Kharazmi University

Journal of Engineering Geology

Journal home page https://jeg.khu.ac.ir

OPEN ACCESS

Online ISSN 2981-1600

# Groundwater sustainability assessment in the Kermanshah aquifer based on indicators and analytic hierarchy process (AHP)

**Faeze Samadpoor[1], Morteza Mozafari[2]✉, Majid dashti Barmaki[3], Parisa Sharifi[4]**

1. M.Sc Student, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: samadpoorfaeze@gmail.com
2. Associate Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: mmozafari@ut.ac.ir
3. PhD, Water Resources Specialist, Tehran Regional Water Authority, Tehran, Iran. E-mail: majiddashti24@gmail.com
4. M.Sc Student, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: sharifi.parisa80@gmail.com

## Article Info

**Article type:**
Research Article

**Article history:**
Received 24 October 2025
Accepted 24 December 2025

**Keywords:**
Kermanshah Plain, Groundwater, Sustainability Index, Analytical Hierarchy Process, ROC Curve.

## ABSTRACT

Groundwater plays a vital role in meeting the drinking and agricultural water needs of Kermanshah Plain. In order to protect the aquifer, it is important to evaluate its sustainability in the face of current and future demands and stresses. Groundwater sustainability indicators help ensure the sustainable management of these resources. This research aims to evaluate the sustainability of groundwater resources in the Kermanshah Plain using various indicators. To this end, AHP analysis was used to evaluate the sustainability indicator of this aquifer based on nine indicators in five quantitative, qualitative, environmental, social, and political sectors. First, the value of each indicator was calculated, and then its sustainability was evaluated using data transferred to GIS software and interpolation. Next, the weight and rank of each indicator and category were calculated to prepare an index-equivalent map. Then, using weighted overlap, the final sustainability map was obtained. Finally, the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve was used to measure the accuracy of the results. The prepared sustainability map shows that indicators of groundwater storage changes and quality conditions are among the most important factors affecting the sustainability of the plain's groundwater resources. The results also show that the sustainability situation is weaker in the central areas and more favorable in the border areas (river headwaters) and southeast of the aquifer. To improve the sustainability of the region's groundwater resources, it is recommended that new water management policies be adopted with the participation of the people and based on scientific, principled solutions.

## Introduction

Groundwater plays a vital role in meeting drinking and agricultural water needs, especially in arid and semi-arid regions of Iran. Indicators of groundwater sustainability help ensure the sustainable management of these resources. In order to protect aquifers, it is crucial to evaluate their sustainability in relation to current and future demands and pressures. Most research in Iran has focused on the sustainability of aquifers, considering economic, environmental, and social factors, to achieve sustainable groundwater distribution planning. In Kermanshah Plain, groundwater is increasingly considered a source of irrigation water, but population growth and agricultural development pose potential challenges to the current sustainable supply. This research aims to evaluate the sustainability of groundwater resources in the Kermanshah Plain by using various indicators to provide a comprehensive overview of groundwater conditions. The results of this research could inform water resource

**Cite this article:** Samadpoor, F., Mozafari, M., dashti Barmaki, M., Sharifi, P. (2025). Groundwater sustainability assessment in the Kermanshah aquifer based on indicators and analytic hierarchy process (AHP). Journal of Engineering Geology, 19 (4), 588-601. https//doi.org/10.22034/JEG.2025.19.4.1019831

© The Author(s).
Publisher: Kharazmi University.
DOI: https//doi.org/10.22034/JEG.2025.19.4.1019831

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.5.4 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1019831 ]

management planning at the regional and national levels.

## Materials and Methods

To assess sustainability, nine indicators were examined across five sectors: quantitative, qualitative, environmental, social, and political. The Analytic Hierarchy Process (AHP) was used to examine these indicators. First, criterion maps were collected and raster maps of each were prepared. Next, the AHP was used to weight the classes in each criterion. Then, the final weights of the criteria were determined using the AHP, considering the paired matrix and expert judgment. Finally, a groundwater sustainability map was created for the Kermanshah Plain.

## Results and Discussion

The stability map of the Kermanshah aquifer shows that much of the plain has moderate stability, a condition that is more evident in the central areas. The worst stability conditions are found around Mahmoud Abad village in the northern part of the aquifer. The stability diagram of this aquifer indicates good conditions in the upstream areas of the alluvial fan and the headwaters of the rivers and decreased stability towards the main river and in the central areas. However, the central areas have moderate instability, indicating poor water quality in the wells of this section. The western part and the area around Niloufar Sarab have the best aquifer stability conditions. To verify the final results of the AHP, the receiver operating characteristic (ROC) was used. To validate the final groundwater sustainability map, changes in groundwater levels over a ten-year period (2017–2027) were used as an objective indicator of improvement versus degradation of groundwater conditions. This figure was applied as a positive true rate on the map and ROC curve. The area under the ROC curve indicates the final map's accuracy and the model's ability to make correct predictions. The results of the ROC curve show that the area under the curve for the AHP is 0.54%, indicating that the AHP is reliable.

## Conclusions

Based on the sustainability map of the nine indicators in this study, it can be concluded that changes in groundwater storage and quality are among the most important factors affecting sustainability. The ROC validation method is commonly used in medical and engineering studies but rarely in groundwater studies. This study's results showed that the ROC validation method is a powerful tool for comparing the accuracy and precision of different multi-criteria decision-making methods. Due to the importance of range and accuracy of data in evaluating the sustainability index, increasing the number of measurement and data collection periods is suggested. Additionally, new studies and data collections, especially regarding hydrochemistry and the region's environmental and social issues, should be carried out alongside conventional measurements to increase the accuracy of the sustainability assessment results. To increase the stability of the aquifer, the following are recommended:

- Conduct geophysical and geological studies to prepare a map of the aquifer bedrock and clearly identify the extent of penetration into the bedrock.
- Prohibit the drilling of unauthorized wells, and avoid issuing new permits for drilling wells.
- Prevent the entry of anthropogenic and terrestrial pollutants, especially in sensitive and vulnerable areas.
- Adopt new water management policies to improve the stability of the region. These policies should be developed with the participation of the people and based on scientific and principled solutions.

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.5.4 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1019831 ]

نشریه زمین شناسی مهندسی
Journal home page https://jeg.khu.ac.ir
دسترسی آزاد
شاپا الکترونیکی ۲۹۸۱-۱۶۰۰
دانشگاه خوارزمی

# ارزیابی پایداری آب زیرزمینی در آبخوان کرمانشاه با استفاده از شاخص‌ها و تحلیل سلسله مراتبی

**فائزه صمدپور [۱]، مرتضی مظفری [۲]✉، مجید دشتی برمکی [۳]، پریسا شریفی [۴]**

۱. دانشجو کارشناسی ارشد، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکدگان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: samadpoorfaeze@gmail.com
۲. دانشیار، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکدگان علوم، دانشگاه تهران، ، تهران، ایران. رایانامه: mmozafari@ut.ac.ir
۳. دکتری، کارشناس منابع آب، آب منطقه‌ای تهران، تهران، ایران. رایانامه: majiddashti24@gmail.com
۴. دانشجو کارشناسی ارشد، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکدگان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: sharifi.parisa80@gmail.com

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:** مقاله پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۴/۰۸/۰۲
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۴/۱۰/۰۳

**کلیدواژه‌ها:**
دشت کرمانشاه، آب زیرزمینی، شاخص پایداری، تحلیل سلسله مراتبی، منحنی راک.

**چکیده**

در مناطق نیمه خشک، منابع آب محدود است و استفاده از شاخص‌های پایداری آب‌های زیرزمینی برای مدیریت این منابع اهمیت دارد. با توجه به رشد جمعیت و توسعه کشاورزی در دشت کرمانشاه، با محاسبه شاخص پایداری منابع آب زیرزمینی و با اتخاذ تصمیمات مدیریت صحیح می‌توان از آسیب‌های جبران‌ناپذیر به این منابع جلوگیری کرد. به همین منظور در این پژوهش، شاخص پایداری این آبخوان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی تعداد ۹ شاخص در بخش‌های کمی، کیفی، محیط زیستی و اجتماعی استفاده شده است. ابتدا هر شاخص محاسبه شده و در ادامه پایداری آن با استفاده از انتقال داده‌ها به محیط نرم‌افزار جی-ای-اس و درون‌یابی ارزیابی گردیده است. در مرحله بعد با محاسبه وزن و رتبه هر شاخص و دسته، نقشه هم‌ارز شده شاخص تهیه گردید و در ادامه با استفاده از همپوشانی وزنی، نقشه پایداری نهایی به دست آمده است. در نهایت برای سنجش دقت روش‌های مورد استفاده در تحقیق، از نمودار ویژگی عملکرد گیرنده استفاده گردیده است. بر اساس نقشه پایداری تهیه شده، می‌توان گفت که شاخص‌های تغییرات ذخیره آب زیرزمینی و مشکلات کیفی از جمله مهم‌ترین شاخص-های اثرگذار بر پایداری منابع آب زیرزمینی دشت می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد، در نواحی مرکزی وضعیت پایداری ضعیف‌تر و در بخش‌های مرزی (سر شاخه-های رودخانه) و جنوب شرقی آبخوان پایداری مطلوب‌تری دارد. برای صحت سنجی نتایج نهایی تحلیل سلسله مراتبی با کمک منحنی تشخیص عملکرد سامانه نشان می‌داد که روش مورد استفاده از درجه اعتبار بالایی برخوردار است. در ادامه برای بهبود پایداری منابع آب زیرزمینی منطقه پیشنهاد می‌شود با مشارکت مردم و با استفاده از راهکارهای علمی و اصولی، سیاست-های جدید مدیریت آب اتخاذ شود.

## مقدمه

با توجه به دسترسی راحت و سریع به منابع آب زیرزمینی برای تأمین آب به ویژه در مناطق خشک ایران، بهره‌برداری از این منابع در چند دهه اخیر رشد چشمگیری داشته است. این افزایش برداشت همراه با عدم مدیریت صحیح، مشکلات کمی و کیفی زیادی از جمله کاهش سطح و حجم آبخوان (Ziaye et al., 2021; Fakourian et al., 2023). کاهش کیفیت آب (Ghazavi et al., 2017)، پیشروی جبهه آب شور ساحلی و بیابانی (Kardan Moghadam and Roozbahani, 2015)، افزایش هزینه برداشت آب، فرونشست زمین (Jafari et al., 2015) و همچنین

**استناد:** صمدپور، ف.، مظفری، م.، دشتی برمکی، م.، شریفی، پ. (۱۴۰۴). ارزیابی پایداری آب زیرزمینی در آبخوان کرمانشاه با استفاده از شاخص‌ها و تحلیل سلسله مراتبی. مجله زمین شناسی مهندسی، ۱۹ (۴)، ۴۷۹-۵۰۰. https://doi.org/10.22034/JEG.2025.19.4.1019831

ناشر: دانشگاه خوارزمی.
© نویسندگان.

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.5.4 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1019831 ]

مشکلات اجتماعی را به همراه داشته است. برای بهره‌برداری ایمن از آبخوان، شناخت وضعیت فعلی و همچنین ارزیابی پایداری آن در آینده دارای اهمیت است. پایداری یکی از موضوعات مهم و حیاتی در زمینه‌ی مدیریت منابع آب است. پایداری آب‌های زیرزمینی حفاظت و حمایت از این منابع برای حفظ تعادل طبیعی بین نیازهای زیست محیطی و اجتماعی است (Vu et al., 2021). پایداری منابع را به گونه ای مدیریت می‌کند که نیازهای نسل‌های آینده را بتوان پاسخ گفت (Harding, 2006). از طریق شاخص‌های ارزیابی پایداری می‌توان وضعیت منابع آب زیرزمینی را بررسی کرد و با گرفتن تصمیم‌های درست مدیریتی از ورود آسیب‌های جبران‌ناپذیر به این منابع جلوگیری کرد. به عبارتی شاخص پایداری آب زیرزمینی می‌تواند وضعیت آبخوان و عوامل مؤثر بر آن را شناسایی کرده و تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی را برای مدیرها آسان نماید. در ارتباط با پایداری منابع آب زیرزمینی پژوهش‌های مختلفی انجام شده است که بیشتر بر عوامل اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی (که باید برای دستیابی به برنامه‌ریزی تخصیص پایدار آب در نظر گرفته شوند) تمرکز داشته‌اند (Remesa and Panda, 2008 Cullet, 2017; Samani et al., 2020; Smith, 2016;). در ارتباط با پایداری آبخوان‌ها پژوهش زیادی انجام شده است

دشت کرمانشاه به دلیل موقعیت مرزی و سهم آن در تولید محصولات کشاورزی از اهمیت زیادی در کشور برخوردار است. با توجه به توسعه کشاورزی و همچنین تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های اخیر، اهمیت شناخت دقیق منابع آب (بویژه آب زیرزمینی) و فرایند تغییر این منابع برای مدیریت صحیح و همه جانبه، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. هدف اصلی این پژوهش بررسی و ارزیابی پایداری آبخوان کرمانشاه با استفاده از شاخص‌های مختلف برای ارائه تصویری روشن از وضعیت آب‌های زیرزمینی است. نتایج این تحقیق می‌تواند در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب به صورت منطقه‌ای و ملی مفید باشد.

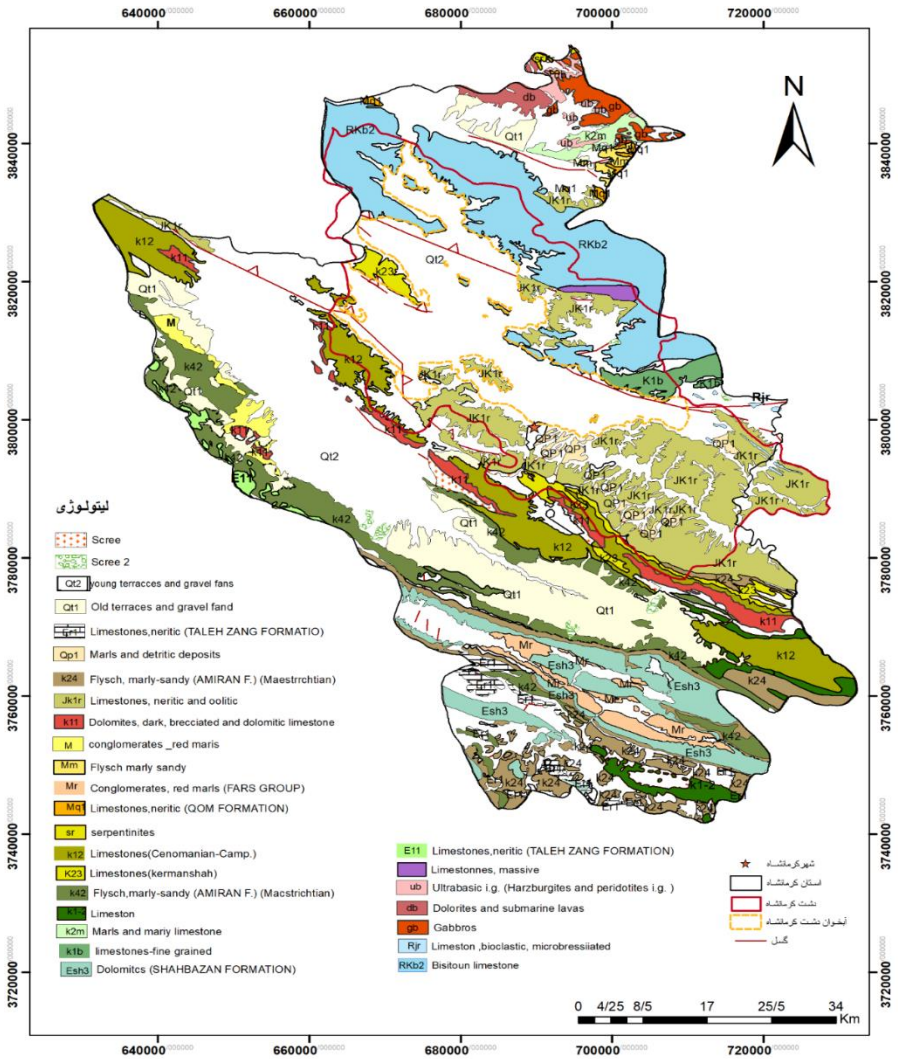
## مواد و روش‌ها

### گستره پژوهش

محدوده مطالعاتی کرمانشاه در قسمت شمال و شمال غربی استان کرمانشاه، در غرب ایران واقع گردیده است. این محدوده در پهنه زاگرس قرار گرفته است و توالی چینه‌شناسی از دوره‌های کامبرین تا کواترنری (شامل طیف گسترده‌ای از سنگ‌ها از جمله آهک، مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرا) در آن رخنمون یافته است (شکل ۲). شرایط اقلیمی این منطقه تحت تأثیر توده‌های هوای مرطوب مدیترانه‌ای است و میانگین بارندگی سالانه آن بین ۴۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر است. از دیدگاه هیدرولوژی محدوده مطالعاتی کرمانشاه در حوضه آبریز درجه دو کرخه قرار دارد و رودخانه های گاماسیاب و قره‌سو مهم‌ترین جریان‌های سطحی آن می‌باشند. سازندهای کربناته سروک و آسماری در اطراف دشت کرمانشاه آبخوان کارستی را شکل داده‌اند و چشمه‌های آن نقش مهمی در تأمین آب شرب ساکنین دارند. در محدوده دشت نهشته‌های آبرفتی با ۷۰ تا ۲۲۰ متر ضخامت بر روی شیل و مارن‌های ناتراوا جای گرفته و یک آبخوان آزاد درون آن تشکیل شده است. بیشترین ضخامت آبرفت در نواحی فلات شمالی و جنوب شرقی دشت و کمترین آن در حاشیه شرقی و غربی دشت است. قابلیت انتقال رسوبات آبرفتی در دشت کرمانشاه از ۱۰۰ متر مربع تا ۲۰۰۰ متر مربع در روز متغیر است. در دشت کرمانشاه، عمق آب زیرزمینی از ارتفاعات به سمت مرکز دشت افزایش می‌یابد و از عمق ۵ به ۵۰ متر می‌رسد. در آبخوان کرمانشاه رقم منحنی‌ها هم تراز برای سطح آب زیرزمینی بین ۱۳۰۰ متر در مرکز دشت و ۱۳۶۰ متر در نواحی جنوب شرقی است. شیب آب‌های زیرزمینی در آبخوان کم و بیش از شیب

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.5.4 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.10119831 ]

توپوگرافی پیروی می‌نماید و جهت جریان آب زیرزمینی دشت از حاشیه‌های آبخوان به سمت مرکز می‌باشد (شکل ۲).

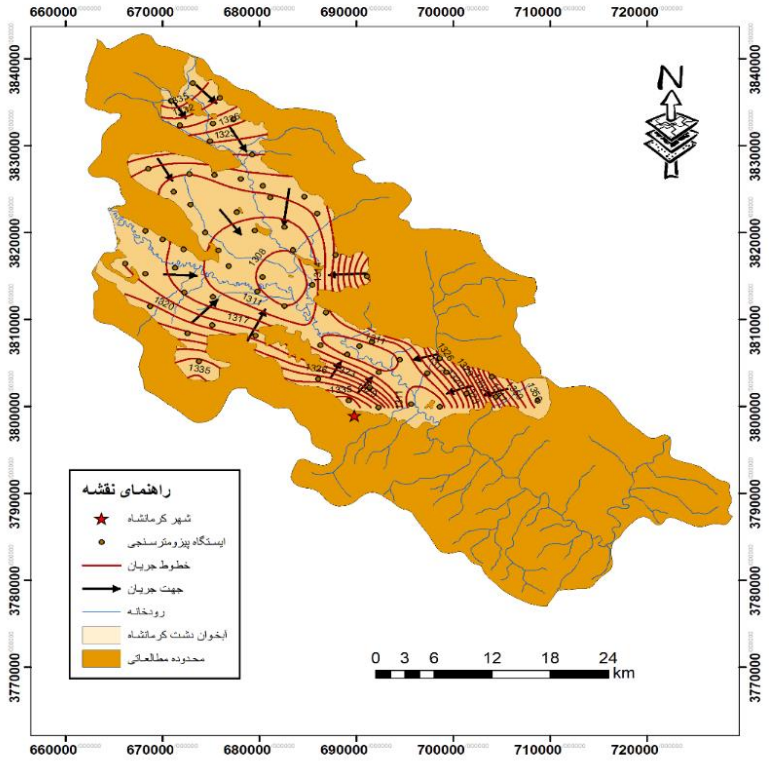



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی محدوده کرمانشاه

Fig. 1. Geological map of study area

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.5.4 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.10019831 ]

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.5.4 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.10019831 ]




شکل ۲. نقشه محدوده مطالعاتی کرمانشاه

Fig. 2. Map of study area

## روش پژوهش

انجام این پژوهش نیازمند طیف وسیعی از داده‌های هواشناسی، پوشش‌گیاهی، تغییرات تراز آب زیرزمینی و داده‌های کیفی می‌باشد. میزان بارندگی سالانه از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ از داده‌های سازمان هواشناسی برگرفته شد. برای حدود ۲۰۰۰ منبع (شامل چاه، چشمه و قنات) داده‌های آب زیرزمینی (شامل تراز، سطح آب ، مقدار هدایت الکتریکی و نوع کاربری چاه‌های منطقه مورد مطالعه) مربوط به سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۷ با مراجعه به شرکت مدیریت منابع آب ایران و سازمان آب منطقه‌ای استان کرمانشاه به دست آمد. برای استخراج مساحت پوشش گیاهی از باند چهار و پنج تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ استفاده شد. از شاخص اس-ای-وی-آی برای طبقه‌بندی داده‌های رستری در نرم‌افزار جی-آی-اس استفاده شد. شاخص آسیب-پذیری آب‌های زیرزمینی بر اساس پژوهش مهدی خانی و همکاران بدست آمد که در آن با استفاده از نقشه‌های عمق آب زیرزمینی، تغذیه، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، مواد تشکیل دهنده محیط غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی نقشه آسیب‌پذیری محدوده کرمانشاه را تهیه نموده‌اند (Mahdikhani et al., 2021).

تعداد چاه‌های غیرمجاز در یک منطقه و همچنین مقدار کف شکنی غیرمجاز چاه‌ها نشانگر میزان احترام بهره‌بردارها به قوانین و همچنین کیفیت قوانین مصوب مرتبط با منابع آب زیرزمینی است. در این پژوهش برای تعیین شاخص اجتماعی، از اطلاعات مربوط به چاه‌های غیرمجاز و میزان کف شکنی استفاده شد. برای این منظور ابتدا محل چاه‌های غیرمجاز و میزان کف شکنی در منطقه مشخص شد. سپس با وارد کردن مختصات جغرافیایی این چاه‌ها در محیط جی-

آی-اس و با استفاده از ابزار تراکم نقطه‌ای، توزیع محل چاه‌های غیرمجاز و یا داری کف شکنی غیرقانونی بدست آمد.

پس از گردآوری داده‌ها، شاخص‌ها با استفاده از داده‌های موجود محاسبه شده و در ادامه پایداری هر شاخص با استفاده از انتقال داده‌ها به محیط نرم‌افزار جی-ای-اس و درون‌یابی ارزیابی گردیده است. به منظور ارزیابی پایداری از ۹ شاخص در بخش‌های کمی، کیفی، محیط زیستی و اجتماعی استفاده شد. برای مقایسه و طبقه‌بندی، هر شاخص به پنج گروه شامل با کاملاً ناپایدار (نمره صفر)، ناپایدار (نمره ۲۵)، پایداری متوسط (نمره ۵۰)، تقریباً پایدار (نمره ۷۵) و کاملاً پایدار (نمره ۱۰۰) تقسیم شد (Taheri et al., 2017; Juwana and Muttil, 2010). در این پژوهش از تحلیل سلسله مراتبی برای محاسبه وزن هر شاخص استفاده شد. در ارتباط با وزن شاخص‌ها و یکپارچگی برای دستیابی به نقشه پایداری نهایی، بر اساس تجربه و نظر کارشناسی دو جدول تهیه شد (Custodio, 2002; Remesa and Panda, 2008; Majidipour et al., 2021). در یکی از جدول‌ها امتیاز مورد نظر هر شاخص (از صد) و در جدول دیگر اهمیت شاخص‌ها نسبت به یکدیگر مورد بررسی قرار گرفت و سپس ماتریس مقایسه در محیط انتخاب کارشناس تهیه و امتیازدهی شد. وزن شاخص‌ها بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی در جدول ۱ قرار داده شده است. همچنین ماتریس این روش با نسبت ناسازگاری ۰/۰۴ در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس این روش، بیشترین وزن به شاخص کمی تغییر ذخیره آب زیرزمینی و کمترین وزن به شاخص سطح زیرکشت اختصاص داده شده است. سپس ۹ نقشه رستری (که هر کدام به یک شاخص مرتبط بودند) با استفاده از ابزار همپوشانی وزنی در محیط جی-آی-اس ادغام شدند. در ادامه نقشه پایداری نهایی آبخوان کرمانشاه در روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آمد. سپس با استفاده از همپوشانی وزنی، نقشه پایداری نهایی به دست آمد. در نهایت برای سنجش دقت روش مورد استفاده در تحقیق، از نمودار ویژگی عملکرد گیرنده (ROC) استفاده شد.

جدول ۱. وزن عامل‌های مؤثر بر پایداری در روش تحلیل سلسله مراتبی

Table 1. Weight of effectibve parameters in AHP

| نوع شاخص | دسته‌بندی | زیردسته | وزن زیردسته | تعداد پیکسل | وزن نهایی |
|---|---|---|---|---|---|
| کمیت آب زیرزمینی | تغییر در ذخیره آب زیرزمینی | پایداری کم | ۰/۰۹ | ۲۸۷۲ | ۰/۲۳ |
| | | پایداری متوسط | ۰/۱۱۸ | ۱۱۸۸۵ | |
| | | تقریباً پایدار | ۰/۱۸۱ | ۷۲۲۰ | |
| | | پایدار | ۰/۶۱ | ۲۴۸ | |
| کیفیت آب زیرزمینی | تغییر در کیفیت آب زیرزمینی | تقریباً پایدار | ۰/۳۳۳ | ۲۶۴۳ | ۰/۱۹ |
| | | پایدار | ۰/۶۶۶ | ۱۹۵۸۲ | |
| | مشکلات کیفی آب زیرزمینی | پایداری متوسط | ۰/۱۲۲ | ۴۱۱۵۳ | ۰/۲۱۸ |
| | | تقریباً پایدار | ۰/۱۷ | ۱۵۶۶۳ | |
| | | پایدار | ۰/۷۰۷ | ۵۴۰۹ | |
| زیست محیطی | آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی | ناپایدار | ۰/۰۳۸ | ۶۸۸ | ۰/۱۳۹ |
| | | پایداری کم | ۰/۰۶۴ | ۱۴۰۲ | |
| | | پایداری متوسط | ۰/۱۱۸ | ۴۰۱۰ | |
| | | تقریباً پایدار | ۰/۱۸۱ | ۱۲۹۰۲ | |
| | | پایداری | ۰/۶ | ۲۵۸۰ | |
| | تغییرات اقلیمی | پایداری متوسط | ۰/۱۲۲ | ۲۵۰۰ | ۰/۰۰۷ |
| | | تقریباً پایدار | ۰/۱۷ | ۱۷۱۱۱ | |

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.5.4 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.10019831 ]

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | پایداری | ۰/۷۰۷ | ۲۶۳۰ | |
| | خشکسالی آب زیرزمینی | پایداری متوسط | ۰/۳۳۳ | ۱۵۰۹۰ | ۰/۱۷۸ |
| | | تقریباً پایدار | ۰/۶۶۶ | ۷۱۳۵ | |
| | سطح زیر کشت | ناپایدار | ۰/۱۲۲ | ۲۳۳ | ۰/۰۰۰۶ |
| | | پایداری کم | ۰/۱۷ | ۶۵۸۰۳۹ | |
| | | پایداری متوسط | ۰/۷۰۷ | ۴۸۵۴۱ | |
| اجتماعی | فاصله تا سنگ کف | ناپایدار | ۰/۰۳۸ | ۴۳۴ | ۰/۰۰۱۹ |
| | | پایداری کم | ۰/۰۶۴ | ۱۱۳۰ | |
| | | پایداری متوسط | ۰/۱۱۸ | ۴۳۰۰ | |
| | | تقریباً پایدار | ۰/۱۸۱ | ۸۴۷۷ | |
| | | پایدار | ۰/۵۹۷ | ۷۸۸۴ | |
| | چاه‌های غیرمجاز | ناپایدار | ۰/۰۳۸ | ۷۹۷ | ۰/۰۰۹ |
| | | پایداری کم | ۰/۰۶۴ | ۳۶۰ | |
| | | پایداری متوسط | ۰/۱۱۸ | ۴۶۳ | |
| | | تقریباً پایدار | ۰/۱۸۱ | ۳۰۲۹ | |
| | | پایدار | ۰/۶ | ۱۶۳۵۷ | |

جدول ۲. ماتریس بدست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی

Table 2. Matrix obtained from the AHP

| | سطح زیر کشت | چاه غیرمجاز | سنگ کف | آسیب‌پذیری | خشک‌سالی | اقلیم | مشکلات کیفی | کیفی | شاخص کمی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شاخص کمی | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۱ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۱ |
| کیفی | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۱ | ۲ | ۱ | |
| مشکلات کیفی | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۲ | ۱ | | |
| اقلیم | ۰/۵ | ۱ | ۳ | ۵ | ۶ | ۱ | | | |
| خشک‌سالی | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۱ | | | | |
| آسیب‌پذیری | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۱ | | | | | |
| سنگ کف | ۰/۵ | ۰/۵ | ۱ | | | | | | |
| چاه غیرمجاز | ۱ | ۱ | | | | | | | |
| سطح زیر کشت | ۱ | | | | | | | | Ci =۰/۴ |

## نتایج و بحث

همانطور که قبلاً بیان شد، به منظور ارزیابی پایداری منابع آب زیرزمینی دشت کرمانشاه از نه شاخص در بخش‌های کمی، کیفی، محیط زیستی و اجتماعی استفاده شد. شاخص تغییر اقلیم با بررسی تغییرات بارندگی طی چند سال متوالی، شرایط آب و هوایی منطقه را بررسی می‌کند. آب باران منبع اصلی تغذیه آبخوان است و کاهش میزان بارش به معنای کاهش میزان آب زیرزمینی است، بنابراین هنگام مطالعه میزان پایداری آب‌های زیرزمینی بر اساس شاخص‌های مختلف، میزان بارندگی متغیر مهمی در ارزیابی پایداری است. نتایج شاخص تغییر اقلیم نشان می‌دهد که از نظر اقلیمی بیشتر نواحی دشت دارای شرایط تقریباً پایدار است و تنها در بخش کوچکی از شمال و غرب منطقه (به دلیل بارش زیاد) پایداری بیشتر است. در نواحی جنوب شرقی دشت میزان بارندگی کمتر بوده و در نتیجه پایداری اقلیمی

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.5.4 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.10019831 ]

در حد متوسط است. با توجه به افزایش دما و کاش بارش ناشی از تغییر اقلیم، به نظر می‌رسد که در سال‌های آتی شرایط منطقه از نظر اقلیمی ناپایدارتر خواهد شد.

شاخص خشک‌سالی به بررسی ابعاد پایداری محیط زیستی در آبخوان کرمانشاه می‌پردازد. بر اساس این شاخص می¬توان تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب‌های زیرزمینی را تعیین کرد. برای محاسبه میانگین و انحراف معیار این شاخص از داده‌های سطح آب زیرزمینی بین سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۸۶ استفاده شد. نتایج نشان می‌داد که از نظر شاخص خشکسالی آب زیرزمینی نواحی مرکزی دشت دارای پایداری کم و نواحی شمالی، جنوب غرب و جنوب شرق دشت دارای شرایط تقریباً پایدار می‌باشد.

شاخص‌های کمی آب زیرزمینی نشان می‌دهد که کمترین تغییر در ذخیره آبخوان در محدوده کوچکی از جنوب شرق دشت وجود دارد و با حرکت از نواحی جنوب شرق به سمت غرب از میزان پایداری ذخیره آبخوان کاسته می‌شود. در شرایط کنونی بیشتر نواحی دشت از نظر ذخیره دارای پایداری متوسط یا تقریباً پایدار می‌باشد. با توجه به اقلیم مرطوب منطقه و بیشتر بودن بارش آن از میانگین بارندگی کشور، کیفیت آب سطحی و زیرزمینی آن در شرایط مطلوبی می‌باشد و انتظار نمی‌رود که منابع آب با شوری بالا در این منطقه وجود داشته باشد. شاخص کیفی آب زیرزمینی نیز تائید کننده این مطلب بود و نتایج نشان می‌داد که در بیشتر بخش‌های دشت شرایط کیفی آب پایدار و تقریباً پایدار است و تنها در بخش‌های جنوبی و غربی دشت پایداری متوسط دیده می‌شود. با امتیازبندی شاخص آسیب‌پذیری با امتیازبندی پایداری آبخوان از نظر آسیب‌پذیری مشخص شد که در نواحی شمالی دشت بیشترین خطر آسیب‌پذیری وجود دارد و در قسمت‌های شمالی و جنوب شرق آسیب‌پذیری متوسط است. وسعت پوشش گیاهی وابسته به آب زیرزمینی با میزان برداشت از این منابع رابطه مستقیم دارد. در منطقه پژوهش زمین بدون پوشش گیاهی به ندرت مشاهده می‌شود. در قسمت‌های مرکزی، غربی و شمالی دشت بخش‌های با پوشش گیاهی متوسط و زمین‌های زیرکشت تمرکز بیشتری دارد. به عبارتی در این بخش‌ها برداشت از چاه‌ها بیشتر بوده و میزان پایداری منابع آب کمتر است. از نظر تراکم چاه‌های غیرمجاز، بیشتر نواحی دشت دارای شرایط پایدار و تقریباً پایدار می‌باشد. تنها در بخش‌های غربی تراکم چاه‌های غیرمجاز قابل‌توجه است که عاملی بر ناپایداری آب زیرزمینی از نظر رعایت قانون است. با کم شدن آبدهی چاه برخی بهره‌بردارها، افزایش عمق حفاری و نفوذ به سنگ بستر کارستی را انجام می‌دهند. این کار غیرقانونی بوده و برای پایداری آب‌های زیرزمینی مناسب نمی‌باشد. نقشه بدست آمده از توزیع چاه‌ها در سنگ کف کارستی دشت کرمانشاه نشان می‌دهد که در بخش وسیعی از دشت عمق حفاری در حد مجاز است و تنها در نواحی غربی دشت نفوذ به درون سنگ کف کارستی مشاهده می‌شود. البته در برخی نواحی میانی و شرق دشت نیز چاه‌ها تا بیشینه عمق مجاز حفر شده‌اند، بنابراین بجز در دو ناحیه یاد شده، سایر بخش‌های دشت دارای شرایط پایدار تا تقریباً پایدار می‌باشند.

نقشه پایداری آبخوان کرمانشاه بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی در شکل ۳ آورده شده است. همان‌طور که در نقشه مشاهده می‌شود، بخش گسترده‌ای از این دشت به پایداری متوسط تعلق دارد و این شرایط در نواحی مرکزی بیشتر مشهود است. بدترین شرایط پایداری در پیرامون روستای محمود آباد در شمال آبخوان دیده می‌شود. شمای کلی پایداری در این آبخوان حاکی از شرایط کم و بیش خوب در نواحی بالادست مخروط افکنه و سرشاخه‌های آبراهه‌ها و کاهش پایداری در نواحی مرکزی و به سمت رودخانه اصلی است. با این حال، نواحی مرکزی به شرایط کم و بیش ناپایدار در آبخوان تعلق دارد که شرایط کیفیت بد آب در چاه‌های

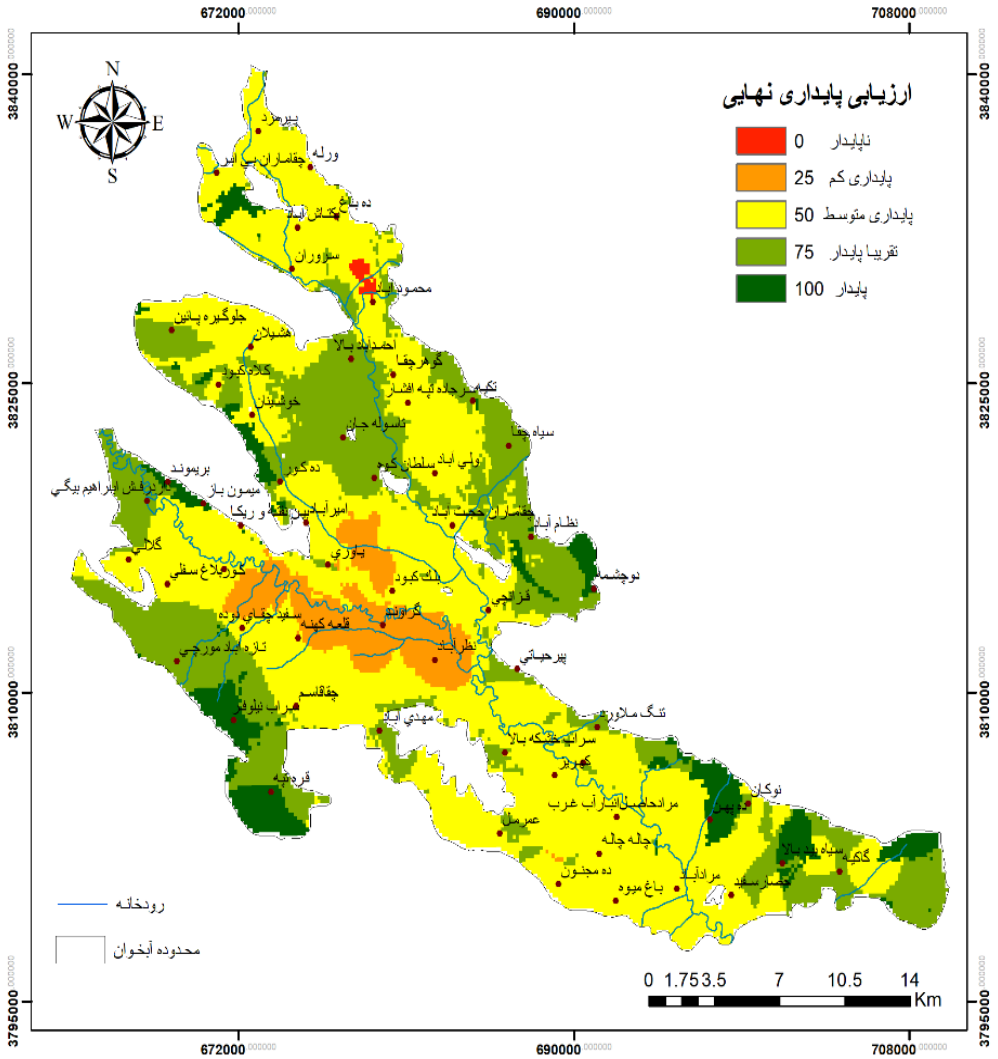
[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.5.4 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.10019831 ]

این بخش را نشان می‌دهد. در نهایت، بخش غربی و حوالی سراب نیلوفر، بهترین شرایط پایداری آبخوان را دارا می‌باشد.

برای صحت سنجی نتایج نهایی روش تحلیل سلسله مراتبی از منحنی تشخیص عملکرد سامانه استفاده شد (شکل ۴). منحنی راک برای ارزیابی عملکرد مدل در آستانه‌های مختلف استفاده می‌شود و مزیت اصلی راک این است که وابسته به انتخاب یک آستانه خاص نیست. محور افقی آن نرخ مثبت کاذب و محور عمودی نرخ مثبت درست است. این نمودار نشان می‌دهد که مدل در تشخیص کلاس مثبت چقدر خوب عمل کرده است. این منحنی نرخ مثبت درست را در برابر نرخ مثبت کاذب برای مقادیر گوناگون آستانه نشان می‌دهد و مساحت زیر آن معیاری از کیفیت کلی مدل است. به منظور اعتبارسنجی نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی از تغییرات سطح آب در چاه‌های محدوده مطالعاتی در یک بازه ده ساله (۱۳۸۶-۱۳۹۶) به عنوان شاخصی عینی از بهبود با تخریب شرایط آب زیرزمینی استفاده شده است. این رقوم به عنوان نرخ مثبت صحیح در نقشه و منحنی راک اعمال شده‌اند. مساحت زیر این منحنی بیانگر میزان دقت نقشه نهایی است. در واقع سطح زیر پوشش، نشانگر میزان توانمندی مدل در پیش‌بینی درست است. نتایج حاصل از منحنی راک بیان‌کننده این است که مقدار سطح زیر منحنی برای روش تحلیل سلسله مراتبی ۵۴ درصد به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد تحلیل سلسله مراتبی از درجه اطمینان خوبی برخوردار است.

بررسی پژوهش‌های مشابه نشان می‌دهد که پژوهشگرها برای هر منطقه شاخص‌های متناسب با شرایط هیدروژئولوژیکی، اقلیمی، محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی آن را به کار برده‌اند. به دلیل نبود داده مناسب، تعیین شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و اجتماعی در ایران با دشواری‌های زیادی همراه است. بررسی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بسته به شرایط ویژه هر منطقه می‌توان شاخص‌های جدیدی را پیشنهاد و استفاده کرد. در این پژوهش کوشش شده تا با در نظر گرفتن تعداد چاه‌های غیرمجاز و کف شکنی چاه‌ها، وزن شاخص اجتماعی را در شاخص کل محاسبه شده اعمال نمود. این شاخص می‌تواند در سایر مناطق خشک نیز اعمال شود چرا که میل بهره‌وران به افزایش عمق چاه‌ها و یا حفر چاه‌های غیرمجاز در این مناطق بیشتر است.

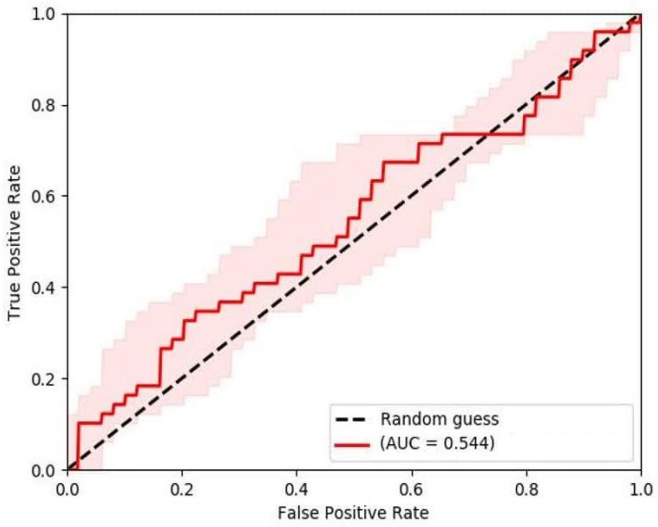
[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.5.4 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.10019831 ]




شکل ۳. نقشه پایداری نهایی آبخوان کرمانشاه بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی

Fig. 3. Final sustainability map of Kermanshah Aquifer based on the AHP

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.5.4 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.10019831 ]




شکل ۴. منحنی تشخیص عملکرد سامانه برای روش تحلیل سلسله مراتبی

Fig. 4. The ROC curve fo the AHP

## نتیجه‌گیری

تعداد زیادی شاخص برای ارزیابی پایداری منابع آب زیرزمینی وجود دارد که محاسبه هر یک نیازمند طیف گسترده‌ای از داده‌های دقیق و با صحت بالا می‌باشد. به عبارتی استفاده از داده‌های با عدم قطعیت بالا سبب تولید نتایج غیردقیق خواهد شد. از سوی دیگر هر چقدر تعداد شاخص‌های مورد استفاده برای تولید نقشه نهایی بیشتر باشد، دقت نتایج مطلوب‌تر و قابل استنادتر می‌باشد. بر اساس داده‌های موجود در دشت کرمانشاه، محاسبه ۹ شاخص شامل شاخص تغییر در ذخیره آب زیرزمینی، کیفی، مشکلات کیفی، اقلیم، خشک‌سالی، آسیب‌پذیری، نفوذ به سنگ کف کارستی، چاه‌های غیرمجاز و سطح زیرکشت امکان‌پذیر بود. داده‌های مورد استفاده از دقت خوبی برخوردار می‌باشند. بنابراین خروجی آن‌ها از اعتبار و ارزش خوبی برخوردار است. با نگاهی به نقشه پایداری شاخص‌های نه‌گانه در این مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که شاخص-های تغییرات ذخیره آب زیرزمینی و مشکلات کیفی از جمله مهم‌ترین شاخص‌های اثرگذار بر پایداری می-باشند. از روش صحت سنجی راک در ارزیابی مطالعات آب‌های زیرزمینی به ندرت استفاده شده است. از این روش بیشتر در ارزیابی مطالعات پزشکی و یا مهندسی استفاده می‌شد. نتایج این مطالعه نشان داد که روش صحت‌سنجی راک می‌تواند ابزاری قوی برای مقایسه دقت و صحت روش‌های مختلف تصمیم-گیری چند معیاره می‌باشد. با توجه به اهمیت دامنه و صحت داده‌ها در ارزیابی شاخص پایداری، پیشنهاد می‌شود که بر تعداد دوره‌های اندازه‌گیری و برداشت داده‌ها افزوده شود. از سوی دیگر علاوه بر اندازه‌گیری‌های مرسوم، مطالعه و برداشت‌های جدیدی نیز به ویژه در ارتباط با هیدروشیمی و مسائل محیط زیستی و اجتماعی منطقه صورت پذیرد تا به کمک آن‌ها بتوان بر صحت نتایج ارزیابی پایداری افزود. همچنین در راستای افزایش پایداری آبخوان، انجام موارد زیر پیشنهاد می‌شود: با انجام مطالعات ژئوفیزیک و زمین‌شناسی، نقشه جنس سنگ کف آبخوان تهیه گردد و میزان نفوذ به سنگ کف و برداشت از آن به خوبی مشخص شود؛ ممنوعیت و اقدام عملی در زمینه جلوگیری از حفر چاه¬های غیرمجاز صورت پذیرد و از صدور مجوز جدید برای حفر چاه اجتناب شود؛ بر روی چاه‌های مجاز کنتور نصب شود؛ از ورود آلاینده-های بشرزاد و زمین زاد بویژه به محدوده‌های حساس و

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.5.4 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.10019831 ]

آسیب‌پذیر جلوگیری شود و برای بهبود پایداری منطقه، با مشارکت مردم منطقه و با استفاده از راهکارهای علمی و اصولی، سیاست‌های جدید مدیریت آب اتخاذ شود.

برقراری تعادل پایدار بین در منابع آب و تقاضای آن در دشت کرمانشاه یکی از چالش‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی پیش روی در سال‌های آتی خواهد بود. استفاده از شاخص پایداری برای غلبه بر این چالش گزینه مناسبی است. شاخص اقلیمی نشان می‌دهد که طی دهه‌های اخیر فراوانی سال¬های با رخداد کم آبی در این دشت رو به افزایش است. افزایشی دما و تبخیر-تعریق پتانسیل در دهه‌های آتی نیز ادامه خواهد داشت و سبب کاهش رطوبت خاک شده، میزان تغذیه آبخوان را کاهش می‌دهد و تولید ریزگرد، فرسایش خاک و تنش آبی گیاه را افزایش می‌بخشد. این افزایش ناپایداری امنیت آبی منطقه را به شکل قابل‌توجهی کاهش خواهد داد. تنش آبی ممکن است باعث تغییر نوع کشت از دیم به آبی و یا حتی رهاسازی زمین کشاورزی شود؛ روندی که در حال حاضر نیز در بسیاری از نقاط ایران در حال رخ دادن است. رها شدن بیشتر زمین‌های کشاورزی دیم به خصوص در مناطق بدون دسترسی به آبیاری می‌تواند سبب افزایش مشکلات محیط زیستی (مانند افزایش گرد و خاک) شده و پیامدهای قابل‌توجهی بر عملکرد اکوسیستم و معیشت روستایی بگذارد. بنابراین ضروری است که اقدامات مدیریت منابع آب سازگار با تغییر اقلیم جدی گرفته شود. برای مدیریت پایدار باید شناخت دقیقی از تمام زیرسیستم‌های طبیعی، فنی، اجتماعی، سیاسی، اقتصادی و حقوقی منابع آب بدست آید. مدیریت منابع آبی باید با مشارکت بین مردم، بهره‌بردارها، کارشناس‌ها، مدیرها، قانون‌گذارها و سیاست‌گذارها انجام شود. اعتمادسازی و ارائه شفاف تمامی داده‌ها نقش مهمی در بقای این مشارکت خواهد داشت.

**References**

Custodio, E. (2002). Aquifer overexploitation: what does it mean? Hydrogeology journal, 10(2), 254-277.

Cullet, P. (2017). Water Regulation and Public Participation in the Indian Context. Public Participation and Water Resources Management. International Conference, Geneva, 20-29

Fakourian, M. H., Naderi, M., & Joodaki, G. (2023). Assessment of groundwater budget in Aspas alluvial aquifer of Fars Province. Journal of Aquifer and Qanat, 4(1), 51-68.

Ghazavi, R., & Ramezani, M. (2017). Investigation the Effects of Precipitation Change and Groundwater Overextraction on both Quantitative and Qualitative Changes of Groundwater (Rafsanjan Plain. Hydrogeomorphology, 4(12), 111-129.

Harding, R. (2006). Ecologically sustainable development: origins, implementation and challenges. Desalination, 187(1-3), 229-239.

Jafari, F. A. T. E. M. E. H., Javadi, S. A. M. A. N., & Karimi, N. E. A. M. A. T. (2015, June). Forecasting of subsidence due to groundwater over exploitation using MODFLOW and interferometry technique in Radar imagery. In 36th IAHR World Congress, Netherlands.

Juwana, I., Perera, B., & Muttil, N. (2010). A water sustainability index for West Java-Part 2: refining the conceptual framework using Delphi technique. Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research, 62(7), 1641-1652.

Kardan Moghadam, H., & Roozbahani, A. (2015). 'Evaluation of Bayesian networks model in monthly groundwater level prediction (Case study: Birjand aquifer)', Water and Irrigation Management, 5(2), 139-151. (In Persian).

Mahdikhani, M., Toranjian, A., & Bayat, M. (2021). Investigating the vulnerability of the Kermanshah plain aquifer using the DRASTIC model and GIS. The Third National Conference on Environmental Engineering and Management. Mazandab Environmental Engineering Research Center, Tajan Institute of Higher Education, Ghaemshahr, Iran.

Majidipour, F., Najafi, S. M. B., Taheri, K., Fathollahi, J., & Missimer, T. M. (2021). Index-

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.5.4 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.10019831 ]

based groundwater sustainability assessment in the socio-economic context: A case study in the Western Iran. Environmental Management, 67(4), 648-666.

Najafpour, N., Torabi Poode, H., & Yoonesi, H. (2020). Evaluation of groundwater quantity and quality on aquifer pollutant (Case Study: Lenjanat Plain, Isfahan). Environmental Researches, 11(21), 233-248.

Remesa, R., & Panda, R. K. (2008). Groundwater vulnerability assessment , risk mapping ,and nitrate evaluation in small agricultural watershed :using the DRASTIC model and GIS .Environmental Quality Management, 17(4), 53-75

Samani, S., Roozbahani, R., Heydari, A. K., & Moghaddam, H. K. (2020). A framework for indicator-based water sustainability assessment.

Smith, M., Cross, K., Paden, M., & Laban, P. (2016). Spring-Managing GW Sustainability. IUCN. Gland, Switzerland.

Taheri, K., Taheri, M., & Komail, M.S. (2017). Sin-DRASTIC: a modified vulnerability mapping method for alluvial aquifer hosted by karst in the north of Hamadan province, west of Iran. In EuroKarst 2016, Neuchâtel, 255-271

Vu, T. D., Ni, C. F., Li, W. C., Truong, M. H., & Hsu, S. M. (2021). Predictions of groundwater vulnerability and sustainability by an integrated index-overlay method and physical-based numerical model. Journal of Hydrology, 596, 126082.

Ziaye Shendershami, S., Esmali Ouri, A., Mostafazadeh, R., & Ghorbani, A. (2021). Effective Factors in Ground Water Variations and Water Table Decrease in Ardabil Plain. Hydrogeomorphology, 8(28), 127-143

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.5.4 ]

[ DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1019831 ]