

## Research Paper



## Estimating the rate of land subsidence in the Shahriar Plain using radar interferometry technique and analyzing the parameters affecting it



Sayyad Asghari Saraskanroud <sup>1</sup>, Maryam Mohammadzadeh Shishehgaean <sup>2</sup>, Aghil Madadi <sup>3</sup>

1. Professor of Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. [s.asghari@uma.ac.ir](mailto:s.asghari@uma.ac.ir)
2. Phd student, Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. [Mmohammadzadeh23@gmail.com](mailto:Mmohammadzadeh23@gmail.com)
3. Professor of Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. [aghil48madadi@yahoo.com](mailto:aghil48madadi@yahoo.com)

## Keywords

**Subsidence,  
Radar interferometry,  
Sentinel1satellite,  
imagery,  
groundwater level,  
Shahriar Plain, Iran.**

## ABSTRACT

**Introduction**

In recent years, population growth and exploitation of groundwater for domestic, agricultural and even industrial water supply in some parts of the world, especially in basins full of alluvial sediments, shallow seas or unconfined lakes, have led to subsidence or subsidence of the land surface and created the risk of subsidence. Since the early 1990s, with the advent of radar satellites, radar interferometry has also been widely used by geoscientists. Among the various methods for detecting changes in the Earth's crust, radar interferometry is considered the best method for measuring these changes in terms of cost, scale and speed. The principles of this technique were first described by Graham in 1974. Differential radar interferometry calculates the phase changes from two pairs of radar images taken at different times and continuously, and accordingly reveals the changes in the Earth's crust quantitatively and qualitatively. This technique has been successfully used to measure displacements caused by earthquakes, glacier movements, as well as subsidence and landslide phenomena. Subsidence, as a morphological phenomenon, is a type of deformation of the earth's surface characterized by vertical deformation or downward movement of the earth's surface.

**Methodology**

In this study, differential interferometry was used from Sentinel 1 images that acquire images in the C-band range of microwave waves (56 cm). The base image and the function of geometric and radiometric image corrections were performed in Snap software, and then the necessary processing was used through the SARSCAPE 5.2 extension in ENVI 5.3 software. The technique used in this study to determine the amount of subsidence is the differential interferometry method with a combined aperture of two repeated or non-repeated passes. One of the most basic steps in radar interferometry processing is the selection of a suitable image pair, and several factors such as sensor frequency, spatial baseline, temporal baseline, and spatial overlap in the direction of sensor movement are effective in selecting the image pair. In this study, two Sentinel 1 images were used, and based on that, calculations related to the vertical baseline and other factors mentioned in selecting the image pair were performed.

**Receive: 2025/09/13**

**Accepted: 2026/03/10**

**Published: 2026/06/22**

\*Correspondin Author: Sayyad Asghari Saraskanroud. Email [s.asghari@uma.ac.ir](mailto:s.asghari@uma.ac.ir)

How to cite this article: Asghari Saraskanroud, Sayyad., MaryamMohammadzadeh shishehgaean. Madadi, Aghil (2026). Estimating the rate ofland subsidence in the Shahriar Plain using radar interferometry technique and analyzing the parameters affecting it, Hydrogeomorphology, 13(47):99-118.

DOI: [10.22034/hyd.2026.69137.1815](https://doi.org/10.22034/hyd.2026.69137.1815)



Copyright: © by the authors

Publisher: University of Tabriz

## Results and Discussion

In this study, all research processes, such as selecting the image pair to recovering the vertical displacement phase of the Shahriyar Plain surface, were carried out, and the capabilities of the new and updated Sentinel 1 images of the European Union Space Agency were depicted in preparing the areas affected by the subsidence of the Shahriyar Plain. The output map of positive displacement values is related to the movement of the earth towards the radar view (uplift) and negative values indicate the earth's surface moving away from the sensor in the direction of the radar view (subsidence). The results are shown in Figure 4. Examination of the subsidence situation in the last 7 years from 2016 to 2023. The subsidence rate has increased. In 7 years, the Shahriyar Plain has been estimated to be 15 centimeters and the uplift rate is 5 centimeters. When subsidence occurs in the area, it does not only go down, but also has duality or uplift. Based on the information obtained from the subsidence map of the Shahriyar Plain, it was determined that we witnessed a significant amount of subsidence during the studied period. In the subsidence map, the highest level of subsidence was in the central part of the city and the lowest level was in the southwest of the Shahriar Plain.

## Conclusions

The main focus of the present study is to measure the rate of land subsidence in the Shahriar Plain during the period from 2017 to 2023 using the radar interferometry technique and its relationship with the decline in groundwater levels. For this purpose, two pairs of time series images from the Sentinel-1 satellite have been used. The subsidence situation has increased in the last 7 years from 2017 to 2023. In 7 years, the subsidence rate in the Shahriar Plain has been estimated at 28 centimeters and the uplift rate at 10 centimeters. When subsidence occurs in the area, it does not only go down, but also has duality or uplift. Based on the information obtained from the subsidence map of the Shahriar Plain, it was determined that we witnessed a significant amount of subsidence during the studied period. In the subsidence map, the highest amount of subsidence was in the central part of the city and the lowest amount was in the southwest of the Shahriar Plain. In order to reconcile the results of radar interferometry with other complementary data, piezometric wells were used on the Shahriar plain. Land subsidence is a widespread phenomenon worldwide, which has had significant quantitative and qualitative manifestations in recent decades, mainly due to the excessive exploitation of groundwater resources and the intensification of its decline. Excessive extraction and the lack of balance between the feeding of aquifers and their discharge have caused the water table in the region to follow a continuous downward trend. As the water in the aquifer pores empties and the water in these pores is displaced by air, it causes a decrease in the pressure balance between the layers.

## مقاله پژوهشی



## برآورد نرخ فرونشست سطح زمین در دشت شهریار با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و تحلیل پارامترهای موثر بر آن



صیاداصغری سراسکانرود<sup>۱\*</sup>، مریم محمدزاده شیشه‌گران<sup>۲</sup>، عقیل مددی<sup>۳</sup>

- ۱- استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. [s.asghari@uma.ac.ir](mailto:s.asghari@uma.ac.ir)  
 ۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. [Mmohamadzadeh23@gmail.com](mailto:Mmohamadzadeh23@gmail.com)  
 ۳- استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. [aghil48madadi@yahoo.com](mailto:aghil48madadi@yahoo.com)

## کلیدواژه‌ها

فرونشست،  
تداخل‌سنجی رادار،  
تصاویر ماهواره‌های سنتینل ۱،  
سطح آب زیرزمینی،  
دشت شهریار، ایران.

## چکیده

یکی از مخاطراتی که در طی سال‌های اخیر در بسیاری از دشت‌های کشور ایران رخ داده است، مخاطرات ناشی از فرونشست است. شناسایی مناطق در معرض فرونشست و برآورد نرخ آن نقش مهمی در مدیریت و کنترل این پدیده دارد. مخاطره فرونشست زمین می‌تواند علت‌های متفاوتی داشته باشد از جمله انحلال، تراکم نهشته‌ها، حرکات آرام زمین، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و یا عملیات انسانی نظیر معدنکاری و برداشت از منابع نفت و گاز می‌توان اشاره کرد. در این پژوهش، از تکنیک تداخل‌سنجی راداری که دارای دقت بالا و جز مناسب‌ترین روش‌های اندازه‌گیری میزان فرونشست می‌باشد استفاده گردید. این تکنیک فاز گرفته از دو مجموعه داده رادار در دو زمان مختلف را مقایسه و با ایجاد اینترفروگرام، قادر به اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین در دوره زمانی است. در این پژوهش به منظور شناسایی و اندازه‌گیری فرونشست در دشت شهریار از سری زمانی تصاویر راداری سنتینل ۱ سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ و به منظور پردازش اطلاعات از نرم‌افزار SARSCAPE استفاده شده است. به منظور پایش سطح آب زیرزمینی از داده‌های چاه‌های پیژومتری زیرزمینی منطقه مورد مطالعه با روش درون‌یابی از مدل‌های کریجینگ که از دقت بسیار بالایی برخوردار است استفاده گردید. روش K-Bessel با مقدار RMS ۰/۱۴۲، برای سال ۲۰۱۹ و روش Gaussian با مقدار RMS ۰/۱۲۹، برای سال ۲۰۲۳ که دقیق‌ترین روش شناخته شدند، استخراج شد. طبق نتایج، بیشینه نرخ فرونشست در ۷ سال در دشت شهریار، ۲۸ سانتیمتر برآورد شده است. رابطه بین فرونشست و تغییرات مقدار سطح آب‌های زیرزمینی نشان داد که در سال ۲۰۱۹ سطح آب ۹۷/۵۱ متر بوده است که در طی ۵ سال در سال ۲۰۲۳ به ۹۰/۵۱ متر کاهش یافته است که این افت سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد که این افت سطح آب زیرزمینی منجر به فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه شده است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱

\*نویسنده مسئول: صیاداصغری  
 رایانامه: [s.asghari@uma.ac.ir](mailto:s.asghari@uma.ac.ir)  
 ارجاع به این مقاله: اصغری سراسکانرود، صیاد؛ محمدزاده شیشه‌گران، مریم؛ مددی، عقیل. (۱۴۰۵). برآورد نرخ فرونشست سطح زمین در دشت شهریار با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و تحلیل پارامترهای موثر بر آن. هیدروژئومورفولوژی، ۱۳(۴۷): ۹۹-۱۱۸.

شناسه دیجیتال مقاله: 10.22034/hyd.2026.69137.1815



Copyright: ©2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

## مقدمه

فرونشست زمین، حرکت عمودی، پایین رفتن تدریجی در سطح زمین است که به دلایل مختلفی مانند انحلال شدن، آب شدن یخ ها و تراکم یافتن رسوبات، حرکات لایه‌های زمین و فوران گدازه از پوسته سخت یا فعالیت‌های انسانی مانند معدن کاری، استخراج آب‌های زیرزمینی یا اکتشافات نفت و گاز رخ می‌دهد. ایران کشوری که دارای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک با بارندگی بسیار ناچیز است. آب‌های زیرزمینی منبع مهم آب برای کشاورزی، تأمین آب آشامیدنی و صنعتی هستند. این کشور یکی از کشورهایی است که با بحران کمبود آب مواجه است. (اسد زاده و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۵۴). استخراج منابع معدنی گوناگون، به ویژه آب و نفت و گاز طبیعی از مهمترین علل فرونشست است (کوک<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۳۷۷: ۲۴۸). در دهه‌های اخیر، رشد بسیار سریع جمعیت و استفاده از آب‌های زیرزمینی برای تأمین نیازهای آبی در مصارف گوناگون خانگی، کشاورزی و حتی صنعت منجر به فرونشست یا ریزش سطح زمین در برخی از اکثر نقاط جهان، به خصوص در مکان‌های دارای رسوبات آبرفتی، در دریاهای کم‌عمق یا در دریاچه‌های دارای ارتباط با دریاهای آزاد بسیار مستعد می‌باشند و خطر فرونشست زمین را افزایش می‌دهد (وانگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۱۰). با ظهور و توسعه ماهواره‌های راداری، تداخل‌سنجی راداری نیز به طور گسترده در سراسر جهان توسط دانشمندان علوم زمین مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در میان روش‌های گوناگون برای ارزیابی تغییرات پوسته زمین، تداخل‌سنجی راداری از نظر عملکرد رادیومتریکی، هزینه، مقیاس زمانی و مکانی و طیفی، سرعت بهترین و مناسب‌ترین روش برای اندازه‌گیری این تغییرات محسوب می‌شود (رائوکولس و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۷؛ داوودی‌جم، ۱۳۸۹). علل اصلی فرونشست منطقه‌ای در سطح زمین در مناطق خشک و کم آب، تراکم آب‌های زیرزمینی به دلیل پمپاژ بیش از حد از این منابع است. (دهقانی، ۱۳۹۰؛ چانگ<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). این موضوع به ویژه زمانی جدی و مهم می‌شود که پمپاژ بیش از حد سفره‌های آب شنی متخلخل مخلوط با سفره‌های آب رسی نفوذناپذیر باعث نشست عمیق و گسترده می‌شود. جابه‌جایی در نرخ و میزان فرونشست می‌تواند خسارات شدیدی به تأسیسات مهم مثل برق و پست های توزیع هوایی و زمینی و ساختمان‌های واقع در آنجا وارد کند و بنابراین یک فاجعه طبیعی در منطقه محسوب می‌شود و مناطق مسکونی و کشاورزی را تهدید می‌کند. امروزه، فرونشست ناشی از استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی، تهدیدی برای جامعه‌های شهری، روستایی و به خصوص طبیعت در سراسر جهان محسوب می‌شود. این پدیده خود را در جابجایی‌های عمودی سطح زمین از چند میلی‌متر تا چند متر نشان می‌دهد. بنابر به نظر دانشمندان، ۱۵۰ شهر بزرگ در جهان در معرض خطر می‌باشد، از میان این شهر دره پو (ایتالیا)، مکزیکوسیتی (مکزیک)، لاس وگاس، و ایلینوئیس سانتا کلارا (ایالات متحده آمریکا)، ترکیه، تایلند و شانگهای اشاره کرد. در مورد تأثیر اقتصادی، ماریا، پایتخت اسپانیا، در طول خشکسالی از سال ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۵، ۵۰ میلیون یورو خسارت متحمل شد که منجر به هزینه‌های اجتماعی بالایی برای شهرداری و منابع طبیعی شد (توماس<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به مصرف بیش از حد آب‌های زیرزمینی در دشت شهریار، پتانسیل بالایی برای فرونشست در این منطقه وجود دارد که می‌تواند در آینده نزدیک منجر به مشکلات قابل توجه انسانی، مالی و اقتصادی شود. در همین راستا، مطالعه حاضر با هدف بررسی نرخ فرونشست دشت شهریار با استفاده از تداخل‌سنجی راداری و سری زمانی تصاویر Sentinel-1 برای سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ انجام شد. علاوه بر این، اثرات و ارتباط کاهش سطح آب زیرزمینی برای اعتبارسنجی فرونشست و نرخ فرونشست در کاربری‌های مختلف زمین بررسی شد. در این زمینه مطالعات متعددی در سطح ملی و بین‌المللی صورت پذیرفته است که از آن جمله، می‌توان به این موارد اشاره کرد: اصغری سراسکانرود و محمدزاده شیشه‌گران (۱۴۰۰) در یک مطالعه در دشت آذرشهر، فرونشست زمین را با استفاده از داده‌های Sentinel-1 از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ و تداخل‌سنجی راداری تجزیه و تحلیل کردند. نتایج نشان داد که نرخ فرونشست ۶ سانتی‌متر است که منجر به افت ۴ متری سطح آب‌های زیرزمینی در عرض پنج سال شده است. رضایی شهابی و همکاران

<sup>4</sup> Chung

<sup>5</sup> Thomas

<sup>1</sup> cook

<sup>2</sup> Wang

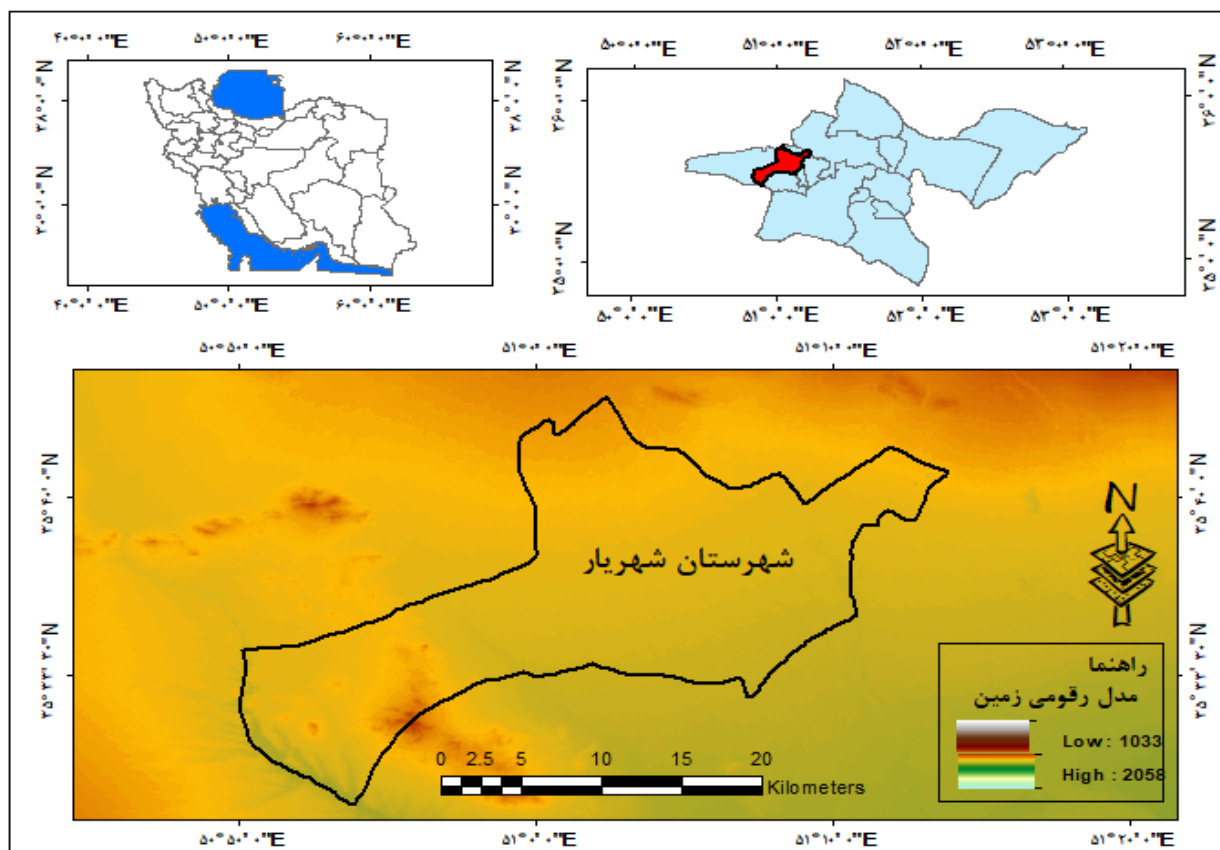
<sup>3</sup> Raucoles et al

(۱۴۰۱) در مقاله‌ای در مورد ارزیابی آسیب‌پذیری بافت شهری منطقه ۱۸ تهران با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای، تعیین وزن هر یک از معیارها انجام گرفت. نتایج اجرای مدل نشان داد که درصد بالایی از مناطق احداث شده در منطقه ۱۸ دارای مانند بافت فرسوده شهری، ساختمان‌هایی با مقاومت پایین، کیفیت ساخت کم، جمعیت و بالا هستند. و احتمالاً آسیب‌پذیری خیلی بالایی دارند. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۳) در مطالعه‌ای با عنوان «عملکرد مقایسه‌ای الگوریتم‌های CODAS و MABAC در پهنه‌بندی خطر فرونشست بر اساس شاخص‌های زیست‌محیطی» نشان داد که کاهش سطح آب‌های زیرزمینی مهم‌ترین عامل افزایش و پتانسیل فرونشست زمین در مناطق شهری استان البرز است. نتایج این مطالعه برای مسئولین سازمان‌ها و برنامه‌ریزان منابع زمین و خاک جهت حفاظت و مدیریت منابع آب و جلوگیری از فرسایش خاک بسیار مفید خواهد بود. رجبی و همکاران (۱۴۰۳) در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی فرونشست دشت کرمانشاه با استفاده از تکنیک SBAS نتایج تحلیل سری زمانی کوتاه، حداکثر ۱۰ سانتی‌متر را در بخش غربی دشت کرمانشاه نشان می‌دهد. بررسی رابطه بین افت سطح آب زیرزمینی و حداکثر نرخ فرونشست در سطح دشت نشان می‌دهد که این رابطه غیرخطی است. با بررسی نوع خاک در منطقه مورد مطالعه، مشخص شد که تأثیر همزمان ضخامت رسوبات ریزدانه و افت سطح آب زیرزمینی در محدوده حداکثر وجود دارد. هلالی و همکاران (۱۴۰۳) آنها با استفاده از تداخل‌سنجی راداری، فرونشست زمین را در دشت سمنان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که حداقل افت آب‌های زیرزمینی در طول دوره هفت ساله مطالعه، بر اساس داده‌های پیژومتر در جعفرآباد ۰.۱۵ متر و بر اساس داده‌های پیژومتر ۸.۴ متر بوده است. مقایسه دو نقشه، مطابقت بین لایه‌ها را نشان داد. از ویژگی‌های مورفولوژیکی، مانند پیژومتر، برای مقایسه نرخ فرونشست محاسبه‌شده با میزان واقعی فرونشست استفاده شد. این مقایسه نشان می‌دهد که نرخ تعیین‌شده با میزان فرونشست مطابقت دارد. نتایج حاصل از آنالیز تصاویر در سال ۲۰۱۹ نیز فرونشست ۳۶ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. صفری و همکاران (۱۴۰۳) در مطالعه‌ای با عنوان تحلیل نقش عوامل انسانی در وقوع فرونشست با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و راداری (مطالعه موردی: شهر پیشوا) نتایج حاصله از این پژوهش نشان داد که منطقه مورد مطالعه در طی دوره زمانی ۲ ساله (۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲) بین ۱۰۷ تا ۴۱۱ میلی‌متر فرونشست داشته است ماکزیمم فرونشست سالانه بیش از ۲۰ سانتی‌متر است. نوروزی و همکاران (۱۴۰۴) در مطالعه‌ای با عنوان فرونشست دشت‌های ممنوعه بحرانی دشت اشتهارد نتایج حاصله از این پژوهش نشان داد فرونشست منطقه بین ۲۰۸- تا ۲۰۹۳- سانتی‌متر متغیر می‌باشد که حداکثر مقدار فرونشست مربوط به بازه زمانی ۲۰۲۰ و - ۲۰۱۹ حدود ۲۰۹۳ سانتی‌متر است. نتایج نشان داد نتایج همبستگی میزان فرونشست زمین با عملکرد و نتیجه عمق آب زیرزمینی هم در سطح ۹۵٪ معنی‌دار بوده است به گونه‌ای که با افزایش عمق آب زیرزمینی فرونشست در منطقه افزایش می‌یابد. گودرزی و همکاران (۱۴۰۴) در مطالعه‌ای با عنوان رابطه بین فرونشست زمین و مصرف آب در دشت یزد-اردکان با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ نتایج حاصله از این پژوهش نشان داد مقدار بیشینه فرونشست در سال ۲۰۱۷، ۱۳ سانتی‌متر و در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱، مقدار ۹ سانتی‌متر به دست آمد که این مقدار مربوط به منطقه شمسی در محدوده بین میبد و اردکان است. یاسین و اعتماد فرد (۱۴۰۴) در مطالعه‌ای به ارزیابی فرونشست خطوط راه‌آهن مشهد پرداختند. نتایج پردازش منطقه فرونشست در مسیر را نشان داد؛ برخی از مناطق دچار فرونشست بیش از ۲۰۰ میلی‌متر برآورد گردید. فرونشست عمدتاً در مناطقی که فعالیت کشاورزی بیشترین کاربری را در منطقه داشت قرار دارد. این مطالعه کیلومترهای ۰ تا ۶۰ این مسیر را که روگذرها و زیرگذرهای پراکنش زیادی است، به عنوان پرخطرترین بخش از نظر شدت شناسایی کرد. پرهیزگار و همکاران (۲۰۱۵)، پیش‌بینی افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین در آبخوان دامغان با ترکیب مدل‌های GMS و GAP بررسی گردید. نتایج مطالعه نشان داد که برای افت سطح آب زیرزمینی به میزان ۲۹۵ سانتی‌متر و ۳۴۳ سانتی‌متر، میزان فرونشست به ترتیب (۴.۳۵ و ۴.۳۹) سانتی‌متر است. این مطالعه نشان داد که سطح آب زیرزمینی به طور مداوم در حال کاهش و فرونشست در حال افزایش است. بنابراین، پمپاژ چاه‌ها در مناطق پرخطر باید کاهش یابد. ژو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۵) مخاطره فرونشست را در آبخوان پکن را بررسی کردند. هدف از این مطالعه، تعیین کمیت فرونشست بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ بود. نتایج نشان می‌دهد

که فرونشست به طور یکنواخت و پیوسته در فواصل ۹۲ میلی‌متر در سال ثبت شده است. متاق و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای که در دشت رفسنجان انجام شد، از داده‌های Sentinel-1A و ALOS از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶، که مساحتی بالغ بر ۱۰۰۰ کیلومتر مربع را پوشش می‌داد، برای بررسی زمین استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که ۵ سانتی‌متر در سال بین ۳۰ سانتی‌متر در سال اف داشته است. ایمام‌قلو و همکاران (۲۰۲۲) در رونشست سریع زمین را در کوچوک مندرس گرابن (غرب ترکیه) که توسط داده‌های سنتینل ۱ بررسی کردند. نتایج نشان داد که فرونشست زمین طی ۵ سال به ۲۹ سانتی‌متر رسیده است. الباقوی (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای در غرب سواحل مصر با استفاده از تداخل‌سنجی رادار در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ بررسی شده است. نتایج نشان داد که مقدار فرونشست در ۱۰ تا ۱۵ میلی‌متر می‌باشد.

### موقعیت منطقه مورد مطالعه

مهمترین ویژگی طبیعی در شهرستان شهریار وجود ادامه رودخانه کرج می‌باشد که در پی سبب شکل‌گیری دشت سیلابی در این حوضه شده است. تشکیل دشت سیلابی در اراضی پایین‌دست رودخانه کرج، به دلیل شیب ملایم این اراضی، منجر به حاصلخیزی زمین‌ها شده و وجود باغ‌ها و مزارع را به دنبال داشته است. چنین ویژگی طبیعی، به وضوح بر حاصلخیزی اراضی شهر شهریار و روستاهای جنوبی آن تأثیر گذاشته است. به این ترتیب، می‌توان از اراضی باغی و کشاورزی رودخانه کرج که از مجاورت شهر ادامه دارد و شیب ملایم شمالی-جنوبی موازی با مسیر رودخانه، به عنوان مهمترین عوامل تشکیل‌دهنده ماهیت شهر شهریار نام برد. علیرغم ساختار طبیعی کلی شهر شهریار و با توجه به مساحت باغ‌های موجود، حد غربی دشت سیلابی را می‌توان در مرز شرقی شهر و این تشخیص داد. بدین ترتیب، کانون‌های وائین و اندیشه قدیم در حوزه شمال غربی شهر شهریار به غیر از برخورداری از شیب ملایم شمالی-جنوبی از سایر ویژگی‌های بیان شده ساختار طبیعی شهر برخوردار نیستند. جهت باد غالب در طول سال در شهریار غربی و سرعت آن حدود ۳.۶ متر بر ثانیه است که ۲۱.۵ درصد از بادهای در حال وزیدن در شهریار را تشکیل می‌دهد و باد آرام ۴۰.۲ درصد است. شهریار با جمعیت ۱۸۹۴۲۱ نفر، یکی از سه شهر این بخش با طبقه‌بندی جمعیتی ۱۰۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰۰ نفر است. بر اساس اطلاعات جمعیتی موجود، رشد جمعیت در شهریار همیشه با نرخ بالایی بین ۷ تا ۱۲ درصد بوده است. بیشترین فرصت‌های شغلی نیز در شهریار مشاهده می‌شود که در گروه مشاغل خدمات عمومی و دولتی قرار دارد. دشت شهریار یکی از شهرهای استان تهران است که به دلیل نزدیکی به پایتخت و همچنین شهر کرج، از موقعیت مکانی مناسبی برخوردار است. این شهر به دلیل شرایط آب و هوایی و خاک حاصلخیز، دارای کاربری‌های مختلفی مانند باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی است. شهرهای این شهرستان شامل اندیشه، باغستان، فردوس، شاهدشهر، صبادشت و وحیدیه است. شهرستان شهریار تقریباً ۳۴۰ کیلومتر مربع مساحت دارد و ۱۱۴۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. دشت‌های حاصلخیز در شرق، مرکز و شمال شرقی شهرستان یافت می‌شوند. کوه‌های منفرد و گاهی پیوسته، زمین‌های یکنواخت را در جنوب و غرب تغییر داده‌اند (دستجردی و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل (۱): نقشه محدوده مورد مطالعه و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه  
 Figure (1): Map of the study area and geographical location of the study area

### روش پژوهش

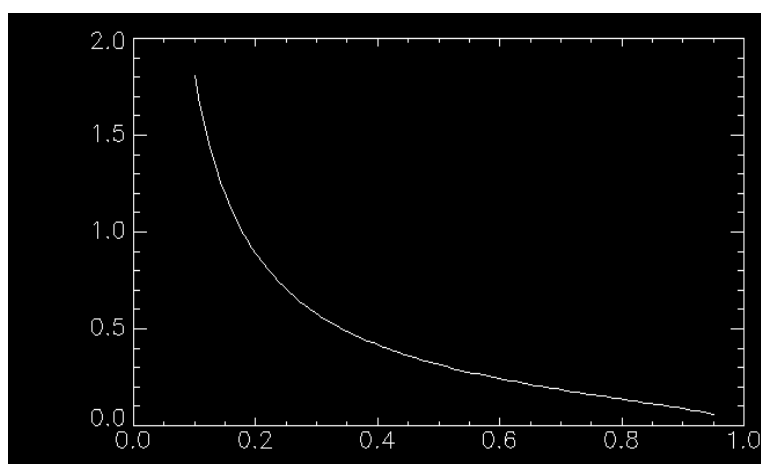
در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ استفاده شده است. سپس پردازش لازم از روش دقیق افزونه SARscape 5.2 در نرم افزار ENVI 5.3 انجام شد و روش مورد استفاده در این پژوهش به منظور تعیین میزان نشست، روش تداخل‌سنجی تفاضلی با گشودگی ترکیبی دو عبور مکرر و یا غیر مکرر می‌باشد. از اساسی‌ترین مراحل در پردازش تداخل‌سنجی راداری انتخاب مناسب زوج تصویر دشت شهربار است که چند عامل مانند فرکانس سنجنده، خط مبنای مکانی، خط مبنای زمانی در راستای حرکت فضایی سنجنده در انتخاب مسیر هر یک زوج تصاویر موثر می‌باشند. در این پژوهش از دو تصویر Sentinel-1-A از نوع SLC مربوط به سال ۲۰۱۸، ۲۰۱۹، ۲۰۲۰، ۲۰۲۱، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ استفاده گردید. مشخصات تصاویر راداری در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول (۱). مشخصات تصاویر راداری در تحقیق انجام گرفته در دشت شهربار

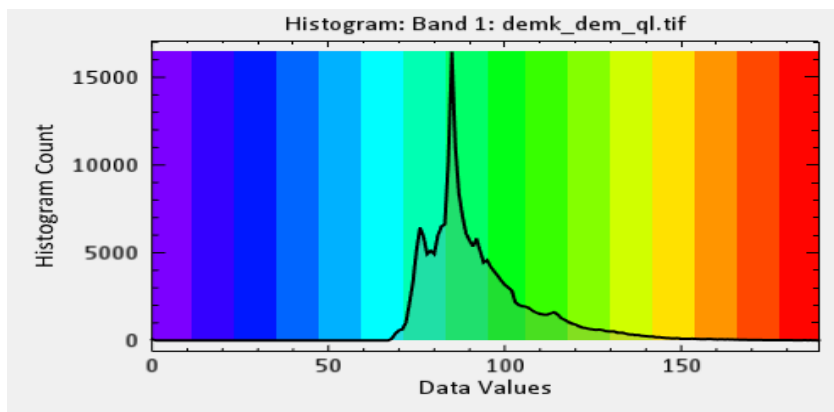
Table (1). Characteristics of radar images in the research conducted in Shahrivar Plain.

Year	Sensor name	Sub-image	Original image	Number
2017	Sentinel1	S1A_OPER_AUX	S1A_IW_SLC_1SDV	1
2018	Sentinel1	S1A_OPER_AUX	S1A_IW_SLC_1SDV	2
2019	Sentinel1	S1A_OPER_AUX	S1A_IW_SLC_1SDV	3
2020	Sentinel1	S1A_OPER_AUX	S1A_IW_SLC_1SDV	4
2021	Sentinel1	S1A_OPER_AUX	S1A_IW_SLC_1SDV	5
2022	Sentinel1	S1A_OPER_AUX	S1A_IW_SLC_1SDV	6
2023	Sentinel1	S1A_OPER_AUX	S1A_IW_SLC_1SDV	7

روش تداخل‌سنجی راداری (InSAR) امکان تولید مدل‌های ناهمواری زمین دیجیتال را با دقت ارتفاع بهینه تقریباً ۵ متر برای داده‌های باند C با طول موج ۶.۵ سانتی‌متر فراهم می‌کند. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، از تداخل‌سنجی راداری و تصاویر ماهواره‌ای رادار سنتینل ۱ با طول موج باند C در حالت مدار صعودی برای پایش و تعیین فرونشست در دشت شهریار استفاده شد. تداخل‌سنجی راداری روشی است که از اختلاف فاز سیگنال‌های برگشتی از سطح زمین در دو تصویر SAR که با تأخیر یا اختلاف منظر از یک منطقه گرفته شده‌اند، برای استخراج اطلاعات در مورد ارتفاع یا تغییرات سطح زمین استفاده می‌کند. برای پیاده‌سازی و آماده‌سازی روش DInSAR، باید دو اصل بین هر جفت تصویر راداری (تصویر اصلی و زیرتصویر) در نظر گرفته شود: خط مبنای زمانی و خط مبنای مکانی. پس از انتخاب جفت‌های تداخل‌نگار مناسب بر اساس خط مبنای زمانی و مکانی، در مرحله بعدی پردازش تصویر، از روش تهیه تداخل‌نگار به همراه مدل ارتفاعی رقومی استفاده شد تا اثر توپوگرافی تداخل‌نگار حذف شود. نتیجه این مرحله از کار، یک تداخل‌نگار تفاضلی مسطح شده است که در آن فاز ثابت و فاز توپوگرافی حذف شده‌اند. از آنجایی که تداخل‌نگار مسطح شده حاوی نویزهایی است که کیفیت بصری حاشیه تصاویر را کاهش می‌دهد، و یک فیلتر تطبیقی برای این منظور استفاده شده است (شیرانی، ۲۰۱۷). داده‌های مورد استفاده در این پژوهش داده تصویر راداری سنتینل ۱ با طول موج باند C در حالت مدار صعودی و سری تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. در طی بازه از سری سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹، ۲۰۲۰، ۲۰۲۱، ۲۰۲۲، ۲۰۲۳ می‌باشد. خط مبنا با توجه به اینکه هدف، نقشه ارتفاعی و یا نقشه تغییرات ارتفاعی منطقه باشد، تصویر برداری در بازه مکانی و زمانی مشخصی صورت می‌گیرد و فاصله بین تصاویر اخذ شده تحت عنوان خط مبنا شناخته می‌شود و بسته به اینکه این فاصله در زمان و مکان باشد، خط زمانی و مکانی تعریف می‌شوند. خط مبنای مکانی در حالتی که آنتن‌ها به صورت همزمان و در موقعیت مکانی متفاوت اقدام به زوج تصویر می‌نمایند، بردار موقعیت ماهواره‌ها معرف خط مبنای مکانی است. در چنین حالتی امکان محاسبه ارتفاع زمینی فراهم می‌شود، که ممکن است با هدف تولید و یا اصلاح مدل رقومی ارتفاعی موجود منطقه صورت بگیرد. اخذ تصاویر در تک گذر که در آن دو آنتن بر روی یک ماهواره و در راستای عمود بر حرکت قرار می‌گیرد، راه حل مناسبی برای اخذ هم زمان تصاویر در سنجنده‌های هواپرد محسوب می‌شود. مزیت اصلی استفاده از این تکنیک هم زمانی اخذ تصاویر و عدم نیاز به کنترل دقیق و صحیح فاصله بین دو آنتن می‌باشد. خط مبنای زمانی در صورتی که هدف مطالعه تغییرات ارتفاعی منطقه باشد، تصاویر اخذ شده از یک منظر و در زمان‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. در چنین حالتی که خط مبنای تداخل‌سنجی، اختلاف زمانی دو برداشت است. تداخل‌سنجی راداری قادر است اندازه‌گیری‌های دقیقی از تغییرات ارتفاعی زمین در پهنه گسترده و با فراوانی مکانی مناسب را فراهم نماید (Galloway and Hoffmann, 2011).

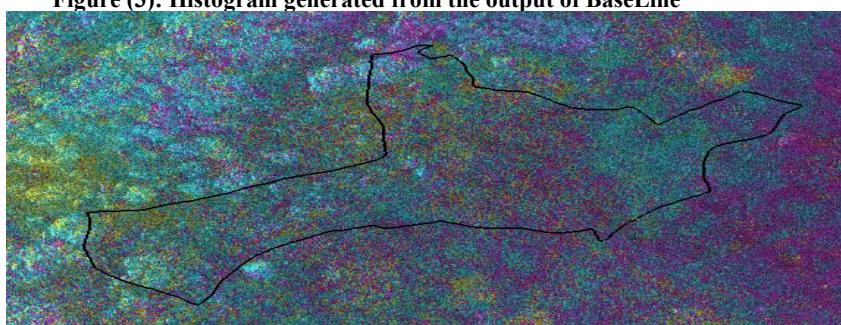


شکل (2): خط مبنا مکانی و زمانی  
Figure(2): Spatial and temporal baseline



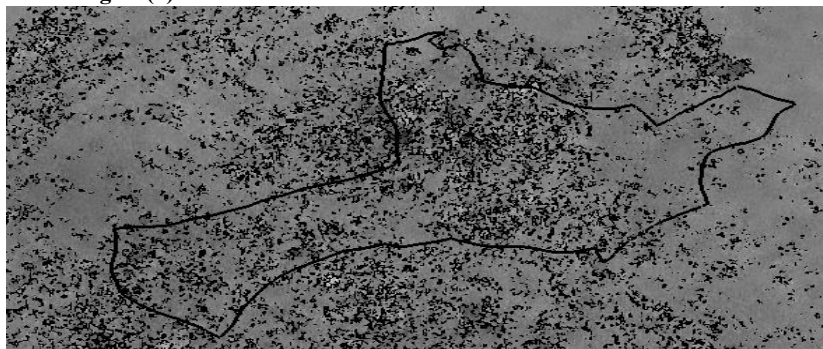
شکل (3): هیستوگرام تهیه شده از خروجی حاصل از BaseLine

Figure (3): Histogram generated from the output of BaseLine



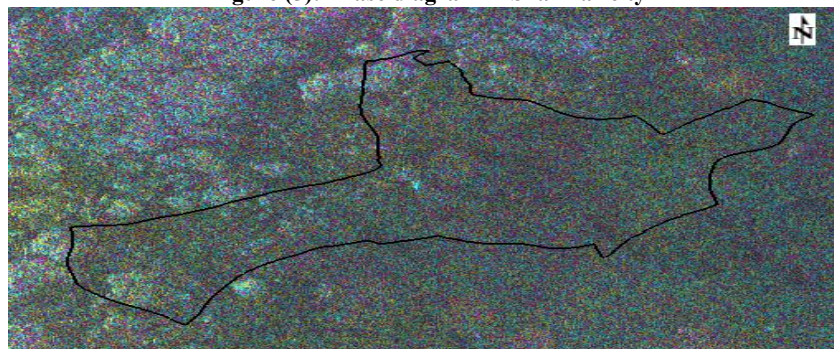
شکل (4): تصویر میانی وضعیت فیلتر و مقادیر محلی بالا رفتگی و فرورفتگی

Figure(4): The state of the filter and the local values of rise and fall



شکل (5): تصویر فاز در شهرستان شهریار

Figure (5): Phase diagram in Shahriar city



شکل (6): اینترفرومتری (اختلاف فاز دو موج شهرستان شهریار)

Figure(6): Interferometry (phase difference of two waves in Shahriar city)

داده‌های چاه‌های پیژومتری: علاوه بر این، در مطالعات مربوط به علل فرونشست خاک، تحلیل نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی نقش حیاتی ایفا می‌کند. بنابراین، سازمان آب منطقه‌ای اطلاعاتی در مورد تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی دریافت کرد که سپس با استفاده از نرم‌افزار GS+ پردازش شدند. این داده‌ها از یک چاه پیژومتری واقع در دشت شهریار سرچشمه گرفته و دوره زمانی ۲۰۱۹-۲۰۲۳ را پوشش می‌داد. برای انتخاب مؤثرترین مدل درونیابی از بین مدل‌های مختلف موجود، همه آنها ارزیابی شدند. از روش‌های مختلف کریجینگ برای درونیابی داده‌های آب‌های زیرزمینی استفاده شد. کریجینگ یک روش درونیابی مبتنی بر اصول دقیق است. اصل کلی آن تخمین ویژگی‌های کلی یک سطح از نقاط اندازه‌گیری شده و نقاط تعیین شده در طول تخمین نقاط ناشناخته است. منظم بودن یکی از مهم‌ترین ویژگی‌ها محسوب می‌شود و در کریجینگ از طریق روش‌های آماری معتبر در نظر گرفته می‌شود. با مدل‌سازی رابطه بین اختلاف فاصله و اختلاف  $Z$ ، می‌توان اندازه، شکل و جهت همسایه‌ها و همچنین تعداد نمونه‌ها را بهینه کرد. وزن‌های نمونه نیز برای بهینه‌سازی تابع درونیابی تعریف می‌شوند و امکان تخمین دقیق‌تر متغیر مورد مطالعه را فراهم می‌کنند. همین روش‌ها را می‌توان برای بهینه‌سازی تراکم نمونه نیز استفاده کرد. علاوه بر این، عدم قطعیت درونیابی یا به عبارت دیگر، کیفیت درونیابی نیز قابل تخمین است.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

که در این رابطه  $\gamma(h)$ ، مقدار نیم تغییرنا برای جفت نقاطی است که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند؛  $n(h)$ ، تعداد زوج نقاطی است که با فاصله صحیح  $h$  از هم قرار دارند؛  $Z(x_i)$ ، مقدار مشاهده‌ای متغیر  $X$  در موقعیت  $i$  و  $z(x_i + h)$ ، مقدار مشاهده‌ای متغیر در فاصله  $h$  از  $x_i$  است. معیارهای اعتبارسنجی به شرح زیر است:

$$MBE = \frac{1}{N_v} \sum_{i=1}^{N_v} [z(x_i) - \hat{z}(x_i)] \quad (2)$$

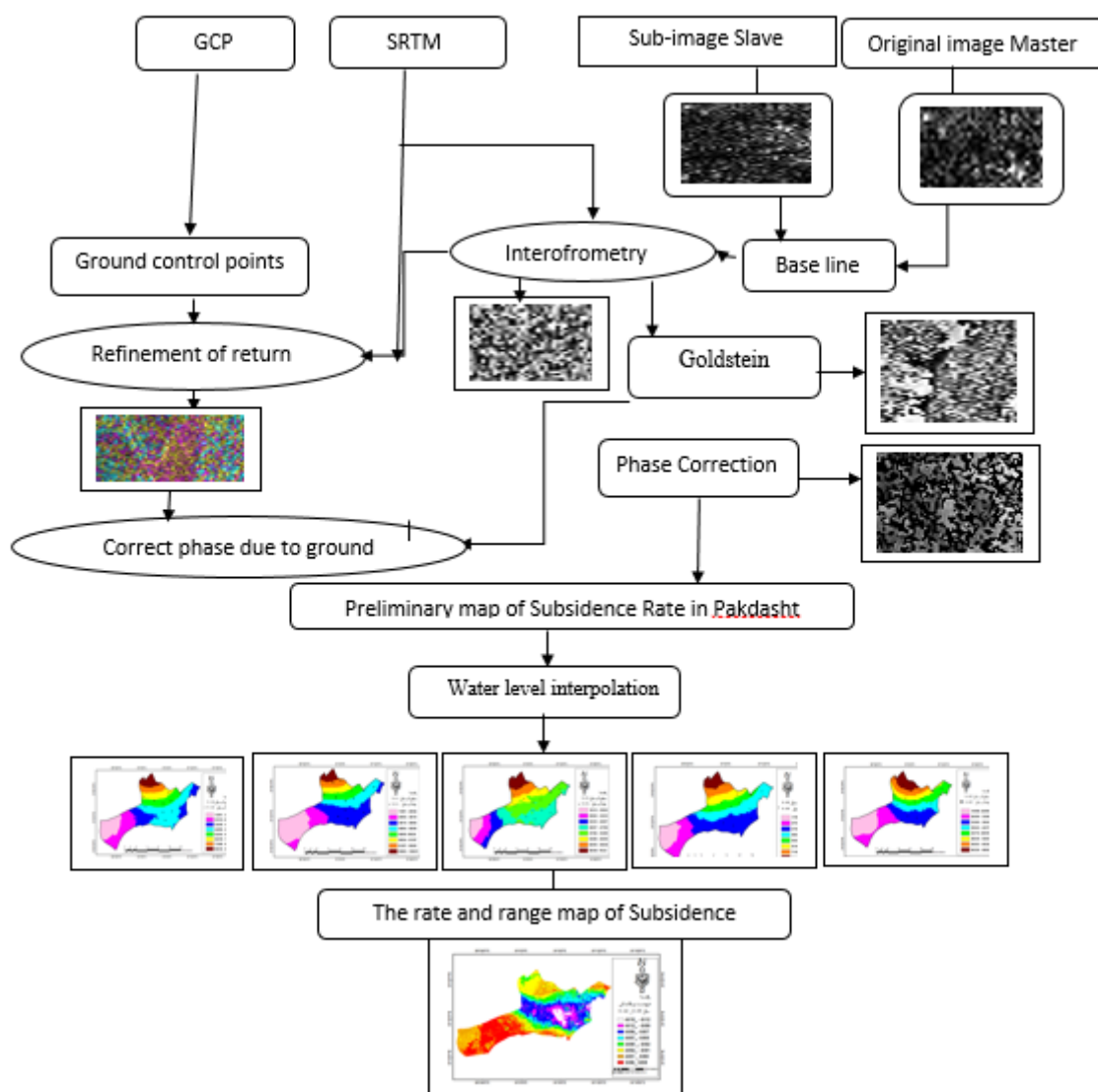
۲- ریشه میانگین دومین مربعات خطایی در رابطه  $(RMSE^1)$  که هر چقدر رو به پایین باشد، نشانگر خطای بسیار کم مدل بوده و فرمول نهایی آن به صورت زیر می‌باشد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{N_v} (z(x_i) - \hat{z}(x_i))^2} \quad (3)$$

در روابط فوق  $Z(x_i)$ ، مقدار برآوردی متغیر در  $\hat{Z}; x_i$ ، مقدار مشاهده‌ای متغیر در  $x_i$ ؛  $n$ ، تعداد نقاط با متغیر مشاهده‌ای می‌باشد (ماسونت و فیگل، ۱۹۹۸، ۴۶۰).

<sup>1</sup> Root Mean Square Error

<sup>1</sup> Cross-Validation  
<sup>1</sup> Mean Bias Error

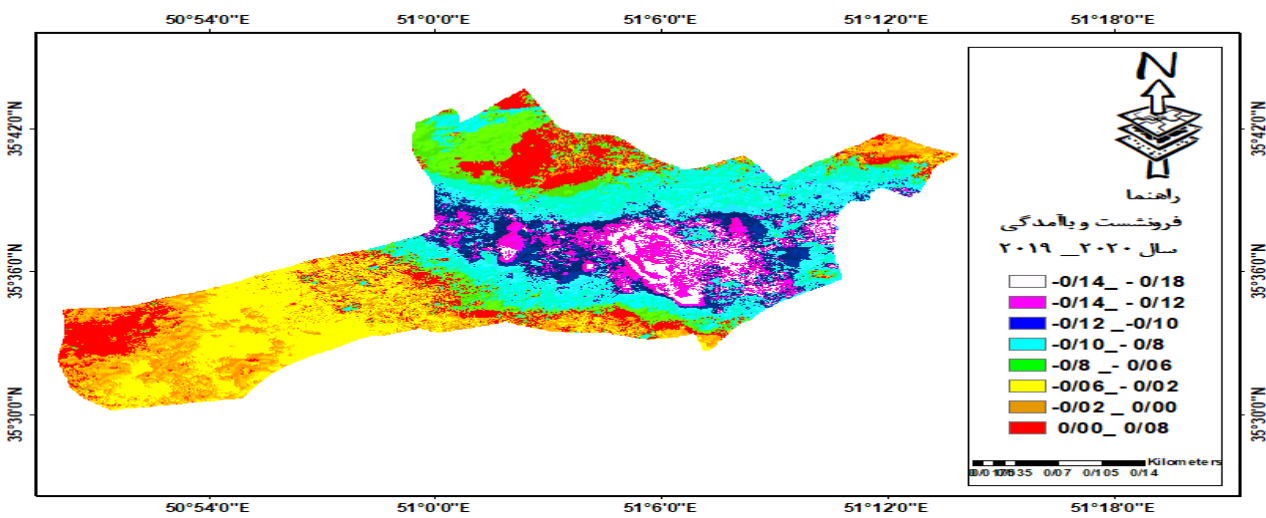
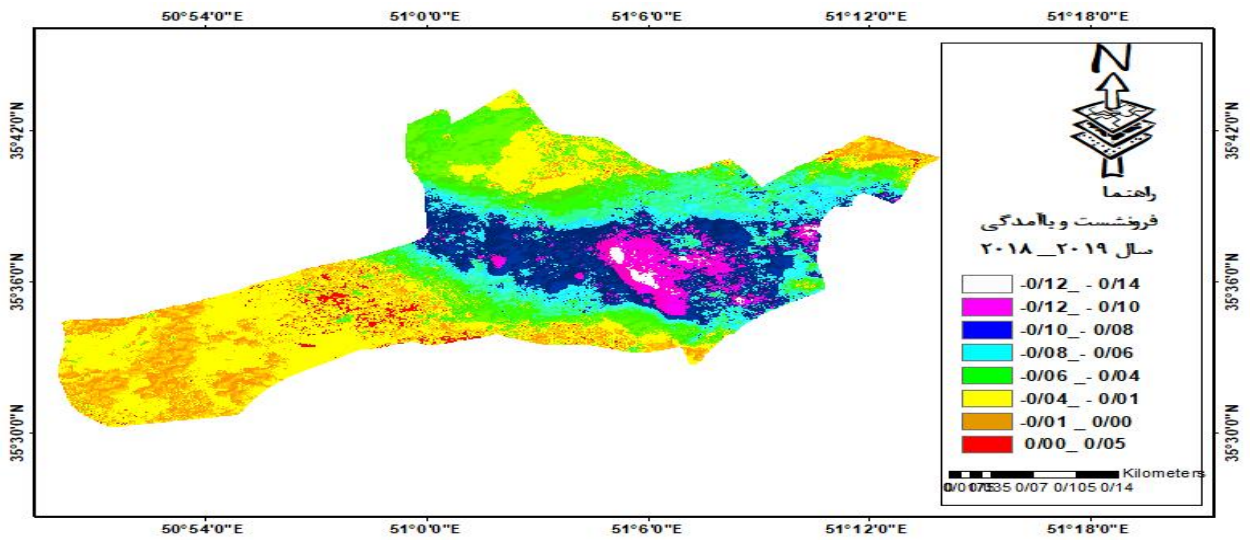
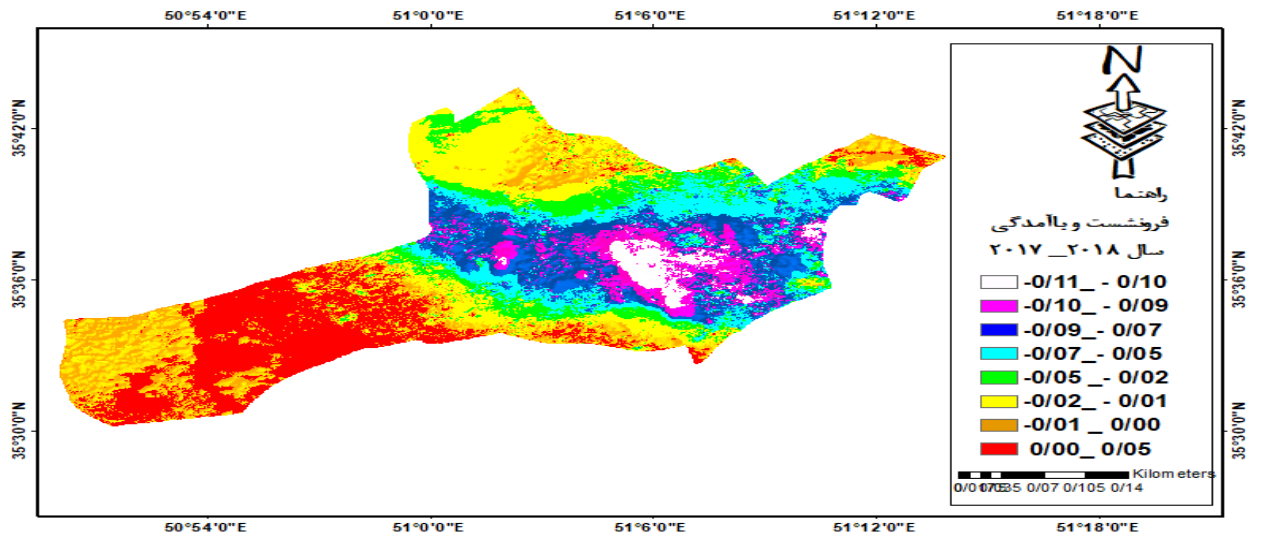


شکل (۷): فلوچارت مراحل تحقیق

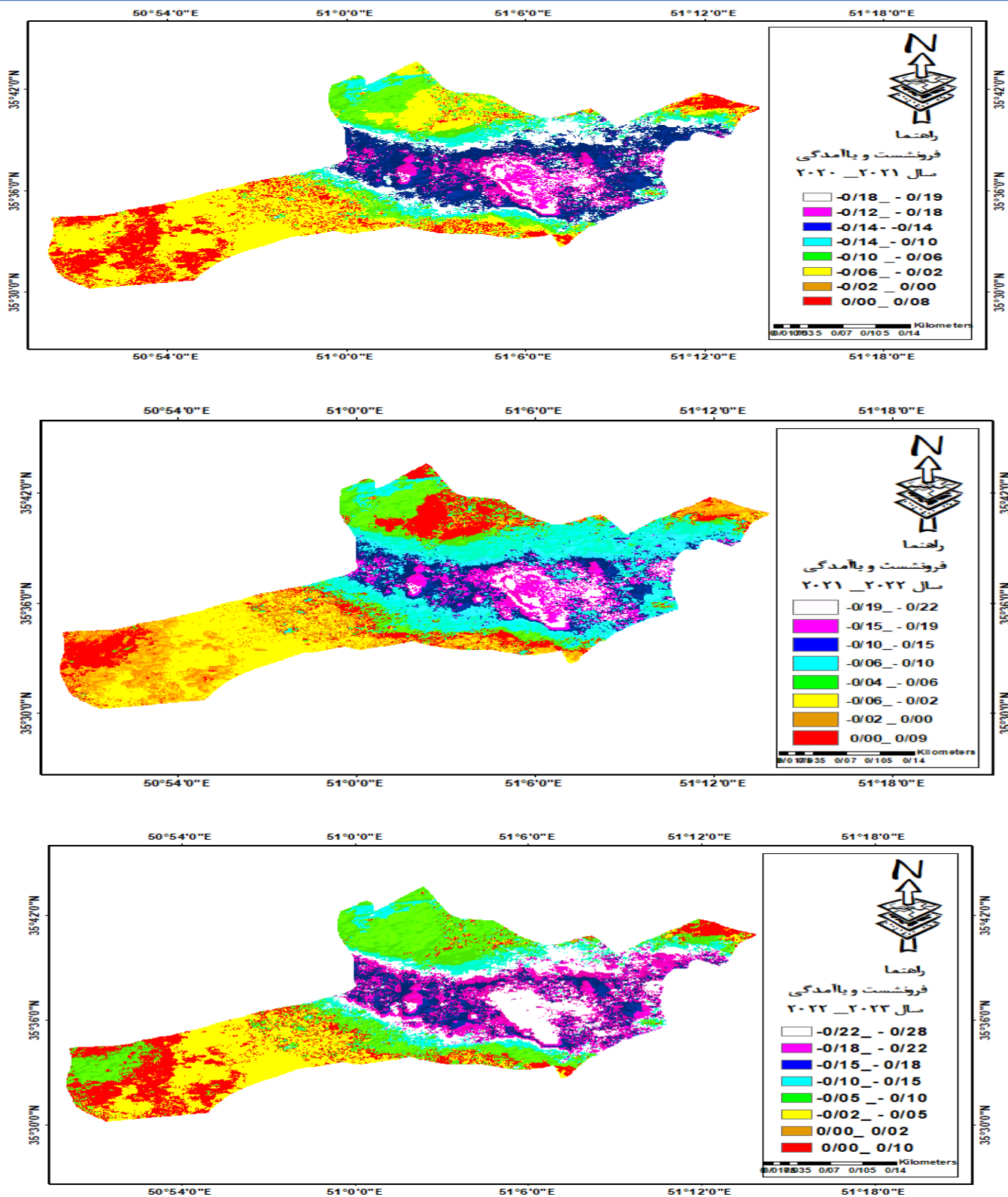
Figure (7): Flowchart of research steps

## نتایج

در این مطالعه، تمام فرآیندهای مورد بررسی، مانند انتخاب تصاویر مینا برای بررسی فرونشست دشت شهریار، انجام شد. نقشه خروجی مقادیر جابجایی مثبت مربوط به حرکت زمین به سمت نمای رادار (بالاآمدگی) است، در حالی که مقادیر منفی مربوط به حرکت سطح زمین دور از حسگر در جهت نمای رادار (فرونشست) است. نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است. بررسی وضعیت فرونشست در ۷ سال گذشته از ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ نرخ فرونشست افزایش یافته است. در ۷ سال، دشت شهریار ۲۸ سانتی‌متر فرونشست و نرخ بالاآمدگی ۱۰ سانتی‌متر تخمین زده شده است. بر اساس اطلاعات به دست آمده از نقشه فرونشست دشت شهریار، مشخص شد که فرونشست قابل توجهی در طول دوره مطالعه مشاهده شده است. روی نقشه، بالاترین سطح در ناحیه مرکزی شهر و کمترین آن در جنوب غربی دشت شهریار ثبت شده است.



هیدروژئومورفولوژی، دوره ۱۳، شماره ۴۷، تابستان ۱۴۰۵



شکل (۸) میزان بالا آمدگی و میزان فرونشست دشت شهریار

Figure (۸): Uplift and subsidence rates of the Shahriar Plain

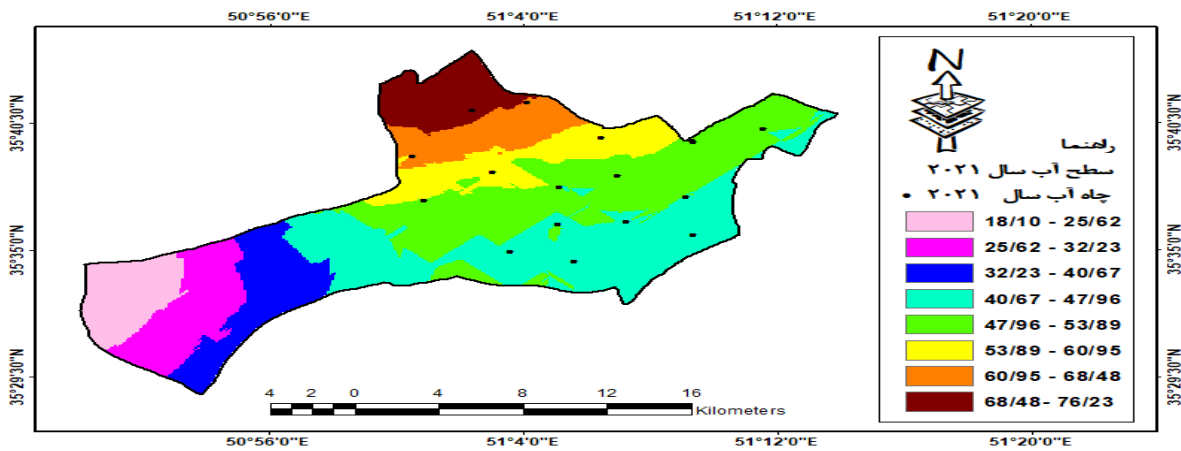
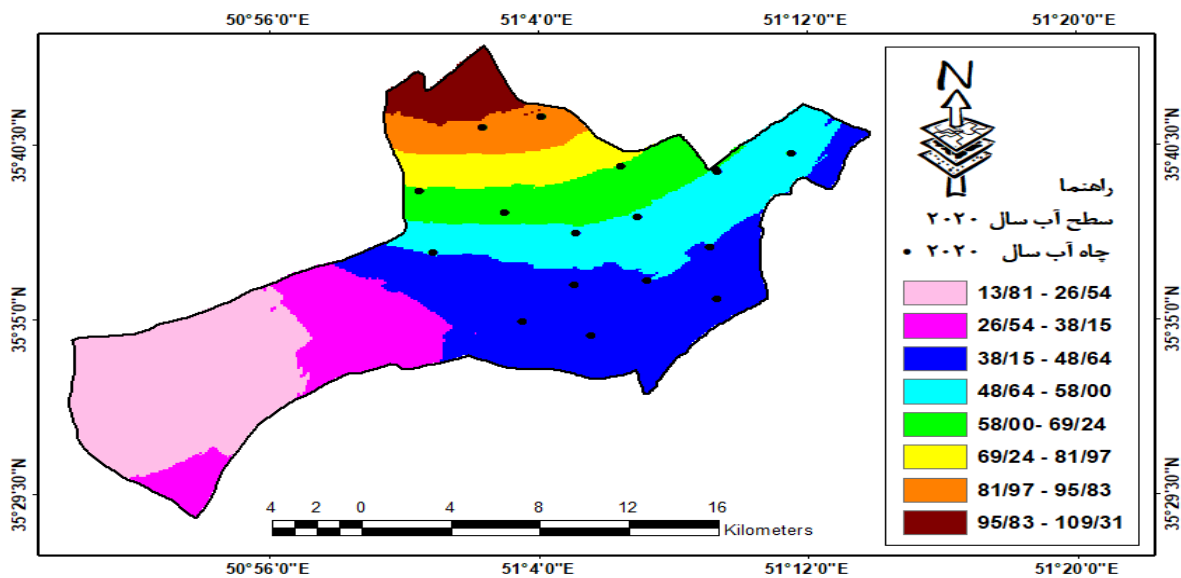
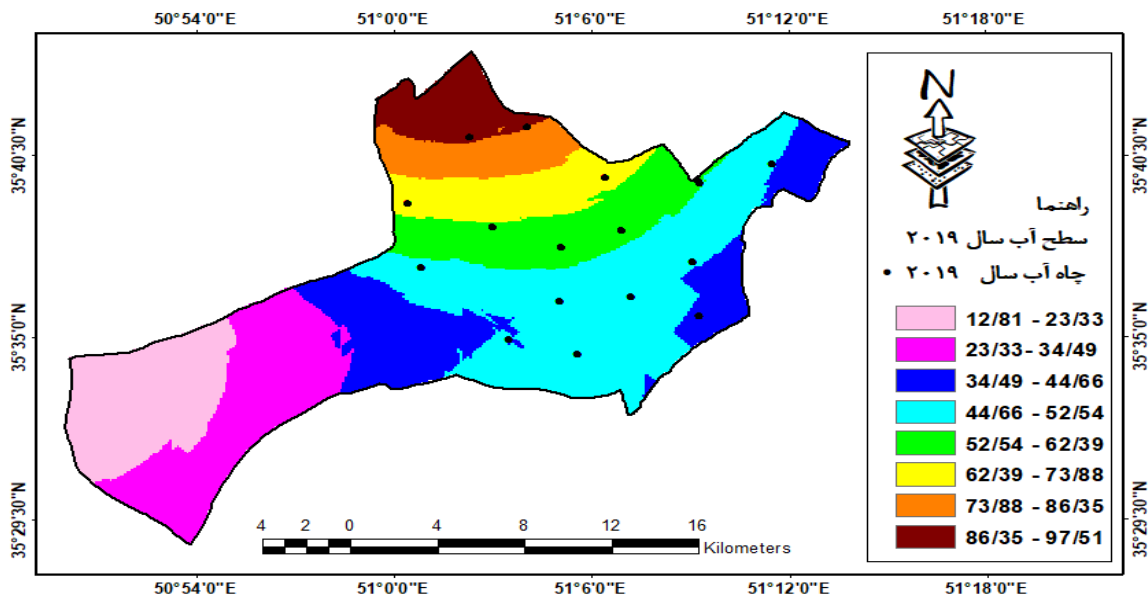
جدول ۲. میزان بالا آمدگی و میزان فرونشست دشت شهریار

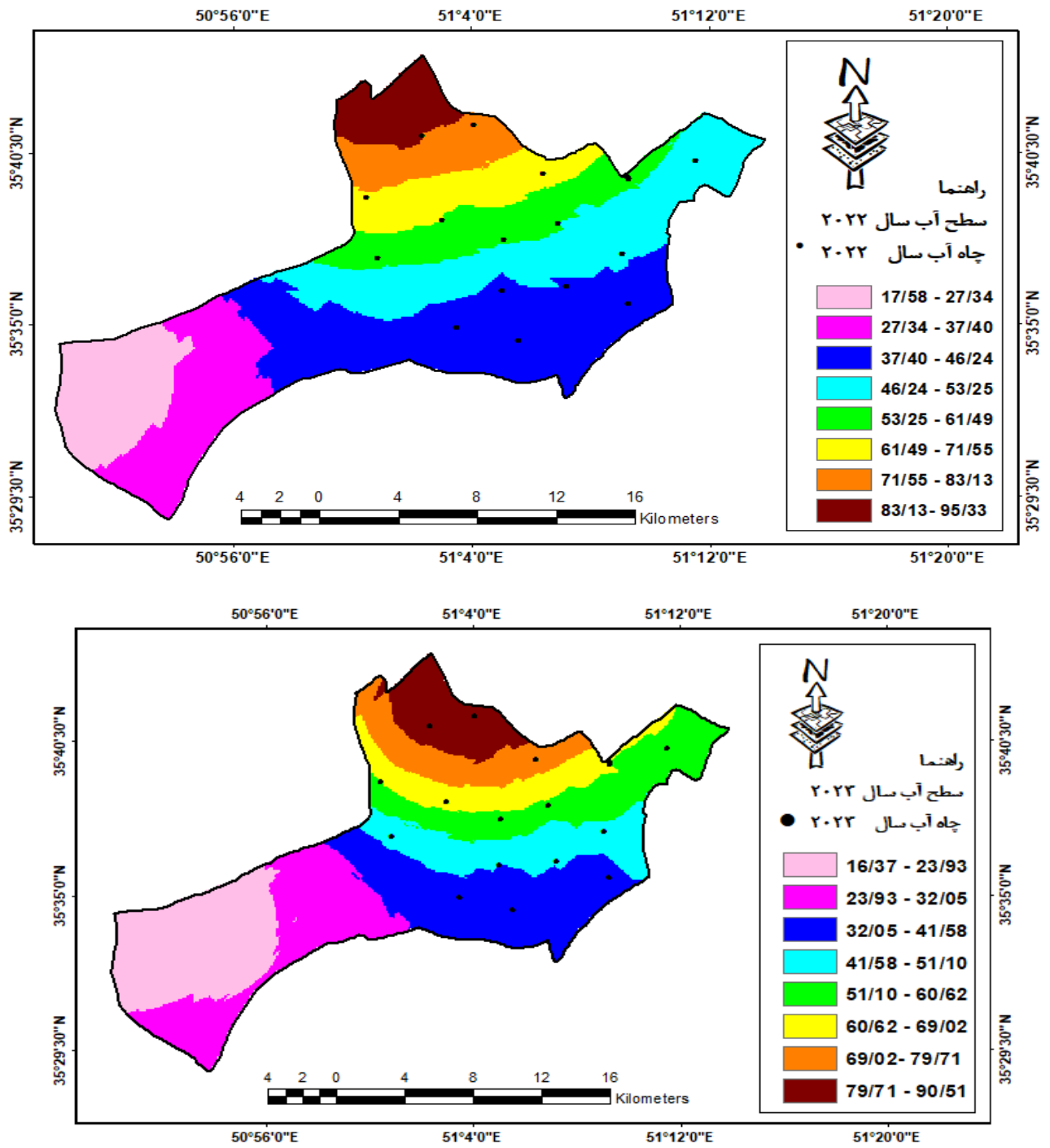
Table 2. Uplift and subsidence rates of the Shahriar Plain

سال	فرونشست	بالا آمدگی
۲۰۱۷-۲۰۱۸	-۱۱	۵
۲۰۱۸-۲۰۱۹	-۱۴	۵
۲۰۱۹-۲۰۲۰	-۱۸	۸
۲۰۲۰-۲۰۲۱	-۱۹	۸
۲۰۲۱-۲۰۲۲	-۲۲	۹
۲۰۲۲-۲۰۲۳	-۲۸	۱۰

### تحلیل رابطه فرونشست و آب‌های زیرزمینی

برای انتخاب مناسب‌ترین و صحیح‌ترین مدل درون‌یابی از میان مدل‌های گوناگون، همه مدل‌ها ارزیابی و صحت‌سنجی گردید و فقط آن دسته از مدل‌هایی که دقت بیشتری نسبت به بقیه داشتند انتخاب گردید. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به داده‌های پرت حساس است. هرچه این شاخص کمتر باشد، دقت تخمین‌ها بیشتر است یا تفاوت کمی بین مقادیر واقعی و تخمینی وجود دارد. برای پایش سطح آب زیرزمینی، داده‌های چاه‌های پیژومتری زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه هر ۵ سال یکبار با استفاده از مدل‌های کریجینگ که دقت بسیار بالایی دارند، درون‌یابی شدند. روش K-Bessel با مقدار RMS 0.142 برای سال ۲۰۱۹ و روش Gaussian با مقدار RMS 0.129 برای سال ۲۰۲۳ استخراج شدند که به عنوان دقیق‌ترین روش‌ها شناخته شدند. در این مطالعه، میزان نشست به دست آمده از طریق تکنیک تداخل‌سنجی از داده‌های چاه‌های پیژومتری مورد صحت‌سنجی قرار گرفته است. یافته‌های پژوهش با توجه داده‌های چاه‌های پیژومتری مورد صحت‌سنجی قرار گرفته است. با توجه درون‌یابی شکل ۵ تا ۹ با توجه به سطح آب زیرزمینی دشت علیرغم نوسانات فصلی دارای روند نزولی است. نتایج این ادغام نشان دهنده که در سال ۲۰۱۹ سطح آب ۹۷/۵۱ متر بوده است که در طی ۵ سال در سال ۲۰۲۳ به ۹۰/۵۱ متر کاهش یافته است که این سطح از افت سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد منجر به فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه شده است.





شکل(۹) نقشه درون یابی سال ۱۴۰۲ شهرستان شهریار  
Figure(9):Introduction map 2023of shahryar city



شکل (۱۰) برداشت میدانی ۰۱ مهر ۱۴۰۳، فرونشست جاده در محور آدران شهریار

Figure (10) Field survey, October 1, 2024. Road subsidence on the Adaran-Shahriar

### نتیجه‌گیری

بررسی و ارزیابی میزان تغییرات پوشش‌ها و چگونگی تغییر آنها در طول زمان، یکی از مهمترین مسائل در برنامه ریزی و تصمیم‌گیری و اقدام برای اصلاح است. به همین دلیل، گام اول این مطالعه، طبقه‌بندی و سپس بررسی تغییراتی بود که در یک دوره زمانی خاص در منطقه مرند رخ داده است. به همین منظور، در فاز اول این مطالعه، تصاویر لندست در محل مورد مطالعه با استفاده از روش شیء‌گرا در نرم‌افزار eCognition طبقه‌بندی و نقشه‌های خروجی در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 استخراج شدند تا تغییرات در یک دوره ۲۰ ساله طبقه‌بندی و ثبت شوند. در سال ۱۳۸۲، بیشترین سهم از این منطقه مربوط به زمین‌های کشاورزی با مساحت ۱۱۵۳/۸۸۰ هکتار بود. منطقه دوم به طبقه مراتع اشاره دارد که با مساحت ۴۵۶/۲۰۵ کیلومتر مربع، بیشترین مساحت را دارد. کوچکترین منطقه، به مساحت ۱/۲۲۴ کیلومتر مربع، برای مصارف آبی استفاده می‌شود. در سال ۱۴۰۲، زمین‌های کشاورزی با ۷۵۲/۳۲۷ کیلومتر مربع بیشترین مساحت را داشتند و پس از آن باغ‌ها با ۵۶۱/۶۴۷ کیلومتر مربع قرار داشتند. وقتی کاربری زمین را در نظر گرفته شد، نتایج تفاوت قابل توجهی را نشان می‌دهند. در سال ۱۴۰۲، کشاورزی بالاترین سطح استفاده از زمین‌های کشاورزی را داشته است که این میزان در طول زمان تغییر کرده است. فضای مسکونی زندگی نیز به طور قابل توجهی افزایش یافته است. با توجه به مقادیر جدول ۵، بهترین مدل در محیط GIS، بهترین مدل درون‌یابی است. برای انتخاب بهترین مدل درون‌یابی از بین مدل‌های مختلف IDW، RBF و Kriging، همه مدل‌ها ارزیابی شدند و تنها مدلی که دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها Kriging می‌باشد. که خود شامل انواع مختلف می‌باشد که برای سال ۱۳۸۲ از روش ک-بیسل و برای سال ۱۴۰۲ از روش گوسی استفاده شد. نقشه سطح آب زیرزمینی در شکل (۶) نشان داده شده است. همانطور که از نقشه بالا مشخص است، بالاترین میانگین سطح آب ثبت شده در سال ۱۳۸۲، ۵۳/۱۲ متر برای مصارف آبی و ۴۸/۱۷ متر برای مصارف مسکونی و پایین‌ترین میانگین سطح آب ۴۵/۴۸ متر برای مصارف کشاورزی بوده است. با در نظر گرفتن نقشه کاربری اراضی و نقشه سطح آب زیرزمینی برای سال ۱۴۰۲، بالاترین میانگین سطح آب در این سال، با ۳۶/۸۹ متر، نیز متعلق به کاربری پهنه آبی و کاربری باغات با مقدار ۳۲/۷۸ متر و پایین‌ترین میانگین سطح آب، با ۲۴/۱۶ متر، متعلق به کاربری منطقه مسکونی است. همانطور که از جداول (۶ و ۷) مشاهده می‌شود، با مقایسه سطح آب دو سال در منطقه مرند می‌توان نتیجه گرفت که میانگین سطح کاربری‌ها در سال ۱۴۰۲ نسبت به سال ۱۳۸۲ در برخی کاربری‌ها کاهش و افزایش داشته است، که نشان‌دهنده وضعیت بحرانی آب‌های زیرزمینی و استفاده بیش از حد از این منابع علت آن را می‌توان در عامل برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی برای محصولات آبی که نیاز بیشتری به آبیاری دارند، دانست. اما در این بین نباید تغییرات اقلیمی (میزان بارش و خشکسالی) و اثرات آن، عوامل انسانی از جمله برداشت از چاه و ایجاد چاه‌های غیرمجاز را نادیده گرفت. علت آن را می‌توان در عامل برداشت بیش از حد از

آب‌های زیرزمینی برای محصولاتی آبی که نیاز بیشتری به آبیاری دارند، دانست. از محدودیت تحقیق می‌توان به مشکلات مربوط به نرمال سازی داده‌های به دست آمده در نرم‌افزار GS+ که در مواقعی موجب سختی کار در مدل کریجینگ در GIS و خروجی اشاره کرد. مشابه این پژوهش توسط همچنین اسفندیاری و همکاران (۲۰۱۴) به ارزیابی و برآورد تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی در دشت سراب با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی پرداختند. مطالعات آن‌ها نشان داد که روش کریجینگ (مدل Rational Quadratic) با خطای RMSE و MBE به ترتیب ۹/۷۹ و -۰/۷۶ و  $R^2$  برابر با ۰/۳۱ در مقایسه با سایر مدل‌های مورد آزمون از بیشترین دقت و کارایی در برآورد مکانی سطح آب زیرزمینی برخوردار است؛ بنابراین روش کریجینگ را به عنوان روش بهینه، برای پهنه بندی سطح آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه توصیه کردند. با توجه به نقشه‌های پهنه بندی مشخص شد که سطح آب‌های زیرزمینی در قسمت جنوبی محدوده مورد مطالعه نسبت به بخش‌های دیگر بالاتر بوده؛ بنابراین از لحاظ مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی درخور توجه اساسی است. مشابه این پژوهش توسط کوبیژ و باک (۲۰۱۹: ۱۸۷) در لهستان، ضعف این ارتباط می‌تواند به تاثیر عواملی غیر از بارندگی، مانند برداشت بی‌رویه سفره‌های آب زیرزمینی از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق برای مصارف مختلف کشاورزی، صنعتی و شرب مربوط می‌شود. در نتیجه در صورت عدم توجه مستمر در آینده دچار افت شدید خواهند شد. از این رو توجه مستمر و مداوم مسئولان و دستگاه‌های اجرایی به کاهش آثار عوامل انسانی در افت سطح آب زیرزمینی و انجام مطالعات در این زمینه کاملاً ضروری است.

**پیشنهاد پژوهشی:** نویسندگان مقاله پیشنهاد می‌کنند در تحقیقات بعدی پژوهشگران تراز آب زیرزمینی را همراه با داده‌های کمی آب زیرزمینی باهم مقایسه و میزان آلاینده‌گی را در کاربری‌های متفاوت مقایسه کنند.

## References

- Asghari Saraskanrood, S. and Riahinia, M. (2024). Prediction of underground water potential in Khorramabad plain based on convolutional neural networks. *Journal of Hydrogeomorphology*, 11(38), 18-1. <https://doi: 10.22034/hyd.2023.56400.1691> (in persian).
- Asghari Moghaddam, A. , Nadiri, A. and Fijani, E. (2010). Spatial Prediction of Fluoride Concentration Using Artificial Neural Networks and Geostatic Models. *Water and Soil Science*, 19(2), 129-145. [https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article\\_1483.html](https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_1483.html) (in persian).
- Dinpasho, Y. , Fakhari Fard, A. , Hassanpoor Eghdam, M. A. and Beheshtee Vayghan, V. (2015). Trend Analysis of Groundwater Quality of Shabestar- Soofian Plain. *Irrigation Sciences and Engineering*, 38(1), 55-69. <https://doi: 10.22055/jise.2015.11153> (in persian).
- Asghari Saraskanrood, S. and Mohamadzadeh Shishegaran, M. (2021). Investigation of land use changes and its relationship with groundwater level Case study: Azarshahr city. *Journal of Environmental Science Studies*, 6(3), 3913-3926. [https://www.jess.ir/article\\_134670.html](https://www.jess.ir/article_134670.html) (in persian).
- Abbas Nejad, A., Shahidast, W., (2013), "Investigate the susceptibility of Sirjan plan due ti excessive withdrawals from the aquifer area", *Geography and Urban Planning Regional*, 7: 85-96. <https://doi 10.22111/gaij.2013.1090> (in persian).
- Akbari, M., Jorgeh, M., Madani Sadat, H., (2012), "Assessment of decreasing of groundwater-table using Geographic Information System (GIS) (Case study: Mashhad Plain Aquifer)", *Journal of Water and Soil Conservation*, 16 (4): 63-78. <https://doi: 20.1001.1.23222069.1388.16.4.4.0> (in persian).
- Albhaisi, M., Brendonck, L., Batelaan, O., (2013), "Predicted impact of land use change on groundwater recharge of the upper Berg catchment, South Africa", *Water SA*, 39 (2): 211-220. <https://doi:10.4314/wsa.v39i2.4>.
- Calvo, P.I., and Estrada, G.J.C., (2009), "Improved Irrigation Water Demand Forecasting - Using a Soft-computing Hybrid Model", *Biosystems Engineering*, Vol. 102, No. 2, 202-218. <https:// doi10.1007/s10661-023-10992-6>.

- Coppola, E., A., Duckstein, L., and Davis, D., (2002), "Fuzzy Rule-based Methodology for Estimating Monthly Groundwater Recharge in a Temperate Watershed", *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 4, PP: 326-335.
- Chamanpira, R. , Dehghani, R. and Veyskarami, I. (2025). Evaluation of Ground Water Level using Hybrid Models(Case Study:Khorramabad Plain). *Water and Soil Management and Modelling*, 5(2), 124-137. [https:// doi: 10.22098/mmws.2024.15077.1459](https://doi.org/10.22098/mmws.2024.15077.1459) (in persian).
- Chowdhury, A., (2016), "Assessment of spatial groundwater level variations using Geostatistics and GIS in Haringhata Block, Nadia District, West Bengal", *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5 (5): 276-280. <http://ijret.esatjournals.org>.
- Di Piazza, F., Lo Conti, L.V., Noto, F., Viola, G., La Loggia, C., (2011), "Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13: 396-408. [https:// doi: 10.1016/j.jag.2011.01.005](https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.01.005)
- Elmi, Ali & Ezatpanah, Bakhtyar (2023). Policymaking of Green Cities Compatible with Environmental Standards (Case Study: Marand City). *Urban and Regional Policy*, 2(7), 53\_70 [https://journals.iau.ir/article\\_708504.html](https://journals.iau.ir/article_708504.html) (in persian).
- Esfandyari Darabad, F., Alijahan, M., Rahimi, M., (2014), "Evaluation of algebraic and statistical models in estimating the spatial distribution of Ardabil plain water table", *Journal of Quantitative Geomorphological Researches*, 3 (2): 46-62. [https://doi.20.1001.1.22519424.1393.3.2.4.2](https://doi.org/10.22519424.1393.3.2.4.2) (in persian).
- Esmaili, S. and Mojarrad, F. (2025). Investigating the stability of the groundwater level in the Eslamabad-e Gharb plain (Kermanshah province) and evaluating the future situation with atmospheric general circulation models. *Journal of Hydrogeomorphology*, 11(41), 134-115. [https:// doi: 10.22034/hyd.2024.62351.1747](https://doi.org/10.22034/hyd.2024.62351.1747)(in persian).
- Fathi, H., Arkhi, S., (2013), "Different methods of land use change detection using satellite image (Case study: M. dry area)", *Journal of arid ecosystems*, 3 (1): 56-6. [https:// doi20.1001.1.2008790.192.3.1.6.8](https://doi.org/10.2008790.192.3.1.6.8)(in persian).
- Guler, C., Kurt, M. A., Korkut, R. N., (2013), "Assessment of groundwater vulnerability to nonpoint source Pollution in a Mediterranean coastal zone (Mersin Turkey) under conflicting Land use practices", *Ocean & Coastal Management*, 71: 141-152. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.10.010>.
- Gholizadeh sarabi, S. , Joodavi, A. , Majidi, M. , Ebrahimi, A. and Ronaghi, A. (2022). Methodology for Groundwater Monitoring Network Assessment and Design, Part 2: Iran Evaluation of Monitoring Network by Acceptance Probability Method; Case Study: Shirvan Aquifer, North Khorasan, Iran. *Journal of Water and Sustainable Development*, 9(3), 1-10. [https://doi: 10.22067/jwsd.v9i3.2203.1131](https://doi.org/10.22067/jwsd.v9i3.2203.1131)(in persian).
- Jahanshahi, A., Roohi Moghadam, A., Dehvari, A., (2014), "Evaluation of groundwater quality parameters using gis and land statistics (Case study: Aquifer in shahrbabak Plain)", *Water and Soil Journal*, 24 (2): 197-183. [https://doi 10.22059/JRWM.2018.257186.1259](https://doi.org/10.22059/JRWM.2018.257186.1259) (in persian).
- Jha, M.K., and Sahoo, S., (2015), "Efficacy of Neural Network and Genetic Algorithm Techniques in Simulating Spatio-temporal Fluctuations of Groundwater, Hydrological Processes, Vol. 29, PP: 671-691. [https://doi10.1002/hyp.10166](https://doi.org/10.1002/hyp.10166) .
- Javaherian Amir (2009), Estimating groundwater recharge using water balance and geostatistics method (Case study: Ghaemshahr aquifer). MSc thesis, Zabol University. [https://doi 10.1590/01000683rbc20140740](https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140740)(in persian).
- Kubicz, J., & Bak, B. (2019). The Reaction of Groundwater to Several Months' Meteorological Drought in Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28 (1), 187-195. <https://doi.org/10.15244/pjoes/81691>.
- Najib, M. , Asghari Moghadam, A. , Nadiri, A. A. and Fijani, E. (2023). Assessing and quality zoning of groundwater resources of Marand plain for drinking, agriculture, and industrial purposes. *Advanced Applied Geology*, 13(1), 238-260. [https://doi: 10.22055/aag.2022.40612.2293](https://doi.org/10.22055/aag.2022.40612.2293)(in persian).

- Najib, M. , Asghari Moghaddam, A. , Nadiri, A. A. and Fijani, E. (2021). Evaluating Quality Variation of Groundwater Resources in Marand Plain Using Unsupervised Combination Approach (GQI and GWQI Index). *Journal of Ecohydrology*, 8(4), 1061-1080. <https://doi: 10.22059/ije.2022.326865.1525>.
- Nikookhesal, Y. , Rasouli, A. A. , Mokhtari, D. and Valizadeh Kamran, K. (2022). Analysis of the relationship between precipitation changes and groundwater level in Marand plain with NRMC method. *Journal of Geography and Planning*, 26(81), 276-265. [https://doi: 10.22034/gp.2020.40649.2647\(in persian\)](https://doi: 10.22034/gp.2020.40649.2647(in persian)).
- Pir Alilou H, Beg Babaei B, Norouzi sani P. (2024). Foresight of urban management of Marand through the Oregon Model. *jgs*. 24(72), 171-187. [https://doi: 10.52547/jgs.24.72.171\(in persian\)](https://doi: 10.52547/jgs.24.72.171(in persian)).
- Rostamzadeh, H., Asadi, E., Jafarzadeh, J., (2015), "Surface water level monitoring in Ardebil Plain", *Environmental Spatial Situation Analysis*, 2 (1): 71-90. [https://doi: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.1.31 \(in persian\)](https://doi: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.1.31 (in persian)).
- Sadeghi, A., Zahtabian, G.H., Malekian, A., Khosravi, H., (2014), "Effect of land use change on ground water quality in Zaribar lake, Watershed studies, 27 (4): 90-97. [https://doi.org/10.22092/wmej.2015.106962\(in persian\)](https://doi.org/10.22092/wmej.2015.106962(in persian)).
- Saghafian, B., Danesh kar arasteh, P., Rahimi Bandarabadi, S., Fattahi, E., Mohammadzadeh, M., (2010), "Draft guide climatic factors using methods of spatial distribution data point", Ministry of Energy and Water Affairs Office engineering and technical standards, 12: 368-381.
- Salman Mahini, A., Rahele Namin, B., (2013), "Prediction of the effect of land use change on groundwater quality in the Qarshoo watershed using GIS and artificial neural network", *Journal of Remote Sensing in Natural Resources*, 3 (4): 1-12. (in persian).
- Samadi, J., (2016), "Site selection modeling for artificial recharge in Kashan aquifer using statistical methods, ahp and groundwater environmental considerations, *Iran-Water Resources Research*, 12 (1): 84-94. [https://www.iwrr.ir/article\\_15650.html?lang=en \(in persian\)](https://www.iwrr.ir/article_15650.html?lang=en (in persian)).
- Shakiba, A., Mirbagheri, B., Khyri, A., (2010), "Drought and its impact on groundwater resources in the East of Kermanshah using SPI", *Geography (Journal Research of Iran Geographic Society)*, 6 (25): 104-124. (in persian).
- Soleimanpour, S. M. , Zandifar, S. , Rahmati, O. and Motamednia, M. (2025). Evaluation of periodic changes in groundwater level in Bahadoran watershed yazd Provance. *Water and Soil Management and Modelling*, 5(1), 29-44. [https://doi: 10.22098/mmws.2024.14395. \(in persian\)](https://doi: 10.22098/mmws.2024.14395. (in persian)).
- Tahmouresi, M. S. , Niksokhan, M. H. and Ehsani, A. H. (2025). Estimation of surface net water flow and its relationship with hydrological and ecological parameters in the Urmia Lake basin. *Water and Soil Management and Modelling*, 5(2), 16-33. [https:// doi: 10.22098/mmws.2024.14929.1450. \(in persian\)](https:// doi: 10.22098/mmws.2024.14929.1450. (in persian)).
- Taghizadeh Mehrjardi, R., Zareian Jahromi, M., Mahmoodi, S., Heidari, A., Sarmadian, F., (2009), "Investigation of interpolation methods to determine spatial distribution of groundwater quality in rafsanjan", *Journal of Watershed Management Science*, 2 (5): 63-70. [https:// Doi.20.1001.1.20089554.1387.2.5.7.4\(in persian\)](https:// Doi.20.1001.1.20089554.1387.2.5.7.4(in persian)).