

## Investigating the effect of aquifer type and groundwater level drop on subsidence rate using radar interference technique and field data (Case study: Tehran-Karaj-Shahriar aquifer area)

Zahra Chatrsimab<sup>1</sup>, Ali Asghar Alesheikh<sup>2\*</sup>, Behzad Voosoghi<sup>3</sup>, Saeed Behzadi<sup>4</sup>, Mehdi Modiri<sup>5</sup>

1-Department of GIS/RS, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2-Department of GIS, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Iran

3-Geodesy Department, K. N. Toosi University of Technology, Tehran

4-Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

5-Department of Urban Planning, Malek-e-Ashtar University, Tehran, Iran

**Keywords:** Groundwater, Land subsidence, Different Interferometry, Fine Layers, Tehran-Karaj-Shahriar

### 1-Introduction

In the last decade, subsidence has occurred in large part of Iran's plains due to climatic drought and subsequent depletion of groundwater. The subsidence has caused a lot of environmental, economic, and social damage. The phenomenon of subsidence is slow and gradual, and its effects are long-term compared to other natural phenomena (Karemi et al., 2013). The most important reason for this phenomenon in recent decades is the decrease in groundwater level in areas with a fine-grained layer (clay and silt). Because as the groundwater level drops, effective stress increases, and the phenomenon of subsidence occurs. One of the reasons the subsidence phenomenon has different intensity and amplitude at different times and places is the thickness of the fine layers in different parts (Nameghi et al., 2013). Therefore, recognizing the thickness and spatial distribution of compressible layers at the aquifer level is essential in modeling the phenomenon of land subsidence due to the drop in the groundwater level. Tehran-Karaj-Shahriar alluvial aquifer is one of the most critical and primary sources of agricultural, drinking, and industrial needs. According to the aquifer's hydrograph, the rate of decrease in groundwater level during the 22-year water period (1993-2014) was 13.4 meters, or in other words, on average, it was 0.42 meters per year. This decrease in groundwater has increased the effective stress and compaction of the soil layers, which has eventually led to the emergence of the phenomenon of subsidence at the aquifer level. The existence of famous cities and residential areas in this plain (Tehran, Karaj, and Shahriar) and the existence of agricultural lands, gardens, and various industries in this area have made it essential to study and evaluate the causes of subsidence in this aquifer.

### 2-Methodology

In the present study, the region's hydro-climatic data (piezometric wells, pumping wells, and drilling logs; [www.wrm.ir](http://www.wrm.ir) <https://gsi.ir/fa>) were first collected. It used ENVISAT satellite radar data and the DInSAR method to study the Earth's subsidence over the years. In the final step, the relationship between them was examined by matching the thickness of the fine-layers, the groundwater level changes, and the land subsidence map. Then, by examining the stress-strain relationship and using radar interference measurements and groundwater level information at the piezometric wells, the rate of aquifer storage coefficient was obtained.

\*Corresponding author: alesheikh@kntu.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2020.30557.2028

Received 2019-08-04

Accepted 2020-07-02

### 3- Results and discussion

The subsidence pattern in this plain is V-shaped. The maximum subsidence rate of the area using DInSAR method, 17 cm per year, is observed in the center of the plain (Fig. 1). On the other hand, the study of groundwater level fluctuations in this plain shows that the groundwater level has decreased continuously and gradually over 15 years. The average annual decline in these 15 years was 42 cm, and the average 5-year decline over the period corresponding to the radar images of the region June 2004 to March 2008 was 54 cm. To interpret the relationship between the level of groundwater level drop and aquifer type with the subsidence of the region, the information of several piezometer wells located in the center and those outside the subsidence range (based on the subsidence map) were examined separately. In wells locating within the subsidence area, the amount of groundwater drawdown is about 10 to 15 meters, and the type of aquifer in these wells is fine-grained clay or silty-clay; that is the clay of these areas from the asymmetric layer. The maximum amount of subsidence in them is 4.5 to 8.5 cm per year. In these areas, even after the reduction of groundwater level through compensated aquifer recharge, the subsidence of the region has continued. Thus, the subsidence in these areas is irreversible, due to the presence of fine layers. The position of these wells on the figure 1 is marked with a circle called wells 2.

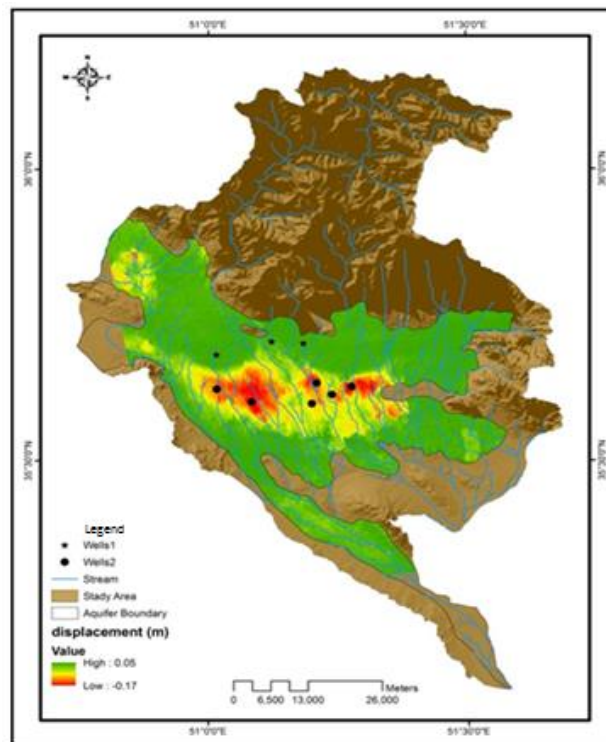


Fig. 1. Area subsidence map.

In contrast, wells outside the subsidence range have a water drop of between 20 and 25 meters. The aquifer in these areas is a type of coarse-grained sediment. In these areas, since aquifer is coarse-grained sediment, the threshold is very low, and in some areas, it is zero because these sediments have a low degree of compressibility and do not undergo significant compaction with increasing effective stress. The location of these wells is marked with an asterisk called wells 1. In the next step, in order to better understand the behavior of the plain, the results of the maps of the aquifer storage coefficient and transmission capability were examined, and it was determined that The maximum water reserve coefficient in the northern regions is about 15%. In the central parts and in the eastern parts, the aquifer is 3 to 6 percent, and in other parts, it is less than 3 percent. Also, the amount of water transfer capacity varies from 2500 in the central and western parts of the aquifer (areas with maximum subsidence) to less than 200 square meters per day in the south and about 2m/day in the northeast (with minimum subsidence is variable). In the northeastern part, although the alluvial sediments are coarse-grained, they have little transferability due to their low thickness. Therefore, the reduction in water transfer capacity in the southern regions that are mostly due to the low level of hydraulic conductivity of sediments and in the northern regions, especially in the northeast, due to the decrease in the thickness of the saturated layer.

#### 4-Conclusions

A comparison of the groundwater level change map and the thickness map of fine-grained layers showed that the most critical factor in the occurrence of subsidence is the sharp drop in groundwater in fine sediments that have high compressibility. As a result, areas fit to subsidence are common in precipitation densities and have low storage and transfer coefficients. Also, Tehran-Karaj-Shahriyar aquifer storage coefficients were evaluated based on groundwater level data and subsidence time series analysis, in the non-subsidence area about 16% and in the subsurface margin area about 6% and in the subsidence range about 2%. According to the results of the Differential Interference Method (DInSAR), subsidence occurred in the central part of the Tehran-Karaj-Shahriar plain with a maximum rate of 17 cm in the period 2004 to 2009. The subsidence in these areas is of the plastic subsidence type, and the role of the elastic subsidence is minimal. As a result, this subsidence will not be reversible, even though the recharge of groundwater aquifers and the groundwater level's return to the primary level. Plastic subsidence depends on factors such as the thickness of the compressible fine-grained sediments, the drop in water level, and the increase in effective stress. As a result, to control the rate of subsidence and reduce the destructive effects of this phenomenon in the region, it is recommended to prevent the removal of sand in the upper and inner areas of the subsidence (due to the negative effect on groundwater aquifer nutrition). It is also recommended to change the pattern of water consumption and cultivation for this region.

#### References

- Nameghi, H., Hosseini, S.M., Sharifi, M.B., 2013. An analytical procedure for estimating land subsidence parameters using field data and InSAR images in Neyshabur plain. *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology* 6, 33-50.
- Karemi, M., Ghanbari, A.A., Amiri, S., 2013. Measurement of the level of risk of land subsidence in No.18 urban residence area of Tehran. *Journal of Spatial Planning* 3, 37-56.

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Chatsimab, Z., Alesheikh, A.A., Voosoghi, B., Behzadi, S., Modiri, M., 2021. Investigating the effect of aquifer type and groundwater level drop on subsidence rate using radar interference technique and field data (Case study: Tehran-Karaj-Shahriar aquifer area). *Adv. Appl. Geol.* 10(4), 683-689.

DOI: 10.22055/AAG.2020.30557.2028

url: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_15855.html?lang=en](https://aag.scu.ac.ir/article_15855.html?lang=en)

## بررسی تاثیر جنس آبخوان و افت تراز آب زیرزمینی در میزان فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و داده‌های صحرائی (مطالعه موردی: حوزه آبخوان تهران - کرج - شهریار)

زهرا چتر سیماب

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

علی اصغر آل شیخ\*

گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

بهزاد وثوقی

گروه ژئودزی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

سعید بهزادی

گروه نقشه برداری، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

مهدی مدیری

گروه برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه مالک اشتر، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۲

\*alesheikh@kntu.ac.ir

### چکیده

در دهه اخیر، پدیده فرونشست در بخش وسیعی از دشت‌های ایران به علت خشکسالی اقلیمی و متعاقب آن برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی اتفاق افتاده است. این امر سبب بروز خسارت‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی فراوانی شده است. این تحقیق به بررسی تاثیر ضخامت لایه‌های ریزدانه و افت تراز آب زیرزمینی بر روی فرونشست آبخوان تهران - کرج - شهریار می‌پردازد.

در گام اول نقشه‌های ضخامت لایه‌های ریزدانه، تغییرات تراز آب زیرزمینی، تراز سنگ‌بستر، نفوذپذیری و ضرایب هیدرودینامیکی (ضریب ذخیره و قابلیت انتقال) در محیط GIS آماده شد. سپس نقشه میزان و محدوده مکانی فرونشست با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ENVISAT ASAR در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ تهیه شد. یافته‌های این تحقیق حداکثر میزان فرونشست با حدود ۱۷ سانتی‌متر در قسمت مرکزی آبخوان و کاهش تراز آب زیرزمینی به طور متوسط ۴۲ سانتی‌متر در هر سال را نشان می‌دهد. مقایسه نقشه فرونشست با نقشه تغییرات آب زیرزمینی نشان می‌دهد که میزان فرونشست در نواحی شمال دشت که دارای بیشترین کاهش سطح آب (۲۷ متر) می‌باشد کم (کمتر از ۰/۵ سانتی‌متر در سال) می‌باشد. در مقابل حداکثر نشست (۱۷ سانتی‌متر در سال) در نواحی مرکزی که کاهش ۵ تا ۱۰ متری سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد رخ داده است. برای تفسیر این نتایج از نقشه‌های ضخامت لایه ریزدانه، نفوذپذیری، ضرایب هیدرودینامیکی و تراز سنگ بستر استفاده شد. نتایج موید آن است که نواحی برخوردار از حداکثر میزان نشست منطبق بر نواحی دارای بیشترین ضخامت لایه‌های ریزدانه است. همچنین نواحی شمال و شمال‌غربی آبخوان حداکثر ضریب میزان انتقال (۲۵۰۰ متر مربع در روز) و حداکثر ضریب ذخیره (۰/۱۵) را دارا می‌باشند. دلایل زیاد بودن نشست در مرکز دشت به علت ضخامت زیاد لایه‌های ریزدانه است که باعث وقوع نشست در اثر تحکیم این لایه‌ها شده است.

**کلمات کلیدی:** آب زیرزمینی، نشست زمین، تداخل سنجی تفاضلی، لایه‌های ریزدانه، تهران - کرج - شهریار

### مقدمه

می‌دهد و میزان آن به مقدار بار اعمال شده و جنس زمین بستگی دارد (Moarefvand and Shamsadin, 2013). نوع سوم در خاک‌های ریزدانه بر اثر افت سطح آب زیرزمینی اتفاق می‌افتد و به صورت پلاستیک می‌باشد که تدریجی و برگشت‌ناپذیر است (Thomas et al., 2005; Conway Brian, 2015).

خطر فرونشست زمین بر اثر افت سطح آب زمینی در بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ همزمان با صنعتی شدن و رشد جمعیت در جهان گزارش شده است (Karemi, 2013). یکی از این فرونشست‌های مهم در جهان مربوط به ایالت کالیفرنیا در آمریکا می‌باشد. به گونه‌ای که در

یکی از مخاطرات زمین شناسی شایع در سراسر دنیا پدیده فرونشست می‌باشد که دارای حرکتی کند و تدریجی بوده و در بلند مدت اثرات خود را نشان می‌دهد (Karemi et al., 2013). این پدیده به علت تلفات کم انسانی در مقایسه با دیگر پدیده‌های طبیعی کمتر مورد توجه قرار گرفته است (Angornai et al., 2016).

فرونشست انواع مختلفی دارد. نوع اول نشست‌های موضعی و طبیعی است که بر اثر حضور فضاهای خالی در زیرزمین، مناطق کارستی یا شبه کارستی و معدن کاری ایجاد می‌شود (Jelini et al., 2017). نوع دوم نشست به صورت الاستیک می‌باشد که در خاک‌های درشت دانه رخ

کرج، شهریار و اسلامشهر) و همچنین وجود زمین‌های کشاورزی، باغات و صنایع مختلف در این محدوده موجب شده مساله بررسی و ارزیابی علل فرونشست در این آبخوان حائز اهمیت باشد.

تحقیق حاضر در نظر دارد تا با بررسی وضعیت مکانی فرونشست به صورت یکپارچه در آبخوان تهران-کرج-شهریار و انطباق آن با الگوی پراکنش ضخامت ریزدانه‌ها و تغییرات تراز آب‌زیرزمینی روند و ارتباط این پدیده را ارزیابی کند. همچنین با بررسی رابطه تنش- کرنش ۲ و با استفاده از اندازه‌گیری‌های تداخل سنجی راداری و اطلاعات سطح آب زیرزمینی در محل چاه‌های پیژومتری میزان ضریب ذخیره آبخوان را به دست آورد.

## داده‌ها و روش کار

### موقعیت و شرایط زمین‌شناسی آبخوان

آبخوان تهران - کرج - شهریار با وسعت ۵۰۸۳/۹۷ کیلومتر مربع، وسعت دشتی معادل ۲۵۱۹/۸ کیلومتر مربع را می‌پوشاند. این آبخوان به دلیل استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۷ از طرف وزارت نیرو به عنوان دشت ممنوعه اعلام گردیده است. متوسط درجه حرارت ارتفاعات و دشت در محدوده مطالعاتی بترتیب ۱۱/۴ و ۱۶/۲ درجه سانتیگراد می‌باشد. متوسط ارتفاع بارش در ارتفاعات محدوده مطالعاتی ۴۳۲/۵ میلی‌متر در سال و در ناحیه دشتی ۲۲۷/۵ میلی‌متر در سال می‌باشد (شکل ۱). از لحاظ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه جزء واحد ساختاری البرز مرکزی محسوب می‌گردد. رخنمون سازند هزاردره در شمال گسل مشا - فشم و شمال شرقی محدوده طرح قابل مشاهده بوده و از تناوب شیل‌های آهکی و مارن‌های قرمز نازک‌لایه که در بعضی نقاط به طور محلی دارای لایه‌های خیلی نازک سنگ آهک خاکستری هستند تشکیل شده است. بر اساس نقشه ضخامت آبرفت بیشترین ضخامت آبرفت در شمال و شمال غرب دشت مشاهده می‌گردد. در این آبخوان ضخامت آبرفت در قسمت شمالی به بیش از ۴۰۰ متر و در قسمت شمال‌غربی به حدود ۳۰۰ متر می‌رسد. در بخش‌هایی از شمال، شرق، جنوب شرق و جنوب غرب دشت، بدلیل بالا آمدگی سنگ کف ضخامت آبرفت به کمتر از ۲۵ متر نیز می‌رسد. عناصر تشکیل دهنده این آبخوان به نسبت‌های متفاوت از ذرات تخریبی نظیر قلوه سنگ، شن و ماسه، سیلت و رس تشکیل یافته و از حاشیه به سمت بخش‌های میانی و جنوبی دشت قطر ذرات به تدریج (نواحی ورودی آب زیرزمینی) کاهش می‌یابد. به دلیل شرایط رسوبگذاری، عدسی‌های رسی در افق‌هایی از بافت آبرفت گسترش یافته و در نواحی خاصی از دشت، سفره‌های معلق و پراکنده‌ای ایجاد نموده‌اند. در نواحی شمالی و در محدوده مخروط افکنه کن، عمق سطح آب تا ۱۳۰ متر، در نواحی شمال شرقی تا ۱۲۰ متر و در محدوده شمالی و ورودی دشت شهریار تا ۱۱۰ می‌رسد. عمق آب زیرزمینی به سمت جنوب منطقه مطالعاتی کاهش و تا ۱۰ متر می‌رسد که این به علت افزایش بافت ریزدانه آبخوان می‌باشد.

بین سال‌های ۱۹۶۹ تا ۱۹۹۴ با افت ۵۰ متری سطح آب‌زیرزمینی، نشست برای ۸ متر گزارش شده است (Poland, 1981; Galloway et al., 1999). در ایران نیز وجود شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک باعث بهره‌برداری بیش از حد منابع آب زیرزمینی و در نتیجه ایجاد پدیده فرونشست شده است (Sharifikia, 2010). این پدیده برای اولین بار در سال ۱۳۴۶ در دشت رفسنجان گزارش شد. در این دشت در بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۶۹-۱۹۹۹) سطح آب‌زیرزمینی حدود ۲۵ متر افت داشته است و این افت باعث ایجاد نشست معادل ۱۵ سانتی متر شده است (Tourani et al., 2018).

نشست زمین در اثر افت تراز آب زیرزمینی در مناطقی با لایه‌های ریزدانه تحکیم نشده (رس و سیلت) باعث می‌شود تا هم زمان با افت سطح آب زیرزمینی، تنش مؤثر افزایش یافته و پدیده تحکیم رخ دهد (Arab Ameri et al., 2018). لذا شناخت ضخامت و پراکنش مکانی لایه‌های تراکم‌پذیر در سطح آبخوان، در مدل‌سازی پدیده فرونشست زمین در اثر افت سطح آب حائز اهمیت است (Nameghi et al., 2013). از آنجا که پدیده فرونشست زمین بسیار پیچیده است و شدت و دامنه فرونشست زمین در زمان‌ها و مکان‌های مختلف متفاوت است (Mohammady et al., 2019)، اولین گام در انجام مطالعات فرنشست پایش و تهیه نقشه فرونشست موجود منطقه می‌باشد.

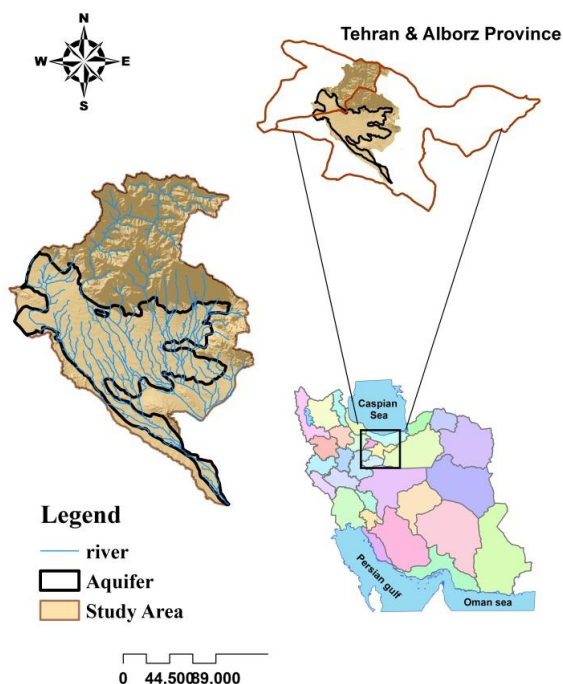
برای پایش و اندازه‌گیری فرونشست زمین از روش‌های مختلف GPS، ترازبایی دقیق و تکنیک‌های سنجش از دور به خصوص تداخل سنجی راداری استفاده می‌شود (Motagh et al., 2006; Pacheco et al., 2006; Tourani et al., 2014). یکی از روش‌هایی که در دهه‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته روش تداخل سنجی تفاضلی است (Roustaei et al., 2013). از جمله می‌توان به پژوهش Motagh و همکاران (۲۰۰۶) اشاره کرد که در آن میزان فرونشست دشت مشهد را ارزیابی کرده‌اند. نتایج آنان نشان داد که در بین بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ بیشترین میزان فرونشست به میزان ۳۰ سانتی متر در سال می‌باشد. Dehghani و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و تجزیه و تحلیل سری زمانی، نرخ سالانه نشست را حدود ۱۹ سانتی متر در سال در دشت نیشابور برآورد کردند.

آبخوان آبرفتی تهران-کرج-شهریار یکی از منابع مهم و منبع اصلی تامین کننده نیازهای کشاورزی، شرب و صنعت می‌باشد که متأسفانه وجود خشکسالی‌های اقلیمی چندین سال اخیر و برداشت بی‌رویه از منابع آب‌زیرزمینی منطقه، سبب پایین رفتن آب‌زیرزمینی شده است. بنحوی که با توجه به هیدروگراف معرف آبخوان میزان افت سطح آب‌زیرزمینی طی دوره ۲۲ ساله آبی (۱۳۷۲-۱۳۹۳) معادل ۱۳/۴ متر و یا عبارتی بطور متوسط برابر ۰/۴۶ متر در هر سال بوده است. این افت آب زیرزمینی، باعث افزایش تنش موثر و فشرده شدن لایه‌های خاک شده است که نهایتاً منجر به پیدایش پدیده فرونشست در سطح آبخوان شده است. وجود شهرها و مناطق مسکونی مهم در این دشت (تهران،



تهران تشکیل سیلتهای رسی کهریزک (BS) را داده‌اند. آبرفت‌های تهران (C) که آبرفت‌های جوان مخروط افکنه‌ای می‌باشند و بخش هموار دشت تهران با آن پوشیده شده است. آبرفت‌های عهد حاضر (D) که نهشته‌های جوان رودخانه‌ای یا سیلابی را شامل می‌شوند.

ارتفاع سنگ کف منطقه از ۱۱۵۰ متر در قسمت‌های شمالی محدوده مطالعاتی تا ۸۵۰ متر در قسمت جنوبی منطقه متغیر است. بر پایه داده‌های رسوب‌شناسی و چینه‌شناسی، نهشته‌های کواترنری این منطقه به چهار بخش تقسیم شده‌اند؛ آبرفت‌های هزار دره (A) شمال تهران و البرز مرکزی می‌باشد. آبرفت کهریزک (B) که در جنوب



شکل ۱- موقعیت آبخوان تهران - کرج - شهریار.

Fig.1. Location of Tehran-Karaj-Shahryar Aquifer.

در این دشت اطلاعات ۱۱۵ لاگ حفاری از وسایت شرکت مدیریت منابع آب ایران ([www.wrm.ir](http://www.wrm.ir)) جهت بررسی جنس آبخوان دریافت شد. سپس برای تعیین ضخامت قشر ریزدانه در هر لاگ حفاری از رابطه ۱ استفاده شد (Nameghi et al., 2013). در شکل ۳ نمونه‌ای از مشخصات لاگ‌های منتخب حفاری آورده شده است.

$$z_L = \frac{\sum m_i * d_i}{D} \quad (\text{رابطه ۱})$$

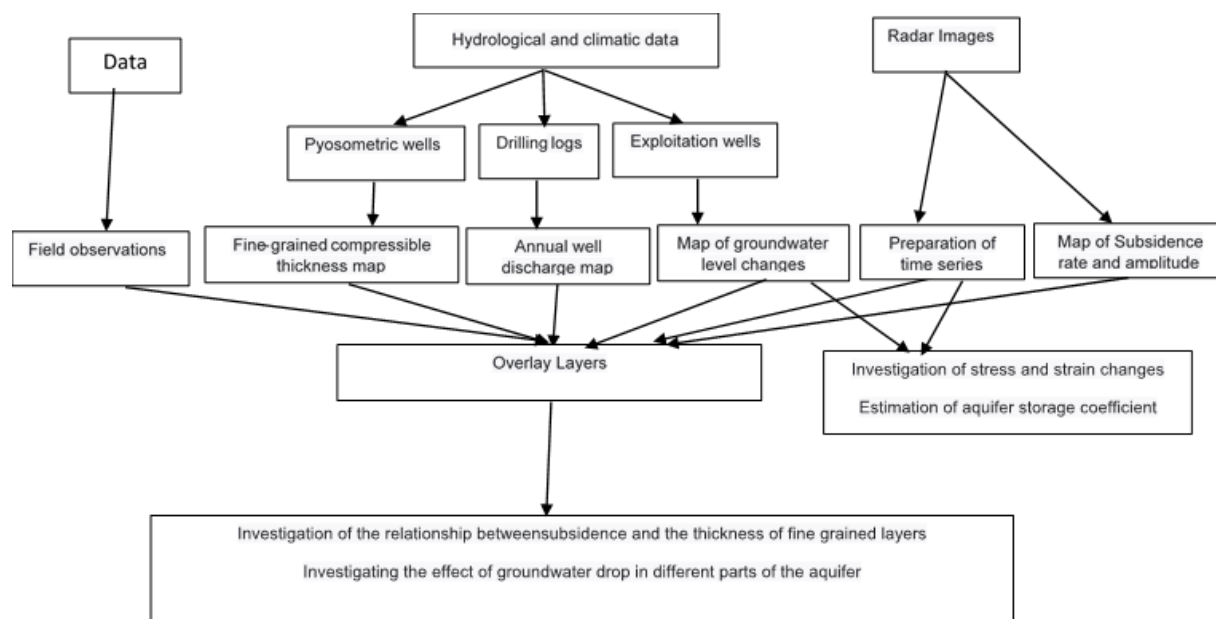
که در این رابطه،  $m_i$  درصد ضخامت مواد ریزدانه تراکم پذیر هر لایه،  $d_i$  ضخامت هر لایه و  $D$  ضخامت کل لاگ حفاری می‌باشد. در این مرحله اطلاعات مربوط به موقعیت هر لاگ حفاری به همراه مجموع ضخامت لایه‌ها برای تجزیه و تحلیل وارد نرم افزار ArcGIS ورژن ۱۰/۵ شد.

## مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر ابتدا داده‌های هیدرواقلیم منطقه (چاه‌های پیژومتری، چاه‌های بهره‌برداری و لاگ‌های حفاری) جمع‌آوری شد. سپس این داده‌ها در محیط نرم افزاری GIS وارد گردید تا با استفاده از داده‌های راداری ماهواره ENVISAT و به روش DInSAR میزان فرونشست زمین به دست آید. درگام نهایی نیز با انطباق ضخامت لایه‌های ریزدانه و تغییرات تراز آب زیرزمینی و نقشه فرونشست زمین ارتباط بین آنها مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۲ مراحل انجام این تحقیق نشان داده شده است.

## آماده سازی داده های مورد نیاز

در ابتدا داده‌های مربوط به اطلاعات چاه‌های منطقه (موقعیت مکانی، برداشت سالانه، تغییرات تراز آب زیرزمینی)، اطلاعات آزمایش‌های پمپاژ و اطلاعات مقاطع لاگ‌ها و تصاویر راداری جمع‌آوری و پردازش گردید.



شکل ۲- نمودار مراحل انجام تحقیق.

Fig. 2. Flowchart showing the generalized steps in this study.

۷۶ چاه پیزومتری موجود در منطقه استفاده شد. همچنین هیدروگراف منطقه (شکل ۶) برای بازه ۱۵ ساله (۱۳۷۲ تا ۱۳۸۷) ترسیم گردید. به منظور مطالعه تغییرات تنش - کرنش در آبخوان تهران - کرج - شهریار، اطلاعات سطح آب زیرزمینی در چاه‌های پیزومتری مورد تحلیل قرار گرفت. مکانیزم تراکم و رابطه تنش - کرنش در سفره آب زیرزمینی از اطلاعات نقشه حاصل از تداخل سنجی راداری و مشاهدات همزمان سطح آب زیرزمینی استخراج شدند یکی از روش‌های بررسی ارتباط بین نوسانات سطح آب زیرزمینی و جابجایی سطح زمین این است که هر دو پارامتر در یک نمودار نمایش داده می‌شود (Dehghani, 2014). تغییرات سطح آب زیرزمینی بر روی محور  $Y$  و میزان جابجایی حاصل از تحلیل سری زمانی نشست زمین که بیانگر میزان تراکم سفره می‌باشد بر روی محور  $X$  نمایش داده می‌شود. میزان ضریب ذخیره کلی سفره برابر با معکوس شیب بهترین خط برازش داده شده بر این نمودار می‌باشد (Hoffmann et al., 2001).

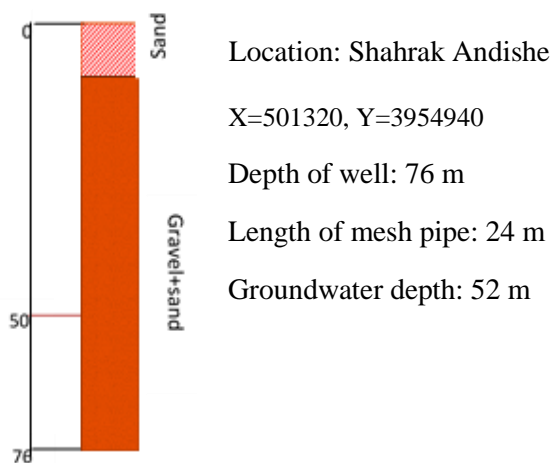
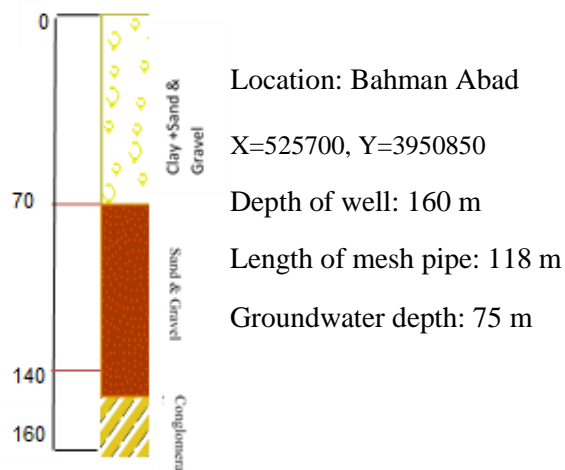
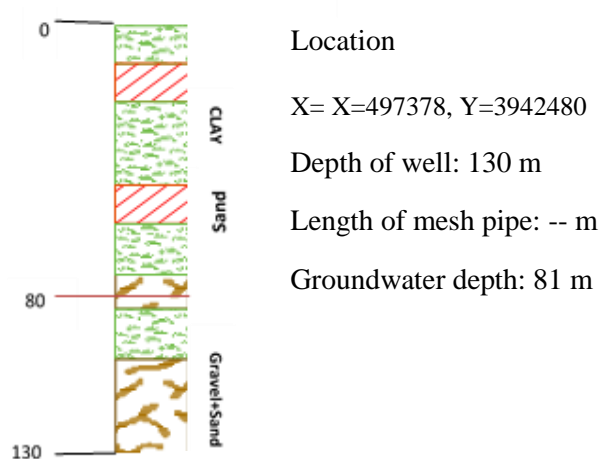
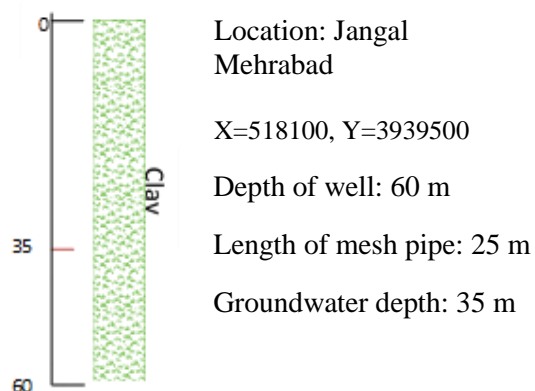
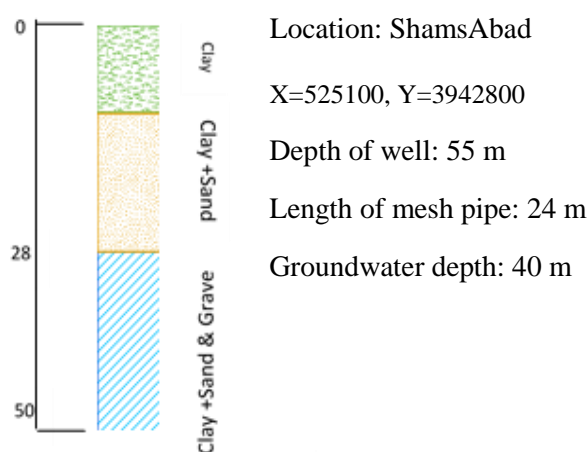
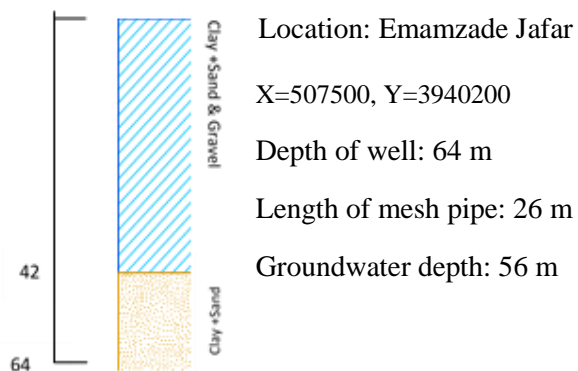
بعد از آماده‌سازی لایه‌ها و اطلاعات مورد نیاز بایستی نقشه فرونشست موجود در آبخوان تهیه گردد. در این راستا از ۱۸ تصویر راداری خام ENVISAT ASAR با طول موج  $C$  در بازه‌های زمانی ۲۰۰۴/۰۸/۲۴ تا ۲۰۰۹/۰۳/۳۱ استفاده شد (جدول ۲). نقشه میزان و سپس پراکنش فرونشست منطقه با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی ( $DInSAR^2$ ) تهیه گشت.

از آنجا که اطلاعات حاصل از هر لاگ حفاری، ضخامت ریزدانه‌ها در همان محل را ارائه می‌دهد، برای تعیین نقشه پراکندگی ریزدانه‌ها در محدوده دشت، از روش درون‌یابی مکانی کریجینگ استفاده گردید (شکل ۴a). سپس برای تهیه نقشه نفوذپذیری خاک منطقه (شکل ۴b) علاوه بر اطلاعات ۱۱۵ لاگ حفاری از داده‌های ۷ گمانه ژئوتکنیکی که در مرکز آبخوان بود استفاده شد.

عمق این گمانه‌ها از ۴۲ تا ۱۰۰ متغیر است که بیشترین عمق مربوط به گمانه‌ای که در منطقه ۱۸ شهرداری تهران حفر شده و کمترین آن مربوط به گمانه منطقه خاور - جاده شهریار می‌باشد. کم عمق‌ترین لاگ حفاری با ۵۰ متر مربوط به منطقه حصارک و عمیق‌ترین لاگ حفاری با ۷۰ متر مربوط به منطقه یوسف آباد است.

قابلیت انتقال و ضریب ذخیره از مهمترین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان می‌باشد که اندازه آنها به وضع و شکل و دانه بندی و ضخامت لایه آبدسته بستگی دارد. به عبارتی هرچه ذرات درشت تر و جور شدگی آنها بهتر باشد مقادیر این ضرایب بیشتر خواهد بود. به منظور تهیه نقشه قابلیت انتقال و ضریب ذخیره این آبخوان از آزمایش‌های پمپاژ سازمان آب تهران و همچنین آمار مربوط به چاه‌های آب و فاضلاب استفاده شد (جدول ۱) سپس برای تعیین نقشه قابلیت انتقال (شکل ۵a) و ضریب ذخیره (شکل ۵b) در محدوده دشت، از روش درون‌یابی کریجینگ استفاده شد.

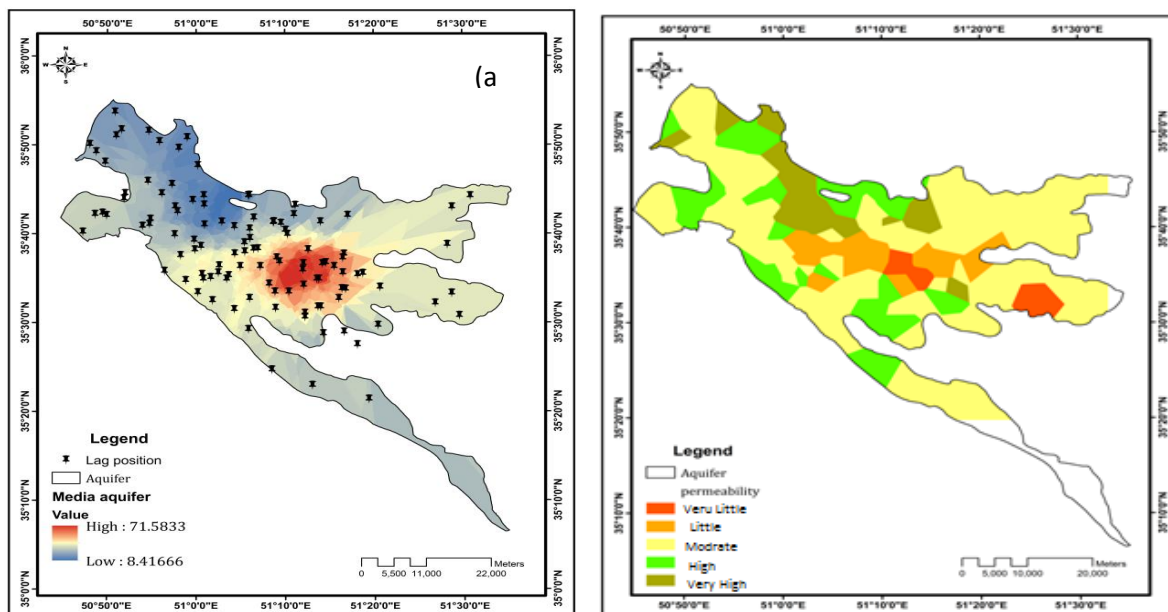
برای تهیه نقشه تراز سنگ کف، نقشه ضخامت آبرفت از نقشه توپوگرافی کسر می‌گردد. برای تهیه نقشه ضخامت آبرفت از آمار ۲۳۷ سونداژ در آبخوان استفاده شد. سپس در محیط GIS با استفاده از نقشه DEM این آبخوان، نقشه تراز سنگ کف تهیه گردید (شکل ۵c). برای تهیه نقشه تغییرات سطح آب زیرزمینی (شکل ۵d) از آمار و اطلاعات



شکل ۳- نمایی از لاگ‌های حفاری منتخب در آبخوان.

Fig. 3. Overview of selected drilling logs in the aquifer.





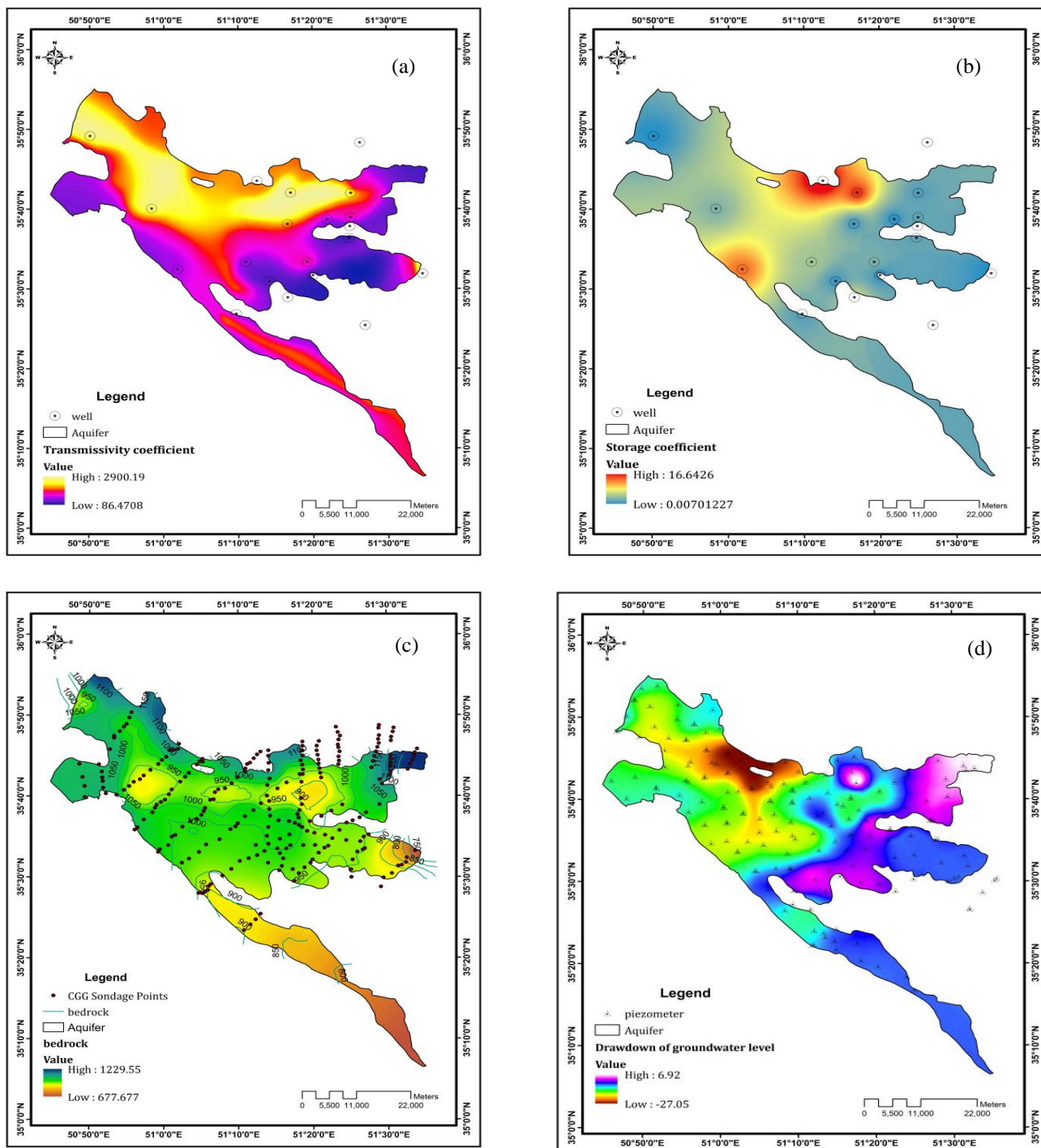
شکل ۴- (a) ضخامت رسوبات ریزدانه تراکم پذیر و موقعیت لاگ های حفاری و (b) نقشه نفوذپذیری.

Fig.4. (a) The thickness map of the compacted fine-grained sediments and the position of drilling logs and (b) permeability map.

جدول ۱- لیست و موقعیت آزمایش های پمپاژ در دشت تهران - کرج - شهریار ( سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۱۳۸۶).

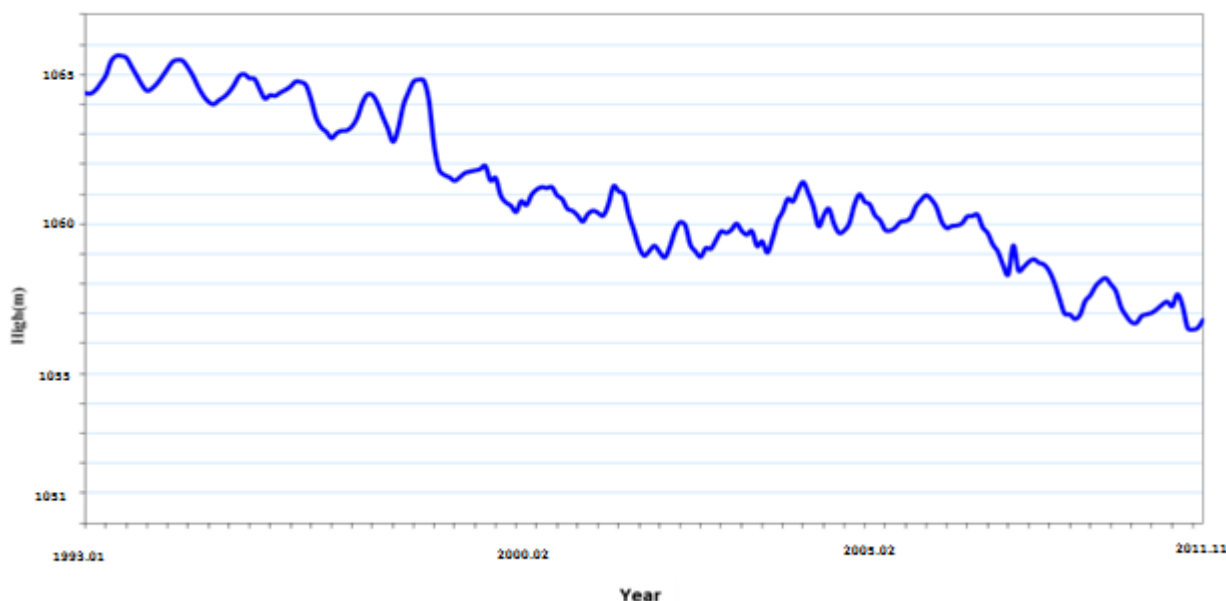
Table1. List and position of pumping test in Tehran-Karaj-Shahriar Plain (Geological Survey and Mineral Exploration of Iran; <https://gsi.ir/fa>).

Spatial watering	Transmissivity	Depth of well drilling	Y	X	Name
5.2	596	163	3926600	525150	Nezam Abad
11	1251	180	3933100	502800	Shahryar Yosefabad
13	2768	160	3950850	525700	Jangal Mehrabad
1.7	1777	63.7	3943100	537700	Park Shahr
3.6	750	100	3934800	516600	Said Abad
2.3	1444	130	3934800	529100	Hosein Abad Mofarah
0.7	1641	108	3943600	525050	Shams Abad
0.2	75		3962500	539700	Niavaran
0.3	348	100	3931750	530250	Morad Abad
0.05	500	100	3944700	533100	Ghale Morghi
0.5	367.5	140	3930350	521400	GHasem Abad Shahi
1.3	1400	150	3945150	537850	Roghan Nabati Ghoo
0.007	2764		3963966	485056	Bazr Kamal Abad
17	786		3953590	518870	Chitgar
0.96	2400	164.7	3950800	537870	Shahrdari
2.4	2615	70	3947150	497550	Malard Shahryar
1.4	247	90	3940375	537530	Bimarestan Shahr Ray
0.007	3300		3932160	552455	Karkhane Siman Ray
1.1	3067	90	3922765	514730	Kazem Abad
0.76	1185		3920174	540835	Sarhang Kamal



شکل ۵- (a) نقشه قابلیت انتقال، (b) نقشه ضریب ذخیره، (c) نقشه تراز سنگ بستر و (d) نقشه تغییرات سطح آب زیرزمینی.

Fig. 5. (a) Transmissivity coefficient map, (b) Storage coefficient map, (c) Bedrock map, and (d) Groundwater level map and position of piezometric wells.



شکل ۶- هیدروگراف واحد آبخوان تهران - کرج - شهریار.

Fig. 6. Hydrograph of Tehran-Karaj-Shahriar aquifer.

جدول ۲- لیست تصاویر ENVISAT ASAR

Table 2. Lists of ENVISAT ASAR images.

2008.05.20	2007.02.07	2005.11.22	2005.04.26	2004.08.24
2009.03.31	2007.03.27	2006.03.07	2005.07.05	2004.11.02
	2007.08.14	2006.06.20	2005.08.09	2005.02.15
	2008.04.15	2006.11.07	2005.09.13	2005.03.22

دارای یک ابهام اندازه‌گیری در تعیین جابجایی سطح زمین به نام پیچش<sup>۹</sup> می‌باشد که فرایند بازیابی<sup>۱۰</sup> موجب رفع این ابهام فاز می‌شود. در انتها تداخل نگاشت تسطیح و پالایش<sup>۱۱</sup> می‌شود. تداخل نگاشت تفاضلی ایجاد شده به صورت فرینج‌هایی<sup>۱۲</sup> نمایان می‌شود. برای تحلیل سری زمانی مقادیر جابجایی برای هر تاریخ تصویر با در نظر گرفتن تاریخ اول برآورد می‌شود.

### نتایج و بحث

حداکثر میزان فرونشست منطقه در روش DInSAR، ۱۷ سانتی‌متر در سال برآورد شد که بیشترین میزان نشست در مرکز دشت رخ داده و الگوی این نشست به صورت V شکل است (شکل ۷). بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی در این دشت نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی به طور پیوسته و تدریجی در طی دوره زمانی ۱۵ ساله

فاز تداخل سنجی راداری که از اختلاف فاز دو تصویر پایه و پیرو حاصل می‌شود از رابطه ۲ به دست می‌آید (Hooper, 2008).

$$\varphi_{int} = \varphi_{topo} + \varphi_{dis} + \varphi_{Orbit} + \varphi_{Noise} + \varphi_{atm} \quad (\text{رابطه ۲})$$

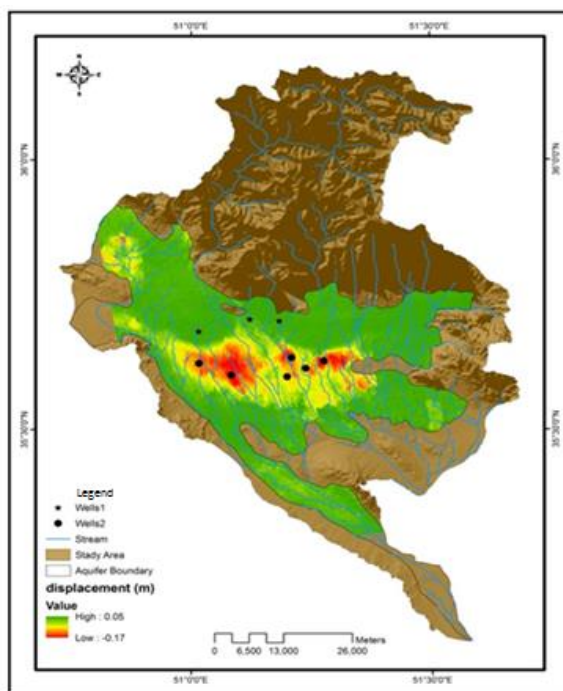
در این رابطه  $\varphi_{int}$  فاز ناشی از جابه‌جایی پیکسل در راستای دید ماهواره یا همان فاز ناشی از تغییرات سطح زمین،  $\varphi_{atm}$  فاز ناشی از اثرات اتمسفری،  $\varphi_{Orbit}$  فاز باقیمانده ناشی از مدار ماهواره،  $\varphi_{topo}$  فاز ناشی از توپوگرافی می‌باشد. برای حذف اثر هندسه، باید تصویر پیرو<sup>۴</sup> روی تصویر پایه<sup>۵</sup> ثبت هندسی<sup>۶</sup> شود. در مرحله بعد باید خطای توپوگرافی حذف شود. برای انجام این مرحله از مدل رقومی ارتفاعی SRTM<sup>۷</sup> با دقت مکانی ۹۰ متر استفاده شد. سپس برای حذف خطاهای نویز از فیلتر گلدشتاین<sup>۸</sup> استفاده شد. تا این مرحله فاز تفاضلی

9-Wrapped  
10-Phase unwrapping  
11-Refinement and Reflattening  
12- Fringes

4-Slave  
5-Master  
6-Coregistration  
7-Shuttle Radar Topography Mission  
8-Goldstein

جنس آبخوان در این چاه‌ها از نوع ریزدانه رسی و یا رسی - سیلتی می‌باشد و رس این نواحی از نوع اسمکتیتی می‌باشد. میزان حدکثر نشست در آنها بین ۴/۵ تا ۸/۵ سانتی‌متر در سال است. در این نواحی حتی بعد از اینکه کاهش تراز آب زیرزمینی از طریق تغذیه آبخوان جبران شده اما نشست منطقه ادامه پیدا کرده که این نشان می‌دهد نشست زمین در این نواحی غیر قابل بازگشت است (شکل ۸). موقعیت این چاه‌ها بر روی شکل ۷ با علامت دایره و تحت عنوان Wells2 مشخص شده است. در مقابل چاه‌های شهرک اندیشه، جاده کرج و امامزاده قلعه حسن‌خان که خارج از محدوده فرونشست قرار دارند دارای افت آبی بین ۲۰ تا ۲۵ متر می‌باشد و جنس آبخوان در این نواحی از نوع رسوبات درشت دانه می‌باشد. اما نشست در این نواحی بسیار کم و نزدیک به صفر می‌باشد. که این به دلیلی وجود رسوبات درشت دانه است زیرا این رسوبات درجه تراکم پذیری پایینی دارند و با افزایش تنش موثر، دچار تراکم به میزان قابل توجهی نمی‌شوند (شکل ۹). به همین دلیل میزان نشست در این نواحی کم است. موقعیت این چاه‌ها با علامت ستاره و تحت عنوان Wells1 مشخص شده است. با توجه به مطالب بیان شده بر اثر برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در دشت عامل اصلی که باعث فرونشست در دشت شده است جنس آبخوان می‌باشد.

کاهش یافته است. که متوسط افت سالیانه در این دوره ۱۵ ساله برابر با ۴۲ سانتی‌متر و متوسط افت ۵ ساله در طی بازه زمانی منطبق با تصاویر راداری منطقه بین خرداد ۱۳۸۳ تا اسفند ۱۳۸۷ برابر با ۵۴ سانتی‌متر بود. از طرفی بر اساس نقشه فرونشست دشت، منطقه به دو بخش دارای فرونشست زیاد و نواحی با فرونشست کم و یا فاقد فرونشست تقسیم می‌شود. که در مناطق با فرونشست زیاد جنس آبخوان رسی و رسی-سیلتی (لاگ‌های حفاری ۳ و ۶) و میزان افت سطح آب زیرزمینی حدود ۵ تا ۱۰ متر می‌باشد و میزان قابلیت انتقال در این نواحی ۵۰ متر مربع در روز است. در مقابل در نواحی با نشست کم و ناچیز میزان افت سطح آب زیرزمینی حدود ۲۰ تا ۲۷ متر و جنس آبخوان (لاگ‌های حفاری ۱، ۴، ۵ و ۷) شنی و گراولی می‌باشد و قابلیت انتقال آن حدود ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر مربع در روز می‌باشد. برای تفسیر ارتباط بین میزان افت سطح آب زیرزمینی و جنس آبخوان با فرونشست منطقه، اطلاعات تعدادی از چاه‌های پیژومتری که در مرکز و تعدادی که در خارج از محدوده فرونشست بودند به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. موقعیت این چاه‌ها در شکل ۷ نشان داده شده است. چاه‌های داخل محدوده فرونشست شامل چاه‌های شفیع آباد، شمس آباد، علی آباد مختارخانی، بهمن آباد، احمد آباد مستوفی و ویره است. میزان افت آب در این چاه‌ها بین ۱۰ تا ۱۵ متر می‌باشد و



شکل ۷- نقشه فرونشست منطقه بر حسب متر.

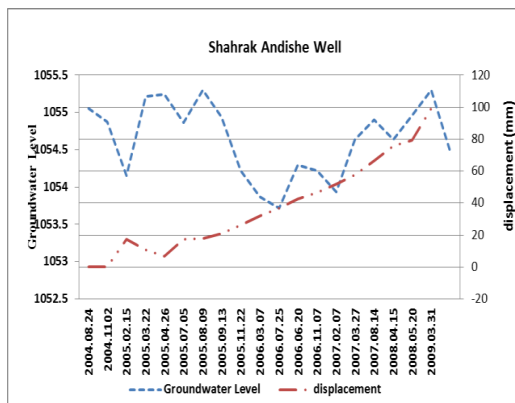
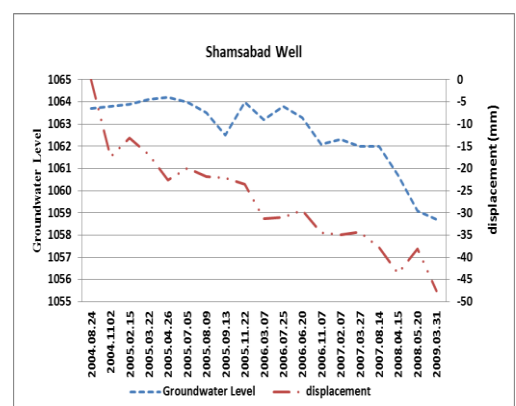
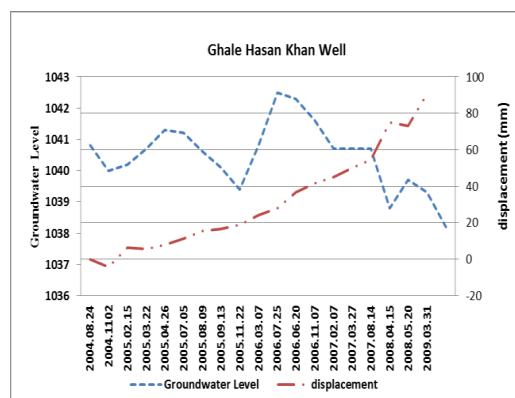
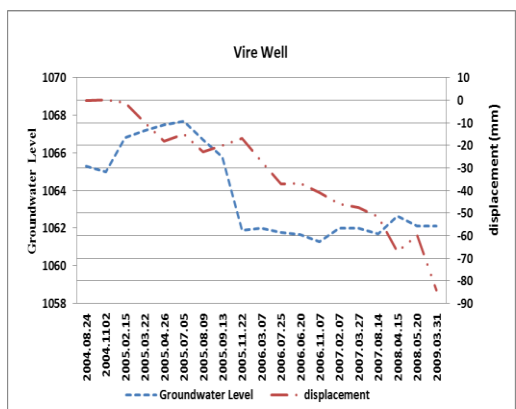
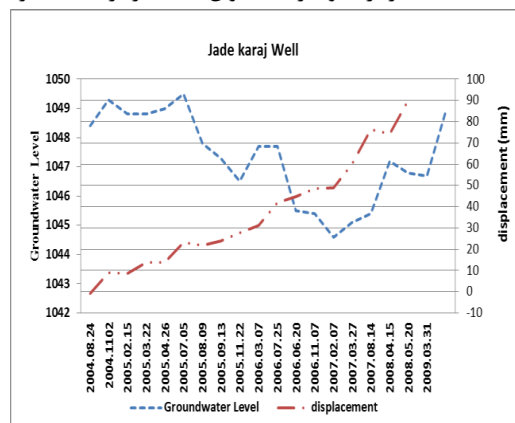
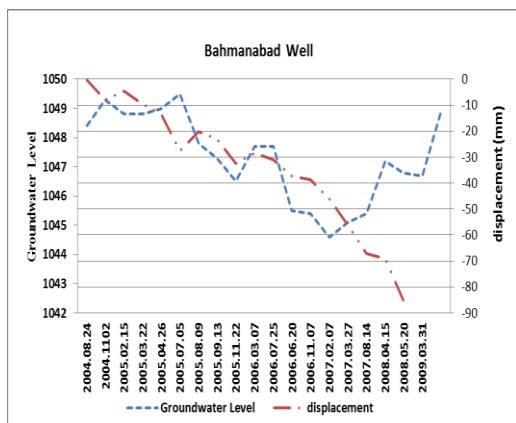
Fig. 7. Area subsidence map (in meters).

کلی سفره آبخوان مورد مطالعه است. این عدد در کنار هر نمودار نشان داده شده است. این خط می‌تواند در پیش بینی مقدار فرونشست در کوتاه مدت به ازای افت مشخص از سطح آب زیرزمینی کمک کند. این اعداد دارای تطابق خوبی با نقشه ضریب ذخیره آبخوان می‌باشند. با توجه به اینکه همواره یک تاخیر زمانی بین افت تراز آب زیرزمینی و

سپس در شکل ۱۰ تغییرات سطح آب با جابجایی سطح زمین در یک نمودار برای ۳ چاه پیژومتری واقع در منطقه فرونشست، خارج از منطقه و حاشیه منطقه فرونشست برای محاسبه ضریب ذخیره کلی سفره ترسیم شد. خط مشکی رنگ در نمودارها نشان‌دهنده بهترین خط برازش داده شده می‌باشد، که معکوس شیب آن برابر با ضریب ذخیره

مربع بر روز در جنوب و حدود ۵۰ متر مربع بر روز در شمال شرقی آبخوان متغیر می‌باشد. در بخش شمال شرقی با وجود اینکه رسوبات آبرفتی درشت دانه می‌باشد ولی به دلیل ضخامت کم از قابلیت انتقال کمی برخوردار است. پس کاهش میزان قابلیت انتقال آب در نواحی جنوبی، بیشتر بدلیل کم بودن میزان هدایت هیدرولیکی رسوبات و در نواحی شمالی بویژه شمال شرقی بدلیل کاهش ضخامت لایه اشباع است (شکل ۸۴).

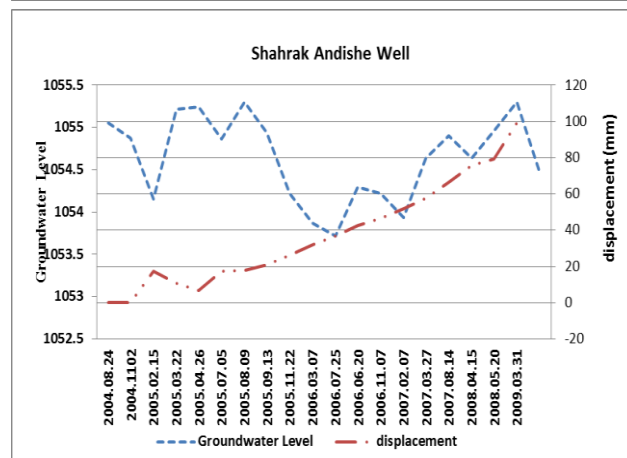
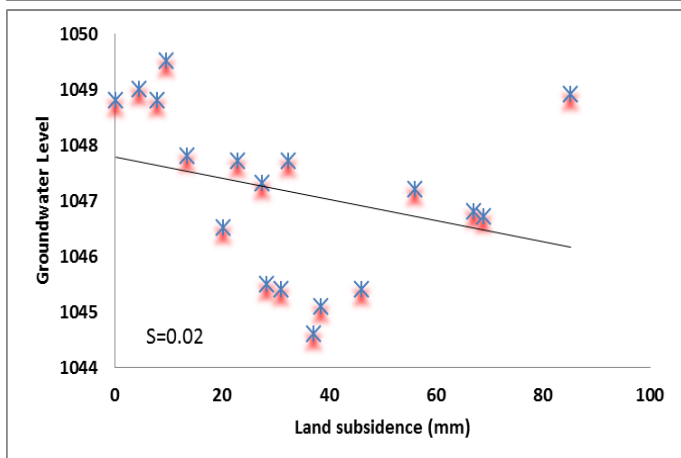
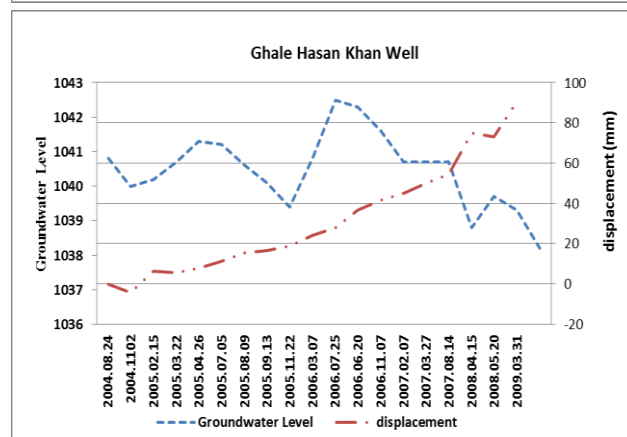
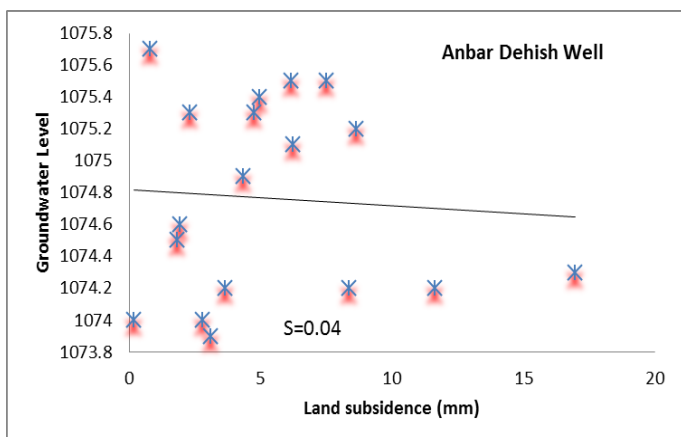
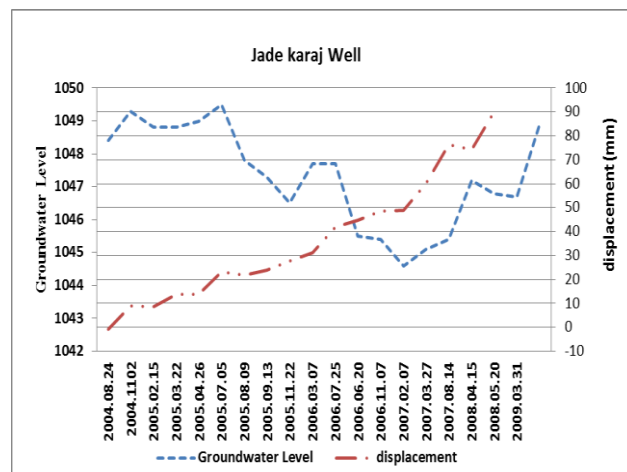
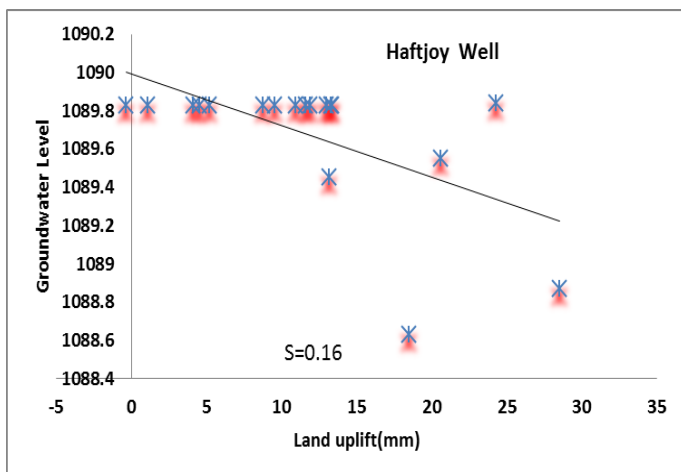
میزان نشست زمین به علت قابلیت هدایت هیدرولیکی وجود دارد بنابراین ضریب ذخیره محاسبه شده تراکم‌پذیری سفره را به علت این تاخیر زمانی به صورت دقیق بیان نمی‌کند. در مرحله بعد برای درک بهتر رفتار دشت نتایج نقشه‌های ضریب ذخیره آبخوان و قابلیت انتقال مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که حداکثر ضریب ذخیره آبخوان در نواحی شمالی حدود ۱۵٪ می‌باشد و در قسمت‌های مرکزی و در قسمت‌های شرقی آبخوان ۳ تا ۶ درصد است و در سایر قسمت‌ها کمتر از ۳ درصد است (شکل ۸۴b). همچنین میزان میزان قابلیت انتقال آب از رقم ۲۵۰۰ در قسمت‌های مرکزی و غرب آبخوان تا کمتر از ۲۰۰ متر



شکل ۸- سری زمانی جابجایی سطح زمین و نوسانات تراز آب زیرزمینی در بعضی از چاه‌های منطقه، دارای لایه ریزدانه (رس و سیلت).

Fig. 8. Time series of surface displacement and volatility of groundwater level in some wells of the region, with fine grained layers (clay and silt) in the texture.





شکل ۱۰- ضرایب ذخیره محاسبه شده از تحلیل سری زمانی جابجایی و اطلاعات سطح آب زیرزمینی چاه های هفت جوی (خارج از منطقه فرونشست)، انبار دهیش (حاشیه منطقه فرونشست) و بهمن آباد (داخل محدوده فرونشست).

Fig. 10. Calculated storage coefficients from the time series of displacement analysis and groundwater data of the Haftjoy wells (outside the subsidence area), Anbar Dehish (margin of subsidence area), and Bahman Abad (within the subsidence rang).

شکل ۹- سری زمانی جابجایی سطح زمین و نوسانات تراز آب زیرزمینی در بعضی از چاه های منطقه، بدون لایه ریزدانه (رس و سیلت).

Fig. 9. Time series of displacement and fluctuations of groundwater level in some wells of the region, without fine-grained layer (clay and silt) in texture.



## نتیجه گیری

درصد ارزیابی شد؛ که این میزان ضریب ذخیره با نقشه ضریب ذخیره مطابقت نشان داد. همه این موارد خود حاکی از آن است که نشست در این مناطق از نوع نشست پلاستیک بوده و نقش نشست الاستیک بسیار ناچیز است. در نتیجه حتی از طریق تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و بازگرداندن تراز منابع آب زیرزمینی به تراز اولیه نیز این نشست قابل بازگشت نخواهد بود. با توجه به اینکه نشست‌های پلاستیک به عواملی نظیر ضخامت رسوبات ریزدانه تراکم‌پذیر، افت سطح آب و در نتیجه افزایش تنش مؤثر، بستگی دارد، برای کنترل میزان فرونشست و کاهش اثرات مخرب این پدیده در منطقه پیشنهاد می‌شود تا از برداشت شن و ماسه در مناطق بالا دست و داخل محدوده فرونشست (به علت اثر منفی در تغذیه سفره آب زیرزمینی) جلوگیری گردد. همچنین تغییر الگوی مصرف آب و کشت برای این نواحی پیشنهاد می‌شود.

بر اساس نتایج روش تداخل سنجی تفاضلی (DInSAR) وقوع فرونشست در قسمت مرکزی دشت تهران - کرج - شهریار با بیشینه نرخ ۱۷ سانتیمتر در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ رخ داده است. مقایسه نقشه تغییرات تراز آب زیرزمینی و نقشه ضخامت لایه‌های ریزدانه نشان داد که مهم‌ترین عامل در وقوع فرونشست، افت شدید آب زیرزمینی در رسوبات ریزدانه‌ای است که از قابلیت تراکم پذیری بالایی برخوردار هستند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مناطق مستعد نشست، در نواحی واقع شده‌اند که در آنها تراکم ریزدانه‌ها بیشتر و ضریب ذخیره و قابلیت انتقال کم است. به علاوه، ضرایب ذخیره آبخوان تهران-کرج-شهریار بر اساس داده‌های تراز آب زیرزمینی و تحلیل سری زمانی فرونشست، در منطقه خارج از فرونشست حدود ۱۶ درصد و در منطقه حاشیه فرونشست حدود ۶ درصد و در محدوده فرونشست حدود ۲

## منابع

- Angornai, S., Memarian, H., Shariat Panahi, M., Bolourchi, M.J., 2016. Dynamic Modeling of Land Subsidence in Tehran Plain. *Geosciences* 25(97), 211-220.
- Arab Ameri, M., Moradi Mazrae, M.A., Pishroo, N., Mehran Niya, N., 2018. Case studies of land subsidence and cracks in the plains of Iran. *Second Seminar of Engineering Geology and Environment of Mashhad*.
- Conway, B.D., 2015. Land subsidence and earth fissures in south-central and southern Arizona, USA. *Hydrogeology Journal* 24, 649-655.
- Dehghani, M., 2014. An Enhanced Algorithm based on Radar Interferometry for Monitoring Land Subsidence Caused by Over-Exploitation of Groundwater. *Journal of Geospatial Information Technolog* 2(2), 61-73.
- Dehghani, M., Valadan Zoej, M.J., Entezam, I., Mansourian, A., Saatchi, S., 2009. InSAR monitoring of progressive land subsidence in Neyshabour, northeast Iran. *Geophysical Journal International* 178, 47-56.
- Galloway, D., Jones, D.R., Ingebritsen, S.E., 1999. Land subsidence in the United States, U.S. Geological Survey, Virginia, USA.
- Hoffmann, J., Galloway, D.L., Zebker, H.A., Amelung, F., 2001. Seasonal subsidence and rebound in Las Vegas Valley, Nevada, observed by synthetic aperture radar interferometry. *Water Resource* 37(6), 1551-1566.
- Hooper, A., 2008. A multi-temporal InSAR method incorporating both persistent scatterer and small baseline approaches. *Geophysical Research Letters*, 35(16).
- Jelini, M., Sepehr, A., Lashkaripoor, A.R., Rashki, A.R., 2017. Morphometric correlation of land subsidence related fissures and edaphic variability over Neyshabour Plain. *Quantitative Geomorphological Research* 20, 59-75.
- Karemi, M., Ghanbari, A.A., Amiri, S., 2013. Measurement of the level of risk of land subsidence in No.18 urban residence area of Tehran. *Journal of Spatial Planning* 3, 37-56.
- Moarefvand, P., Shamsadin Saeid, M., 2013. The Effect of Surface Loading on Wastewater Pipes in Different Implementation Methods. *Journal of Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering* 5, 1-10.
- Mohammady, M., Pourghasemi, H.R., Amiri, M., 2019. Assessment of land subsidence susceptibility in Semnan plain (Iran): A comparison of support vector machine and weights of evidence data mining algorithms. *Natural Hazards* 99, 951-971.

- Motagh, M., Djamour, Y., Walter, T., Moosavi, Z., Arabi, S., Zschau, J., 2006. Mapping the spatial and temporal pattern of land subsidence in the city of Toos, northeast Iran, using the integration of InSAR, continuous GPS and precise leveling. *Geophysical Research Abstracts* 8, 78-81.
- Nameghi, H., Hosseini, S.M., Sharifi, M.B., 2013. An analytical procedure for estimating land subsidence parameters using field data and InSAR images in Neyshabur plain. *Scientific Quarterly journal of Iranian Association of Engineering Geology* 6, 33-50.
- Pacheco, J., Arzate, J., Rojas, E., Arroyo, M., Yutsis, V., Ochoa, G., 2006. Delimitation of ground failure zones due to land subsidence using gravity data and finite element modeling in the Queretaro valley, Mexico. *Engineering Geology* 84, 143-160.
- Poland, J.F., 1981. The occurrence and control of land subsidence due to groundwater withdrawal with special reference to the San Joaquin and Santa Clara Valleys, California. PhD Dissertation, Stanford University, Palo Alto, California.
- Roustaei, S., Sharifikia, M., Yarahamadi, J., 2013. Application of differential interferometry synthetic aperture RADAR on detection and monitoring landslides, case study: Garmchaei Watershed, Miyaneh. *Journal of Watershed Engineering and Management* 5(4), 190-198.
- Sadeghi, Z., Valadanouzj, M.J., Dehghani, M., 2014. Hybrid of Two Persistent Scatterer Interferometry Methods in Order to Subsidence Monitoring. *Geosciences* 23(90), 45-54.
- Safari, A., Jafari, F., Tavakooli Saboor, S.M., 2016. Monitoring its land subsidence and its relation to groundwater harvesting Case study: Karaj Plain - Shahriar. *Quantitative Geomorphological Research* 5(2), 59-75.
- Sharifikia, M., 2010. Evaluation of land subsidence related disasters in plains and residential areas of Iran. *Scientific Quarterly journal of Iranian Association of Engineering Geology* 3(3), 43-58.
- Thomas, R., Marquez, Y., Lopez-Sanchez, M., Delgado, J., Blanco, P., Mallorqui, S., Monica, M., Gerardo, H., Joaquin, M., 2005. Mapping ground subsidence induced by aquifer overexploitation using advanced differential SAR interferometry: Vega Media of Segura River (SE Spain) case study. *Remote Sensing of Environment* 98, 269-283.
- Tourani, M., Agh-Atabai, M., Roostaei, M., 2018. Study of subsidence in Gorgan using InSAR method. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal* 8, 117-128.

