



Journal of Structural Geology and Applied Tectonics (SGAT)

Journal homepage: <https://sgat.journals.pnu.ac.ir/>



The effect of mountain frontal faults on the status of groundwater resources, case study: Hashtgerd Plain, Southern Alborz

Erfan Mohammadian^{*1}

1- Department of Geology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

Keywords

Central Alborz, Fault, Groundwater aquifers, Groundwater flow, Hashtgerd

Extended Abstract

Introduction

Faults are among the most critical geological structures influencing aquifer systems, exhibiting diverse hydraulic behaviors depending on their architecture, material properties, and stress regime. Fault zones can act as barriers, conduits, or combined barrier-conduit systems, thereby controlling groundwater flow paths, recharge rates, and water quality (Caine *et al.*, 1996). The hydraulic gradient around faults is controlled by hydrogeological processes including recharge rate, topography, human activities, and deep processes such as sediment compaction (Bense *et al.*, 2013). Fault activity can also mix fossil waters with shallow groundwater, altering chemical properties such as EC, pH, and total dissolved solids (Hamed *et al.*, 2014). Evidence of fault impacts on aquifers includes the spatial coincidence of springs along major faults and significant differences in discharge between fault-related and non-fault springs (Demircioğlu, 2024).

In Iran, several studies have examined fault-aquifer interactions. The effect of the North Tabriz fault on groundwater quantity and quality has been analysed (Rajabpour & Vaezi, 2017). Water level changes caused by faulting in the Shahrchai-Urmia plain catchment have been studied (Kiani & Yousefi, 2017). It has been shown that the Dorood fault causes sudden changes in aquifer thickness and water quality (Alijani *et al.*, 2023). The Dehshir-Baft fault acts as a barrier preventing saline water intrusion, as shown using ERT (Mousavi, 2013). Wells on the left side of the Sabzevaran fault have higher discharge and better water quality (Jafari *et al.*, 2011). Groundwater flow in karst formations is parallel to bedding and dominant joint trends (Tamburini & Menichetti, 2016).

Receive: 2026-05-22

Accepted: 2026-07-24

Published: 2026-08-23

*Corresponding Author: Erfan Mohammadian; E-mail: m.erfan1347@gmail.com

How to cite this article: Mohammadian, E. (2026). The effect of mountain frontal faults on the status of groundwater resources, case study: Hashtgerd Plain, Southern Alborz. *Structural Geology and Applied Tectonics*, 1(1): 98–116. DOI: [10.30473/SGAT.2026.78160.1011](https://doi.org/10.30473/SGAT.2026.78160.1011)



Copyright © 2026, by the author(s). Published by Payame Noor University, Tehran, Iran. This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The Hashtgerd Plain, located in the southern foothills of the Central Alborz Mountains, is characterized by numerous springs and a critical alluvial aquifer that supplies water for agricultural and domestic use. However, the region faces challenges related to groundwater level decline and quality degradation. This study aims to investigate the role of mountain frontal faults (e.g., Mosha and North Tehran thrusts) and related fractures on the groundwater regime, spring discharge, hydraulic gradient, and water quality in the Hashtgerd Plain. The novelty of this research lies in integrating detailed geological mapping (1:100,000 scales) with hydrogeological data to explain how fault-induced fracturing and lithological variations control groundwater storage and flow in a tectonically active mountain-front setting.

Methodology

The study area is located in Hashtgerd Plain, central Alborz Province, between longitudes 50°35' to 51°00' E and latitude 35°50' N, covering a catchment area of 1171 km². To achieve the research objectives, several methods were employed.

First, a comprehensive geological database was compiled by integrating four 1:100,000 geological maps (Karaj-Hashtgerd, Tehran, Marzanabad, and Shokran) published by the Geological Survey of Iran (Amini, 1993; Emami, 1994; Bazli, 1977; Vahdati, 1998). These maps were digitized and merged to produce new geological, fault, and DEM-based structural maps. Second, all springs (140 springs) within the study area were inventoried, and their location, discharge, water temperature (cold, semi-thermal), quality (mineral vs. non-mineral), and structural type (fracture-related, drainage) were recorded. Third, groundwater level data were used to construct water table contour maps and flow direction maps. Fourth, electrical conductivity (EC) and pH data from springs and wells were analyzed in relation to the host rock lithology (tuff, volcanic rocks, limestone, dolomite, sandstone, shale). Finally, a spatial analysis was performed using GIS overlay techniques to examine the relationship between fault lines, spring locations, aquifer thickness variations, and hydraulic gradients. The Darcy law principle was applied to interpret changes in hydraulic gradient as a function of aquifer thickness.

Results and Discussion

Geological and structural setting: The study area is part of the southern Alborz fold-thrust belt, characterized by east-west trending folds and thrust faults. The main faults include the Mosha thrust and the North Tehran thrust, along with several minor faults extracted from the integrated geological maps. The stratigraphic sequence ranges from Late Proterozoic (Soltanieh and Zaigun formations) to Jurassic (Shemoshak Formation) and Eocene (Karaj Formation).

Springs and fault relationship: Out of 140 springs, 136 are permanent and 91 are valley-type springs. Most springs (118 springs) emerge from the Karaj Formation, followed by the Soltanieh (14 springs), Zaigun (5 springs), and Shemoshak (3 springs) formations. A total of 50 springs are directly associated with faults, while 90 show no direct fault contact. However, in areas where faulting has caused intense fracturing and brecciation, spring discharge increases significantly. Springs hosted in the Soltanieh and Zaigun formations exhibit a good spatial correlation with fault lines, indicating that fault-induced permeability enhances groundwater outflow. Conversely, in the Karaj Formation, the presence of shale layers within the volcanoclastic sequence reduces hydraulic conductivity, resulting in lower spring discharge despite faulting. This highlights that lithology modulates the hydraulic effect of faults.

Groundwater flow and hydraulic gradient: The Hashtgerd aquifer drains groundwater from the southern slopes of the Alborz Mountains toward the Kordan River and finally to the central Iranian plain. Water table contour maps and flow direction maps reveal that the hydraulic gradient increases in the southeastern part of the plain. According to Darcy's law, for a constant discharge, a decrease in aquifer thickness leads to an increase in hydraulic gradient. Therefore, the observed steepening of the hydraulic gradient in the southeast is attributed to a reduction in aquifer thickness. This thinning is likely caused by the presence of a fault zone at the mountain-front boundary, which creates a vertical offset. Additionally, an elevation difference of approximately 300 meters exists between the Hashtgerd heights and the southern plain, which is interpreted as the vertical component of the Mosha and North Tehran thrust zones. In the southwestern part of the plain, thicker and finer-grained alluvial sediments result in a lower hydraulic gradient, indicating that sediment grain size distribution also controls flow patterns.

Water quality: Water quality, classified based on data from the Iranian Ministry of Energy, ranges from "good to relatively good" in the northern highlands to "poor" in the southernmost part of the plain (Eshtehard basin). In the northern area, springs hosted in volcanic and tuffaceous rocks show EC values ranging from 140 to 600 $\mu\text{S/cm}$ and pH from 6.3 to 6.8, indicating moderate mineralization. In the southern plain, poor water quality is associated with fine-grained evaporite deposits, playas, and salt flats. The study also found that springs in dolomite (Soltanieh Formation) have EC values of 200-500 $\mu\text{S/cm}$, while sandstone-hosted springs show higher EC (up to 970 $\mu\text{S/cm}$). Thus, lithology exerts a first-order control on groundwater chemistry, whereas faults locally enhance or reduce water quality by connecting different aquifers or bringing saline waters to the surface.

Conclusions

This study demonstrates that mountain frontal faults in the Hashtgerd Plain, southern Alborz, significantly influence groundwater resources through three primary mechanisms.

Fault-induced fracturing enhances spring discharge, particularly where fault zones have developed brecciated and fractured networks, especially within carbonate and dolomitic formations (Soltanieh and Zaigun). However, within the Karaj Formation, the presence of interbedded shales mitigates the positive effect of faulting on spring yield.

Aquifer thickness and hydraulic gradient are governed by the vertical component of thrust faults. A 300-meter elevation difference between the mountain front and the plain results in reduced aquifer thickness in the southeastern sector, which in turn produces a steeper hydraulic gradient. Conversely, thicker and finer-grained alluvium in the southwestern portion gives rise to a gentler gradient.

Water quality is predominantly controlled by the lithology of the host rock: volcanic and carbonate rocks yield water of moderate to good quality, whereas evaporite-rich fine sediments in the southern plain are associated with poor water quality. Faults play a secondary role by locally facilitating the mixing of different water types.

These findings are of critical importance for groundwater balance assessment and the management of the Hashtgerd aquifer, particularly in light of the ongoing water transfer project from Taleghan to Karaj, which traverses active fault zones. Future research should prioritize large-scale geological cross-sections and geophysical surveys in order to better characterize fault zone architecture and its associated hydraulic properties.



اثر گسل‌های پیشانی کوهستان بر وضعیت منابع آب‌های زیرزمینی، مطالعه موردی: دشت هشتگرد، البرز جنوبی

عرفان محمدیان^{۱*}

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران.

کلیدواژه‌ها

البرز مرکزی،
گسل،
سفره‌های آب زیرزمینی،
جریان آب زیرزمینی،
هشتگرد

چکیده

این تحقیق با بررسی وضعیت زمین‌شناسی منطقه شامل سازندها، آبخوان، رودخانه‌ها، چشمه‌ها و همچنین وضعیت گسل‌ها با تلفیق نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰ منطقه کرج، هشتگرد، تهران، مرزن‌آباد و شکران، و تهیه نقشه‌های جدید، جداول و نمودارهای لازم انجام شده است. بررسی‌ها بر روی ۱۴۰ چشمه واقع در ارتفاعات، گسل‌های اصلی منطقه، ایجاد چشمه‌ها در سازندهای زمین‌شناسی و جهت جریان در قسمت‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه انجام شده است. عملکرد گسل‌ها در محل برخی از چشمه‌ها موجب شکستگی لایه و خردشدگی سنگ‌ها و افزایش زهکشی و بالا رفتن دبی چشمه‌ها در آن ناحیه شده است. در قسمت‌هایی عملکرد گسل‌ها و فعالیت‌های زمین‌ساختی موجب حرکت لایه‌ها شده و وجود لایه‌هایی از شیل در ترکیب سنگ‌شناسی سازندها سبب پایین آمدن آبدهی و دبی چشمه‌ها شده است. با توجه به اختلاف ارتفاع حدود ۳۰۰ متر بین بلندی‌های هشتگرد و دشت در قسمت جنوبی منطقه، بررسی خطوط جریان و جهت جریان در آن ناحیه نشان می‌دهد که ضخامت آبخوان و همچنین اختلاف ارتفاع مرز بین کوه و دشت موجب افزایش شیب جریان شده است. نتایج این پژوهش در تعیین شرایط بیلان آبخوان هشتگرد بسیار موثر است و با توجه به طرح انتقال آب از طالقان به کرج و قرارگیری این پروژه در محدوده گسل‌ها اهمیت شناخت و ارتباط گسل‌ها و آب‌های زیرزمینی در این ناحیه افزایش می‌یابد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۰۱

ارجاع به این مقاله: محمدیان، ع. (۱۴۰۵). اثر گسل‌های پیشانی کوهستان بر وضعیت منابع آب‌های زیرزمینی، مطالعه موردی: دشت هشتگرد، البرز جنوبی. زمین‌شناسی ساختاری و زمین‌ساخت کاربردی، ۱(۱): ۹۸-۱۱۶.

*نویسنده مسئول: عرفان محمدیان

رایانامه:

m.erfan1347@gmail.com

شناسه دیجیتال مقاله: 10.30473/SGAT.2026.78160.1011



مقدمه

گسل‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر روی آبخوان می‌باشند که در نواحی مختلف عملکردهای متفاوتی را نشان می‌دهند. گسل‌ها می‌توانند در مقیاس‌های محلی و ناحیه‌ای، سیستم جریان آب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار دهند (Lapperre et al., 2019). شیب هیدرولیکی آب‌های زیرزمینی در اطراف گسل از طریق فرآیندهای هیدروژئولوژیک از جمله نرخ تغذیه آب زیرزمینی، توپوگرافی، فعالیت‌های انسانی مانند برداشت آب و همچنین فرآیندهای عمیق مانند فشردگی رسوبات کنترل می‌شود (Bense et al., 2013).

عملکرد گسل می‌تواند موجب ترکیب آب‌های فسیلی با آب‌های زیرزمینی کم عمق شود و تغییراتی در خصوصیات شیمیایی آن‌ها، از جمله هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH) و مواد محلول ایجاد کند (Ortega et al., 2022). گسل‌ها با ایجاد جابجایی در توالی لایه‌ها باعث هدایت آب‌های زیرزمینی و تشکیل سفره‌های آبی می‌شوند (Alizadeh, 2022). علاوه بر آن شکستگی‌ها نقش مهمی در نفوذ آب‌های جاری به درون زمین شده و در نتیجه بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی تاثیر می‌گذارند (Hernandez & Burbey, 2012).

در راستای تغییراتی که با توجه به عملکرد گسل انجام می‌گیرد، می‌توان به تغییرات واضح در وضعیت سنگ کف آبخوان، تغییر کردن ضخامت آبخوان و وجود جریان‌های کانالیزه در امتداد گسل اشاره کرد که مستقیماً در ارتباط با تاثیر عملکرد گسل می‌باشد (Demircioğlu, 2024).

از جمله شواهد هیدروژئولوژیک تاثیر گسل بر آبخوان، همخوانی مکانی چشمه‌ها در راستای گسل‌های مهم و اختلاف ناشی از آبدهی چشمه‌های گسلی نسبت به سایر چشمه‌ها است (Keegan et al., 2022).

تشکیل سد هیدرولیکی و ارتباط بین دو طرف گسل و همچنین ظهور چشمه‌ها نمایانگر عملکرد گسل می‌باشد (Baharvand, 2013).

در رابطه با مدیریت آب زیرزمینی و همچنین اثر گسل بر سفره‌های آب زیرزمینی پژوهش‌های مختلفی شکل گرفته‌اند. مطالعه وضعیت زمین‌شناسی، ژئوهیدرولوژی و کیفیت آب زیرزمینی در منطقه‌ای نزدیکی گسل هلندال در حوضه آبریز موهاوی در شهر سان برناردینو کالیفرنیا نشان داد که گسل هلندال مانع از ورود جریان آب زیرزمینی در آبخوان عمیق‌تر منطقه‌ای می‌باشد، اما در آبخوانی که در دشت سیلابی قرار دارد جریان آب زیرزمینی برقرار می‌باشد (Stamos et al., 2003).

در ایران نیز مطالعاتی در خصوص تاثیر گسل‌ها بر ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان‌ها انجام شده است. تاثیر گسل شمال تبریز بر ویژگی‌های کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی مجاور گسل در شرق تبریز مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است (Rajabpour, 2017). تغییرات تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز شهرچای- دشت ارومیه ناشی از گسلش مورد مطالعه قرار گرفته است (Kiani & Yousefi, 2026).

مدل ERT برای تشخیص تغییرات مقاومت ویژه به صورت جانبی بسیار کارا می‌باشد و اثر گسل بزرگ دهشیر-بافت بر کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت هرات-مروست به صورتی است که این گسل همانند یک سد عمل کرده و مانع از هجوم جریان آب‌های شور در قسمت‌های شرقی به قسمت‌های غربی می‌شود. به این علت کمیت آب در قسمت‌های غربی افزایش یافته و سفره‌هایی با آبدهی بالا در آن قسمت ایجاد شده‌اند (Mousavi, 2013).

در اندازه‌گیری دبی آب چاه‌های دو طرف گسل سبزواران در منطقه دشت جیرفت، مشخص شده است که چاه‌های واقع در سمت چپ گسل از دبی بیشتری برخوردار بوده‌اند. همچنین در سمت چپ گسل، ضخامت زیاد، دبی آب زیاد و کیفیت آب بالاتر است و با اندازه‌گیری درجه حرارت آب، مشخص شده که آب چاه‌های نزدیک‌تر به گسل گرم‌تر و از درجه حرارت بالاتری برخوردار می‌باشند (Jafari, 2011).

بررسی عوامل زمین‌ساختی در منابع آبی کوه‌های هزار مسجد نشان می‌دهد که توسعه‌یافتگی‌های تخلخل ثانویه در این واحدهای سنگ‌چینه‌ای به صورت شبکه‌ای از درز و شکستگی‌ها و همچنین توسعه پدیده کارست در آن‌ها معلول زمین‌ساخت فعال و عملکرد گسل‌های موجود در منطقه بوده است (Nadri & Alizadeh, 2025).

در بررسی‌های انجام شده بر روی اثر گسل درود، بر وضعیت آبخوان آبرفتی دشت درود- بروجرد، لرستان، نتایج نشان می‌دهد که گسل درود با جابجایی لایه‌های آبرفتی موجب تغییرات ناگهانی جنس و ضخامت آبخوان و همچنین تغییر در کیفیت آب زیرزمینی بر خلاف روند مورد نظر شده است (Alijani et al., 2018). وجود رسوبات ریزدانه دریاچه‌ای با هدایت هیدرولیکی کم و کیفیت آب زیرزمینی نامطلوب در شرق گسل، کانالیزه شدن آب زیرزمینی در امتداد گسل و همچنین آبخوان با آبدهی و کیفیت آب مناسب در غرب گسل درود از اثرات هیدروژئولوژیک این گسل هستند.

در بررسی و تحلیل تاثیر گسل دهشیر- بافت بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت هرات- مروست، نتایج نشان می‌دهد که مدل ERT برای تشخیص تغییرات مقاومت ویژه به صورت جانبی بسیار کارا می‌باشد، و اثر گسل بزرگ دهشیر- بافت بر روی کیفیت آب‌های این منطقه به صورتی است که این گسل همانند یک سد عمل کرده و مانع از هجوم جریان آب‌های شور در قسمت‌های شرقی به قسمت‌های غربی می‌شود، به این علت کمیت در قسمت‌های غربی افزایش داشته و سفره‌های با آبدهی بالا در آن قسمت ایجاد شوند (Mousavi, 2013).

همچنین بررسی اثر گسل درود بر منابع آب زیرزمینی دشت سیلاخور در استان لرستان، تاثیر گسل بر روند عمومی جریان آب زیرزمینی، تشکیل سد هیدرولیکی یا برقراری ارتباط میان دو سمت گسل و یا تاثیر گسل در تغذیه و فرار آب و همچنین تاثیر آن‌ها در ظهور چشمه‌ها و کیفیت آب زیرزمینی در این زلزله‌ها مورد تحلیل قرار گرفته و مشخص شده که ارتباط نزدیکی بین تغییرات سطح آب پیژومترها، غلظت املاح، هدایت الکتریکی قبل و بعد از زلزله در آن منطقه وجود دارد (Baharvand, 2013). در این تحقیق به بررسی اثر گسل‌های پیشانی جنوبی البرز بر روی منابع آب زیر زمینی دشت هشتگرد با توجه به موارد فوق پرداخته شده است.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در دشت هشتگرد و ارتفاعات شمال آن در قسمت مرکزی استان البرز بین طول‌های ۵۰ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی قرار دارد. این گستره از چند حوضه آبخیز کوچک و بزرگ به مساحت ۱۱۷۱ کیلومتر تشکیل شده است که زهکش آب‌های جاری ارتفاعات سلسله جبال البرز را در رودخانه کردان به سوی دشت مرکزی ایران تخلیه می‌کند (شکل ۱).

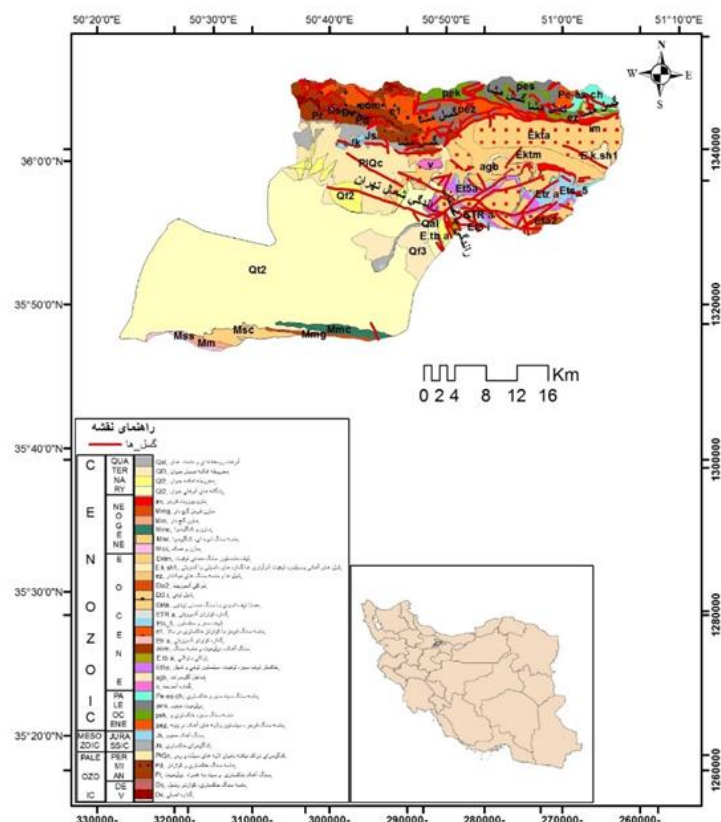


شکل (۱): موقعیت استان البرز و شهرستان هشتگرد در نقشه

Fig (1): Location of Alborz Province and Hashtgerd County on the map

زمین‌شناسی و زمین‌ساخت منطقه مورد مطالعه

از لحاظ فیزیوگرافی (جغرافیای طبیعی) استان البرز از چین‌های کناری البرز محسوب می‌شود. رشته کوه البرز در گستره مورد مطالعه تشکیل شده از یک سری چین‌ها و راندگی‌های شرقی- غربی می‌باشد، که به سمت جنوب بر روی هم رانده شده‌اند، در کناره جنوبی البرز و مجاور گسل‌ها شدت دگرریختی به بیشترین مقدار خود می‌رسد، به صورتی که بلندی‌های البرز بر روی رسوبات دشت در جنوب رانده شده می‌باشند (شکل ۲).



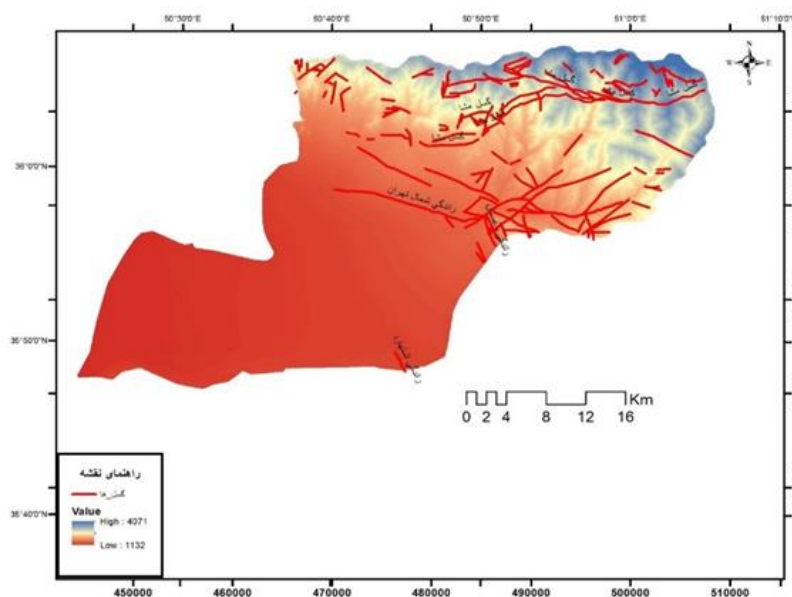
شکل (۲): نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه با تلفیق نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران (Amini, 1991)، کرج هشتگرد (Emami & Navaei, 1994)، مرزن‌آباد (Vahdati & Nadim, 1998)، شکران (Bazli & Rahimzadeh, 1996)، سازمان زمین‌شناسی اکتشافات معدنی کشور و سازمان نقشه‌برداری کشور.

Fig (2): Geological map of the study area, compiled from the 1:100,000 geological map sheets of Tehran (Amini, 1991), Karaj-Hashtgerd (Emami & Navaei, 1994), Marzanabad (Vahdati & Nadim, 1998), and Shokran (Bazli & Rahimzadeh, 1996), courtesy of the Geological Survey of Iran and the National Cartographic Center of Iran.

نتایج دیرینه‌شناختی امروزه در البرز، گویای این مطلب می‌باشد که کهن‌ترین سنگ‌های رخنمون یافته در البرز، مربوط به سازند کهر است که دارای آکریتارک‌های نوپروتروزوییک پسین هستند (Etemad et al, 2015).

توالی سکوی پرکامبرین پسین و اردوئیسین، سنگ‌های ماگمایی (درونی و بیرونی) اردوئیسین میانی و دونین، توالی فلات قاره دونین و تریاس میانی، نهشته‌های پیش خشکی تریاس بالایی و ژوراسیک میانی، توالی فلات قاره ژوراسیک میانی و کرتاسه، با دو رخساره ناهمسان در البرز جنوبی و شمالی، مجموعه ماگمایی البرز به سن سنوزوئیک، و با ترکیب شیمیایی کلسیمی - قلیایی در البرز باختری - مرکزی و قلیایی در البرز خاوری، رسوبات همزمان با کوهزایی سنوزوئیک، با دو رخساره ناهمسان در البرز جنوبی و شمالی است (Alavi, 1996).

تأثیر گسل بر حوضه رسوبی گسله مشا مرز جنوبی حوضه رسوبی پالئوزوئیک - مزوزوئیک را در البرز مرکزی تشکیل داده است و به نظر می‌رسد که از زمان پالئوزوئیک به عنوان گسله مرز حوضه عمل می‌کرده است. در زمان مزوزوئیک فرادیواره گسل محل مناسبی برای رسوبگذاری در آن زمان بوده است (Yassaghi & Madanipour, 2008). هر یک از واحدهای یاد شده در قسمت بالا شامل چند یا چندین سازند می‌باشد که همگی در شرایط زمین‌ساختی خاص، با شرایط رسوبی - زمین‌ساختی مشابه، تشکیل شده‌اند (شکل ۳).



شکل (۳): نقشه DEM محدوده و گسل‌های اصلی و خرد گسل‌های منطقه. تلفیق از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران، کرج هشتگرد، مرزن‌آباد و شکران، سازمان زمین‌شناسی اکتشافات معدنی کشور و سازمان نقشه‌برداری کشور.

Fig (3): DEM map of the study area showing the main faults and minor faults, compiled from the 1:100,000 geological map sheets of Tehran, Karaj-Hashtgerd, Marzanabad, and Shokran, published by the Geological Survey of Iran and the National Cartographic Center of Iran.

بحث و یافته‌ها

اثر زمین‌ساخت بر جریان آب زیرزمینی

علاوه بر ساختارهای اولیه موجود در مواد رسوبی مانند چین‌بندی‌ها، وجود عدسی و تغییر ترکیب سنگ‌شناسی، ساختارهای ثانویه‌ای همچون گسل‌ها، چین‌ها و درزه‌ها بر رژیم آب‌های زیرزمینی تأثیرات فراوانی ایجاد می‌کند (Idris *et al.*, 2018). چین‌خوردگی و گسلش در سنگ‌های رسوبی سبب ایجاد سیستم‌های هیدروژئولوژیکی بسیار پیچیده‌ای می‌شود، که در آن وضعیت، تعیین موقعیت نواحی تغذیه، تخلیه و جریان دشوار می‌شود، در این چنین شرایطی نه تنها تعیین ویژگی‌های هیدرولیکی واحدهای سنگی و اندازه‌گیری سطح ایستابی چاه‌ها به منظور تعیین سیستم جریان از الزامات است، بلکه باید زمین‌شناسی منطقه با دقت مطالعه شود و پس از تعیین پدیده‌های ساختاری، لاگ چاه‌های اکتشافی و گمانه‌ها، با اطلاعات زمین‌شناسی موجود تطبیق داده شود (Cruset *et al.*, 2020).

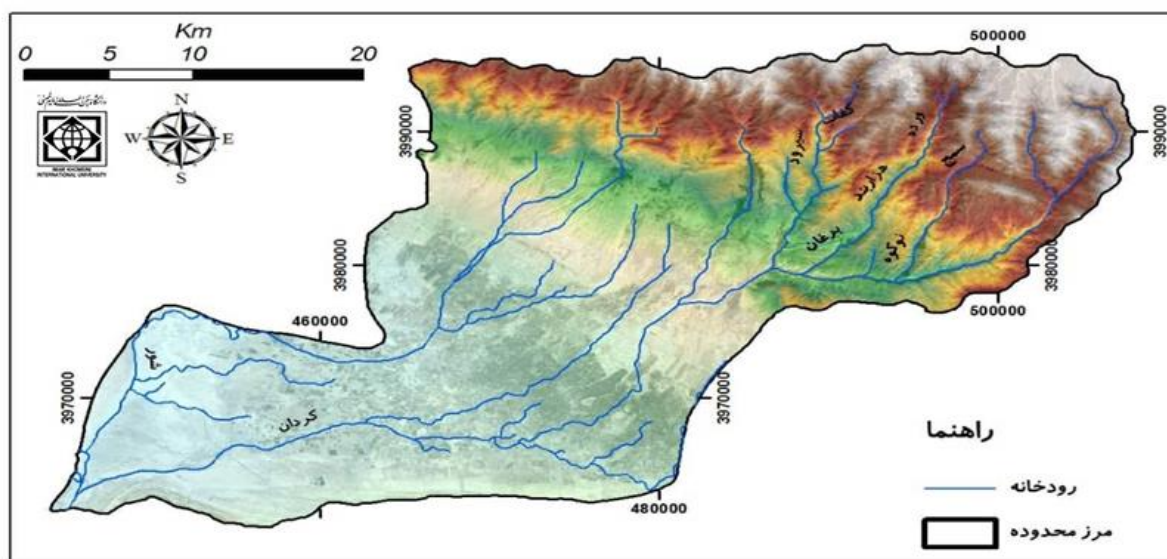
تأثیر گسل‌ها بر رژیم هیدرولیکی حرکت آب‌های زیرزمینی متفاوت می‌باشد؛ به طوری که برخی از گسل‌ها مانند سدهایی در برابر حرکت آب زیرزمینی قرار می‌گیرند در صورتی که گروه دیگری، گذرگاه‌هایی مناسب برای انتقال آب زیرزمینی هستند. عملکرد گسله‌ها بستگی به ماهیت مواد پهنه گسلش دارد (Bense *et al.*, 2013).

در سنگ‌های رسوبی سخت یا بلورین نیز ممکن است گسل‌ها به صورت سد عمل کنند و در عین حال نقش پهنه‌های ذخیره و مجاری انتقال آب‌های زیرزمینی را ایفا کنند. چین‌خوردگی‌ها نیز ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی سنگ‌های رسوبی را به صورت‌های مختلف تحت تاثیر قرار می‌دهند. اثر چین بستگی به نوع لایه‌های چین‌خورده، شدت چین‌خوردگی و شیب چین‌خوردگی دارد. درزه‌ها شکستگی‌هایی با خاستگاه زمین‌شناسی هستند که در طول آن‌ها جابه‌جایی قابل ملاحظه‌ای رخ نداده باشد (Ramsay, 1986; Bense et al., 2013).

در نواحی تکتونیزه، نفوذپذیری حاصل از شکستگی که به جدایش‌های کوچک گسترش یافته در امتداد گسل‌ها و درزه‌ها منجر می‌شود، سبب ایجاد ناهنجاری‌هایی در رژیم آب‌های زیرزمینی می‌شود، بخش‌های متأثر از کشش بهترین مورد برای حفاری جهت اکتشاف آب‌های زیرزمینی هستند. به عنوان نمونه تاق‌دیس‌های پیش‌بوم حتی در ساختارهایی که ایجاد و گسترش آن‌ها مرهون زمین‌ساخت فشاری است نیز اهداف خوبی در این راستا می‌باشند (Smeraglia et al., 2025).

وضعیت آبخوان هشتگرد

آبخوان هشتگرد از چند زیر حوضه تشکیل شده است که از شمال به حوضه طالقان، از شرق به حوضه کرج، از غرب به حوضه آبیک-قزوین و از جنوب به دشت اشتهارد و حوضه کرج محدود می‌شود. این آبخوان از چند حوضه کوچک و بزرگ مشتق شده است که زهکش آب‌های جاری ارتفاعات سلسله جبال البرز را به رودخانه کردان به سمت دشت مرکزی ایران هدایت می‌کند. در شکل ۴ آبخوان و رودخانه‌های محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل (۴): نقشه آبخوان و رودخانه‌های محدوده مطالعه

Fig (4): Map of the aquifer and rivers in the study area.

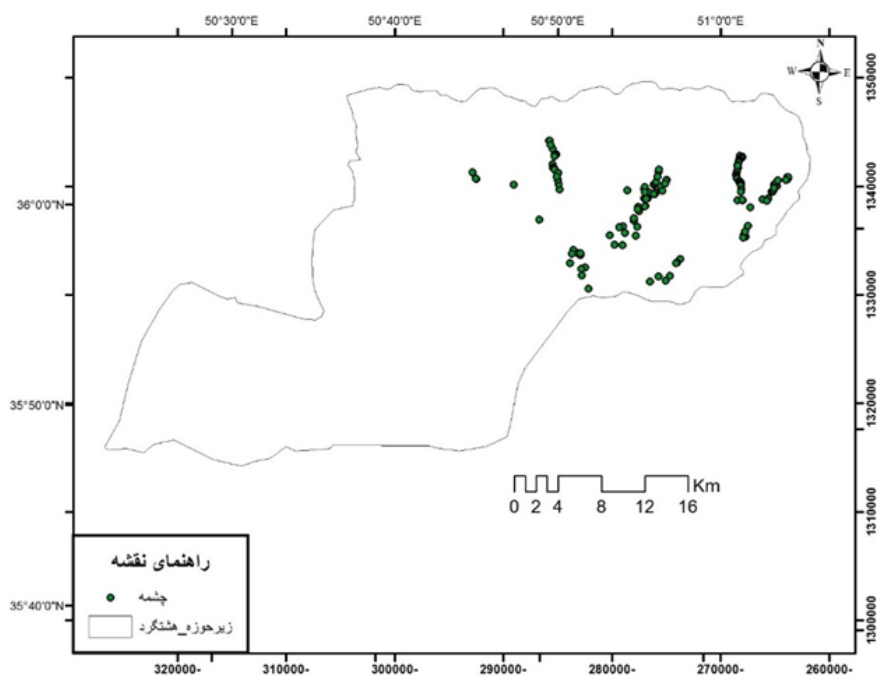
چشمه‌های محدوده مورد مطالعه

تعداد ۱۴۰ چشمه در محدوده مطالعاتی وجود دارد که از این تعداد ۱۳۸ چشمه، جزو چشمه‌های دائمی و ۲ چشمه جزو چشمه‌های فصلی هستند. همچنین از لحاظ ریخت و ساختار چشمه‌ها تعداد ۹۱ چشمه، جزو چشمه‌های دره‌ای و ۴۹ چشمه جزو چشمه‌های دامنه‌ای قرار دارند. ۱۳۶ چشمه در دسته چشمه‌های درز و شکافی و ۴ چشمه از نوع زهکشی می‌باشند. از لحاظ کیفیت و دمای آب نیز ۱۳۹ چشمه غیر معدنی و ۱ چشمه جزو چشمه‌های معدنی قرار می‌گیرد و ۸۱ چشمه از لحاظ دمای آب دارای آب نیمه‌گرم، و ۵۹ چشمه دارای آب سرد می‌باشند. در شکل ۵ چشمه‌های محدوده نشان داده شده

است و مشخصات چشمه‌ها شامل تعداد چشمه‌ها و جنس سازندهای محدوده مورد مطالعه در شکل ۶ و جدول ۱ نمایش داده شده است.

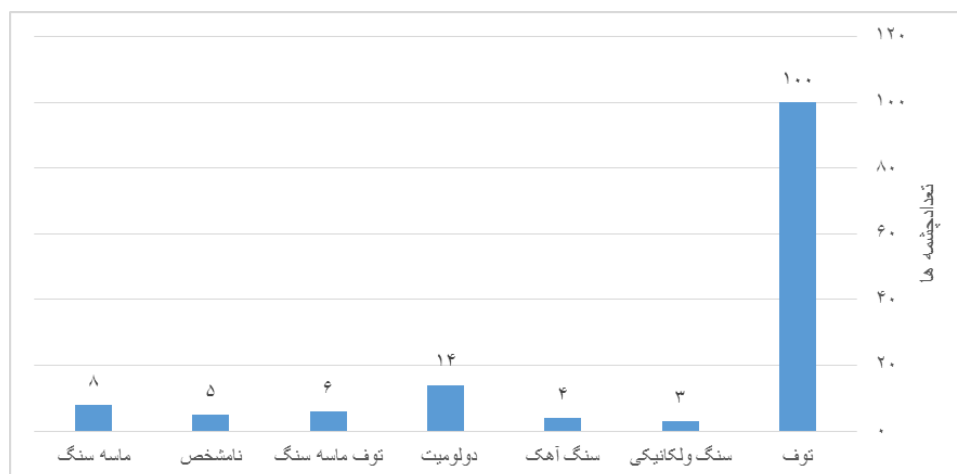
ارتباط چشمه‌ها و سازندها

سازندهای زمین‌شناسی در محدوده آبخوان دشت هشتگرد که تغذیه، جریان و تخلیه آب زیرزمینی در آن‌ها صورت می‌گیرد، به طور عمده در قسمت دشت آن سازندهای آبرفتی قرار دارند و در قسمت‌های شمالی سازندهای کربناته و همچنین در قسمت‌هایی هم سازندهای غیرکربناته قرار گرفته‌اند. چشمه‌ها، در محدوده شمالی منطقه مورد مطالعه قرار دارند که در قسمت‌هایی از سنگ‌شناسی سازند آن قسمت نیز ماسه‌سنگ‌ها، توف و شیل‌ها مشارکت دارند (شکل‌های ۷ و ۸).



شکل (۵): چشمه‌های محدوده مورد مطالعه

Fig (5): Springs in the study area.



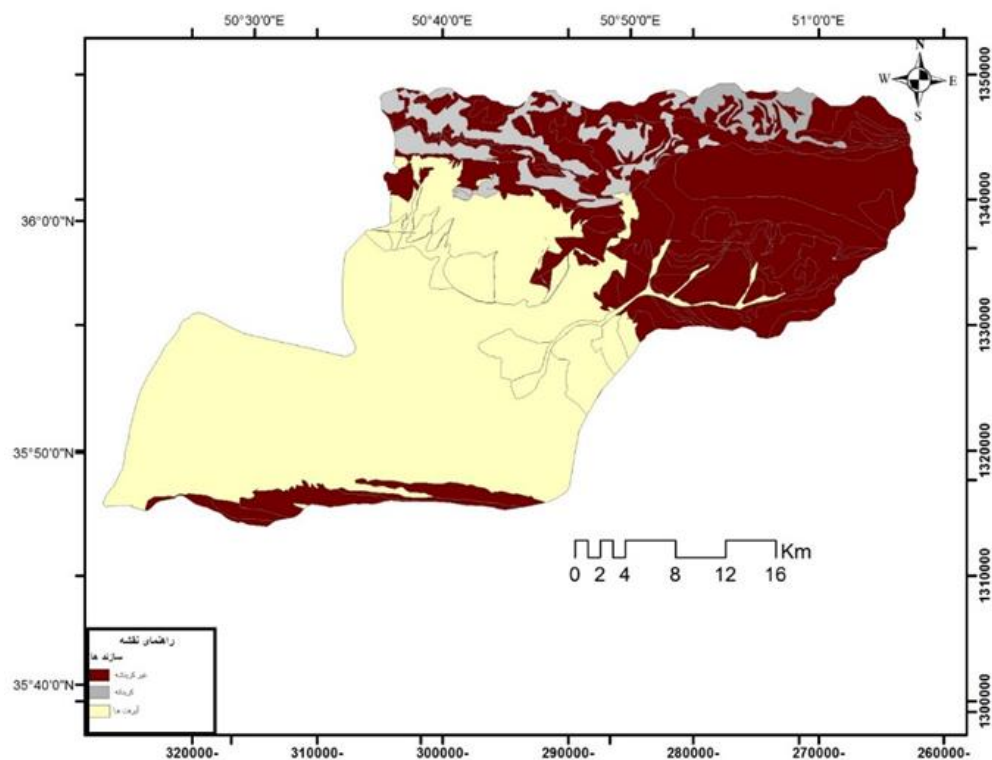
شکل (۶): تعداد چشمه‌ها و جنس سازندهایی که چشمه‌ها در آن قرار دارند

Fig (6): Number of springs and the lithology of the formations in which they are located.

سازندهایی که چشمه‌های محدوده مورد مطالعه در آن قرار گرفته‌اند عبارت‌اند: از سازند کرج، به سن ائوسن، سازند سلطانیه، به سن پرکامبرین، سازند زاگون به سن پرکامبرین و همچنین سازند شمشک، به سن ژوراسیک است. در این مناطق ۱۱۸ چشمه، در سازند کرج، ۱۴ چشمه، در سازند سلطانیه، ۵ چشمه، در سازند زاگون، و ۳ چشمه، در سازند شمشک قرار گرفته‌اند. در شکل ۹ تعداد چشمه و سازندهایی که چشمه‌ها در آن قرار دارند نمایش داده شده است.

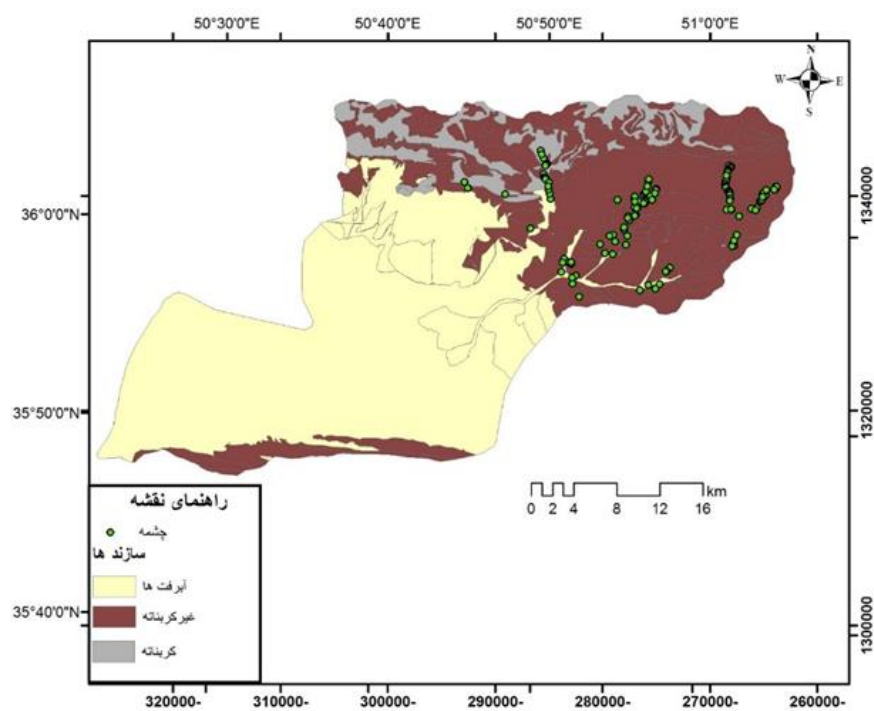
جدول (۱): مشخصات چشمه‌های محدوده مورد مطالعه
Table (1): Specifications of the springs in the study area.

نام سازند	تعداد چشمه
کرج	۱۱۸
شمشک	۳
سلطانیه	۱۴
زاگون	۵
سن سازند	تعداد چشمه
ائوسن	۱۱۸
ژوراسیک	۳
پرکامبرین	۱۹
کیفیت آب	تعداد چشمه
معدنی	۱
غیرمعدنی	۱۳۹
دمای آب	تعداد چشمه
آب سرد	۵۹
آب گرم	۸۱
ساختار چشمه	تعداد چشمه
درزوشکافی	۱۳۶
زهکشی	۴
ارتباط با گسل	تعداد چشمه
دارد	۵۰
ندارد	۹۰



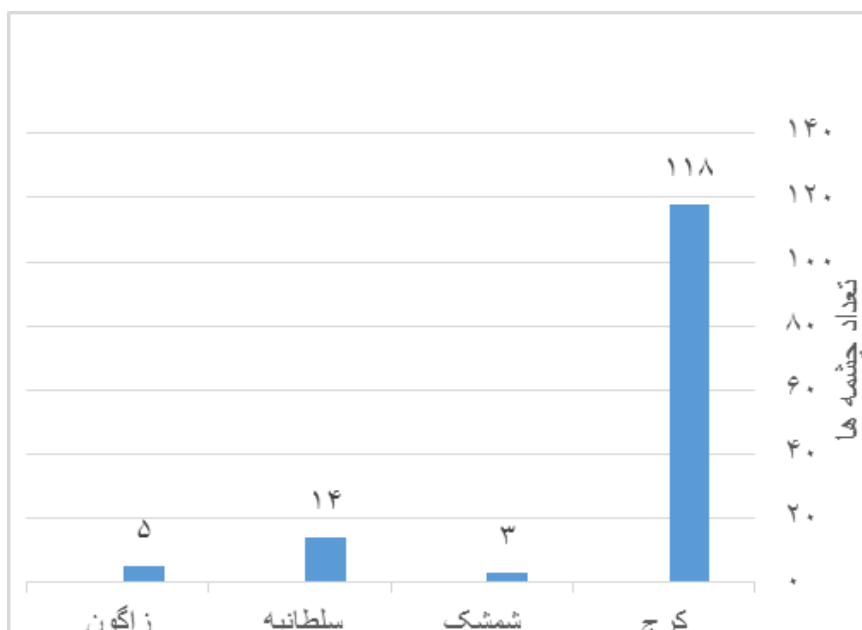
شکل (۷): سازندهای محدوده مورد مطالعه

Fig (7): Formations in the study area.



شکل (۸): نقشه سازندهای کربناته و غیر کربناته و چشمه‌ها

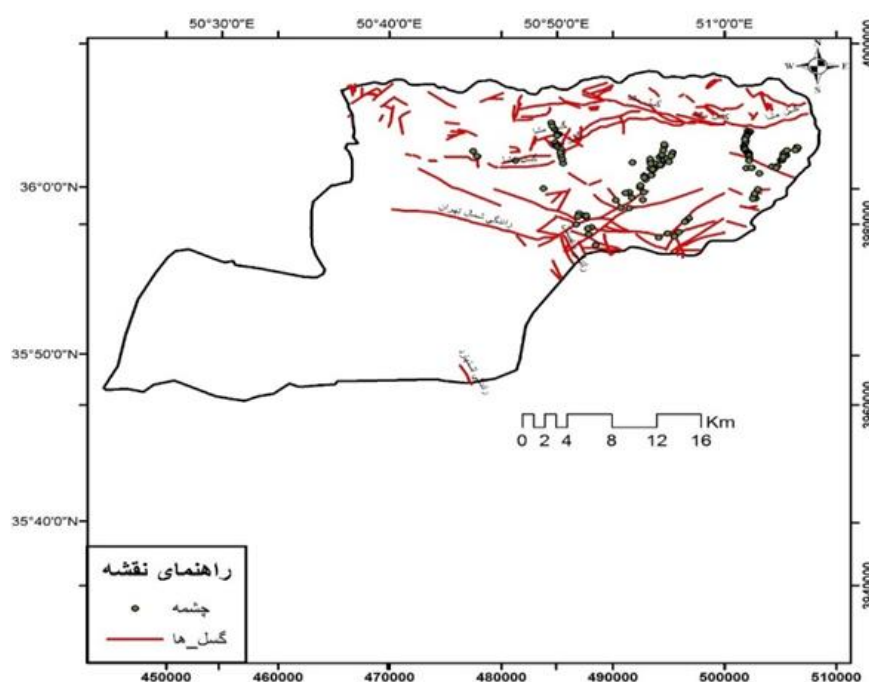
Fig (8): Map of carbonate and non-carbonate formations and springs.



شکل (۹): تعداد چشمه‌ها در سازندهایی که چشمه‌ها در آن قرار گرفته‌اند
 Fig (9): Number of springs in the formations in which they are located.

ارتباط چشمه‌ها و گسل‌ها و سازندهای محدوده مورد مطالعه

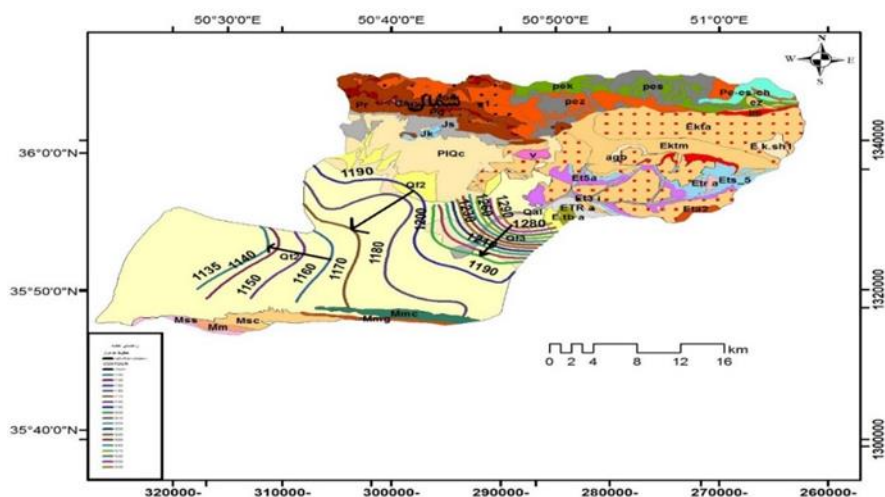
گسل‌های اصلی محدوده مطالعاتی شامل راندگی مشا و راندگی شمال تهران می‌باشند. همچنین خردگسل‌هایی نیز در محدوده مطالعاتی دیده می‌شود که از تلفیق نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ کرج هشتگرد، تهران، مرزن‌آباد و شکران استخراج و رسم شده است که در قسمت شمالی محدوده مطالعاتی جای گرفته‌اند. در شکل ۱۰ نقشه گسل‌ها و چشمه‌های محدوده مورد مطالعه نمایش داده شده است.



شکل (۱۰): نقشه گسل‌ها و چشمه‌های محدوده مورد مطالعه
 Fig (10): Map of faults and springs in the study area.

حرکت آب در لایه‌های آبدار زیرزمینی

مسیر حرکت آبخوان هشتگرد که زهکش آب‌های جاری را از ارتفاعات شیب جنوبی سلسله جبال البرز به رودخانه کردان به سوی دشت مرکزی ایران تخلیه می‌کند به سمت جنوب دشت در محدوده مطالعاتی می‌باشد. در شکل ۱۱ نقشه خطوط هم‌تراز و جهت جریان در قسمت دشت نمایش داده شده است.

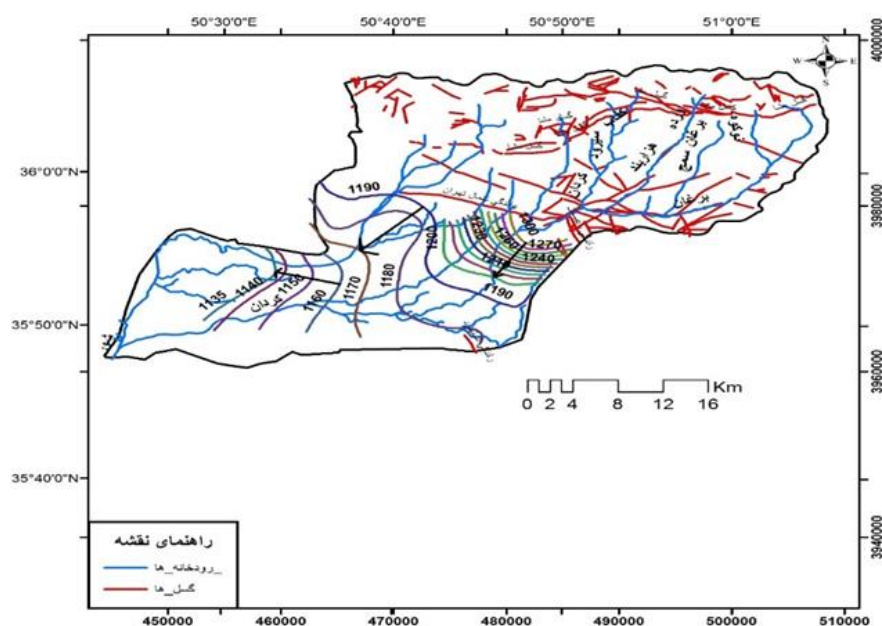


شکل (۱۱): نقشه زمین‌شناسی، خطوط جریان و جهت جریان در محدوده مورد مطالعه

Fig (11): Geological map showing streamlines and flow direction in the study area.

تفسیر نقشه‌های تراز آب زیرزمینی

منابع آبی و رودخانه‌های محدوده مطالعاتی هشتگرد از ارتفاعات شمالی سرچشمه گرفته و طبق خطوط هم‌تراز رسم شده و جهت جریان به سمت دشت ادامه یافته و به رودخانه کردان می‌پیوندد. همان‌طور که از خطوط جهت جریان مشخص است شیب جریان در قسمت جنوب شرقی دشت افزایش پیدا کرده است (شکل ۱۲).



شکل (۱۲): نقشه رودخانه‌ها، گسل‌ها، خطوط هم‌تراز و جهت جریان

Fig (12): Map of rivers, faults, contour lines, and flow direction in the study area.

کیفیت آب در محدوده مورد مطالعه

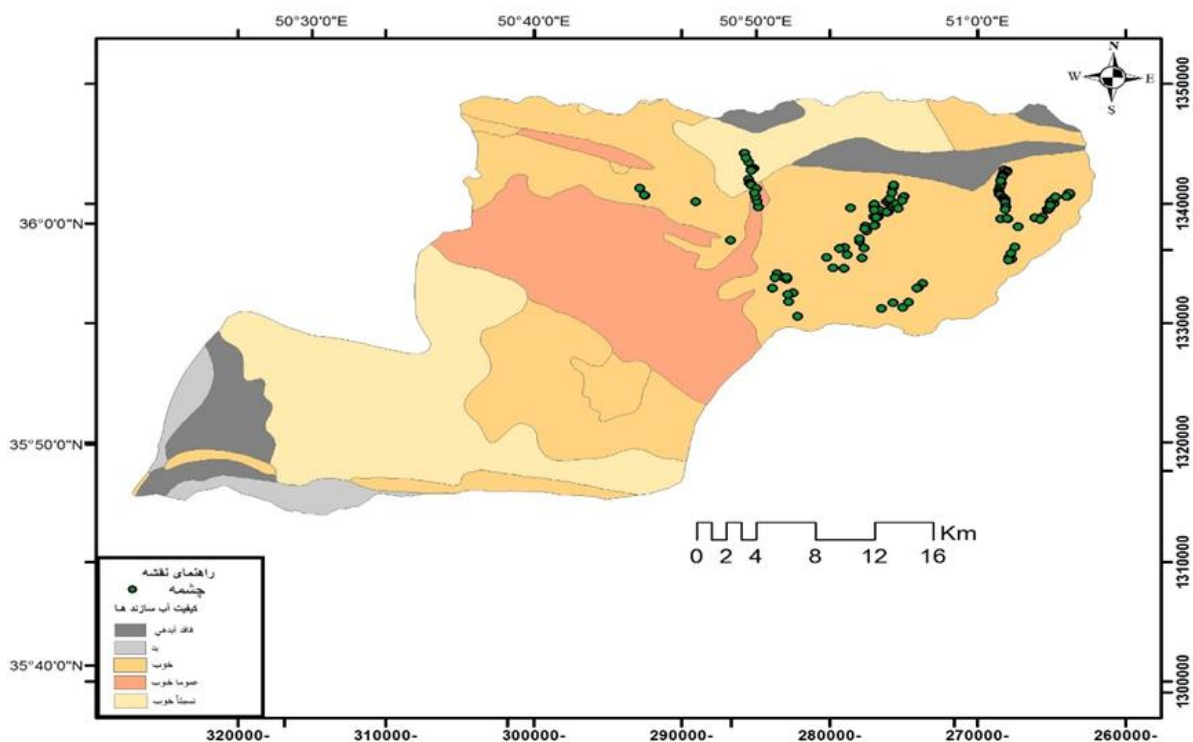
در راستای بررسی کیفیت آب بر اساس سازندها طبق داده‌ها و طبقه‌بندی تحقیقات منابع آب (وزارت نیرو) کیفیت آب در ارتفاعات شمالی محدوده به سمت قسمت‌های جنوبی دشت در طبقه‌بندی نسبتاً خوب تا خوب قرار می‌گیرد، اما در جنوبی‌ترین قسمت دشت در محدوده حوضه اشتهاارد کیفیت آب در طبقه‌بندی بد قرار دارد، این طبقه‌بندی بر اساس ساختار سازندهای زمین‌شناسی محدوده (سازندهای کربناته و غیر کربناته، مخروط‌افکنه‌ها، باتلاق‌ها و شوره‌زارها) و همچنین استفاده براساس کیفیت آب برای مصارف کشاورزی انجام گرفته است (جدول ۲).

شکل ۱۳ تهیه شده از داده‌های ۱:۱۰۰۰۰۰۰ تحقیقات منابع آب وزارت نیرو می‌باشد که در آن کیفیت آب هر قسمت نمایش داده شده است:

جدول (۲): تعداد چشمه‌ها مقدار EC و pH و جنس سنگ سازندهایی که چشمه‌ها در آن قرار دارند

Table (2): Number of springs, EC values, pH values, and lithology of the formations in which the springs are located.

جنس سنگ	pH	EC	تعداد چشمه‌ها
توف	از ۶/۳ تا ۸/۶	از ۶۰ تا ۱۴۰	۱۰۰
سنگ ولکانیکی	از ۷/۲ تا ۷/۹	از ۱۶۰ تا ۲۹۰	۳
سنگ آهک	از ۷/۴ تا ۷/۶	از ۱۵۰ تا ۲۹۰	۴
دولومیت	از ۶/۸ تا ۷/۶	از ۲۰۰ تا ۵۰۰	۱۴
توف ماسه‌سنگ	از ۶/۸ تا ۸/۳	از ۱۵۰ تا ۴۶۰	۶
ماسه‌سنگ	از ۷/۱ تا ۷/۶	از ۲۱۰ تا ۹۷۰	۸
نامشخص	از ۷/۲ تا ۷/۸	از ۱۹۰ تا ۳۵۰	۵

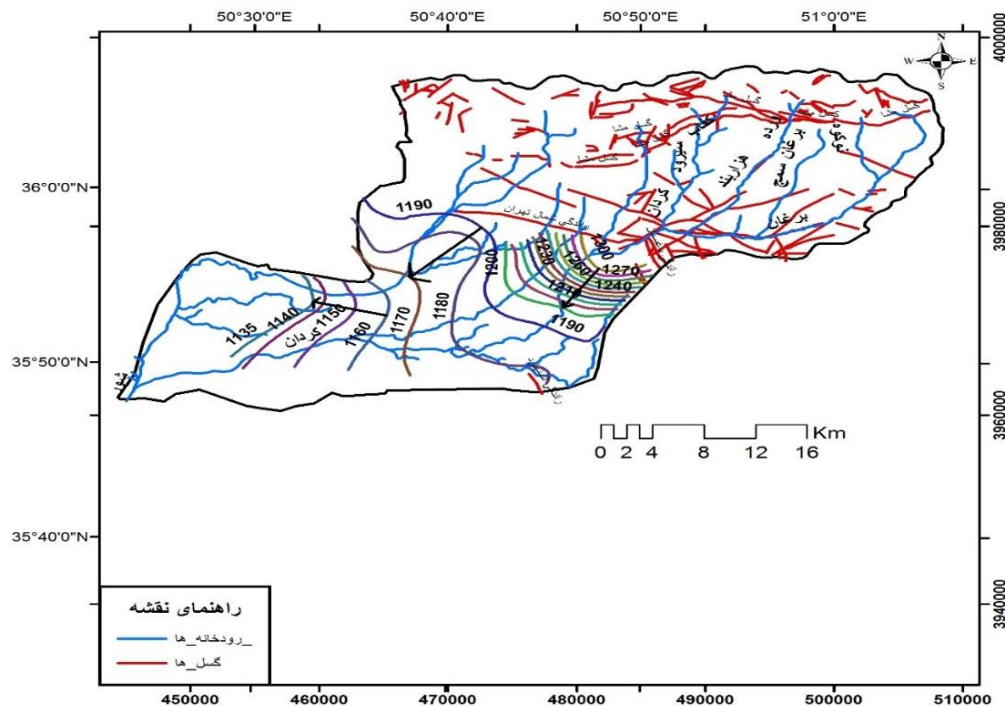


شکل (۱۳): نقشه طبقه‌بندی کیفیت آب سازندها و چشمه‌های محدوده مورد مطالعه. برگرفته از داده‌های تحقیقات منابع آب (وزارت نیرو)

Fig (13): Map of water quality classification of formations and springs in the study area, adapted from the water resources research data (Ministry of Energy, Iran).

تفسیر خطوط هم تراز و جهت جریان

منابع آبی و رودخانه‌های محدوده مطالعاتی از ارتفاعات شمالی سرچشمه گرفته و طبق خطوط هم‌تراز رسم شده و جهت جریان به سمت دشت ادامه یافته و به رودخانه کردان می‌پیوندد. همان طور که از خطوط جهت جریان مشخص است شیب جریان در قسمت جنوب شرقی دشت افزایش پیدا کرده است (شکل ۱۴).



شکل (۱۴): نقشه رودخانه‌ها، گسل‌ها، خطوط هم‌تراز و جهت جریان
Fig(14): Map of rivers, faults, contour lines, and flow direction in the study area.

بحث

وجود ارتباط بین عوامل ساختاری، شکستگی‌ها و گسل‌ها با منابع آب زیرزمینی مشخص است. شکستگی‌ها باعث نفوذ آب‌های سطحی به درون زمین شده و از طرف دیگر گسل‌ها با جابه‌جایی‌های لایه زیرزمین باعث تشکیل سفره‌های آب زیرزمینی می‌شوند. اما آن چه در این تحقیق انجام گرفته نشان دادن این ارتباط در یک منطقه مشخص برای اثبات آن است.

تحلیل چشمه‌ها با عوامل زمین‌شناسی

چشمه‌هایی که در محدوده مطالعاتی قرار دارند، به ترتیب در سازندهای کرج، سلطانیه، زاگون و شمشک جای گرفته‌اند، سنگ‌شناسی این سازندها از توف، سنگ‌های ولکانیکی، توف ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک، دولومیت، شیل و ماسه‌سنگ می‌باشد. میزان آبدهی تعدادی از چشمه‌ها در سازند کرج در رده ضعیف تا متوسط و تعدادی دیگر نیز در رده متوسط تا خوب قرار می‌گیرند. ارتباط مشخصی بین چشمه‌های موجود در سازند کرج و گسل‌های گسترده دیده نمی‌شود، این موضوع به تنوع سنگ‌شناسی در سازند کرج و وجود ساختارهای چین‌خورده و گسل‌های فرعی فراوان در آن مرتبط است. تهیه نقشه‌ها و برش‌های زمین‌شناسی بزرگ‌مقیاس در تفسیر نحوه ایجاد این چشمه‌ها اهمیت زیادی دارد. چشمه‌ها در سازند سلطانیه در رده ضعیف تا متوسط، در سازند زاگون در رده متوسط رو به بالا و در سازند شمشک تعداد ۲ چشمه در رده ضعیف و ۱ چشمه جزو طبقه‌بندی خوب قرار می‌گیرند. در این سازندها انطباق مناسبی بین موقعیت گسل‌ها و چشمه‌ها دیده می‌شود که به

عملکرد گسل مربوط است. عملکرد گسل‌ها در قسمت‌هایی، موجب ایجاد شکستگی و خردشدگی در آن ناحیه شده و این موضوع موجب بالا رفتن دبی چشمه شده است.

تحلیل جریان آب زیرزمینی در کوهپایه

آبخوان هشتگرد زهکش آب‌های جاری ارتفاعات جنوبی سلسله جبال البرز را به رودخانه کردان به سوی دشت مرکزی ایران تخلیه می‌کند، در این راستا با توجه به خطوط تراز و جهت جریان رسم شده شیب جریان در قسمت جنوب شرقی دشت افزایش پیدا کرده است، که طبق بررسی‌های انجام شده علت این افزایش شیب می‌تواند به علت تغییر ضخامت آبخوان در آن ناحیه باشد، زیرا طبق قانون داری معادله پیوستگی جریان، هر جا ضخامت آبخوان کاهش یابد شیب هیدرولیکی افزایش می‌یابد، لذا این افزایش شیب می‌تواند ناشی از کاهش ضخامت آبخوان در آن ناحیه باشد. وجود زون گسله در مرز بین کوه و دشت در آن ناحیه موجب اختلاف ارتفاع در آن قسمت شده است و می‌تواند در این امر مفید باشد.

اختلاف ارتفاع در حدود ۳۰۰ متر بین بلندی‌های هشتگرد و دشت جنوبی آن وجود دارد که می‌تواند به سبب وجود مولفه شاقولی پهنه گسلی راندگی مشا و راندگی شمال تهران در آن ناحیه باشد. در قسمت دشت که آبرفت‌های ضخیمی وجود دارند تغییرات دانه‌بندی آبرفت‌ها در تغییرات شیب هیدرولیکی موثرند. در قسمت جنوب شرقی دشت آبرفت‌ها درشت دانه‌تر هستند. اما در قسمت جنوب غربی دشت آبرفت‌ها ریزدانه‌تر هستند. این امر سبب وجود شیب هیدرولیکی بیشتر در بخش‌های غربی دشت شده است.

تحلیل کیفیت آب زیرزمینی

کیفیت آب در ارتفاعات شمالی محدوده به سمت قسمت‌های جنوبی دشت در طبقه‌بندی نسبتاً خوب تا خوب، قرار می‌گیرد، ولی در جنوبی‌ترین قسمت دشت در محدوده حوضه اشتهاارد، کیفیت آب در طبقه‌بندی بد قرار دارد. طی تغییر کیفیت آب چشمه‌ها در ارتفاعات و همچنین در نواحی دشت در محدوده مورد مطالعه بر اثر تغییر سنگ‌شناسی سازندها می‌باشد. در قسمت‌های شمالی طبق داده‌های چشمه‌ها موجب بالا رفتن املاح محلول و افزایش میزان EC (هدایت الکتریکی آب) شده است و در قسمت دشت نیز در بخش‌های جنوبی به علت وجود مواد ریزدانه و همچنین شوره‌زارها موجب کاهش کیفیت آب شده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب ذکر شده و تحلیل‌های صورت گرفته نتایج زیر حاصل شد:

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق شامل ۲ گسل اصلی مشا و راندگی شمال تهران می‌باشد. بر اساس شواهد توضیح داده شده، عملکرد گسل‌ها در محدوده مطالعاتی در قسمت‌هایی موجب ایجاد پهنه‌های شکستگی می‌شود. در قسمت‌هایی که دبی چشمه‌ها بالا رفته است، شکستگی لایه و خردشدگی سنگ‌ها در اثر عملکرد گسل‌ها تاثیرگذار بوده‌اند، این موضوع موجب افزایش راندمان و دبی چشمه‌ها در آن ناحیه شده است.

با توجه به بررسی‌های انجام گرفته در مرز بین کوه و دشت در محدوده مورد مطالعه و رسم و تحلیل خطوط جریان و جهت جریان در قسمت دشت، شیب جریان در قسمت جنوب شرقی دشت افزایش پیدا کرده است، که این موضوع ناشی از کاهش ضخامت آبخوان در آن ناحیه می‌باشد. در قسمت جنوب غربی دشت نیز به علت افزایش ضخامت و همچنین وجود مواد ریزدانه کاهش جریان شکل گرفته است. در راستای عملکرد زون گسله در آن ناحیه اختلاف ارتفاع حدوداً ۳۰۰ متری بین بلندی‌های هشتگرد و دشت جنوبی آن وجود دارد که متاثر از مولفه شاقولی پهنه گسلی در آن منطقه می‌باشد. کیفیت آب زیر زمینی تحت تاثیر جنس سنگ‌های موجود در چشمه‌ها و همچنین سازندها می‌باشد.

بیانیه هوش مصنوعی:

نویسندگان مسئولیت کامل صحت، دقت و اصالت محتوای مقاله را بر عهده دارند و اعلام می‌دارند که از ابزار هوش مصنوعی صرفاً در ویرایش و نگارش مقاله استفاده کرده‌اند.

سیاسگزاری

از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان البرز و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به دلیل ارائه نقشه‌های زمین‌شناسی و داده‌های هیدروژئولوژیکی تشکر و قدردانی می‌کنم.

References

- Alavi, M. (1996). Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran. *Journal of geodynamics*, 21(1), 1-33. [https://doi.org/10.1016/0264-3707\(95\)00009-7](https://doi.org/10.1016/0264-3707(95)00009-7).
- Alijani, F., Nasery, H., Amirafzali, M., & Shamas, A. (2018). Effect of doroud fault on hydrogeology of Doroud-Boroujerd alluvial aquifer, Lorestan province. *Iran-Water Resources Research*, 14(2), 167-181(In Persian).
- Alizadeh, H. (2022). The role of active geological structures in forming hot springs in Ramsar, Iran. *Geology Today*, 38: 230-235. <https://doi.org/10.1111/gto.12413>
- Amini, B. (1993). Geological map of Tehran, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Baharvand, R. (2013). Investigating the effect of Dorood fault on groundwater resources of Silakhor plain, Lorestan province. Master's Thesis in Geology-Hydrology, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian).
- Bazli, M. a. R., F. (1977). Geological map of Shakran, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Bense, V., Gleeson, T., Loveless, S., Bour, O., & Scibek, J. (2013). Fault zone hydrogeology. *Earth-Science Reviews*, 127, 171-192. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.09.008>.
- Caine, J. S., Evans, J. P., & Forster, C. B. (1996). Fault zone architecture and permeability structure. *Geology*, 24(11), 1025-1028. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1996\)024<1025:FZAAPS>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1996)024<1025:FZAAPS>2.3.CO;2).
- Cruset, D., Cantarero, I., Benedicto, A., John, C. M., Vergés, J., Albert, R., . . . Trave, A. (2020). From hydroplastic to brittle deformation: controls on fluid flow in fold and thrust belts. Insights from the Lower Pedraforca thrust sheet (SE Pyrenees). *Marine and Petroleum Geology*, 120, 104517. <https://hal.science/hal-02900973v1/file/702701.pdf>
- Demircioğlu, R. (2024). Association of the relationship between tectonic lineaments and natural springs around Nigde Massif, Central Anatolia, Turkey. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 52(10), 2335-2346. <https://doi.org/10.1007/s12524-024-01957-4>
- Emami, M. H. a. N., I. (1994). Geological map of Karaj-Hashtgerd, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Etemad-Saeed, N., Hosseini-Barzi, M., Adabi, M. H., Sadeghi, A., & Houshmandzadeh, A. (2015). Provenance of Neoproterozoic sedimentary basement of northern Iran, Kahar Formation. *Journal of African Earth Sciences*, 111, 54-75.
- Hamed, Y., Ahmadi, R., Demdoun, A., Bouri, S., Gargouri, I., Dhia, H. B., . . . Choura, A. (2014). Use of geochemical, isotopic, and age tracer data to develop models of groundwater flow: A case study of Gafsa mining basin-Southern Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, 100, 418-436. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.07.012>.
- Hernandez-Marin, M., & Burbey, T. J. (2012). Fault-controlled deformation and stress from pumping-induced groundwater flow. *Journal of hydrology*, 428, 80-93.
- Idris, M., Garba, M., Kasim, S., Madabo, I., & Dandago, K. (2018). The role of geological structures on groundwater occurrence and flow in Crystalline Basement aquifers: a status review. *Bayero Journal of Pure & Applied Sciences*, 11(1), 155. <https://doi.org/10.4314/BAJOPAS.V11I1.27>.
- Jafari, J., Alamdari, S., Zayandehroodi, A. (2011). Investigation of geological factors affecting the quality of groundwater resources in Jiroft plain. *Quarterly Journal of Earth and Resources Research*, 4, 1-10(In Persian).

- Keegan-Treloar, R., Irvine, D. J., Solórzano-Rivas, S. C., Werner, A. D., Banks, E. W., & Currell, M. J. (2022). Fault-controlled springs: A review. *Earth-Science Reviews*, 230, 104058. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104058>.
- Kiani, T., & Yousefi, Z. (2026). Effect of active faults in the groundwater level of Shaharchay basin in Urmia. *Applied Research in Geographical Sciences*, 17(47), 61-75(In Persian).
- Lapperre, R. E., Kasse, C., Bense, V. F., Woolderink, H. A., & Van Balen, R. T. (2019). An overview of fault zone permeabilities and groundwater level steps in the Roer Valley Rift System. *Netherlands Journal of Geosciences*, 98, e5. <https://doi.org/10.1017/njg.2019.4>.
- Mousavi, M. (2013). Investigating the effect of Dehshir-Baft fault on quantity and quality of groundwater in Herat-Marvast plain using electrical resistivity tomography and hydrological studies. Master's Thesis in Mining Engineering-Exploration (In Persian).
- Nadri, R., & Alizadeh, H. (2025). Evaluating the role of structural parameters in identifying karst water resources Case study: of Kopeh Dagh structural zone. *Journal of Hydrogeomorphology*, 12(43), 16-11. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/hyd.2025.63495.1755>
- Ortega, L., Miller, J., Araguás-Araguás, L., Zabala, M. E., Vives, L., Mira, A., ... & Manzano, M. (2022). Unravelling groundwater and surface water sources in the Esteros del Iberá Wetland Area: An isotopic approach. *Science of the Total Environment*, 846, 157475. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157475>
- Rajabpour, H., Vaezi, A. (2017). Investigating the effect of North Tabriz fault on quantitative and qualitative characteristics of adjacent groundwater resources in east of Tabriz. *Quarterly Journal of Iran Geology* 11, 141-153. (In Persian).
- Ramsay, J. G. (1986). The techniques of modern structural geology. The Techniques of Modern Structural Geology, Folds and Fractures, 2, 309-700. https://books.google.com/books/about/The_Techniques_of_Modern_Structural_Geol.html?id=q0cUMA5dEBEC
- Smeraglia, L., Aldega, L., Bernasconi, S. M., Billi, A., Bigi, S., Di Marcantonio, E., ... Carminati, E. (2025). Structural and stratigraphic control on fluid flow in the Mt. Conero anticline, Italy: An analog for offshore resource reservoirs in fold-and-thrust belts. *Journal of Structural Geology*, 200, 105502. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2025.105502>.
- Stamos, C. L., Cox, B. F., Izbicki, J. A., & Mendez, G. O. (2003). Geologic Setting, Geohydrology and Ground-Water Quality near the Helendale Fault in the Mojave River Basin, San Bernardino County, California. *Water-Resources Investigations Report*, 3, 4069. <https://pubs.usgs.gov/wri/wri034069/wrir034069.book.pdf>
- Tamburini, A., & Menichetti, M. (2016). Hydrostructural characterization of the karst reservoir in the Umbria-Marche Apennine, Italy. In Eurokarst (pp. 112-113): Universite Neuchatel. <https://hdl.handle.net/11576/2642669>.
- Vahdati, F. a. N., H. (1998). Geological map of Marzanabad, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Yassaghi, A., & Madanipour, S. (2008). Influence of a transverse basement fault on along-strike variations in the geometry of an inverted normal fault: Case study of the Mosha Fault, Central Alborz Range, Iran. *Journal of Structural Geology*, 30(12), 1507-1519. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2008.08.006>