



بررسی و مقایسه خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و هیدرودینامیکی چشمه‌های کارستی

مزار، اندرکخ و چشمه گیلاس

سید محسن شجاعی^۱، حسین محمدزاده^۲، عبدالرضا فتحی نجفی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران Mohsen.shojaei@live.com

۲- عضو هیأت علمی و مدیر مرکز تحقیقات آب‌های زیرزمینی (متاب)، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران Mohammadzadeh@um.ac.ir

۳- کارشناس ارشد آب زیرزمینی، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، مشهد، ایران fathinajafizoo8@yahoo.com

چکیده

آبخوان‌های کارستی با دارا بودن پتانسیل آبی بالا و کیفیت مناسب، تأمین کننده بخش مهمی از آب مورد نیاز در مناطق مختلف جهان می‌باشد. بطوریکه ۲۵٪ از جمعیت جهان، آب مورد نیاز خود را از منابع کارستی برداشت می‌کنند. تکنیک‌های ژئوشیمیایی و هیدرودینامیکی به عنوان یک ابزار مهم و موثر در شناخت و بررسی خصوصیات پهنه‌های کارستی مطرح هستند. در این تحقیق با انجام آنالیز کیفی بر روی آب چشمه‌های اندرکخ، مزار و گیلاس و تعیین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی، تیپ آب در هر کدام از این چشمه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته و با قراردادن نتایج آنالیز در مدل گیبس منشأ یون‌های موجود در آب چشمه‌ها مشخص شده است. همچنین با رسم هیدروگراف هر چشمه و منحنی فرود آن، ضریب فروکش (تخلیه) چشمه تعیین شده و با استفاده از آن، سیستم غالب جریان اعم از مجرای و افشان تعیین گردیده و با محاسبه حجم ذخیره دینامیکی آبخوان، میزان حجم آب موجود در بالای سطح تراز چشمه‌ها محاسبه شده است.

کلمات کلیدی: کارستی، تیپ آب، هیدروگراف، مزار، اندرکخ، گیلاس

Comparison of hydrochemical and hydrodynamic characteristics of Mazar , Andarokh and Gilas springs.

Abstract

Karstic basins with high water resource potential and good chemical quality are an important source of water in different areas of the world. About 25% of the world population, provide their waters from karstic resources. Geochemical and hydrodynamic techniques are considered as an important and effective tool in identification of karstic environments. This study was carried out on hydrochemical and hydrodynamic characterization of waters from Andarokh, Gilas and Mazar springs with determining the concentration of major ions, the type of water in each of these sources were studied and with putting the results in composite diagrams like Gibbs model, the source of ions in spring water has been identified. Also with drawing the hydrograph and recession curve for all these spring, the discharge rate is calculated and its main flow regime type including conduit and diffuse has been recognized. Also with calculating the dynamic aquifer storage volume, the volume of water that is present at the higher elevation of each spring has been determined.

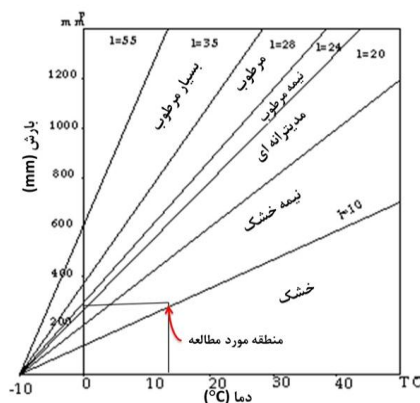
Keywords: Karstic springs, water facies, Hydrograph, Mazar, Andarokh, Gilas.

مقدمه

امروزه آب مورد نیاز در بخش‌های مختلف شرب، صنعت و کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک عموماً از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود و منابع کارستی با دارا بودن پتانسیل آبی بالا و کیفیت مناسب از اهمیت به سزایی برخوردار هستند. تکنیک‌های هیدروژئوشیمیایی و هیدرودینامیکی به عنوان یک ابزار مهم و موثر در شناخت و بررسی خصوصیات پهنه‌های کارستی مطرح هستند. چشمه‌های کارستی اندرکخ، گیلاس و مزار در انتهای جنوب شرقی زون ساختاری کپه داغ و در حوضه آبریز رودخانه قره قوم واقع شده است. در این منطقه تاکنون تحقیقات اندکی در زمینه‌ی بررسی منشأ آب چشمه‌ها و شناخت

اقلیم منطقه

با توجه به اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های تبخیرسنجی ارداک، سد کارده، قدیرآباد و مارشک، میزان متوسط بارش سالانه (P) برای یک دوره آماری ۱۰ ساله (۱۳۹۰-۱۳۸۰) برابر ۲۴۵ میلیمتر و متوسط دمای سالانه (T) برای همین دوره آماری برابر ۱۴ درجه سانتیگراد می‌باشد. با استفاده از روش دومارتن ($I = P/T + 10$)، مقدار ضریب خشکی دومارتن (I) برای منطقه برابر ۱۰/۲۰۸ بدست آمده است و با توجه به اقلیم نمای دومارتن (شکل ۲)، منطقه مورد مطالعه از نظر اقلیمی نیمه خشک می‌باشد.



شکل ۲- اقلیم منطقه مورد مطالعه با توجه به اقلیم نمای دومارتن

مواد و روش ها

در این بخش علاوه بر یکسری داده‌ی کیفی از قبل موجود، چند مرحله نمونه برداری از آب چشمه از اوایل تابستان ۱۳۹۱ تاکنون انجام شده و در آزمایشگاه کنترل کیفی شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی مورد آنالیز قرار گرفته است. در آزمایشگاه غلظت یون‌های اصلی کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سدیم (Na^+)، پتاسیم (K^+)، کلر (Cl^-)، بیکربنات (HCO_3^-)، سولفات (SO_4^{2-}) و کربنات (CO_3^{2-}) با استفاده از روش استاندارد تیتراسیون تعیین شده است. جهت نمونه برداری از ظروف پلی اتیلن (PET) یک لیتری استفاده شده و قبل از برداشت، بطری‌ها چندین مرتبه توسط آب چشمه شستشو داده شده و از نزدیک ترین محل به مظهر چشمه نمونه برداری انجام گردیده است. پارامترهای pH، هدایت الکتریکی (EC)، TDS و دما (T) در صحرا و هنگام نمونه برداری و بازدید صحرایی اندازه گیری شده است. اندازه گیری پارامتر pH توسط دستگاه Jenway و پارامترهای TDS, EC, T نیز توسط دستگاه ORION 115 انجام شده است. جهت مطالعات هیدرودینامیکی از داده‌های موجود در آرشیو شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی و شرکت آب و فاضلاب مشهد استفاده شده است. با توجه به اینکه چشمه اندرک به عنوان یکی از منابع تأمین کننده آب شرب شهر مشهد مطرح است، داده‌های هفته‌ای دبی این چشمه موجود بوده و مقادیر دبی در سال آبی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین از داده‌های دبی ماهانه چشمه‌های مزار و گیلان در سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ جهت رسم هیدروگراف هر چشمه و تفسیر آن استفاده شده است.



بحث و بررسی نتایج

در این بخش با استفاده از نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب چشمه‌ها (جدول ۱)، تیپ و منشأ آب در هر کدام از آنها مورد مطالعه قرار گرفته است.

جدول ۱- مقادیر پارامترهای صحرایی و نتایج آنالیز نمونه‌های آب چشمه

TH	SAR	%Na	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻ (meq/lit)	EC (μS/cm)	TDS (mg/lit)	pH	T(°C)	نام محل
435	۲/۴۵	36/96	0	5/1	4/8	3/9	7/8	2/4	۳/۷۰	0	۱۸۸۸	۹۲۸	۷/۱	۱۹/۴	چشمه گیلان
170	۰/۱۵	5/56	0	0/2	1/4	2	0/1	0/4	۳/۱۰	0	۵۱۷	۲۴۸	۷/۸	۱۸/۲	چشمه مزار
240	۰/۵۸	15/79	0	0/9	2/3	2/4	1	0/6	۴/۱۰	0	۷۹۸	۳۸۹	۷/۲۸	۲۱/۳	چشمه اندرخ

نسبت تعادل یونی بین کاتیون‌ها (TZ⁺) و آنیون‌ها (TZ⁻) به وسیله فرمول $(TZ^+ - TZ^- / TZ^+ + TZ^-) \times 100$ محاسبه شده که این عدد کمتر از ۵٪ بدست آمد. همچنین نسبت TDS/EC نیز محاسبه شده و در حد قابل قبول (۰/۵) می‌باشد. نتایج این دو آنالیز، صحت نتایج آنالیزهای شیمیایی انجام شده را نشان می‌دهد. همچنین با استفاده از مقادیر دبی چشمه‌ها طی یک سال آبی (جدول ۲)، نوع سیستم جریان حاکم در هر آبخوان و همچنین حجم ذخیره دینامیکی مخزن هر چشمه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

جدول ۲- مقادیر دبی چشمه‌های مزار و گیلان (سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴)

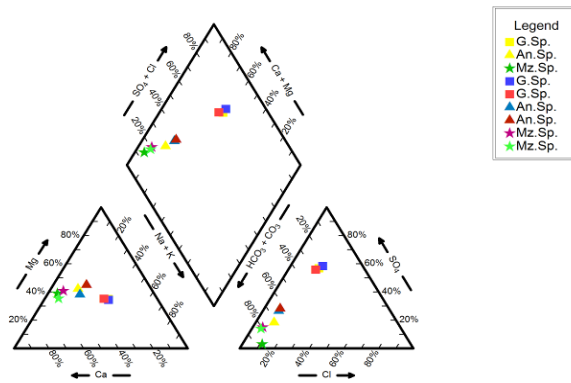
شهریور ۸۵	مرداد ۸۵	تیر ۸۵	خرداد ۸۵	اردیبهشت ۸۵	فروردین ۸۵	اسفند ۸۴	بهمن ۸۴	دی ۸۴	آذر ۸۴	آبان ۸۴	مهر ۸۴	چشمه مزار	دبی
14/48	14/48	15/32	14/24	17/35	16/19	17/62	18/25	20/21	18/12	17/36	18/92	چشمه گیلان	L/S
1	2	2	4	4/88	12/42	35/78	48/3	20/18	3	3	1		

جدول ۳- مقادیر دبی چشمه اندرخ (سال آبی ۱۳۹۰-۱۳۸۹)

21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	زمان (هفته)	دبی
101	105	84/2	94	116/4	131/8	136/7	140/2	157/9	149	250	235/5	274/7	226	236/5	222/7	231/1	242	221/4	239	201/2		L/S

بررسی رخساره های ژئوشیمیایی

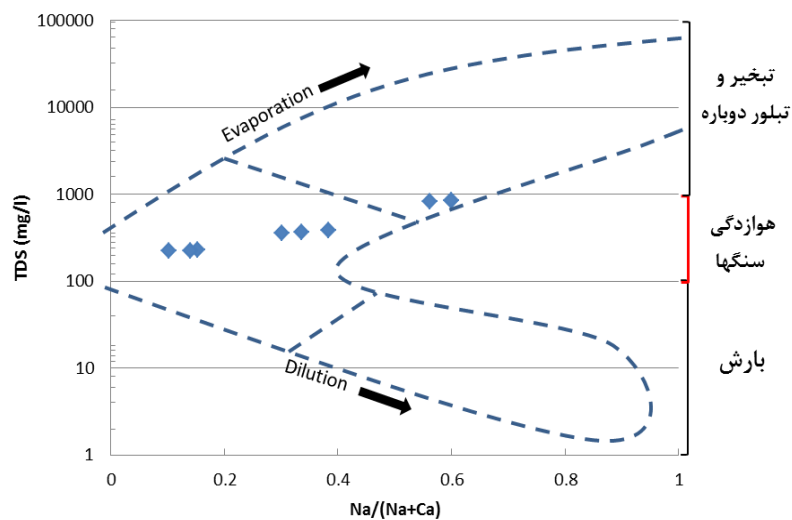
جهت مطالعه و شناخت تیپ و رخساره شیمیایی آب چشمه‌ها، نتایج آنالیز شیمیایی در نمودار پایپر قرار داده شده است (شکل ۳). نتایج حاصل از این دیاگرام نشان می‌دهد که نمونه‌های آب چشمه‌های مزار و اندرخ از نوع بی کربنات کلسیک (Ca-HCO₃) و نمونه آب چشمه گیلان از نوع سولفات منیزیک (Mg-SO₄) می‌باشد. این موضوع نمایانگر این مطلب است که تیپ شیمیایی آب دو چشمه مزار و اندرخ شبیه یکدیگر بوده و با توجه به کربناته بودن سازند مزدوران، می‌توان چنین نتیجه گرفت که آب این دو چشمه تنها از درون تشکیلات آهکی منشأ می‌گیرد. اما در مورد چشمه گیلان تیپ شیمیایی آب نشان می‌دهد که چشمه علاوه بر سازند کربناته مزدوران، از منابع دیگری نیز آبرگیری می‌کند. بنظر می‌رسد که نهشته‌های کواترنری عهد حاضر که رخنمون وسیعی در اطراف چشمه گیلان دارند، در تأمین آب چشمه نقش بسزایی دارند.



شکل ۳- موقعیت نمونه‌های آب بر روی نمودار پایپر

مطالعه منشأ یون‌های اصلی

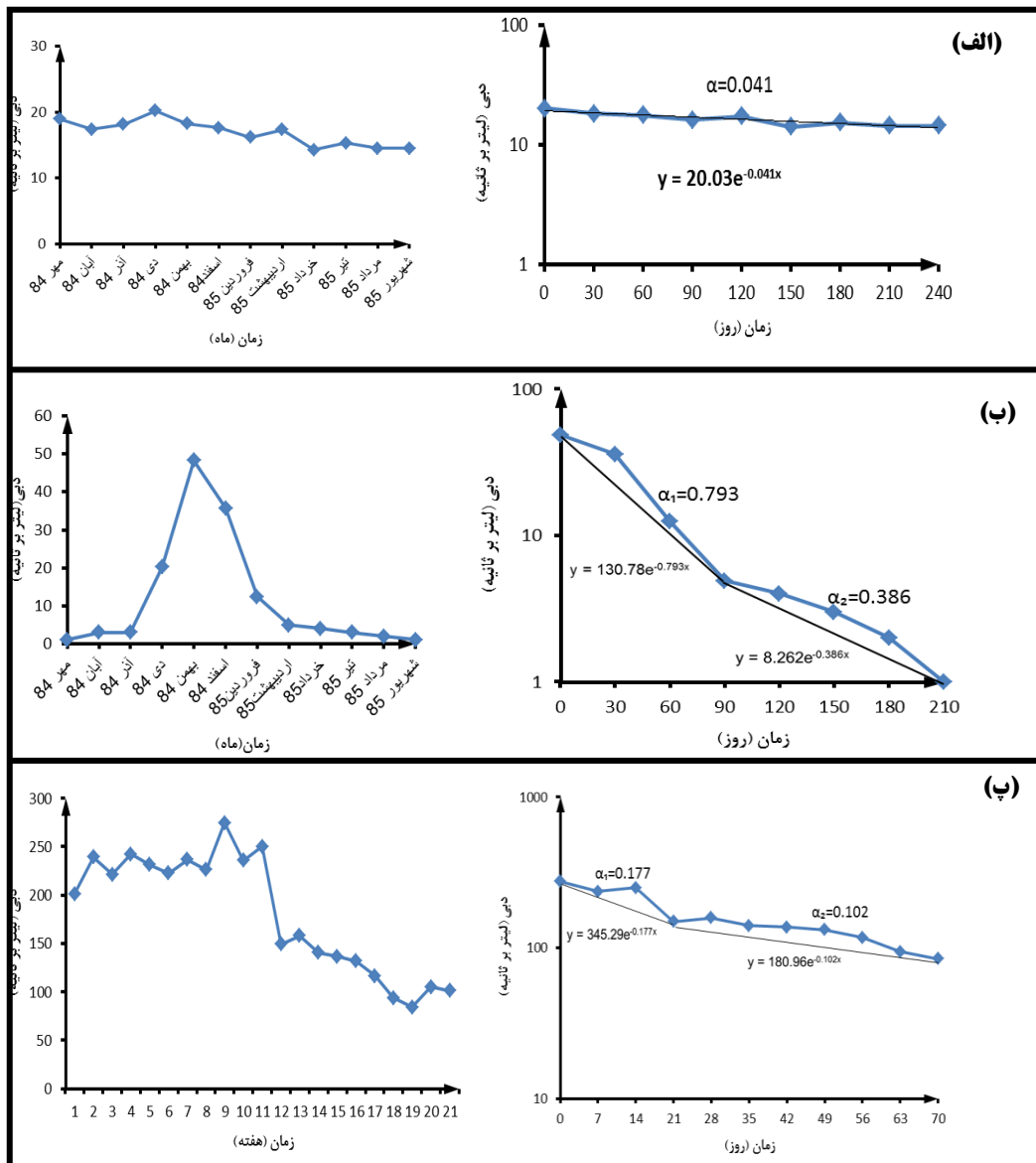
جهت بررسی و تشخیص منشأ یون‌های محلول از مدل گیبس (Gibbs, 1970) استفاده شده است. در این دیاگرام مقادیر لگاریتمی میزان TDS (برحسب mg/lit) در محور عمودی و نسبت $Na/(Na+Ca)$ در محور افقی قرار می‌گیرد (شکل ۴). با توجه به نتایج مدل، نمونه‌های مربوط به چشمه‌های اندرخ و مزار در قسمتی که هوازدگی سنگها فرآیند غالب است قرار می‌گیرد. لذا هوازدگی سنگهای کربناته عامل اصلی کنترل شیمی آب در این دو چشمه می‌باشد. نمونه‌های مربوط به چشمه گیلاس در قسمتی که تبخیر و تبلور دوباره فرآیند غالب است، پلات شده و نشان می‌دهد که تبخیر و تبلور دوباره کانی‌هایی مثل هالیت و ژیپس تأثیر شگرفی بر کیفیت آب این چشمه دارد.



شکل ۴- موقعیت نمونه‌ها بر روی نمودار گیبس (Gibbs, 1970)

تحلیل آبنمود و تعیین رژیم آبدهی در هر یک از چشمه ها

در این بخش با استفاده از مقادیر آبدهی (جداول ۲ و ۳) هیدروگراف هر کدام از چشمه ها ترسیم شده (شکل ۵) و سپس با رسم منحنی فرود هر چشمه (شکل ۵)، ضریب جریان و میزان حجم ذخیره دینامیکی مخزن آنها محاسبه شده است.



شکل ۵- الف - هیدروگراف و منحنی فرود چشمه مزار ب - هیدروگراف و منحنی فرود چشمه گیلاس
 پ - هیدروگراف و منحنی فرود چشمه اندرخ

شکل کلی هیدروگراف چشمه مزار (شکل ۵ - الف) نشانگر این مطلب است که تغییرات و نوسانات آبدهی چشمه در طول یک سال زیاد نمی باشد. لذا می توان گفت که آب از درون درزوشکاف های ریز و معابر کم عرض عبور کرده و مجاری بزرگ و شکاف های عریض توسعه چندانی نداشته و جریان خطی در سیستم حاکم می باشد. همچنین با رسم منحنی فرود چشمه



(شکل ۵ - الف)، ضریب فروکش (تخلیه) در این چشمه برابر $\alpha=0/041$ بدست آمده است. این عدد نیز خود بیانگر این مطلب است که سیستم غالب جریان در این چشمه از نوع افشان می باشد. در مورد چشمه گیلان هیدروگراف چشمه (شکل ۵ - ب) نمایانگر تغییرات نسبتاً شدید میزان آبدهی چشمه در ماه های مختلف می باشد که این موضوع باعث افزایش شیب منحنی آبنمود در شاخه صعودی و همچنین منحنی فروکش شده است. این موضوع می تواند به علت عبور آب از درون درز و شکاف های باز و مجاری وسیع و وجود سیستم مجرای در آبخوان این چشمه باشد. ضرایب جریان بدست آمده برای چشمه گیلان ($\alpha_1=0/793$ و $\alpha_2=0/386$) نیز نشان می دهد که سیستم غالب جریان در آبخوان از نوع مجرای بوده و خلل و فرج دارای سیستم افشان در تأمین آب چشمه نقش چندانی ندارند. لذا می توان چنین نتیجه گرفت که در فصل تر آبدهی چشمه، ناشی از تخلیه آب زیرزمینی موجود در مجاری بزرگتر آبخوان بوده و در فصل خشک، آب چشمه بیشتر از مجاری کوچک مانند مجاری تکنیکی منتقل می گردد. در مورد چشمه اندرخ با استفاده از مقادیر دبی برای یک دوره ۶ ماهه آبنمود چشمه رسم شده است (شکل ۵ - پ). شکل هیدروگراف تغییرات نسبتاً زیاد دبی را نشان داده که این عامل وجود جریان مجرای در خلل و فرج نسبتاً توسعه یافته را نشان می دهد. پس از رسم منحنی فرود و تعیین ضریب فروکش برای این چشمه، دو رژیم غالب جریان ($\alpha_1=0/177$ و $\alpha_2=0/102$) قابل تشخیص می باشد. این ضرایب نیز وجود سیستم مجرای در سیستم کارستی را تأیید کرده و ضریب بزرگتر نشانگر تخلیه آب از مجاری توسعه یافته و ضریب کوچکتر بیانگر عبور آب از سیستم درز و شکاف های تکنیکی کمتر توسعه یافته می باشد.

حجم ذخیره دینامیکی مخزن چشمه ها

ذخایر دینامیکی شامل حجم آبی است که در بالای تراز مظهر چشمه قرار دارد و بسته به شرایط آبخوان و توسعه یافتگی کارست، مقدار آن متفاوت می باشد. اختلاف بین پایین ترین تراز خروجی چشمه و بالاترین تراز آب در مخزن، حداکثر ارتفاع ذخیره دینامیکی یا ستون آب در کارست اشباع می باشد. حجم آب ذخیره شده در بالای تراز چشمه های آهکی به روش مایه (۱۹۷۰) محاسبه می شود. در این روش، تغییرات آبدهی چشمه بر حسب زمان با تحلیل روند کاهش آبدهی پس از قطع بارندگی در دوره خشک بررسی شده است. بر اساس این تحلیل، مقدار آب ذخیره شده در بالای تراز چشمه از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$V = (86400 * Q_0) / \alpha \quad (1)$$

در این فرمول Q_0 آبدهی چشمه در زمان t_0 بر حسب متر مکعب بر ثانیه، V حجم ذخیره دینامیکی بر حسب متر مکعب و α نیز ضریب فروکش آبنمود چشمه می باشد.

در صورتی که چند رژیم آبدهی در چشمه حاکم باشد، رابطه بالا به صورت زیر خواهد بود:

$$V = 86400[(Q_{01}/\alpha_1) + (Q_{02}/\alpha_2) + \dots + (Q_{0n}/\alpha_n)] \quad (2)$$



پس از انجام محاسبات بالا مقدار حجم ذخیره دینامیکی برای هر سه چشمه محاسبه گردید. بیشترین مقدار ذخیره مربوط به چشمه اندرخ با میزان ۲۶۰۲۹۶ مترمکعب و کمترین مقدار نیز مربوط به چشمه گیلاس با مقدار ۶۳۵۴ مترمکعب می باشد. همچنین حجم ذخیره دینامیکی مخزن چشمه مزار برابر ۴۲۵۸۹ مترمکعب بدست آمده است.

نتیجه گیری

نتایج مطالعات هیدروشیمیایی بر روی آب چشمه ها نمایانگر این مطلب است که ترکیب شیمیایی چشمه های اندرخ و مزار تحت تأثیر سازند کربناته مزدوران و هوازدگی سنگ های آهکی این سازند قرار دارند. در صورتی که شیمی آب چشمه گیلاس علاوه بر هوازدگی سنگها، بوسیله پدیده تبخیر و تبلور دوباره کانی های تبخیری و سولفات متاثر شده و علاوه بر سازند مزدوران، نهشته های کواترنری عهد حاضر نیز سهمی در آبدهی چشمه دارا می باشد. همچنین نتایج مطالعات هیدرودینامیکی بر روی هیدروگراف چشمه ها نشانگر محدود بودن نوسانات آبدهی چشمه مزار در طول یک سال و تأمین آب از درون درزوشکاف ها و معابر کم عرض می باشد. بررسی هیدروگراف دو چشمه گیلاس و اندرخ نیز نشان می دهد که نوسانات آبدهی در آنها نسبتاً زیاد بوده و مسیر جریان در این دو چشمه ترکیبی از درزوشکاف های ریز و مجاری توسعه یافته می باشد. همچنین مطالعه منحنی فرود هیدروگراف بیانگر این موضوع است که چشمه مزار از نظر دینامیکی دارای سیستم جریان افشان بوده، در حالی که در چشمه های اندرخ و گیلاس، دو سیستم اصلی جریان مجرای (مجاری بزرگ و خلل و فرج تکنونیک کوچکتر) در آبخوان آنها حاکم می باشد. همچنین از نقطه نظر حجم ذخیره دینامیکی، آبخوان چشمه اندرخ بیشترین (260296 m^3) و مخزن چشمه گیلاس کمترین مقدار ذخیره دینامیکی (6354 m^3) را دارا هستند.

مراجع

درویش زاده، ع.، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران، تهران، انتشارات امیرکبیر.

نیک پیمان، ی.، ۱۳۸۸. بررسی تأثیر خطواره ها بر روی نوع جریان آب زیرزمینی در آبخوان های کارستی، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، هیدروژئولوژی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- Batayneh, A., Al-Momani, I. 2008. Weathering processes effects on the chemistry of the main spring of Yarmouk basin, north Jordan. Journal of environmental hydrology. Volume 16.
- Bernard, L., Aquilina, L. 2009. Chemical and isotopic investigation of rainwater in southern France 1996- 2002 Potential use as input signal for karst functioning investigation. Journal of Hydrology 367.
- Charideh, A. 2012. Geochemical and isotopic characterization of groundwater from shallow and deep limestone aquifers system of Aleppo basin (north Syria). Environmental earth sci. 65, 1157-1168.
- Ford, D., Williams, P. 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology, John Wiley & Sons.
- Kamel, S., Dassi, L., Zouari, K., Abidi, B. 2005. Geochemical and isotopic investigation of the aquifer system in the Djerid-Nefzaoua basin, southern Tunisia, Environ Geol 49, 159-170.
- Moore, P., Martin, J., Scream, E. (2009). Geochemical and statistical evidence of recharge, mixing, and control on spring discharge in an eogenetic karst aquifer. Journal of Hydrology 376. 443-455.