



University of Tehran Press

Environmental

Hazards

Management



Iranian Hazardology Association
Online ISSN: 2383-0530

Home Page: <https://jhsci.ut.ac.ir>

Structural Analysis of the Vulnerability of Areas at Risk of Groundwater Depletion in the Kabudarahang Plain

Mojtaba Molaei¹ | Mamand Salari^{2*} | Atefeh Ahmadi Dehrashid³

1. Department of Geomorphology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Iran. E-mail: mojtabamolayi74@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Geomorphology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Iran. E-mail: m.salari@uok.ac.ir

3. Department of Climatology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Iran. E-mail: atefeh.ahmadi@uok.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 04 May 2025
Revised: 02 June 2025
Accepted: 10 June 2025
Published: 17 June 2025

Keywords:
Groundwater depletion,
Kabudarahang plain,
Structural equations,
Vulnerability.

ABSTRACT

Groundwater depletion is one of the most important issues and challenges facing human societies, which has led to increased vulnerability in many places. In this regard, the present study was conducted to investigate the vulnerability of groundwater in the Kabudarahang Plain using spatial analysis methods. The study sampled 400 people selected through stratified random sampling. In order to analyze the data, statistical methods, spatial analysis in GIS software, and structural equation modeling using AMOS software were used. The aim was to analyze the factors affecting groundwater vulnerability. The results showed that the physical component with an affect coefficient of 0.579 had the greatest influence. Identifying the most influential factors using the MCDM lead to the classification of the physical component with the highest weight. Other factors, including the socio- economic and environmental components, were also examined. The lack of reliance on the environment, the emergence of new consumption patterns, and the mismanagement of natural resources all contributed to the spatial analysis of vulnerable areas. The findings emphasized the need for attention to natural districts with high and very high vulnerability levels. In particular, the Sardaran and Hajilo rural districts were identified as having an inappropriate situation.

Cite this article: Molaei, M.; Salari, M. & Ahmadi Dehrashid, A. (2025). Structural Analysis of the Vulnerability of Areas at Risk of Groundwater Depletion in the Kabudarahang Plain. *Environmental Hazards Management*, 12 (1), 1-17. DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.395280.881>



© The Author(s). **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.395280.881>

Introduction

One of the major environmental hazards that has emerged in recent decades is groundwater depletion due to excessive extraction of groundwater resources. In other words, the overuse of groundwater has become a critical issue and challenge for societies worldwide, leading to economic, social, and environmental vulnerabilities. Given the vital role of groundwater in supplying drinking water, supporting agricultural activities, and ensuring food security in rural and urban areas, it is essential to adopt efficient and sustainable management practices and to understand the consequences of over-extraction. Groundwater is a dynamic, limited, and vulnerable resource; although it is theoretically reversible, it must be protected in an environmentally sustainable manner to prevent land subsidence, sinkholes, and associated problems.

Environmental vulnerability assessment plays a crucial role in the sustainable management of natural resources. The evolution of new approaches in environmental assessment has led to the emergence of the concept of environmental vulnerability, which emphasizes the interconnectedness of environmental and human systems. This concept is now central to sustainability research.

Hamedan Province, located in western Iran, has been facing the threat of groundwater depletion for decades. Among its regions, the Kabudarahang Plain has been declared a restricted zone due to critical groundwater conditions. Given the strategic importance of aquifers in the Kabudarahang Plain for the regional economy and the increasing occurrence of sinkholes, a systemic and structural approach to assessing the vulnerability of this area is essential.

Methodology

This study employs a descriptive-analytical research method. To structurally analyze the vulnerability of areas at risk of groundwater level decline in the Kabudarahang Plain, both documentary and library research, as well as field methods (including questionnaires distributed among local stakeholders and experts), were used.

The statistical population consisted of residents and experts in Kabudarahang County. The sample size was determined using Cochran's formula, resulting in 400 stratified random samples based on proportional allocation. To ensure validity, two formal methods were used: expert approval by university faculty members and the KMO coefficient calculated in SPSS 23. The KMO values confirmed the adequacy of the 86 analytical indicators categorized under 9 components. Reliability was confirmed using Cronbach's alpha ($\alpha = 0.90$) after a pilot test.

Descriptive statistics were employed to assess respondents' views. For inferential statistics, parametric tests such as Pearson correlation and stepwise regression were applied due to the normal distribution of the data. The FTOPSIS technique was used for the analysis of questionnaire responses. To identify the most influential variables on community vulnerability to groundwater decline, structural equation modeling (SEM) was performed using AMOS software. The vulnerability status of rural districts within the Kabudarahang Plain was assessed using multi-criteria decision-making (MCDM) techniques and expert surveys. Finally, spatial functions and algorithms in the ArcGIS environment, along with the IDW model, were applied to generate a zoning map of vulnerability in the study area.

Result and Discussion

The findings indicate a significant relationship between vulnerability to groundwater decline (the dependent variable) and several independent variables. Regression results show that poor groundwater management practices contribute to physical and environmental vulnerability, which in turn leads to broader economic and social vulnerability, exacerbating the ongoing crisis in the region.

Among the analyzed factors, the physical component (coefficient = 0.579) and the environmental component (coefficient = 0.178) had the highest impact on groundwater level decline. An inverse and significant relationship was found between behavioral patterns and vulnerability, suggesting that unsustainable water use behaviors increase vulnerability.

Economic and environmental dimensions emerged as the most critical factors in regional vulnerability. The environmental impact is visible in the form of sinkholes, financial losses for farmers, and reduced agricultural productivity. Structural equation modeling confirmed that behavioral patterns (BP) exert the greatest influence on vulnerability.

Using expert input and MCDM methods, rural districts were categorized into different vulnerability levels based on a researcher-designed questionnaire using a five-point Likert scale. The results revealed that Shirinsu, Goltepe, and Alisadr rural districts have very low vulnerability (score: 0.01), Sardaran has high vulnerability (0.70), and Raheb and Hajilo districts have very high vulnerability (0.74 and 0.79, respectively), highlighting their need for priority in crisis management plans.

A final vulnerability zoning map was produced by combining MCDM and Shannon entropy weights, and applying spatial analysis techniques in ArcGIS using the IDW model.

Conclusion

The Kabudarahang Plain in Hamedan Province is under serious threat from declining groundwater levels, primarily due to unsustainable and unbalanced water resource exploitation. Using structural equation modeling and inferential statistical analysis, this study identified key components influencing regional vulnerability. Economic and environmental factors emerged as the most significant.

To address the issue, it is recommended that water resource management approaches prioritize maintaining ecological balance. Strategies should include promoting advanced irrigation technologies, involving local communities in resource management, and integrating environmental values into economic development policies. These actions are crucial for reducing the vulnerability of the region and ensuring long-term sustainability

References

- Ahmadi Beni, F., Entezari, M., Sadeghi, A., & Salehi, A. (2024). Quantifying land subsidence and its nexus with groundwater depletion in isfahan-borkhar plain: An integrated approach using radar interferometry and spatial bivariate relationships, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 35, 101248.
- Teartisup, P., & Kerdsueb, P. (2013). Land Subsidence Prediction in Central Plain of Thailand, *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(1), 59-61.
- Thomalla, F., Downing, T., Seigfried, E.S., Han, G., & Rockstorm, J. (2006). Reducing hazard vulnerability: towards a common approach between disaster risk reduction and climate adaptation, *Disasters*, 30(1): 48-39.
- Minderhoud, P.S.J., Erkens, G., Pham, V.H., Bui, V.T., Erban, L., Kooi, H., & Stouthamer, E., (2017). Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong delta, Vietnam. *Environ. Res. Lett.* 12, 064006 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7146>.



تحلیل ساختاری آسیب‌پذیری نواحی تحت مخاطره افت سطح آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ

مجتبی مولایی^۱ | ممند سالاری^{۲*} | عاطفه احمدی دهرشید^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان. رایانامه: mojtabamolayi@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان. رایانامه: m.salari@uok.ac.ir
۳. استادیار گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان. رایانامه: atefeh.ahmadi@uok.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۲۷

کلیدواژه:

آسیب‌پذیری،

افت سطح آب زیرزمینی،

دشت کبودرآهنگ،

معادله‌های ساختاری.

افت آب زیرزمینی از مهم‌ترین مسائل و چالش‌ها در زمینه کاهش ذخایر آبی در همه جوامع انسانی است که سبب ایجاد آسیب‌پذیری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در مکان‌های مختلف شده است. این پژوهش به تحلیل ساختاری آسیب‌پذیری نواحی تحت مخاطره افت سطح آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ استان همدان پرداخته است. نمونه‌های تحت بررسی به تعداد ۴۰۰ نفر براساس روش کوکران و به شیوه تصادفی - طبقه‌ای انتخاب شدند. برای تجزیه و تحلیل اطلاعات از الگوریتم‌ها و توابع کاربردی در نرم‌افزار ARCGIS، آمار توصیفی و استنباطی در نرم‌افزار SPSS و برای مدل‌سازی و تحلیل عوامل مؤثر بر شاخص‌های آسیب‌پذیری از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) و معادله‌های ساختاری با استفاده از نرم‌افزار AMOS بهره گرفته شد. نتایج پژوهش حاضر در گام نخست و در ارزیابی مهم‌ترین مؤلفه، بیانگر رخداد آسیب‌پذیری در برابر افت سطح آب زیرزمینی، منتهی به شناسایی مؤلفه کالبدی با ضریب ۰/۵۷۹ و مؤلفه زیست‌محیطی با ضریب ۰/۱۷۸ شد. مهم‌ترین مؤلفه مؤثر بر آسیب‌پذیری منطقه، مؤلفه اقتصادی و زیست‌محیطی با میانگین ۳/۴۴ است. در مدل‌سازی معادله‌های ساختاری، اتکا نکردن به انگاره‌های ارزشی پارادایم نوین زیست‌محیطی که بر تعادل و هماهنگی با طبیعت و محیط زیست تأکید دارد، منتهی به رفتارهای تخریب‌گرایانه در زمینه بهره‌برداری از منابع طبیعی شده است. در نهایت تحلیل فضایی - مکانی مناطق آسیب‌پذیر نشان داد که دهستان‌های سرداران و حاجیلو با درجه آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد در وضعیت نامناسبی قرار گرفته است.

استناد: مولایی، مجتبی؛ سالاری، ممند و احمدی دهرشید، عاطفه (۱۴۰۳). تحلیل ساختاری آسیب‌پذیری نواحی تحت مخاطره افت سطح آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۲ (۱)، ۱-۱۷.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.395280.881>

© نویسندگان ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.395280.881>



مقدمه

هر ساله، جوامع انسانی در سراسر جهان با انواع مخاطره ناشی از عوامل زمین‌ساختی، اقلیمی و هیدرولوژیکی مواجه‌اند که به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه خسارت‌های جبران‌ناپذیری در پی دارد (Thomalla et al., 2006؛ نظم‌فر و پاشازاده، ۱۳۹۷). در این میان، مفهوم آسیب‌پذیری به توان اجتماعی و اقتصادی جوامع در مواجهه با خطر اشاره دارد و نشان می‌دهد که هر جامعه تا چه حد می‌تواند تبعات یک حادثه را مدیریت کند یا از آن رهایی یابد. تأکید بر کاهش پیامدهای ناشی از بلایای طبیعی و افزایش انعطاف‌پذیری در مقابل آنها، در سال‌های اخیر به یکی از ضرورت‌های برنامه‌ریزی محیطی و توسعه پایدار تبدیل شده است (Lazarus, 2011؛ عزمی و نوری، ۱۳۹۴).

یکی از مخاطرات مهم محیطی که طی دهه‌های اخیر به‌صورت فزاینده‌ای در مناطق مختلف جهان و ایران مشاهده شده، افت سطح آب‌های زیرزمینی به دلیل برداشت‌های بی‌رویه است. این پدیده هم منابع آب را تهدید می‌کند و هم زمینه‌ساز رخداد‌های ثانویه‌ای مانند فرونشست زمین و بروز فروچاله‌ها شده است. آب‌های زیرزمینی منابعی پویا، آسیب‌پذیر و برگشت‌پذیرند، اما در نبود مدیریت پایدار، به‌سرعت دچار افت کمی و کیفی می‌شوند (عباس‌نژاد، ۱۳۷۷). تحول و تکوین رویکردهای نوین در ارزیابی و حفاظت محیط زیست به ارائه مفهومی جدید از آسیب‌پذیری محیطی با تمرکز بر تحلیل‌های آسیب‌پذیری منجر شده است (شیرافکن و جعفری، ۱۳۹۲). به همین دلیل، تحلیل آسیب‌پذیری ناشی از افت سطح آب زیرزمینی، در چارچوب سیستم‌های به‌هم‌پیوسته محیطی- انسانی و به‌ویژه در قالب رویکردهای نوین سیستمی، به یکی از موضوعات مهم پژوهش‌های محیطی تبدیل شده است.

بررسی‌ها نشان داد که با توجه به اهمیت موضوع پژوهش‌هایی در جهان (داخلی و خارجی) از زوایای گوناگون در این زمینه انجام گرفته است و بر همین اساس پژوهشگران تلاش کرده‌اند روابط بین برداشت منابع آب زیرزمینی، تغییرات زمین و آسیب‌پذیری محیطی را تبیین کنند.

در تحقیقی به بررسی فرونشست زمین و پیش‌بینی آن در دشت مرکزی تایلند پرداختند (Teartisup & Kerdsueb, 2013). هدف بررسی ریسک فرونشست در قالب جامعه و با رویکرد سیستمی بود. بنابراین بررسی شش متغیر زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، تعداد چاه‌ها، میزان مصرف آب زیرزمینی، کاربری زمین و در نهایت مقادیر جمعیت انجام گرفت. نتایج نهایی پژوهش مقادیر فرونشست را در یک بعد کمی- فضایی نشان داد و مشخص شد که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در مرحله اول به‌کارگیری افزایش منابع آب زیرزمینی و در مرحله بعد تعداد چاه‌ها بود که در نهایت سبب کاهش سطح تراز آب زیرزمینی و فرونشست شده است.

در پژوهشی در دشت پکن چین، با استفاده از داده‌های مکانی و زمانی، ارتباط بین نشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی بررسی و تمرکز این پدیده‌ها در نواحی خاصی شناسایی شد که ناشی از فعالیت‌های انسانی بود (Li et al., 2017). در پژوهشی جدید در ایتالیا آلبریکو و ماتانو (۲۰۲۴) مسئله آب زیرزمینی، سوبسیدانس و در نهایت تغییرات و روند آن در دشت ساحلی ولتارنو بررسی شد. نتایج نهایی نشان داد که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی، روند تغییرات زمین از ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۱ در شدیدترین حالت خود بوده و برآیند اثرهای تجمعی فرایندها به لحاظ زمانی و نیز مکانی شایان توجه بوده است (Alberico & Matano 2024).

در داخل نیز اثرهای افت سطح آب زیرزمینی از منظرهای مختلف تحلیل شده است. پژوهش خلیل‌آبادی و داوری (۱۳۹۸) نشان داد که تداوم برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی بر بخش کشاورزی در دشت نیشابور سبب افزایش افت تا حد متوسط ۲۴ متر و افزایش شوری تا حد متوسط ۵۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر برای دشت نیشابور شد. اثرهای بروز احتمالی این پدیده در این تحقیق به کمک مدل‌های برنامه‌ریزی و تدوین الگوی کشت و روابط عملکرد محصول، آب و شوری، به‌صورت کاهش ۳۰ درصدی سطح زیر کشت، کاهش عملکرد ۶۵ درصدی محصولات کشاورزی و نیز کاهش نیروی کار ۲۸ درصدی تا سال ۱۴۲۰ است. برآیند پژوهش‌ها دال بر سیستمی بودن موضوع و نیز ارتباط متغیرهای مهم در ساختار آن است و بنابراین باید از جنبه‌های مختلف به مسئله پرداخت. بر همین اساس پژوهش‌های مختلف دیگری نیز صورت گرفته است؛ از جمله درباره رویکرد آسیب‌پذیری ناشی از خشکسالی و کاهش تراز آب زیرزمینی در نواحی روستایی (پورطاهری و همکاران، ۱۳۹۵)، تأثیر باورهای زیست‌محیطی بر رفتار پایدار کشاورزان استان فارس در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی (صالحی و همکاران، ۱۳۹۶) و بررسی

مشخصات آب‌های سطحی و زیرزمینی در تالاب‌های رودخانه آجو در آرژانتین و جایگاه و نقش عوامل متعدد در آن Carol et al., 2012). با توجه به اهمیت موضوع، پژوهش‌های جدیدتری نیز در این زمینه انجام گرفته است؛ مانند ارزیابی سناریوهای مدیریتی مرتبط با کاهش فرونشست زمین در دشت دامنه- داران (خواج‌علی و همکاران، ۲۰۲۳)، بررسی فرونشست زمین در دلتای مکنوگ ویتنام (Minderhoud et al., 2017) و نیز اندازه‌گیری فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب زیرزمینی در یک قالب کمی- فضایی (احمدی بنی و همکاران، ۲۰۲۴).

استان همدان به‌عنوان منطقه پژوهش حاضر در غرب کشور، طی دهه‌های اخیر با مخاطره افت سطح آب زیرزمینی مواجه شده است. دشت کبودرآهنگ به‌عنوان محدوده ممنوعه اعلام شده است (اکبریان و قهرودی تالی، ۱۴۰۳). با عنایت به اهمیت آبخوان‌های دشت کبودرآهنگ همدان در تأمین آب و وابستگی اقتصاد روستایی به منابع آب زیرزمینی و رخداد روزافزون مخاطرات دیگری همانند فروچاله‌ها در این منطقه، بررسی این مسئله از نظر جامعه برای شناسایی تنگناها و چالش‌های پیش رو از منظر نگرش‌ها و ارزش‌های جامعه انسانی در قبال این مخاطره و میزان آسیب‌پذیری منطقه در برابر آن ضرورت دارد. از این رو پژوهش حاضر بر آن است که در یک رویکرد سیستمی، آسیب‌پذیری جامعه در برابر مخاطره افت سطح آب زیرزمینی در سطح دشت کبودرآهنگ را بررسی و ارزیابی ساختاری کند. بدیهی است که نتایج پژوهش حاضر با رویکرد فضایی و مخاطره‌شناسی می‌تواند برای مدیران و برنامه‌ریزان حوزه مدیریت منابع آب و مدیریت بحران مؤثر واقع شود.

موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های محیطی و انسانی محدوده پژوهش

شهرستان کبودرآهنگ (شکل ۱) وسیع‌ترین شهرستان استان همدان (بعد از مرکز استان) است و در شمال غربی همدان واقع شده است. وسعت تقریبی آن ۳۸۱۶ کیلومتر مربع است و در فاصله ۵۲ کیلومتری از همدان با مختصات طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه تا ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه قرار دارد و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۶۷۵ متر است. منطقه پژوهش از شمال به شهرستان خدابنده (استان زنجان)، از مشرق به شهرستان رزن، از غرب به بیجار و قروه (استان کردستان) و از جنوب به شهرستان همدان محدود می‌شود (کردی و همکاران، ۱۳۹۲).

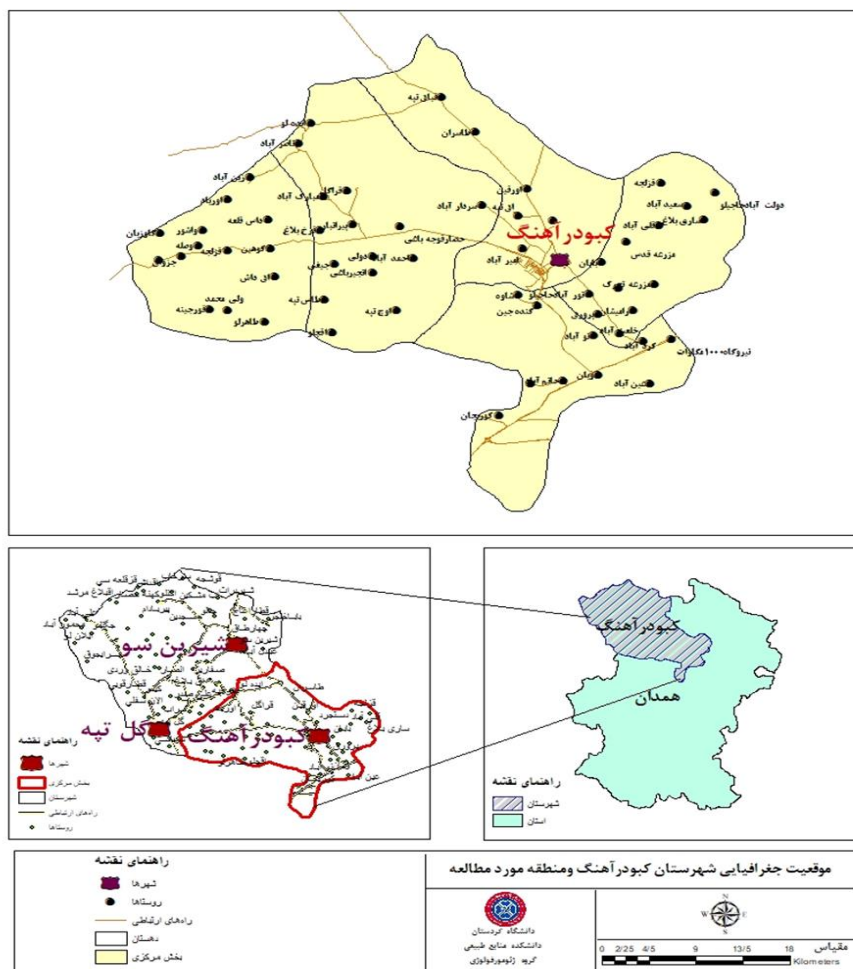
براساس آخرین سرشماری در آبان ۱۳۹۵، جمعیت شهرستان کبودرآهنگ ۱۲۶۰۶۲ نفر بوده است که از این تعداد ۲۰ درصد در نقاط شهری و ۸۰ درصد در نقاط روستایی سکونت داشته‌اند. آب‌های زیرزمینی مهم‌ترین و اصلی‌ترین منبع کشاورزی منطقه است. این آب‌ها از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، چشمه و قنات بهره‌برداری می‌شوند. تعداد منابع آب زیرزمینی و نیز مقدار برداشت سالانه آنها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. منابع آب زیرزمینی و مقدار تخلیه سالانه آنها (میلیون متر مکعب)

کل تخلیه	چاه عمیق		چاه نیمه‌عمیق		قنات		چشمه
	تعداد	تخلیه سالانه	تعداد	تخلیه سالانه	تعداد	تخلیه سالانه	
۱۹۵	۱۱۰۰	۱۴۳	۱۹۲۱	۲۸	۲۲۸	۱۲	۵۲۱
							۱۲

منبع: شرکت آب منطقه‌ای همدان، ۱۳۹۹

محدوده کبودرآهنگ، در زون ساختاری سهند- سیرجان واقع شده است (گزارش نقشه زمین‌شناسی کبودرآهنگ، ۱۳۷۶). به لحاظ مورفولوژیک، قدیمی‌ترین رسوبات این شهرستان مربوط به دوران چهارم زمین‌شناسی است. دشت‌های سیلابی در جنوب شهرستان، دشت‌های رسوبی در جنوب و شرق شهرستان، دشت‌های دامنه‌ای در مرکز و شمال شهرستان و دشت‌های فلاتی در غرب شهرستان دیده می‌شود. این منطقه به‌دلیل دشتی بودن و ایجاد سیلاب‌های هرساله به‌دلیل بارش باران در منطقه دارای نیمرخ مطبق‌اند که حکایت از تناوب خشکی دارد. گستردگی این دشت در جهت شمال باختری- جنوب خاوری است و نزدیک به ۵۰ کیلومتر درازا دارد. معبر خروجی حوزه در جنوب شرقی دشت است که محل خروجی آب‌های سطحی است و دشت کبودرآهنگ در این ناحیه با دشت رزن ارتباط دارد (حسینی و همکاران، ۱۳۸۲).



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی شهرستان کبودرآهنگ

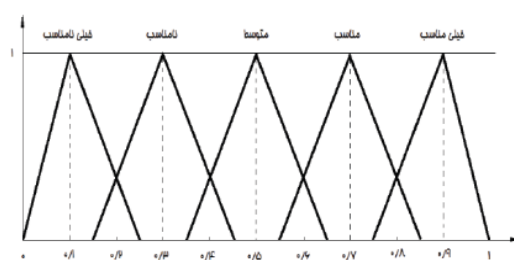
روش تحقیق

روش تحقیق در پژوهش حاضر ضمن تأکید بر کاربردی بودن آن، توصیفی - تحلیلی است. چارچوب نظری بر مبنای مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای و بررسی پژوهش‌های پیشین انجام گرفته است. به منظور تحلیل ساختاری بر آسیب‌پذیری نواحی تحت مخاطره افت سطح آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ از دو بخش مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای (مستندات شرکت آب منطقه‌ای همدان، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، منابع طبیعی و جهاد کشاورزی استان و شهر کبودرآهنگ) و روش میدانی (توزیع پرسشنامه در بین بهره‌برداران و کارشناسان در محدوده پژوهش) استفاده شده است. جامعه آماری پژوهش از میان جامعه تحت مطالعه شهرستان کبودرآهنگ است. شایان ذکر است که سنجه‌های پژوهش در گام اول از طریق بررسی پژوهش‌های پیشین و همچنین مصاحبه نیمه‌ساختارمند از طریق روش تحلیل محتوا و خوانش متن پایه از منابع معتبر داخلی و خارجی گردآوری شده و در قالب سنجه‌های عملیاتی یا متغیرهای مفهومی به تعداد ۸۶ سنجه در طیف لیکرت تدوین شد. نمونه‌ها براساس روش کوکران و به شیوه تصادفی - طبقه‌ای با فن انتساب متناسب انتخاب شدند. با کمک فرمول کوکران حجم نمونه ۴۰۰ نمونه انتخاب شد. برای آزمون روایی، سنجه‌های عملیاتی از دو روش صوری مورد تأیید استادان دانشگاه و همچنین ضریب KMO در قالب نرم‌افزار SPSS 23 استفاده شد که این میزان به طور میانگین برای سنجه‌های ۸۶ گانه تحلیلی موجود در ۹ مؤلفه (الگوهای رفتاری، باورها، پارادایم وابستگی متقابل انسانی، پارادایم نوین زیست‌محیطی - تعادل طبیعی، پارادایم نوین زیست‌محیطی - محدود بودن رشد انسان، مؤلفه اجتماعی - فرهنگی، اقتصادی، زیست‌محیطی و در نهایت مؤلفه کالبدی - فیزیکی) تأیید شد. از سوی دیگر برای آزمون پایایی سنجه‌های پژوهش پس از یک پیش‌آزمون از سنجه‌ها، از آزمون آلفای

کرونباخ در قالب نرم افزار SPSS 23 استفاده شد که میزان آن برای سنجه‌های تحلیلی با ۰/۹۰ تأیید شد. در واقع در مطالعات علمی، برای تعیین روایی و پایایی سنجه‌های کیفیت‌سنجی، ضریب ۰/۷۰ و به بالا مورد استناد علمی و عملیاتی قرار می‌گیرد که با توجه به این اصل و نتایج این مرحله، روایی و پایایی سنجه‌ها تأیید شد. به منظور سنجش نظر بهره‌برداران از آمار توصیفی شامل فراوانی، درصد فراوانی، درصد فراوانی تجمعی، میانگین، میانه، نما (مد)، ماکزیمم (بیشینه)، مینیمم (کمینه)، انحراف معیار، واریانس استفاده شد. همچنین در آمار استنباطی با توجه به توزیع نرمال داده‌ها، از آمار پارامتریک و آزمون‌های همبستگی پیرسون و رگرسیون گام‌به‌گام بهره گرفته شد. تحلیل رگرسیون زمانی به کار گرفته می‌شود که هدف پیش‌بینی و بیان تغییرات یک متغیر براساس اطلاعات متغیر دیگر است. در رگرسیون چندمتغیره، یک متغیر تابع و چند متغیر مستقل وجود دارد. در رگرسیون، خط رگرسیون منعکس‌کننده مسیر حرکت کلی نقاط پراکنده در دستگاه مختصات است که می‌تواند مبین شدت و ضعف و نوع همبستگی بین متغیرها باشد (Marshall & Jonker, 2011).

برای تجزیه و تحلیل پرسشنامه‌ها از روش FTOPSIS استفاده شده است. این روش در حقیقت تعمیم روش تاپسیس در علم مدیریت بود که در آن ابتدا پیش‌بینی‌های خبرگان یا کارشناسان در قالب اعداد قطعی بیان می‌شود. این نظریه می‌تواند بسیاری از مفاهیم و عبارات نادقیق را با زبان ریاضی بیان کند و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد.

این نظریه، یک عدد فازی، مجموعه فازی خاصی به صورت $A = x \in R / \mu_A$ است که در آن، x مقادیر حقیقی عضو مجموعه R را می‌پذیرد و تابع عضویت آن به صورت $\mu_A(x)$ است. بیشترین اعداد فازی مورد استفاده، اعداد فازی مثلثی و دوزنقه‌ای هستند. در این تحقیق از اعداد فازی مثلثی استفاده می‌کنیم. یک عدد فازی مثلثی A عددی با تابع عضویت تکه‌ای خطی μ_A به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود:



شکل ۲. نمایش عدد فازی مثلثی

$$\mu_x(x) = \begin{cases} (x - a^1) / (a^m - a^1), a^1 \leq x < a^m \\ 1, x = a^m \\ (a^r - x) / (a^r - a^m), a^m \leq x < a^r \\ 0, otherwise \end{cases}$$

در این مدل پس از دریافت نظر کارشناسان در مرحله نخستین، در مرحله بعد به محاسبه اعداد فازی $(\tilde{a}_{ij})$ پرداخته می‌شود. با توجه به انتخاب اعداد فازی مثلثی در مدل پژوهش، این اعداد به صورت روابط چهارگانه زیر تعریف می‌شوند:

$$\alpha_{ij} = (\alpha_{ij} \cdot \beta_{ij} \cdot \gamma_{ij})^{(3)}$$

$$\alpha_{ij} = \min(\beta_{ijk}), k = 1, \dots, n: (4)$$

$$\delta_{ij} = (\prod_{k=1}^n \beta_{ijk})^{1/3}: (5)$$

$$\alpha_{ij} = \max(\beta_{ij}), k = 1, \dots, n: (6)$$

در ادامه پس از کمی کردن شاخص‌ها براساس جدول ۲، ماتریس شاخص‌های لازم پژوهش تشکیل می‌شود.

جدول ۲. متغیرهای زبانی برای ارزیابی اهمیت

شاخص‌ها	
اهمیت شاخص‌ها	عدد فازی
بسیار کم اهمیت	(۰، ۰، ۱، ۰)
کم اهمیت	(۰، ۱، ۰، ۳، ۰)
تا حدودی کم اهمیت	(۱، ۰، ۳، ۰، ۵، ۰)
بی تفاوت	(۳، ۰، ۵، ۰، ۷، ۰)
تا حدودی با اهمیت	(۵، ۰، ۷، ۰، ۹، ۰)
با اهمیت	۷، ۰، ۹، ۰، ۱
بسیار با اهمیت	(۹، ۰، ۱، ۱)

در ادامه با استفاده از عملگرهای MAX و MIN، راه حل‌های ایدئال مثبت (A) و ایدئال منفی (A) برای مجموعه گزینه‌ها شناسایی می‌شوند. برای تعیین ضریب اهمیت معیارهای مختلف تصمیم‌گیری، از اعداد فازی استفاده می‌شود. در این صورت $W_{jk} = (w_{jk}^l, w_{jk}^m, w_{jk}^r)$ یک عدد فازی مثلثی است که وزن‌های زبانی بیان شده توسط خبره E_k در مورد معیار C_j را به صورت فازی بیان می‌کند: $(j=1,2,...,n \text{ و } k=1,2,...,p)$. در نهایت، ضریب نزدیکی گزینه A_i که با A_i^* نشان داده می‌شود، با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Palczewski & Sałabun, 2019).

$$A_i^* = \frac{A_i^-}{A_i^- + A_i^+}$$

به منظور شناسایی مؤثرترین متغیرهای مؤثر بر آسیب‌پذیری اجتماعات انسانی در برابر با افت سطح آب زیرزمینی از روش معادله‌های ساختاری استفاده شد. مدل‌های ساختاری مشخص می‌کنند کدام متغیرهای مستقل بر کدام متغیرهای وابسته تأثیر دارند یا کدام متغیرها همبسته‌اند. متغیرهای مشاهده شده نیز که در نقش معرف در مدل اندازه‌گیری هستند همراه با خطای اندازه‌گیری در نظر گرفته می‌شوند. این متغیرهای خطا نیز چون به طور مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شوند، در واقع نوعی متغیر پنهان هستند. خطاها، نشان‌دهنده همه متغیرهایی‌اند که معرف غیر از متغیر پنهان اندازه‌گیری می‌شود و در واقع نمودی از ناتوانی متغیرهای مستقل حاضر در مدل در تبیین متغیر وابسته هستند (قاسمی، ۱۳۸۹). در ادامه روند پژوهش به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری دهستان‌های منطقه دشت کبودرآهنگ براساس روش تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره و نظرسنجی از کارشناسان پرداخته شد و در نهایت در مسیر تکمیل پژوهش و با به کارگیری توابع و الگوریتم‌های فضایی در محیط ArcGIS و به کارگیری مدل IDW نقشه پهنه‌بندی وضعیت آسیب‌پذیری منطقه مطالعاتی تهیه شد.

از نوآوری‌های برجسته این پژوهش، بهره‌گیری از رویکرد روش‌شناسی ترکیبی (Mixed-Method) و استفاده تلفیقی از روش‌های کمی، کیفی و فضایی است. در این پژوهش، از تحلیل محتوای کیفی برای استخراج شاخص‌ها، مدل معادله‌های ساختاری برای سنجش روابط علی میان مؤلفه‌های مفهومی، روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای وزن‌دهی معیارها و همچنین الگوریتم‌های فضایی در محیط GIS برای تحلیل و پهنه‌بندی نهایی استفاده شد. این تنوع روشی، ضمن ارتقای دقت تحلیل، امکان تلفیق داده‌های نرم و سخت و درک عمیق‌تری از پیچیدگی پدیده آسیب‌پذیری اجتماعی در برابر افت سطح آب زیرزمینی را فراهم می‌سازد. چنین رویکردی به‌ویژه در مطالعات محیطی و منابع آب کمتر استفاده شده و از این منظر، پژوهش حاضر دارای بدعت روش‌شناختی است.

یافته‌های پژوهش

در راستای اهداف پژوهش و نیز به منظور انجام پژوهش حاضر، در مرحله نخست براساس آمار توصیفی وضعیت جامعه تحت بررسی براساس متغیرهای مورد نظر در راستای درک بهتر مسئله ارائه شد. یافته‌های این بخش، بیانگر آن است که از میان جامعه پژوهش، ۳۱۳ نفر (۸۱/۵ درصد) مرد و ۷۱ نفر (۱۸/۵ درصد) زن هستند. ۶۸/۵ درصد پاسخگویان متأهل‌اند و توزیع فراوانی نتایج آماری مربوط به سن، حاکی از آن است که بیشترین پاسخگویان با ۴۵/۱ درصد فراوانی ۱۵ تا ۳۰ ساله‌اند. از نظر تحصیلات، ۶۸ درصد جامعه تحت بررسی دیپلم و زیردیپلم هستند.

یافته‌ها و نتایج مرتبط با شناسایی مؤثرترین مؤلفه آسیب‌پذیری در برابر افت سطح آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ

مسئله براساس آزمون استنباطی رگرسیون چندگانه بررسی شد. یکی از شروط اجرای رگرسیون، سنجش معناداری روابط بین متغیرهای پژوهش براساس آزمون همبستگی پیرسون در آمار پارامتریک است. از این‌رو در این بخش، پیش از انجام رگرسیون، روابط بین متغیرها براساس ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد. یافته‌های این بخش نشان داد که بین متغیر وابسته، آسیب‌پذیری در برابر افت سطح آب‌های زیرزمینی و بقیه متغیرهای مستقل رابطه معناداری وجود دارد. سطح معناداری یعنی (sig) در چهار متغیر مستقل، اجتماعی-فرهنگی، اقتصادی، زیست‌محیطی و کالبدی ۰/۰۰۰ است و این مقدار از سطح معناداری محاسبه‌شده کمتر از ۰/۰۵ است؛ از این‌رو فرض مبتنی بر رابطه تأثیر این مؤلفه‌ها بر آسیب‌پذیری رد نشد و پذیرفته شد (جدول ۳).

دیگر یافته‌های این بخش براساس نتایج رگرسیون، با نظر به وجود رابطه معنادار بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل بیانگر عملکرد نامناسب جامعه تحت بررسی در خصوص بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی براساس گویه‌های مدنظر بود که سبب آسیب‌پذیری کالبدی و زیست‌محیطی شده است. این مسئله در یک چرخه دیگر، سبب آسیب‌پذیری جامعه در بعد اقتصادی و اجتماعی خواهد شد که تشدید بحران در منطقه را در پی خواهد داشت. دیگر یافته‌ها نشان داد که از مؤثرترین مؤلفه‌های مؤثر بر افت سطح آب زیرزمینی در منطقه، مؤلفه کالبدی با ضریب ۰/۵۷۹ و مؤلفه زیست‌محیطی با ضریب ۰/۱۷۸ است (جدول ۳).

جدول ۳. شناسایی روابط بین متغیر وابسته با متغیرهای مستقل پژوهش براساس آزمون همبستگی پیرسون

متغیرها	اجتماعی	اقتصادی	زیست‌محیطی	کالبدی
همبستگی پیرسون	۱	**۰/۵۸۶	**۰/۴۳۹	**۰/۳۰۷
سطح معناداری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
تعداد	۳۸۴	۳۸۴	۳۸۴	۳۸۴
همبستگی پیرسون	**۰/۵۸۶	۱	**۰/۵۲۴	**۰/۲۷۸
سطح معناداری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
تعداد	۳۸۴	۳۸۴	۳۸۴	۳۸۴
همبستگی پیرسون	**۰/۴۳۹	**۰/۵۲۴	۱	**۰/۴۳۵
سطح معناداری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
تعداد	۳۸۴	۳۸۴	۳۸۴	۳۸۴
همبستگی پیرسون	**۰/۳۰۷	**۰/۲۷۸	**۰/۴۳۵	۱
سطح معناداری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
تعداد	۳۸۴	۳۸۴	۳۸۴	۳۸۴

** همبستگی در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۴. نتایج ضرایب و خصوصیات مربوط به آزمون‌های مدل رگرسیون چندگانه خطی متغیرهای تحت بررسی

مدل	ضرایب غیراستاندارد		ضرایب استاندارد	t	سطح معنی‌داری	۹۵ درصد فاصله اطمینان B		آمار هم‌خطی	
	B	خطای استاندارد				کران بالا	کران پایین	Tolerance	VIF
مقدار ثابت	۰/۱۷۷	۰/۰۴۷	-	۳/۷۱۷	۰/۰۰۰	۰/۰۸۳	۰/۲۷۰	-	-
اجتماعی	۰/۰۳۹	۰/۰۱۶	۰/۱۱۰	۲/۴۷۹	۰/۰۱۴	۰/۰۰۸	۰/۰۷۰	۰/۶۲۲	۱/۶۰۷
اقتصادی	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۳۹	۰/۸۳۶	۰/۴۰۴	۰/۰۱۷	۰/۰۴۲	۰/۵۶۸	۱/۷۶۰
زیست‌محیطی	۰/۰۵۹	۰/۰۱۳	۰/۱۷۸	۳/۹۹۹	۰/۰۰۰	۰/۰۲۶	۰/۰۷۷	۰/۶۲۳	۱/۶۰۶
کالبدی	۰/۱۲۶	۰/۰۰۹	۰/۵۷۹	۱۴/۴۳۰	۰/۰۰۰	۰/۱۰۸	۰/۱۴۳	۰/۷۹۴	۱/۲۶۰

متغیر وابسته: آسیب‌پذیری

منبع: یافته‌های تحقیق

به‌منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر، میزان تأثیر الگوهای رفتاری و باورهای افراد بر مقوله آسیب‌پذیری بررسی شد. یافته‌های این بخش نشان داد که بین باورها و رخداد بحران آسیب‌پذیری، رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد، اما بین الگوی رفتاری و رخداد آسیب‌پذیری رابطه معکوس و معناداری وجود دارد؛ یعنی با بهبود الگوهای رفتاری افراد در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، رخداد آسیب‌پذیری کاهش پیدا خواهد کرد.

جدول ۵. نتایج ضرایب و خصوصیات مربوط به آزمون‌های مدل رگرسیون چندگانه خطی متغیرهای بررسی‌شده

مدل	ضرایب	خطای استاندارد	B	ت	سطح معنی‌داری	ضرایب	
						استاندارد	آمار هم‌خطی
						Beta	VIF Tolerance
مقدار ثابت	۰/۸۸۶	۰/۰۶۰	-	۱۴/۸۰۱	۰/۰۰۰	-	-
الگوی رفتاری	-۰/۰۳۹	۰/۰۱۶	-۰/۱۲۶	-۲/۳۹۳	۰/۰۱۷	۰/۹۱۱	۱/۰۹۸
باورها	۰/۰۵۰	۰/۰۱۵ غیراستاندارد	۰/۱۷۹	۳/۳۹۴	۰/۰۰۱	۰/۹۱۱	۱/۰۹۸

متغیر وابسته: آسیب‌پذیری

منبع: یافته‌های تحقیق

برای شناسایی مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی دشت کبودرآهنگ در برابر افت آب زیرزمینی از آزمون تی‌تک نمونه‌ای استفاده شد (جدول ۶). در این جدول نمره‌های متغیرهای اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و کالبدی گروه نمونه با نمره استاندارد آسیب‌پذیری مقایسه شد. همان‌گونه که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، میانگین نمره متغیر اجتماعی در گروه نمونه ۳/۳۲ با انحراف استاندارد ۰/۴۴ است که به‌طور معناداری ($p < ۰/۰۵$) از نمره متغیر آسیب‌پذیری ۰/۸۹ بیشتر است. همچنین میانگین نمره متغیر اقتصادی در گروه نمونه ۳/۴۴ با انحراف استاندارد ۰/۴۹ است که به‌طور معناداری ($p < ۰/۰۵$) از نمره متغیر آسیب‌پذیری ۰/۸۹ بیشتر است. میانگین نمره متغیر زیست‌محیطی در گروه نمونه ۳/۴۴ با انحراف استاندارد ۰/۵۳ است که به‌طور معناداری ($p < ۰/۰۵$) از نمره متغیر آسیب‌پذیری ۰/۸۹ بیشتر است. میانگین نمره متغیر کالبدی در گروه نمونه ۲/۹۴ با انحراف استاندارد ۰/۷۱ است که به‌طور معناداری ($p < ۰/۰۵$) از نمره متغیر آسیب‌پذیری ۰/۸۹ بیشتر است. به‌طور کلی نتایج به‌دست‌آمده از آزمون ($\text{sig.} < ۰/۰۵$) نشان می‌دهد که با اطمینان ۹۵ درصد و سطح خطای کمتر از ۰/۰۵ میانگین نمره‌های به‌دست‌آمده بیشتر از ۰/۸۹ است. دیگر یافته‌های این بخش نیز نشان داد که مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر آسیب‌پذیری منطقه در برابر افت سطح آب زیرزمینی، مؤلفه اقتصادی و زیست‌محیطی است که نمود آنها را در بعد زیست‌محیطی در رخداد فروچاله‌ها، خسارت مالی به کشاورزان و کاهش بهره‌وری زمین‌های کشاورزی می‌توان مشاهده کرد.

جدول ۶. پارامترهای آزمون تی‌تک نمونه‌ای متغیرهای بررسی‌شده در دشت کبودرآهنگ

میانگین	انحراف معیار	خطای میانگین	آماره t	درجه آزادی	سطح معنی‌داری	اختلاف میانگین	فاصله اطمینان ۹۵٪ از اختلافات	
							کران پایین	کران بالا
اجتماعی	۳/۳۲	۰/۴۴	-۴۲۵۹۰/۸۸	۳۸۳	۰/۰۰۰	-۹۶/۶۷	-۹۶/۷۲	-۹۶/۶۳
اقتصادی	۳/۴۴	۰/۴۹	-۳۸۴۷/۱۷	۳۸۳	۰/۰۰۰	-۹۶/۵۵	-۹۶/۶۰	-۹۶/۵۰
زیست‌محیطی	۳/۴۴	۰/۵۳	-۳۵۰۵/۹۴	۳۸۳	۰/۰۰۰	-۹۶/۵۵	-۹۶/۶۱	-۹۶/۵۰
کالبدی	۲/۹۴	۰/۷۱	-۲۶۶۵/۹۸	۳۸۳	۰/۰۰۰	-۹۷/۰۵	-۹۷/۱۲	-۹۹/۹۸
آسیب‌پذیری	۰/۸۹	۰/۱۵	-۱۲۲۹/۹۴	۳۸۳	۰/۰۰۰	-۹۹/۱۰	-۹۹/۱۱	-۹۹/۰۸

ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر مخاطره افت سطح آب زیرزمینی با رویکرد ساختاری

برای سنجش روابط بین متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر افت آب زیرزمینی از تحلیل معادله‌های ساختاری با استفاده از نرم‌افزار AMOS بهره گرفته شد. برآوردهای مربوط به شاخص‌های برازش کلیت مدل معادله ساختاری و

پارامترهای اصلی این مدل (اثرهای مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر متغیر آسیب‌پذیری) در جدول‌های زیر گزارش شده است.

نتایج ضرایب مسیر علی بین متغیرهای مدل برازش‌یافته در قالب مدل ساختاری در شکل ۲ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، متغیرهای باورها (B)، الگوهای رفتاری (BP) و پارادایم نوین زیست‌محیطی تعادل طبیعی (NB) به ترتیب با ضریب مسیر مثبت ۰/۴۲، ۰/۵۶ و ۰/۲۴ اثر علی مستقیمی بر متغیر آسیب‌پذیری دارند. در این بین متغیر الگوهای رفتاری (BP) بیشترین تأثیر را بر آسیب‌پذیری دارد. همچنین متغیرهای پارادایم متقابل وابستگی انسانی (HI)، پارادایم نوین زیست‌محیطی تعادل طبیعی (NB) و پارادایم نوین زیست‌محیطی محدود بودن رشد انسان (LHG) به ترتیب با ضرایب مسیر ۰/۲۹، ۰/۵۷ و ۰/۱۴ بر متغیر باورها تأثیرگذارند که در این بین متغیر پارادایم نوین زیست‌محیطی تعادل طبیعی بیشترین تأثیر را بر متغیر باورها دارد. به‌طور کلی با توجه به مدل معادله‌های ساختاری، پارادایم نوین زیست‌محیطی بر متغیر باورها تأثیر گذاشته و متغیر باورها نیز بر متغیر الگوهای رفتاری اثر گذاشته است که در نتیجه، این الگوهای رفتاری بر آسیب‌پذیری تأثیر می‌گذارد. از این‌رو آن شایان ذکر است که در صورت اصلاح الگوهای رفتاری، سطح آسیب‌پذیری منطقه در برابر افت سطح آب زیرزمینی کاهش پیدا خواهد کرد. براساس نتایج این مدل، در جدول ۵ مقادیر غیراستاندارد (Estimate)، خطای معیار (S. E)، نسبت بحرانی (C. R) و سطح تحت پوشش (P) نشان داده شده است. نتایج جدول نشان می‌دهد که همه پارامترهای لاند تفاوت معناداری با مقدار صفر دارند. مقدار سطح معناداری P در همه روابط بالا به جز ۴ مورد کمتر از ۵ درصد و نزدیک به صفر است. همچنین نسبت بحرانی (CR) در همه روابط به جز ۴ مورد مناسب (بیشتر از ۱/۹۶) و خطای استاندارد (SE) کم است که نشان می‌دهد همه روابط موجود در این مدل تأیید شده است.

همچنین نتایج ارزیابی اعتبار مدل فوق جدول ۶، بیانگر آن است که در مدل Amos سنجش سه شاخص مقدار ریشه میانگین مربعات خطای برآورد و سطح معناداری و کای دو مدل، اهمیت بیشتری از شاخص‌های دیگر دارد. درجه آزادی (DF) برابر ۶۵۲ و از صفر دور است که مطلوبیت مدل را نشان می‌دهد. مقدار کای دو در این قسمت ۱۶۲۱/۹۱۹ و مقدار P کای دو برابر با ۰/۰۰۰ برآورد شده که نشان‌دهنده وضعیت مناسب داده‌های پژوهش است. همچنین کای اسکور نسبی (بهنجار شده) (CMIN/DF) ۲/۴۸۸ است که برازش خوب مدل را نشان می‌دهد. مقادیر میان ۲ تا ۳ برازش خوب و مقادیر ۳ تا ۵ برازش مطلوب و قابل قبول را نشان می‌دهند. شاخص برازش مقتصد هنجار شده PNFI، با مقدار ۰/۵۴۷ و ریشه میانگین مربعات خطای برآورد با مقدار ۰/۰۶۲ است که جزء گروه شاخص برازش و نمایانگر برازش قابل قبول مدل است.

در ادامه، برآورد شاخص مقتصد شامل (شاخص نسبت اقتصاد)، PRATIO برابر با ۰/۹۲۷ برازش خوب مدل، شاخص برازش توکر-لوئیس TLI برابر ۰/۶۷۸ برازش خوب مدل، شاخص برازش تطبیقی CFI برابر ۰/۷۰۱ برازش خوب مدل، شاخص برازش فزاینده IFI برابر ۰/۷۰۶ برازش خوب مدل، شاخص برازش هنجار شده NFI برابر ۰/۵۸۹ برازش خوب مدل و شاخص نکویی برازش تعدیل شده ۰/۷۴۶ محاسبه شده است. مقدار عددی هر کدام از شاخص‌های ذکر شده برازش خوب مدل را نشان می‌دهد. از این‌رو با توجه به نتایج می‌توان گفت مدل مفهومی پژوهش ترسیم شده از برازش قابل قبول و مطلوبی برخوردار است.

۱. باورها - Beliefs (B)

۲. الگوی رفتاری - Behavioral pattern (BP)

۳. پارادایم نوین زیست‌محیطی تعادل طبیعی - The new paradigm of environmental natural balance (NB)

۴. الگوی رفتاری - Behavioral pattern (BP)

۵. پارادایم وابستگی متقابل انسانی - The paradigm of human interdependence (HI)

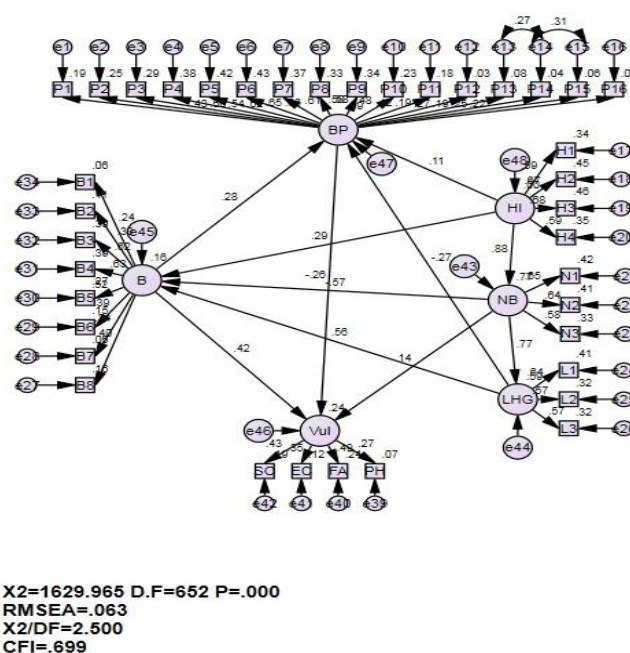
۶. پارادایم نوین زیست‌محیطی تعادل طبیعی - The new paradigm of environmental natural balance (NB)

۷. پارادایم نوین زیست‌محیطی - محدود بودن رشد انسان - The new environmental paradigm - the limitation of human growth (LHG)

جدول ۷. برآورد مقادیر شاخص‌های ارزیابی کلیت مدل معادله‌های ساختاری

نام شاخص	اختصار	مقدار شاخص	برازش قابل قبول مدل
سطح تحت پوشش کای دو	Chi-square	۱۶۲۱/۹۱۹	-
سطح معناداری	Probability level	۰/۰۰۰	-
درجه آزادی	DF	۶۵۲	-
شاخص نکویی برازش	GFI	۰/۷۷۴	مقادیر بین ۰/۹۰ تا ۰/۹۵
شاخص نکویی برازش تعدیل‌شده	AGFI	۰/۷۴۶	مقادیر بین ۰/۵۰ تا ۰/۵۵
شاخص برازش هنجار شده	NFI	۰/۵۸۹	مقادیر بین ۰/۹۰ تا ۰/۹۵
شاخص برازش تطبیقی	CFI	۰/۷۰۱	مقادیر بین ۰/۹۰ تا ۰/۹۵
شاخص برازش نسبی	RFI	۰/۵۵۷	مقادیر بین ۰/۹۰ تا ۰/۹۵
شاخص برازش فزاینده	IFI	۰/۷۰۶	مقادیر بین ۰/۹۰ تا ۰/۹۵
شاخص برازش توکر لوئیس	TLI	۰/۶۷۸	مقادیر بین ۰/۹۰ تا ۰/۹۵
شاخص برازش مقتصد هنجار شده	PNFI	۰/۵۴۷	مقادیر بین ۰/۵۰ تا ۰/۶۰
شاخص نسبت اقتصاد	PRATIO	۰/۹۲۷	مقادیر بین ۰/۵۰ تا ۰/۶۰
ریشه میانگین مربعات خطای برآورد	RMSE	۰/۰۶۲	مقادیر بین ۰/۰۵ تا ۰/۰۸
کای مربع بهنجار شده	CMIN/DF	۲/۴۸۸	مقادیر بین ۱ تا ۵

منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۳. مدل معادله‌های ساختاری پژوهش

ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری منطقه پژوهش در ارتباط با مخاطره افت سطح آب زیرزمینی

در ادامه براساس روش تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره و نظرسنجی از کارشناسان وضعیت آسیب‌پذیری دهستان‌های منطقه دشت کبودرآهنگ بررسی شد و بر مبنای پرسشنامه محقق‌ساخته با طیف لیکرت پنج‌طیفی، وضعیت منطقه در سطوح (آسیب‌پذیری خیلی زیاد، آسیب‌پذیری زیاد، متوسط، آسیب‌پذیری کم، آسیب‌پذیری خیلی کم) سنجیده شد (جدول ۶). نتایج به‌دست‌آمده براساس روش ترکیبی تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره تلفیق تاپسیس و آنتروپی شانول نشان داد که دهستان‌های شیرین‌سو، گل‌تپه، علیصدر با امتیاز ۰/۰۱ در درجه آسیب‌پذیری خیلی کم و دهستان‌های مهربان علیا و مهربان سفلی با امتیاز ۰/۱۵ درصد در درجه آسیب‌پذیری کم و دهستان‌های کوهین با امتیاز ۰/۳۲ درصد و سبزدشت با امتیاز ۰/۵۷ درصد در سطح آسیب‌پذیری متوسط و دهستان سرداران با امتیاز ۰/۷۰ درصد در سطح آسیب‌پذیری بالا و دهستان راهب با امتیاز ۰/۷۴ درصد و

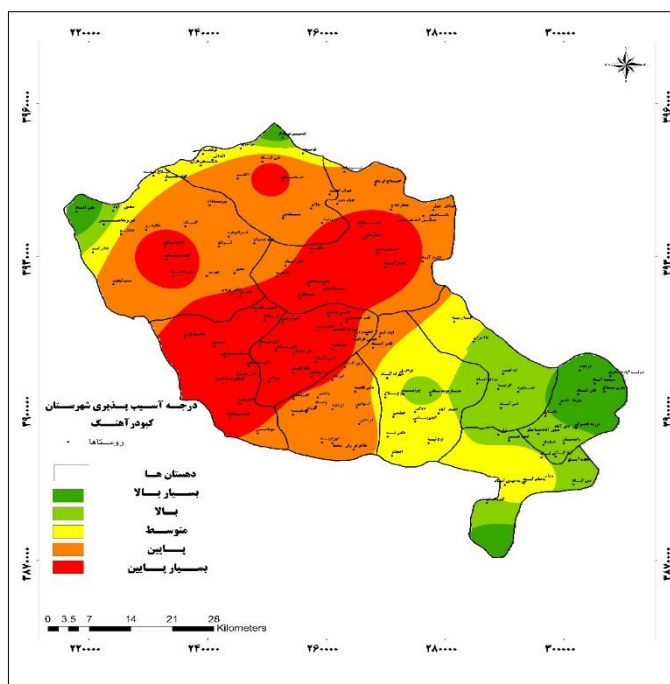
حاجیلو با امتیاز ۰/۷۹ درصد در درجه آسیب‌پذیری خیلی بالا قرار گرفته است و نیازمند آن است که در برنامه‌های مدیریت بحران مورد توجه قرار گیرند.

جدول ۸. درجه آسیب‌پذیری محدوده پژوهش بر مبنای دهستان

دهستان‌ها	فاصله از ایدئال مثبت (A ⁺)	فاصله از ایدئال منفی (A ⁻)	وزن نهایی	درجه آسیب‌پذیری
کوهین	۰/۱۴	۰/۳۰	۰/۳۲	۶
سرداران	۰/۶۹	۰/۳۰	۰/۷۰	۳
راهب	۰/۸۸	۰/۳۰	۰/۷۴	۲
حاجیلو	۰/۷۲	۰/۲۰	۰/۷۹	۱
سبز دشت	۰/۲۶	۰/۲۰	۰/۵۷	۴
مهربان سفلی	۰/۶۰	۰/۳۲	۰/۱۵	۷
علیصدر	۰/۰۰	۰/۳۳	۰/۰۱	۸
گل تپه	۰/۰۰	۰/۳۳	۰/۰۱	۸
مهربان علیا	۰/۰۶	۰/۳۳	۰/۱۵	۷
شیرین سو	۰/۰۰	۰/۳۲	۰/۰۱	۸

منبع: یافته‌های تحقیق

بر اساس نتایج وزن‌های به‌دست‌آمده و تلفیق روش تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره و آنتروپی شانول و کاربرد توابع و الگوریتم‌های فضایی در محیط ArcGIS و به‌کارگیری مدل IDW نقشه پهنه‌بندی وضعیت آسیب‌پذیری منطقه تدوین شد که این سیستم پهنه‌بندی نیز در انطباق بر ارزیابی درجه آسیب‌پذیری دهستان‌های تحت مطالعه است و همخوانی زیادی نشان می‌دهد.



شکل ۴. نقشه درجه آسیب‌پذیری روستاهای شهرستان کبودرآهنگ نسبت به افت سطح آب زیرزمینی

نتیجه‌گیری

افت آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از مسائل حیاتی در مدیریت منابع آبی، تأثیرات عمیقی بر اقتصاد، جوامع و محیط زیست دارد. مناطقی همچون دشت کبودرآهنگ که در استان همدان واقع شده، به‌دلیل پارامترهای متعدد محیطی به‌صورت ویژه در معرض خطر افت سطح آب زیرزمینی قرار دارند. یکی از علل اصلی افت آب زیرزمینی در این منطقه، بهره‌برداری ناپایدار و نامتعادل از

منابع آب است. تغییر کاربری اراضی، کشاورزی گسترده و فرسایش منابع آبی سبب کاهش تعادل اکوسیستم آب زیرزمینی شده و آسیب‌پذیری منطقه را افزایش داده است. اتکا نکردن به ارزش‌های زیست‌محیطی و بی‌توجهی به مدیریت مستمر و پایدار منابع آب، از جمله مشکلات جدی در این راستا هستند. در پژوهش حاضر با استفاده از مدل‌های معادله‌های ساختاری و آزمون‌های تحلیل استنباطی، مؤلفه‌های مختلفی که بر آسیب‌پذیری منطقه تحت مخاطره افت آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارند، شناسایی شده‌اند. مؤلفه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار، با تأکید بر ارزش‌های زیست‌محیطی و مدیریت مستمر منابع آب، مشخص شده‌اند. مدل‌های مختلف این ارتباطات پیچیده را به‌خوبی نشان می‌دهند و مسیرهای بهینه‌سازی برای کاهش آسیب‌پذیری را به ارمغان می‌آورند.

براساس نتایج پژوهش، پیشنهاد می‌شود استفاده از رویکردهای مدیریت منابع آبی با تأکید بر حفظ تعادل اکوسیستم آب زیرزمینی، اولویت داشته باشد. توسعه فناوری‌های آبیاری بهینه، مشارکت جامعه محلی در مدیریت منابع آب و ایجاد ارزش‌های زیست‌محیطی در سیاست‌های توسعه اقتصادی، از راهکارهای اصلی برای کاهش آسیب‌پذیری منطقه هستند. افت آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ به‌طور مستقیم بر زندگی اجتماعی و اقتصادی مردم تأثیر می‌گذارد. کاهش تأمین آب برای کشاورزی و مصارف شهری، سبب کاهش تولید و اشتغال می‌شود و به‌طور کلی اقتصاد منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در عین حال، این افت آب می‌تواند به تخریب منابع زیستی منطقه نیز منجر شود که تأثیرات طولانی‌مدت و بسیار جدی بر محیط زیست دارد. با توجه به پیچیدگی مسئله، مدیریت تأثیرات افت آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ، نیازمند دیدگاهی جامع و مدیریتی است. استفاده از روش‌های پایدار در کشاورزی و مصرف آب، احیای ارزش‌های زیست‌محیطی و توسعه فناوری‌های مدیریت منابع آب، از راهکارهای اساسی برای بهبود وضعیت آسیب‌پذیری منطقه است. این تلاش‌ها هم به بهبود وضعیت اقتصادی و اجتماعی منطقه و هم به حفظ تعادل اکوسیستم آب زیرزمینی و منابع زیستی منطقه کمک می‌کنند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت کرده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر حمایت مالی نداشته است.

منابع

- [۱] اسمیت، کیت (۱۳۹۱). مخاطرات محیطی، ترجمه ابراهیم مقیمی و شاپور گودرزی نژاد، تهران: سمت.
- [۲] اکبریان، مرتضی؛ و قهرودی تالی، منیژه (۱۴۰۳). تحلیل محیطی فرونشست زمین در دشت اسداباد همدان و مخاطرات آن. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۱(۱)، ۵۷-۷۲.
- [۳] پورطاهری، مهدی؛ رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا؛ و کاظمی، نسرين (۱۳۹۵). بررسی سطح و درجه آسیب‌پذیری ناشی از خشکسالی در مناطق روستایی از دیدگاه کشاورزان، پژوهش‌های جغرافیایی انسانی، ۴۸(۱)، ۱۹-۳۱.
- [۴] حاجیلو، فتانه؛ و رستمی، مصطفی (۱۴۰۳). رویکردشناسی تاب‌آوری اجتماعی برای کاهش مخاطرات. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۱(۳)، ۲۵۹-۲۷۲.
- [۵] حسنی، صادق؛ نوری، مرتضی؛ و چایانی، جمشید (۱۳۸۲). نگرشی به شهرستان کبودرآهنگ، همدان: کرشمه.
- [۶] حسینی، سید فضل‌الله؛ زال‌نژاد، کاوه؛ و علی‌پور، یوسف (۱۴۰۳). سنجش آسیب‌پذیری بافت فرسوده در برابر مخاطرات محیطی (مطالعه موردی: شهر نقده). مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۱(۳)، ۲۴۳-۲۵۷.
- [۷] سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۶). گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کبودرآهنگ.
- [۸] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان همدان (۱۳۹۷). معاونت آمار و اطلاعات.
- [۹] شیرافکن، محمد؛ و جعفری، هادی (۱۳۹۲). ارزیابی بیلان هیدروژئولوژیکی آبخوان بهاباد در استان یزد، هشتمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۸-۵۵.
- [۱۰] صالحی، سعید؛ چیذری، محمد؛ صدیقی، حسن؛ و بیژنی، مسعود (۱۳۹۶). تأثیر باورهای زیست‌محیطی بر رفتار پایدار کشاورزان استان فارس در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۱۳(۱)، ۱۷۵-۱۹۳.
- [۱۱] عباس‌نژاد، احمد (۱۳۷۷). بررسی شرایط و مسائل محیط زیست دشت رفسنجان، فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. مشهد.
- [۱۲] عزمی، آئیژ؛ و نوری، مجتبی (۱۳۹۶). نقش سرمایه اجتماعی در مدیریت مخاطرات طبیعی در سکونتگاه‌های روستایی (مطالعه موردی: بخش ماهیدشت کرمانشاه). جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۷(۲۶): ۷۷-۸۹.
- [۱۳] قاسمی، وحید (۱۳۸۹). مدل‌سازی معادله ساختاری در پژوهش‌های اجتماعی با کاربرد Amos Graphics. تهران: جامعه‌شناسان.
- [۱۴] قهرودی تالی، منیژه؛ خدامرادی، فرهاد؛ و علی‌نوری، خدیجه (۱۴۰۲). تأثیر افت آب‌های زیرزمینی بر مخاطرات فرونشست زمین در دشت دهگلان، استان کردستان. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۰(۱)، ۵۷-۷۰.
- [۱۵] کردی، مهین؛ فضل‌نیا، عبدالناصر؛ پیرخراتی، حسین؛ و وفائی، هوشنگ (۱۳۹۲). ارزیابی منشأ آلودگی آب‌های زیرزمینی در محدوده شمال غرب کبودرآهنگ با استفاده از GIS، اولین همایش ملی و تخصصی پژوهش‌های محیط زیست ایران، همدان.
- [۱۶] مجیدی خلیل‌آباد، میثم؛ مجیدی خلیل‌آباد، نجمه؛ داوری، کامران؛ و قلی‌زاده سرابی، شیوا (۱۳۹۸). تحلیل پیامدهای اقتصادی تداوم برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی بر بخش کشاورزی (مطالعه موردی: دشت نیشابور)، سامانه‌های سطوح آبگیر ایران، ۷(۴)، ۲۱-۳۰.
- [۱۷] نظم‌فر، حسین؛ و پاشازاده، اصغر (۱۳۹۷). ارزیابی تاب‌آوری شهری در برابر مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: شهر اردبیل)، آمایش فضایی جغرافیا، ۸(۲۷)، ۱۰۱-۱۱۶.
- [18] Ahmadi Beni, F., Entezari, M., Sadeghi, A., & Salehi, A. (2024). Quantifying land subsidence and its nexus with groundwater depletion in isfahan-borkhar plain: An integrated approach using radar interferometry and spatial bivariate relationships, Remote Sensing Applications: Society and Environment, 35, 101248.
- [19] Alberico, I., & Matano, F. (2024), Subsidence and recent landscape evolution at Volturno Coastal Plain (Italy), Quaternary International, 712, 1-50.
- [20] Carol, E.S., Dragani, W.C., Kruse, E.E., & Pousa, J.L. (2012). Surface water and groundwater characteristics in the wetlands of the Ajó River (Argentina). Continental Shelf Research, 49(15), 25-33.
- [21] Khajehali, M., Safavi, H.R., & Iran Pour, S. (2023). Evaluation of management scenarios for land subsidence reduction and groundwater rehabilitation in Damane-Daran plain, Iran, Groundwater for Sustainable Development, 23, 100995, 1-10.
- [22] Lazarus, N.W. (2011). Coping capacities and rural livelihoods: challenges to community risk management in Southern Sri Lanka. Applied Geography, 31(1), 20-34.
- [23] Li, Y., Gong, H., Zhu, L., & Li, X. (2017). Measuring spatiotemporal features of land subsidence, groundwater drawdown and compressible layer thickness in Beijing Plain, China. Water, 9(1), 64.

- [24] Marshall, G., & Jonker, L. (2011). An introduction to inferential statistics: A review and practical guide. *Radiography*, 17(1), e1-e6.
- [25] Minderhoud, P.S.J., Erkens, G., Pham, V.H., Bui, V.T., Erban, L., Kooi, H., & Stouthamer, E., (2017). Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong delta, Vietnam. *Environ. Res. Lett.* 12, 064006 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7146>.
- [26] Palczewski, K., & Sałabun, W. (2019). The fuzzy TOPSIS applications in the last decade. *Procedia Computer Science*, 159, 2294-2303.
- [27] Teartisup, P., & Kerdsueb, P. (2013). Land Subsidence Prediction in Central Plain of Thailand, *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(1), 59-61.
- [28] Thomalla, F., Downing, T., Seigfried, E.S., Han, G., & Rockstorm, J. (2006). Reducing hazard vulnerability: towards a common approach between disaster risk reduction and climate adaptation, *Disasters*, 30(1): 48-39.