

Research Paper

Investigation on Subsidence Risk in the Area of East Azarbaijan Province Electricity Network with the Approach of Improving and Increasing Resilience Using GIS and RS

Maryam Bayati Khatibi^{1*}, Akbar Moshtagian², Sadra Karimzadeh³

1. Professor in Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2. MSc in Remote Sensing, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3. Assistant Professor in Remote Sensing, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Received: 2024/01/13
Accepted: 2024/08/26

ABSTRACT

Today, the issue of land subsidence has emerged as a significant and critical factor jeopardizing both surface and subsurface structures within the nation, particularly in the northwest region. This situation necessitates the preservation of such infrastructures. Considering the vast expanse of the electricity distribution network in East Azerbaijan Province—encompassing an area of 45,000 square kilometers, a network length of 26,000 kilometers, and serving 930 thousand subscribers—the apprehensions regarding the existence of potential risks are justified. This extensive network is deemed one of the most sensitive and essential assets within the province in relation to the occurrence of land subsidence. Given this high level of sensitivity, it becomes imperative to identify regions susceptible to subsidence and to assess the vulnerability of the electricity distribution networks while implementing necessary measures to enhance resilience against this phenomenon. The objective of this research is to delineate the vulnerable regions. Conversely, land subsidence poses threats to power grid installations within East Azerbaijan Province. In this study, ArcGIS 10.7 and Super Decision software were employed to generate the information layers; furthermore, to ensure appropriate homogeneity among the various layers, the input data was standardized, and the Analytical Network Process (ANP) was utilized. The findings of the research indicate the existence of areas characterized by a high risk of subsidence, covering an expanse of 1,981 square kilometers, alongside regions with an exceedingly high risk of subsidence, encompassing 268 square kilometers, extending from the northwest to the southeast of the province (including the cities of Marand, Shabestar, Tabriz, Bostan Abad, Mirage, and the central area). Additionally, in the southwestern municipalities of the province (namely Banab, Malekan, and Ajabshir), there are hazardous zones where the threat of subsidence and potential damage to electrical installations necessitate serious consideration. An examination of the maps and data further reveals that a majority of groundwater extraction wells are situated in high-risk areas with considerable density. Investigations also indicate that agricultural activities predominantly characterize land use in high-risk areas, wherein the most significant drop in groundwater levels has been observed. In this investigation, by superimposing the province's power transmission network map with the final subsidence risk zoning map, it was ascertained that portions of the province's power grid facilities are located within high-risk zones concerning land subsidence.

Keywords:

Land subsidence risk; resilience; power grid; AN; ArcGIS.

*Corresponding Author: Professor in Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

ORCID: 0000 0002 5156 6018

m_bayati@tabrizu.ac.ir

T

Extended Abstract

Introduction

The occurrence of subsidence can yield surface morphological consequences, including morphological irregularities, impairment to human-made infrastructures, a diminution in aquifer volume, disruption of hydrological flow patterns, interference between freshwater and saline water, and damage to power lines along with interruptions in power transmission equipment. Subsidence is predominantly shaped by anthropogenic factors, such as groundwater extraction, land utilization, and subterranean constructions. Given the rising trend of groundwater extraction from agricultural wells in the East Azarbaijan province, it becomes imperative to delineate regions susceptible to subsidence. Within the East Azarbaijan province, the electricity network comprises the most extensive infrastructure, necessitating that nearly all these facilities be established on stable ground, with the requisite stability maintained over time. Approximately 600,000 electric poles function to ensure the delivery of reliable and consistent electricity. Thus, in light of the subsidence phenomenon in the province, recognized as a significant and prevalent hazard following earthquakes, floods, and droughts, the failure of power transmission structures engenders economic, social, and political infrastructure dilemmas; forecasting the risk of subsidence within the electricity sector appears crucial alongside other natural hazards. Acknowledging that subsidence management is a pivotal issue interlinked with water and soil resources, it is essential to formulate national policies and plans to enable coordinated actions aligned with other strategies concerning water and soil resources, in collaboration with all national and provincial executive entities. The East Azarbaijan province, characterized by an extensive power line network and the concomitant threat of subsidence to this network, necessitates a thorough investigation into the phenomenon and the potential constraints it imposes on the power grid.

Methodology

Information System (GIS). The construction of the layers was accomplished. Subsequent to the preparation of the criteria maps, the Analytical Network Process (ANP), a prominent methodology within multi-criteria decision-making (MADM), was employed. Within the ANP framework, to derive the ultimate significance vector (WANP), a matrix of pairwise comparisons was established, and to substantiate the validity of these comparisons, the consistency ratio (CR) of the matrix was computed, yielding a consistency coefficient of less than 0.1. Given that Super Decision software functions as a decision support tool, it was employed to facilitate the pairwise comparisons and to determine the final weights within the context of the network analysis process (ANP). In the initial phase of the Analytic Network Process (ANP) methodology, the interrelationships among the factors are established. To achieve this objective, various criteria were systematically compared in pairs based on their existing interdependencies. For each of the natural hazards examined, a comprehensive questionnaire was developed and distributed to pertinent experts in the field. Subsequent to the completion of the questionnaires and the verification of their consistency rate, the responses were averaged, thus facilitating the determination of the relative significance of the criteria within this methodological framework utilizing a nine-point quantitative scale.

Following the acquisition of the criterion weights through the Analytic Network Process (ANP) methodology, the criterion maps associated with each hazard were subsequently invoked within the ArcGIS software environment and amalgamated utilizing the Weighted Overlay technique, leading to the derivation of the conclusive subsidence hazard maps. In order to construct the final subsidence representations, subsequent to the attainment of the criterion weights via the ANP approach, the maps pertaining to the examined criteria were categorized employing the Natural Breaks method, based on the pixel values, into the requisite number of risk classifications. During this phase, pixels exhibiting similar values were aggregated into a singular class while ensuring that the maximum disparity between the classes was acknowledged, thereby facilitating the division of the examined feature into classes characterized by varying values. Subsequently, the criterion map corresponding to each hazard was invoked within the ArcGIS software environment and integrated with one another.

Result

The cartographic representations delineated concerning the extent of groundwater depletion within the province reveal that the most significant reduction in groundwater levels is associated with the regions of Marand, Hadishehr, Basmanj, B ostan Abad, Dozdozan Sarab, and Middle Turkmenchai. In regions characterized by elevated wind activity, the volume of subterranean water extraction, primarily driven by unsustainable agricultural practices and the proliferation of orchards through

the introduction of non-indigenous flora, has substantially escalated water consumption in recent years. The data illustrated in the maps suggest that the highest concentration of subterranean water extraction wells is correlated with the municipalities of Maragheh, Benab, Malkan, followed by Shabtar, Ahar, Marand, Sarab, Bostan Abad, and Mianeh. Given the elevated density of wells in these locales, it is plausible to anticipate a considerable likelihood of subsidence occurring within these regions. Based on the findings derived from this investigation and in consideration of the conclusive subsidence zoning map, areas identified as being at a high risk of subsidence encompass a total area of 1981 square kilometers, while regions characterized by an exceptionally high risk of subsidence span 268 square kilometers, extending from the northwest to the southeast of the province (including Marand, Shabestar, Tabriz, Bostan Abad, Sarab, and Mianeh) and also encompassing the southwestern municipalities of the province (Banab, Malkan, and Ajabshir), where a majority of the high-density subterranean water extraction wells are situated, coinciding with the most pronounced declines in groundwater levels. Through the superimposition of the province's power transmission network schematic with the definitive subsidence risk zoning map, the infrastructure located within regions of elevated and extremely high subsidence risk was delineated. By conducting spatial analyses of the integrated maps, the metrics regarding the quantity and volume of equipment, as well as the number of subscribers situated within the subsidence zones of high and very high risk, were ascertained. By determining the statistical data pertaining to the equipment and subscribers located within the subsidence areas exhibiting a high and very high probability of risk, it has been established that the municipalities hosting the most extensive lengths and highest numbers of power transmission network infrastructure, with consideration for the most critical equipment by municipality, reveal that over 70 percent of the equipment and subscribers situated in the high and very high risk subsidence zones are associated with the cities of Marand, Shebaster, and Bonab.

Discussion & Conclusion

According to the longitudinal statistical data provided by the Ministry of Energy, an analysis of the most recent findings derived from fundamental studies of Iran's water resources during the water year 2017-2018 indicates that, with the exception of the Shiramin and Sarai aquifers within the Urmia Islands study area, the cumulative average of static level variations across all aquifers in the province has exhibited a negative balance for a minimum duration of five years. Furthermore, the observed decline in static levels in certain study regions, particularly underground water resources within the province, has reached a maximum depth of alteration during the water years 1397-1399, with the Marand aquifer demonstrating a significant cumulative stagnation of 17.24 meters, consequently diminishing the aquifer's volume by 504.5 million cubic meters. In this particular year, the average cumulative static changes for the Ajabshir aquifers have been recorded at minus 6.26 meters, Tabriz at minus 2.94 meters, the northern slopes of Sahand at minus 15.51 meters, Dodozan at minus 4.99 meters, Bostan Abad at minus 6.34 meters, while Shabestar has reported a negative change of 10.04 meters, and an additional negative balance of 15.35 meters has also been documented. Cumulatively, out of a total of 1.1 billion cubic meters of underground water, 1.03 billion cubic meters is allocated for agricultural purposes, 0.03 billion cubic meters is designated for industrial consumption, and 0.155 billion cubic meters is utilized for drinking needs. Regarding surface water, 1.4 billion cubic meters are consumed within the agricultural sector, 0.05 billion cubic meters in the industrial domain, and 0.15 billion cubic meters are used for potable purposes, a figure that notably excludes the environmental requisites of hydrological units. Regrettably, due to the suboptimal performance of the province in the containment and storage of surface water, it has become increasingly necessary to resort to underground water sources, thereby exerting undue pressure on the aquifers.

بررسی خطر فرونشست زمین در گستره توزیع شبکه برق استان آذربایجان شرقی (با رویکرد بهسازی و افزایش تاب آوری)

مریم بیاتی خطیبی^{۱*}، اکبر مشتاقیان^۲، صدرا کریم زاده^۳

۱. استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول).

۲. کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳. استادیار سنجش از دور، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

شبکه گسترده تاسیسات برق، از حساس ترین تاسیسات استان آذربایجان شرقی در مقابل وقوع فرونشست زمین محسوب می شود. با توجه به چنین حساسیتی، شناسایی مناطق مستعد به فرونشست از ضروریات بوده و بررسی میزان آسیب پذیری شبکه های توزیع برق جهت افزایش تاب آوری در برابر آن، از اهمیت ویژه ای برخوردار است. با توجه به چنین اهمیتی، هدف از انجام پژوهش حاضر، مشخص کردن پهنه های آسیب پذیر در مقابل تهدیدات تاسیسات شبکه برق ناشی از فرونشست زمین در استان آذربایجان شرقی است. در این پژوهش، برای تهیه لایه های اطلاعاتی، از فرایند تحلیل شبکه (ANP) استفاده شده است. به منظور دستیابی به یک همگنی مناسب بین لایه های مختلف، داده های ورودی، استاندارد سازی شده و نقشه های معیارهای مورد مطالعه به روش *Natural breaks* بر اساس ارزش بیکسل ها به تعداد کلاس های خطر طبقه بندی گردیدند. نقشه مربوط به معیارهای هر یک از مخاطرات در محیط نرم افزار ArcGIS فراخوانی و با یکدیگر تلفیق گردید. نتایج پژوهش نشان داد که مناطق با خطر فرونشست زیاد با وسعت ۱۹۸۱ کیلومترمربع و مناطق با خطر فرونشست خیلی زیاد با وسعت ۲۶۸ کیلومترمربع در محدوده های مختلف استان پراکنده شده اند و اغلب این محدوده ها از شمال غرب تا جنوب شرق استان (شامل شهرهای مرنده، شبستر، تبریز، بستان آباد، سراب و میانه) کشیده شده است. همچنین در شهرهای جنوب غربی استان (مانند بناب، ملکان و عجبشیر) نیز محدوده هایی با خطر بالا در مقابل فرونشست دیده می شود که در این محدوده ها آسیب پذیری تاسیسات برق نسبتاً بالا است. این در حالی است که، بیشترین چاه های مربوط به برداشت آب های زیرزمینی با تراکم زیاد در این پهنه های پرخطر قرار گرفته اند. نتایج مطالعات همچنین حاکی از این است که بالای ۷۰ درصد تجهیزات و مشترکین برق در محدوده فرونشست با احتمال خطر زیاد و خیلی زیاد مربوط به شهرستان های مرنده، شبستر و بناب است، یعنی محدوده هایی که بیشترین مصرف آب در بخش کشاورزی را به خود اختصاص داده اند. در این پژوهش با انطباق مناطق پهنه بندی شده با خطر فرونشست زیاد و خیلی زیاد با نقشه های فرونشست حاصل از اطلس سازمان نقشه برداری کشور، همپوشانی ۵۳ درصدی در مناطق فرونشست در شهرهای مرنده، شبستر، بناب، ملکان و سراب مشاهده گردید.

واژگان کلیدی:

خطر فرونشست زمین، شبکه توزیع برق، ANP، استان آذربایجان شرقی.

m_bayati@tabrizu.ac.ir

* نویسنده مسئول

۱. مقدمه

فرونشست زمین از جمله مخاطرات مهم در جهان و به‌ویژه در کشور خشکی مانند ایران است. وقوع چنین پدیده‌هایی در واقع از پیامدهای مدیریت نامناسب آب در محدوده‌های کم آب، محسوب می‌شود (Ekrami et al., 2021: 578). در واقع می‌توان گفت، زمانی که پدیده فرونشست زمین، خاک قابل کشت و یا محدوده‌های سکونتگاهی و یا تأسیسات انسان ساخت را هدف می‌گیرد، باید در ردیف مخاطرات جدی قرار گیرد (Chen et al., 2010, 127). بیش از ۸۰٪ از علت وقوع فرونشست‌ها در دنیا و در ایران، ناشی از استحصال بی‌رویه آب‌های زیرزمینی برای مصارف مختلف است (Ganguli, 2011: 466). باتوجه به اینکه دلایل فرونشست زمین عمدتاً در اثر برداشت آب‌های زیرزمینی، تغییرات کاربری و مستحذات زیرزمینی است (Cai et al., 2022: 456)، بنابراین اثرات موارد مذکور در فرونشست زمین باید مورد توجه بیشتر قرار گیرد. پدیده فرونشست زمین، می‌تواند تغییرات مورفولوژیکی متفاوت سطحی بوجود آورد و طی زمان به تأسیسات انسان ساخت خسارت وارد سازد و کاهش حجم آبخوان‌ها (Cassiani and Zoccatelli, 2000) و اختلال در الگوی جریان‌های هیدرولوژیک (Burbey, 2002: 526)، تداخل آب شیرین و شور (Chen et al., 2010, 124)، تخریب در خطوط برق را به دنبال داشته باشد (Galloway et al., 1998). در سال‌های اخیر، بهره‌برداری و استحصال آب‌های زیرزمینی - به‌ویژه در حوضه‌هایی که زیرساخت آنها متشکل از نهشته‌های آبرفتی تحکیم نیافته‌است - بیشتر از حد مجاز شده و اغلب فرونشست‌های اخیر در چنین محدوده‌هایی رخ داده است. پدیده فرونشست، که عمدتاً ناشی از برداشت بیش از حد مجاز آب‌های زیرزمینی است، اغلب با فشردن لایه‌های رسی و سیلتی میان آبخوان‌ها همراه می‌گردد (Batubara et al., 2023: 103) و در صورت رسیدن به این مرحله، غیرقابل بازگشت بوده و بالا آمدن مجدد سطح ایستایی به تراز اولیه تقریباً امکان‌پذیر نیست.

در ایران نیز با توجه به وسعت زیاد پدیده فرونشست زمین، این موضوع مورد پژوهش محققان داخلی قرار گرفته است. صالحی و همکاران (۱۳۹۲)، به بررسی پدیده فرونشست زمین و تاثیر آن بر روی گسیختگی لوله‌های جدار چاه‌های آب در محدوده شهر مشهد با استفاده از پهنه‌بندی تغییرات دانه‌بندی لایه‌های زمین پرداختند. در این تحقیق، براساس آمارهای چندین ساله منابع آب زیرزمینی و داده‌های ایستگاه‌ها و با توجه به پارامترهای زمین‌شناسی منطقه، عوامل تأثیرگذار بر گسیختگی لوله‌های جدار چاه‌های محدوده شمال غرب شهر مشهد مورد بررسی قرار گرفته است. رکنی و همکاران (۱۳۹۶)، نقش فرونشست در تهدید شبکه‌های انتقال نفت و گاز و سایر تأسیسات عمرانی از جمله خط آهن سراسری تهران به مشهد را بررسی کرده، کوهبنانی و همکاران (۱۳۹۸)، وضعیت فرونشست در دشت خلیل آباد، قره چلو و همکاران (۱۴۰۰) نیز میزان فرونشست مرتبط با آب‌های زیرزمینی در دشت مشهد بین سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۷، را مورد مطالعه قرار داده‌اند. کلانتری و همکاران (۱۳۹۹)، نیز از جمله محققانی هستند که به ارزیابی میزان فرونشست در محدوده‌ای از دشت شهریار و ملارد با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و داده‌های ماهواره‌ای پرداختند و جهت بررسی تغییرات به وجود آمده در حجم آبی آبخوان و میزان افت آب‌های زیرزمینی در کل دشت، برای صحت سنجی،

از داده‌های آماری چاه‌های مشاهده‌ای استفاده کردند. نتایج بدست آمده نشان داد که بیشترین فرونشست در دشت در آینده به دلیل برداشت بیش از حد آب زیرزمینی در قسمت جنوب شرق و غرب اتفاق خواهد افتاد. با توجه به اینکه در آذربایجان شرقی نیز برداشت آب‌های زیرزمینی توسط چاه‌های کشاورزی در دهه اخیر زیاد شده است، بنابراین شناسایی مناطقی که مستعد فرونشست زمین هستند، ضروری به نظر می‌رسد و مطالعه در مورد این پدیده توسط محققین زیادی در ابعاد مختلف، صورت گرفته است (Karimzadeh et al., 2015)، در مطالعه‌ای جابجایی زمین در استان آذربایجان شرقی و غربی را با استفاده از داده‌های ماهواره آلوس-۲^۱، تصویر پالسار-۲^۲ باند L در بازه زمانی مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این مطالعات نشان داد که دشت تبریز و شبستر با پدیده جدی فرونشست مواجه هستند. با عنایت به این که در سطح استان آذربایجان شرقی، شبکه برق دارای گسترده‌ترین تاسیسات است که تقریباً تمامی این تاسیسات باید در سطح پایدار مستقر شوند (و این پایداری هم در طی زمان مستمر باشد)، در این مطالعه، سعی شده است پایداری سطح زمین از جنبه استقرار تاسیسات برق مورد بررسی قرار گیرد. شرکت توزیع نیروی برق استان آذربایجان شرقی با دارا بودن ۲۶۰۰۰ کیلومتر خطوط انتقال نیروی برق و ۶۰۰ هزار اصله تیر برق، با هدف تامین برق مطمئن و پایدار انجام وظیفه می‌کند. بنابراین با در نظر گرفتن اینکه پدیده فرونشست در استان از مهمترین و شایعترین مخاطرات به شمار می‌آید و خرابی سازه‌های انتقال نیرو مشکلات زیربنایی اقتصادی، اجتماعی، سیاسی ایجاد می‌کند، پیش‌بینی مخاطره فرونشست در صنعت برق در کنار سایر مخاطرات طبیعی ضروری به نظر می‌رسد. نوآوری پژوهش حاضر، در نظر گرفتن تعدد متغیرهای احتمالی تاثیرگذار در وقوع فرونشست زمین و نوع تاسیسات برقی مورد تهدید در پهنه‌های حساس در سطح استان است.

۲. روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

آذربایجان شرقی از استان‌های مهم و پرجمعیت ایران است که در گوشه شمال غرب کشور (شکل ۱) و بین مدارهای ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی و نصف‌النهارهای ۴۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است.

این استان با وسعت ۴۵۶۳۷ مترمربع (حدود ۲/۸ درصد مساحت کل کشور) از ناحیه شمال، با کشورهای آذربایجان، ارمنستان و جمهوری خودمختار نخجوان (وابسته به کشور آذربایجان) به طول ۲۳۵ کیلومتر دارای خط همجواری است که مرز مشترک این استان با کشورهای فوق را رود ارس تشکیل می‌دهد و از ناحیه غربی و جنوب غربی با آذربایجان غربی همجوار است. در جنوب با استان زنجان و از ناحیه شرقی نیز با استان اردبیل حدود ۴۰۰ کیلومتر مرز مشترک دارد. آذربایجان شرقی یک منطقه کوهستانی محسوب می‌شود که حدود ۴۰ درصد از سطح آن را کوهستان، ۲۸/۲

¹ ALOS-2

² PALSAR-2

درصد را تپه ماهورها و ۳۱/۸ درصد را زمین‌های هموار (دشت‌ها و جلگه‌های میانکوهی) فراگرفته است. از لحاظ تقسیم‌بندی‌های اقلیمی جزو مناطق نیمه خشک به حساب می‌آید و میانگین بارندگی سالیانه آن ۲۵۰ الی ۳۰۰ میلی متر است.

شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

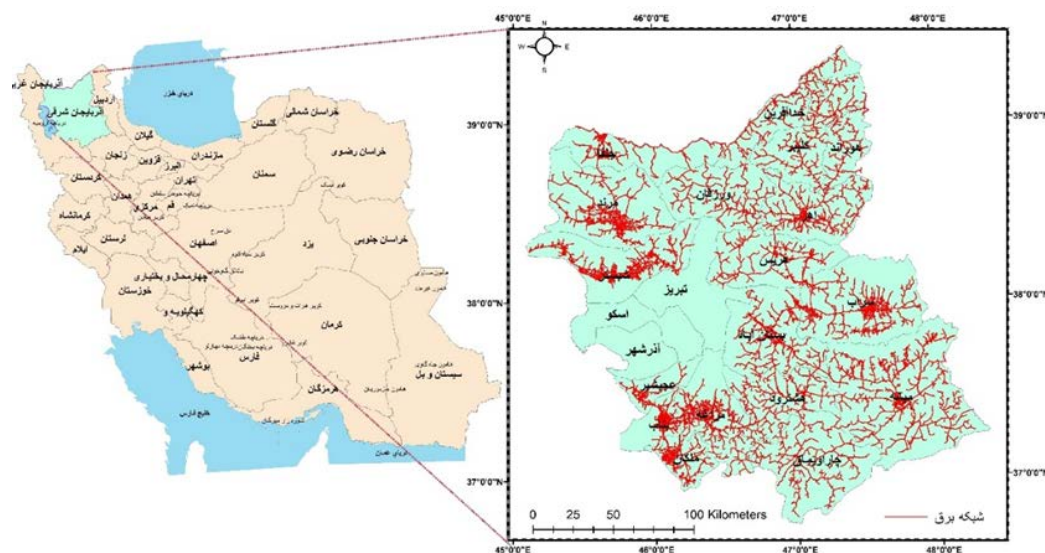


Figure 1. Study area

۲-۲- مراحل تحقیق

در این تحقیق، جهت مطالعه پدیده فرونشست احتمالی از داده‌ها و منابع زیر به عنوان معیارهای موثر در وقوع پدیده فرونشست استفاده شده است:

- آمار میزان عمق و سطح تراز آب‌های زیرزمینی استان آذربایجان شرقی با استفاده از اطلاعات چاه‌های پیزومتری مربوط به سازمان آب منطقه‌ای استان.
- نقشه چاه‌های مربوط به کشاورزی در حال بهره‌برداری در کل استان (چاه‌های با پروانه و بدون پروانه).
- جمع آوری اطلاعات رقومی طبیعی در قالب لایه‌های اطلاعاتی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ الی ۱:۱۰۰۰۰۰.
- اطلاعات توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (منبع تهیه اطلاعات توپوگرافی، هیدروگرافی، شیب، جهت شیب و).
- اطلاعات زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.
- تصاویر ماهواره‌ای اسپات با تفکیک مکانی ۱۰ متر منبع اصلی (اطلاعات کاربری اراضی در باند مادون قرمز).
- تصویر ماهواره‌ای مودیس با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر برای تهیه نقشه شاخص پوشش گیاهی (در باندهای ۲ و ۱).
- اطلاعات خاک شناسی (مربوط به نوع خاک) در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

- اطلاعات مکانی و توصیفی تمامی تجهیزات شبکه برق استان به همراه اطلاعات مکانی مشترکین حساس. برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی در این پژوهش از نرم افزارهای آرک جی ای اس نوع ۱۰،۷ و سوپردیژن^۱ استفاده و در گام نخست، تصحیح و آماده سازی لایه‌ها جهت ورود به سیستم جی ای اس انجام شد. تصحیح فقط مربوط به لایه چاه‌های پی‌زومتری بوده و قرائت‌هایی که اشتباه بودند مشخص و حذف گردیدند. به منظور دستیابی به نسبت همگنی بین لایه‌های ورودی مختلف استانداردسازی لایه‌ها صورت گرفت. پس از آماده‌سازی نقشه‌های معیار از فرایند تحلیل شبکه که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است، بهره‌گیری شد. در مدل ای ان پی، برای دستیابی به بردار اهمیت نهایی ماتریس مقایسات زوجی تشکیل و به منظور اعتبارسنجی مقایسات زوجی، ضریب سازگاری ماتریس و ضریب سازگاری محاسبه گردید. با توجه به اینکه نرم افزار سوپر دسیژن^۲ نرم افزاری برای پشتیبانی تصمیم‌گیری است، جهت انجام مقایسات زوجی و بدست آوردن وزن‌های نهایی در فرایند تحلیل شبکه از این نرم افزار استفاده شد. برای هرکدام از مخاطرات طبیعی مورد مطالعه، پرسشنامه‌ای طراحی شد و در اختیار کارشناسان مربوطه قرار گرفت. پرسشنامه‌ها پس از تکمیل و کنترل نرخ سازگاری آنها میانگین‌گیری و اهمیت نسبی معیارها در این روش با مقیاس ۹ کمیتی ساعتی مشخص گردید. برای تهیه نقشه‌های نهایی پس از بدست آوردن وزن‌های معیارها از طریق روش ای ان پی، نقشه معیارهای هریک از متغیرها در محیط نرم افزار آرک جی ای اس، فراخوانی و به روش وزنی^۳ با یکدیگر تلفیق شد و سپس نقشه‌های نهایی مخاطره فرونشست بدست آمد. در این مطالعه، برای تهیه نقشه کلاس‌بندی شده افت سطح آب زیرزمینی، موقعیت چاه‌های پی‌زومتری و میزان کاهش سطح آب‌های زیرزمینی به صورت شیب فایل^۴ در نرم افزار آرک جی ای اس تبدیل شد. برای تهیه نقشه‌های نهایی فرونشست، پس از بدست آوردن وزن‌های معیارها از طریق روش ای ان پی، نقشه‌های معیارهای مورد مطالعه به روش نچرال بریک^۵ بر اساس ارزش پیکسل‌ها به تعداد کلاس‌های خطر مورد نظر طبقه‌بندی گردید. در این مرحله، ارزش‌های مشابه پیکسل‌ها در یک کلاس قرار گرفته و حداکثر تفاوت بین کلاس‌ها در نظر گرفته شد و ویژگی مورد مطالعه به کلاس‌هایی با ارزش‌های متفاوت تقسیم گردید. سپس نقشه معیارهای هریک از مخاطرات در محیط نرم افزار آرک جی ای اس فراخوانی و با یکدیگر تلفیق گردید. در این پژوهش، نقشه‌های فرونشست حاصل از تصاویر راداری سازمان نقشه‌برداری کشور، با نقشه‌های تهیه شده انطباق داده شد. به عنوان نمونه اطلس فرونشست اطراف شهرهای شبستر، صوفیان، وایقان، خامنه و بندر شرفخانه تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور با بیشترین نرخ ۱۰/۸ سانتی‌متر بوده است. برای تهیه این نقشه و پهنه‌بندی از تصاویر راداری ستینل ۱ در بازه زمانی اسفندماه ۱۳۹۵ تا اسفند ماه ۱۳۹۹ استفاده و محدوده‌های فرونشست در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ مشخص شد.

¹ Super Decision

² Super Decision

³ Weighted Overlay

⁴ Shape File

⁵ Natural Breaks

۳. یافته‌های پژوهش

۳-۱- افت آب‌های زیر زمینی استان

با توجه به بررسی‌های اولیه و با استناد به پژوهش‌های صورت گرفته (گزارش‌های استانداری و اداره برق استان)، افت آب‌های زیرزمینی یکی از دلایل عمده فرونشست زمین در بخش‌های عمده کشور (کلاتری و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۸ و محمدخان و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۲۰) بخصوص در برخی از محدوده‌های شمال غرب کشور است، به همین دلیل میزان افت آب‌های زیرزمینی با استفاده از داده‌های سازمان آب منطقه‌ای استان مطالعه شده است. برای دستیابی به تغییرات و نوسانات افت سطح آب زیرزمینی در دشت‌های استان آذربایجان شرقی، از آمار ۳۱۴ حلقه چاه پیزومتری در طی ۹ سال (۱۳۸۸-۱۳۹۹) استفاده شده و نتایج بررسی داده‌های حاصل نشان می‌دهد که میزان افت سطح آب زیرزمینی در بین این سال‌ها در دشت‌های استان آذربایجان شرقی تا ۱۵ متر متغیر است (گزارشات سازمان آب منطقه‌ای). در اکثر دشت‌ها، میزان تخلیه بیشتر از تغذیه بوده و این امر باعث کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و در نتیجه باعث فرونشست زمین شده است. بر اساس آخرین پردازش‌های انجام شده سازمان نقشه‌برداری کشور در استان آذربایجان شرقی (گزارشات سازمان نقشه‌برداری)، مناطقی به وسعت ۹۸۰ کیلومترمربع در اطراف شهرهای شبستر، صوفیان، خامنه، وایقان و بندر شرفخانه دچار فرونشست با بیشترین نرخ ۱۰/۸ سانتیمتر در سال است (شکل ۲، الف، ب و پ).

شکل ۲. الف (بارش (میلی متر)، دمای حداکثر و سطح آب چاه‌های پیزومتری (متر) در استان، ب) نقشه موقعیت چاه‌های پیزومتری قرائت

شده و پ) نقشه افت آب‌های زیرزمینی (متر)

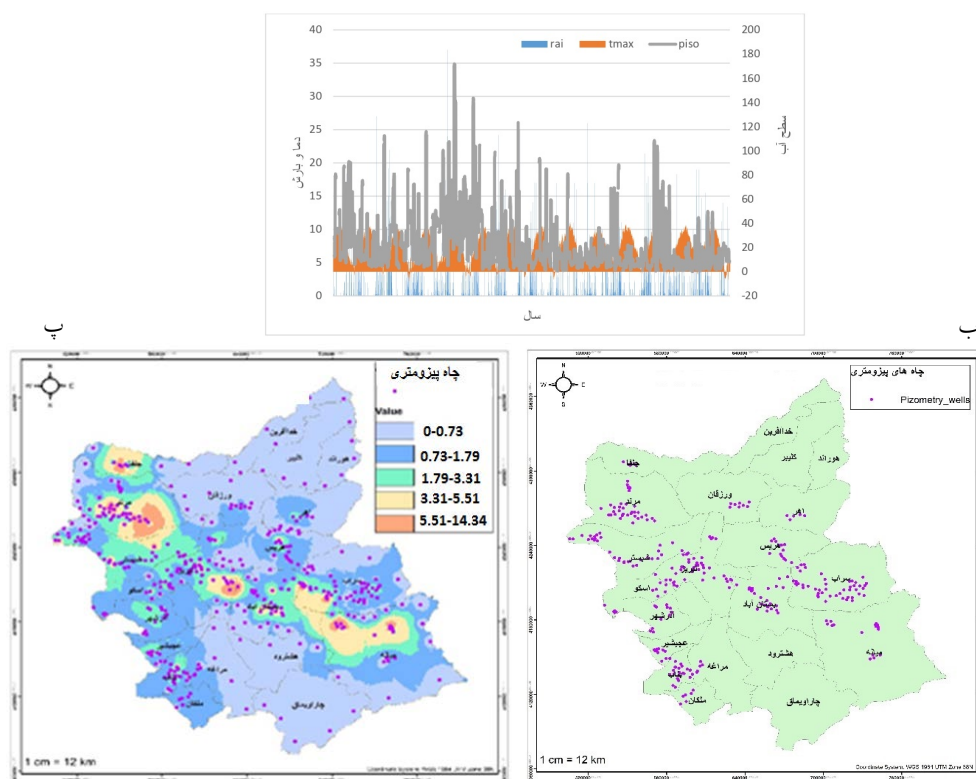


Figure 2. a) Precipitation, maximum temperature and water level of piezometric wells in the province, b) location map of read piezometric wells, and, c) map of groundwater drop (meters)

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

در مناطقی به وسعت ۱۸۳ کیلومترمربع در اطراف شهرهای دوزدوزان و شربیان از توابع شهرستان سراب، فرونشست زمین با بیشترین نرخ ۹/۵ سانتیمتر در سال گزارش شده است. برای مناطقی به وسعت ۶۵۰ کیلومتر مربع در اطراف شهرهای مرند و زنوز، فرونشست زمین با بیشترین نرخ ۱۸/۹ سانتیمتر در سال اندازه‌گیری شده است. نقشه‌های تهیه شده از این مناطق نشان می‌دهد که بیشترین افت عمق آب‌های زیرزمینی مربوط به مناطق مرند، هادیشهر، باسمنج، بستان آباد، دوزدوزان سراب، و ترکمنچای میانه است (شکل ۲ ب). در محدوده‌های یاد شده، میزان استحصال آب‌های زیرزمینی عمدتاً به علت کشت غیراصولی و گسترش باغاتی با کاشت درختان غیر بومی، میزان مصرف آب را در طی سال‌های اخیر به شدت افزایش داده است.

۳-۲- بررسی میزان تراکم چاه‌های برداشت آب زیرزمینی (کشاورزی، صنعت، شرب و ...)

افزایش تعداد و تراکم بالای چاه‌های برداشت آب زیرزمینی، احتمال کاهش سطح آب‌های زیرزمینی را بیشتر می‌کند که نتیجه آن فرونشست زمین در محدوده‌های پرتراکم خواهد بود (آروین و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۸). بررسی‌ها نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر، برداشت بیش از حد از چاه‌ها، افزایش عمق و حتی حفر تعداد زیادی از چاه‌های غیرمجاز در سرتاسر استان افزایش یافته است. در این تحقیق، برای بررسی بیشتر و با استناد به داده‌های جمع‌آوری شده، اقدام به تهیه نقشه تراکم چاه‌های برداشت آب زیرزمینی، شده است (شکل ۳ الف). به این منظور، آمارچاه‌هایی که با برق یا بدون برق، آب‌های زیرزمینی را استحصال می‌کنند، از شرکت‌های آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و توزیع برق استان استعلام شد. بررسی این آمار نشان می‌دهد که تعداد ۲۵۹۹۰ حلقه چاه در مجموع با مختصات یو تی ام ثبت گردیده است. آمار مربوط به چاه‌های برداشت آب زیرزمینی حاکی از این است که از تعداد ۲۵۹۹۰ حلقه چاه، تعداد ۲۲۸۴۳ حلقه چاه، مربوط به مصارف کشاورزی بوده که در حدود ۸۸ درصد چاه‌های استان را شامل می‌شود که آمار نسبتاً بالایی است. شکل (الف ۳) موقعیت چاه‌های برداشت آب زیرزمینی در کل استان را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۳ ب) می‌توان گفت که بیشترین میزان تراکم چاه‌های برداشت آب زیرزمینی مربوط به شهرهای مراغه، بناب، ملکان و سپس شبر، اهر، مرند، سراب، بستان آباد و میانه است. با توجه به تراکم بالای چاه‌ها در این محدوده‌ها، می‌توان انتظار داشت که وقوع فرونشست در این محدوده‌ها بسیار محتمل باشد.

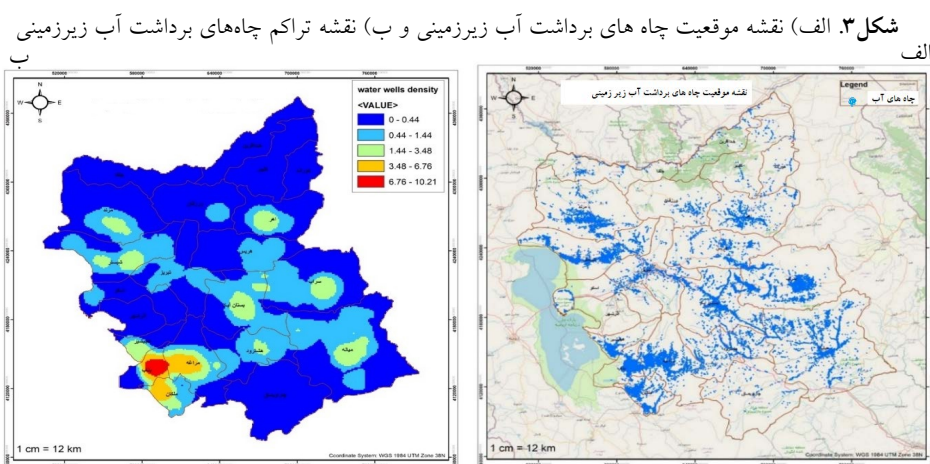


Figure 3. a) Location map of underground water extraction wells and, b) density map of underground water extraction wells

۳-۳- نقش عوامل دخیل در احتمال فرونشست در استان

با توجه به این که در محدوده‌های هموار خطر فرونشست زمین بالا است (رکنی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۳)، در این تحقیق، شیب به عنوان یک پارامتر مهم در نظر گرفته شده و برای بررسی شیب و تهیه نقشه شیب منطقه، ازداده‌های رقومی استفاده و پیکسل‌ها به پنج قسمت با درجه تاثیر خیلی کم (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵) مطابق شکل (۴ الف و ب) تقسیم‌بندی شده است. با در نظر گرفتن اینکه بیشتر فرونشست‌ها در زمین‌های هموار و شیب کمتر رخ می‌دهد، بیشترین درجه اهمیت به زمین‌هایی با شیب کمتر (دشت‌ها) اختصاص یافته است. بررسی نقشه ترسیمی نشان می‌دهد (شکل ۴ ب) که قسمت قرمز، زمین‌های نسبتاً هموار استان است که با توجه به شیب پایین (کمتر از ۵ درصد) اغلب زمین‌های تحت کشت در این محدوده‌ها قرار گرفته، بنابراین احتمال افت آب‌های زیرزمینی و به دنبال آن فرونشست زمین در چنین محدوده‌هایی نیز بالا است.

شکل ۴. الف) تصویر DEM منطقه و ب) تصویر نقشه شیب منطقه

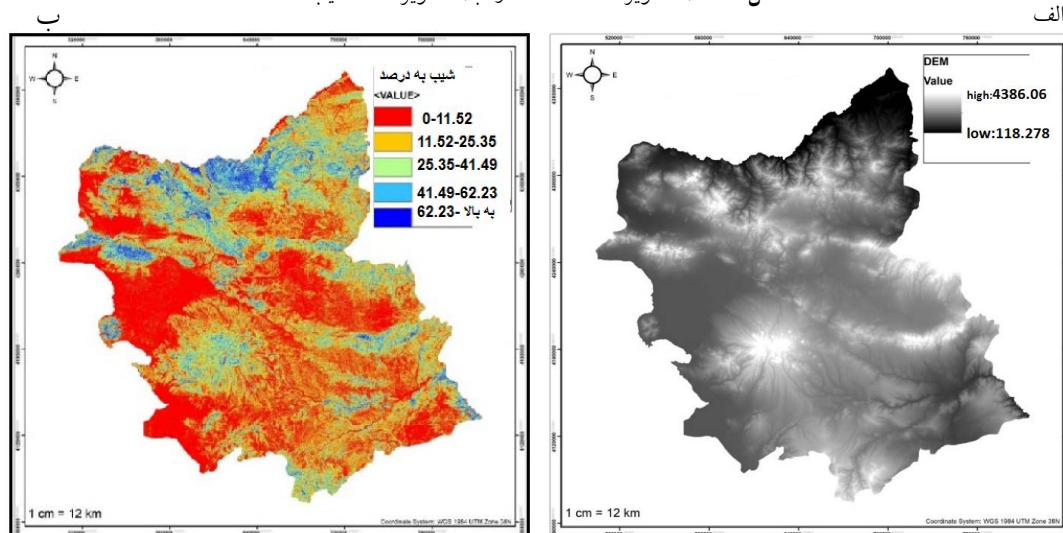


Figure 4. a) DEM image of the area and, b) image of the slope map of the area

برای بررسی نقش سازندهای زمین‌شناسی در فرونشست زمین در این پژوهش، ۲۹ ورقه زمین‌شناسی پوششی استان و گزارش زمین‌شناسی آنها در مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ (از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور)، مورد استفاده قرار گرفته و با توجه به ویژگی‌های موثر در پهنه‌بندی خطر فرونشست، لایه‌های زمین‌شناسی طبقه‌بندی شده است و با عنایت به تاثیر عامل زمین‌شناسی می‌توان نتیجه گرفت که در قسمت‌های هموار منطقه، سازندهای کم‌مقاوم، که بیشترین پتانسیل را برای فرونشست دارند، قرار گرفته‌اند. برای تعیین نوع کاربری، از تصاویر ماهواره‌ای اسپات با تفکیک مکانی ۱۰ متر برای استخراج اطلاعات کاربری اراضی استفاده شده است (داده‌هایی تا ۱۳۹۹). با در نظر گرفتن این موضوع که کاربری اراضی نقش مهمی در میزان مصرف آب دارد و معمولاً اراضی و باغات کشاورزی بیشترین مصرف آب را به خود اختصاص می‌دهد، بنابراین وزن‌ها و امتیازات لحاظ شده برای رتبه‌بندی کاربری اراضی منطقه به پنج قسمت با

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

تأثیر خیلی کم (۱)، کم (۲)، متوسط (۲)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵) تقسیم شده که نقشه (شکل ۵) حاصل این تقسیم‌بندی است. با توجه به نقشه ترسیمی (شکل ۵ الف و ب) محدوده‌هایی با رنگ قرمز در محدوده‌هایی با خطر بالا عمدتاً بیشتر قسمت‌های استان را شامل می‌شود.

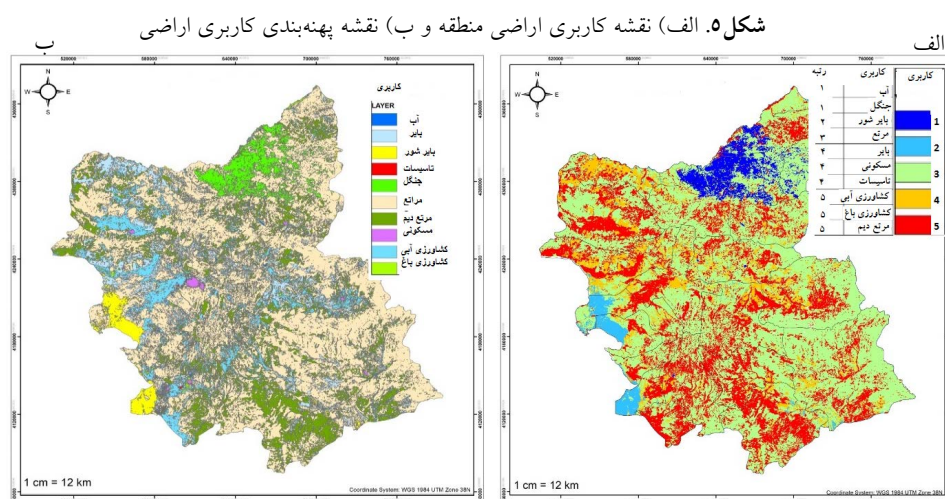


Figure 5. a) Land use map of the region; b) land use zoning map

در واقع، حفر چاه‌ها برای برداشت آب زیرزمینی رابطه معکوسی با فاصله از رودخانه دارد. با فاصله گرفتن از رودخانه‌های فصلی و دائمی نیاز به حفر چاه جهت دسترسی به منابع آب زیرزمینی زیاد می‌شود. همچنین با در نظر گرفتن این موضوع که رودخانه‌ها بر اساس ارتباط با آب زیرزمینی نقش تغذیه آبخوان را نیز بر عهده دارند، احتمال فرونشست در اطراف رودخانه‌ها کمتر است. فاصله از رودخانه به پنج قسمت با درجه تأثیر خیلی کم (۱)، کم (۲)، متوسط (۲)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵) مطابق شکل (۶، الف و ب) تقسیم‌بندی شده است. با توجه به نقشه ترسیمی تأثیر این پارامتر فقط در قسمت کوچکی از استان قابل ملاحظه است (شکل ۶ ب).

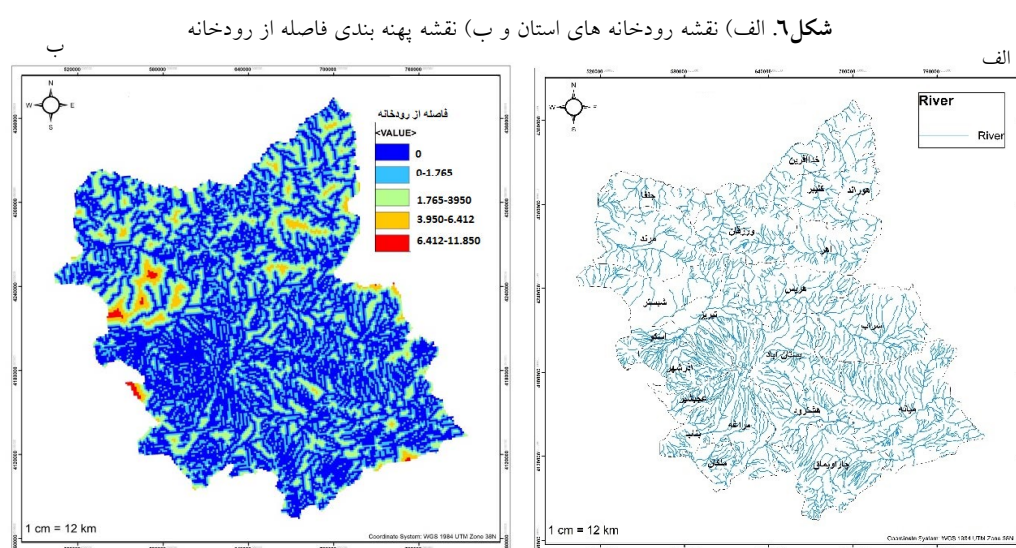


Figure 6. a) Map of the rivers of the province and, b) Zoning map of the distance from the river

در بین پارامترهای مورد بررسی، نقش خاک و نوع آن در رخداد احتمالی فرونشست برجسته تر است. به همین دلیل در این تحقیق نیز به آن توجه ویژه‌ای شده و برای تهیه نقشه بافت خاک، از لایه جنس خاک منطقه (سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی) مطابق شکل ۷، استفاده شده است. با توجه به اینکه خاک هرچه درشت دانه تر باشد (مثلاً شن دار باشد)، فرونشست آن در اثر کاهش سطح آب کمتر خواهد بود، با در نظر گرفتن موارد فوق، وزن‌ها و امتیازات لحاظ شده برای رتبه‌بندی جنس خاک استان در تاثیر بر فرونشست، به پنج قسمت با درجه تاثیر خیلی کم (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵) تقسیم‌بندی شده است (شکل ۷، الف و ب) خاک‌های عمدتاً رسی بیشترین استعداد برای فرونشست را دارند. بنابراین در محدوده گسترش چنین خاک‌هایی در سطح استان و اغلب در قسمت غرب استان احتمال فرونشست زمین بالا است (شکل ۷، ب).

شکل ۷. الف) نقشه جنس خاک و ب) نقشه پهنه بندی خاک استان

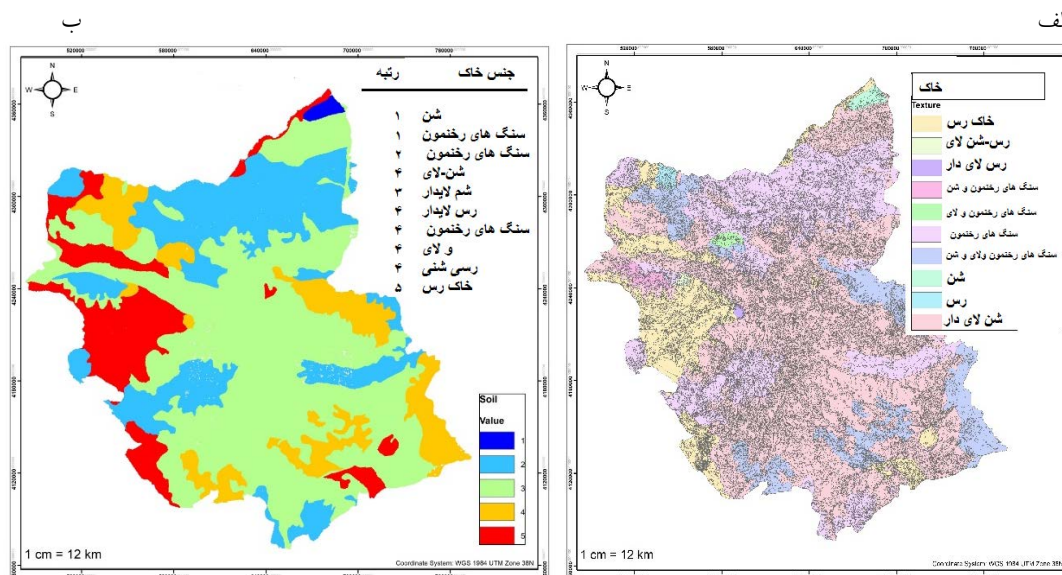


Figure 7. a) Soil type map and, b) soil zoning map of the province

۳-۴- توزیع تجهیزات و شبکه برق (حوزه توزیع برق استان آذربایجان شرقی)

شبکه‌های توزیع برق از نقش حیاتی در فعالیت‌های روزمره و فعالیت‌های اقتصادی برخوردار هستند. بررسی و شناخت تجهیزات در معرض خطر ناشی از حوادث طبیعی اهمیت زیادی در مدیریت بحران دارد. تقریباً بیشتر تجهیزات برق به زمین پایدار و تداوم پایداری در طی زمان نیاز دارند که البته باید میزان این پایداری به طور مستمر مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به این اهمیت، در این تحقیق محدوده‌های احتمالی در خطر فرونشست مشخص شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش و با در نظر گرفتن نقشه نهایی پهنه‌بندی فرونشست، مناطق باخطر فرونشست زیاد با وسعت ۱۹۸۱ کیلومترمربع و مناطق با خطر فرونشست خیلی زیاد با وسعت ۲۶۸ کیلومترمربع از شمال غرب تا جنوب شرق استان (شهرهای مرند، شبستر، تبریز، بستان آباد، سراب و میانه) کشیده شده و همچنین در شهرهای جنوب غربی

استان (بناب، ملکان و عجبشیر) واقع گردیده است که بیشترین چاه‌های برداشت آب زیرزمینی با تراکم زیاد و کاربری کشاورزی در این مناطق قرار گرفته و همچنین بیشترین میزان افت عمق سطح آب‌های زیرزمینی را دارا است. با همپوشانی نقشه شبکه انتقال برق استان و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر فرونشست، تجهیزاتی که در مناطق با خطر فرونشست زیاد و خیلی زیاد قرار دارند، مشخص گردیدند (شکل ۸، الف و ب).

شکل ۸ الف) نقشه گستردگی شبکه توزیع نیروی برق استان آذربایجان شرقی و ب) نقشه نهایی پهنه‌بندی فرونشست

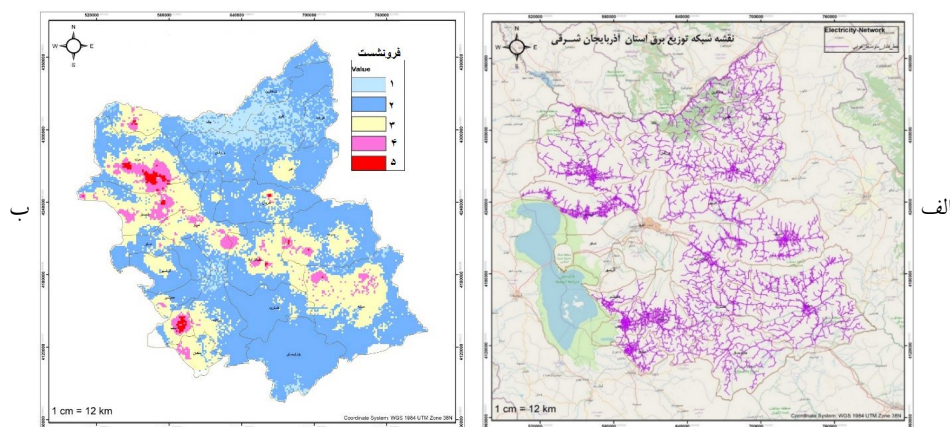


Figure 8. a) the map of the power distribution network of East Azarbaijan province and, b) the final map of subsidence zoning

با تحلیل مکانی نقشه‌های تلفیق شده، آمار و حجم تجهیزات و تعداد مشترکین واقع شده در پهنه‌بندی فرونشست با خطر زیاد و خیلی زیاد مشخص گردیدند. با مشخص شدن آمار تجهیزات و مشترکین واقع شده در محدوده فرونشست با احتمال خطر زیاد و خیلی زیاد شهرستان‌هایی که بیشترین طول و تعداد تجهیزات شبکه انتقال برق در محدوده آنها قرار گرفته با در نظر گرفتن مهمترین تجهیزات به تفکیک شهرستان مطابق جداول (۲۱ و ۲۰) است. با بررسی جداول (۲۱ و ۲۰) مشاهده شد که بالای ۷۰ درصد تجهیزات و مشترکین واقع شده در محدوده فرونشست با احتمال خطر زیاد و خیلی زیاد مربوط به شهرستان‌های مرند، شبستر و بناب است (شکل ۹).

شکل ۹. نقشه همپوشانی شبکه انتقال برق استان با پهنه‌بندی خطر فرونشست

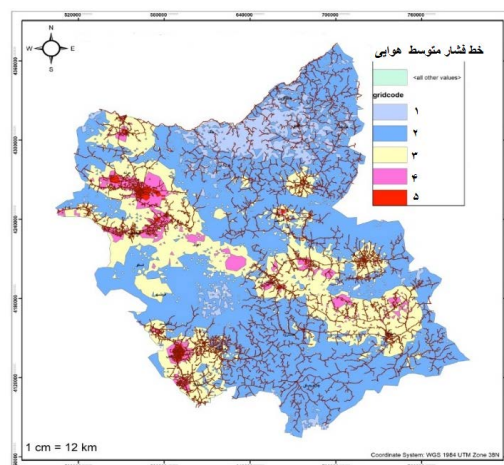


Figure 9. Overlap map of the province's electricity transmission network with subsidence risk zoning

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

جدول ۱. حجم تجهیزات شبکه انتقال برق واقع شده در پهنه بندی فرونشست با خطر زیاد و خیلی زیاد

نام تجهیز	واحد	کل	واقع در محدوده خطر زیاد	درصد خطر زیاد	واقع شده در محدوده خطر خیلی زیاد	درصد خطر خیلی زیاد
خطوط فشار متوسط (هوایی و زمینی)	کیلومتر	۱۵۲۳۱	۱۷۵۲	۱۲	۵۵۶	۴
خطوط فشار ضعیف (هوایی و زمینی)	کیلومتر	۹۸۶۳	۱۱۸۸	۱۲	۸۳۹	۹
پست توزیع هوایی	دستگاه	۲۱۶۲۸	۳۵۶۵	۱۶	۱۳۲۷	۶
پست توزیع زمینی	دستگاه	۶۷۷	۹۷	۱۴	۹۳	۱۴
ترانسفورماتور توزیع	دستگاه	۲۲۰۶۴	۳۶۲۷	۱۶	۱۴۱۴	۶
پایه فشار متوسط	اصله	۲۵۴۸۰۵	۳۰۲۲۴	۱۲	۱۰۱۹۳	۴
پایه فشار ضعیف	اصله	۳۰۹۶۹۵	۳۶۴۶۵	۱۲	۲۶۲۴۹	۸
خازن فشار متوسط	دستگاه	۲۹	۶	۲۱	۴	۱۴
سکسیونر	دستگاه	۲۸۴۲	۳۹۵	۱۴	۳۶۳	۱۳
سکشنالایزر	دستگاه	۶۴	۱۱	۱۷	۱	۳
ریکلوزر	دستگاه	۱۵۰	۲۰	۱۳	۱۱	۷
اتوبوستر	دستگاه	۴	۰	۰	۱	۲۵
دیژنکتور	دستگاه	۸۳۴	۱۱۳	۱۴	۸۵	۱۰
مشترک	اشتراک	۹۴۰۰۰۰	۱۰۹۷۰۷	۱۲	۱۱۹۸۸۷۴	۱۳

Table 1. The amount of power transmission network equipment located in the zoning of subsidence with high and very high risk

جدول ۲. حجم پست توزیع هوایی واقع شده در پهنه بندی فرونشست با خطر زیاد و خیلی زیاد

شهرستان	پست توزیع هوایی در فرونشست با خطر زیاد و خیلی زیاد	شیکه فشار ضعیف در فرونشست با خطر زیاد و خیلی زیاد	شیکه فشار متوسط در فرونشست با خطر زیاد و خیلی زیاد	تعداد مشترکین در محدوده فرونشست با خطر زیاد و خیلی زیاد	درصد
مرند	۱۴۴۳	۷۵۸	۳۷،۴	۷۷۰	۳۳،۴
شهبستر	۱۰۷۷	۲۵۸	۱۲،۷	۴۵۰	۱۹،۵
بناب	۱۰۴۱	۴۷۸	۲۳،۶	۳۷۸	۱۶،۴
ملکان	۳۸۱	۲۰۹	۱۰،۳	۱۵۵	۶،۷
بستان آباد	۲۵۸	۳۵	۱،۷	۱۲۰	۵،۲
جلفا	۲۱۴	۸۸	۵	۱۲۰	۵،۲
میانه	۱۹۴	۴۵	۲،۲	۱۲۰	۵،۲

۱,۴	۳۱۲۸	۴,۳	۱۰۰	۲	۴۰	۳	۱۴۵	سراب
۶	۱۳۸۶۰	۲,۲	۵۰	۵	۱۰۲	۱,۵	۷۱	عجبشیر
۰,۳	۶۷۸	۱,۱	۲۵	۰,۶	۱۲	۰,۹	۴۵	مراغه
۰	۷۸	۰,۹	۲۰	۰,۱	۲	۰,۵	۲۳	هریس
۱۰۰	۲۲۹۵۸۱	۱۰۰	۲۳۰۸	۱۰۰	۲۰۲۷	۱۰۰	۴۸۹۲	جمع

Table 2. The volume of air distribution post located in the zoning of subsidence with high and very high risk

۳-۵- ارزیابی دقت مناطق پهنه بندی شده برای فرونشست

با توجه به اینکه سازمان نقشه برداری کشور متولی پایش زمین و تهیه نقشه فرونشست دشت‌های کشور است، با استفاده از روش‌های تداخل‌سنجی راداری با پوشش وسیع و قدرت تفکیک مکانی بالا، فرونشست زمین را اندازه‌گیری و نتایج را تحلیل و اطلس‌های فرونشست را برای شهرهای زیادی از کشور تهیه می‌کند (صالحی، ۱۳۹۲: ۵۷). بر این اساس، مناطق پهنه‌بندی شده برای فرونشست در این پژوهش با نقشه‌های فرونشست حاصل از تصاویر راداری سازمان نقشه‌برداری کشور انطباق داده شد. به عنوان نمونه، اطلس فرونشست اطراف شهرهای شبستر، صوفیان، وایقان، خامنه و بندر شرفخانه که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شده با بیشترین نرخ ۱۰/۸ سانتی متر در شکل (۱۰) آورده شده است. برای تهیه این نقشه و پهنه‌بندی از تصاویر راداری سنتینل ۱ در بازه زمانی اسفندماه ۱۳۹۵ تا اسفندماه ۱۳۹۹ استفاده شده است. در شکل (۱۰) مناطق هشدار برای استان آذربایجان شرقی در پهنه‌بندی خطر فرونشست که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور طی اطلس فرونشست در سالهای ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ تهیه گردیده بود، مشخص شده است.

شکل ۱۰. الف) مناطق پهنه بندی شده با خطر فرونشست زیاد و خیلی زیاد در این پژوهش و ب) مناطق همپوشانی خطر فرونشست

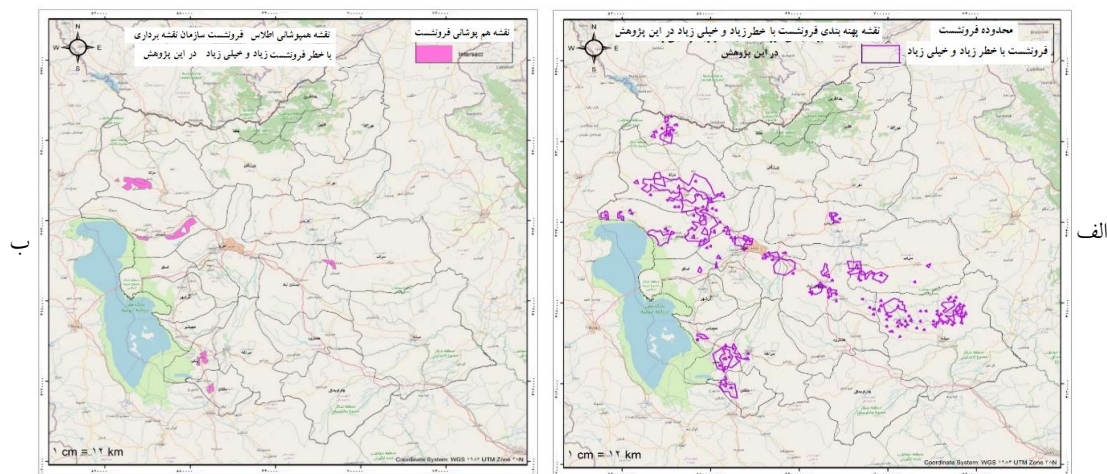


Figure 10. a) Zoned areas with high and very high subsidence risk in this research and b) overlapping areas of subsidence risk

۴. بحث

بررسی رابطه بین آب‌های زیرزمینی و بارش نشان می‌دهد که نوسانات سطح آب بیشتر از آنکه با بارش در رابطه باشد با استحصال در رابطه است. طبق نتایج بدست آمده از این پژوهش، مناطقی با مساحت ۲۲۴۴ کیلومتر مربع در پهنه‌بندی فرونشست با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. با همپوشانی و انطباق مناطق پهنه‌بندی شده با خطر فرونشست زیاد و خیلی زیاد، در این پژوهش با نقشه‌های فرونشست حاصل از اطلس سازمان نقشه‌برداری کشور، همپوشانی قابل توجهی در مناطق فرونشست شهرهای مرند، شبستر، بناب، ملکان و سراب مشاهده شد که این همپوشانی در حدود ۵۳ درصد است (شکل ۱۱). بدین معنی که از مساحت ۶۲۴ کیلومتر مربع مناطق هشدار در اطلس سازمان نقشه‌برداری کشور، مساحتی در حدود ۳۲۸ کیلومتر مربع با نتایج این پژوهش همپوشانی داشت که این محدوده‌ها در شکل (۱۱) مشخص شده است.

شکل ۱۱. الف) اطلس فرونشست سازمان نقشه‌برداری کشور (مناطق هشدار برای استان آذربایجان شرقی) و ب) نقشه پهنه‌بندی شهر

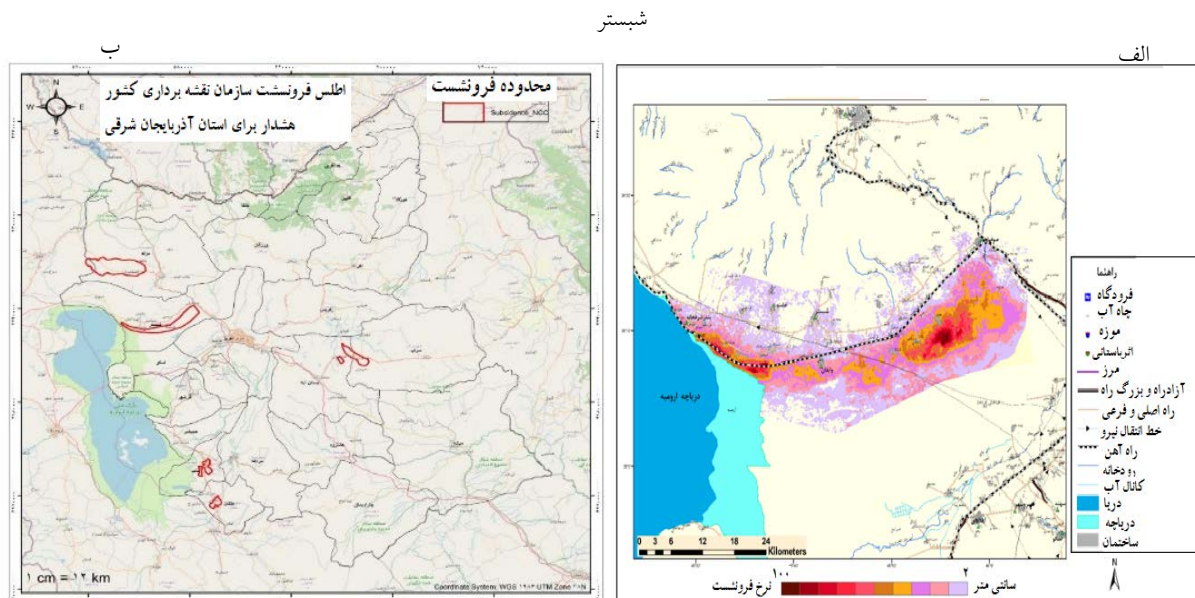


Figure 11. a) Subsidence atlas of the country mapping organization (warning areas for East Azerbaijan province) and, b) zoning map of Shabestar city

با توجه به نتایج بدست آمده، در صورت ادامه روند کنونی برداشت‌های آب زیرزمینی و ادامه حفر چاه‌های تامین آب کشاورزی و صنعت، احتمال بحرانی شدن شرایط در مناطق پهنه‌بندی شده وجود دارد. همچنین با کاهش چشمگیر سطح آب‌های زیرزمینی و افزایش تعداد چاه‌های برداشت آب زیرزمینی و عدم کنترل و مدیریت آنها، احتمال فرونشست در آینده‌ای نزدیک مثل سایر استان‌ها وجود داشته و به حد بحرانی خواهد رسید. بررسی میدانی نیز از جابجایی‌های زمین در محدوده‌های نصب تیرهای برق حکایت می‌کند. بررسی تصاویر گرفته شده از کارهای میدانی نشان دهنده فرونشست زمین در محدوده‌های استقرار تیرهای برق در بخش‌هایی از استان است. در بیشتر بخش‌های استان، بخصوص

در دشت‌های هموار و در محدوده خاک‌های رسی و در محدوده‌هایی که تراکم چاه‌ها بیشتر و کاربری عمدتاً کشاورزی و باغی است، خطر فرونشست بالا است و در انطباق با نقشه فرونشست سازمان نقشه‌برداری بخش‌هایی از محدوده‌های خطر همپوشانی‌هایی را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن گستره شبکه توزیع برق و با مشخص شدن آمار مربوط به تجهیزات واقع شده در محدوده فرونشست با احتمال خطر زیاد و خیلی زیاد، و با در نظر گرفتن مهمترین تجهیزات به تفکیک شهرستان، مشخص شد که بالای ۷۰ درصد تجهیزات و مشترکین واقع شده در محدوده فرونشست، با احتمال خطر زیاد و خیلی زیاد، مربوط به شهرستان‌های مرنند، شبستر و بناب است، یعنی محدوده‌هایی که بیشتر مصارف آب در بخش کشاورزی در آنها در حال انجام است. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعاتی در محدوده‌های تمرکز انسانی در نزدیکی آلپ‌های صورت گرفته توسط باتوبارا و همکاران^۱، ۲۰۲۳؛ باری^۲، ۲۰۰۲؛ چای و همکاران^۳، ۲۰۲۲؛ کوراء^۴، ۲۰۱۹؛ چن^۵، ۲۰۱۰ و چو^۶، ۲۰۲۲، کاملاً منطبق است.

۵. نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، بخش‌هایی از استان آذربایجان شرقی به لحاظ افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری در معرض خطر فرونشست زمین قرار گرفته است. نتایج بررسی‌های صورت گرفته در مورد محدوده‌های تحت خطر فرونشست زمین نشان می‌دهد که در محدوده‌هایی مانند مرنند، سراب و تقریباً در بیشتر قسمت‌های مرکزی استان که استحصال آب‌های زیرزمینی بالاست، خطر فرونشست نیز بسیار بالا است. بررسی نوسانات آب‌های زیرزمینی در قسمت‌های مختلف استان و توجه به میانگین افت سالانه ایستایی آبخوان‌های استان نشان می‌دهد که فشار بر منابع زیرزمینی تا چه اندازه در طی سال‌های مورد بررسی به مرحله حاد رسیده است. با توجه به نتایج حاصل از بررسی نقش متغیرهای مورد بررسی، می‌توان نتیجه گرفت که نقش افت آب‌های زیرزمینی در فرونشست زمین (در محدوده‌هایی که سازندهای سطحی نیز یاری کرده) برجسته است. با توجه به آمار ارایه شده می‌توان گفت که در محدوده‌های مختلف استان، افت سطح آب‌های زیرزمینی زیاد بوده و فرونشست زمین نیز قابل ملاحظه بوده است.

در نهایت می‌توان گفت که بیشتر استان‌های کشور بخصوص استان آذربایجان شرقی با دارا بودن شبکه گسترده‌ای از خطوط برق در معرض انواع تهدیدات، بخصوص تهدید توسط پدیده فرونشست قرار دارد که لازم است که با توجه به حساسیت شبکه‌های انتقال برق، این موضوع با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به اینکه در بخش‌هایی از استان، محدوده‌هایی با پتانسیل بالا برای فرونشست زمین وجود دارد، لازم است مساله افت آب‌های زیرزمینی و به دنبال آن فرونشست زمین بسیار جدی گرفته شود. برای جلوگیری از هدر رفت در مصارف آب بخصوص در کشاورزی، اهتمام کافی برای اصلاح الگوی مصرف آب صورت گیرد. همچنین مدیریت فرونشست‌ها یک مسئله مهم و مربوط به

¹ Batubara et al.,

² Burbey

³ Cai et al.,

⁴ Qara

⁵ Chen

⁶ Zho

منابع آبی و خاکی است. بنابراین اتخاذ سیاست و برنامه‌های کلان کشوری در جهت اقدام هماهنگ در راستای سایر سیاست‌های مربوط به منابع آب و خاک با همکاری تمامی دستگاه‌های اجرایی ملی و استانی ضرورت دارد.

منابع

- آروین، ع.، وهاب زاده، ق.، موسوی، س.، و بختیاری کیا، م. (۱۳۹۸). مدل بندی فضایی فرونشست زمین در جنوب میناب با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۰ (۳)، ۳۳-۱۹
https://journals.iau.ir/article_668468_18f5be7c9800c7185d3997d96d3c3f80.pdf
- شریفی کیا، م. (۱۳۹۰). تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری (D-InSAR) در دشت نوق- بهرمان، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۶ (۳)، ۵۵-۶۷.
<https://hsmmp.modares.ac.ir/article-21-5076-fa.html>
- رکنی، ج.، حسین زاده، س.، لشکرپور، ق.، و ولایتی، س. (۱۳۹۶). بررسی فرونشست زمین، ویژگی‌ها تغییرات ژئومورفولوژیکی ناشی از دشت‌ها، مطالعه موردی: دشت نیشابور، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۶ (۲۶)، ۳۸-۲۱.
<https://profdoc.um.ac.ir/articles/a/1063901.pdf>
- کلانتری، س.، عبادتی، ن.، و ذاکری نیر، م. (۱۳۹۹). ارزیابی فرونشست دشت شهریار و ملارد ناشی از برداشت آبهای زیرزمینی و تأثیر آن بر سازه‌های زیربنایی، زمین‌شناسی محیط زیست، ۱۴ (۵۲)، ۳۹-۲۳.
https://geojournal.islamshahr.iau.ir/article_684328_042a1e668602c37eb80070341ee5d4b6.pdf
- کوهبنانی، ح.، یزدانی، م.، و حسینی، ک. (۱۳۹۸). پهنه بندی گستره خطر فرونشست زمین با بهره گیری از تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی: دشت کاشمر و خلیل آباد)، مدیریت بیابان، ۴ (۱۳)، ۷۶-۵۶.
https://www.jdmal.ir/article_36526_e28f2bac8363192b26340d1b56ad5258.pdf
- صالحی، ر.، موسوی، م.، غفوری، م.، لشکرپور، ق.، و افشار، س. (۱۳۹۲). بررسی پدیده فرونشست زمین و اثرات آن بر فروریزی دیواره چاه‌ها در مشهد با استفاده از پهنه‌بندی تغییرات در لایه خاک، تحقیقات مهندسی آب و آبیاری، ۴ (۱۳)، ۵۶-۶۶.
<https://profdoc.um.ac.ir/articles/a/1029758.pdf>
- قره چلو، س.، اکبری قوچانی، ح.، گلیان، س.، و گنجی، ک. (۱۴۰۰). ارزیابی میزان فرونشست زمین در ارتباط با آبهای زیرزمینی به کمک داده ماهواره‌های راداری سنتینل-۱ا الوس-، منطقه مورد مطالعه: دشت مشهد، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۲ (۳)، ۶۱-۴۰.
<https://civilica.com/doc/1265662/>
- محمدخان، ش.، کنجائیان، م.، گروسی، ل.، و رنگه بار، ز. (۱۳۸۹). ارزیابی تأثیر افت آبهای زیرزمینی بر میزان فرونشست با استفاده از تصاویر راداری سنتینل-۱ محدودده مورد مطالعه: دشت قروه، نشریه سپهر، ۲۸ (۱۱۲)، ۲۱۹-۲۲۹.
https://www.sepehr.org/article_38617_0d704e1eb68ffd59b77c36e5c79482df.pdf

- Armaghani, D., J. Hajihassani, M., Sohaei, H., Mohamad, ET, Marto, A., Motaghedi, H., & Moghaddam MR. (2015). Neuro-fuzzy technique to predict air-overpressure induced by blasting. *Arab J Geosci*, 8 (12), 10937–1095. https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.springer-doi-10_1007-S12517-015-1984-3.
- Arvin, A., Vahabzadeh, Q., Mousavi, S., & Bakhtiari Kia, M. (2018). Spatial modeling of land subsidence in south Minab using remote sensing and geographic information system, *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 10 (3), 19-33. (In Persian)
- Batubara, B., Kooy, M., & Zwarteveen, M. (2023). Politicizing land subsidence in Jakarta: How land subsidence is the outcome of uneven sociospatial and socionatural processes of capitalist urbanization, *Geforum*, 139 (2023) 103689. DOI: 10.1016/j.geoforum.2023.103689
- Burbey, T. J. (2002). The Influence of Faults in Basin-Fill Deposits on Land Subsidence, Las Vegas Valley, Nevada, USA: *Hydrogeology Journal*. 10 (5): 525-538. DOI:10.1007/s10040-002-0215-7
- Cai, H., Wang, Y., Song, C., Wang, T., & Yuan Shen. (2022), Prediction of Surface Subsidence Based on PSO-BP Neural Network, *Journal of Physics: Conference Series*, 2400 (2022) 012046 IOP Publishing.
- Cassiani, G., & Zocatelli, C. (2000). Subsidence risk in Venice and nearby areas, Italy, owing to offshore gas fields: a stochastic analysis, *Environmental Engineering Geoscience*, 6 (2), 115–128. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.6.2.115>
- 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*.115:122–31. <https://www.semanticscholar.org/paper/Correlation-between-groundwater-level-and-altitude-Chen-Wang/796fbfc2e7ed692646795ec98f1fcc85d621179a>
- Dehghani M., Rastegarfar M., Ashrafi RA., Ghazipour N., & Khorramrooz, HR. (2014). Interferometric SAR and geospatial techniques used for subsidence study in the Rafsanjan plain. *Am J Environ Eng*. 4 (2): 32–40. DOI: 10.5923/j.ajee.20140402.03 doi:10.1088/1742-6596/2400/1/012046.
- Ekrami, M., Mahdavi, R., Rezai, M., Vagharfard, H., & Barkhori, J. (2021). Zoning of rangeland drought vulnerability in arid and semi-arid regions (Case study: Pishkuh watershed of Yazd province), *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 27 (3): 577-595. (In Persian).
- Fouladi, M., Mahdavi Najafabadi, R., & M., Rezai, M. (2020). Development of management strategies for protection and rehabilitation of Jazmourian wetland using VIKOR multi-criteria decision model, *Geographical explorations of desert areas*, 8 (2):107-13. https://grd.yazd.ac.ir/article_2056.html?lang=en. (In Persian).
- Galloway, D. L., Hudnut, K. W., Ingebritsen, S. E., Philis, S. P., Peltzer, G., Rogez, F. & Rosen, P. A. (1998). Detection of aquifer system compaction and land subsidence using interferometric synthetic aperture radar, Antelope valley, Mojave Desert, California, *Water Resour Res*, 34: 2573-2585. <https://pubs.usgs.gov/publication/70020030>
- Ganguli, M. (2011). Groundwater withdrawal and land subsidence: a study of Singur Block, West Bengal, India. *Intern J Geom Geosci*. 2 (2), 465-477.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Groundwater-withdrawal-and-land-subsidence%3A-A-study/e477e9a400edbd>.

- Gharechelou, S., Akbari, H., Ghoochani, Golian, S., & Ganji, K. (2021). Evaluation of land subsidence relationship with groundwater depletion using Sentinel-1 and ALOS-1 radar data (Case study: Mashhad plain), *RS & GIS for Natural Resources*, 12(3), 11-14. (In Persian). <https://civilica.com/doc/1265662/>
- Kalantari, S., Ebadati, N., & zaheri nayyeri, M. (2020). Assessment of subsidence of Shahriar and Mallard plains due to groundwater abstraction and its effect on infrastructure, *Journal of geology environment*, 52(14), 23-39. (In Persian).
- Karimzadeh, S. (2015). Characterization of land subsidence in Tabriz (NW Iran) using watershed and InSAR analyses, *Acta Geodaetica Geophys*, Springer. 51: 181–195. DOI 10.1007/s40328-015-0118-4
- Khorrami, M., Alizadeh, B., Ghasemi Tousi, E., Shakerian, M., Maghsoudi, Y., & Rahgozar, P. (2019). How groundwater level fluctuations and geotechnical properties lead to asymmetric subsidence: A PSInSAR analysis of land deformation over a transit corridor in the Los Angeles metropolitan area. *Remote Sensing*. 11 (4): 377-389. <https://doi.org/10.3390/rs11040377>
- Koohbanani, H. R., Yazdani, M., & Hosseini, S. (2019). Mapping Land Subsidence Hazard through InSAR (Case study: Kashmar and Khalil Abad plain), *Desert Management*, 13(9), 65-76. (In Persian).
- Lashkaripour, G. R., Ghafoori, M., & Rostami Barani, H.R. (2009). An investigation on the mechanism of earth-fissures and land subsidence in the western part of Kashmar Plain. *Geological Studies*. 1 (1): 95-112. 10.22067/SED.FACIES.V1I1.697
- Mohammad Khan, S., Kanjaian, M., Grossi, L., & Ranganebar, Z. (1389). Evaluation of the effect of groundwater loss on subsidence rate using conventional radar images - 1 of the studied area: Qorve plain, *Sepehr Journal*, 28 (112), 219-229. (In Persian).
- Naderloo, L., Javadikia, H., & Mostafaei, M. (2017). Modeling the energy ratio and productivity of biodiesel with different reactor dimensions and ultrasonic power using ANFIS. *Renew Sustain Energy Rev*. 70: 56–64. DOI: 10.1016/j.rser.2016.11.035
- Phi, T H., & Strokova Ludmila, A. (2015). Prediction maps of land subsidence caused by groundwater exploitation in Hanoi, Vietnam. *Resource-Efficient Technologies*. 1, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2015.09.001>
- Rukni, J., Hosseinzadeh, S., Lashkarpour, A., & Velayati, S. (2016). Investigating land subsidence, -characteristics of geomorphological changes caused by plains, case study: Neishabur plain. *Geographical studies of dry areas*. 6 (26), 21-38. <https://profdoc.um.ac.ir/articles/a/1063901.pdf>. (In Persian).
- Salehi, R., Mousavi, M., Ghafouri, M., Lashkarpour, Q., & Afshar, S. (2012). Investigating the phenomenon of land subsidence and its effects on the collapse of well walls in Mashhad using zoning changes in the soil layer, *Water and Irrigation Engineering Research*, 4 (13), 56-66. (In Persian).
- Sharifi Kia, M. (2018). Determining the extent and range of land subsidence using radar interferometric method (D-InSAR) in Noug-Bahrman Plain, *Space Planning and Planning*, 6 (3), 55-67. (In Persian).