Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

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

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2021/03/03
Received in revised
2021/05/04
Accepted
2021/05/14
Published
2021/07/12
Published online
2023/10/01

Keywords:
subsidence,
radar, sentinel,
damaneh plain,
logistic regression.

ABSTRACT

Subsidence is an environmental phenomenon caused by the gradual or 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, the decrease in groundwater level, and the density of soil layers. This study calculated the amount of subsidence in Damaneh plain (Frieden city) using two time series of radar images from Sentinel sensors acquired in 2014 and 2019. Changes in water level of the region's piezometric wells were investigated using data from 9 wells during 2014 to 2019, and the results showed a significant correlation between land subsidence and changes in groundwater level at a 95% confidence level. Continuing the research, a logistic regression model was used to predict the subsidence trend in the study area and prepare a subsidence probability map. The independent variables used in the model included altitude, slope, slope direction, geology, distance from the road, distance from the river, land use, distance from the village, groundwater level, and piezometric wells. The output of the model is a 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

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 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

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 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/

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

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]

نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۷۷۳۶-۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۵۱۳۸-۲۵۸۸
https://jgs.khu.ac.ir/

شناسایی مناطق دارای فرونشست با استفاده از تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی؛ دشت دامنه)[1]

شکراله کیانی [1]، احمد مزیدی [2]✉، سید زین العابدین حسینی [3]

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: mazidi@yazd.ac.ir
۳. استادیار منابع طبیعی و کویرشناسی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: zhosseini@yazd.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۱۲/۱۳
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۰/۰۲/۱۴
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۲/۲۴
تاریخ انتشار:
۱۴۰۰/۰۴/۲۱
تاریخ انتشارآنلاین:
۱۴۰۲/۸/۰۱

کلیدواژه‌ها:
رادار سنتینل،
رگرسیون لجستیک،
فرونشست،
دشت دامنه.

چکیده

فرونشست پدیده زیست‌محیطی و ناشی از پایین رفتن ناگهانی سطح زمین است. در اکثر مناطق ایران همبستگی بالایی بین فرونشست زمین و کاهش تراز سطح آب زیرزمینی و تراکم لایه‌های 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 تغییرات سطح آب چاه‌های پیزومتری منطقه با استفاده از اطلاعات ۹ حلقه چاه در بازه زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ موردبررسی قرار گرفت، نتایج بررسی همبستگی میزان فرونشست زمین با تغییرات سطح آب زیرزمینی در سطح٪۹۵ معنی‌دار بوده است. در ادامه با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک روند فرونشست محدوده موردمطالعه پیش‌بینی و نقشه احتمال فرونشست تهیه و به‌عنوان متغیر وابسته برای مدل رگرسیون لجستیک ایجاد شد و مشخص گردید که تغییرات سطح زمین بین ۳ تا ۴۵- سانتیمتر بوده است. متغیرهای مستقل استفاده‌شده شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از روستا، سطح آب‌های زیرزمینی، چاه‌های پیزومتری بوده است. خروجی مدل، نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست بوده که در پنج کلاس ایجاد گردید، در ادامه ارزیابی دقت و 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 احتمال فرونشست در محدوده موردمطالعه می‌باشد، در خروجی مدل مشخص گردید که مساحت ۱۹۸۰ هکتار معادل ۷/۹ ٪ دارای فرونشست با درجه بسیار شدید بوده که وضعیت منطقه را در شرایط خطرناک قرار داده است و نیاز به کنترل و مدیریت برای کاهش این اثر تخریبی 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.
© نویسندگان.

[1]. 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.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]

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، ۱۵۲:۱۴۰۰). 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 انحلال‌پذیر، 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 انحلال‌پذیر 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[۴]، ۲۰۱۰: ۲۷۶). برای اندازه‌گیری 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 اندازه‌گیری 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 می‌شود که این عامل باعث برداشت بی‌رویه 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 قابل‌پیشگیری 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 قرارگیری 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[۹]، توانایی اخذ تصویر راداری با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالایی با قابلیت پایش و اندازه‌گیری 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

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]

جابجایی‌های عمودی با حداکثر میزان فرونشست ۱.۴ میلی‌متر در هر سال در منطقه مشاهده شده است. آگوستین و همکاران[11] (۲۰۱۹)؛ به شناسایی فرونشست زمین دشت کانتو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای JERS-۱ و تداخل سنجی پرداختند. این تحقیق با هدف تخمین فرونشست زمین با استفاده از رادار دیافراگم مصنوعی تداخل سنج مصنوعی انجام داده‌اند. نتیجه پردازش می‌توان بیان کرد که حداکثر فرونشست دشت کانتو بین دو سال از جفت تصاویر 1996/01/16-1998/07/28 حدود ۱۴.۲ سانتی‌متر است. شی و همکاران[12] (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 می‌کنند، 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[13] (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[14] (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 اندازه‌گیری دقیق ردیابی نور و دامنه (LiDAR) اندازه‌گیری شده است. اسلان و همکاران[15] (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 می‌کند. 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 ۰/۱۹ و ۰/۳۲ 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، واکنش‌پذیری 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

[11] Auggstin
[12] Shi
[13] Hao
[14] Nof
[15] Aslan

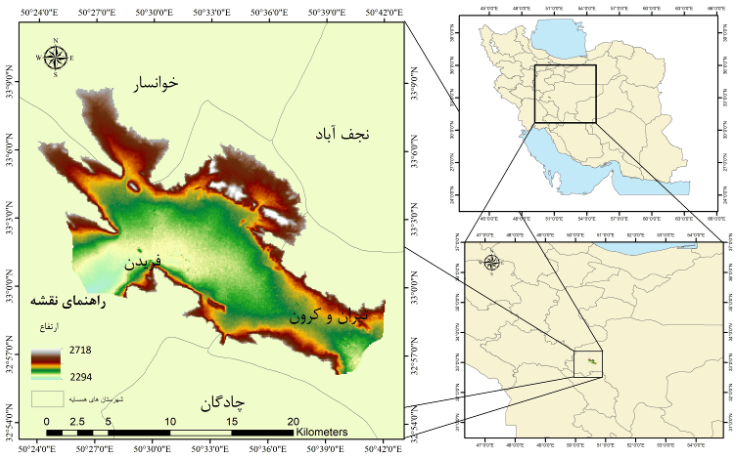
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]

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 به‌دست‌آمده 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 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 به‌صورت متن‌باز و همراه با لایسنس معتبر پشتیبانی می‌کند.

روش‌شناسی

موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

دامنه یکی از شهرهای استان اصفهان در مرکز ایران واقع در شهرستان فریدن است. دامنه شهری در میان کوه‌های دالان‌کوه است. شهر دامنه در ۱۲۰ کیلومتری غرب اصفهان در دقیقه طول شرقی ۲۵′ ۵۰ ° تا ۴۰′ ۵۰ ° و عرض شمالی ۳۷′ ۳۲ ° تا ۰۳′ 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.



شکل (۱). موقعیت منطقه موردمطالعه

روش انجام پژوهش

براساس هدف، پژوهش حاضر جزء پژوهش‌های کاربردی تقسیم می‌شوند و روش جمع‌آوری اطلاعات آن کتابخانه‌ای- میدانی است. داده‌های تهیه شده شامل تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱، کاربری اراضی تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲، مدل رقومی ارتفاعی ASTER، نقشه زمین‌شناسی است. یکی از داده‌های اساسی پژوهش تصاویر راداری سنجنده سنتیل ۱ است که از سایت سازمان فضایی اروپا که در دسترس می‌باشد، دانلود گردید. برای پیشبرد اهداف پژوهش از محصولات سنجنده سنتینل ۱، باند C در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ استفاده‌شده است. این داده از محصولات سطح یک تصاویر SAR، با قدرت تفکیک مکانی ۵ متر و با دوره برداشت ۱۲ روزه است. اطلاعات مربوط به منابع آب‌های زیرزمینی منطقه مطالعاتی که شامل پراکنش چاه‌های پیزومتری و تغییرات سطح ایستابی آن‌ها که از شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان تهیه گردیده است. داده‌های میدانی با استفاده از سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) به‌صورت میدانی برداشت شده است. برای

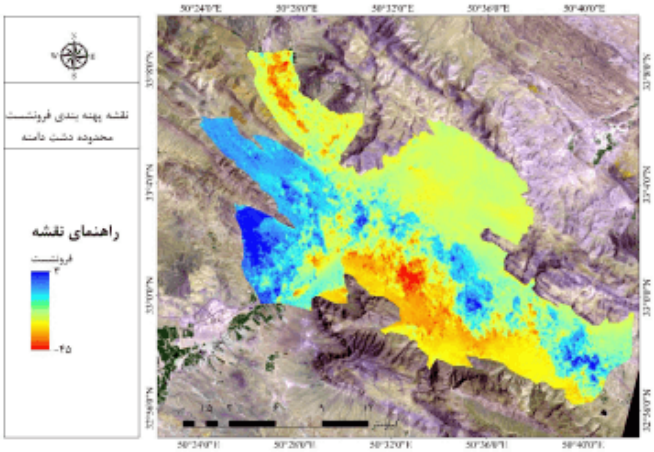
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]

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، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و فاصله از چاه بوده است و متغیرهای ثابت تحقیق بوده است و با متغیر فرونشست در مدل رگرسیون لوجستک مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت تا تأثیرگذار هر معیار بر فرونشست محاسبه گردد. شناسایی مناطق مستعد فرونشست برای دوره زمانی بیست ساله با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک صورت گرفته و صحت سنجی مدل رگرسیون لجستیک نیز با استفاده از منحنی ROC تعیین گردیده است.

نتایج و بحث

تعیین میزان فرونشست در منطقه مطالعاتی

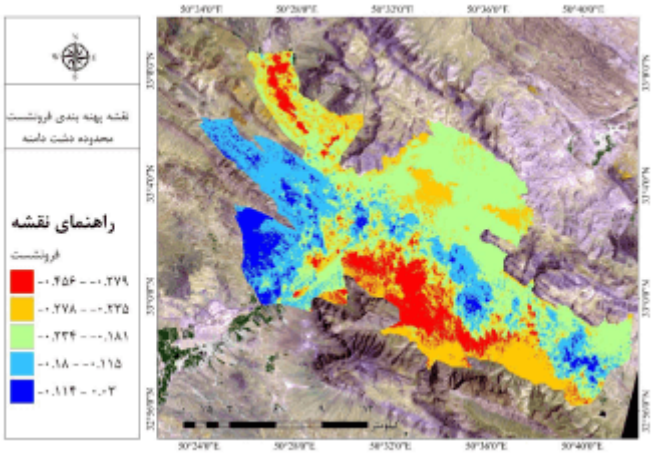
جهت تهیه نقشه فرونشست ابتدا داده‌های راداری ماهواره سنتیل ۱، به همراه اطلاعات موردنظر از قبیل مشخصات تصاویر اخذ شده از آژانس فضایی اروپا در سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ تهیه و پس از پردازش تصاویر خام با فرمت slc توسط نرم‌افزار SNAP، تهیه تصویر اول و دوم master و slave مدل ارتفاعی منطقه رقومی ۱۶ ماهواره ASTER دانلود شده و در مرحله بعد تهیه اینترفرگرام و تبدیل اینترفرگرام به فاز صورت گرفته و پس از حذف اثرتوپوگرافی 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 بالاآمده در غرب مساحت اندکی از منطقه را به خود اختصاص داده است و به‌صورت لکه‌های پراکنده در راستای گسل موجود در منطقه مشاهده می‌شود. مناطق دارای فرونشست در بخش‌های شمالی و جنوبی و به‌صورت 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 بیش‌ازحد آن در کشاورزی بوده است.



شکل (۲). پهنه‌بندی فرونشست منطقه مطالعاتی برحسب متر

با برداشتی که از اطلاعات موجود در نقشه کلاس‌بندی شکل (۳) و جدول (۱) می‌شود، مناطق با فرونشست ۳- ۱۱، ۱۱- ۱۸ و ۱۸- ۲۳ سانتیمتر هرکدام به ترتیب مساحتی بالغبر ۱۷۷۴، ۵۶۲۰ و ۱۰۴۰۳ هکتار که به ترتیب معادل ۶/۸۷، ۲۱/۷۷ و ۴۰/۳۰ درصد از کل منطقه را شامل می‌شوند. 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 به‌دست‌آمده از تحلیل تصاویر راداری که در شکل (۲) نقشه کلاس‌بندی شده آن در شکل (۳) و اطلاعات تکمیلی آن در جدول (۱) ارائه‌شده است، تغییر سطح در منطقه بین سطح ۳+ داشته‌ایم به‌جز مناطق پایکوهی به علت جمع شدن رسوبات تا ۴۵- سانتیمتر بوده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]



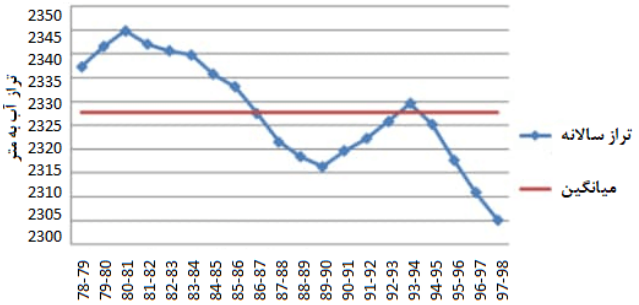
شکل (۳). کلاس‌بندی شده فروشت منطقه مطالعاتی

جدول (۱). اطلاعات تکمیل نقشه کلاس‌بندی شده فروشت منطقه مطالعاتی

نام کلاس	مساحت به هکتار	درصد
-۰/۲۷ -۰/۴۵	۲۵۱۹	۹/۷۵
-۰/۲۳ -۰/۲۷	۵۴۹۵،۰۶۳	۲۱/۲۸
-۰/۱۱ -۰/۲۳	۱۰۴۰۳،۱۹	۴۰/۳۰
-۰/۱۸ -۰/۱۱	۵۶۲۰،۷۵	۲۱/۷۷
-۰/۱۱ ۰/۰۳	۱۷۷۴،۶۲۵	۶/۸۷

تعیین بررسی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی با ماهواره گریس[16]

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.



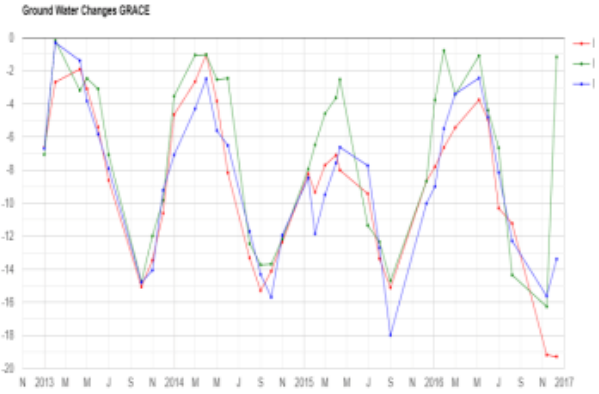
شکل (۴). تغییرات میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی چاه‌های نمونه موردمطالعه دشت دامنه از سال ۱۳۹۳-۱۳۹۸

داده‌های Level2 با ماهواره گریس به‌صورت ماهانه میدان ثقل زمین ارائه می‌شود قابلیت بالایی در تغییرات زمانی میدان ثقل زمین دارد. ازآنجایی‌که تغییرات فصلی سطح آب‌های زیرزمینی عامل عمده تناوبی میدان ثقل زمین می‌باشد، در این تحقیق توانایی داده‌های ماهواره‌ای گریس آشکارسازی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی در دشت دامنه استان اصفهان

[16]. Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]

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.



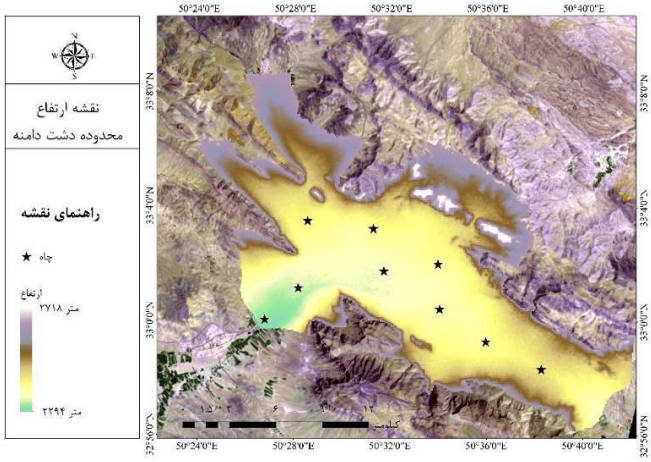
شکل (۵). بررسی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی با ماهواره گریس

در این پژوهش با استفاده از داده‌های ماهواره گریس و با استفاده از گوگل ارث[17] با سه الگوریتم crs, gf, jpl منطقه موردنظر مورد از سال ۲۰۱۴ تا سال ۲۰۱۹ بررسی قرار گرفت که نتیجه به‌صورت 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 می‌شود، مناطق با ارتفاعات پایین‌تر مراکز کشاورزی و تجمعات انسانی را به‌صورت چشمگیری در خود جای‌داده است.



شکل (۶). ارتفاع منطقه موردمطالعه

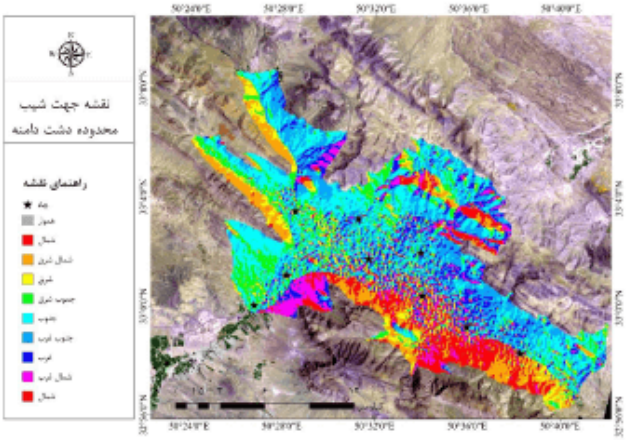
جهت شیب

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.

[17]. Google Earth Engine

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

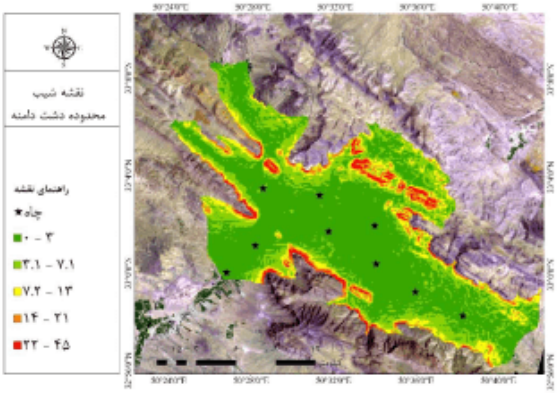
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]



شکل (۷). جهت شیب منطقه مورد مطالعاتی

لایه شیب

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 طبقه‌بندی‌شده، کلاس با شیب ۰ تا ۷/۱ درجه بیشترین مساحت از منطقه را به خود اختصاص داده و علاوه بر کل منطقه در بخش‌های مرکزی بیشترین پراکنش را داشته است. مناطق با شیب بالای ۷/۲ نیز علاوه بر بخش‌های شمالی منطقه به شکل نواری در حاشیه کل منطقه را دربر گرفته است.



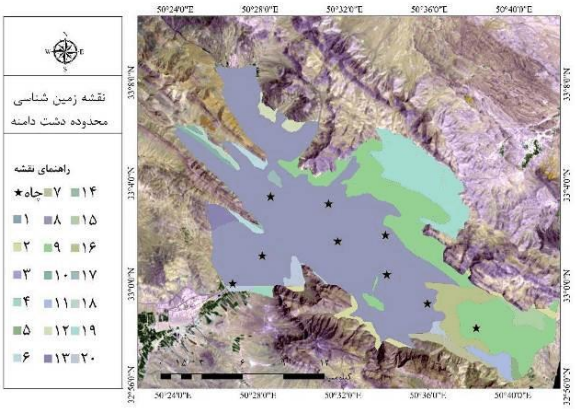
شکل (۸). شیب در منطقه موردمطالعه

لایه زمین‌شناسی

بررسی نقشه زمین‌شناسی 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، سنگ‌آهک و تراورتن به ترتیب با مساحت ۱۴۸۸۰، ۵۳۳۰ و ۲۳۸۶ هکتار به ترتیب معادل ۵۵، ۱۹ و ۸ درصد بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]



شکل (۹). زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه

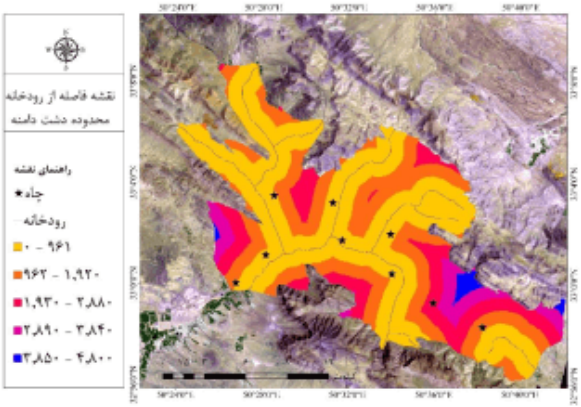
جدول (۳). اطلاعات تکمیلی مربوط به نقشه زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه

کد	نوع سازند	مساحت به هکتار	درصد مساحت
۱	ولکانی	۱۰،۴۴	۰،۰۳۸
۲	آبرفت	۴۲۱،۴۵	۱،۵۷
۳	آندزیت	۲،۹۷	۰،۰۱۱
۴	توف آندزیت	۱۰۳،۹	۰،۳۸۷
۵	لیمستون بادی	۸۶،۳۱	۰،۳۲۱
۶	مارن	۲۴۰،۱۷	۰،۸۹۴
۷	گنگلومرا شنی	۳۷۳،۴۶	۱،۳۹۱
۸	دولومیت	۱۴۸۸۰،۹۳	۵۵،۴۴
۹	لیمستون	۵۳۳۰،۴	۱۹،۸۵۸
۱۰	لیم ستون، سیلت استون، شیل و مارن	۱۸۱،۶	۰،۶۷۶
۱۱	مارن شنی	۳۳۳،۸۵	۱،۲۴۳
۱۲	مارل شیل	۲۲۸،۵۱	۰،۸۵۱
۱۳	لیمستون اروبیتولیا	۲۷۲،۵۶	۱،۰۱۵
۱۴	پیروکلاستیک	۱۹،۷۴	۰،۰۷۳
۱۵	رادیولیت	۳۳۲،۷۴	۱،۲۳۹
۱۶	انباشته رودخانه‌ای	۹۸۶،۲۶	۳،۶۷۴
۱۷	فیولیت	۷۸،۰۲	۰،۲۹
۱۸	شیل شنی	۱۷۹،۱۲	۰،۶۶۷
۱۹	تراورتن	۲۳۸۶،۷	۸،۸۹۱
۲۰	تراس‌های کواترنری	۳۹۲،۲۳	۱،۴۶۱

فاصله از رودخانه

ازآنجایی‌که 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.

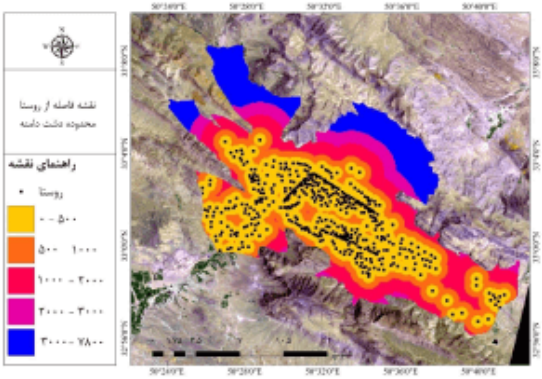
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]



شکل (۱۰). فاصله از رودخانه در منطقه موردمطالعه

لایه فاصله از نقاط روستایی

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).

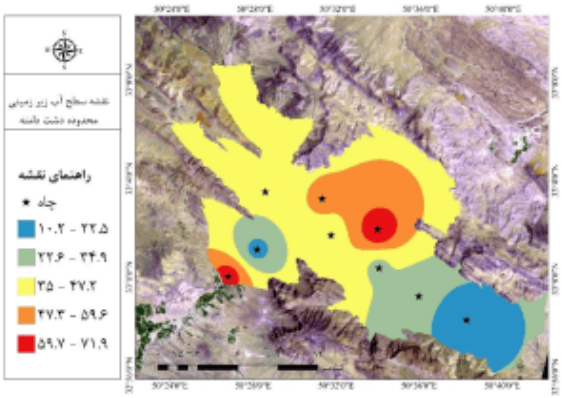


شکل (۱۱). فاصله از روستا در منطقه مطالعاتی

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 ۳۵ 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.

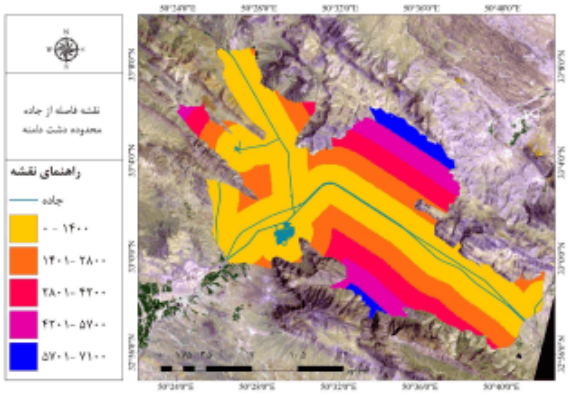
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]



شکل (۱۲). سطح آب زیرزمینی در منطقه موردمطالعه

لایه 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.



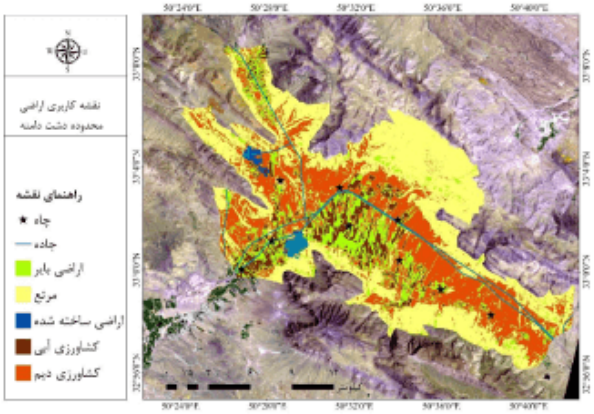
شکل (۱۳). فاصله از جاده در منطقه مورد مطالعاتی

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 می‌شود.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]



شکل (۱۴). کاربری اراضی منطقه موردمطالعه

جدول (۴). اطلاعات تکمیلی کاربری اراضی منطقه موردمطالعه

نام کلاس کاربری	مساحت هر کاربری به هکتار	مساحت هر کاربری به درصد
اراضی بایر	۳۹۸۷/۶۳	۱۴/۹۱۷
مرتع	۱۲۳۱۴/۵۱	۴۶/۰۶۹
اراضی ساخته شده	۳۳۵/۵۹	۱/۲۵۵
کشاورزی آبی	۱۷۷۵/۶۷	۶/۶۴۲
کشاورزی دیم	۸۳۱۷/۱۳	۳۱/۱۱۴

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.

$$f(z) = 1/(1 + e^{-z})$$ رابطه (۱)

$$Z = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \cdots b_nx_n$$ رابطه (۲)

$f(z)$ 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:

$$p = 1/(1 + e^{-z})$$ رابطه (۳)

Z با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$Z = logit = ln[p/(1-p)] = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \cdots b_nx_n$$ رابطه (۴)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]

در رابطه p احتمال وقوع فرونشست زمین است، b_0 تا b_n ضرایب رگرسیونی و X_1 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،۱۳۹۶:۱۰).

در این پژوهش برای به دست آوردن ضرایب بهینه رگرسیون، لایه فرونشست به‌عنوان متغیر پاسخ (Y) معرفی‌شده است. به‌طوری‌که به وقوع فرونشست زمین عدد یک و به عدم وقوع آن عدد صفر اختصاص داده شد و سایر لایه‌های تهیه‌شده (ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از روستا، سطح آب‌های زیرزمینی، چاه‌های اپیزومتری) به‌عنوان متغیر پیش‌گو (X) یا متغیر مستقل با وزن‌های مختلف در نظر گرفته شده است و ضریب R2 برای پژوهش موردنظر مقدار (۰/۲۱) به‌دست‌آمده است. فرمول کلی که برای این تحلیل مورداستفاده قرارگرفته است به شرح زیر است:

رابطه (۵).

logit (Landsubsidence) = ۰،۰۰۲۳*aspect ۰،۰۰۱۲*dem ۰،۰۰۰۳۶۸۱*Dis_chah + 0.948*landuse
۰،۰۰۰۲۶۶۳*litology ۲،۶۲۲*river ۰،۰۰۳۲*roads -۰،۰۰۴۲*slope -۰،۰۰۰۴*village + ۶،۰۰۴۲*Sath_Ab

با توجه به فرمول رگرسیون لجستیک سطح آب‌های زیرزمینی با ضریب ۶/۰۰۴۲ و فاصله از چاه با ضریب ۳/۶۸۱ و سازند زمین‌شناسی ۲/۶۶ دارای بالاترین ضریب تأثیرگذاری در مدل بوده است در جاهایی از این دو متغیر با کاهش سطح آب زیرزمینی روبه‌رو می‌شدیم تراکم چاه‌ها در محدوده موردمطالعه زیاد بود و رابطه مستقیم یا مناطق دارای فرونشست روبه‌رو می‌شد، روی‌هم‌رفته هرجایی تراک چاه زیاد و سطح آب پایین‌تر می‌رفت احتمال فرونشست در آن بیشتر است؛ و فاصله از جاده با ضریب ۰/۰۰۳۲- فاصله از روستا با ضریب ۰/۰۰۰۴- دارای کم‌ترین ضریب بوده است. در اطراف کاربری انسانی از طرفی زمین‌های کشاورزی آبی و کاربری آب‌بر و تعداد چاه‌ها کمتر دیده می‌شد و این سبب می‌گشت تا فاصله معینی از جاد و کاربری اراضی ما با فرونشست رو نباشیم اما ضریب گذاری در آن وجود داشت به‌نوعی معکوس بوده است یعنی با فاصله از جاده و روستا احتمال فرونشست بیشتر دیده می‌شد با توجه به این دیدگاه هر چه ضریب متغیرهای مستقل بیشتر یا اعداد همبستگی بزرگ‌تر باشد، آن متغیر از اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشد خواه عدد بزرگ‌تر باشد خواه منفی باشد.

آمار رگرسیون لجستیک

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

جدول (۵). آمار تحلیل رگرسیون بر روی پیکسل‌های منطقه

تعداد کل پیکسل‌های منطقه	۳۱۷۹۸۵	-۲logL۰	۱۹۶،۲۷۵۶
تعداد پیکسل بدون فرونشست	۳۱۷۸۶۲	-۲log(likelihood)	۱۶،۲۶۲۷
تعداد پیکسل با فرونشست	۱۲۳	Goodness of fit	۱۱۶۳۶،۵۱۰۶
درصد پیکسل‌های بدون فرونشست	۹۹،۹۶۱۳	Pseudo R۲	۰،۲۱۳۵

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]

درصد پیکسل‌های با فرونشست	۰،۰۳۸۷	Chi-square (df=۹)	۳۶،۰۱۲۹
تعداد نمونه‌های خودکار برای منطقه	۳۰۳۲۴		
تعداد نمونه برای پیکسل بدون فرونشست	۳۰۳۱۳		
تعداد نمونه برای پیکسل با فرونشست	۱۱		
درصد نمونه برای پیکسل بدون فروشت	۹۹،۹۶۳۷		
درصد نمونه برای پیکسل با فرونشست	۰،۰۳۶۳		

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

رابطه (۶).

$$\text{Pseudo R Square} = ۱ - \left(\frac{\text{Log (L)}}{\text{Log}\left(L_{.}\right)}\right)\text{Pseudo R}$$

Square=1- (Log (L) / Log (L0))

در رابطه (۶) اگر مقدار به‌دست‌آمده برای Pseudo R Square برابر با یک باشد، نشان‌گر برازش کامل مدل و نشان‌دهنده رابطه کامل متغیرهای مستقل با متغیر وابسته خواهد بود، درحالی‌که 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 ۰/۲ 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).

$$\text{Chi Square(K)} = -2\ (\text{Log (Likehood)} - \text{Log (L0)})\text{Chi}$$

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

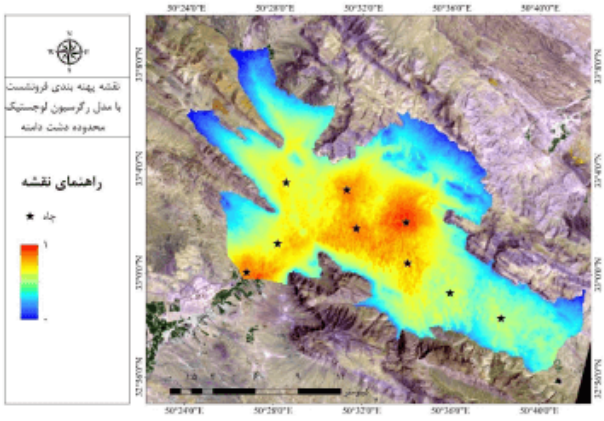
متغیرها	انحراف معیار	میانگین
جهت شیب	۵۰۷۴،۱۱۸۴	۵۱۳۱،۲۱۶۵-
ارتفاع	۵۴۲۹،۸۲۰۸	۴۷۹۲،۷۵۸۱-
فاصله از چاه	۵۶۷۹،۲۴۳۴	۴۶۰۰،۳۳۱۸
کاربری اراضی	۴۹۹۶،۷۰۰۲	۵۲۰۳،۹۵۸
سنگ‌شناسی	۴۹۹۷،۹۱۰۶	۵۱۹۲،۳۲۹۴-
فاصله از رودخانه	۵۲۵۶،۹۱۹	۴۹۵۹،۹۰۳۷
فاصله از جاده	۵۴۳۴،۸۷۶۵	۴۸۰۵،۰۱۶۴-
شیب	۵۰۰۳،۱۵۸۵	۵۱۹۸،۷۱۷۲-
روستا	۶۳۳۰،۹۹۷۶	۴۰۰۴،۸۶۶۱
سطح آب‌های زیرزمینی	۵۳۳۰،۹۹۷۶	۵۴۵۲۳،۶۲

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

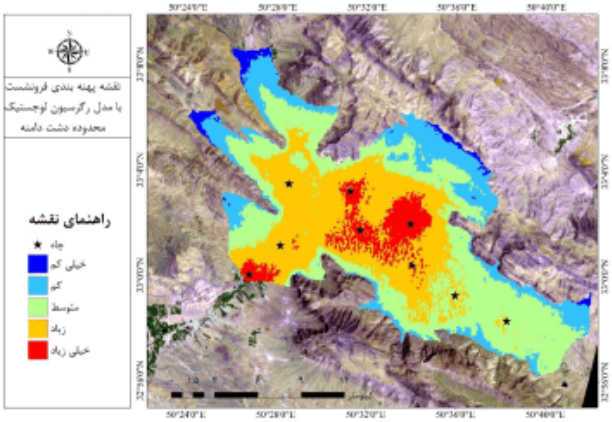
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]

تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین در منطقه موردمطالعه

پس‌ازاینکه لایه‌های اطلاعاتی متغیرهای مستقل آماده‌سازی شد و نقشه پراکندگی فرونشست زمین که به ارزش صفر و یک رسید، سپس با استفاده از ضرایب به‌دست‌آمده برای هر کلاس و اعمال این ضرایب، نقشه پهنه‌بندی فرونشست تهیه گردید. نقشه نهایی پهنه‌بندی فرونشست منطقه موردمطالعه در ۵ کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد، نتیجه این طبقه‌بندی در نقشه‌های نمایش داده شده اشکال (۱۵ و ۱۶) و اطلاعات تکمیلی آن در جدول (۷) ارائه شده است. 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. 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 می‌شود مساحتی حدود ۱۹۸۰ هکتار معادل ۷/۹ درصد از مساحت کل را به خود اختصاص داده است.



شکل (۱۵). پهنه‌بندی فرونشست با مدل رگرسیون لجستیک



شکل (۱۶). طبقه‌بندی‌شده پهنه‌بندی فرونشست با مدل رگرسیون لجستیک

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]

جدول (۷). اطلاعات تکمیلی نقشه پهنه‌بندی فرونشست با مدل رگرسیون لجستیک در منطقه موردمطالعه

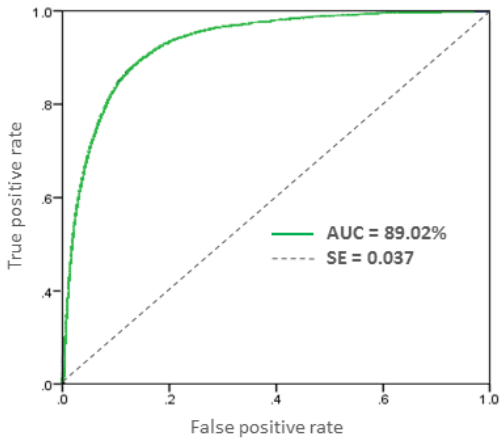
نام کلاس	مساحت به هکتار	مساحت به درصد
خیلی کم	۶۰۴٫۲۱	۲٫۴۲۵
کم	۴۵۶۶٫۷۶	۱۸٫۳۳
متوسط	۹۵۶۰٫۷۶	۳۸٫۳۷۵
زیاد	۸۲۰۱٫۴۶	۳۲٫۹۱۹
خیلی زیاد	۱۹۸۰٫۱۹	۷٫۹۴۸

نتایج ارزیابی دقت و اعتبار سنجی مدل رگرسیون لجستیک

منحنی مشخصه عملکرد سیستم[18] یکی از دقیق‌ترین و کارآمدترین روش صحت سنجی میزان دقت مدل به‌صورت کمی می‌باشد و البته یکی از کارآمدترین روش‌ها در زمینه ارائه خصوصیت تعیینی و شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌ها بوده است. سطح زیر منحنی نشان‌دهنده توانایی پیش‌بینی مدل در تخمین درست درباره رخ دادن یک واقعه (در این پژوهش فرونشست زمین) وقوع یا عدم وقوع آن بوده است. وقتی نتایج حاصل از یک مدل ایده‌آل است که بیشترین سطح زیر منحنی را داشته باشد و مقادیر AUC آن از ۰/۵ تا ۱ باشد. به‌طوری‌که اگر مدل توانایی پیش‌بینی درست را نداشته باشد AUC آن (۰.۵) و اگر مقدار آن (۱) باشد یعنی بالاترین دقت را در ارائه نقشه پهنه‌بندی داشته است. به‌طورکلی ارزیابی تخمین AUC به‌این‌ترتیب است: ۰/۵-۰/۶ ضعیف، ۰/۶-۰/۷ متوسط، ۰/۷-۰/۸ خوب، ۰/۸-۰/۹ خیلی خوب و ۰/۹-۱ عالی. با توجه به شکل (۱۷) و جدول (۸)، مقدار AUC نشان‌دهنده یک ارزیابی خیلی خوب ۰/۸۹ مدل رگرسیون لجستیک انجام شد و صحت قابل قبولی پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین در منطقه موردمطالعه انجام‌گرفته است.

جدول (۸). مساحت زیر منحنی (ROC) به همراه انحراف استاندارد و سطح اطمینان آن

Area	Std.Error	Asympotic Sig	Asymptopic 95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0.89	0.0	0.0	0.83	0.83



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

[18]. Receiver operating characteristic (ROC)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]

نتیجه‌گیری

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 به‌دست‌آمده 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 می‌شود 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 آن بررسی گردید نشان داده که با کاهش سطح آب روبه‌رو بوده و نشانه‌هایی از فرونشست در بعضی از مناطق اطراف چاه‌ها مشاهده گردید و دقت حاصله از این کار را بالای ۹۰ درصد توسط نمودار ROC نشان داده است. مقدار AUC نشان‌دهنده یک ارزیابی خیلی خوب ۰/۸۹ توسط این مدل بوده که با صحت قابل قبولی پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین در منطقه موردمطالعه انجام‌گرفته 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 به‌صورت متن‌باز و همراه با لایسنس معتبر پشتیبانی می‌کند. انتظار می‌رود این پژوهش و روش‌های مورداستفاده الگویی برای ارائه بهتر تحقیقات آتی و مدیریت منابع موجود در داشت دامنه و جلوگیری از خسارات احتمالی به زیرساخت‌های این منطقه باشد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]

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، *سنجش‌ازدور 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*، ۸(۱)، 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 تاب‌آوری شهرها در برابر مخاطرات طبیعی (مورد: کلان‌شهر تبریز)، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۶۰(۲۱)، ۱۵۱-۱۷۵.

همتی، فریبا؛ حجازی، سید اسداله.(۱۳۹۶). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش 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.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.14]