۲۹-۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۰
زنجان - شرکت آب منطقه ای زنجان
دومین کنفرانس ملی
پژوهشهای کاربردی منابع آب ایران

بررسی هیدروژئولوژیکی چشمه کارستی کرسف شهرستان خدابنده

پرویز عبدی نژاد

دانشجوی دکترای دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران و عضوهیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان - زنجان کیلومتر ۹ جاده سهرین(شهرک صنعتی) جنب هنرستان کشاورزی شهید باهنر،صندوق پستی ۱٤٧٤- ٤٥١٩٥ تلفن:۲۲۲۶۱۴۲- ۰۲۴۱ نمابر:۲۲۲۱۷۵۴- ۰۲۴۱

Prz_Abdi@Yahoo.com

چکیده

چشمه ی کرسف یکی از چشمه های کارستی منطقه خدابنده در استان زنجان است، که در ۱۵ کیلومتری جنوبغربی شهرستان خدابنده قرار دارد. این چشمه در تشکیلات آهکی سازند قم (الیگوسن- میوسن) قرار دارد. برای بررسی شرایط هیدروژئولوژیکی این چشمه از نمونه برداری های ماهانه آبدهی این چشمه استفاده شده است. سپس با استفاده از منحنی زمان- لگاریتم آبدهی، ضریب فروکش در رژیم های مختلف، حجم دینامیکی این چشمه بررسی شده است. با استفاده از داده های آبدهی ماهانه اقدام به تهیه منحنی آبنمود چشمه کرسف نموده و با استفاده از این منحنی و معادلات و روابط ارائه شده از تحلیل آبنمود چشمه ها خصوصیات هیدروژئولوژیکی این چشمه مانند، ضریب فروکش، حجم ذخایر دینامیکی، شناخت سامانه زهکشی آبخوان (درز و شکافی، بین دانه‌ای، انحلالی)، تشخیص رژیمهای جریان، تشخیص روند کاهش و نفوذ پذیری پرداخته می شود. با توجه به این بررسیهای صورت گرفته مشخص گردید که این چشمه دارای سه ضریب فروکش که خود تابعی از وجود سه نوع تخلخل است. سیستم و محل تغذیه چشمه از منطقه کارستی کوه خدابنده بوده و رژیم جریانی آن از نوع مرکب و مجرایی است. همچنین حجم ذخیره دینامیک آبخوان چشمه ۱۵.۰۵ میلیون مترمکعب، نفوذپذیری آن ۳۰٪ و مساحت حوزه آبگیر آن ۲.۴ کیلومترمربع می باشد.

واژگان کلیدی: کارست، چشمه، آب زیرزمینی، منحنی آبنمود،ضریب فروکش، خصوصیات هیدرولوژیکی ،کرسف

۱. مقدمه

تقریباً تمام پدیده های سطحی و زیرزمینی که در محیط های کارستی یافت می شوند در اصل به وجود جریان آب مربوط هستند. ایجاد روابط حاکم بر حرکت وذخیره آب در پهنه های کارستی بر عکس پهنه های دیگرزمین شناسی مشکلتر می باشد[۱].آبخوانهای کارستی غالبا جریان متمرکز خود را بک یک چشمه بزرگ تخلیه می کنند و تغییرات کمی و کیفی این چشمه ها تا حدود زیادی بیانگر خصوصیات سیستم کارستی منطقه می باشد. در حال حاضر آب مورد نیاز برخی از مناطق کشور از طریق همین چشمه ها تامین می گردد و تغییرات آبدهی آنها مستقیما درچگونگی و میزان بهره برداری از این منابع موثر است. از این رو شناخت رژیم این تغییرات بخصوص در دوره های کوتاه مدت و بلند مدت نقش مهمی در برنامه ریزی و بهره برداری بهینه از این منابع طبیعی دارد. بررسیهای هیدروژئولوژی در سازندهای کارستی نشان می دهد که تغییرات آبدهی این چشمه ها تحت تاثیر عوامل متعددی از جمله میزان بارندگی ، وسعت حوضه آبگیر چشمه و درجه کارست شدگی، سیستم کارست هر منطقه بستگی دارد .لذا برای بررسی و پیش بینی آبدهی چشمه های کارستی لازم است. این عوامل را مد نظر داشت. بررسی روند تغییرات آبدهی در سراب های کارستی، یکی از پا رامترهای مهم برای تجزیه و تحلیل آبخوانهای کارستی ، رژیم آبدهی و محاسبه حجم دینامیکی آبخوان کارستی می باشد. و در واقع پایه و اساس محاسبات بیلان و تعیین پتانسیل آبخوان است. چگونگی تغییرات آبدهی چشمه ها ارتباط مستقیم با درجه کارست شدگی سازند کارستی ، وسعت آبخوان ومقدارو نوع بارش دارد[۲]. بر این اساس در این مقاله که براساس نتایج اولیه یک طرح پژوهشی کاربردی می باشد[۳]. به محاسبه ضریب خشگیدگی و حجم دینامیکی چشمه کارستی کرسف واقع در در منطقه کارستیک کوه خدابنده استان زنجان پرداخته شده است.

۲. مواد و روشها

این مقاله که براساس نتایج اولیه یک طرح پژوهشی کاربردی می باشد[۳]. به بررسی هیدروژئولوژیکی چشمه کارستی کرسف شهرستان خدابنده واقع در در منطقه کارستیک کوه خدابنده استان زنجان پرداخته است(شکل ۱). در این راستا ابتدا اقدام به جمع آوری اطلاعات و آمار موجود از وضغیت تخلیه آب این چشمه، آمار هواشناسی و اطلاعات زمین شناسی و سایر داده ها و اطلاعات مورد نیاز گردید. سپس با سازماندهی و پردازش این داه ها و آمار که اقدام به فراهم کردن داده های لازم برای بررسی خصوصیات هیدرولوژیکی جشمه مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به داده‌ها و اطلاعات فراهم شده خصوصیات مورد بحث شامل بررسی اثر بارش بر تغذیه، ترسیم و تجزیه و تحلیل آبنمود چشمه، ضریب فروکش در رژیم های مختلف، حجم دینامیکی و سطح حوزه آبگیر می‌باشند که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۱. مشخصات جغرافیایی منطقه

شهرستان خدابنده در ۸۶ کیلومتری جنوب شرقی مرکز استان واقع شده و از نظر جمعیت و وسعت دومین شهرستان استان می‌باشد. این شهرستان دارای ۵۱۵۱ کیلومتر مربع مساحت، چهار شهر، چهار بخش است. این شهرستان دارای آب و هوای سرد و کوهستانی و پر برف و دشت‌های با آب و هوای معتدل و خشک می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه این شهرستان ۴۱۱ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۰/۳ درجه سانتی‌گراد است. این شهرستان دارای ۱۴۵۹ دهنه چشمه و ۱۵۳ رشته قنات می‌باشد که تعدادی از این چشمه ها از نوع کارستی هستند. چشمه کرسف یکی از مهمترین چشمه های کارستی منطقه است که با توجه به آبدهی خوب و دائمی آن نقش بسزایی در وضعیت اقتصادی و اجتماعی منطقه دارد. بطوریکه اراضی کشاورزی آبی و جنگلی قابل توجهی حیات خود را مدیون منابع آبی این چشمه می باشند[۳]. دهستان کرسف به مرکزیت کرسف یکی از دهستانهای بزرگ و پرجمعیت بخش مرکزی شهرستان خدابنده از توابع استان زنجان میباشد که در فاصله ۱۴ کیلومتری شهر قیدار و ۷۴ کیلومتری مرکز استان قرار دارد. کرسف دارای آب و

هوای معتدل کوهستانی است.بیشتر مردم آن در بخش کشاورزی و خدمات اشتغال دارند [۴]. چشمه کرسف یکی از چشمه های کارستی منطقه خدابنده در استان زنجان است، که در ۱۵ کیلومتری جنوبغربی شهرستان خدابنده قرار دارد. این چشمه در تشکیلات آهکی سازند قم (الیگوسن- میوسن) قرار دارد[۵].

۳. بحث و بررسی

۳-۱. بررسی میزان آبدهی چشمه کرسف

برای بررسی شرایط و وضعیت آبدهی چشمه کرسف از آمار آبدهی ماهانه چشمه از سال آبی ۸۱-۱۳۸۲ تا ۸۸-۱۳۸۹ بشرح جدول(۱) استفاده گردید. با استفاده از این داده‌ها نمودار وضعیت و تغییرات آبدهی چشمه در طول سالهای آبی مورد بررسی در شکل(۲) ارائه شده‌است. بر اساس این داده‌ها و نمودار مورد اشاره بیشترین میزان آبدهی در تمام سالهای مورد بررسی بجز سال آبی ۸۸-۱۳۸۹ در فروردین ماه رخداده و کمترین میزان آن در سالها مختلف متفاوت می‌باشد که این موضوع ناشی از وضعیت اقلیمی حاکم بر منطقه است. با نگاه دقیق به این آمار در می یابیم که آبدهی چشمه در فصل بهار بیشترین مقدار خود را داشته که با توجه به جدول(۱)که نشاندهنده اطلاعات بارش منطقه است که در آن نیز فصل بهار بیشترین مقدار بارش را دارد. گویای این موضوع است بارندگی اصلیترین منبع تغذیه این چشمه کارستی می‌باشد. بیشترین مقدار آبدهی چشمه با مقدار ۱۴۵.۵ لیتر بر ثانیه در فروردین سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ و کمترین مقدار آن بمقدار ۳۰ لیتر بر ثانیه در مرداد سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ بوده است. متوسط تخلیه سالانه آن در طول ۷ سال آماری مورد بررسی در حدود ۲.۱ میلیون مترمکعب می‌باشد. همچنین بدلیل وجود بارندگی مناسب در سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ این مقدار به ۲.۷ میلیون مترمکعب رسیده‌است.

جدول(۱)- آمار میزان آبدهی چشمه کارستی کرسف در طول سالهای آبی ۸۱-۱۳۸۲ تا ۸۸-۱۳۸۹

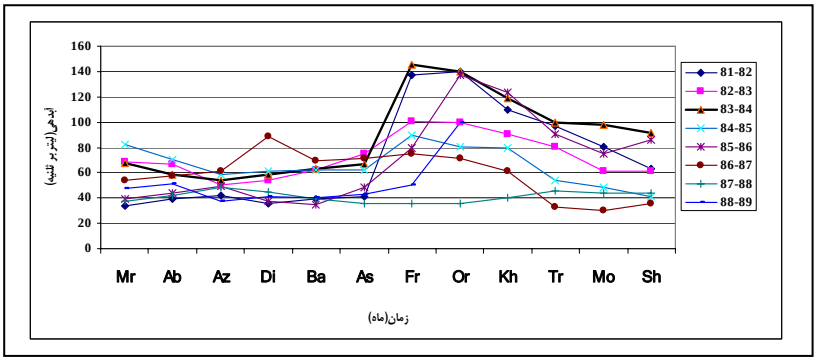
سال/ زمان(ماه)	Mah	۸۱-۸۲*	۸۲-۸۳	۸۳-۸۴	۸۴-۸۵	۸۵-۸۶	۸۶-۸۷	۸۷-۸۸	۸۸-۸۹
مهر	Mr	۳۳.۵	۶۹	۶۷.۳	۸۲	۳۹.۵	۵۴.۲	۳۷.۶	۴۷.۵
آبان	Ab	۳۹.۲	۶۶.۷	۵۸.۲	۷۰.۶	۴۴.۲	۵۸	۴۲.۲	۵۱.۵
آذر	Az	۴۱.۸	۵۰.۶	۵۳.۶	۵۸.۸	۴۹.۵	۶۱.۳	۴۸.۶	۳۷.۲
دی	Di	۳۵.۳	۵۴	۵۸.۶	۶۱.۵	۳۷.۲	۸۸.۳	۴۴.۴	۴۱.۵
بهمن	Ba	۳۸.۹	۶۲	۶۳	۶۲	۳۴.۹	۶۹.۳	۳۸.۹	۳۹.۸
اسفند	As	۴۱.۲	۷۵.۲	۶۶.۶	۶۲.۱	۴۸.۴	۷۱.۵	۳۵.۵	۴۲.۶
فروردین	Fr	۱۳۷.۲	۱۰۰.۴	۱۴۵.۵	۸۹.۲	۷۹.۲	۷۴.۷	۳۶	۵۰.۲
اردیبهشت	Or	۱۴۰	۹۹.۶	۱۳۹.۷	۸۰.۶	۱۳۷	۷۱	۳۵.۳	۹۹.۷
خرداد	Kh	۱۰۹.۶	۹۰.۹	۱۱۸.۸	۷۹.۲	۱۲۳.۲	۶۱	۴۰.۲	
تیر	Tr	۹۷.۱	۸۰.۳	۹۹.۶	۵۳.۹	۹۰.۳	۳۳	۴۵.۷	
مرداد	Mo	۸۰.۱	۶۱	۹۸.۲	۴۸.۱	۷۵.۳	۳۰.۰۵	۴۴	
شهریور	Sh	۶۲.۷	۶۱	۹۱	۴۰.۸	۸۵.۷	۳۵.۷	۴۳.۸	
ماکزیمم	max	۱۴۰	۱۰۰.۴	۱۴۵.۵	۸۹.۲	۱۳۷	۸۸.۳	۴۸.۶	
مینیمم	min	۳۳.۵	۵۰.۶	۵۳.۶	۴۰.۸	۳۴.۹	۳۰.۰۵	۳۵.۳	
متوسط	Aver	۷۳.۵۸	۷۲.۹۸	۸۹.۹۴	۶۵.۶۳	۷۲.۵۹	۵۹.۰۳	۴۱.۱۵	۶۷.۸۴
تخلیه سالانه	مترمکعب	۲۲۵۰۱۶۷.۰۴	۲۲۷۵۴۹۰.۸۸	۲۷۷۶۹۳۰.۵۶	۲۰۶۰۷۱۷.۷۶	۲۲۱۳۸۲۷.۲	۱۸۴۶۹۴۶.۸۸	۱۲۸۲۳۴۸.۸	۱۰۷۱۹۹۰.۷
ضریب ناهمشکلی	Kn	۴.۱۸	۱.۹۸	۲.۷۱	۲.۱۹	۳.۹۳	۲.۹۴	۱.۳۸	
ضریب کمترین آبدهی	Km	۰.۲۴	۰.۵۰	۰.۳۷	۰.۴۶	۰.۲۵	۰.۳۴	۰.۷۳	

*- واحد آبدهی لیتر بر ثانیه است. منبع : آمار شرکت آب منطقه‌ای زنجان

۳-۲. بررسی آبنمود چشمه کرسف

آبنمود چشمه، امکان بدست آوردن اطلاعات مهمی درباره ویژگیهای هیدرولوژیکی سامانه آبخوان حوضه آبگیر چشمه را فراهم می‌آورد و افزون بر تحلیل آن، داده‌های قابل توجهی را مورد رفتار سامانه زهکشی محیطهای درز و شکاف دار این حوضه ارائه می‌کند. برای تهیه آبنمود در مطالعات هیدرولوژی، از اطلاعات آمار آبدهی چشمه بر حسب زمان استفاده می‌شود. به این ترتیب که در یک دستگاه مختصات، روی محور عرضها مقدار آبدهی و روی محور طولها زمان مربوط، ثبت می‌شود. برحسب نیاز، شرایط و امکانات می‌توان آبنمودها را در زمانهای کوتاه مدت (ساعتی و کمتر از ساعت)

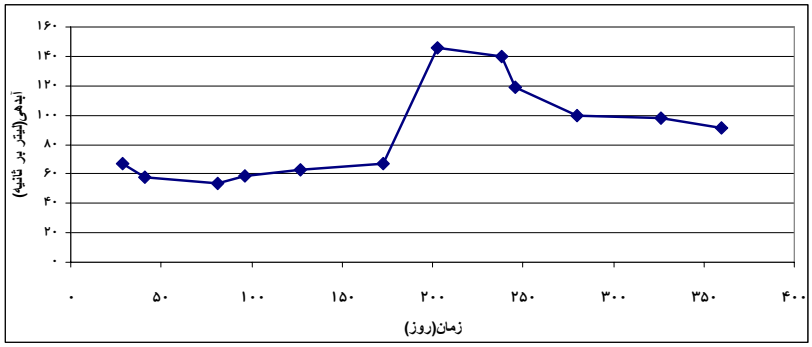
تا دراز مدت (سالانه) رسم نمود. اغلب در آبنمودهای کوتاه مدت، همراه با تهیه آبنمود، تغییرات بارندگی نسبت به زمان (باران نگار) نیز رسم می‌شود[۹]. با این توضیحات برای بررسی دقیق وضعیت آبدهی و انجام سایر تجزیه و تحلیلهای مورد نیاز هیدرولوژیکی چشمه کرسف با استفاده از داده‌ها آبدهی ماهانه ثبت شده(جدول ۱) اقدام به ترسیم منحنی آبنمود چشمه برای سالهای آبی ۸۱-۱۳۸۲ تا ۸۸-۱۳۸۹ مطابق آنچه که در شکل(۲) ارائه شده گردید. بر اساس منحنیهای آبنمود رسم شده برای سالهای مختلف منحنی آبنمود سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ دارای بیشترین مقدار و مشهودترین تغییرات است. لذا منحنی آبنمود این سال برای تجزیه وتحلیل و بررسی خصوصیات هیدرولوژیکی انتخاب و در نمودار جداگانه ترسیم گردید(شکل ۳).



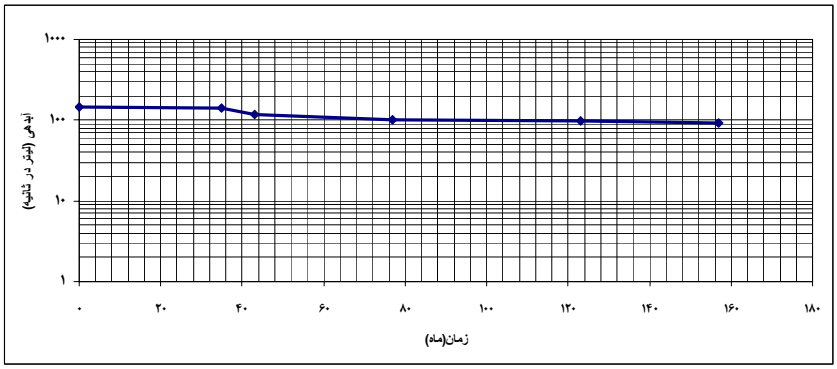
شکل(۲)- آبنمودهای چشمه کارستی کرسف طی سالهای آبی ۸۲-۱۳۸۱ تا ۸۹-۱۳۸۸

۳-۳. تجزیه و تحلیل آبنمود چشمه کرسف

در حقیقت آبنمود یک چشمه انعکاسی از پاسخ آبخوان نسبت به تغذیه می‌باشد. تجزیه و تحلیل آبنمود چشمه‌ها یکی از روشهای عملی برای محاسبه عوامل بیلان (Water balance) در یک منطقه کارستی و تعیین رژیمهای جریان افشان یا مجرایی در آن می‌باشد و به کمک آن می‌توان ضرایب بده، حجم خیره دینامیکی و ارتفاع معادل ستون آب را محاسبه نمود[۶]. شکل آبنمود چشمه، بازتاب کننده منحصر به فرد واکنش آبخوان در مقابل تغذیه است. بویژه شکل و روند فروکش، اطلاعات مهمی در مورد ذخیره و ویژگیهای ساختاری سامانه آبخوان تأمین کننده چشمه فراهم می‌آورد. به این دلایل، تحلیل آبنمود چشمه، اطلاعات قابل توجهی درباره ماهیت و چگونگی کار سامانه زهکشی کارست ارائه می‌کند[۹]. در شکل(۳) آبنمود چشمه کرسف در سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ ارائه شده‌است. این آبنمود دارای شاخه‌های بالارونده و فروکش است. شاخه بالارونده مربوط به زمان تغذیه



شکل(۴)- آبنمود چشمه کارستی کرسف در سال آبی ۸۴-۱۳۸۳



شکل(۴)- بخش فروکش (پائین رو) آبنمود چشمه کارستی کرسف در سال آبی ۸۴-۱۳۸۳

حاصل از بارش و شاخه فروکش، مربوط به زمان تخلیه آب تغذیه شده است. آبنمود از نقطه مشخصی به نام نقطه اوج که آغاز شاخه فروکش است، تغییر جهت می‌دهد و از آن به بعد، آبدهی با روند خاصی کاهش می‌یابد. این بخش از آبنمود را منحنی فروکش (تاریسمان) می‌گویند. برای تفکیک جریان پایه آبنمود، محاسبه حجم ذخیره دینامیکی و ویژگیهای ساختاری آبخوان، از این منحنی استفاده می‌شود[۹]. این بخش از منحنی بصورت دقیق تر در شکل(۴) ارائه گردیده‌است.

۴-۳. محاسبه ضریب فروکش یا خشکیدگی کرسف

ضریب فروکش (α) نشانگر توانائی تخلیه آب زیرزمینی می باشد و نتیجه خصوصیات هیدروژئولوژ یکی محیط، یعنی تخلخل موثر و ضریب قابلیت انتقال(T)آبخوان است[۱]. Maillet (۱۹۰۵) با تجزیه و تحلیلهای کمی مربوط به منحنی فرود آبنمود بیان کرد که آبدهی چشمه تابعی از آب موجود در ذخیره سیستم می‌باشد [۷]. تجزیه و تحلیل کمی شاخه فروکش آبنمود، اختصاصاً بر پایه کار مایه (۱۹۰۵) انجام گرفته است. وی فرض کرد که تخلیه چشمه، تابعی از حجم آب ذخیره شده در مخزن است، و آن را به شکل رابطه نمایی (۴) ساده زیر بیان کرد:

$$Q_t = Q_\circ e^{-\alpha t} \qquad (۱)$$

در این رابطه: Q_t = آبدهی (متر مکعب بر ثانیه) در زمان t $Q_\circ$ = آبدهی قبلی در زمان صفر ($t_\circ$)

t= زمان طی شده (اغلب بر حسب روز) بین Q_t و $Q_\circ$ e= پایه لگاریتم طبیعی (نپرین)

α = ضریب فروکش (تخلیه) چشمه از بعد عکس زمان (T^{-1})

اگر کاغذ نیمه لگاریتمی، روی محور لگاریتمی آبدهی برحسب مترمکعب بر ثانیه (m^3/s) و روی محور عددی زمان بر حسب روز آورده شود، خط راستی بدست می‌آید که شیب آن $-\alpha$ خواهد بود. شکل لگاریتمی معادله ۱ به شرح زیر است:

$$\log Q_t = \log Q_\circ - 0/4343t\alpha \qquad (۲)$$

که مقدار α را می‌توان از رابطه ۳ بدست آورد:

$$\alpha = \frac{\log Q_1 - \log Q_t}{0/4343(t_2 - t_1)}, \qquad t_2 - t_1 = t, \qquad Q_2 = Q_t, \qquad Q_1 = Q_0 \qquad (۳)$$

چون $e^{-\alpha}$ در معادله (۱) مقداری ثابت است، گاهی آن را با β که ثابت فروکش نامیده می‌شود، جایگزین می‌کنند. در نتیجه، معادله به این صورت نوشته می‌شود:

$$Q_t = Q_\circ \beta^t \qquad (۴)$$

مقدار ضریب فروکش α در رابطه ۱ از ویژگیهای هیدروژئولوژیکی آبخوان، بویژه تخلخل مؤثر و ضریب قابلیت انتقال بدست می‌آید. وقتی α یا β (معادله ۴) بزرگ و t ۰/۵ کوچک است، شیب منحنی فروکش، تند خواهد بود و دلالت بر زهکشی سریع مجاری و ذخیره کم زیرزمینی دارد. اگر تغذیه‌ای صورت نگیرد اما β و α کوچک و t ۰/۵ بزرگ باشد، دلالت بر زهکشی (تخلیه) آرام آبخوان کارستی دارد که احتمالاً ناشی از یک شکاف وسیع یا شبکه متخلخل با ظرفیت ذخیره بسیار زیاد و مقاومت بالا در برابر تغذیه است[۹]. بر اساس رابطه ۳ و بخش فروکش منحنی آبنمود چشمه کرسف(شکل ۵). ضرایب فروکش این چشمه که با توجه به منحنی فروکش دارای ۵ ضریب است بشرح زیر محاسبه گردید. در جدول(۲) اطلاعات مربوط به محاسبه ضرایب فروکش ارائه شده‌است.

$$\partial_3 = \frac{2-1.954}{0.4343\times55} = 0.001926 \qquad \partial_2 = \frac{2.114-1.998}{0.4343\times35} = 0.007631 \qquad \partial_1 = \frac{2.163-2.145}{0.4343\times20} = 0.001382$$

چشمه کرسف سه ضریب فرو کش دارد که مبین عبور آب ازسه سیستم درزو شکاف در محیط کارستی آبخوان آنها می باشد. روندتغییرات شاخه فرو کش آن در ابتدا، تا مدتی دارای شیب ملا یم وضریب تخلیه کم است ودر ادامه با شیب تندوضریب تخلیه زیاددر زمان کوتاهی آبدهی آن، بسیار نا چیز می شود . زیرا به نظر می رسدکه سیستم های درزوشکاف محیط کارستی آنها در ابتدای آبخوان، بشکل مجاری وکانال های بزرگ و توسعه یافته کارستی است ودر محدوده نزدیکی های مظهر چشمه دارای مسیر های باریک کارستی، مجاری تنگ و مناقد ریز بهم پیوسته باشد به همین دلیل ابتدا آب موجود درسیستم درزوشکاف های محدوده مظهر خارج می شود. سپس آب درون سیستم درزو شکاف های اوایل آبخوان تخلیه می گردد(شکل ۵). این نوع منحنی فروکش نشان دهنده رژیم های متفاوت تخلیه آبخوان و به عبارت دیگر خصوصیات پچیده هیدروژئولویکی توده سنگ کارستی می‌باشد. تجربه نشان می دهد برای یک سیستم کارستی توسعه یافته ، معمولاً سه خط مستقیم و سه ضریب تخلیه مربوطه مورد انتظار است[۱۰]. از روی این منحنی می‌توان به این نتیجه رسید که آبخوان چشمه کرسف، سه نوع تخلخل دارد که توسط سه ضریب فروکش با بزرگی متفاوت مشخص می‌شوند.

جدول (۲)- مشخصات ضرایب فروکش چشمه کارستی کرسف

فاصله زمانی(روز)	مقدار ضریب فروکش	نام ضریب فروکش	لگاریتم آبدهی	آبدهی(لیتر/ثانیه)	زمان(روز)	ماه
۲۰	۰.۰۰۱۳۸۲	α_1	۲.۱۶۳	۱۴۵.۵	۰	فروردین
			۲.۱۴۵	۱۳۹.۷	۳۵	اردیبهشت
۳۵	۰.۰۰۷۶۳۱	α_2	۲.۰۷۵	۱۱۸.۸	۴۳	خرداد
			۱.۹۹۸	۹۹.۶	۷۷	تیر
۵۵	۰.۰۰۱۹۲۶	α_3	۱.۹۹۲	۹۸.۲	۱۲۳	مرداد
			۱.۹۵۹	۹۱	۱۵۷	شهریور

بطوریکه $\alpha 1$ واکنشی از تخلیه سریع غارها و مجاری است که با حجمهای بزرگی از آب پر شده‌اند و این مخزنها، در فاصله زمانی حدود ۲۰روز تخلیه می‌شوند. ضریب $\alpha 2$ بعنوان شاخص جریان خروجی سامانه درزهای کارستی بهم پیوسته تعیین شده که زهکشی آن حدود ۳۵ روز طول کشیده است. $\alpha 3$ واکنش به زهکشی آب از خلل و فرج و درزهای باریک گفته می‌شود که شامل فضاهایی در داخل سنگها و خاکها در بالای سطح ایستابی و همچنین ماسه‌ها و ذخایر رسی داخل غارهاست و حدود ۵۵ روز طول کشیده است. بعبارت دیگر در رژیم $\alpha 1$ که مربوط به رژیمهای زمستانه و بهاره می‌باشد آب حاصل از ذوب برفها از چشمه به سرعت خارج می‌شود و در رژیم $\alpha 2$ و $\alpha 3$ که با دوره خشک مطابقت دارد. مهمترین ذخایر از نظر تأمین آب دائم آنهایی می باشند که، بوسیله ضریب a3 مشخص می شوند[۱]. این ضرایب بیانگر توانایی سفره برای آزاد کردن آب و نتیجه‌ای از خصوصیات هیدروژئولوژیکی محیط یعنی تخلخل مؤثر و ضریب قابلیت انتقال آبخوان است [۷]. هنگامیکه مقدار ضریب بده آبخوان کم و منحنی فرود نیز دارای شیب کم بوده و طولانی باشد، این حالت می‌تواند بر ذخیره دینامیکی زیاد آبخوان (بالای تراز چشمه) دلالت نماید که چشمه‌های این نوع آبخوانها اکثراً دائمی هستند. بر عکس وقتی که ضریب α زیاد باشد، منحنی فرود دارای شیب تند بوده و ذخایر دینامیکی در این حالت موقتی بوده و خیلی سریع تخلیه می‌شود [۶].

۵-۳. محاسبه حجم تخلیه چشمه کرسف

اصولا آبخوانهای کارستی دونوع حجم ذخیره دینامیکی واستاتیکی دارند .حجمی که بوسیله چشمه ها تخلیه می شود مربوط به حجم ذخیره دینامیکی است که عمدتا "در اثر نیروی ثقل بر سطح زمین جاری می شود. تعیین حجم ذخیره استاتیک به مؤلفه های خاصی نیاز دارد[۸]. برای آبخوان کارستی عملا یک حجم هیدروژئولوژیکی معرف وجود ندارد و می‌توان گفت که کل توده سیستم آبخوان کارستی بیشتر مطرح است[۱]. تخلیه سیستم آبخوان کارستی عمدتا "به صورت جریان پیوسته و متمرکز در چشمه های بزرگ صورت می گیرد. این ویژگی محاسبه ذخیره دینامیکی را با تجربه و تحلیل هیدروگراف آبدهی چشمه ها را امکان پذیر می سازد. برای این منظور ، بخشی از آبنمود مورد استفاده قرار می گیردکه

بهترین شکل تخلیه سیستم کارستی را نشان می‌دهد[۱۰]. حجم آب تخلیه شده از چشمه از زمان شروع منحنی فروکش، برابر با سطح زیر منحنی فروکش است. برای بدست آوردن حجم تخلیه چشمه در هر بخش از منحنی فروکش، باید از معادله تخلیه چشمه در هر بخش انتگرال‌گیری کرد. لذا با انتگرال‌گیری از معادله ۴ حجم آب تخلیه شده از چشمه در هر بخش بصورت معادله ۵ بدست می‌آید:

$$Q_t = Q_{n\circ} e^{-\alpha_n . t} \qquad (۴)$$

$$V_t = \int_{t_2}^{t_1} Q_\circ . e^{-\alpha_a t} . dt \qquad (۵)$$

$$V_t = \frac{Q_{\circ n}}{\alpha_n} . e^{-\alpha_a . t} \Big]_{t_2}^{t_1}$$

با حل معادله ۵، معادله ۶ بدست می‌آید: (۶)

که در آن V_t حجم آب تخلیه شده از چشمه در فاصله زمانی $t_2 - t_1$ است. بدیهی است که در معادله ۱۷ برای بدست آوردن حجم تخلیه بر حسب مترمکعب، با توجه به آنکه واحد زمان بر حسب روز و واحد بده بر حسب مترمکعب بر ثانیه است، بنابراین باید معادله فوق در ضریب ۸۶۴۰۰ ضرب شود. ذخایر دینامیکی، شامل حجم آبی است که در بالای تراز مظهر چشمه قرار دارد. حجم آب ذخیره شده در بالای تراز چشمه‌های آهکی به روش مایه (۱۹۰۵)، از نقطه اوج آبنمود یا شروع فروکش محاسبه می‌شود. در این روش، تغییرات آبدهی چشمه بر حسب زمان با تحلیل روند کاهش آبدهی پس از قطع بارندگی در دوره خشک، بررسی و بر اساس این تحلیل، مقدار آب ذخیره شده در بالای تراز چشمه از رابطه ۷ قابل محاسبه است: (۷)

$$V = \frac{86400 \times Q_\circ}{\alpha}$$

در این رابطه: $Q_\circ$ = آبدهی بر حسب مترمکعب بر ثانیه V = حجم ذخایر دینامیکی بر حسب متر مکعب α = ضریب فروکش اگر رژیم آبدهی چشمه از چند رژیم تشکیل شده باشد، بصورت معادله ۸ خواهد بود:

$$V = 86400\left(\frac{Q_{\circ 1}}{\alpha_1} + \frac{Q_{\circ 2}}{\alpha_2} + \frac{Q_{\circ 3}}{\alpha_3} + \ldots + \frac{Q_{\circ n}}{\alpha_n}\right) \qquad (۸)$$

با توجه به ضرایب محاسبه شده برای چشمه کرسف (جدول۲) و با استفاده از رابطه (۸) می‌توان میزان حجم ذخیره دینامیکی چشمه را بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$V = 86400\left(\left(\frac{0.1455}{0.001382\times 10^6}\right) + \left(\frac{0.130}{0.007631\times 10^6}\right) + \left(\frac{0.1}{0.001926\times 10^6}\right)\right) = 15.05 M.C.M$$

که واحد آن متر مکعب بوده و هر عبارت در این معادله حجم و ذخیره آب آبخوان را در داخل نوع خاص تخلخل مربوطه نشان می دهد[۹]. پس حجم ذخیره دینامیکی چشمه برابر با ۱۵.۰۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. یکی از موارد استفاده از حجم ذخیره دینامیکی چشمه‌های آهکی ،ارزیابی مدت تداوم آبدهی آنهاست تا در هر سال برای بهره برداری ،چشم انداز حجم دینامیکی و طول مدت آبدهی آنها برنامه ریزی لازم صورت گیرد. مهمترین کاربرد محاسبه حجم ذخیره دینامیکی، مقایسه آن با حجم تخلیه سالانه است که هر گاه این حجم از حجم تخلیه سالانه بیشتر باشد، در صورت نیاز می‌توان برای بهره‌برداری از آنها با حفر چاههایی در سازندهای آهکی اقدام نمود[۸].

۶-۳. محاسبه نفوذپذیری مؤثر و سطح حوزه آبگیری چشمه کرسف

یکی از فاکتورهای مهم در بررسیهای کمی منابع آبدار آهکی برآورد و محاسبه میزان نفوذپذیری در تشکیلات و سازندهای سخت آهکی و آهکی دولومیتی است. مقدار این نفوذپذیری مؤثر ب حسب شرایط آب و هوایی متفاوت بوده بطوریکه در

مناطق پرباران‌تر دنیا بعنوان مثال در اروپا که مقدار بارندگی بین ۳ تا ۴ متر در سال بوده مقدار نفوذپذیری مؤثر (Ie) به حدود (۶۰ الی ۷۰٪) در تشکیلات کارستی یا آهکی آن می‌رسد. در حالیکه ارقام بارندگی و نفوذ در آهکها در مناطق خشک و نیمه خشک مقدار نفوذ Ie ندرتاً به ۳۰٪ مجموع بارندگی می‌رسد. از فرمول تجربی بمنظور محاسبه مقدار نفوذ بارندگی در سطوح سنگهای آهکی و یا نواحی کارستی مختلف (اعم از مناطق خشک یا نیمه خشک و مناطق بارانی) مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب نفوذپذیری که از طریق رابطه (۹) محاسبه می‌شود به عوامل متعددی از قبیل شدت، میزان و نوع نزولات جوی، سیستم درزه‌ها، گسترش و عمق بارندگی، درصد پوشش خاک، شیب توپوگرافی و وجود یا عدم وجود آبفروچاله بستگی دارد. ضریب نفوذپذیری معمولاً در مناطقی که آبفروچاله وجود ندارد بین ۶۰-۴۰ درصد می‌باشد و در مناطقی که آبفروچاله بطور وسیعی وجود داشته باشد، ضریب نفوذ می‌تواند تا ۹۰درصد نیز افزایش یابد. برای تعیین محدوده احتمالی حوضه آبگیر چشمه‌ها از توالی چینه‌شناسی، وضعیت زمین‌شناسی و مورفولوژیکی ناحیه استفاده می‌گردد و در نهایت محدوده‌ای که پتانسیل انتقال آب به چشمه مورد نظر را دارد تعیین می‌گردد. عوامل مرتبط در این رابطه به شرح زیر بوده که در رابطه (۹) قابل اعمال هستند[۱۰]:

$$I_e = \frac{Q_m \times t}{P_\circ \times A} \qquad (۹)$$

در این رابطه: $P_\circ$ = میانگین بارندگی سالانه حوضه به متر A = وسعت حوضه آبریز چشمه بر حسب مترمربع

t = عبارت است از فاصله زمانی یکسال بر حسب ثانیه 31563×103 Q_m = آبدهی میانگین چشمه بر حسب مترمکعب بر ثانیه، I_e = نفوذپذیری مؤثر به درصد.

جدول۳. مقدار نفوذپذیری و سطح حوزه آبگیر چشمه کارستی کرسف

نفوذ	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
مساحت حوزه(کیلومترمربع)	۷.۱۶	۳.۵۸	۲.۳۹	۱.۸	۱.۴۳	۱.۲	۱.۰۲	۰.۹۰	۰.۸۰

بنابر این و با توجه به مشخصات منطقه کارستی مورد مطالعه و محاسبات صورت گرفته برای مقادیر نفوذ مختلف برای سطح حوضه چشمه کرسف مقدار نفوذ پذیری حوضه آبگیر این چشمه ۳۰٪ و بر این اساس سطح حوزه آبگیر آن حدود ۲.۳۹ کیلومترمربع برآورد می‌گردد.

۷-۳. تشخیص نوع جریان و انواع کارست از منحنیهای فروکش کرسف

در آبخوانهای درز و شکاف‌دار کارستی با توجه به شکل منحنی می‌توان نوع جریان و یا نوع کارست را تشخیص داد. بطوریکه براین اساس دو نوع کلی منحنیهای فروکش ساده و مرکب قابل تفکیک می‌باشد که که خود منحنیهای مرکب هم به ۴ نوع متفاوت تقسیم می گردند[۱۱]. با توجه به منحنی فروکش چشمه کرسف این منحنی از نوع منحنیهای فروکش مرکب می‌باشد که نشان دهنده دو رژیم فرعی با جریان ورقه‌ای است. بر این اساس محیط نفوذپذیر آبخوان این چشمه از سنگهای کربنات پر درز و شکاف تشکیل شده که بیشتر دارای سامانه‌های منظم درزه‌های ریز و درشت فراوان و حتی در مقیاس وسیع همراه با نفوذپذیری ناهمگن می‌باشد.

۴. نتیجه گیری کرسف

شهرستان خدابنده یکی از قطبهای کشاورزی در استان زنجان بوده و منطقه کرسف از جمله مناطق بسیار حاصلخیز و دارای اراضی کشاورزی آبی، دیم و جنگلی در این شهرستان است. چشمه کارستی کرسف بدلیل داشتن آبدهی نسبتا مناسب و دائمی یکی از منابع آبی مهم و قابل اتکای در بخش کرسف می‌باشد. از نظر زمین شناسی این چشمه در تشکیلات آهکی سازند قم (الیگوسن- میوسن) قرار دارد. بر اساس آمار آبدهی ماهانه چشمه کرسف از سال آبی ۸۱-۱۳۸۲ تا ۸۸-۱۳۸۹، بیشترین میزان آبدهی در تمام سالهای مورد بررسی بجز سال آبی ۸۸-۱۳۸۹ در فروردین ماه رخداده و

کمترین میزان آن در سالها مختلف متفاوت می‌باشد که این موضوع ناشی از وضعیت اقلیمی حاکم بر منطقه است. بیشترین مقدار آبدهی چشمه با مقدار ۱۴۵.۵ لیتر بر ثانیه در فروردین سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ و کمترین مقدار آن بمقدار ۳۰ لیتر بر ثانیه در مرداد سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ بوده است. متوسط تخلیه سالانه آن در طول ۷ سال آماری مورد بررسی در حدود ۲.۱ میلیون مترمکعب می‌باشد. همچنین بدلیل وجود بارندگی مناسب در سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ این مقدار به ۲.۷ میلیون مترمکعب رسیده‌است. بر اساس تجزیه و تحلیل آبنمود سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ که دارای بیشترین مقدار و مشهودترین تغییرات است. چشمه کرسف سه ضریب فرو کش دارد که مبین عبور آب ازسه سیستم درزو شکاف در محیط کارستی آبخوان آنها می باشد. بر این اساس آبخوان چشمه کرسف، سه نوع تخلخل دارد که توسط سه ضریب فروکش با بزرگی متفاوت مشخص می‌شوند. بطوریکه $\alpha 1$ واکنشی از تخلیه سریع غارها و مجاری است که با حجمهای بزرگی از آب پر شده‌اند و این مخزنها، در فاصله زمانی حدود ۲۰روز تخلیه می‌شوند. ضریب $\alpha 2$ بعنوان شاخص جریان خروجی سامانه درزهای کارستی بهم پیوسته تعیین شده که زهکشی آن حدود ۳۵ روز طول کشیده است. $\alpha 3$ واکنش به زهکشی آب از خلل و فرج و درزهای باریک گفته می‌شود که شامل فضاهایی در داخل سنگها و خاکها در بالای سطح ایستابی و همچنین ماسه‌ها و ذخایر رسی داخل غارهاست و حدود ۵۵ روز طول کشیده است. با توجه به منحنی فروکش فوق که از نوع مرکب می‌باشد. چشمه کرسف دارای دو رژیم فرعی با جریان ورقه‌ای است. بر اساس محاسبات صورت گرفته حجم ذخیره دینامیکی چشمه کرسف برابر با ۱۵.۰۵ میلیون مترمکعب می‌باشد که حجم قابل توجهی بوده و لزوم انجام برنامه ریزی مناسب برای بهره برداری بهینه و حفاظت از این منبع آبی مهم و حیاتی در منطقه رانشان می‌دهد. همچنین با توجه به مشخصات منطقه کارستی مورد مطالعه و محاسبات صورت گرفته برای مقادیر نفوذ مختلف برای سطح حوضه چشمه کرسف مقدار نفوذ پذیری حوضه آبگیر این چشمه ۳۰٪ و بر این اساس سطح حوزه آبگیر آن حدود ۲.۳۹ کیلومترمربع برآورد می گردد.

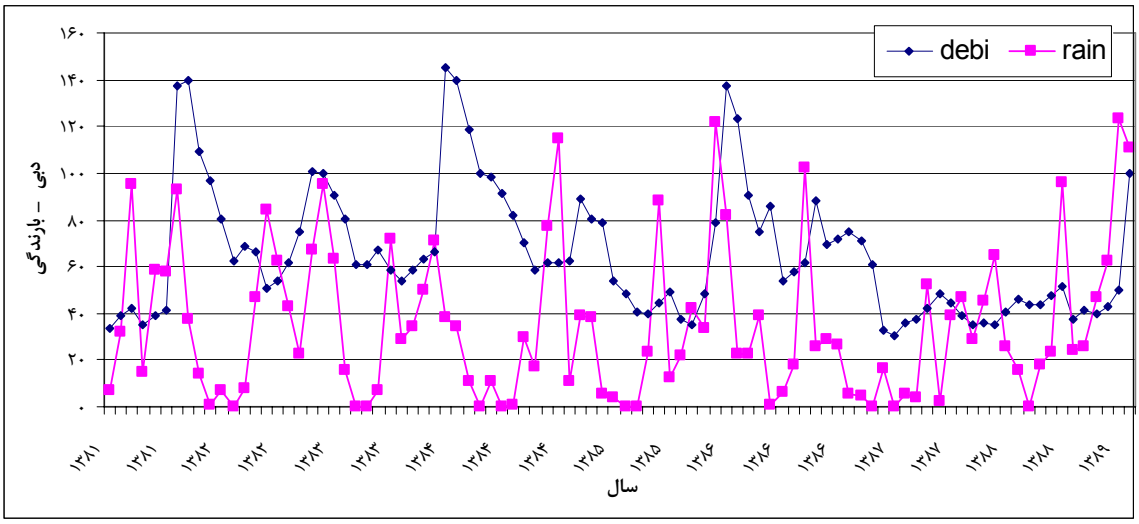
اثر بارش بر تغذیه چشمه کرسف

از میان عوامل موثر برآبدهی چشمه های کارستی نوع و مقدار بارش بیشترین اهمیت را دارد و یکی از ویژه گی های مهم چشمه های کارستی وابستگی مستقیم آبدهی آنها با میزان بارندگی در طول سال است .بطوریکه در فصول خشک سال میزان آبدهی کاهش یافته و در فصول مرطوب بر میزان آن افزوده می گردد[۳]. بارندگی شامل کلیه نزولات جوی مانند باران و برف و تگرگ می باشد که (Precipitation) بارندگی یا بارش بر حسب اقالیم مختلف ، باران و یا برف قسمت عمده ای از آن را تشکیل می دهد. بارندگی ، ورودی سیکل هیدرولوژی در یک ناحیه بوده و بنابراین از مهم ترین عواملی است که باید مورد مطالعه دقیق قرار گیرد[۷]. نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد مطالعه ایستگاه خدابنده است . لذا بر اساس اطلاعات هواشناسی این ایستگاه متوسط بارندگی(از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۶ سال) منطقه ۳۹۶.۷ میلیمتر در سال می باشد. در منطقه مورد مطالعه بارش از مهر ماه شروع و بتدریج افزایش و در طول ماههای خرداد ، تیر و مرداد ماه کاهش و به کمترین مقدار می رسد. بطوریکه بر اساس جدول( ) بیشترین مقدار بارش با ۴۱.۳ درصد در فصل بهار اتفاق می افتد. با نگاه دقیق به این آمار در می یابیم که آبدهی چشمه در فصل بهار بیشترین مقدار خود را داشته که با توجه به جدول( )که نشاندهنده اطلاعات بارش منطقه است که در آن نیز فصل بهار بیشترین مقدار بارش را دارد. گویای این موضوع است بارندگی اصلیترین منبع تغذیه این چشمه کارستی می‌باشد.

لازم به یادآوری است که بارشهای پی در پی در حوضه‌های آبریز بزرگ، شاخه فروکش آبنمود را تحت تأثیر قرار می‌دهد، زیرا هنوز تغذیه بارشهای پیشین، کاملاً تخلیه نشده که بارش بعدی رخ می‌دهد و روند شاخه‌های آبنمود را تغییر می‌دهد.

جدول( )- اطلاعات توزیع بارش در طول فصول در ایستگاه هواشناسی خدابنده

ایستگاه	شهرستان	پائیز		زمستان		بهار		تابستان		سالانه
		میزان بارندگی	درصد بارندگی	میزان بارندگی	درصد بارندگی	میزان بارندگی	درصد بارندگی	میزان بارندگی	درصد بارندگی	میزان بارندگی
خدابنده	خدابنده	۱۰٤.٥	۲٦.۲	۱۳۰.۲	۳۲.۹	۱٤٤.٦	۳٦.٦	۱۷.۲	٤.۳	۳۹٦.٦



شکل ( )- مقایسه میزان بارندگی و دبی چشمه کارستی کرسف

۵. مراجع

۱. عبدالوحید آغاسی -کتاب هیدروژئولوژی کارست - نشریه شماره ۱۷ طرح استاندارد صنعت آب کشور

۲. محمد تقی رضایی – گزارش پیش بینی تغییرات آبدهی چشمه های کارستی در دوره های خشکسالی –مرکز تحقیقات ومطالعات کا رست- اسفند ماه ۱۳۸۰

۳. عبدی نژاد، پ، رضایی. ع، عباسی. ن و پارسامنش.ر (۱۳۸۹). طرح پژوهشی برآورد مدل بیلان آب در منطقه کارستی کوه خدابنده استان زنجان، شرکت آب منطقه ای زنجان

۴. مجابی، محمدرضا(۱۳۸۹):http://mohammadrezamojabi.blogsky.com/1389/07/13/post-46

۵. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور(۱۳۷۳ و ۱۳۸۰). نقشه زمین سناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهارگوش سلطانیه – خدابنده و حلب، گزارش زمین شناسی این نقشه ها

6. Milaniovic, P.T.(1988). Karst hydrogeology. Water Resources publications.

7. Ford, D. C. and Williams, P. W. (1989). Karst geomorphology and hydrology. U.K, chapman and hall.

۸. شرکت مهندسین مشاور آبدان فراز- مطالعات مرحله اول انتقال آب رودخانه هرود به منطقه خرم آباد (تونل انتقال آب کاکا رضا)گزارش مطالعات هیدروژئولوژی منطقه طرح – اسفند ماه ۱۳۸۰

۹. شرکت، مدیریت منابع آب ایران، دفتر استانداردها و معیارهای فنی، راهنمای تهیه آبنمود چشمه های کارستی و سازندهای سخت، نشریه شماره ۲۳۲- الف ، ۱۳۸۴.

۱۰. ریودار، مظفر، گزاراش نهایی طرح پژوهشی در تحلیل رژیم تخلیه و تغییرات آبدهی کارستیک منطقه خرم آباد به منظور بررسی سیستم های درز و شکاف محیط کارستی آنها، شرکت سهامی آب منطقه ای غرب، ۱۳۸۴.

۱۱. کلانتری، نصر اله، ریاحی پور مهدی و رئیسی، عزت اله، ۱۳۸۰، گزارش نهایی طرح پژوهشی. هیدرولوژی منطقه کارستی سالدوران، سازمان مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۰