

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences

Online ISSN: 2588-5138

https://jgs.khu.ac.ir/

Print ISSN: 2228-7736



Identification of subsidence areas using radar interferometry (Case study; Damane plain)

Shokrollah Kiani ¹ | Ahmad Mazidi ² | Seyed Zein Al-Abedin Hosseini ³

- 1. Master Geographic Information System and Remote Sensing, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: Arashkiani97rs@gmail.com
- 2. Corresponding author, Associate Professor of Natural Geography, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran. ⊠ E-mail: mazidi@yazd.ac.ir
- 3. Assistant Professor of Natural Resources and Desert Studies, Department of Rangeland and Watershed Management, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: zhosseini@yazd.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type:	Subsidence is an environmental phenomenon caused by the gradual or
Research Article	sudden sinking of the earth's surface. Subsidence in residential, industrial, and agricultural areas can cause catastrophic damage. In most parts of Iran there is a high correlation between land subsidence
Article history: Received	the decrease in groundwater level, and the density of soil layers. This study calculated the amount of subsidence in Damaneh plain (Frieden
2021/03/03	city) using two time series of radar images from Sentinel sensors
Received in revised	acquired in 2014 and 2019. Changes in water level of the region's
2021/05/04	prezometric wells were investigated using data from 9 wells during 2014 to 2019 and the results showed a significant correlation between
Accepted	land subsidence and changes in groundwater level at a 95% confidence
2021/05/14	level. Continuing the research, a logistic regression model was used to
Published	predict the subsidence trend in the study area and prepare a subsidence
2021/07/12	probability map. The independent variables used in the model included
Published online	distance from the river, land use, distance from the village.
2023/10/01	groundwater level, and piezometric wells. The output of the model is a
Keywords : subsidence, radar, sentinel, damaneh plain, logistic regression.	subsidence risk zoning map categorized into five classes. The accuracy and validation of the logistic regression model were evaluated using the system performance characteristic curve, and an accuracy of 0.89 was obtained. The logistic regression model showed good accuracy in producing the probability map of subsidence in the study area. According to the model's output, an area of 1980 hectares, equivalent to 7.9% of the total area, is experiencing very severe subsidence. This poses a dangerous situation and calls for control and management measures to reduce this destructive effect.

Cite this article: Kiani, Shokrollah., Mazidi, Ahmad., & Hosseini, Seyed Zein Al-Abedin. (2024). Identification of subsidence areas using radar interferometry (Case study; Damane plain). *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 74 (24), 76-96. DOI: http://doi.org/ 10.61186/jgs.24.74.14



© The Author(s). Publisher: Kharazmi University. DOI: http://doi.org/ 10.61186/jgs.24.74.14



Journal of Applied Researches in Geographical Sciences

Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138

https://jgs.khu.ac.ir/



Extended Abstract

Introduction

One of the basic and increasing problems in many countries, including Iran, is the phenomenon of subsidence. In recent years, there has been excessive extraction of water from aquifers in most provinces of Iran, which has led to subsidence in many plains. In some cases, this has even caused wells to completely dry up and resulted in the destruction and depopulation of these areas. The Damane Plain, located in Isfahan, is particularly vulnerable to this issue due to its climatic conditions. Deep wells are commonly used for agricultural purposes in the Damane Plain, leading to the overexploitation of these resources. Consequently, the number of wells and their water quality have decreased, causing land subsidence and damaging the urban and rural infrastructure in the region. This is an important issue that could have been prevented. This research aims to estimate the level of subsidence in the region using radar interferometric techniques, explore its correlation with piezometric wells, and ultimately predict the future extent of subsidence in the upcoming years.

Methods and Material

Based on its purpose, the current research is divided into applied research, and the method of collecting information is library-field. The data prepared includes Sentinel 1 satellite images, land use prepared from Sentinel 2 satellite images, ASTER digital elevation model, and geological map. To further the research goals, Sentinel 1 sensor products, specifically C band, were utilized from 2013 to 2018. This data is one of the SAR image level products, with a spatial resolution of 5 meters and a 12-day acquisition period. Information regarding the underground water resources of the study area, which includes the distribution of piezometric wells and their water level changes, was prepared from Isfahan Regional Water Company. Field data was collected using the Global Positioning System (GPS). Various software programs, such as ArcGIS and SNAP, were used during the research to prepare and analyze the available data. The following criteria were used from different sources to produce the analysis: height, slope, direction of slope, land use, geology, distance from the river, distance from the road, and distance from the well. These criteria were constant variables in the research, and the subsidence variable was analyzed using a logistic regression model to calculate the influence of each criterion on subsidence. The areas prone to subsidence were identified for a twenty-year period using the logistic regression model, and the validity of the model was determined using the ROC curve.

Results and Discussion

According to the results obtained from the analysis of the radar images presented, the classified map and supplementary information, we have observed a change in the water level in the area. Except for the mountainous areas, there has been an accumulation of sediments resulting in a decrease in the water level by up to -45 cm. In this research, the area in question was investigated from 2014 to 2019 using the data of Mahora Grace and three algorithms - crs, gf, jpl - on Google Earth. According to these algorithms, the water level in the region has decreased. The logistic regression formula indicates that the groundwater level, distance from the well, and geological formation have the highest influence coefficient in the model, with coefficients of 6.0042, 3.681, and 2.66 respectively. It has been observed that in some



areas with high well density, there is a direct relationship between these two variables and a decrease in the groundwater level, which leads to subsidence. The probability of subsidence is higher in these areas. On the other hand, the distance from the road and the distance from the village have the lowest coefficients, with -0.0032 and -0.0004 respectively. The logistic regression model with an AUC value of 0.89 indicates a very good evaluation, and the land subsidence risk zoning in the study area has been accurately performed.

Conclusion

In this research, two time series of radar images with artificial aperture from the Sentinel sensor belonging to the years 2014 and 2019 were used to investigate the amount of subsidence in the plain of the calculation range and the changes in the water level of the piezometric wells in the area. The information from 9 wells between 2013 and 2018 was used for this investigation. It was found that the correlation between land subsidence and underground water level changes was significant at the 95% level. Using the logistic regression model, the subsidence trend of the studied area was predicted and a subsidence probability map was prepared as a dependent variable for the logistic regression model. It was determined that the changes in the land surface ranged from 3 to -45 cm. The output of the model is the subsidence risk zoning map, which was created in five classes. The accuracy of the logistic regression model was assessed and validated using the characteristic curve of the system performance, and an accuracy of 0.89 was obtained, indicating good accuracy of the model. In the production of the map, it was determined that an area of 1980 hectares, equivalent to 7.9%, has subsidence with a very severe degree. This situation has put the region in a dangerous condition and requires control and management to reduce it. This has a destructive effect.

Keywords: Sentinel radar, logistic regression, subsidence, plain domain

https://jgs.khu.ac.ir/



شناسایی مناطق دارای فرونشست با استفاده از تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی؛ دشت دامنه)^۱

شکراله کیانی'، احمد مزیدی™، سید زین العابدین حسینی″

۱. کارشناس ارشد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجشازدور، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: arashkiani97rs@mail.com ۲. نویسنده مسئول، دانشیار جغرافیای طبیعی اقلیم، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: zhosseini@yazd.ac.ir ۳. استادیار منابع طبیعی و کویرشناسی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: zhosseini@yazd.ac.ir

چکیدہ	اطلاعات مقاله
فرونشست پدیده زیستمحیطی و ناشی از پایین رفتن ناگهانی سطح زمین است. در اکثر مناطق	نوع مقاله:
ایران همبستگی بالایی بین فرونشست زمین و کاهش تراز سطح آب زیرزمینی و تراکم لایههای	مقاله پژوهشی
خاک وجود دارد. در این پژوهش با استفاده از دو سری زمانی تصاویر رادار با روزنه مصنوعی از	
سنجنده سنتینل متعلق به سالهای ۲۰۱۴ و ۲۰۱۹، میزان فرونشست در دشت دامنه محاسبه و	تاريخ دريافت:
تغییرات سطح آب چاههای پیزومتری منطقه با استفاده از اطلاعات ۹ حلقه چاه در بازه زمانی	١٣٩٩/١٢/١٣
۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ موردبررسی قرار گرفت، نتایج بررسی همبستگی میزان فرونشست زمین با	تاریخ بازنگری:
تغییرات سطح آب زیرزمینی در سطح٪۹۵ معنیدار بوده است. در ادامه با استفاده از مدل	14/.4/14
ر گرسیون لجستیک روند فرونشست محدوده موردمطالعه پیشبینی و نقشه احتمال فرونشست	تاريخ پذيرش:
تهیه و بهعنوان متغیر وابسته برای مدل رگرسیون لجستیک ایجاد شد و مشخص گردید که	14/.7/74
تغییرات سطح زمین بین ۳ تا ۴۵- سانتیمتر بوده است. متغیرهای مستقل استفادهشده شامل	تاريخ انتشار:
ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمینشناسی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی،	14/.4/21
فاصله از روستا، سطح آبهای زیرزمینی، چاههای پیزومتری بوده است. خروجی مدل، نقشه	تاريخ انتشار آنلاين:
پهنهبندی خطر فرونشست بوده که در پنج کلاس ایجاد گردید، در ادامه ارزیابی دقت و	12+2/2/+1
اعتبارسنجی مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد سیستم انجام	
گرفت و دقت (۰/۸۹) به دست آمد که دقت خوب مدل رگرسیون لجستیک در تولید نقشه	کلیدواردها: رادار سنتینا ،
احتمال فرونشست در محدوده موردمطالعه میباشد، در خروجی مدل مشخص گردید که	رگرستون لحستیک،
مساحت ۱۹۸۰ هکتار معادل ۷/۹ ٪ دارای فرونشست با درجه بسیار شدید بوده که وضعیت	و و يرى فرونشست،
منطقه را در شرایط خطرناک قرار داده است و نیاز به کنترل و مدیریت برای کاهش این اثر	دشت دامنه.
تخريبي است.	

استناد: کیانی، شکراله؛ مزیدی، احمد؛ و حسینی، سید زین العابدین (۱۴۰۳). شناسایی مناطق دارای فرونشست با استفاده از تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی؛ دشت دامنه). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی ، ۷۴ (۲۴)، ۹۶-۷۶. http//doi.org/ 10.61186/jgs.24.74.14

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

© نويسندگان.

^۱. این پژوهش برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول، تحت عنوان شناسایی مناطق دارای فرونشست با استفاده از تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی؛ دشت دامنه) به راهنمایی نویسنده دوم و سوم می باشد که در آبان ماه سال ۱۳۹۹ در دانشگاه یزد دفاع شده است.

مقدمه

مطالعات سازمان ملل متحد در سال ۲۰۱۴ نشان میدهد که از ۱۶۲۹ شهر حدوداً ۹۴۴ شهر با حداقل ۳ میلیون نفر از هر شش نوع بحران طبیعی (گردباد، سیل، خشکسالی، زلزله، رانش زمین و فورانهای آتشفشانی) در معرض خطر قرار گرفتند (مصری علمداری، ۱۴۰۰:۱۵۲). یکی از مشکلات اساسی و روزافزون به وجود آمده در بسیاری از کشورهای جهان ازجمله ایران، پدیده فرونشست میباشد. این پدیده که عبارت است از حرکت قائم یا نشست تدریجی و یا فرورفتن ناگهانی سطح زمین، میتواند متأثر از عوامل طبیعی (آتشفشان، ریزش زمین در محل سنگهای انحلال پذیر، گسل، رانش قارهای، چینخوردگی و آتشسوزی) و عوامل انسانی (استخراج معادن، استخراج آب زیرزمینی و نفت و گاز و ساختوساز) شکل گیرد؛ هرچند محوریت رویداد آن متوجه دو عامل اصلی استخراج آب زیرزمینی و کارستی شدن سنگهای انحلال پذیر است (روی و همکاران^۲، ۲۰۰۵: ۴۵، مارگاریتا و همکاران^۳، ۲۰۰۵: ۱۰۲). پدیده فرونشست میتواند موجب آسیب به پی ساختمانها، باند فرودگاهها، پلها، تونلها، خیابانها، خطوط حملونقل ریلی و جادهای شود (چن و همکارن[†]، ۲۰۱۰: ۲۷۶). برای اندازه گیری فرونشست زمین روشهای مختلف ژئودتیک و غیر ژئودتیک مانند استفاده از GPS توتال استیشن، لیزر اسکنر و غیره وجود دارد (لانری و همکاران^۵، ۲۰۰۴: ۱۲۹۶). روش تداخل سنجی راداری^۶ نیز در سالهای اخیر بهعنوان یکی از روشهای غیر ژئودتیک با توجه به مزایایی که نسبت به دیگر روشها دارد، بسیار موردتوجه قرارگرفته است. این روش در میان روشهای زمینی و فضایی بهعنوان کارآمدترین روش برای اندازه گیری تغییرات سطح زمین با دقت و قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا به شمار میرود (کروستو و همکارن^۷، ۲۰۰۰: ۱۲؛ فرونیو و ساتی^۸، ۲۰۰۲: ۴۸). برداشت بیشازحد آب از سفرههای آبی در بیشتر استانهای ایران در سالهای اخیر باعث رخداد پدیده فرونشست در اکثر دشتها و حتی در مواقعی باعث خشک شدن کامل چاهها و نابودی دشتها و تخلیه جمعیت آنها شده است. اصفهان و بهتبع آن دشت دامنه نیز با توجه به شرایط اقلیمی که در آن واقعشده است شرایطی بسیار شکننده دارد. در دشت دامنه برای مصارف کشاورزی از چاههای عمیق استفاده می شود که این عامل باعث برداشت بی رویه از این منابع شده، از طرف دیگر تغییر اقلیم و کاهش نزولات جوی و کاهش منابع تغذیه این سفرهها وضعیت را بهمراتب سختتر نموده است. همه این عوامل بر کاهش آبدهی چاهها و کیفیت آب آنها، فرونشست زمین و خسارت به زیرساختهای شهری و روستایی این منطقه را به یک موضوع مهم و البته قابل پیشگیری تبدیل کرده است. در این پژوهش قصد بر آن است تا میزان فرونشست در منطقه برآورد گردد و رابطه آن با چاههای پیزومتری موردبررسی قرار گیرد و درنهایت به پیشبینی میزان فرونشست در سالهای آتی پرداخته شود. با توجه به روشهای موجود در این زمینه فن تداخل سنجی راداری به لحاظ هزینه، زمان و نیز قرار گیری منطقه دشت دامنه در لیست دشتهای با بحران فرونشست (وزارت نیرو،۱۳۹۹) و دقت بالا روش رادار نسبت به دیگر روشها از توانایی بسیار بالاتری برخوردار است. در سالهای اخیر، ماهواره جدید سنتینل^۰، توانایی اخذ تصویر راداری با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالایی با قابلیت پایش و اندازه گیری تغییر شکلهای محلی کوچک را دارا بوده است؛ بنابراین در این تحقیق نرخ فرونشست سطح زمین در دشت دامنه در استان اصفهان با روش تداخل سنجی راداری و در فاصله زمانی سالهای ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ میلادی موردمطالعه قرار خواهد گرفت. شومان و وجدیان^{۱۰} (۲۰۱۹)؛ به تشخیص فرونشست در منطقه بد فرانکهوسن آلمان با تجزیهوتحلیل سری زمانی تداخل سنجی راداری پرداختند. آنها از مانیتورینگ سری زمانیInSAR برای نظارت بر فرونشست در این منطقه استفاده کردند. نتایج نشان میدهد سرعت بسیار کمی از حرکت، تقریباً صفر، همراه با جهت افقی.

- ² Roy et al
- ³ Margarita et al
- ⁴ Chen et al
- 5 Lanari et al 6 InSAR
- 7 Crosetto et al ⁸ Fruneau & Sarti
- ⁹ Sentinel
- ¹⁰ Schumann & Vajedian

جابجاییهای عمودی با حداکثر میزان فرونشست ۱.۴ میلیمتر در هر سال در منطقه مشاهده شده است. آگوستین و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۹)؛ به شناسایی فرونشست زمین دشت کانتو با استفاده از تصاویر ماهوارهای IERS-۱ و تداخل سنجی پرداختند. این تحقیق با هدف تخمین فرونشست زمین با استفاده از رادار دیافراگم مصنوعی تداخل سنج مصنوعی انجام دادهاند. نتيجه پردازش مي توان بيان كرد كه حداكثر فرونشست دشت كانتو بين دو سال از جفت تصاوير 16/01/19 28/07/28 حدود ۱۴.۲ سانتیمتر است. شی و همکاران^{۱۲} (۲۰۱۹)؛ به شناسایی فرونشست حوضچهها در وینک، تگزاس از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ با تجزیهوتحلیل سری زمانی رادار دیافراگم مصنوعی پرداختند. نتایج آنها بهوضوح نشان میدهد که دو حوضچه اصلی (چشمک سینکهای ۱ و ۲) که در سال ۱۹۸۰ و ۲۰۰۲ تشکیل شده است، هر دو هنوز فرونشست می کنند، اما حداکثر فرونشست برای دوره ۴ ساله ۲۰۱۱ - ۲۰۰۷ در منطقهای در حدود ۱ کیلومتری شمال شرقی حوضچهها در وینک رخ داده است. هو و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۹)؛ به شناسایی فرونشست زمین توسط آنالیز Dinsar در ساحل نام دین چین پرداختند. این مقاله با هدف شناسایی و تجزیهوتحلیل جابجاییهای سطح رخ داده در این منطقه بر اساس روشهای رادار دیافراگم مصنوعی تداخل سنجی رادار مصنوعی و دیافراگم مصنوعی افتراقی انجام شده است. نتیجه تحقیق نشان داد که جابجاییهای محاسبه شده در قالب ماهوارهای (LOS) از ۲۱- تا ۲/۵ میلیمتر در سال متغیر است. نف و همکاران^{۱۴} (۲۰۱۹)؛ از تداخلسنج SAR برای هشدار زودهنگام و ارزیابی حساسیت در دریای مرده، اسرائیل پرداختند. آنها نتایج حاصل بیش از شش سال مشاهدات رادار دیافراگم مصنوعی با وضوح زمانی و مکانی بالا و منظم را ارائه دادند که با اندازه گیری دقیق ردیابی نور و دامنه (LiDAR) اندازه گیری شده است. اسلان و همکاران^{۱۵} (۲۰۱۹)؛ به بررسی فرونشست در دشت بورسا، با استفاده از دادههای ماهوارهای سنتیل ۱–۱ پرداختند. میدان سرعت عمودی بهدستآمده پس از تجزیه میدانهای سرعت دید در این دو مسیر، نشان میدهد دشت بورسا در نرخهایی تا ۲۵ میلیمتر در سال فرونشست می کند. ازجمله مطالعات داخلی دیدبان و همکاران (۱۳۹۸)؛ به بررسی تأثیر جابهجایی سطح زمین بر ساختمانهای تخریبی در شهر بم با استفاده از تکنیکهای فازی شیءگرا و تداخلسنجی راداری پرداختند. نتایج نشان داد که میزان جابهجایی در اثر زمینلرزه بین ۱۹/۰ و ۱۳۲۰ در تغییر بوده و نتایج مربوط به استخراج خودکار ساختمانهای تخریبی بهوسیله اپراتورهای AND و OR دقتی به ترتیب برابر ۹۳ درصد و ۹۸ درصد نشان دادند که با انطباق این لایهها با هم ارتباط بین جابهجایی زمین، واکنش پذیری سازندها از جابهجایی و تخریب ساختمانها موردبررسی قرار گرفت. آروین و همکاران (۱۳۹۸)؛ با استفاده از تصاویر ماهوارهای سنتینل ۱ سالهای ۱۳۹۳ و ۱۳۹۷ و روش تداخلسنجی تفاضلی راداری در بررسی میزان گسترش فرونشست زمین در دشت میناب اقدام نمودند. نتایج پردازشهای انجام شده بر روی این تصاویر نشان داد که در دوره مطالعاتی، حدود ۱۳ سانتیمتر فرونشست داشته است. سیفی و فیضی زاده (۱۳۹۸)؛ در پژوهشی با عنوان کاربرد روش تداخل سنجی و تصاویر سنجشازدوری رادار در برآورد عمق برف و آب قابل استحصال از آن در حوضه آبریز یامچی پرداختند. در پژوهش حاضر، با استفاده از تصاویر ماهوارهای Landsat 8 سطح پوشش برف برای حوضه آبریز یامچی از طریق شاخص NDSI و بهوسیله پردازش شیءگرا به دست آمد و با دادههای زمینی صحت سنجی شد که دقت کلی بالای ۹۰ درصد را نمایش داد. برای محاسبه عمق برف منطقه موردمطالعه نیز از تصاویر ماهوارهای Sentinel A1 و روش D-InSAR استفاده شد. با بررسی تصاویر Landsat 8 مشخص گردید که تصویر شهریور ماه فاقد برف میباشد به همین دلیل این تصویر بهعنوان تصویر پایه برای تداخلسنجی انتخاب گردید و تمام تصاویر نسبت به این تصویر تداخلسنجی شده و نقشه عمق برف به دست آمد.

بررسی مطالعات انجام شده در زمینه پژوهش حاضر نشان میدهد که روش تداخل سنجی راداری با شرط در دسترس بودن تصاویر با همدوسی بالا و مناسب بهترین روش برای بررسی و استخراج میزان فرونشست در مناطق وسیع بوده است. با

¹⁴ Nof

¹¹ Auggstin

¹² Shi ¹³ Hao

¹⁵ Aslan

توجه به اینکه در منطقه مطالعاتی این پژوهش تاکنون اقدام به بررسی فرونشست نشده است، این پژوهش بر آن است با استفاده از روش تداخل سنجی راداری ابتدا اقدام به استخراج پهنههای دارای فرونشست نماید سپس به محاسبه نرخ فرونشست حاصل شده در بازه زمانی مشخص کند و نتایج به دست آمده را مورد صحت سنجی قرار دهد. تفاوت پژوهش حاضر با دیگر نمونههای مشابه، استفاده از تعداد تصاویر بیشتر و ماهواره با دقت مکانی و زمانی بالا می باشد. تهیه دادههای راداری ماهواره 1A - Sentinal که قدرت تفکیک مکانی به مراتب بالاتری نسبت به دادههای مرسوم پژوهشهای گذشته دارد، به همراه اطلاعات موردنظر از قبیل مشخصات تصاویر اخذ شده از آژانس فضایی اروپا. پردازش دادههای اخذ شده توسط نرمافزار SNAP، این نرمافزار تقریباً تمامی پردازشهای اصلی دادههای راداری ماهواره سنتینل ۱ را، مانند انجام تصحیحات هندسی و رادیومتریکی، تعدیل ویژگی اسپکل، به همراه تداخل سنجی راداری را به صورت متن باز و همراه با لایسنس معتبر پشتیبانی می کند.

روششناسی

موقعيت جغرافيايي منطقه موردمطالعه

دامنه یکی از شهرهای استان اصفهان در مرکز ایران واقع در شهرستان فریدن است. دامنه شهری در میان کوههای دالان کوه است. شهر دامنه در ۱۲۰ کیلومتری غرب اصفهان در دقیقه طول شرقی'۲۵ °۵۰ تا '۴۰ °۵۰ و عرض شمالی'۳۷ °۳۲ تا ۳۲ °۳۳ واقعشده است. این شهر در بخش مرکزی شهرستان فریدن قرار دارد. بهنوعی دامنه را میتوان یکی از قدیمیترین شهرهای غرب استان اصفهان نامید. این شهرستان در سالهای اخیر به دلایل مختلفی با فرونشست در دشتها و زمین کشاورزی روبهرو بوده است. شکل (۱) موقعیت مکانی منطقه موردمطالعه را نشان میدهد.



شكل (۱). موقعيت منطقه موردمطالعه

روش انجام پژوهش

براساس هدف، پژوهش حاضر جزء پژوهشهای کاربردی تقسیم می شوند و روش جمع آوری اطلاعات آن کتابخانه ای – میدانی است. داده های تهیه شده شامل تصاویر ماهواره ای سنتینل ۱، کاربری اراضی تهیه شده از تصاویر ماهواره ای سنتینل ۲، مدل رقومی ارتفاعی ASTER، نقشه زمین شناسی است. یکی از داده های اساسی پژوهش تصاویر راداری سنجنده سنتیل ۱ است که از سایت سازمان فضایی اروپا که در دسترس می باشد، دانلود گردید. برای پیشبرد اهداف پژوهش از محصولات سنجنده سنتینل ۱، باند C در بازه زمانی سال های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ استفاده شده است. این داده از محصولات سطحیه با قدرت تفکیک مکانی ۵ متر و با دوره برداشت ۱۲ روزه است. اطلاعات مربوط به منابع آب های زیرزمینی منطقه مطالعاتی که شامل پراکنش چاه های پیزومتری و تغییرات سطح ایستابی آن ها که از شرکت آب منطقه ای استان اصفهان تهیه گردیده است. داده های میدانی با استفاده از سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) به صورت میدانی برداشت شده است. برای آمادهسازی و تجزیهوتحلیل دادههای موجود از نرمافزارهای مختلفی همانند ArcGIS, SNAP در طول پژوهش استفاده شد. در ادامه با معیارهای مورداستفاده از منابع مختلف تولید شد که شامل: ارتفاع، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، زمین شناسی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و فاصله از چاه بوده است و متغیرهای ثابت تحقیق بوده است و با متغیر فرون شست در مدل رگرسیون لوجستک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت تا تأثیر گذار هر معیار بر فرون شست محاسبه گردد. شناسایی مناطق مستعد فرون شست برای دوره زمانی بیست ساله با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک صورت گرفته و صحت سنجی مدل رگرسیون لوجستک نیز با استفاده از منحنی ROC تعیین گردیده است.

نتايج و بحث

تعیین میزان فرونشست در منطقه مطالعاتی

جهت تهیه نقشه فرونشست ابتدا دادههای راداری ماهواره سنتیل ۱، به همراه اطلاعات موردنظر از قبیل مشخصات تصاویر اخذ شده از آژانس فضایی اروپا در سالهای ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ تهیه و پس از پردازش تصاویر خام با فرمت slc توسط نرمافزار SNAP، تهیه تصویر اول و دوم master و master و slo مدل ارتفاعی منطقه رقومی ۱۶ ماهواره ASTER دانلود شده و در مرحله بعد تهیه اینترفرگرام و تبدیل اینترفرگرام به فاز صورت گرفته و پس از حذف اثر توپوگرافی بر فاز و حذف اثرات نویز با اعمال فیلتر گلد شتاین، تبدیل فاز به جابهجایی صورت گرفته است. با توجه به شکل (۲) میزان فرونشست رخ داده در منطقه مطالعاتی در بازه زمانی ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ مشخص گردید مطابق نقشه موجود مناطق بالآمده در غرب مساحت اندکی از منطقه را به خود اختصاص داده است و به صورت لکههای پراکنده در راستای گسل موجود در منطقه مشاهده می شود. مناطق دارای فرونشست در بخشهای شمالی و جنوبی و به صورت لکههایی در بخشهای مرکزی منطقه پراکنش یافته است مناطق فرونشست در بخشوای شمالی و جنوبی و به صورت لکههایی در بخشهای مرکزی منطقه پراکنش یافته است مناطق فرونشینی در جنوب و مرکز دقیقاً منطبق بر چاههای پیزومتری بوده که به دلیل کاهش سطح آبهای زیرزمینی و استفاده بیشاز حد آن در کشاورزی بوده است.



شكل (۲). پهنهبندی فرونشست منطقه مطالعاتی برحسب متر

با برداشتی که از اطلاعات موجود در نقشه کلاس بندی شکل (۳) و جدول (۱) می شود، مناطق با فرونشست ۳– ۱۱، ۱۱– ۱۸ و ۱۸– ۲۳ سانتیمتر هرکدام به ترتیب مساحتی بالغبر ۱۹۷۴، ۵۶۲۰ و ۱۰۴۰۳ هکتار که به ترتیب معادل ۶/۸۷، ۲۱/۷۷، ۱۹۷۳ درصد از کل منطقه را شامل می شوند. مناطق با فرونشست ۲۳–۲۷ و ۲۷– ۴۵ سانتیمتر در دوره موردبررسی، نیز هرکدام به ترتیب مساحتی بالغبر ۵۴۹۵ و ۲۵۱۹ هکتار که به ترتیب معادل ۲۱/۸ و ۹/۷۵ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. با توجه به نتیجه به دست آمده از تحلیل تصاویر راداری که در شکل (۲) نقشه کلاس بندی شده آن در شکل (۳) و اطلاعات تکمیلی آن در جدول (۱) ارائه شده است، تغییر سطح در منطقه بین سطح ۳+ داشته ایم به جز مناطق پایکوهی به علت جمع شدن رسوبات تا ۴۵– سانتیمتر بوده است.



شكل (۳). كلاس بندى شده فروشت منطقه مطالعاتي

وشت منطقه مطالعاتي	کمیل نقشه کلاسبندی شده فرو	جدول (۱). اطلاعات ت
درصد	مساحت به هکتار	نام کلاس

درصد	مساحت به هکتار	نام کلاس
۹/۷۵	2019	-•/YV -•/۴۵
T 1/TA	5495,058	-•/YW -•/YV
4 • / 3 •	1.4.5,19	-•/11 -•/٣٣
T I/VV	۵۶۲۰,۷۵	-•/\X -•/\\
۶/۸۷	1474,820	-•/\\ •/•٣
r 1/vv 8/av	۵۶۲۰٬۷۵	-•/\\ -•/\\ -•/\\ •/•٣

تعیین بررسی تغییرات سطح آبهای زیرزمینی با ماهواره گریس^{۱۶}

بهمنظور آشکارسازی روند کلی سطح آب چاهها در یک بازه زمانی ۶ ساله از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ در ۹ چاه موجود در منطقه موردمطالعه، از دادههای راداری استفادهشده که سری زمانی تغییرات سطح آبهای چاههای موردمطالعه در بازه زمانی ۶ ساله در شکل (۴) نمایش داده شده است.



شکل (۴). تغییرات میزان افت سطح آبهای زیرزمینی چاههای نمونه موردمطالعه دشت دامنه از سال ۱۳۹۳–۱۳۹۸

دادههای Level2 با ماهواره گریس به صورت ماهانه میدان ثقل زمین ارائه می شود قابلیت بالایی در تغییرات زمانی میدان ثقل زمین دارد. از آنجایی که تغییرات فصلی سطح آبهای زیرزمینی عامل عمده تناوبی میدان ثقل زمین می باشد، در این تحقیق توانایی دادههای ماهواره ای گریس آشکار سازی تغییرات سطح آب های زیرزمینی در دشت دامنه استان اصفهان

¹⁶. Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE)

بررسیشده است. پروژه گریس اولین پروژه ماهوارهای میباشد که نتایج حاصل از آن بهصورت مستقیم برای تعیین تغییرات آبهای زیرزمینی در هر شرایط زمینی از نظر شکل جنس قابلاستفاده میباشد.



شکل (۵). بررسی تغییرات سطح آبهای زیرزمینی با ماهواره گریس

در این پژوهش با استفاده از دادههای ماهواره گریس و با استفاده از گوگل ارث^{۱۷} با سه الگوریتم crs, gf, jpl منطقه موردنظر مورد از سال ۲۰۱۴ تا سال ۲۰۱۹ بررسی قرار گرفت که نتیجه به صورت شکل (۵) میباشد که در طبق سه الگوریتم فوق تراز آبی منطقه کاهش پیدا نموده است.

دادههای مستقل و وابسته مدل رگرسیون لجستیک نقشه ارتفاعی منطقه

با توجه به شکل (۶)، منطقه مطالعاتی دارای ارتفاع ۲۲۹۴ تا ۲۷۱۸ متر از سطح آبهای آزاد بوده است. اطراف منطقه را ارتفاعات تشکیل داده و هر چه به سمت مناطق مرکزی منطقه حرکت کنیم از سطح ارتفاع منطقه کاسته می شود، مناطق با ارتفاعات پایین تر مراکز کشاورزی و تجمعات انسانی را به صورت چشمگیری در خود جای داده است.



شکل (۶). ار تفاع منطقه موردمطالعه

جهت شيب

نقشه شیب منطقه با استفاده از لایه رقومی ارتفاعی استر تولیدشده است. با توجه به نقشه تولید شده شکل (۷) جهت شیب غالب در محدوده موردمطالعه به ترتیب سمت جنوبی، شمالی، جنوب شرقی و شمال شرقی بیشترین فراوانی را دارد و مناطق هموار از کمترین پراکنش برخوردار است. تغییرات شیب در مناطق مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی بسیار چشمگیرتر میباشد.



شکل (۷). جهت شیب منطقه مورد مطالعاتی

لايه شيب

نقشه شیب منطقه با استفاده از لایه رقومی ارتفاعی استر تولید شده است. با توجه به نقشه تولید شده شکل (۸) شیب منطقه مطالعاتی از ۰ تا ۴۵ درجه میباشد و در پنج کلاس طبقهبندی شده، کلاس با شیب ۰ تا ۷/۱ درجه بیشترین مساحت از منطقه را به خود اختصاص داده و علاوه بر کل منطقه در بخش های مرکزی بیشترین پراکنش را داشته است. مناطق با شیب بالای ۷/۲ نیز علاوه بر بخش های شمالی منطقه به شکل نواری در حاشیه کل منطقه را دربر گرفته است.



شکل (۸). شیب در منطقه موردمطالعه

لايه زمينشناسي

بررسی نقشه زمین شناسی منطقه نشان داد که ۲۰ نوع سازند در منطقه مطالعاتی وجود دارد، شکل (۹) پراکنش مکانی سازندها را در سطح منطقه نشان میدهد و اطلاعات تکمیلی آن از قبیل نام سازند و مساحت هر سازند به هکتار و درصد در جدول (۳) ارائه شده است. مطابق اطلاعات موجود سازند دولومیت، سنگ آهک و تراورتن به ترتیب با مساحت ۱۴۸۸۰، ۵۳۳۰ و ۵۳۳۰ هکتار به ترتیب معادل ۵۵، ۱۹ و ۸ درصد بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است.



شکل (۹). زمین شناسی منطقه موردمطالعه

	···· (•)		
درصد مساحت	مساحت به هکتار	نوع سازند	کد
• ,• ٣٨	1.,44	ولكانى	١
۱,۵۷	421,40	آبرفت	٢
٠,٠١١	۲,۹۷	آندزيت	٣
• , ۳۸۷	۱۰۳,۹	توف آندزيت	۴
• , ٣٢ ١	۸۶,۳۱	ليمستون بادى	۵
•,194	24.14	مارن	۶
١,٣٩١	377,49	گنگلومرا شنی	٧
00,44	۱۴۸۸۰,۹۳	دولوميت	٨
۱۹,۸۵۸	۵۳۳۰,۴	ليمستون	٩
• ,878	۱۸۱,۶	لیم ستون، سیلت استون، شیل و مارن	١٠
1,747	۳۳۳٬۸۵	مارن شنی	١١
• , ۸۵۱	222,01	مارل شیل	١٢
1,.10	272,08	ليمستون اروبيتوليا	۱۳
• ,• ٧٣	19,74	پيروكلاستيک	14
1,789	377,74	راديوليت	۱۵
۳,۶۷۴	٩ <i>٨۶</i> ,۲ <i>۶</i>	انیاشته رودخانهای	18
•,٢٩	۲۸,۰۲	فيوليت	١٧
• ,884	174,17	شیل شنی	١٨
٨,٨٩١	232,4	تراورتن	۱۹
1,481	397,73	تراسهای کواترنری	۲۰

جدول (۳). اطلاعات تکمیلی مربوط به نقشه زمین شناسی منطقه مور دمطالعه

فاصله از رودخانه

از آنجایی که منطقه مطالعاتی تقریباً یک حوضه آبخیز میباشد شاخههای فرعی رودخانههای موجود در آن در قسمت جنوب غربی منطقه به هم پیوند میخورند. لایه فاصله از رودخانه با استفاده از دستور فاصله اقلیدسی در نرمافزار Arc GIS در پنج کلاس تهیه شد شکل (۱۰) مناطق با فاصله ۰- ۹۶۱ متر از رودخانه بیشترین مساحت از منطقه را به خود اختصاص داده است.



شکل (۱۰). فاصله از رودخانه در منطقه موردمطالعه

لايه فاصله از نقاط روستايي

پراکنش مناطق روستایی از دیرباز با مناطق پرآب و کم شیب منطبق بوده است، در منطقه مطالعاتی موردنظر نیز این نقاط در بخش مرکزی، جنوب غربی، جنوب و به شکل پراکندهای در شرق منطقه پراکنش یافتهاند. مناطق خالی از نقاط روستایی هم بخشهایی از شمال و شمال غربی منطقه را به خود اختصاص داده است. لایه فاصله از روستاها با استفاده از دستور فاصله اقلیدسی در نرمافزار جی ای اس و در پنج کلاس تهیه شد شکل (۱۱).



شکل (۱۱). فاصله از روستا در منطقه مطالعاتی

لایه سطح آبهای زیرزمینی

در منطقه موردمطالعه بیشتر کشاورزی مبتنی بر چاههای عمیق و غیر عمیق حفر شده میباشد، شکل (۱۲) درونیابی سطح آبهای زیرزمینی را در ۵ کلاس نشان میدهد، عمق دسترسی به این آبها در منطقه بین ۱۰/۲ و ۷۱/۹ بوده است. کلاسهای اول و دوم مناطقی را که سطح آب زیرزمینی در آنها بین ۱۰/۲ تا ۳۴/۹ متری از سطح زمین هستند را نشان میدهد، این مناطق قسمتهای شرقی و بخش کوچکی را در جنوب منطقه به خود اختصاص داده است و (۴) حلقه از چاههای ایزومتری موجود در منطقه در این قسمت حفر شده است. مناطقی با عمق آب ۲۵ تا ۷۱/۹ متری بیشترین مساحت از منطقه را شامل میشود که بخشهای شمالی، شرقی و شمال و جنوب شرقی منطقه را پوشش میدهد و جمعاً ۵ حلقه چاه عمیق در این منطقه حفر شده است.



شکل (۱۲). سطح آب زیرزمینی در منطقه موردمطالعه

لايه فاصله از جاده

جاده اصلی منطقه از شرق به غرب گسترشیافته و در بخش جنوب شرقی نیز موجب دسترسیهای زیادی در بین تجمعات انسانی ایجاد کرده است. لایه فاصله از جاده با استفاده از دستور فاصله اقلیدسی در نرمافزار جی ای اس، در پنج کلاس تهیه شد شکل (۱۳). مناطق با فاصله ۰-۱۴۰۰ متر بیشترین مساحت از منطقه را به خود اختصاص میدهند.



شکل (۱۳). فاصله از جاده در منطقه مورد مطالعاتی

کاربری اراضی

شکل (۱۴) کاربری اراضی منطقه با استفاده از تصویر ماهوارهای لندست در محیط نرمافزار ENVI در ۵ کلاس اصلی طبقهبندی شد. مطابق شکل شماره (۱۲) و اطلاعات ارائه شده در جدول (۴)، اراضی مرتعی با ۴۶ درصد از کل اراضی بیشترین مساحت از منطقه را در ارتفاعات به خود اختصاص داده است، اراضی کشاورزی دیمی و بایر با مساحتی معادل ۳۱ و ۱۴ درصد دومین و سومین کلاس با بیشتر مساحت را داشته است. کلاسهای کاربری کشاورزی آبی و اراضی ساخته شده نیز به ترتیب ۶ و ۱ درصد مساحت کل را شامل می شود.



شکل (۱۴). کاربری اراضی منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه	ل اراضی	ی کاربری	، تکمیل	. اطلاعات	(۴) ,	جدول
------------------	---------	----------	---------	-----------	-------	------

مساحت هر کاربری به درصد	مساحت هر کاربری به هکتار	نام کلاس کاربری
14/914	34/28	اراضي باير
46/089	12218/01	مرتع
1/500	۳۳۵/۵۹	اراضی ساخته شده
8/847	1440/84	کشاورزی آبی
81/114	٨٣١٧/١٣	کشاورزی دیم

مدل رگرسیون لجستیک

زمانی که یک پدیده در مدل رگرسیون لجستیک موردبررسی قرار میگیرد و یکی از دو حالت وقوع یا عدم وقوع (مانند پژوهش حاضر که وقوع یا عدم وقوع فرونشست را بررسی میکند) را بررسی میکند که y یک تابع از x_i و b_i باشد. این مدل براساس بالاترین احتمالی که از ضرایب رگرسیونی به دست بیاید حاصل میشود. شکل صحیحتر رابطه (۱) میتواند به شکل رابطه (۲) مطرح شود.

$$f(z) = 1/(1 + e^{-z})$$
 (۱) رابطه (۱)

$$Z = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \cdots + b_n x_n \tag{(1)}$$

(Z) نشانگر تابع لجستیک است که بهترین مدلسازی احتمالی را از ارزشهای (f(Z) با رنج صفر تا یک را انجام میدهد درحالیکه Z از منفی بینهایت تا مثبت بینهایت تغییر مییابد. احتمال رخداد یک حادثه (در اینجا فرونشست زمین) در رابطه (۳) آمده است:

$$p = 1/(1 + e^{-z})$$
 (۳) رابطه (۳)

Z با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می شود:

$$Z = logit = ln[p/(1-p)] = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \dots + b_n x_n$$
(f)

در رابطه p احتمال وقوع فرونشست زمین است، b_n i b₀ ضرایب رگرسیونی و X_n تا X_n متغیرهای موردبررسی هستند. با استفاده از این مدل احتمال وقوع فرونشست در پهنه مطالعاتی ما بر اساس پیکسلها یا نقاطی با ارزش صفر و یک بیان میشود، چرا که هدف این مدل پیدا کردن بهترین مدل برای توضیح رابطه بین وقوع یا عدم وقوع متغیر وابسته در یک مکان است. برای تفسیر مناسب معادله بالا از ضرایبی با لگاریتم طبیعی بر مبنای عدد نپرن استفاده میشود. در صورت مثبت بودن ضریب، مقدار لگاریتم تغییریافته بیشتر از یک به دست میآید که نشانگر احتمال زیاد وقوع یک حادثه را بیان میکند، در غیر این صورت که ضریب منفی باشد این مقدار کوچکتر از یک خواهد بود در این صورت احتمال وقوع حادثه کمتر خواهد بود (همتی،۱۳۹۶).

در این پژوهش برای به دست آوردن ضرایب بهینه رگرسیون، لایه فرونشست بهعنوان متغیر پاسخ (Y) معرفی شده است. به طوری که به وقوع فرونشست زمین عدد یک و به عدم وقوع آن عدد صفر اختصاص داده شد و سایر لایه های تهیه شده (ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین شناسی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از روستا، سطح آب های زیرزمینی، چاه های اپیزومتری) به عنوان متغیر پیش گو (X) یا متغیر مستقل با وزن های مختلف در نظر گرفته شده است و ضریب R2 برای پژوهش موردنظر مقدار (۰/۲۱) به دست آمده است. فرمول کلی که برای این تحلیل مورداستفاده قرار گرفته است به شرح زیر است:

رابطه (۵).

 $logit (Landsubsidence) = \cdot, \cdot \cdot \uparrow \uparrow * aspect \cdot, \cdot \cdot \uparrow \uparrow * dem \cdot, \cdot \cdot \uparrow \uparrow \land h * Dis_chah + 0.948 * landuse \cdot, \cdot \cdot \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow * litology \uparrow, \uparrow \uparrow \uparrow \ast river \cdot, \cdot \cdot \uparrow \uparrow * roads - \cdot, \cdot \cdot \uparrow \uparrow * slope - \cdot, \cdot \cdot \uparrow \ast village + \uparrow, \cdot \cdot \uparrow \uparrow * Sath_Ab$

با توجه به فرمول رگرسیون لجستیک سطح آبهای زیرزمینی با ضریب ۶۲۰۰۴۲ و فاصله از چاه با ضریب ۳/۶۸۱ و سازند زمین شناسی ۲/۶۶ دارای بالاترین ضریب تأثیر گذاری در مدل بوده است در جاهایی از این دو متغیر با کاهش سطح آب زیرزمینی روبه رو می شدیم تراکم چاهها در محدوده مور دمطالعه زیاد بود و رابطه مستقیم یا مناطق دارای فرون شست روبه رو می شد، روی هم رفته هرجایی تراک چاه زیاد و سطح آب پایین تر می رفت احتمال فرون شست در آن بیشتر است؛ و فاصله از جاده با ضریب ۲۰۰۳۲- فاصله از روستا با ضریب ۲۰۰۴ دارای کم ترین ضریب بوده است. در اطراف کاربری انسانی از طرفی زمین های کشاورزی آبی و کاربری آب رو تعداد چاه ها کمتر دیده می شد و این سبب می گشت تا فاصله معینی از جاد و کاربری اراضی ما با فرون شست رو نباشیم اما ضریب گذاری در آن وجود داشت به نوعی معکوس بوده است یعنی با فاصله از جاده و روستا احتمال فرون شست رو نباشیم اما ضریب گذاری در آن وجود داشت به نوعی معکوس بوده است یعنی با فاصله از جاده و روستا احتمال فرون شست رو نباشیم اما ضریب گذاری در آن وجود داشت به نوعی معکوس بوده است یعنی با فاصله از معرستگی بزرگتر باشد، آن متغیر از اهمیت بالاتری برخوردار می باشد خواه عدد بزرگتر باشد خواه منفی باشد.

آمار رگرسیون لجستیک

در این بخش از پژوهش اقدام به بررسی پیکسلهایی با ارزش ۱ در مدل معرفی شده که دارای فرونشست زمین هستند و پیکسلهایی که با ارزش صفر در مدل معرفی شده و بدون فرونشست هستند پرداخته شده است و این پیکسلها با ارزشهای مختلف مورد مقایسه قرار داده است و شاخص آماره های آن را موردمحاسبه قرار گرفته است، اطلاعات ارائه شده در جدول (۵)، موارد مطرح شده را با جزییات کامل ارائه داده است.

جدول (۵). آمار تحلیل رگرسیون بر روی پیکسلهای منطقه			
198,8808	-۲logL۰	312970	تعداد کل پیکسلهای منطقه
18,7877	۔ ۲log(likelihood)	8117822	تعداد پيكسل بدون فرونشست
11888,0108	Goodness of fit	١٢٣	تعداد پيكسل با فرونشست
• , ٢ ١ ٣ ۵	Pseudo R ⁷	99,9518	درصد پیکسلهای بدون فرونشست

نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و چهارم، شماره ۷۴، پاییز ۱۴۰۳

366,0129	Chi- square (df=٩)	• ,• ٣٨٧	درصد پیکسلهای با فرونشست
		8.826	تعداد نمونههای خودکار برای منطقه
		*•*1*	تعداد نمونه برای پیکسل بدون فرونشست
		11	تعداد نمونه براي پيكسل با فرونشست
		99,9887	درصد نمونه برای پیکسل بدون فروشت
		• , • ٣۶٣	درصد نمونه برای پیکسل با فرونشست

برای ارزیابی بهترین برازش مدل از دو آماره Pseudo R Square و Square استفادهشده است، آمارههای مطرحشده از روش زیر محاسبه میشوند:

Pseudo R Square =
$$1 - \left(\frac{\log(L)}{\log(L)}\right)$$
 Pseudo R
Square=1- (Log (L) / Log (L0)) (Log (L0))

در رابطه (۶) اگر مقدار بهدستآمده برای Pseudo R Square برابر با یک باشد، نشان گر برازش کامل مدل و نشاندهنده رابطه کامل متغیرهای مستقل با متغیر وابسته خواهد بود، درحالی که این مقدار برابر با صفر باشد، نشاندهنده عدم وجود رابطه بین متغیرهای مستقل با متغیر وابسته خواهد بود؛ و اما زمانی که مقدار Pseudo R2 Square بزرگتر از ۲/۲ باشد به این معنی برازش نسبتاً خوب مدل است. آماره Chi Square با استفاده از معادله ارائه شده در رابطه زیر به دست میآید:

رابطه (۷).

 $Chi Square(K) = -2 (Log (Likehood) - Log (L0))Chi \\ Square(K) = -2 (Log (Likehood) - Log (L$

آماره فوق، فرض خنثی بودن یعنی صفر بودن تمامی ضرایب رگرسیون، براساس تابع توزیع مربع کای با درجه آزادی K را آزمون میکند، K برابر با تعداد متغیرهای مدل میباشد.

جدول (۶). انحراف معیار دادهها و میانگین			
میانگین	انحراف معيار	متغيرها	
۵۱۳۱,۲۱۶۵-	8.16,1116	جهت شيب	
4797,7011-	5424,720	ارتفاع	
48,37711	5629,2424	فاصله از چاه	
۵۲۰۳,۹۵۸	4998,7007	کاربری اراضی	
6195,8594-	4997,9108	سنگشناسی	
4909,9077	5755,919	فاصله از رودخانه	
48.0184-	5434,4785	فاصله از جاده	
۵۱۹۸,۷۱۷۲-	۵۰۰۳,۱۵۸۵	شيب	
4	۶۳۳۰,۹۹۷۶	روستا	
54573,87	۵۳۳۰,۹۹۷۶	سطح آبهای زیرزمینی	

تهیه نقشه پهنهبندی خطر فرونشست زمین در منطقه موردمطالعه

پس از اینکه لایه های اطلاعاتی متغیرهای مستقل آماده سازی شد و نقشه پراکندگی فرونشست زمین که به ارزش صفر و یک رسید، سپس با استفاده از ضرایب به دست آمده برای هر کلاس و اعمال این ضرایب، نقشه پهنه بندی فرونشست تهیه گردید. نقشه نهایی پهنه بندی فرونشست منطقه مور دمطالعه در ۵ کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی شد، نتیجه این طبقه بندی در نقشه های نمایش داده شده اشکال (۱۵ و ۱۶) و اطلاعات تکمیلی آن در جدول (۷) ارائه شده است. مطابق نتایج به دست آمده، کلاس با خطر خیلی کم در بخشهای کوچکی از منطقه در قسمتهای شمال شرقی، شمال، شمال غربی و غرب منطقه به صورت نوار کوچکی دیده می شود این کلاس ۶۰۴ هکتار از سطح کل منطقه معادل ۲/۴ درصد را به خود اختصاص داده است. کلاس با خطر کم منطبق بر مناطق ارتفاعی منطقه بوده و به شکل نواری در حاشیه منطقه به جزء بخش کوچکی در جنوب غرب منطقه که از ارتفاع پایینی برخوردار است پراکنش یافته است، این کلاس ۶۵۶۶ هکتار به جزء بخش کوچکی در جنوب غرب منطقه که از ارتفاع پایینی برخوردار است پراکنش یافته است، این کلاس ۶۵۶۶ هکتار معادل ۱۸/۳ درصد از مساحت کل را شامل شده است. کلاس با خطر متوسط از نظر مکانی در مناطق دامنه ای دشتی پراکنش داشته و مانند هاله ای دشت مرکزی منطقه را در داخل خود جای داده است، این کلاس مساحتی حدود ۹۵۶۰ پراکنش داشته و مانند هاله ای دشت مرکزی منطقه را در داخل خود جای داده است، این کلاس مساحتی حدود ۲۵۶۰ پراکنش داشته و مانند هاله ای دشت مرکزی منطقه را در داخل خود جای داده است. این کلاس مساحتی حدود ۲۵۶۰ پراکنش داشته و مانند هاله ای دشت مرکزی منطقه را در داخل خود جای داده است. این کلاس مساحتی حدود ۲۵۶۰ پراکنش داشته و مانند هاله ای دشت مرکزی منطقه را در داخل خود جای داده است. این کلاس مساحتی درود ۲۵۶۰ پراکنش داشته و مانند هاله ای دشت مرکزی منطقه را در داخل خود جای داده است. این کلاس مساحتی درود ۲۰۵۰ را مناط ماندی از طر می مرز منطق دامنه ای خطر خیلی زیاد کلاس نیز مساحتی الفر معادل منطقه مطالعاتی و به مورت لکه ای در است کل منطقه مطالعاتی و درمورت لکه ای در مناطق دار می در در ای می در در و مساحت کل در ای منود ۱۹۸۰ هکتار معادل ۲/۹ درصد از مساحت کل را به خود نشتی داخل منطقه مطالعاتی و محصورت لکه ای در سار در ساحل در ای دار ای دان ای در دان ای در در در مار در دان می در در می در مناطق در



شکل (۱۵). پهنهبندی فرونشست با مدل رگرسیون لجستیک



شکل (۱۶). طبقهبندی شده پهنهبندی فرونشست با مدل رگرسیون لجستیک

رسيون تجسنيك در منطعه موردمط	، پهنهبندی فرونششت با شدن ر د	ول (۲). اطار عات ککمیتی تقسی
مساحت به درصد	مساحت به هکتار	نام کلاس
٢,420	8.4,71	خیلی کم
۱۸٫۳۳	4088,48	کم
30,770	9080,48	متوسط
77,919	8201,48	زياد
۲٬۹۴۸	1980,19	خیلی زیاد

ن لجستیک در منطقه موردمطالع	پهنهبندی فرونشست با مدل رگرسیون	جدول (۷). اطلاعات تکمیلی نقشه ب
-----------------------------	---------------------------------	---------------------------------

نتايج ارزيابي دقت و اعتبار سنجي مدل رگرسيون لجستيک

منحنی مشخصه عملکرد سیستم^{۱۸} یکی از دقیق ترین و کارآمدترین روش صحت سنجی میزان دقت مدل به صورت کمی می اشد و البته یکی از کارآمدترین روش ها در زمینه ارائه خصوصیت تعیینی و شناسایی احتمالی و پیش بینی سیستم ها بوده است. سطح زیر منحنی نشان دهنده توانایی پیش بینی مدل در تخمین درست درباره رخ دادن یک واقعه (در این پژوه ش فرونشست زمین) وقوع یا عدم وقوع آن بوده است. وقتی نتایج حاصل از یک مدل ایده آل است که بیشترین سطح زیر منحنی را داشته باشد و مقادیر AUC آن از 10/0 تا ۱ باشد. به طوری که اگر مدل توانایی پیش بینی درست را نداشته باشد AUC آن (۵.۰) و اگر مقدار آن (۱) باشد یعنی بالاترین دقت را در ارائه نقشه پهنه بندی داشته است. به طور کلی ارزیابی تخمین به این ترتیب است: ۵/۰-۶/۰ ضعیف، ۶/۰-۷/۰ متوسط، ۷/۰-۸/۰ خوب، ۸/۰-۹/۰ خیلی خوب و ۹/۰-۱ عالی. با توجه به شکل (۱۷) و جدول (۸)، مقدار AUC نشان دهنده یک ارزیابی خیلی خوب ۹/۸۰ مدل رگر سیون لجستیک انجام شد و صحت قابل قبولی پهنه بندی خطر فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه انجام گرفته است.

جدول (٨). مساحت زیر منحتی (٨٠٠) به همراه انجراف استاندارد و سطح اظمینان آن								
Area	Std.Error	Asympotic Sig	Asymptopic 95% Confidence Interval					
			Lower Bound	Upper Bound				
0.89	0.0	0.0	0.83	0.83				
	1.0 	AUC SE =	= 89.02% 0.037					

Ĩ	سطح اطمينان	اف استاندار د و	I) به همراه انحر	: د منحنہ (ROC	حدول (۸). مساحت
	[]				

شکل (۱۷). منحنی نرخ پیشبینی (ROC) مدل لجستیک برای منطقه موردمطالعه

¹⁸. Receiver operating characteristic (ROC)

نتيجهگيرى

با توجه به تحلیلهای انجام شده و نتایج حاصله از پردازش تصاویر راداری منطقه موردمطالعه در بازه زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ مشخص شد که تغییرات سطح زمین بین ۳ تا ۴۵- سانتیمتر بوده است. مناطق دارای فرونشست نیز در قسمتی از شمال و جنوب و بهصورت لکههای پراکنده در قسمتهای مرکزی منطقه اتفاق افتاده است. با توجه به اطلاعات ارائه شده و مطابق نتایج بهدستآمده، کلاس با خطر خیلی کم در بخشهای کوچکی از منطقه در قسمتهای شمال شرقی، شمال، شمال غربی و غرب منطقه بهصورت نوار کوچکی دیده میشود این کلاس ۶۰۴ هکتار از سطح کل منطقه معادل ۲/۴ درصد را به خود اختصاص داده است. با توجه به نتایج مدل رگرسیون لجستیک، متغیرهای سطح آبهای زیرزمینی با ضریب ۶/۰۰۴۲ و فاصله از چاه با ضریب ۳/۶۸۱ دارای بالاترین ضریب تأثیرگذاری در مدل بوده است. سپس با استفاده از ضرایب بهدست آمده برای هر کلاس و اعمال این ضرایب، نقشه پهنهبندی فرونشست در ۵ کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه شد که کلاس با خطر کم منطبق بر مناطق ارتفاعی منطقه بوده و به شکل نواری در حاشیه منطقه به جزء بخش کوچکی در جنوب غرب منطقه که از ارتفاع پایینی برخوردار است پراکنش یافته است، این کلاس ۴۵۶۶ هکتار معادل ۱۸/۳ درصد از مساحت کل را شامل شده است. کلاس با خطر متوسط از نظر مکانی در مناطق دامنهای-دشتی پراکنش داشته و مانند هالهای دشت مرکزی منطقه را در داخل خود جای داده است، این کلاس مساحتی حدود ۹۵۶۰ هکتار معادل ۳۸/۳ درصد از کل مساحت را به خود اختصاص داده است. کلاس با خطر زیاد در مجاورت مناطق با خطر متوسط و در مرکز منطقه مطالعاتی قرار دارد، این کلاس نیز مساحتی بالغبر ۸۲۰۱ هکتار معادل ۳۲/۹ درصد از مساحت کل را شامل شده است. درنهایت کلاس با خطر خیلی زیاد که در مناطق دشتی داخل منطقه مطالعاتی و بهصورت لکهای در نسبتاً بزرگ در جنوب غرب منطقه دیده می شود مساحتی حدود ۱۹۸۰ هکتار معادل ۷/۹ درصد از مساحت کل را به خود اختصاص داده است. در محدوده موردمطالعه دشت دامنه ۹ چاه عمیق شناسایی گردید که از این تعداد چاه ۶ عدد در مناطق بحرانی قرمز فرونشست شناسایی گردید و ۳ عدد دیگر در مناطق با احتمال بالا قرار گرفت. وجود چاه که در دوره زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ دادههای اًن بررسي گرديد نشان داده كه با كاهش سطح اَب روبهرو بوده و نشانههايي از فرونشست در بعضي از مناطق اطراف چاهها مشاهده گردید و دقت حاصله از این کار را بالای ۹۰ درصد توسط نمودار ROC نشان داده است. مقدار AUC نشان دهنده یک ارزیابی خیلی خوب ۰/۸۹ توسط این مدل بوده که با صحت قابل قبولی پهنهبندی خطر فرونشست زمین در منطقه موردمطالعه انجام گرفته است. تفاوت پژوهش حاضر با دیگر نمونههای مشابه، استفاده از تعداد تصاویر بیشتر و ماهواره با دقت مکانی و زمانی بالا میباشد. تهیه دادههای راداری ماهواره Sentinal - 1A که قدرت تفکیک مکانی بهمراتب بالاتری نسبت به دادههای مرسوم پژوهشهای گذشته دارد، به همراه اطلاعات موردنظر از قبیل مشخصات تصاویر اخذ شده از آژانس فضایی اروپا. پردازش دادههای اخذ شده توسط نرمافزار SNAP، این نرمافزار تقریباً تمامی پردازشهای اصلی دادههای راداری ماهواره سنتینل ۱ را، مانند انجام تصحیحات هندسی و رادیومتریکی، تعدیل ویژگی اسپکل، به همراه تداخل سنجی راداری را به صورت متنباز و همراه با لایسنس معتبر پشتیبانی می کند. انتظار می رود این پژوهش و روش های مورداستفاده الگویی برای ارائه بهتر تحقیقات آتی و مدیریت منابع موجود در داشت دامنه و جلوگیری از خسارات احتمالی به زیرساختهای این منطقه باشد.

منابع

- آروین، عبدالخالق؛ وهابزاده کبریا، قربان؛ موسوی، سید رمضان؛ بختیاری کیا، مسعود. (۱۳۹۸). مدلسازی مکانی فرونشست زمین در جنوب حوزه آبخیز میناب با استفاده از سنجشازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، *سنجش/زدور و سامانه اطلاعات* جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۰(۳)،۱۹-۳۳.
- دیدهبان، خلیل؛ فیضی زاده، بختیار؛ ولیزاده، کامران. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر جابهجایی سطح زمین بر ساختمانهای تخریبی در شهر بم با استفاده از تکنیکهای فازی شیءگرا و تداخلسنجی راداری، *علمی پژوهشی مدیریت بحران*، ۱۸()، ۳۳–۴۴.
- سیفی، هوشنگ؛ فیضی زاده، بختیار. (۱۳۹۸). کاربرد روش تداخل سنجی و تصاویر سنجشازدوری رادار در برآورد عمق برف و آب قابل استحصال از آن در حوضه آبریز یامچی*، تحقیقات منابع آب ایران*،۱۵(۱)،۲۳۰–۲۴۰.
- مصری علمداری، پریچهر.(۱۴۰۰). سنجش میزان تاب آوری شهرها در برابر مخاطرات طبیعی (مورد: کلانشهر تبریز)، *تحقیقات* کاربردی علوم جغرافیایی، ۶۰ (۲۱)، ۱۵۱–۱۷۵.
- همتی، فریبا؛ حجازی، سید اسداله.(۱۳۹۶). پهنهبندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش آماری رگرسیون لجستیک در حوضه آبریز لواسانات، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۷(۴۵)،۷–۲۴.

Agustian, Y., Hasan, F., & Siddiq, R.(2019). Land Subsidence of Kanto Plain Detection Using JERS-1 SAR Interferometry, Civil Engineering and Architecture 7(3):65-69.

Aslan, G., Cakir, Z., Lasserre, C., & Renard, F.(2019). Investigating Subsidence in the Bursa Plain, Turkey, Using Ascending and Descending Sentinel-1 Satellite Data. Remote Sensing, 11(1): 85.

Chen,C., Wang,C., Chen Kuo,L.(2010). Correlation between groundwater level and altitude variations in land subsidence area of the Choshuichi Alluvial Fan, Taiwan Engineering Geology 1(15):122–131.

Fruneau, B.,Sarti, F.(2002). Detection of ground subsidence in the city of Paris using radar interferometry: Isolation from atmospheric artefacts using correlation, Geophysical Research Letters, 27(24): 3981-3984.

Garsia Rodriguze, J., Malpica, J., Benito, B., Diaz, M. (2008). Susceptibility assessment of earthquake – triggered landslide in EI Salvador using, logistic regression geomorphology, 95: 172-191.

Hao, N., Takewaka, S. (2019). Detection of Land Subsidence in Nam Dinh Coast by Dinsar Analyses, In International Conference on Asian and Pacific Coasts, 1287-1294.

Lanari, R., Lundgren, P., Manzo, M., Casu, F. (2004). Satellite radar interferometry time series analysis of surface deformation for Los Angeles, California. Geophysical Research Letters, 31.

Margarita, M., F Georgi, Y., Ilia, Plamen. (2005). UNESCO- bas Project of Land Subsidence Research in the Region of the Sofia Skopje and Tirana Cities, Geoindicators. 31-33.

Nof, R., Abelson, M., Raz, E., Magen, Y., Atzori, S., Salvi, S., Baer, G.(2019). SAR interferometry for sinkhole early warning and susceptibility assessment along the Dead Sea, Remote Sensing, 11(1): 89.

Roy, E., Hunt.(2005).Geologic Hazards-A Field Guide for Geotechnical Engineers, London: Taylor & Francis Group.

Schumann, R., & Vajedian, S.(2019). Detection of subsidence in Bad Frankenhausen with time series analysis of interferometric Radar, Tagungsband Geomonitoring, 27-35.

Shi, Y., Tang, Y., Lu, Z., Kim, J. W., Peng, J. (2019). Subsidence of sinkholes in Wink, Texas from 2007 to 2011 detected by time-series InSAR analysis, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 10(1):1125-1138.