

تعیین خصوصیات آبخوان کارستی چشمه برم جمال با استفاده از پاسخهای فیزیکی - شیمیایی

سید یحیی میرزایی^۳

مسعود سیدیپور^۲

منوچهر چیت‌سازان^۱

(دریافت ۸۵/۹/۲۳ پذیرش ۸۷/۴/۱۸)

چکیده

چشمه برم جمال در جنوب غرب ایران در استان خوزستان و در شمال شرق شهر اهواز واقع شده است. یالهای شمال شرقی و جنوب غربی تاق‌دیس کوه سفید، که از سازند کربناته و کارستی آسماری تشکیل شده‌اند، حوضه آبگیر این چشمه را شامل می‌شوند. در این حوضه سیمای کارستی از قبیل فروچاله، غار و پدیده‌های مورفولوژیک سطحی مناطق کارستی نیز قابل مشاهده است. عبور چند روند گسله از تاق‌دیس کوه سفید باعث شده تا آبخوان چشمه برم جمال به شدت خرد شده و فرایند کارستی شدن در امتداد سیستم‌های درز و شکستگی صورت گیرد. در طول مدت مطالعه، هدایت الکتریکی، اسیدیته و دمای آب چشمه هر هفته و در فاصله زمانی ۱۲ ماه و آنالیز نمونه‌های آب چشمه به منظور تعیین میزان غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی انجام شد. آبدهی چشمه به روش دبی - اشل به صورت روزانه در طول زمان فروکش و دو هفته یکبار در زمان آرامش اندازه‌گیری می‌شد. با استفاده از مدل کامپیوتری PHreeqc 2.6 فشار جزئی دی اکسید کربن و شاخصهای اشباع کلسیت و دولومیت تعیین شد. در هیدروگراف چشمه برم جمال سه ضریب فروکش α_1 ، α_2 و α_3 و ضریب فروکش ناشی از وقایع بارندگی α_1 تمیز داده شد که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین دومین و سومین ضریب فروکش به چشم نخورد. جریان پایه برای فروکش‌های α_1 ، α_2 و α_3 به ترتیب برابر ۴۹، ۷۵/۳۴ و ۱۰۰ درصد به دست آمد. هدایت الکتریکی، غلظتهای کلسیم، کربنات و بی‌کربنات و شاخص اشباع کلسیت تغییرات شاخصی را نشان ندادند، مورفولوژی و زمین شناسی حوضه آبگیر چشمه برم جمال و داده‌های هیدروگراف و آنالیز شیمیایی نمونه‌ها بیانگر این است که سیستم هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی چشمه برم جمال از نوع مجرای - افشان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: چشمه برم جمال، ضرایب فروکش، شاخص اشباع کلسیت

Characterization of Barmejama Spring Karst Aquifer Using Physico-Chemical Spring Responses

Manochehr Chitsazan¹

Masoud Sayyedipour²

Seyed Yahya Mirzaie³

(Received Dec. 13, 2006 Accepted July 8, 2008)

Abstract

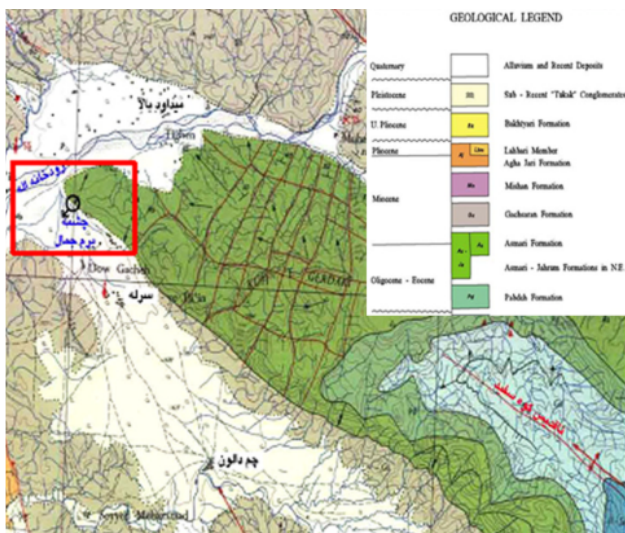
Barmejama Spring is located in northeast of Ahwaz, Khuzestan Province, Iran. The catchment area of the spring consists of the northeast and southwest flanks of the Koh-e-Safid anticline, which is made up of karstic calcareous Asmari formations. There are sinkholes, caves, and other karst landforms in the catchment area. The existence of several faults has brecciated Barmejama spring karst aquifer that may have caused karstification to occur in parallel fracture systems. For the purposes of this study, pH and water temperature were measured on a weekly basis for a period of 12 months and water samples were analyzed for major anions and cations. Flow rate was measured on a daily basis during the recession, and weekly during the rest of the study period. Using the PHreeqc 2.6 computer model, the partial pressure of carbon dioxide and the saturation index of calcite and dolomite were also estimated. Three distinct periods belonging to three recession coefficients (α_1 , α_2 , α_3) were observed in the hydrograph of the Barmejama Spring. No considerable differences were observed between the

۱- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز. (نویسنده مسئول) ۳۷۲۸۱۹۹ (۰۶۱۱) Chitsazan_m@scu.ac.ir
 ۲- کارشناس هیدروژئولوژی مهندسین مشاور زاینده‌آب، اصفهان
 ۳- عضو هیئت علمی گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

first and second recession coefficients. Base flow for α_1 , α_2 and α_3 constituted 49%, 75.34%, and 100% of the total flow in the first and second recession periods and in the precipitation period, respectively. The variation of specific conductance, calcium and bicarbonate concentrations, and calcite saturation indices were not significant throughout the study period. The morphology and geology of the Barmejama Spring catchment area and the data from hydrograph and chemographs show that the hydrologic system is of the diffuse-conduit flow type.

Keywords: Barmejama Spring, Recession Coefficients, Calcite Saturation Indices.

۱- مقدمه



شکل ۱- موقعیت چشمه برم جمال

از دیدگاه هیدروژئولوژیکی سیستم‌های کارستی، سیستم‌هایی ناهمگن متشکل از شبکه‌ای از مجاری انحلالی می‌باشند که دارای هدایت هیدرولیکی بالا (k بزرگ‌تر از 10^{-1} متر بر ثانیه) بوده و در زمینه‌ای از مواد با نفوذپذیری پایین، در حد ($10^{-3} < k < 10^{-7}$)، قرار گرفته‌اند. در این سیستم‌ها عمدتاً مجاری انحلالی در ارتباط با چشمه‌های کارستی بوده، لذا تجزیه و تحلیل، تغییرات و نحوه فروکش دبی، همچنین غلظت یون‌های محلول در چشمه‌ها می‌تواند منعکس کننده خصوصیات کل سیستم باشد و به ارزیابی ذخیره، پتانسیل زهکشی، درجه کارستی شدن و مرزهای هیدروژئولوژیکی آن کمک نماید. مطالعات گسترده‌ای در سطح دنیا بر روی تحلیل پاسخهای فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی صورت گرفته که با توجه به پیچیدگی و غیر یکنواختی سیستم‌های کارستی در هر منطقه، این تحلیلها نیز دارای تنوع نسبتاً زیادی هستند [۱-۹].

۲- بحث

به بررسی‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه، مهم‌ترین چشمه‌های موجود شامل سه چشمه با اسامی چشمه دوگچه، چشمه سرله و چشمه برم جمال است. ولی اصلی‌ترین تخلیه کننده آبخوان کارستی منطقه، همان چشمه برم جمال محسوب می‌شود. بنابراین برای بررسی خصوصیات هیدرودینامیکی، محاسبه حجم ذخیره دینامیک، تعیین نوع جریان، محاسبه حوضه آبرگیر چشمه کارستی و بسط تفسیرهای هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی منطقه، این چشمه کارستی به عنوان چشمه معرف انتخاب و در طی یک دوره آماری در طول سال آبی ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۳ داده‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی این چشمه ثبت شد و بررسی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی بر روی آن صورت گرفت. برای تحلیل هیدروگراف چشمه از معادلات تحلیلی (روابط ۱ و ۲) مرتبط با بخش یالهای فروکش کننده هیدروگراف استفاده گردید [۱۰].

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (1)$$

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (2)$$

که در آن

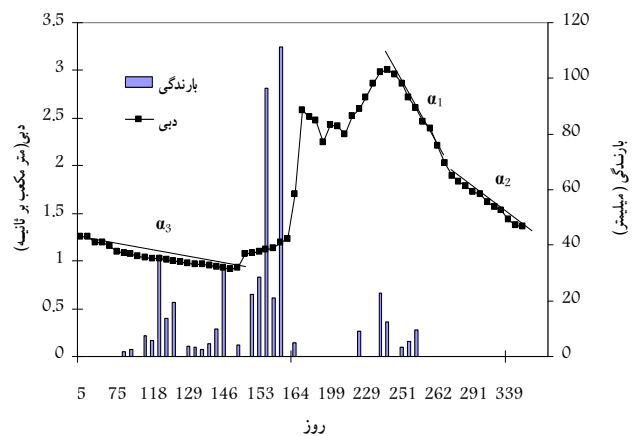
Q_t آبدهی چشمه در طول دوره $t-t_0$ بر حسب متر مکعب بر ثانیه،
 Q_0 آبدهی چشمه در زمان t_0 بر حسب متر مکعب بر ثانیه،
 t_0 زمان شروع محاسبه تخلیه آب از آبخوان، t زمان پایان دوره

چشمه کارستی برم جمال با مختصات جغرافیایی (۳۸۹۷۳۷.۳۴۷۲۰۴۱) در منطقه جمال از توابع بخش میداود در استان خوزستان و در دماغه تاقدیس کوه سفید واقع شده است. در این ناحیه از لحاظ زمین‌شناسی سازندهای مختلفی شامل نهشته‌های سخت شده رودخانه‌ای، سازند تیخیری گچساران و آهکهای درز و شکافدار آسماری، رخنمون دارد. با توجه به تأثیر شدید عوامل تکنونیک راستاهای گسله با روندهای 40° تا $60^\circ N$ و 70° تا $80^\circ N$ ، گسله‌هایی با امتداد SE- $80^\circ/63^\circ N$ ، SE- $43^\circ/73^\circ N$ ، NE- $160^\circ/60^\circ N$ و NE- $135^\circ/84^\circ N$ در منطقه نمود پیدا کرده است. خردشدگی شدید ساختارهای منطقه باعث پیدایش اشکال کارستی متنوع و ذخایر آب زیرزمینی خصوصاً در بخش دماغه تاقدیس کوه سفید شده و خروج بخشی از منابع این تاقدیس باعث ایجاد چشمه برم جمال در دماغه این تاقدیس شده است (شکل ۱).

آب چشمه برم جمال از چندین نقطه و به صورت محلی ظاهر می‌شود. در محل این چشمه شیب لایه‌ها به سمت جنوب غرب است و چشمه در محل تقاطع گسل در امتداد لغز میداود با لایه‌بندی سازند آسماری در دماغه تاقدیس کوه سفید ظاهر شده است. با توجه

محاسبه، α ضریب الگوی تخلیه آبخوان (ضریب فروکش)، e پایه لگاریتم طبیعی و ضریب α در این روابط نتیجه خصوصیات هیدروژئولوژیکی محیط شامل تخلخل مؤثر و ضریب قابلیت انتقال (T) آبخوان بوده و نشانگر توانایی تخلیه آب زیرزمینی است. در صورتی که شیب منحنی فروکش کم باشد، تأخیر در خروج ذخیره زیاد شده و این حالت معرف ذخیره دینامیکی مناسب آبخوان (بالا تر از چشمه) است. برعکس وقتی منحنی فروکش (ضریب α) دارای شیب تند باشد، در این حالت ذخیره دینامیکی موقتی و خیلی سریع تخلیه می‌شود [۱۰ و ۱۱].

پس از ترسیم هیدروگراف چشمه برم جمال (شکل ۲) در دوره مورد مطالعه (نیمه مرداد ماه ۱۳۸۲ تا نیمه شهریور ماه ۱۳۸۳) ضرایب فروکش تخلیه آبخوان چشمه برم جمال محاسبه شد (جدول ۱).



شکل ۲- هیدروگراف و میزان بارندگی روزانه مربوط به چشمه برم جمال

بر اساس شکل ۲ و داده‌های جدول ۱ در ابتدای دوره، آبدهی چشمه حدود ۱/۲ متر مکعب بر ثانیه بوده و در فاصله حدود ۵ ماه از شروع دوره در دی ماه به ۲/۵ متر مکعب بر ثانیه رسیده است. کوتاه بودن مدت رژیم α_1 و عملکرد آن در این زمان کوتاه، احتمالاً پاسخ چشمه نسبت به بارندگی آذر و دی ماه ۱۳۸۲ است. در طول زمان بارش آبهایی که از طریق بارندگی وارد مخزن شده‌اند، به سرعت از طریق مجاری و کانال‌های بزرگ تخلیه می‌شوند. در رژیم α_1 حجم عظیمی از آب توسط مجراهای توسعه یافته کارستی تخلیه می‌شود، به طوری که آبدهی چشمه در مدت ۳۸ روز از حدود ۲/۹ متر مکعب در ثانیه به حدود ۱/۷ متر مکعب در ثانیه می‌رسد. به نظر می‌رسد بارندگی‌هایی که در ماه‌های آذر، دی و بهمن رخ داده، در میکرو رژیم α_1 از چشمه خارج می‌شوند. حجم زیاد آب و سرعت زهکشی بالا در این مدت نشان دهنده غالب بودن جریان مجرای و متلاطم در این میکرو رژیم می‌باشد. در میکرو رژیم α_2 تخلیه آب عمدتاً از طریق ذخیره درون سیستم صورت گرفته و

با پایین افتادن شدید سطح آب سیستم کارستی، کاهش شیب هیدرولیکی نیز رخ داده و تخلیه آب آهسته‌تر از رژیم α_1 صورت می‌گیرد. تغییرات آبدهی چشمه در طول کل این میکرو رژیم (۱۲۱ روز) در مقایسه با رژیم α_1 ناچیز و آبهای خروجی از سیستم، احتمالاً مربوط به آب موجود در تخلخل شکافی و مجاری غیر فعال آبخوان می‌باشند. با توجه به هیدروگراف، چشمه برم جمال در فاصله اوایل بهمن تا اواخر بهمن نیز یک دوره فروکش را طی کرده است که به دلیل وجود بارندگی در این دوره این فروکش را نمی‌توان به عنوان فروکش اصلی در نظر گرفت و احتمالاً افزایش آبدهی چشمه در این زمان به دلیل ایجاد جریان پیستونی بارندگی و افزایش بار هیدرولیکی در مخزن و بیرون رانده شدن آب ذخیره شده در سیستم بوده است و یا نشان دهنده رسیدن آبهای موجود در فاصله مکانی نزدیک به چشمه می‌باشد. میکرو رژیم α_3 با طول دوره ۱۴۷ روز در واقع ادامه رژیم α_2 دوره زمانی قبلی بوده ولی در این میکرو رژیم سرعت تخلیه آب از آبخوان کارستی تا حدی کاهش یافته است که دوره‌های قبلی کمتر است که این امر نشان دهنده تأثیر زیاد خلل و فرج، درزه‌های ریزتر و تخلخل شکافی در این میکرو رژیم می‌باشد. با توجه به وضعیت نوسانات هیدروگراف در صورتی که پس از رژیم α_2 هیچ‌گونه بارندگی در منطقه رخ ندهد، می‌توان انتظار داشت که بعد از گذشت حدود ۱۶ ماه از شروع رژیم α_2 ، چشمه برم جمال خشک شود. این مطلب نشان دهنده حجم ذخیره دینامیک نسبتاً زیاد این آبخوان کارستی می‌باشد. به منظور تعیین نوع جریان در آبخوان کارستی بر روی هیدروگراف چشمه برم جمال جریان پایه^۱ و جریان سریع^۲ به طور مجزا و با مقادیر مربوط به هر یک در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به نتایج حاصل، در طول دوره مورد مطالعه بخش عمده‌ای از آبدهی چشمه برم جمال از طریق جریان پایه تأمین گردیده است (۶۶/۳۹ درصد از کل جریان) که بر این اساس، چشمه کارستی برم جمال در گروه چشمه‌های با جریان زیرین^۳ قرار می‌گیرد [۱۲]. در این چشمه در رژیم α_1 حدود ۵۱ درصد آبدهی چشمه از طریق جریان سریع^۴ تأمین شده است که این امر مبین غالب بودن رژیم جریان مجرای در این دوره است. در رژیم α_2 در حدود ۲۴/۷ درصد آبدهی چشمه از طریق جریان سریع تأمین شده که در این رژیم نقش غارها و مجاری انحلالی در حال کاهش یافتن است و در رژیم α_3 فقط جریان افشان بر چشمه اعمال می‌شود و ۱۰۰ درصد آبدهی چشمه از جریان پایه آبخوان تأمین می‌گردد (جدول ۲). با توجه به نتایج حاصل حجم ذخیره دینامیکی آبخوان کارستی چشمه برم جمال با

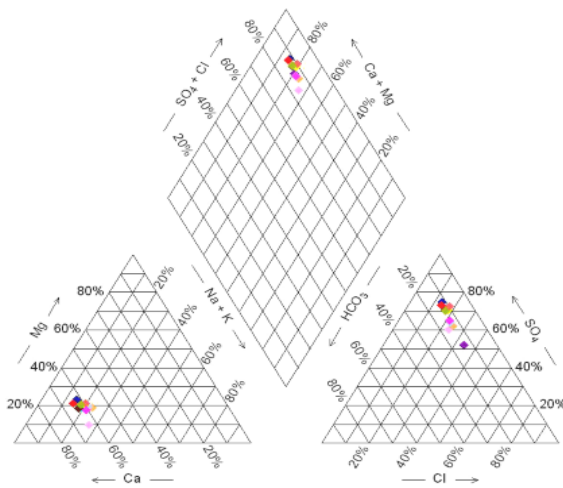
¹ Base Flow
² Quick Flow
³ Spring Underflow
⁴ Conduit

جدول ۱- ضرایب فروکش چشمه برم جمال و طول مدت تأثیر هر یک از ضرایب

سال	α_1		α_2		α_3	
	ضریب فروکش	طول دوره (روز)	ضریب فروکش	طول دوره (روز)	ضریب فروکش	طول دوره (روز)
۱۳۸۲	-	-	-	-	۰/۰۰۲۴۱۰	۱۴۷
۱۳۸۳	۰/۰۱۳۹۰۱	۳۸	۰/۰۰۳۸۱۲	۱۲۱	-	-

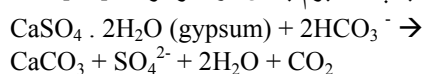
جدول ۲- جداسازی جریان پایه و جریان سریع در رژیم‌های مختلف جریان چشمه برم جمال

مدت دوره	حجم جریان (میلیون متر مکعب)		مجموع	درصد جریان		آبدهی حداکثر
	جریان پایه	جریان سریع		جریان پایه	جریان سریع	
کل دوره	۳۶/۸۸	۱۸/۶۷	۵۵/۵۵۰	۶۶/۳۹	۳۳/۶۱	۲/۹
میکرو رژیم α_1	۱۵/۰۲	۱۵/۶۹	۳۰/۷۱	۴۹	۵۱	۲/۹
میکرو رژیم α_2	۱۱/۱۵	۳/۶۵	۱۴/۸۰	۷۵/۳۴	۲۴/۶۶	۱/۷
میکرو رژیم α_3	۱۳/۶۹	۰	۱۳/۶۹	۱۰۰	۰	۱/۲



شکل ۳- نمودار پایپر نمونه‌های آب چشمه برم جمال در طول دوره مطالعاتی

سولفور در زون‌های تکتونیزه و کارستی مناطق نفتی شده که رخنمون چشمه‌های گوگردی و گچ ترش موجود در اطراف چشمه برم جمال نیز می‌تواند مؤید وجود این گونه واکنش‌ها باشد (شکل ۱). افزایش میزان یون سولفات و کلسیم در چشمه برم جمال می‌تواند در اثر پدیده یون مشترک و تأثیر سازند تبخیری گچساران باشد. بنابراین با توجه به آهکی بودن مخزن چشمه برم جمال و فراوانی یون کلسیم در مقابل یون بیکربنات و در نتیجه عدم تعادل بین این دو یون و از طرفی فراوانی یون سولفات در آب چشمه، می‌توان اثر یون مشترک را علتی برای افزایش سولفات آب چشمه برم جمال در نظر گرفت [۱۳].



استفاده از رابطه ۳، برابر $10^6 \times 102/24 \times 10^6$ متر مکعب محاسبه گردید.

$$V_0 = 86400 \left[\frac{Q_{01}}{\alpha_1} + \frac{Q_{02}}{\alpha_2} + \frac{Q_{03}}{\alpha_3} + \dots + \frac{Q_{0n}}{\alpha_n} \right] \quad (3)$$

که در این رابطه

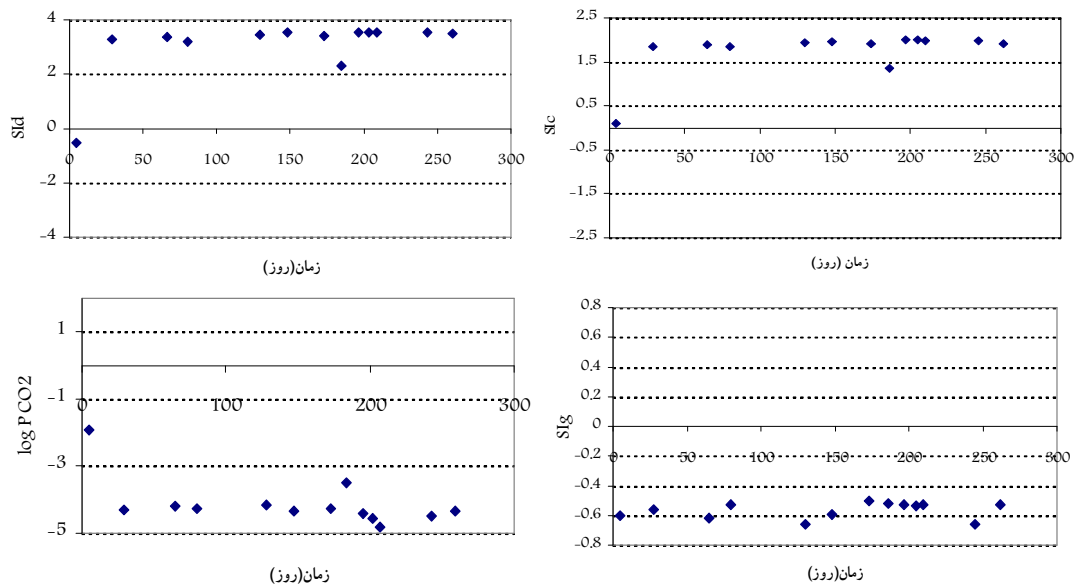
Q_0 تخلیه یا جریان خروجی، V_0 حجم دینامیکی

آبخوان و α ضریب فروکش است.

برای شناخت دقیق خصوصیات و رفتار هیدروژئولوژیکی

چشمه برم جمال از بررسی‌ها و تحلیل‌های هیدروشیمیایی نیز استفاده شد. بر این اساس از تیرماه ۱۳۸۲ تا اردیبهشت ماه ۱۳۸۳ نمونه‌های آب چشمه برم جمال مورد آنالیز قرار گرفت. میانگین یون‌های اصلی آب چشمه برم جمال در دوره مطالعاتی چنین است: سولفات ۳۳/۴، کلسیم ۳۰/۸، منیزیم ۹/۷، کلر ۱۰، سدیم ۹/۷، بیکربنات ۶/۳ و پتانسیم ۰/۲.

نمودار پایپر داده‌های چشمه نشان داد چرخه تکامل یونی (در قسمت لوزی) تبعیت بیشتری از چرخه تکامل آنیونی دارد (شکل ۳). اگرچه سازند آهکی - دولومیتی آسماری به عنوان مخزن برای آب چشمه برم جمال در نظر گرفته می‌شود، اما آب چشمه، از نوع کربناته نبوده و در سرتاسر سال سولفات کلسیک - کلروره سدیک بوده و شبیه به آبهای چشمه‌های کارستی معمولی در سنگهای آهکی نیست. از دیگر خصوصیات متفاوت چشمه برم جمال با دیگر چشمه‌های کارستی، میزان بالای یون سولفات آب این چشمه است که با توجه به شواهد زمین شناسی و هیدروژئوشیمی عوامل مختلفی از جمله، وجود مارکرهای نفتی در اطراف چشمه و تأثیر مارکرهای نفتی و واکنش این مواد با ساختارهای حاوی سولفات، موجب افزایش هیدروژن



شکل ۴- تغییرات اندیس‌های اشباع کلسیت، دولومیت، ژئیس آب چشمه برم جمال

اثر تنفس ریشه گیاهان در منطقه و یا تجزیه مواد آلی مانند بقایای گیاهان و فضولات حیوانی عشاير منطقه باشد.

۳- نتیجه گیری

به دلیل وجود مورفولوژی سطحی کارست پیشرفته و وجود درزه و شکافهای تکتونیکی، آهک برهنه، ضریب تغییرات سختی کل بیشتر از ۱۰ درصد در رژیم کل و کمتر از ۱۰ درصد در رژیم‌های فرعی و انحراف معیار درجه حرارت کمتر از ۱/۵ درجه، آبخوان کارستی چشمه برم جمال از نوع افشان - مجرای می‌باشد.

از مجموع عوامل مؤثر بر شکل هیدروگراف چشمه کارستی برم جمال، عامل بارندگی نقش بسیار زیادی را در نوسانات هیدروگراف چشمه ایفا می‌کند.

با به کار بردن روش محاسبه ذخیره دینامیک در آهکهای کارستی، حجم ذخیره دینامیک سیستم آبخوان کارستی چشمه برم جمال $10^6 \times 102/24$ متر مکعب محاسبه گردید.

بر اساس مطالعه هیدروشیمیایی آب چشمه برم جمال، آب کارستی کربناته کلسیک مربوط به سنگ مخزن سازند آسماری، آب سولفات - کلسیک مربوط به سازند گچساران و آب کلروره - سدیک مربوط به شورابه‌های نفتی و سازند گچساران، در تغذیه چشمه برم جمال دخالت دارند.

با توجه به محاسبات انجام شده توسط مدل کامپیوتری PHreeqc 2.6 در مورد تغییرات اندیس‌های اشباع کلسیت، دولومیت، ژئیس و همچنین منفی لگاریتم فشار جزئی دی‌اکسید کربن باید گفت، اندیس‌های اشباع کلسیت (میانگین Sic برابر ۱/۷۸) و دولومیت (Sid برابر ۳/۱۱) تقریباً در طول سال همیشه مثبت بوده و فقط در مرداد ماه به مقادیر نزدیک به صفر و منفی میل کرده است (شکل ۴). مقادیر Sid, Sic در طول دوره مورد مطالعه دارای تغییرات شبیه به یکدیگر می‌باشند. در رژیم زمستانه با کاهش مقدار دبی چشمه، مقادیر اندیس اشباع کلسیت و دولومیت در فاصله زمانی کوتاهی کاهش پیدا کرده که احتمالاً علت این امر ناشی از رقیق شدن آب در اثر ورود آبهای تازه به سیستم کارستی است. مثبت بودن اندیس‌های اشباع کلسیت و دولومیت در طول سال تأییدی بر صحت و درستی نوع جریان به دست آمده (افشان - مجرای) در آبخوان کارستی منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود. بر اساس نتایج، مقادیر اندیس اشباع دولومیت در همه ماههای سال بیشتر از اندیس اشباع کلسیت می‌باشد. مقادیر فشار جزئی دی‌اکسید کربن در دوره مورد مطالعه روند تغییرات جزئی را نشان می‌دهد و تقریباً ثابت است.

متوسط لگاریتم فشار جزئی دی‌اکسید کربن در طول دوره اندازه‌گیری ۴/۱۴- است که نشانگر عبور آب از محیط با فشار جزئی دی‌اکسید کربن بیشتر از جو است. این فشار می‌تواند در

- 1- Currens, J. (2002). "Changes in groundwater quality in a conduit-flow-dominated karst aquifer, following BMP implementation." *Environmental Geology*, 42 (5), 525-531.
- 2- Birk, S. (2004). "Identification of localized recharge and conduit flow by combined analysis of hydraulic and physico-chemical spring responses." *J. of Hydrology*, 286 (1-4), 179-193.
- 3- Genthon, P. (2005). "Temperature as a marker for karstic waters hydrodynamics." *J. of Hydrology*, 311(1-4), 157-171.
- 4- Kova'cs, A. (2005). "A quantitative method for the characterisation of karst aquifers based on spring hydrograph analysis." *J. of Hydrology*, 303 (1-2), 152-160.
- 5- Karimi, H. (2005). "Characterising the main karst aquifers of the Alvand basin, northwest of Zagros, Iran, by a hydrogeochemical approach." *J. Hydrogeology*, 13(5-6), 787-799.
- 6- Mangin, A. (1975). "Contribution a letude hydrodynamique des aquifers Karstiques." *Ann Speleol*, 29 (5-6), 283-332.
- 7- Drogue, C. (1972). "Analyse statistique des hydrogrammes de decrues des sources karstiques." *J. of Hydrology*, 15, (1-4), 49-68.
- 8- Elhatip, H. (1997). "Karst hydrogeology of the Kas,-Kalkan springs along the Mediterranean coast of Turkey." *Environmental Geology*, 36 (1-2), 150-158.
- 9- Aquilina, L. (2005). "Recharge processes in karstic systems investigated through the correlation of chemical and isotopic composition of rain and spring-waters." *Applied Geochemistry*, 20 (4), 2189-2206.
- ۱۰- آغاسی، ع. (۱۳۷۸). *هیدروژئولوژی کارست*، انتشارات طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور، تهران.
- ۱۱- چیت سازان، م. و کشکولی، ح. (ترجمه) (۱۳۸۱). *مدل سازی آبهای زیرزمینی و حل مسائل هیدروژئولوژی*، تألیف نون کرسیک، انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- 12- Worthington, S. R. H. (1991). "Karst hydrogeology of the Canadian Rocky Mountains." PhD. Thesis, Department of Geography, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada.
- 13- Langmuir, D. (1997). *Aqueous environmental geochemistry*, Prentice Hall, New Jersey.