

Research Article

Estimation of subsidence using radar interferometry technique and groundwater parameters and land use (Case study: Pakdasht plain)

Sayyad Asghari Sarasekanrood^{1*}, Maryam Mohamadzadeh shishegaran²

1- PhD, Associate Professor, Department of Physical Geography, Mohaghegh Ardabili University

2- PhD student in geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili

Keywords: *Groundwater, Radar interferometry, Subsidence, Sentinel 1, Pakdasht plain.*

1- Introduction

Subsidence is the vertical movement or gradual subsidence or sudden subsidence of the earth's surface due to various reasons such as dissolution, melting of ice and compaction of deposits, movements of the earth's crust and the release of lava from the solid crust or activities. Humans such as mining, groundwater abstraction or oil occur (Asadzadeh et al., 2016). The phenomenon of subsidence, which may occur as a gradual or sudden subsidence at the earth's surface, is generally due to major factors such as dissolution of subsurface formations, sediment density and subsidence of groundwater, as well as tectonic factors (Chen et al., 2016). Subsidence can be caused by natural geological phenomena such as earthquakes, dissolution of limestone, sedimentary rocks, ice melting and density of deposits, slow crustal movements and lava outflow from the earth's solid crust, or human activity such as mining. Extraction of groundwater fluids such as groundwater, oil or gas (Galloway and Burbey., 2011). Radar interference method has been successfully used to measure the displacement caused by earthquakes, glacier displacements, and the phenomenon of subsidence and erosion. Land subsidence as a morphological phenomenon, a type of land deformation that is associated with vertical deformation or downward movement of the earth's surface (Sharifikia, 2011).

2-Material and methods

The study area corresponds to the urban area and the outskirts of Pakdasht. This area is located in the east of Tehran province and in Pakdasht city in terms of political divisions. In terms of geological position, it is located on the southern slope of Alborz and in terms of geomorphology, it is located in the plain unit. Due to its geographical location, this area has cold and semi-humid winters and hot and dry summers in terms of climate. In this study, the basic image and the function of geometric and radiometric corrections of the image were performed in Snap software from Sentinel 1 images, which are taken in the range of C band of microwave waves (56 cm). The technique used in this study to determine the amount of subsidence is a differential interferometric method with a combined opening of two frequent or non-frequent passages. One of the most basic steps in radar interferometry processing is to select the right image pair. Several factors such as sensor frequency, spatial baseline, temporal baseline as well as spatial overlap in the direction of sensor movement are effective in selecting image pairs.

3-Result and Discussion

The output map obtained from the positive and blue values of the displacement related to the movement of the earth towards radar vision (uplift) and negative values indicates the distance of the earth surface from the sensor in the direction of radar vision (subsidence). The results are shown in Figure 7. Investigation of subsidence status in the last 5 years, from 2015 to 2020, the amount of subsidence has increased. The red

* Corresponding author: s.asghari@uma.ac.ir

DOI: 10.22055/aag.2021.38696.2251

Receive: 2021-09-28

Accepted: 2021-12-14

areas have the highest subsidence of 10 cm. The blue areas have no subsidence and have a height of 6 cm. When subsidence occurs in the area, it not only has a descent, but also a duality or an ascent. Based on the information obtained from the subsidence map of Pakdasht plain, it was determined that in the studied period, we witnessed a significant amount of subsidence. In the subsidence map, the highest amount of subsidence was in the southern part and the center of the city and the lowest amount was in the north, northwest and northeast of Pakdasht plain.

In this study, the rate and amplitude of subsidence extracted by differential interferometry technique through piezometric well information have been validated. Thus, the research findings have been controlled and evaluated with the help of piezometric wells and land use data. According to the interpolation map of Figures 8 and 9, according to the groundwater level of the plain, despite seasonal fluctuations, it has a downward trend. As can be seen, in 2015, the water level was 112.36 meters, which decreased to 99.04 meters during 5 years in 1998, which shows a decrease of 12 meters in groundwater level during 5 years.

4-Conclusion

In order to reconcile the results of radar interference with other supplementary data, land use as well as piezometric wells in Pakdasht plain were used. Co-institutionalization of subsidence maps with land use layers also confirms the maximum occurrence of the subsidence area that the highest subsidence rate in the period 2020 is for agricultural uses with a value of 10 cm, rangeland area with a value of 9 cm and urban and soil uses with a value of 8 cm are in the next categories. This issue can be mainly related to the issue of groundwater extraction for drinking water, agriculture and possibly other influential factors such as geology and tectonics. 8 cm subsidence for residential use can provide insecure living conditions for residents and increase their risk of landslides.

References

- Asadzadeh, F., Kaki M., Shakib, S., Reza, B., 2016. Impact of drought on groundwater quality and groundwater level in Qorveh-Chardoli plain. *Water Resources Research* 3, 153-165 (In Persian with English abstract).
- Chen, M., Tomas, R., Li, Z., Motagh, M., Li, T., Hu, L., Gong, H., L., Li, X., Yu, J., Gong, X., 2016. Imaging land subsidence induced by groundwater extraction in Beijing (China) using satellite radar interferometry. *Remote Sensing* 8, 447- 468. [https://doi: 10. 390/rs 8060468](https://doi.org/10.390/rs.8060468).
- Galloway, D.L., Burbey, T.J., 2011. Regional land subsidence accompanying groundwater extraction, *Hydrogeol* 19 1459-1486. [https://doi: 10.1007/s10040-011-0775-5](https://doi.org/10.1007/s10040-011-0775-5)
- Sharifikia, M., 2011. Check consequence of subsidence in land and residential. *Plains Country* 3, 43-58.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Asghari Sarasekanrood, S., Mohamadzadeh Shishegaran, M., 2023. Estimation of subsidence using radar interferometry technique and groundwater parameters and land use (Case study: Pakdasht plain). *Adv. Appl. Geol.* 13(1), 320-336

DOI: 10.22055/aag.2021.38696.2251

URL:https://aag.scu.ac.ir/article_17723.html

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

برآورد میزان فرورنشست در دشت پاکدشت با استفاده از تداخل سنجی راداری و تحلیل پارامترهای موثر آب های زیرزمینی و کاربری اراضی

صیاد اصغری سراسکانرود*

گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیل

مریم محمدزاده شیشه‌گران

گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیل

s.asghari@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۳

چکیده

از مخاطراتی که در طی سال‌های اخیر در بسیاری از مناطق رخ داده است مخاطرات ناشی از فرورنشست است. شناسایی مناطق در معرض فرورنشست و برآورد نرخ آن نقش مهمی در مدیریت و کنترل این پدیده دارد. تکنیک تداخل سنجی راداری با دقت بالا از مناسب‌ترین روش‌های شناسایی و اندازه‌گیری میزان فرورنشست می‌باشد. این تکنیک فاز گرفته شده 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 فرورنشست در دشت پاکدشت از تصاویر راداری سنتینل ۱ سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ استفاده شده است. به منظور پردازش اطلاعات نیز از نرم افزار SARSCAPE استفاده شده است. به منظور صحت‌سنجی از داده‌های چاه‌های پیژومتری و نقشه‌های کاربری اراضی در منطقه استفاده شد. طبق نتایج، بیشینه نرخ فرورنشست در ۵ سال در منطقه ۱۰ سانتیمتر برآورد شده است. همچنین نتایج نشان داد که بالاترین میزان فرورنشست در بازه زمانی ۲۰۲۰ به ترتیب به کاربری‌های کشاورزی با مقدار ۱۰ سانتی‌متر، منطقه مرتع با مقدار ۹ سانتی‌متر و کاربری‌های منطقه‌ی شهری و خاک با مقدار ۸ سانتی‌متر در رده‌های بعدی قرار دارند. همچنین رابطه بین فرورنشست و تغییرات مقدار سطح آب‌های زیرزمینی نشان داد که در بازه زمانی ۵ ساله، سطح آب زیرزمینی ۱۲ متر افت داشته که این افت سطح آب زیرزمینی منجر به فرورنشست زمین در منطقه مورد مطالعه شده است.

واژه‌های کلیدی: آب‌های زیرزمینی، تداخل سنجی رادار، فرورنشست، سنتینل ۱، دشت پاکدشت

۱- مقدمه

از اوایل دهه ۱۹۹۰، با عملیاتی شدن ماهواره‌های راداری، تداخل سنجی راداری نیز به صورت گسترده مورد استفاده متخصصان علوم زمین قرار گرفت (Motaghi et al, 2006). تداخل سنجی داده‌های راداری در بین روش‌های متنوع و گوناگون آشکارسازی تغییرات پوسته زمین به عنوان بهترین روش اندازه‌گیری پوسته این تغییرات از حیث هزینه، مقیاس و سرعت مطرح می‌باشد (Raucoules et al., 2007). بدین صورت که تداخل سنجی تفاضلی راداری تغییرات فاز را از دو زوج تصویر راداری که در زمان‌های مختلف و به صورت پیوسته اخذ شده اند محاسبه کرده، مبتنی بر آن، تغییرات به وجود آمده در پوسته زمین را به صورت کمی و کیفی آشکار می‌کند

(Pacheco et al., 2006; Salehi et al 2013). این فن برای اندازه‌گیری جا به جایی‌های حاصل شده از زمین لرزه، جا به جایی یخچال‌ها و پدیده فرورنشست و رواندگی با موفقیت به کار گرفته شده است. فرورنشست زمین به عنوان پدیده مورفولوژیکی، نوعی از تغییر شکل سطح زمین است که با دگرشکلی عمودی و یا حرکت رو به پایین سطح زمین (Sharifikia, 2011) و نشست تدریجی و یا ناگهانی مواد سطحی همراه است (Avallone et al., 1999; Sharifikia, 2009). این پدیده از هر نوع (تدریجی یا ناگهانی) می‌تواند با دخالت عوامل طبیعی و یا عوامل انسانی همچون تغییرات نوع کاربری زمین همراه باشد (Zebker, 1994; Sharifikia et al 2013). مهمترین علت فرورنشست منطقه ای سطح زمین در مناطق خشک و نیمه خشک، تراکم سفره‌های آب زیرزمینی

دامغان سطح آب زیرزمینی به طور مداوم در حال پایین آمدن و مقدار نشست زمین در حال افزایش می‌باشد. لذا پمپاژ از چاه‌های در واقع در نواحی با ریسک بالا باید کاهش یابد.

Asghari و Mohammadzadeh (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای در دشت شهریار از داده سنتینل ۱ مربوط به سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نرخ فرونشست ۱۱ سانتی متر را نشان داد. همچنین رابطه بین فرونشست و تغییرات مقدار سطح آب‌های زیرزمینی نشان داد که در سال ۲۰۱۵ سطح آب ۷۵/۸۵ متر بوده است که در طی ۶ سال در سال ۲۰۲۰ به ۶۸/۵۲ متر کاهش یافته است. که نشان می‌دهد در طی شش سال ۷ متر افت آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. Sharifiki (۲۰۱۱) میزان فرونشست به دست آمده از روش تداخل‌سنجی راداری در دشت نومق - بهرمان واقع در استان کرمان را با تغییرات تراز آبی مستخرج از چاه‌های پیژومتری مقایسه نموده و پی به ارتباط عددی بین آنها برده است. نرخ و محدوده فرونشست در دشت رفسنجان با پردازش تصاویر از ماهواره‌های ALOS, ENVISAT, Sentinel1 S1 در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ محاسبه شده است. Parhizgar و همکاران (۲۰۱۵)، اقدام به بررسی پیش‌بینی افت سطح آب و ارزیابی فرونشست زمین در آبخوان دامغان با ترکیب مدل‌های جی‌ام‌اس و جی‌ای‌پی نمودند نتایج این بخش از تحقیق نشان داد که با افت سطح آب زیرزمینی به میزان ۲۹۵ سانتی‌متر و ۳۴۳ سانتی‌متر، نشست زمین به ترتیب به میزان ۴/۳۵ و ۴۵،۳۹ سانتی‌متر خواهد بود. این تحقیق نشان داد که در دشت دامغان سطح آب زیرزمینی به طور مداوم در حال پایین آمدن و مقدار نشست زمین در حال افزایش می‌باشد. لذا پمپاژ از چاه‌های در واقع در نواحی با ریسک بالا باید کاهش یابد. Zhu و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی پدیده فرونشست در آبخوان شهر پکن پرداخته‌اند. هدف از این مطالعه برای تعیین کمیت فرونشست زمین در طول دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان می‌دهد که فرونشست زمین به طور یکنواخت و به طور مداوم در دوره‌های زمانی ۹۲ میلی‌متری در سال ارزیابی کرده است. Motagh و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای در دشت رفسنجان از داده‌های ALOS, ENVISAT, Sentinel1 S1 مربوط به سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ در پهنای به وسعت ۱۰۰۰ کیلومتر مربع به منظور مطالعه زمین بهره بردند. در این تحقیق آن‌ها به این نتیجه رسیدند که نرخ فرونشست

در اثر پمپاژ بی‌رویه از منابع است (Chung et al., 2005; Dehghani, 2011). این وضعیت به ویژه در جایی که پمپاژ بی‌رویه از سفره‌های آبدار ماسه‌ای متخلخل که به صورت بین لایه‌ای با لایه‌های آبدار رسی نفوذناپذیر قرار دارد، بسیار حاد بوده، موجب فرونشست گسترده می‌شود (Alemi, 2002) تغییر در روند و میزان فرونشست، می‌تواند موجبات وارد آوردن خسارات جدی به تاسیسات و همچنین، ساختمان‌های مستقر بر روی آن‌ها شود که از این رو به عنوان یک مخاطره طبیعی تهدید کننده مناطق مسکونی و کشاورزی به شمار آید (Davoudijam, 2010). مطالعات بیشتری در کل جهان و ایران در زمینه بررسی میزان فرونشست در ارتباط با آب زیرزمینی صورت گرفته است که در ذیل به بعضی آن‌ها اشاره شده است:

Maghsoudi و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ و تکنیک تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست غرب تهران را ۱۵ سانتی‌متر بر آورد کرده‌اند. Motagh و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای در دشت رفسنجان در دشت رفسنجان از داده‌های ALOS و Sentinel1A مربوط به سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ در پهنای به وسعت ۱۰۰۰ کیلومتر مربع به منظور مطالعه زمین بهره بردند. در این تحقیق آن‌ها به این نتیجه رسیدند که نرخ فرونشست دشت از ۵ سانتی‌متر در سال به بیش از ۳۰ سانتی‌متر در سال در سال‌های اخیر تغییر یافته است که عمدتاً ناشی از بهره‌برداری شدید از منابع آب زیرزمینی بوده و تا حدودی از رفتار گسل کواترنری منطقه تبعیت می‌کنند. Sharifiki (۲۰۱۱) میزان فرونشست به دست آمده از روش تداخل‌سنجی راداری در دشت نومق - بهرمان واقع در استان کرمان را با تغییرات تراز آبی مستخرج از چاه‌های پیژومتری مقایسه نموده و پی به ارتباط عددی بین آنها برده است. نرخ و محدوده فرونشست در دشت رفسنجان با پردازش تصاویر از ماهواره‌های ALOS, ENVISAT, Sentinel1 S1 در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ محاسبه شده است. Parhisgar و همکاران (۲۰۱۵)، اقدام به بررسی پیش‌بینی افت سطح آب و ارزیابی فرونشست زمین در آبخوان دامغان با ترکیب مدل‌های جی‌ام‌اس و جی‌ای‌پی نمودند نتایج این بخش از تحقیق نشان داد که با افت سطح آب زیرزمینی به میزان ۲۹۵ سانتی‌متر و ۳۴۳ سانتی‌متر، نشست زمین به ترتیب به میزان ۴/۳۵ و ۴۵،۳۹ سانتی‌متر خواهد بود. این تحقیق نشان داد که در دشت

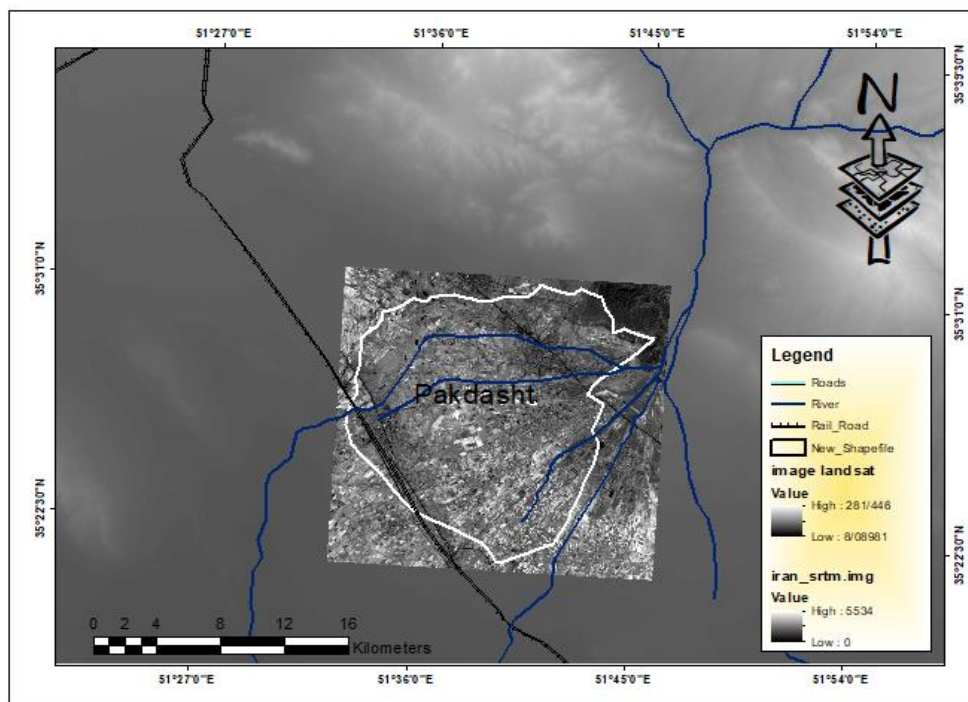
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی منطبق بر محدوده شهری و حاشیه شهری پاکدشت است. این محدوده از نظر تقسیمات سیاسی در شرق استان تهران و در شهرستان پاکدشت قرار دارد. این شهرستان از دو بخش مرکزی و شریف آباد تشکیل شده است. منطقه مورد مطالعه با ارتفاع ۱۱۰۷ متر از سطح دریا در زمین‌های آبرفتی جنوب رشته کوه‌های البرز قرار گرفته است که از لحاظ کشاورزی دارای استعدادهای بالفعل و بالقوه فراوانی است و دارای ۲۴۶۳۹ هکتار اراضی کشاورزی می‌باشد این محدوده با توجه به موقعیت جغرافیایی که دارد، از نظر وضعیت آب و هوایی نیز دارای زمستان‌های سرد و نیمه مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک است.

دشت از ۵ سانتی متر در سال به بیش از ۳۰ سانتی متر در سال در سال‌های اخیر تغییر یافته است که عمدتاً ناشی از بهره‌برداری شدید از منابع آب زیرزمینی بوده و تا حدودی از رفتار گسل کواترنری منطقه تبعیت می‌کنند.

هدف از تحقیق حاضر بررسی میزان فرورانش دشت پاکدشت با استفاده روش تداخل‌سنجی راداری و تصاویر سنتینل ۱ برای تاریخ‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ و همچنین بررسی تأثیر و ارتباط افت سطح آب‌های زیرزمینی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. و همچنین میزان فرورانش بر کاربری‌های مختلف در دشت پاکدشت مورد مطالعه قرار گرفت.

۲- مواد و روش



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig 1. Map of the geographical location of the study area

انجام شد و سپس خروجی نهایی با استفاده از افزونه SARSCAPE 5.2 در نرم افزار ENVI 5.3 به دست آمد. تکنیک مورد استفاده در این پژوهش به منظور تعیین میزان فرورانش، روش تداخل‌سنجی تفاضلی با گشودگی ترکیبی دو عبور مکرر و یا غیر مکرر می‌باشد. از اساسی‌ترین مراحل در پردازش تداخل‌سنجی راداری انتخاب زوج تصویر مناسب است که چند عامل همچون فرکانس سنجنده، خط مبنای مکانی،

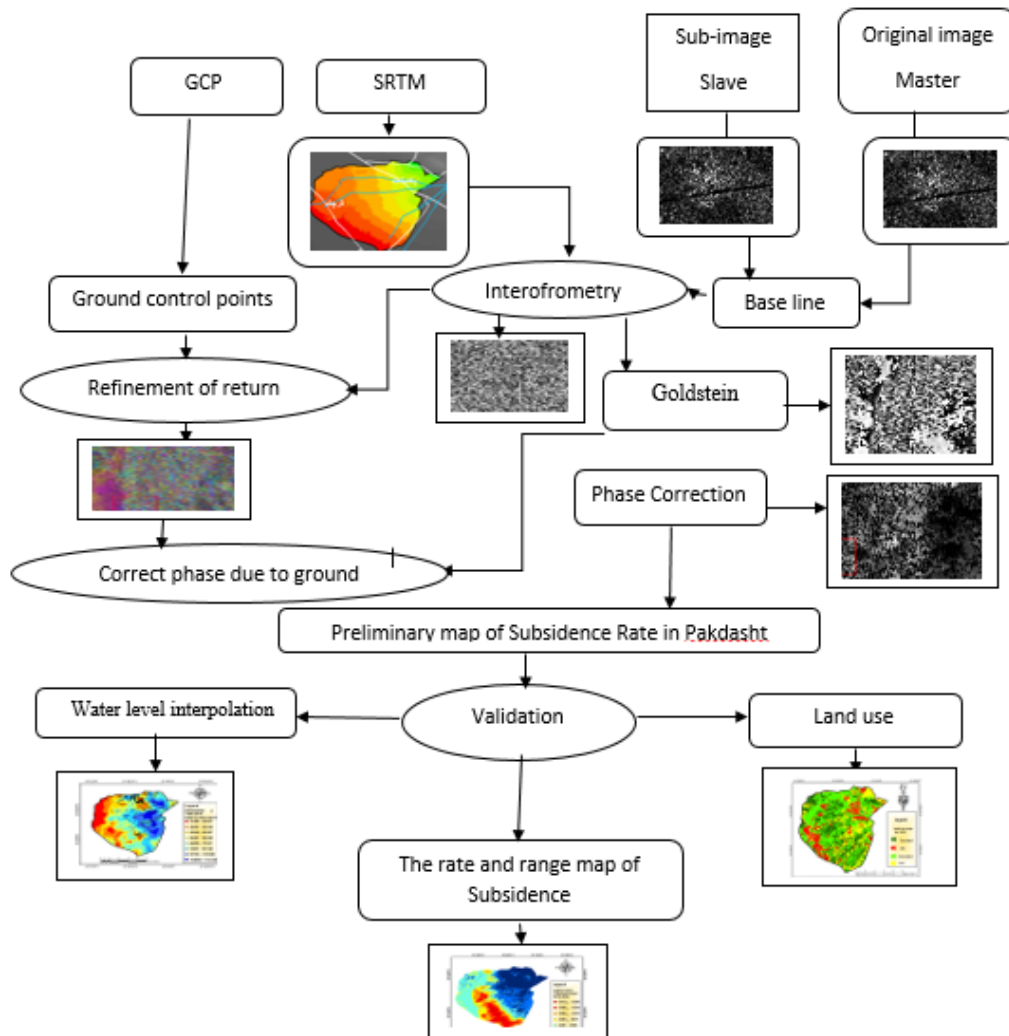
در راستای انجام این پژوهش از داده و تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزارهای متعددی استفاده شده است که عمده از مشتمل بر موارد زیر خواهد بود:

۲-۲- تصاویر ماهواره‌ای راداری

در این پژوهش از تصاویر سنتینل ۱ که در محدوده باند C امواج مایکروویو (۵۶ سانتی‌متر) اخذ تصویر می‌کند تصویر پایه و تابع تصحیحات هندسی و رادیومتریک تصویر در نرم افزار Snap

آن محاسبات مربوط به خط مبنای عمودی و دیگر عوامل ذکر شده در انتخاب زوج تصاویر انجام شد. مشخصات تصاویر راداری در جدول ۱ ارائه شده است.

خط مبنای زمانی و همچنین همپوشانی فضایی در راستای حرکت سنجنده در انتخاب زوج تصاویر موثر می‌باشند. در این پژوهش از دو تصویر سنتینل ۱ استفاده شده است و بر مبنای



شکل ۲- فلوچارت مراحل تحقیق
Fig 2. Flowchart of the research steps

جدول ۱- مشخصات تصاویر مورد استفاده
Table 1. Specifications of the images used

Year	Sensor name	Satellite passage	Sub-image	Original image	Numbe
2015	Sentinel1	Ascending	S1A_OPER_AUX_20150703	S1A_IW_SLC_1SDV_20150702	1
2020	Sentinel1	Ascending	S1A_OPER_AUX_20200419	S1A_IW_SLC_1SDV_20200418	2

جدول ۲- اطلاعات تصاویر سنتینل ۱

Table 2- Sentinel 1 image information

PI Ambiguity displacement (DInSAR) (m)	Normal Baseline (m)	PI Ambiguity height (InSAR) (m)	Range Shift (pixels)	Azimuth Shift	Doppler Centroid diff. (Hz)	Date
0.028	74/29	515.485	342/94	-4.008	-26.063	20151031 20200126

۲-۲-۳- 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 می گیرد و فاصله بین تصاویر اخذ شده تحت عنوان خط مبنا شناخته می شود و بسته به اینکه این فاصله در زمان و مکان باشد، خط زمانی و مکانی تعریف می شوند.

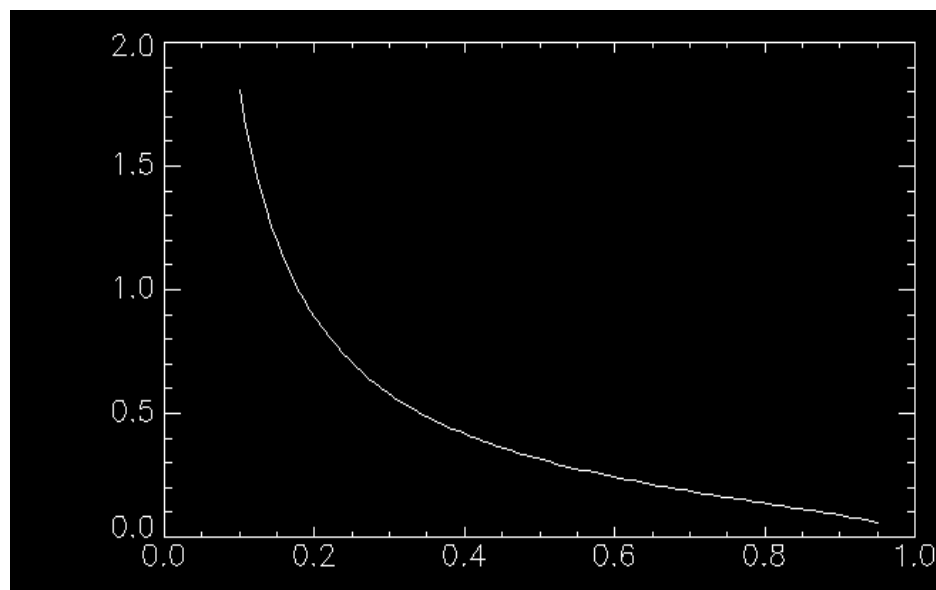
۲-۲-۴- خط مبنای مکانی

در حالتی که آنتن ها به صورت همزمان و در موقعیت مکانی متفاوت اقدام به زوج تصویر می نمایند، بردار موقعیت ماهواره ها معرف خط مبنای مکانی است. در چنین حالتی امکان محاسبه ارتفاع زمینی فراهم می شود، 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 می گیرد، راه حل مناسبی برای اخذ هم زمان تصاویر در سنجده های هواپرد محسوب می شود. مزیت اصلی استفاده از این تکنیک هم زمانی اخذ تصاویر و عدم نیاز به کنترل دقیق فاصله بین دو آنتن است.

۲-۲-۵- خط مبنای زمانی

در صورتی که هدف مطالعه تغییرات ارتفاعی منطقه باشد، تصاویر اخذ شده از یک منظر و در زمان های مختلف مورد استفاده قرار می گیرند. در چنین حالتی که خط مبنای تداخل سنجی، اختلاف زمانی دو برداشت است. تداخل سنجی راداری قادر است اندازه گیری های دقیقی از تغییرات ارتفاعی زمین در پهنه گسترده و با فراوانی مکانی مناسب را فراهم نماید (Galloway and Hoffmann, 2011).



شکل ۳- خط مبنا مکانی و زمانی

Fig 3. Spatial and temporal baseline

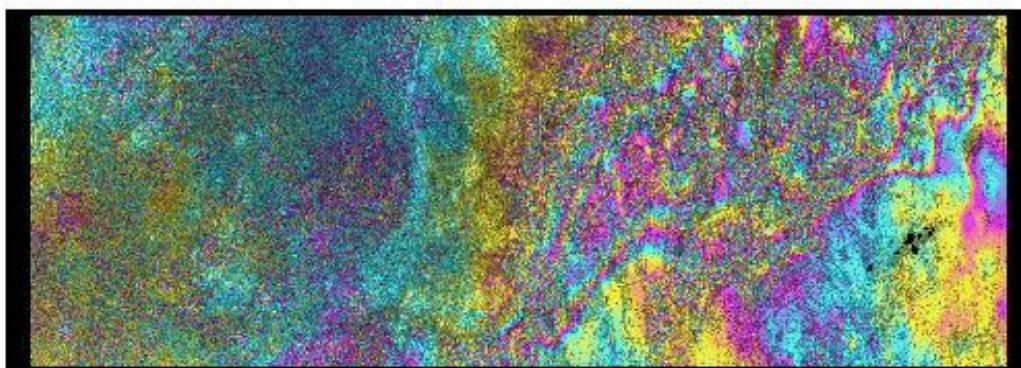
۲-۱-۲- مدل رقومی ارتفاعی SRTM

فاز اینترفروگرام حاوی اثر توپوگرافی، خطای مداری و اثرات انمسفر می باشد. برای به دست آوردن جابه جایی سطح زمین در یک بازه زمانی، می بایست خطاهای مداری، اثرات توپوگرافی و نویز اتمسفر از اینترفروگرام ها حذف گردند. برای حذف اثر توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاعی SRTM با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر مورد استفاده قرار گرفته است. خطاهای مداری نیز با برازش یک رویه به مناطقی که فاقد جابه جایی هستند مدل سازی شد و از اینترفروگرام مورد نظر کم گردید. خطای اتمسفر را می توان به کمک اطلاعات جوی و مدل اتمسفری تعدیل نمود (Massonnet and Feigl, 1998).

۲-۲-۲- اعمال فیلتر

تداخل نگار تفاضلی حاصل در برگزیده مقداری نویز است. عامل به وجود آورنده این نویزها می تواند مختلف باشد، دو عامل اصلی در به وجود آمدن آنها تاثیرگذار است (Habibzadeh et al., 2013).

عامل اول مربوط به تفاوت زمانی بین دو تصویر اصلی و وابسته است. گاهی اوقات برخی از تغییرات در منطقه که در بین فاصله زمانی بین دو تصویر اتفاق می افتد جز عوامل به وجود آورنده نویز می باشند که می توان به ساخت و سازهای مربوط به فعالیت های عمرانی و یا فعالیت های کشاورزی در منطقه اشاره کرد (Habibzadeh et al., 2013). عامل دوم که در به وجود آوردن نویزها تاثیرگذار است خط مبنای مکانی می باشد که میزان نویزها در تصاویر ارتباط مستقیمی با خط مبنای مکانی دارد، هر چه این میزان بیشتر باشد ما شاهد وجود نویزهای بیشتری در تداخل نگار هستیم. ویژگی این فیلتر این است که به صورت انتخابی عمل می کند و عمل فیلترگذاری به صورت محلی انجام می شود، نوع عملکرد این فیلتر تحت تاثیر همبستگی تداخل نگار است، در مواردی که شاهد همبستگی پایین است مقدار پیکسل های بیشتری را تحت تاثیر قرار می دهد و در مواردی که شاهد همبستگی بالا است تعداد پیکسل های محدودی را تحت تاثیر قرار می دهد (Habibzadeh et al, 2013).



شکل ۵- فیلتر گولدشتاین با فرمت Fint
Fig 5. Goldstein filter in Fint format

سطحی رخ داده در زمین را در بازه های متفاوت با دقت های میلی متری آشکارسازی می کند. اصول بنیادین نحوه اندازه گیری تغییرات سطحی پوسته زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری در این شکل، P معرف فضایی مشخص در سطح است که در قالب یک پیکسل تصویر شده است. سنجنده تصویر نخست (تصویر اصلی) این فضا را در T_0 ثبت و مقدار فاز را (Φ_m) آن را اندازه گیری می کند. مقدار نشست عبارتند از فاصله P تا P_1 که طی زمان مشخصی صورت گرفته است (Dt). برای اندازه گیری این مقدار، سنجنده تصویر دومی (تصویر فرعی) در زمان t و با هندسه ای کاملاً شبیه به تصویر نخست

روش تداخل سنجی راداری (InSAR) امکان تولید مدل رقومی ناهمواری های زمین را فراهم می آورد که دقت ارتفاع بهینه آن برای داده های نوار C با طول موج ۵/۶ سانتیمتر حدود پنج متر است (Chatterjee et al., 2006). این روش را برای اولین بار گولدشتاین و زیگر در سال ۱۹۸۹ ارائه کردند. این اصطلاح به روش اندازه گیری پاره های پارامترها از قبیل توپوگرافی، تغییرات و جابجایی سطح زمین از طریق تداخل فاز دو یا چند تصاویر راداری با روزه مجازی (SAR) اخذ شده از منطقه مشابه اطلاق شده است. این روش قادر است با استفاده از دست کم دو تصویر DEM یا تعداد بیشتری از تصاویر راداری تغییرات

(رابطه ۲)

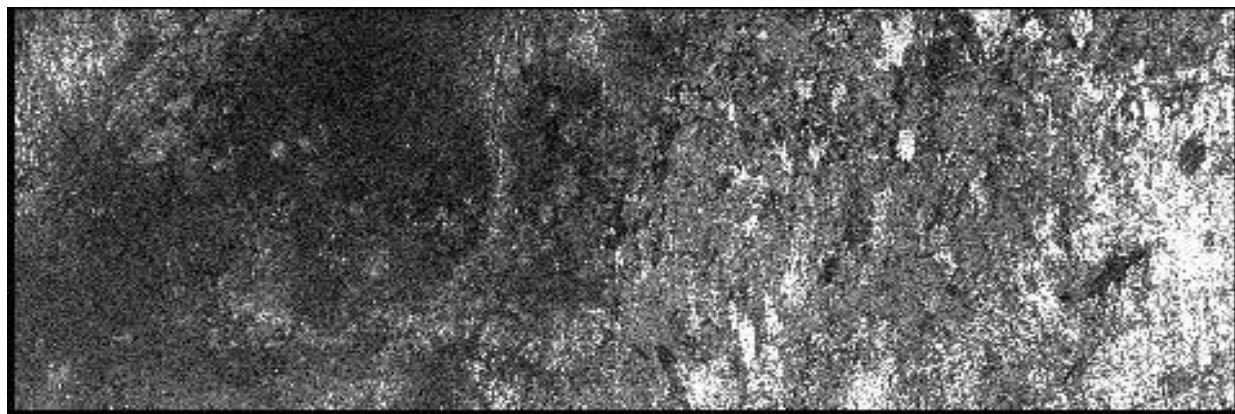
$$\Delta\phi_{int} = 4\pi \frac{SP-MP}{\lambda} = \phi_{Top} + \phi_{Mov} + \phi_{Atm}$$

در نهایت، با نادیده انگاشتن اثر اتمسفر در جابجایی‌هایی به میزان بالا (چند سانتی‌متر) و یا حذف آن به کمک تصاویر اپتیکی اختلاف فاز دو تداخل‌نگار فقط بیان‌کننده مقادیر جابجایی سطح (فرونشست) خواهد بود. تکنیک مورد استفاده در این پژوهش به منظور تعیین میزان فرونشست، 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 مناسب است که چند عامل همچون فرکانس سنجنده، خط مبنای مکانی، خط مبنای زمانی و همچنین همپوشانی فضایی در راستای حرکت سنجنده در انتخاب زوج تصاویر موثر می‌باشند.

اخذ کرده، مقدار فاز (Φ_m) را برای آن اندازه‌گیری می‌کند. روش تداخل‌سنجی تفاضلی، تفاضل فاز Φ_s و Φ_m را در فرم تداخل‌نگار فازی نمایش می‌دهد ($\Delta\phi_{int}$). در صورت ثابت و پایدار بودن سطح، تفاضل فاز این دو تصویر ناشی از تغییر موقعیت این دو سنجنده و مقدار آن به کمک رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$\Delta\phi_{int} = 4\pi \frac{SP-MP}{\lambda} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن SP فاز تصویر اول، MP فاز تصویر دوم، عدد پی با مقدار ثابت $3/14$ و λ طول موج می‌باشد. در اندازه‌گیری مقدار فرونشست در این روش، سطح ناپایدار تصور شده، به طوری که سطح از P به P1 تنزل یافته است. تعیین مقدار نشست در فاصله زمانی دو تصویر (Dt) تابع اختلاف فاز دو تصویر ($\Delta\phi_{int}$) به همراه فاز ناشی از توپوگرافی (ϕ_{Top}) و فاز ناشی از اتمسفر خواهد بود (Ding و همکاران، ۲۰۰۴).



شکل ۴- زوج تداخل نگار

Fig 4. Interfering pair

۲-۳- تصویر ماهواره ای اپتیکال

تصاویر گوگل ارث استفاده شد. در روش در طبقه‌بندی شی‌گرا، اطلاعات طیفی با اطلاعات مکانی ادغام گردیده و پیکسل‌ها بر اساس شکل، بافت و تن خاکستری در سطح تصویر با مقیاس مشخص، قطعه‌بندی شده و طبقه‌بندی تصویر بر اساس این قطعه‌ها انجام می‌شود. در قطعه‌بندی پیکسل‌ها توسط الگوریتم‌های مختلف، با نسبت‌های مختلف طیفی و شکلی قطعه‌بندی و بر اساس ویژگی‌های طیفی و فضایی در قالب اشیا گوناگون دسته‌بندی شده‌اند. طی این فرآیند شی‌های تصویری متناسب با همگن بودن یا ناهمگن بودن بر اساس پارامترهای مقیاس، رنگ، شکل، ضریب نرمی و شکل فشردگی ایجاد شد

در این تحقیق به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره لندست ۸ که از سنجنده OLI آن به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۰ استفاده شد مشخصات تصاویر لندست در جدول ۳ ارائه شده است. به منظور تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی از نرم‌افزار ENVI 5.3 و به منظور استخراج نقشه‌های مربوطه از نرم‌افزار ARCGIS 10.5 استفاده شد. به جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی شی‌گرا در نرم‌افزار eCognition Developer64 استفاده شد. جهت برآورد صحت طبقه‌بندی از نقاط نمونه برداشت شده از

همسایه و روش درخت تصمیم‌گیری صورت گرفت. لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صحت و درستی آن است. دقت طبقه‌بندی در سال ۲۰۲۰ صحت کلی ۹۸ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۶ است. در حالی که طبقه‌بندی در سال ۲۰۱۵ با صحت کلی ۹۲ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۰ به نسبت دقت پایین‌تری را ارائه داده است.

(Faizizadeh and Hilali 2010). با آزمون و خطا بهترین اندازه که نشان‌دهنده اشیا با ابعاد مختلف می‌باشند تعیین شد. تصویر طبقه‌بندی شده در این پژوهش دارای مقیاس ۰/۴۵، شکل ۰/۵، ضریب فشردگی ۰/۵ انجام گردید. بعد از مشخص کردن تعداد کلاس‌های مورد نیاز در طبقه‌بندی تعیین شی‌های نمونه‌های آموزشی انجام و در نرم‌افزار بر سطح تصویر اعمال گردید شکل (۶). سپس طبقه بندی با استفاده از نزدیک‌ترین

جدول ۳- اطلاعات تصاویر سنجنده لندست ۸

Table 3. Landsat 8 sensor image information

SCENE_CENTER_TIME	SUN_AZIMUTH	ROW	PATH	Sensor name	Year
07:14:15	129.96034027	35	165	LANDSAT_8	2020-08-09

سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ که واقع در دشت پاکدشت برداشت شده و مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور انتخاب بهترین مدل درون یابی از بین مدل‌های مختلف، تمامی مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند و تنها مدل‌هایی انتخاب شدند که دارای دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها بودند. به منظور پایش سطح تراز آب‌های زیرزمینی نقشه سطح آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای هر دو سال با روش مدل‌های کریجینگ نتایج از دقت بالایی را نشان می‌دهد. روش K-Bessel با مقدار RMS ۰/۱۳۴، برای سال ۲۰۲۰ و روش Gaussian با مقدار RMS ۰/۱۳۵، برای سال ۲۰۱۵ که دقیق‌ترین روش شناخته شدند، استخراج شد

۳- بحث و یافته‌ها

نقشه خروجی حاصل از مقادیر مثبت و به رنگ آبی جابجایی مربوط به حرکت زمین به سمت دید راداری (بالا آمدگی) و مقادیر منفی بیانگر دور شدن سطح زمین از سنجنده در راستای دید راداری (فرونشست) است. نتایج حاصله در شکل ۷ نمایش داده شده است. بررسی وضعیت فرونشست در ۵ سال اخیر از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۲۰ میزان فرونشست افزایش یافته است. مناطق قرمز دارای بیشترین فرونشست ۱۰ سانتیمتر را نشان می‌دهد مناطق به رنگ آبی فاقد فرونشست بوده و دارای بالا آمدگی ۶ سانتیمتری می‌باشد. زمانی که در منطقه فرونشست صورت می‌گیرد، فقط پایین رفتن صورت نمی‌گیرد، بلکه دوالیته یا بالا آمدگی را نیز دارا می‌باشد. بر اساس اطلاعات

۲-۳-۱- طبقه‌بندی

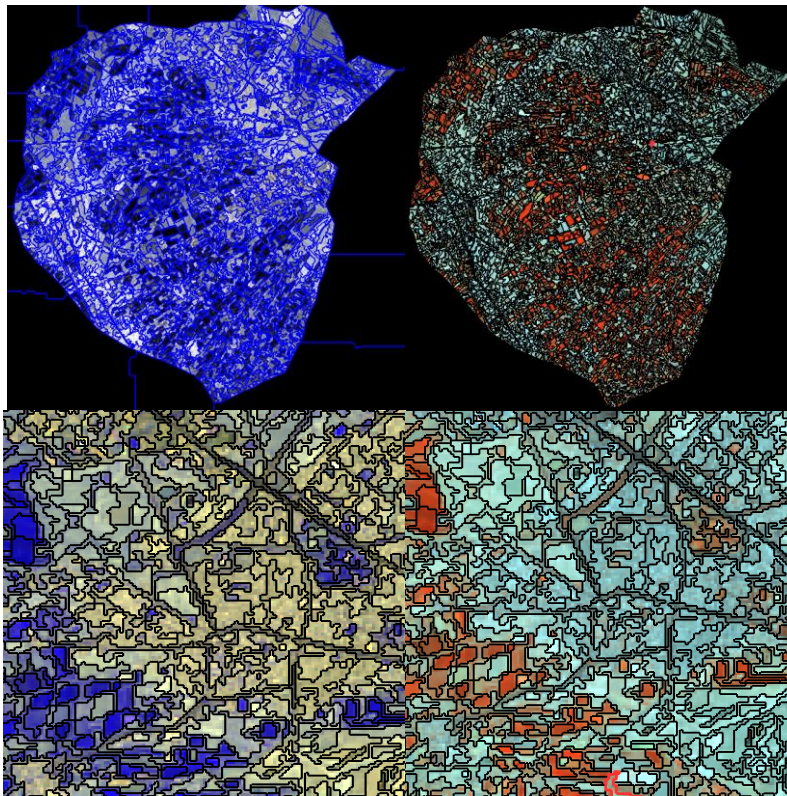
طبقه‌بندی به معنی گروهی از پیکسل‌های همسایه در داخل یک ناحیه است که شباهت (نظیر ارزش عددی و بافت) مهم‌ترین معیار مشترک آن‌هاست (فیضی زاده، ۱۳۸۷). شی‌های تصویری حاصل از فرآیند طبقه‌بندی، مبنای طبقه‌بندی شی‌گرا هستند و آن‌ها دارای حجم زیادی از مشخصات و خصیصه‌های پدیده‌های زمینی متناظرشان در سطح تصویر می‌باشند. در فرایند طبقه‌بندی، شی‌های تصویری در سطح تصویر بر اساس تفکیک مکانی و تفکیک طیفی تصویر به وسیله گروهی از پیکسل‌ها، مطابق با ویژگی‌های طیفی و هندسی که مفسر برای کلاس‌ها تعیین می‌کند، انجام می‌شود. در فرآیند طبقه‌بندی مفسر می‌تواند با در نظر گرفتن پارامترهای شکل، بافت، ضریب فشردگی و معیار نرمی، فرایند طبقه‌بندی تصویر را انجام داده و بر اساس نسبت اهمیت هر یک از این عوامل در خصوصیات کلاس‌های مورد نظر برای استخراج از تصاویر ماهواره‌ای، نسبت اهمیت آن‌ها را در فرایند طبقه‌بندی اعمال نماید (Faizizadeh and Hilali 2010). در این مقاله نقشه کاربری اراضی دارای کلاس‌های منطقه مسکونی، کشاورزی، مرتع و خاک می‌باشد.

۲-۴- داده‌های چاه‌های پیژومتری

در مطالعات مربوط به علل فرونشست زمین بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی نقش بسیار مهمی دارد. به همین دلیل اطلاعات مربوط به تغییرات سطح آب زیرزمینی در طی

جنوبی و مرکز شهرستان و کمترین میزان آن در شمال، شمال غرب و شمال شرق دشت پاکدشت بوده است (شکل ۱۲).

به دست آمده از نقشه فرونشست دشت پاکدشت مشخص شد که در دوره مطالعه شده میزان فرونشست قابل توجهی را شاهد بودیم. در نقشه فرونشست بیشترین میزان فرونشست در قسمت



شکل ۶- نمونه تصویر قطعه‌بندی شده (مقیاس: ۴۵، شکل ۰/۵، ضریب فشردگی ۰/۵)

Fig 6. Segmented image sample (scale: 45, shape 0.5, compactness 0.5)

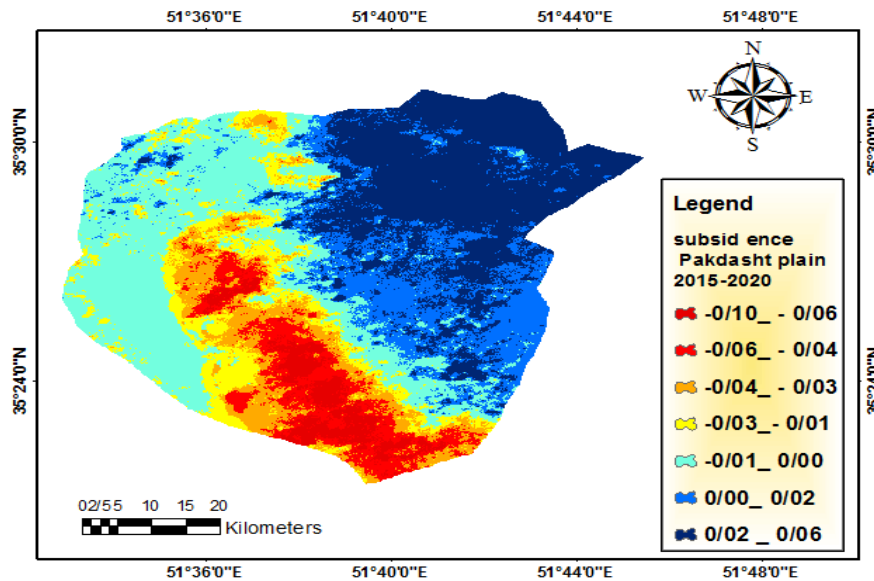
تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی از طریق اطلاعات چاه‌های پیزومتری مورد اعتبارسنجی قرار گرفته است. به این ترتیب یافته‌های تحقیق به کمک داده‌های چاه‌های پیزومتری و کاربری اراضی مورد کنترل و ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به نقشه درون‌یابی شکل ۹ و ۱۰ با توجه به سطح آب زیرزمینی دشت علی‌رغم نوسانات فصلی دارای روند نزولی است. همانگونه مشاهده می‌شود در سال ۲۰۱۵ سطح آب ۱۱۲/۳۶ متر بوده است که این مقدار در سال ۲۰۲۰ به ۹۹/۰۴ متر کاهش یافته است که ۱۲ متر افت سطح آب زیرزمینی در طی ۵ سال را نشان می‌دهد. که این مقدار در یک بازه‌ی زمانی پنج ساله مقدار قابل توجهی است و تکرار این عمل در مدت زمانی طولانی هم برداشت بیش از حد و عدم وجود تعادل بین تغذیه لایه‌های آبدار و تخلیه آنها باعث شده که سطح ایستابی در منطقه روند نزولی مداومی را دنبال کند. با خالی شدن آب موجود در حفره‌های

۳-۳- تحلیل رابطه فرونشست و آب‌های زیرزمینی

نشست زمین پدیده‌ای فراگیر در سطح جهان است که عمدتاً در اثر بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و شدت یافتن افت سطح آن، نمود کمی و کیفی قابل توجهی در چند دهه اخیر داشته است. به منظور انتخاب بهترین مدل درون‌یابی از بین مدل‌های مختلف، تمامی مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند و تنها مدل‌هایی انتخاب شدند که دارای دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها بودند. به منظور پایش سطح تراز آب‌های زیرزمینی نقشه سطح آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای هر دو سال با روش مدل‌های کریجینگ نتایج از دقت بالایی را نشان می‌دهد. روش K-Bessel با مقدار RMS ۰/۱۳۴، برای سال ۲۰۱۵ و روش Gaussian با مقدار RMS ۰/۱۳۵، برای سال ۲۰۲۰ که دقیق‌ترین روش شناخته شدند، استخراج شد. در این پژوهش، نرخ و دامنه فرونشست استخراج شده به وسیله

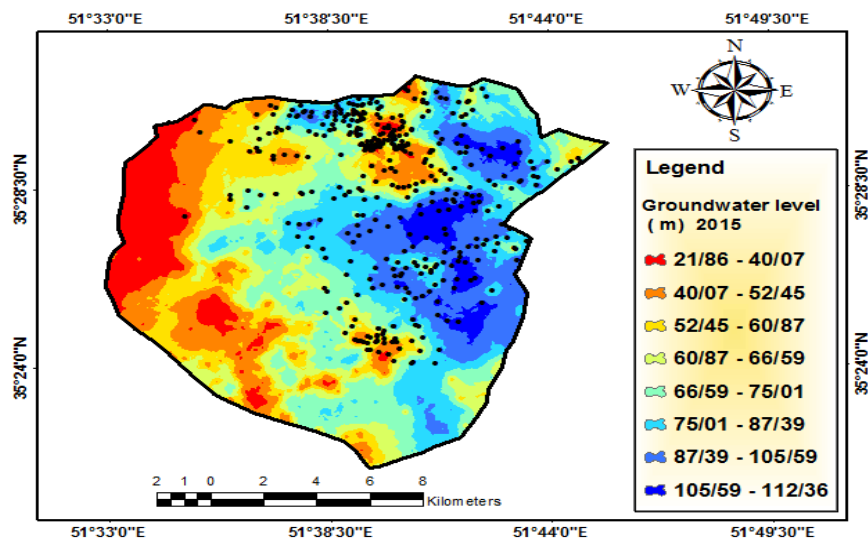
منطقه بودیم. کاهش میزان استخراج آب از سفره‌های آب زیرزمینی باعث تعدیل در فرونشست منطقه می‌شود. عمده مصرف چاه‌ها در منطقه مربوط به فعالیت‌های کشاورزی است. و با تداوم برداشت آب باعث گسترش فرونشست خواهد شد و خسارت مالی و جانی زیادی در بر خواهد داشت.

لایه آبدار و جابجایی آب این حفره‌ها با هوا، باعث کاهش میزان فشار تعادل بین لایه‌ها به هم می‌خورد. به دلیل بر هم خوردن تعادل بین فشار و وزن لایه‌های فوقانی، در اثر نیروی وزن لایه‌های فوقانی لایه‌های آبدار فشرده شده و کاهش سطح ایستابی افزایش پیدا کند و چون این کاهش سطح با فرونشست رابطه‌ای مستقیم دارد، شاهد افزایش میزان فرونشست در



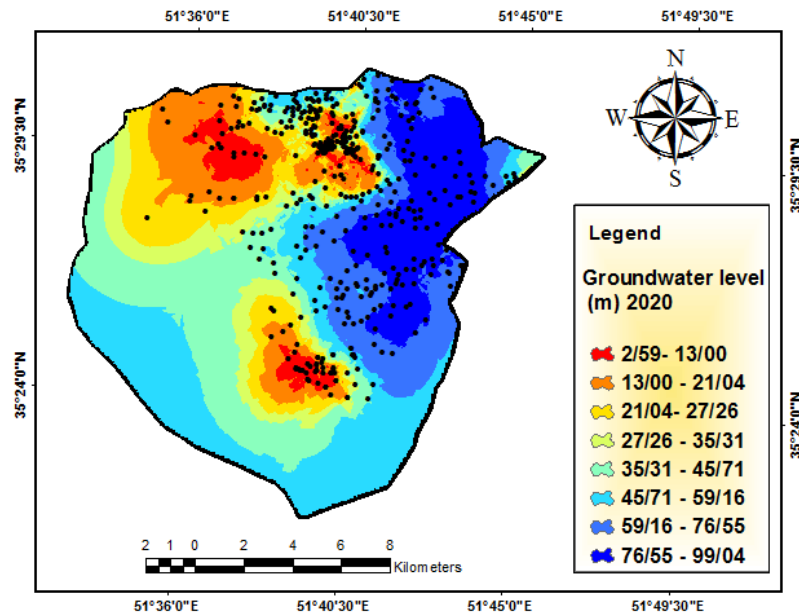
شکل ۷- میزان بالآمدگی و میزان فرونشست دشت پاکدشت

Fig 7. Rise and subsidence of Pakdasht plain



شکل ۸- نقشه درون‌یابی سطح آب سال 2015

Fig 8. Water level interpolation map for 2015



شکل ۹- نقشه درون‌یابی سطح آب سال ۲۰۲۰
Fig 9. Water level interpolation map for 2015

۳-۲- تحلیل رابطه فرونشست و کاربری اراضی

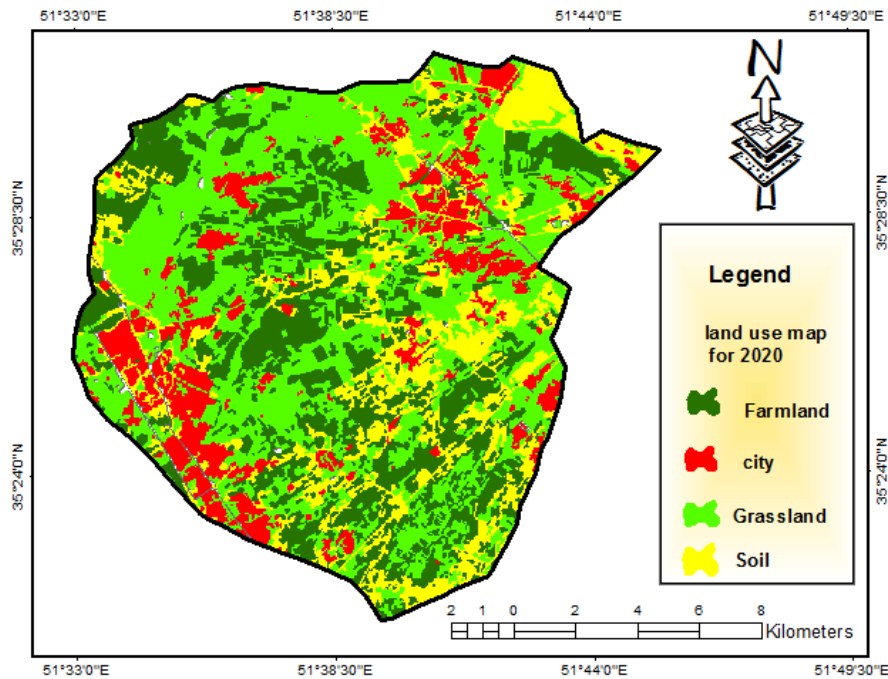
نتایج حاصل از انطباق نقشه کاربری اراضی و نقشه فرونشست در جدول ۴ نشان داد که بالاترین میزان فرونشست در بازه زمانی ۲۰۲۰ به ترتیب به کاربری‌های کشاورزی با مقدار ۱۰ سانتی‌متر، منطقه مرتع با مقدار ۹ سانتی‌متر و کاربری‌های منطقه شهری و خاک با مقدار ۸ سانتی‌متر در رده‌های بعدی قرار دارند. فرونشست ۸ سانتی‌متری برای کاربری مناطق مسکونی می‌تواند ناشی از تخریب و ساخت و سازهای ساختمان‌های بزرگ باشد که به عنوان بالاآمدگی یا فرونشست در نظر گرفته شده باشد رویداد مخاطره فرونشست در سکونتگاه‌ها علاوه بر

ایجاد خسارت فراوان به ابنیه و تأسیسات، جمعیت‌های انسانی ساکن را تهدید می‌کند. به نحوی که رویداد آن می‌تواند با تلفات انسانی از طریق تخریب ابنیه‌ها منجر به فاجعه شود. فروریزش ناگهانی زمین و تخریب و ریزش سازه‌های آسیب‌پذیر از سوانح محتمل ناشی از عوارض فرونشست است که در نواحی شهری با تلفات انسانی رو به رو می‌باشد. این سوانح در موارد خاصی به سبب تراکم جمعیت زیاد و یا گسترش شعاع اراضی فروریخته می‌تواند تلفات سنگین و جبران‌ناپذیری داشته باشد. نتایج حاصل از برداشت‌های میدانی نیز حاکی از کج شدگی تیر برق‌ها به دلیل فرونشست و همچنین ترک خوردن و آسیب دیدن مناطق انسان ساخت را شاهد بودیم (شکل ۱۱).

جدول ۴- مشخصات آماری فرونشست کاربری‌ها

Table 4. Statistical specifications of land subsidence

Standard deviation	mean	Uplift	subsidence	Landuse
0/0679	-0/0676	0/0236	-0/1023	Farmland
0/0601	-0/0578	0/0263	-0/8390	City
0/0760	-0/0602	0/0253	-0/9538	Grassland
0/0769	0/0622	0/0433	-0/8342	Soil



شکل ۱۰- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۰
Fig 10. Land use map for 2020



شکل ۱۱- تصاویر میدانی ایجاد ترک در ساختمان‌ها و معابر دشت پاکدشت

Figure 11- Field images of cracks in buildings and passages of Pakdasht plain

۴- نتیجه گیری

بررسی وضعیت فرونشست در ۵ سال اخیر از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۲۰ در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین میزان فرونشست ۲۵ سانتی‌متر می‌باشد. به منظور سازگاری نتایج

حاصل از تداخل‌سنجی راداری با دیگر داده‌های تکمیلی از کاربری اراضی و همچنین چاه‌های پیژومتری در سطح دشت پاکدشت استفاده شد. هم نهادسازی نقشه‌های فرونشست با لایه‌های کاربری اراضی نیز موید رخداد بیشینه عرصه نشست

که بالاترین میزان فرونشست در بازه زمانی ۲۰۲۰ به ترتیب به کاربری‌های کشاورزی با مقدار ۱۰ سانتی‌متر، منطقه مرتع با مقدار ۹ سانتی‌متر و کاربری‌های منطقه ی شهری و خاک با مقدار ۸ سانتی‌متر در رده‌های بعدی قرار دارند این مسئله می‌تواند به طور عمده به موضوع استحصال آب زیرزمینی برای آب شرب، کشاورزی و احتمالاً سایر عوامل موثر همچون زمین‌شناسی و تکنیکی مرتبط باشد. فرونشست ۸ سانتی-متری برای کاربری مناطق مسکونی می‌تواند شرایط زیستی نامنی را برای ساکنین فراهم آورده و خطرپذیری آنها را از مخاطرات زمین افزایش دهد. رویداد مخاطره فرونشست در سکونتگاه‌ها علاوه بر ایجاد خسارت فراوان به ابنیه و تأسیسات، جمعیت‌های انسانی ساکن را تهدید می‌کند. نشست زمین پدیده‌ای فراگیر در سطح جهان است که عمدتاً در اثر بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و شدت یافتن افت سطح آن، نمود کمی و کیفی قابل توجهی در چند دهه اخیر داشته است. برداشت بیش از حد و عدم وجود تعادل بین تغذیه لایه‌های آبدار و تخلیه آنها باعث شده که سطح ایستابی در منطقه روند نزولی مداومی را دنبال کند. با خالی شدن آب موجود در حفره‌های لایه آبدار و جابجایی آب این حفره‌ها با هوا، باعث کاهش میزان فشار تعادل بین لایه‌ها به هم می‌خورد. به دلیل بر هم خوردن تعادل بین فشار و وزن لایه‌های فوقانی، در اثر نیروی وزن لایه‌های فوقانی لایه‌های آبدار فشرده شده و کاهش سطح ایستابی افزایش پیدا کند و چون این کاهش سطح با فرونشست رابطه‌ای مستقیم دارد، شاهد افزایش میزان فرونشست در منطقه هستیم. کاهش میزان استخراج آب از سفره‌های آب زیرزمینی باعث تعدیل در فرونشست منطقه می‌شود. عمده مصرف چاه‌ها در منطقه مربوط به فعالیت‌های کشاورزی است. تغییر در الگوی آبیاری باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی از الگوی سنتی به الگوی مدرن نظیر آبیاری قطره‌ای و بارانی می‌تواند باعث کاهش میزان آب مصرفی می‌شود و نتیجه آن کاهش استخراج چاه‌ها است و همچنین جلوگیری از حفر چاه‌های جدید در منطقه مانع از افزایش برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی می‌شود و این دو عامل باعث می‌شود که روند کاهشی سطح ایستابی کند شود که به طور مستقیم بر روی روند فرونشست منطقه تأثیرگذار است و می‌تواند از سرعت آن کم کند و حتی در بهترین حالت روند آن را متوقف کند. در سال‌های اخیر، مخاطره فرونشست به عنوان یکی از چالش‌های

پیش روی برنامه‌ریزان مطرح شده است. موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده که تا بیشتر دشت‌های آن، مستعد وقوع فرونشست باشد. نتایج حاصله نشان داد با توجه به سطح آب زیرزمینی دشت علیرغم نوسانات فصلی دارای روند نزولی است. در سال ۲۰۱۵ سطح آب ۱۱۲ متر بوده است که در طی ۵ سال در سال ۲۰۲۰ به ۹۹ متر کاهش یافته است. که ۱۲ متر افت سطح آب زیرزمینی در طی ۵ سال را شاهد بودیم. ایجاد چنین شرایط و وضعیتی در رویداد پدیده فرونشست و پیامدهای مخاطره‌آمیز و فاجعه‌بار آن برای کشور، قبل از هر چیز عزم ملی برای پذیرش و مقابله با این پدیده به عنوان یک معضل و مخاطره منتهی به یک فاجعه را طلب می‌نماید. موضوعی که درک آن از یک سوی مستلزم افزایش مطالعات برای شناسایی کامل نواحی مستعد به صورت یک طرح ملی است. از طرفی لازم است زیرساخت لازم برای آگاهی‌رسانی و همگانی بودن اطلاع از نتایج و معضلات ناشی از این مسئله برای مردم در جهت مشارکت آنها در جهت جلب مشارکت مردم و مسئولان در تعدیل زیرساخت‌های ایجابی فراهم گردد. و نهایتاً برای پیشگیری و کاستن و تعدیل حجم و دامنه فاجعه محتمل از این مخاطره، دستگاه‌های ذیربط تمامی مقررات و استانداردهای لازم ساخت و ساز را برای نواحی در معرض فرونشست، مورد بازنگری قرار داده و اساس را بر شرایط نوین تعریف نمایند.

در پژوهشی مشابه Asghari و Mohammadzadeh (۲۰۲۱) اقدام به بررسی فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب زیرزمینی در دشت شهریار با استفاده از داده سنتینل ۱ مربوط به سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که نرخ فرونشست ۱۱ سانتی‌متر را نشان داد. همچنین رابطه بین فرونشست و تغییرات مقدار سطح آب‌های زیرزمینی نشان داد که در سال ۲۰۱۵ سطح آب ۷۵/۸۵ متر بوده است که در طی ۶ سال در سال ۲۰۲۰ به ۶۸/۵۲ متر کاهش یافته است. که نشان می‌دهد در طی شش سال ۷ متر افت آب زیرزمینی را نشان داد. در تحقیقی دیگر Parhisgar و همکاران (۲۰۱۵)، اقدام به بررسی پیش‌بینی افت سطح آب و ارزیابی فرونشست زمین در آبخوان دامغان با ترکیب مدل‌های جی‌ام‌اس و جی‌ای پی نمودند. نتایج این بخش از تحقیق نشان داد که با افت سطح آب زیرزمینی به میزان ۲۹۵ سانتی‌متر و ۳۴۳ سانتی‌متر، نشست زمین به ترتیب به میزان ۴/۳۵ و ۴۵،۳۹ سانتی‌متر خواهد بود. این تحقیق نشان داد که

مطالعه موردی: دشت کرج - شهریار به این نتیجه رسیدند که روند تغییرات ناشی از برداشت آب حدود ۵ تا ۱۵ سانتی متر می باشد. میزان افت ۲۲ متر طی ۱۲ سال می باشد. میزان برداشت آب از چاه‌ها حدود ۶۰۵ میلیون مترمکعب می باشد.

در دشت دامغان سطح آب زیرزمینی به طور مداوم در حال پایین آمدن و مقدار نشست زمین در حال افزایش می باشد. لذا پمپاژ از چاه‌های در واقع در نواحی با ریسک بالا باید کاهش یابد. در پژوهشی دیگر Safari و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی پایش فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیرزمینی

مراجع

- Asadzadeh, F., Kaki M., Shakib, S., Reza, B., 2016. Impact of drought on groundwater quality and groundwater level in Qorveh-Chardoli plain. *Water Resources Research* 3, 153-165 (In Persian with English abstract).
- Asghari, S., Mohamadzadeh shishegaran, M., 2021. Estimation of subsidence using radar interferometry technique and groundwater parameters and land use (Case study: Shahryar plain). *Quantitative Geomorphological Research* 10, 40-54. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2021.258196.1229>.
- Avallone, A., Zollo, Briole, P., Delacourt, C., Beauducel, F., 1999. Subsidence of Campi Flegrei (Italy) detected by SAR interferometry. *Geophysical Research Letters* 26, 2303-2306. <https://doi.org/10.1029/1999GL900497>
- Chatterjee, R.S., Fruneau, B., Rudan, J.P., Roy, P.S., Frison, P., Lakhera, R.C., Dadlhwai, V.K., Saha R., 2006. Subsidence of Kolkata (Calcutta) City, India during the 1990 as observed from space by Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry (D-InSAR) technique. *Remote Sensing of Environment* 102, 176-185. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.02.006>
- Chen, M., Tomas, R., Li, Z., Motagh, M., Li, T., Hu, L., Gong, H., L., Li, X., Yu, J., Gong, X., 2016. Imaging land subsidence induced by groundwater extraction in Beijing (China) using satellite radar interferometry. *Remote Sensing* 8, 447- 468. <https://doi: 10.390/rs.8060468>.
- Chung, Y.R., Chen, G., Yue, J., Angelier, A., 2005. Estimation of subsidence using GPS measurements and related hazard: the Pingtung Plain. *Southwestern Taiwan* 337, 1184-1193.
- Dehghani, M., ValadanZoej, M.J., Entezam, I., Saatchi, S., Shemshaki, A., 2011. Interferometric measurements of ground surface subsidence induced by overexploitation of groundwater. *Journal of Applied Remote Sensing* 4, 56-73. <https://doi: 10.1117/1.3527999>
- Ding, X.L., Chen, Q.Y., 2004. Ground subsidence monitoring in Hong Kong with satellite SAR interferometry. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 70, 1151-1156. <https://doi: 10.14358/PERS.70.10.1151>
- Faizizadeh, B., Hilali, H., 2010. Comparison of base pixel, object-oriented and effective parameters in land use coverage classification in West Azarbaijan Province. *Geographical Research Journal* 71, 73-84.
- Galloway, D.L., Burbey, T.J., 2011. Regional land subsidence accompanying groundwater extraction, *Hydrogeol* 19 1459-1486. <https://doi: 10.1007/s10040-011-0775-5>
- Ghannadi, M., Enayati, H., Khesali, E., 2019. Generating Digital Elevation Model of the Earth Using Sentinel-1 Images and Interferometry. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)* 108, 109-121. <https://doi: 10.22131/sepehr.2019.34623>.
- Habibzadeh Harris, M.S., Al-Modarresi, A., Sarkargar Ardakani, A., 2013. Study of subsidence in Shahriar using D-In SAR technique, Master Thesis. Islamic Azad University, Yazd Branch.
- Maghsoudi, Y., Amani, R., Ahmadi, H., 2019. A Study of land Subsidence in West of Tehran Using Sentinel-1 Images and Permanent Scatterers Interferometry. *Iran Water Resources Research* 15, 299-313.
- Massonnet, D., Feigl, K.L., 1998. Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface. *Reviews of Geophysics* 36, 441-500.
- Motagh, M., Shamshiri, R., Hagsheanase Haghigi, M., Wetzal, H., Akbari, B., Nahavandchi, H., Roessner, S., Arabi, S., 2017. Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan plain southestern Iran, using InSAR time - series and in situ measurements. *Engineering Geology* 218, 134-151.
- Motagh, M., Shamshiri, R., Hagsheanase Haghigi, M., Wetzal, H., Akbari, B., Nahavandchi, H., Roessner, S., Arabi, S., 2017. Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan plain

- southeastern Iran, using InSAR time – series and in situ measurements. *Engineering Geology* 218, 134-151.
- Motaghi, M., Djamour, Y., Walter, R., Wetzel, H.U., Zschau, J., Arabi, S., 2006. Land subsidence in Mashhad Valley, north-east Iran: results from InSAR, levelling and GPS. *Geophysical Journal International* 168, 38-52. doi: 10.1111/j.1365–246X.2006.03246.x.
- Motaghi, M., Djamour, Y., Walter, T.R., Wetzel, H.U., Zschau, J., Arabi, S., 2006. Land subsidence in Mashhad Valley, north-east Iran: results from InSAR, levelling and GPS. *Geophysical Journal International* 168-172. doi: 10.1111/j.1365–246X.2006.03246.x.
- 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. *Engineering Geology* 84, 143-160.
- Parhizgar, S., Agdari KH, Kazami, G., EmamGolizadeh, S., 2015. Water level prediction and land subsidence assessment in Damghan aquifer with a combination of models GMS, GIP. *Journal of Science* 1, 80-36.
- Raucoules, D., Colesanti, C., Carnec, C., 2007. Use of SAR interferometry for detecting and assessing ground subsidence. Elsevier. *Comptes Rendus Geoscience* 339 289–302.
- Safari, A., Jafar, F., Tavakol, M., 2018. Monitoring its land subsidence and its relation to groundwater harvesting Case study: Karaj Plain - Shahriar. *Quantitative Geomorphological Research* 5, 82-93.
- Salehi, R., Ghafouri, M., Lashkaripoor, Gh.R, Dehghani, M., 2013. South Mahyar check subsidence using InSAR. *Irrigation and Water* 11, 47-57. [https://doi.org/ 10.1007/978-3-319-10828-5_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10828-5_18)
- Sharifikia, M., 2011. Check consequence of subsidence in land and residential. *Plains Country* 3, 43-58.
- Sharifikia, M., 2011. Determining the extent and scope of land subsidence using InSAR (D-InSAR) in plain Noogh-Bahreman. *Spatial Planning* 3, 56-73. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.09.001>
- Wang, G., You, B, Shi, J., Y., Tuck, M., 2009. Long-term land subsidence and strata compression in Changzhou China. *Engineering Geology* 104, 109-118.
- Zebker, H.A., Rosen, P.A., Goldstein, R.M., Gabriel, A., Werner, C.L., 1994. On the derivation of coseismic displacement fields using differential radar interferometry the landers earthquake. *Journal of Geophysical Research* 99, 19617-19634. [https://doi.org/ 10.1109/IGARSS.1994.399105](https://doi.org/10.1109/IGARSS.1994.399105)
- Zhu, L., Gong, H., Li, X., Wang. R., 2015. Land subsidence due to groundwater Withdrawal in the northern Beijing plain China *Engineering Geology*. 193, 243-255. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.04.020>