چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علـوم زمیـــن
The 42nd National
Geosciences Congress
www.geoconf.ir

بررسی زمان خشکیدگی و حجم ذخیره دینامیک منابع کارستیک در محدوده رشته کوه های چال میشان، شاهانکوه، بلش و فردانکوه

حسین عابدیان(نویسنده مسئول)[۱]، مهسا منصوری[۲]

[۱] زایندآب، اصفهان dr.abedian@zayandab.ir

[۲] زایندآب، اصفهان m.mansori@zayandab.ir

چکیده

در رشته کوه‌های چالمیشان، شاهانکوه، بلش و فردانکوه در غرب استان اصفهان و قسمتی از شمال شرق استان چهارمحال و بختیاری سازندهای کارستی آهکهای شیری رنگ کرتاسه بالایی (k^l_L)، ایلام سروک و جهرم-آسماری جهرم به وجود آمده است. تحت تأثیر شرایط پالئوکلیما، در ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر، شرایط مناسبی برای انجام فعالیت‌های کارستی فراهم شده است. این تحقیق به بررسی تحولات کارستی در محدوده مذکور با توجه به فاکتورهای هیدروژئولوژیکی منطقه می‌پردازد. در این راستا رژیم تخلیه چشمه‌ها، ضریب خشکیدگی و حجم ذخیره دینامیکی چشمه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که ضرایب فرود در سازند آهکهای شیری رنگ کرتاسه بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۰۱ متغییر و حجم دینامیک بین ۱۰ تا ۱۱۲ میلیون متر مکعب متغیر می‌باشدضریب فرود در چشمه‌های سازند ایلام سروک منابع بین ۰/۰۰۷ تا ۰/۰۰۵ و حجم دینامیک بین ۵۰ تا ۱۸۰ میلیون متر مکعب متغییر می‌باشد ضریب فرود سازند های جهرم – آسماری با توجه به اطلاعات چشمه دیمه بین ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۰۱ متغییر و حجم دینامیک ۳۵۵ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد که نشان دهنده جریان افشان غالب و حوضه آبگیر وسیع در این چشمه است. با توجه به مطالعات انجام شده به نظر میرسد آهکهای کرتاسه بالایی هر چند ضرایب فرود بالاتری نسبت به دو سازند دیگر نشان میدهند اما توسعه آبخوان به صورت یکپارچه در آنها شکل نگرفته است و چشمه‌های با حجم دینامیک بالا در آنها گسترش پیدا نکرده است. اما در آهکهای جهرم آسماری و ایلام سروک محدوده سیستم جریان افشان بوده که دلیل آن توسعه آبخوانهای کارستیک و افزایش حوضه آبگیر می باشد. این شرایط باعث افزایش حجم دینامیک و افزایش ضریب خشکیدگی چشمه های موجود در این سازندها گردیده است.

واژه‌های کلیدی

کارست، ضریب فرود، ضریب خشکیدگی، ذخیره دینامیکی، آبدهی چشمه

۱. مقدمه

پدیده‌های طبیعی مختلفی مانند جنس واحدهای سنگی و خاکی، زمین‌لغزش، کارست، گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها بر منابع آب سطحی و زیرزمینی تاثیر گذار است. از طرف دیگر، بخش مهمی از منبع تامین آب در برخی از کشورهای جهان و ایران، منابع آبی کارستی می‌باشد. حدود ۲۵ درصد از جمعیت جهان از منابع آبی کارست استفاده می‌نمایند. بسیاری از شهرها و روستاهای غربی کشور از منابع آب کارست تغذیه می‌کنند. پدیده کارست از منظر خطرات کارست، ژئوتوریسم، ذخیره و جابجایی آب از طریق محیط‌های کارستی دارای اهمیت است.

کارست، سرزمینی است با هیدرولوژی و اشکال سطحی (Landforms) مشخص با یک سیستم زهکشی زیرسطحی وسیع که برخواسته از سنگهای با قابلیت بالای انحلال در آبهای طبیعی است همچنین کارست به طور وسیع در سنگهای کربناته گسترش می یابد (به طور مشخص آهک)، کارست محدود به سنگ های آهکی نمی‌باشد و می‌تواند در سنگهای نمکی و گچی نیز توسعه پیدا کند. این مناطق با کانال های انحلالی، گودی های مسدود، پولیه، دولین، غارها و دره‌های خشک مشخص میگردند [5,4,3]. ساختارهای کارستی بیشتر در مناطق سرد و مرطوب با بارش بیش از ۳۰۰ میلیمتر که دارای سنگ بستر کربناته یا تبخیری باشند، شکل می گیرند. ملاحظات هیدرودینامیکی، هیدروشیمیایی و ویژگیهای ایزوتوپی در خروجی سامانه های کارستی، وابسته به شرایط جریان غالبی است که بر آبخوان حاکم است. به عبارتی چرخه هیدرولوژیکی، سامانهٔ تغذیه و تخلیه و ویژگیهای یونی و ایزوتوپی چشمه‌ها بیانگر میزان توسعه کارستی حاکم بر یک ناحیه اند. از همین رو، در چند دهه اخیر به علت پدید آمدن مشکلات کم آبی و ارتباط پدیده های کارستی با مسائل منابع آب، کارست به طور روزافزون مورد توجه قرار گرفته، مراکز مطالعات کارست (در ایران از سال ۱۳۶۰) شکل گرفته و پژوهش های مختلفی نیز در این زمینه صورت گرفته است. ازجملهٔ این مطالعات، شناخت ویژگیهای کارست براساس شاخص های هیدروگرافی چشمه‌هاست، که پژوهشگرانی همچون بوناچی، مودری، آتکینسون و کورکماز به آن پرداخته اند[9,8,7,6].

بیشترِ این مطالعات که دارای تحلیل هیدروژئولوژیکی بوده‌اند، به نوعی دنباله رو مدل مایلت(۱۹۰۵) بوده‌اند. بررسی خواص هیدروژئولوژیکی سفره های کارستی به دلیل ناهمگنی زیاد این سفره ها بسیار مشکل است [11,10] بنابراین، از روش های رایج و کم هزینه مطالعه سفره های کارستی در دهه اخیر، بررسی تغییرات زمانی خواص فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی است [12]. با توجه به خصوصیات کمی و کیفی چشمه‌ها، میتوان به بعضی از خصوصیات مسیر حرکت آب و نوع سیستم جریان غالب پی برد. تغییرات آبدهی چشمه‌های کارستی، یک معیار مهم برای تفکیک آبخوان های کارستی با سیستم غالب جریان مجرایی از آبخوان های کارستی با سیستم غالب جریان افشان است[14]. دلیل استفاده گسترده از پارامتر دبی چشمه‌های کارستی در مطالعات کارست توسط پژوهشگران مختلف این است که تفسیر قابل اطمینانی از ویژگی های سفره های کارستی فراهم می آورند و همچنین اندازه گیری آنها آسان است [11].

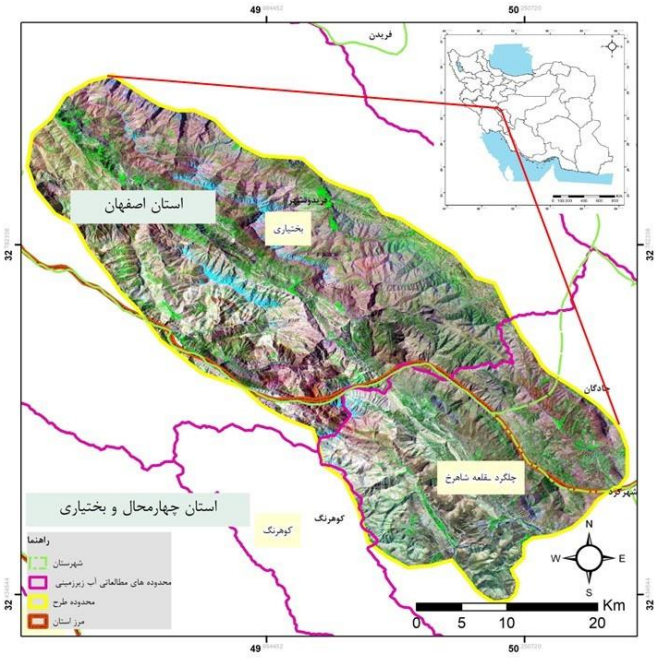
کورکماز [9]، بوناچی [6]و کوماک[13] به بررسی هیدروگراف چشمه‌ها و رژیم تخلیه با استفاده از فرمول مایلت پرداخته اند. نتایج آنها نشان می دهد که چشمه‌های کارستی، آب را از سطوح مختلف زهکشی می کنند، تغییرپذیری شدیدی دارند و نسبت به بارش به سرعت واکنش نشان میدهند. کریمی [14] به بررسی چندمتغیرهٔ چشمه‌های حوضهٔ الوند با در نظر گرفتن میزان کارستی شدن پرداخته و بیان می دارد که فشار گازکربنیک و هدایت الکتریکی چشمه‌ها در ارتباط با ارتفاع حوضه تغذیه، میزان بارش، نفوذ و دمای ناحیه تغییر می کند. وی در پژوهش خود همچنین به دو گروه از چشمه‌ها اشاره میکند که یکی از آنها به خاطر بستر تغذیه کارستی تر، دارای میزان املاح کمتر و تغییرپذیری بالایی از دبی است و میزان فشار گازکربنیک کمتری را در پیوند با بارش منطقه نشان میدهد. بنابراین، براساس این مطالعات و بر پایه رابطه میان ژئومورفولوژی و هیدروژئولوژی و ارتباط مستقیم و نزدیک این دو با تکامل آبخوان ها در مناطق کارستی، اهمیت بررسی های کارستیک در حل مسائل هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی آشکار میگردد. از همین رو در پژوهش حاضر نیز هدف شناخت ناحیه های کارستی و ارتباط آن با خصوصیات منطقه است. در راستای نیل به این هدف از اندازه گیری های دبی در بازه های ۲ هفته یکبار در چشمه‌های موجود در سازندهای آهکهای کرتاسه بالایی، سازند، ایلام سروک و جهرم – آسماری محدوده مورد مطالعه در سال ۱۴۰۲ اندازه گیری و تفاوت کارستیفیکاسیون هر سازند در منطقه مشخص شده است.

۲. موقعیت جغرافیایی منطقه

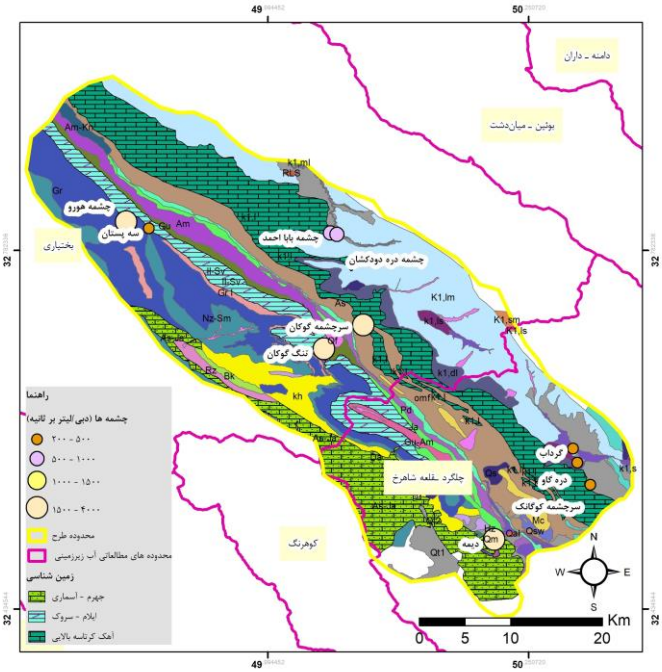
محدوده مورد مطالعه در غرب استان اصفهان بین مختصات جغرافیایی ۴۹/۸ تا ۵۰/۳ درجه طول شرقی و ۳۲/۶ تا ۳۲/۹۶ درجه عرض شمالی قرار دارد. بخش زیادی از محدوده مورد مطالعه در شهرستان فریدونشهر واقع شده است. شهرستان فریدونشهر در ۱۵۰ کیلومتری شمال باختری اصفهان در کوه‌های مرتفع زاگرس قرارگرفته است. این شهرستان، مرتفع‌ترین شهر ایران با ۲۵۳۰ متر ارتفاع از سطح دریا است. وجود توپوگرافی مرتفع و میزان نزولات جوی زیاد باعث پرآبی این منطقه شده است. دسترسی به شمال محدوده مورد مطالعه از طریق راه آسفالته فریدونشهر- چغیورت- اسلام آباد بوده و سپس مسیر آسفالته به سمت روستاهای مصیر، پشندگان و زمستانه می‌باشد. با ادامه این مسیر به سمت جنوب و روستای وزوه می‌توان به محدوده جنوبی منطقه دست یافت. دسترسی به جنوب محدوده مورد مطالعه از طریق راه آسفالته فریدونشهر- قلعه‌سرخ و یا چادگان- دیمه هم امکان‌پذیر می‌باشد. هدف از انجام این مطالعات، بررسی و تعیین مشخصات سازندهای آهکی و کارست در محدوده رشته کوه‌های چال میشان، شاهان کوه، بلش و فردان کوه، بررسی و مطالعه سازندهای سازندهای کارستی منطقه می‌باشد.

۱،۲. زمین شناسی منطقه

در این محدوده واحد (k^{l}_{L})، عمدتاً شامل آهک توده‌ای و ستبرلایه دارای رگه‌های کلسیتی به همراه میان‌لایه‌ها و واحدهای آهک شیلی، شیل آهکی و شیل گرافیتی در بخش میانی است. در بخش رویی این مجموعه آثار حفرات و کارست مشاهده شده و ضخامت این واحد تا ۳۰۰ متر می باشد. این واحد مربوط به زون سنندج سیرجان و بلافاصله بعد از راندگی زاگرس تشکیل منابع کارستیک محدوده را داده است. در زون زاگرس رورانده دو سازند کارستی ایلام سروک و آسماری-جهرم مربوط به کرتاسه و ائوسن در محدوده وجود دارد. بر اساس جهت و خصوصیات ناپیوستگی‌ها، دو جهت غالب آبگذری و توسعه کارست در منطقه محتمل است. جهت غالب ناپیوستگی‌ها دارای روند شمال باختری- جنوب خاوری است و در اغلب سازندهای منطقه از جمله سازندهای آسماری- جهرم و ایلام سروک محدوده دیده شده است. جهت دیگر، شمال خاوری- جنوب باختری است که بیشتر در آهک‌های کرتاسه وجود دارد. در سازند جهرم باتوجه به جهت و خصوصیات ناپیوستگی‌ها در هر دو جهت توسعه کارست و آبگذری محتمل است. در منطقه مورد مطالعه، لایه‌بندی‌ها، چین‌خوردگی‌ها، گسل‌های شمال باختری- جنوب خاوری و سازندهای مختلف توسط گسل‌های عرضی قطع شده است. مطابق بررسیهای انجام شده، مظهر چشمه‌ها غالبا در مجاورت گسل‌های عرضی قرار گرفته که نقش مهمی در هیدروژئولوژی و توسعه کارست منطقه دارند (شکل).



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی



شکل ۲. نقشه زمین شناسی در محدوده مورد مطالعه و موقعیت چشمه ها

۳. مواد و روش ها

برای دستیابی به ارزیابی‌های کلی از بستر تغذیه و میزان کارستی بـودن چشمه‌ها به بررسی و تحلیل هیدروگراف آنها پرداخته می شود. اینکه تخلیه چشمه‌های منطقه منحصراً در بستری با سیستم کانالیزه و از طریـق لایـه هـای کارسـتی شـده صـورت میگیرد یا خیر، مستلزم تهیهٔ هیدروگراف و منحنی تاریسمان چشمه‌هاست. تاریسمان به معنای رو به خشکی رفتن جریان آب سطحی یا یک چشمه اسـت. در منـاطق کربناتـه، ویژگـی هـای چشمه‌های کارستی اعم از تغییرات آبدهی، تغییرات کیفی و تغییرات دما می تواند معرف خـصوصیات کارسـت آن منطقـه باشد. ازجمله راه های مطالعهٔ چشمه‌های کارستی، میتوان بـه محاسـبه و تحلیـل پارامترهـایی همچـون، حجـم ذخیـره دینامیکی چشمه‌ها، زمان مرگ چشمه‌ها، منحنی تا ریسمان و ضریب فرود آن‌ها و همچنین مطالعه تغییرات کمی و کیفـی نظیر نتایج ایزوتوپی و شیمیایی چشمه‌ها اشاره کرد. برآورد و تحلیل میزان آلفا (ضریب کاهش دبی) از دو روش محاسبه میشود: یکـی از طریـق خـط بـرازش منحنـی تاریـسمان چشمه‌ها به صورت توانی از عدد نپری (e) که در نمودارهای فرود نشان داده میشـود، و دیگـری فرمـول تجربـی مایلت (۱۹۰۵).

براساس مبانی نظری و فرمول هیدروتکنیکی که مایلت برای منحنی پسروی در یک دورهٔ خـشک بـه کـار گرفـت، میتوان به اطلاعات و داده های کمی مربوط به توانایی تخلیه آبخوان هـای زیرزمینـی منطقـه دسـت یافـت (معادلـه ۱). این معادله که به بررسی ضریب تخلیهٔ α میپـردازد، از طریـق تانژانـت زاویـه بـین خـط آبنمـود و محـور افقـی بیـان می شود. فوستر ضـریب تخلیـه را متـأثر از ضـریب انتقـال و جریـان آب، ضـریب ذخیـره و ژئـومتری حوضـه مـی دانـد[9].

$$\alpha = \frac{logQ_0 - logQ_t}{0.4343t} \qquad (۱)$$

معمولاً در منحنی فرود چشمه‌های کارستی بیش از یک ضریب تخلیه وجود دارد. در ابتدای دوره فروکش شیب منحنی بیشتر و مقدار ضریب α بزرگ‌تر است. با گذشت زمان شیب منحنی کم‌تر شده و ضریب تخلیه کم‌تر می‌گردد. ضرایب فرود بزرگ‌تر نماینده‌ی تخلیه‌ی سریع‌تر آب از مجاری بزرگ و ضرایب فرود کوچک‌تر نماینده‌ی تخلیه‌ی کندتر آب از درز و شکاف و منافذ ماتریکس آبخوان در نظر گرفته می‌شود. با توجه به بررسی‌هایی که تاکنون بر روی منحنی فرود چشمه‌های کارستی انجام شده است مقدار ضریب فرود بیش از ۰/۱ بیان‌گر وجود سیستم جریان مجرایی، بین ۰/۱ تا ۰/۰۱ بیان‌گر وجود جریان حد واسط (افشان- مجرایی) و کم‌تر از ۰/۰۱ بیانگر وجود جریان افشان می‌باشد[16,15].

به بیان دیگر اگر منحنی فرونشینی دارای شیب کم و دوره‌ی آن طولانی باشد، خود نمایان‌گر عظمت و بزرگی ذخیره‌ی آبخوان کارستی است و بالعکس اگر با شیب تند روبرو باشد، ضریب تخلیه همانند افزایش نگهداری یا تأخیر آن کاهش می‌یابد.

میزان حجم ذخیره دینامیکی نیز به عنوان عاملی که نتیجهٔ شرایط خاص زمـین شـناختی و بـازخوردی از توسعه کارستی یک منطقه است، ازطریق رابطه (۲) برگرفته از تعریف مایلت ـ به دست می آید.

$$V = 86400\left(\frac{Q_0}{\alpha_0} + \frac{Q_1}{\alpha_1} + \cdots\right) \qquad (۲)$$

زمان میرایی چشمه نیز به عنوان عاملی که نتیجه‌ی شرایط خاص زمین شناختی و بازخوردی از توسعه کارستی یک منطقه است، ازطریق رابطه (۳) برگرفته از تعریف مایلت به دست می‌آید.

$$t_\circ = \frac{t \times \log e}{\log \frac{Q_\circ}{Q_t}} \qquad (۳)$$

پارامترهای به کار رفته در معادله های (۲) و (۳) به قرار زیر است:

$Q_\circ$: دبی اولیه که بر روی منحنی تاریسمان انتخاب می‌گردد.

Q_t : دبی ثانویه که در نقطه ای به فاصله زمانی t انتخاب می‌گردد.

$t_\circ$: مدت زمان تخلیه‌ی چشمه با دبی Q_t ضریب خشکیدگی

t: مدت زمان بین دبی اولیه و ثانویه (Q_t, Q_0)

به طور کلی سرعت جریان آب زیرزمینی در آبخوان کارستی که تغییرات سطح آب زیاد است در دوره‌ی مرطوب و روزهای پرباران بسیار زیاد و حرکت آب آشفته (Turbulent) بوده و در دوره‌ی خشک، پس از قطع بارندگی موثر به صورت ۲، ۳ یا ۴ مرحله روند کاهش دبی (میکرورژیم Micro – regime) در چشمه‌ها به وجود می‌آید که خطوط روند آن‌ها به صورت منحنی‌های فرود یا Recession Curves نامیده می‌شود.

در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از مشاهدهٔ میدانی در محدودهٔ جغرافیایی مورد نظر، وضعیت زمین شناسی منطقه مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از نقشه‌های زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ و توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ در نرم افزار سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقشه زمین شناسی محدودهٔ جغرافیایی مورد مطالعه ترسیم گردید. در مرحله بعد، با بررسیهای صحرایی چشمه‌هایی که از آبخوان این ناحیه تغذیه شده و دارای آبدهی بالا بودند، مورد شناسایی قرار گرفت. سپس داده های مربوط به آبدهی در سال ۱۴۰۲ به صورت هفتگی و دو هفته یکبار اندازه گیری گردید (جدول ۱). در پایان با ترسیم منحنی تاریسمان چشمه‌ها، تعیین حجم ذخیره دینامیکی مخازن، میزان ضریب فرود و به تحلیل نتایج به دست آمده در مورد میزان توسعه کارستی منطقه پرداخته شده است.

جدول ۱. میزان متوسط آبدهی ماهانه در چشمه‌های با اهمیت (لیتر بر ثانیه)

ماه	سازند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر
تنگ گوکان	ایلام سروک	۲۹۸۲/۸	۲۹۸۲/۸	۲۵۸۵/۱	۲۱۴۵/۳	۱۶۷۵/۵	۱۵۲۵/۵	۱۴۸۷/۵
چشمه بابا احمد	آهکهای کرتاسه	۱۲۷۱/۴	۱۹۱۲/۵	۱۶۳۵/۳	۱۳۶۵/۴	۴۶۳/۱	۲۱۱,۶	۱۴۵/۵
چشمه هورو	ایلام سروک	۳۷۴۱/۰	۳۷۴۱/۰	۳۲۵۴/۰	۲۵۲۸/۵	۱۹۷۵/۹	۱۸۷۵/۴	۱۶۳۲/۲
دیمه	جهرم- آسماری	۴۵۶۲/۱	۴۶۱۵/۳	۴۰۲۶/۵	۳۸۷۵/۹	۳۶۲۵/۵	۳۴۵۷/۲	۳۴۰۱/۵
سرچشمه گوکان	آهکهای کرتاسه	۸۱۵۲/۹	۶۵۲۲/۳	۲۸۵۳/۵	۲۱۹۰/۳	۷۹۳/۶	۶۲۰/۵	۵۸۸/۷
سه پستان	ایلام سروک	۵۰۱/۴	۴۱۸/۲	۴۸۵/۲	۳۸۲/۲	۲۷۱/۱	۲۳۸/۷	۲۱۵/۵
سرچشمه کوگانک	آهکهای کرتاسه	۷۰۲/۳	۶۱۲/۴	۴۰۰/۵	۲۱۳/۱	۶۳/۵	۱۶/۳	۱۴/۸
دره گاو	آهکهای کرتاسه	۱۲۰۲/۹	۹۷۴/۲	۵۶۵/۷	۲۳۷/۶	۸۰/۵	۲۷/۱	۲۵/۳
گرداب	آهکهای کرتاسه	۱۱۴۳/۱	۱۰۰۲/۵	۷۰۵/۳	۴۶۵/۱	۱۳۳/۷	۷۲/۴	۶۹/۵

۴. یافته های تحقیق

هیدروگراف و منحنی فرود چشمه‌ها متاثر از شرایط خاص در رژیم تخلیهٔ چشمه‌ها است. این شرایط خاص تابعی از فاکتورهای مختلفی همچون رژیم بارش، لیتولوژی، طرز قرار گیری لایه ها و ضخامت آنها، بافت و تخلخل سنگ ها است. این تأثیرپذیری موجب نمایش متفاوتی از هیدروگراف چشمه‌های نواحی کارستی در مقایسه با دیگر نواحی میشود. در نواحی غیرکارستی یا کمتر توسعه یافتهٔ کارستی، به طور معمول چشمه‌ها منحنی فرودی با روند خطی یکنواخت را نشان می دهند، اما در نواحی با توسعه یافتگی بالایِ کارست، چشمه‌ها دارای سه شکست یا ضریب فرود متفاوت اند که در حالت معمول آن میزان α_1 (ضریب فرود اولی) کمتر از α_2 (دومی) و بیشتر از α_3 (سومی) است [17]. میزان ضریب آلفا که بیانگر ضریب تخلیه یا توانایی تخلیهٔ آب زیرزمینی است، خصوصیات هیدرولوژیکی منطقه را که منتج از پارامترهایی همچون تخلخل و ضریب انتقال آبخوان است بیان می‌دارد. در این چارچوب هرچه میزان فاکتور α بیشتر باشد، نشان دهنده شیب بیشتر آبنمود، فروکشی جریان و درنتیجه بیانگر سرعت تأثیرپذیری دبی جریان از بارش خواهد بود و میزان تخلخل و کارست شدگی حوضه را نشان می‌دهد. حال آنکه در حالت عکس، عدم کارست شدگی یا کارست شدگی پایین حوضه مشاهده می‌شود. نمودار مربوط به منحنی تاریسمان چشمه‌های با اهمیت منطقه مورد مطالعه به گونه‌ای که محور افقی آن زمان و محور عمودی با مقیاس نیمه لگاریتمی دبی آن است، به تفکیک سازند های آنها، در شکل ۳ الی شکل ۵ آمده است.

با توجه به شکل۳ الی شکل ۵ و جدول۲ در منحنی های تاریسمان چشمه‌های بابا احمد، تنگ گوکان، دره دودکشان و سرچشمه گوکان شیب منحنی فرود دوم بیشتر از خط اول است و در طول زمان ضریب فرود آن ها افزایش داشته است. این پدیده علاوه بر اینکه میتواند

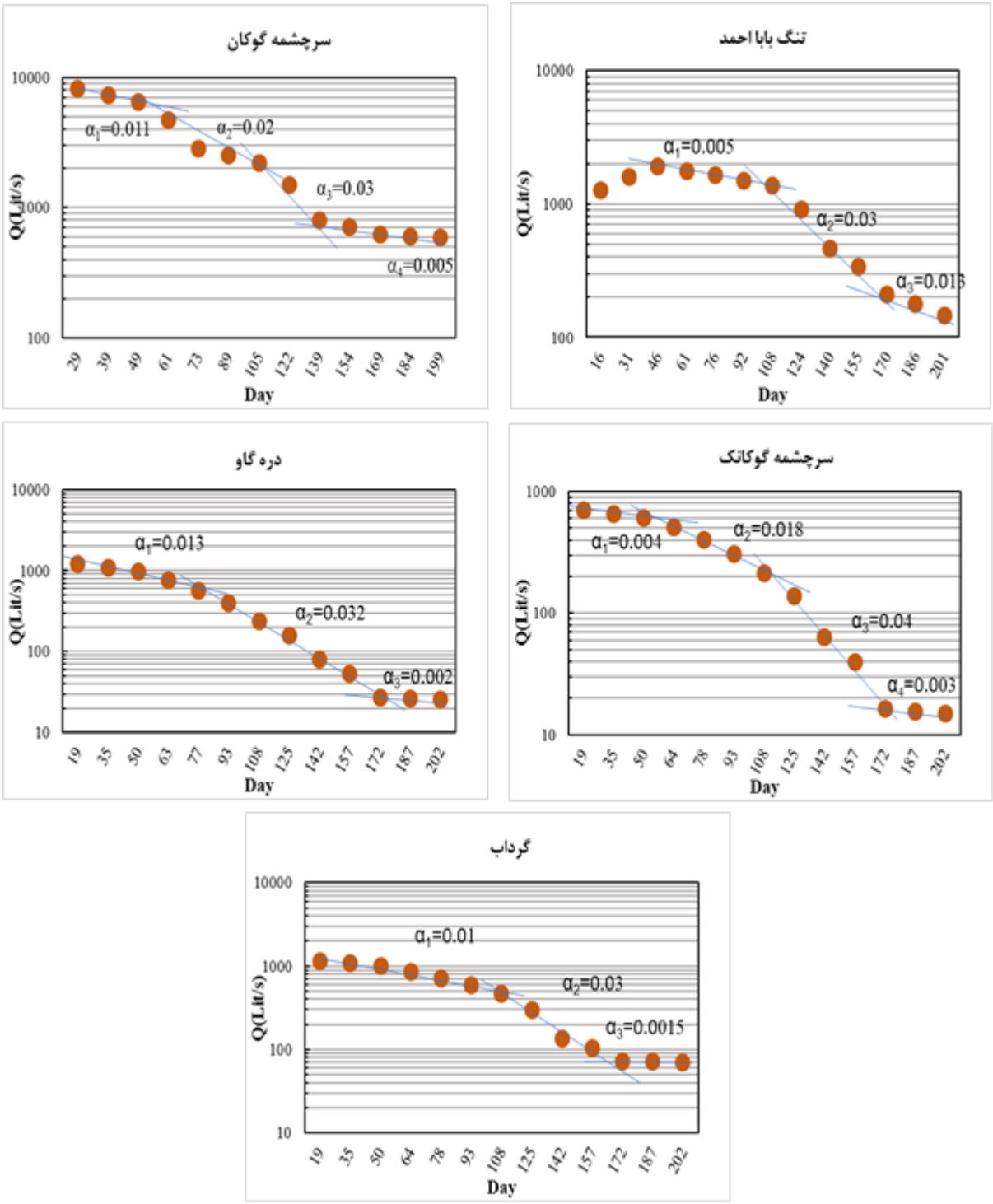
ناشی از موقعیت قرار گیری غارها و مغاره ها باشد می تواند ناشی از تغذیه از برف با توجه به برفگیر بودن ارتفاعات نیز باشد که سبب شده شیب منحنی فرود دوم نسبت به اول دارای شیب بیشتری باشد.

جدول ۲. ضرایب فرود چشمه‌ها

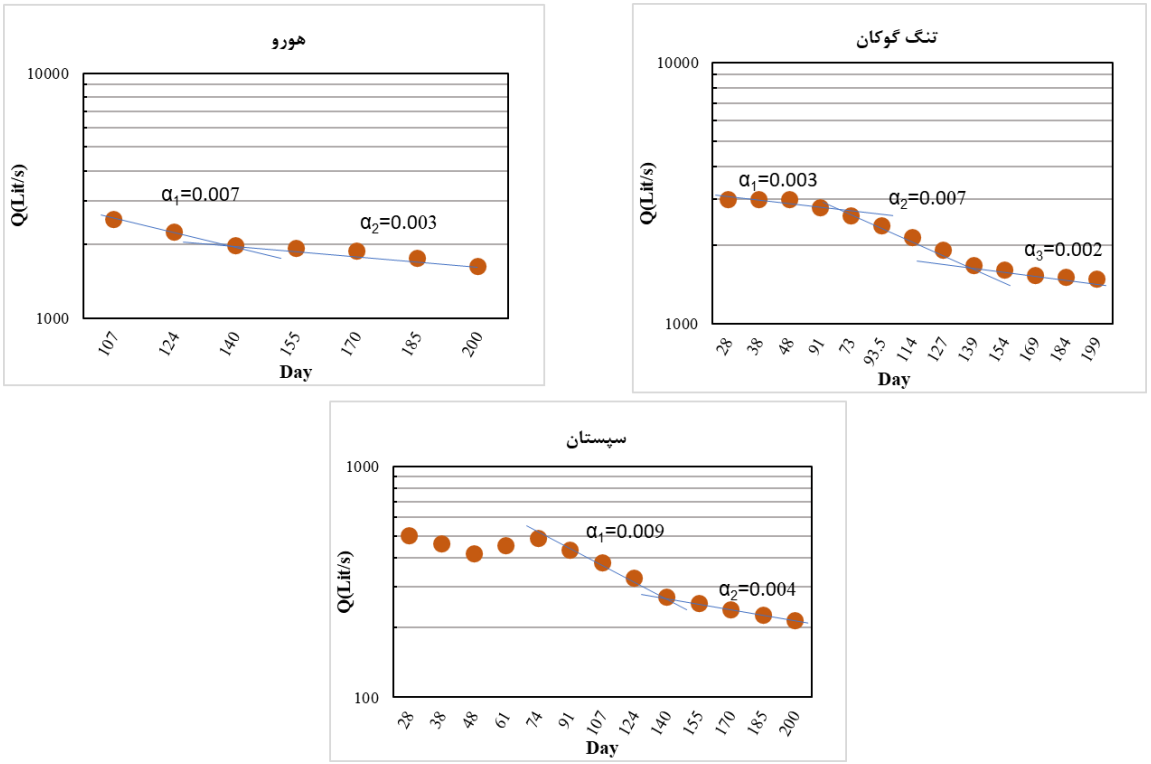
نام چشمه	Q_1 (lit/s)	Q_2 (lit/s)	Q_3 (lit/s)	Q4 (lit/s)	t_1 (Day)	t_2 (Day)	t_3 (Day)	t_4 (Day)	$á_1$	$á_2$	$á_3$	$á_4$
تنگ گوکان	۲۹۸۲/۸	۲۵۸۵/۱	۱۶۷۵/۵		۲۸	۷۳	۱۳۹		۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	
چشمه بابا احمد	۱۹۱۲/۵	۱۳۶۵/۴	۲۱۱/۶		۴۶	۱۰۸	۱۷۰		۰/۰۰۵	۰/۰۳	۰/۰۱۲	
چشمه هورو	۲۵۲۸/۵	۱۹۷۵/۹			۱۰۷	۱۴۰			۰/۰۰۷	۰/۰۰۳		
دیمه	۴۶۱۵/۳	۴۰۲۶/۵			۵۱	۷۷			۰/۰۰۵	۰/۰۰۱		
سرچشمه گوکان	۸۱۵۲/۹	۶۵۲۲/۳	۲۱۹۰/۳	۷۹۳/۶	۲۹	۴۹	۱۰۵	۱۳۹	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰۵
سه پستان	۴۸۵/۲	۲۷۱/۱			۷۴	۱۴۰			۰/۰۰۹	۰/۰۰۴		
سرچشمه کوگانک	۷۰۲/۳	۶۱۲/۴	۲۱۳/۱	۱۶/۳	۱۹	۵۰	۱۰۸	۱۷۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱۸	۰/۰۴	۰/۰۰۳
دره گاو	۱۲۰۲/۹	۵۶۵/۷	۲۷/۱		۱۹	۷۷	۱۷۲		۰/۰۱۳	۰/۰۳۲	۰/۰۰۲	
گرداب	۱۱۴۳/۱	۴۶۵/۱	۷۲/۴		۱۹	۱۰۸	۱۷۲		۰/۰۱	۰/۰۲۹	۰/۰۰۱	

با توجه به موقعیت قرارگیری چشمه‌ها که در شکل۴ آمده است و نوع لایه های زمین شناسی که این چشمه‌ها در آن ها قرار گرفته اند، میتوان کارستیفیکاسیون هر سازند را مورد بررسی قرار داد. حوضه آبگیر چشمه‌های بابا احمد، سرچشمه گوکان، دره دود کشان، گرداب، دره گاو و سرچشمه گوکانک از سازند کارستی کرتاسه بالایی قرار دارند ضریب فرود در این منابع بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۰۱ متغییر می‌باشد. ضریب فرود بالای α_1 و α_2 در این سازند نشان دهنده سیستم جریان متوسط تا افشان در آهکهای کرتاسه است. حوضه آبگیر چشمه‌های هورو، سه پستان و تنگ گوکان نیز در سازند ایلام سروک قرار دارند دارند ضریب فرود در این منابع بین ۰/۰۰۷ تا ۰/۰۰۵ متغییر می‌باشد ضریب فرود ها در این سازند نشان دهنده جریان افشان غالب در آهکهای ایلام سروک محدوده است. چشمه دیمه نیز در جنوب محدوده مورد مطالعه از سازند های آسماری-جهرم تغذیه میشود. ضریب فرود در این چشمه بین ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۰۱ متغییر می‌باشد که نشان دهنده جریان افشان غالب در این چشمه است. همچنین به نظر می‌رسد با توجه به دبی چشمه این منبع دارای حوضه آبگیر وسیعتر و نگه داشت آب بیشتری باشد.

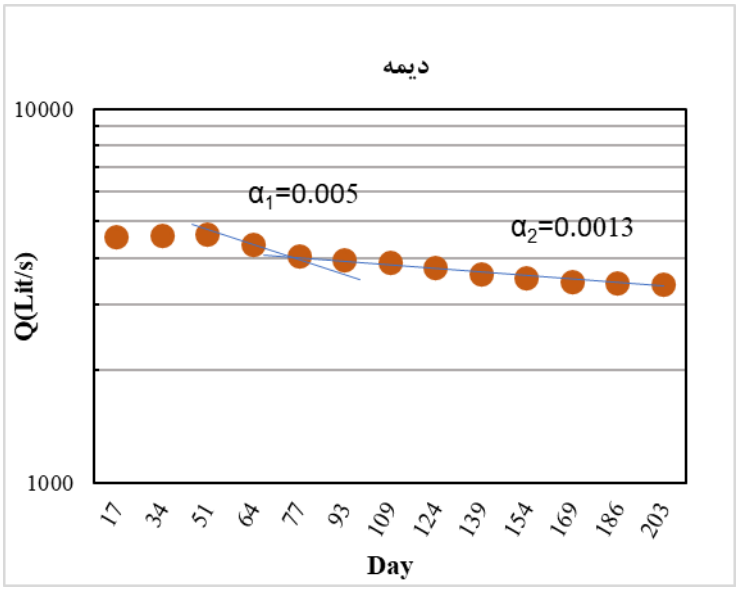
حجم دینامیک وضریب خشکیدگی برای چشمه ها محاسبه گردید که در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به بزرگترین چشمه های هر سازند میتوان اینگونه بیان کرد که چشمه دیمه در سازند جهرم آسماری دارای حجم دینامیک ۳۵۵ میلون متر مکعب با ضریب خشکیدگی حدود ۷۵۰ روز است. چشمه های کارستی تنگ گوکان، هورو و سپستان در سازند ایلام- سروک دارای حجم دینامیک ۱۸۰ ، ۸۲ و ۴۷ میلیون متر مکعب و ضرایب خشکیدگی ۵۰۴، ۳۱۳ و ۲۵۶ روز است. چشمه‌های کارستی آهکهای کرتاسه بالایی شامل چشمه های سرچشمه گوکان، بابا احمد، دره گاو، سرچشمه گوکانک و گرداب دارای ۱۱۲، ۳۵، ۱۰، ۱۷، ۱۵ میلیون متر مکعب حجم دینامیک و ضریب خشکیدگی ۲۰۰، ۸۲، ۴۳۶، ۳۱۰ و ۷۳۳ روز است. با توجه به مطالعات انجام شده به نظر میرسد آهکهای کرتاسه بالایی هر چند ضرایب فرود بالاتری نسبت به دو سازند دیگر نشان میدهند اما توسعه آبخوان به صورت گسترده در آنها شکل نگرفته است و چشمه‌های با حجم دینامیک بالا در آنها گسترش پیدا نکرده است اما در آهک های جهرم آسماری و ایلام سروک توسعه آبخوان های کارستیک باعث افزایش حوضه آبگیر منابع آب و افزایش حجم دینامیک آبخوان ها گردیده است. به همین خاطر میتوان گفت جریان افشان بدست آماده در این دو سازند عمدتا بخاطر بزرگ بودن حوضه آبگیر این منابع آب می باشد.



شکل ۳. منحنی تاریسمان چشمه های واقع در آهک کرتاسه بالایی



شکل ۴. منحنی تاریسمان چشمه های واقع در آهک ایلام سروک



شکل ۵. منحنی تاریسمان چشمه دیمه واقع در سازند جهرم آسماری

جدول ۳. حجم ذخیره دینامیکی و ضریب خشکیدگی در چشمه‌ها

چشمه نام	حجم دینامیک (mcm)	ضریب خشکیدگی (Day)
تنگ گوکان	۱۸۸/۰	۵۰۴/۱
چشمه بابا احمد	۳۵/۸	۸۲/۸
چشمه هورو	۸۲/۸	۳۱۳/۹
دره گاو	۱۰/۵	۴۳۶/۵
دیمه	۳۳۵/۸	۷۴۷/۰
سرچشمه کوگانک	۱۷/۵	۳۱۰/۸
سرچشمه گوکان	۱۱۲/۲	۲۰۰/۹
سه پستان	۱۰/۹	۲۶۱/۳
چشمه دره دودکشان	۲۸/۶	۸۰/۳
گرداب	۱۵/۷	۷۳۳/۹

۵. نتیجه گیری

در ارتفاعات چالمیشان، شاهانکوه، بلش و فردانکوه در استان اصفهان و شمال شرق استان چهارمحال و بختیاری، آهک های شیری رنگ کرتاسه بالایی(k^l_L) ، ایلام سروک و جهرم-آسماری جهرم باعث شکل گیری آبخوان‌های کارستی شده‌اند. در این مطالعات رژیم تخلیه چشمه‌ها، ضریب خشکیدگی و حجم ذخیره دینامیکی چشمه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. ضرایب فرود در آهک های کرتاسه بالایی بین ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۱ و حجم دینامیک آبخوان بین ۱۰ تا ۱۱۲ میلیون متر مکعب متغیر است. ضرایب فرود در چشمه‌های ایلام سروک بین ۰/۰۷ تا ۰/۰۵ و حجم دینامیک بین ۵۰ تا ۱۸۰ میلیون متر مکعب متغیر است. ضرایب فرود در سازند جهرم-آسماری بین ۰/۰۵ تا ۰/۰۱ متغیر و حجم دینامیک با در نظر گرفتن چشمه دیمه حدود ۳۵۵ میلیون متر مکعب است. از سوی دیگر خشکیدگی در آبخوان های کرتاسه زودتر از سایر سازند ها اتفاق می افتد به طوری که چشمه دیمه واقع در سازند جهرم آسماری و چشمه تنگ گوکان در سازند ایلام سروک دارای بیشترین ضریب خشکیدگی است. به همین دلیل میتوان گفت کرتاسه بالایی اگرچه ضرایب فرود بالاتری نسبت به دو سازند دیگر دارند، اما توسعه یکپارچه آبخوان در آنها رخ نداده و چشمه‌های با حجم دینامیک بالا گسترش نیافته‌اند. در عوض، در آهک های جهرم آسماری و ایلام سروک، توسعه آبخوان های کارستی باعث افزایش حوضه آبگیر منابع آب و حجم دینامیک آن‌ها شده است. این نتایج نشان می‌دهند که جریان افشان در این دو سازند بیشتر به دلیل بزرگ بودن حوضه آبگیر منابع آب است. با توجه به مطالعات انجام شده در آهکهای کرتاسه بالایی گسل زاگرس و گسل هایی که عمود بر راندگی واقع شده‌اند، دارای گستردگی کم و حوضه‌های آبگیر کوچکتر و تنوع در ایجاد چشمه ها میگردد. در واقع در سازندهای آهکی کرتاسه بالایی احجام و ضریب خشکیدگی‌های متنوع تری در منطقه ایجاد شده است.

منابع

[1] کرمی غ. رجائی ا. و کمالی نیسیانی م. ۱۳۸۷ کاربرد مطالعات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی در بررسی آب بندی سازندهای کارستی. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز. ۲۵- ۲۳ اسفند. ۹ص.

[2] عابدیان ح، مجیری ع، ۱۴۰۱، بررسی تغذیه در چشمه کارستی با استفاده از مطالعات هیدروژئولوژی و ایزوتوپی (مطالعه موردی: تاقدیس سنگویل)، نشریه زمین شناسی کاربردی پیشرفته

[3] White, W. B., (1988). Geomorphology and hydrology of karst terrains. New York: Oxford University Press, 464 p.

[4] Jennings, J. N., (1985). "Karst Geomorphology", Oxford-New York, Basil Blackwell

[۵] Ford, D. C. and Williams, P. W., (1989). Karst geomorphology and hydrology. London: Chapman & Hall, 601 p

[۶] Bonacci, O., 1981, Karst Hydrology, 21

[۷] Mudry, J., 1997, Role of Karstification and Rainfall in the Behavior of a Heterogeneous Karst System, Environmental Geology, 114-123.

[۸] Atkinson, T.C., 1977, Diffuse Flow and Conduit Flow in Limestone Terrain in Mendip Hills, Somerset (Great Britain), J. Hydrol, 35, 93-100.
[۹] Korkmaz, N., 1990, The Estimation of Groundwater Recharge from Spring Hydrographs, Hydrological Sciences, 35, 209-217
[۱۰] Mohammadi Z. and Raeisi E. 2007. Hydrogeological uncertainties in delineation of leakage at karst dam sites, the Zagros Region, Iran. Journal of Cave and Karst Studies. 69(3): 305-317.
[۱۱] Mohammadi Z. and Field M. 2009. On theTemporal Behavior of Karst Aquifers, zagros Region, Iran, A Geostatistical Approach. Journal of Cave and Karst Studies. 71(3): 210-226.
[۱۲] Raeisi E. Groves C. and Meiman J. 2006. Effects of partial and full pipe flow on hydrochemographs of Logsdon River, Mammoth Cave Kentucky USA. Journal of Hydrology. 337: 1-10.
[۱۳] Komac, B., 2006, The Karst Springes of The Kanin Massif Kra[Ki Izvir Pod Kanin Skim Pograje, http://www.zrc-sazu.si/giam/zbornik/komac41.
[۱۴] karimi H. et al., 2005, Characterising the Main Karst Aquifers of the Alvand 12- Basin, Northwest of Zagros, Iran, by a Hydrogeochemical Approach, Hydrogeology Journal, 13, 787–799.
[۱۵] Veini, G., (1997), ″Geomorphology hydrogeology geochemistry and evolution of the karst Lower Glen Rose aquifer, South-central Texas″, PhD dissertation, Pennsylvania state University, USA. 721.
[۱۶] Karanjac, J. And Altug A., 1980, ″Karstic spring recession hydrograph and water temperature analysis: Oymapinar Dam Project, Turkey″, Journal of Hydrology 45(3-4): 203-217.
[۱۷] Milanovic, P. T., (1981). Karst hydrogeology. Littleton, CO: Water Resources Publications, 434 .