناطق با افت آب زیرزمینی زیاد، ارزش نزدیک به ۱ و همچنین به مناطق با افت آب زیرزمینی کم، ارزش نزدیک به صفر داده شده است (شکل ۷).



شکل ۷. نقشه فازی‌سازی شده پارامتر افت منابع آب زیرزمینی

- **وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی:** با توجه به یکسان نبودن ارزش لایه‌های اطلاعاتی، پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و فازی‌سازی آنها، با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) به وزن‌دهی آنها پرداخته شد. به‌منظور وزن‌دهی به پارامترها، پس از تشکیل ساختار شبکه‌ای (شکل ۸) و با توجه به رابطه درونی و بیرونی معیارها، از ماتریس مقایسه‌ای شامل هفت سطر و هفت ستون برای تعیین رابطه و میزان اهمیت هر یک از این معیارها و زیرمعیارها استفاده شد. به‌منظور امتیازدهی به معیارها از پرسشنامه و دیدگاه‌های کارشناسان و برای محاسبات از نرم‌افزار Super Decisions استفاده شد (جدول ۲).

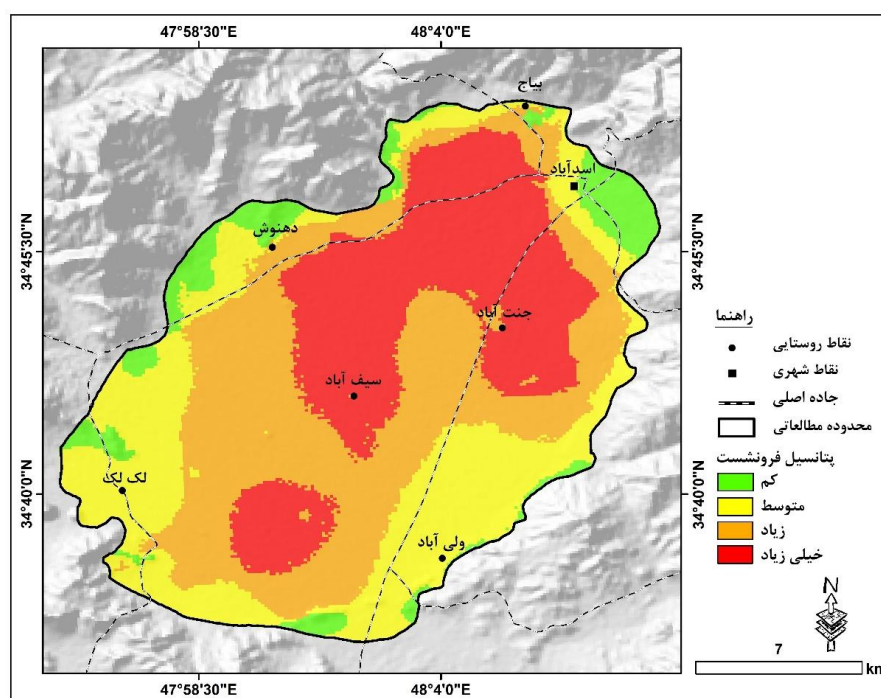


شکل ۸. ساختار شبکه‌ای معیارها

جدول ۲. وزن نهایی معیارها

The inconsistency index is 0.0349. It is desirable to have a value of less than 0.1		
ارتفاع		0.062586
افت آب زیرزمینی		0.249019
شیب		0.130563
فاصله از رودخانه		0.106918
لیتولوژی		0.087556
واحدهای ژئومورفولوژی		0.159436
کاربری اراضی		0.203922

- تهیه نقشه نهایی براساس روش ترکیب خطی وزنی (WLC): برای تهیه نقشه به روش ترکیب خطی وزنی، پس از فازی سازی لایه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS، لایه‌های فازی سازی شده وارد نرم‌افزار IDRISI شد. در نرم‌افزار IDRISI با اعمال وزن به دست آمده از طریق مدل ANP لایه‌های اطلاعاتی با هم تلفیق شدند و نقشه نهایی با استفاده از مدل WLC تهیه شد (شکل ۹).



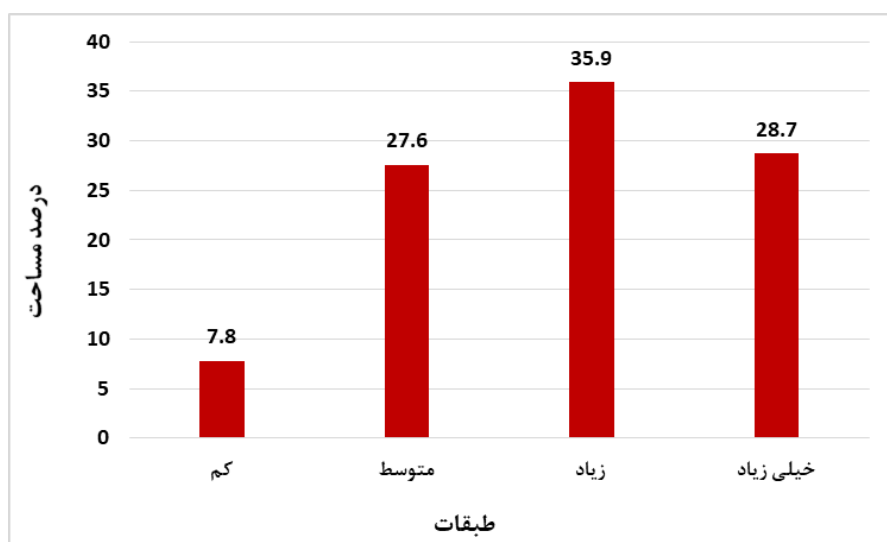
شکل ۹. نقشه نهایی مناطق مستعد فرونشست در دشت اسدآباد

نقشه پهنه‌بندی مناطق مستعد فرونشست در دشت اسدآباد بیانگر این است که بخش زیادی از این دشت در معرض مخاطره فرونشست قرار دارد. بر اساس نتایج، ۸۷ کیلومتر مربع از مساحت این دشت (۲۸/۷ درصد از کل وسعت دشت) پتانسیل خیلی زیادی برای وقوع مخاطره فرونشست دارد. این طبقه اغلب شامل مناطق جنوبی شهر اسدآباد و مناطق مرکزی دشت اسدآباد است. ۱۰۹/۱ کیلومتر مربع (۳۵/۹ درصد از کل وسعت دشت) پتانسیل زیادی برای وقوع مخاطره فرونشست دارد. این طبقه بیشتر شامل مناطق جنوبی دشت اسدآباد می‌شود. ۸۳/۸ کیلومتر مربع (۲۷/۶ درصد از کل وسعت دشت) پتانسیل متوسطی برای

وقوع مخاطره فرونشست دارد. این طبقه شامل مناطق حاشیه‌ای دشت اسدآباد است که اغلب بر واحد مخروط‌افکنه منطبق‌اند. ۲۳/۶ کیلومتر مربع (۷/۸ درصد از کل وسعت دشت) نیز پتانسیل کمی برای وقوع مخاطره فرونشست دارد. این طبقه اغلب شامل دامنه‌های کم‌شیب مجاور دشت اسدآباد است (جدول ۳ و شکل ۱۰). مجموع نتایج حاصل از این بخش نشان داد که تحت تأثیر عوامل طبیعی، دشت اسدآباد پتانسیل زیادی از نظر وقوع مخاطره فرونشست دارد.

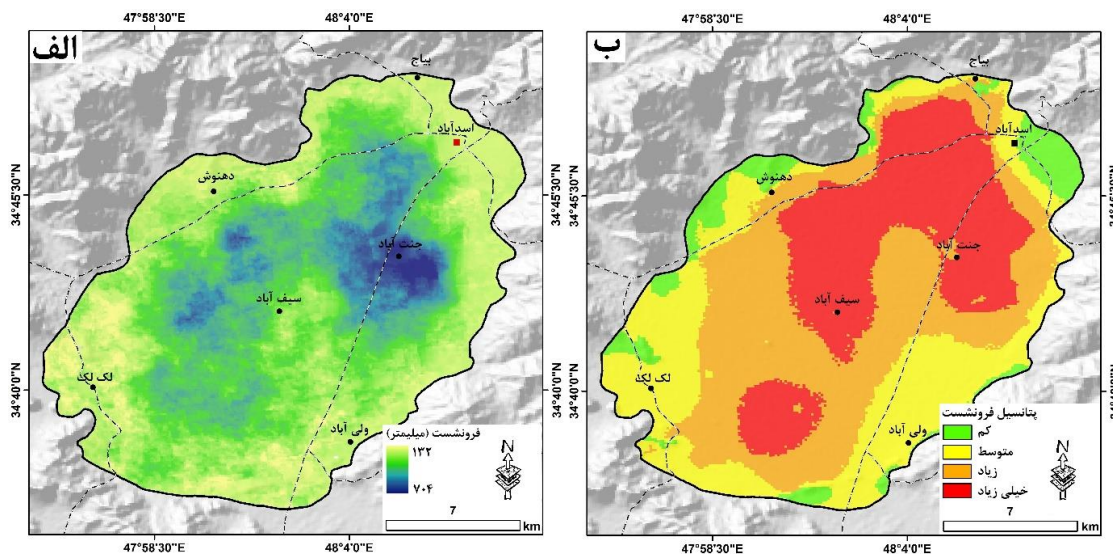
جدول ۳. مساحت و درصد مساحت طبقات

ردیف	طبقات	مساحت	درصد مساحت
۱	کم	۲۳/۶	۷/۸
۲	متوسط	۸۳/۸	۲۷/۶
۳	زیاد	۱۰۹/۱	۳۵/۹
۴	خیلی زیاد	۸۷	۲۸/۷



شکل ۱۰. نمودار درصد مساحت طبقات

– تحلیل ارتباط نتایج حاصل از پهنه‌بندی فرونشست با نتایج به‌دست‌آمده از تصاویر راداری: نتایج حاصل از پهنه‌بندی فرونشست براساس پارامترهای محیطی نشان داد که مناطق جنوبی شهر اسدآباد و بخش‌های مرکزی دشت اسدآباد پتانسیل زیادی از نظر وقوع فرونشست دارند. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از این بخش بیانگر انطباق آن بر نتایج حاصل از تصاویر راداری است. نتایج حاصل از تصاویر راداری نیز نشان داده است که بیشترین نرخ فرونشست مربوط به مناطق جنوبی شهر اسدآباد و بخش‌های مرکزی دشت اسدآباد است. با توجه به موارد مذکور، با استفاده از پارامترهای طبیعی نیز می‌توان تا حد زیادی مناطق در معرض مخاطره فرونشست را شناسایی کرد، زیرا فرونشست به‌طور مستقیم و غیرمستقیم متأثر از عوامل طبیعی از جمله وضعیت ژئومورفولوژی و هیدرولوژی منطقه است. در شکل ۱۱ نتایج حاصل از تصاویر راداری و پهنه‌بندی صورت‌گرفته در کنار هم نشان داده شده که بیانگر انطباق نتایج است.



شکل ۱۱. الف) نتایج حاصل از تصاویر راداری؛ ب) نتایج حاصل از پهنه‌بندی فرونشست.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که دشت اسدآباد تحت تأثیر عوامل مختلف طبیعی و انسانی، با مخاطره فرونشست مواجه است. دشت اسدآباد در دامنه زمانی پنج‌ساله (۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲) بین ۷۰۴ تا ۱۳۲ میلی‌متر فرونشست داشته است که با توجه به دوره زمانی هفت‌ساله می‌توان گفت که حداکثر فرونشست سالانه دشت اسدآباد بیش از ۱۰ سانتی‌متر است که منطبق بر مناطق مرکزی این دشت از جمله مناطق مجاور روستای جنت‌آباد، مناطق جنوبی شهر اسدآباد و همچنین مناطق حدفاصل روستاهای سیف‌آباد تا دهنوش است. با توجه به نتایج، دشت اسدآباد همانند دشت مشهد (دهقانی، ۱۳۹۳) و دشت همدان - بهار (گنجائیان و همکاران، ۱۳۹۸)، با فرونشست سالانه بیش از ۱۰ سانتی‌متری مواجه است. با توجه به اهمیت موضوع فرونشست، در این پژوهش به تحلیل تأثیر عوامل محیطی در وقوع فرونشست پرداخته شد. به این منظور، ابتدا با استفاده از پارامترهای محیطی، مناطق مستعد وقوع فرونشست در دشت اسدآباد شناسایی شد و سپس نتایج با نتایج به‌دست‌آمده از تصاویر راداری تطبیق داده شد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی نشان داد که مناطق جنوبی شهر اسدآباد و بخش‌های مرکزی دشت اسدآباد پتانسیل زیادی از نظر وقوع فرونشست دارند. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از این بخش بیانگر انطباق آن بر نتایج حاصل از تصاویر راداری است. در واقع، نتایج حاصل از تصاویر راداری نیز مشخص کرد که بیشترین فرونشست مربوط به مناطق جنوبی شهر اسدآباد و بخش‌های مرکزی دشت اسدآباد است. با توجه به موارد مذکور، با استفاده از پارامترهای طبیعی نیز می‌توان تا حد زیادی مناطق در معرض مخاطره فرونشست را شناسایی کرد. بنابراین فرونشست زمین در دشت اسدآباد به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تابع عوامل طبیعی از جمله وضعیت ژئومورفولوژی و هیدرولوژی منطقه است.

۵. تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از رساله دکتری مرتضی اکبریان است که با حمایت دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی انجام گرفته است. بدین وسیله از اعضای علمی و آموزشی و اداری آن دانشکده تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- [۱] ابراهیمی، عطربین؛ قاسمی، افشان؛ و گنجائیان، حمید (۱۳۹۹). پایش میزان فرونشست محدوده شهری پاکدشت با استفاده از روش تداخل سنجی راداری. جغرافیا و روابط انسانی، ۲(۴)، ۲۹-۴۱.
- [۲] 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-1 و مدل‌های آماری (منطقه مورد مطالعه: دشت ورامین). علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۷(۱)، ۳۳-۴۳.
- [۳] آقائباتی، سیدعلی (۱۳۸۵). زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۴] آقاییاری، لیلا؛ عابدینی، موسی؛ و اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۴۰۱). برآورد میزان فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و پارامترهای آب‌های زیرزمینی و کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت اردبیل). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۱(۱)، ۱۱۷-۱۳۲.
- [۵] حقیقت مهر، پریسا؛ ولدان زوجی، محمدجواد؛ صاحبی، محمودرضا؛ و دهقانی، مریم (۱۳۹۱). اندازه‌گیری فرونشست دشت هشتگرد ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری. همایش ژئوماتیک، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.
- [۶] دهقانی، مریم (۱۳۹۳). ارائه الگوریتمی جدید بر مبنای تکنیک تداخل سنجی راداری به منظور پایش فرونشست سطح زمین ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی. مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، ۲(۲)، ۶۱-۷۳.
- [۷] صدیقی، مرتضی؛ و گودرزی، رامین (۱۳۹۵). تعیین فرونشست زمین در منطقه نظرآباد هشتگرد با استفاده از الگوریتم SBAS. همایش ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور، ۲۳.
- [۸] عابدینی، موسی و محمدزاده شیشه‌گران، مریم (۱۴۰۱). تغییرات کاربری اراضی و ارتباط آن با سطح آب‌های زیرزمینی و مخاطرات آن (مطالعه موردی: شهرستان ملارد). مدیریت مخاطرات محیطی، ۹(۱)، ۳۱-۴۴.
- [۹] علی‌دادیانی، بهاره؛ زارع، مهدی؛ درستیان، آرزو؛ اشجع اردلان، افشین؛ و حسینی، سیدکیوان (۱۴۰۲). ارزیابی تأثیر فرونشست بر روند لرزه‌خیزی دشت ورامین و دشت شهریار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۰(۲)، ۱۳۷-۱۵۱.
- [۱۰] قهرودی تالی، منیژه؛ خدامرادی، فرهاد؛ و علی‌نوری، خدیجه (۱۴۰۲). تأثیر افت آب‌های زیرزمینی بر مخاطرات فرونشست زمین در دشت دهگلان، استان کردستان، مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۰(۱)، ۵۷-۷۰.
- [۱۱] گنجائیان، حمید؛ قاسمی، افشان؛ ابراهیمی، عطربین؛ و اسدپور، زهرا (۱۳۹۸). ارزیابی میزان فرونشست دشت همدان - بهار با استفاده از روش سری زمانی SBAS. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۹(۳۶)، ۶۲-۷۳.
- [12] Aobpaet, A., Miguel, C. C., Andrew, H., & Itthi, T. (2013). InSAR timeseries analysis of land subsidence in Bangkok, Thailand. *Remote Sens*, 34, 2969-2982.
- [13] Bateson, L., Cigna, F., Boon, D., & Sowter, A. (2015). The application of the Intermittent SBAS (ISBAS) InSAR method to the South Wales Coalfield, UK. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 249-257.
- [14] Chatterjee, R. S., Thapa, S., Singh, K. B., Varunakumar, G., & Raju, E. V. R. (2015). Detecting, mapping and monitoring of land subsidence in Jharia Coalfield, Jharkhand, India by spaceborne differential interferometric SAR, GPS and precision levelling techniques. *Earth Syst*, 124, 1359-1376.
- [15] Chen, D., Chen, H., Zhang, W., Cao, C., Zhu, K., Yuan, X., & Du, Y. (2021). Characteristics of the Residual Surface Deformation of Multiple Abandoned Mined-Out Areas Based on a Field Investigation and SBAS-InSAR: A Case Study in Jilin, China. *Remote Sens*, 12(22).
- [16] Cianflone, G., Tolomei, C., Brunori, C.A., & Dominici, R. (2015). InSAR time series analysis of natural and anthropogenic coastal plain subsidence (Southern Italy). *Remote Sens*, 7, 16004-160023.
- [17] Cigna, F., Novellino, A., Colm, J., & Sowter, A. (2014). Intermittent SBAS (ISBAS) InSAR with COSMO-SkyMed X-band high resolution SAR data for landslide inventory mapping in Piana degli Albanesi (Italy). *SPIE Proceedings: SAR Image Analysis, Modeling, and Techniques XIV*, Amsterdam, Netherlands, 22 Sep.
- [18] Lashkaripour, G.R., Ghafoori, M. & Mossavi Maddah, S.M. (2014). An investigation on the mechanism of land subsidence in the northwest of mashhad city, NE Iran. *Biodiversity and Environmental Sciences*, 5(3), 321-327.
- [19] Liu, H., Li, M., Yuan, M., Li, B., & Jiang, X. (2022). A fine subsidence information extraction model based on multi-source inversion by integrating InSAR and leveling data. *Natural Hazards*, 114, 2839-2854.
- [20] Motagh, M., Djamour, Y., Walter, T. R., Wetzell, H., Zschau, J., & Arabi, S. (2007). Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran: results from InSAR, levelling and GPS. *Geophysical Journal International*, 168 (2), 518-526.

- [21] Nguyen Hao, Q., & Takewaka, S. (2019). Detection of Land Subsidence in Nam Dinh Coast by Dinsar Analyses. *International Conference on Asian and Pacific Coasts*, 1287-1294.
- [22] Wang, H., Jia, C., Ding, P., Feng, K., Yang, X., & Zhu, X. (2022). Analysis and Prediction of Regional Land Subsidence with InSAR Technology and Machine Learning Algorithm, *Civil Engineering*, 25.
- [23] Yastika, P.E.; Shimizu, N.; & Abidin, H.Z. (2019). Monitoring of long-term land subsidence from 2003 to 2017 in coastal area of Semarang, Indonesia by SBAS DInSAR analyses using Envisat-ASAR, ALOS-PALSAR, and Sentinel-1A SAR data. *Space Res*, 63, 1719–1736.