



<https://jssr.ui.ac.ir/?lang=en>

Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches

E-ISSN: 2423-8007

Vol. 40, Issue 1, No. 94, Spring 2024, pp 29-44

Received: 30.11.2023 Accepted: 15.04.2024

Research Paper

Investigating the role of stratigraphy in recharge potential in Nekarood Basin

Narges Nabizadeh Chamazcoti

Ph.D. student in Hydrogeology, Department of Hydrogeology, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
n.nabi7111@gmail.com

Gholam Hossein Karami* 

Associate Professor, Department of Hydrogeology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Karaj, Iran
g.karami@khu.ac.ir

Azizollah Taheri

Professor, Department of Geology, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
ali.ataheri@gmail.com

Ramazan Ramazani Omali

Associate Professor, Department of Hydrogeology, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
ramazani43@gmail.com

Abstract

The Nekarood basin is located in the north of Iran and has an area of 2275 km². In the Nekarood Basin, the majority of limestones include thick bedded and massive limestones of Lar and Cretaceous limestones, and there is also a lesser amount of Elika, Dalichai and Ruteh limestones. Various features such as the amount of outcrop, thickness and lithological characteristics of karst rocks and their relationship to other lithologies on a regional scale are the geological controls on karst development. Among these factors, the thickness and lithology of the existing formations in the studied area are of great importance, in such a way that if the outcropping limestone is thick bedded and massive, the karstification process is very high. The stratigraphy of the region and the spread of the Lar limestones in the region are among the reasons for the dominance of the conduit flow system in this basin. Stratigraphy has an effective role in the development of karst and the spatial distribution of the amount of recharge in the formations of the studied area, and by considering the effect of factors affecting recharge using GIS and remote sensing, the status of the hydrogeological budget of karst in the region is investigated. Estimating the amount of recharge is also one of the most important parameters in hydrogeological studies for calculating the budget. The recharge potential map was prepared using several layers of information, including lithology, slope, aspect, density of streams, precipitation, density of fractures and epikarst, after weighting by expert method and integrating information in the Geographic Information System (GIS) environment. According to the obtained results, the desired area is divided into five sections with 12, 20, 28, 36 and 48% recharge potential, and the corresponding area of each section is 50, 360, 877,817, and 5 km², respectively. The average recharge in the whole range was estimated to be about 29%. Based on the amount of recharge and average annual precipitation (430 mm), the total amount of recharge in the Nekarood karst basin is estimated to be about 261 million cubic meters (MCM), of which about 64 MCM is discharged by springs and wells in the karst basin, so the annual discharge volume in this area is more than the annual discharge volume of about 197 MCM. Considering the location of the Nekarood karst basin near the Caspian Sea and the existence of faults in this area, it can be stated that, most likely, part of the water recharge in this basin is discharged to the sea.

Keywords: Karst, Stratigraphy, Recharge potential, Discharge to the sea

Introduction

According to the definition of Ford and Williams, karst is a basin with a specific hydrology and morphology, which was created by high dissolution of rock and high development of secondary porosity (Williams & Ford 2007). Karst groundwater is one of the most important sources of groundwater worldwide. Due to the expansion and diversity of carbonate

formations, more than 25% of the world's population gets their drinking water from karst underground aquifers (Williams & Ford 2007; Liu et al. 2019; Hao et al. 2021).

As a coastal karst aquifer, the Nekarood karst basin can drain its water into the Caspian Sea through alluvium, faults and deep dissolution channels. Due to the climatic conditions (high rainfall) and stratigraphy in this region, no estimation

*Corresponding author

Nabizadeh Chamazcoti N. Karami G. H. Taheri A. and Ramazani Omali R. (2024). Investigating the role of stratigraphy in recharge potential in Nekarood Basin. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 40(1): 29-44. <https://doi.org/10.22108/jssr.2024.139951.1275>

2423-8007 / © 2024 University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



<https://doi.org/10.22108/jssr.2024.139951.1275>

of the amount of recharge in this basin has been done so far. The main purpose of this research is to investigate the role of stratigraphy in the development of karst and the spatial expansion of the amount of recharge in the formations of the region, with considering the effect of factors affecting recharge by using GIS and remote sensing, to investigate the karst hydrogeological balance in this area and the amount of recharge.

Materials & Methods

In order to investigate the role of stratigraphy on the development of karst in the Nekarood Basin, firstly, field studies were conducted regarding the stratigraphy and formations of the area. Then hydrogeological studies were conducted in this basin. Important layers of information affecting recharge, including lithology, amount of slope, aspect, density of streams, precipitation, density of fractures and epikarst have been prepared. According to the nature of each factor, their role in the amount of recharge has been determined. After weighing, these information layers were prepared using an integrated GIS and map of recharge potential. Then the water balance of the karst basin was estimated according to the amount of feeding, precipitation and discharge.

Discussion of Results & Conclusions

In the Nekarood Basin, the majority of limestone includes thick bedded and massive limestones of Lar and Cretaceous limestones, and there are also dolomitic limestones, Elika, Delichai and Ruteh limestones in a smaller amount. There are about 716 springs in this basin, of which four springs (Sanbi, Espeh O, Jezi and Kaocheshmeh) have a flow of more than 10 liters per second and are located in the Lar Formation in this basin. The Lar limestone formation in this basin consists of thick bedded to massive limestones and hydrogeologically has a high potential of karstification. Also, there are a lot of dissolution features as well as caves in these limestones. The existence of three important faults in this basin, namely the Caspian Fault, the North Alborz Fault and the Nekarood Fault, has also been one of the important factors in the development of karst in this basin. The flow system in the Lar Formation, which is dominated by lithology, is a conduit system type. Examining the temporal changes of physical

(such as discharge) and chemical (electrical conductivity) characteristics also shows that the variability of these parameters is high for the mentioned springs, which indicates the dominant conduit system in this basin and the development of the karst phenomenon in this area. To determine the recharge potential in the study area, factors affecting recharge were classified, and based on expert judgment, points from 2 to 8 were considered for them. Based on this classification, wherever the factor has a score of 8, it has the greatest impact on recharge, and wherever the score is 2, it has the least impact on recharge. Based on the effective factors, the average recharge percentage in this basin is estimated at 29 percent.

Based on the investigations conducted in the Nekarood karst area, it can be seen that in some parts of this karst basin, the degree of karst development is more evident, and the dominant system is conduit flow. Therefore, the main factor of karst development and the dominance of conduit flow system in parts of this basin is thick bedded and massive limestone. In order to estimate the percentage of annual recharge potential in hydrogeological balance studies, in addition to stratigraphy, the influential factors of density of faults and fractures, rainfall, amount of slope, direction of slope, karst effects, density of waterways and soil cover have also been used. Using the GIS, the influencing factors in the recharge potential have been evaluated and weighed, and finally, the recharge potential map has been prepared. According to the recharge potential map, the highest amount of recharge is related to the thick limestones of the Lar and Cretaceous layers, which include about 36 to 45% of the recharge potential. The annual recharge in this area was about 261 MCM. The total annual discharge volume of springs and wells was about 64 MCM, and the difference between recharge and discharge is about 197 MCM. Considering that the groundwater tends to move towards the base level of erosion and due to the shape of the basin as well as the presence of large faults and bedrock in the region, it is likely that a part of the recharge water is discharged to the alluvium and the Caspian Sea. However, the estimation of the amount of recharge due to the factors affecting the recharge is associated with uncertainty, which can be reduced by using isotopic and hydrogeochemical samples in the area of water exit from the basin and achieving a favorable result.


مقاله پژوهشی

بررسی نقش چینه‌شناسی در پتانسیل تغذیه در حوضه نکارود

نرگس نبی‌زاده، دانشجوی دکتری، گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود،

شاهرود، ایران

n.nabi7111@gmail.com

غلامحسین کرمی *، دانشیار، گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران

g.karami@khu.ac.ir

عزیزاله طاهری، استاد، گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

ali.ataheri@gmail.com

رمضان رضانی اومالی، دانشیار، گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

ramazani43@gmail.com

چکیده

حوضه نکارود با وسعت ۲۲۷۵ کیلومترمربع در شمال ایران قرار دارد. بخش عمده آهک‌ها در حوضه نکارود، شامل آهک‌های ضخیم‌لایه و توده‌ای لار و آهک‌های کرتاسه است و به مقدار کمتری آهک‌های الیکا، دلیچای و آهک‌های روته نیز وجود دارد. خصوصیات مختلفی از قبیل میزان رخنمون، ضخامت و خصوصیات لیتولوژیکی سنگ‌های کارستی و ارتباط با لیتولوژی‌های دیگر در مقیاس ناحیه‌ای، کنترل‌کننده‌های زمین‌شناسی توسعه کارست را تشکیل می‌دهند. از میان این عوامل، ضخامت و لیتولوژی سازنده‌های موجود در منطقه مطالعه‌شده، از اهمیت بالایی برخوردار است، به‌گونه‌ای که اگر سنگ‌آهک رخنمون‌یافته ضخیم‌لایه و توده‌ای باشد، معمولاً پدیده کارستی شدن با سرعت و شدت بیشتری انجام می‌شود. چینه‌شناسی منطقه و گسترش آهک لار در منطقه، یکی از دلایل غالب بودن سیستم جریان مجرای در این حوضه است. چینه‌شناسی در توسعه کارست و گسترش مکانی مقدار تغذیه در سازنده‌های منطقه مطالعه‌شده، نقش مؤثری دارد و با در نظر گرفتن تأثیر عوامل مؤثر بر تغذیه با استفاده از GIS و سنجش از دور، وضعیت بیان هیدروژئولوژیکی کارست در منطقه بررسی می‌شود. تعیین بیان هیدروژئولوژیکی آبخوان‌ها، به‌ویژه در مناطق کارستی، از اهمیت بالایی برخوردار است. تخمین مقدار تغذیه نیز، یکی از مهم‌ترین پارامترهای مطالعات هیدروژئولوژیکی برای محاسبه بیان است. تغذیه آبخوان کارستی از نظر کمیت و پراکندگی مکانی، به عوامل طبیعی مختلف مانند آب و هوا، توپوگرافی، پوشش گیاهی، خاک و زمین‌شناسی بستگی دارد. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه، با استفاده از چند لایه اطلاعاتی شامل لیتولوژی، مقدار شیب، جهت شیب، تراکم آبراهه‌ها، بارش، تراکم شکستگی‌ها و اپی کارست، پس از وزندهی به روش کارشناسی و تلفیق اطلاعات در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، تهیه شد. با توجه به نتایج حاصل‌شده، منطقه مدنظر به ۵ بخش با پتانسیل تغذیه ۱۲، ۲۰، ۲۸، ۳۶ و ۴۸ درصد تقسیم شده است و مساحت مربوط به هر بخش به ترتیب ۵۰، ۳۶۰، ۸۱۷، ۸۱۷ و ۵ کیلومترمربع است. متوسط تغذیه در کل محدوده، حدود ۲۹٪ برآورد شد. براساس میزان تغذیه و متوسط بارش سالانه (۴۳۰ میلی‌متر)، مقدار کل تغذیه در حوضه کارستی نکارود حدود ۲۶۱ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود که از این مقدار، حدود ۶۴ میلیون مترمکعب به‌وسیله چشمه و چاه‌های موجود در حوضه کارستی تخلیه است؛ بنابراین حجم تخلیه سالانه در این منطقه در مقیاسه با حجم تخلیه سالانه، حدود ۱۹۷ میلیون مترمکعب بیشتر است. با توجه به فرارگیری حوضه کارستی نکارود در نزدیکی دریای مازندران و وجود گسل‌های این منطقه، این چنین اظهار می‌شود که به احتمال زیاد بخشی از آب‌های تغذیه‌شده در این حوضه، موجب تغذیه آبخوان مجاور و بخشی نیز به دریا تخلیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کارست، چینه‌شناسی، پتانسیل تغذیه، تخلیه به دریا.

* نویسنده مسئول

نبی‌زاده چمازکی، نرگس؛ کرمی، غلامحسین؛ طاهری، علی. و رضانی اومالی، رمضان. (۱۴۰۳). بررسی نقش چینه‌شناسی در پتانسیل تغذیه در حوضه نکارود.

پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۴۰(۱): ۲۹-۴۴. <https://doi.org/10.22108/jssr.2024.139951.1275>



مقدمه

سازندهای (Karami et al. 2016; Freeze and Cherry 1979). ساخت (به‌ویژه سازندهای آهکی)، یکی از منابع اصلی تخلیه و انتقال آب به آبرفت‌ها و دشت‌های مجاور خودند. در برخی از مناطق ساحلی، سازندهای سخت به‌صورت ارتفاعاتی در مجاورت دریا قرار گرفته‌اند. بررسی بیلان آب در این مناطق در بیشتر موارد نشان‌دهنده زهکشی آب زیرزمینی از سازندهای سخت به دریاست.

تاریخچه موضوع و پیشینه پژوهش

برآورد مقدار تغذیه با روش‌های متعددی از جمله معادله بیلان، بررسی هیدروگراف چشمه‌ها، نفوذسنج، ردیابی شیمیایی، ایزوتوپی، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام می‌شود (Scanlon et al. 2006; Milanovic 1981; Bonacci 2001). استفاده از روش سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل در نظر گرفتن چندین متغیر، هزینه کم و کاربردی بودن در مقیاس وسیع و ناحیه‌ای در مناطقی که امکان انجام عملیات صحرایی و آزمایشگاهی نیست، در بسیاری از مناطق استفاده شده است

(Milewski et al. 2009; Shaban et al. 2006).

فاکتورهایی مانند زمین‌شناسی، مقدار شیب، جهت شیب توپوگرافی، پوشش گیاهی، بارش، نوع بارش، تراکم آبراهه‌ها، تراکم شکستگی‌ها، عوارض کارستی، اپی کارست و ... از عوامل مؤثر بر مقدار تغذیه در یک سفره کارستی اند (Ford and Williams 2007; Ayalon et al. 1998; Singhal and Goyal 2012) با وزن‌دهی و همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر بر تغذیه در محیط GIS¹، عدم قطعیت اطلاعات هیدروژئولوژیکی به‌طور درخور توجهی کاهش می‌یابد و از این اطلاعات برای بیلان آب زیرزمینی استفاده می‌شود (Tweed et al. 2007). (Radulovic et al. 2012) برای ارزیابی توزیع مکانی تغذیه در منطقه کارستی مونته‌نگرو، از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند. میزان تغذیه در این منطقه، بین ۶۰ تا ۸۰ درصد از بارش سالانه برآورد شده است.

براساس تعریف فورد و ویلیامز، کارست حوضه‌ای با هیدرولوژی و مورفولوژی خاص است که در اثر انحلال زیاد سنگ و توسعه بالای تخلخل ثانویه به وجود آمده است (Ford and Williams 2007). نواحی کارستی به‌وسیله عوارضی از قبیل مجاری انحلالی، گودی‌های مسدود، فروچاله‌ها، دره‌های خشک و غارها مشخص می‌شوند (Jenning 1985; White 1988). آب زیرزمینی کارست، یکی از مهم‌ترین منابع آب زیرزمینی در سراسر جهان است. با توجه به گسترش و تنوع سازندهای کربناته، بیش از ۲۵ درصد از جمعیت جهان، آب آشامیدنی خود را از سفره‌های زیرزمینی کارست تأمین می‌کنند (Ford & Williams 2007; Hao et al. 2021; Liu et al. 2019).

در توسعه کارست، عوامل مختلفی نظیر لیتولوژی، مقدار نزولات آسمانی، خصوصیات چینه‌شناسی و عوامل ساختاری دخالت دارند که عموماً به‌صورت تلفیقی عمل می‌کنند. خصوصیات مختلفی از قبیل میزان رخنمون، ضخامت و خصوصیات لیتولوژیکی سنگ‌های کارستی و ارتباط لیتولوژی‌های دیگر در مقیاس ناحیه‌ای، کنترل‌کننده‌های زمین‌شناسی توسعه کارست را تشکیل می‌دهند (Karimi verdenjani et al. 2010). از میان این عوامل، ضخامت و لیتولوژی سازندهای موجود در منطقه مطالعه‌شده از اهمیت بالایی برخوردار است، به‌گونه‌ای که اگر سنگ آهک رخنمون‌یافته، ضخیم‌لایه و توده‌ای باشد، معمولاً پدیده کارستی شدن با سرعت و شدت بیشتری انجام می‌شود (Dreybrodt 1988; Zuber and Motyka 1996). آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع آب آشامیدنی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مانند کشور ایران است. برآوردنکردن دقیق از مقدار تغذیه در بسیاری از آبخوان‌های ایران و برداشت بیش از مقدار تغذیه، باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است. برآورد مقدار تغذیه در سفره‌های کارستی، به دلیل ناهمگنی، به اطلاعات و آمار متعدد و شناخت دقیق عوامل مؤثر بر تغذیه نیاز دارد

¹ Geographic information system

محدوده مطالعاتی بوده و به ترتیب در بخش غربی و شرقی آن قرار گرفته‌اند. از نظر مختصات جغرافیایی، این محدوده در عرض جغرافیایی $30^{\circ} 36'$ تا $15^{\circ} 37'$ و طول جغرافیایی $00^{\circ} 53'$ تا $45^{\circ} 54'$ واقع شده است (شکل ۱). حداکثر و حداقل ارتفاع این حوضه، 3836 و 52 - متر از سطح دریاست. متوسط بارش سالانه در این حوضه، 430 میلی‌متر و متوسط دمای سالانه 14 درجه سانتی‌گراد است. این ناحیه براساس روش دمارتن از نظر اقلیمی، در اقلیم مدیترانه‌ای قرار می‌گیرد.

زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی

این محدوده از نظر جایگاه زمین‌شناسی، جزئی از زون البرز است. از نگاه زمین‌ریخت‌شناسی، مرز شمالی البرز منطبق بر تپه‌ماهورهای متشکل از نهشته‌های نئوژن و دشت ساحلی خزر است. در این منطقه نهشته‌های پالئوژئوئیک تا عهد حاضر، متشکل از سازندهای غالب منطقه از جمله الیکا، لار و آهک‌های کرتاسه رخنمون دارند. به لحاظ ساختاری نیز، در شمال این حوضه گسل خزر و در مرز جنوبی گسل شمال البرز از نوع معکوس قرار دارد، همچنین گسل نکارود، گسل اصلی است و در مرکز این حوضه قرار دارد و گسل‌های فراوانی آن را قطع می‌کنند که رودخانه نکارود نیز واقع بر این گسل جریان دارد. نقشه زمین‌شناسی موجود در شکل ۱ و ۲، محدوده مطالعاتی حوضه نکارود را نشان می‌دهد.

(Patil and Mohite 2014) نقشه پتانسیل تغذیه را به روش وزن‌دهی در حوضه آبریزی در هندوستان تهیه کردند و کلاس‌های تغذیه این منطقه را در سه دسته نامناسب، متوسط و خیلی خوب جای دادند. (Waikar and Nilawar 2014) با استفاده از سنجش از دور و GIS، زون‌های پتانسیل آب زیرزمینی را در منطقه کاراتانای^۱ هندوستان در ۵ دسته خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و عالی ارزیابی کردند. (Karami et al. 2016) پتانسیل تغذیه در منطقه چالدران در باختر ایران را با استفاده از GIS و سنجش از دور ارزیابی و مقدار درصد تغذیه را در حدود 80 درصد این منطقه به‌طور متوسط 63 درصد برآورد کردند. (Shamsi et al. 2019) تغذیه سالانه را در واحدهای کربناته کوه هراز در شمال کشور بررسی و ارزیابی و بر این اساس، مقدار پتانسیل تغذیه در آهک‌های منطقه را بین 30 تا 90 درصد برآورد کرده‌اند.

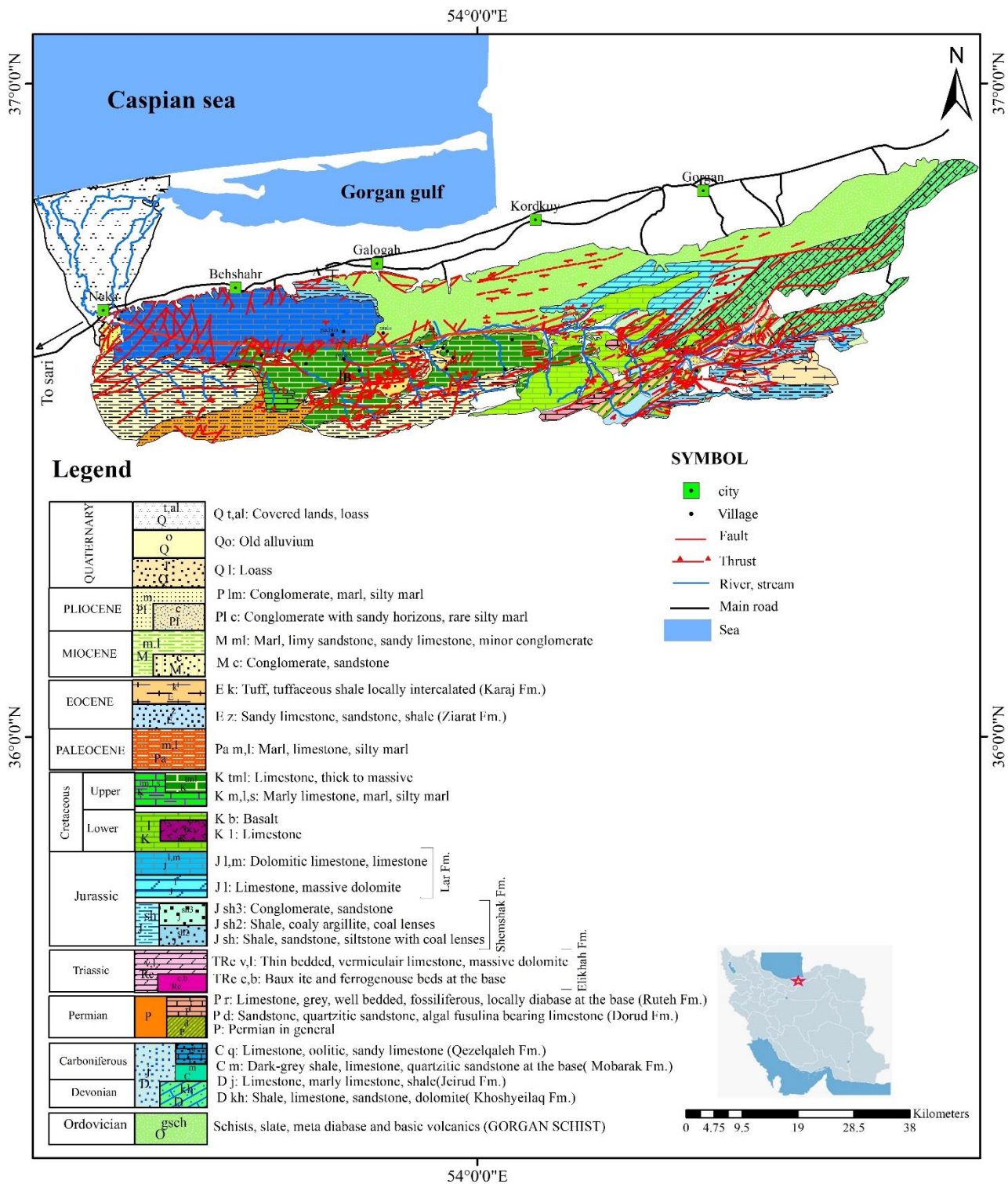
حوضه کارستی نکارود، یک سفره کارستی ساحلی است که آب خود را از طریق آبرفت، گسل و مجاری انحلالی عمیق به دریای خزر تخلیه می‌کند. چشمه‌های زیردریایی آب شیرین نیز در سواحل دریای خزر مشاهده شده است. با توجه به شرایط اقلیمی (بارش زیاد) و چینه‌شناسی در این منطقه، تاکنون برآوردی از مقدار تغذیه در این حوضه انجام نشده است. هدف اصلی این تحقیق، بررسی نقش چینه‌شناسی در توسعه کارست و گسترش مکانی مقدار تغذیه در سازندهای منطقه مطالعه‌شده، با در نظر گرفتن تأثیر عوامل مؤثر بر تغذیه با استفاده از GIS و سنجش از دور است تا براساس آن وضعیت بیلان هیدروژئولوژیکی کارست در این منطقه و مقدار تغذیه بررسی شود.

روش کار و شیوه انجام مطالعه

موقعیت جغرافیایی

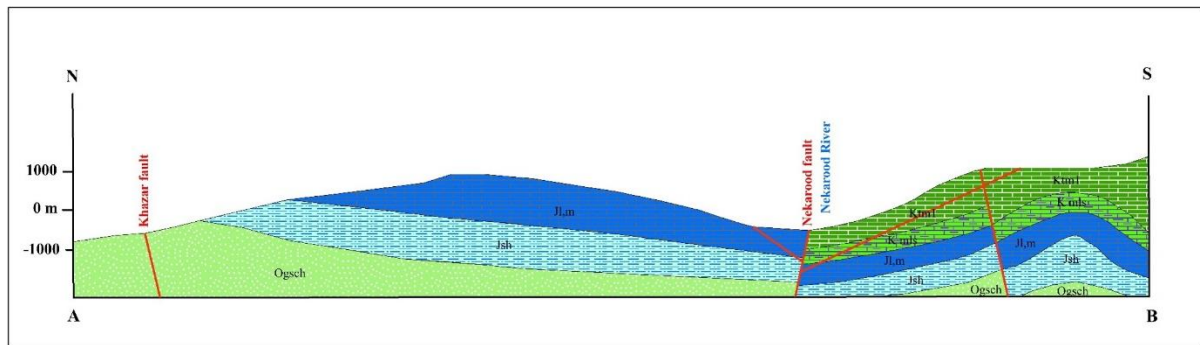
حوضه نکارود با وسعت 2275 کیلومترمربع در شمال ایران قرار دارد. شهر ساری واقع در 30 کیلومتری و شهر بهشهر واقع در 28 کیلومتری شهر نکا، مهم‌ترین مرکز جمعیتی

¹ Charthana



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعه شده (برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ساری و گرگان، سازمان زمین‌شناسی کشور)

Fig 1- Geological map of the studied area (taken from the 1:250,000 map of Sari and Gorgan, Geological Survey of Iran)



شکل ۲- مقطع زمین‌شناسی در محدوده مطالعه‌شده

Fig 2- Geology section in the study area

شده است. این لایه‌های اطلاعاتی، پس از وزن‌دهی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تلفیق شده است، همچنین نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه نیز تهیه و سپس با توجه به مقدار تغذیه، بارش و مقدار تخلیه، بیلان آبی حوضه کارستی برآورد شده است.

بحث و تحلیل یافته‌های پژوهش

بخش عمده آهک‌ها در حوضه نکارود، شامل آهک‌های ضخیم‌لایه و توده‌ای لار و آهک‌های کرتاسه است و به مقدار کمتری آهک‌های دولومیتی الیکا، دلیچای و آهک‌های روته نیز وجود دارد. در این حوضه حدود ۷۱۶ چشمه وجود دارد که ۴ چشمه (سن‌بی، اسپه‌او، جزی و کعوجشمه) آبدهی بیشتر از ۱۰ لیتر بر ثانیه دارند و در سازند لار و در این حوضه‌اند (شکل ۱۵). سازند آهکی لار در این حوضه، از آهک‌های ضخیم‌لایه تا توده‌ای شکل تشکیل می‌شود و به لحاظ هیدروژئولوژیکی، پتانسیل بالایی برای کارستی شدن دارد. همچنین گسترش درز و شکستگی‌های انحلالی در این آهک‌ها، باعث به وجود آمدن غار در این سازند شده است. این آهک‌ها بخش اساسی لایه آبدار کارستی منطقه را شامل می‌شوند. البته وجود سه گسل مهم در این حوضه، به نام‌های گسل خزر، گسل شمال البرز و گسل نکارود نیز، یکی از عوامل مهم در توسعه کارست در این حوضه بوده است. با توجه به سیستم‌های جریان موجود در کارست، که از نوع افشان یا مجرای‌اند (شکل ۳)، سیستم جریان در سازند لار، که لیتولوژی غالب آن را آهک ضخیم‌لایه و توده‌ای تشکیل می‌دهد، از نوع مجرای‌ای است. عموماً آهک‌های ضخیم‌لایه و

در این حوضه در سال آبی ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱، حدود ۷۱۶ چشمه وجود دارد که حدود ۱۵ چشمه آبدهی بیشتر از ۱۰ لیتر بر ثانیه دارند. بیشترین مقدار آبدهی نیز، حدود ۱۷۰ لیتر بر ثانیه است. هدایت الکتریکی این چشمه‌ها از حداقل ۲۷۰ تا حداکثر ۸۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر متغیرند. در این محدوده، حدود ۶۵ حلقه چاه بهره‌برداری و ۷۱۶ چشمه شناسایی شد که مجموع دبی تخلیه‌شده از این منابع آبی در شهریورماه سال ۱۴۰۱، حدود ۱۵ میلیون مترمکعب برآورد شده است.

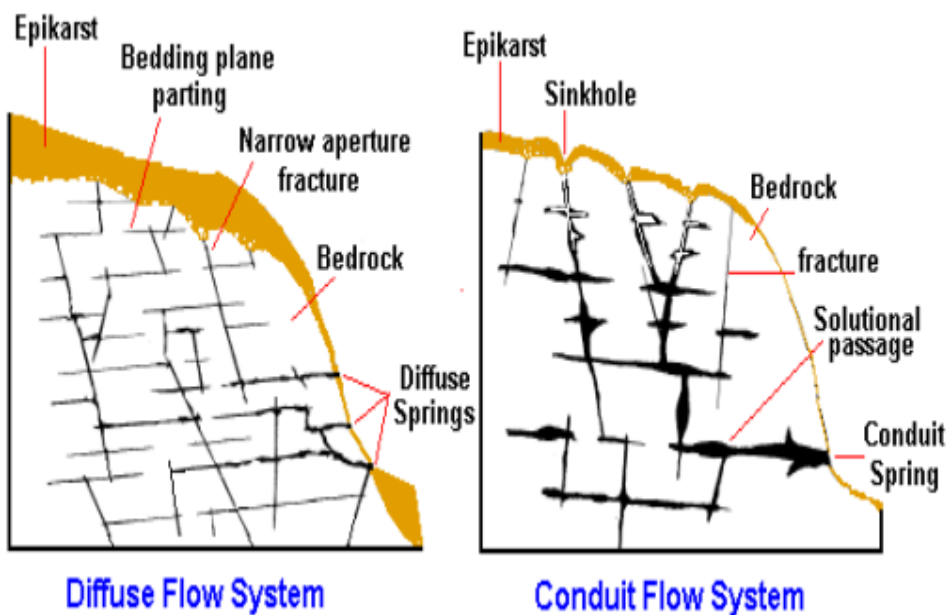
روش تحقیق

به منظور بررسی نقش چینه‌شناسی بر توسعه کارست در حوضه نکارود، در ابتدا بررسی‌های صحرایی درباره چینه‌شناسی و سازندهای منطقه و سپس بررسی هیدروژئولوژیکی در این حوضه انجام شد. همچنین در ادامه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و بررسی صحرایی، گسترش واحدهای سنگی و شرایط هیدروژئولوژیکی آنها مشخص و با استفاده از عکس‌های هوایی، داده‌های ماهواره‌ای لندست و مدل رقومی ارتفاعی منطقه (DEM)^۱ با توان تفکیک ۱۵*۱۵ متر برای تهیه نقشه‌های شیب، زمین‌شناسی، تراکم شکستگی‌ها و گسترش شبکه آبراهه منطقه تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی مهم تأثیرگذار بر تغذیه، شامل لیتولوژی، مقدار شیب، جهت شیب، شبکه آبراهه‌ای، بارش، تراکم شکستگی، پوشش خاک و عوارض کارستی تهیه و با توجه به ماهیت هریک از عوامل، نقش آنها در مقدار تغذیه مشخص

¹ Digital elevation model

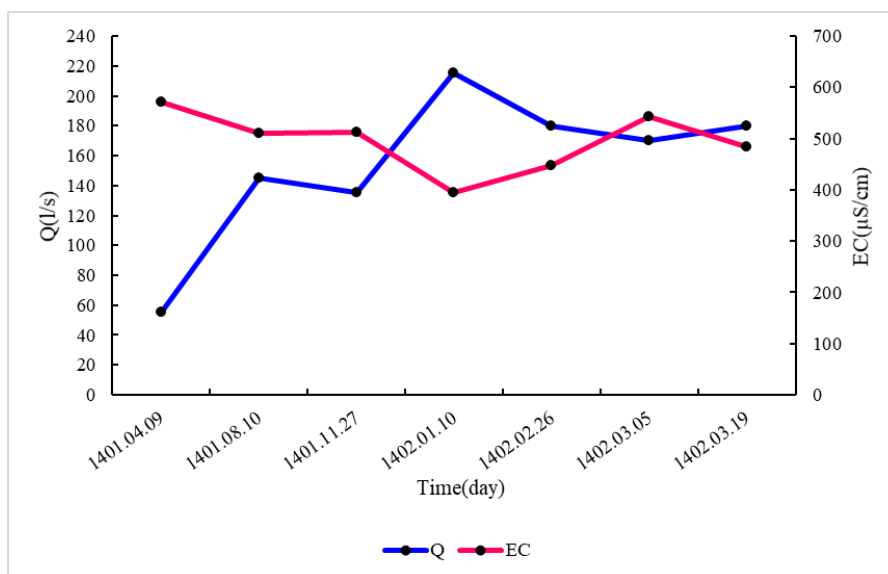
بیانگر سیستم غالب مجرای در این حوضه و توسعه پدیده کارست در این منطقه است. نمودار شکل ۴، رفتار چشمه سن بی را به‌عنوان سیستم غالب مجرای در این حوضه و برای نمونه نمایش داده است.

توده‌ای برای ایجاد مجاری و فضای انحلالی بسیار مستعد است و سیستم‌های کارستی با جریان مجرای در آنها ایجاد می‌شود. بررسی تغییرات زمانی خصوصیات فیزیکی (مانند دبی) و شیمیایی (هدایت الکتریکی) نیز نشان می‌دهد که تغییرپذیری این پارامترها برای چشمه‌های مذکور بالاست که



شکل ۳- سیستم‌های جریان در کارست (Karami 2002)

Fig 3- Flow systems in karst (Karami 2002)



شکل ۴ - نمودار رابطه تغییرات زمانی دبی با هدایت الکتریکی چشمه سن بی

Fig 4- The relationship between flow time changes and electrical conductivity

میزان تغذیه در این حوضه را با دقت پذیرفتنی برآورد می‌کند (شکل ۴).

حال با بررسی چینه‌شناسی منطقه و تعیین نوع سیستم جریان، میزان توسعه کارست در این حوضه مشخص شده است. با توجه به میزان توسعه کارست، با استفاده از دیگر پارامترها،



شکل ۵- آهک‌های چشمه‌های مجرای با آبدهی بالا و آهک لار در حوضه مطالعه‌شده

Fig 5- Conduit springs with high water flow in Lar limestone and Lar limestones in the studied basin

نکارود، ۸ فاکتور تأثیرگذار در نرخ تغذیه آب زیرزمینی شامل

به‌منظور برآورد درصد تغذیه سالانه در حوضه کارستی



۱۰ درجه به دلیل تغذیه بالا امتیاز ۸ و برای مناطق دارای شیب بیش از ۳۰ درجه امتیاز ۲ در نظر گرفته شد. براساس بازدیدهای صحرایی انجام‌شده، مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر تغذیه، شامل عوارض کارستی، پوشش خاک، تراکم شکستگی و درزه‌ها، لیتولوژی، بارش، جهت شیب، مقدار شیب و شبکه آبراهه‌هاست. با توجه به بارش زیاد منطقه، در صورتی که سنگ‌ها برهنه باشند، تجمع بارش بر این سنگ‌ها انجام می‌شود و مقدار نفوذ افزایش می‌یابد.

لیتولوژی، مقدار شیب، جهت شیب، تراکم آبراهه‌ها، بارش، تراکم شکستگی‌ها، پوشش خاک و عوارض کارستی بررسی و ارزیابی شد. مقادیر وزن هر فاکتور در تغذیه آب زیرزمینی از عکس‌های هوایی، نقشه‌های زمین‌شناسی و بازدیدهای صحرایی مشخص و دسته‌بندی فاکتورهای مؤثر بر پتانسیل تغذیه، از قبیل مقادیر تأثیر و وزن هر واحد در حوضه کارستی نکارود برآورد شد (جدول ۱).

به بالاترین درجه تأثیر عدد ۸ و به کمترین درجه تأثیر عدد ۲ داده شد؛ برای مثال برای مناطق دارای شیب کمتر، از

جدول ۱- ارزش لایه‌های مختلف و وزن هر دسته براساس روش کارشناسی

Table 1- The value of different layers and the weight of each category based on the expert method

وزن	ارزش	دسته‌بندی عامل	عوامل مؤثر	وزن	ارزش	دسته‌بندی عامل	عوامل مؤثر
	۸	بدون پوشش		۸		سنگ آهک	
	۶	کم		۶		آهک دولومیتی، آهک مارنی، دولومیت، آندزیت	
٪۱۵	۴	متوسط	پوشش خاک	٪۲۵	۵	ماسه سنگ، کنگلومرا	لیتولوژی
	۳	زیاد		۳		توف، آبرفت	
	۲	خیلی زیاد		۲		شیل، مارن	
	۸	>٪۲۵-۰		۸		۱۰-۰	
٪۵	۶	٪۵۰-۲۵	تراکم	٪۵	۶	۲۰-۱۰	شیب
	۴	٪۷۵-۵۰	آبراهه	۴		۳۰-۲۰	
	۲	>٪۷۵		۲		>۳۰	
	۸	عوارض مهم کارستی (کارن)		۸		٪۸۰-۶۰	
٪۱۵	۶	کارست برهنه (اپی کارست کم)	عوارض	٪۱۰	۶	٪۶۰-۴۰	تراکم
	۴	کارست پوشیده (اپی کارست زیاد)	کارستی	۴		٪۴۰-۲۰	خطواره
	۲	واحدهای سنگی غیر کارستی		۲		<٪۲۰	
	۸	N-NE		۸		>۷۰۰	
	۶	E		۶		۷۰۰-۶۰۰	
٪۱۰	۴	SE-E	جهت شیب	٪۱۵	۵	۶۰۰-۵۰۰	بارش
	۳	FLAT		۳		۵۰۰-۴۰۰	
	۲	SW-S- W-NW		۲		<۴۰۰	

عوامل مؤثر بر تغذیه

تغذیه، قابلیت ذخیره آب و توسعه کارست دارد (Shaban et al. 2006). مهم‌ترین واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در این

لیتولوژی: مشخصات سنگ‌شناسی نقش مؤثری در مقدار

شکستگی‌ها و گسله‌های منطقه (گسل خزر، شال البرز و نکارود) رسم و بر مبنای تراکم شکستگی‌ها امتیازبندی شد. مناطقی که تراکم شکستگی‌ها و گسل‌های بالایی دارند، امتیاز بیشتری را در تغذیه به خود اختصاص دادند. نقشه گسل‌ها و شکستگی‌ها در حوضه نکارود در شکل ۹ نشان داده شده است.

بارش: بارش یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر کارستی‌شدن و تغذیه است. مقدار و نوع بارش، بسته به شرایط اقلیمی و ارتفاع در حوضه‌های کارستی تغییر می‌کنند. نوع و شدت بارش بر نرخ تغذیه تأثیر مستقیم دارد؛ به‌طوری که باران‌های سیل‌آسا و ناگهانی فرصت کمتری برای نفوذ دارند و مقدار تغذیه از این بارش‌ها کم است، در صورتی که برف و باران‌های با شدت کم، فرصت نفوذ بیشتری دارند و مقدار نفوذ از آن بیشتر است.

با توجه به رابطه ارتفاع - بارش در ۹ ایستگاه منطقه، نقشه هم‌بارش تهیه و بر مبنای ارتفاع بارش امتیازدهی شد. مناطق با بارش بیشتر، امتیاز بیشتری را به خود اختصاص دادند. شکل ۱۰، نقشه هم‌بارش حوضه نکارود را نشان می‌دهد. همان‌طور که نقشه نشان می‌دهد، مقدار بارش از غرب به شرق حوضه افزایش می‌یابد.

نقشه تراکم آبراهه‌ها: به‌طور کلی آبراهه‌ها نمایانگر ساختمان‌ها، لیتولوژی و نفوذپذیری سنگ‌های زیرین‌اند. تراکم آبراهه نسبت عکس با نفوذپذیری دارد. هرچه در یک منطقه آبراهه بیشتر باشد، مقدار رواناب بیشتر و مقدار تغذیه کمتر می‌شود. نقشه شبکه آبراهه‌ها با استفاده از مدل الکترونیکی ارتفاعی منطقه (DEM) تهیه و با استفاده از نرم‌افزار GIS امتیازبندی شد. مناطق با تراکم آبراهه‌های بیشتر، امتیاز کمتر و مناطق با تراکم آبراهه‌های کمتر، امتیاز بیشتری را به خود اختصاص دادند. شکل ۱۱، نقشه تراکم آبراهه‌ها را در حوضه نکارود نشان می‌دهد که بیشترین تراکم آبراهه‌ها در دامنه رو به شمال قرار دارند.

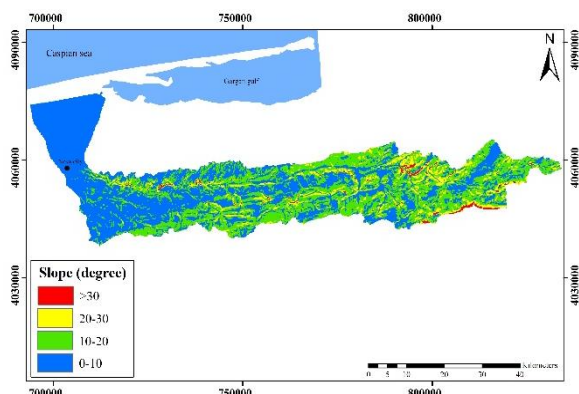
پوشش خاک: پوشش خاک نقش مهمی در نفوذ دارد. لایه پوشش خاک، یک لایه اطلاعاتی در نظر گرفته شده است

محدوده، شامل سنگ‌آهک، دولومیت، سنگ‌آهک مارنی، شیل، سنگ‌های ولکانیکی و رسوبات آبرفتی است که به‌لحاظ پتانسیل نفوذپذیری در ۵ گروه قرار داده شده‌اند (شکل ۶). سنگ‌های کربناته به‌دلیل نفوذپذیری بالا (آهک‌های لار و کرتاسه)، بیشترین امتیاز و شیل‌ها و مارن‌ها به‌دلیل نفوذپذیری پایین، کمترین امتیاز را به خود اختصاص دادند (جدول ۱).

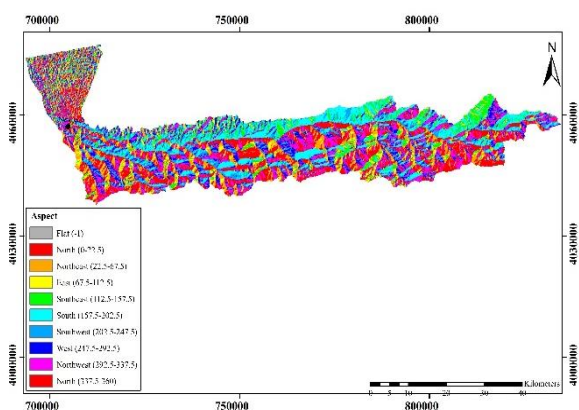
شیب توپوگرافی: شیب توپوگرافی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر نفوذ و نرخ تغذیه است. در نواحی با مقدار شیب زیاد، به‌دلیل ایجاد رواناب مقدار نفوذ کاهش و در شیب‌های کم به‌دلیل وجود زمان کافی برای نفوذ، مقدار نفوذ افزایش می‌یابد. نقشه مقدار شیب محدوده مطالعه‌شده با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی منطقه (DEM) تهیه شده است (شکل ۷). منطقه مطالعه‌شده براساس مقدار شیب به ۴ گروه تقسیم شد و شیب‌های کمتر، امتیاز بیشتر و شیب‌های زیاد، امتیاز کمتری را از نظر مقدار نفوذ به خود اختصاص دادند. با توجه به نقشه به دست آمده، بیشترین شیب در قسمت غربی حوضه است که به سمت شرق کاهش می‌یابد و در مرکز حوضه کمترین شیب وجود دارد.

جهت شیب توپوگرافی: زاویه تابش خورشید در شیب‌های رو به شمال و شمال شرقی نسبت به جنوب متفاوت است. در نیمکره شمالی مقدار تابش خورشید در دامنه‌های جنوبی بیشتر است، بنابراین مقدار تبخیر در دامنه جنوبی بیشتر و مقدار تغذیه کمتر است؛ از این رو بیشترین امتیاز را دامنه‌های شمالی به خود اختصاص می‌دهند. نقشه جهت شیب با استفاده از مدل الکترونیکی ارتفاعی منطقه (DEM) تهیه شده است (شکل ۸).

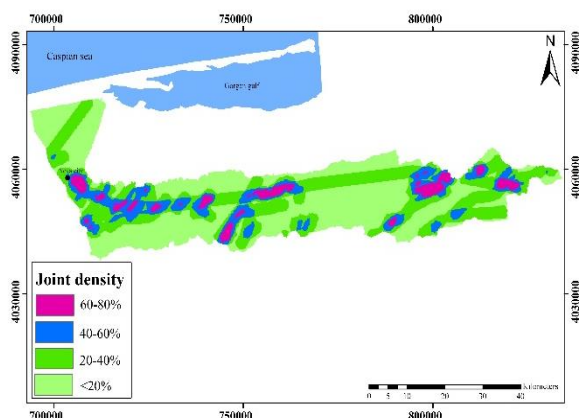
تراکم گسل‌ها و شکستگی‌ها: گسل‌ها و شکستگی‌ها باعث انتقال آب به درون آبخوان‌ها، افزایش توسعه کارست و ذخیره آب شده‌اند. گسل‌های نرمال که در شرایط کششی ایجاد می‌شوند، نسبت به گسل‌های معکوس و تراستی که در ساختار فشاری شکل می‌گیرند، نقش بیشتری در انتقال آب زیرزمینی دارند (Kastning 1977). با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی و کنترل زمینی، نقشه



شکل ۷- لایه اطلاعاتی شیب توپوگرافی
Fig 7- Slope information layer



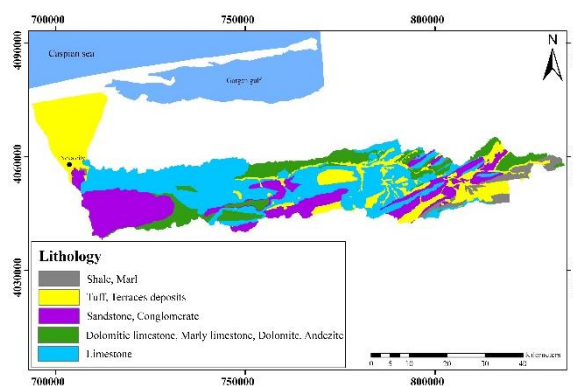
شکل ۸- لایه اطلاعاتی جهت شیب توپوگرافی
Fig 8 - Aspect information layer



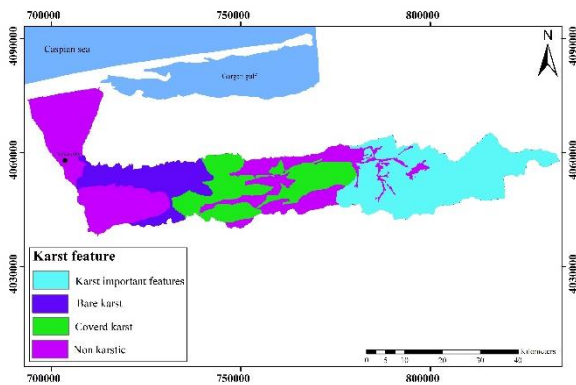
شکل ۹- لایه اطلاعاتی نقشه تراکم شکستگی‌ها
Fig 9 - Density fractures information layer

که در مناطق دارای پوشش خاک گسترده و نسبتاً ضخیم، مقدار نگهداشت بارش بیشتر و مقدار نفوذ مؤثر، کمتر می‌شود. در نواحی که سنگ‌ها برهنه‌اند، تجمع بارش زیادتر و مقدار نفوذ از طریق درز و شکاف‌ها بیشتر می‌شود. شیب زیاد و بارش کم سبب شده است تا بخش وسیعی از این منطقه فاقد پوشش خاک و سنگ‌ها برهنه باشد. منطقه مطالعه‌شده به دلیل قرارگیری در شمال کشور، در بیشتر مناطق پوشیده از گیاه و دارای پوشش خاک است. شکل ۱۲، نقشه پوشش خاک حوضه نکارود را نشان می‌دهد که میزان پوشش خاک و گیاه از غرب به سمت شرق حوضه افزایش یافته است و بیشترین پوشش نیز در بخش‌های پایانی حوضه قرار دارد.

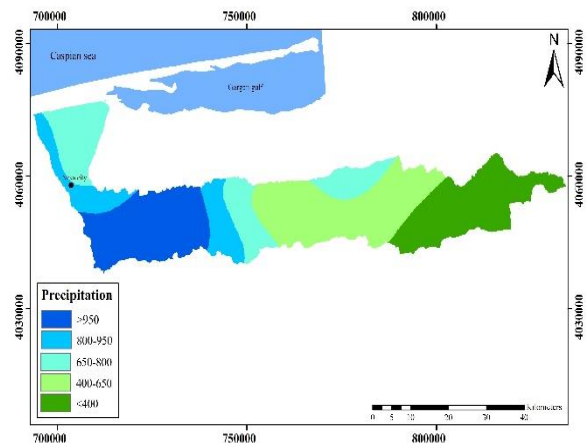
عوارض کارستی: با توجه به اینکه قسمت اعظم نزولات جوی در منطقه به صورت باران رخ می‌دهد، بنابراین این مسئله موجب شده است تا درجه توسعه‌یافتگی کارست‌های منطقه نسبتاً اندک باشد. مهم‌ترین عوارض کارستی موجود در منطقه، شامل سنگ‌های برهنه، کارن و غار می‌شود. عوارض کارستی در منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای صحرائی تهیه شد. بر این اساس، عوارض کارستی به ۴ گروه شامل عوارض مهم کارستی (کارن)، کارست برهنه (اپی کارست کم)، کارست پوشیده (اپی کارست زیاد) و واحدهای سنگی غیر کارستی تقسیم شد. شکل ۱۳، نقشه عوارض کارستی حوضه نکارود را نشان می‌دهد.



شکل ۶- لایه اطلاعاتی لیتولوژی
Fig 6- lithology information layer



شکل ۱۳ - لایه اطلاعاتی عوارض کارستی
Fig 13- karst features information layer



شکل ۱۰ - لایه اطلاعاتی بارش
Fig 10- Precipitation information layer

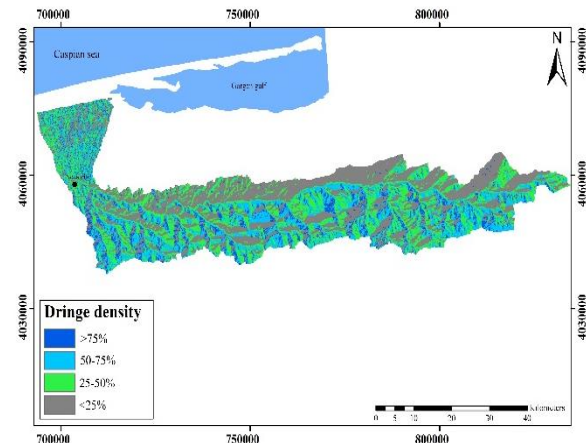
وزندگی و آنالیز داده‌ها

برای تعیین پتانسیل تغذیه در ناحیه مطالعه‌شده، فاکتورهای مؤثر بر تغذیه طبقه‌بندی شدند و براساس قضاوت کارشناسی، امتیاز از ۲ تا ۸ برای آنها در نظر گرفته شد. بر مبنای این طبقه‌بندی، هر جا فاکتور دارای امتیاز ۸ باشد، بیشترین تأثیر را بر تغذیه دارد و جایی که امتیاز ۲ باشد، کمترین تأثیر را بر آن می‌گذارد (جدول ۱). امتیازات و فاکتورهای مؤثر بر تغذیه پیشنهادی آورده شده است. ارزیابی هر فاکتور به‌تنهایی کارایی لازم را بر پتانسیل تغذیه ندارد و یک مقدار واقعی از مقدار تغذیه را به دست نمی‌آورد. همپوشانی وزنی، یک ابزار برای مقادیر و ورودی‌های متفاوت به‌منظور ایجاد یک آنالیز یکپارچه با یک مقیاس اندازه‌گیری مشترک است. نقشه‌های به دست آمده برای هر فاکتور، یک لایه منفرد در نظر گرفته می‌شود. وقتی این لایه‌ها با توجه به وزن آنها در سیستم GIS روی هم قرار داده می‌شوند، محدوده‌هایی را ایجاد می‌کنند که مشخصات متفاوتی از نظر تغذیه دارند. برای به دست آوردن وزن و امتیاز هر منطقه، فاکتورهای مؤثر روی هم قرار گرفتند و نقشه پتانسیل تغذیه تهیه شد.

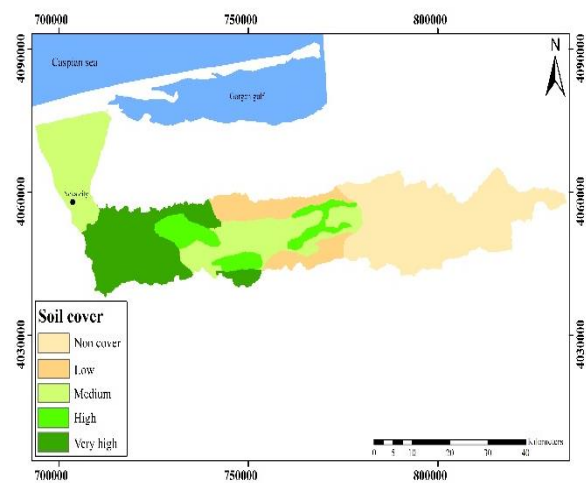
نقشه نهایی تولیدشده نشان‌دهنده زون‌های تغذیه در ۵ محدوده است که درصد تغذیه و مقادیر هر محدوده در شکل ۱۴ و جدول ۲ آورده شده است. متوسط درصد تغذیه در این حوضه، حدود ۲۹ درصد برآورد شده است (معادله ۱).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times R_i + A_2 \times R_2 + \dots + A_n \times R_n)}{A_t} \quad (1 \text{ معادله})$$

$$R = \frac{50 \times 12\% + 360 \times 20\% + 877 \times 28\% + 817 \times 36\% + 5 \times 45\%}{2109} \cong 29\%$$



شکل ۱۱ - لایه اطلاعاتی تراکم آبراه‌ها
Fig 11- Drainage density information layer



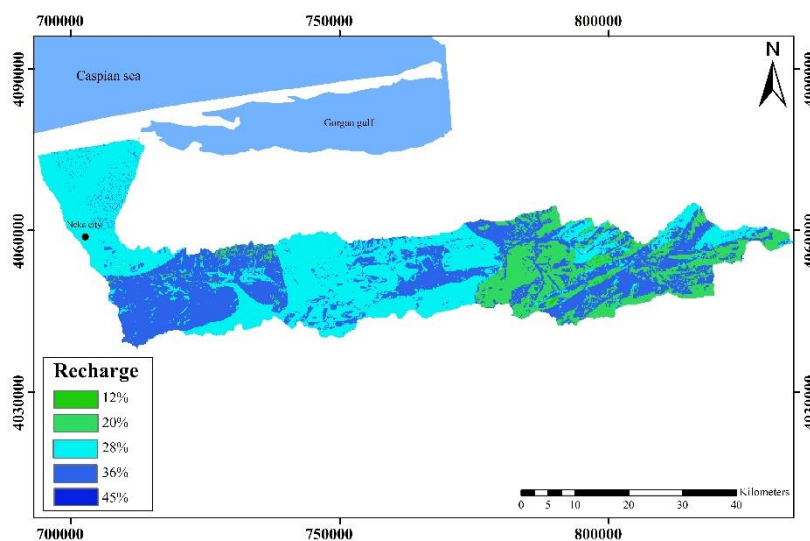
شکل ۱۲ - لایه اطلاعاتی پوشش خاک و اپی کارست
Fig 12- Epikarst information layer

با توجه به شکل ۱۴، بیشترین میزان تغذیه در بخش غربی در آهک‌های برهنه و در بخش شرقی، در آهک‌های لار حوضه وجود دارد. همچنین همخوانی مناطق با پتانسیل تغذیه بالا، با رخنمون آهک‌های لار و کرتاسه نیز در حوضه نشان‌دهنده توسعه کارست در این رخنمون است (شکل ۱۵).

جدول ۲- درصد تغذیه و مساحت هر منطقه

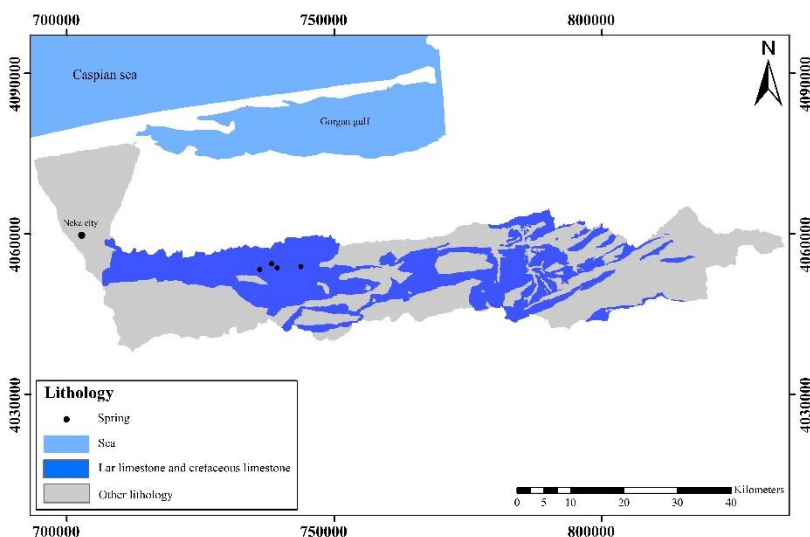
Table 2- recharge percentage and area of each region

درصد تغذیه سالانه	مساحت (کیلومترمربع)
۴۵	۵
۳۶	۸۱۷
۲۸	۸۷۷
۲۰	۳۶۰
۱۲	۵۰



شکل ۱۴- نقشه پتانسیل تغذیه منطقه مطالعه شده

Fig 14- Recharge potential map of the studied area



شکل ۱۵- رخنمون آهک‌های لار و کرتاسه و چشمه‌های با آبدهی بالا در منطقه مطالعه شده

Fig 15- Outcrop of Lar and Cretaceous limestones and high water springs in the studied area

بیان آبی (اجمالی) حوضه کارستی نکارود

بیان آبی، تغییر ذخیره آب در سفره (تفاوت بین آب ورودی و خروجی) است. مساحت رخنمون سنگی حوضه نکارود ۲۱۰۰ کیلومتر مربع است. با توجه به مقدار متوسط تغذیه محاسبه شده ۲۹٪ و متوسط بارش سالیانه ۴۳۰ میلی‌متر، حجم کل تغذیه سالیانه ۲۶۱ میلیون مترمکعب برآورد شد. از ۷۱۶ دهنه چشمه و ۶۵ چاه بهره‌برداری این رشته‌کوه، سالیانه حدود ۶۴ میلیون مترمکعب تخلیه می‌شود و حدود ۱۹۷ میلیون مترمکعب، سبب تغذیه آبخوان‌های مجاور و یا وارد مسیر گسل‌های پی‌سنگی می‌شود و در نهایت به دریا تخلیه می‌شوند.

نتیجه

بر اساس بررسی‌های انجام شده در منطقه کارستی نکارود، ملاحظه می‌شود که در بخش‌هایی از این حوضه کارستی که آهک‌های لار و کرتاسه رخنمون دارند، درجه توسعه‌یافتگی کارست مشهودتر و سیستم غالب جریان مجرای است؛ بنابراین، عامل اصلی توسعه‌یافتگی کارست و غالب بودن سیستم جریان مجرای در بخش‌هایی از این حوضه، به چینه‌شناسی آن مربوط می‌شود. به منظور برآورد درصد پتانسیل تغذیه سالانه به‌عنوان نخستین گام در مطالعات بیان هیدروژئولوژیکی، ضمن توجه ویژه به عامل چینه‌شناسی، از عوامل تأثیرگذار تراکم گسل‌ها و شکستگی‌ها، بارش، مقدار شیب، جهت شیب، عوارض کارستی، تراکم آبراهه‌ها و پوشش خاک نیز استفاده شده است. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، عوامل تأثیرگذار در پتانسیل تغذیه ارزش‌دهی و وزن‌دهی و در نهایت نقشه پتانسیل تغذیه تهیه شده است. نقشه پتانسیل تغذیه نشان می‌دهد ۵ کیلومتر مربع دارای تغذیه ۴۵٪، ۸۱۷ کیلومتر مربع دارای تغذیه ۳۶٪، ۸۷۷ کیلومتر مربع (بیشترین میزان تغذیه مربوط به آهک‌های ضخیم‌لایه سازندهای لار و کرتاسه است که حدود ۳۶ تا ۴۵ درصد پتانسیل تغذیه را شامل می‌شوند) دارای متوسط تغذیه ۲۸٪، ۳۶۴ کیلومتر مربع دارای متوسط تغذیه ۲۰٪ و ۵۰

کیلومتر مربع دارای متوسط تغذیه ۱۲٪/درصد است. برای محاسبه و برآورد بیان هیدروژئولوژیکی این منطقه، مساحت رخنمون سازندهای آهکی کارستی، میانگین بارندگی و درصد تغذیه مشخص شد. میزان حجم تغذیه سالانه در این منطقه حدوداً ۲۶۱ میلیون مترمکعب بوده است. مجموع حجم تخلیه سالیانه چشمه‌ها و چاه‌ها حدوداً ۶۴ میلیون مترمکعب بوده است که تفاوت میزان تغذیه و تخلیه حدود ۱۹۷ میلیون مترمکعب است. نظر به اینکه آب‌های زیرزمینی تمایل دارند به سمت سطح اساس فرسایش حرکت کنند و با توجه به شکل حوضه و همچنین وجود گسل‌های بزرگ و پی‌سنگی در منطقه، به احتمال زیاد بخشی از آب‌های تغذیه‌شده به آبرفت و دریای خزر تخلیه می‌شوند؛ بنابراین این‌چنین اظهار نظر می‌شود که کوه‌های منطقه علاوه بر تأمین آب چشمه‌ها، ذخیره بیشتری نیز دارد که تأییدی بر وجود تخلیه آب زیرزمینی زیردریایی به دریای مازندران است. اگرچه برآورد مقدار تغذیه با توجه به فاکتورهای مؤثر بر تغذیه با عدم قطعیت همراه است، با وجود این عدم قطعیت باید تحقیقات در این باره انجام شود. همچنین با استفاده از نمونه‌های ایزوتوپی و هیدروژئوشیمیایی در محدوده خروجی آب از حوضه، این عدم قطعیت کاهش می‌یابد و به نتیجه مطلوبی می‌رسد. بنابراین، روش ارائه‌شده برای تعیین مقدار تغذیه استفاده و سبب کاهش عدم قطعیت و رسیدن به اطلاعات دقیق‌تر می‌شود.

References

- Ayalon A. Bar- Matthews M. and Sassb E. 1998. Rainfall-recharge relationships within a karstic terrain in the Eastern Mediterranean semi-arid region, Israel: 18O and D characteristics. *J. Hydrol.*, 207:18-31.
- Bonacci O. 2001. Analysis of the maximum discharge of karst springs. *J. Hydrol.*, 9 (4):328-338.
- Dreybrodt W. 1988. Processes in karst systems physics, chemistry, and geology. Springer, Berlin, New York, Heidelberg, 288 p.
- Ford D.C. and Williams P.W. 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, p. 1-10.

- Patil S. G. and Mohite N. M. 2014. Identification of groundwater recharge potential zones for a watershed using remote sensing and GIS. *International Journal of Geomatics and Geosciences* 4(3): 485.
- Radulovic M. Stevanovic Z. and Radulovic M. 2012. A new approach in assessing recharge of highly karstified terrains–Montenegro case studies. *Environmental Earth Sciences* 65(8): 2221-2230
- Scanlon B. R. Keese K. E. Flint A.L. Flint L. E. Gaye C. B. Michael Edmunds W. and Simmers I. 2006. Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. *J. Hydrol., Process* 20: 3335–3370.
- Shaban A. Khawlie M. and Abdallah C. 2006. Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zone: the case of Occidental Lebanon. *Hydrogeol. J.*, 14:433- 443
- Shamsi A. Karami G.H. Taheri A. (2019). Recession curve analysis of major karstic spring at the Lasem area (north of Iran). *Carbonates Evaporites*, 34(5): 845-856.
- Singhal V. and Goyal R. 2012. A methodology based on spatial distribution of parameters for understanding affect of rainfall and vegetation density on groundwater recharge. *European Journal of Sustainable Development* 1 (2):85- 96.
- Tweed S. O. Leblanc M. Webb J. A. and Lubczynski M. W. 2007. Remote sensing and GIS for mapping groundwater recharge and discharge areas in salinity prone catchments. southeastern Australia, *J. Hydrol.*, 15:75- 96.
- Waikar M. L. and Nilawar A. P. 2014. Identification of groundwater potential zone using remote sensing and GIS technique. *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.* 3(5):12163- 12174.
- White W. B. 1988. *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. Oxford University Press, 464 p.
- Zuber A. and Motyka J. 1996. Hydraulic conductivity and solute transport parameters of karstic-fractured-porous aquifers. In: proceedings of international conference on karst-fractured aquifers – vulnerability and sustainability, Katowice-Ustron, Poland, June 10-13, 1996, p. 282-289.
- Ghandchi M. Afsharianzadeh A. and Manochehri M. 1990. Geological Organization of the country, geological map 1:250000 of Sari and Gorgan. [In Persian]
- Freeze R. A. and Cherry J. A. 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs: 604 p.
- Hao Z. Gao Y. Green SM. Wen XF. Yang J. Xiong BL. Quine TA. and He N.P. 2021. Chemical characteristics of flow driven by rainfall and associated impacts on shallow groundwater quality in a karst watershed, southwest China. *Environ. Prog.*, (8), 615–636.
- Jennings J. N. 1985. *Karst geomorphology*. 2 edition, Basil Blackwell, Oxford, 293 p.
- Karami G. H. Bagheri R. and Rahimi F. 2016. Determining the groundwater potential recharge zone and karst springs catchment area: Saldoran region, western Iran. *J. Hydrol.*, 24(8):1981- 1992.
- Karimi Verdenjani H. Afsharianzadeh A. and Manochehri M. 2010. *Karst Hydrogeology Concepts and Methods*, Eram Shiraz Publications, p. 36-37. [In Persian]
- Karami G.H. 2002. Assessment of heterogeneity and flow systems in karstic aquifers using pumping test data: Ph.D. Thesis, Univ. of Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne, 180 p.
- Kastning E. H. 1977. Faults as positive and negative influence on groundwater flow and conduit enlargement, In: R. R. Dilamarter and Csallany S. C. (Eds.) hydrologic problem in karst regions, Western Kentucky University. Bowling Green Kentucky, p.193-201.
- Liu F. Wang S. Wang LS. Shi LM. Song XF. Yeh TC. and Zhen PN. 2019. Coupling hydrochemistry and stable isotopes to identify the major factors affecting groundwater geochemical evolution in the Heilongdong Spring Basin, North China. *Journal of Geochem. Explor.*, 205, 106352.
- Milanovic P. T. 1981. *Karst hydrogeology*. Water Resources Publications . 434 p.
- Milewski A. Sultan M. Yan E. Becker R. Abdeldayem A. Soliman F. and Gelil K. A. 2009. A remote sensing solution for estimating runoff and recharge in arid environments. *J. Hydrol.*, 373(1): 1- 14.