



## **Feasibility study on identifying wells with high sand production potential using the land subsidence maps (Case study: Alborz province)**

**Sara Fakouri<sup>1</sup>, Mohammad Bijankhan<sup>2</sup>✉**

1. Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran, Email: [sara.fakouri@edu.ikiu.ac.ir](mailto:sara.fakouri@edu.ikiu.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran, Email: [bijankhan@ut.ac.ir](mailto:bijankhan@ut.ac.ir)

---

---

### **Article Info**

**Article type:** Research Article

**Article history:**

**Received:** Sep. 18, 2021

**Revised:** Nov. 4, 2022

**Accepted:** Nov. 7, 2022

**Published online:** Dec. 22, 2022

**Keywords:**

Fine grain aquifer,  
Land subsidence,  
Sand production,  
Water well,  
Jaccard Coefficient.

---

---

### **ABSTRACT**

Sand production is a process affecting the well performance significantly. It would make severe challenges to water depletion and pump operation. Due to high drilling costs, identifying the sand production phenomenon prior to locating a new well is highly important. Land subsidence would occur in areas with fine-grain aquifers as a consequence of high water depletion. Furthermore, the sand production phenomenon is also related to the fine-grain aquifer. First, the land subsidence was estimated in Alborz province using Sentinel-1 satellite images from 2017 to 2021. Then, the relationship between sand production and the land subsidence phenomenon was investigated using the existing field evidence in southern parts of Savojbolaq. Also, the information on some wells with sand production phenomenon was compared with land subsidence maps. Finally, the Jaccard coefficient was employed to identify the similarity between land subsidence and sand production maps. The results indicated that the maps were identical at the level of the Jaccard coefficient of 65%. In other words, the wells in the high-risk land subsidence area could suffer from the sand production phenomenon with a probability of 65%.

---

Cite this article: Fakouri, S., & Bijankhan, M. (2022) Feasibility study on identifying wells with high sand production potential using the land subsidence maps. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (10), 2413-2427. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.348859.669365>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.348859.669365>



## امکان سنجی شناسایی چاه‌های با پتانسیل ماسه‌دهی زیاد با استفاده از نقشه‌های فرونشست (مطالعه موردی: استان البرز)

سارا فکوری<sup>۱</sup>، محمد بی‌جن‌خان<sup>۲</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران، ایمیل: [sara.fakouri@edu.ikiu.ac.ir](mailto:sara.fakouri@edu.ikiu.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران، ایمیل: [bijankhan@ut.ac.ir](mailto:bijankhan@ut.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۲۷	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۸/۱۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۶	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۱	
واژه‌های کلیدی:	
محیط ریزدانه، فرونشست، ماسه‌دهی، چاه آب، ضریب Jaccard	ماسه‌دهی از جمله فرآیندهایی است که می‌تواند عملکرد چاه را تحت تأثیر قرار دهد و استحصال آب را با چالش‌هایی جدی از جمله آسیب‌دیدگی پمپ مواجه کند. به دلیل هزینه‌های بسیار زیاد حفر چاه، تشخیص پدیده ماسه‌دهی قبل از حفاری چاه جدید از اهمیت زیادی برخوردار است. در مناطقی که محیط آبخوان ریزدانه است، بدلیل برداشت آب و پایین افتادن سطح ایستابی، پدیده فرونشست رخ می‌دهد. از طرف دیگر، احتمال بروز پدیده ماسه‌دهی نیز در محدوده ای از آبخوان با محیط ریزدانه بیشتر است. در این تحقیق ابتدا به برآورد فرونشست در محدوده استان البرز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1 در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ پرداخته شد. سپس با استفاده از بررسی‌های میدانی در بخش‌های جنوبی شهرستان ساوجبلاغ، شواهدی مبنی بر وجود ارتباط بین پدیده‌های ماسه‌دهی و فرونشست ارائه شد. همچنین، اطلاعات تعدادی از چاه‌ها که همراه با ماسه‌دهی بودند جمع‌آوری و با نقشه‌های فرونشست تطبیق داده شد. در نهایت به منظور کمی‌سازی اطلاعات، ضریب Jaccard برای تعیین میزان تشابه بین نقشه‌های فرونشست و ماسه‌دهی استفاده شد. نتایج نشان داد که نقشه‌های ماسه‌دهی و فرونشست زمین در محدوده ضریب Jaccard معادل ۶۵٪، متشابه هستند. به بیان دیگر با احتمال ۶۵٪، در شعاع ۵۰۰ متری از چاه‌هایی که در محدوده فرونشست جدی قرار داشته باشند، پدیده ماسه‌دهی نیز وجود خواهد داشت.

استناد: فکوری؛ سارا، بی‌جن‌خان؛ محمد، (۱۴۰۱). امکان سنجی شناسایی چاه‌های با پتانسیل ماسه‌دهی زیاد با استفاده از نقشه‌های فرونشست (مطالعه موردی: استان البرز).

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۱۰)، ۲۴۲۷-۲۴۱۳. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.348859.669365>



© نویسنده‌گان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.348859.669365>

## مقدمه

پدیده‌های فرونشست و ماسه‌دهی می‌توانند عملکرد چاه‌ها را مختل و برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی را با موانع و چالش‌هایی مواجه کنند. از دیدگاه یونسکو، پدیده فرونشست عبارتست از فروریزش یا نشست سطح زمین که به علل متفاوت و در مقیاس بزرگ روی داده و به‌طور معمول همراه با حرکات عمودی رو به پایین زمین است. جابه‌جایی‌های عمودی همچنین می‌تواند با بردار اندک افقی نیز همراه باشد (Poland, 1984). فرونشست زمین که مرگ آبخوان‌ها را به دنبال دارد یکی از بحران‌های کشور تلقی می‌شود. به دلیل تغییرات اقلیم ایران شاهد کاهش چشم‌گیر بارش‌ها بوده و همزمان برداشت بی‌رویه از منابع آبی و ضعف حکمرانی آب به فاجعه فرونشست منتهی شده است. اکنون اغلب دشت‌های کشور با فرونشست مواجه هستند. پدیده فرونشست زمین ناشی از عدم تعادل بین تغذیه و برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد که منجر به آسیب‌دیدگی لوله جدار چاه‌ها نیز می‌شود.

در مباحث مربوط به مطالعات فرونشست Waltham (1989) با بررسی منطقه‌ی آریزونای آمریکا، فرونشست زمین را در مناطق ریزدانه رسی و تحت تأثیر تحکیم لایه‌های زیرین گزارش نمودند. Strozzi *et al.* (2001) پتانسیل تصاویر راداری دیافراگم مصنوعی (SAR) در تداخل نگاشت تصاویر راداری دیافراگم مصنوعی (InSAR) را در پایش فرونشست مناطقی چون مکزیک، ایتالیا و آلمان بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که روش تداخل نگاشت تفاضلی (D-InSAR) یک امکان مناسب برای پایش فرونشست می‌باشد. Calderhead *et al.* (2007-2011) با انجام مطالعات زیادی بر روی برداشت بی‌رویه از آبخوان، به مدل‌سازی و محاسبه فرونشست به روش تداخل‌سنجی تفاضلی رادار دیافراگم مصنوعی (D-InSAR) پرداختند. آنها در یک مطالعه طولانی مدت روند تغییرات آب زیرزمینی در دره تولوکا را بررسی کردند، از مهمترین نتایج مطالعه‌ی آنها این بود که بیشترین عامل فرونشست افت سطح ایستابی در مناطقی است که درصد ریزدانه‌ی بیشتری داشتند. Du *et al.* (2018) به اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین با استفاده سنسورهای Sentinel ۱ و ALOS ۲ پرداختند که نتایج این دو ماهواره همدیگر را تأیید نمودند. در مطالعات آنها مناطقی که فرونشست را تجربه می‌کنند ترکیب تعدادی از عوامل، مانند، فعالیت‌های مسکونی، صنعتی یا کشاورزی بوده است. در ایران نیز مطالعاتی در زمینه برآورد فرونشست انجام گرفته که در ادامه بخشی از آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

اصلی‌ترین دلیل نشست زمین ناشی از برداشت زیاد از سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد که تحکیم رسوبات در اثر افزایش تنش مؤثر را در پی دارد. در صورتی که مقدار تخلیه آبخوان از تغذیه آن بیشتر شود، باعث برهم خوردن تعادل در آبخوان و افت سطح ایستابی می‌گردد. برداشت آب زیرزمینی سبب زهکشی آب از حفرات شده و منجر به کاهش فشار آب منفذی و در نتیجه انتقال تدریجی تنش از آب منفذی به دانه‌های خاک می‌شود. علاوه بر افزایش فشار، ضخامت و تراکم‌پذیری لایه‌های خاک، طول زمان بارگذاری، درجه و نوع تنش اعمال شده در نشست زمین مؤثر است. ضخامت لایه آبخوان، وجود رسوبات ریزدانه و هدایت هیدرولیکی لایه‌های خاک سبب ایجاد یک تأخیر زمانی بین افت سطح ایستابی و وقوع فرونشست خواهد شد. به دلیل ناهمگنی آبخوان و افت ناموزون سطح ایستابی، فرونشست به صورت یکسان در کل منطقه رخ نمی‌دهد و این سبب ایجاد درز و شکاف در پوسته زمین می‌شود. در نتیجه لزوماً یک رابطه خطی میان فرونشست و افت سطح ایستابی وجود ندارد (Mahshadnia, 2004; Namghi *et al.*, 2012). Haghghatmehr *et al.* (2012) به منظور ارزیابی قابلیت روش تداخل‌سنجی راداری (InSAR) از مقایسه همزمان مشاهدات سامانه موقعیت‌یابی جهانی (GPS) و داده‌های راداری در دشت هشتگرد که به علت استخراج نامناسب آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر فرونشست بود استفاده کرد. نتایج بدست آمده سازگاری بسیار بالای تداخل‌سنجی راداری و روش ژئودتیک را ارائه داد که نشان دهنده‌ی عملکرد بالای روش تداخل‌سنجی راداری بود. Janbaz *et al.* (2019) با استفاده از داده‌های ماهواره Envisat, Alos palsar 1 و Sentinel 1A به ارزیابی فرونشست دشت قزوین در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ از روش D-InSAR پرداختند. آنها در مطالعات خود دقت این روش را برای ارزیابی فرونشست مناسب اعلام کردند و نشان دادند بیشترین فرونشست‌ها در محیط آبخوان و در محدوده خاک‌های ریز دانه اتفاق افتاده است. Moradi *et al.* (2020) به تحلیل فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری و اطلاعات چاه‌های ژئوتکنیکی و پیزومتری در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ پرداختند. نتایج آنها ارتباط بین بافت خاک ریزدانه با میزان فرونشست را نشان داد و ملاحظه شد در قسمت‌هایی که ریزدانه‌های سیلتی تشکیل‌دهنده آبرفت منطقه هستند به راحتی در تنش حاصل از فرونشست زمین عکس‌العمل نشان می‌دهد. Shafiei *et al.* (2020) به بررسی فرونشست آبخوان دشت نورآباد با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری پرداختند. نتایج، ارتباط مستقیمی بین افت و میزان فرونشست را نشان داد همچنین در محدوده دشت در بازه زمانی ۱۲ ساله بیشترین میزان افت آب زیرزمینی حدود ۲۲ متر بود. نقشه‌های حاصل از فرونشست نیز نرخ متوسط نشست در هر سال را برابر با ۴ سانتی‌متر و طی بازه زمانی ۴ ساله حدود ۱۶ سانتی‌متر نشان داد. Akbari (2021) از روش

تداخل سنجی تفاضلی راداری در بررسی فرونشست زمین در شهر اراک استفاده کرد. نتایج وی تأثیرپذیری پدیده فرونشست از عوامل زمین‌شناسی و منابع آب و لزوم حفاظت از منابع آب و خاک در طرح‌های توسعه شهر اراک را نشان داد.

White *et al.* (1995) به بررسی حمل‌ش‌ن ریز و ماسه توسط آب زیرزمینی و ایجاد فرونشست زمین پرداختند. بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در سازندهای ماسه‌ای ریزدانه در اغلب کشورهای جهان نظیر آمریکا، ژاپن، هلند و غیره با مشکل ماسه‌دهی مواجه بوده است (Mirbagheri, 1998). ماسه‌دهی اغلب باعث افزایش فرسایش پمپ‌ها، کاهش ظرفیت انتقال خطوط لوله و کانال، سایش و انسداد روزنه‌های مشبک‌های لوله‌های جدار و تجمع ماسه در کف چاه و به طبع کاهش راندمان چاه و افزایش سرعت آب ورودی به لوله مشبک و نشست زمین همراه است (Sedaghat, 2003). از دیدگاه عوامل اولیه و ساختاری، رخداد ماسه‌دهی از ویژگی‌های زمین‌شناسی به‌ویژه رسوب‌شناختی منطقه می‌باشد. در دشت‌های آبرفتی به دلیل وجود نهشته‌های رسوبی ریزدانه این رخداد بسیار بیشتر از سایر نواحی است (Sayadi, 2007). در کشور ما نیز در مناطقی که دارای لایه‌های آبدار ماسه‌ای است مشکل ماسه‌دهی چاه‌ها از مواردی است که بهره‌گیری از این منابع خدادادی را به چالش می‌کشاند. این پدیده در استان‌های مازندران، سواحل دریای خزر، استان گلستان، کرمان، مشهد و استان تهران گزارش شده است (Tehran Province Water and Wastewater, 2011). میزان ماسه‌دهی به بافت سفزه و لایه‌های غیرقابل نفوذ، شیب هیدرولیکی، ساختمان چاه، نحوه لوله‌گذاری، جنس لوله‌های مشبک، مقدار برداشت، نوع و قدرت پمپ، زمان بهره‌برداری و استحصال آب از چاه بستگی دارد (Abdi, 2012). برای جلوگیری از نشست زمین و فشرده شدن سفزه آب زیرزمینی در اثر بیلان منفی بین ورودی و خروجی آب به سفزه و جلوگیری از ماسه‌دهی زیاد پیشنهاد می‌گردد زمان استراحت مناسب که بعد از هر ۸ ساعت کار پمپ است به چاه داده شود. بعد از زمان مذکور؛ آبخوان توان بازیابی و پر کردن خلل و فرج بین دانه‌ها را پیدا کرده و از فشرده شدن، تخریب و در نهایت از نشست زمین جلوگیری خواهد شد (Usefi *et al.*, 2016). نتایج حاصل از بررسی‌های فرونشست زمین استخرهای تغذیه مصنوعی جنوب نیروگاه همدان گویای نکاتی هستند که رعایت و در نظر داشتن آنها در دشت‌های مشابه منجر به ممانعت از تخلیه رسوبات ریزدانه آبخوان، فرونشست زمین و افزایش بازده طرح‌های تغذیه مصنوعی و کاهش آسیب‌رسانی آنها می‌شود (Koursandiaghaei, 2019). هندسه چاه، ویژگی‌های مخزن، کاهش آبدی و افت چاه برای تجزیه و تحلیل ماسه‌دهی به کاربرده می‌شوند. همچنین فشار بحرانی سیال و افت بحرانی چاه برای کاهش ماسه‌دهی و تعیین نرخ بهینه کاربرد دارند (Zhang, 2019).

لرؤماً برداشت آب زیرزمینی باعث ایجاد پدیده فرونشست نمی‌شود بلکه این موضوع در آبخوان ریزدانه اتفاق می‌افتد (Janbaz *et al.*, 2019). همچنین، در آبخوان ریزدانه احتمال وقوع پدیده ماسه‌دهی می‌تواند بیشتر باشد. هرچند که در چنین شرایطی می‌توان با کنترل میزان دبی برداشتی مانع از روئیت ماسه‌دهی چاه‌ها شد. به بیان دیگر، پدیده ماسه‌دهی چاه‌های آب می‌تواند ناشی از افزایش سرعت آب در محیط متخلخل باشد. هنگامی که دبی پمپاژ بیشتر از تنش برشی بحرانی ذرات رسوبی و ماسه باشد، موجب به حرکت در آمدن آنها خواهد شد. لذا ماسه‌دهی به عوامل متعددی چون دبی و سرعت آب در محیط متخلخل و ریزدانه بودن ذرات محیط بستگی دارد. بنابراین با شناسایی مناطق ریزدانه می‌توان با صرف نظر از چگونگی تغییر دبی و مشخصات برداشت، مناطقی که پتانسیل ماسه‌دهی بالاتری دارند را تعیین نمود.

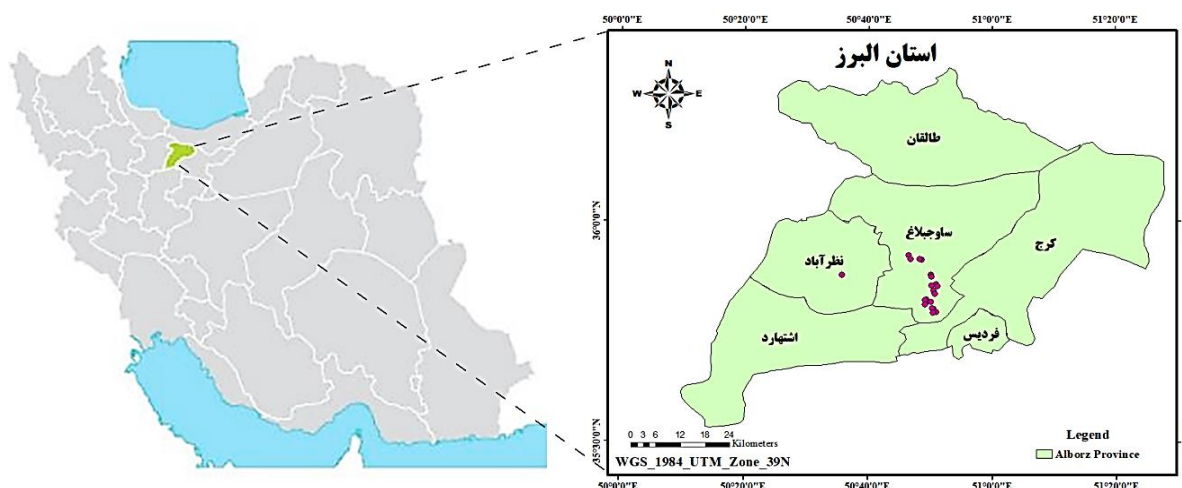
عمده مطالعات در زمینه فرونشست معطوف به کمی‌سازی و کشف ارتباط بین عوامل مختلف بر میزان فرونشست بوده است. درخصوص پدیده ماسه‌دهی نیز علاوه بر بررسی خسارت‌های این پدیده، منشاء زمین‌شناختی ایجاد آن نیز مورد بررسی قرار گرفته است. عموماً در بخش‌هایی از آبخوان که دارای لایه‌های ریزدانه باشد، مشکل فرونشست و در پی آن محدودیت در برداشت آب وجود خواهد داشت. لذا در تحقیق حاضر، فرضیه وجود تشابه بین پدیده ماسه‌دهی چاه‌ها با نقشه فرونشست مورد بررسی قرار گرفت. این موضوع با توجه به سابقه مطالعات تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. به منظور کمی‌سازی این تشابه از ضریب Jaccard استفاده شد. نتایج کمی و اطلاعات حاصل از مطالعات میدانی نشان داد که پتانسیل ماسه‌دهی چاه‌هایی که در مناطق با فرونشست جدی قرار دارند، بیشتر است. لذا به منظور حفر چاه‌های جدید و یا شناسایی مناطقی که احتمال بروز پدیده ماسه‌دهی در آنها بیشتر است می‌توان از نقشه‌های فرونشست استفاده کرد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان البرز با مساحت ۵۱۲۱/۶۹۴ کیلومترمربع به عنوان کوچک‌ترین استان ایران در محدوده جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۱ درجه

و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی، در جنوب ارتفاعات البرز مرکزی واقع شده است. این استان از شمال به استان مازندران، از شرق به استان تهران، از جنوب غربی به استان مرکزی و از غرب به استان قزوین محدود است. در شکل (۱) موقعیت استان البرز و شهرستان‌های این استان به همراه چاه‌هایی که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفتند، نشان داده شده است. لازم به ذکر است چاه‌هایی انتخاب شدند که با ماسه‌دهی جدی مواجه بوده اما اطلاعاتی از میزان ماسه‌دهی در دست نبود.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان البرز و چاه‌های مورد مطالعه

### برداشت اطلاعات میدانی

در این تحقیق اطلاعات تعدادی از چاه‌هایی که با ماسه‌دهی همراه بودند دریافت شد که در این بخش به آنها اشاره می‌شود. چاه آب شهر تنکمان، واقع در شهرستان نظرآباد استان البرز یک چاه سازمانی است که بازدید میدانی از آن انجام گرفت و حاکی از محیط ریزدانه آن نواحی بود. گل حاصل از حفاری در محیط پیرامون چاه قرار گرفته و جنس آن از ماسه و ریزدانه بود. در شکل (۲) موقعیت قرارگیری این چاه روی نقشه شهرستان نظرآباد و گل حفاری این چاه که در اطراف آن قرار داشت آورده شده است.



شکل ۲. گل حاصل از حفاری چاه آب تنکمان

با توجه به شکل (۲) حتی در زمان حفاری چاه نیز مشخص است که بافت آبخوان ریزدانه بوده و آبخوان‌های این قسمت استان از جنس ماسه و ریزدانه هستند، از آنجایی که ریزدانه بودن محیط آبخوان و ماسه‌دهی نیز با هم ارتباط دارند، چاه تنکمان نیز از این قاعده مستثنی نبوده و به شدت ماسه‌دهی داشت.

برای شناسایی چاه‌هایی که با ماسه‌دهی همراه هستند از دو دسته اطلاعات مربوط به گزارش آزمایش پمپاژ برخی از چاه‌ها و بازدیدهای میدانی در محدوده چهارباغ شهرستان ساوجبلاغ استفاده شد. نمونه گزارش آزمایش پمپاژ در شکل (۳) قرار گرفته است. همچنین اطلاعاتی نظیر سطح ایستابی، عمق چاه و مواجه و عدم مواجه با پدیده ماسه‌دهی ۲۲ حلقه چاه مربوط به سال ۱۴۰۰ در جدول (۱) قرار داده شده است.



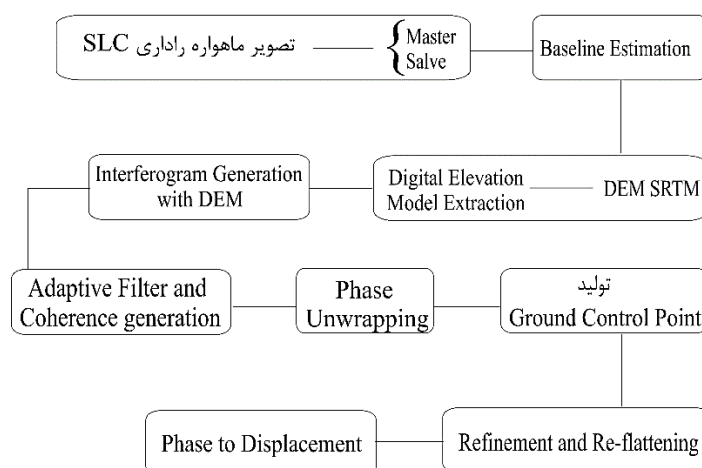


جدول ۲. ضخامت لایه درشت‌دانه آبدار چاه‌های محدوده چهارباغ

شماره چاه	ضخامت لایه درشت‌دانه زیر سطح ایستابی (متر)
۲۱	۱۲۶
۱۸	۱۱۸
۱۶	۵۰
۲۳	۳۵
۶	۳۴
۱۹	۳۲
۱۵	۱۹

### برآورد فرونشست با استفاده از روش تداخل سنجی راداری تفاضلی (D-InSAR)

پدیده فرونشست بر اثر تخلیه دراز مدت از آبخوان وعدم بازگشت آب برداشتی صورت می‌گیرد. امروزه برای بررسی این پدیده از داده‌های ماهواره‌ای و سنجش از دور که روشی ارزان است و دقت مطلوبی دارد، استفاده می‌شود. برای محاسبه فرونشست به روش تداخل سنجی تفاضلی ابتدا یک جفت تصویر در دو زمان مختلف از منطقه دریافت کرده و یک تداخل‌نما یا تداخل نگاشت ایجاد می‌شود تا با استفاده از آن توپوگرافی پیش از وقوع فرونشست تعیین گردد؛ سپس تداخل‌نمای دوم، توپوگرافی بعد از وقوع پدیده را نشان خواهد داد. حاصل اختلاف این دو تصویر میزان نشست و جابه‌جایی عمودی سطح زمین است. از این زوج تصویرها یکی به عنوان تصویر اصلی (Master) و دیگری به عنوان تصویر فرعی (Slave) مد نظر قرار می‌گیرند. گام‌های پردازش تداخل سنجی تفاضلی راداری در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵. گام‌های پردازش تصاویر راداری به منظور برآورد فرونشست

ماهواره Sentinel-1، اولین ماهواره از برنامه کوپرنیک است که توسط آژانس فضایی اروپا هدایت می‌گردد. این ماهواره در ۳ آوریل ۲۰۱۴ ماموریت خود را آغاز کرد. ماهواره مدار قطبی است که به صورت راداری تصویر برداری را انجام می‌دهد و قادر است که پدیده‌ها و عوارض را در شب و روز بدون در نظر داشتن شرایط آب و هوایی جمع‌آوری و اخذ کند. این ماهواره در محدوده طول موج ماکروویو و باند C تصویربرداری می‌نماید. همچنین هر ۱۲ روز یکبار دور کره زمین چرخش داشته و با هر ۱۷۵ چرخش به دور کره زمین، کل سطح زمین را پوشش می‌دهد. تصاویر ماهواره Sentinel-1 به لحاظ مکانی منطقه وسیعی از سطح زمین را پوشش می‌دهند و از طرفی قدرت تفکیک مکانی بالایی دارند بنابراین حجم داده‌های آن نیز زیاد است.

در تحقیق حاضر از سنجنده Sentinel-1 برای بازه ۳ ساله با پلاریزاسیون (قطبش) دریافتی و ارسالی عمودی (VV) استفاده شد که اطلاعات مربوط به تصاویر راداری این سنجنده در جدول (۳) قرار گرفته است.

به منظور محاسبه میزان فرونشست زمین برای منطقه یک جفت تصویر با همبستگی زمانی و مکانی بالا لازم است تا از اختلاف آن‌ها بتوان فرونشست را محاسبه نمود. تصاویر مورد نظر Single Look Complex برای سنجنده Sentinel-1 از سایت ASF Data Search به صورت رایگان دریافت شد. برای محاسبه فرونشست با تصاویر Sentinel-1 ابتدا تصاویر مداری نیز دریافت شدند. با به

کارگیری تصاویر مداری در مراحل پردازش، خطای Ramp که در نتیجه اختلافات مداری ایجاد شده نیز کم‌رنگ می‌شود. پس از دریافت تصاویر راداری، مداری و DEM مربوط به منطقه مرحله Import Data یا وارد کردن داده‌ها انجام می‌شود. پس از آن به منظور سنجش مناسب بودن جفت تصاویر از لحاظ کمی Baseline Estimation انجام می‌شود. Baseline Estimation اولین مرحله تولید تداخل سنج است. خروجی‌های حاصل از این گام پارامترهایی است که با توجه به مقدار آن‌ها می‌توان به صورت کمی بیان کرد که دو تصویر تا چه میزان با هم تناسب دارند. ماهواره بایستی در گذر بعدی دقیقاً منطقه‌ای را که در گذر قبلی پوشش داده بود، بپوشاند تا طول خط مبنا صفر شود. اما این حالت به ندرت رخ می‌دهد و ماهواره دقیقاً از مسیر قبلی خود نمی‌گذرد از این رو فاصله بین دو ماهواره یا مقدار نرمال پایه (Baseline Normal) و تفاوت مرکزیت فرکانس دو تصویر (Doppler Centroid diff) توسط نرم‌افزار محاسبه شده و یک مقدار بحرانی (Critical) نیز برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. از تقسیم مقدار نرمال پایه بر مقدار نرمال پایه بحرانی، BC، و از تقسیم مقدار نقطه مرکزی داپلر بر مقدار نقطه مرکزی داپلر بحرانی، DC حاصل می‌شود.

جدول ۳. مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده

ماهواره	تاریخ	نوع تصویر	قطبش	گذر	فریم
Sentinel-1	2017/02/05	SLC	VV	28	112
Sentinel-1	2018/02/12	SLC	VV	28	112
Sentinel-1	2019/02/07	SLC	VV	28	112
Sentinel-1	2020/02/02	SLC	VV	28	112
Sentinel-1	2021/02/08	SLC	VV	28	112

مقدار مناسب BC و DC برای محاسبه فرونشست، بین ۰ و ۱ است و هر چه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد تناسب بیشتری بین زوج تصویر اصلی و فرعی وجود دارد. وقتی مقدار BC از ۱ بیشتر شود، یعنی مقدار نرمال پایه و مقدار نقطه مرکزی داپلر از مقدار بحرانی خود بزرگ‌تر شده است و در این صورت استفاده از این زوج تصویر جهت محاسبه فرونشست پیشنهاد نمی‌گردد (Janbaz et al., 2019). گام بعدی استخراج مدل رقومی ارتفاع مربوط به منطقه مورد نظر است. با توجه به اینکه کشور ایران دارای ژئوئید نیست، از مدل رقومی ارتفاعی SRTM با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر استفاده می‌شود. همچنین فرمت hgt در نرم‌افزار ENVI، افزونه Sarscape، قابل اجرا است. برای دریافت DEM مربوطه به سایت USGS مراجعه شد.

مرحله بعدی Interferogram Generation with DEM می‌باشد. این مرحله تولید تداخل نگار است. در این مرحله توپوگرافی از تصویر تداخل نگار حذف شده و تداخل نگار مسطح می‌گردد. تصاویر حاصل از این مرحله باید بررسی شوند تا خطای Ramp که در اختلافات مداری ایجاد می‌شود در آن‌ها وجود نداشته باشند.

گام بعدی پردازش، فیلتر کردن (Adaptive Filter and Coherence generation) تداخل نگار مسطح شده است. به صورت کلی سه نوع فیلتر Adaptive، Goldstein و Boxcar برای اصلاح و کاهش نویز تصاویر وجود دارد. تصاویر خروجی مربوط به این مرحله میزان همبستگی زمانی بین تصاویر را نشان می‌دهند. مقدار عددی همبستگی زمانی بین صفر تا یک است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، حاکی از همبستگی بیشتر تصاویر است.

پس از فیلتر تصویر خروجی Phase Unwrapping می‌باید انجام شود. فاز تداخل نگار تنها می‌تواند ضربی از  $2\pi$  باشد و هنگامی که تغییرات فاز بیشتر از  $2\pi$  شود مرحله مجدد شروع و چرخه تکرار می‌شود. در این مرحله فازهایی که خارج از محدوده هستند، با استفاده از الگوریتم Region growing به صورت ناحیه‌ای در محدوده  $-2\pi$  تا  $2\pi$  قرار می‌گیرند. Region growing الگوریتم پیش فرض Unwrapping است و در صورت انتخاب این روش، توصیه شده از در نظر گرفتن آستانه همبستگی زمانی بالا اجتناب شود. بهترین مقدار بین  $0/15$  تا  $0/2$  است. سطح تقسیمات (Decomposition Level) نیز توصیه شده بیشتر از مقدار ۳ نباشد و در مواردی که جابه‌جایی سطح و توپوگرافی بسیار زیاد است، استفاده از تجزیه می‌تواند اثرات غیر ایجاد کند و در این حالت مقدار ۱- برای جلوگیری از روند تجزیه و تقسیم باید در نظر گرفته شود. همچنین پیش فرض نرم افزار ۱، که حداقل مقدار تقسیمات است، می‌باشد.

مرحله بعدی ایجاد نقاط کنترل زمینی (Ground Control Point) است. نقاط مناسب، نقاطی هستند که فاقد فرینج بوده و روی توپوگرافی و لبه‌ها نباشند به عبارت دیگر در محل‌هایی که تغییرات زیاد و ناگهانی است قرار نگیرند.

گام بعدی پردازش Refinement and Re-flattening می‌باشد که خروجی‌ها بار دیگر فراخوانی شده تا مراحل انجام گرفته تا به



اینجا مجدد بررسی شوند.

از طرفی فرینج‌های موجود در یک تداخل‌نا فقط از توپوگرافی تأثیر نمی‌پذیرفتند. بلکه انحناى زمین نیز در آن دخیل بود. اثر فاز ناشی از انحناى بیضوی زمین از تداخل‌نا حذف شد و فقط فرینج‌های مربوط به جابه‌جایی باقی ماند. به این عمل مسطح ساختن تداخل‌نا گویند (Akbari, 2021).

گام آخر پردازش نیز Phase to Displacement Conversion and Geocoding می‌باشد که در آن مقادیر فاز به جابه‌جایی تبدیل شده و سپس زمین مرجع می‌شود. در این مرحله مقادیر منفی نشان‌دهنده فرونشست و پایین‌رفتنی و مقادیر مثبت نشان‌دهنده بالاآمدگی می‌باشد. باید توجه داشت مقدار میانگین فرونشست محاسبه شده توسط نرم‌افزار ENVI مقدار صحیحی نیست چرا که بالاآمدگی -ها و مناطقی که فرونشستی نداشتند نیز در آن در نظر گرفته شده است. لذا به منظور محاسبه مقدار دقیق میانگین فرونشست، از نرم‌افزار ArcGIS برای حذف مقادیر مثبت و برش محدوده‌ی مربوط به استان البرز، استفاده شد. در فصل بعدی نتایج حاصل از این سنجنده قرار گرفته است.

### ضریب Jaccard

ضریب Jaccard معیاری برای کمی‌سازی میزان شباهت و تفاوت دو مجموعه کاربرد دارد. این اندکس با توجه به وجود یا عدم وجود دو پدیده و همزمانی رخداد آنها می‌تواند نسبت به میزان تشابه آنها اطلاعاتی را در اختیار قرار دهد. میزان شباهت دو مجموعه با حاصل تقسیم اشتراک بر اجتماع آنها بدست می‌آید (Jaccard, 1912):

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن A و B نماینده دو مجموعه دلخواه و تابع J معیار شباهت و شاخص اندازه‌گیری شباهت بین دو مجموعه می‌باشد (Koeneman & Cavanaugh, 2022; Chung et al., 2019).

در این تحقیق از شاخص Jaccard به منظور کمی‌سازی میزان تطابق نقشه فرونشست (A) با نقشه ماسه‌دهی (B) چاه‌ها استفاده شد. نقشه فرونشست در دو کلاس (۱- فرونشست کمتر از ۱۰ درصد میانگین و ۲- فرونشست بیشتر از ۱۰ درصد میانگین) تعریف شد. همچنین، نقشه ماسه‌دهی با استفاده از فاصله اقلیدسی چاه‌هایی که همراه با ماسه دهی هستند در محیط GIS تولید شد. برای بررسی هر چاه محدوده‌ای به شعاع ۵۰۰ متر به عنوان شعاع تأثیر لحاظ شد (Alizadeh, 2012 Page 430). به عبارت دیگر، اشتراک و اجتماع مساحت‌های مربوط به دو نقشه فرونشست و ماسه‌دهی در محدوده‌ای به شعاع ۵۰۰ متر از هر چاه محاسبه و در رابطه (۱) استفاده شد.

### نتایج و بحث

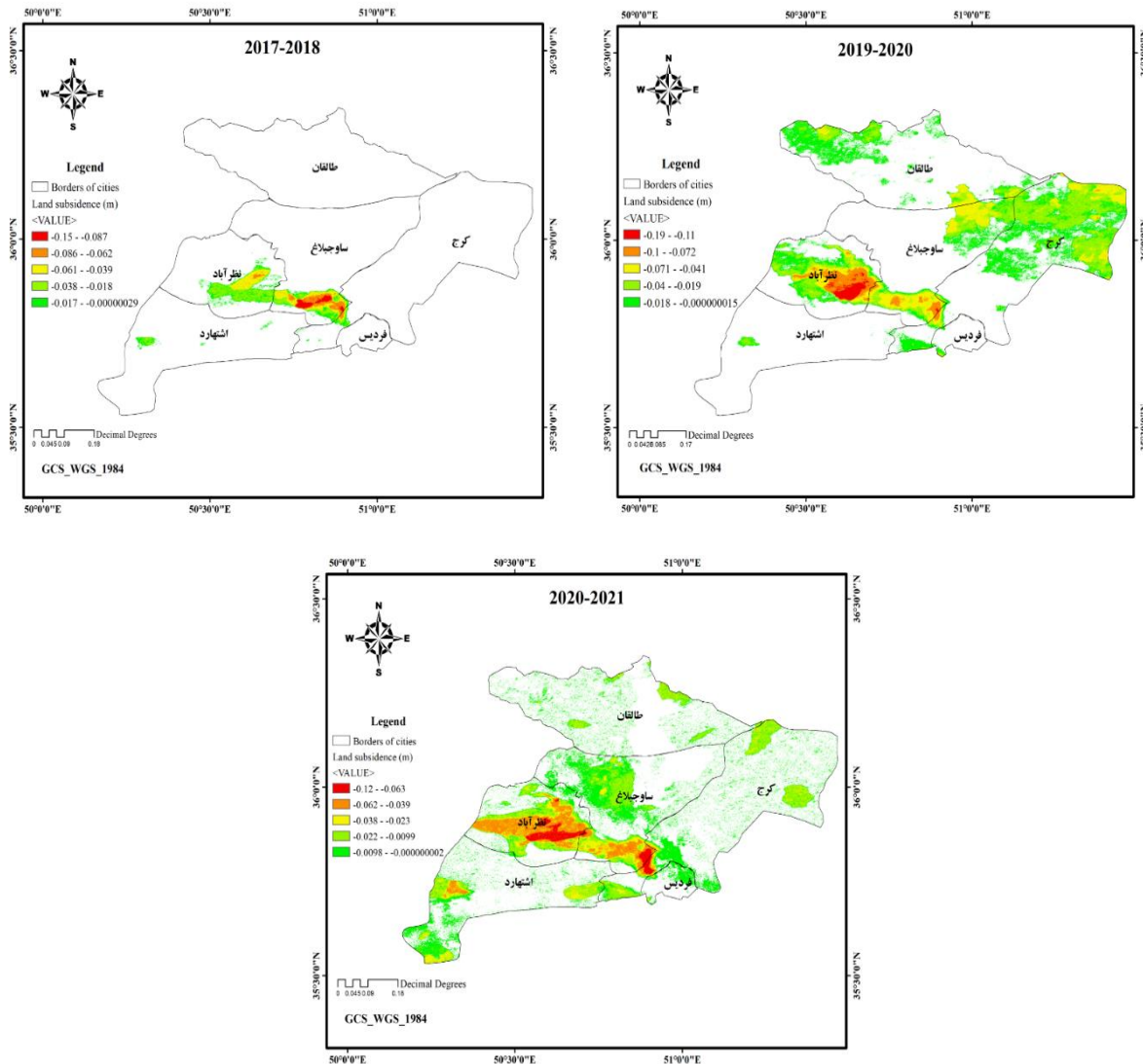
برای بررسی روند فرونشست تصاویر ماهواره Sentinel-1 از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ دریافت و نقشه‌های ایجاد شده در قالب شکل (۶) ارائه شد. با توجه به شکل (۶) مشاهده می‌شود که بیشترین فرونشست‌ها در نوار مرکزی استان رخ داده است. حداکثر و متوسط فرونشست در سطح استان برای دوره سه ساله در جدول (۴) قرار داده شد تا به سهولت مقادیر با یکدیگر مقایسه شوند. شایان ذکر است که اعداد ارائه شده برای مقادیر ماکزیمم فرونشست، معرف دشت‌ها نیست بلکه این اعداد مربوط به نقاط خاصی از سطح دشت می‌باشد. همچنین مقادیر میانگین فرونشست استان در سه سال مختلف محاسبه شده است.

جدول ۴. تغییرات سالانه فرونشست استان البرز با استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-1

سال	حداکثر فرونشست (سانتی‌متر)	متوسط فرونشست (سانتی‌متر)
۲۰۱۸-۲۰۱۷	۱۴/۵۶	۳/۷۲
۲۰۲۰-۲۰۱۹	۱۸/۶۲	۳/۰۲
۲۰۲۱-۲۰۲۰	۱۱/۹۸	۱/۸۲

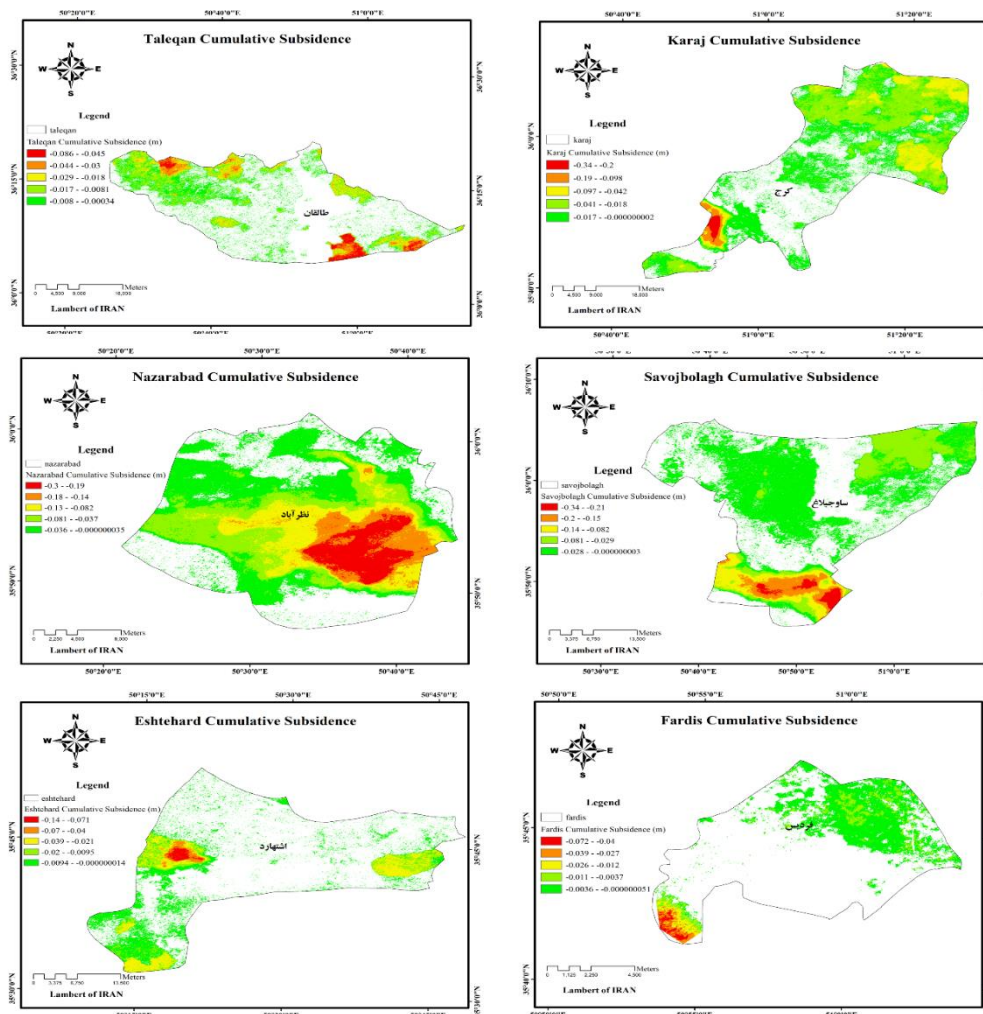
در شکل (۷) نقشه فرونشست تجمعی به تفکیک شهرستان‌ها قرار داده شده و با استفاده از آن می‌توان به ارزیابی کیفی فرونشست هر شهرستان به صورت جداگانه پرداخت. با بررسی بیشترین مقادیر فرونشست مربوط به هر شهرستان در حالت تجمعی، چنین نتیجه‌گیری شد که شهرستان‌های کرج و ساوجبلاغ با حداکثر فرونشست حدود ۳۴ سانتی‌متر در رتبه نخست خطر فرونشست قرار دارند و شهرستان

نظرآباد با بیشینه مقدار حدود ۳۰ سانتی‌متر طی دوره ۳ ساله در رتبه بعدی قرار گرفته است. شهرستان‌های اشهرارد و طالقان با مقادیر ۱۴ و ۸/۶ سانتی‌متر به ترتیب در رتبه‌های بعدی می‌باشند. پایین‌ترین رتبه نیز متعلق به شهرستان فردیس با حدود ۷/۲ سانتی‌متر فرونشست در مدت ۳ سال بوده است. به صورت مکانی با توجه به شکل (۷) بیشترین مقادیر فرونشست در محدوده جنوبی شهرستان ساوجبلاغ و شهر چهارباغ، مهرشهرکرج (غرب شهرستان فردیس) و بخش‌های شرقی و مرکزی شهرستان نظرآباد رخ داده است.

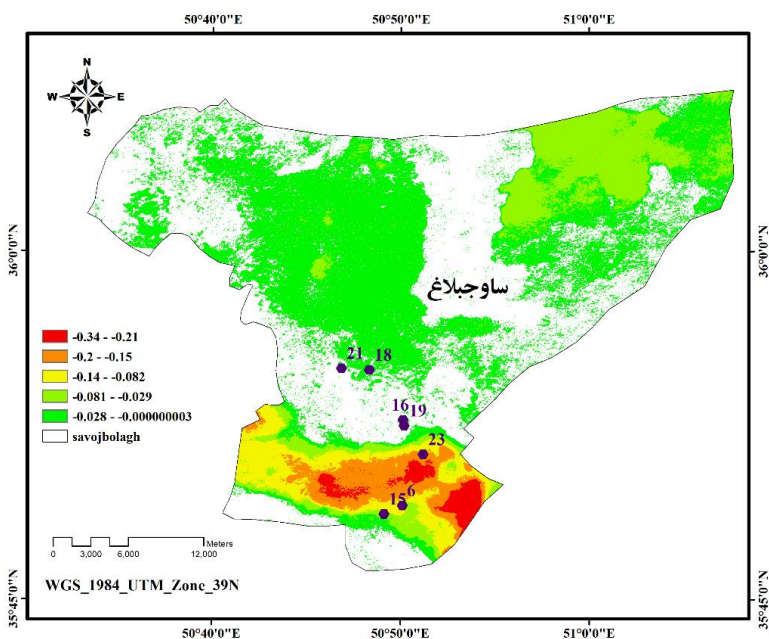


شکل ۶. توزیع مکانی-زمانی فرونشست با استفاده از داده‌های Sentinel-1 (۲۰۲۱-۲۰۱۷)

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور بیشترین میزان فرونشست دشت نظرآباد در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۱۷ را معادل ۲۲ سانتی‌متر اعلام کرده است. در این تحقیق بیشترین نرخ فرونشست تجمعی برای سه سال بعدی در دشت نظرآباد ۳۰ سانتی‌متر بدست آمده است. لذا اعداد محاسبه شده با آنچه سازمان زمین‌شناسی برای دوره سه ساله پیشین ارائه کرده است تطابق دارد. با در دست داشتن اطلاعات سطح ایستابی و لوگ زمین‌شناسی برخی از چاه‌ها در محدوده چهارباغ، ضخامت لایه درشت‌دانه آبدار آنها محاسبه و در جدول (۲) آورده شد. ملاحظه می‌شود که ضخامت لایه درشت‌دانه آبدار چاه‌های شماره ۱۶، ۱۸ و ۲۱ به ترتیب برابر ۵۰، ۱۱۸ و ۱۲۶ متر است. مختصات این چاه‌ها در شکل (۸) روی نقشه‌ی فرونشست قرار گرفته است که براساس آن سه چاه مذکور در محدوده با مقدار فرونشست کم و یا تقریباً برابر با صفر، واقع شده‌اند. سایر چاه‌های مندرج در جدول (۲) نیز دارای لایه‌های ریزدانه می‌باشند که در محدوده جنوبی شهرستان ساوجبلاغ و نواحی با فرونشست بیشتر واقع شده‌اند. لذا شواهد میدانی حاکی از وقوع پدیده فرونشست در نواحی با آبخوان ریزدانه می‌باشد.

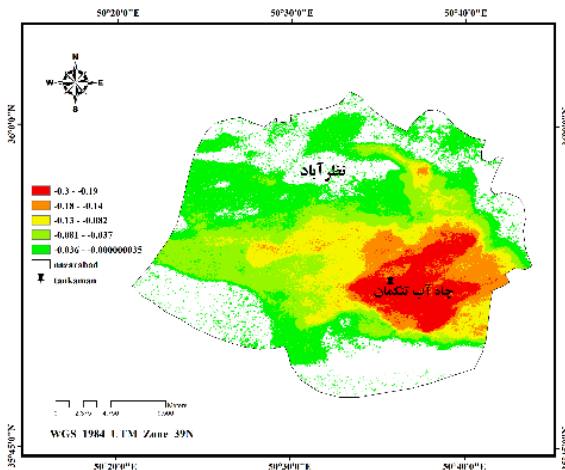


شکل ۷. نقشه‌های فرونشست به تفکیک شهرستان‌ها برای دوره ۳ ساله



شکل ۸. موقعیت مکانی چاه‌ها برای تطبیق لوگ زمین شناسی و فرونشست

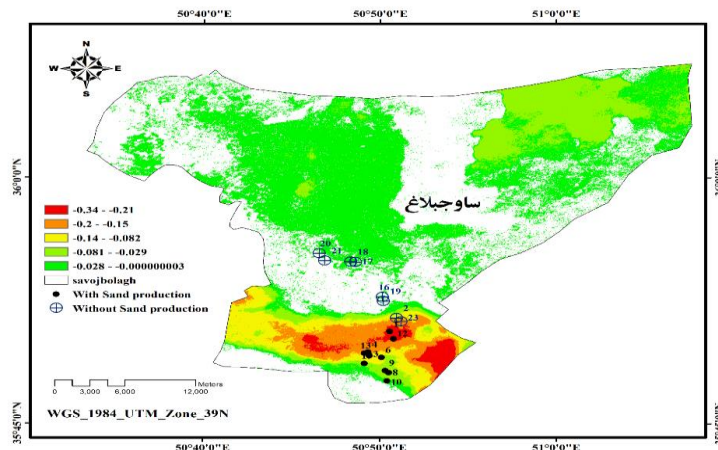
جداره‌های یک چاه آب معمولاً با لوله‌هایی از جنس فولاد یا پلاستیک پوشانده می‌شود که این لوله‌ها از سطح زمین تا سفره آب زیرزمینی امتداد داشته و آب را به سطح زمین هدایت کرده و مانع ورود ذرات شن و ماسه از خاک‌های سست اطراف چاه می‌شود. شکل (۹) نمونه‌ای از ویدئومتری انجام شده در این تحقیق روی چاه آب تنکمان می‌باشد. ملاحظه می‌شود که پدیده ماسه‌دهی همراه با خروج رسوبات ریزدانه ماسه و سیلت در هنگام بهره‌برداری وجود دارد. مختصات چاه تنکمان بر روی نقشه‌های فرونشست در شکل (۱۰) آورده شده است. ملاحظه می‌شود که چاه مذکور در منطقه‌ای با فرونشست جدی قرار دارد و لذا شواهد میدانی در این بخش نیز موید وجود ارتباط جدی بین نقشه‌های فرونشست با پتانسیل ماسه‌دهی چاه‌ها می‌باشد.



شکل ۹. کیفیت نامطلوب آب چاه تنکمان پس از نشست و شکل ۱۰. موقعیت مکانی چاه تنکمان و قرارگیری در ناحیه فرونشست جدی

در محدوده شهرستان ساوجبلاغ بیشترین مقادیر فرونشست در مناطق جنوبی واقع شده است. بازدیدهای میدانی و جمع‌آوری اطلاعات چاه‌های این محدوده در دستور کار قرار گرفت و نتایجی از جمله دبی برداشتی و وجود پدیده ماسه‌دهی در جدول (۱) نشان داده شده است. با توجه به این اطلاعات می‌توان پی برد ماسه‌دهی از عمده مشکلات چاه‌های آب واقع در جنوب شهرستان ساوجبلاغ می‌باشد. مطابق با نتیجه آزمایش پمپاژ مشاهده شد که چاه‌های شماره ۳، ۶، ۱۲ و ۱۳ از زمان حفاری به شدت با ماسه‌دهی همراه بودند، بطوری که ملاحظاتی برای حداکثر میزان برداشت در نظر گرفته شده است تا از مقدار ماسه‌دهی بکاهد.

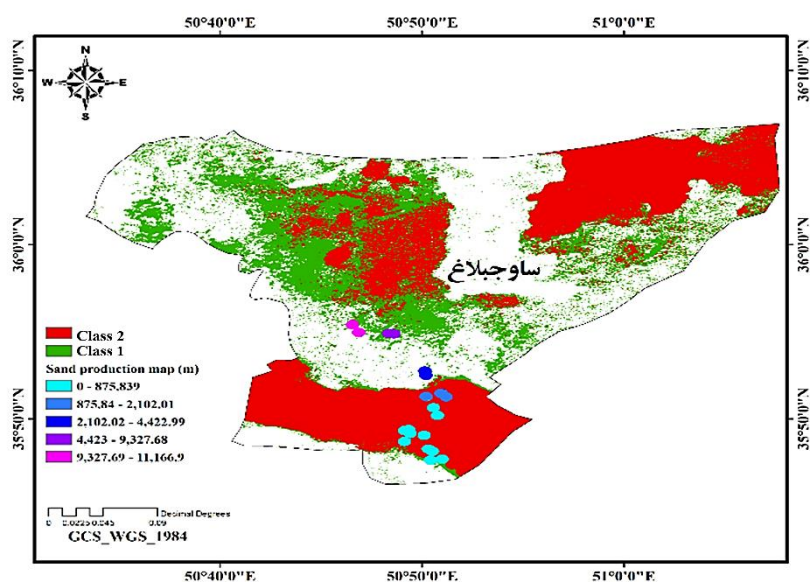
از بین ۸ حلقه چاه مورد بررسی که ماسه‌دهی نداشته‌اند، شش مورد (چاه‌های شماره ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱) در محدوده فرونشست کم قرار گرفته‌اند و از بین چاه‌های در مواجه با پدیده ماسه‌دهی تنها چاه شماره ۱۰ در محدوده فرونشست کم واقع شده است. به صورت کلی با توجه به شکل (۱۱) پدیده فرونشست در محدوده جنوبی شهرستان ساوجبلاغ بسیار زیاد است و روند شناسایی چاه‌هایی که با پدیده ماسه‌دهی همراه هستند نیز از شمال به جنوب افزایش یافته است به طوری که بازدیدهای میدانی و نظرات بهره‌برداران نشان از وجود تعداد زیادی از چاه‌ها همراه با ماسه‌دهی در این نواحی نیز داشت.



شکل ۱۱. مختصات چاه‌های آب شهرستان ساوجبلاغ در محدوده چهارباغ



در نهایت، به منظور کمی‌سازی امکان‌سنجی استفاده از نقشه فرونشست به عنوان نقشه پتانسیل ماسه‌دهی، از ضریب Jaccard استفاده شد. نقشه اقلیدسی فاصله از چاه‌های همراه با ماسه‌دهی در شکل (۱۲) آورده شده است. علی‌رغم در نظر گرفتن محدوده تأثیر هر چاه به شعاع ۵۰۰ متر، بدلیل همپوشانی برخی از چاه‌ها با یکدیگر، با توجه به شکل (۱۲) ملاحظه می‌شود که محدوده فاصله اقلیدسی صفر تا ۸۷۵ متر مربوط به چاه‌هایی است که ماسه‌دهی دارند. همچنین، نقشه فرونشست با در نظر گرفتن دو کلاس با مقادیر کمتر و بیشتر از ۰/۱ میانگین فرونشست، در شکل (۱۲) نشان داده شده‌اند. با استفاده از معادله (۱) ضریب Jaccard در محدوده مورد بررسی در محیط GIS محاسبه و معادل ۰/۶۵ بدست آمد. به عبارت دیگر، نقشه فرونشست به میزان ۶۵٪ با نقشه ماسه‌دهی تطابق دارد که با توجه به عدم قطعیت‌های بسیار زیاد ناشی از شرایط زمین‌شناسی و دبی برداشتی از چاه‌ها این مقدار از تشابه بسیار قابل توجه می‌باشد. در نهایت می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که چاه‌های موجود در مناطق همراه با فرونشست جدی، پتانسیل بالاتری در مواجهه با پدیده ماسه‌دهی دارند. هر چند که نمی‌توان با احتمال ۶۵٪ تطابق نقشه فرونشست و ماسه‌دهی، حفاری چاه جدید را در این مناطق رد کرد اما در پروژه‌های مختلف شرایط متفاوت است و حتی الامکان می‌بایست محل چاه به محل مصرف نزدیک باشد، در چنین شرایطی لازم است که تمهیداتی برای پدیده ماسه‌دهی در نظر گرفته شود.



شکل ۱۲. نقشه فاصله اقلیدسی از چاه‌های ماسه‌ده به همراه نقشه خطر فرونشست

## نتیجه‌گیری

ماسه‌دهی از جمله پدیده‌هایی است که باعث کاهش کیفیت آب، آسیب رسیدن به پمپ و تخریب جداره چاه می‌شود. از نظر هیدرولیکی کاهش دبی برداشتی از راهکارهایی است که می‌تواند باعث کم شدن پدیده ماسه‌دهی گردد. از طرف دیگر راهکارهایی نظیر نصب سامانه فیلتراسیون و یا تغییراتی در فیلتراسیون جداره چاه نیز ممکن است باعث کاهش ماسه‌دهی گردد. به عبارت دیگر، کاهش ماسه‌دهی مستلزم اعمال هزینه‌ها و ایجاد تمهیداتی در هنگام حفر چاه خواهد بود. در نتیجه، تشخیص ماسه‌دهی قبل از حفاری می‌تواند در پیش‌بینی و اعمال راهکاری مناسب برای کاهش ماسه‌دهی بسیار موثر باشد. از نظر زمین‌شناسی منشاء وقوع پدیده‌های فرونشست و ماسه‌دهی، وجود آبخوان ریزدانه است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که نقشه‌های فرونشست و ماسه‌دهی در محدوده ضریب Jaccard معادل ۰/۶۵ مشابه هستند. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در مناطقی که همراه با پدیده فرونشست است، احتمال وقوع پدیده ماسه‌دهی نیز بیشتر است. لذا لازم است در این مناطق هنگام حفر چاه تمهیدات مورد نیاز برای پیشگیری از ماسه‌دهی نیز در نظر گرفته شود. هرچند که نیاز است تا این موضوع در سایر دشت‌های کشور که با پدیده فرونشست جدی مواجه هستند مورد بررسی قرار گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"



## REFERENCES

- Abdi, T. (2013) The system of optimal exploitation of drinking wells in the villages of Islamshahr city, Master's thesis, Azad University, Department of Science and Research (In Farsi).
- Akbari, M. (2021). Monitoring land subsidence due to geological and water resources factors using Differential Radar Interferometry method (Case Study: Arak city), *Water and Soil Resources Protection Quarterly*, 10(3), 115-132. (In Farsi)
- Alizadeh, A., (2012). Principles of applied hydrology, 6<sup>th</sup> edition, 34<sup>th</sup> print, page 430 (In Farsi).
- Calderhead, A. I. Martel, A. Alasset, P. Rivera, A. & Garfias, J. (2010) Land subsidence induced by groundwater pumping, monitored by D-InSAR and field data in the Toluca Valley, Mexico, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 36:1, 9-23, DOI: 10.5589/m10-024.
- Calderhead, A. I. Martel, R. Rivera, A. Garfias, J. and Therrien, R. (2008) "Land Subsidence and Groundwater Resources Investigations with the Use of D-InSAR, Numerical Modeling, and Field Data in the Toluca Valley, Mexico": <https://www.researchgate.net/publication/241415192>.
- Calderhead, A. I. Martel, R. Rivera, A. Garfias, J. and Therrien, R. (2007) "Groundwater Resources and Land Subsidence investigations in the Toluca Valley, Mexico" <https://www.researchgate.net/publication/241437267>.
- Calderhead, A. I. Therrien, R. Rivera, A. Martel, R. Garfias, J. (2011) Simulating pumping-induced regional land subsidence with the use of InSAR and field data in the Toluca Valley, Mexico. *Advanced in Water Resources* 34:83 -97.
- Chung, N.C., Miasojedow, B., Startek, M., Gambin, A., (2019). Jaccard/tanimoto similarity test and estimation methods for biological presence-absence data. *BMC Bioinformatics* 20 (S15), <http://dx.doi.org/10.1186/s12859-019-3118-5>.
- Du, Z. Ge, L. Ng, A. H. Zhu, Q. Yang, X. Li, L. (2018) Correlating the subsidence pattern and land use in Bandung, Indonesia with both Sentinel-1/2 and ALOS-2 satellite images, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. (Vol. 67),( PP. 54-68), ISSN 0303-2434, <https://doi.org/10.1016/j.jag.01.001>.
- Haghighatmehr, P. Valadanouzj, M J. Tajik, R. Jabari, S. Sahebi, M R. Eslami R, Ganjiyan M, Dehghani M (2012) Time series analysis of Hashtgerd subsidence using radar interferometry and global positioning system. *Geosciences Journal* 22(85):105-114. (In Farsi)
- Jaccard, P., 1912. The distribution of the flora in the alpine zone. *New Phytol.* 11 (2), 37-50. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1912.tb05611.x>.
- Janbaz Fotamy, M. Kholghi, M. Abdeh Kolahchi, A. Roostaei, M. (2019), Land Subsidence Assessment due to Groundwater Exploration by using Differential Radar Interferometry Technique, Case Study: Qazvin province, *Iranian Water Resources Research Journal*, 16th year, number 3, (54 series, autumn 2019), pp. 147-133. (In Farsi)
- Koeneman, S.H., Cavanaugh, J.E., (2022), An improved asymptotic test for the Jaccard similarity index for binary data, *Statistics and Probability Letters* 184 (2022) 109375, <https://doi.org/10.1016/j.spl.2022.109375>.
- Mahshadniya, (2004) Determining the areas of risk and possible risk of land subsidence in Iran due to unauthorized exploitation of underground water resources, first edition, *Earth Sciences Database*, p. 181. (In Farsi)
- Mirbagheri, S. (1998). *Engineering Hydrology*, first edition, Shiraz University Press. (In Farsi)
- Moradi A, Emadodin S, Arekhi S, Rezaei K. Earth subsidence analysis using radar interferometry technique, geotechnical and piezometric wells (case study: Urban region 18 Tehran ). *jsaeh* 2020; 7 (1) :153-176. (In Farsi)
- Namghi, H. Sharifi, MB. Hosseini, M. (2012) Presenting an analytical method to estimate factors affecting land subsidence using field data and InSAR images in Neishabur Plain, *Journal of the Engineering Geological Society of Iran*, (Vol 6), (No. 1 - 2), (PP.33 - 5). (In Farsi)
- Poland, J.F. (1984) *Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal: prepared for the international hydrological programme, working group 8.4 , Studies and reports in hydrology / Unesco* (No. 40), (p. 305).
- Sayadi, M. (2016). Investigating the causes of sand production of drinking water wells in the villages of Tehran



- province, the project of Rustic Water and Wastewater Company of Tehran province. (In Farsi)
- Sedaghat, M., (2003), Land and Water Resources, Payam Noor University Press, p. 368. (In Farsi)
- Shafii, N. Goli Mokhtari, L. Amir Ahmadi, A. Zandi, R. (2019). Investigation of subsidence of Noorabad plain aquifer using radar interferometry method, Quantitative Geomorphology Research 8(4):93-111. (In Farsi)
- Strozzi, T. Wegmuller, U. Tosi, L. Bitelli, G. Spreckels V (2001) Land subsidence monitoring with differential SAR interferometry. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 67(11), 1261–1270.
- Tehran Province Rustic Water and Wastewater Company, (2013). Reports on the situation of Rustic water and Wastewater in Islamshahr city. (In Farsi)
- Waltham, A.C. (1989). Ground subsidence. Blackie & Son Limited.
- Zhang, J.J., (2019). Chapter 12 - Sanding prediction, Applied Petroleum Geomechanics, 2019, Pages 483-497, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814814-3.00012-5>.