Kharazmi University

Spatial Analysis Environmental Hazards

Online ISSN: 2588-5146
Homepage: https://khu.ac.ir

Analysis of the Relationship Between Land-Use Changes and Groundwater on the Intensification of Land Subsidence in the Dehgolan Plain, Kurdistan

Manijeh Ghahroudi Tali[1]✉ | Farhad Khodamoradi[2] | Khadijah Ali Nouri[3]

1. Corresponding author, Department of Geomorphology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: M-ghahroudi@gmail.com
2. Department of Geomorphology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: fkhodamoradi24@gmail.com
3. Department of Geomorphology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: khadijehalinoori@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 27 May 2024
Accepted 11 March 2025
Published online 11 March 2025

Keywords:
SNAP,
Groundwater,
Radar Interferometry,
Dehgolan Plain,
Land Subsidence,
Land Use.

ABSTRACT

Objective: Land subsidence is one of the serious geomorphological challenges that has significant adverse effects on agriculture, urban infrastructure, and the environment. This study analyzes land subsidence in the Dehgolan Plain, located in the eastern part of Kurdistan Province, covering an area of 50,083 hectares.

Methods: The drastic changes in land use, the increasing number of deep wells, and the evident impacts of land subsidence in the Dehgolan Plain highlight the necessity of examining the influence of two critical parameters: land-use changes and groundwater extraction on surface deformation. To analyze this phenomenon, 15 satellite images from Sentinel-2 and Landsat 8 were used to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and determine the optimal time frame for processing Sentinel-1 data. Accordingly, 8 Sentinel-1 images from 2014 to 2021 were acquired, processed, and analyzed using the SNAP software. To investigate land-use changes during the period 2000–2021, three images from Landsat 7 and Landsat 8 were utilized. After conducting radiometric and atmospheric corrections, land-use maps were extracted using supervised classification in ArcGIS.

Results: The results indicate that over eight years, the Dehgolan Plain has experienced a total subsidence of 480 mm, averaging 60 mm per year. The analysis of land-use changes revealed a 6.98% increase in irrigated agricultural lands and a 1.47% increase in urban areas, while rangelands, forests, and rainfed farmlands have declined. Groundwater depth analysis in 2000 showed that the deepest levels were associated with rainfed lands (18.47 meters), whereas the shallowest levels were recorded in irrigated agricultural areas (7.9 meters). However, in 2021, the groundwater depth in irrigated farmlands increased significantly to 50.24 meters.

Conclusions: These findings clearly demonstrate that subsidence primarily occurs in irrigated agricultural and urban areas and has a direct correlation with increased groundwater extraction. Ultimately, the results emphasize the necessity of sustainable water resource management and land-use regulation to mitigate the negative impacts of land subsidence.

Cite this article: Ghahroudi Tali, M., Khodamoradi, F., & Ali Nouri, Kh. (2025). Analysis of the Relationship Between Land-Use Changes and Groundwater on the Intensification of Land Subsidence in the Dehgolan Plain, Kurdistan. *Spatial Analysis Environmental Hazards*, 11 (4), 77-94. http//doi.org/10.61186/jsaeh.11.4.2

© The Author(s)
Publisher: Kharazmi University
DOI: https://doi.org/10.61186/jsaeh.11.4.2

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Land use changes, which result from the interaction between humans and the environment, have become one of the main factors altering natural processes. These changes, particularly with the expansion of urbanization and the development of irrigated agricultural lands, lead to deforestation, soil erosion, loss of biodiversity, damage to water resources, and land subsidence (Binat et al., 1997). Land subsidence, which refers to the gradual and horizontal sinking of the Earth's surface, can occur due to natural causes such as earthquakes and volcanic activity, or more predominantly as a result of excessive groundwater extraction (Hiwan et al., 2016). These phenomena, particularly near human activities, pose a serious threat to infrastructure and, if not properly planned for, can lead to widespread disasters (Sharifi-Kia et al., 2005). Recent reports indicate the negative impacts of land subsidence in Iran on structures and infrastructure, such as buildings, airports, bridges, and roads (Sharifi-Kia et al., 2013). Particularly in the plains of Iran, the decline in groundwater levels and land use changes have caused significant subsidence. Notable studies, such as the research by Sarskanroud et al. (2022) conducted in the Pakdasht plain, have addressed the impact of groundwater levels and land use changes on subsidence. In this study, subsidence was reported to be 10 cm in agricultural lands and 9 cm in pasturelands. Similar studies in various plains across Iran and the world emphasize the direct correlation between groundwater depletion, land use changes, and subsidence (Feizizadeh et al., 1999; Rajabi et al., 2021). The objective of the present study is to calculate the rate and spatial distribution of land subsidence in the Dehgolan plain using InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) technique over the period from 2014 to 2021, as well as to investigate land use changes in the Dehgolan plain over a 22-year period (2000-2021). Additionally, the relationship between land use changes in the plain and subsidence, and their impacts on groundwater levels, will be examined in this study. Finally, in order to validate the results, field visits will be conducted, and the locations of subsidence points will be compared with the zoned maps.

Methods

In this study, to prepare the land use map of the Dehgolan plain over a 22-year period (2000-2021), two Landsat 7 ETM+ images from 2000 and one Landsat 8 OLI satellite image from 2021 were utilized. These images were obtained from the USGS (United States Geological Survey) Earth Observation Data Portal. Additionally, twelve Sentinel-2 images from the years 2016 to 2021, and two Landsat 8 images from the years 2014 and 2015, were used to extract the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Finally, to calculate the rate of land subsidence, eight Sentinel-1 images from the years 2014 to 2021 were acquired from the relevant online portal. To assess the relationship between groundwater levels, land use changes, and the subsidence phenomenon in the Dehgolan plain, groundwater level data (from piezometric wells) for a 28-year period were obtained from the Kurdistan Provincial Water Affairs Department. The relationship between these variables was analyzed and examined. Tables 1, 2, and 3 present the specifications of the images used in this study.

Results

In this study, the NDVI index maps for Dehgolan Plain were prepared using Landsat 8 and Sentinel-2 images covering the period from 2000 to 2021. These images were selected to evaluate vegetation coverage and ensure proper timing for Sentinel-1 image selection. Atmospheric corrections were applied to both Sentinel-2 and Landsat data, and the differential

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

InSAR technique was utilized to calculate subsidence rates using eight descending Sentinel-1 images from 2014 to 2021. For land use classification, a supervised classification method was employed in ARCGIS software, resulting in a Kappa coefficient of 0.95, indicating high accuracy. Field observations, reports, and ground truth data were used to refine the land use classification and verify the results. The land use map identified eight distinct classes, including agricultural, residential, and road networks. Additionally, groundwater level data over a 28-year period, obtained from the Kurdistan Water Affairs Organization, was analyzed to explore the relationship between groundwater levels, land use changes, and subsidence in the region. Finally, field visits were conducted to identify areas affected by subsidence, and the locations of these subsidence points were cross-checked with the zoned map using GPS and Google Earth software. Reports and interviews from local authorities were also used to support the findings.

Conclusion

This study investigates the relationship between land use changes, groundwater levels, and land subsidence in the Dehgolan Plain over a 22-year period. The results indicate a direct correlation between the increase in irrigated and residential lands and the higher groundwater extraction, which subsequently intensifies land subsidence. Conversely, the reduction in rangeland, forest, and rainfed agricultural areas has led to significant changes in land use within the plain. Radar interferometry analysis revealed that 21.8% of the region is at high risk of subsidence, with the highest subsidence observed in the western, southern, and central parts of the area. In contrast, the eastern, northeastern, and southeastern margins of the plain exhibit lower subsidence risk. Furthermore, the relationship between land use changes and groundwater depth revealed that the expansion of irrigated lands directly contributes to increased groundwater extraction and a subsequent decline in groundwater levels across different land uses. The greatest groundwater depth in 2021 was observed in irrigated areas, coinciding with the highest subsidence rates in these regions. A significant increase in groundwater depth was also observed in residential areas, reflecting the impact of urban expansion and increased water demand. By comparing these findings with previous studies, the research confirms that there is a meaningful relationship between land use changes and subsidence in the Dehgolan Plain. Moreover, factors such as rapid population growth, uncontrolled urban development, and excessive groundwater extraction have contributed to the intensification of this phenomenon. In conclusion, the results emphasize that without appropriate control policies, the ongoing subsidence in the Dehgolan Plain may continue, leading to further environmental and infrastructural damage.

Author Contributions

First author: Thesis supervisor, research design, supervision of research stages, review and control of results, correction, revision and finalization of the article.

Second author: Preparation and preparation of samples, conducting experiments and collecting data, performing calculations, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, preparation of draft article.

Third author: Thesis advisor, participation in research design, supervision of research, reading and revising the article.

Data Availability Statement

Data is available upon request from the authors.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

Acknowledgements
This research is derived from the second author's master's thesis, entitled "Evaluation of the Effects of Groundwater Level Changes on the Intensification of Land Subsidence (Case Study: Dehgolan Plain)" under the guidance of the first and third authors, which was defended in January 2012 at Shahid Beheshti University, Tehran. The authors would like to thank the esteemed referees for reading the text of this article and providing valuable structural and scientific comments.

Ethical considerations
The author has observed ethical principles in conducting and publishing this scientific research, and this is confirmed by them.

Funding
This article has no sponsor.

Conflict of interest
According to the author's declaration, this article has no conflict of interest.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

دانشگاه خوارزمی

تحلیل فضایی مخاطرات محیطی

شاپا الکترونیکی: **۵۱۴۶- ۲۵۸۸**

Homepage: https://khu.ac.ir

تحلیل رابطه تغییرات کاربری زمین و آب‌های زیرزمینی بر تشدید فرونشست زمین در دشت دهگلان استان کردستان

منیژه قهرودی تالی [۱]✉ | فرهاد خدامرادی [۲] | خدیجه علی نوری [۳]

۱. نویسنده مسئول، گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: M-ghahroudi@gmail.com

۲. گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: fkhodamoradi24@gmail.com

۳. گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: khadijehalinoori@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱

کلیدواژه‌ها:
SNAP،
آب‌های زیرزمینی،
تداخل سنجی راداری،
دشت دهگلان،
فرونشست،
کاربری اراضی.

چکیده

هدف: فرونشست زمین یکی از چالش‌های جدی ژئومورفولوژیکی است که اثرات مخربی بر کشاورزی، زیرساخت‌های شهری و محیط‌زیست می‌گذارد. این پژوهش به تحلیل فرونشست در دشت دهگلان، واقع در شرق استان کردستان با مساحت ۵۰/۰۸۳ هکتار، پرداخته است.

روش پژوهش: تغییرات شدید کاربری اراضی، افزایش تعداد چاه‌های عمیق و آثار پدیده فرونشست در دشت دهگلان، ضرورت بررسی تأثیر دو پارامتر مهم، یعنی تغییرات کاربری زمین و برداشت آب‌های زیرزمینی، بر نشست سطح زمین را نمایان می‌سازد. برای تحلیل این پدیده، از ۱۵ تصویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و لندست ۸ جهت محاسبه شاخص NDVI و انتخاب بهترین بازه زمانی برای پردازش داده‌های سنتینل-۱ استفاده شد. به این صورت، ۸ تصویر سنتینل-۱ در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۱ دانلود و با نرم‌افزار SNAP پردازش و بررسی شدند. جهت مطالعه تغییرات کاربری اراضی در دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۱، از سه تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ استفاده و پس از انجام تصحیحات اتمسفری و رادیومتری، نقشه‌های کاربری با روش طبقه‌بندی نظارت‌شده در نرم‌افزار ArcGIS استخراج گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که دشت دهگلان در طول ۸ سال، ۴۸۰ میلی‌متر فرونشست را تجربه کرده که معادل میانگین ۶۰ میلی‌متر در سال است. تحلیل تغییرات کاربری اراضی حاکی از افزایش ۶/۹۸ درصدی اراضی کشاورزی آبی و ۱/۴۷ درصدی مناطق مسکونی، درحالی‌که اراضی مرتع، جنگل و دیم کاهش یافته‌اند. بررسی عمق آب زیرزمینی در سال ۲۰۰۰ نشان داد که بیشترین عمق مربوط به اراضی دیم (۱۸/۴۷ متر) و کمترین آن به اراضی کشاورزی آبی (۷/۹ متر) تعلق داشت. این در حالی است که در سال ۲۰۲۱، عمق آب زیرزمینی در اراضی کشاورزی آبی به ۵۰/۲۴ متر افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: یافته‌ها به‌طور واضح نشان می‌دهند که فرونشست عمدتاً در مناطق با کاربری کشاورزی آبی و شهری رخ داده و ارتباط مستقیم با افزایش برداشت آب‌های زیرزمینی دارد. در نهایت، نتایج بر اهمیت مدیریت پایدار منابع آب و کنترل تغییرات کاربری اراضی برای کاهش اثرات منفی فرونشست تأکید می‌کنند.

استناد: قهرودی تالی، منیژه؛ خدامرادی، فرهاد؛ و علی نوری، خدیجه (۱۴۰۳). تحلیل رابطه تغییرات کاربری زمین و آب‌های زیرزمینی بر تشدید فرونشست زمین در دشت دهگلان استان کردستان. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱۱ (۴)، ۷۷-۹۴. https://doi.org/10.61186/jsaeh.11.4.2

ناشر: دانشگاه خوارزمی

© نویسندگان

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

مقدمه

تغییرات کاربری اراضی که ناشی از تعامل میان انسان و محیط زیست است، به یکی از عوامل اصلی تغییر فرآیندهای طبیعی تبدیل شده‌اند. این تغییرات به‌ویژه به دلیل شهرنشینی و توسعه اراضی کشاورزی آبی، موجب تخریب جنگل‌ها، فرسایش خاک، کاهش تنوع زیستی و خدمات زیست‌محیطی شده و تأثیر زیادی بر منابع آب و فرونشست زمین دارند (بینات و نایکمپ[1]، ۱۹۹۷). فرونشست زمین پدیده‌ای است که باعث پایین رفتن آرام و افقی سطح زمین می‌شود و به دلایل مختلف، از جمله فعالیت‌های طبیعی مانند زلزله، آتشفشان، و فرونشست‌های ناشی از برداشت بی‌رویه منابع زیرزمینی رخ می‌دهد (هیوان[2] و همکاران، ۲۰۱۶). در گذشته، مخاطرات طبیعی به‌عنوان بلایای غیرقابل پیش‌بینی تلقی می‌شد، اما امروزه با پیش‌بینی پیامدهای این بحران‌ها، می‌توان از شدت اثرات آن‌ها کاست (توماس[3] و همکاران، ۲۰۰۵). این پدیده‌ها، به‌ویژه در مناطق نزدیک به فعالیت‌های انسانی، تهدیدی جدی برای زیرساخت‌ها هستند و در صورت عدم برنامه‌ریزی مناسب، می‌توانند منجر به فجایع گسترده شوند (شریفی‌کیا و همکاران، ۲۰۰۵). در سال‌های اخیر، رشد جمعیت، تغییرات کاربری اراضی و بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در برخی مناطق، به‌ویژه در حوضه‌هایی با خاک‌های کم‌عمق یا تحکیم‌نیافته، موجب فرونشست سطح زمین شده است (وانک[4] و همکاران، ۲۰۲۳). در ایران نیز فرونشست تأثیرات منفی زیادی بر ساختارها و زیرساخت‌های مختلف مانند ساختمان‌ها، فرودگاه‌ها، پل‌ها، جاده‌ها و سیستم‌های آبیاری داشته است (شریفی‌کیا و همکاران، ۱۳۹۲). پژوهش‌های زیادی در ایران و سایر کشورها بر ارتباط فرونشست با کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و تغییرات کاربری اراضی انجام شده است. همچنین، از دهه ۱۹۹۰، تداخل‌سنجی راداری به‌عنوان روشی موثر و کم‌هزینه برای اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته است (رائوکلوس[5] و همکاران، ۲۰۰۷)

هدف از تحقیق حاضر محاسبه نرخ و پهنه بندی فرونشست دشت دهگلان با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری در بازه زمانی ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ و همچنین بررسی کاربری اراضی دشت دهگلان در بازه ۲۲ ساله (۲۰۲۱ –۲۰۰۰) و در اخر بررسی رابطه بین تغییرات کاربری اراضی دشت با فرونشست و تعیین ارتباط این موارد با سطح آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه می باشد.در ادامه جهت تایید و اطمینان از صحت نتایج بازدید از مناطق مورد نظر صورت گرفت و در آخر موقعیت نقاط فرونشست را با نقشه پهنه‌بندی شده فرونشست مطابقت داده شد.

پیشینه پژوهش

۱. پیشینه تجربی

در دشت قهاوند، فیضی‌زاده و همکاران (۱۳۷۸) نشان دادند که فرونشست در این دشت طی دو سال بین ۱۵ تا ۷۸ میلی‌متر بوده است. بر اساس این تحقیق، بیشترین فرونشست در اراضی کشاورزی آبی مشاهده شد، که ناشی از افت شدید سطح آب زیرزمینی است. در دشت فاروق– سیدان، عفیفی و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند که به دلیل برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و فشردگی لایه‌های رسی، دو منطقه با خطر فرونشست زیاد و خیلی زیاد وجود دارد که در طول دوره ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۸، ۱۷/۹ متر افت آب زیرزمینی را شاهد بوده‌اند. در پژوهش شفیعی و همکاران (۲۰۲۰) در دشت نورآباد، تأثیر آبرفت‌های نفوذپذیر بر فرونشست زمین مشخص شد. این آبرفت‌ها با ذرات ریزدانه عامل اصلی فرونشست با نرخ میانگین ۴ سانتی‌متر در سال بودند. نرخ فرونشست در این منطقه طی چهار سال به ۱۶ سانتی‌متر رسید. اصغری و شیشه‌گران (۲۰۲۱) نیز در تحقیق خود به ارتباط فرونشست با تغییرات کاربری اراضی در دشت شهریار اشاره کرده‌اند. در این تحقیق، بیشترین میزان فرونشست در اراضی باغات با ۱۱/۵

[1] - Beinat & Nijkamp
[2] - Heyuan
[3] - Tomás
[4] - Vank
[5] - Raucoules

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

سانتی‌متر، مرتع ۱۱/۳۴ سانتی‌متر و مناطق مسکونی ۱۰/۵۷ سانتی‌متر گزارش شد. این میزان فرونشست می‌تواند خطرات زیستی را در مناطق مسکونی افزایش دهد. همچنین، افت سطح آب زیرزمینی طی شش سال ۷ متر بوده است. سرسکانرود و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیق خود به بررسی میزان فرونشست در دشت پاکدشت با استفاده از تحلیل داده‌های راداری سنتینل-۱ و دو پارامتر مهم سطح آب زیرزمینی و کاربری اراضی پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که بیشترین نرخ فرونشست در ۵ سال اخیر به ۱۰ سانتی‌متر رسید. این نرخ در کاربری‌های مختلف به ترتیب برای اراضی کشاورزی ۱۰ سانتی‌متر، اراضی مرتعی ۹ سانتی‌متر، و مناطق شهری و خاک ۸ سانتی‌متر بود. همچنین، افت ۱۲ متری سطح آب زیرزمینی طی پنج سال اخیر باعث تشدید فرونشست در این منطقه شده است. رجبی و همکاران (۲۰۲۲) در دشت همدان نشان دادند که این دشت طی پنج سال با ۲۸۱ میلی‌متر فرونشست مواجه بوده و نرخ سالانه فرونشست ۵۶ میلی‌متر است. مناطق شهری همدان، بهار، و لاجین به دلیل نوع کاربری و افت شدید آب‌های زیرزمینی، پتانسیل بالایی برای فرونشست در آینده دارند. مطالعه‌ای که توسط اسکندری و همکاران (۲۰۲۳) با روش SBAS، انجام شده است، نشان داده که افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت قروه موجب فرونشست زمین شده است. نتایج این پژوهش حاکی از ارتباط مستقیم بین کاهش سطح ایستابی و میزان نشست است، به‌طوری‌که مناطق با افت بیشتر، نشست بیشتری را تجربه کرده‌اند. بر اساس منابع مختلف، تحقیقات زیادی در رابطه با تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر تراز آب‌های زیرزمینی و تشدید پدیده فرونشست انجام شده است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهند که انواع مختلف کاربری‌های اراضی تأثیرات زیادی بر سطح تراز آب‌های زیرزمینی دارند؛ چرا که این تغییرات منجر به مصرف متفاوتی از آب‌های زیرزمینی می‌شود.

در مطالعه رحیمی و همکاران (۲۰۲۴)، به بررسی میزان فرونشست در آبخوان دشت دهگلان استان کردستان با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و مدل‌سازی شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) پرداخته شد. این پژوهش نشان داد که حداکثر فرونشست در بازه زمانی ۵۵۲ روزه برابر با ۱۶۵ میلی متر بوده و توزیع آن در نواحی غربی و مرکزی دشت بیشتر از نواحی شرقی است. نتایج مدل‌سازی نیز نشان داد که مدل MLP با دقت بالایی قادر به پیش‌بینی مقادیر فرونشست است و برای ارزیابی این پدیده می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد مورد استفاده قرار گیرد.

آبدینی و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که تغییرات کاربری اراضی و استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی در مناطق شهری اندونزی باعث تغییرات فضایی و زمانی در میزان فرونشست از ۵ تا ۱۰ سانتیمتر در سال می‌شود. این پدیده می‌تواند اثرات منفی بر محیط زیست، زیرساخت‌ها و اقتصاد منطقه داشته باشد. موو[1] و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات کاربری اراضی از کشاورزی به شهری را عامل اصلی غرق شدن جاکارتا دانستند. آنها با بررسی نقشه‌ها و تحلیل فرونشست منطقه، گزارش کردند که برخی مناطق سالانه تا ۱۵ سانتیمتر فرونشست را تجربه می‌کنند. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰، ۹۵ درصد از شمال جاکارتا زیر آب برود. در همین راستا، نرخ فرونشست در بانکوک و هوشی‌مین به ترتیب ۲ و ۵ سانتیمتر در سال است. لامیچان و شاکیا[2] (۲۰۱۹) در تحقیقی اثر تغییرات کاربری اراضی بر منابع آب زیرزمینی را در دره کاتماندو نپال بررسی کردند. این مطالعه نشان داد که در دهه گذشته، تغییرات کاربری‌ها به نواحی غیرقابل نفوذ منجر به کاهش ۶ درصدی تغذیه آب‌های زیرزمینی شده است. گارک[3] و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای در شمال هند، ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و آب‌های زیرزمینی را بین سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۱ بررسی کردند. آنها به عدم تعادل بین استفاده و تأمین منابع آب زیرزمینی پی برده و کاهش ۲۲ درصدی منابع آب زیرزمینی را به تغییرات کاربری از زمین‌های چمن به کاشت اکالیپتوس و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی نسبت دادند. این روند منجر به تغییرات در فرم و سطح زمین و نهایتاً فرونشست شد. در آسیای جنوب شرقی، رشد سریع کلان‌شهرها موجب بروز مشکل جدی در مناطق مختلف شده است. ژان[4] و همکاران (۲۰۲۳) نیز به بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی کشاورزی به مسکونی در زمینه فرونشست پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که در بسیاری از شهرها فرونشست با گسترش شهرنشینی و

[1] - Moe
[2] - Lamichhane & Shakya
[3] - Garak
[4] - Zhang

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

تغییر کاربری اراضی کشاورزی به اراضی شهری ارتباط دارد. در منطقه مرکزی چنگدو، نتایج نرخ فرونشست از ۱۲/۲۱- میلی‌متر تا ۱۳/۸ میلی‌متر در سال متغیر بود. در منطقه آلبانی، اسکندراس [1] و همکاران (۲۰۲۱) اثرات فرونشست ناشی از فشردگی رسوبات و پمپاژ بیش از حد آب زیرزمینی را مورد بررسی قرار دادند. همچنین، گزارش‌های متعدد در خصوص فرونشست زمین، به ویژه در مناطق خشک و کم‌باران، اهمیت این موضوع را بیشتر می‌کنند. از جمله پژوهش‌های مهم می‌توان به تحقیقات لارسن [2] (۲۰۰۱)، کارمیناتی [3] و همکاران (۲۰۰۲)، وانگ [4] و همکاران (۲۰۱۵) پاردل [5] و همکاران (۲۰۱۷) اشاره کرد که همچنان فرونشست را به عنوان یک مشکل جهانی حل‌نشده باقی می‌گذارند. به همین دلیل، بسیاری از مناطق به راهنمایی برای مقابله با این مشکل نیاز دارند، همان‌طور که ارکان و همکاران (۲۰۲۰) نیز اشاره کرده‌اند.

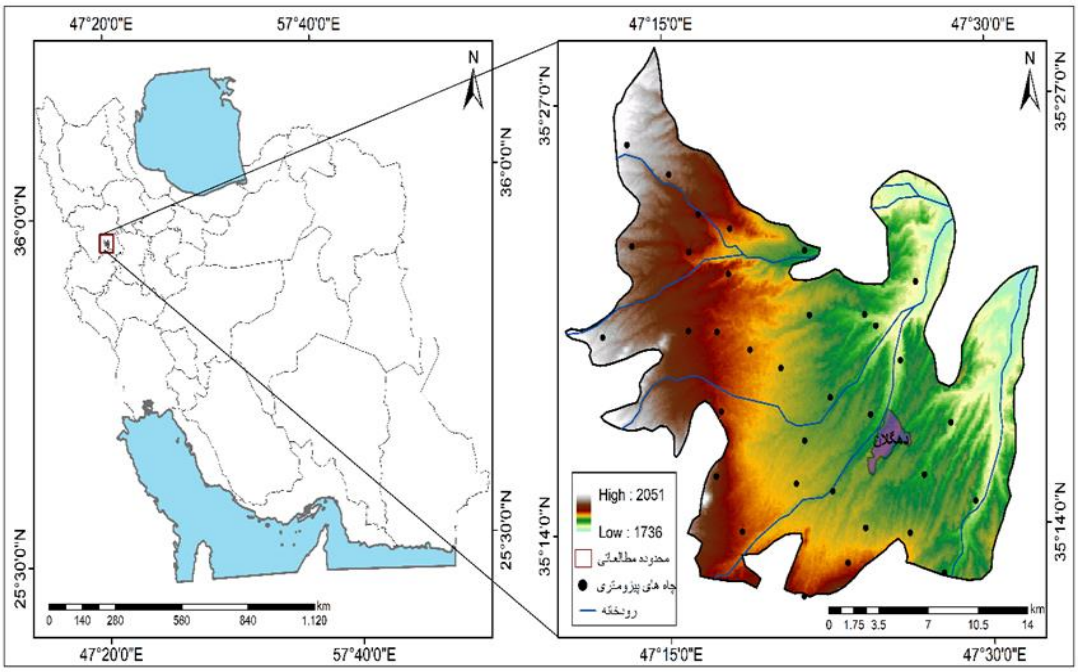
روش شناسی پژوهش

۱. قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان کردستان، در شرق شهرستان سنندج بین طول‌های جغرافیای ´۴ °۴۷ تا ´۹ °۴۷ شرقی و ´۵ °۳۵ تا ´۷ °۳۵ عرض شمالی، در مرکز شهرستان دهگلان قرار دارد این دشت از شمال به شهرستان‌های بیجار و دیواندره، از شرق به بخش مرکزی شهرستان قروه، از جنوب به شهرستان‌های کامیاران و سنقر، و از غرب به شهرستان سنندج محدود می‌شود. دشت دهگلان با ارتفاع ۱۸۷۶ متر از سطح دریا، بزرگ‌ترین دشت استان کردستان محسوب می‌شود. حوضه آبریز دشت قروه در شرق این منطقه قرار دارد و دارای روند شمال‌غربی – جنوب‌شرقی است. وسعت حوضه آبریز دشت دهگلان برابر با ۲۸۷۰ کیلومترمربع و مساحت دشت آبرفتی آن ۷۲۶,۲۹۳ کیلومترمربع است. این محدوده مطالعاتی، بخشی از سرشاخه‌های رودخانه تلوار در حوضه آبریز سفیدرود بوده و از نظر اقلیمی، دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد (بر اساس روش دومارتن) است. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه ۳۶۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. این دشت، به دلیل وسعت زیاد، پتانسیل بالای منابع آب و خاک، و شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی مناسب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. توپوگرافی منطقه عمدتاً ملایم بوده و کلاس‌های شیب ۰ تا ۲ درصد و ۲ تا ۵ درصد، بیش از ۸۵ درصد سطح دشت را پوشش می‌دهند. حداقل ارتفاع این منطقه ۱۷۳۱ متر و حداکثر ارتفاع آن ۲۰۵۰ متر است.

[1] - Skanderbeg
[2] - Larson
[3] - Carminati
[4] - Vank
[5] - Pordel

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۲. داده‌ها و روش کار

در این پژوهش، جهت تهیه نقشه کاربری اراضی دشت، طی ۲۲ سال (۲۰۰۰–۲۰۲۱)، از دو تصویر سنجنده +ETM[1] لندست ۷ مربوط به سال ۲۰۰۰ و یک تصویر سنجنده OLI[2] ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۲۱ که از سایت داده‌های پایانه‌های رصد منابع طبیعی سازمان نقشه‌برداری زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (USGS)[3] استخراج و استفاده شد، استفاده گردید. در ادامه، ۱۲ تصویر سنتینل–۲ مربوط به سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ و دو تصویر لندست ۸ (سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) جهت استخراج شاخص NDVI[4] مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، برای محاسبه نرخ فرونشست، از ۸ تصویر سنتینل–۱ مربوط به سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱ از درگاه اینترنتی[5] دریافت شد. در آخر، جهت تعیین ارتباط سطح آب‌های زیرزمینی با تغییرات کاربری اراضی و پدیده فرونشست دشت دهگلان، داده‌های سطح آب زیرزمینی (چاه‌های پیزومتری) طی بازه زمانی ۲۸ ساله از سازمان امور آب استان کردستان دریافت شد و رابطه آن‌ها با یکدیگر مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. جداول ۱، ۲ و ۳ مشخصات تصاویر مورد استفاده را نشان می‌دهند.

جدول ۱. مشخصات تصاویر لندست

Date	Sensor	Landsat
۲۰۰۰/۰۶/۰۵	ETM +	۷
۲۰۱۴/۱۰/۲۶	OLI	۸
۲۰۱۵/۰۸/۲۶	OLI	۸
۲۰۲۱/۰۶/۲۳	OLI	۸

[1] - Enhanced Thematic Mapper Plus
[2] - Operational Land Imager
[3] - United States Geological Survey
[4] - Normalized Difference Vegetation Index
[5] - https://earthexplorer.usgs.gov

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

جدول ۲. مشخصات تصاویرسنتینل-۱

Data	Track	Baseline	Polarization	Modeled coherency	Mster/slave
۲۰۱۴/۱۰/۳۰	۶	۰	VV	۰/۶۷	Slave
۲۰۱۵/۰۸/۲۶	۶	۳۸	VV	۱/۰۰	Master
۲۰۱۶/۰۸/۲۰	۶	۰	VV	۱/۰۰	Master
۲۰۱۷/۰۸/۱۵	۶	۳۵	VV	۰/۶۲	Slave
۲۰۱۸/۰۵/۲۴	۶	۹	VV	۱/۰۰	Master
۲۰۱۹/۰۵/۱۹	۶	۱۹	VV	/۰۶۳	Slave
۲۰۲۰/۱۰/۱۶	۱۷۴	۷۵	VV	۱/۰۰	Master
۲۰۲۱/۱۰/۱۱	۱۷۴	۶۷	VV	۰/۶۷	Slave

جدول ۳. مشخصات تصاویر سنتینل-۲

Date	sensor
۲۰۱۶/۰۸/۱۹	S2B
۲۰۱۷/۰۸/۱۹	S2B
۲۰۱۸/۰۵/۱۹	S2B
۲۰۱۹/۰۵/۳۱	S2B
۲۰۲۰/۱۰/۱۷	S2B
۲۰۱۷/۰۸/۱۵	S2B

در این پژوهش، قبل از انجام تداخل‌سنجی جهت بررسی حجم پوشش گیاهی منطقه و اطمینان از انتخاب تصاویر مناسب با توجه به تاریخ تصاویر سنتینل-۱، اقدام به تهیه شاخص NDVI منطقه شد. به دلیل قرارگیری دشت دهگلان در مرز بین فریم‌ها، برای تهیه نقشه‌های شاخص NDVI از دو تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و ۱۲ تصویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ استفاده شد. تاریخ تصاویر به‌گونه‌ای انتخاب شد که کمترین فاصله زمانی با تصاویر سنتینل-۱ داشته باشد. به این ترتیب، پس از تصحیحات اتمسفری سنتینل-۲ با به‌کارگیری پردازش‌گر سن۲ کور و تصحیح اتمسفری تمامی باندهای سنجنده OLI لندست، این محاسبات و تمامی تصحیحات و پیش‌پردازش‌ها در نرم‌افزارهای SNAP و GIS انجام شد.

تداخل‌سنجی رادار دهانه ترکیبی یا InSAR یک فناوری دورسنجی است که به‌منظور مطالعه حرکات سطح زمین در زمین‌لرزه ۱۹۹۲ لندرز کالیفرنیا ابداع شد. در این فناوری، با استفاده از تلفیق داده‌های به‌دست‌آمده از سیستم‌های تصویربرداری راداری نصب‌شده بر سکوی‌های ماهواره‌ای یا هواپیمایی، حرکت، ارتفاع و تغییرات سطح زمین نقشه‌برداری می‌شوند. اساس کار در اندازه‌گیری حرکات سطح زمین استفاده از تصاویر تکراری رادار است. تصویری که از یک منطقه در یک زمان مشخص برداشت می‌شود (زمان مرجع) با تصویری که در زمان دیگر توسط همان سنجنده رادار برداشت می‌شود، تلفیق می‌شود. در محدوده مطالعاتی، جهت استخراج نرخ و دامنه فرونشست، تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی راداری مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق، به‌منظور محاسبه فرونشست از تصاویر سنتینل رادار با فرمت (SLC) تک‌منظره با پالاریزاسیون VV جهت محاسبه میزان نرخ جابه‌جایی استفاده شد. بنابراین اساس کار در اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین، استفاده از تصاویر راداری مناسب می‌باشد. مهم‌ترین نکات در زمینه انتخاب تصاویر مناسب شامل: انتخاب تصاویر در بازه زمانی مناسب، بررسی وضعیت پوشش گیاهی (NDVI)، انتخاب baseline مناسب، حداقل فاصله زمانی در زوج تصاویر و در نهایت *Master* و *Slave* می‌باشد. به این ترتیب، هشت تصویر نزولی منطقه برای سال‌های مورد نظر (۲۰۲۱-۲۰۱۴) انتخاب و دانلود شد. در ادامه، فرآیند تداخل‌سنجی توسط نرم‌افزار SNAP در هشت مرحله شامل: انتقال داده‌ها به نرم‌افزار و تغییر دادن آنها به داده‌های مختلط منفردنگر (SLC)، ثبت هندسی داده‌ها، تهیه تداخل‌نگار، حذف اثر توپوگرافی، قرار دادن فیلتر، برآورد فاز و زمین‌مرجع‌سازی انجام شد.

اطلاع از نسبت کاربری‌ها و نحوه تغییرات آن در گذر زمان یکی از مهم‌ترین موارد در برنامه‌ریزی‌ها می‌باشد. با اطلاع از نسبت تغییرات کاربری‌ها در گذر زمان، می‌توان تغییرات آینده را پیش‌بینی نمود و اقدامات مقتضی را انجام داد (فیضی‌زاده و همکاران،

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

۱۳۷۸). داده‌های سنجش از دور به دلیل ارائه اطلاعات به‌هنگام، تنوع اشکال، رقومی بودن و امکان پردازش رقومی، در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی کاربرد گسترده‌ای دارند. بر همین اساس، تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی می‌تواند به شناسایی پوشش زمین کمک کند. به‌منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی دشت دهگلان، تصحیحات اتمسفری و رادیومتریک و استخراج نقشه‌های مربوطه از نرم‌افزار ARCGIS نسخه ۱۰/۵ استفاده شد. با توجه به آشنایی بسیار بالا با منطقه مورد مطالعه، در این پژوهش جهت انجام طبقه‌بندی کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده شده است و برای صحت سنجی آن از ضریب کاپا ۰/۹۵ به کار گرفته شده است. همچنین در این تحقیق، مشاهدات مزرعه‌ای و نقاط معتبر زمینی و همچنین گزارش‌هایی که درباره کاربری‌های منطقه در ادوار مختلف ارائه شده، برای تکمیل اطلاعات استفاده شده است. جهت بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی دشت دهگلان از داده‌های تراز آب زیرزمینی در دو سال ۱۳۷۹ و ۱۴۰۱ و همچنین میانگین سطح تراز آب در بازه زمانی ۲۸ ساله از سازمان امور آب کردستان (۱۴۰۰) دریافت و بررسی شد. در نهایت، رابطه این داده‌ها با تغییرات کاربری اراضی دشت دهگلان به‌صورت جداول و نمودار نمایش داده شد. برای بررسی و مشاهده آثار فرونشست و تغییرات کاربری، به منطقه مورد مطالعه مراجعه شده و مناطق مورد فرونشست شناسایی گردید. سپس به کمک GPS و نرم‌افزار GOOGLE EARTH، موقعیت نقاط فرونشست با نقشه پهنه‌بندی‌شده همپوشانی و مطابقت داده شد. همچنین در این پژوهش، گزارش‌ها و مصاحبه‌های انجام‌شده در خصوص فرونشست در دشت دهگلان از سازمان امور آب استان کردستان و اداره امور آب و فاضلاب شهرستان دهگلان (۱۴۰۰) دریافت و مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌های پژوهش

۱. شاخص NDVI

گیاهان در طول دوره رشد خود، بازتابندگی متفاوتی دارند و در هر مرحله از رشد، مقدار بازتابندگی آنها در باندهای مختلف طیف الکترومغناطیسی تغییر می‌کند (ماچر و فودی[1]، ۲۰۰۸؛ پاردل[2]، ۲۰۱۷). شاخص تفاوت نرمال‌شده گیاهی، کمیتی است که با استفاده از باند قرمز مرئی و فروسرخ نزدیک طیف الکترومغناطیسی تعریف می‌شود (رو و همکاران، ۲۰۰۰). این شاخص با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شده و تمامی تصحیحات و پیش‌پردازش‌های تصاویر در نرم‌افزارهای SNAP و GIS انجام گردید.

$$NDVI= (NIR-RED)/(NIR+RED)$$ رابطه (۱)

شاخص NDVI بر اساس میزان بازتاب طیف الکترومغناطیسی از گیاهان، اطلاعاتی از وضعیت، حجم و سلامت پوشش گیاهی زمین‌های کشاورزی تهیه می‌کند. ساختار این شاخص مبتنی بر وجود کلروفیل در گیاهان مختلف است که نور قرمز را جذب و لایه مزوفیل برگ، نور مادون قرمز نزدیک را منعکس می‌سازد. مقدار عددی این شاخص بین منفی ۱ و مثبت ۱ متغیر است و مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده افزایش تراکم پوشش گیاهی است. جدول ۴ مشخصات شاخص NDVI در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۴ و شکل ۳ دو نقشه این شاخص را نشان می‌دهد.

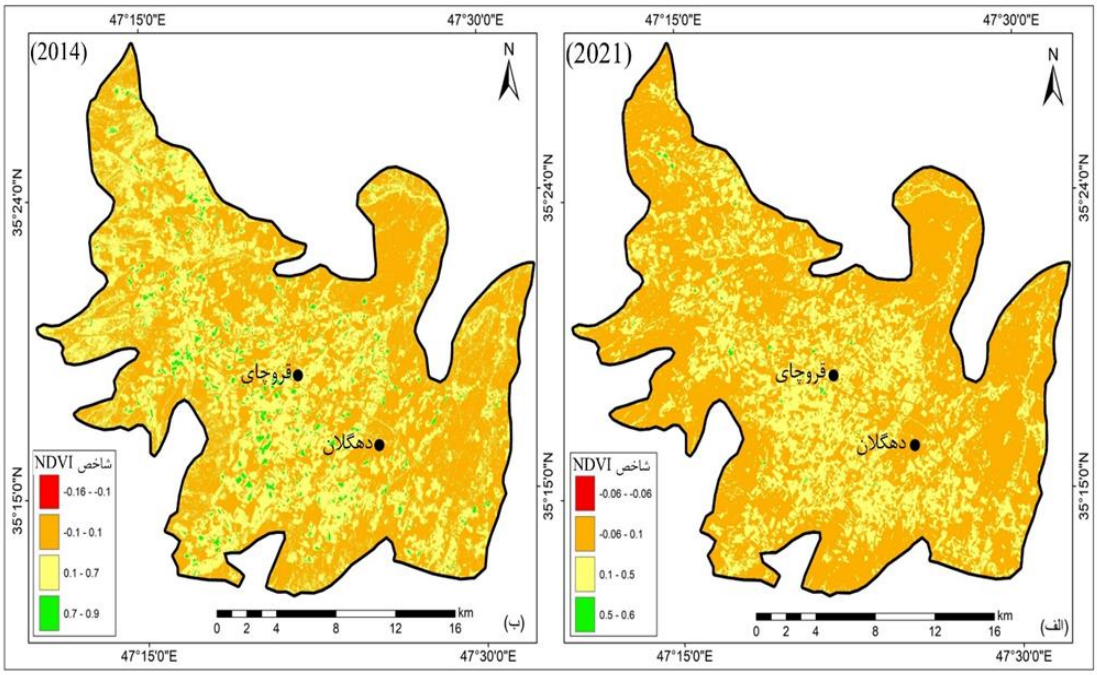
جدول ۴. مشخصات درصد شاخص NDVI دو سال ۲۰۲۱ و ۲۰۱۴

سال	نوع کاربری	شاخص NDVI	درصد
۲۰۱۴	اراضی آبی و سنگی	-۰/۰۶ - -۰/۰۸	۰/۸۲
	اراضی بدون پوشش	۰/۱ - -۰/۰۶	۰/۲۳
	اراضی با پوشش کم و تنک	۰/۵ - ۰/۱	۰/۷۶
	اراضی با پوشش متراکم	۰/۶ - ۰/۵	۰/۱۸
۲۰۲۱	اراضی آبی و سنگی	-۰/۱ - -۰/۱۶	۰/۵۳
	اراضی بدون پوشش	۰/۱ - -۰/۱	۵۶/۵
	اراضی با پوشش کم و تنک	۰/۷ - ۰/۱	۴۱/۴

[1] - Mathur & Foody
[2] - Pordel

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

سال	نوع کاربری	شاخص NDVI	درصد
	اراضی با پوشش متراکم	۰/۹ – ۰/۰۷	۱/۵۷



شکل ۲. نقشه شاخص NDVI دشت دهگلان-الف) ۲۰۱۴ ب) ۲۰۲۱

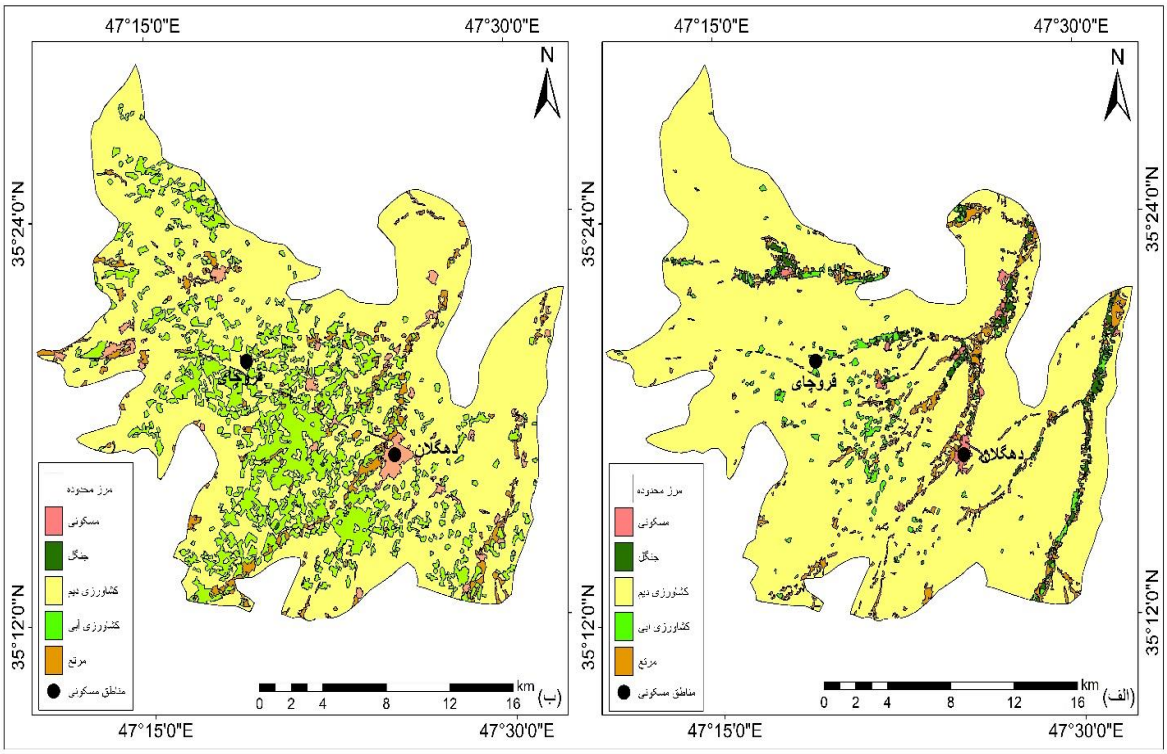
۲. کاربری اراضی

در این پژوهش، ابتدا به‌منظور بررسی وضعیت کاربری اراضی و تغییرات آن طی یک دوره‌ی ۲۲ ساله، از نرم‌افزار GIS و روش طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده شد. در این راستا، کاربری اراضی دشت دهگلان به پنج کلاس طبقه‌بندی گردید. سپس، به‌منظور صحت‌سنجی نتایج، از نرم‌افزار Google Earth، مشاهدات میدانی و داده‌های جهاد کشاورزی شهرستان دهگلان بهره گرفته شد. در ادامه، نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱ تهیه شده و در نهایت، تغییرات کاربری طی این بازه‌ی زمانی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۰، اراضی کشاورزی آبی عمدتاً به‌صورت پراکنده در مرکز دشت واقع شده‌اند. زمین‌های مجاور رودخانه در این دوره، تنها وابسته به منابع آب زیرزمینی نبوده، بلکه بخشی از آن‌ها از آب رودخانه‌ها و چشمه‌های موجود در دشت دهگلان تغذیه شده‌اند. به همین دلیل، در نقشه‌ی سال ۲۰۰۰، این اراضی در امتداد رودخانه‌ی دشت قرار گرفته‌اند. در این دوره، اراضی دیم بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند و پس از آن، مراتع، اراضی آبی، جنگل و مناطق مسکونی به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

در سال ۲۰۰۰، دشت دهگلان دارای ۴۶۵ هکتار اراضی جنگلی بوده است که عمدتاً در امتداد رودخانه‌ها به‌صورت پوشش طبیعی و در برخی موارد، به‌صورت باغات پراکنده در دشت مشاهده می‌شود. اراضی مسکونی در این مدت ۴۵۵ هکتار وسعت داشته و مراتع نیز با ۲۲۴۷ هکتار در وضعیت مطلوبی قرار داشته‌اند. در نهایت، با تولید نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۲۰۲۱ مشخص شد که مساحت دو کاربری اراضی آبی و مسکونی با افزایش چشمگیری مواجه بوده است. به‌طور مشخص، اراضی آبی ۶۷۲ هکتار و اراضی مسکونی ۸۴۷۷ هکتار افزایش یافته‌اند. در این مدت، اراضی آبی به‌صورت متمرکز و پراکنده در دشت دهگلان گسترش یافته که این امر نشان‌دهنده‌ی افزایش استفاده از آب‌های زیرزمینی و حفر بیشتر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق است. افزایش اراضی مسکونی و انسان‌ساخت نیز عمدتاً به دلیل توسعه و پیشرفت شهرک‌های مسکونی، صنعتی، سیلوها، استخرهای موجود در مزارع و کمربندی‌های حاشیه‌ی شهرستان دهگلان بوده است. نکته‌ی قابل توجه آن است که بیشتر

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

توسعه‌ی اراضی مسکونی در اراضی بکر دیم، حریم رودخانه‌ها و اراضی آبی صورت گرفته است. شکل ۵ و جدول ۵ به‌ترتیب، نقشه‌ی کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ و مشخصات مساحت و میزان تغییرات کاربری اراضی را نمایش می‌دهند.



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۰ (راست) سال ۲۰۲۱ (چپ)

نکته قابل توجه اینکه بیشتر توسعه اراضی مسکونی در اراضی بکر دیم و حریم رودخانه‌ها و اراضی آبی صورت گرفته است. شکل ۵ و جدول ۵ به ترتیب دو نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ و مشخصات مصاحت و میزان تغییرات کاربری اراضی را نشان می‌دهد.

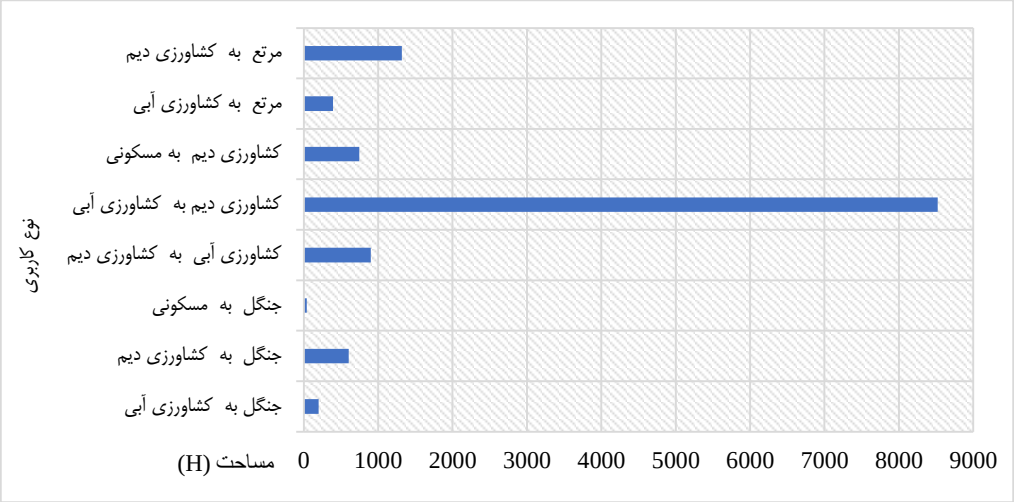
جدول ۵. میزان و درصد تغییرات

ردیف	نوع کاربری اراضی	مساحت کاربری (۱۳۷۸) (h)	مساحت کاربری (۱۴۰۱) (h)	میزان تغییرات (h)	درصد تغییرات
۱	اراضی کشاورزی دیم	۴۵۷۳۳	۳۷۱۱۰	-۸۶۰۵	-۰/۱۸۸
۲	اراضی کشاورزی آبی	۱۲۱۴	۹۶۹۱	۸۴۷۷	۶/۹۸
۳	اراضی مسکونی	۴۵۶	۱۱۲۸	۶۷۲	۱/۴۷
۴	جنگل	۴۶۵	۲۳۱	-۲۳۴	-۰/۶۴
۵	مرتع	۲۲۴۷	۱۹۲۱	-۳۲۶	-۰/۱۴

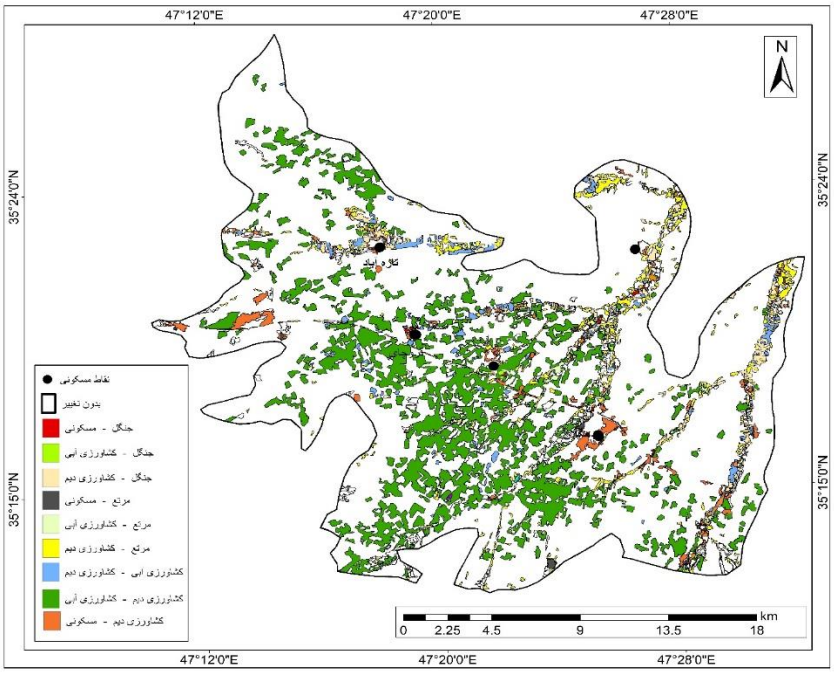
نمودار وضعیت تغییرات کاربری اراضی دشت دهگلان طی بازه زمانی ۲۲ ساله را نشان می‌دهد. طبق نقشه سال ۲۰۲۱ سه کاربری دیم، جنگل و مرتع با کاهش قابل توجه روبه رو بوده به طوری که این اراضی به ترتیب ۸۶۰۵، ۲۳۴ و ۳۲۶ هکتار کاهش پیدا کرده است. بنابراین اراضی آبی و مسکونی با رشد ۶/۹۷ و ۱/۴۸ درصدی مواجه بوده و سه کاربری دیم،جنگل و مرتع با کاهش ۰/۱۸، ۰/۹۷ و ۰/۱۴ درصد روبه روشده است.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]



شکل ۴. نمودار تغییرات کاربری اراضی دشت دهگلان در بازه‌ی زمانی ۲۲ ساله (۲۰۲۱-۲۰۰۰)



شکل ۵. نقشه تغییرات کاربری اراضی دشت دهگلان از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱

۳. بررسی وضعیت فرونشست

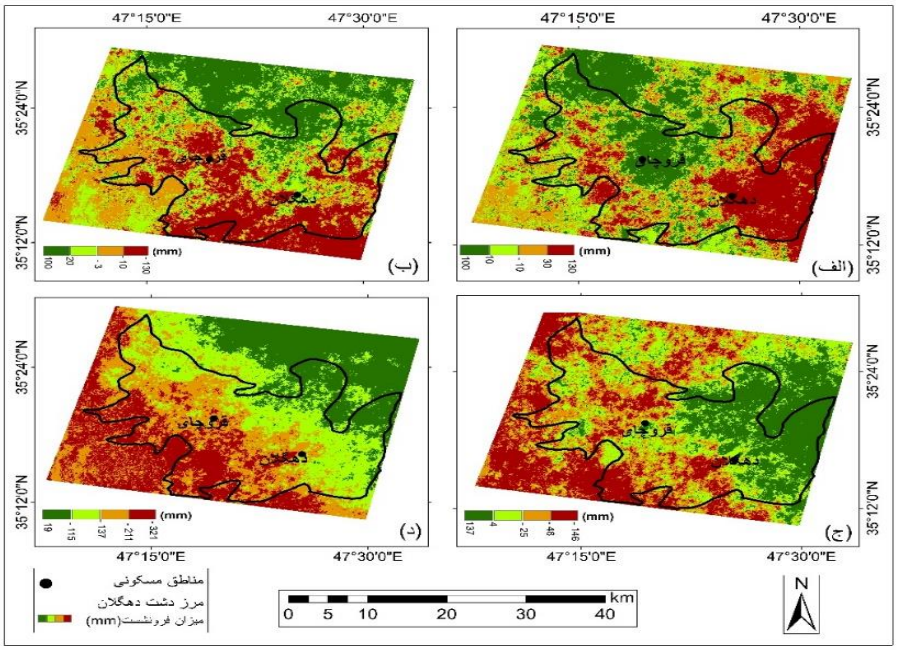
در این پژوهش، به‌منظور بررسی میزان و پراکنش فرونشست زمین در دشت دهگلان، تداخل‌سنجی راداری در هشت مرحله با استفاده از نرم‌افزار SNAP انجام شد. در ادامه، چهار زوج تصویر راداری مربوط به بازه‌ی هشت‌ساله پردازش و در نرم‌افزار GIS مرتب‌سازی گردید. نتایج حاصل نشان داد که میانگین و مجموع فرونشست در منطقه به‌ترتیب ۶۰ و ۴۸۰ میلی‌متر است. بر این اساس، منطقه‌ی مورد مطالعه به چهار ناحیه‌ی مجزا پهنه‌بندی شد و مساحت هر طبقه تعیین گردید. بررسی نقشه‌های به‌دست‌آمده نشان داد که میزان فرونشست در دو زوج تصویر مربوط به سال‌های ۲۰۱۴–۲۰۱۵ و ۲۰۱۶–۲۰۱۷ برابر ۱۳۰ میلی‌متر بوده است، درحالی‌که این مقدار در سال‌های ۲۰۱۸–۲۰۱۹ و ۲۰۲۰–۲۰۲۱ به‌ترتیب ۱۴۶ و ۳۲۱ میلی‌متر ثبت شده است. الگوی پراکنش فرونشست نشان می‌دهد که بیشترین میزان فرونشست در غرب، جنوب‌غرب و مرکز دشت دهگلان رخ داده است، درحالی‌که این مقدار به‌سمت شمال‌شرق، شرق و جنوب‌شرق کاهش می‌یابد. به‌طور خاص، زمین‌های واقع در مناطق تازه‌آباد، قروچای، سراب، سراب حاجی‌پمق، کروندان، کریم‌آباد، سیس، مبارک‌آباد و چراغ‌آباد با فرونشست ۳۲۱ تا ۲۱۰ میلی‌متری

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

مواجه بوده‌اند، درحالی‌که میزان فرونشست در مناطق عباس‌چوب، حسن‌آباد، آب‌باریک، طهماسب‌بقلی، تازه‌آباد آرزن، حسینی و ناصرآباد حدود ۱۱۰ میلی‌متر برآورد شده است. در نتیجه، پهنه‌بندی فرونشست نشان می‌دهد که ۲۱/۸ درصد ز منطقه در محدوده‌ی ریسک زیاد، ۳۲/۵ درصد در محدوده‌ی ریسک متوسط، ۳۱/۸ درصد در محدوده‌ی ریسک کم و ۱۳/۹ درصد در محدوده‌ی ریسک پایین یا بسیار کم قرار دارد. بر اساس این طبقه‌بندی، حدود ۱۱/۰۰۰ هکتار از اراضی دشت دهگلان در محدوده‌ی فرونشست زیاد و ۱۶/۲۹۶ هکتار در محدوده‌ی فرونشست متوسط قرار گرفته‌اند. شکل۶ نقشه‌ی پهنه‌بندی‌شده فرونشست و جدول ۶ مساحت چهار طبقه‌ی فرونشست را نمایش می‌دهد.

جدول ۶. درصد مساحت طبقات فرونشست دشت

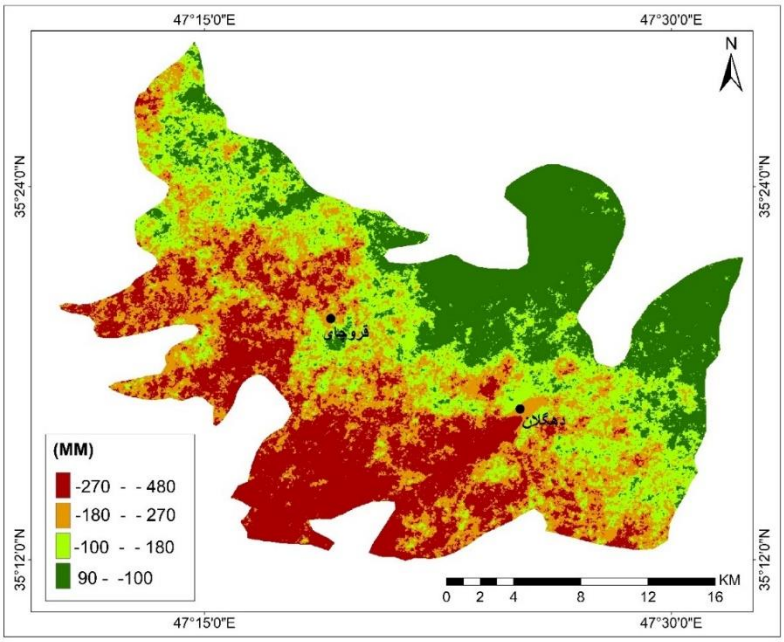
شماره	فرونشست	مساحت (هکتار)	درصد
۱	زیاد	۱۰۹۰۶	۲۱/۸
۲	متوسط	۱۶۲۹۶	۳۲/۵۶
۳	کم	۱۵۹۲۰	۳۱/۸
۴	خیلی کم	۶۹۶۱	۱۳/۹



شکل ۶. چهار نقشه فرونشست دشت دهگلان طی دوره ۸ ساله

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]



شکل ۷. نقشه پهنه بندی فرونشست دشت دهگلان

۴. بررسی وضعیت سطح آب زیرزمینی

در این پژوهش، به‌منظور بررسی رابطه‌ی بین کاربری اراضی دشت دهگلان و عمق آب زیرزمینی، داده‌های مربوط به عمق چاه‌های مرتبط با هر کاربری در سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۴۰۱ جمع‌آوری و پردازش شد. مشخصات عمق سطح آب زیرزمینی برای هر کاربری در این دو سال در جداول (۷) و (۸) نمایش داده شده است. به‌منظور تحلیل دقیق‌تر این رابطه، پس از تهیه‌ی نقشه‌های کاربری اراضی برای هر سال، نقاط پیزومتری با لایه‌ی کاربری همپوشانی شده و برای افزایش دقت نتایج، از نرم‌افزار Google Earth استفاده گردید.

نتایج نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۰، بیشترین میانگین عمق آب زیرزمینی مربوط به اراضی کشاورزی دیم با ۱۸/۴۷ متر و کمترین میانگین عمق آب متعلق به اراضی کشاورزی آبی با ۷/۹ متر بوده است. در مقابل، براساس نقشه‌های کاربری اراضی و عمق آب زیرزمینی در سال ۲۰۲۰، بیشترین میانگین عمق آب در این سال مربوط به اراضی کشاورزی آبی با ۵۰/۲۴ متر و کمترین میانگین عمق آب متعلق به اراضی مرتع با ۱۷/۱ متر ثبت شده است. مقایسه‌ی عمق آب زیرزمینی در دو بازه‌ی زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد که میانگین عمق آب در تمامی کاربری‌ها طی ۲۰ سال افزایش یافته است که این امر بیانگر کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و استفاده‌ی بیش از حد از این منابع است. در این میان، عمق آب در اراضی مرتعی نه‌تنها کاهش نیافته، بلکه افزایش چشمگیری نیز داشته است. دامنه‌ی این تغییرات به حدی گسترده است که، به‌عنوان نمونه، حداکثر عمق آب در اراضی کشاورزی آبی از ۱۱/۵ متر در سال ۱۳۷۸ به ۹۴ متر در سال ۱۴۰۱ افزایش یافته است. همچنین، رابطه بین تغییرات کاربری اراضی و عمق آب زیرزمینی نشان می‌دهد که با افزایش مساحت برخی کاربری‌ها، عمق آب زیرزمینی در آن‌ها نیز به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. برای نمونه، حداکثر عمق آب در مناطق مسکونی از ۱۹/۵ متر در سال ۱۳۷۸ به ۴۵/۶۸متر در سال ۱۴۰۱ افزایش یافته است، در حالی که مساحت اراضی مسکونی از ۳۲۱ هکتار به ۱۰۱۶ هکتار افزایش داشته است. این یافته‌ها نشان‌دهنده رابطه مستقیم میان گسترش مناطق مسکونی و افت سطح آب زیرزمینی در دشت دهگلان است. جداول (۷) و (۸) میزان تغییرات کاربری اراضی و عمق آب زیرزمینی را برای هر کاربری نمایش می‌دهند.

با توجه به میزان تغییرات کاربری اراضی و عمق آب زیرزمینی هر کاربری به راحتی میتوان فهمید با افزایش اراضی مسکونی،آبی، میزان درخواست و استخراج آب بیشتر و همچنین تغییر در میزان مساحت اراضی مرتع، رودخانه، جنگل و دیم

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

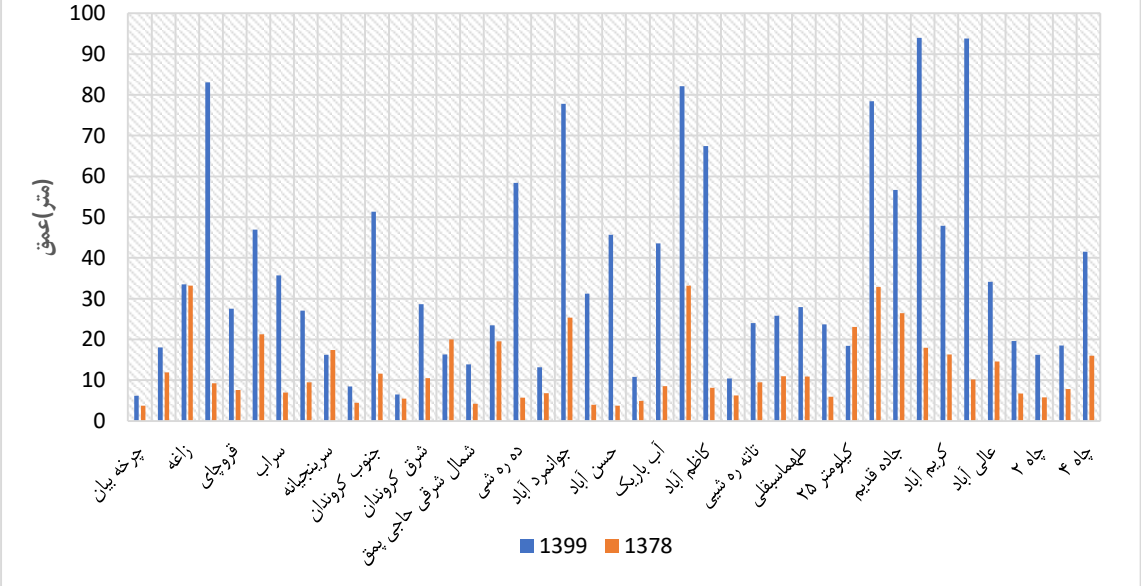
بالطبع عمق چاه‌ها افزایش می‌ابد در ادامه جهت آشکار کردن وضعیت تراز آب زیرزمینی دشت دهگلان، تراز آب زیرزمینی سال پایه و سال آخر به صورت نمودار در شکل ۸ نمایش داده شد.

جدول ۷. مشخصات آماری تراز آب زیرزمینی کاربری سال ۱۳۷۸ (۲۰۰۰)

ردیف	کاربری	تراز آب حداقل (m)	تراز آب حداکثر(m)	میانگین تراز آب (m)
۱	اراضی کشاورزی دیم	۳/۷	۳۳/۲۲	۱۸/۴۷
۲	اراضی کشاورزی آبی	۴	۱۱/۵	۷/۹
۳	اراضی مرتع	۴/۸	۱۴/۶	۹/۴
۴	مناطق مسکونی	۷	۱۹/۵	۱۳/۲۵
۵	جنگل	۱۰/۹۴	۱۰/۹۴	۱۰/۹۴

جدول ۸. مشخصات آماری تراز آب زیرزمینی کاربری سال ۱۴۰۱ (۲۰۲۱)

ردیف	کاربری	تراز آب حداقل (m)	تراز آب حداکثر(m)	میانگین تراز (m)
۱	اراضی کشاورزی دیم	۸/۴۵	۴۳/۶	۲۶/۰۲
۲	اراضی کشاورزی آبی	۶/۴۸	۹۴	۵۰/۲۴
۳	اراضی مرتع	۱۶/۲۱	۱۸	۱۷/۱
۴	مناطق مسکونی	۱۶/۲	۴۵/۶۸	۳۰/۹۴
۵	جنگل	۲۵/۸۲	۲۵/۸۲	۲۵/۸۲



شکل ۸. نمودار سطح تراز آب زیرزمینی دشت دهگلان طی دو بازه زمانی ۲۰۰۰و ۲۰۲۱

۴. مشاهدات میدانی

اعتبارسنجی داده‌های حاصل از تکنیک‌های سنجش از دور، به‌ویژه تداخل‌سنجی راداری، امری ضروری در مطالعات مرتبط با تغییرات ژئومورفولوژیکی و پدیده‌های زمین‌ساختی است که نیازمند تطبیق نتایج با داده‌های میدانی و مشاهدات عینی می‌باشد. در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی دقت داده‌های تداخل‌سنجی راداری و صحت‌یابی تغییرات کاربری اراضی، از گزارش‌های رسمی سازمان امور آب و فاضلاب شهرستان دهگلان و امور آب استان کردستان بهره گرفته شد. در مرحله‌ی بعد، مشاهدات میدانی و مصاحبه با کشاورزان و ساکنان محلی به‌عنوان شاهدان عینی انجام گرفت تا شواهد فیزیکی ناشی از فرونشست زمین مورد بررسی قرار گیرد. مهم‌ترین نشانه‌های میدانی ثبت‌شده در منطقه شامل بیرون‌زدگی لوله‌ی جدار چاه‌های مشاهده‌ای، گسیختگی لوله‌های چاه‌های بهره‌برداری، ترک‌خوردگی ساختمان‌ها، انحراف تیرهای چراغ‌برق و شکل‌گیری فروچاله‌ها بود که همگی مؤید

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

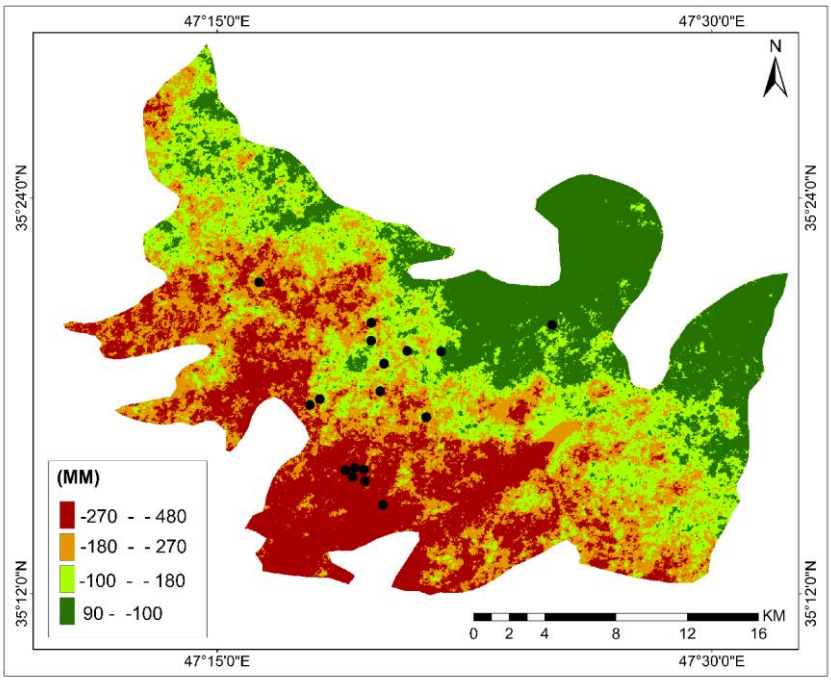
صحت داده‌های به‌دست‌آمده از روش‌های سنجش از دور می‌باشند. نتایج این اعتبارسنجی نشان داد که تغییرات کاربری اراضی و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، ارتباط مستقیمی با میزان فرونشست زمین در دشت دهگلان داشته و پیامدهای آن در زیرساخت‌های عمرانی و شبکه‌ی آبی منطقه نیز مشاهده شده است. شکل‌های (۹) و (۱۰) به ترتیب تصاویر مستند از وقوع فرونشست و تغییرات کاربری اراضی در منطقه‌ی مورد مطالعه را نمایش می‌دهند.

شکل ۹. الف) فرونشست سطحی در جداره لوله چاه بین دشت قروه و دهگلان ب)ترک خوردگی در دیواره خانه چاه روستایی کروندان ج) نمایان شدن فرونشست در حاشیه خانه‌های مزرعه روستای کروندان د) پایین رفتن سطح زمین و ارتفاع یافتن پایه‌های نمونه پایش فرونشست در روستای شهابیه

شکل ۱۰. تصاویر مربوط به تغییرات کاربری اراضی- الف)رودخانه دشت دهگلان ۲۰۱۴- ب)روخانه دشت دهگلان ۲۰۲۱- ج)گسترش شهرک‌های مسکونی و صنعتی در زمین‌های کشاورزی۲۰۲۱- د)گسترش استخردر ابعاد بزرگ برای ذخیره آب بیشتر۲۰۲۱ روستای کروندان

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]



شکل ۱۱. موقعیت مناطق فرونشست در بازدید میدانی بر روی نقشه پهنه بندی شده فرونشست

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش به‌طور شفاف نشان داد که تغییرات کاربری اراضی، تراز آب‌های زیرزمینی و فرونشست زمین دارای ارتباطی مستقیم و معنادار هستند. بررسی تغییرات کاربری اراضی طی بازه‌ی ۲۲ ساله نشان داد که اراضی آبی و مسکونی به ترتیب ۸۴۷۷ هکتار و ۶۷۲ هکتار افزایش داشته‌اند، درحالی‌که اراضی مرتعی و جنگلی به میزان ۴۱۵ و ۳۲۶ هکتار و اراضی دیم ۸۶۰۵ هکتار کاهش یافته‌اند. دلیل عمده‌ی افزایش اراضی آبی، صدور مجوزهای متعدد برای حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق از سوی اداره‌ی امور آب شهرستان دهگلان و سازمان امور آب استان کردستان بوده است. همچنین افزایش اراضی مسکونی و صنعتی عمدتاً در ضلع غربی، شمال غربی و جنوب غربی شهر مشاهده شد که روند توسعه‌ی شهری را در نواحی حاصلخیز دشت تسریع کرده و پیامدهایی همچون پراکندگی و انقباض شهری و در نتیجه، تخریب محیط‌زیست را در پی داشته است.

تحلیل داده‌های تداخل‌سنجی راداری نشان داد که ۲۰/۸ درصد از منطقه دارای ریسک بالای فرونشست با دامنه ۲۷۰ تا ۴۸۰ میلی‌متر، ۳۲/۵ درصد دارای ریسک متوسط با دامنه ۱۸۰ تا ۲۷۰ میلی‌متر، ۳۱/۵ درصد دارای ریسک کم با دامنه ۱۰۰ تا ۱۸۰ میلی‌متر و ۱۳/۹ درصد دارای ریسک پایین یا بسیار کم با فرونشستی کمتر ۱۰۰ میلی‌متر در طول دوره ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱ بوده است. بیشترین میزان فرونشست در غرب، جنوب، جنوب غربی و مرکز منطقه مشاهده شده که حدود ۵۴/۳ درصد از این مناطق در محدوده‌ی ریسک‌های بالا و متوسط قرار دارند. در مقابل، حاشیه‌های شرقی، شمال شرقی و جنوب شرقی دشت در محدوده‌ی ریسک کم فرونشست قرار گرفته‌اند. بررسی رابطه‌ی تغییرات کاربری اراضی با عمق آب زیرزمینی نشان داد که افزایش اراضی آبی مستقیماً منجر به افزایش میزان برداشت آب‌های زیرزمینی و در نتیجه، تشدید پدیده‌ی فرونشست شده است. مقایسه‌ی عمق آب زیرزمینی در پنج طبقه‌ی کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۲۱–۲۰۰۰ نشان داد که میانگین عمق آب در تمامی کاربری‌ها کاهش یافته است. بیشترین میانگین عمق آب در سال ۲۰۰۰ مربوط به اراضی دیم (۱۸/۴۷ متر) و کمترین آن مربوط به اراضی آبی (۷/۹ متر) بوده است، درحالی‌که در سال ۲۰۲۱، بیشترین عمق آب در اراضی آبی (۵۰/۲۴ متر) مشاهده شد که همزمان با بیشترین میزان فرونشست در این مناطق بود. علاوه بر این، عمق آب در اراضی مسکونی از ۱۹,۵ متر در سال ۲۰۰۰ به ۴۵/۶۸ متر در سال ۲۰۲۱ افزایش یافت که همزمان با افزایش مساحت این اراضی از ۳۲۱ هکتار به ۱۰۱۶ هکتار بوده است. رشد سریع جمعیت و توسعه‌ی شهری همراه با تمرکز حفر چاه‌ها در مرکز دشت موجب تشدید افت سطح آب‌های زیرزمینی و افزایش نرخ

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

فرونشست شده است. تغییر کاربری اراضی از کشاورزی دیم به کشاورزی آبی و صنعتی منجر به افزایش تقاضا برای آب و در نتیجه، کاهش کلی سطح آب زیرزمینی شده است. این مسئله به‌ویژه در محدوده‌ی مناطق صنعتی نمود بیشتری دارد. در نهایت، مجموعه‌ای از عوامل شامل رشد شهرنشینی، تغییرات کاربری اراضی، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و شرایط زمین‌شناختی منطقه منجر به گسترش پدیده‌ی فرونشست در اراضی کشاورزی و شهری شده است.

مقایسه یافته‌های این تحقیق با مطالعات حسینی و همکاران (۲۰۱۳)، عفیفی و همکاران (۲۰۱۹)، اصغری و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که رابطه‌ای معنادار و خطی بین تغییرات کاربری اراضی و تشدید فرونشست زمین وجود دارد. با این حال، تاکنون مطالعه‌ی جامعی که به‌طور خاص به بررسی رابطه‌ی مکانی تغییرات کاربری اراضی و فرونشست در دشت دهگلان بپردازد، انجام نشده است. با توجه به صدور مجوزهای بیشتر برای حفر چاه‌ها در دشت ممنوعه‌ی دهگلان، توسعه سیستم‌های آبیاری بارانی، ساخت‌وسازهای سنگین، توسعه‌ی ناموزن شهری و تغییرات گسترده‌ی کاربری اراضی، می‌توان نتیجه گرفت که روند افزایش برداشت آب‌های زیرزمینی و در نتیجه، نرخ فرونشست در دشت دهگلان در حال تسریع است. ادامه‌ی این روند، به‌ویژه بدون اجرای سیاست‌های کنترلی مناسب، می‌تواند منجر به گسترش دامنه‌ی فرونشست و تشدید آسیب‌های زیست‌محیطی و زیرساختی در منطقه شود.

بررسی نقشه های تغییرات کاربری اراضی و رابطهٔ آن با تشدید پدیده فرونشست و سطح سفره های آب زیرزمینی می تواند برای توسعه استراتژی‌های پایدار مدیریت فرونشست و منابع آب‌های زمینی و همچنین آگاهی از روند تغییرات کاربری اراضی در آینده مفید باشد. مهم‌ترین پیشنهادات جهت مدیریت و کاهش پدیده فرونشست در این راستا کاهش برداشت آب، ترویج صرفه جویی در آب و اجرای تغذیه آب‌های زیرزمینی که می تواند اثرات فرونشست را کاهش دهد. تغذیه آب‌های زیرزمینی شامل پر کردن عمدی منابع آب زیرزمینی از طریق تکنیک‌های مختلف مانند تغذیه مصنوعی است که آب را به زمین اضافه می کند تا منابع آب زیرزمینی تخلیه شده را دوباره پر کند. از این فرآیند برای افزایش حجم آب در سفره‌های زیرزمینی، بهبود کیفیت آب‌های زیرزمینی و جلوگیری از فرونشست زمین ناشی از برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. در ادامه اولویت‌بندی استفاده از منابع آب منتقل‌شده خارجی، محدود کردن بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی از لایه‌های مختلف آب زیرزمینی، ترویج فن‌آوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب در کشاورزی تسهیلات، و تنظیم ساختارهای کشت کشاورزی است همچنین با توجه به آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در طول ۲۲ سال یافته‌های این پژوهش برای برنامه‌ریزی دقیق منطقه قابل استفاده است تا بتوانند شهر را با استفاده از مزارع و با حفظ منابع آب مدیریت کنند و توسعه زیرساخت‌های شهری را در راستای توسعه پایدار زیست محیطی انجام دهند.

ملاحظات اخلاقی

نویسنده اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده و این موضوع مورد تأیید آنان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله.

نویسنده دوم: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله.

نویسنده سوم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسنده این مقاله تعارض منافع ندارد.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

حامی مالی

مقاله حاضر بدون حامی مالی انجام شده است.

سپاسگزاری

این پژوهش برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده دوم، تحت عنوان ارزیابی اثرات تغییرات سطح آبهای زیرزمینی بر تشدید فرونشست زمین (مطالعه موردی؛ دشت دهگلان) به راهنمایی نویسنده اول و سوم می باشد که در دی ماه سال ۱۴۰۱در دانشگاه شهید بهشتی تهران دفاع شده است.

نگارندگان بر خود لازم فرض می‌دانند از داوران محترم به خاطر مطالعه متن مقاله حاضر و ارائه نظرهای ساختاری و علمی ارزشمند سپاسگزاری نمایند.

منابع

احمدی، سلمان؛ و سودمند، افشار (۲۰۲۰). پایش فرونشست دشت‌های قروه و چهاردولی استان‌های همدان و کردستان به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی با استفاده از فن پراکنش‌گرهای دائمی. *محیط زیست و مهندسی آب*، ۶(۳)، ۲۱۹-۲۳۳.

اصغری سراسکانرود، صیاد؛ قلعه، احسان؛ و عبادی، الهامه (۱۴۰۰). بررسی تغییرات کاربری اراضی و ارتباط آن با سطح آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت اردبیل). *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱۲(۱)، ۸۶-۱۰۶.

اصغری سراسکانرود، صیاد؛ و محمدزاده، شیشه گران (۲۰۲۱). برآورد میزان فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و پارامترهای آب‌های زیرزمینی و کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت شهریار). *پژوهشهای ژئومورفولوژی کمّی*، ۱۰(۱)، ۴۰-۵۴.

اصغری سراسکانرود، صیاد؛ و محمدزاده، شیشه گران (۲۰۲۲). برآورد میزان فرونشست در دشت پاکدشت با استفاده از تداخل سنجی راداری و تحلیل پارامترهای موثر آب های زیرزمینی و کاربری اراضی. *زمین شناسی کاربردی پیشرفته*.

حسینی، سید محمد؛ ایثاری، محسن؛ بهرامی، جمیل؛ کریمی، سجاد؛ و فقیهی، فرهاد (۱۴۰۳). ارزیابی پدیده فرونشست به وسیله شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (منطقه مورد مطالعه: آبخوان دشت دهگلان استان کردستان). *محیط زیست و مهندسی آب*، ۱۱(۱), ۳۷-۴۶. http//doi.org/10.22034/ewe.2024.455792.1930

رجبی، معصومه؛ روستایی، شهرام؛ و جوادی، سیدمحمدرضا (۱۴۰۰). ارزیابی نرخ فرونشست دشت همدان-بهار و ارتباط آن با پارامترهای محیطی. *پژوهشهای ژئومورفولوژی کمّی*، ۱۰(۳)، ۱۷۵-۱۸۸. http//doi.org/10.22034/gmpj.2021.141036

سازمان امور آب استان کردستان (گزارشات و مشاهدات منطقه‌ای ۱۴۰۰).

شرکت مهندسی مشاورین ژرفاب استان کردستان (گزارش سال ۱۳۸۷).

شفیعی، نجمه؛ گلی مختاری، لیلا؛ امیراحمدی، ابوالقاسم؛ و زندی، رحمان (۲۰۲۰). بررسی فرونشست آبخوان دشت نورآباد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری. *پژوهشهای ژئومورفولوژی کمّی*، ۸ (۴)، ۹۳-۱۱۱.

عابدینی، موسی؛ و محمدزاده شیشه گران، مریم (۲۰۲۲). تغییرات کاربری اراضی و ارتباط آن با سطح آب‌های زیرزمینی و مخاطرات آن (مطالعهٔ موردی: شهرستان ملارد). *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۹(۱)، ۳۱-۴۴.

عفیفی، محمدابراهیم (۱۳۹۷). ارزیابی پتانسیل فرونشست زمین و عوامل مؤثر بر آن (مطالعه موردی: دشت سیدان فاروق مرودشت). *پژوهشهای ژئومورفولوژی کمّی*، ۵(۳)، ۱۲۱-۱۳۲.

نبوی، محمد (۱۳۵۶). *دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران*، سازمان زمین‌شناسی کشور.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]

References

Abidin, H.Z., Aas, Gumilar, H.I., Sidiq, T.P., & Gamal FIG Working Week, M. (2015). Environmental Impact of Land Subsidance in Urban Areas of Indonesia (7568) From the Wisdom of the AGges to the Challenges of the Modern World Sofia, *Bulgari*, 17-21.

Beinat, E., & Nijkamp, P. (1997). *Land use planning and sustainable development, Research Memorandum*. Vrije University, Amsterdam.

Carminati, E., & Martinelli, G. (2002). Subsidence rates in the Po Plain ،northern Italy: The relative impact of natural and anthropogenic causation. Engineering Geology, 66, 241-255. http//doi.org/10.1016/S0013-7952 (02)00031-5

Garg, K., Anantha, K. H., Nune, R., V. R., Akuraju, Singh, P., Gumma, M. K., Dixit, S., and Ragab, R. (2020). Impact of land use changes and management practices on groundwater resources in Kolar district, Southern India. *Journal of Hydrology: Regional Studies*.31, 1-21.

Heyuan, D.u., Linlin, G.e., Xiaojing, Li., & Alex Hay-Man N.g. (2016). Subsidence Monitoring over the Southern Coalfield, Australia Using both L-Band and C-Band SAR TimeSeries Analysis, *Remote sensing magazine*

Lamichhane, S., Narendra Man, S. (2019). Alteration of groundwater recharge areas due to land use/cover change in Kathmandu Valley, Nepal. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 26 100635.

Larson, K.J., Basagaoglu, H., & Marino, M.A. (2001). Prediction of optimal safe ground water yield and land model. *Journal of Hydrology*.

Liu, Z., Ng, A.H.M., Wang, H., Chen, J., Du, Z., & Ge, L. (2023). Land subsidence modeling and assessment in the West Pearl River Delta from combined InSAR time series, land use and geological data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 118, 103228.

Mathur, A., & Foody, G. M. (2008). Crop classification by support vector machine with intelligently selected training data for an operational application ،International Journal of Remote Sensing, 29(8), 2227-2240.

Moe, I.R., Kure, S., Januriyadi, N. F., Farid, M., Udo, K., Kazama, S., & Koshimura, S. (2017). Future projection of flood inundation considering land-use changes and land subsidence in Jakarta, Indonesia. *Hydrological Research Letters*, 11(2), 99-105.

Pordel, F., Ebrahimi, A.A. & Azizi, Z. (2017). Evaluating spatio-temporal phytomass changes using vegetation index derived from Landsat 8 (Case study: Mrajan rangeland, Boroujen). J. *Rangeland*. 2, 166-178. (In Persian)

Raucoules, D., Colesanti, C., & Carnec, C. (2007). Use of SAR interferometry for detecting and assessing ground subsidence. *Elsevier Comptes Rendus Geoscience*, 339, 289–302.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., & Deering, D.W. (1974). M*onitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. In: S. C. Freden (eds) 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS), Symposium. Washington. D.C. USA. P 309-317.

Tomás, R., Márquez, Y., Lopez-Sanchez, J.M., Delgado, J., Blanco, P., Mallorquí, J.J., & Mulas, J. (2005). Mapping ground subsidence induced by aquifer overexploitation using advanced Differential SAR Interferometry: Vega Media of the Segura River (SE Spain) case study. Remote Sensing of Environment, 98(2-3), 269-283.

Zhang, J., Gao, J., Yang, S., & Guo, Y. (2023). Evaluation of the Impact of Urbanization Factors on Land Subsidence by GWR. In IGARSS 2023-2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (pp. 3659-3662). IEEE.

Zhang, Y., Liu, Y., Zhang, X., Huang, H., Qin, K., Bai, Z., & Zhou, X. (2021). Correlation analysis between land-use/cover change and coastal subsidence in the Yellow River Delta, China: reviewing the past and prospecting the future. *Remote Sensing*, 13(22), 4563.

Zhu, L., Gong, H., LI, X., Wang, R., Chen, B., Dai, Z., & Teatini, P. (2015). Land subsidence due to groundwater withdrawal in the northern Beijing plain, China. *Engineering Geology*, 193, 243–255

Zoungrana, B. G. B., Conrad, C., Amekudzi, L.K., Thiel, M., Dapola Da, E., Forkuor, G. & Löw, F. (2015). Multi-temporal Landsat images and ancillary data for land use/cover change (LULCC) detection in the southwest of Burkina Faso, West Africa. *Remote Sensing*, 7(9), 12076-12102.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2025-04-30]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.4.2]