



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=en>
Geography and Environmental Planning
E-ISSN: 2252- 0910
Document Type: Research Paper
Vol. 35, Issue 2, No.94, Summer 2024, pp. 1- 4
Received: 11/04/2023 Accepted: 22/01/2024

The Potential of Water Outflow from the Folds of Zagros Mountains to the Persian Gulf Watershed

Gholam Hassan Jafari ¹ *, Narges Fuladi ²

1- Associate professor in Geomorphology, Geography Department, Humanist faculty,
University of Zanjan, Zanjan, Iran
jafarihas@znu.ac.ir

2- M.Sc. in Geomorphology, Geography Department, Humanist faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran
fuladi.narges@yahoo.com

Abstract

The Zagros Mountain range channels a significant volume of water towards the Persian Gulf basin due to the presence of gorges, diverting it from a potential southeast trajectory parallel to the Zagros folds. This study aimed to assess the water flow through the Zagros straits, utilizing 1:50,000 topographic and 1:100,000 geological maps, Iran's Digital Elevation Model (DEM), and various library sources. Hydrometric stations were used as the starting point and their associated sub-basins were delineated. The relationship between precipitation and elevation in each basin was analyzed to extract the precipitation layer of each sub-basin and calculate its average precipitation. Considering the sub-basin areas, the precipitation amount over a specific period was estimated and compared with the recorded discharges. The findings revealed that approximately 110,695 billion cubic meters of water were channeled to the Persian Gulf via the tidal currents of the Zagros Mountains. Notably, the sub-basins with lower discharge relative to the received precipitation, including Gilvan, Simre, Sartang Dolab, Qara Aghaj, and Dez, were situated to the east of the Zagros main thrust, while those with higher discharge were located to the west. This disparity in discharge on either side of the Zagros main thrust could be attributed to various mountain features, such as land surface slope, position in relation to incoming streams, karst, and faulting.

Keywords: Debit, Gap, Karst, Watershed, Zagros.

*Corresponding Author

Jafari, G., & Fuladi, N. (2024). The Potential of Water Output from the Folds of Zagros to the Persian Gulf Basin. *Geography and Environmental Planning*, 35 (2), 1 - 4.



2252-0910 © University of Isfahan

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



10.22108/GEP.2024.137318.1577

Introduction

Iran, spanning an area of 1,648,195 km², is characterized as one of the arid countries globally. Recent climate classifications indicate that approximately 90% of Iran's territory experiences dry and semi-arid conditions with over 40% facing a critical water scarcity crisis ([Masoudian, 2011, p. 60](#)). Notably, the intricate nature of the Zagros system has led to the water network often intersecting the folds perpendicularly and forming narrow gaps en route to the Persian Gulf's base level, facilitating substantial water transfer to the external watershed area. This study aimed to investigate the water transfer through the Zagros Gorges. While previous research has focused on the role of karst and fault systems in the sub-surface and underground water potential within the sub-basins of the Zagros Mountain range, their specific impacts on water transfer have received comparatively less attention. This article addressed this gap by evaluating their influence on a basin-specific basis while examining the effects of these gaps on water transfer from the Zagros Rivers.

Materials & Methods

To assess the impact of karst on surface water resources and the volume of water conveyed through the Zagros Gorges on a basin-specific basis, we employed 1:50,000-scale topographic and 1:100,000-scale geological maps, Iran's Digital Elevation Model (DEM), and various library sources. The initial step involved identifying the hydrometric stations and extracting their associated sub-basins. In the Zagros Mountains, local topographical features and the positioning of basin areas in relation to incoming rainfall significantly influence precipitation levels in addition to the well-established correlation between rainfall and altitude. To comprehensively evaluate the climatic conditions of the Zagros region, we utilized data from the statistical stations (rainfall, temperature, and discharge), the Esfazari Database spanning 49 years, and discharge data from the Water Organization. Employing Excel software, we determined the relationships between precipitation, temperature, and station elevation, focusing on those with an explanatory coefficient exceeding 70%. This facilitated the extraction of the precipitation layer for each sub-basin and the calculation of their average precipitation. Considering the sub-basin areas, we estimated the precipitation volume over a specific period and compared it with the recorded discharge data. Subsequently, we estimated the annual average rainfall and temperature for 156 basins in the Zagros region. Leveraging the DEM layer, we calculated the maximum and minimum basin elevations and determined their respective areas using GIS software. While 36 out of the 156 sub-basins were equipped with hydrological stations, we utilized Justin's method to estimate the discharge for the remaining basins, leveraging the similar functions of watersheds within the Zagros unit.

Research Findings

The comprehensive survey of the expansive basins of Simre, Karun, Qara-Aghaj, Dez, and Gilvan within the Zagros Mountain range revealed that the alluvial rivers channeled an impressive 110,695 billion m³ of water from the internal basins to the Persian Gulf basin through the creation of gorges and hydrological connections between the alluvial areas via depressions. It was evident that the volume of water output was not solely contingent on the basin areas. Notably, the sub-basins of Sartang Dolab and Tang Dez exhibited the highest outflow of water. The deep incisions of the folds coupled with faulting and limestone dissolution facilitated the transfer of water from the interior regions, particularly in basins characterized by varying elevations. The substantial proliferation of

carbonate formations and the water potential of upstream karst aquifers manifested through the emergence of karst waters from springs significantly augmented surface water volume and played a pivotal role in sustaining underground streams within the karst aquifers. Limestone and karst formations were notably more prevalent on the eastern slope of the primary Zagros thrust than on the western slope. Furthermore, the density of faults was higher on the eastern slope, contributing to the creation of seams and cracks in limestone formations and the expansion of karst features. The springs originating from karst formations were more prevalent on the eastern slopes. It is noteworthy that the sub-basins with lower discharges relative to the received precipitation among the five basins of Gilvan, Simre, Sartang Dolab, Qara Aghaj, and Dez were situated to the east of the Zagros main fault. Conversely, those with higher discharges relative to the received precipitation were located to the west of the Zagros main fault. This disparity in discharge on either side of the Zagros main thrust could be attributed to various mountain features, including the slopes of the mountain land surfaces, their positioning in relation to the incoming streams, as well as the presence of karst and faulting.

Discussion of Results & Conclusion

The towering Zagros range is characterized by an extensive network of faults and folds, spanning approximately 1600 km from Lake Van in eastern Turkey to Bandar Abbas at the mouth of the Persian Gulf, encompassing significant portions of Iran and Iraq ([Oberlander, 2000, p. 13](#)). Within the Zagros region, the mountains correspond to anticlines, while the valleys correspond to synclines. Anticlines and synclines are formed as a result of upward and downward movements of rock layers during folding and their physical appearance is linked to the undulating nature of folding waves ([Zomordian, 2013, p. 209](#)). Many of the rivers originating from the heights of the Zagros are perennial with some exhibiting substantial flow and turbulence. This hydrological characteristic has led to the natural evolution of basin limitations and expansions, as well as river capture during the Quaternary period ([Ramesht, 2014](#)). The majority of the basins within the Zagros Mountain range are situated within the folded Zagros or accordion levels characterized by expansive synclinal currents. The interconnection of these synclinal currents through saddles has resulted in the formation of numerous gaps, facilitating the outflow of significant water volumes to exoreic basins in Iran. Furthermore, geological factors, faults, and topography of the area may have influenced the modulation of output flow, either reducing or increasing it.

مقاله پژوهشی

پتانسیل خروجی آب از چین خوردگی‌های زاگرس به حوضه آبریز خلیج فارس

غلامحسن جعفری* ، دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

jafarihas@znu.ac.ir

نرگس فولادی، کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

fuladi.narges@yahoo.com

چکیده

بر اثر شکل‌گیری تنگ‌ها در رشته‌کوه زاگرس آب فراوانی به حوضه خلیج فارس هدایت می‌شود که در صورت نبودن تنگ‌ها، آب‌ها موازی با چین خوردگی‌های زاگرس، به سمت جنوب شرق هدایت می‌شدند. هدف از پژوهش حاضر برآورد آب انتقال‌یافته با تنگ‌های زاگرس است. به این منظور از نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی، ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی، مدل رقومی ارتفاع ایران و منابع کتابخانه‌ای استفاده شد؛ بنابراین در این پژوهش لایه ایستگاه‌های هیدرومتری انتخاب و به‌عنوان نقطه خروجی، زیرحوضه‌های مسلط به آنها استخراج شد. در پژوهش حاضر روابط بین بارش با ارتفاع هر حوضه برآورد و براساس آنها لایه‌های هم‌بارش و متوسط بارش هر زیرحوضه محاسبه شد. با در نظر گرفتن وسعت زیرحوضه‌ها حجم بارش دوره‌های مدنظر برآورد و با دبی‌های ایجادشده مقایسه و تجزیه و تحلیل شد. نتایج حاکی از آن است که با جریان‌های ناودیزی رشته‌کوه زاگرس، ۱۱۰،۶۹۵ میلیارد متر مکعب آب به خلیج فارس هدایت می‌شود. در میان پنج حوضه گیلوان، سیمره، سرتنگ دولاب، قره آغاج و دز زیرحوضه‌هایی که دبی کم دارند در دامنه‌های شرقی و زیرحوضه‌های با دبی زیاد در دامنه غربی تراست اصلی زاگرس واقع شده است. علت تفاوت در دبی دو دامنه را می‌توان در چند ویژگی زاگرس ردیابی کرد: ۱- شیب دامنه‌های کوهستانی؛ ۲- موقعیت دامنه‌ها نسبت به جریان‌های ورودی؛ ۳- کارست و گسل خوردگی. هرچند حجم دبی حوضه‌های شرقی نسبت به دبی حوضه‌های غربی کمتر است، زمان آبدهی آنها طولانی‌تر است. واژه‌های کلیدی: تنگ، حوضه آبریز، دبی، کارست، زاگرس.

*نویسنده مسئول

جعفری، غلامحسن، فولادی، نرگس. (۱۴۰۲). پتانسیل خروجی آب از چین خوردگی‌های زاگرس به حوضه آبریز خلیج فارس. جغرافیا و برنامه‌ریزی

محیطی، ۳۵ (۲)، ۲۲-۱.



مقدمه

کشور ایران با مساحت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع یکی از کشورهای خشک است. براساس جدیدترین طبقه‌بندی‌های اقلیمی که تاکنون انجام شده است، حدود ۹۰ درصد مساحت ایران، اقلیم خشک و نیمه‌خشک دارد و بیش از ۴۰ درصد از مساحت آن با بحران کم‌آبی شدید مواجه است (مسعودیان، ۱۳۹۱، ص. ۶۰). آب به‌عنوان مایع حیات‌بخش در نواحی خشک ارزش و اعتبار فراوانی دارد؛ به‌طوری‌که تنها عامل دوام و استقرار جمعیت در اینگونه نواحی میزان آب در دسترس در آن است. شاخص‌های بحران آب در کشور ایران به مراتب نامطلوب‌تر از متوسط دنیاست (علیزاده، ۱۴۰۰، ص. ۱۳). از مجموع ۴۳۰ میلیارد متر مکعب بارش سالانه ایران حدود ۸۰ تا ۹۰ میلیارد متر مکعب بارش‌ها از سوی سدها و یا روش‌های دیگر استفاده می‌شود و بقیه در درون زمین تبخیر می‌شود و یا نفوذ می‌کند (شهرستانی، ۱۳۹۳). بخش عظیمی از آب زیرزمینی در سازندهای کارستی است که به‌صورت چشمه بر سطح زمین ظاهر و یا در نقاط نامعلوم و ناشناخته‌ای ناپدید می‌شوند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۶). شبکه آب‌ها برای دستیابی به سطح پایه خلیج فارس و نیز به‌علت رشته‌رشته‌بودن سیستم زاگرس در موارد زیادی چین‌ها را در جهت عمود بر امتداد محور آنها بریده و در محل برش، تنگ (کلوز، گپ) ایجاد کرده است (علایی طالقانی، ۱۴۰۰، ص. ۱۶۸). بدین ترتیب، آب بسیار زیادی از داخل ایران به حوضه آبریز خارجی خلیج فارس هدایت می‌شود. در منطقه‌های کارستیک و آهکی و اراضی که سطح نفوذناپذیر دارند، هرچه میزان نفوذپذیری سطح‌ها کمتر باشد، تطابق این مرزها با یکدیگر بیشتر خواهد شد (رامشت، ۱۳۹۳، ص. ۲۲) و بدین صورت، محدوده حوضه توپوگرافی با حوضه حقیقی اختلاف بیشتری پیدا می‌کند. باتوجه به غلبه سنگ‌های آهکی در کوه‌های زاگرس که بهترین شرایط را برای توسعه فرسایش انحلالی و کارست فراهم کرده است، مرز حوضه‌های آبریز مجازی با مرز حوضه‌های آبریز حقیقی در بیشتر موارد انطباق ندارد. در چنین صورتی امکان انتقال آب‌های کارستی از حوضه‌ای به حوضه دیگر بسیار زیاد است.

بربریان و بربریان پژوهشی با عنوان «اپیزودهای تکنوپلوتونیک در ایران با استفاده از شواهد لیتولوژیکی» انجام داده‌اند. نتایج نشان داد که عوامل مؤثر بر تکامل ژئودینامیکی زاگرس، هندوکش و هیمالیا باتوجه به دیدگاه وایت (White, 1988) در قالب سه نیروی پیش‌برنده فیزیکی، شیمیایی و وضعیت آب‌شناختی عمل کرده است (Berberian, 1981). وایت در بررسی ژئومورفولوژی و هیدرولوژی اراضی کارستی درباره شیمی آب‌های کارستی فرآیندهای پر شدن رسوب، منشأ غارها و تکامل سیستم‌های کارست در طول زمان زمین‌شناسی بحث کرده است (White, 1988). علوی پژوهشی با عنوان «زمین‌ساخت کمربند کوه‌زایی زاگرس ایران» انجام داده است. محقق با استفاده از داده‌ها و تفسیرهای جدید مراحل تکامل و تحول این واحد ناهمواری را تحلیل کرده است (Alavi, 1994). ونی در پژوهشی با عنوان «سنگ‌شناسی به‌عنوان یک ابزار پیش‌بینی مورفولوژی و هیدرولوژی مجرا در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی» نقش لیتولوژی را در مورفولوژی و هیدرولوژی سنگ‌های کربناته ارزیابی کرده است. نتایج نشان داد که تغییرات در سنگ‌شناسی واحدهای کربناته بر مورفولوژی غارها، مجراها و بر نقش هیدرولوژیکی آنها در سفره‌های کارستی اثرهای زیادی داشته است (Veni, 2005). سعیدآبادی و همکاران در پژوهشی با عنوان «مدل‌سازی تغییرپذیری مکانی، ارتفاعی و زمانی بارش سالانه در مناطق کوهستانی: مورد مطالعه زاگرس میانی، ایران» روابط بین بارش و

ارتفاع را در منطقه میانی زاگرس با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی استخراج و مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که بارش اغلب با افزایش ارتفاع در شیب روبه باد تا حداکثر ارتفاع ۲۵۰۰ متر در سطح زمین افزایش و پس از آن ثابت مانده و یا به آرامی تا خطالرأس کاهش یافته است (Saiedabadi et al., 2016). برمکی و همکاران در پژوهشی با عنوان «مقایسه توسعه کارست سطحی و داخلی در سفره‌های کارستی زاگرس جنوب غربی ایران» ارتباط بین کارستی شدن سطح با توسعه کارست داخلی یک آبخوان را با توجه به ضخامت سازندهای کربناته، فاصله از گسل‌ها، تراکم شکستگی، بارندگی، دما، شاخص پوشش گیاهی، شیب و برجستگی بررسی کردند. نتایج نشان داد که بارش، وجود تراکم گسل‌ها و شکستگی‌های بیشتر و پوشش گیاهی کمترین اثرگذاری را بر کارستی شدن داشته است. همچنین، محققان از تجزیه و تحلیل هیدروگراف بهاره نیز نتیجه گرفتند که با وجود روش‌های مختلف تخمین توسعه نسبی کارست، اثرگذاری هر پارامتر بر ویژگی خاص آبخوان کارست مستقل از سایر پارامترهاست و مقایسه سطح نسبی و توسعه کارست داخلی نیز نشان داد که ارتباط احتمالی بین آنها پیش‌بینی‌ناپذیر است (Barmaki et al., 2019).

مظفری و همکاران در پژوهشی با عنوان «هیدروژئولوژی و ژئومورفولوژی آبخوان بیستون (شمال غرب ایران): نمونه جالب اندوکارست عمیق» سیستم کارست زیرزمینی سنگ آهک بیستون به ضخامت حدود ۳۰۰۰ متر و با بیش از ۸۰ درصد مواد معدنی کربناته را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تشکیل کارست درونی عمیق در آبخوان بیستون بیشتر به ویژگی‌های زمین‌ساختی مربوط می‌شود. همه غارها و شفت‌ها منشأ خشکی‌زایی دارند؛ زیرا غارها و شفت‌ها از طریق حرکت آب از ناحیه تغذیه با ارتفاع بالا به سمت چشمه‌های دره‌های مجاور تشکیل شده است. شیمی آب و ضرایب رکود فراوان هیدروگراف‌های چشمه، حرکت سریع آب زیرزمینی را با مجراهای کارستی نشان داده است که بیشتر در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها ایجاد شده است (Mozafari et al., 2020). گراوند و همکاران پژوهشی با عنوان «روش‌های کمی و کیفی برای شناسایی چشمه‌های کارستی: مطالعه موردی: کوه‌های زاگرس در استان لرستان» انجام دادند. محققان در این پژوهش از آخرین روش‌های آماری توسعه یافته برای توصیف آبخوان کارست براساس تجزیه و تحلیل هیدروگراف رکود چشمه و کیفیت آب چشمه و نیز از ۴۲ چشمه اصلی کارستی که بیشتر در قسمت چین‌خورده منطقه زاگرس (غرب ایران) واقع شده است برای اعمال روش‌های بررسی شده استفاده کردند. نتایج نشان داد که زون اشباع به‌طور تقریبی، کنترل اصلی را بر دبی ۷۶ درصد از چشمه‌های مطالعه شده اعمال می‌کند. جریان پایه بین ۸۰ تا ۱۰۰٪ از کل ذخیره آب را در سفره‌های زیرزمینی تشکیل داده است. همچنین، ۷۸/۵ درصد از سفره‌های زیرزمینی مطالعه شده در کوه‌های زاگرس استان لرستان درجه کارستی زیادی را داشته است (Geravand et al., 2022).

درباره ناهمواری‌های زاگرس در کتاب‌های ژئومورفولوژی ایران نگارش و خسروی (۱۳۷۷)؛ زمردیان (۱۳۸۱)؛ مقیمی (۱۳۹۲)؛ رام‌شت و باباجمالی (۱۳۹۸)؛ جداری عیو ضی (۱۴۰۰)؛ علایی طالقانی (۱۴۰۰) به‌طور مفصل بحث شده است. تنها کتاب اختصاصی در این زمینه کتاب رودخانه‌های زاگرس/ازدیدگاه ژئومورفولوژی است که ابرلندر (۱۳۷۹) چاپ کرده است. در این کتاب رودخانه‌ها و تنگ‌های زاگرس ایران و عراق بررسی شده است. همچنین، نویسندگان ضمن شناسایی و معرفی تنگ‌های زاگرس، نحوه شکل‌گیری آنها را با استفاده از مدل‌های مختلف ارزیابی کرده است. محمودی و ملکی (۱۳۸۰) پژوهشی با عنوان «تحول کارست و نقش آن در منابع آب زیر زمینی در

ناهمواری‌های بیستون-پراو (کرمانشاه)» انجام دادند. آنها ضمن شناسایی اشکال تکامل‌یافته کارستی نتیجه گرفتند که در مکان‌هایی با تحول کارست پیشرفته، پتانسیل قوی در جذب آب و ذخیره آن ایجاد شده است. [کاظمی و همکاران \(۱۳۸۵\)](#) پژوهشی با عنوان «بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب در منطقه کارستی لار با استفاده از سنجش از دور و GIS» انجام دادند. نتایج نشان داد که ارتباط نزدیکی بین خطواره‌ها، عناصر تکتونیکی، شبکه هیدروگرافی و شیب توپوگرافی با فراوانی منابع آب کارستیک در منطقه وجود داشته است. این روابط نشان‌دهنده نقش بارز عناصر تکتونیکی و لزوم توجه به آن در بررسی استعداد منابع آب و انتقال آب‌های زیرزمینی در منطقه‌های کارستیک است. [اسکائی کزازی \(۱۳۹۰\)](#) پژوهشی با عنوان «تشکیل و تکامل تنگ‌ها در زاگرس چین‌خورده: مطالعه موردی: تنگ تکاب در تاقدیس خاویز، شمال شرق بهبهان» انجام دادند. محقق در این پژوهش ضمن به چالش کشیدن فرضیه‌های رایج درباره چگونگی تشکیل تنگ‌ها در دره عرضی تنگ تکاب به این نتیجه رسیده است که منشأ دره عرضی تنگ تکاب فرآیندهایی (اقلیمی، دینامیک و زمین‌شناسی) است که امروزه به‌طور فعال دست‌اندرکار تغییر سطح‌های وسیعی از زاگرس هستند. [خانلری و مؤمنی \(۱۳۹۱\)](#) پژوهشی با عنوان «ژئومورفولوژی، هیدروژئولوژی و مطالعه فاکتورهای مؤثر بر توسعه کارست در منطقه گرین، غرب ایران» انجام دادند. محققان در این پژوهش در بررسی هیدروژئومورفولوژی کارست گرین در غرب ایران، وضعیت منابع آب منطقه را ارزیابی کردند. آنالیز نمونه‌های آب نشان داد که تیپ آب موجود در بیشتر چشمه‌های منطقه به صورت بی‌کربنات کلسیم و منیزیم بوده است که با تیپ آبخوان‌های کارستی مطابقت دارد. [ابراهیمی و سیف \(۱۳۹۴\)](#) پژوهشی با عنوان «به کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی پتانسیل گسترش کارست سنگ‌های کربناتی زاگرس برپایه عامل‌های آب زمین‌شناختی و اقلیمی» انجام دادند. نتایج نشان داد که ۱۳۲ غار و ۳۰۰ چشمه در پهنه متوسط و ۵۱ غار و ۱۶۲ چشمه در پهنه زیاد تا خیلی زیاد گسترش کارست قرار گرفته است و تراکم چشمه‌ها و غارها با درجه گسترش واحدهای کربناتی زاگرس تطابق خوبی دارد. [دشتی برمکی و همکاران \(۱۳۹۴\)](#) پژوهشی با عنوان «پتانسیل‌یابی منابع آب کارست کوه‌های دوان و شاپور براساس تصمیم‌گیری چندمعیاره» انجام دادند. محققان در این پژوهش عوامل مؤثر در پتانسیل منابع آب (چشمه‌ها)، ساختاری (شکستگی‌ها و گسل‌ها)، زمین‌شناسی (لیتولوژی)، توپوگرافی (سطح اساس فرسایش محلی و شیب)، نزولات جوئی و پوشش گیاهی کارستی تاقدیس دشتک را بررسی کردند. نتایج نشان داد که پتانسیل آب کارست دشتک شمالی بیش از جنوبی است. [عابدینی و همکاران \(۱۳۹۴\)](#) پژوهشی با عنوان «بررسی عوامل مؤثر در شکل‌گیری فروچاله‌ها در سازندهای کارستی با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره در محیط ArcGIS و SPSS: مورد مطالعه: ناهمواری‌های بیستون-پراو» انجام دادند. تفسیر ضرایب و نتایج نشان داده است که لیتولوژی مهم‌ترین نقش را در توسعه کارست برعهده داشته است و بعد از آن به‌ترتیب لایه‌های گسل، بارش، ارتفاع، دما، شیب و جهت‌های شیب در درجه‌های بعدی اهمیت قرار می‌گیرند. [فتح‌نیا و همکاران \(۱۳۹۷\)](#) پژوهشی با عنوان «پایش و پیش‌بینی اثر خشکسالی‌ها بر دبی چشمه‌های کارستی شهرستان کرمانشاه» انجام دادند. محققان در این پژوهش سری‌های زمانی هیدرولوژیکی بین دبی چشمه‌های کارستی شهرستان کرمانشاه و بارش را با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده، آزمون من-کندال و زنجیره مارکوف برای پایش و پیش‌بینی خشکسالی و اثر آن بر دبی چشمه‌های کارستی شهرستان

کرمانشاه تحلیل کردند. نتایج تحقیق نشان داد که بین دبی سراب ورمنجه (۰/۶۳۹) و بی‌ابر (۰/۶۴۲) با بارش ایستگاه هواشناسی اسلام‌آباد غرب و سراب نیلوفر با ایستگاه هواشناسی کرمانشاه (۰/۴۸۴) بیشترین همبستگی وجود دارد. به دلیل حالت‌های مختلف بارش مانند جامد یا مایع، توزیع و شدت آن، اثر بارش بر افزایش دبی با تأخیر حداقل ۲ ماه و حداکثر ۶ ماه مشاهده شد. نتایج آزمون من-کندال بیانگر افزایش مقدار بارش (۷۶-۱۳۶۸) و سپس کاهش (۸۸-۱۳۷۷) است که دبی سراب بی‌ابر همین روند را نشان می‌دهد. همچنین، دبی سراب نیلوفر از سال ۱۳۸۷ دچار تغییر کاهشی شده است. نتایج آزمون زنجیره مارکوف نشان داد که در هر سه ایستگاه احتمال رخداد دوره خشک بیشتر از دوره بارانی است. [صفاری و همکاران \(۱۳۹۸\)](#) پژوهشی با عنوان «مخاطره محیطی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی تحت تأثیر ژئومورفولوژی کارست: مطالعه موردی: حوضه‌های الشتر و نورآباد» انجام دادند. محققان در این پژوهش تأثیر توسعه ژئومورفولوژی کارست و رخداد خشکسالی را بر ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان‌های کارستی تاق‌دیس گرین ارزیابی کردند. با توجه به توسعه متفاوت ژئومورفولوژی کارست می‌توان گفت که در چشمه‌های لاغری و تیمور به علت پایین بودن اثر حافظه و توسعه یافتگی آبخوان، واکنش دبی به تغییرات بارشی با تأخیر زمانی کوتاه مدت بوده است؛ اما در چشمه‌های امیر و چناره به علت توسعه اندک کارست، تأثیر خشکسالی با تأخیر حدود ۲۴ ماهه مواجه بوده است. [زنگنه تبار و قدیمی \(۱۳۹۸\)](#) پژوهشی با عنوان «بررسی پتانسیل منابع آبی کارست پرآو-بیستون به عنوان منابع تأمین آب پایدار اکوسیستم‌های زاگرس» انجام دادند. محققان در این پژوهش با استفاده از مدل تاپسیس، اثرهای هشت متغیر لیتولوژی، تراکم گسل، بارش، تراکم آبراهه، شیب، ارتفاع، جهت شیب و پوشش گیاهی را بر پتانسیل منابع آب زیرزمینی توده کارستی پرآو-بیستون بررسی کردند. نتایج نشان داد که دو عامل سنگ‌شناسی و گسل بر پتانسیل منابع آب کارست تأثیر زیادی گذاشته است؛ به طوری که طبقات با پتانسیل زیاد منطبق بر سازندهای ضخیم لایه آهکی با تراکم زیاد گسل‌ها و شکستگی‌های محلی مواجه بوده است. [دسترنج و جعفری اقدم \(۱۳۹۸\)](#) پژوهشی با عنوان «مدلسازی میزان تغذیه آب زیرزمینی آبخوان کارستی دالاهو با استفاده از مدل Karstlop» انجام دادند. نتایج نشان داد که میزان شارژ سالانه به دست آمده برای آبخوان کارستی دالاهو بین ۳۷ تا ۸۱ درصد است. نتایج پهنه‌بندی تغذیه به طور کامل با نتایج حاصل از پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی منطبق است. [پروین و حاتمی فرد \(۱۴۰۰\)](#) پژوهشی با عنوان «واکاو اثرات ژئومورفولوژی کارست و خشکسالی بر ویژگی‌های کمی-کیفی منابع آب کارستی محدوده تاق‌دیس گرین: استان لرستان» انجام دادند. محققان در این پژوهش آسیب‌پذیری ذاتی منابع آب آبخوان‌های کارستی حوضه‌های الشتر و نورآباد را با استفاده از روش PaPRIKa ارزیابی و پهنه‌بندی کردند. ارزیابی آسیب‌پذیری با روش PaPRIKa نشان داد که محدوده‌های مطالعاتی به پنج طبقه آسیب‌پذیر با درجه‌های خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم شده است. صحت‌سنجی ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی با داده‌های EC و دبی چشمه‌ها نشان می‌دهد که چشمه‌های زز و آهنگران در محدوده با آسیب‌پذیری زیاد واقع شده است؛ اما نمودار EC در برابر دبی ماهانه در چشمه‌های نیاز و عبدالحسینی در حوضه نورآباد تغییرات زیادی نداشته است که نشان‌دهنده توسعه نیافتگی و یا توسعه اندک آبخوان این چشمه‌هاست. [جعفری و ناصری \(۱۴۰۱\)](#) پژوهشی با عنوان «شناسایی تراکم و خصوصیات فیزیوگرافی دولین‌ها در طبقات ارتفاعی مختلف: مناطق کارستی زاگرس» انجام دادند. محققان در این

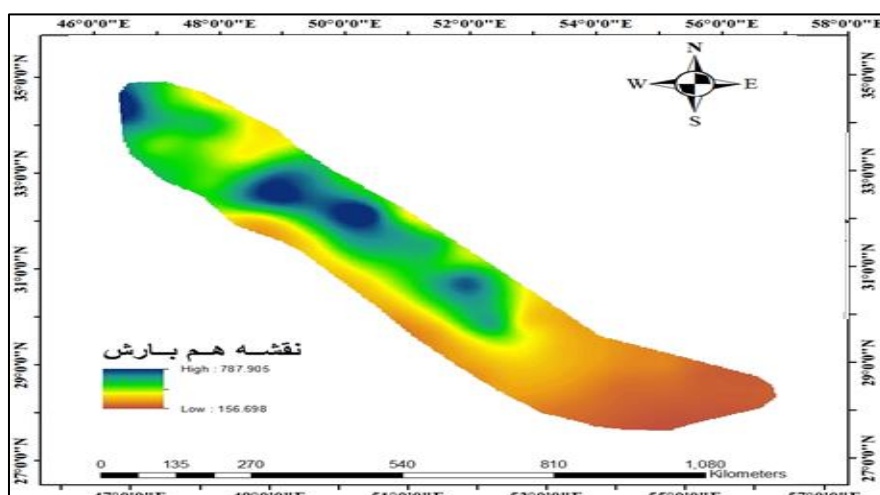
پژوهش ارتباط بین پراکندگی و تغییر ویژگی‌های مورفولوژیکی دولین‌های زاگرس (طول، عرض، مساحت و عمق) را با ارتفاع و اقلیم بررسی و تجزیه و تحلیل کردند. نتایج نشان داد که شکل و عمق دولین‌های زاگرس از ارتفاع و تغییرات اقلیمی کوآترنری متأثر شده است. مقدار آب فراوانی با تنگ‌های زاگرس به حوضه خلیج فارس منتقل می‌شود که در صورت نبود تنگ‌ها آن مقدار آب به نواحی جنوب شرقی ایران هدایت می‌شد. از طرف دیگر، تمام منابع آبی نیز با تنگ‌ها به خلیج فارس منتقل نمی‌شود. در نواحی آهکی نقش کارست را در انتقال آب نمی‌توان به طور دقیق مشخص کرد. کارست تیغه دو لبه‌ای است که امکان اثرگذاری عکس فرض بالا را نیز فراهم می‌کند؛ زیرا کارست پنهان را نمی‌توان به طور کامل شناسایی و آب انتقالی از آنها را نیز نمی‌توان به صورت صددرصد ردیابی کرد؛ از این جهت نتایج نهایی آن را باید در موارد دیگری ارزیابی کرد. بر این اساس، محققان در پژوهش حاضر با تقسیم واحد زاگرس به زیرحوضه‌های کوچک کوشیده‌اند تا خروجی نهایی کارست و تنگ را در انتقال آب به حوضه خلیج فارس بررسی و سپس تفاوت بین زیرحوضه‌های مختلف را از نظر مقدار آب انتقالی ارزیابی کنند.

روش‌شناسی پژوهش

از آنجایی که زمینه کاری منابع طبیعی بسیار گسترده و شامل علوم مختلف می‌شود، لازم است برای مطالعات محیطی یک پایگاه اطلاعات جغرافیایی تشکیل شود که قادر باشد نیاز اطلاعاتی هریک از علوم مربوط به محیط طبیعی را برآورد کند. منابع اطلاعاتی پژوهش حاضر شامل نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی، ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی، مدل رقومی ارتفاع ایران و منابع کتابخانه‌ای است. برای تدوین این پژوهش ابتدا لایه ایستگاه‌های هیدرومتری که داده‌های آماری مطمئنی داشت، انتخاب و به عنوان نقطه خروجی در نظر گرفته و سپس زیرحوضه‌های مسلط به آنها مرزبندی و استخراج شد. در کوه‌های زاگرس علاوه بر ارتباط تنگاتنگ بارش با ارتفاع، عوامل کوهستانی محلی و محدوده‌های پشت به باران و روبه باران حوضه‌ها در میزان دریافت بارش اثرگذار هستند. بر همین اساس، برای ارزیابی دقیق‌تر وضعیت اقلیمی زاگرس از داده‌های ایستگاه‌های آماری (بارش، دما و دبی) و از پایگاه داده‌های اسفرازی (دما و بارش) با دوره ۴۹ ساله در بازه زمانی ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ و داده‌های دبی سازمان آب استفاده شد. با گرفتن روابط همبستگی بین داده‌های بارش و دما با ارتفاع ایستگاه‌ها در نرم‌افزار Excel از روابطی استفاده شد که ضریب تبیین آنها بیشتر از ۷۰ درصد باشد. این وضعیت برای برآورد دما با استفاده از پایگاه داده‌های اسفرازی رابطه‌ای با همبستگی زیادی برآورد شد (رابطه ۱).

$$Y = -0.0063x + 25.90R^2 = 0.70 \quad \text{رابطه (۱)}$$

برای ترسیم نقشه هم‌بارش و برآورد بارش حوضه‌ها در زاگرس میانی از داده‌های ایستگاهی استفاده شد؛ زیرا در این قسمت از زاگرس رابطه رگرسیونی بین ارتفاع با بارش داده‌های ایستگاهی ضریب همبستگی مطمئنی را داشت (رابطه ۲). همچنین، به دلیل پایین بودن ضریب تبیین روابط ارتفاع با بارش برای ترسیم لایه بارش سایر قسمت‌های زاگرس از داده‌های اسفرازی به روش کریجینگ استفاده شد (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه هم‌بارش به روش کریجینگ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

Figure 1: Map of precipitation using kriging method

به این ترتیب، میانگین سالانه بارش و دمای ۱۵۶ حوضه در سطح محدوده زاگرس برآورد و با استفاده از لایه رقومی ارتفاع، حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه‌ها مشخص و مساحت حوضه‌ها نیز در نرم‌افزار جی‌آی‌اس محاسبه شد. از ۱۵۶ زیرحوضه، ۳۶ زیرحوضه ایستگاه دبی سنجی داشت. باتوجه به پراکندگی مناسب در سطح زاگرس برای برآورد دبی سایر حوضه‌ها از روش جاستین استفاده شد.

$$Y = 0.137x + 93.21R^2 = 0.8 \quad \text{رابطه (۲)}$$

روش جاستین براساس عملکرد مشابه حوضه‌ها استوار است. در این روش ابتدا منطقه مدنظر یک حوضه آبریز که آمار اندازه‌گیری آب را داشته و مشخصات زیر در آن معلوم باشد با حوضه آبریزی در نظر گرفته می‌شود.

- مساحت حوضه، A (کیلومترمربع) - حداکثر ارتفاع حوضه، $Hmax$ (کیلومتر) - حداقل ارتفاع حوضه، $Hmin$ (کیلومتر) - آبدهی سالانه، W (میلیون مترمکعب) - متوسط بارش سالانه در حوضه، P (سانتی‌متر) - متوسط دمای سالانه هوا، T (سانتی‌گراد). سپس با داشتن این مشخصه‌ها محاسبه‌ها با روابط (۳ تا ۷) انجام و ضریب K به‌عنوان ضریب جاستین، برآورد شد سپس برای حوضه فاقد دبی با انجام دادن عمل عکس آبدهی سالانه (W) محاسبه شد (علیزاده، ۱۴۰۰، ص. ۳۷۵؛ عابدینی و همکاران، ۱۳۹۱).

$$S = Hmax - Hmin/\sqrt{A} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$R = W/A \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$K = R(1.8T + 32)S(0.155P^2) \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$W = A/R \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$R = S(0.155P^2)/(1.8T + 32) \quad \text{رابطه (۷)}$$

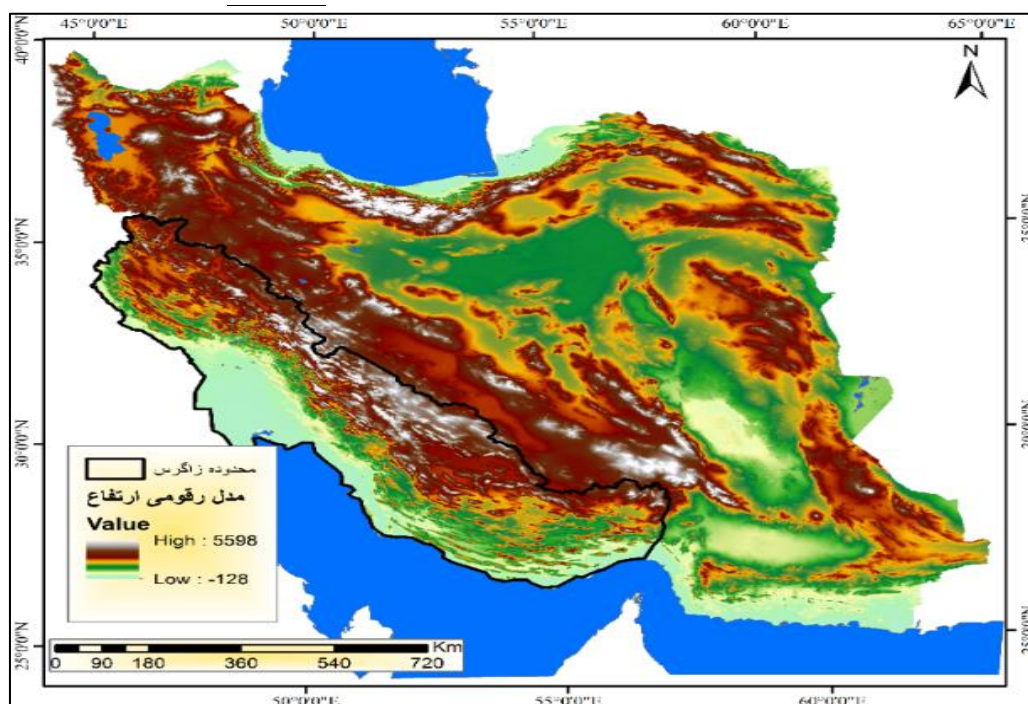
با داشتن دبی زیرحوضه‌های مختلف و انتظار دبی که از هر حوضه باتوجه به وسعت و مقدار بارش دریافتی آن می‌رود، حجم آب خروجی از زیرحوضه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه و تجزیه و تحلیل شد. با در نظر گرفتن وسعت زیرحوضه‌ها حجم بارش دوره‌های مدنظر برآورد و دبی‌های ایجادشده در طول همان دوره‌ها مقایسه شد. با این مقایسه

مشخص می‌شود که دبی کدام دسته حوضه‌ها با بارش‌های دریافتی ارتباط منطقی دارد و کدام یک از آنها کمتر و یا بیشتر از حد انتظار بارش، رواناب داشته است. مراحل انجام‌دادن کار در سه گام به شرح زیر انجام شد.

- ۱- تعیین حدود ارتفاعات زاگرس باتوجه به مرز منعکس‌شده آن در Google Earth؛
- ۲- شناسایی و جمع‌آوری داده‌های ایستگاه‌های اقلیمی، باران سنجی، هیدرومتری داخل محدوده و ایستگاه‌های اقلیمی با فاصله ۴۰ کیلومتری محدوده مطالعه‌شده برای بررسی و تجزیه و تحلیل وضعیت اقلیمی منطقه؛
- ۳- تجزیه و تحلیل داده‌های فوق باتوجه به وسعت زیرحوضه‌های منتهی به ایستگاه‌های دبی سنجی و باران سنجی و تفسیر داده‌ها در ارتباط با یکدیگر.

معرفی منطقه مطالعه‌شده

کمر بند کوهستانی و وسیع و پرآبی که بین دشت‌های خشک بین‌النهرین و فلات بیابانی ایران واقع شده است و به‌صورت یک سپر به‌نسبت مؤثر اقوام آریایی و سامی را از یکدیگر جدا می‌کند، از دیرباز در دنیای غرب با نام «کوهستان زاگرس» شناخته شده است. زاگرس مرتفع از تعداد زیادی گسل و چین تشکیل یافته است که با عوامل فرسایشی به شدت بریده شده و به طول ۱۶۰۰ کیلومتر از دریاچه وان واقع در منتهی‌الیه شرق ترکیه تا بندرعباس در دهانه خلیج فارس ادامه یافته و بخش‌های مهمی از دو کشور ایران و عراق را دربرگرفته است ([Oberlander, 1995/1379, p. 13](#)). رشته‌کوه‌های زاگرس با طول حدود ۱۴۰۰ کیلومتر و عرض بین صد تا سیصد کیلومتر مساحتی معادل ۳۲۳۰۰۰ کیلومتر مربع یا ۲۰ درصد از مساحت کشور را زیرپوشش قرار داده است. موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعه‌شده در ۲۷ تا ۳۵ درجه شمالی و ۴۶ تا ۵۸ درجه شرقی قرار گرفته است (شکل ۲).



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی زاگرس بر روی نقشه ایران (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

Figure 2: The location of Zagros on the map of Iran

بیشتر رودخانه‌هایی که از ارتفاعات زاگرس سرچشمه می‌گیرند، جزء رودخانه‌های دائمی و پرآب کشور و پاره‌ای از آنها بسیار طغیانی و سرکش هستند. این رفتار آبی سبب شده است که در طول دوران چهارم، قبض و بسط و سعت برخی حوضه‌ها و اسارت رودخانه‌ای در این منطقه امری عادی تلقی شود (رامشت، ۱۳۹۳، ص. ۵۶). کوه‌ها در زاگرس منطبق بر طاق‌دیس‌ها و دره‌ها نیز در قالب ناودیس‌ها شکل گرفته است. به عبارتی، کوه‌ها و دره‌ها بر اثر بالا و پایین رفتن لایه‌ها به‌هنگام چین‌خوردگی تشکیل شده و سیمای ظاهری و فیزیکی آنها با نوسان امواج چین‌خوردگی مرتبط است (زمردیان، ۱۳۸۱، ص. ۲۰۹). زاگرس با تعدادی رودخانه به‌طور تقریبی، موازی و با فواصل یکسان بریده شده و از نزدیکی حاشیه شمال شرقی ارتفاعات زاگرس سرچشمه گرفته است. رودخانه‌های زاگرس در مسیر خود به سمت چاله بین‌النهرین-خلیج فارس، رشته‌کوه زاگرس را به‌طور کامل درمی‌نوردند. رواناب حاصل از دامنه شرقی کوه‌های مرتفع برف‌گیر این رشته‌کوه نامتقارن ابتدا در فاصله کوتاهی در دره‌های طولی جریان می‌یابد و سپس به سمت غرب منحرف و در حین عبور از رشته‌ای از کوه‌ها در جهت غرب چندبار به‌طور ابهام‌آمیز تغییر مسیر می‌دهد تا سرانجام وارد چاله آبرفتی بین‌النهرین می‌شود. در شمال عرض جغرافیایی ۳۰ درجه خطوط زهکشی اصلی زاگرس مرتفع نسبت به ساختمان زمین‌شناسی از نوع عرضی است. ۱۱ رودخانه اصلی بدون تأثیر از موانع زمین‌شناختی این سیستم کوهستانی را قطع می‌کنند و کشیدگی ۸ مورد از حوضه‌های آبرگیری که در این نیمه از زاگرس مرتفع قرار دارد، در جهت عمود بر ساختمان زمین‌شناسی است. در هر یک از این حوضه‌های آبرگیر تعداد زیادی شاخه کوتاه دیده می‌شود که مسیر آنها نیز مشابه رودهای اصلی عمود بر ساختمان زمین‌شناسی است. رژیم رودخانه‌های زاگرس فصلی و میزان دبی آنها در اواخر تابستان و اوایل پاییز یک‌پنجم میانگین سالانه آنهاست (Oberlander, 1995/1379, p. 25, 132). کارون از مهم‌ترین رودخانه‌های زاگرس و تنها رودخانه ایران است که به آب‌های آزاد می‌ریزد و طول آن ۹۵۰ کیلومتر است. از دیگر رودخانه‌های زاگرس می‌توان اروندرود، زاینده‌رود، دز، سیروان، سیمره، قره‌سو، گاماسیاب، زهره، الوند، جامیشان و گر نام برد. زاگرس شامل حوضه‌های کرخه، کارون، مرزی غرب، جراحی، طشک-یختگان، مند، حله و کل مهران است.

موقعیت زمین‌شناسی منطقه

با توجه به زمین‌شناسی پیچیده ایران انواع مختلفی از سنگ‌های رسوبی به‌ویژه سنگ‌های کربناتی را می‌توان در محدوده مطالعاتی یافت. از مجموع ۲۰۵۵۸۹ کیلومتر مربع واحدهای کربناتی سطح ایران (۱۲/۶۲ درصد از سطح ایران) حدود ۱۰۹۳۱۳ کیلومتر مربع (۶/۷ درصد از سطح ایران) در منطقه مطالعاتی قرار گرفته است. از این میان، واحدهای آهک خالص، دولومیت خالص، آهک ناخالص و دولومیت ناخالص به‌ترتیب ۴۱۵۱۰ (۳۸ درصد)، ۶۹۵۳ (۶/۴ درصد)، ۵۵۱۷۲ (۵۰/۴ درصد) و ۵۶۳۸ (۵/۲ درصد) کیلومتر مربع را دارند. در این میان، واحدهای آسماری، بیستون و سروک مهم‌ترین واحدهای کربناتی در محدوده مطالعاتی زاگرس هستند (Raeisi & Kowsar, 1997). منطقه مطالعاتی زاگرس ۵۰-۴۵ درصد از واحدهای کربناتی کل کشور را دارد. واحدهای بیستون، سروک، مزدوران، آسماری، لار و زیارت مهم‌ترین واحدهای کربناتی ازدید ضخامت چینه‌ای هستند که واحدهای آسماری، بیستون و سروک متعلق به منطقه مطالعاتی زاگرس هستند (ابراهیمی و سیف، ۱۳۹۴).

یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل

با استفاده از لایه نقشه توپوگرافی زاگرس محور چین‌خوردگی ناهموازی‌های زاگرس در نرم‌افزار جی.آی.اس ترسیم شد. در این نقشه محورهای طاق‌دیسی زاگرس و روند آنها به‌خوبی نمایش داده شده است. بخش عمده‌ای از حوضه‌های آبریز رشته‌کوه زاگرس در سطح‌های آکاردئونی یا زاگرس چین‌خورده قرار دارد که به‌علت جریان‌های ناودیسی بسیار وسیع است. گذر جریان‌های ناودیسی با فرودها باعث ایجاد تنگ‌های متعدد و خروج فراوان آب به خارج از کشور می‌شود. همچنین، در این میان ممکن است عوامل زمین‌شناسی، گسل‌ها و توپوگرافی منطقه در کاهش یا افزایش دبی خروجی تأثیرگذار باشند. این موضوع در ۵ حوضه اصلی در جدول ۱ بررسی شده است (جدول ۱).

جدول ۱: خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌های اصلی زاگرس (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

Table 1: Physiographic characteristics of the main basins of Zagros

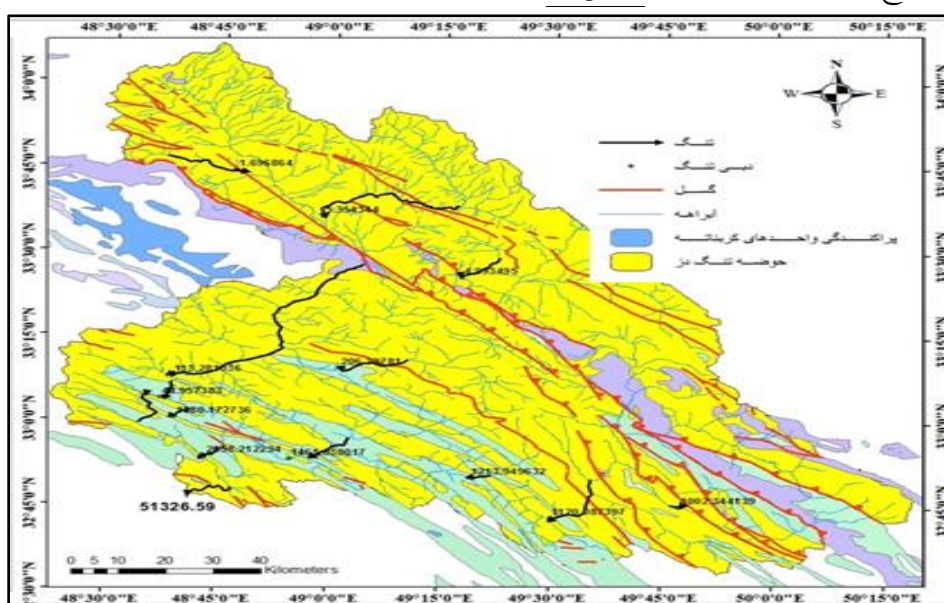
نام حوضه	مساحت (Km ²)	ارتفاع (متر)		بارش سالانه (mm)	دمای سالانه °C	دبی سالانه (میلیون متر مکعب)	تعداد زیرحوضه
		حداکثر	حداقل				
تنگ دز	۱۵۳۷۷/۴	۴۰۴۹	۳۴۶	۵۴۴	۱۲/۰۶	۵۱۶۲۶/۵۹	۱۳
تنگ گیلوان	۹۱۷۶	۳۳۳۳	۶۴۱	۵۷۵/۸۴	۱۳/۴	۲۲/۴۴	۴
تنگ پل دختر	۹۵۸۸	۳۶۲۶	۶۵۳	۵۳۵/۷۳	۱۲/۴۲	۶۷/۷۵	۳
سرتنگ دولاب	۲۳۹۰۶/۵	۴۴۱۵	۲۱۶	۸۱۱/۵۸	۱۱/۳۱	۹۴۸۰۷/۲۹	۱۵
قره آغاج	۲۷۰۰۲/۹	۳۱۷۱	۶۴	۳۷۸	۱۴/۲۱	۶۶/۰۱	۶

منبع: محاسبات نویسندگان

حوضه تنگ دز

حوضه تنگ دز با دبی سالانه ۵۱۶۲۶/۵۹ میلیون متر مکعب، ۱۳ زیرحوضه بخش زاگرس چین‌خورده را دربرمی‌گیرد که دبی حوضه‌ها به‌ترتیب از شمال به سمت جنوب ۱/۷، ۵/۳۵، ۴/۹۹، ۲۰۶/۴، ۱۱۳/۲۸، ۴۴/۹۶، ۱۸۳۷/۵۱، ۱۸۸۰/۱۷، ۲۰۵۸/۲۱، ۱۴۶۱/۰۳، ۱۲۱۳/۹۵، ۱۱۲۰/۰۹ و ۱۰۰۲/۳۴ میلیون متر مکعب در سال است. مقدارهای دبی برخی از زیرحوضه‌ها با توجه به وسعت آنها غیرعادی است؛ به این معنا که زیرحوضه‌ها با وسعت کم، دبی بسیار زیادی دارند و یا برعکس. مجموع دبی زیرحوضه‌ها ۱۰۹۷۷ میلیون متر مکعب در سال، یک‌پنجم دبی خروجی از تنگ دز است. دبی سه زیرحوضه از ۱۳ زیرحوضه در دامنه شرقی تراست زاگرس با توجه به وسعتشان بسیار کم است (۱/۶۸، ۵/۳۵، ۴/۹۹ میلیون متر مکعب در سال). دلیل تفاوت زیاد دبی تنگ دز از مجموع دبی زیر حوضه‌ها می‌تواند در نقش پهنه‌های آهکی، توزیع گسل‌ها و ارتفاعات حوضه ارزیابی شود. گسل‌ها با ایجاد درز و شکاف در سازندهای آهکی همراه با برودت هوا در نواحی مرتفع انحلال سنگ‌های آهکی و تراوش چشمه‌ها را تقویت می‌کنند. آبراهه‌های حوضه تنگ دز در زاگرس چین‌خورده و در طاق‌دیس‌های به‌شدت فشرده، عمود بر محورها هستند و در فرودهای محوری، فشرده‌ترین چین‌های زاگرس مرکزی را قطع می‌کنند. براساس شواهد محیطی

عواملی افزایش دبی به این قرار است: الف) گسترش زیاد سازندهای آهکی و موازی با روند چین خوردگی‌های زاگرس و واقع شدن زهکش رودخانه‌هایی با دبی‌های بزرگ درون این ساز؛ ب) وجود گسل‌های ماکرو و اصلی فراوانی؛ ج) وجود چشمه‌های کارستی تقویت‌کننده در پهنه‌های کارستی؛ د) ریزش‌های جوئی بیشتر دامنه غربی زاگرس به علت بادگیر بودن این دامنه‌ها؛ ه) وجود ارتفاعات مهمی همچون اشترانکوه زردکوه و دنا که باعث می‌شود بارش به نهایت میزان خود برسد؛ ن) کشیدگی حوضه در امتداد چین خوردگی‌های زاگرس و عبور تراس‌های اصلی زاگرس از وسط حوضه دال بر این است که حوضه‌هایی با این مشخصات می‌توانند آب نفوذی درون کارست را از حوضه‌های مجاور دریافت کنند و آب‌های ورودی غیر حوضه‌ای نیز می‌توانند در دبی خروجی آنها علاوه بر رواناب ناشی از بارش در سطح حوضه اثرگذار باشند (شکل ۳).



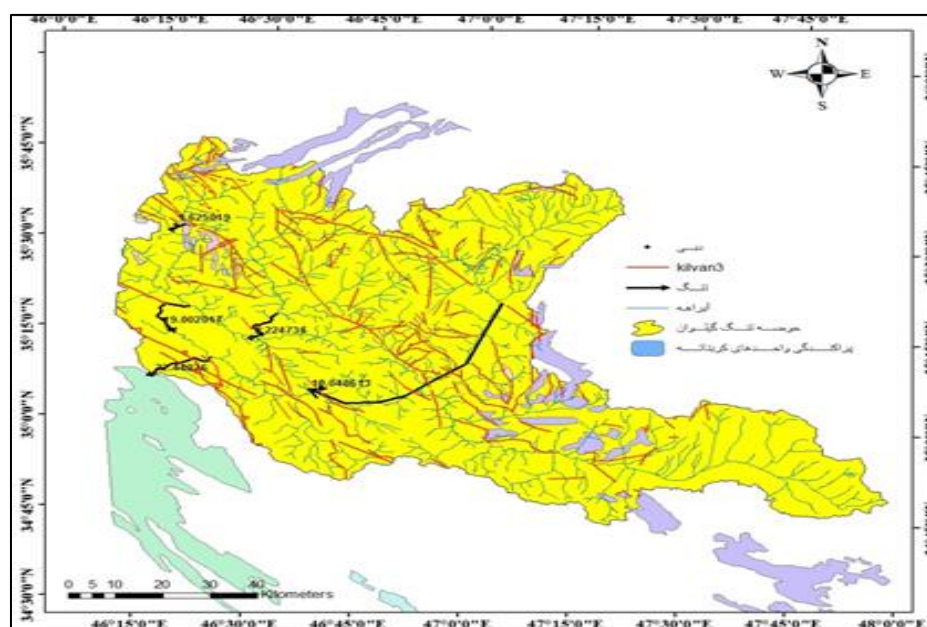
شکل ۳: زیرحوضه‌های تنگ دز (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

Figure 3: Sub-basins of Tang Dez

حوضه تنگ گیلوان

محدوده این حوضه که از قسمت خروجی تنگ گیلوان بسته شده است، ۴ زیرحوضه دارد و تنگ‌ها نیز از قسمت خروجی حوضه بندی شده است. در این میان، رواناب‌های آنها به حوضه تنگ گیلوان سرازیر و از انتهای تنگ خارج شده است. دبی خروجی ۴ زیرحوضه مسلط به تنگ به ترتیب ۱/۶۲، ۹، ۵/۲۲، ۱۰/۰۵ متر مکعب و دبی خروجی از این تنگ نیز ۲۲/۴۴ میلیون متر مکعب است. رواناب‌های این حوضه آبریز در انتهای حوضه، منطبق بر تنگ گیلوان در ارتفاع ۷۷۶ متری از حوضه خارج می‌شود و به رودخانه سیروان می‌ریزد. این حوضه آبریز در شمالی‌ترین ناحیه زاگرس قرار گرفته و شیب هیدرولوژیکی حوضه از شمال شرق به جنوب غرب است. مجموع دبی زیرحوضه‌های تنگ گیلوان ۲۵/۹۰ میلیون متر مکعب است که با دبی خروجی از تنگ گیلوان که ۲۲/۴۴ میلیون متر مکعب است، همخوانی ندارد (۳/۴۶ میلیون متر مکعب بیشتر). باتوجه به شکل (۴) تراکم گسل‌ها در محدوده حوضه آبریز تنگ

گیلوان بسیار زیاد و قسمت شمال و شرق حوضه از سازندهای آهکی است؛ بنابراین این احتمال وجود دارد که گسل‌های فراوان در سطح حوضه آبریز باعث ایجاد درز و شکاف در این سازندها شود و در مقدار رواناب خروجی حوضه تأثیر گذاشته باشد. پدیده کارست می‌تواند در این حوضه همراه با گسل‌ها باعث فرار آب از این منطقه شود. درواقع، سازندهای آهکی و گسل‌ها از بالاترین قسمت حوضه تا نقطه خروجی حوضه، عامل تحلیل برنده هستند. باتوجه به گسترش گسل‌ها، شکستگی‌ها و آبراهه‌ها می‌توان گفت که این گسل‌ها باعث شده‌اند تا آبراهه‌هایی منطبق بر محورهای طاق‌دیس بر اثر گسل تغییر مسیر دهند و در فرودهای محوری به کمک انحلال تنگ‌هایی را ایجاد کنند و باعث عبور آب از مسیرهای عمود بر محور طاق‌دیس‌ها شوند. باتوجه با اینکه مجموع دبی‌ها قبل از ورود به محدوده تنگ گیلوان به ۲۵/۹ میلیون متر مکعب رسیده است، پس عامل تحلیل برنده را می‌توان بعد از خروجی این تنگ‌ها بررسی کرد؛ زیرا در این بین ۳/۴۶ میلیون متر مکعب آب قبل از رسیدن به محل خروجی حوضه در تنگ گیلوان از دسترس خارج می‌شود.



شکل ۴: زیرحوضه‌های تنگ گیلوان (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

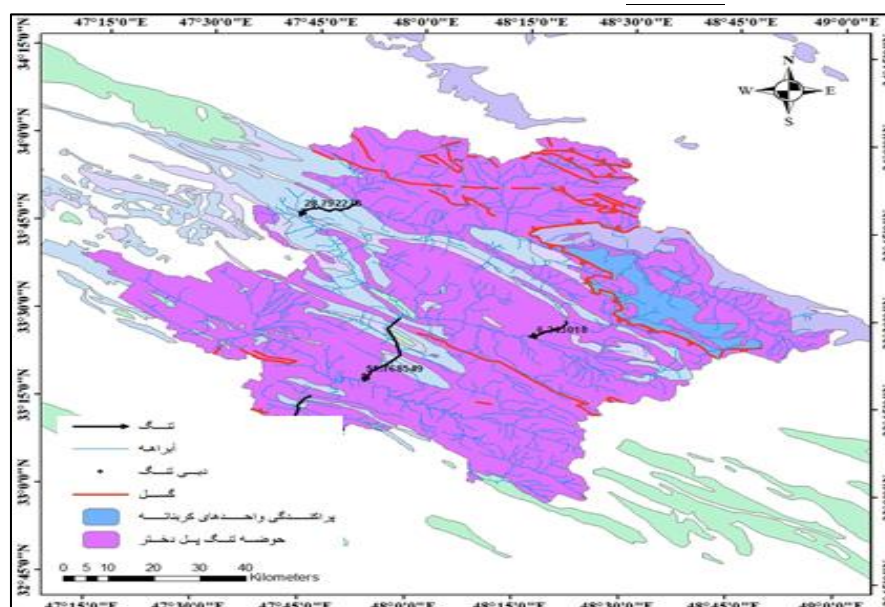
Figure 4: Sub-basins of Tang Gilvan

باتوجه به گسل‌های حوضه و اینکه گسل اصلی در ست قبل از محوری قرار گرفته است که تنگ گیلوان بر آن منطبق است، می‌توان این نکته را مطرح کرد که گسل اصلی به همراه مجموعه‌ای از شکستگی‌های وابسته به آن موازی با محور طاق‌دیس زاگرس و عمود بر تنگ گیلوان مقدار زیادی از آب را تقلیل می‌دهد. همچنین، ارتفاع زیاد این حوضه موجب بلوکه شدن نزول‌های جوی می‌شود که با ارتفاع و برودت کوهستان بیشتر به صورت جامد است و با ذوب تدریجی و نفوذ بیشتر آب به درون زمین دبی خروجی را تقلیل می‌دهد. هرچند شکستگی‌های فراوانی در این حوضه وجود دارد، تحلیل برندگی دبی حوضه باتوجه به قرارگیری آن در شرق تراست اصلی زاگرس دال بر این

است که نه تنها از آب‌های نفوذی حوضه‌های مجاور بهره‌ای نمی‌برد، مقداری از آب‌های ناشی از بارش حوضه که به درون زمین نفوذ می‌کند با آب‌های زیرزمینی به حوضه‌های مجاور هدایت می‌شود.

حوضه تنگ پل دختر

این حوضه در محدوده زاگرس شمالی قرار گرفته است. دبی سه زیرحوضه این حوضه به ترتیب ۲۸/۸، ۶/۲۵ و ۵۱/۷۷ میلیون متر مکعب در سال است که با تنگ پل دختر در شهر ایلام از حوضه خارج می‌شود. دبی خروجی از این تنگ ۶۷/۷۵ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. مجموع دبی زیرحوضه‌ها ۸۶/۸۳ میلیون متر مکعب در سال که نسبت دبی خروجی از تنگ در حدود ۱۹/۰۷ میلیون متر مکعب در سال بیشتر است. میزان گسل خوردگی و شکستگی‌ها در شرق حوضه نسبت به غرب بسیار بیشتر است. همچنین، گسل اصلی زاگرس در قسمت شرقی این حوضه و در راستای محور طاق‌دیس‌ها قرار گرفته است. به علت گسل‌های فراوان و گسترش پهنه کارستی در این ناحیه و اینکه گسل‌ها باعث شکستگی و ایجاد درز و شکاف در تشکیلات آهکی و توسعه کارست در این ناحیه شده‌اند، رواناب‌ها به طبقات زیرین سطح‌های از ضی راه می‌یابند و نمی‌توانند به خروجی حوضه برسند. این عامل، آب‌های قسمت شمال و شمال غرب حوضه را نیز تحلیل می‌برد. در این قسمت تشکیلات آهکی با روند شمال غربی-جنوب شرقی بخش زیادی از حوضه را پوشانده است. شکل این حوضه نیز همانند حوضه تنگ گیلوان نزدیک به مربع بوده و در شرق تراست اصلی زاگرس قرار گرفته است. چنین ویژگی‌هایی گویا در رشته‌کوه زاگرس در تحلیل‌بردن رواناب‌های سطحی بی‌تأثیر نیست (شکل ۵).

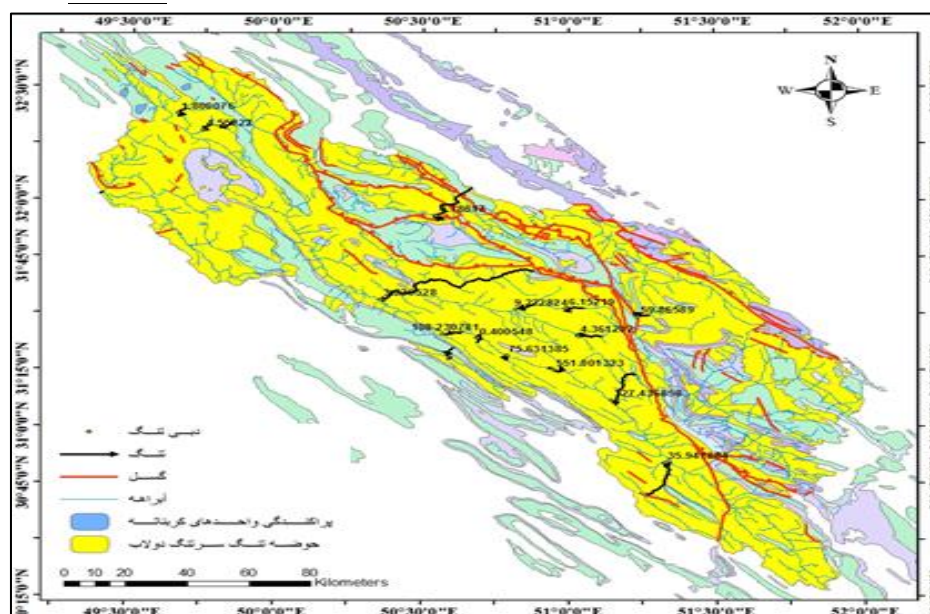


شکل ۵: زیرحوضه‌های تنگ پل دختر (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

Figure 5: Sub-basins of Tang Poldakhter

حوضه سرتنگ دولاب

حوضه سرتنگ دولاب بخش عمده‌ای از آکاردئون زاگرس را دربرگرفته است. این حوضه که استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، اصفهان و خوزستان را فرامی‌گیرد به موازات زاگرس چین‌خورده کشیده شده است؛ به‌طوری که قلّه زردکوه در قسمت شمالی این حوضه و قلّه دنا در قسمت جنوبی آن قرار گرفته است و در نهایت، با تنگ دولاب رواناب‌ها را به رود کارون هدایت می‌کند. رواناب ۱۵ زیرحوضه در این حوضه ارزیابی شد. سه زیرحوضه شمالی از ارتفاعات زردکوه سرچشمه می‌گیرد که دبی آنها به‌ترتیب ۱/۸، ۴/۵۵ و ۴ میلیون متر مکعب در سال است. تنگ‌های این زیرحوضه‌ها با جهت شمال شرق-جنوب غربی فرودهای محوری را قطع و رواناب‌های سرچشمه‌گرفته از زردکوه را به‌طرف جنوب غرب، رود کارون و خلیج فارس هدایت کرده است. دبی سایر زیرحوضه‌های این ناحیه به‌ترتیب ۰/۷۹، ۳/۲۳، ۶/۱۵، ۹/۲۲، ۵۹/۸۷، ۴/۳۶، ۰/۴۰، ۱۰۸/۲۳، ۷۵/۶۳، ۵۵۱، ۳۲۷/۴۴، ۳۵/۹۴ میلیون متر مکعب در سال است. در قسمت جنوبی این حوضه قلّه دنا واقع شده است. در این ناحیه از زاگرس، واحدهای کربناته و گسل‌های اصلی گسترش زیادی داشته است. مجموع دبی زیرحوضه‌ها ۱۰۸۴/۹۲ میلیون متر مکعب است که با دبی سرتنگ دولاب (۹۴۸۰۷/۲۹ میلیون مترمکعب) بسیار متفاوت است (شکل ۶).



شکل ۶: زیرحوضه‌های تنگ سرتنگ دولاب (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

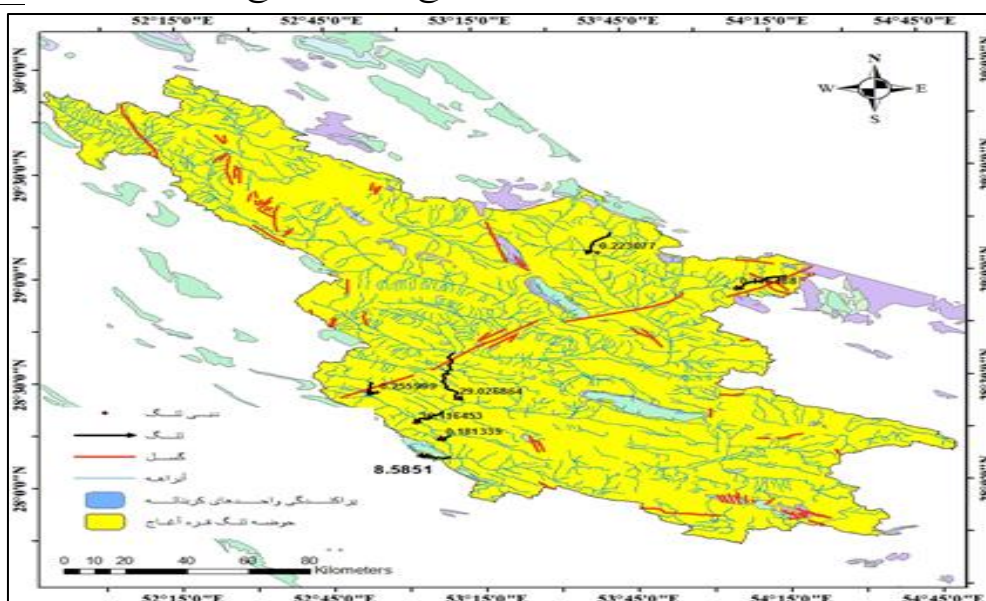
Figure 6: Sub-basins of Sartang Dolab

در سطح حوضه سرتنگ دولاب، پهنه‌های آهکی به موازات چین‌ها کشیده شده و گسترش پیدا کرده است. در غرب این حوضه گسل اصلی زاگرس قرار گرفته است که باعث گسترش کارست در سازه‌های آهکی منطقه شده و روند چین‌خوردگی را تا حدی دچار آشفتگی کرده است. باوجود رودهای دائمی و خروشان این منطقه، ارتفاعات بلند، گسل‌ها و گسترش پهنه‌های آهک (به‌ویژه آسماری) و چشمه‌هایی که از دامنه‌های ارتفاعات این حوضه وجود دارد، منجر به افزایش دبی خروجی از سرتنگ دولاب نسبت به مجموع دبی زیرحوضه‌ها شده است. شکل این حوضه

نیز همانند حوضه دز در امتداد چین خوردگی‌های زاگرس کشیده شده است که تراست اصلی زاگرس نیز از وسط آن عبور می‌کند. چنین ویژگی‌هایی در حوضه‌های تقویت‌کننده نشان می‌دهد که آب‌های نفوذی کارست به امتداد تراست اصلی زاگرس منتقل شده است. در این امتداد نیز آب درون کارست‌های پنهان در زمان هم سطحی کارست پنهان با سطح زمین به حوضه‌ها منتقل و باعث تقویت آبدهی نهایی حوضه می‌شود.

حوضه قره آغاج

این حوضه در زاگرس جنوبی و به‌طور تقریبی، در استان فارس قرار دارد. در این قسمت از زاگرس چین‌ها بازتر و دره‌ها وسیع‌تر است. در این حوضه محور چین‌ها امتداد کمتری دارد و گاه منقطع می‌شود. گسل‌های این حوضه از نوع فرعی و در جهت‌های مختلف باعث برهم خوردگی سیستم آبراهه‌ها در سطح حوضه و تغییر مسیر آنها شده است. همچنین، در این حوضه سازندهای آهکی نیز بسیار کم است. در این حوضه تعداد ۶ زیرحوضه استخراج شد که دبی آنها به ترتیب ۰/۲۳، ۰/۱۸، ۰/۲۶، ۲۹/۰۳، ۳۶/۱۲ و ۰/۲ میلیون متر مکعب در سال است. در مجموع، این ۶ زیرحوضه حجم روانابی معادل ۳۸/۵۸ میلیون متر مکعب را با رودخانه قره آغاج به حوضه خلیج فارس منتقل می‌کند (شکل ۷).



شکل ۷: زیرحوضه‌های تنگ قره آغاج (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

Figure 7: Sub-basins of Tang Qara-Aghaj

مجموع دبی سالیانه تنگ معادل ۶۶/۰۱ میلیون متر مکعب است که در مقایسه با مجموع دبی زیرحوضه‌ها ۲۷/۴۳ میلیون متر مکعب در سال کمتر است. گسل‌های زیادی در سطح حوضه با جهت‌های مختلف، سیستم زهکشی حوضه را متأثر کرده است. همچنین، پهنه‌های کارستی نیز در داخل حوضه مشاهده می‌شود. قسمت خروجی حوضه بر یک سازند آهکی منطبق است و زیرحوضه‌هایی که دبی زیادی دارند نیز درست قبل از این سازند قرار گرفته‌اند. احتمال می‌رود که مقداری از حجم رواناب برآوردی زیرحوضه‌ها در پهنه سازند آهکی نفوذ کند و نتواند به نقطه خروجی

حوضه برسد. به این ترتیب، عواملی همچون پهنه‌های کارستی، گسل‌ها و شکستگی‌ها شرایط فرار آب از این حوضه را فراهم می‌کنند. شکل این حوضه نیز همانند حوضه‌های تنگ گیلوان و پل دختر نزدیک به مربع بوده و در امتداد چین‌خوردگی‌های زاگرس کمتر کشیده شده است. موقعیت حوضه قره آغاج نیز در شرق تراس اصلی زاگرس در عدم تقویت رواناب آن و تحلیل برندگی دبی زیرحوضه‌ها بی‌تأثیر نیست.

ذات داده‌های هیدرولوژی و اثرپذیری سیستماتیک از عوامل لیتوسفریک و اقلیمی زمین است؛ به‌گونه‌ای که به هیچ‌وجه نمی‌توان به‌طور قطع، تغییرات آنها را به صورت حوضه‌ای و به‌خصوص در حوضه‌های کارستی با شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژی سطحی زمین در ارتباط دانست. چنین رهیافتی ناشی از ویژگی سیستم‌هایی است که کارکرد اجزا آنها پدیدار شدن رفتاری است که براساس بردارهای مختلف اجزا نمی‌توان تبیین و ارزیابی کرد (Stacey et al., 2000/1391, p. 9). جریان آب در سازندهای آهکی به‌مثابه سیستم‌های بازی است که با فرض شناخت عملکرد عملکرد اجزاء نمی‌توان کارکرد کل آن را ارزیابی کرد. سیستم باز سیستمی است که اتفاقاتی را که درونش رخ می‌دهد بتواند دوباره تبدیل به ورودی کند؛ البته می‌توان برای تشریح چنین سیستم‌هایی از سیستم پیوسته و گسسته نیز استفاده کرد. در سیستم‌های گسسته نیز همچون سیستم‌های باز اتفاقاتی در درون سیستم رخ می‌دهد که پیش‌بینی عملکرد سیستم را براساس عملکرد اجزا ناممکن می‌کند. در بررسی تغییرات دبی زیرحوضه‌های مختلف زاگرس به این جمع‌بندی می‌توان دست یافت که کارست و مورفوتکتونی همانند تیغه دولبه‌ای عمل کرده‌اند که گاه منجر به افزایش خروجی آب شده‌اند و حوضه را قادر به دریافت آب‌های حوضه‌های مجاور بر اثر عملکرد کارست پنهان کرده‌اند و گاه دبی خروجی را باتوجه به شرایط بارش، دبی و وسعت حوضه‌های بالادست کاهش داده‌اند. سه عامل کارست، گسل و ارتفاع زیاد حوضه‌ها را ازجمله عواملی می‌توان در نظر گرفت که در افزایش یا کاهش دبی حوضه‌های مطالعه‌شده در زاگرس اثر گذاشته‌اند. ارتفاع با تأثیرگذاری بر دما و نوع بارش حوضه می‌تواند از طرفی، در شرایط انحلال و کارست حوضه و از طرف دیگر، در زمان پاشخ حوضه به بارش نیز اثر بگذارد و زمان پاشخ حوضه را درمقابل بارش دریافتی به تأخیر اندازد. ارتفاع در واکنش حوضه به بارش نیز مؤثر است؛ به‌طوری که با اثرگذاری بر وضعیت ذوب ریزش‌های جامد یا طولانی‌ترکردن مدت ذوب آنها، شرایط نفوذ آب به درون خاک را فراهم می‌کند و یا درمواقع ذوب سریع نزولات جامد بر اثر افزایش ناگهانی دما، شرایط سیلابی را در حوضه فراهم می‌کند و درمجموع، دبی خروجی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج برآورد دبی خروجی حوضه‌های وسیع سیمره، کارون، قره آغاج، دز و گیلوان نشان می‌دهد که با جریان‌های ناودیدی و فرودهای ناشی از تنگ‌ها در حوضه‌های سیمره، کارون، قره آغاج، دز و گیلوان درمجموع ۱۱۰۶۹۵ میلیارد متر مکعب آب به حوضه خلیج فارس منتقل می‌شود. مقدار خروجی آب از هر حوضه با وسعت حوضه همبستگی کاملی ندارد. از بین حوضه‌های مختلف بررسی شده در این پژوهش بیشترین آب با دو زیرحوضه سرتنگ دولا و تنگ دز به حوضه خلیج فارس منتقل می‌شود (۱۴۶۴۳۳ میلیون متر مکعب). باتوجه به مرتفع‌بودن آبخیز اصلی این

حوضه‌ها (ارتفاع خط‌الرأس این حوضه‌ها در بیشتر منطقه‌ها بیشتر از ۳۰۰۰ متر است) می‌توان چنین نتیجه گرفت که فرودهای عمیق چین‌خوردگی‌ها به همراه گسل‌ها و انحلال توده‌های آهکی شرایط انتقال آب را از حوضه‌های داخلی به حوضه خلیج فارس فراهم کرده‌اند. گسترش زیاد سازندهای کربناته و پتانسیل آب‌دهی آبخوان‌های کارستی نواحی مرتفع در افزایش آب چشمه‌های کارستی، جریان‌های زیرزمینی، رواناب و حجم دبی خروجی این حوضه‌ها نقش مهمی داشته است. سازندهای آهکی و کارستی در دامنه شرقی تراست اصلی زاگرس نسبت به دامنه غربی گسترش بیشتری دارند. علاوه بر آن، تراکم گسل‌ها و شکستگی‌ها نیز در دامنه شرقی تراست بیشتر از دامنه غربی است که این خود باعث ایجاد درز و شکاف و گسترش کارست در سازندهای آهکی شده است. به همین علت، مظهر چشمه‌ها با منشأ کارستی بیشتر در دامنه‌های شرق تراست اصلی زاگرس قرار دارد. در بین پنج زیرحوضه مطالعه‌شده زیرحوضه‌هایی با دبی کم در شرق تراست اصلی زاگرس و زیرحوضه‌هایی با دبی زیاد در غرب تراست اصلی زاگرس قرار دارد. با مقایسه مجموع دبی زیرحوضه‌های موجود در هر حوضه با دبی خروجی از حوضه اصلی، حوضه‌های اصلی را می‌توان در دو گروه تقویت‌کننده (دز و تنگ دولا ب) و تحلیل برنده دبی خروجی (تنگ گیلوان، پل دختر و قره آقاج) تقسیم کرد. بررسی فرم حوضه و موقعیت قرارگیری حوضه‌های تقویت‌کننده در مقایسه با حوضه‌های تحلیل برنده دال بر این است که حوضه‌های تقویت‌کننده کشیدگی بیشتری در امتداد چین‌خوردگی‌های زاگرس دارند و تراست اصلی زاگرس نیز به‌طور تقریبی، از وسط آنها می‌گذرد. در صورتی که شکل حوضه‌های تحلیل برنده نزدیک به مربع باشد، تراست اصلی زاگرس از شرق و از قسمت سرچشمه آنها می‌گذرد. نکته دیگر اینکه بین مقدار دبی خروجی از حوضه‌های تحلیل برنده با جمع دبی برآوردی زیرحوضه‌ها تفاوت چندانی وجود ندارد (بیشترین تفاوت دبی برآوردی در حوضه پل دختر ۱/۲۸ برابر دبی خروجی از حوضه است). این در حالی است که این تفاوت در حوضه‌های تقویت‌کننده بسیار چشمگیر است (دبی خروجی از تنگ دولا ب ۸۳ برابر مجموع دبی خروجی از زیرحوضه‌ها است) که علت تفاوت در دبی آنها را می‌توان در چند ویژگی زاگرس ردیابی کرد: (۱) شیب دامنه‌های زاگرس؛ (۲) موقعیت دامنه‌ها نسبت به جریان‌های ورودی؛ (۳) کارست و گسل‌خوردگی. بنابراین چنین می‌توان نتیجه گرفت که حوضه‌های واقع در دامنه‌های غربی زاگرس با شیب بیشتر و ارتفاع کمتر با وجود دریافت بارش بیشتر به دلیل سطح کمتر دریافت‌کننده بارش (به دلیل شیب زیاد) زمان پاسخ حوضه به بارش بسیار کوتاه‌تر از حوضه‌های است که در شرق تراست اصلی زاگرس واقع شده‌اند. بارش دریافتی زیرحوضه‌های غرب تراست اصلی زاگرس به سرعت در خط‌القعرها متمرکز و سپس با دبی‌های لحظه‌ای از حوضه خارج می‌شود. به علت زیادبودن ارتفاع در زیرحوضه‌های شرق تراست زاگرس و شیب ملایم‌تر آنها نسبت به حوضه‌های واقع در غرب آن و موقعیت بادپناهی، هرچند بارش کمتری دریافت می‌کنند، سطح دریافت‌کننده بارش وسیع‌تری دارند و نیز به علت زیادبودن ارتفاع، بیشتر بارش را به صورت جامد نیز دریافت می‌کنند. در طول سال با ذوب برف امکان نفوذ بیشتر آب به درون زمین فراهم می‌شود که این خود به تداوم دبی رودها کمک می‌کند. دبی‌های شرق تراست اصلی زاگرس هرچند نسبت به دبی حوضه‌های غربی آن حجم کمتری دارند، ماندگاری بیشتری دارند. همچنین، به دلیل قرارگرفتن ارتفاعاتی همچون اشترانکوه، زردکوه و دنا با ذخایر برفی فراوان، منابع آبی شهرهایی مثل یاسوج، شهرکرد بخش غربی استان فارس و لرستان (این شهرها بر روی بیشترین تراکم سازندهای کارستی، گسل‌خوردگی و چشمه‌های کارستی واقع شده است) تأمین می‌شود.

منابع

ابراهیمی، بابک، و سیف، عبدالله (۱۳۹۴). به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی پتانسیل گسترش کارست سنگ‌های کربناتی زاگرس برپایه‌ی عامل‌های آب‌زمین‌شناختی و اقلیمی. *فصلنامه علمی علوم زمین*، ۲۵ (۹۸)، ۳۳۳-۳۴۸.

<https://doi.org/10.22071/gsj.2016.41233>

ابرلندر، تئودور (۱۳۷۹). *رودخانه‌های زاگرس از دیدگاه ژئومورفولوژی* (معصومه رجبی و عباس احمد نژاد، مترجم). دانشگاه تبریز. (اثر اصلی منتشر شده در ۱۹۹۵)

استیسی، رالف، گریفین، داگلاس، و شاو، پاتریشیا (۱۳۹۱). پیچیدگی و مدیریت «نگرش سیستمی رافراموش کن» (امیرحسین خالقی، مترجم). شرکت انتشارات علمی و فرهنگی. (اصل اثر منتشر شده در ۲۰۰۰)

اسکانی‌کزازی، غلام‌حسین (۱۳۹۰). تشکیل و تکامل تنگ‌ها در زاگرس چین‌خورده (مطالعه موردی: تنگ تکاب در تاق‌دیس خاویز، شمال شرق بهبهان). *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*، ۲۱ (۸۴)، ۸۵-۹۴.

<https://sid.ir/paper/116221/en>

پروین، منصور، و حاتمی‌فرد، امیر (۱۴۰۰). واکاوی اثرات ژئومورفولوژی کارست و خشکسالی بر ویژگی‌های کمی-کیفی منابع آب کارستی محدوده تاق‌دیس گرین (استان لرستان). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۸ (۳)، ۱-۱۸.

<https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.79453>

جداری عیوضی، جمشید (۱۴۰۰). *ژئومورفولوژی ایران*. دانشگاه پیام نور.

جعفری، غلام‌حسن، و ناصری، فروزان (۱۴۰۱). شناسایی، تراکم و خصوصیات فیزیوگرافی دولین‌ها در طبقات ارتفاعی مختلف (مناطق کارستی زاگرس). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۷ (۸۴)، ۲۵-۳۴.

<https://doi.org/10.22034/gp.2023.14557>

خانلری، غلامرضا، و مؤمنی، علی‌اکبر (۱۳۹۱). ژئومورفولوژی، هیدروژئولوژی و مطالعه فاکتورهای مؤثر بر توسعه کارست در منطقه گرین، غرب ایران. *جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای*، ۲ (۳)، ۶۱-۷۴.

[10.22111/GAIJ.2012.699](https://doi.org/10.22111/GAIJ.2012.699)

دسترنج، علی، و جعفری‌اقدام، مریم (۱۳۹۸). مدل سازی میزان تغذیه آب زیرزمینی آبخوان کارستی دالاهو با استفاده از مدل Karstlop. *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*، ۲۸ (۱۱۲)، ۲۳۱-۲۴۷.

<https://doi.org/10.22131/sepehr.2020.38618>

دشتی برمکی، مجید، رضایی، محسن، و اشجاری، جواد (۱۳۹۴). پتانسیل‌یابی منابع آب کارست کوه‌های دوان و شاپور براساس تصمیم‌گیری چندمعیاره. *پژوهش آب ایران*، ۹ (۱)، ۸۹-۱۰۰.

https://iwrrj.sku.ac.ir/article_11036.html

رامشت، محمدحسین (۱۳۹۳). *نقشه‌های ژئومورفولوژی مجازها و نمادها*. سمت.

رامشت، محمدحسین، و باباجمالی، فرهاد (۱۳۹۸). *ژئومورفولوژی تحلیلی ایران*. سمت.

زمردیان، محمدجعفر (۱۳۸۱). *ژئومورفولوژی ایران فرآیندهای اقلیمی و دینامیک‌های بیرونی*. دانشگاه فردوسی مشهد.

زنگنه تبار، سا سان، و قدیمی، مهرنوش (۱۳۹۸) بررسی پتانسیل منابع آبی کارست پرآو-بیستون به عنوان منابع تأمین آب پایدار اکوسیستم‌های زاگرس. *اکوهیدرولوژی*، ۶(۱)، ۱۱۱-۱۲۳.

<https://doi.org/10.22059/ije.2018.266517.958>

شهرستانی، حسین (۱۳۹۳). سازماندهی و مدیریت مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی. *فصلنامه نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۲(۴۵)، ۳۷-۴۱.

magiran.com/p1352814

صفاری، امیر، حاتمی فرد، رامین، و پروین، منصور (۱۳۹۸). مخاطره محیطی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی تحت تأثیر ژئومورفولوژی کارست (مطالعه موردی: حوضه‌های الشتر و نورآباد). *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۸(۱)، ۳۷-۵۴.

<https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2917-fa.html>

عابدینی، موسی، اسماعیلی عوری، اباذر، موسوی، معصومه، طولابی، سوسن، و عباسی، هوشنگ (۱۳۹۱). برآورد دبی سیلابی با استفاده از مدل‌های تجربی فولر و جاستین در محیط *ARC GIS* (مطالعه موردی: حوضه شهری ایزه-خوزستان). *همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی*، تهران.

<https://sid.ir/paper/853828/fa>

عابدینی، موسی، چراغی کارمرانی، معصومه، و اقبال، محمدرضا (۱۳۹۴). بررسی عوامل مؤثر در شکل‌گیری فروچاله‌ها در سازندهای کارستی با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره در محیط *ArcGIS* و *SPSS* (مورد مطالعه: ناهمواری‌های بیستون-پراو). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۶(۴)، ۴۱-۶۲.

https://gep.ui.ac.ir/article_20777.html

علایی طالقانی، محمود (۱۴۰۰). ژئومورفولوژی ایران. قومس.

علیزاده، امین (۱۴۰۰). *اصول هیدرولوژی کاربردی*. آستان قدس رضوی.

فتح‌نیا، امان‌اله، احمدآبادی، علی، رجائی، سعید و معصوم‌پور سماکوش، جعفر (۱۳۹۷). پایش و پیش‌بینی اثر خشکسالی‌ها بر دبی چشمه‌های کارستی شهرستان کرمانشاه. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۵(۳)، ۳۸-۵۱.

https://www.geomorphologyjournal.ir/article_78052.html

کاظمی، رحیم، غیومیان، جعفر، و جلالی، نادر (۱۳۸۵). بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب در منطقه کارستی لار با استفاده از سنجش از دور و *GIS*. *منابع طبیعی*، ۱۹(۳)، ۱-۹.

<https://sid.ir/paper/20212/fa>

محمودی، فرج‌الله، و ملکی، امجد (۱۳۸۰). تحول کارست و نقش آن در منابع آب زیرزمینی در ناهمواری‌های بیستون-پراو (کرمانشاه). *پژوهش‌های جغرافیایی (منتشر نمی‌شود)*، ۳۳(۴۰)، ۹۳-۱۰۵.

<https://sid.ir/paper/423546/fa>

مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۹۱). *آب و هوای ایران*. شریعه توس.

مقیم، ابراهیم (۱۳۹۲). ژئومورفولوژی ایران. دانشگاه تهران.

ملکی، امجد، اویسی، محسن، و باقری، آرزو (۱۳۹۶). بررسی قابلیت منابع آب زیرزمینی در سازند کارستی کوه خورین کرمانشاه با تکنیک *GIS* و روش‌های ژئوفیزیکی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۸(۱)، ۱۳۵-۱۵۰.

[10.22108/GEP.2017.98020.0](https://doi.org/10.22108/GEP.2017.98020.0)

نگارش، حسین، و خسروی، محمود (۱۳۷۷). کلیات ژئومورفولوژی ایران. دانشگاه سیستان و بلوچستان.

References

- Abedini, M., Ismaili Auri, A., Mousavi, M., Tulabi, S., & Abbasi, H. (2011). *Estimation of flood discharge using experimental models of fuller and justin, in ARC GIS environment (Case study: Izeh-Khuzestan urban basin)*. National Conference Of The Iranian Association Of Geomorphology. <https://sid.ir/paper/853828/fa> [In Persian].
- Abedini, M., Kamrani, M., & Eghbal, M. (2016). An investigation on the role of effective factors in the formation of sinkholes on the karstic formation with using multivariate linear regression model GIS and SPSS. *Geography And Environmental Planning*, 26(4), 41-62. https://gep.ui.ac.ir/article_20777.html [In Persian].
- Alaei Taleghani, M. (2021). *Geomorphology of Iran*. Qomes Publication. [In Persian].
- Alavi, M. (1994). Tectonics of the zagros orogenic belt of iran: New data and interpretations. *Tectonophysics*, 229(2-4), 211-238. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2)
- Alizadeh, A. (2021). *Principles of applied hydrology*. Astan Quds Razavi Press. [In Persian].
- Barmaki, M. D., Rezaei, M., Raeisi, E., & Ashjari, J. (2019). Comparison of surface and interior Karst development in Zagros Karst aquifers southwest Iran. *Journal Of Cave And Karst Studies*, 81(2), 84-97. <https://doi.org/10.4311/2017ES0120>
- Berberian, F., & Berberian, M. (1981). Tectono-plutonic episodes in Iran Zagros hindu kush, Himalaya. *Geodynamic Evolution*, 1(3), 5-32. <http://dx.doi.org/10.1029/GD003p0005>
- Dashti Barmaki, M., Rezaei, M., & Ashjari, J. (2016). Recognition of karst hydrology and water resources interaction in Kazerun Karstic Zones south of Iran Arabian. *Journal Of Geosciences*, 9(1), 89-100. https://iwrj.sku.ac.ir/article_11036.html [In Persian].
- Dastranj, A., & Jafari Aghdam, M. (2020). Modeling groundwater recharge rate in Dalahoo karst aquifer using KARSTLOP model. *Scientific- Research Quarterly Of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(112), 231-247. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2020.38618> [In Persian].
- Ebrahimi, B., & Seif, A. (2016). Using GIS for evaluation of potential karstification in carbonate rocks in Zagros based on the hydrogeological and climatological factors. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 25(98), 333-348. <https://doi.org/10.22071/gsj.2016.41233> [In Persian].
- Eskani Kazzazi, G. H. (2011). Formation and development of gorges in the folded Zagros (Case: tangtakab in the folded zagros eastnorth of Behbahan). *Geographical Journal Of Territory*, 21(84), 85-94. <https://sid.ir/paper/116221/en> [In Persian].
- Fathnia, A., Ahmadabadi, A., Rajaei, S., & Masumpour Samakosh, J. (2018). Assessment the effect of drought on karst spring discharge and forecast for future in Kermanshah township. *Quantitative Geomorphological Research*, 5(3), 38-51. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_78052.html [In Persian].
- Geravand, F., Hosseini, S. M., Maghsoudi, M., Yamani, M., & Hosseini, M. (2022). Characterization of Karst springs from Zagros mountain in southwestern Iran. *Environmental Earth Sciences*, 81(23), 529. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1101538/v1>
- Jafari, G. H., & Naseri, F. (0621). Identification density and physio-graphic characteristics of Dolans in different altitude classes (Zagros karst areas). *Journal Of Geography And Planning*, 27(84), 25-34. <https://doi.org/10.22034/gp.2023.14557> [In Persian].
- Jedari Eiwazi, J. (2021). *Geomorphology of Iran*. Payam Noor University Press. [In Persian].
- Kazemi, R., Ghayoumian, J., & Jalali, N. (2007). Investigation the effect of structural elements on the karst water resource abundance in the Lar catchment's using rs and GIS. *Pajouhesh-Va-Sazandegi*, 19(3), 33-41. <https://sid.ir/paper/20212/fa> [In Persian].
- Khanlari, D. G., & Momeni, A. A. (2012). Geomorphology hydrogeology and the study of factors affecting to karst development in Garin area west of Iran. *Geography And Territorial Spatial Arrangement*, 2(3), 61-74. [10.22111/GAIJ.2012.699](https://doi.org/10.22111/GAIJ.2012.699) [In Persian].
- Mahmoudi, F., & Maleki, A. (2001). Karst transformation and its role in underground water resources in Biston-Parav roughness (Kermanshah). *Geographical Research*, 33(40), 93-105. <https://sid.ir/paper/423546/fa> [In Persian].

- Maleki, A., Oveysy, M., & Bagheri, A. (2017). An investigation of groundwater resource potential in karst formation of Kermanshah Khorin mountain using GIS Technique and geophysical methods. *Geography And Environmental Planning*, 28(1), 135-150. [10.22108/GEP.2017.98020.0](https://doi.org/10.22108/GEP.2017.98020.0) [In Persian].
- Masoudian, M. (2011). *climatic of Iran*. Sharia Tos Publication. [In Persian].
- Moghimi, I. (2012). *Geomorphology of Iran*. Tehran university. [In Persian].
- Mozafari, M., Sajjadian, M., Sorninia, Y., Bagheri, R., & Ghader, F. (2020). Hydrogeology and geomorphology of BISETUN Aquifer (NW Iran): Interesting example of deep endokarst. *Carbonates And Evaporites*, 35(4), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s13146-020-00636-y>
- Negaresh, H., & Khosravi, M. (1998). *General geomorphology of Iran*. Sistan and Baluchistan University Press. [In Persian].
- Oberlander, T. M. (2000). *The zagros streams: A new interpretation of transverse drainage in an orogenic zone* (M. Rajabi & A. Ahmadnejad, Ed.) Syracuse geographical series. (Original work published 1965) [In Persian].
- Parvin, M., & Hatamifard, R. (2019). Investigating karst geomorphology and the effects of drought on quantitative and qualitative characteristics of water resources in garen mountains (Lorestan province). *Journal Of Geography And Environmental Hazards*, 8(3), 1-18. <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.79453> [In Persian].
- Raeisi, E., & Kowsar, N. (1997). Development of shapour cave, southern Iran. *Cave And Karst Science*, 24(1), 27–34. <https://www.researchgate.net/publication/261795391>
- Ramesht, M. H. (2014). *Geomorphology Maps*. Samt Publication. [In Persian].
- Ramesht, M. H., & Baba Jamali, F. (2018). *Analytical geomorphology of Iran*. Samt Publication. [In Persian].
- Saeidabadi, R., Najafi, M. S., Roshan, G. R., Fitchett, J. M., & Abkharabat, S. (2016). Modelling spatial, altitudinal and temporal variability of annual precipitation in mountainous regions: The case of the Middle Zagros Iran. *Asia-Pacific Journal Of Atmospheric Sciences*, 52(5), 437–449. <https://doi.org/10.1007/s13143-016-0026-8>
- Saffari, A., Hatamifard, R., Parvin, M. (2021). Karst geomorphology effects on the environmental hazard of groundwater vulnerability (Case study: The aleshtar and nourabad basins). *Journal Of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 8(1), 37-54. <https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2917-fa.html> [In Persian].
- Shahrashani, H. (2014). Organization and management of optimal water consumption in the agricultural sector quarterly. *Journal Of Agricultural Engineering And Natural Resources*, 12(45), 41-37. magiran.com/p1352814 [In Persian].
- Stacey, R. D., Griffin, D., & Shaw, P. (2012). *Complexity and management: Fad or radical challenge to systems thinking?* (A. H. Khaleghi, Ed.). Psychology Press. (Original work published 2000) [In Persian].
- Veni, G. (2005). Lithology as a predictive tool of conduit morphology and hydrology in environmental impact assessments. *Sinkholes And The Engineering And Environmental Impacts Of Karst*, 1(1), 46–56. [https://doi.org/10.1061/40796\(177\)6](https://doi.org/10.1061/40796(177)6)
- White, W. B. (1988). *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.5860/choice.26-2715>
- Zanganetabar, S., & Ghadimi, M. (2019). Evaluation of the potential of the water resources of parao-bisetoun's karst as the stable water suppliers for zagros's ecosystems. *Iranian Journal Of Ecohydrology*, 6(1), 111-123. <https://doi.org/10.22059/ije.2018.266517.958> [In Persian].
- Zomordian, M. J. (2013). *Geomorphology of Iran (Structural processes and endogen dynamics)*. Ferdowsi University of Mashhad Press. [In Persian].

