

Potential assessment of karst water resources for water extraction using hydrogeological methods (Case study: Garmook karst region, Semirum County, Isfahan Province)

Ahmadreza Karimi^{1*}, Haji Karimi², Seyed Yahya Mirzaei Arjenaki³

1. Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

2. Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

Corresponding Author: ahmadrkarimi.ark@gmail.com

(Received: 17 February 2025

Revised: 11 Jun 2025

Accepted: 03 August 2025)

Extended Abstract

Introduction: Severe rainfall reduction, rising temperatures, and excessive exploitation of surface and groundwater resources—especially in arid regions of Iran—have turned water scarcity into one of the country's major challenges. Among available water sources, karst aquifers play a crucial role in meeting water demands due to their unique geological characteristics. These aquifers, with their fractures, joints, and secondary porosity, offer high storage and transmission capacities. Moreover, the limestone composition of these formations often ensures suitable water quality for drinking and agricultural uses. Approximately 11% of Iran's surface area—particularly in the Zagros highlands—is composed of karstic formations. This underscores the necessity of proper evaluation, and sustainable exploitation of karst water resources. The Semirum region in southern Isfahan Province is considered a promising area for developing karstic water sources but has faced declining water tables and drinking water resources in recent years. The present study investigates the potential of groundwater resources in the Garmook area of Semirum County and identifies suitable locations for drilling wells and exploiting karst aquifers.

Materials and Methods: In this study, the geological structure of the region was first examined using existing geological maps, satellite imagery, and field surveys. The study area mainly includes zones developed in the Asmari and Shahbazan formations. Due to their hydraulic connectivity, these two formations were analyzed as a single hydrogeological unit. Data on precipitation, air temperature, topographic slope, vegetation cover, and soil characteristics were used to assess infiltration potential. The water balance method was then used to estimate inputs and outputs for each karstic zone. Inputs included effective precipitation, subsurface recharge from adjacent areas, and surface flows, while outputs comprised spring discharge, abstraction from wells, qanats, evapotranspiration from the epikarst zone, and subsurface discharge to adjacent plains. To delineate the recharge basins of the springs, empirical relationships were applied, considering mean annual precipitation, spring discharge, and infiltration rates. Additionally, water samples were collected from the identified sources, and the quality was assessed using laboratory results and plotted on Wilcox and Scholler diagrams.

Results and Discussion: Geological investigations of the region revealed that the widespread presence of carbonate formations—particularly the Asmari Formation—in the Garmook area has created favorable conditions for karst development and the formation of high-capacity aquifers. The presence of active faults, such as the Narmeh Fault and its subsidiary branches, not only increases fracturing and jointing in the rock mass but also facilitates the infiltration of rainwater into the limestone bodies, thereby enhancing the recharge of karst aquifers. In this region, multiple water sources—including Khansar Spring, Khan-Ali Spring, Jaq-Jaq Spring, Semirum Waterfall, and several extraction wells within the Garmook area—have been identified, with a total discharge estimated at over 435 liters per second. This corresponds to approximately 13.7 million cubic meters per year, indicating the high yield potential of the area. In particular, the electrical conductivity of the regional waters is less than 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$, further confirming their suitability for potable and irrigation use. On the other hand, results showed that in certain parts of the region (such as west of Narmeh), the infiltration rate decreases to about 30% due to the presence of thick soil cover and dense vegetation. However, in other parts—where karst development is more pronounced and open fractures and joints are prevalent—the infiltration rate can reach up to 50%. Water balance studies also indicated that part of the groundwater exits the area through transverse and longitudinal faults, flowing toward adjacent plains or distant springs such as Sandegan.

Conclusion: Based on the conducted analyses, the Garmook area possesses adequate capacity to supply drinking and irrigation water in the short and medium term. Considering the geological context, the positive groundwater balance, and acceptable water quality, four locations were proposed for drilling new wells. These points are situated in areas with high recharge probability, good permeability, and suitable discharge rates. Additionally, to better understand the aquifer's hydrodynamic behavior, the installation of piezometers and implementation of water-level monitoring programs are recommended. Given the significant influence of regional faults on groundwater flow directions, further studies—including dye and isotope tracing—are essential for determining the precise flow paths to improve groundwater resource management. The findings of this study can serve as a foundation for water resource management in southern Isfahan Province and other similar regions.

Keywords: Karst, Semirum, Garmook, Groundwater Balance, Well, Potential Assessment, Hydrogeology

Citation: Karimi, A., Karimi, H., & Arjenaki Mirzaei, S.Y. (2026). Potential assessment of karst water resources for water extraction using hydrogeological methods (Case study: Garmook karst region, Semirum County, Isfahan Province). *Integrated Watershed Management*, 6(1), 107-125. doi= 10.22034/iwm.2025.2053045.1207

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



پتانسیل یابی منابع آب کارست جهت استحصال آب با استفاده از روش‌های هیدروژئولوژی

(مطالعه موردی: پهنه کارستی گرموک شهرستان سمیرم، استان اصفهان)

احمدرضا کریمی*^۱، حاجی کریمی^۲، سید یحیی میرزایی ارجنکی^۱

۱. گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

نویسنده مسئول: ahmadrkarimi.ark@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۹

چکیده مبسوط

مقدمه: کاهش شدید بارندگی، افزایش دمای هوا، و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب سطحی و زیرزمینی، به‌ویژه در مناطق خشک ایران، بحران کم‌آبی را به یکی از چالش‌های اصلی کشور تبدیل کرده است. در این میان، منابع آب سفره‌های کارستی، به‌دلیل ویژگی‌های خاص زمین‌شناسی خود، نقش مهمی در تأمین نیازهای آبی ایفا می‌کنند. این سفره‌ها به دلیل وجود درز و شکاف‌ها، و تخلخل ثانویه، ظرفیت بالایی برای ذخیره‌سازی و انتقال آب دارند. از طرفی، به‌واسطه جنس آهکی این سازندها، معمولاً کیفیت آب آن‌ها مناسب و قابل‌قبول برای مصارف شرب و کشاورزی است. در ایران، حدود ۱۱ درصد از مساحت کشور خصوصاً ارتفاعات زاگرس را سازندهای کارستی تشکیل می‌دهند. این شرایط، ضرورت ارزیابی و بهره‌برداری اصولی از منابع آب کارستی را دوچندان می‌کند. منطقه سمیرم در جنوب استان اصفهان یکی از نواحی مستعد توسعه منابع آب کارستی به‌شمار می‌آید که طی سال‌های اخیر با افت سطح ایستابی و کاهش منابع آب شرب مواجه شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی پتانسیل منابع آب زیرزمینی در پهنه گرموک در شهرستان سمیرم و شناسایی مکان‌های مناسب جهت حفاری چاه و بهره‌برداری از سفره‌های کارستی انجام شده است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، ابتدا ساختار زمین‌شناسی منطقه با استفاده از نقشه‌های موجود، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی بررسی شد. محدوده مورد مطالعه شامل پهنه‌هایی است که عمدتاً در سازندهای آسماری و شهبازان توسعه یافته‌اند. این دو سازند به‌دلیل پیوستگی هیدرولیکی، در قالب یک واحد هیدروژئولوژیکی مورد تحلیل قرار گرفتند. داده‌های بارندگی، دمای هوا، شیب توپوگرافی، پوشش گیاهی و خاک‌شناسی نیز در تحلیل شرایط نفوذپذیری مورد استفاده قرار گرفت. سپس با بهره‌گیری از روابط بیلان آب، میزان ورودی و خروجی هر پهنه کارستی برآورد شد. منابع ورودی شامل بارش مؤثر، تغذیه زیرسطحی از پهنه‌های مجاور و جریان‌های سطحی بوده و خروجی‌ها شامل دبی چشمه‌ها، چاه‌های بهره‌برداری، قنوت، تبخیر از ناحیه اپی کارست، و تخلیه زیرسطحی به دشت‌های مجاور در نظر گرفته شدند. برای تعیین وسعت حوضه‌های آبخیز چشمه‌ها، از روابط تجربی با در نظر گرفتن میانگین بارش سالانه، دبی چشمه و درصد نفوذ استفاده گردید. همچنین با نمونه‌برداری از منابع آب و بررسی نتایج آزمایش‌های کیفی، نمودارهای ویلکاکس و شولر ترسیم و کیفیت منابع آب تحلیل شد.

نتایج و بحث: بررسی زمین‌شناسی منطقه نشان داد که حضور گسترده سازندهای کربناته، به‌ویژه آسماری، در پهنه گرموک، شرایط لازم برای توسعه کارست و شکل‌گیری آبخوان‌های پرظرفیت را فراهم کرده است. وجود گسل‌های فعال مانند گسل نرمه و شاخه‌های فرعی آن، علاوه بر افزایش شکستگی‌ها و درزها در سنگ، موجب تسهیل در نفوذ آب باران به داخل توده‌های آهکی و در نتیجه تقویت تغذیه سفره‌های کارستی می‌شود. در این پهنه، منابع متعددی از جمله چشمه خوانسار، چشمه خان‌علی، چشمه جاق‌جاق، آبشار سمیرم، و چاه‌های برداشت در محدوده گرموک شناسایی شدند که جمع دبی آن‌ها بالغ بر ۴۳۵ لیتر در ثانیه برآورد شد. این میزان تخلیه معادل با حدود ۱۳/۷ میلیون مترمکعب در سال است که نشان‌دهنده توان بالای آبدی این پهنه می‌باشد. از آنجا که میزان هدایت الکتریکی آب‌های منطقه کمتر از ۴۵۰ میکروموس بر سانتیمتر می‌باشند، کیفیت آب‌ها برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب ارزیابی گردید. از سوی دیگر، نتایج نشان داد که در بخش‌هایی از پهنه (نظیر غرب نرمه)، درصد نفوذ به‌دلیل وجود خاک‌های ضخیم و پوشش گیاهی متراکم، کاهش یافته و به حدود ۳۰ درصد می‌رسد. با این حال، در سایر بخش‌ها با توسعه بیشتر کارست و وجود درز و شکاف‌های باز، درصد نفوذ تا ۵۰ درصد نیز قابل افزایش است. مطالعات بیلان نیز نشان داد که بخشی از آب‌های زیرزمینی از طریق گسل‌های عرضی و طولی از محدوده خارج شده و به سمت دشت‌های مجاور یا چشمه‌های دوردست مانند سنگان منتقل می‌شود.

نتیجه‌گیری: بر اساس تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته، پهنه گرموک دارای ظرفیت مناسب برای تأمین آب شرب و کشاورزی در کوتاه‌مدت و میان‌مدت است. با توجه به شرایط زمین‌شناسی، بیلان مثبت آب زیرزمینی و کیفیت قابل‌قبول منابع، چهار نقطه برای حفاری چاه‌های جدید معرفی گردید. این نقاط در مناطقی با بیشترین احتمال تغذیه، نفوذپذیری بالا و دبی مناسب قرار دارند. همچنین به‌منظور شناخت دقیق‌تر رفتار هیدرودینامیکی آبخوان، حفر پیزومتر و اجرای طرح‌های پایش سطح ایستابی توصیه می‌شود. در نهایت، با توجه به نقش مؤثر گسل‌های منطقه در جهت‌دهی به جریان‌های زیرزمینی، انجام مطالعات تکمیلی شامل ردیابی رنگی و ایزوتوپی به‌منظور تعیین مسیر دقیق جریان آب، برای مدیریت بهتر منابع آب زیرزمینی منطقه ضروری است. نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنای تصمیم‌گیری برای مدیریت منابع آب کارستی در جنوب استان اصفهان و سایر مناطق مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: کارست، سمیرم، گرموک، بیلان آب زیرزمینی، چاه، پتانسیل‌یابی، هیدروژئولوژی

استناد: کریمی، ا.ر.، کریمی، ح؛ و میرزایی ارجنکی، س.ی. (۱۴۰۵). پتانسیل‌یابی منابع آب کارست جهت استحصال آب با استفاده از روش‌های هیدروژئولوژی (مطالعه موردی: پهنه کارستی گرموک شهرستان سمیرم، استان اصفهان). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۱۶(۱)، ۱۰۷-۱۲۵.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

یکی از منابع طبیعی مهم برای استفاده در مصارف خانگی، صنعت و کشاورزی، استفاده از منابع آب زیرزمینی می‌باشد (Andualem & Demeke, 2019). امروزه خشکسالی و افزایش تقاضای آب، منابع آب زیرزمینی را با چالش مواجه کرده است (Pourhaghi *et al.*, 2014).

منابع آب کارستی^۱، جزء ذخایر آب زیرزمینی است که به شکل طبیعی، عمدتاً به صورت چشمه از زمین خارج می‌شود. در اصطلاح فنی به پدیده خوردگی و انحلال توده سنگ‌های کربناته (عمدتاً آهک و دولومیت)، کارست گفته می‌شود که بخش مهمی از منابع آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهند. حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد جمعیت دنیا به منابع آب کارستی وابسته است (Ford & Williams, 2007). حدود ۱۱ درصد مساحت ایران (Naseri, 1991) و ۹۰ درصد از ارتفاعات زاگرس، توسط سازندهای کربناته پوشیده شده است (Afrasiabian, 1998). منابع آب کارست که معمولاً به صورت چشمه‌های کارستی در سطح زمین ظاهر می‌شوند، اغلب به دلیل پایین بودن مواد جامد محلول، برای شرب کیفیت مناسبی دارند و دمای آن‌ها تقریباً برابر دمای متوسط محل تغذیه می‌باشد. به دلیل پیچیدگی محیط‌های کارستی، اغلب مطالعات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی آبخوان‌های کارستی با بررسی و تجزیه و تحلیل ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و ایزوتوپی چشمه‌های کارستی انجام می‌شود. اهمیت این موضوع در مناطقی که منابع آب زیرزمینی آن‌ها به طور پیوسته در حال کاهش است، بیشتر احساس می‌شود (IWPRI, 2014; Ketabchi *et al.*, 2018). به دلیل حجم بالای ذخایر کارستی و همچنین کیفیت مناسب آب آن‌ها، بهره‌برداری از آن‌ها به‌ویژه برای شرب در اولویت قرار داشته و لازم است توجه جدی به مطالعه آن‌ها صورت گیرد تا بهره‌برداری

مطمئن و پایدارتری از آن‌ها صورت پذیرد (Karimi & Karimi, 2022). عوامل متعددی در پدیده کارستی شدن^۲ و ایجاد منابع آب در سازندهای کربناته حائز اهمیت می‌باشند که از مهمترین این عوامل می‌توان به ساختارهای تکتونیکی، سنگ‌شناسی، ساختارهای زمین‌شناسی، اقلیم، توپوگرافی و هیدرولوژی اشاره کرد (Ghobadi, 2007). با توجه به اهمیت مناطق کارستی به منظور پتانسیل‌یابی منابع آب، مطالعات زیادی توسط محققین مختلف انجام گرفته است. به عنوان مثال، توسط Maqsoodi و همکاران (۲۰۰۹) تحولات چشمه کارستی پرآو-بیستون در استان کرمانشاه بر اساس عوامل هیدروژئولوژیکی در مقایسه با دیگر چشمه‌های زاگرس چین خورده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که تغذیه در منطقه پرآو به دلیل سیستم کارستی پیچیده آن، دارای نوسان‌های زیادی در هیدروگراف‌ها بوده و تغذیه به صورت کانالیزه و مجرایی می‌باشد. چشمه پرآو میزان ضریب آلفا، ذخیره دینامیکی و ضریب خشکیدگی بیشتری نسبت به سایر چشمه‌ها نشان داد. در مطالعه‌ای دیگر در منطقه دشت ارژن و کازرون شیراز، به بررسی اشکال کارستی به منظور تخمین میزان ذخیره آب‌های زیرزمینی پرداخته شد (Tahouni, 1995).

کارست منطقه با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و زمین‌ریخت‌شناسی طبقه‌بندی گردید. ارتباط بین ویژگی‌های هیدرودینامیکی و شرایط جریان در آبخوان‌های کارستی نیز بررسی شده است. Kuhta و همکاران (2012) در این زمینه به این نتیجه رسیدند که شرایط جریان در آبخوان‌های کارستی پاسخ‌های متفاوتی از نظر هیدرودینامیکی و هیدروشیمیایی دارند. همچنین مطالعات زیادی در بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در داخل و خارج از کشور توسط روش‌های مختلفی از جمله روش فازی،

سالانه ۵۳۷/۴ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۱/۳ درجه سانتی‌گراد است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نسبت به ایران و استان اصفهان نشان می‌دهد.

پهنه سمیرم که در برگیرنده کوه‌های نرمه، ارتفاعات اطراف سد قره‌آقاج، کوه‌های شمال شهر سمیرم تا چشمه گرموک می‌باشد، در زون زاگرس مرتفع قرار گرفته است. در ادامه، به اختصار به این پهنه، پهنه سمیرم گفته می‌شود. شکل ۲ محدوده کلی این پهنه را نشان می‌دهد. به دلیل عبور گسل اصلی زاگرس از بخش جنوبی این پهنه و عملکرد شاخه‌های فرعی این گسل در این مجموعه، در هم ریختگی و خردشدگی‌های فراوانی در این پهنه به وقوع پیوسته است.

بیشترین گسترش سازند زمین‌شناسی آهکی که در این پهنه وجود دارد سازندهای آسماری و شهبازان می‌باشند. از نظر ترکیب لیتولوژیکی سازندهای آسماری و شهبازان مقداری با هم تفاوت دارند. توسعه کارست در سازند آسماری به دلیل آهکی بودن بیشتر است، اما این دو سازند به دلیل پیوستگی آبخوان آن‌ها و ارتباط هیدرولیکی، از نظر هیدروژئولوژیکی به عنوان یک واحد هیدروژئولوژیکی محسوب می‌شود. لذا بیان آن‌ها به صورت مشترک محاسبه و ارائه می‌گردد. به عبارت دیگر، از نظر هیدروژئولوژیکی این دو سازند با همدیگر ارتباط هیدرولیکی داشته و به طور مشترک تشکیل آبخوان داده‌اند.

در آهک‌های سازند آسماری که در زاگرس مرتفع قرار گرفته‌اند به دلیل وجود درز و شکاف‌های بیشتر، دریافت میزان بارش بیشتر و نوع بارش که به صورت برف می‌باشد، توسعه کارست بیشتری در این ناحیه صورت گرفته و دارای درصد نفوذ بالاتری می‌باشند. میزان نفوذپذیری در این پهنه، و البته پوشش خاک و پوشش گیاهی گون (*Astragalus*) در این ناحیه به گونه‌ای است که میزان رواناب کمی در سطح زمین جاری می‌گردد.

تحلیل سلسله‌مراتبی و مدل‌سازی انجام شده است (Tahouni, 1995; Shaban *et al.*, 2004; Bauer *et al.*, 2005; Jukić & Denić-Jukić, 2008; Martínez-Santos & Andreu, 2010; Barmaki *et al.*, 2015; Moradi *et al.*, 2016; Mokarram & Neghaban, 2019; Rasouli *et al.*, 2020; Pour Akbari *et al.*, 2020; Sepehri Pour, 2021; Sajadi *et al.*, 2022; Nakhaei *et al.*, 2023; Jafari & Fouladi, 2024; Vaezi Hir *et al.*, 2024; Rezaei Arefi *et al.*, 2025).

مناطق مرکزی ایران که در احاطه ارتفاعات زاگرس از جنوب و غرب و ارتفاعات البرز از شمال قرار دارند، از دریافت بارش و رطوبت کمتری نسبت به دیگر نواحی کشور برخوردار بوده و با کمبود منابع آبی به‌ویژه آب شرب مواجه می‌باشد. بیشتر آب شرب شهرستان شهرضا از شهرستان سمیرم تامین می‌شود. تغییراتی که در اقلیم دنیا و کشور نیز اتفاق افتاده و یا در حال وقوع است مزید بر علت شده و باعث کاهش روزافزون منابع آب و فشار بر منابع آب موجود شده است، به طوری که آبدهی چاه‌های تنگ آهن که تامین کننده آب شرب شهرضا در شمال این پهنه می‌باشند، به کمتر از یک‌سوم کاهش یافته است. در نتیجه مطالعه روی سایر نقاط دارای پتانسیل جهت حفر چاه برای تامین آب شرب شهرستان شهرضا از اهمیت خاصی برخوردار است. هدف از این مطالعه تعیین پتانسیل تامین آب از سازندهای کارستی موجود در پهنه سمیرم شهرستان سمیرم و تعیین نقاط بهره‌برداری جهت حفر چاه و تامین آب کوتاه‌مدت و میان‌مدت در محدوده سمیرم و شهرضا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق نواحی کارستی جنوب استان اصفهان در شهرستان سمیرم با مختصات جغرافیایی ۲۳° ۳۱' و ۳۴° ۳۱' تا ۲۰' ۵۱° و ۴۸' ۵۱° شرقی مورد بررسی قرار گرفته است. ارتفاع متوسط منطقه مورد مطالعه ۲۴۳۵ متر از سطح دریا است. بر اساس گزارش ایستگاه سینوپتیک شهرستان سمیرم، میزان متوسط بارش

وجود دارد مصرف می‌شود. در بازدیدهای میدانی از بخش غربی این پهنه در مجاورت رودخانه کاسگان مشخص شد که آهک‌های این محدوده عمدتاً حالت تپه ماهوری دارند و بصورت تکه‌تکه و پراکنده می‌باشند (علی‌رغم پیوستگی و گسترشی که در نقشه زمین‌شناسی دارند)؛ بنابراین با در نظر گرفتن شرایط فوق مقدار درصد نفوذ در این پهنه آهکی حدود ۴۰ درصد بارندگی در نظر گرفته شده است. در بخش‌های غربی این پهنه حتی مقدار درصد نفوذ به ۳۰ درصد هم ممکن است برسد (Saman Abrah Consulting Engineers, 2016).

شکل ۳ نمونه‌ای از وضعیت سطح آهک‌ها و پوشش خاک و پوشش گیاهی در ارتفاعات کوه نرمه در بخش غربی این پهنه را به نمایش می‌گذارد. همانگونه که در تصاویر ملاحظه می‌شود، آثاری از فرسایش سطحی فعال و شدید در مسیر آبراهه‌های این منطقه مشاهده نمی‌شود. از طرف دیگر، وجود پوشش خاک نسبتاً ضخیم بر روی آهک‌ها و پوشش گیاهی مناسب باعث نگهداشت مقداری از بارش‌ها و رطوبت در خود شده و به درصد تبخیر آب از بارش‌ها کمک نموده است. سهم قابل ملاحظه‌ای از آب بارش‌ها نیز توسط پدیده تعرق توسط پوشش گیاهی و بوته‌ای انبوهی که در منطقه



شکل ۳- وضعیت خاک، پوشش گیاهی و فرسایش سطحی در ارتفاعات نرمه، شهرستان سمیرم

Figure 3- Soil condition, vegetation cover, and surface erosion in the Narmah highlands, Semirum County

که ذکر شد مورفولوژی نسبتاً ملایمی در ارتفاعات حاکم بوده و همین امر باعث تشکیل خاک نسبتاً مناسب و استقرار پوشش انبوه بوته‌ها و درختچه‌ها به‌ویژه بوته گون (*Shrub*) شده است. همین موضوع باعث نگهداشت بخش قابل ملاحظه‌ای از آب بارش‌ها در خاک و همچنین ناحیه اپی کارست به صورت سطحی باقی مانده و درصد نفوذ را علی‌رغم وجود تعدادی فروچاله در منطقه، کاهش می‌دهد.

در برخی قسمت‌های ارتفاعات این پهنه شرایط برای تشکیل فروچاله^۱ مهیا بوده است، دو فروچاله بزرگ در بخش غربی کوه نرمه در آهک‌های آسماری تشکیل شده‌اند که به غارهایی در عمق وصل می‌شوند. احتمال ارتباط این دو فروچاله در زیر به صورت غار وجود دارد. شکل ۴ تصاویری از فروچاله‌های نرمه را نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد فروچاله‌ها از نوع انحلالی^۲ باشند. اگرچه دو فروچاله در ارتفاعات نرمه یافت شده است که پتانسیل توسعه کارست را نشان می‌دهد، اما همانگونه

2- Solution sinkhole

1- Sinkhole



شکل ۴- نمایی از دو فروچاله در ارتفاعات نرمه، شهرستان سمیرم

Figure 4- A view of two sinkholes in the Narmah highlands, Semiro County

منطقه تخلیه می‌شود. شکل ۵ نمایی از آبشار سمیرم را نمایش می‌دهد. در واقع مازاد آب این چشمه و زهکشی آهک‌هایی که در مسیر جریان آب هستند، تشکیل دهنده آب آبشار سمیرم می‌باشند و آبشار سمیرم نیز به‌عنوان بخشی از تخلیه آهک‌های این پهنه در نظر گرفته شده است. به‌علاوه، چاه‌های گرموک (۴ لیتر در ثانیه)، بردکان (۱۸ لیتر در ثانیه) و چاه‌های ۱ و ۲ آب و فاضلاب (مجموع دبی ۳۰ لیتر در ثانیه) نیز بخشی از آب این پهنه را برداشت می‌نمایند. جمع آبدهی منابع آب کارستی که مستقیماً این پهنه آهکی را تخلیه می‌نمایند ۴۳۵ لیتر بر ثانیه است که تخلیه سالیانه آن‌ها معادل ۱۳/۷ میلیون مترمکعب است.

از آهک‌های این پهنه منابع آب متعددی تخلیه می‌شوند که از آن جمله می‌توان به چشمه‌های گرموک (متوسط دبی ۲۸ لیتر در ثانیه)، آبشار سمیرم (۴۵ لیتر بر ثانیه)، خوانسار (۱۷۵ لیتر در ثانیه)، خان علی (۱۶ لیتر در ثانیه)، جاق جاق (۲۶ لیتر در ثانیه)، پنجاه منی (۳۶ لیتر در ثانیه)، تیموری (۱۵ لیتر در ثانیه)، مهرگان (۷ لیتر در ثانیه)، چهل چشمه مهرگرد (۱۷ لیتر در ثانیه)، صولک دهنسا (۹ لیتر در ثانیه) و نرمه (۱۵ لیتر در ثانیه) اشاره نمود. چشمه عزیزخان که دارای دبی حدود ۲۰ لیتر در ثانیه آبدهی دارد و آب آن جهت شرب شهر سمیرم منتقل شده است، در بالادست سرچشمه آبشار سمیرم واقع شده است و از آهک‌های



شکل ۵- الف

شکل ۵- ب

شکل ۵- الف) آبشار سمیرم (سمت راست) و ب) چشمه خوانسار در ورودی شهر سمیرم (سمت چپ)

Figure 5- a) Semiro Waterfall (right) and b) Khansar Spring at the entrance of Semiro city (left)

بیان آب‌های زیرزمینی پهنه سمیرم

یکی از روش‌های تعیین پتانسیل آب‌های زیرزمینی هر منطقه، بکارگیری بیان آب‌های زیرزمینی آن ناحیه است. به منظور تسهیل بررسی بیان محدوده‌های کارستی شهرستان سمیرم، یک پهنه بندی از کارست‌های دارای پتانسیل تامین آب صورت گرفت. با توجه به پارامترهای مختلفی از قبیل موقعیت پهنه کارستی در زون‌های زمین‌شناسی کشور، گسترش و پیوستگی سازندهای کارستی، تعداد و بزرگی چشمه‌های تخلیه‌کننده محدوده مورد نظر، ساختارهای زمین‌شناسی به‌ویژه گسل‌ها، مورفولوژی، ارتباط هیدروژئولوژی و غیره منطقه مورد مطالعه به پهنه‌هایی تقسیم‌بندی شد. لازم به ذکر است که پهنه سمیرم به گونه‌ای انتخاب شد که از نظر هیدروژئولوژی به‌عنوان یک واحد مستقل عمل نماید و ارتباط هیدروژئولوژیکی با دیگر پهنه‌ها نداشته باشد. در محاسبات بیان این پهنه کارستی، مجموع ورودی‌ها به سفره کارستی اعم از بارش‌ها، ورودی زیرزمینی از پهنه‌های مجاور اعم از تغذیه از منابع کارستی یا آبرفتی و ورودی سطحی از رودخانه‌هایی که پهنه کارستی را قطع می‌نمایند در نظر گرفته شده است. همچنین مجموع خروجی‌های پهنه شامل خروجی از چشمه‌ها، چاه‌ها و قنات‌ها، تخلیه به رودخانه‌های سطحی، تخلیه زیرزمینی به پهنه‌های کارستی و آبرفتی مجاور، تبخیر از منابع آب و تغییراتی که در ذخیره استاتیک و دینامیک آبخوان اتفاق می‌افتد، در محاسبات بیان لحاظ گردیده است. در این مطالعه بر اساس محدودیت‌های زمانی و مالی، تنها دو مرحله اندازه‌گیری و نمونه‌برداری از منابع آب انجام شده است که برای ارائه یک بیان اجمالی کفایت می‌نماید. از دیگر محدودیت‌هایی که در بررسی بیان در این منطقه وجود دارد، کم بودن و یا فقدان گمانه در داخل پهنه‌های کارستی و یا در حد فاصل آهک‌ها و دشت‌های مجاور است که باعث محدودیت در ارائه یک بیان دقیق می‌گردد. سطح و تراز آب گمانه‌ها در

محاسبه و برآورد تخلیه و یا تغذیه آب از (یا به) سفره کارستی بسیار حائز اهمیت است. همچنین در ارزیابی تغییرات ذخیره استاتیک و حتی دینامیک نقش مهمی ایفا می‌نماید. موضوع و مسئله تبخیر در محیط‌های کارستی به واسطه قرار گرفتن سطح آب سفره در اعماق زمین (معمولاً بیشتر از ۱۰ متر)، باعث می‌گردد که تبخیر از منابع آب کارست به حداقل برسد، اما عملکرد تبخیر بیشتر در فرایند نفوذ آب در هنگام تغذیه و همچنین زمان توقف آن در ناحیه اپی کارست^۱ یا ناحیه Subcataneous zone (Sauter, 1992) در نظر گرفته می‌شود که ممکن است آب مدت طولانی (حتی ماه‌ها) در خلل و فرج و درز و شکاف‌ها باقی بماند و پدیده تبخیر بر این آب‌ها اثر نماید. در واقع در این مطالعه عملکرد تبخیر در درصد نفوذ آب از بارش‌ها به سفره کارستی در نظر گرفته شده است. از آنجا که محاسبه بیان سفره‌های کارستی و تعیین مساحت و محدوده حوزه آبخیز چشمه‌های کارستی ارتباط تنگاتنگی دارند، در ادامه ابتدا به روش محاسبه حوزه آبخیز چشمه‌های کارستی پرداخته شده و سپس بیان هر یک از پهنه‌ها و مساحت و مرز تقریبی چشمه‌های کارستی مهمی که در آن پهنه قرار گرفته‌اند، ارائه گردیده تا بتوان بر اساس این بررسی‌ها در بخش تعیین محل‌های مناسب جهت حفر چاه کارستی بهره‌برداری نمود.

روش محاسبه مساحت حوزه آبخیز چشمه‌ها

برای محاسبه مساحت حوزه آبخیز بایستی میزان آبدهی متوسط چشمه تعیین گردد. برای این کار در طی یکسال یا دوره بیان میزان حجم تخلیه چشمه محاسبه می‌شود. در چشمه‌های منطقه، آمار آبدهی در دو فصل تر و خشک سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، به‌عنوان متوسط آبدهی چشمه در دوره بیان جهت محاسبات تعیین مساحت حوزه آبخیز استفاده شده است. لازم به ذکر است که سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ یک سال کم‌باران بوده و بارش‌ها به‌خصوص به شکل برف در منطقه کم اتفاق افتاده است.

با استفاده از رابطه (۱) مساحت حوزه آبخیز چشمه محاسبه می‌گردد که محدوده این مساحت با در نظر گرفتن معیارهایی ترجیحاً از نواحی مجاور و نزدیک به چشمه تعیین می‌گردد (Karimi, 2003):

$$A=Q/PI \quad (1)$$

در این رابطه A: مساحت حوزه آبخیز چشمه (Km^2)، Q: حجم تخلیه چشمه بر حسب میلیون مترمکعب در سال (MCM)، P: بارندگی متوسط (m) و I: درصد نفوذ بارندگی در سیستم کارستی. بر اساس منحنی‌های هم‌باران به دست آمده برای منطقه مورد مطالعه در بخش هواشناسی، و بر اساس بارندگی ایستگاه‌های بارندگی در سال بیلان، میزان بارندگی در پهنه یا توده‌های تامین کننده آب چشمه‌ها برآورد شد.

درصد نفوذ تابع عوامل متعددی چون وجود یا عدم وجود آب‌فروچاله، تعداد (تراکم) درز و شکاف‌ها، میزان بازشدگی شکاف‌ها، میزان و نوع پرشدگی آن‌ها، درصد وضخامت پوشش خاک و دانه‌بندی آن، شیب لایه‌ها، نوع نزولات جوی و توزیع زمانی بارش آن‌ها، شدت بارندگی، درجه حرارت، پوشش گیاهی و غیره می‌باشد که در محاسبات نفوذ آب این پهنه کارستی در نظر گرفته شده است تا مساحت تعیین شده به واقعیت نزدیکتر باشد. چنانچه راهی برای تصمیم نهایی برای درصد نفوذ وجود نداشته باشد، درصد نفوذهای مختلف را برای محاسبه حوزه آبخیز بکار برده و با یک عدم اطمینان، حوزه آبخیز تعریف می‌شود تا در صورت نیاز با روش‌های تکمیلی مانند ردیابی، مرز دقیق‌تر حوزه آبخیز مشخص گردد. تعیین پارامتر درصد نفوذ بطور دقیق بسیار مشکل می‌باشد. بر اساس تجارب موجود در سازندهای کارستی ضریب نفوذ در سایر مناطق بین ۳۰ تا ۹۰ درصد تغییر می‌کند (Rahnamayi, 1994; Karimi, 1997; Raeisi, 1999; Dastranj & Jafari Aghdam, 2019; Ghadimi & Zanganeh Tabar, 2019).

لازم به ذکر است عوامل چینه‌شناسی یا ساختاری و ساختمانی به گونه‌ای عمل نموده‌اند که پهنه‌ها با هم ارتباط هیدروژئولوژیکی چندانی ندارند و هر پهنه بطور

مستقل از دیگر پهنه‌ها عمل می‌نمایند. بیلان‌ها بر اساس اندازه‌گیری تنها دو مرحله آبدهی در فصل تر و خشک می‌باشد. به علاوه، تنها چشمه‌های مهم و بزرگ منطقه که آبدهی بیشتر از ۵۰ لیتر در ثانیه داشته باشند، مورد اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند و به همین خاطر که کلیه تخلیه‌های پهنه کارستی مورد اندازه‌گیری قرار نگرفته است، این بیلان‌ها بصورت حدودی و تخمینی بوده، اما از آنجا که هدف از این مطالعه تعیین پتانسیل پهنه کارستی سمیرم جهت تعیین محل حفر چاه و برداشت آب از سفره‌های کارستی می‌باشد، از این لحاظ بیلان ارائه شده جهت اهداف مطالعه کفایت می‌نماید. حجم آب ورودی به هر سازند و توده کارستی در پهنه موردنظر از حاصل ضرب مساحت توده در بارش سالانه اتفاق افتاده روی توده در درصد نفوذ در نظر گرفته شده بر اساس رابطه (۲) محاسبه شده است:

$$V_{in}=A \cdot P \cdot I \quad (2)$$

که در این رابطه V_{in} : حجم آب ورودی به توده یا پهنه کارستی (میلیون مترمکعب)، A: مساحت پهنه آهکی (کیلومتر مربع)، P: متوسط بارش سالانه بر روی توده یا پهنه کارستی (متر) و I: درصد نفوذ آب ورودی به پهنه یا توده کارستی (درصد) می‌باشد. همانگونه که ذکر شد، مهمترین سازندهای زمین‌شناسی این پهنه، سازندهای آسماری و شهبازان می‌باشند. سازندهای تاربور، K2 و بختیاری نیز بطور محدود در این پهنه رخنمون پیدا کرده‌اند. با توجه به اینکه گسل اصلی راندگی زاگرس از این پهنه عبور کرده است خردشدگی و درهم‌ریختگی زمین‌شناسی زیادی در آن اتفاق افتاده است و مجاورت برخی سازندها به صورت گسلی است. بعضی از سازندها پیوستگی ندارند و به صورت تکه‌تکه در منطقه گسترش یافته‌اند؛ از این نمونه می‌توان به سازند K2 در شمال قره آقاچ اشاره نمود که همین مسئله باعث شده است چشمه مشخص و بزرگی از آن خارج نشود و آب‌ها به صورت پراکنده از چشمه‌های کوچک تخلیه گردد. مساحت، برآورد درصد نفوذ، بارش هر سازند و حجم آب ورودی هر یک از این سازندها محاسبه و در جدول بیلان ارائه شده است (جدول ۱).

جدول ۱- بیان اجمالی پهنه کارستی سمیرم

Table 1- General water balance of the Semirrom karst region

پتانسیل تخلیه به آبرفت بر اساس گزارشات (MCM)	تخلیه به آبرفت یا پهنه‌های مجاور (MCM)	تخلیه چشمه‌ها (MCM)	دبی چشمه‌ها (l/s)	حجم آب ورودی به پهنه (MCM)			بارش (mm)	مساحت (km ²)	آهک
				نفوذ %50	نفوذ %40	نفوذ %30			
				16.6			415	100.8	آسماری
				22.4			430	130.5	شهبازان
بخشی از تخلیه به دشت مهرگرد را شامل می‌شود	36	13.7	435			5.6	420	45	بختیاری
				2.4			350	17	K2
				2.7			400	17	تاربور

آبشار را آبیاری می‌کنند (شکل ۶). همچنین از آهک‌های آسماری در محل آبشار، چشمه‌های کوچکی تخلیه می‌گردد. گسل نرمه در سازندهای آسماری و شهبازان در بخش غربی این پهنه عمل نموده است و رودخانه کاسگان نیز در انتهای غربی این پهنه و در مرز استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری با این آهک‌ها در تماس می‌باشد. این گسل مهم و طولانی می‌تواند بخشی از آب این پهنه را به سمت رودخانه کاسگان و حتی خارج از پهنه به طرف گسل شمالی- جنوبی دنا هدایت کند. این گسل‌ها به همراه گسل‌های عرضی فرعی که در منطقه وجود دارند در انتقال آب‌های این پهنه به طرف پهنه‌های پایین‌تر و حتی چشمه‌های دوردست مانند سنگان هدایت نماید.

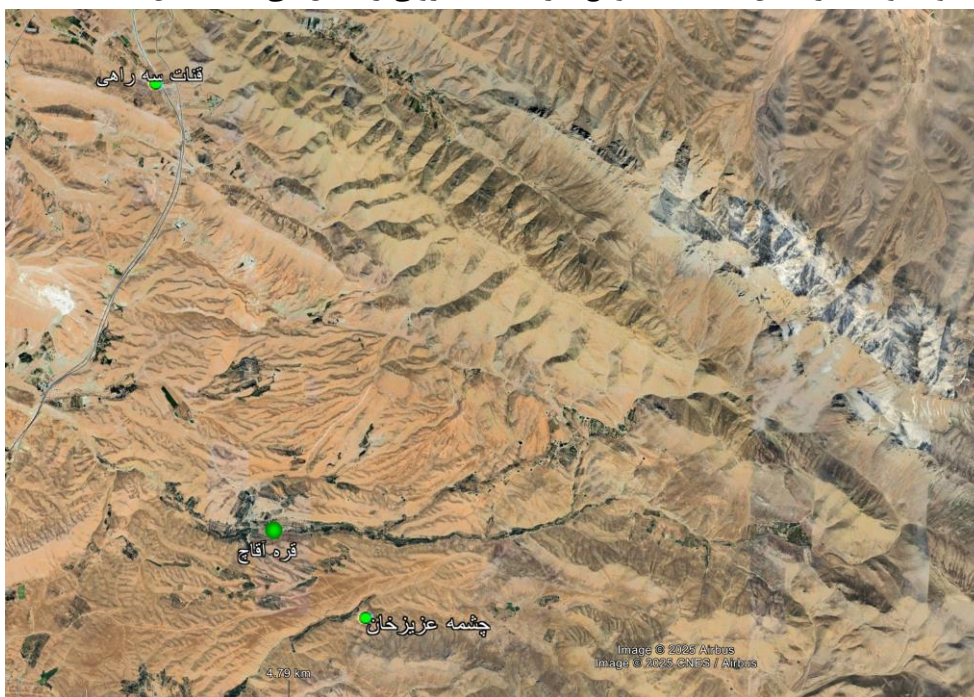
عملکرد گسل شمالی- جنوبی دنا می‌تواند در این انتقال آب‌ها نقش مهمی را بازی نماید. بیان دشت مهرگرد نشان داده است که تغذیه از آهک‌های مجاور در این دشت صورت می‌گیرد که بخشی از این تغذیه از طریق ارتفاعات جنوب دشت (پهنه سمیرم) صورت می‌گیرد. وجود قنات‌ها، چشمه‌ها و چاه‌های آبرفتی در حوالی مهرگرد و حاشیه این ارتفاعات بیانگر تخلیه زیرزمینی بخشی از این آهک‌ها به این دشت‌ها است. این پهنه

از کوه آبدراز که در شمال و شمال شرق قره آقاچ قرار دارد، چشمه‌های کوچک و قنات‌های متعددی تخلیه می‌شود که هم تامین کننده آب رودخانه قره آقاچ است و هم باغات فراوانی که در این محدوده قرار دارد را آبیاری می‌نماید. شکل ۶ تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث از باغات و اراضی کشاورزی در محدوده قره آقاچ که آب آن‌ها از چشمه‌ها تغذیه می‌شود را به نمایش گذاشته است. اگرچه چشمه مهمی در بالادست حوضه آبریز رودخانه قره آقاچ قرار ندارد اما در بیشتر اوقات سال رودخانه قره آقاچ در محل ایستگاه پل بردکان دارای دبی پایه بوده که نشانگر مشارکت آب‌های تخلیه شده از آهک‌های شمال ناحیه قره آقاچ در تامین این آبدهی است.

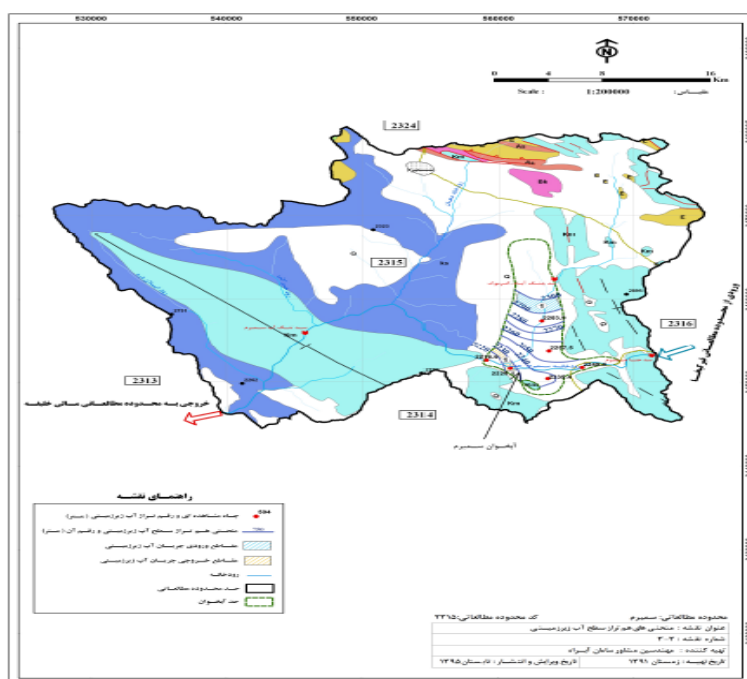
چشمه عزیزخان که در مسیر بالادست آبشار سمیرم قرار دارد، با دبی حدود ۲۰ لیتر در ثانیه آب شرب شهر سمیرم را تامین می‌نماید. مازاد آب چشمه عزیزخان و زهکشی آهک‌های پایین‌دست آن به طرف آبشار سمیرم حرکت می‌کند؛ بنابراین می‌توان گفت که آبشار سمیرم نیز به‌طور تجمعی آب‌های زهکشی شده از آهک‌های بالادست خود را تخلیه می‌کند؛ ضمن اینکه این آب‌ها، اضافه بر آب‌هایی هستند که باغات بالادست

شمال دشت در تغذیه آبخوان آبرفتی می‌باشد (Saman Abrah Consulting Engineers, 2016). همچنین این دشت نیز با برداشت بی‌رویه از منابع آب آبرفتی مواجه بوده و هیدروگراف واحد دشت یک روند نزولی را نشان می‌دهد (شکل ۸).

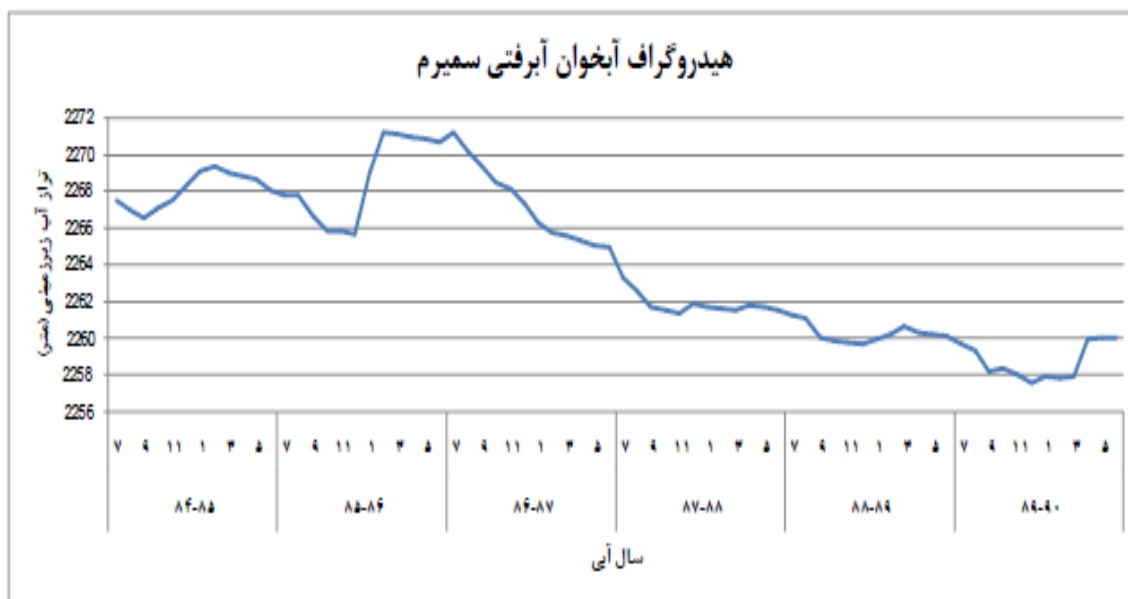
دارای محل‌های مناسبی جهت بهره‌برداری با حفر چاه می‌باشد که در بخش حفاری‌های پیشنهادی، محل‌های مناسب شده است. نقشه‌های ایزوپتانسیل دشت سمیرم (شکل ۷) نشان داد که جهت جریان از سمت شمال به طرف جنوب بوده و بیانگر نقش آهک‌های واقع در



شکل ۶- محدوده ارتفاعات آبدراز در شمال شرق قره آقاج و تخلیه متفرقه آب‌ها در حوزه آبریز رودخانه قره آقاج
Figure 6- The Abderaz highlands in the northeast of Qara Aghach and the scattered drainage of waters in the Qara Aghach river basin



شکل ۷- نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی دشت سمیرم (Saman Abrah Consulting Engineers, 2016)
Figure 7- Groundwater equipotential map of the Semirum plain (Saman Abrah Consulting Engineers, 2016)



شکل ۸- هیدروگراف واحد سفره آبرفتی دشت سمیرم (Saman Abrah Consulting Engineers, 2016)
 Figure 8- Unit hydrograph of the alluvial aquifer of the Semirom plain (Saman Abrah Consulting Engineers, 2016)

شمال و شمال غرب شهر سمیرم در آهک‌های جنوب دریاچه سد قره آقاچ تا نزدیک ارتفاعات نرمه می‌باشد. محدوده تقریبی حوزه آبخیز این چشمه‌ها و چاه‌ها بر روی تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث در شکل ۹ نشان داده شده است.

بخش شرقی پهنه توسط چشمه و چاه گرموک و همچنین آبشار سمیرم اساساً تخلیه می‌شود و بخش غربی پهنه تامین کننده آبدهی چشمه‌های مهرگان، تیموری، صولک دهنسا، نرمه، چهل چشمه در بخش شمالی و چشمه‌های جاق جاق و پنجاه منی در بخش جنوبی این پهنه می‌باشد. بخشی از تخلیه آهک‌ها در بخش جنوب غربی پهنه از طریق چشمه‌های کوچک ناحیه عقدک تخلیه می‌شود و تامین کننده آب باغات این محدوده است. شکل ۱۰ تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث این ناحیه را نشان می‌دهد که پوشش سبز (باغات) این محدوده بیانگر این موضوع است.

حوزه آبخیز چشمه‌های مهم پهنه سمیرم: مهمترین چشمه کارستی که در این پهنه قرار دارد، چشمه خوانسار در محل ورودی شهر سمیرم از سمت شهرضا می‌باشد. اگرچه این چشمه از سازند جهرم تخلیه می‌شود، اما ارتباط هیدرولیکی آن با سازند آسماری برقرار است. زیرا هیچ مانع هیدروژئولوژیکی بین آن‌ها وجود ندارد. از طرف دیگر، در محدوده حوزه آبخیز چشمه خوانسار، منابع آب دیگری نیز وجود دارد که حوزه آبخیز آن‌ها با چشمه خوانسار مشترک می‌باشد. این منابع آب شامل چشمه خان‌علی، چاه بردکان و چاه‌های ۱ و ۲ سمیرم که در بالادست چشمه خوانسار قرار دارند، می‌باشند. مجموع آبدهی این منابع آب ۲۳۹ لیتر بر ثانیه است. با احتساب میانگین بارش ۴۲۰ میلی‌متر برای این محدوده و ضریب نفوذ ۴۰ درصد، مساحتی در حدود ۴۴/۶ کیلومتر مربع برای این چشمه و منابع آب داخل حوزه آبخیز آن به دست می‌آید. این مساحت در برگیرنده آهک‌های آسماری و شهبازان در



شکل ۹- محدوده حوزه آبخیز چشمه خونسار و منابع آب مجاور آن بر روی تصویر ماهواره‌ای

Figure 9- Catchment area of the Khansar Spring and its adjacent water sources on satellite image



شکل ۱۰- تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث ناحیه عقدک

Figure 10- Google earth satellite image of the Aghdak area

سمیرم، محل‌های مناسب جهت حفاری و بهره‌برداری آب به شرح جدول ۲ ارائه شده است. شکل ۱۱ تصویر ماهواره‌ای محل‌های تعیین شده را نشان می‌دهد.

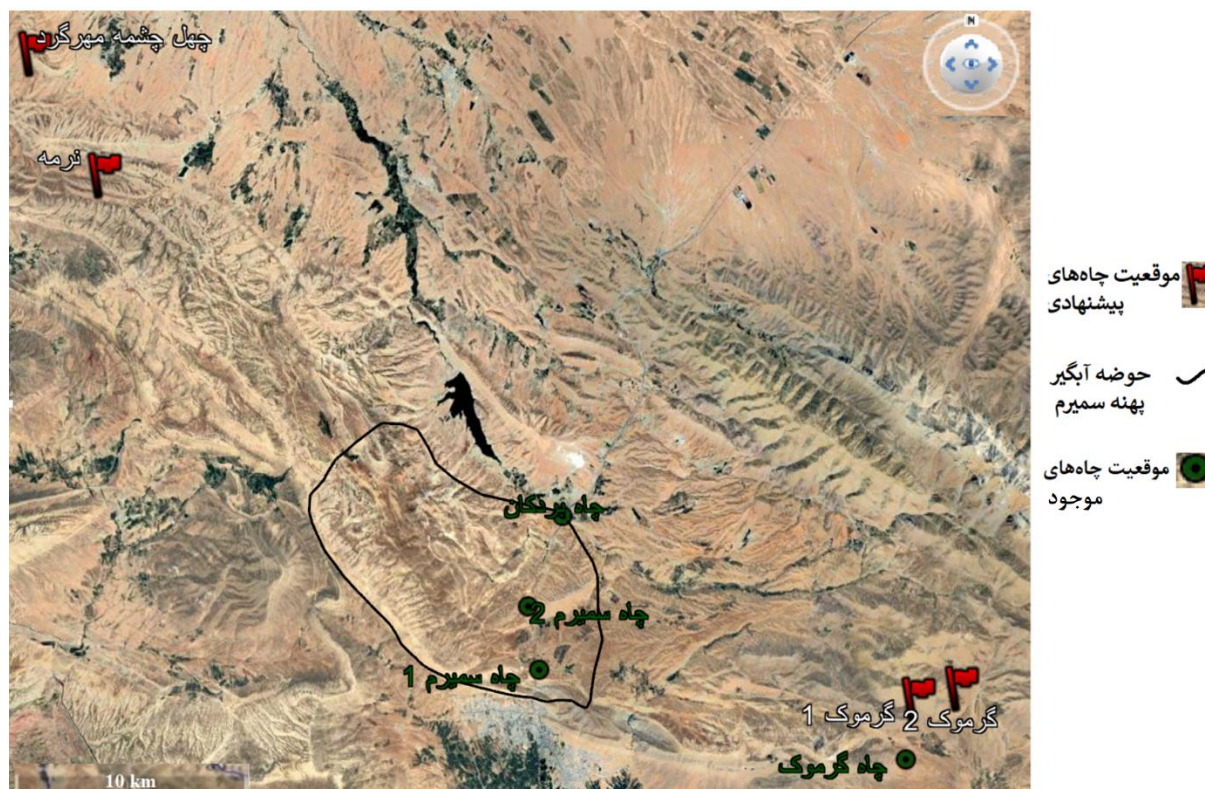
نتایج

با در نظر گرفتن پارامترهایی که در تعیین محل چاه مناسب هستند و همچنین با عنایت به بیان پهنه

جدول ۲- موقعیت‌های مناسب جهت حفاری در سمیرم

Table 2- Suitable locations for drilling in the Semirrom region

ردیف	نام نقطه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سازند	عمق پیشنهادی (m)	نام محدوده	کد محدوده	تراز دهانه چاه
1	جنوب غرب نرمه	540663	3492226	شهبازان	150	کمه	2314	2610
2	چهل چشمه مهرگرد	538203	3496133	آسماری	150	کمه	2314	2385
3	گرموک ۱	556828	3475869	شهبازان	120	سمیرم	2315	2607
4	گرموک ۲	568208	3476221	آسماری	130	سمیرم	2315	2579



شکل ۱۱- تصویر ماهواره‌ای محل‌های مناسب حفر چاه در پهنه سمیرم

Figure 11- Satellite image of the suitable locations for well drilling in the Semirrom region

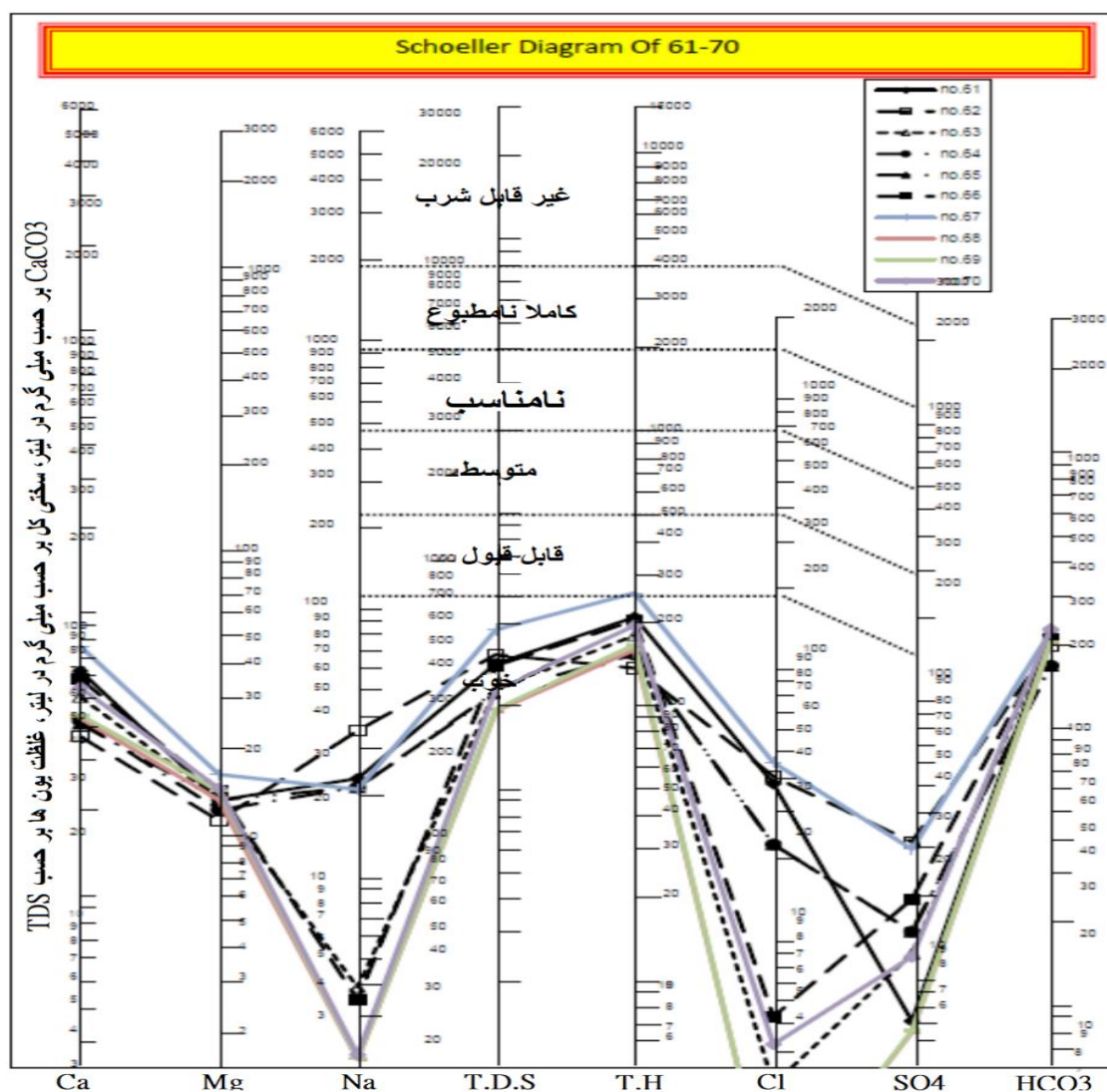
پیشنهادی جهت حفاری و پمپاژ جهت تامین بخشی از آب شرب شهرستان سمیرم و شهرضا از نظر کیفیت، مناسب شرب می‌باشد. کم بودن میزان تغییرات در این دو مرحله اندازه‌گیری احتمالاً به دلیل آن است که اندازه‌گیری‌ها در یک سال کم بارش انجام شده است. با توجه به اینکه گسل نرمه در بخش غربی این منطقه، در درون سازندهای آسماری و شهبازان فعال است و نیز رودخانه کاسگان در انتهای غربی پهنه و در مرز استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری با واحدهای آهکی تماس دارد، می‌توان نتیجه گرفت که این جریان بلند و مهم، مسیر مناسبی برای هدایت بخشی از جریان

در صورت موفق بودن چاه جنوب غرب نرمه با فواصل حدود ۵۰۰ متر، می‌توان چاه‌های دیگری در غرب این نقطه حفاری نمود. زیرا آب‌های این بخش به طرف رودخانه کاسگان منتقل و به بیرون از شهرستان (به طرف چشمه‌های مالخلیه و سندگان) زهکشی می‌گردد. حفر چاه‌های گرموک باعث تاثیر بر کاهش آبدهی چشمه گرموک می‌شوند. از جهت دیگر، نمودار شولر (شکل ۱۲) بیانگر آن است که املاح چشمه‌های منطقه همگی در حد پایینی بوده، عاملی که باعث کاهش کیفیت آب چشمه‌ها گردد، در منطقه وجود ندارد و در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که نقطه

پیزومترهایی که بر اساس نتایج این مطالعه پیشنهاد گردیده‌اند در جدول ۲ ارائه شده است. شکل ۱۲ موقعیت چاه‌های بهره‌برداری پیشنهادی را در منطقه مطالعه نشان می‌دهد. موقعیت این پیزومترها بر روی نقشه جغرافیایی منطقه به صورت یک لایه اطلاعاتی افزوده شده است.

همچنین برای بهره‌برداری از آب‌های کارستی منطقه، علاوه بر کمیت، بایستی کیفیت آن نیز بررسی شود. جهت تعیین قابل شرب بودن آب‌های منطقه، پارامترهای هیدروشیمی آب‌ها بررسی گردید و نتایج آن به صورت نمودار شکل ۱۱ نشان داده شده است.

آب این منطقه به‌سوی رودخانه کاسگان و حتی فراتر از آن، به سمت گسل دنا با امتداد شمالی-جنوبی فراهم می‌آورد. همچنین، این گسل به همراه گسل‌های فرعی با امتداد عرضی موجود در منطقه، نقش مؤثری در انتقال آب به نواحی پایین‌دست و حتی چشمه‌هایی در فاصله‌های دورتر نظیر سنگان ایفا می‌کند. به منظور شناخت لایه‌های مختلف سفره‌های کارستی، پایش نوسانات سطح آب زیرزمینی در داخل آن‌ها، ارزیابی اثر بهره‌برداری و پمپاژ از سفره کارستی نو بررسی ارتباط هیدرولیکی و هیدروژئولوژیکی آن‌ها با سفره‌های آبرفتی مجاور، نیاز به حفر پیزومترهایی در داخل سفره‌های کارستی است که موقعیت برخی از



شکل ۱۱- دیاگرام شولر منابع آب منطقه مورد مطالعه

Figure 11- Schuler diagram of the water resources in the study area

بحث و نتیجه گیری

نتایج ارائه شده در این مطالعه نشان می‌دهد که پهنه سمیرم دارای چندین نقطه مناسب برای حفاری چاه‌های آب شرب است که بر اساس پارامترهای ژئومورفولوژیکی، هیدروژئولوژیکی و بیلان منطقه انتخاب شده‌اند. محل‌های پیشنهادی نشان‌دهنده توزیع متعادل چاه‌ها در مناطق آسماری و شهبازان است که می‌تواند تنوع شرایط هیدروژئولوژیکی را پوشش دهد. این نقاط توزیعی متعادل در بین دو سازند اصلی منطقه، یعنی آسماری و شهبازان، دارند که امکان بهره‌برداری متنوع از شرایط هیدروژئولوژیکی مختلف را فراهم می‌سازد. در پژوهش‌های پیشین از روش‌های مختلفی برای مکان‌یابی منابع آب زیرزمینی همچون روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و فازی، روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر مقایسات زوجی، استفاده شده است (Shaban et al., 2004; Bauer et al., 2005; Martínez-Santos & Andreu, 2010; Jukić & Denić-Jukić, 2008; Barmaki et al., 2015; Moradi et al., 2016; Vaezi Heir et al., 2018; Zia et al., 2019; Mokarram & Neghaban, 2019; Rasouli et al., 2020; Pour Akbari et al., 2020; Sepehri Pour, 2021; Rezaei Arefi et al., 2025). هرچند این روش در برخی مطالعات موفق بوده است، اما وابستگی شدید آن به نظر کارشناسان و تأثیرگذاری وزن‌دهی‌های ذهنی بر نتایج، دقت آن را کاهش می‌دهد. در مقابل، روش این تحقیق بر داده‌های بیلان واقعی آب و داده‌های زمین‌شناسی تکیه دارد و از محدودیت‌های ذهنی روش AHP فاصله می‌گیرد. روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای روش دیگری است که برخی محققان از آن برای اولویت‌بندی مکان‌های مناسب جهت حفر چاه استفاده کرده‌اند (Jukić & Denić-Jukić, 2008). این روش نسبت به AHP برتری دارد زیرا وابستگی بین معیارها را در نظر می‌گیرد، اما همچنان به دلیل وابستگی به ورودی‌های کارشناسی دارای محدودیت‌هایی است. مطالعه حاضر از مدل بیلان آبخوان استفاده کرده است که بدون نیاز به مقایسه‌های ذهنی، مستقیماً از داده‌های منطقه‌ای استفاده می‌کند که دقت نتایج در این روش بالاتر و قابل اعتمادتر است.

مدل‌سازی عددی و تحلیل‌های مبتنی بر GIS از دیگر روش‌هاست که برخی مطالعات از این مدل‌ها برای تحلیل آبخوان‌های کارستی استفاده کرده‌اند (Martínez-Santos & Andreu, 2010; Vaezi Heir et al., 2018). مزیت این روش‌ها در توانایی پیش‌بینی رفتار آبخوان است، اما پیچیدگی و نیاز به داده‌های گسترده، اجرای آن را دشوار می‌سازد. در مقابل، روش مورد استفاده در این پژوهش با تحلیل بیلان آب و بررسی دقیق سازندهای زمین‌شناسی، راهکاری عملی و سریع برای مدیریت منابع آب ارائه می‌دهد. در مقایسه با مطالعات پیشین، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از روش تحلیل بیلان آب زیرزمینی و ارزیابی دقیق زمین‌شناسی منطقه خصوصاً مناطق کارستی، اطلاعات ارزشمندی از کیفیت و کمیت آب زیرزمینی برای مکان‌یابی چاه‌های بهره‌برداری ارائه می‌دهد. بررسی کیفیت آب و پایداری آن در طول دو مرحله اندازه‌گیری در این پهنه نیز حاکی از وجود شرایط مناسب برای مصارف شرب و کشاورزی است. همانگونه که Ford و Williams (۲۰۰۷) بیان کردند آب‌های مناطق کارستی کیفیت بالایی داشته و برای شرب مناسب‌اند. یکی از نکات قابل توجه، نقش کلیدی گسل‌های نرمه و دنا در هدایت و تخلیه آب‌های زیرزمینی منطقه است. وجود این گسل‌ها، که در تماس مستقیم با رودخانه کاسگان و پهنه‌های همجوار هستند، می‌تواند در انتقال و تخلیه آب نقش مؤثری داشته باشد. همانگونه که مطالعه (Maqsoudi et al., 2009) نشان داد گسل‌ها و شکستگی‌های متعدد در منطقه بیستون در انتقال آب پهنه‌های کارستی نقش اصلی را بازی می‌کنند. البته که روش کنونی نسبت به بررسی ذخیره دینامیک آبخوان که در مطالعه بر روی کارست بیستون انجام گرفته است روشی دقیق‌تر و جامع‌تر است. این مسئله توسط (Tahouni, 1995) نیز در منطقه دشت ارژن بررسی شده است، در جایی که گسل‌ها نقش اصلی انتقال آب را به این دشت دارند؛ بنابراین، اهمیت پایش و مطالعه دقیق‌تر رفتار این گسل‌ها به‌ویژه در شرایط بارشی مختلف مورد تأکید

هیدروژئولوژیکی همخوانی دارد. مقایسه این یافته‌ها با مطالعات پیشین نشان داد که روش مورد استفاده در این پژوهش به دلیل تمرکز بر داده‌های واقعی منطقه‌ای و کاهش وابستگی به ورودی‌های کارشناسی، دقت بالاتری در مکان‌یابی چاه‌ها دارد. برای تحقیقات آینده، پیشنهاد می‌شود از روش‌های ترکیبی شامل تحلیل بیلان آبخوان و مدل‌سازی عددی استفاده شود تا به بهبود مدیریت منابع آب زیرزمینی در مناطق کارستی و افزایش پایداری تأمین آب کمک کند. همچنین مطالعات ردیابی رنگی و ایزوتوپی برای بررسی مسیرهای جریان آب زیرزمینی می‌تواند الهام بخش باشد. پایش بلندمدت کیفیت و کمیت آب‌های کارستی نیز جهت بهینه‌سازی بهره‌برداری منابع می‌تواند انجام گیرد. ضمناً این تحقیق می‌تواند به‌عنوان الگویی مناسب برای ارزیابی سریع و کاربردی منابع آب کارستی در سایر مناطق مشابه کشور مورد استفاده قرار گیرد. لازم به ذکر است که توصیه می‌گردد عمق حداقل پیزومترها به گونه‌ای باشد که یا تا سنگ بستر (سازند نفوذناپذیر زیرین) و یا تا حدود ۵۰ متر زیر تراز آب سفره کارستی تداوم یابد.

انجام آزمایش‌های ردیابی رنگی و ایزوتوپی می‌تواند اطلاعات بیشتری در خصوص منابع اصلی آب‌های زیرزمینی منطقه و مسیرهای دقیق حرکت آن‌ها فراهم نماید. یکی از مزایای اصلی روش این مطالعه، استفاده از داده‌های بیلان آب زیرزمینی و بررسی مستقیم پارامترهای هیدروژئولوژیکی منطقه است که باعث کاهش وابستگی به قضاوت‌های کارشناسی می‌شود. همچنین، بررسی کیفیت آب در دو مرحله نمونه‌برداری، اطلاعات دقیقی درباره پایداری منابع آبی ارائه داده است. با این حال، محدودیت‌هایی نیز در این روش وجود دارد از جمله این که روش تحلیل بیلان نیازمند داده‌های دقیق و طولانی‌مدت از میزان ورودی و خروجی آب به آبخوان است که در برخی موارد با چالش‌هایی همراه است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، مدل‌سازی عددی به‌عنوان یک روش مکمل به کار گرفته شود تا ارزیابی جامع‌تری از پتانسیل آبخوان‌ها انجام شود. نتایج این پژوهش نشان داد که منطقه کارستی سمیرم دارای پتانسیل بالایی برای تأمین آب شرب و کشاورزی است و مکان‌های پیشنهادی برای حفر چاه با داده‌های

References

- Afrasiabian, A. (1998). *The Importance of Karst Water Resources Studies and Research in Iran*. In Proceedings of the Second World Conference on Water in Karst Formations, Kermanshah. <http://doi.org/10.1007/s00254-006-0502-z>
- Andualem, T.G., & Demeke, G.G. (2019). Groundwater potential assessment using GIS and remote sensing: A case study of Guna tana landscape, upper blue Nile Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 24, 100610. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100610>
- Bahrami, S., Sarouei, H., & Souri, S. (2018). Identification of Karst Water Resources Potential Using Fuzzy Hierarchical Method (Case Study: Sefidkuh Anticline, Lorestan Province). *Scientific Quarterly of Water Resources Engineering*, 11(39), 35–44. (In Persian)
- Bauer, S., Liedl, R., Sauter, M., (2005). Modeling the influence of epikarst evolution on karst aquifer genesis: A time-variant recharge boundary condition for joint karst-epikarst development, *Water Resources Research*, 9, 41. <http://doi.org/10.1029/2004WR003321>
- Dashti Barmaki, M., Rezaei, M., & Ashjari, J. (2015). Potential Assessment of Karst Water Resources in Dovan and Shapur Mountains Based on Multi-Criteria Decision Making. *Iranian Water Research*, 9(1), 89–100. (In Persian).
- Dastaranj, A., & Jafari Aghdam, M. (2019). Modeling Groundwater Recharge in Dalahoo Karst Aquifer Using KARSTLOP Model. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Information*, 28(112), 231–249. (In Persian). <https://doi.org/10.22131/sepehr.2020.38618>
- Ford, D. C., & Williams, P. W. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Chichester, UK: Wiley. <http://doi.org/10.1002/9781118684986>

- Ghadimi, M., & Zangeneh Tabar, S. (2019). Evaluation of Suitable Areas for Karst Aquifer Recharge in Parav-Bisotoun Using KARSTLOP Model. *Quantitative Geomorphological Research*, 8(1), 1–15. (In Persian)
- Ghobadi, M. (2007). Engineering Geology. First Edition. *Hamedan: Bu-Ali Sina University Press*. <https://doi.org/10.22067/jsw.2024.87603.1402> (In Persian)
- Jafari, G., & Fouladi, N. (2024). The potential of water outflow from the Zagros folds into the Persian Gulf drainage basin. *Geography and Environmental Planning*, 35(2), 1–22. <https://doi.org/10.22108/gep.2024.137318.1577> (In Persian)
- Janža, M. (2010). *Hydrological modeling in the karst area, Rižana spring catchment, Slovenia. Environmental Earth Sciences*, 61(5), 909-920. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0406-9>
- Jukić, D., Denić-Jukić, V. (2008). Estimating parameters of groundwater recharge model in frequency domain: Karst springs Jadro and Žrnovnica. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(22), <https://doi.org/10.1002/hyp.7057>
- Karimi, A.R (2024). Comparison of The Exploitation Methods of Zamkan Dam Water Leakage from an Economic Point of View. *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 4 (2), 149-160. <https://doi.org/10.22077/jaaq.2024.7435.1070> (In Persian)
- Karimi, H. (1997). *Hydrogeological and Hydrochemical Study of Springs and Piezometers in Poodeno Anticline, Firouzabad*. Master's Thesis, Shiraz University, Department of Geology. (In Persian)
- Karimi, H. (2003). Hydrogeological Behavior of Alvand basin karst aquifers, Kermanshah, *Unpublished Ph.D. Thesis, Shiraz University*. (In Persian)
- Karimi, H., & Karimi, A. (2022). *Potential Assessment of Water Resources in Hard Formations (Karst) in South of Isfahan Province*. Isfahan Regional Water Company. Research Project, University of Ilam. (In Persian)
- Kuhta, M., Brkić, Ž., & Stroj, A., (2012). Hydrodynamic characteristics of Mt. Biokovo foothill springs in Croatia, *Geologia Croatica*, 1, 65, 41-52. <http://doi.org/104154/gc.2012.03>
- Mangin, A. (1984). Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale. *Journal of Hydrology*, 67(1-4), 25-43. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(84\)90230-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(84)90230-0)
- Maqsoodi, M., Haji Karimi, A., Safari, F., & Chahar Sarahi, Z. (2009). Study of Karst Development in Parav-Bisotoun Massif Using Recession Coefficient, Spring Hydrograph Analysis, and Isotopic and Chemical Results. *Journal of Physical Geography Research*, 78(13), 12–28. (In Persian)
- Martínez-Santos, P., & Andreu, J. M. (2010). Lumped and distributed approaches to model natural recharge in semiarid karst aquifers. *Journal of Hydrology*, 388 (3–4), 389–398. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.05.018>
- Martínez-Santos, P., & Andreu, J.M., (2010). Lumped and distributed approaches to model natural recharge in semiarid karst aquifers. *Journal of hydrology*, 3-4, 388, 389-398. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.05.018>
- Mokarram, M., & Neghaban, S. (2019). Investigation and Identification of Areas with Potential for Karstification Using Fuzzy Method and Hierarchical Analysis Model. *Geography and Environmental Planning*, 30(2), 121–134. <https://doi.org/10.22108/gep.2019.118017.1171> (In Persian)
- Moradi, S., Kalantari, N., & Charchi, A., (2016). Karstification Potential Mapping in Northeast of Khuzestan Province, Iran, using Fuzzy Logic and Analytical Hierarchy Process (AHP) techniques, *Geopersia*, 2(6), 265-282. <https://doi.org/10.22059/jgeope.2016.58671>
- Nakhaei, A., Zangeneh Asadi, M. A., Behniafar, A., & Goli Mokhtari, L. (2023). Zoning of karst development in the Baghamch-Kashafrud watershed using the fuzzy logic ANP model. *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 11(4), 230–255. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2023.346563.1362> (In Persian)

- Naseri, H. (1991). *Engineering Geology of Carbonate Formations in Iran*. Tehran: University of Tehran Press. (In Persian)
- Pourakbari, S., Kalantari, N., Aghdaki, Y., & Mosleh, A. (2020). Potential Assessment of Karst Water Resources Using RS, GIS, and AHP (Case Study: Lili and Keyno Anticlines in Northeast Khuzestan). *Scientific Quarterly of Water Resources Engineering*, 13(45), 99–112. <https://doi.org/10.22034/hydro.2022.48953.1254> (In Persian)
- Pourhaghi, A., Akhondali, A.M., Radmanesh, F., & Mirzaee, S.Y. (2014). Manage the groundwater sources exploration of the nourabad plain in the drought conditions with modflow modeling. *Irrigation sciences and engineering (jise) (Scientific Journal of Agriculture)*, 37(2), 71-82. (In Persian)
- Radulovic, M., Stevanovic, Z., & Radulovic, M. (2012). A new approach in assessing-recharge of highly karstified terrains—Montenegro case studies. *Environmental Earth Sciences*, 65(8), 2221-2230. <http://doi.org/10.1007/s12665-011-1378-0>
- Rahnamayi, M. (1994). *Study of Infiltration and Runoff Phenomena in Karstic Carbonate Rocks*. Master's Thesis, Shiraz University, Department of Geology. (In Persian)
- Rasouli, A., Emami, K., Babakhani, Z., & Golshanizad, S. (2020). Karst development zoning to identify karst water resources using Fuzzy logic model and AHP (Takab Basin). *Geography and Human Relationships*, 2(4), 240-253. (In Persian)
- Reisi, A. (1999). *Method of Calculating the Water Balance of Karst Waters in the Simple Folded Zones of Zagros*. In First Regional Conference on Water Balance, Ahvaz, 39–49. (In Persian)
- Rezaeiarefi, M., Motamedirad, M., Taghavimoghadam, I., & Sadeghi, M. (2024). Finding the potential of karst water resources in Birjand city using hierarchical analysis model and geographic information system. *Journal of Physical Geography*, 17(64), 17–38. (In Persian)
- Sajadi, Z., Kalantari, N., Cherchi, A., & Mousavi, S. S. (2022). Investigating the hydraulic connection of karst structures using hydrogeochemical and isotopic methods in the water resources of Izeh region, northern Khuzestan Province. *Hydrogeology*, 7(2), 121–142. <https://doi.org/10.22071/gsj.2018.117001.1406>
- Saman Abrah Consulting Engineers. (2016). *Studies on Preparing Water Balance of Study Areas in the Karun Great Basin (Up to the Water Year 2010-2011)*, Volume Five: Water Resources Assessment Report. Appendix 15: Water Balance of Semirom Study Area (2315), Code: 39-105-SR. (In Persian)
- Sauter, M. (1992) Quantification and forecasting of regional groundwater flow and transport in a karst aquifer (*Gallusquelle, Malm, SW. Germany. Report, Tubinger Geowissenschaftliche Arbeiten* (TGA), TGA, C13, 1992.
- Sepehri Pour, A., & Vaezi Heir, A. (2021). Exploration and Investigation of Strategic Water Resources in Hard and Karst Formations to Supply Drinking Water in Miyaneh County under Critical Conditions. *Advanced Applied Geology*, 11(2), 332–348. <https://doi.org/10.22055/aag.2020.33531.21> (In Persian)
- Shaban, A., BouKheir, R., Froidefond, J., Khawlie, M., & Girard, M-C. (2004). Characterization of morphometric factors of drainage system interrelated to rock infiltration: the case of the Occidental Lebanon. *Zeitschrift Fur Geomorphologie*, 48(1), 79-94. <http://doi.org/10.1127/zfg/48/2004/79>
- Tahouni, P. (1995). Study and Recognition of Karst Forms in the Dasht-e Arjan and Kazeroon Area to Estimate the Volume of Groundwater. *Master's Thesis, University of Tehran, Faculty of Literature and Humanities*. (In Persian)
- Vaezi Hir, A., Khalkhali, M., & Tabarmaie, M. (2024). Groundwater potential assessment in hard and karstic formation units of West Azerbaijan Province. *Water and Soil*, 38(3), 337–350. (In Persian)
- Zia, H., Karami, G., & Taheri, A. (2019). Estimation of Groundwater Recharge Potential in Karst Areas of Arid Regions (Case Study: Shotori Mountain Range, Central Iran). *Geosciences*, 29(114), 85–96. <https://doi.org/10.22071/gsj.2018.117001.1406>