

Evaluation of Potential and the Amounts of Groundwater Recharge in the Garmsar Plain Aquifer Using Water Table Fluctuations and Piscopo Methods

Research Article

Elham Fijani¹, Sahar Meysami², Morteza Mozafari³

DOI: [10.22067/jfeci.2022.77818.1169](https://doi.org/10.22067/jfeci.2022.77818.1169)

1. Introduction

Groundwater is one of the main sources of fresh water, especially in arid and semi-arid areas. In recent years, the increase in population and water demands have led to excessive withdrawal from the aquifer, which has seriously threatened groundwater resources. Therefore, investigating the potential of groundwater recharge and estimating the amount of recharge is essential for the sustainable management of groundwater and the preservation of human health and the environment. The drawdown movement of water recharging water table can be termed as groundwater recharge, which ultimately increases the amount of groundwater storage (Healy 2010). Many researches have been conducted in Iran and other parts of the world to investigate the potential and amount of groundwater recharge of aquifers. Scanlon et al. (2002) have divided the methods of estimating water recharge into three categories of surface water area, unsaturated area and saturated area based on hydrological zones. Each of these areas provides the amount of recharge in time and space scale, and in each area, the recharge estimation methods are divided into physical methods, tracking and numerical modeling. Estimation methods in surface water and unsaturated areas generally provide an estimate of net recharge, while saturated area methods evaluate the amount of actual recharge. Many recharge estimation methods are based on the water balance equation. Hung Vu and Merkel (2019) investigated the groundwater recharge amount of Hanoi city in Vietnam with different methods. The obtained results showed that the water level fluctuation method is more consistent and more reasonable than the other approaches. In 2022, Githinji et al. investigated the potential groundwater recharge of two regions of Kenya by integrating factors that influence groundwater recharge using Analytical Hierarchical Process, and Fuzzy-Analytical Hierarchical Process in ArcGIS. The factors investigated in this research

included land use, slope, drainage density, geomorphology, geology, line density and soil texture. The obtained maps showed that high groundwater recharge potential zones occur within the generally flat flood plains consisting of alluvium lithology. In contrast, low potential groundwater recharge zones occur in the upland plains. Considering that Garmsar plain is located in a hot and dry area and groundwater is the main source of water supply for agriculture, drinking and industry of the people of this region, the study of groundwater supply of Garmsar plain is of great importance as a sustainable management. Therefore, the purpose of this research is to evaluate the recharge potential as well as to estimate the amount of groundwater recharge in the Garmsar Plain aquifer. For this purpose, in this study, first, the recharge potential of the Garmsar Plain aquifer was investigated based on six factors of slope, land use, lithology, geomorphology, drainage density and line density, and then, in order to validate and estimate the amount of groundwater recharge, Piscopo method and the method of groundwater level fluctuations is used, which is based on the water balance equation.

2. Study Area

The aquifer of the Garmsar Plain is a part of the secondary watershed of the Central Desert and the main watershed of the Central Plateau. Garmsar study area is located in Semnan province on the road from Tehran to Semnan. This area is spread in the north of the main catchment area of the central plateau, between longitudes 52°7 to 53°4 east and latitudes 34°52 to 35°46 north. The extent of this area is about 5532 square kilometers, and the extent of the plain and its heights are equal to 2322 and 3210 square kilometers, respectively. Geographically, this region is located in the southern part of the Alborz Mountains and the northern part of the central desert. This region has a dry climate, so that the minimum and maximum average annual temperature is 4 and 20 °C,

*Manuscript received: July 22, 2022, Revised, November 9, 2022, Accepted, December 17, 2022.

¹ Corresponding Author. Assistant Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran.

Email: efijani@ut.ac.ir.

² Master Student of Hydrogeology, School of Geology, College of Science, University of Tehran.

³ Assistant Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran.

respectively, and the minimum and maximum average temperature values for the highlands and the plain are 12.9 and 19.9 °C, respectively (the annual temperature of the basin is 13.7 °C). According to the studies conducted during the 45-year statistical period from 1345-46 to 1389-90, the average annual rainfall in the highlands and plains is estimated to be 200.9 and 81.4 mm, respectively. The evaporation parameter has been analyzed and investigated in the 30-year period of 1360-90. The annual evaporation from the open water surface in the plain and the highlands of the study area is 1970 and 1364.5 mm, respectively. The temperature difference between summer and winter in this area is large and this plain is poor in terms of vegetation. From the geological point of view, the aquifer of the Garmsar Plain study area is limited to the alluvial terraces from the east and to the Kahrizak conglomerate and Upper Red formation from the northeast. The north and northwest of this plain is covered by the Lower Red formation with chalk, salt and clay units, and the south, southwest and southeast edges of the plain are covered by Quaternary deposits. The main aquifer of the plain is formed in the Garmsar alluvial cone. The Garmsar alluvial fan is the result of the accumulation of sedimentary deposits of the Hableh River on the impermeable bedrock of Marl and Shale. The Hableh River is the main source of recharging the plain and the aquifer is of unconfined type. The alluvial aquifer of Garmsar Plain has an area of 785 square kilometers; the average thickness of the alluvium and the saturated layer are about 140 meters and 35 meters, respectively.

3. Methodology

Groundwater recharge depends on many geological factors. Due to the fact that the factors affecting groundwater recharge are extensive and their field investigation requires spending a lot of money and time, remote sensing and geographic information system is considered a suitable tool to investigate the potential of recharge. In this research, six factors of slope, land use, geomorphology, lithology, drainage density and line density have been used to investigate the recharge potential. Each of these parameters is scored according to table (1) and combined according to equation (1) and finally the final map is obtained.

$$RP = (S_r \times S_w) + (D_r \times D_w) + (LU_r \times LU_w) + (L_r \times L_w) + (LDR \times LD_w) + (GM_r \times GM_w) \tag{1}$$

Where r is the rank assigned to each of the parameter classes, which has values between 1 and 4, and w is the weight of each parameter.

The method of water table fluctuations is based on the water balance equation and by analyzing the fluctuations of the groundwater level, it provides an estimate of the amount of recharge. The water table fluctuation method is based on the assumption that the increase of the groundwater level in unconfined aquifers due to recharge has reached the water table level. The data required in this method is the data of the groundwater level and specific yield and is calculated with the following relationship:

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \tag{2}$$

Where R is the groundwater recharge [L/T], Δh is the fluctuation of the groundwater level during the recharge period [L], Δt is the length of the recharge period [T] and Sy is the specific yield (without dimension). In the above equation, it is assumed that the water that reaches the water table immediately turns into groundwater storage.

Table1. Ranks and weights assigned to each parameter

Parameter	Class	Rank	Weight
slope	Low (0-50°)	3	0.1
	Moderate (50-20°)	2	
	High (20°<)	1	
Land use	Agricultural lands and pastures	3	0.15
	Gardens	2	
	Bare lands and human facilities	1	
Geomorphology	Landforms with very high permeability (river bed and alluvial plain)	4	0.25
		3	
		2	
		1	
	Landforms with high permeability (alluvial fan)		
	Landforms with medium permeability (karst domains)		
Landforms with low permeability (irregular slopes, erosive blades, fault abysses)			
Lithology	Discrete formations with high permeability	4	0.2
	Hard formations with moderate permeability	2	
	Formations with low permeability	1	
Drainage Density	Low density (0-1.5 km/km ²)	3	0.2
	Medium density (1.5-3 km/km ²)	2	
	High density (3-5.3 km/km ²)	1	
Linear Density	Low density (0-0.37 km/km ²)	1	0.1
	Medium density (0.37-1.08 km/km ²)	2	
	High density (1.08-2.96km/km ²)	3	

Another method used in this study to evaluate the amount of recharge is the Piscopo method. This method is provided by Piscopo and is calculated as follows:

$$\text{Soil permeability} + \text{rainfall} + \text{slope percentage} = \text{recharge amount} \tag{3}$$

In this method, the above factors are added together and classified according to table (2).

Table 2. Classification of effective factors in recharge

Slope		Rainfall		Soil permeability		Recharge	
Slope %	Rank	Rainfall (mm)	Rank	Range	Rank	Range	Rank
<2	4	850<	4	High	5	11-13	10
2-10	3	700-850	3	Moderate to high	4	9-11	8
10-33	2	500-700	2	Moderate	3	7-9	5
33<	1	<500	1	Low	2	5-7	3
				Very Low	1	3-5	1

4. Result and Discussion

To prepare the final groundwater recharge potential map, the rank of each parameter was multiplied by its weight and then added together. The final map obtained shows that the top part of the alluvial fan has the highest recharge potential due to the high permeability and low water density. After that, the highest amount of recharge due to high permeability, agricultural activities and suitable slope is related to Garmsar alluvial fan. The amount of recharge potential decreases in the southern and western parts of the region due to the areas with low permeability and barren lands (Figure 1).

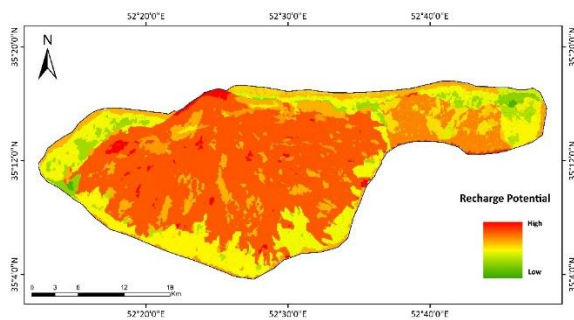


Figure 1. groundwater recharge potential map

Temporal variations of the groundwater level are among the most important characteristics of the aquifer. Groundwater level changes depend on recharge and discharge amounts, distance from recharge areas and pumping rate, and unit hydrograph is a suitable indicator for long-term changes of groundwater level. To investigate the unit hydrograph of Garmsar plain, the data of observation wells in the water years 1372-73 to 1395-96 were used. The results showed that the average long-term drawdown in Garmsar plain aquifer is 0.93 meters per year.

In order to calculate the net recharge by the method of water table fluctuations, the water level data of 40 observation wells during the water years of 1388-1389, 1389-1390 and 1390-1391 were analyzed. The information of the observation wells was entered into the geographic information system software and a Thiessen polygon was drawn for each well. Then, the amount of water volume decreased or increased in each piezometer was obtained from

the multiplying the specific yield with the area of the polygon and the difference in the water level of the piezometers according to equation (2). Since every year some water from the aquifer is pumped out, the amount of discharge was also included in the calculations. In order to obtain the amount of pumping and discharge of the wells in each polygon, it was calculated and added to equation (2) as follows:

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} + \text{pumping} \quad (4)$$

According to the calculations, the value of Δh of the aquifer varies from -2 m to 0.8 m. Also, according to the information obtained from the regional water organization, the average specific yield is 0.05. By multiplying the changes in the groundwater level in each observation well with the amount of specific irrigation and then summing it with the discharge amount, the recharge rate in each observation well is obtained. After the recharge rate of each observation well based on which the Thiessen polygon was drawn was calculated, interpolation was done and the net recharge zoning map was obtained (Figure 2). The amount of annual recharge of the aquifer varies from 1.95 mm in the southern parts to 478 mm in the northern parts by the method of water table fluctuations.

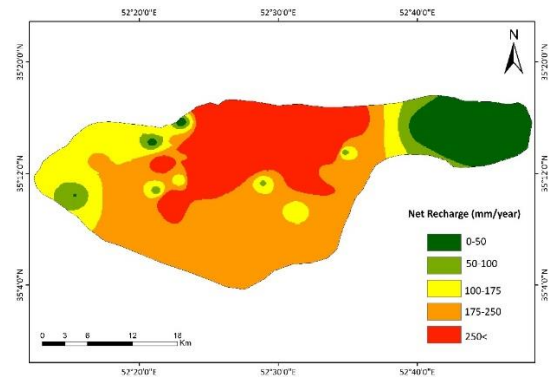


Figure 2. Groundwater recharge zoning map using water table fluctuations method

In the next step, the Piscopo method was used to prepare a zoning map of the groundwater recharge in the Garmsar plain aquifer. In this method, to calculate the slope, a digital elevation model of the area was prepared and after extracting the slope, it was ranked according to the criteria of table (2). The slope of the area varies from 2 to 37%. The annual rainfall of the plain was collected from the meteorological system and the regional water organization of Semnan. The amount of rainfall in the study area and Garmsar plain is less than 500 mm; as a result, according to table (2), the entire area of the aquifer has a rank of one. In order to obtain the infiltration rate, the region's permeability information was collected and divided into five categories according to table (2). Finally, the maps related to the three factors of slope, permeability and rainfall were combined. Figure (3) shows that the amount of recharge decreases from the north to the south of the region, and the highest amount of recharge is related to the northern parts of the aquifer, which is located at the top of the alluvial fan.

According to the results of both methods of estimating the amount of groundwater recharge, the highest amount of recharge occurred in the place of the alluvial fan and the groundwater inflow to the aquifer, where the materials are coarser and have higher permeability. In addition, the areas with high amounts of recharge are mostly located in agricultural lands. In the final map of groundwater recharge potential, the areas with the highest potential are in the northern parts of the aquifer, which is consistent with the recharge values estimated by both methods. Although the results of the comparison of recharge values and recharge potential are slightly different in some parts of the region.

In the map obtained by the Piscopo method, the general trend shows that the amount of groundwater recharge decreases from the north to the south. It is noteworthy that the trend obtained from the two methods is the same and they differ from each other only in some points, and both of these methods confirm the result obtained from the recharge potential map. Therefore, the method used in this research can be used to evaluate the potential and recharge values. However, due to the lack of data, the results may be subject to some uncertainty. Therefore, it is recommended to carry out additional tests, especially in measuring of hydraulic conductivity in the area.

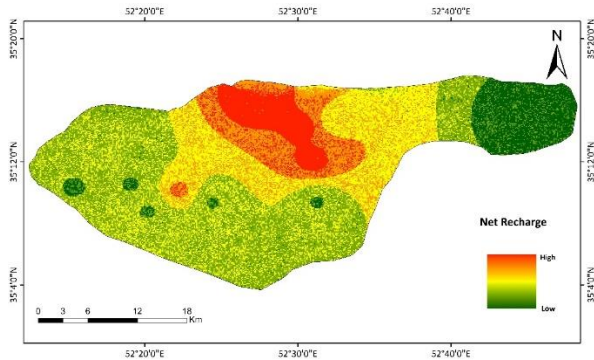


Figure 3. Groundwater recharge zoning map using Piscopo method

5. Conclusion

Since the Garmsar aquifer is the main source of agriculture in the region, the sustainable water management is essential. For this reason, in this research, maps of recharge potential were prepared at first. The obtained results showed that the recharge potential depends a lot on the permeability and land use, and the top part of the alluvial fan itself has a high potential. After that, the amount of net recharge of the area was evaluated by two methods of water table fluctuation and Piscopo. The zoning map obtained from the water table fluctuation method shows that the amount of recharge decreases from the north to the south and east of the region, and the initial parts of the Garmsar alluvial fan have the highest amount of net recharge.



ارزیابی پتانسیل و مقادیر تغذیه آب زیرزمینی آبخوان دشت گرمسار به روشهای نوسانات سطح ایستابی و پيسکوپو*

مقاله پژوهشی

الهام فیجانی^(۱) ID، سحر میثمی^(۲)، مرتضی مظفری^(۳)

DOI: 10.22067/jfpei.2022.77818.1169

چکیده منابع آب زیرزمینی یکی از منابع اصلی تأمین آب شیرین به خصوص در نواحی خشک و نیمه خشک به شمار می‌آید. برآورد میزان تغذیه یکی از مسائل بسیار مهم در مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی و ارزیابی پتانسیل برداشت از آبخوان می‌باشد. در این پژوهش ابتدا میزان پتانسیل تغذیه در آبخوان دشت گرمسار با استفاده از شش فاکتور شیب، کاربری اراضی، ژئومورفولوژی، لیتولوژی، تراکم زهکشی و تراکم خطواره‌ها به دست آمد و سپس به منظور صحت‌سنجی نقشه حاصل، ارزیابی تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی و روش پيسکوپو انجام شده است. نتایج به دست آمده از نقشه‌های پتانسیل تغذیه نشان دادند که میزان آن از سمت مخروط افکنه در شمال محدوده به سمت نواحی حاشیه کاهش پیدا می‌کند. میزان تغذیه سالانه آبخوان به روش نوسانات سطح ایستابی از ۱/۹۵ میلی‌متر در نواحی جنوبی تا ۴۷۸ میلی‌متر در نواحی شمالی تغییر می‌کند. نقشه‌های به دست آمده از هر دو روش روند یکسانی را در منطقه نشان دادند؛ به طوری که شمال محدوده آبخوان که در رأس مخروط افکنه گرمسار قرار دارد، دارای بیشترین میزان تغذیه است و این میزان به سمت جنوب و حاشیه آبخوان کاهش پیدا می‌کند. نتایج به دست آمده از ارزیابی مقدار تغذیه به خوبی نقشه پتانسیل را تأیید کردند.

واژه‌های کلیدی تغذیه آب زیرزمینی، نوسانات سطح ایستابی، آبخوان گرمسار، پتانسیل تغذیه.

Evaluation of Potential and the Amounts of Groundwater Recharge in the Garmsar Plain Aquifer Using Water Table Fluctuations and Piscopo Methods

Elham Fijani

Sahar Meysami

Morteza Mozafari

Abstract Groundwater resources are one of the main sources of freshwater supply, especially in arid and semi-arid areas. Estimating the amount of recharge is one of the most important problems in the sustainable management of groundwater resources and assessing the abstraction potential of the aquifer. In this research, first, the recharge potential in the Garmsar plain aquifer was obtained using six factors including slope, land use, geomorphology, lithology, drainage density, and line density, and then, to validate the resulting map, recharge was evaluated using the water table fluctuations and Piscopo methods. The results from the recharge potential map showed that its amount decreases from the alluvial fan in the north of the area to the margins. The amount of annual recharge of the aquifer varies from 1.95 mm in the south to 478 mm in the north of the area by the water level fluctuations method. The maps obtained from both methods showed the same trend in the area; the north of the aquifer area, which is located at the top of the Garmsar alluvial fan, has the highest amount of recharge, and the values decrease towards the south and the edge of the aquifer. The results obtained from the evaluation of the groundwater recharge value confirmed the potential map well.

Key Words Groundwater recharge, water table fluctuations, Garmsar aquifer, recharge potential.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۱/۴/۳۱ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۱/۹/۲۶ می‌باشد

Email: Efijani@ut.ac.ir

(۱) نویسنده مسئول: استادیار دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران.

(۲) دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران.

(۳) استادیار دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران.

مقدمه

آب زیرزمینی یکی از منابع اصلی آب شیرین به خصوص در نواحی خشک و نیمه خشک که مقدار بارندگی کمی دارند، به شمار می‌آید. در سالهای اخیر افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش نیازهای آبی، برداشت بی‌رویه از آبخوان را منجر شده که این مسئله منابع آب زیرزمینی را با تهدید جدی مواجه کرده است. از این رو بررسی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی و برآورد میزان تغذیه موضوع مهمی است که بررسی آن به منظور مدیریت پایدار آبهای زیرزمینی و حفظ سلامت انسان و محیط امری ضروری به شمار می‌آید.

تغذیه عبارت است از جریان رو به پایین آب به سمت سطح ایستابی که باعث افزایش ذخیره آبخوان می‌شود [1]. تغذیه به دو صورت متمرکز و پراکنده اتفاق می‌افتد. تغذیه متمرکز تغذیه ناشی از گودبها و فروافتادگیهایی نظیر رودخانه، دریاچه و... می‌باشد. تغذیه پراکنده ناشی از بارش یا آبیاری بوده که نسبتاً یکنواخت است و در سطح بزرگ روی می‌دهد [2]. راشتون تغذیه را به دو گروه تغذیه واقعی و تغذیه پتانسیل تقسیم‌بندی کرده است. تغذیه واقعی آبی است که به سطح ایستابی رسیده و از مطالعات آب زیرزمینی تخمین زده می‌شود. در حالی که تغذیه پتانسیل معرف میزان آب نفوذی است که براساس مطالعات آبهای سطحی و منطقه غیراشباع تخمین زده می‌شود [3].

مطالعات گسترده‌ای در ارتباط با بررسی پتانسیل و میزان تغذیه آبخوانها در ایران و سایر نقاط جهان انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. اسکانلون و همکاران روشهای برآورد تغذیه را بر اساس نواحی هیدرولوژیکی به سه دسته ناحیه آب سطحی، ناحیه غیراشباع و ناحیه اشباع تقسیم‌بندی کرده‌اند. هر کدام از این نواحی میزان تغذیه را در مقیاس زمان و مکان ارائه می‌کنند و در هر ناحیه روشهای برآورد تغذیه خود به روشهای فیزیکی، ردیابی و مدل‌سازی عددی تقسیم می‌شوند. روشهای برآورد در نواحی سطحی و غیراشباع عموماً برآوردی از تغذیه خالص ارائه می‌دهند، در حالی که روشهای ناحیه اشباع مقدار تغذیه واقعی را ارزیابی می‌کند. بسیاری از روشهای برآورد تغذیه بر معادله بیلان آب استوار هستند. احمدی و همکاران [4] میزان تغذیه دشت نیشابور را به روش نوسانات سطح ایستابی و رویکرد مدل‌سازی معکوس بررسی کردند. نتایج نشان دادند که در عمده پلیگونهای دشت

بهترین برآزش با حداقل سازی اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای حاصل می‌شوند. مقدار متوسط سالانه تغذیه در کل دشت با استفاده از این روش معادل ۲۸۸/۵۱ میلیون مترمکعب حاصل گردید. هانگ وو و مرکل [5] میزان تغذیه شهر هانوی در ویتنام را با روشهای مختلفی بررسی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که روش نوسان سطح آب نتایج منطقی ارائه می‌دهد و برای منطقه هانوی مناسب بوده است. در این منطقه دو آبخوان با سن هولوسن و پلیستوسن قرار دارد. متوسط میزان تغذیه آبخوان هولوسن از ۱۸۸ میلی‌متر در سال تا حدود ۶۰۰ میلی‌متر در سال متغیر بود و متوسط تغذیه آبخوان پلیستوسن از ۱۷۸ تا ۵۲۵ میلی‌متر بر سال تغییر می‌کرد. در مطالعه دیگری که توسط آدجی [6] انجام شده است، از روش نوسانات سطح ایستابی برای ارزیابی تغذیه آب زیرزمینی در شیب جنوبی آتشفشان مراپی اندونزی استفاده شد. شیب جنوبی این آتشفشان نقش مهمی در تغذیه آب زیرزمینی این منطقه دارد. نتایج به دست آمده نشان دادند که یکی از عوامل مهم کنترل‌کننده تغذیه در این ناحیه واحدهای ژئومورفولوژیکی است که آبخوان در آن قرار دارد. شعبان و همکاران [7] از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای بررسی پتانسیل تغذیه لبنان غربی استفاده کردند. فاکتورهای مورد بررسی برای پتانسیل تغذیه خطواره، تراکم زهکشی، لیتولوژی، میزان کارستی شدن و کاربری اراضی بود. نتایج به دست آمده نشان دادند که بهترین مناطق مناسب تغذیه در ارتفاعات مکانهایی هستند که گسترش کارست در آنها مشاهده می‌شود. همچنین نقشه‌های نهایی گویای آن بودند که ۵۷٪ منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل تغذیه‌ای بالا تا بسیار بالا است. گیتینجی و همکاران [8] پتانسیل تغذیه دو منطقه از کنیا را با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش فازی-تحلیل سلسله مراتبی بررسی کردند. فاکتورهای مورد بررسی در این پژوهش شامل کاربری اراضی، شیب، تراکم زهکشی، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، تراکم خطواره‌ها و بافت خاک بودند. نقشه‌های به دست آمده نشان دادند که بیشترین میزان تغذیه در آبرفت، دشت سیلابی و مناطقی با تراکم خطواره بالا به وقوع می‌پیوندد. در نهایت نتایج به دست آمده با استفاده از میزان هدایت الکتریکی صحت‌سنجی شدند. در این نوع صحت‌سنجی فرض بر آن بوده که در نقاطی که تغذیه رخ می‌دهد میزان هدایت الکتریکی به

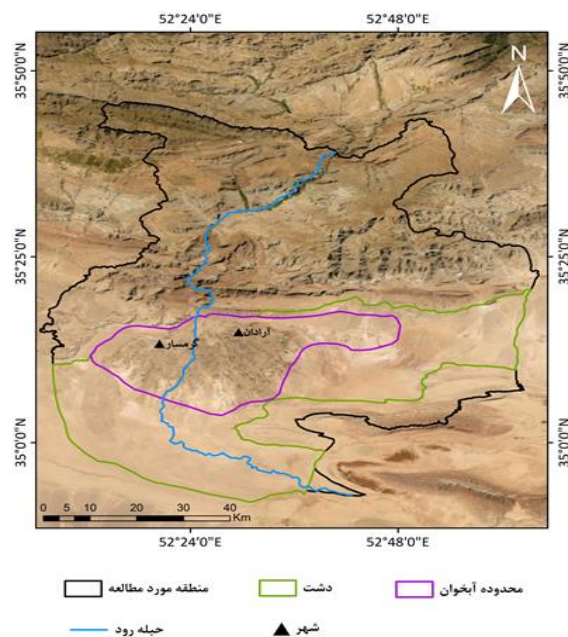
شده است. این محدوده در شمال حوضه آبریز اصلی فلات مرکزی، بین طولهای جغرافیایی $7^{\circ} 52'$ تا $4^{\circ} 53'$ شرقی و عرضهای جغرافیایی $52^{\circ} 34'$ تا $56^{\circ} 35'$ شمالی گسترده شده است (شکل ۱). وسعت این محدوده در حدود ۵۵۳۲ کیلومتر مربع و وسعت دشت و ارتفاعات آن به ترتیب برابر با ۲۳۲۲ و ۳۲۱۰ کیلومتر مربع می‌باشد. از لحاظ جغرافیایی این منطقه در قسمت جنوبی کوه‌های البرز و قسمت شمالی کویر مرکزی واقع شده است. این منطقه دارای آب و هوای خشک کویری است به طوری که حداقل و حداکثر مقدار متوسط دمای سالانه آن به ترتیب ۴ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد است و مقادیر حداقل و حداکثر مقدار متوسط دما برای ارتفاعات و دشت به ترتیب ۱۲/۹ و ۱۹/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (درجه حرارت سالانه حوضه ۱۳/۷ درجه سانتی‌گراد است). با توجه به مطالعات انجام شده در دوره شاخص آماری ۴۵ ساله ۴۶-۱۳۴۵ تا ۹۰-۱۳۸۹، میانگین بارندگی سالانه در ارتفاعات و دشت به ترتیب برابر با ۲۰۰/۹ و ۸۱/۴ میلیمتر برآورد شده است. پارامتر تبخیر، در دوره شاخص ۳۰ ساله ۹۰-۱۳۶۰ مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. تبخیر از سطح آزاد آب سالانه در دشت و ارتفاعات محدوده مطالعاتی به ترتیب ۱۹۷۰ و ۱۳۶۴/۵ میلیمتر می‌باشد. اختلاف دمای تابستان و زمستان در این منطقه زیاد بوده و این دشت از نظر پوشش گیاهی فقیر است.

علت اختلاط با آب وارد شده و ماندگاری کمتر آب در زیر زمین کمتر است.

با توجه به اینکه دشت گرمسار در ناحیه گرم و خشک قرار دارد و آب زیرزمینی منبع اصلی تأمین آب کشاورزی، شرب و صنعت مردم این منطقه به شمار می‌آید، بررسی تغذیه آب زیرزمینی دشت گرمسار به منظور مدیریت پایدار از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین، هدف از این پژوهش، ارزیابی پتانسیل تغذیه و همچنین برآورد مقادیر تغذیه آب زیرزمینی آبخوان دشت گرمسار می‌باشد. به این منظور، در این مطالعه ابتدا پتانسیل تغذیه آبخوان دشت گرمسار بر اساس شش فاکتور شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی، ژئومورفولوژی، تراکم زهکشی و تراکم خطواره بررسی شده و سپس به منظور صحت‌سنجی و برآورد میزان تغذیه، از روش پیسکوپو [9] و روش نوسانات سطح آب زیرزمینی (Water Table Fluctuations) استفاده شده است که مبتنی بر معادله بیلان آب می‌باشد.

مواد و روشها

منطقه مورد پژوهش. آبخوان دشت گرمسار در محدوده مطالعاتی گرمسار جزئی از حوضه آبریز درجه دو کویر مرکزی و حوضه آبریز اصلی فلات مرکزی است. محدوده مطالعاتی گرمسار در استان سمنان و در مسیر جاده تهران به سمنان واقع



شکل ۱ موقعیت آبخوان منطقه مورد مطالعه

غرب این دشت را سازند قرمز زیرین با واحدهای گچ، نمک و رس و حاشیه جنوب، جنوب غربی و جنوب شرقی دشت را نهشته‌های کواترنری در بر گرفته است [11]. بر اساس آمار کسب شده از سازمان آب منطقه‌ای، آبخوان اصلی دشت درون مخروط افکنه گرمسار تشکیل شده است. مخروط افکنه گرمسار حاصل تجمع نهشته‌های رسوبی رودخانه حبله رود بر روی سنگ کف غیرقابل نفوذ مارنی و شیلی می‌باشد. رودخانه حبله رود عامل اصلی تغذیه دشت و آبخوان است. آبخوان آبرفتی دشت گرمسار ۷۸۵ کیلومتر مربع وسعت دارد و میانگین ضخامت آبرفت حدود ۱۴۰ متر است. در بخش قابل توجهی از سطح دشت آبخوان آزاد گسترده است. به دلیل وجود تناوبی از ذرات نفوذ ناپذیر تا کم نفوذ، در انتهای دشت و حاشیه کویر شرایطی از آبخوان نیمه محبوس تا محبوس ایجاد شده و متوسط ضخامت لایه اشباع حدود ۳۵ متر است.

در محدوده مطالعاتی گرمسار رودخانه‌های متعددی قرار دارند که از آن جمله می‌توان به حبله رود، دالی چای، دره چهار طاق، دره خوش آب رود اشاره کرد. حبله رود زهکش اصلی محدوده است که از کوه‌های شمالی فیروزکوه سرچشمه می‌گیرد و عمده جریانات منطقه مورد مطالعه را دریافت کرده و در نهایت وارد محدوده مطالعاتی گرمسار می‌شود. بر اساس آمار اخذ شده از سازمان آب منطقه‌ای، مصرف آب در این محدوده مطالعاتی شامل ۱۴۰/۸۷ میلیون مترمکعب در سال از آبهای زیرزمینی و ۸۴/۸۸ میلیون مترمکعب از جریان‌های سطحی است. از مقدار آب استحصال شده از منابع آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی گرمسار ۸۹٪/۵ در بخش کشاورزی، ۶٪/۶ در بخش شرب و ۳٪/۹ در بخش صنعت مصرف می‌گردد [10].

از نظر زمین‌شناسی، آبخوان محدوده مطالعاتی دشت گرمسار از شرق به تراسهای آبرفتی و از شمال شرق به کنگلومرای کهریزک و سازند قرمز فوقانی محدود می‌گردد. شمال و شمال

جدول ۱ رتبه‌ها و وزنهای اختصاص داده شده به هر پارامتر

وزن	رتبه	کلاس	پارامتر
۰/۱	۳	شیب کم ۰ تا ۵ درجه	شیب
	۲	شیب متوسط ۵ تا ۲۰ درجه	
	۱	شیب زیاد بیش از ۲۰ درجه	
۰/۱۵	۳	زمینهای زراعی و مراتع	کاربری اراضی
	۲	زمینهای باغی	
	۱	زمین بایر و تأسیسات انسانی	
۰/۲۵	۴	لندفرمهای با نفوذپذیری بسیار بالا (بستر رودخانه و دشت آبرفتی)	ژئومورفولوژی
	۳	لندفرمهای با نفوذپذیری بالا (مخروط افکنه)	
	۲	لندفرمهای با نفوذپذیری متوسط (دامنه‌های کارستی)	
	۱	لندفرمهای با نفوذپذیری کم (دامنه‌های نامنظم، تیغه‌های فرسایشی، پرتگاه‌های گسلی)	
۰/۲	۴	سازندهای منفصل با نفوذپذیری بالا	لیتولوژی
	۲	سازندهای سخت با نفوذپذیری متوسط	
	۱	سازندهای با نفوذپذیری کم	
۰/۲	۳	تراکم کم (۱/۵ - ۰ کیلومتر بر کیلومتر مربع)	تراکم زهکشی
	۲	تراکم متوسط (۳ - ۱/۵ کیلومتر بر کیلومتر مربع)	
	۱	تراکم بالا (۵/۳ - ۳ کیلومتر بر کیلومتر مربع)	
۰/۱	۱	تراکم کم (۰/۳۷ - ۰ کیلومتر بر کیلومتر مربع)	تراکم خطواره
	۲	تراکم متوسط (۱/۰۸ - ۰/۳۷ کیلومتر بر کیلومتر مربع)	
	۳	تراکم بالا (۲/۹۶ - ۱/۰۸ کیلومتر بر کیلومتر مربع)	

روش انجام پژوهش

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (2)$$

که در این رابطه R تغذیه آب زیرزمینی $\left[\frac{L}{T}\right]$ ، Δh نوسان سطح آب زیرزمینی در دوره زمانی تغذیه [L]، Δt طول دوره زمانی تغذیه [T] و S_y آبدهی ویژه (بدون بعد) می‌باشد. در معادله بالا فرض می‌شود که آب رسیده به سطح ایستابی بلافاصله به دخیره آب زیرزمینی تبدیل می‌شود.

روش پیسکوپو. روش دیگری که در این مطالعه برای ارزیابی میزان تغذیه استفاده شده است، روش پیسکوپو می‌باشد. این روش توسط پیسکوپو ارائه شده و به صورت زیر محاسبه می‌گردد [۹]:

$$\text{نفوذپذیری خاک} + \text{میزان بارندگی} + \text{درصد شیب} = \text{مقدار تغذیه} \quad (3)$$

در این روش عوامل بالا با یکدیگر جمع شده و طبق جدول (۲) رده‌بندی می‌شوند.

واکوی یافته‌ها

بررسی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی

شیب توپوگرافی. شیب توپوگرافی سرعت حرکت آب را کنترل می‌کند. هرچه شیب کمتر باشد میزان نفوذ بالاتر است و بالعکس هرچه شیب بیشتر باشد میزان نفوذ کمتر است. به منظور تهیه نقشه شیب منطقه از مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۱۲/۵ متر استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند که قسمتهای شمالی واقع در رأس مخروط افکنه شیب بیشتری نسبت به قسمتهای دیگر دارند (شکل ۲).

بررسی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی. تغذیه آب زیرزمینی به عوامل متعدد زمین‌شناسی بستگی دارد. با توجه به اینکه عوامل تأثیرگذار بر تغذیه گسترده هستند و بررسی میدانی آنها نیاز به صرف هزینه و زمان بسیار دارد، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزاری مناسب جهت بررسی پتانسیل تغذیه به شمار می‌آید. در این پژوهش از شش فاکتور شیب، کاربری اراضی، ژئومورفولوژی، لیتولوژی، تراکم زهکشی و تراکم خطواره جهت بررسی پتانسیل تغذیه استفاده شده است. هر یک از این پارامترها با توجه به جدول (۱) امتیازدهی و طبق رابطه (۱) تلفیق شده و در نهایت نقشه نهایی به دست می‌آید.

$$RP = (S_r \times S_w) + (D_r \times D_w) + (LU_r \times LU_w) + (L_r \times L_w) + (LD_r \times LD_w) + (GM_r \times GM_w) \quad (1)$$

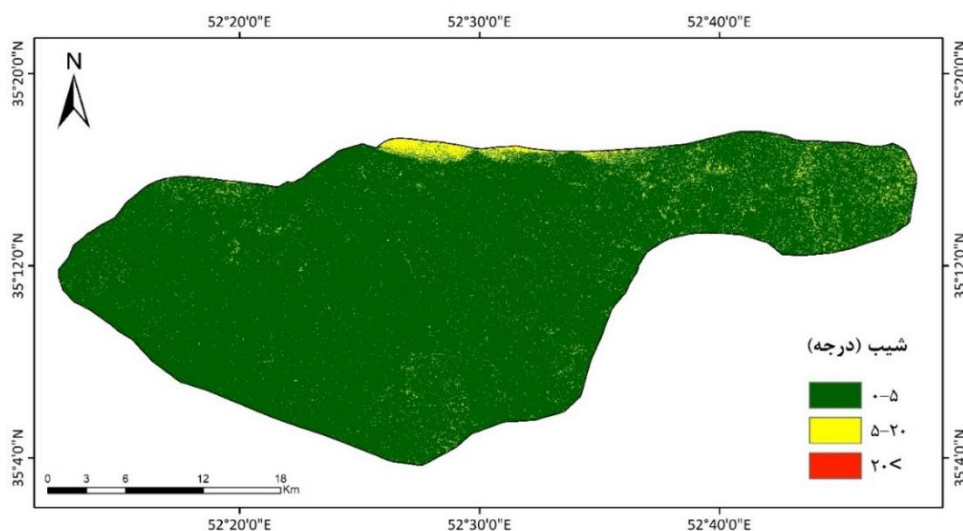
در رابطه بالا r رتبه اختصاص یافته به هر کدام از کلاسهای پارامترها است که دارای مقادیر بین ۱ تا ۴ می‌باشد و w وزن هر پارامتر است [12].

برآورد مقدار تغذیه

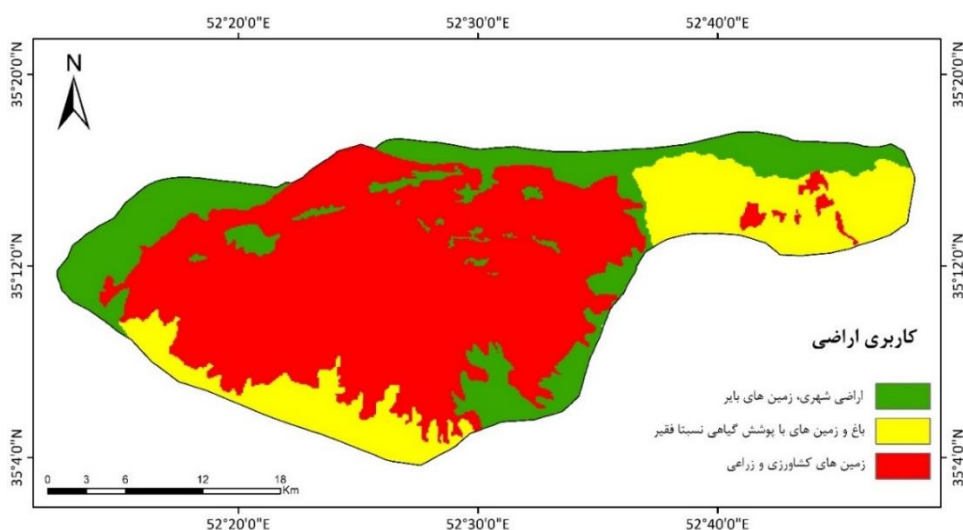
روش نوسانات سطح ایستابی. روش نوسانات سطح ایستابی مبتنی بر معادله بیلان آب است و با تجزیه و تحلیل نوسانات سطح آب زیرزمینی، برآوردی از میزان تغذیه ارائه می‌دهد. روش نوسانات سطح ایستابی بر این فرض استوار است که افزایش سطح آب زیرزمینی در آبخوانهای آزاد به خاطر تغذیه رسیده به سطح ایستابی است. داده‌های مورد نیاز در این روش داده‌های سطح آب زیرزمینی و آبدهی ویژه است و با رابطه زیر محاسبه می‌شود [13]:

جدول ۲ رده‌بندی عوامل مؤثر در تغذیه

میزان تغذیه		نفوذپذیری خاک		بارندگی		شیب	
رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	بارش (میلیمتر)	رتبه	شیب %
۱۰	۱۱-۱۳	۵	زیاد	۴	<۸۵۰	۴	>۲
۸	۹-۱۱	۴	متوسط تا زیاد	۳	۷۰۰-۸۵۰	۳	۲-۱۰
۵	۷-۹	۳	متوسط	۲	۵۰۰-۷۰۰	۲	۱۰-۳۳
۳	۵-۷	۲	کم	۱	>۵۰۰	۱	<۳۳
۱	۳-۵	۱	خیلی کم				



شکل ۲ پهنه‌بندی شیب منطقه مورد پژوهش



شکل ۳ پهنه‌بندی کاربری اراضی منطقه مورد پژوهش

دشت گرمسار و پهنه‌های رسی نمکی است، این منطقه از نظر ژئومورفولوژی دارای تنوع محدودی است. مخروط افکنه گرمسار، پهنه‌هایی با نفوذپذیری متوسط و کفه‌های رسی نمکی سه دسته اصلی ژئومورفولوژیکی منطقه مورد پژوهش را تشکیل می‌دهند. پارامترهای ژئومورفولوژی براساس جدول (۱) وزن‌دار شده و لندفرم مخروط افکنه به علت نفوذپذیری زیاد و وجود آبرفت‌های ضخیم لایه بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۴).

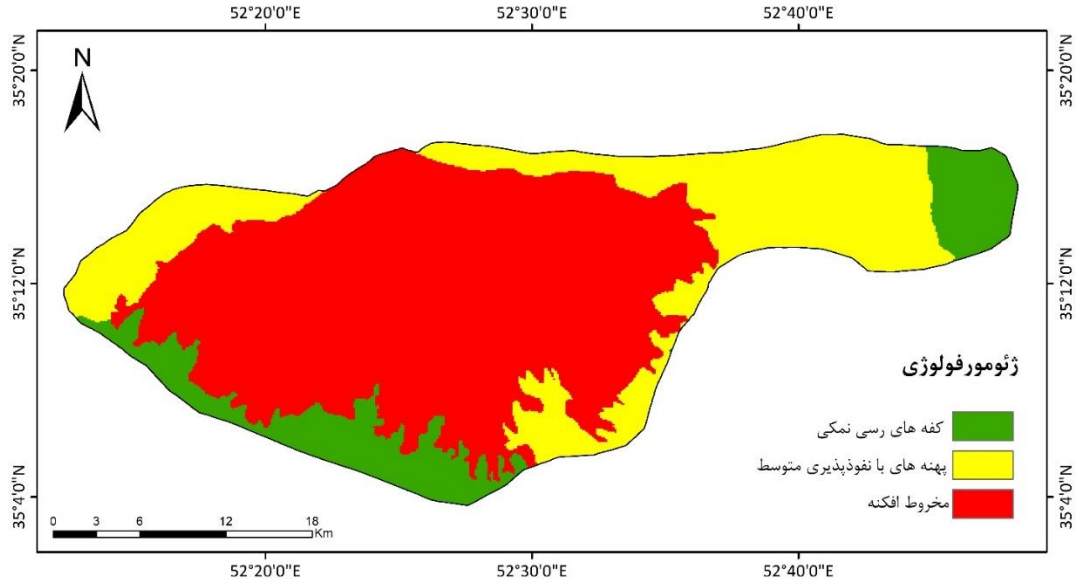
لیتولوژی. لیتولوژی نقش بسزایی در میزان نفوذ آب بارندگی به آبخوان دارد. لیتولوژی‌های موجود در محیط آبخوان شامل پادگانه آبرفتی جدید، پهنه نمکی، گچی، سیلتی، رسی تر و خشک و پهنه

کاربری اراضی. نوع کاربری اراضی می‌تواند نمودی از مصرف آب برداشت شده از آبخوان، میزان آب برگشتی به آبخوان و پوشش گیاهی باشد. بر همین اساس این پارامتر نقش بسزایی در پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی ایفا می‌کند. شکل (۳) نقشه کاربری اراضی منطقه مورد پژوهش را نشان می‌دهد. بیشترین کاربری اراضی محدوده به خصوص در مخروط افکنه گرمسار فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد. مناطق اطراف مخروط افکنه را زمین‌هایی با پوشش گیاهی نسبتاً فقیر و زمین‌های بایر تشکیل می‌دهند.

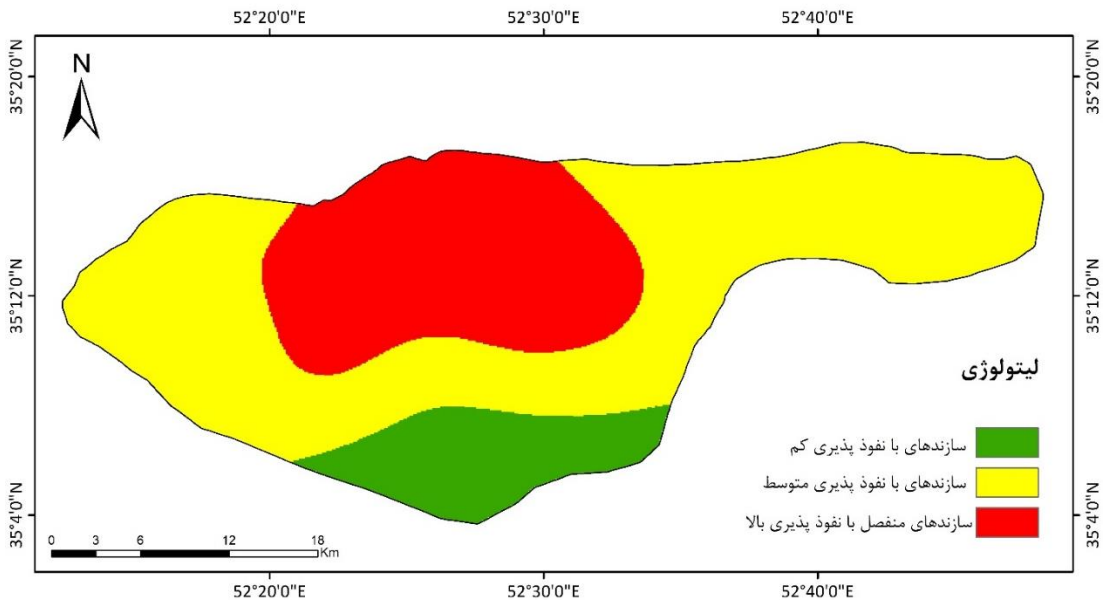
ژئومورفولوژی. از آنجایی که آبخوان اصلی منطقه روی مخروط افکنه گرمسار واقع شده و مناطق حاشیه‌ای نیز شامل

تا ۷۲ متر بر روز در نواحی شمالی محدوده متغیر است. باتوجه به شکل (۵) قسمتهای شمالی دارای بیشترین میزان نفوذپذیری است و این میزان با حرکت به سمت جنوب و حاشیه محدوده کاهش می‌یابد.

رسی، سیلتی می‌باشد که همگی مربوط به دوران کواترنری هستند. به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی، میزان نفوذپذیری بررسی شده و نقشه نفوذپذیری منطقه براساس هدایت هیدرولیکی و جدول (۱) رتبه‌دهی شد. طبق بررسیهای انجام شده در منطقه، هدایت هیدرولیکی از ۴ متر بر روز در نواحی حاشیه‌ای و جنوبی



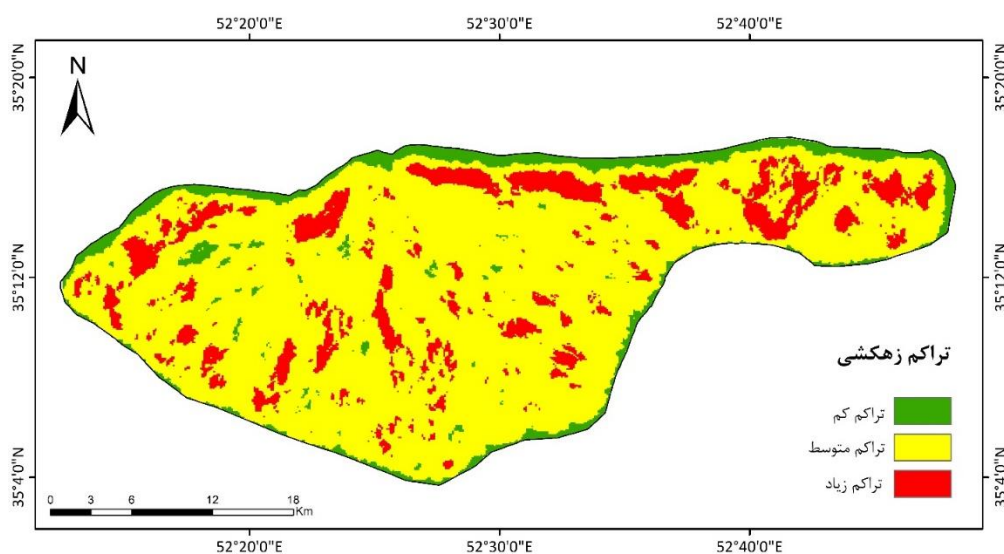
شکل ۴ پهنه‌بندی ژئومورفولوژی منطقه مورد پژوهش



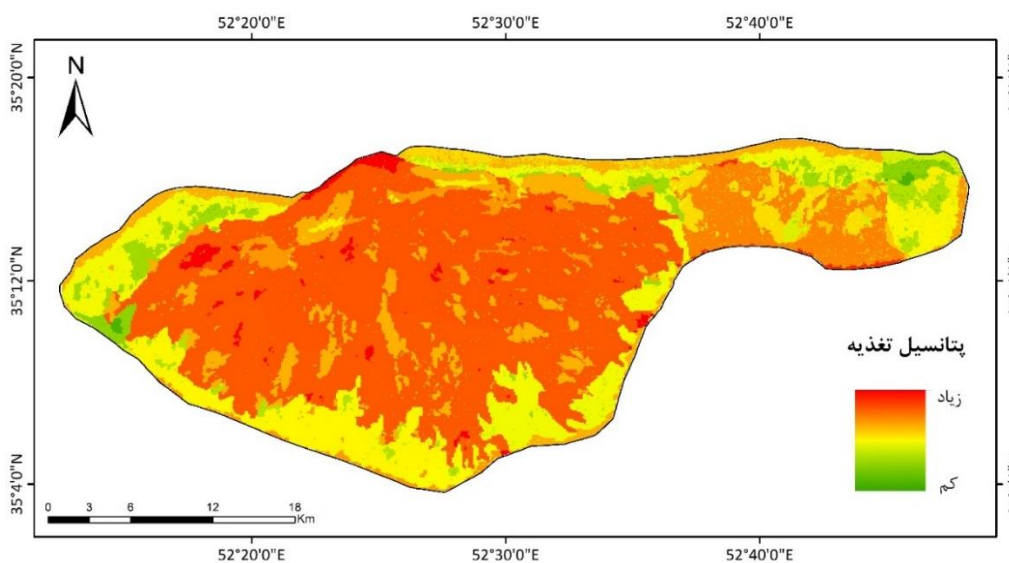
شکل ۵ پهنه‌بندی لیتولوژی منطقه مورد پژوهش

تراکم خطواره. خطواره در ارتباط با شکستگیها به کار می‌رود و به عنوان مجرای حرکت آب در نظر گرفته می‌شود. هر چه میزان تراکم خطواره در یک منطقه بیشتر باشد، میزان نفوذپذیری بالاتر است و هر چه میزان تراکم خطواره کمتر باشد نفوذ نیز کمتر خواهد بود. با توجه به اینکه آبخوان گرمسار در سازندهای کواترنری آبرفتی قرار گرفته است، خطواره در آنها گسترش خاصی ندارد؛ در نتیجه برای تمام منطقه این مقدار یکسان در نظر گرفته شده است.

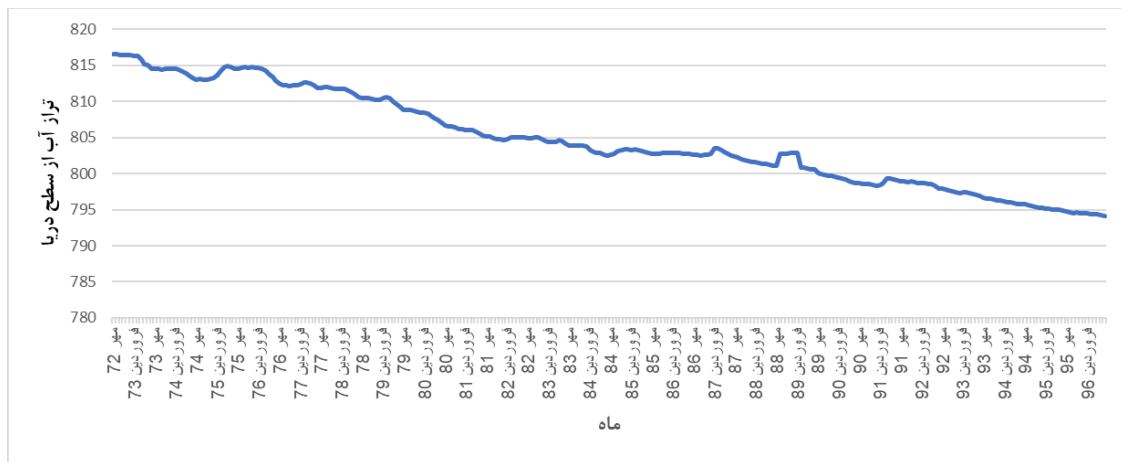
تراکم زهکشی. تراکم زهکشی در هر منطقه وابسته به عواملی چون توپوگرافی، شیب و شرایط زمین‌شناسی است. تراکم زهکشی نشان دهنده میزان رواناب است؛ بنابراین هر چه تراکم زهکشی بالاتر باشد میزان نفوذ آب کمتر است و هر چه تراکم زهکشی در یک منطقه کمتر باشد میزان نفوذ بالاتر خواهد بود [14] به منظور تهیه نقشه تراکم از مدل ارتفاعی رقومی با دقت ۱۲/۵ متر استفاده شده است که پس از استخراج آبراهه‌ها، تراکم آن محاسبه گردیده و سپس طبق جدول (۱) رتبه‌دهی شده‌اند. شکل (۶) نشان دهنده آن است که قسمت‌های شمالی دارای تراکم زهکشی کم هستند که میزان نفوذ در آنها بالا است.



شکل ۶ پهنه‌بندی تراکم زهکشی منطقه مورد پژوهش



شکل ۷ نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی



شکل ۸. آب‌نمود معرف دشت گرمسار

اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای وارد نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی شده و برای هر چاه پلیگون تیسین رسم گردید. سپس میزان حجم آب کاهش یافته یا افزایش یافته در هر پیزومتر از حاصل ضرب آبدهی ویژه در مساحت پلیگون در اختلاف سطح پیزومترها طبق رابطه (۲) به دست آمد. از آنجایی که هر ساله مقداری از آب آبخوان از طریق پمپاژ خارج می‌شود، میزان تخلیه نیز در محاسبات لحاظ شد. برای به دست آوردن میزان پمپاژ تخلیه چاه‌های آماربرداری شده واقع در هر پلیگون محاسبه و به صورت زیر به رابطه (۲) اضافه گردید:

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} + \text{pumping} \quad (4)$$

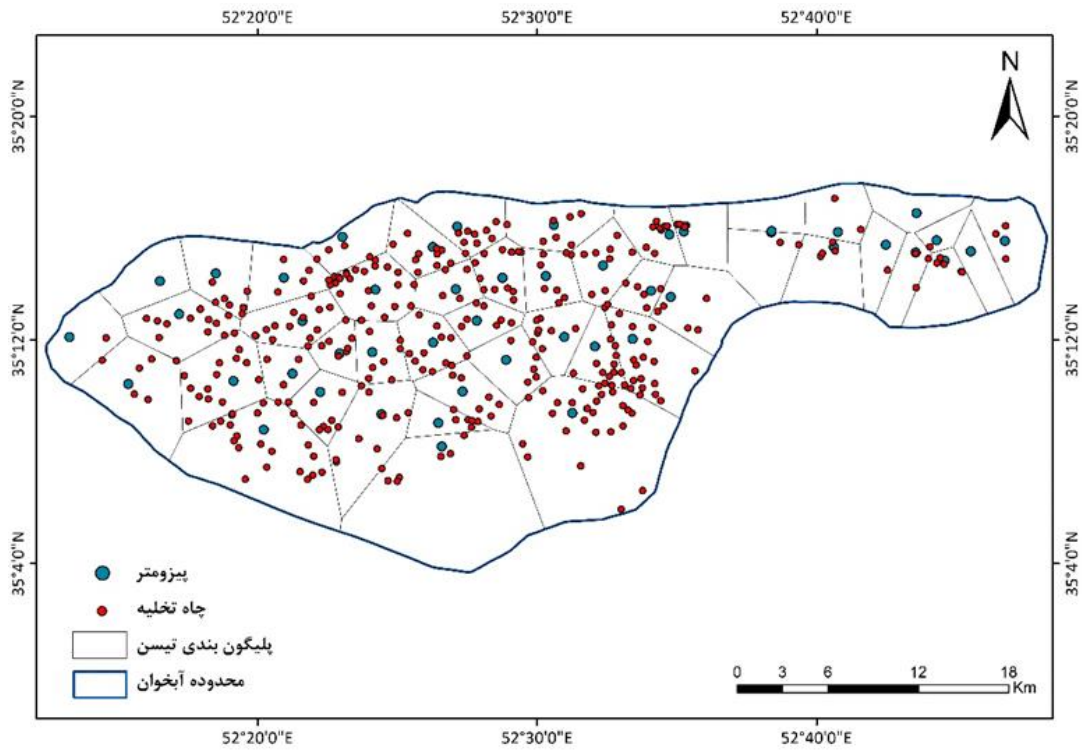
طبق محاسبات انجام شده مقدار Δh آبخوان از ۲- متر تا ۰/۸ متر متغیر است. همچنین باتوجه به اطلاعات به دست آمده از سازمان آب منطقه‌ای، میانگین آبدهی ویژه ۰/۰۵ می‌باشد [10]. با ضرب مقدار تغییرات سطح آب زیرزمینی در هر چاه مشاهده‌ای با مقدار آبدهی ویژه و سپس جمع آن با مقدار تخلیه، نرخ تغذیه در هر چاه مشاهده‌ای به دست می‌آید. پس از آنکه نرخ تغذیه هر چاه مشاهده‌ای که براساس آن پلیگون تیسین رسم شده (شکل ۹) محاسبه گردید، درون‌یابی صورت گرفت و نقشه پهنه‌بندی تغذیه خالص به دست آمد (شکل ۱۰). میزان تغذیه سالانه آبخوان به روش نوسانات سطح ایستابی از ۱/۹۵ میلیمتر در بخش‌های جنوبی تا ۴۷۸ میلیمتر در نواحی شمالی تغییر می‌کند.

پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی دشت گرمسار. برای تهیه نقشه نهایی پتانسیل تغذیه، رتبه هر پارامتر در وزن آن ضرب شده و سپس با یکدیگر جمع شدند. نقشه نهایی به دست آمده نشان می‌دهد که قسمت رأس مخروط افکنه به علت نفوذپذیری بالا و تراکم کم آبراهه بالاترین پتانسیل تغذیه را دارا می‌باشد. بعد از آن بیشترین میزان تغذیه به علت نفوذپذیری بالا، فعالیت‌های کشاورزی و شیب مناسب مربوط به مخروط افکنه گرمسار است. میزان پتانسیل تغذیه در قسمت‌های جنوبی و غربی محدوده به علت منتهی شدن به پهنه‌های با نفوذپذیری کم و اراضی بایر کاهش پیدا می‌کند (شکل ۷).

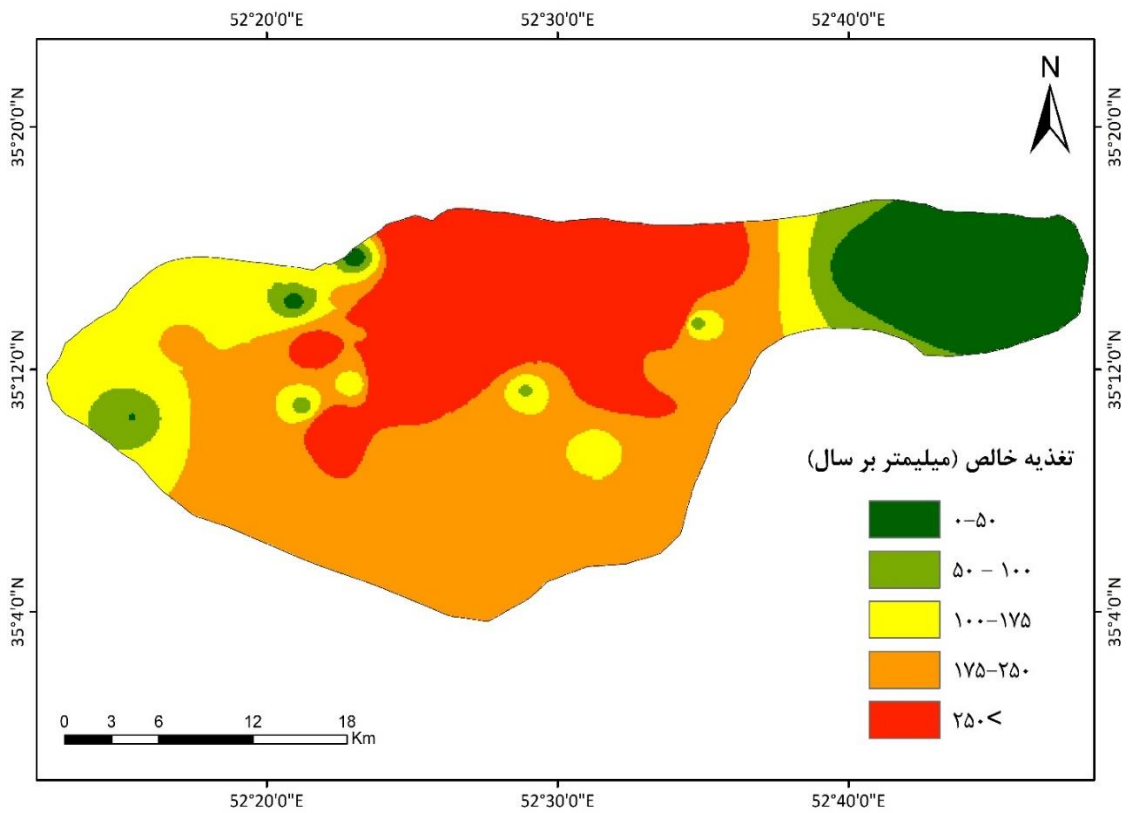
برآورد مقدار تغذیه

روش نوسانات سطح ایستابی. تغییرات زمانی تراز سطح آب زیرزمینی از جمله مهمترین مشخصات آبخوان می‌باشد که در نواحی مختلف آن متفاوت است. تغییرات سطح ایستابی به مقادیر تغذیه و تخلیه، فاصله از مناطق تغذیه کننده و میزان پمپاژ بستگی دارد و آب‌نمود معرف نشانگر مناسبی برای تغییرات درازمدت سطح ایستابی می‌باشد. برای رسم آب‌نمود معرف دشت گرمسار از اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای در سالهای آبی ۷۳-۱۳۷۲ تا ۹۶-۱۳۹۵ استفاده شد (شکل ۸). بررسیها نشان داد که متوسط افت دراز مدت در آبخوان دشت گرمسار ۰/۹۳ متر در سال است.

برای محاسبه تغذیه خالص به روش تغییرات سطح ایستابی، داده‌های سطح ایستابی ۴۰ چاه مشاهده‌ای در طول سالهای آبی ۸۹-۱۳۸۸، ۹۰-۱۳۸۹ و ۹۱-۱۳۹۰ مورد بررسی قرار گرفتند.



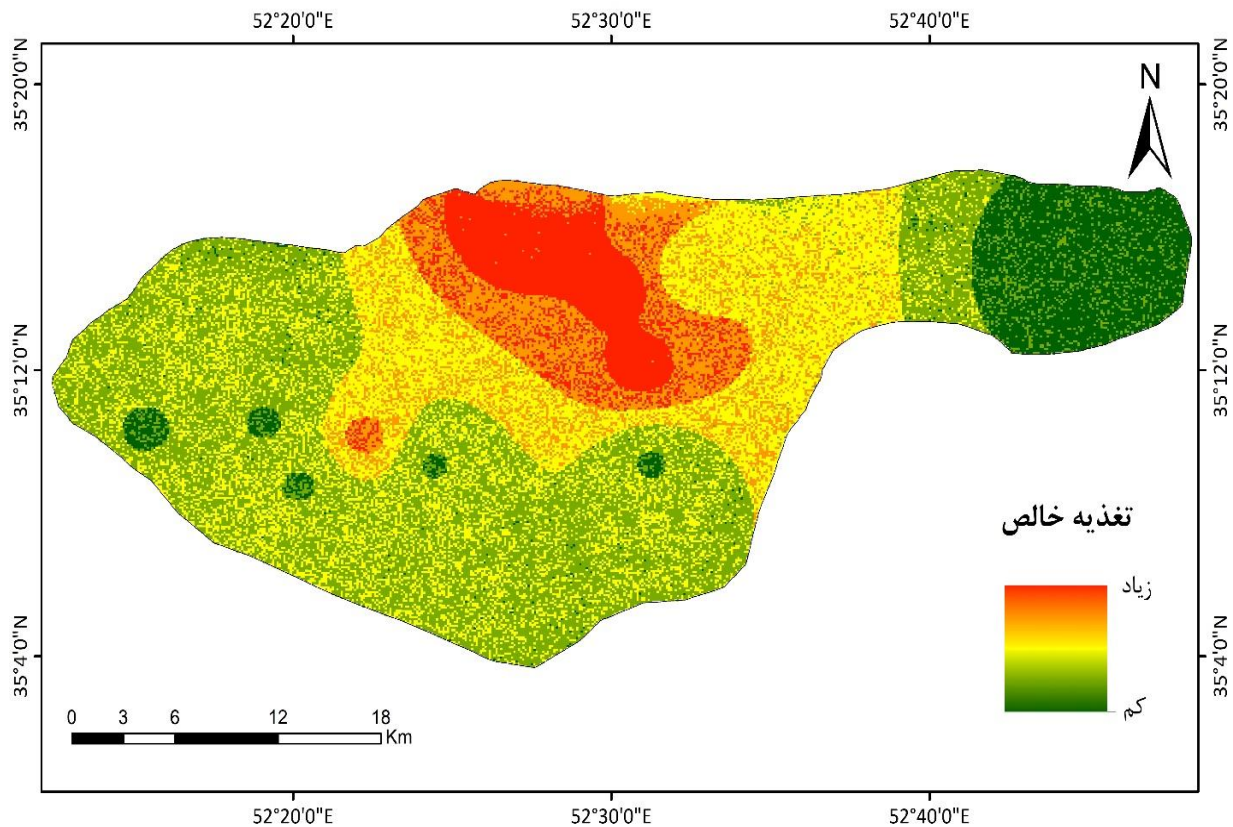
شکل ۹ موقعیت پیزومترها و چاه‌های بهره‌برداری دشت گرمسار



شکل ۱۰ نقشه پهنه‌بندی تغذیه خالص آبخوان دشت گرمسار با استفاده از روش نوسانات سطح ایستابی

می‌یابد و بیشترین مقدار تغذیه مربوط به بخشهای شمالی آبخوان که در رأس مخروط افکنه واقع است، می‌باشد. با توجه به نتایج هر دو روش برآورد مقادیر تغذیه آب زیرزمینی، بیشترین میزان تغذیه در محل مخروط افکنه و ورودی جریان آب زیرزمینی به آبخوان رخ داده که در این مناطق مواد تشکیل‌دهنده دانه درشتتر و دارای نفوذپذیری بالاتر می‌باشند. علاوه بر این، مناطق دارای مقادیر بالای تغذیه بیشتر در زمینهای کشاورزی واقع شده‌اند. در نقشه نهایی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی نیز نواحی دارای بالاترین پتانسیل بر بخشهای شمالی آبخوان منطبق است که با مقادیر تغذیه برآورد شده با هر دو روش همخوانی دارد. اگر چه نتایج حاصل از مقایسه مقادیر تغذیه و پتانسیل تغذیه در برخی قسمتهای منطقه اختلاف کمی با هم دارند.

روش پیسکوپو. در مرحله بعد برای تهیه نقشه پهنه‌بندی مقادیر تغذیه در آبخوان دشت گرمسار از روش پیسکوپو استفاده شد. در این روش برای محاسبه شیب یک مدل رقومی ارتفاعی از منطقه تهیه و بعد از استخراج شیب طبق معیارهای جدول (۲) رتبه‌بندی شد. مقدار شیب منطقه از ۲ تا ۳۷ درصد متغیر است. میزان بارندگی سالیانه دشت از سامانه هواشناسی و سازمان آب منطقه‌ای سمنان جمع‌آوری شد. اطلاعات نشان می‌دهند که میزان بارندگی محدوده مطالعاتی و دشت گرمسار کمتر از ۵۰۰ میلیمتر است؛ در نتیجه طبق جدول (۲) تمام محدوده آبخوان دارای رتبه یک می‌باشد. برای به دست آوردن میزان نفوذ نیز اطلاعات نفوذپذیری منطقه جمع‌آوری شده و طبق جدول (۲) به پنج دسته تقسیم‌بندی شدند. در نهایت نقشه‌های مربوط به سه عامل شیب، نفوذپذیری و بارندگی با یکدیگر ترکیب شدند. شکل (۱۱) نشان می‌دهد که میزان تغذیه از شمال به سمت جنوب منطقه کاهش



شکل ۱۱ نقشه پهنه‌بندی تغذیه خالص آبخوان دشت گرمسار با استفاده از روش پیسکوپو

نتیجه گیری

امر درشت بودن ذرات در قسمت ابتدایی مخروط افکنه است که میزان نفوذپذیری را افزایش می‌دهد. در نقشه حاصل از روش پیسکوپو نیز روند کلی نشان‌دهنده آن است که از سمت شمال به سمت جنوب میزان تغذیه آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. نکته قابل توجه آن است که روند به دست آمده از دو روش یکسان است و در تنها در بعضی نقاط با یکدیگر تفاوت دارند و هر دو این روشها نتیجه به دست آمده از نقشه پتانسیل تغذیه را تأیید می‌کنند. بنابراین می‌توان از روش به کار رفته در این پژوهش برای ارزیابی میزان پتانسیل و مقادیر تغذیه استفاده کرد. با این وجود، با توجه به کمبود داده نتایج ممکن است با کمی عدم قطعیت همراه باشد. بنابراین انجام آزمایشهای تکمیلی در منطقه به ویژه در ارتباط با اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

با توجه به افزایش نیاز روزافزون به منابع آب زیرزمینی و اهمیت بالای این منابع، میزان تغذیه و برداشت از آبخوانها موضوع بسیار مهمی است. از آنجایی که آبخوان گرمسار منبع اصلی کشاورزی در منطقه است و کشاورزی در این ناحیه گسترش زیادی دارد، مسئله مدیریت پایدار آب امری ضروری به شمار می‌آید. به همین علت در این پژوهش در ابتدا نقشه‌های پتانسیل تغذیه تهیه گردید. نتایج به دست آمده نشان دادند که میزان پتانسیل تغذیه وابستگی بسیاری به میزان نفوذپذیری و کاربری اراضی دارند و قسمت رأس مخروط افکنه و خود آن پتانسیل بالایی دارند. بعد از آن میزان تغذیه خالص منطقه با دو روش نوسانات سطح ایستابی و روش پیسکوپو ارزیابی شد. نقشه پهنه‌بندی حاصل از روش نوسانات سطح ایستابی نشان می‌دهد که به صورت کلی میزان تغذیه از سمت شمال به جنوب و شرق منطقه کاهش پیدا می‌کند و قسمتهای ابتدایی مخروط افکنه گرمسار بیشترین مقدار تغذیه خالص را به خود اختصاص داده‌اند. یکی از مهمترین دلایل این

مراجع

- [1] R. W. Healy, B. R. Scanlon, *Estimating Groundwater Recharge*, Cambridge University Press 2010.
- [2] B.R. Scanlon, R. W. Healy and P. G. Cook, "Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge," *Hydrogeology Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 18–39, 2002.
- [3] K. Rushton, I. Simmers, Eds., *recharge of phreatic aquifers in (semi) arid areas*. London: 1997.
- [4] T. Ahmadi, A. N. Ziaei, A. Rasoulzadeh, K. Davary, "Groundwater recharge estimation using water table fluctuations (WTF) method," *3rd National Conference on Comprehensive Water Resources Management*, Iran, September 10, (2010). (In Persian)
- [5] V. Hung Vu, B. J. Merkel, "Estimating groundwater recharge for Hanoi, Vietnam," *Science of the Total Environment*, vol. 651, no. 1, pp. 1047–1057, 2019.
- [6] T. N. Adji, "Application of Water Table Fluctuation Method to Quantify Spatial Groundwater Recharge Witidn the Southern Slope of Merapi Volcano, Indonesia," *Indonesian Journal of Geography*, vol. 39, no. 2, pp. 157–171, 2015.
- [7] A. Shaban, M. Khawlie, and C. Abdallah, "Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: The case of Occidental Lebanon," *Hydrogeology Journal*, vol. 14, no. 4, pp. 433–443, 2006.
- [8] T. W. Githinji, E. W. Dindi, Z. N. Kuria, and D. O. Olago, "Application of analytical hierarchy process and integrated fuzzy-analytical hierarchy process for mapping potential groundwater recharge zone using GIS in the arid areas of Ewaso Ng'iro – Lagh Dera Basin, Kenya," *HydroResearch*, vol. 5, -pp. 22–34, 2022.
- [9] G. Piscopo, *Groundwater vulnerability map explanatory notes Castlereagh Catchment*, Centre for Natural Resources, NSW Department of Land and Water Conservation, 2002.

- [10] Asarab Consulting Engineers Company. Water budget updating study in DASHT-E-KAVIR basin, 12017. (In Persian)
- [11] M.R. Zabihi, G. Kamali, H. Imani nasab, "Evaluation and zoning the vulnerability of Garmsar aquifer to pollution using DRASTIC index in GIS environment," *The third national conference on crisis management, safety; Health, environment and sustainable development, Iran*, June 25, (2017). (In Persian)
- [12] S. P. Rajaveni, K. Brindha, and L. Elango, "Geological and geomorphological controls on groundwater occurrence in a hard rock region," *Applied Water Science*, vol. 7, no. 3, pp. 1377–1389, 2017.
- [13] R. W. Healy, and P. G. Cook, "Using groundwater levels to estimate recharge," *Hydrogeology Journal*, vol. 10, no 1, pp. 91–109, 1979.
- [14] M. Parvin, S. Negahban, "The effect of geomorphologic and geological characteristic on the recharge of alluvial aquifers (case study: Gilan-e- Gharb alluvial aquifer)," *Researches in earth Sciences*, vol. 9, no. 4, pp. 167–180, 2019. (In Persian)

