

## مقاله پژوهشی

# بررسی فرونشست دشت کبودراهنگ بر مبنای تکنیک تداخل‌سنجی راداری و تغییرات تراز آب‌های زیرزمینی

عادل قاسمی<sup>۱</sup>، امید بهمنی<sup>۲\*</sup>، سمیرا اخوان<sup>۳</sup>، حمیدرضا پور قاسمی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷

۱- دانش آموخته دکتری آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۴- استاد بخش مهندسی منابع طبیعی و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [omid.bahmani@basu.ac.ir](mailto:omid.bahmani@basu.ac.ir)

## چکیده

فرونشست با توجه به ماهیت زمین‌شناسی و ارتباط آن با بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی مورد توجه محققین حوزه‌های مدیریت منابع آب و زمین‌شناسی قرار گرفته است. در این راستا بررسی فرونشست آبخوان کبودراهنگ در استان همدان با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی این دشت مورد مطالعه قرار گرفت. از سویی ارتباط بین فرونشست و تغییرات تراز آب زیرزمینی با استفاده از روابط رگرسیونی در نظر گرفته شد. نتایج حاکی از فرونشست دشت طی سالیان ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ به میزان ۱۲۴/۷ میلیمتر و نرخ متوسط ۱۳ میلیمتر در هر ۶ ماه بود. با توجه به هدایت هیدرولیکی متفاوت آبخوان در کنار ساختارهای زمین‌شناسی متفاوت دشت، بین بهره‌برداری از آب زیرزمینی و پدیده فرونشست تأخیر وجود داشت که با استفاده از رگرسیون تأخیری، زمان تأخیر فرونشست و بهره‌برداری از آب زیرزمینی به میزان متوسط ۱/۵ سال تعیین گردید. همچنین تأثیر بیشتر فرونشست بر اراضی کشاورزی به دلیل بهره‌برداری از آب زیرزمینی به منظور کشت مورد تأکید قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: آب‌های زیرزمینی، تداخل‌سنجی راداری، زمان تأخیر، دشت کبودراهنگ، فرونشست

# Investigation of Kabudrahang Plain Subsidence Based on Interferometric Synthetic Aperture Radar Technique and Groundwater level Changes

A Ghasemi<sup>1</sup>, O Bahmani<sup>2\*</sup>, S Akhavan<sup>3</sup>, H R Pourghasemi<sup>4</sup>

Received: October 9, 2021

Accepted: March 8, 2022

1- Ph.D., Graduated student of irrigation and drainage, Dept of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Assoc. Prof., Dept of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

3- Assist. Prof., Dept of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

4- Prof., Dept of Natural Resources and Environmental Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

\*Corresponding Author Email: [omid.bahmani@basu.ac.ir](mailto:omid.bahmani@basu.ac.ir)

## Abstract

### Background and Objectives

Iran is located in an arid and semi-arid climate with an average annual rainfall of about 239.3 mm during five years ago. There are many challenges for decision-makers in terms of supplying water for agriculture, industry, and drinking. On the other hand, lack of comprehensive decision-makers, along with lack of awareness of beneficiaries of the consequences of excessive use of groundwater resources, has led to land subsidence in most plains of the country. This issue, due to the nature of land cognition and its relation to the use of groundwater, has been considered by researchers in the fields of water resources management and geology. Land subsidence in Iran has been frequently studied and the effects of groundwater abstraction have been determined as main factor compared to other factors. Hamedan province in the western part of Iran is not far from overuse of water and the effects of land subsidence, due to the extensive agricultural lands and agricultural hubs. In this regard, studying Kaboudrahang aquifer subsidence with its sinkholes (18 massive sinkholes) was selected as the study site in the northwest of Hamadan province. The hydrograph of the plain aquifer unit shows a profound drop in the groundwater level of the aquifer (40 meters) between the years 1988 and 2018.

### Methodology

Regarding plain subsidence, some researches have been done. Accordingly, the radar interference technique in ENVI software was used to determine the amount of land subsidence and finally its output expressed in GIS software. To use this method, 11 Sentinel satellite images from 2014 to 2019 were selected and groundwater changes in 49 observation wells were studied. To investigate land subsidence and groundwater changes, the relation between land subsidence rate and groundwater level drop was examined through a regression analysis, as well as several observation wells that have a reduction in the date of the last satellite image relative to the water level. A regression analysis was selected between the water level drop and land subsidence rate and between the water level drop and the cumulative land subsidence obtained by radar interferometry during the period. To investigate in more detail, the effect of groundwater abstraction in each observation well and the relationship between land subsidence and its changes over time have also been investigated.

On the other hand, land subsidence is delayed according to some research on groundwater exploitation, which varies due to the different hydraulic conductivity of the aquifer along with the different geological structures of the plain. Lag regression was used as a simple tool to determine the lag time between groundwater exploitation and land subsidence.

## Findings

The study results showed that during the years 2014 to 2019, the land subsidence of the plain was 124.7 mm and an average rate was 13 mm every six months. Positive and negative values were observed in the land subsidence rate map in which positive values indicate upward radar visibility and negative values are related to radar visibility or subsidence. In general, across the plain, there is no equal correlation between subsidence rate and groundwater level decline. Its main reason can be found in the difference of geological structures and diverse soil texture throughout the plain, which has led to different responses to groundwater exploitation. Wells that had a drop in water level between the first and last satellite image show a decreasing trend of land subsidence rate and cumulative land subsidence. This indicates a decrease in the power of land subsidence in the utilization of water over time. The reason is that groundwater passed through subsidence-sensitive layers, after which the effect on land subsidence is reduced. The lag time of subsidence and operation of groundwater was determined as an average of 1.5 years.

## Conclusion

Based on the analysis of this research, more significant impact of land subsidence on agricultural lands can be identified due to the use of groundwater. On the other hand, there is need for proposals and solutions to reduce the rate of land subsidence, and so it is recommended to change the cultivation pattern, to control surface water with artificial recharge, and to create deep plowing in agricultural areas to increase permeability.

**Keyword:** Groundwater, InSAR, Kabudrahang plain, Lag time, Land subsidence.

## مقدمه

مشهد، یزد، سیرجان و مواردی در گرگان گردیده است. (پاکروان ۲۰۰۵، طباطبائی ۲۰۰۶ و لشکری پور و همکاران ۲۰۰۵ و ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹، امیری و همکاران ۲۰۱۹) به دنبال تخلیه آب‌های زیرزمینی، فشار منفذی کاهش یافته و لایه‌های زمین فشرده و متراکم می‌شوند که این پدیده در سطح زمین سبب کاهش ارتفاع و نشست سطح آن به شکل ناگهانی و یا تدریجی می‌گردد (چن و همکاران ۲۰۱۶). در این راستا تأثیر پارامتر تغییرات آب زیرزمینی به عنوان عامل موثر بر میزان فرونشست توسط محققینی چون متاق و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی علت اصلی فرونشست دشت‌های کشور ایران مورد تأکید بوده است. شایان ذکر است که

ایران با توجه به واقع بودن در منطقه خشک و نیمه خشک با دارا بودن میانگین بارندگی طی ۵ سال آبی اخیر در حدود ۲۳۹/۳ میلیمتر در سال متولیان امر و تصمیم‌سازان را با چالش‌های فراوانی درخصوص تأمین آب مورد نیاز جهت، کشاورزی، صنعت و شرب مواجه نموده است. از سویی عدم تصمیم‌گیری همه جانبه در کنار عدم آگاهی بهره‌برداران از تبعات استفاده بیش از حد از منابع آب‌های زیرزمینی منجر به فرونشست زمین در اکثر دشت‌های کشور از جمله کرمان، رفسنجان و مشهد، دشت کبودراهنگ در استان همدان، شهر تهران، دشت‌های استان خراسان رضوی نظیر دشت‌های کاشمر و بردسکن، دشت نیشابور،

(۲۰۰۹)، فرونشست دشت نیشابور را با استفاده از تصاویر راداری در سالهای ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ به روش خط مبنای کوتاه مورد مطالعه قرار داده و میزان نشست را به میزان ۱۹ سانتی متر در این منطقه تعیین نمودند. کریم زاده (۲۰۱۶)، فرونشست حوضه تبریز را به روش پشته سازی و خط مبنای کوتاه با استفاده از ۱۷ تصویر راداری بین سالهای ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ بررسی و میزان فرونشست را به میزان ۴۰ میلیمتر برآورد نمود.

دشت کبودراهنگ در استان همدان به دلیل بهره برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی دچار فرونشست گردیده و فروچاله‌های بزرگی نیز در برخی مناطق آن آشکار گردیده است. در این دشت تحقیقاتی درخصوص بررسی فرونشست و بررسی آسیب‌پذیری آن انجام شده که می‌توان به مطالعات چاوشیان و همکاران (۲۰۱۱)، مریم پور و همکاران (۲۰۱۲) و عباسی و خانی (۲۰۱۵) اشاره کرد که بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی طی ۳۰ سال اخیر در این دشت را به عنوان عامل اصلی فرونشست و ایجاد فروچاله‌ها عنوان نمودند. کریمی و طاهری (۲۰۱۰) بهره‌برداری بیش از حد از سفره آب زیرزمینی در کنار سنگ بستر متخلخل آهکی را به عنوان عوامل اصلی ایجاد فروچاله‌ها بیان کردند. جعفری و محمدی (۲۰۱۸) اقدام به بررسی نقشه خطرپذیری فروچاله‌های دشت کبودراهنگ-فامنین با استفاده از روش وزن شاهد نمودند. نتایج حاکی از تأثیر بسزای تراز آب زیرزمینی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و دامنه ارتفاعی بر ایجاد فروچاله‌ها نسبت به سایر عوامل بود. نظری خرم و رضایی (۲۰۱۸) کاهش رطوبت خاک به واسطه تأثیرپذیری آن بر تخلخل خاک را مورد بحث قرار داده و نتیجتاً تأثیر فرونشست بر تخلخل و نهایتاً کاهش رطوبت به واسطه آن را تأیید نمودند. خانلری و همکاران (۲۰۱۲) اقدام به بررسی هیدرولوژیکی و ژئولوژیکی منطقه کبودراهنگ و فامنین از جهت ایجاد فروچاله‌ها نمودند. بر اساس تحقیقات

نتایج مطالعات امیر احمدی و همکاران (۲۰۱۳)، شادفر و همکاران (۲۰۱۶)، فانی و قشمی (۲۰۱۹)، میراثی و راهنما (۲۰۱۶)، زمانی راد و همکاران (۲۰۱۹)، رحمتی و همکاران (۲۰۱۹)، عبدالمهدی و همکاران (۲۰۱۹) و متاق و همکاران (۲۰۰۸) نیز حاکی از تأثیر بالای فاکتور تغییرات آب زیرزمینی بر پدیده فرونشست می‌باشد.

با توجه به ماهیت فرونشست، نرخ و الگوهای مکانی فرونشست در طول زمان تغییر می‌کند. بنابراین اندازه‌گیری دقیق و استفاده از ابزارهای پیش‌بینی کننده برای درک، مطالعه و کنترل آن لازم است (انگستون و پوپ ۲۰۱۳). یکی از ابزارهای جدید در تعیین میزان فرونشست زمین، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای راداری (تکنیک تداخل‌سنجی راداری) می‌باشد که به عنوان روشی مناسب و کم‌هزینه در مناطقی که فاقد نقطه نشانه و ترازیبی بوده، کارایی بالایی دارد. همچنین دقت این روش‌ها در مناطقی که دارای ترازیب می‌باشند نیز توسط چانگ و همکاران (۲۰۰۴)، کاربوگنین و همکاران (۲۰۰۴) و متاق و همکاران (۲۰۰۷) مورد تأیید قرار گرفته است. در تکنیک تداخل‌سنجی راداری تا زمانی که یک فاصله وجود داشته و یا تغییر می‌کند، با استفاده از بررسی اختلاف فاز تصاویر، می‌توان این فواصل و تغییرات را بررسی و اندازه‌گیری نمود (بابایی و همکاران ۲۰۱۶). در بررسی اختلاف فازهای تصاویر، سه روش کلی پشته‌سازی<sup>۱</sup> (درنظر-گیری اثر متوسط جمعی اختلاف فازها در طول زمانهای تصاویر)، خط مبنای کوتاه<sup>۲</sup> (تشکیل تداخل‌نگارهای با کیفیت مناسب) و پراکنش‌کننده‌های دائمی<sup>۳</sup> (تعیین تغییرات با کمک عوارض ثابت) را جهت تحلیل سری‌های زمانی تداخل‌سنجی و رفع محدودیت‌ها ارائه نموده‌اند که اساس کار آنها برآورد فاز جمعی در زمانهای تصویربرداری می‌باشد. دهقانی و همکاران

1 - Stacking

2 - (SBAS) Small Baseline Subset

3 - Persistent Scatterer Interferometry (PS or PSI)

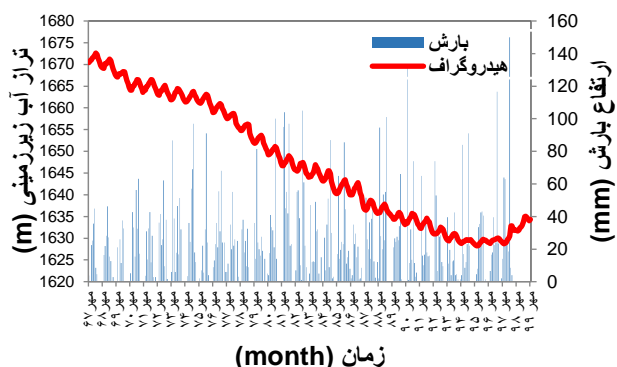
### مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی کبودراهنگ با وسعت حوضه آبریز ۳۴۷۰ کیلومترمربع در شمال استان همدان واقع و یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز دریاچه نمک محسوب می‌گردد. محدوده مطالعاتی در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱). مساحت ارتفاعات و دشت در این محدوده به ترتیب ۱۲۱۷ و ۲۲۵۳ کیلومترمربع و حداکثر و حداقل ارتفاع نیز به ترتیب ۲۸۳۴ و ۱۶۱۵ متر (بر اساس نقشه مدل رقومی ارتفاعی محدوده مطالعاتی) و سطح گسترش سفره اصلی آب زیرزمینی (آبخوان) معادل ۱۴۷۱ کیلومترمربع می‌باشد. دشت کبودراهنگ به علت گستردگی زیاد در محدوده زمین‌شناسی بزرگ ایران مرکزی و زون متامورفیکی سندانج- سیرجان واقع گردیده، بنابراین در محدوده مورد مطالعه، سنگ‌ها و اثرات تکنیکی هر دو ناحیه را می‌توان مشاهده نمود. این محدوده دارای آب و هوای نیمه‌خشک تا خشک و سرد است. منشأ عمده ریزش‌های جوی این منطقه مدیترانه‌ای می‌باشد. مقادیر متوسط باران در دشت و ارتفاعات محدوده کبودراهنگ به ترتیب ۳۰۴/۲ و ۳۴۰/۲ میلی‌متر در سال محاسبه گردیده است. منطقه مذکور دارای میانگین دمای ۱۱/۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای حداقل ۲/۹ و حداکثر ۳۴/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بر مبنای منحنی‌های هم‌تبخیر در این محدوده، مقدار تبخیر از تشت در دشت و ارتفاعات به ترتیب ۲۰۰۴/۶ و ۱۸۳۷/۸ میلی‌متر در سال می‌باشد. دشت مذکور به دلیل خشکسالی‌ها و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی دچار افت سطح آب شدید زیرزمینی گردیده است به طوری که هیدروگراف آبخوان در دوره زمانی ۳۰ ساله حدود ۴۰ متر افت سطح آب را نشان می‌دهد (شکل ۲). فروچاله‌هایی نیز در ابعاد بسیار بزرگ در داخل دشت طی سالیان گذشته ایجاد گردیده است

مذکور وجود آبرفت دانه‌ریز، سنگ بستر آهکی، افزایش تنش موثر و آشفته‌گی جریان آب زیرزمینی از عوامل ایجاد آسیب‌پذیری دشت به فروچاله‌ها می‌باشد. آقایی (۲۰۱۵) وجود عناصر دانه ریز و ماسه که قابلیت جابجایی در اثر حرکت آب زیرزمینی را دارند بعنوان یکی از دلایل مهم در فرونشست منطقه جنوبی دشت کبودراهنگ برشمرد. امیری و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل ارتفاعی ASTER در کنار عوامل هیدروژئولوژی نشان دادند که ارتباط و همبستگی بالایی بین مناطق دارای فرونشست با مناطق دارای افت بالای سطح آب زیرزمینی در دشت کبودراهنگ وجود دارد.

همچنین درخصوص بررسی فرونشست دشت

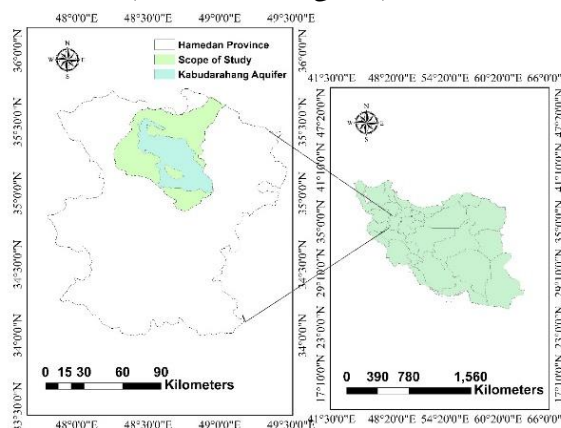
کبودراهنگ با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری، می‌توان به تحقیقات شیخ احمدی و همکاران (۲۰۱۷) اشاره نمود. نتایج حاکی از نرخ فرونشست ۶۰ میلی‌متر در سال در حد فاصل سالهای ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۶ و ۳۸ میلی‌متر در سال در حد فاصل سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ بود. با توجه به اینکه عکس‌های ماهواره‌ای مورد استفاده حداکثر تا سال ۱۳۹۶ در تحقیقات قبلی مورد استفاده قرار گرفته، لذا لزوم استفاده به روزتر از تصاویر ماهواره‌ای و نرم افزارهای متفاوت اجتناب‌ناپذیر است. از سویی بررسی ارتباط فرونشست با تغییرات آب- زیرزمینی به لحاظ روابط همبستگی ریاضی و بررسی تأخیرات زمانی ما بین هر دو فرآیند (افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست) نیز در تحقیقات قبلی این منطقه به چشم نمی‌خورد. لذا در این تحقیق بر مبنای عکس‌های ماهواره‌ای به روزتر و آمار و اطلاعات موجود آب زیرزمینی، اقدام به تعیین میزان و نرخ فرونشست و نحوه ارتباط آن با تغییرات آب زیرزمینی و زمان‌های تأخیر ما بین آنها گردید. نهایتاً ارائه پیشنهاداتی کاربردی و عملی به منظور کنترل فرونشست در منطقه، از جمله مزایای این تحقیق به شمار می‌رود.



شکل ۲- هیدروگراف آبخوان کبودراهنگ.

موقعیت فروچاله‌های ایجاد شده در آبخوان در جدول ۱ ارائه گردیده است. ۱۸ فروچاله اصلی با درج مشخصات و موقعیت که دارای ابعاد نسبتاً بزرگ می‌باشد ارائه و همچنین تعدادی فرونشست موضعی نیز در منطقه شناسایی که به دلیل رعایت اختصار از درج مشخصات آنها در این مقاله خودداری گردیده است. کلیه موارد نیز به شکل بازدید میدانی و با استفاده GPS دستی تعیین موقعیت یافتند (شکل ۳a,b).

(جدول ۱ و شکل ۳). در محدوده آبخوان تعداد ۲۲۸۹ حلقه چاه وجود داشته که اکثراً به منظور کشاورزی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند (شکل ۳c). نقشه پراکنش بافت خاک دشت در شکل ۳d ارائه شده است (شرکت آب منطقه ای همدان ۲۰۲۰). طبق لوگ چاه‌های اکتشافی حفاری شده خاک منطقه در لایه سطحی از سیلت و رس و در بقیه لایه‌ها تناوبی از گراول، ماسه و سیلت و همراه رس با سنگ کف کارستی می‌باشد. دانسیته خشک لایه سطحی ۱/۸۵ گرم بر سانتی متر مکعب و چگالی اشباع ۲/۱ گرم بر سانتی متر مکعب است. میانگین ضخامت آبرفت از ۲۰ تا ۱۲۰ متر در محدوده دشت قابل تبیین است. همچنین وجود رس و سیلت منجر به شرایط نفوذپذیری و تراوایی پایین منطقه گردیده است (کریمی و طاهری ۲۰۱۰).



شکل ۱- آبخوان کبودراهنگ و محدوده مطالعاتی.

جدول ۱- مشخصات فروچاله‌های آبخوان کبودراهنگ.

ردیف	محدوده مطالعاتی	محل	X	Y	قطر (m)	عمق (m)	تاریخ وقوع
۱	کبودراهنگ	بابان	295496	3899763	4	4	نامشخص
۲	کبودراهنگ	شاوه	286544	3895892	10	5	نامشخص
۳	کبودراهنگ	کردآباد	299211	3888454	27.7	10	نامشخص
۴	کبودراهنگ	خان آباد	295344	3894429	7	12	1995
۵	کبودراهنگ	کردآباد	299567	3888821	22	8	1995
۶	کبودراهنگ	حصار	279627	3901716	3	1	1998
۷	کبودراهنگ	امیرآباد	289590	3901017	-	-	1999
۸	کبودراهنگ	نوآباد	296997	3889035	15	5	1999
۹	کبودراهنگ	کردآباد	298841	3888240	45	7	2003

ادامه جدول ۵

2003	12	31	3888249	298819	کردآباد	کبودراهنگ	۱۰
2003	2	10	3893667	290945	گندجین	کبودراهنگ	۱۱
2004	20	25	3888739	299452	کردآباد	کبودراهنگ	۱۲
2004	10	29	3888384	298872	کردآباد	کبودراهنگ	۱۳
2005	14	38	3888384	298927	کردآباد	کبودراهنگ	۱۴
2005	7	18	3888449	299049	کردآباد	کبودراهنگ	۱۵
2008	17	25.6	3899806	295573	بابان	کبودراهنگ	۱۶
2012	1	40	3901848	289526	آق تپه	کبودراهنگ	۱۷
2018	30	40	3888440	297732	کردآباد	کبودراهنگ	۱۸

## داده‌های مورد استفاده

خط مبنای کوتاه استفاده گردید (ژائو و همکاران ۲۰۱۳). پس از تشکیل این تداخل‌سنج‌ها، یک شبکه از تصاویر ایجاد شد و با استفاده از روش کمترین مربعات، مقدار جابه‌جایی هر پیکسل محاسبه گردید (دانگ و همکاران ۲۰۱۴). تصاویر مورد استفاده، ۱۱ تصویر راداری خام سنتینل-۱A در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۱۴ بود (روحی و همکاران ۲۰۲۱) (جدول ۲). این تصاویر و داده‌های خام به فرمت SLC از سایت Copernicus دانلود و از طریق افزونه SARSCAPE5.2 در نرم‌افزار تخصصی ENVI5.3 مورد پردازش قرار گرفت و بر مبنای آن محاسبات مربوطه و انتخاب زوج تصاویر انجام شد.

## داده‌های تغییرات آب‌های زیرزمینی

در محدوده مورد مطالعه تعداد ۴۹ چاه مشاهده‌ای وجود داشته که سطح آب‌زیرزمینی در آن‌ها در بازه زمانی حدوداً ۳۲ سال (۱۳۹۹-۱۳۶۷) اندازه‌گیری شده است. لذا به منظور یافتن علل فرونشست در منطقه مطالعاتی، یافته‌های روش تداخل-سنجی راداری با تغییرات سطح ایستابی آب‌زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای مذکور مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت. محل چاه‌های مشاهده‌ای در شکل ۴ ارائه شده است.

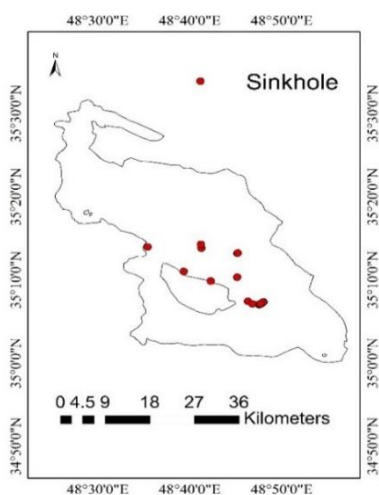
داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل ترکیبی از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده‌های راداری و داده‌های مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای (در بازه زمانی تصاویر ماهواره‌ای) می‌باشد.

## داده‌های راداری و تداخل‌سنجی:

جهت مقایسه فازهای دو تصویر راداری از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و ایجاد تداخل‌سنج استفاده شد (رکولس و همکاران ۲۰۰۳). عواملی همچون توپوگرافی، انحنای زمین، جابه‌جایی سطح زمین، اتمسفر و نویز دقت تداخل‌سنج‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (هانسن و همکاران ۲۰۰۱، یون و همکاران ۲۰۱۵) که در این راستا جهت حذف اثر عوامل توپوگرافی از نقشه رقومی<sup>۴</sup> با دقت ۳۰ متر و جهت رفع اثر نویز و تصحیح اتمسفری از فیلتر گلدشتاین (گلدشتاین و وارنر ۱۹۹۸) استفاده گردید (پاپی و همکاران ۲۰۲۰).

## آنالیز سری زمانی تداخل‌سنجی

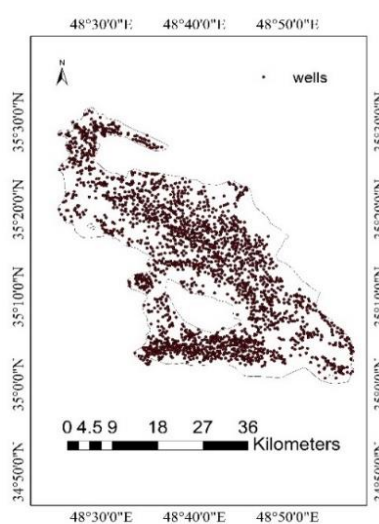
عدم همبستگی زمانی و مکانی بین تصاویر سبب کاهش همبستگی و عدم اطمینان تداخل‌سنج‌ها می‌گردد (علیپور و همکاران ۲۰۰۸). لذا پس از تولید تداخل‌سنج‌ها، برای تحلیل سری زمانی جابه‌جایی (با عنایت به زمان متفاوت و مکان یکسان)، از آنالیز سری زمانی به روش



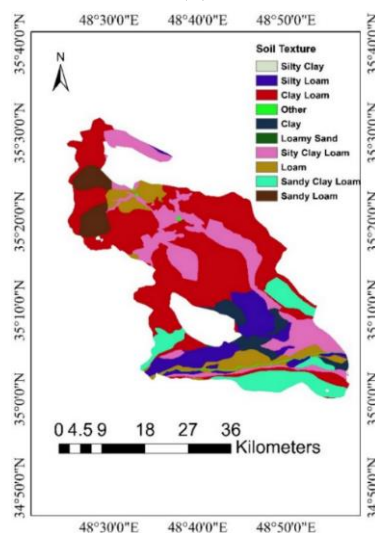
(a)



(b)



(c)



(d)

شکل ۳- محل فروچاله ها (a)، نمونه فروچاله ها (b)، محل چاه های بهره برداری (c) و بافت خاک (d).

جدول ۲- مشخصات تصاویر راداری ماهواره سنتینل مورد استفاده .

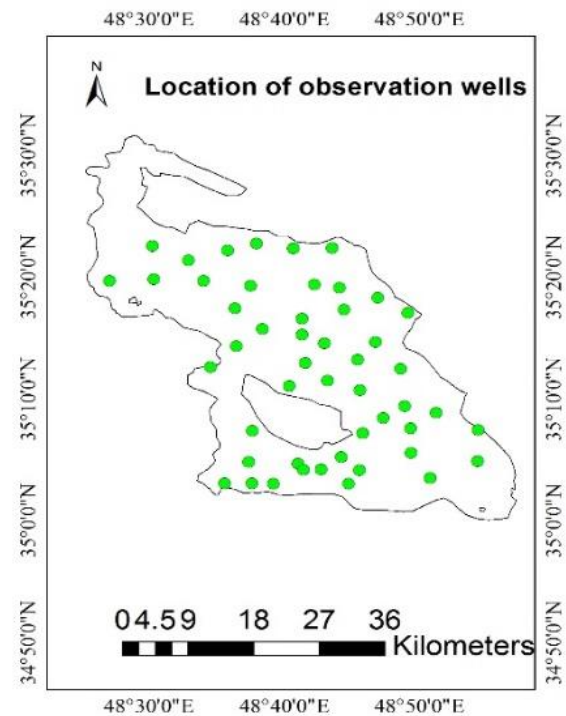
ردیف	تاریخ تصویر ماهواره ای	فرمت تصویر	مد تصویر	عبور تصویر	پولاریزیشن
۱	2014/12/23	SLC	IW	Descending	VV
۲	2015/04/22	SLC	IW	Descending	VV
۳	2015/10/07	SLC	IW	Descending	VV
۴	2016/04/16	SLC	IW	Descending	VV
۵	2016/10/25	SLC	IW	Descending	VV
۶	2017/04/23	SLC	IW	Descending	VV
۷	2017/10/20	SLC	IW	Descending	VV
۸	2018/04/30	SLC	IW	Descending	VV
۹	2018/10/15	SLC	IW	Descending	VV
۱۰	2019/04/25	SLC	IW	Descending	VV
۱۱	2019/10/22	SLC	IW	Descending	VV



ماهانه بوده و در طول ماه‌های نزدیک تغییرات آب زیرزمینی چندان زیاد نمی‌باشد و از سویی با عنایت به فاصله ۶ ماهه زمانی مابین تصاویر ماهواره‌ای، لذا فرآیند رگرسیون‌گیری در دوره‌های بدون تأخیر، تأخیرهای ۶ ماهه، یکساله، یک و نیم ساله و دو ساله انجام شد و نهایتاً میزان تغییرات ضریب همبستگی مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

### نتایج و بحث

بعد از انجام تحلیل‌های تصاویر سنتینل در نرم‌افزار ENVI، لایه خروجی از نرم‌افزار مبنی بر نرخ فرونشست تهیه و به نرم‌افزار ARC GIS 10.4 منتقل گردید (شکل ۵). همان‌طور که در شکل ۵ مشهود است نرخ و دامنه فرونشست در قسمت‌های شرقی پایین‌ترین مقدار و در به سمت جنوب نرخ و دامنه فرونشست افزایش می‌یابد. به‌طوریکه نرخ فرونشست در قسمت‌های جنوب و جنوب غربی آبخوان به بیش از ۱۲۹/۵ میلی‌متر در سال می‌رسد. بیشترین بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی نیز در این مناطق اتفاق می‌افتد (کریمی و طاهری ۲۰۱۰). کم ارتفاع‌ترین و کم‌شیب‌ترین پهنه‌ها به قسمت‌های جنوب غربی محدوده آبخوان اختصاص دارد. با توجه به شکل ۵ اکثر نقاط دشت به غیر از برخی مناطق جنوب شرق و شمال با شدت و ضعف دارای فرونشست بوده که این امر نشان دهنده تأثیر فرونشست می‌باشد. شایان ذکر است در نقشه مقادیر مثبت نشانده بالآمدگی به سمت دید راداری و مقادیر منفی مربوط به دور شدن از دید راداری یا فرونشست می‌باشد (چاتراچی ۲۰۰۶، مهربانی و غضنفرپور ۲۰۱۸، قره‌چلو و همکاران ۲۰۲۱).



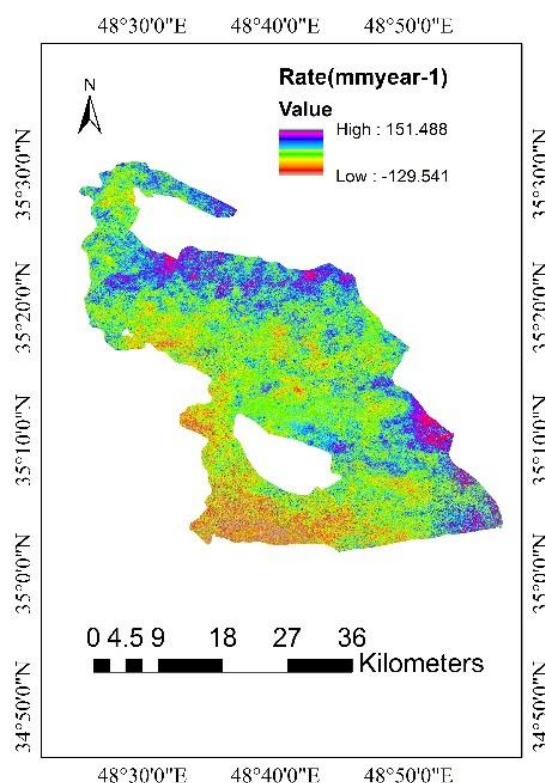
شکل ۴- محل چاه‌های مشاهده‌ای.

پس از تهیه نقشه میزان فرونشست، به‌منظور درک بهتر تأثیر افت آب‌زیرزمینی منطقه بر فرونشست، نتایج حاصل از تداخل‌سنجی راداری به صورت نمودارهای سری زمانی ترسیم و با نمودارهای تغییرات سطح آب‌زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای که در همان نقاط به صورت دو به دو مقایسه شد. بدین منظور میزان فرونشست در طول هر تداخل‌نگار ( دوره زمانی مابین دو تصویر ) تهیه و به نرم‌افزار ARCGIS 10.2 معرفی گردید و میزان فرونشست در نقاط چاه‌های مشاهده‌ای در نرم‌افزار مذکور تهیه شد. با توجه به اینکه تأثیر افت سطح آب بلافاصله بر فرونشست زمین اثر نگذاشته و با تأخیری زمانی این مسئله اتفاق می‌افتد (گائو و همکاران ۲۰۱۸، چن و همکاران ۲۰۱۹، پاپی و همکاران ۲۰۲۰ و ژائو و همکاران ۲۰۲۰). لذا جهت ارزیابی موضوع و با توجه به اینکه دوره‌های زمانی اندازه‌گیری چاه‌های مشاهده‌ای بلحاظ آماری به شکل

چاه های مشاهده ای فوق الذکر می باشد که می تواند نشان از کاهش قدرت فرونشست در بهره برداری از آب در گذشت زمان ( حد فاصل زمانی بین اولین و آخرین تصویر ماهواره ای اخذ شده) باشد. همانگونه که در شکل های ۶ و ۷ مشخص است در حالت تجمعی تغییرات، همبستگی بیشتری نسبت به نرخ تغییرات به چشم می خورد که آنرا می توان در تأثیرپذیری کلی میزان تغییرات سطح در اثر تغییرات آب زیرزمینی نسبت به نرخ آن دانست. در این خصوص گرادیان کاهشی مذکور دال بر عبور عمق آب زیرزمینی از لایه های حساس (کاملاً یا بیشتررسی) ( مطابق جدول ۳) می باشد که بعد از ازدیاد افت آب، تأثیر آن بر فرونشست رو به کاهش قرار گرفته است.

### جدول ۳ - لوگ چاه در عمق آب زیرزمینی.

ردیف	نام چاه مشاهده ای	نوع خاک واقع در عمق آب زیرزمینی
۱	بابان	شن و رس
۲	قباق تپه ایدلو	شن و رس
۳	نوآباد	سنگ آهک
۴	روعان	شن و گراول
۵	خلعت آباد	رسی شنی
۶	شمال کبودراهنگ	عمق آب پایین تر از عمق لوگ چاه
۷	سردارآباد آق تپه	عمق آب پایین تر از عمق لوگ چاه
۸	قباق تپه قره گل	رس و گراول
۹	تاسران	گراول ماسه ای با کمی سیلت
۱۰	کبودراهنگ	شن و گراول و رس
۱۱	شمال داق داق آباد	گراول و رس



شکل ۵- نرخ فرونشست در محدوده حد فاصل سالهای ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹.

مقایسه سری زمانی تغییرات تراز آب چاه های مشاهده ای و تغییرات تراز سطح زمین حاصل از تداخل سنجی راداری بررسی ارتباط ما بین نرخ فرونشست و افت سطح آب زیرزمینی

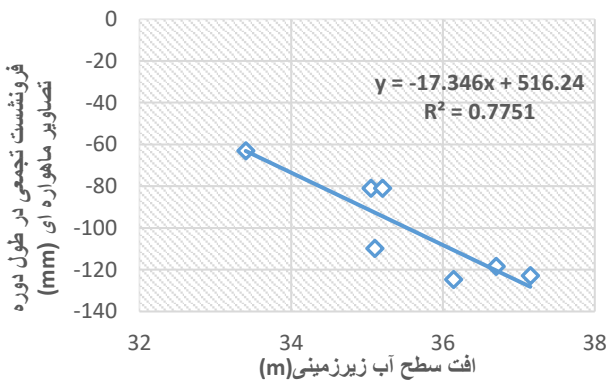
تعدادی از چاه های مشاهده ای (جدول ۳) که دارای افت در تاریخ آخرین عکس ماهواره ای نسبت به سطح آب همان چاه در تاریخ اولین عکس ماهواره ای بودند انتخاب و مابین افت سطح آب و میزان نرخ فرونشست (شکل ۶) و در نمودار دیگر مابین افت سطح آب و میزان فرونشست تجمعی حاصل از تداخل سنجی راداری در طول دوره زمانی مورد نظر (شکل ۷) اقدام به تعیین رابطه رگرسیونی گردید. نتایج حاصل از شکل های ۶ و ۷ بیانگر روند کاهشی نرخ فرونشست و فرونشست تجمعی در اثر افزایش افت آب زیرزمینی در

مهاجران نیز به دلیل نزدیکی به مناطق جمعیتی و نواحی فرونشستی انتخاب گردیدند) در مقابل تغییرات سطح آب زیرزمینی در طول زمان مورد نظر به عنوان چاه‌های منتخب اقدام گردید.

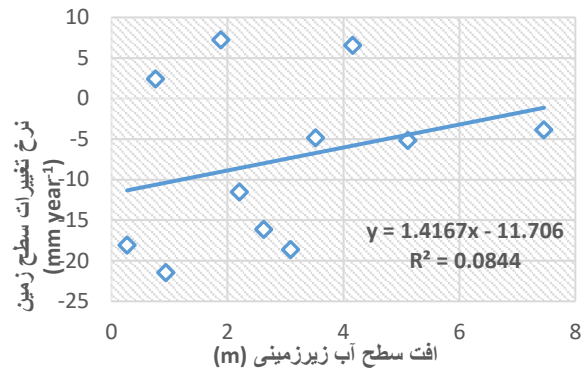
۲- بررسی ارتباط نشست و سطح آب زیرزمینی در چاه‌های منتخب

بررسی ارتباط نشست و سطح آب زیرزمینی در محل چاه مشاهده‌ای شمال مهاجران و مهاجران:

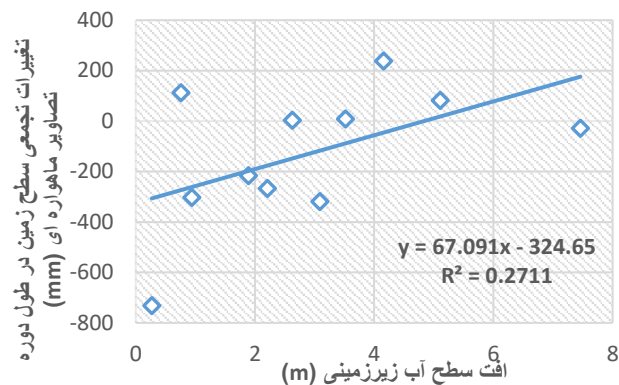
با بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در طول زمان مورد نظر و بررسی میزان فرونشست صورت گرفته نشان‌دهنده همبستگی تا ۷۷ درصد در چاه شمال مهاجران و تا ۴۳ درصد در چاه مهاجران و گرادیان افزایشی میزان فرونشست در مقابل افت سطح آب زیرزمینی می‌باشد (شکل ۸ و ۹). با توجه به قرارگیری محل‌های مذکور به مناطق کشاورزی جنوب غربی دشت (شکل ۵) و استحصال زیاد مناطق مذکور از آب زیرزمینی به منظور آبیاری محصولات کشاورزی (کریمی و طاهری ۲۰۱۰) لذا روند نمودارها کاملاً منطقی به نظر می‌رسد.



شکل ۸- همبستگی بین افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست تجمعی در چاه مشاهده ای شمال مهاجران.



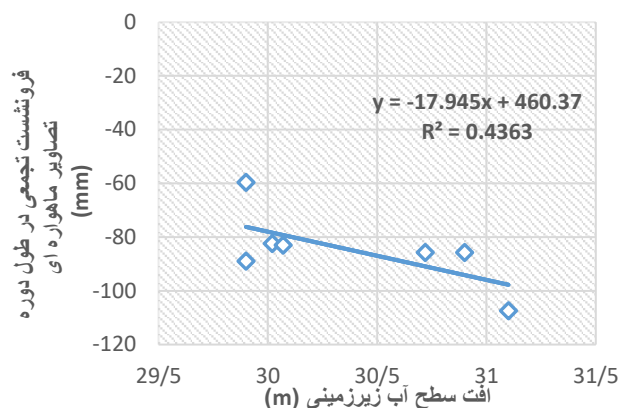
شکل ۶- رابطه بین افت سطح آب زیرزمینی و نرخ تغییرات سطح زمین در چاه‌های جدول ۱۱.



شکل ۷- رابطه بین افت سطح آب زیرزمینی و تغییرات تجمعی در چاه‌های جدول ۱۱.

در گام بعد به منظور درک بهتر تأثیر افت آب زیرزمینی منطقه بر روی فرونشست، نتایج حاصل از تداخل سنجی راداری با تأخیرهای مندرج در قسمت مواد و روشها طی (جدول ۴) ارائه شده است. براساس جدول ۴ در حالت کلی میزان میانگین ضریب همبستگی ( $R^2$ ) در شرایط با زمان تأخیر یک سال و نیم نسبت به سایر زمان‌های تأخیر چه به لحاظ میزان و چه تواتر وقوع در شرایط بالاتری قرار می‌گیرد. در این راستا ۹ مورد از موارد در شرایط زمان تأخیر یک سال و نیم بیش از سایر زمانهای تأخیر همبستگی بیشتری از خود نشان دادند. ذیلاً نسبت به تحلیل تغییرات فرونشست ۶ چاه ( کوریجان ۱، کوریجان ۲ و شمال مهاجران به دلیل همبستگی بالا، چاه نوآباد به دلیل مجاورت با نیروگاه شهید مفتاح، چاه خان‌آباد به دلیل گرادیان کاهشی تغییرات فرونشست نسبت به تغییرات سطح آب و

منطقه نوآباد با توجه به قرارگیری در مجاورت نیروگاه برق شهید مفتاح دارای افت سطح آب بالایی می‌باشد به طوری که فروچاله‌هایی نیز در منطقه مذکور ایجاد گردیده است. در شرایط بدون در نظرگیری هرگونه تأخیر زمانی، همبستگی به میزان ۶۰ درصد مابین فرونشست زمین و عمق سطح آب زیرزمینی تعیین گردید (شکل ۱۰). شیب زیاد و همبستگی ایجاد شده با توجه به تغییرات عمق آب‌زیرزمینی در دوره مذکور در داخل بافت آهکی (مطابق لوگ چاه-جدول ۳) منطقی به نظر می‌رسد.



شکل ۹- همبستگی بین افت آب زیرزمینی و فرونشست تجمعی در چاه مشاهده ای مهاجران.

### بررسی ارتباط نشست و سطح آب زیرزمینی در محل چاه مشاهده‌ای نوآباد:

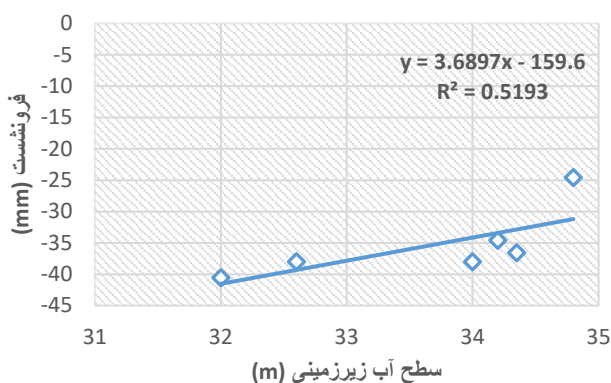
جدول ۴- میزان همبستگی بین فرونشست و سطح آب زیرزمینی در چهار مرحله تأخیر.

میزان فرونشست بحسب mm year <sup>-1</sup>	ضریب همبستگی با ۲۴ ماه زمان تأخیر	ضریب همبستگی با ۱۸ ماه زمان تأخیر	ضریب همبستگی با ۱۲ ماه زمان تأخیر	ضریب همبستگی با ۶ ماه زمان تأخیر	ضریب همبستگی بدون زمان تأخیر	نام چاه مشاهده ای
-18	0.1	0.14	0.03	0.25	0.23	روغان
9.5	0.56	0.57	0.43	0.5	0.02	عین آباد
-18.6	0.08	0.006	0.13	0.19	0.6	نوآباد
-4.8	0	0.43	0	0.003	0	شمال داق داق آباد
-5.7	0.07	0.15	0.12	0.51	0.14	خان آباد
-3.8	0.02	0.01	0.12	0.19	0.04	بابان
-27.8	0.29	0.007	0.01	0.01	0.14	تغذیه مصنوعی قرخلر
-21.1	0.02	0.08	0.14	0.74	0.64	کوريجان ۲
-22.6	0.62	0.03	0.26	0.09	0.1	کوريجان ۱
-5.6	0.02	0.01	0.01	0.17	0.03	شمال کبودراهنگ
-20.9	0.09	0.27	0.14	0	0.03	امیرآباد
-25.5	0.18	0.35	0.2	0.06	0	کوريجان
-6.3	0.007	0.19	0.04	0.42	0.48	شمال غرب قزلجه
-32.02	0.37	0.77	0.37	0.49	0.02	شمال مهاجران
-21.3	0.23	0.43	0.02	0	0.03	مهاجران
-20.8	0.42	0.3	0.22	0	0.007	مارهموار
-2.4	0.18	0.09	0.03	0.66	0.74	شریعت آباد
-21.4	0.016	0.24	0.14	0.27	0	شمال غرب سردارآباد
-21.5	0.09	0.4	0.14	0.02	0.03	شمال اورقین
-4.6	0.47	0.002	0	0.12	0.03	احمدآباد

ادامه جدول ۵

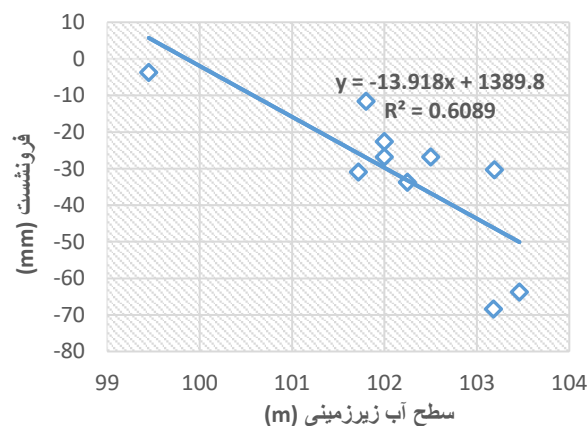
-13.3	0.14	0.47	0.34	0.46	0.44	کوشک آباد
-11.5	0.03	0.52	0	0.34	0.05	تاسران
-20.6	0.09	0.26	0.77	0.49	0.68	شمال تاسران
-12.9	0	0.09	0.12	0	0.14	چایان
-26.2	0.04	0.019	0	0.003	0.05	جنوب شرق قره گل
-16.11	0.045	0.03	0.0014	0.005	0.27	قباق تپه قره گل
-9.9	0.001	0.44	0.07	0.02	0.33	جنوب شرق ایدلو
-6.08	0.004	0.4	0.15	0	0.03	ناصرآباد
-32.02	0.62	0.77	0.77	0.74	0.74	حداکثر
-2.4	0	0.002	0	0	0	حداقل
-14.7	0.15	0.24	0.14	0.21	0.19	میانگین

بررسی ارتباط نشست و سطح آب زیرزمینی در محل چاه مشاهده‌ای کوریجان ۲:



شکل ۱۱- همبستگی بین سطح آب زیرزمینی و فرونشست در چاه مشاهده ای خان آباد.

با بررسی موقعیت چاه کوریجان ۱ و واقع بودن آن در مجاورت تغذیه مصنوعی کوریجان و اثرات تغذیه‌ای پروژه مذکور منجر به کاهش نرخ فرونشست در اثر افزایش افت سطح آب زیرزمینی گردیده است. هر چند در چاه کوریجان ۱ (شکل ۱۳) علی رغم تأخیر ۲ ساله با همبستگی ۶۲٪ روند تغییرات فرونشست نسبت به کاهش سطح آب، افزایشی است. از بررسی نمودارهای فوق می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت میزان همبستگی برآورد شده و گرادیان‌های افزایشی و کاهش‌ی روند در نقاط مختلف، ناشی از ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه، نوع خاک و تأخیر زمانی رخداد فرونشست نسبت به برداشت آب زیرزمینی و جنس مصالح عمقی از زمین که

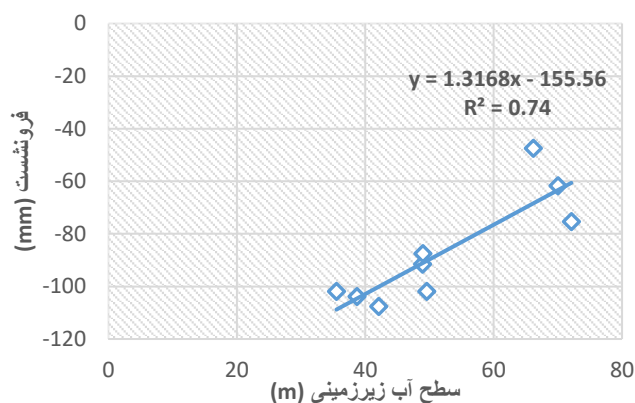


شکل ۱۰- همبستگی بین سطح آب زیرزمینی و فرونشست در چاه مشاهده‌ای نوآباد.

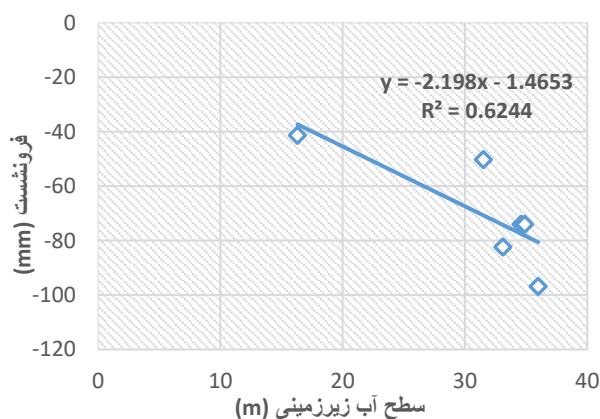
بررسی ارتباط نشست و سطح آب زیرزمینی در محل چاه مشاهده‌ای خان آباد:

با توجه به شرایط مذکور بعد از بازدید میدانی و بررسی محل مشخص گردید محل مذکور در مجاورت روستا بوده و محل تجمع روناب های سطحی و چاه جذبی فاضلاب روستا می‌باشد که به دلیل اثر تغذیه‌ای، گرادیان فرونشست نسبت به افزایش عمق آب نسبت به سطح زمین کاهش‌ی گردیده است (شکل ۱۱).

منطقه، زمان تأخیر طولانی ( ۱/۵ سال ) منطقی به نظر می‌رسد.



شکل ۱۲ - همبستگی بین سطح آب زیرزمینی و فرونشست در چاه مشاهده ای کوریجان ۲.



شکل ۱۳ - همبستگی بین سطح آب زیرزمینی و فرونشست در چاه مشاهده ای کوریجان ۱.

میزان ۱۲۴/۷ میلیمتر تعیین گردید. لذا به طور متوسط به ازاء هر متر افت آب زیرزمینی آبخوان ۷۲/۵ میلیمتر فرونشست سطح زمین اتفاق افتاده است. همچنین به طور متوسط نرخ فرونشست را به میزان ۱۳ میلیمتر در هر ۶ ماه می‌توان در نظر گرفت که این نتیجه در راستای مطالعات فرونشست منطقه کبودراهنگ با استفاده از تصاویر ماهواره ای توسط شیخ احمدی و همکاران (۲۰۱۷) می‌باشد. بر اساس تحقیقات شیخ احمدی و همکاران (۲۰۱۷) در حد فاصل سالهای ۱۳۸۲

سطح آب زیرزمینی در دوره مورد بررسی و اثرات تغذیه‌ای در محل می‌باشد. همچنین تأخیز زمانی نیز به دلیل تفاوت هدایت هیدرولیکی رسوبات و ضخامت آنها به وجود آمده است ( پاپی و همکاران ۲۰۲۰ ، حقیقت مهر و همکاران ۲۰۱۲ ).

در ابتدای سال ۹۸ به دلیل بارندگی زیاد و سیلابی که در کل ایران و علی‌الخصوص استان همدان به وقوع پیوست منجر به افزایش سطح آب‌های زیرزمینی گردید به طوری که در ۵ چاه مورد مطالعه سطح آب زیرزمینی در زمان دریافت آخرین عکس ماهواره سنتینل در سطح بالاتری نسبت به اولین تاریخ تصویر قرار می‌گیرد. از این بین فقط چاه نو آباد کاهش سطح آب را نشان می‌دهد و ضمن آنکه تأخیری نیز بین سطح آب و فرونشست در منطقه به چشم نمی‌خورد. این مسئله تا حدی گواه این مطلب است که اولاً به دلیل عمق بالای سطح آب زیرزمینی در منطقه مذکور چندان متأثر از شرایط خوب بارندگی قرار نگرفته است و از سوی دیگر به واسطه نزدیکی منطقه نوآباد به نیروگاه شهید مفتح و تأثیری که افت سطح آب منطقه و حیطه تأثیر نیروگاه بر منطقه مذکور داشته، منجر به خنثی سازی تأثیر بارندگی گردیده است. در واقع می‌توان در نظر گرفت که سیلاب سال ۹۸ تأثیری بر منطقه نوآباد به لحاظ تغذیه آب زیرزمینی نداشته و یا تأثیر ناچیزی بر آن داشته است. به طور کلی با توجه به افت سنگین سنوات قبل سطح آب زیرزمینی و بافت خاک لومی رسی ۳- بررسی ارتباط میزان افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست جمععی :

میزان نشست سطح آب زیرزمینی حاصل از

هیدروگراف آبخوان و میزان فرونشست حاصل از تکنیک تداخل‌سنجی راداری در جدول ( ۵ ) ارائه شده است.

طی سالیان مذکور، افت سفره (هیدروگراف

آبخوان) از تاریخ ۹۳/۱۰/۰۲ لغایت ۹۸/۰۷/۳۰ به میزان ۱/۷۲ متر می‌باشد و فرونشست جمععی اتفاق افتاده به

کشاورزی می‌باشد و لذا بیشتر فرونشست در اراضی کشاورزی و علی‌الخصوص کشت‌های آبی اتفاق افتاده که در راستای تحقیقات گنجائیان و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی فرونشست دشت همدان- بهار و مناطق کشاورزی متأثر از آن می‌باشد.

تا ۱۳۸۶ نرخ فرونشست دشت کبود راهنگ ۶۰ میلیمتر در سال و فرونشست تجمعی در این دوره ۲۴۰ میلیمتر بوده است که با توجه به افت بیشتر سطح آب‌زیرزمینی در آن زمان، نتایج این تحقیق را منطقاً تأیید می‌نماید. با توجه به شکل ۳ C و شکل ۵ نقاط دارای فرونشست در مجاورت چاه‌های بهره‌برداری قرار گرفته است و از سویی اکثر کاربری مورد استفاده چاه‌ها به منظور

جدول ۵- میزان فرونشست و افت سطح آب زیرزمینی به تفکیک تداخل نگارها.

ردیف	سال	تغییرات هیدروگراف آبخوان (m)	میانگین فرونشست (mm)
1	12/23/2014	0.79	-5.1
2	04/22/2015	-2.16	-11.14
3	10/07/2015	0.35	-7.95
4	04/16/2016	-1.54	-10
5	10/25/2016	1.69	-13.02
6	04/23/2017	-0.76	-13
7	10/20/2017	1.46	-22.4
8	04/30/2018	-1.01	-16.89
9	10/15/2018	3.90	-10.7
10	04/25/2019	-1.03	-14.48

### نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش اقدام به بررسی فرونشست زمین در دشت کبود راهنگ با استفاده از روش تداخل سنجی راداری گردید. براساس نتایج حاصله، فرونشست تجمعی در دوره انجام تحقیق به میزان ۱۲۴/۷ میلیمتر و به طور متوسط ۱۳ میلیمتر در هر ۶ ماه رخ داده است. مقایسه نتایج حاصله با تحقیقات مشابه در منطقه مذکور در بازه‌های زمانی مختلف نشان از کاهش نرخ فرونشست از سنوات قبل تا زمان حاضر در راستای کاهش تغییرات هیدروگراف آبخوان می‌باشد. زمان تأخیر مابین تغییرات آب‌زیرزمینی و رخداد فرونشست به میزان ۱/۵ سال برآورد گردید. همچنین همبستگی مابین تغییرات آب‌زیرزمینی و فرونشست در برخی چاه‌ها زیاد و در برخی چاه‌ها نیز کمتر و متفاوت دیده شد که این امر ناشی از ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه، نوع خاک و تأخیر زمانی رخداد فرونشست نسبت به برداشت آب‌زیرزمینی و جنس

مصالح عمقی از زمین که سطح آب‌زیرزمینی در دوره مورد بررسی در آن واقع گردیده و اثرات تغذیه‌ای، می‌باشد. طبق نتایج قسمت جنوب و جنوب غربی دشت، مستعدترین پهنه‌ها نسبت به وقوع فرونشست می‌باشد. دامنه‌های روبه شمال و شرق در طولانی‌مدت در معرض اشعه آفتاب قرار دارند که در آن پوشش گیاهی به اندازه دامنه‌های رو به جنوب و غرب متراکم نیست. از این رو، قطرات باران نمی‌تواند در خاک لخت نفوذ کند و منافذ خاک به دلیل عدم پوشش گیاهی کافی در اثر بارندگی شدید مسدود می‌شود. در نتیجه، پتانسیل وجود آب‌های زیرزمینی و تغذیه آن در دامنه‌های روبه غرب و جنوب بیشتر از دامنه‌های رو به شمال و شرق می‌باشد (رضایی و همکاران ۲۰۱۹). علی‌رغم داشتن پتانسیل فوق در قسمت جنوب و جنوب غرب متأسفانه شاهد استفاده از شخم‌های سطحی در اراضی کشاورزی می‌باشیم و این امر در طول سالیان متمادی منجر به ایجاد لایه نفوذناپذیر در اعماق ۰/۵ تا ۱ متری



آبیاری به منظور تعدیل برداشت از آبخوان و تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی می‌بایست مدنظر قرار گیرد. منجمله نقطه مثبت قابل اشاره در این خصوص به رویکرد وزارت نیرو در تعریف پروژه انتقال پساب شهر همدان از تصفیه خانه بهرام‌آباد به سمت نیروگاه شهید مفتاح می‌توان اشاره نمود. پروژه مذکور در جهت کمک به کاهش استفاده از چاه‌های نیروگاه و استفاده جایگزین از پساب بوده و در حال بهره‌برداری می‌باشد.

#### سپاسگزاری

از دفتر مطالعات شرکت آب منطقه ای همدان علی الخصوص جناب آقای مهندس صفری کمیل جهت همکاری‌ها با این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

خاک شده و در نتیجه هرز آبهای ناشی از آبیاری مازاد و جریان‌های زیرسطحی و نفوذ بارندگی به اعماق سفره اتفاق نیافتاده و دشت کبودراهنگ سالیان مدیدی است که از این استعداد بی‌بهره مانده است. لذا استفاده از شخم عمیق تا حد ۰/۷ متر و حتی‌المقدور بیشتر، علاوه بر کمک به حاصلخیزی خاک، باعث شکستن لایه نفوذناپذیر شده و نهایتاً تغذیه سفره آب زیرزمینی را افزایش خواهد داد (اسکانلن و همکاران ۲۰۰۸) و به سبب آن تغذیه آب‌های زیرزمینی افزایش و نتیجتاً فرونشست نیز کنترل و تعدیل خواهد یافت. همچنین ارائه الگوی کشت مناسب و عدم کشت محصولات غیرراهبردی و پر آب‌بر، ساماندهی وضعیت آبیاری، توسعه سیستم‌های نوین آبیاری و ارتقاء راندمان

#### منابع مورد استفاده

- Abbasi D and Khani M, 2015. Investigation of the sinkholes of Kaboudrahang plain (Hamadan province) First International Conference on Geographical Sciences. Kharazmi Higher Institute of Science and Technology. 6 August. Shiraz (In Persian with English abstract)
- Abdollahi S, Pourghasemi HR, Ghanbarian GA and Safaeian R, 2019. Prioritization of effective factors in the occurrence of land subsidence and its susceptibility mapping using an SVM model and their different kernel functions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(6):4017-4034.
- Aghai AK, 2015. Survey of land subsidence—case study: The land subsidence formation in artificial recharge ponds at South Hamadan Power Plant, northwest of Iran. *Journal of Earth System Science*. 124:261–268.
- Alipour S, Motgah M, Sharifi MA and Walter TR, 2008. InSAR time series investigation of land subsidence due to groundwater overexploitation in Tehran, Iran. Pp. 1-5. Second Workshop on Use of Remote Sensing Techniques for Monitoring Volcanoes and Seismogenic Areas . IEEE. November, Tehran, Iran.
- Amira Ahmadi A, Maali Ahri N and Ahmadi, T, 2013. Determining the possible subsidence areas of Ardabil plain using GIS. *Journal of Geography and Planning* 17: 1 - 23 (In Persian with English abstract).
- Amiri R, Rezaei Y, Heidari Mozaffar, M and Jirani A, 2019. Investigation of the relationship between hydrological factors and groundwater level decline in Kaboudrahang plain using satellite imagery and GIS. Fourth International Conference on Agricultural Development, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran. University of Tabriz (In Persian with English abstract).
- Babae SS, Mouavi Z and Roostaei M, 2016. Time series analysis of SAR images using small baseline subset (SBAS) and persistent scatterer (PS) approaches to determining subsidence rate of Qazvin Plain. *Journal of Geomatics Science and Technology*. 5 (4):95-111 (In Persian with English abstract).
- Carbognin L, Teatini P and Tosi L, 2004. Eustacy and land subsidence in the Venice Lagoon at the beginning of the new millennium, *Journal of Marine systems*. 51(1-4): 345-353.
- Chatterjee R, Fruneau B, Rudan t J, Roy P, Frison P and Lakhera R, 2006. Subsidence of Kolkata (Calcutta) city, India during the 1990s as observed from space by Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry (D-InSAR) technique, *India: Remote Sensing of Environment* 102: 176-185.
- Chang CP, Chang TY, Wang CT, Kue CH and Chen KS, 2004. Land surface deformation corresponding to seasonal ground-water fluctuation, determining by SAR interferometry in the SW Taiwan, *Mathematics and Computers in Simulation*. 67: 351-359.



- Chavoshian M, Hosseini Kh and Khodaian S, 2011. Investigation of the relationship between groundwater level drop and sinkhole phenomenon F. A case study of Kaboudrahang and Famenin plains. Sixth National Congress of Civil Engineering. Semnan University, 26- 27 April, Semnan, Iran. (In Persian with English abstract).
- Chen B, Gong H, Lei K, Li J, Zhou C, Gao M, Guan H and Lv W, 2019. Land subsidence lagging quantification in the main exploration aquifer layers in Beijing plain, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 75:54-67.
- Chen J, Knight R, Zebker HA and Schreüder WA, 2016. Confined aquifer head Measurements and storage properties in the San Luis Valley, Colorado, from spaceborne InSAR observations. *Water Resources Research*, 52 (5): 3623-3636.
- Dehghani, M, Valadan Zoj MJ, Entezam I, Mansourian A and Saatchi S, 2009. InSAR monitoring of progressive land subsidence in Neyshabour northeast Iran. *Geophysical Journal International* 1:47-56.
- Dong S, Samsonov S, Yin H, Ye S and Cao Y, 2014. Time-series analysis of subsidence associated with rapid urbanization in Shanghai, China measured with SBAS InSAR method. *Environmental Earth Sciences*, 72(3): 677-691.
- Eggleston J and Pope J, 2013. Land subsidence and relative sea-level rise in the southern Chesapeake Bay region. *US Geological Survey Circular*, 1392, 30 p. <https://dx.doi.org/10.3133/cir1392>.
- Fanni Z and Ghashami SM, 2019. Zoning and spatial analysis of the susceptibility of four environmental hazards: Landslide, Flood, Earthquake and Subsidence (Case study: 22 Districts of Tehran). *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data*, 27(108):77-89 (In Persian with English abstract)
- Gao M, Gong H, Chen B, Li X, Zhou C, Shi M, Si Y, Chen Z and Duan, G, 2018. Regional land subsidence analysis in eastern Beijing plain by InSAR time series and wavelet transforms. *Remote Sensing* 10 (3): 365.
- Ganjaiyan H, Ghasemi A, Ebrahimi A and Asadpour Z, 2019. Evaluation of Hamedan-Bahar plain subsidence using SBAS time series method. *Geographical Studies of Arid Regions*. 9(36):62-73. (In Persian with English abstract).
- Gharechelou S, Akbari Ghoochani H, Golian S and Ganji K, 2021. Evaluation of land subsidence relationship with groundwater depletion using Sentinel-1 and ALOS-1 radar data (Case study: Mashhad plain). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(3):40-61. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.1.1.2>
- Goldstein RM and Werner CL, 1998. Radar interferogram filtering for geophysical applications. *Geophysical Research Letters* 25 (21):4035-4038.
- Haghighatmehr P, Valadan Zoj MJ, Tajik R, Jabbari S, Sahebi MR, Islami R, Ganjian M and Dehghani M, 2012. Analysis of Hashtgerd subsidence time series using radar interference method and global positioning system. *Journal of Earth Sciences*, 22 (85):105-114 (In Persian with English abstract).
- Hanssen RF, 2001. *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
- Jafari Gh and Mohammadi H, 2018. Landslide hazard zoning using control weight method, Case study of Kaboudrahang-Famenin plain. *Journal of Spatial Analysis, Environmental Hazards*. 6 (3): 71-88 (In Persian with English abstract)
- Karimi H and Taheri K, 2010. Hazards and mechanism of sinkholes on Kabudar Ahang and Famenin plains of Hamadan, Iran. *Natural Hazards* 55:481-499.
- Karimzadeh S, 2016. Characterization of land subsidence in Tabriz (NW Iran) using watershed and InSAR analyses, *Acta Geodaetica Geophysics* 51: 181-195.
- Khanlari Gh, Heidari M, Momeni, AA, Ahmadi M and Taleb Beydokhti A, 2012. The effect of groundwater overexploitation on land subsidence and sinkhole occurrences, western Iran Quarterly. *Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 45: 447-456.
- Lashkaripour Gh, 2008. Investigation of land subsidence in Neishabour plain and its relationship with groundwater level decline, research project of Khorasan Regional Water Company, Ferdowsi University of Mashhad, 9 pages (In Persian)
- Lashkaripour Gh, Ghafouri M, Peyvandi Z and Sweezy Z, 2005. Groundwater level drop and landslide in Mashhad plain. *Proceedings of the Ninth Conference of the Geological Society of Iran*, 8-9 September, Isfahan (In Persian with English abstract)

- Lashkaripour Gh, Ghafoori M and Rostami Barani HR, 2009. An investigation on the mechanism of earth-fissures and land subsidence in the western part of Kashmar Plain. *Scientific Semiannual Journal Sedimentary Facies*, 1(1):95-111 (In Persian with English abstract)
- Marikhpour M, Mousavi M, Khamechian M and Safari Kamil M, 2012. Groundwater drop modeling in Kaboudrahang plain of Hamadan using PMWIN software. *National Conference on Water and Wastewater Engineering*. Graduate University of Industrial and Advanced Technology. Kerman, Iran. (In Persian with English abstract).
- Mehrabi A and Ghazanfarpour H, 2018. Monitoring surface elevation changes of Kerman City and prediction of high-risk areas using ASAR and SENTINEL1 radar images. *Journal of Geology and Environmental Hazards* 8(2):167-182, doi: 10.22067/GEO.V0I0.77132.
- Mirasi S and Rahnama H, 2016. Analysis and evaluate the effective parameters on land subsidence. *Modares Civil Engineering Journal*. 16 (1): 45-54 (In Persian with English abstract)
- Motagh M, Djamour Y, Walter TR, Wetzel HU, Zschau J and Arabi S, 2007. Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran: results from InSAR, levelling and GPS. *Geophysical Journal International* 168: 518-526.
- Motagh M, Walter TR, Sharifi MA, Fielding E, Schenk A and Anderssohn J, 2008. Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation. *Geophysical Research Letters* 35:L16403, doi: 10.1029/2008GL033814.
- Nazari Khorram A and Rezaei Y, 2018. Investigating the relationship between groundwater leakage and soil moisture changes in Kaboudarahang Plain Hamedan .The First National Conference on Water Resources Management Strategies and Environmental Challenges. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources,30 April. Mazandaran, Iran (In Persian with English abstract).
- Pakravan Sh, 2005. Investigation of the phenomenon of land subsidence due to groundwater in the southwestern region of Tehran, MSc Thesis, University of Tehran (In Persian with English abstract )
- Papi R, Attarchi S and Soleimani, M, 2020. Analysing time series of land subsidence in the West of Tehran Province (Shahriar Plain) and its relation to groundwater discharge by InSAR technique. *Journal of Geography and Environmental Sustainability* 34:109-128 (In Persian with English abstract)
- Rahmati O, Golkarian, A Biggs T, Keesstra S, Mohammadi F and Daliakopoulos IN, 2019. Land subsidence hazard modeling: Machine learning to identify predictors and the role of human activities. *Journal of Environmental Management* 236:466-480.
- Raucoules D, Maisons C, Carnec C, Le Mouelic S, King C and 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(4): 468-478.
- Rizeei HM, Pradhan B, Saharkhiz MA and Lee S, 2019. Groundwater aquifer potential modeling using an ensemble multi-adoptive boosting logistic regression technique. *Journal of Hydrology*, 579: 124172.
- Roohi M, Faeli M, Irani M and Shamsaei E, 2021. Calculation of land subsidence and changes in soil moisture and salinity using remote sensing technique. *Environmental Earth Sciences* 80:423. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09723-2>.
- Regional Water Company of Hamedan (RWCH) 2020. Basic research reports of the Hamedan province water resources. 204pp (In Persian).
- Scanlon BR, Reedy RC, Baumhardt RL and Strassberg G, 2008. Impact of deep plowing on groundwater recharge in a semiarid region: Case study, High Plains, Texas .*Water Resources Research*, 44:W00A10, doi: 10.1029/2008WR006991.
- Shadfar S, Nasiri E, Chitgar S and Ahmadi A, 2016. Hazard zonation of land subsidence using analytical hierarchy process (AHP), Case study (city of Buin Zahra) *Geographical Journal of Territory* 12(48):101-116. (In Persian with English abstract).
- Sheikh Ahmadi P, Motaq M and Akbari, B, 2017. Investigation of Land subsidence phenomena in Hamedan Plain using radar interference satellite images. 8th International Conference on Comprehensive Crisis Management, 14-15 February, Tehran (In Persian with English abstract).
- Tabatabai ST, 2006. Prediction and zoning of groundwater subsidence due to groundwater abstraction in Rafsanjan, M.Sc. Thesis, Shahid Bahonar University of Kerman (In Persian with English abstract )

- Yun Y, Zeng Q, Green B, W and Zhang F, 2015. Mitigating atmospheric effects in InSAR measurements through high-resolution data assimilation and numerical simulations with a weather prediction model. *International Journal of Remote Sensing*, 36(8):2129-2147.
- Zamanirad M, Sarraf A, Sedghi H, Saremi A and Rezaee P, 2019. Modeling the influence of groundwater exploitation on land subsidence susceptibility using Machine Learning Algorithms. *Natural Resources Research* (29):1127–1141.
- Zhou C, Gong H, Chen B, Gao M, Cao Q, Cao J, Duan L, Zuo J and Shi M , 2020. Land subsidence response to different land use types and water resource utilization in Beijing-Tianjin-Hebei, China. *Remote Sensing* 12(3): 457. <https://doi.org/10.3390/rs12030457>.
- Zhou Z, 2013. The applications of InSAR time series analysis for monitoring long-term surface change in peatlands, PhD Thesis, University of Glasgow.