



Hydrochemical Investigation and Analysis of the Tourism-Therapeutic Capabilities of the Ahmadkar Mineral Spring in Zarrineh City, Kurdistan Province

Zana Veisi ^{1*}, Ali Akbar Shayan Yeganeh ², and Ehsan Rasouli ³

1- M.Sc. Student in Political Geography (Hydropolitics), Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- Assistant professor, Department of Geography Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran.

3- M.Sc. Student in Geography and Urban Planning (Urban Land Use Planning), University of Tabriz, Iran.

*Corresponding Author: zana.veisi03@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Submit Date:

2026/05/16

Accept Date:

2026/09/19

Keywords:

Ahmad Kar mineral spring,

Health tourism Word,

Hydrochemistry Word,

Kidney stones,

Kurdistan.

ABSTRACT

From the dissolution of carbonate rocks. The high concentration of bicarbonate and calcium, along with the alkaline pH (8.7), indicates the spring's therapeutic potential for managing kidney stones (especially uric acid stones) through urine alkalization. Comparison with the secondary The Ahmad Kar mineral spring in Zarrineh City, Kurdistan Province, despite local beliefs in its therapeutic properties, particularly for kidney stone dissolution (lithotripsy), has not yet been scientifically investigated. This study was conducted to examine the hydrochemical characteristics and evaluate the wellness-tourism potential of the spring using a mixed (quantitative and qualitative) method. Sampling was performed from the main and secondary springs during the dry and wet seasons of 2024 (1403 Persian calendar), and physicochemical parameters (temperature, pH, electrical conductivity, anions, and cations) were measured. In the qualitative part, semi-structured interviews were conducted with the local community. The results showed that the water type of both springs is calcium-bicarbonate (Ca-HCO₃), resulting spring revealed a dilution phenomenon of 50-65% and increased turbidity, emphasizing the importance of protecting the main source. Interviews also confirmed local knowledge about the stone-dissolving property and the differentiation of stone types. It is concluded that the Ahmad Kar spring has significant potential for the development of health tourism; however, scientific planning, water resource management, and clear evidence-based explanation of its therapeutic properties are essential.

Cite this article: Veisi, Zana., Shayan Yeganeh, Ali Akbar., Rasouli, Ehsan. (2026). Hydrochemical Investigation and Analysis of the Tourism-Therapeutic Capabilities of the Ahmadkar Mineral Spring in Zarrineh City, Kurdistan Province. *Hydrogeology*, 56 (4), 1-20. DOI: <http://doi.org/10.22034/hydro.2026.72459.1341>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/hydro.2026.72459.1341>

Publisher: University of Tabriz.

Expanded Abstract

Introduction

Mineral and thermal springs are globally recognized as key manifestations of complex water-rock-tectonic interactions. They play a fundamental role in understanding hydrogeological systems, water quality assessment, and geothermal characteristics. Hydrochemical studies indicate that spring water parameters (pH, temperature, EC, major ions) directly reflect parent rock type, recharge source, flow paths, and water-rock interaction intensity. Processes such as ion exchange, carbonate dissolution, and mineral precipitation determine the chemical facies of spring waters (Chalise et al., 2023a). Beyond geochemical importance, mineral springs have gained attention in health and wellness tourism. A systematic review by Protano et al. (2024b) shows that bathing in thermal mineral waters may have soothing effects on certain skin conditions, but these should not be considered definitive medical treatments. Long-term monitoring of thermal waters (Schäffer et al., 2021) and hydrochemical assessments using graphical methods (Çomo et al., 2023b) are essential for sustainable resource management.

The core science is hydrogeology, which studies the origin, movement, and quality of groundwater (Bhattacharjee et al., 2022). A mineral spring forms when groundwater travels through geological formations, dissolves minerals, and emerges under gravity or tectonic pressure (Banks & Banks, 2021). Pathways are controlled by faults and fractures (Jolie et al., 2021). The final chemical composition results from water-rock interaction, dissolving Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , and Cl^- (Marques et al., 2020). Piper diagrams help classify waters and identify geochemical trends (Kumar et al., 2023), and geothermometers (e.g., silica) estimate reservoir temperature (Verma & Santosh, 2021).

From a therapeutic perspective, balneology studies the healing properties of mineral waters (Naumann & Sadaghiani, 2021). Effects include physical factors (temperature, hydrostatic pressure, buoyancy) (Tinti et al., 2023), muscle relaxation and pain reduction (Kamioka et al.,

2023), and specific ionic effects: bicarbonate for gastrointestinal symptoms (Schneider et al., 2021), magnesium as a muscle relaxant (de Baaij et al., 2022), and trace elements such as lithium affecting metabolism (Mota et al., 2023). Therapeutic potential assessment requires precise identification of these compounds, with the caveat that these are complementary, not curative. Wellness tourism provides a framework for economic and social utilization (Rogerson & Şen, 2023), ranging from medical tourism (surgery) to wellness tourism (relaxation, natural resources) (Smith & Puczkó, 2021). Ahmad Kar spring falls under balneotourism. Destination success depends on primary attractions (water quality, landscape), support facilities (hotels, therapy centers), and key infrastructures (access, security) (Garcia-Alvarez et al., 2022). Sustainable development principles, local community participation (Aquino et al., 2024), and preservation of the resource are essential (Kim et al., 2022).

Iran is rich in mineral springs (Mirhoseini et al., 2015). Hydrochemical studies in Iran (Sharifi et al., 2016; Alimoradi et al., 2020b; Alijani et al., 2025) have focused on geochemistry, isotopes, and environmental impacts (Shayesteh et al., 2023). However, Kurdistan Province, especially Zarinah City and the Ahmad Kar spring, remains understudied. Most previous research has either been purely hydrochemical or focused on health tourism in well-known areas (Khazaei Pool et al., 2024a; Esfandyari et al., 2023b). The present study aims to fill this dual gap by simultaneously investigating hydrochemistry and wellness-tourism potential, providing reliable scientific data for sustainable use of this valuable natural resource.

Materials and Methods

This study used a mixed (quantitative and qualitative) approach, combining objective laboratory data with subjective local knowledge. The study area is the Ahmad Kar mineral spring in Zarinah City, Kurdistan Province, NW Iran (36°N, 46-47°E), about 3 km from Zarinah city, near Ahmad Kar village. The region is characterized by limestone and karst formations (Aghaei, 2010). Two sampling points were selected: the main spring (A) and a secondary

spring (B) approximately 2 km downstream. Sampling was conducted in 2024 (1403 Persian calendar) following standard surface and groundwater sampling guidelines (Sop et al., 2017). Polyethylene bottles pre-washed with dilute nitric acid were used. Physical parameters (temperature, pH, electrical conductivity) were measured on-site. Major anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) and cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) were analyzed in the laboratory according to APHA (2017) standard methods. Quality control included duplicate samples and internal standards. Data were processed using ArcGIS (mapping) and SPSS (descriptive statistics). For the qualitative part, an ethnographic approach was employed. Ten semi-structured interviews were conducted with local residents and elders (snowball sampling until theoretical saturation, Guest et al., 2006). Interview questions focused on oral history, therapeutic beliefs (especially lithotripsy claims), observed changes in water quality/flow, and views on tourism development. Interviews were recorded, transcribed verbatim, and analyzed using conventional qualitative content analysis (Creswell & Plano Clark, 2018b). Codes were grouped into categories (e.g., “therapeutic beliefs,” “environmental concerns,” “development expectations”), and meaningful patterns extracted. Validity was ensured through member checking and inter-coder agreement. Finally, quantitative and qualitative findings were integrated using a parallel convergent design (Creswell & Plano Clark, 2018b) to achieve a comprehensive understanding.

Results and Discussion

1. Quantitative findings: Hydrochemistry, genesis, and therapeutic potential
Physicochemical results are summarized in Table 1. The main spring (A) shows: $T=17^\circ\text{C}$, $\text{pH}=8.7$ (alkaline), $\text{EC}=1489 \mu\text{S/cm}$, $\text{TDS}=952 \text{ mg/L}$, total hardness= 740 mg/L (very hard), $\text{Ca}^{2+}=207 \text{ mg/L}$, $\text{Mg}^{2+}=33 \text{ mg/L}$, $\text{Na}^+=57 \text{ mg/L}$, $\text{HCO}_3^-\approx 442 \text{ mg/L}$, $\text{Cl}^-=57 \text{ mg/L}$, $\text{SO}_4^{2-}=65 \text{ mg/L}$, $\text{NO}_3^-=3 \text{ mg/L}$, turbidity= 2 NTU . The secondary spring (B) shows: $\text{pH}=7.28$, $\text{EC}=556 \mu\text{S/cm}$, $\text{TDS}=345 \text{ mg/L}$, $\text{Ca}^{2+}=70 \text{ mg/L}$, $\text{HCO}_3^-\approx 242 \text{ mg/L}$, turbidity= 62 NTU .

Hydrochemical analysis and genesis: Both springs are of calcium-bicarbonate (Ca-HCO_3)

type (Piper diagram), characteristic of karst carbonate dissolution: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$ (Marques et al., 2020). The geological setting (Sanandaj-Sirjan zone, extensive carbonate rocks) supports this interpretation. Ahmad Kar spring is the outlet of an active, mature karst groundwater system.

Comparison between main and secondary spring: A significant dilution (50-65%) of all concentration parameters (EC, TDS, hardness, Ca, HCO_3) in spring B indicates mixing with low-mineralization surface or subsurface water. The sharp increase in turbidity (2 to 62 NTU) suggests input of suspended particles. This provides scientific validation for the local belief that the unique properties belong only to the main source. Reduced ion concentration likely reduces therapeutic effects, highlighting the importance of protecting the spring's recharge area (Çomo et al., 2023a).

Therapeutic potential assessment: The unique composition of the main spring (alkaline, rich in bicarbonate and calcium) makes it a candidate for balneological management of kidney stones. The alkaline pH (8.7) and high bicarbonate (442 mg/L) can alkalize urine after absorption and renal excretion, which is ideal for preventing and even helping dissolve uric acid stones because uric acid solubility increases exponentially with pH (Rodgers, 2017). Moreover, bicarbonate-rich waters may promote urinary citrate production, a natural inhibitor of calcium crystallization (Ticinesi et al., 2018).

2. Qualitative findings: Indigenous knowledge and its alignment with modern science
Interviews with three key local informants (a traditional herbalist, a pharmacist, a long-term user) revealed rich empirical knowledge overlapping with quantitative findings.

Theme 1: Strong belief in lithotripsy mechanism of “breakdown and expulsion” – Participants described a physical process of “crushing,” “making small,” and “facilitating passage” of stones. This description closely aligns with the scientific mechanism of urine alkalization leading to gradual stone matrix breakdown and increased urine volume facilitating expulsion.

Theme 2: Experience-based diagnosis and distinction between stone types – Participants noted that the water “does not work for everyone” and, importantly, explicitly stated that it “does not break oxalate stones.” This indigenous observation precisely matches modern medical knowledge: calcium oxalate stones are not sensitive to urine pH changes (Coe et al., 2016), whereas uric acid stones are.

Theme 3: Consumption considerations and place sanctity – The belief that the water’s property remains even after transport (if properly stored) and the emphasis on consuming it at the source, fasting, reflect cultural-experiential dimensions. Fasting consumption may relate to faster absorption.

Qualitative conclusion and convergence: Local therapeutic belief is not a myth but an experience-based knowledge system refined over generations. Its accuracy in distinguishing differential responses based on stone type is remarkable. This convergence of indigenous and academic knowledge enhances the spring’s cultural value and provides a strong foundation for responsible, evidence-based wellness tourism development (Esfandiyari et al., 2023a).

3. Geological and hydrological influence on water quality – Geological map (Figure 3 left) shows five different formations around the spring, mainly limestone-sandstone, dolomitic limestone, orbitolina-bearing limestone, mudstone, gypsum-sandstone, and metamorphic rocks. Dissolution of these formations affects spring quality. Hydrological map (Figure 3 right) indicates a general slope toward the east and northeast, allowing water infiltration through different layers and injection of various minerals into the spring.

Conclusions

This mixed-methods study investigated the hydrochemical characteristics and wellness-tourism potential of the Ahmad Kar mineral spring in Zarineh City, Kurdistan Province. Despite strong local beliefs in its therapeutic properties, especially for kidney stone dissolution, no previous comprehensive scientific study had validated these claims. The main spring

(A) and a secondary downstream spring (B) were sampled and analyzed.

Both springs are Ca-HCO₃ type, originating from karst carbonate dissolution. The main spring exhibits high bicarbonate (442 mg/L), high calcium (207 mg/L), and alkaline pH (8.7), indicating significant balneological potential for managing kidney stones – particularly uric acid stones – through urine alkalization and increased citrate production. The downstream spring showed 50-65% dilution and increased turbidity, emphasizing the need to protect the main source from mixing or contamination.

Qualitative interviews revealed sophisticated local knowledge: the lithotripsy mechanism was described as “breakdown and expulsion,” and importantly, local informants distinguished between stone types, noting ineffectiveness against oxalate stones – a finding fully consistent with modern medical understanding. This convergence of indigenous and academic knowledge provides a strong evidence base for sustainable health tourism development.

The Ahmad Kar spring has significant potential for wellness tourism, but scientific planning, water resource management, and transparent, evidence-based communication of its therapeutic properties (including limitations) are essential. Future research should focus on trace element analysis, microbiological assessment, and actionable plans for sustainable health tourism development.

ویژگی‌های هیدروشیمیایی و پتانسیل گردشگری-درمانی چشمه معدنی احمدکر در شهر زرینه، استان کردستان

زانا ویسی^{۱*}، علی اکبر شایان یگانه^۲، احسان رسولی^۳

۱. دانشجوی ارشد، جغرافیا سیاسی (هیدروپلیتیک)، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
 ۲. استادیار، گروه آموزش جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۸۸۹-۱۴۶۶۵ تهران، ایران.
 ۳. دانشجوی ارشد، جغرافیا و برنامه ریزی شهری، آمایش شهری دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
- *نویسنده مسئول: zana.veisi03@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	چشمه معدنی احمدکر در شهر زرینه، استان کردستان، علی‌رغم باورهای محلی مبنی بر خواص درمانی به‌ویژه سنگ‌شکنی، تاکنون به‌طور علمی و جامع بررسی نشده است. این پژوهش با هدف بررسی ویژگی‌های هیدروشیمیایی و ارزیابی پتانسیل گردشگری-درمانی چشمه به روش ترکیبی پیشرفته (کمی و کیفی) انجام شد. نمونه‌برداری از دو چشمه اصلی و ثانویه در فصول خشک و تر سال ۱۴۰۳ صورت گرفت و پارامترهای فیزیکوشیمیایی (دما، pH، هدایت الکتریکی، آنیون‌ها و کاتیون‌ها) اندازه‌گیری دقیق گردید. در بخش کیفی، مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با جامعه محلی انجام شد. یافته‌ها نشان داد تیپ آب هر دو چشمه بیکربناته-کلسیمی (Ca-HCO_3) است که ناشی از انحلال سنگ‌های کربناته می‌باشد. غلظت بالای بیکربنات و کلسیم همراه با pH قلیایی (۸.۷)، پتانسیل درمانی چشمه را برای مدیریت سنگ‌های کلیوی (به ویژه سنگ‌های اسیداوریک) از طریق قلیایی کردن ادرار نشان می‌دهد. مقایسه مستقیم با چشمه ثانویه، پدیده رقت ۶۵-۵۰ درصدی و افزایش کدورت را آشکار ساخت که بر اهمیت حفاظت از منبع اصلی تأکید دارد. مصاحبه‌ها نیز دانش محلی را درباره خاصیت سنگ‌شکنی و تمایز انواع سنگ‌ها تأیید کردند. نتیجه‌گیری می‌شود که چشمه احمدکر پتانسیل قابل توجهی برای توسعه گردشگری سلامت دارد؛ اما برنامه‌ریزی علمی، مدیریت منابع آب و تبیین شفاف خواص درمانی مبتنی بر شواهد، ضروری است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۶ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۲۸	
کلیدواژه‌ها: چشمه معدنی احمدکر، هیدروشیمی، سنگ‌های کلیوی، کردستان، گردشگری سلامت.	

استناد: ویسی، زانا، شایان یگانه، علی اکبر، رسولی، احسان. (۱۴۰۵). ویژگی‌های هیدروشیمیایی و پتانسیل گردشگری-درمانی چشمه معدنی احمدکر در شهر زرینه، استان کردستان. هیدروژئولوژی، ۱۰ (۲)، ۲۰-۱. DOI: <http://doi.org/10.22034/hydro.2026.72459>.
ناشر: دانشگاه تبریز.

DOI: <http://doi.org/10.22034/hydro.2026.72459.1341>



مقدمه

از سوی دیگر، مطالعات ژئوشیمیایی انجام شده بر آب‌های گرم در نقاط مختلف جهان نیز اهمیت پایش بلندمدت این منابع را برجسته کرده‌اند. برای مثال، (Schäffer et al., 2021) در مطالعه‌ای گسترده بر روی آب‌های حرارتی و ژرف ایالت هسه^۳ آلمان نشان دادند که بررسی روندهای زمانی پارامترهای شیمیایی نقش مهمی در مدیریت پایدار منابع زمین‌گرمایی، ارزیابی کیفیت و تحلیل فرآیندهای زیرسطحی دارد.

افزون بر این، ارزیابی هیدروشیمیایی چشمه‌ها برای تشخیص پایداری کیفیت آب و شناسایی عناصر بالقوه مضر نیز اهمیت دارد. مطالعات جدید انجام شده در آلبانی نشان می‌دهد که تحلیل‌های گرافیکی مانند دیاگرام استیف^۴ و بررسی یون‌های عمده، می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در تشخیص تغییرات منابع آب و شناسایی تأثیرات احتمالی فعالیت‌های زمین‌شناسی و انسان‌ساخت بر کیفیت چشمه‌ها داشته باشد (Çomo et al., 2023). این یافته‌ها تأیید می‌کنند که مطالعات هیدروشیمیایی نه تنها برای شناخت ماهیت آب چشمه‌ها مهم است، بلکه برای توسعه گردشگری سلامت، طراحی زیرساخت‌های درمانی و مدیریت زیست‌محیطی نیز ضروری است. در مجموع، چشمه‌های معدنی در مقیاس جهانی دارای اهمیت علمی، محیطی و گردشگری چشم‌گیری هستند و به‌عنوان منابعی با ارزش زمین‌شناختی و پتانسیل درمانی مطرح‌اند.

در هسته مرکزی مطالعات مربوط به چشمه‌ها، علم هیدروژئولوژی قرار دارد که به مطالعه منشأ، حرکت، توزیع و کیفیت آب در زیر زمین می‌پردازد (Bhattacharjee et al., 2022). چشمه‌های معدنی نقطه تلاقی این سامانه‌های زیرزمینی با سطح زمین هستند. از دیدگاه هیدروژئولوژیکی، یک چشمه معدنی زمانی تشکیل می‌شود که آب زیرزمینی در مسیر خود از طریق سازندهای زمین‌شناختی، در تماس با

چشمه‌های معدنی و حرارتی در سراسر جهان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین جلوه‌های تعاملات پیچیده میان آب، سنگ و فرآیندهای زمین‌ساختی شناخته می‌شوند. این چشمه‌ها با داشتن ترکیب‌های شیمیایی متنوع و منحصربه‌فرد، نقش اساسی در فهم سیستم‌های هیدروژئولوژیک^۱، ارزیابی کیفیت آب و بررسی ویژگی‌های زمین‌گرمایی دارند. مطالعات هیدروشیمیایی نشان داده‌اند که ویژگی‌های آب چشمه‌ها (از جمله غلظت یون‌های اصلی، pH، دما و هدایت الکتریکی) بازتابی مستقیم از نوع سنگ مادر، منبع تغذیه آب، مسیر جریان آب زیرزمینی و شدت فرآیندهای آب-سنگ هستند. فرآیندهایی مانند تبادل یونی، انحلال کربنات‌ها و رسوب‌گذاری مواد معدنی، نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری نوع فاسیس^۲ شیمیایی آب چشمه‌ها دارند (Chalise et al., 2023a). علاوه بر اهمیت ژئوشیمیایی، چشمه‌های معدنی از منظر گردشگری سلامت و رفاه عمومی نیز جایگاه قابل‌توجهی یافته‌اند. افزایش گرایش جهانی به سمت درمان‌های طبیعی و استفاده از آب‌های معدنی برای کاهش علائم عمومی مانند دردهای عضلانی، خستگی و مشکلات پوستی، موجب شده است که چشمه‌های حرارتی به یکی از ارکان توسعه پایدار گردشگری سلامت تبدیل شوند. مرور نظام‌مند (Naumann and Sadaghiani, 2021b) نشان می‌دهد که قرارگیری در آب‌های معدنی حرارتی می‌تواند اثرات تسکین‌دهنده یا تسهیل‌کننده بر برخی مشکلات پوستی داشته باشد؛ اگرچه این یافته‌ها نباید به‌عنوان درمان قطعی بیماری‌های پزشکی تلقی شوند. این مطالعه با بررسی ده‌ها مقاله علمی تأکید می‌کند که کیفیت هیدروشیمیایی آب، دما و میزان مواد معدنی محلول، عوامل کلیدی در تعیین پتانسیل گردشگری-درمانی چشمه‌ها هستند.

^۱ هیدروژئولوژیک (Hydrogeologic): به علمی گفته می‌شود که به مطالعه آب‌های زیرزمینی، شامل منشأ، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، حرکت و توزیع آن‌ها در پوسته زمین می‌پردازد.

^۲ فاسیس (Facies): در زمین‌شناسی و ژئوشیمی، به مجموعه‌ای از ویژگی‌های سنگی یا محیطی اشاره دارد که برای بازسازی تاریخچه رسوبی استفاده می‌شود. معادل فارسی آن «چهره» یا «سیم» است.

^۳ هسه به آلمانی (Hessen): از ایالت‌های شانزده‌گانه آلمان است. پایتخت آن ویسبادن و بزرگ‌ترین شهرش فرانکفورت است.

^۴ دیاگرام استیف یک نمودار خطی است که برای نمایش ترکیب شیمیایی یون‌های اصلی آب (کاتیون‌ها و آنیون‌ها) استفاده می‌شود. این نمودار به ترسیم و مقایسه کیفیت آب و ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی سفره‌های آب زیرزمینی کمک می‌کند.

بلکه شامل اثرات فیزیکی ناشی از دما، فشار هیدرواستاتیک و نیروی شناوری نیز می‌گردد (Matsumoto, 2018). برای نمونه، آب گرم می‌تواند با افزایش جریان خون موضعی، باعث شل‌شدگی عضلات و کاهش درد شود. از سوی دیگر، هر یک از املاح و عناصر موجود در آب می‌توانند اثرات فیزیولوژیک خاصی را ایجاد نمایند. یون بیکربنات با قلیایی کردن محیط می‌تواند در بهبود علائم گوارشی مؤثر باشد. سولفات در ترکیب با کلسیم یا منیزیم، به دلیل جذب ضعیف از روده، می‌تواند اثر ملینی داشته باشد. منیزیم یک شل‌کننده طبیعی عضله و کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌های بدن است (de Baaij et al., 2022). عناصر کم‌مقدار مانند لیتیم و استرانسیم نیز با وجود غلظت‌های بسیار پایین، می‌توانند بر متابولیسم و سیستم عصبی تأثیر بگذارند (Araya et al., 2022). بنابراین، ارزیابی پتانسیل درمانی یک چشمه معدنی مستلزم شناسایی دقیق این ترکیبات و درک مکانیسم‌های بیولوژیک مرتبط با آنهاست، با این تأکید مهم که این ویژگی‌ها به عنوان یک روش مکمل و تسکین‌دهنده مطرح هستند و نه یک درمان قطعی. در نهایت، مبانی نظری گردشگری درمانی به عنوان چارچوبی برای بهره‌برداری اقتصادی و اجتماعی از این منابع طبیعی عمل می‌کند. گردشگری درمانی شاخه‌ای از گردشگری است که با هدف حفظ، بهبود و ارتقای سلامت جسمی و روانی فرد از طریق سفر صورت می‌پذیرد (Smith and Puczkó, 2009). این مفهوم طیف وسیعی را در بر می‌گیرد که در یک سر آن «گردشگری پزشکی» با هدف انجام اعمال جراحی پیچیده و در سر دیگر آن «گردشگری تندرستی» با محوریت استراحت، آرامش و بهره‌گیری از منابع طبیعی مانند چشمه‌های آب معدنی قرار دارد (Smith and Puczkó, 2021). چشمه احمدکر ذیل مفهوم «بالئوتوریسم» یا گردشگری

سنگ‌های مختلف قرار گرفته و املاح و عناصر را در خود حل می‌کند، سپس به طور طبیعی و تحت تأثیر نیروهای گرانشی یا فشارهای زمین‌ساختی، به سطح زمین راه می‌یابد (Banks and Banks, 2021). مسیر این آب‌ها اغلب توسط گسل‌ها، درزها و شکستگی‌های پوسته زمین کنترل می‌شود که به عنوان مجراهایی برای عبور سیالات از اعماق به سمت سطح عمل می‌کنند (Jolie et al., 2021). هیدروشیمی یا ژئوشیمی آب‌های زیرزمینی، به تحلیل ترکیب شیمیایی آب و تفسیر فرآیندهای کنترل‌کننده آن می‌پردازد (Berger et al., 2022). ترکیب شیمیایی نهایی آبی که از یک چشمه خارج می‌شود، حاصل مجموعه پیچیده‌ای از تعاملات است که مهم‌ترین آن‌ها فرآیند آب-سنگ می‌باشد. در این فرآیند، آب ضمن عبور از میان توده سنگ، با کانی‌های مختلف واکنش داده و یون‌هایی مانند کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، بیکربنات، سولفات و کلرید را در خود حل می‌کند (Marques et al., 2020). برای درک این سیستم‌های پیچیده، از ابزارهای گرافیکی و آماری مختلفی مانند دیاگرام پایپر^۱ استفاده می‌شود که با طبقه‌بندی آب‌ها براساس آنیون‌ها و کاتیون‌های غالب، به شناسایی روندهای ژئوشیمیایی و منشأ احتمالی املاح کمک می‌کند (Mallick et al., 2018). علاوه بر این، ژئوترموترها^۲ (دماسنج‌های زمین‌شناختی) مانند ژئوترموتر سیلیس، برای برآورد دمای مخزن در اعماق زمین بر اساس غلظت عناصری مانند سیلیس در آب خروجی به کار می‌روند.

از منظر کاربردهای درمانی، علم بالئولوژی (آب‌درمانی) به مطالعه خواص درمانی آب‌های معدنی و گازهای طبیعی و کاربرد آن‌ها در بهبود بیماری‌ها می‌پردازد (Naumann and Sadaghiani, 2014a). از منظر بالئولوژی، اثرات درمانی آب‌های معدنی تنها به ترکیب شیمیایی آن‌ها محدود نمی‌شود،

^۲ ژئوترموترها (Geothermometers): ابزارها یا روش‌هایی هستند که برای اندازه‌گیری دمای درون زمین استفاده می‌شوند. این ابزارها می‌توانند شامل سنسورهای دمایی باشند که در چاه‌ها یا حفاری‌ها قرار می‌گیرند، یا بر اساس تحلیل خواص فیزیکی و شیمیایی کانی‌ها و صخره‌ها (مانند ترکیب ایزوتوپی یا خواص مغناطیسی) دما را در گذشته تخمین بزنند. ژئوترموترها برای مطالعه گرادیان حرارتی زمین، فعالیت‌های آتشفشانی و زمین‌گرمایی، و اکتشاف منابع انرژی زمین‌گرمایی اهمیت دارند.

^۱ دیاگرام پایپر (Piper Diagram): نموداری است که برای نمایش و طبقه‌بندی شیمیایی آب‌های زیرزمینی و سطحی استفاده می‌شود. این دیاگرام با ترسیم درصد فراوانی یون‌های اصلی آب (کاتیون‌ها: سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آنیون‌ها: بی‌کربنات، سولفات، کلر) در سه ناحیه مشخص، به شناسایی الگوی شیمیایی آب و روابط بین آن‌ها کمک می‌کند. این نمودار برای درک منشأ آب، کیفیت آب و اثرات متقابل آب با سنگ‌ها و خاک‌ها کاربرد دارد.

TDS، یون کلر و سولفات بالاتری نسبت به چشمه‌های سرد هستند. همچنین مقادیر بالای سیلیس، بور و استرونتیوم در آب چشمه‌های حرارتی به‌خاطر تعامل طولانی‌مدت آب و سنگ گزارش شده است. استفاده از دیاگرام‌های دومتغیره، سه‌گانه و گیگنباخ^۱ به تبیین شرایط اختلاط آب در اعماق و منشأ آن کمک کرده است؛ بر اساس ژئوترموتر سیلیکا-انثالپی، دمای مخزن زیرسطحی بین ۶۲ تا ۹۰ درجه سلسیوس برآورد شده است و داده‌های ایزوتوپی ($\delta^{18}\text{O}$ و δD)^۲ نشانگر منشأ محلی چشمه‌ها از بارش موضعی هستند. از منظر اثرات محیط‌زیستی، تحقیق شایسته و همکاران (2023) بررسی کرده است که ورود آب چشمه معدنی قینرجه نیر^۳ به رودخانه بالخلی‌چای چه تأثیری بر کیفیت آب رودخانه دارد. آن‌ها در پایش ماهانه کیفیت شیمیایی رودخانه و چشمه نشان دادند که برخی از کاتیون‌ها و آنیون‌ها پس از ورود آب چشمه به رودخانه افزایش می‌یابند و شاخص کیفیت آب سطحی (IRWQISC) و شاخص سمیت آب (IRWQIST) برای رودخانه تنزل پیدا می‌کند. یکی دیگر از پژوهش‌های کلیدی، مطالعه علیمرادی و همکاران (2020a) است که منشأ و مکانیسم شکل‌گیری چشمه‌های گوگردی و حرارتی در آنتیکلین سیاه‌کوه (استان ایلام) را با استفاده از ژئوشیمی و ایزوتوپ بررسی کرده‌اند. در این تحقیق، آن‌ها نشان دادند که گردش عمقی آب متشکل از بارش موضعی است که از طریق شکستگی‌ها و گسله‌ها به عمق نفوذ می‌کند و سپس بالا می‌آید. آن‌ها همچنین با استفاده از ایزوتوپ گوگرد ($\delta^{34}\text{S}$) و سایر نسبت‌ها نتیجه‌گیری کردند که منبع سولفات چشمه‌ها اغلب تبخیرشده‌هایی مانند گچ است که در سازندهای تبخیری قرار دارند. پژوهش‌های جدیدتر نیز با رویکردهای پیشرفته ژئوشیمی و ایزوتوپی پیش می‌روند؛

آب‌درمانی تعریف می‌شود. موفقیت یک مقصد بالئوتوریسم به عواملی چندگانه وابسته است: جاذبه‌های اصلی (کیفیت و اثربخشی علمی آب‌های معدنی، چشم‌انداز طبیعی)، تسهیلات و خدمات پشتیبانی (هتل‌ها، مراکز اقامتی، مراکز ماساژ و فیزیوتراپی) و زیرساخت‌های کلیدی (دسترسی آسان، امنیت، خدمات ارتباطی) (Marín-García et al., 2021). از منظر نظری، توسعه چنین مقاصدی باید بر اصول توسعه پایدار استوار باشد؛ به این معنا که بهره‌برداری اقتصادی نباید منجر به تخریب یا آلودگی خود منبع طبیعی (آب معدنی) و محیط زیست پیرامون آن شود (Ahn and Kim, 2024). یکپارچه‌نگری و مشارکت جامعه محلی در فرآیند برنامه‌ریزی و بهره‌برداری، از دیگر ارکان کلیدی در تئوری‌های توسعه گردشگری پایدار است (Aquino et al., 2024).

ایران با برخورداری از خصوصیات زمین‌شناختی متنوع و منابع گرمایی گسترده، یکی از کشورهای غنی در زمینه چشمه‌های معدنی است که اهمیت زیادی در گردشگری سلامت دارد. بر اساس مطالعات میرحسینی و همکاران (2015)، تعداد زیادی از چشمه‌های آب گرم و معدنی در کشور شناسایی شده‌اند که به لحاظ ژئوشیمیایی تفاوت‌های چشم‌گیری دارند و می‌توانند به‌عنوان منابع درمانی طبیعی و جاذبه ژئوتوریستی به‌کار روند (Mirhoseini et al., 2015). از منظر هیدروشیمیایی، مطالعات متعددی بر روی چشمه‌های مختلف ایران انجام شده است. برای مثال، شریفی و همکاران (2016a) در مطالعه‌ای بر روی ۱۹ چشمه گرم و سرد در میدان زمین‌گرمایی تکاب (استان آذربایجان غربی) تحلیل‌های شیمیایی انجام داده و نشان داده‌اند که چشمه‌های گرم دارای هدایت الکتریکی (EC)،

۱ گیگنباخ (Gickenbach diagram): نوعی نمودار یا دیاگرام مورد استفاده در هیدروژئوشیمی است که به همراه دیاگرام‌های دیگر مانند پایپر و استیف، به ترسیم و تفسیر داده‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی کمک می‌کند. این نمودارها با نمایش غلظت یون‌های مختلف، الگوهای شیمیایی آب را آشکار کرده و امکان شناسایی فرآیندهای مهمی چون اختلاط آب از منابع مختلف، تأثیر سنگ‌شناسی منطقه بر کیفیت آب، و تعیین منشأ آب را فراهم می‌آورند.

۲ داده‌های ایزوتوپی ($\delta^{18}\text{O}$ و δD): معیارهایی برای اندازه‌گیری نسبت ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن-۱۸ به اکسیژن-۱۶ ($\delta^{18}\text{O}$) و دوتریوم (یک ایزوتوپ هیدروژن) به هیدروژن معمولی (δD) در مولکول‌های آب (H_2^{18}O)

۳ قینرجه نیر: این چشمه در نزدیکی روستای قینرجه در شهرستان نیر واقع شده است و به خاطر خواص درمانی و معدنی خود شهرت دارد. آب این چشمه پس از عبور از منطقه، به رودخانه بالخلی‌چای می‌پیوندد.

سلامت محلی هستند (Khazae Pool et al., 2024). در مجموع، چشمه‌های معدنی در ایران نه تنها به‌منظور استفاده درمانی و گردشگری اهمیت دارند، بلکه می‌توانند به محرکی برای توسعه پایدار روستایی و منطقه‌ای تبدیل شوند.

استان کردستان ایران به‌واسطه موقعیت زمین‌شناختی خاص خود در کمربند زاگرس، دارای تنوع قابل توجهی از تشکیلات کارستی است که منجر به شکل‌گیری چشمه‌های معدنی ارزشمند شده‌اند. یکی از شناخته‌شده‌ترین این نواحی، منطقه پالنگان^۲ در شهرستان کامیاران است؛ در این منطقه، چشمه‌های کارستی در سازندهای آهکی کوه‌های شاهو^۳ قرار دارند که سیستم آبرفتی زیرسطحی پیچیده‌ای را تشکیل می‌دهند. حوضه آبگیر چشمه‌های پالنگان تقریباً ۲۱۹ کیلومتر مربع است و ویژگی‌هایی مانند فروچاله‌های کارستی، مجاری بزرگ زیرسطحی و نوسانات زیاد در هدایت الکتریکی و دما، نشانه گرسیتسم کارستی فعال و پویا است (Karami, 2021).

از جنبه گردشگری و توریسم سلامت، چشمه‌های منطقه کردستان می‌توانند نقش دوگانه‌ای ایفا کنند: هم به‌عنوان منبع تأمین آب با کیفیت و هم به‌عنوان جاذبه گردشگری بومی-طبیعی. پالنگان، علاوه بر زیبایی منظره که ارائه می‌دهد، پتانسیل تبدیل شدن به مقصد گردشگری طبیعت و سلامت را دارد. در یک مطالعه پتانسیل‌سنجی بوم‌گردی، عبدالملکی و گنجائیان (Abdolmaleki and Ganjaeian, 2021) به نزدیکی چشمه‌ها به رودخانه، ارتفاع مناسب، دسترسی جاده‌ای و بافت بومی منطقه به‌عنوان عواملی اشاره کرده است که می‌تواند در توسعه «گردشگری زمین» در این منطقه مؤثر باشد. از نظر هیدروژئوشیمیایی، مطالعات نشان داده‌اند که ترکیب شیمیایی آب چشمه‌های کردستان تحت تأثیر واکنش سنگ‌آب، انحلال

برای مثال، علیجانی و همکاران (2025) در مقاله‌ای با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$)، H_2O ، گوگرد ($\delta^{34}\text{S}$) و کربن دی‌اکسید ($\delta^{13}\text{C}$) به بررسی منشأ آب چشمه‌ها در مناطق کارستی جنوب غرب ایران پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیب شیمیایی چشمه‌ها از طریق تعامل با سنگ‌های تبخیری (مانند گچ) و فرآیندهای بیوژئوشیمیایی مانند متان‌زایی شکل گرفته است.

پژوهش‌های پیشین در زمینه هیدروشیمی آب‌های کارستی در مناطق غربی ایران، از جمله مطالعه ندیری و همکاران (۱۴۰۰) که به بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و منشأ عناصر کمیاب در حوضه حاجیلارچای پرداخته‌اند، نشان‌دهنده اهمیت تحلیل ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی در شناخت فرآیندهای آب-سنگ است. همچنین، واعظی هیر و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای بر روی توسعه کارست در استان کردستان، به بررسی مکانیسم هیدروژئولوژی چشمه‌های کارستی پرداخته‌اند که با توجه به موقعیت منطقه مورد مطالعه، می‌تواند مبنای مناسبی برای مقایسه و تحلیل یافته‌های پژوهش حاضر فراهم آورد. علاوه بر ارزش زمین‌شناختی، توسعه گردشگری درمانی در ایران با چالش‌هایی نیز مواجه است. برای بهره‌برداری پایدار از چشمه‌ها به‌منظور گردشگری سلامت^۱، باید استراتژی‌های توسعه مبتنی بر اجتماع محلی، زیرساخت‌های منطقه‌ای و برنامه‌ریزی راهبردی به کار گرفته شود. با مدل‌سازی معادلات ساختاری، نقش عوامل متعدد از جمله موقعیت جغرافیایی، تصویر مثبت منطقه و جاذبه‌های فیزیکی، تاریخی و سنتی در هدایت گردشگری سلامت منطقه‌ای می‌تواند ارزیابی شود (Esfandiyari et al., 2023).

همچنین سرمایه انسانی، مشارکت جامعه و منابع طبیعی مانند چشمه‌های معدنی، محرک‌های کلیدی رشد گردشگری

^۳ کوه‌های شاهو (Kuh-e Shahu): رشته‌کوهی در غرب ایران که بخشی از کوه‌های زاگرس محسوب می‌شود. این کوهستان در مرز استان‌های کرمانشاه و کردستان قرار گرفته و بلندترین قله آن «حوض خانی» نام دارد که ارتفاع آن به ۳۳۹۰ متر از سطح دریا می‌رسد. کوه‌های شاهو به دلیل جنس آهکی و کارستی خود، دارای غارها و حفره‌های متعددی است، از جمله غارهای معروف قوری قلعه و کاوات. این منطقه از نظر پوشش گیاهی غنی بوده و انواع گل‌ها، گیاهان دارویی و خوراکی در ارتفاعات مختلف آن می‌رویند.

^۱ wellness tourism

^۲ پالنگان (Palangan): روستایی پلکانی در استان کردستان، شهرستان کامیاران، بخش موجش است که به خاطر معماری منحصربه‌فرد خانه‌هایش که روی شیب کوه ساخته شده‌اند، شهرت دارد. این روستا در دره‌ای سرسبز و در کنار رودخانه‌ای پرآب واقع شده و بافت سنتی و چشم‌اندازهای طبیعی زیبایش، آن را به مقصدی گردشگری تبدیل کرده است. خانه‌های این روستا معمولاً از سنگ و چوب ساخته شده و دارای سقفی مسطح هستند که به عنوان حیاط برای خانه بالایی استفاده می‌شود.

و پتانسیل گردشگری-درمانی دارای ویژگی‌های منحصربه‌فرد هستند، اما هیچ مطالعه جامع و علمی که ترکیب شیمیایی دقیق، ویژگی‌های هیدروشیمیایی و امکان بهره‌برداری گردشگری-درمانی آن‌ها را بررسی کند، وجود ندارد (Ghassemi Dehnavi and Sarikhani, 2011). علاوه بر این، در پژوهش‌های پیشین کمتر به ارتباط پتانسیل گردشگری-درمانی چشمه‌ها با ویژگی‌های هیدروشیمیایی و ظرفیت منطقه‌ای پرداخته شده است. بیشتر مطالعات یا صرفاً هیدروشیمیایی بوده‌اند یا بر تحلیل گردشگری سلامت در مناطق شناخته‌شده تمرکز داشته‌اند. این خلأ نشان می‌دهد که بررسی چشمه احمدکر به‌صورت همزمان از دیدگاه هیدروشیمی و گردشگری-درمانی می‌تواند اطلاعات جدید و کاربردی برای مدیریت منابع طبیعی و توسعه پایدار گردشگری در استان کردستان فراهم کند. پژوهش حاضر با هدف بررسی هیدروشیمیایی چشمه احمدکر و واکاوی توانمندی‌های گردشگری-درمانی آن طراحی شده است تا این شکاف علمی دوگانه را پر کرده و داده‌های علمی قابل استناد برای استفاده پایدار از این منبع طبیعی ارزشمند فراهم نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعه این پژوهش، چشمه معدنی احمدکر در شهر زرینه، استان کردستان، واقع در شمال غرب ایران قرار دارد. استان کردستان با موقعیت جغرافیایی خاص خود در کمربند زاگرس و برخورداری از ارتفاعات کوهستانی، در طول تاریخ میزبان منابع آب معدنی متعدد بوده است. شهر زرینه در بخش مرکزی استان و در مجاورت کوه‌های زاگرس غربی واقع شده و ویژگی‌های زمین‌شناختی آن، مانند سنگ‌های آهکی و سازندهای کارستی، زمینه‌ساز شکل‌گیری چشمه‌های معدنی با ترکیب‌های شیمیایی متنوع شده است (Karami, 2021).

کربنات‌ها و فرآیندهای تبادل یونی قرار دارد. به‌عنوان نمونه، تحقیق گس‌سَمی قاسمی دهنوی و ساریخانی (2011) در بخش شرقی استان کردستان نشان می‌دهد که در برخی نقاط، مقادیر سدیم نسبت به کلر بیشتر از حد خط ۱:۱ است که نشان‌دهنده فعل و انفعالات سیلیکاتی و زلال‌سازی سنگ‌هاست؛ همچنین وجود روند تبادل یونی و تأثیرات آب‌سنگ در تعیین ترکیب آب زیرسطحی مورد تأیید قرار گرفته است. در نهایت، اهمیت چشمه‌های معدنی در کردستان فقط محدود به بعد زمین‌شناسی و آب‌شناسی نمی‌شود، بلکه وجه محیط‌زیستی و اجتماعی نیز برای منطقه اهمیت دارد. این چشمه‌ها می‌توانند منبعی پایدار برای تأمین آب محلی، ایجاد اشتغال گردشگری و تقویت اقتصاد محلی باشند.

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که تحقیقات هیدروشیمیایی در ایران عمدتاً به سه محور اصلی متمرکز بوده‌اند: (۱) تعیین ترکیب شیمیایی و دمای مخزن با ابزارهای ژئوشیمیایی و ایزوتوپی، (۲) شناسایی منابع و مکانیسم شکل‌گیری چشمه‌ها (مانند نفوذ بارش، تعامل با سنگ) و (۳) ارزیابی تأثیر چشمه‌ها بر محیط‌های مجاور مانند رودخانه‌ها. با این حال، بیشتر مطالعات انجام‌شده در زمینه هیدروشیمی چشمه‌های معدنی ایران عمدتاً به مناطق شناخته‌شده و پرکاربرد مانند تکاب، سرعین، سیاه‌کوه و مناطق جنوبی کشور محدود شده‌اند (Sharifi et al., 2016; Alimoradi et al., 2020; Alijani et al., 2025). در این تحقیقات، تمرکز اصلی بر روی تعیین ترکیب شیمیایی، بررسی منشأ آب و کاربرد ایزوتوپی و ژئوشیمی بوده است. همچنین، برخی مطالعات به تأثیر چشمه‌ها بر محیط‌های اطراف مانند رودخانه‌ها و شاخص‌های کیفیت آب پرداخته‌اند (Shayesteh et al., 2023). با این حال، مناطقی مانند استان کردستان، به‌ویژه چشمه‌های معدنی شهرستان زرینه و به‌طور خاص چشمه احمدکر، کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این چشمه‌ها از لحاظ ژئوشیمیایی

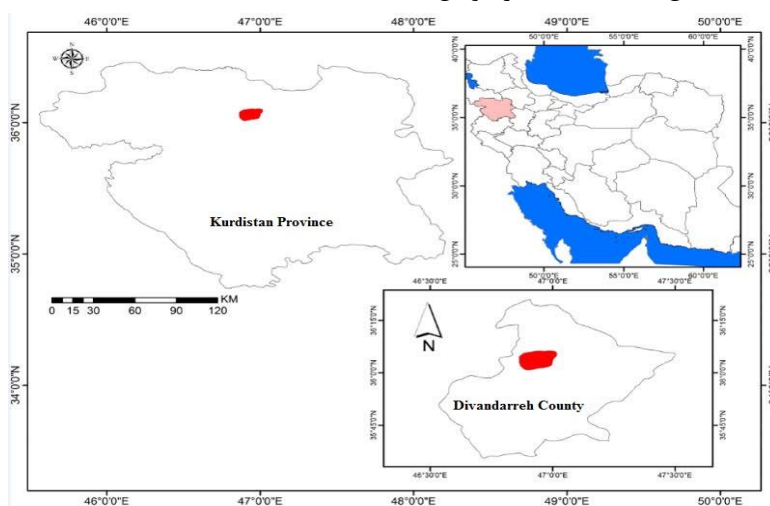
شرقی استان کردستان مشاهده شده، نشان‌دهنده فعل و انفعالات سیلیکاتی و انحلال سنگ‌ها است. همچنین، وجود روند تبادل یونی و تأثیرات آب سنگ (بدست آمده از انحلال سنگ‌های کربناتی یا تبادل یونی با رس‌ها) در تعیین ترکیب آب زیرسطحی مورد تأیید قرار گرفته و به عنوان منشأ این نسبت بالاتر در نظر گرفته می‌شود.

^۱ در مطالعات ژئوشیمیایی، نسبت سدیم به کلر (Na/Cl) یک شاخص مهم محسوب می‌شود. نسبت بالاتر از ۱.۱ (یعنی مقدار سدیم بیشتر از ۱.۱ برابر کلر) در آب‌های سطحی یا زیرزمینی می‌تواند نشان‌دهنده عواملی مانند تبخیر شدید، آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی (مانند استفاده از کودها یا فاضلاب)، یا وجود ذخایر معدنی خاص باشد. در برخی نقاط از بخش

ثانویه یا اختلاط با آب‌های سطحی قرار گرفته باشند، ضروری است. چشمه احمدکر یکی از مهم‌ترین منابع آب معدنی این منطقه است که از لحاظ هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی قابل توجه می‌باشد.

از منظر گردشگری، نزدیکی چشمه احمدکر به مسیرهای دسترسی مناسب و موقعیت آن در دل طبیعت کوهستانی، امکان بهره‌برداری همزمان از جنبه‌های تفریحی و درمانی را فراهم می‌کند. این ترکیب از ویژگی‌های طبیعی و ژئوشیمیایی، چشمه احمدکر را به یک نمونه مناسب برای مطالعات هیدروژئوشیمیایی و بررسی توانمندی‌های گردشگری-درمانی تبدیل کرده است (شکل ۱).

این منطقه در مدار ۳۶ درجه شمالی و طول ۴۶ و ۴۷ درجه شرقی قرار دارد. شهرهای این محدوده زربینه و دیواندره است و از اطراف به شهر تکاب در استان آذربایجان غربی و شهرهای صاحب و سقز در استان کردستان و روستای احمدکر متصل است. این چشمه در فاصله حدود ۳ کیلومتری از شهر زربینه و در مجاورت روستای احمدکر قرار دارد و به همین دلیل در میان اهالی به این نام شناخته می‌شود. شهرت محلی این چشمه به "چشمه شفا بخش" و باور دیرینه مردم منطقه به خاصیت سنگ‌شکنندگی و درمانی آن، لزوم بررسی علمی و مستند ویژگی‌های آن را دوچندان می‌کند. علاوه بر این، برای درک بهتر یک سامانه هیدروژئولوژیک، مقایسه آب چشمه‌های اصلی با چشمه‌های اطراف که ممکن است تحت تأثیر عوامل



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه در استان کردستان و ایران.

Figure 1- Map of the study area in Kurdistan Province and Iran.

پیش‌شسته با اسید نیتریک رقیق استفاده گردید. نمونه‌ها برای آنالیزهای شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند. پارامترهای فیزیکی شامل دما (T)، پتانسیل هیدروژنی (PH) و هدایت الکتریکی (EC) و همچنین آنیون‌های اصلی (کلرید، سولفات، بی‌کربنات) و کاتیون‌های اصلی (کلسیم، منیزیم) سنجش قرار گرفتند. کلیه روش‌های آزمایشگاهی مطابق با استانداردهای مندرج در کتاب «روش‌های استاندارد بررسی آب و فاضلاب (APHA, 2017) انجام پذیرفت (شکل ۲). برای کنترل کیفیت داده‌ها، از نمونه‌های تکراری و استاندارد داخلی استفاده شد. در نهایت، داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS برای تهیه نقشه و SPSS برای تجزیه و تحلیل‌های آماری اولیه (میانگین، انحراف معیار) پردازش شدند (شکل ۳).

مواد و روش تحقیق

این پژوهش با رویکرد ترکیبی (آمیخته) و با هدف تلفیق داده‌های عینی آزمایشگاهی با درک ذهنی و تجربیات جامعه محلی طراحی و اجرا شد. روش شناسی تحقیق حاضر در دو بخش عمده جمع‌آوری و تحلیل داده‌های کمی (هیدروژئوشیمیایی) و جمع‌آوری و تحلیل داده‌های کیفی (مردم‌نگر) سازماندهی شده است تا تصویری جامع و چندبعدی از چشمه معدنی احمدکر ارائه دهد.

جامعه آماری این بخش، آب چشمه معدنی احمدکر و یک چشمه ثانویه در پایین‌دست آن بود. نمونه‌برداری در سال ۱۴۰۴ انجام شد. بر اساس دستورالعمل‌های استاندارد نمونه‌برداری از آب‌های سطحی و زیرزمینی، از بطری‌های پلی‌اتیلن



شکل ۲- چشمه احمد کر و چشمه شاهد ۲ و نمونه آب برداشت شده.

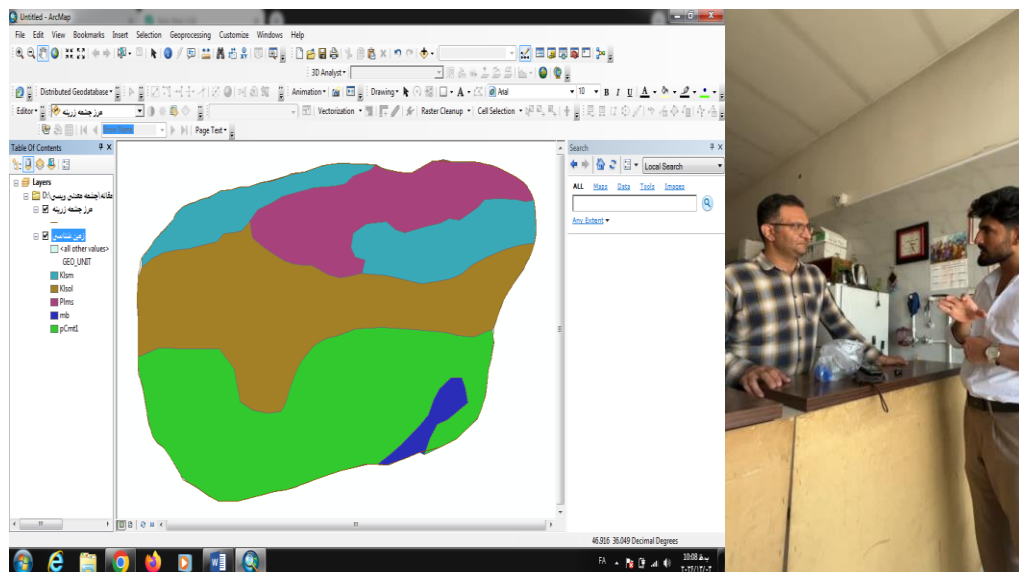
Figure 2- Ahmad Kor spring, control spring No. 2, and the collected water sample.

(مانند «باورهای درمانی»، «نگرانی‌های زیست‌محیطی»، «انتظارات از توسعه») دسته‌بندی شدند و در نهایت الگوهای معنادار استخراج گردید. اعتباربخشی یافته‌های کیفی از طریق بازبینی توسط مشارکت‌کنندگان و توافق بین کدگذاران صورت پذیرفت.

پس از تحلیل جداگانه دو دسته داده، مرحله نهایی تحقیق، یکپارچه‌سازی یافته‌های کمی و کیفی بود. در این مرحله، نتایج آزمایش‌های شیمیایی (مانند غلظت بالای بیکربنات کلسیم) با باورهای درمانی مردم محلی (خاصیت سنگ‌شکنی) مورد مقایسه و تبیین علمی قرار گرفت. همچنین، نگرانی‌های مطرح شده در مصاحبه‌ها درباره آلودگی یا کاهش آب، با پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری‌شده مقایسه شد تا تصویری جامع از وضعیت موجود و پتانسیل آتی چشمه احمد کر ارائه شود. این رویکرد ترکیبی، که توسط کرسول و پلانو کلارک (Creswell and Plano Clark, 2018) به‌عنوان طرح «همگرایی موازی» معرفی شده است، امکان تقاطع یافته‌ها و دستیابی به درکی غنی‌تر را فراهم می‌آورد.

برای واکاوی عمیق باورها، تجربیات و دانش بومی مرتبط با چشمه احمد کر، از روش تحقیق کیفی با رویکرد مردم‌شناسی استفاده شد. جامعه مورد مطالعه در این بخش، ساکنان بومی و کهنسالان شهر زرینه و روستای احمد کر بودند که آشنایی دیرینه و استفاده طولانی‌مدت از این چشمه داشتند. نمونه‌گیری به صورت هدفمند و گلوله برفی انجام شد تا افرادی با غنی‌ترین اطلاعات انتخاب شوند. حجم نمونه با رسیدن به اشباع نظری و پس از انجام ۱۰ مصاحبه نیمه‌ساختاریافته تعیین گردید (شکل ۳). سوالات مصاحبه حول محورهای اصلی تاریخچه شفاهی چشمه، باورهای درمانی رایج (به ویژه ادعای سنگ‌شکنی)، تغییرات مشاهده‌شده در کیفیت آب یا دبی چشمه در طول زمان و دیدگاه‌ها نسبت به توسعه گردشگری متمرکز بود. هر مصاحبه با رضایت کامل مشارکت‌کننده و پس از توضیح اهداف پژوهش، ضبط و سپس کلمه به کلمه بازنویسی^۱ شد. برای تحلیل متون مصاحبه‌ها از تحلیل محتوای کیفی قرارداری (Creswell and Plano Clark, 2018) استفاده گردید. در این روش، داده‌های متنی به‌طور سیستماتیک کدگذاری شدند، کدهای مشترک در ذیل مقوله‌های اصلی

¹ Transcribe



شکل ۳- شکل سمت راست مصاحبه از پزشک و سمت چپ استفاده از GIS.

Figure 3- Right: interview with a physician; Left: use of GIS.

گردشگری-درمانی آن را بر مبنای شواهد عینی ارزیابی می‌نماید.

۱. یافته‌های کمی: هیدروشیمی، ژنز و ارزیابی پتانسیل درمانی

داده‌های حاصل از آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی دو نمونه آب، که در جدول ۱ خلاصه شده‌اند، نقطه آغاز تحلیل علمی این پژوهش هستند.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش که در دو بستر کمی (آزمایش‌های هیدروشیمیایی) و کیفی (مصاحبه‌های عمیق) گردآوری شده‌اند، تصویری چندوجهی و غنی از چشمه معدنی احمدکر ارائه می‌دهند. تحلیل یکپارچه این داده‌ها نه تنها ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی منبع آب را مشخص می‌کند، بلکه پایه‌های علمی باورهای دیرینه محلی را آشکار ساخته و ظرفیت‌های

جدول ۱- نتایج آنالیز فیزیک و شیمیایی آب چشمه اصلی احمدکر (A) و چشمه ثانویه پایین‌دست (B).

Table 1- Results of the physicochemical analysis of water from the main Ahmad Kar spring (A) and the downstream secondary spring (B).

Parameter	Unit	Main Spring (A)	Secondary Spring (B)	Iranian Standard Limit (ISIRI 1053)	Initial Interpretation
Temperature (T)	°C	17	17	—	Typical ambient temperature for shallow groundwater.
pH	—	8.7	7.28	6.5–8.5	(A) Highly alkaline, exceeds standard; (B) Neutral to slightly alkaline.
Electrical Conductivity (EC)	µS/cm	1489	556	—	(A) Very high mineral content; (B) Moderate mineralization.
Total Dissolved Solids (TDS)	mg/L	952	345	1000	Both within limit; higher in A due to high solute concentration.
Total Hardness (as CaCO ₃)	mg/L	740	260	500	(A) Very hard, exceeds standard; (B) Near hard threshold.
Calcium (Ca ²⁺)	mg/L	207	70	300	Concentration in A ≈ 3× B; both within standard.
Magnesium (Mg ²⁺)	mg/L	33	21	30	(A) Slightly exceeds standard; (B) Within limit.

Sodium (Na⁺)	^m g/L	57	42	200	Both within standard.
Bicarbonate (HCO₃⁻)	^m g/L	≈ 442	≈ 242	–	Dominant anion in both samples; concentration markedly higher in A.
Chloride (Cl⁻)	^m g/L	57	27	250	Both within standard.
Sulfate (SO₄²⁻)	^m g/L	65	65	250	Both within standard.
Nitrate (NO₃⁻)	^m g/L	3	2	50	Very low values indicate no significant nitrate pollution (agricultural/wastewater).

تبیین علمی محکمی برای باور ریشه‌دار محلی ارائه می‌دهد که خواص ویژه منحصر به «سرچشمه اصلی» است. از منظر علم هیدروشیمی، با کاهش غلظت یون‌های مؤثر، اثر بالقوه درمانی نیز کاهش می‌یابد. این موضوع اهمیت نمونه‌برداری از نقطه خروج اصلی و مدیریت حفاظتی حریم چشمه را برای جلوگیری از آلودگی یا رقت ناخواسته برجسته می‌سازد (Çomo et al., 2023).

ارزیابی پتانسیل درمانی بر مبنای ترکیب شیمیایی: ترکیب منحصربه‌فرد چشمه اصلی (قلیایی، غنی از بیکربنات و کلسیم) آن را به یک کاندیدای دارای پتانسیل بالئولوژیک در زمینه مدیریت سنگ کلیه تبدیل می‌کند. مکانیسم این اثر بالقوه چندوجهی است: اولاً، pH قلیایی (۸٫۷) و بار بیکربناتی بالا (۴۴۲ mg/L) می‌تواند پس از جذب و دفع کلیوی، منجر به قلیایی شدن ادرار شود. این محیط برای پیشگیری از تشکیل و حتی کمک به انحلال سنگ‌های اسیداوریک ایده‌آل است، زیرا حلالیت اسیداوریک با افزایش pH به طور نمایی افزایش می‌یابد (Jahrreiss et al., 2024). ثانیاً، آب‌های غنی از بیکربنات می‌توانند پیش‌ساز تولید سترات ادراری باشند که یک بازدارنده طبیعی قوی برای تبلور کلسیم است (Ticinesi et al., 2018). بنابراین، اثر این آب می‌تواند هم از طریق تغییر مستقیم محیط ادرار و هم از طریق مکانیسم‌های بازدارنده ثانویه باشد.

۲. یافته‌های کیفی: تحلیل دانش بومی و انطباق آن با علوم نوین

تحلیل مضامین مصاحبه‌های عمیق با سه نفر از افراد کلیدی محلی (یک گیاه‌شناس سنتی، یک داروساز و یک استفاده‌کننده با سابقه)، لایه‌ای غنی از دانش تجربی و بومی را

تحلیل هیدروشیمیایی و تبیین ژنز: غلظت بسیار بالای یون‌های کلسیم (Ca²⁺) و بیکربنات (HCO₃⁻) در کنار pH قلیایی، الگوی شیمیایی آشکاری را نشان می‌دهد. بر اساس دی‌گرام طبقه‌بندی پایپر، آب هر دو چشمه به وضوح در حوزه آب‌های بیکربناته-کلسیمی (Ca-HCO₃) قرار می‌گیرند. این تیپ هیدروشیمیایی، نشانه کلاسیک آب‌های حاصل از فرآیند انحلال کارستی در سازندهای آهکی و دولومیتی است (Marques et al., 2020). در این سیستم، آب باران که با دی‌اکسید کربن جو و خاک غنی شده، از شکستگی‌های سنگ‌های کربناته عبور کرده و کانی‌هایی مانند کلسیت (CaCO₃) را بر اساس واکنش $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$ حل می‌کند. این فرآیند مستلزم زمان تماس کافی و مسیر طولانی است که منجر به غلظت‌های مشاهده‌شده می‌گردد. موقعیت زمین‌شناختی منطقه کردستان در زون ساختاری سنندج-سیرجان با گستره‌های وسیع سنگ‌های کربناته این تفسیر را کاملاً تأیید می‌کند. بنابراین، چشمه احمدکر خروجی یک سیستم آب زیرزمینی کارستی فعال و بالغ است.

مقایسه کمی چشمه اصلی و ثانویه و دلالت‌های آن: کاهش هماهنگ و شدید (~۶۵-۵۰٪) کلیه شاخص‌های غلظت (EC، TDS، سختی، Ca، HCO₃⁻) در چشمه ثانویه (B) نسبت به اصلی (A)، به وضوح نشان‌دهنده پدیده رقت^۱ در مسیر جریان است. این رقت احتمالاً ناشی از اختلاط آب چشمه اصلی با منابع آب سطحی یا زیرسطحی با کانی‌زایی پایین‌تر (مانند جریان‌های بارانی اخیر) رخ داده است. شاهد دیگر، افزایش چشمگیر کدورت از ۲ به ۶۲ (NTU) در نمونه B است که حکایت از ورود ذرات معلق خاک به جریان دارد. این یافته‌ها،

¹ Dilution

احمدکر ممکن است اثر «شکنندگی» مستقیم و مشهودی بر سنگ‌های اگزالاتی تشکیل‌شده نداشته باشد، اگرچه می‌تواند از طریق افزایش حجم ادرار در پیشگیری نقش ایفا کند.

مضمون ۳: ملاحظات مصرف و تقدس مکانی:

باور دیگر بر پایداری خاصیت آب حتی پس از انتقال مکانی استوار بود. از نظر شیمیایی، اگر شرایط نگهداری مناسب باشد (جلوگیری از جذب CO_2 و رسوب گذاری)، ترکیب یونی آب می‌تواند پایدار بماند. اما تأکید بر مصرف در سرچشمه و به صورت ناشتا، بعد فرهنگی-اعتقادی و احتمالاً تجربی این استفاده را نشان می‌دهد. مصرف ناشتا ممکن است با جذب سریع‌تر و کامل‌تر آب و املاح آن در دستگاه گوارش مرتبط باشد.

نتیجه‌گیری کیفی و همگرایی با دانش علمی: تحلیل کیفی نشان می‌دهد باور درمانی محلی درباره چشمه احمدکر، صرفاً یک افسانه یا خرافه نیست، بلکه سامانه‌ای از دانش مبتنی بر تجربه است که در طول نسل‌ها پردازش و تصفیه شده است. دقت این دانش در تمایز بین پاسخ‌های درمانی متفاوت و پیوند زدن آن به انواع متفاوت سنگ (که در پزشکی مدرن به انواع اگزالاتی، اسیداوریک، فسفاتی و ... تقسیم می‌شوند)، شگفت‌انگیز و قابل احترام است. این یافته، نمادی بارز از همگرایی دانش بومی و دانش آکادمیک است که در آن، مشاهده‌های دقیق محلی، توسط روش‌های علمی کمی تأیید و تبیین می‌شوند. این همگرایی، نه تنها ارزش فرهنگی این چشمه را افزایش می‌دهد، بلکه پایه محکمی برای توسعه یک مدل گردشگری درمانی مسئولانه و مبتنی بر شواهد فراهم می‌کند. در چنین مدلی، می‌توان هم به جاذبه‌های فرهنگی-اعتقادی توجه کرد و هم با صداقت علمی، محدوده اثربخشی احتمالی و مکانیسم عمل آن را برای گردشگران تشریح نمود. این رویکرد، همان‌طور که اسفندیاری و همکاران (Esfandyari et al., 2023) نیز بر آن تأکید کرده‌اند، کلید توسعه پایدار گردشگری سلامت در مناطق دارای چنین منابع طبیعی-فرهنگی است.

۳. تأثیر زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی در ارتباط با کیفیت آب چشمه

آشکار کرد که به طرز قابل توجهی با یافته‌های کمی هم‌پوشانی و تکمیل دارد.

مضمون ۱: باور راسخ به خاصیت سنگ‌شکنی و تبیین مکانیسم «تخریب و دفع»:

تمامی مشارکت‌کنندگان به طور قاطع بر خاصیت درمانی آب در برابر سنگ کلیه تأکید داشتند. درک آنان از مکانیسم عمل، فرآیندی فیزیکی بود که با اصطلاحاتی مانند «خرد کردن»، «ریز کردن (کوچک کردن)» و در نهایت «آسان کردن دفع» سنگ توصیف شد. به عنوان مثال، یکی از مشارکت‌کنندگان بیان کرد: «این آب سنگ رو حل نمی‌کند، بلکه اونقدر ریزش می‌کند و خرد می‌کند که می‌ریزه بیرون». این توصیف، هم‌خوانی نزدیکی با مکانیسم علمی عمل دارد که در آن، قلیایی کردن محیط ادرار می‌تواند به تخریب تدریجی ماتریکس سنگ و کاهش اندازه آن کمک کند، و افزایش حجم ادرار (در صورت مصرف کافی) دفع ذرات کوچک‌شده را تسهیل می‌نماید. این توصیف محلی، درک شهودی از فرآیندی است که در علم پزشکی به عنوان «افزایش قابلیت گذر سنگ» شناخته می‌شود.

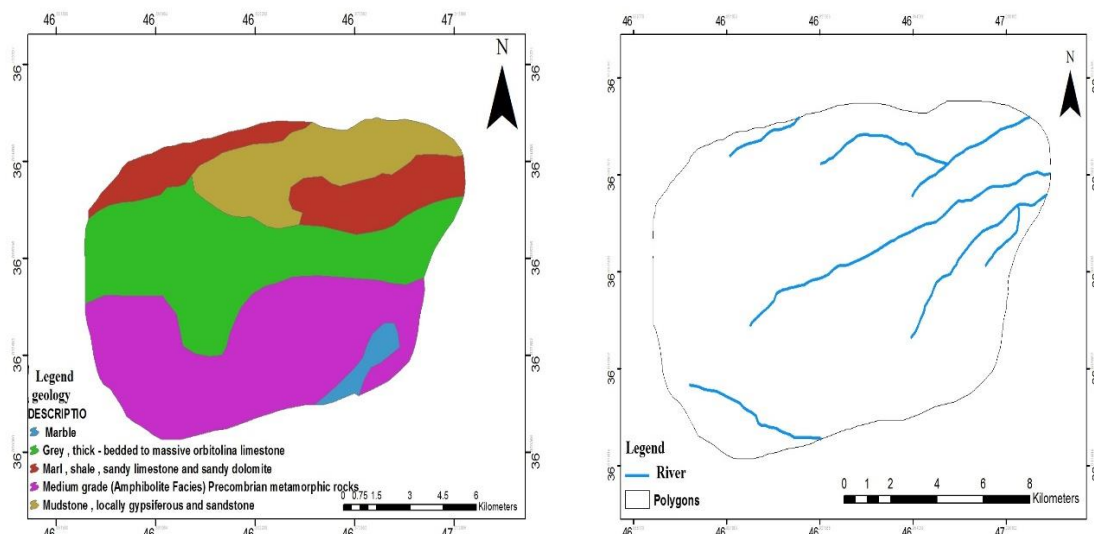
مضمون ۲: تشخیص مبتنی بر تجربه:

عدم شمولیت اثر و تمایز بین انواع سنگ: عمیق‌ترین بخش یافته کیفی، تشخیص پیچیده و مبتنی بر مشاهده شرکت‌کنندگان درباره محدودیت‌های این درمان بود. به طور مکرر تأکید شد که این آب «برای همه جواب نمی‌دهد» یا «برای بعضی مؤثر است و برای بعضی نه». مهم‌تر آنکه، این تشخیص به سطح تمایز بین انواع سنگ کلیه ارتقا یافت. یکی از مشارکت‌کنندگان به صراحت اظهار داشت: «این آب سنگ‌های اگزالاتی (اقزالتی) رو نمی‌شکند». این گزاره، حاکی از دانش بومی پیشرفته و نظام‌مند است که حاصل سال‌ها تجربه‌اندوزی و مشاهده پیامدهای متفاوت بر بیماران مختلف است. این مشاهده دقیقاً با پارادایم پزشکی مدرن مطابقت دارد. سنگ‌های اگزالات کلسیم، برخلاف سنگ‌های اسیداوریک، نسبت به تغییر pH ادرار چندان حساس نیستند و حلالیت آنها در محدوده pH طبیعی ادرار تغییرات چشمگیری نمی‌کند (Coe et al., 2016). مدیریت اصلی آنها بر افزایش حجم ادرار و اصلاح رژیم غذایی متمرکز است. بنابراین، آب قلیایی

¹ passability

آن‌ها می‌تواند در کیفیت چشمه تاثیر گذار باشد. شبکه هیدرو گرافی نیز (شکل ۳ سمت راست) نشان می‌دهد که شیب عمومی منطقه به سمت شرق و شمال شرقی می‌باشد. هر چند شیب لایه‌های زمین‌شناسی می‌تواند متفاوت باشد ولی نفوذ آب در لایه‌های مختلف می‌تواند املاح متفاوت را به چشمه تزریق نماید.

همانطور که نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد در اطراف چشمه پنج جنس متفاوت زمین‌شناسی وجود دارد که قسمت عمده آن تشکیلات اهکی می‌باشد. تشکیلات اهکی - ماسه سنگی، تشکیلات دولومیت دار، تشکیلات اهکی اوربیتولن دار، مادستون، تشکیلات گچ و ماسه سنگی و متامورفیک از ساختار اصلی جنس منطقه به حساب می‌آید (شکل ۳ سمت چپ). انحلال این تشکیلات در آب و انحلال



شکل ۴- نقشه زمین‌شناسی (سمت چپ) و هیدروژئولوژی (سمت راست) منطقه مورد مطالعه.

Figure 3- Geological map (left) and hydrological map (right) of the study area.

اصلی احمدکر نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. این چشمه ثانویه، که احتمالاً از نظر زمین‌شناختی مرتبط است، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره تغییرات کیفی آب در طول مسیر جریان ارائه دهد.

چشمه احمدکر یکی از مهم‌ترین منابع آب معدنی این منطقه است که از لحاظ هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی قابل توجه می‌باشد. مطالعات اولیه هیدروژئوشیمیایی نشان می‌دهد که آب این چشمه دارای غلظت قابل توجهی از یون‌های کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات است که ترکیب شیمیایی آن مشابه سایر چشمه‌های درمانی زاگرس غربی است (Ghassemi Dehnavi and Sarikhani, 2011). این ویژگی‌ها موجب شده است تا چشمه احمدکر به عنوان منبع بالقوه‌ای برای استفاده در زمینه گردشگری سلامت و آب‌درمانی مورد توجه قرار گیرد.

از منظر گردشگری، نزدیکی چشمه احمدکر به مسیرهای دسترسی مناسب و موقعیت آن در دل طبیعت کوهستانی، امکان بهره‌برداری همزمان از جنبه‌های تفریحی و درمانی را

نتیجه گیری

این پژوهش با اتخاذ رویکرد ترکیبی (آمیخته) و با هدف پر کردن خلأ تحقیقاتی موجود در خصوص چشمه معدنی احمدکر در شهر زرنه، استان کردستان، به بررسی جامع ویژگی‌های هیدروشیمیایی و ارزیابی پتانسیل گردشگری-درمانی آن پرداخت. علی‌رغم باورهای دیرینه و رایج محلی مبنی بر خواص درمانی منحصر به فرد این چشمه، به ویژه در زمینه سنگ‌شکنی، فقدان داده‌های علمی معتبر و تحلیل‌های سیستماتیک، مانع اصلی درک علمی و توسعه پایدار آن بوده است. این پژوهش، اولین مطالعه میدانی جامع در این زمینه محسوب می‌شود که داده‌های عینی آزمایشگاهی را با دانش تجربی و بومی جامعه محلی تلفیق کرده است. علاوه بر این، برای درک بهتر یک سامانه هیدروژئولوژیک، مقایسه آب چشمه‌های اصلی با چشمه‌های اطراف که ممکن است تحت تأثیر عوامل ثانویه یا اختلاط با آب‌های سطحی قرار گرفته باشند، ضروری است. بر این اساس، در این پژوهش، یک چشمه دیگر در پایین‌دست و در فاصله حدود ۲ کیلومتری چشمه

شده است (Coe et al., 2016). یافته‌های این پژوهش، بر لزوم تلفیق دانش بومی با تحقیقات علمی مدرن، همانطور که توسط اسفندیاری و همکاران (Esfandiyari et al., 2023) نیز توصیه شده، تأکید می‌کند. درک این هم‌افزایی، پایه‌ای محکم برای توسعه پایدار گردشگری سلامت در منطقه فراهم می‌آورد.

این پژوهش با ارائه داده‌های علمی جامع و تبیین علمی باورهای محلی، گامی مهم در جهت شناسایی، حفاظت و بهره‌برداری مسئولانه از پتانسیل‌های طبیعی و درمانی چشمه احمدکر برداشته است. با این حال، تحقیقات آتی می‌تواند بر ارزیابی عناصر کم‌مقدار، بررسی میکروبیولوژی آب و تدوین برنامه‌های عملیاتی برای توسعه گردشگری سلامت پایدار تمرکز نماید.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب سپاس و قدردانی خود را از تمامی مشارکت‌کنندگان در مصاحبه‌های این پژوهش و همچنین از آزمایشگاه همکار به دلیل آنالیز دقیق نمونه‌های آب ابراز می‌دارند. همچنین از حمایت‌های علمی و مالی دانشگاه فرهنگیان البرز کمال تشکر را دارند.

منابع

عبدالملکی، م.، گنجائیان، ح. (۱۴۰۰). پتانسیل‌سنجی مناطق مستعد توسعه بوم‌گردی در شهرستان کامیاران. جغرافیا و روابط انسانی، ۳ (۴)، ۴۶۰-۴۷۲.

کریمی، غ. (۱۴۰۰). بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی منطقه پالنگان، رزاق. دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

کرزول، ج.، دلیو، پلانو کلارک، و. ال. (۱۳۹۰). روش‌های پژوهش ترکیبی (ترجمه فارسی). انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران، ۴۹۲-۱.

میرحسینی، س.م.، عابدپور، ز.، و شاکری، ف. (۱۳۹۴). قابلیت‌های زمین گردشگری (ژئوتوریسم) چشمه‌های آب گرم و معدنی ایران. جغرافیای طبیعی، ۸ (۲۸): ۱۱۵-۱۰۱.

ندیری، ع.، نوین، ف.، برزگری، ق.، اوجاقی، م.، و نوری، ن. (۱۴۰۰). بررسی هیدرو شیمی و کیفیت منابع آب حوضه حاجیلارچای و تعیین منشأ عناصر کمیاب. هیدروژئومورفولوژی، ۸ (۲۹)، ۱۶-۲۲.

شایسته، ک.، خجسته، م.، شایسته، ن.، خانی، م.، زحمتی، ف.، و وحیدفرد، و. (۱۴۰۲). اثرگذاری چشمه‌های آبگرم

فراهم می‌کند. این ترکیب از ویژگی‌های طبیعی و ژئوشیمیایی، چشمه احمدکر را به یک نمونه مناسب برای مطالعات هیدروژئوشیمیایی و بررسی توانمندی‌های گردشگری-درمانی تبدیل کرده است.

در این تحقیق، ابتدا با نمونه‌برداری، ترکیبات فیزیکوشیمیایی آب چشمه اصلی احمدکر و یک چشمه ثانویه در پایین‌دست مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. تحلیل‌های هیدروژئوشیمیایی نشان داد که آب هر دو چشمه عمدتاً از نوع بیکربناته-کلسیمی (Ca-HCO_3) بوده و ژن آن به انحلال سنگ‌های کربناته در سیستم کارستی منطقه بازمی‌گردد. غلظت بالای بیکربنات (442 mg/L) و کلسیم (Ca^{2+}) و pH قلیایی (۸.۷) در چشمه اصلی، پتانسیل بالئولوژیکی قابل توجهی را، خصوصاً در زمینه کمک به پیشگیری و انحلال سنگ‌های اسیداوریک و تسهیل دفع سنگ‌های کلسیم اگزالات از طریق قلیایی کردن ادرار و افزایش تولید سیترات، آشکار ساخت. یافته‌های کیفی حاصل از مصاحبه‌های عمیق با جامعه محلی، دانش تجربی دقیقی را در مورد مکانیسم سنگ‌شکنی (تخریب و دفع)، تمایز بین انواع سنگ‌های مؤثر (عدم اثربخشی بر سنگ‌های اگزالاتی) و ملاحظات مصرف، آشکار نمود که هم‌خوانی شگفت‌انگیزی با یافته‌های کمی داشت. همچنین، مقایسه چشمه اصلی با چشمه ثانویه، پدیده رقت قابل توجه و افزایش کدورت در چشمه ثانویه را نشان داد که بر اهمیت حفاظت از منبع اصلی و مدیریت یکپارچه منابع آب تأکید می‌کند.

نتایج هیدروژئوشیمیایی چشمه احمدکر (تیپ Ca-HCO_3 ، pH قلیایی) با یافته‌های مطالعات مشابه بر روی چشمه‌های درمانی در زاگرس غربی، مانند آنچه توسط (Ghassemi Dehnavi and Sarikhani, 2011) گزارش شده، هم‌خوانی دارد. این تیپ هیدروژئوشیمیایی به طور کلی با آب‌های حاصل از انحلال سنگ‌های کربناته در سیستم‌های کارستی مرتبط است (Marques et al., 2020). پتانسیل درمانی مرتبط با pH قلیایی و غنی بودن از بیکربنات، همانند آنچه در این پژوهش مطرح شد، در مطالعات بین‌المللی بر روی آب‌های معدنی با خواص مشابه برای مدیریت سنگ‌های کلیه (به ویژه اسیداوریک) نیز مورد بحث قرار گرفته است (Jahrreiss et al., 2024; Ticinesi et al., 2018; Protano et al., 2024). با این حال، دقت دانش بومی مشاهده شده در این پژوهش، به‌ویژه در تمایز بین انواع سنگ‌های مؤثر (عدم تأثیر بر سنگ‌های اگزالاتی)، یک جنبه منحصر به فرد است که کمتر در مطالعات قبلی به آن پرداخته

Gandaki Province, Nepal. Environmental Earth Sciences, 82(5): 135.

Coe, F.L., Evan, A., Worcester, E. (2005). Kidney stone disease. Journal of Clinical Investigation, 126(5): 1787-1792.

Creswell, J.W., Plano Clark, V.L. (2018). Designing and Conducting Mixed Methods Research, 3rd ed. SAGE Publications, Thousand Oaks, CA.

Çomo, E., Hasimi, A., Kiri, E., Tako, E., Shatro, A. 2023. Hydrochemical assessment of the aquifer of thermal waters in Llixha, Elbasan, using Stiff diagrams. Environmental Sciences Proceedings, 26(1): 167.

de Baaij, J.H.F., Hoenderop, J.G.J., Bindels, R.J.M. (2022). Regulation of magnesium balance: lessons from human genetic disease. American Journal of Physiology-Renal Physiology, 322(5): F542-F553.

Esfandiyari, H., Choobchian, S., Momenpour, Y., Azadi, H. 2023. Sustainable rural development in Northwest Iran: proposing a wellness based tourism pattern using a structural equation modeling approach. Humanities & Social Sciences Communications, 10(1): Article 01943.

Marín-García, A., Gil-Saura, I., Ruiz-Molina, M. E., Berenguer-Contrí, G. (2021). Sustainability, store equity, and satisfaction: The moderating effect of gender in retailing. *Sustainability*, 13(2), 1010. <https://doi.org/10.3390/su13021010>

Ghassemi Dehnavi, A., Sarikhani, R. & Nagaraju, D. (2011). Hydro geochemical and rock water interaction studies in East of Kurdistan, NW of Iran. International Journal of Environmental Sciences and Research, 1(1): 16–22.

Guest, G., Bunce, A., Johnson, L. (2006). How many interviews are enough? An experiment with data saturation and variability. Field Methods, 18(1): 59-82.

Jolie, E., Moeck, I., Faulds, J.E. (2021). Quantitative structural-geological exploration of fault-controlled geothermal systems – A case study from the Basin and Range Province, Nevada (USA). Geothermics, 96: 102214.

Khazaei Pool, M., Pashaei, T., Rastegar, H., Ponnet, K. (2024). A comprehensive perspective on local drivers in community-based health tourism industry development: a qualitative study of Mazandaran Province, Iran. BMC Health Services Research, 24: 910.

Ahn, Y.J., Kim, K.B. (2024). Understanding the interplay between wellness motivation, engagement, satisfaction, and destination loyalty. Behavioral Sciences, 14(3), 239.

Mallick, J., Singh, C.K., AlMesfer, M.K., Kumar, A., Khan, R. A., Islam, S., Rahman, A. (2018). Hydro-geochemical assessment of groundwater quality in Aseer Region, Saudi Arabia. Water, 10(12), 1847.

Mongelli, G., Monni, S., Oggiano, G. Paternoster, M. Sinisi, R. (2020). Tracing groundwater salinization processes in coastal aquifers: a hydrogeochemical and isotopic approach in the Na-Cl brackish waters of

معدنی بر کیفیت رودخانه با تکیه بر شاخص های سمیت (مطالعه موردی: اثرگذاری آبگرم قینرجه نیر بر رودخانه بالخلی چای). مجله پژوهش در بهداشت محیط، ۹ (۲)، ۱۴۶-۱۵۹.

واعظی هیر، ع.، جبرائیلی اندریان، ن.، و بختیاری، ش. (۱۳۹۸). بررسی توسعه کارست در استان کردستان؛ مکانیسم ژئومورفولوژی غارها و هیدروولوژی چشمه های کارستی. هیدروژئومورفولوژی، ۵ (۲۰)، ۴۱-۵۶.

References

Abdolmaleki, M., Ganjaeian, H. (2021). Potentiometry of areas prone to ecotourism development in the Kamyaran County. Journal of Geography and Human Relations, 3(4), 460-472.[in persian]

Karami, G.h. (2021). Hydrogeological and Hydrogeochemical Investigation of Karst Springs in the Palangan Region, Razab (Master's thesis). Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. [in Persian]

APHA (American Public Health Association) 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd ed. American Public Health Association, Washington, D.C.

Alijani, F., Bayat, N., Nassery, H.R., Lorenz, G., Heine, F., Leybourne, M. 2025. Insights into groundwater hydrochemistry and origin of the sulfuric and non-sulfuric karst aquifers in south west Iran. Journal of Hydrology.

Alimoradi, S., Nassery, H.R., Alijani, F., & Karimi, H. 2020. Source determination and formation mechanisms of sulfur and thermal springs of Siah-Kuh anticline, south-west of Iran, using hydrogeochemistry and isotope characteristics. Hydrogeology Journal, 28.

Aquino, R.S., Vada, S., Pforr, C. 2024. Local community participation in wellness tourism: A scoping review. Tourism Management Perspectives, 51: 101245.

Banks, D., Banks, S.B. (2021). An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling. John Wiley & Sons, Chichester.

Berger, E., Dutka, M., Ellis, B.R. 2022. Hydrogeochemical characterization of groundwater flow systems in fractured rock. Applied Geochemistry, 147: 105478.

Bhattacharjee, S., Gupta, S., Chakraborty, S. (2022). Advanced Hydrogeology. Springer Nature, Cham.

Chalise, B., Paudyal, P., Kunwar, B.B., Bishwakarma, K., Thapa, B., Pant, R.R., Neupane, B.B. (2023). Water quality and hydrochemical assessments of thermal springs, Gandaki Province, Nepal. Heliyon, 9(6): e17353.

Chalise, D., Paudyal, P., Kunwar, B.B., Bishwakarma, K. (2023). Water quality and hydrochemical assessments of thermal springs,

Matsumoto, S. (2018). Evaluation of the role of balneotherapy in rehabilitation medicine. *Journal of Nippon Medical School*, 85(4), 196–203.

Vaezihir, A., Jabraili Andaryan, N., Bakhtiyari, S.h. (2019). Investigation of Karst Development in Kurdistan Province; Geomorphology Mechanism of the Caves and Hydrogeology of Karstic Springs. *Hydrogeomorphology*, 5(20), 41-56.

northwestern Sardinia, Italy. *Science of The Total Environment*, 720: 137580.

Mirhosseini, S.M., Abedpour, Z., Shakeri, F. (2015). Geotourism potentials of mineral and hot springs in Iran. *Physical Geography*, 8(28), 101-115. [in Persian]

Araya, P., Martínez, C., Barros, J. (2022). Lithium in drinking water as a public policy for suicide prevention: Relevance and considerations. *Frontiers in Public Health*, 10, 805774.

Nadiri, A., Novin Sarand, F., Barzeghari, G., Ojaghi, M., Nori, N. (2022). Investigation of Hydrogeochemical Characteristics of Hajilarchai Basin and Origin of Trace Elements. *Hydrogeomorphology*, 8(29), 16-22. [in Persian]

Naumann, J., Sadaghiani, C. (2014a). Therapeutic benefit of balneotherapy and hydrotherapy in the management of fibromyalgia syndrome: A qualitative systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Arthritis Research & Therapy*, 16(4), R141.

Naumann, J., Sadaghiani, C. (2021b). Balneotherapy in the modern era: From empirical practice to evidence-based medicine. *Complementary Medicine Research*, 28(1), 12-21.

Protano, C., Vitali, M., De Giorgi, A., Marotta, D., Crucianelli, S., Fontana, M. (2024). Balneotherapy using thermal mineral water baths and dermatological diseases: A systematic review. *International Journal of Biometeorology*, 68(6): 1005–1013.

Jahrreiss, V., Seitz, C., Quhal, F. (2024). Medical management of urolithiasis: Great efforts and limited progress. *Asian Journal of Urology*, 11(2), 149–155.

Smith, M., Puczkó, L. (2009). Health and wellness tourism. Elsevier/Butterworth-Heinemann.

Schäffer, R., Bär, K., Fischer, S., Fritsche, J.G., Sass, I. (2021). Mineral, thermal and deep groundwater of Hesse, Germany. *Earth System Science Data*, 13(10), 4847–4860.

Sharifi, R., Moore, F., Mohammadi, Z., Keshavarzi, B. (2016). Estimation of deepwater temperature and hydrogeochemistry of springs in the Takab geothermal field, West Azerbaijan, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(2), 75.

Shayesteh, K., Khojasteh, M., Shayesteh, N., Khani, M. J., Zahmati, F., Vahidfard, V. (2023). The effect of mineral hot water springs on the quality of the river based on toxicity indicators (case study: the effect of Ghaynarjeh Nir hot spring on the Balkhlichai river). *Journal of Research in Environmental Health*, 9(2), 146-159. [in Persian]

Smith, M.K., Puczkó, L. (2021). *The Routledge Handbook of Health Tourism*. Routledge, London.

Ticinesi, A., Nouvenne, A., Borghi, L. Meschi, T. (2018). Water and other fluids in nephrolithiasis: State of the art and future challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(15): 2582-2592.