بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده: علوم زمین

گروه: آب شناسی

بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی قنات‌های منطقه میامی

دانشجو: فاطمه عباسی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

پایان‌نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۸۸

حمد و سپاس خدای را که هستیم بخشید و در تاریکی و ظلمت هدایتم فرمود

تقدیم به شکیبایی مادرم که ناز و نیازم را پاسخگو بود و قلبم را سیراب مهربانی نمود، به پدرم که نورانیت سیمایش روشنایی بخش زندگیم بود و به همه کسانی که کلامی آموختند.

تشکر و قدردانی

سپاس بیکران پروردگار یکتا که به ما هستی بخشید و به طریـق علـم و دانـش رهنمـون شد. سپاس خدایی که ما را به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخر نمود.

صمیمانه‌ترین مراتب تشکر و سپاس خود را تقدیم استاد بزرگوارم **جناب آقای دکتر کرمی** می‌نمایم که خالصانه‌ترین راهنمایی‌ها و کمک‌های خود را در تمام مراحل این پروژه نسبت به اینجانب دریغ ننمودند. از خداوند بزرگ موفقیت و بهروزی ایشان را در تمام مراحل زندگی خواهانم.

در پایان از خانواده و همسر بزرگوارم به ویژه دو گوهر ناب زندگیم (پدر و مادر مهربانم) که در جهت کمک به اینجانب از هیچ کوششی کوتاهی ننمودند، و همچنین خواهر عزیزم پریسا که حضورشان مایه آسایش من و وجودشان آرامش بخش روح و روان من است، تشکر نموده و دستشان را از صمیم قلب می‌فشارم.

چکیده:

منطقه مورد مطالعه در محدوده میامی و در ۶۵ کیلومتری شرق شاهرود و در طول جغرافیایی ۲۳′ ۵۵° تا ۴۵′ ۵۵° و عرض جغرافیایی ۱۶′ ۳۶° تا ۲۵′ ۳۶° واقع شده است. میامی در بخش انتهایی شمال شرق ایران مرکزی قرار دارد و دارای آب و هوای خشک تا نیمه خشک است. به علت بارندگی کم و هوای گرم، جریان سطحی در منطقه وجود ندارد و آب مورد نیاز مردم از آب‌های زیرزمینی می‌باشد. در حاشیه دشت‌ها و مناطق مرتفع‌تر قنات‌ها مهم‌ترین روش استخراج آب‌های زیرزمینی می‌باشند. در این تحقیق به منظور ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی قنات‌های منطقه میامی، ده رشته قنات مختلف (زیدر، ابراهیم‌آباد، میامی، پنفتنی، آب‌مرجان، محمدآباد، جودانه، کال‌سپیدار، نرم‌پشته و ارمیان) برای یک دوره یک ساله مورد بررسی قرار گرفت. برای تمام قنات‌ها مقادیر هدایت الکتریکی، درجه حرارت آب، اسیدیته و دبی در محل نمونه‌برداری و میزان کاتیون‌ها (سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) و آنیون‌ها (کلر، سولفات، کربنات، بی‌کربنات و نیترات) در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که مقادیر هدایت الکتریکی و غلظت یون‌ها به طور قابل توجهی تحت تاثیر لیتولوژی سازندها و رسوبات موجود در منطقه می‌باشد. به منظور ارزیابی کیفیت آب قنات‌های منطقه، نمودارهای استیف، پایپر، ویلکوکس و شولر رسم شدند. با توجه به نمودارهای رسم شده، ملاحظه می‌شود که تیپ آب قنات‌های مطالعه شده در لیتولوژی‌های مختلف متفاوت بوده است. تغییرات دبی در قنات‌های مختلف تفاوت قابل توجهی را شامل می‌شود که تابعی از عوامل مختلفی مانند حوضه آبگیر قنات، تراوایی، ساختمان قنات و ... می‌باشد. علاوه براین، به منظور ارزیابی آلودگی بیولوژیکی آب، چهار نمونه آب از مظهر بعضی از قنات‌های منطقه (ابراهیم-آباد، میامی، محمدآباد و جودانه) برداشته شد و به آزمایشگاه انتقال یافت تا مورد آزمون MPN قرار گیرد. نتایج این آزمایش نشان داد که تمامی قنات‌های مورد آزمایش تا اندازه‌ای آلودگی بیولوژیکی داشتند که دلیل آن احتمالاً باز بودن دهانه چاه‌ها و نشت فاضلاب‌های خانگی به کوره قنات می‌باشد.

کلمات کلیدی: میامی، قنات، هدایت الکتریکی، دبی، غلظت یون‌ها، آلودگی بیولوژیکی

فهرست مطالب

فصل ۱- کلیات

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام مطالعه ۱
۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی به منطقه مورد مطالعه ۲
۱-۳- جغرافیای انسانی ۲
..... ۳
۱-۴- آب و هوا و پوشش گیاهی ۳
۱-۵- ژئومرفولوژیکی منطقه ۵
۱-۶- زمین‌شناسی منطقه ۶
۱-۶- ۱- چینه‌شناسی منطقه ۷
۱-۶- ۲- زمین‌شناسی ساختمانی و تکنوتیک منطقه ۱۱
۱-۷- هیدرولوژی منطقه ۱۴
۱-۸- هیدروژئولوژی منطقه ۱۴

فصل ۲- مروری بر مطالعات انجام شده

۲-۱- مقدمه ۱۵
۲-۲- ساختمان قنات ۱۶
۲-۳- شناخت آب زیرزمینی به منظور احداث قنات ۲۱
۲-۳-۱- شناخت آب زیرزمینی از طریق شناخت منطقه ۲۱
۲-۳-۲- شناخت از طریق پوشش گیاهی، جانداران و حشرات ۲۲
۲-۳-۳- شناخت از روی سنگ و شکل زمین ۲۲
۲-۳-۴- شناخت آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های جدید ۲۳
۲-۴- تقسیم‌بندی قنات‌ها ۲۳
۲-۴-۱- تقسیم‌بندی قنات‌ها بر اساس فرم و ساختمان قنات ۲۳
۲-۴-۲- تقسیم‌بندی قنات‌ها بر اساس وضعیت توپوگرافی ۲۵
۲-۴-۳- تقسیم‌بندی قنات‌ها بر اساس چگونگی وضعیت قرارگیری آن‌ها ۲۷
۲-۵- آبدهی قنات‌ها ۲۸
۲-۶- مقایسه قنات با چاه ۳۲
۲-۶-۱- محاسن و مزایای قنات ۳۲
۲-۶-۲- معایب و اشکالات قنات ۳۴
۲-۷- کیفیت آب قنات ۳۵

۲-۸- مدیریت قنات‌ها ۳۷
۲-۸-۱- حفاظت قنات ۳۸
۲-۸-۲- لایروبی ۴۰
۲-۸-۳- حفظ حریم قنات ۴۱
۲-۸-۴- ذخیره سازی در ماه‌های سرد ۴۲
۲-۸-۵- تغذیه مصنوعی در قنات ۴۴

فصل ۳- روش انجام تحقیق و مطالعات

۳-۱- مقدمه ۴۸
۳-۲- نمونه‌برداری ۴۹
۳-۳- اندازه‌گیری آبدهی قنات (دبی) ۵۰
۳-۴- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ۵۲
۳-۵- اندازه‌گیری اسیدیته ۵۳
۳-۶- اندازه‌گیری درجه حرارت آب ۵۳
۳-۷- اندازه‌گیری یون‌های اصلی ۵۴
۳-۸- اندازه‌گیری خصوصیات بیولوژیکی آب قنات ۵۴
۳-۸-۱- نحوه نمونه‌گیری از آب قنات به منظور آنالیز بیولوژیکی ۵۴
۳-۸-۲- اندازه‌گیری خصوصیات بیولوژیکی آب در آزمایشگاه ۵۵
۳-۹- مشخص کردن موقعیت قنات‌ها بر روی نقشه زمین شناسی و تعیین حوضه آبگیر آن‌ها ۵۷

فصل ۴- بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی قنات‌های منطقه میامی

۴-۱- مقدمه ۵۸
۴-۲- مشخص کردن موقعیت قنات‌ها بر روی نقشه زمین شناسی و تعیین حوضه آبگیر آن‌ها ۵۹
۴-۳- تهیه شناسنامه قنات‌های منطقه ۶۱
۴-۴- مقطع توپوگرافی مسیر قنات‌ها ۶۲
۴-۵- تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی قنات‌های میامی ۶۳
۴-۵-۱- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و آبدهی قنات‌ها ۶۳
۴-۵-۲- بررسی هیدروگراف قنات ۷۱
۴-۵-۳- بررسی آبدهی قنات‌ها ۷۵
۴-۵-۴- مقایسه کیفیت آب در بالادست و پائین‌دست قنات ۷۶
۴-۵-۵- بررسی تغیرات زمانی دبی و درجه حرارت ۷۷
۴-۵-۶- بررسی تغییرات زمانی اسیدیته (PH) ۸۱

۴-۶- اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی قنات‌های منطقه مورد مطالعه ۸۱
۴-۶-۱- بررسی تیپ آب زیرزمینی با استفاده از نمودار استیف ۹۵
۴-۶-۲- بررسی زون‌های غالب یونی آب زیرزمینی با استفاده از نمودار پایپر ۹۶
۴-۶-۳- طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی ۹۷
۴-۶-۴- طبقه‌بندی آب از لحاظ شرب ۹۹
۴-۶-۵- بررسی سختی در قنات‌های مورد مطالعه ۱۰۰
۴-۶-۶- نسبت جذب سدیم ۱۰۲
۴-۶-۷- درصد سدیم ۱۰۳
۴-۷- آنالیز بیولوژیکی آب قنات‌ها ۱۰۳

فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۰۵
۵-۱-۱- نتایج به دست آمده از آنالیز شیمیایی قنات‌های مورد مطالعه ۱۰۵
۵-۱-۲- نتایج به دست آمده از بررسی خصوصیات فیزیکی قنات‌ها ۱۰۸
۵-۱-۳- نتایج حاصله از بررسی آلودگی بیولوژیکی قنات‌ها ۱۱۰
۵-۲- پیشنهادها ۱۱۰

منابع مورد استفاده ۱۱۱

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱- میزان بارش و تبخیر سالانه و میانگین درجه حرارت ماهانه در یک دوره آماری ۲۶ ساله ۴
جدول ۱-۲- میانگین ماهانه بارندگی، تبخیر و درجه حرارت طی یک دوره آماری ۲۲ ساله در ایستگاه حسین‌آباد میامی از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۸ ..... ۵
جدول ۴-۱- مساحت حوضه آبگیر و لیتولوژی های غالب در قنات‌های منطقه ۶۱
جدول ۴-۲- شناسنامه قنات‌های منطقه ۶۱
جدول ۴-۳- آمار بارندگی روزانه در سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۸ بر حسب میلی‌متر ۶۴
جدول ۴-۴- مقادیر دبی (لیتر بر ثانیه) در قنات‌های مورد مطالعه و میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات آن‌ها ۶۵
جدول ۴-۵- مقادیر هدایت الکتریکی (میکروموهس بر سانتی‌متر) در قنات‌های مورد مطالعه و میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات آن‌ها ۶۶
جدول ۴-۶- مقادیر شیب به دست آمده از منحنی فرود در قنات‌های مختلف ۷۲
جدول ۴-۷- مقادیر اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی در بالادست و پائین‌دست در قنات‌های مختلف ۷۶
جدول ۴-۸- میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات و مقادیر درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) در قنات‌های مورد مطالعه ۷۹
جدول ۴-۹- میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات و مقادیر اسیدیته در قنات‌های مورد مطالعه . ۸۲
جدول ۴-۱۰- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات زیدر بر حسب ppm ۸۴
جدول ۴-۱۱- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات ابراهیم‌آباد بر حسب ppm ۸۴
جدول ۴-۱۲- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات میامی بر حسب ppm ۸۵
جدول ۴-۱۳- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات پنفتنی بر حسب ppm ۸۵
جدول ۴-۱۴- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات آب‌مرجان بر حسب ppm ۸۶
جدول ۴-۱۵- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات محمدآباد بر حسب ppm ۸۶
جدول ۴-۱۶- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات جودانه بر حسب ppm ۸۷
جدول ۴-۱۷- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات کال‌سپیدار بر حسب ppm ۸۷
جدول ۴-۱۸- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات نرم‌پشته بر حسب ppm ۸۸
جدول ۴-۱۹- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات ارمیان بر حسب ppm ۸۸
جدول ۴-۲۰- میانگین مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در هفت دوره اندازه‌گیری بر حسب ppm ۸۹
جدول ۴-۲۱- پارامترهای محاسبه شده در قنات زیدر ۸۹
جدول ۴-۲۲- پارامترهای محاسبه شده در قنات ابراهیم‌آباد ۹۰
جدول ۴-۲۳- پارامترهای محاسبه شده در قنات میامی ۹۰

جدول ۴-۲۴- پارامترهای محاسبه شده در قنات پنفتنی ۹۱
جدول ۴-۲۵- پارامترهای محاسبه شده در قنات آب‌مرجان ۹۱
جدول ۴-۲۶- پارامترهای محاسبه شده در قنات محمدآباد ۹۲
جدول ۴-۲۷- پارامترهای محاسبه شده در قنات جودانه ۹۲
جدول ۴-۲۸- پارامترهای محاسبه شده در قنات کال‌سپیدار ۹۳
جدول ۴-۲۹- پارامترهای محاسبه شده در قنات نرم‌پشته ۹۳
جدول ۴-۳۰- پارامترهای محاسبه شده در قنات ارمیان ۹۴
جدول ۴-۳۱- پارامترهای محاسبه شده در میانگین هفت دوره اندازه‌گیری ۹۴
جدول ۴-۳۲- طبقه‌بندی آب از لحاظ کشاورزی ۹۸
جدول ۴-۳۳- تقسیم بندی آب بر اساس سختی کل ۱۰۱
جدول ۴-۳۴- خطر SAR در آب‌های آبیاری ۱۰۲
جدول ۴-۳۵- نتایج آنالیز بیولوژیکی در قنات‌های مورد بررسی ۱۰۴

فهرست شکل‌ها

۱-۱- راه‌های ارتباطی به منطقه مورد مطالعه ۳
۱-۲- نمایی از کوه‌های میامی ۶
۱-۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۱۳
۳-۱- روش استفاده از مولینه ۵۱
۳-۲- نحوه استفاده از هدایت سنج الکتریکی ۵۳
۴-۱- موقعیت قنات‌های منطقه میامی و حوضه آبگیر آن‌ها ۵۹
۴-۲- نمایی از مظهر قنات‌های منطقه مورد مطالعه ۶۰
۴-۳- مقطع توپوگرافی قنات‌های منطقه مورد مطالعه ۶۲
۴-۴- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی در قنات‌های منطقه مورد مطالعه ۷۳
۴-۵- منحنی فرود قنات‌های مورد مطالعه ۷۴
۴-۶- نحوه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در بالادست یکی از قنات‌های منطقه ۷۶
۴-۷- تغییرات زمانی دبی و درجه حرارت در قنات‌های مورد مطالعه ۸۰
۴-۸- تغییرات زمانی اسیدیته در قنات‌های مورد مطالعه ۸۳
۴-۹- نمودار استیف مربوط به هفت دوره اندازه‌گیری ۹۵
۴-۱۰- نمودار پایپر مربوط به هفت دوره اندازه‌گیری ۹۷
۴-۱۱- نمودار ویلکوکس جهت تعیین کیفیت آب آبیاری در قنات‌های منطقه ۹۸
۴-۱۲- نمودار شولر قنات‌های میامی ۹۹
۴-۱۳- نمودار نیمه لگاریتمی غلظت یون‌ها ۱۰۰

فصل اول

کلیات

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام مطالعه

بحران آب امروزه نه تنها در کشور ما که در بسیاری از مناطق دنیا که از نظر آب و هوایی همانند ایران در منطقه خشک و نیمه خشک قرار گرفته‌اند، مسئله ساز بوده و هست. با توجه به کمبود منابع آب سطحی و میزان کم بارش سالانه در این مناطق توجه به آب‌های زیرزمینی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. از آن جایی که در بسیاری از مناطق خشک سفره‌های عمیق و پر آب ممکن است وجود نداشته باشد، برای دستیابی به مقدار مناسبی از آب زیرزمینی یکی از شیوه‌های مناسب حفر قنات است. این مطلب به خصوص در نقاطی که حوضه آبگیر بالادست وسعت اندکی را شامل می‌شود از اهمیت بالایی برخوردار است. منطقه میامی کم و بیش چنین شرایطی را شامل می‌شود.

در این تحقیق، چند رشته از قنات‌های موجود در منطقه میامی (شامل قنات‌های زیدر، ابراهیم آباد، ارمیان، میامی، پنفتنی، آب‌مرجان، محمدآباد، جودانه، کال‌سپیدار و نرم‌پشته) مورد بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی قرار گرفت. به این ترتیب اثر سازندهای زمین‌شناسی، ساختمان قنات بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب قنات مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

علاوه بر این سعی شده است که به سوالاتی هم چون سوالات زیر پاسخ داده شود:

۱- کیفیت شیمیایی و بیولوژیکی قنات تحت تأثیر چه عواملی است؟

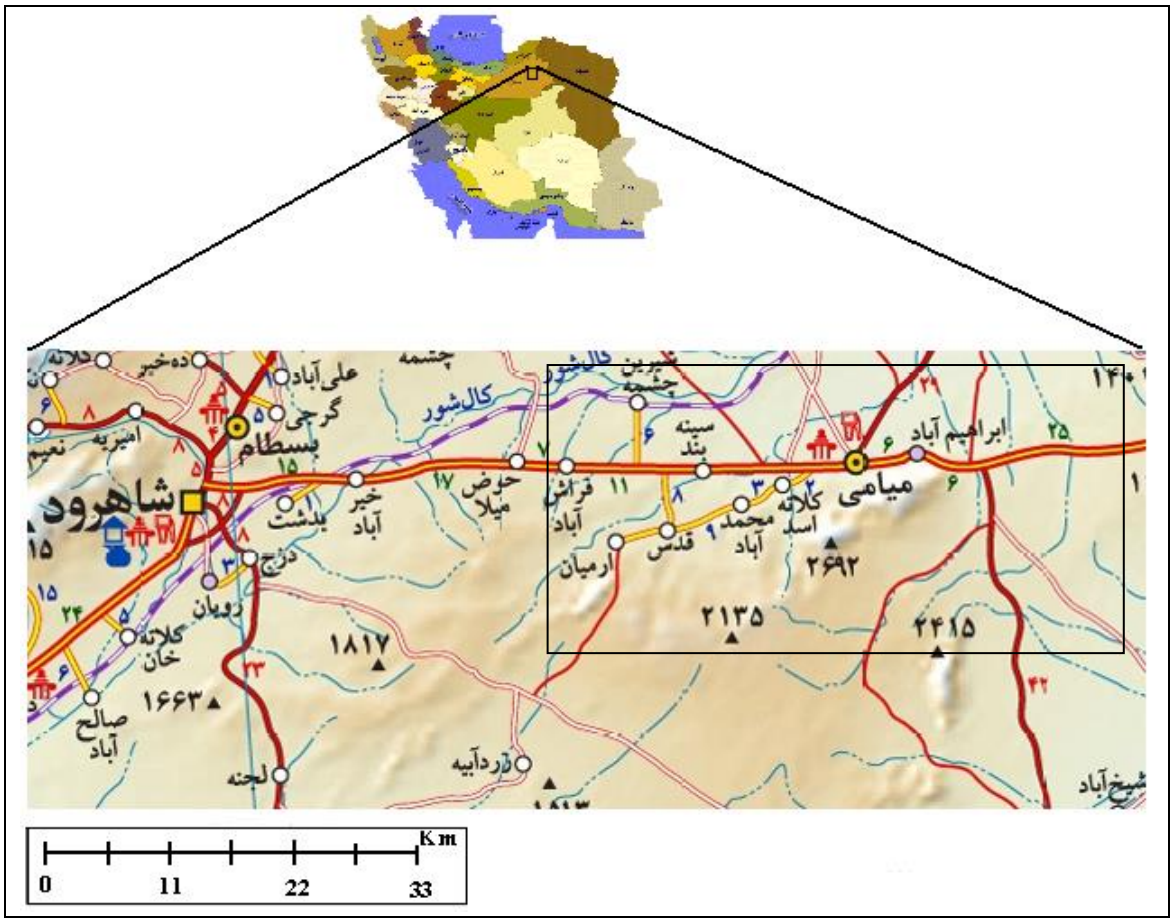
۲- آبدهی قنات و تغییرات آن تابع چه عواملی است؟

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی به منطقه مورد مطالعه

میامی یکی از بخش‌های شهرستان شاهرود در استان سمنان است. این بخش در ۶۵ کیلومتری شرق شاهرود و در طول جغرافیایی '۲۳ °۵۵ تا '۴۵ °۵۵ و عرض جغرافیایی '۱۶ °۳۶ تا '۲۵ °۳۶ واقع شده است. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا حدود ۱۱۰۰ متر می‌باشد. جاده اصلی شاهرود- مشهد و جاده آسفالته میامی به بیارجمند از مهم‌ترین راه‌های ارتباطی به منطقه است و جاده‌های بین روستایی و بین مراکز دامداری هم جهت دستیابی به منطقه به طور پراکنده وجود دارند. شکل (۱-۱) راه‌های ارتباطی به منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۱-۳- جغرافیای انسانی

مناطق مسکونی مهم منطقه شامل بخش میامی و روستاهای ابراهیم‌آباد، کلاته‌اسد، محمدآباد، جودانه، قدس و ارمیان می‌باشد. شغل اکثر مردم کشاورزی و دامداری است. آب مورد نیاز کشاورزی از قنات‌ها و چاه‌های عمیق به دست می‌آید. به علت خشکسالی چند سال اخیر آب اکثر قنات‌ها کم شده و بعضاً نیز خشک شده‌اند. این پدیده باعث مهاجرت بعضی از روستائیان به شهر و کاسته شدن از جمعیت روستاها شده است. کشت غالب منطقه شامل جو، گندم، پنبه، فلفل، سیب زمینی، عدس و ... است.



شکل ۱-۱- راه‌های ارتباطی به منطقه مورد مطالعه

۱-۴- آب و هوا و پوشش گیاهی

این منطقه در حاشیه کویر قرار گرفته و دارای آب و هوای خشک تا نیمه خشک است. از همین رو، استان سمنان همواره با کمبود آب روبه‌رو است و بیشتر آب خود را از منابع زیرزمینی تامین می‌کند. وزش بادهای شدید در قسمت اعظم سال به خصوص در زمستان و بهار از مشخصات این ناحیه است. میانگین بارندگی سالانه و میزان تبخیر در یک دوره ۵ ساله به ترتیب ۹۳/۵ میلی‌متر و ۲۲۱۹/۶ میلی‌متر می‌باشد. درجه حرارت در روزهای تابستان گاهی به ۴۵ درجه و حتی بیشتر هم می‌رسد حال آن که در شب هوا سرد است. بخش قابل توجهی از آب شرب و مورد نیاز کشاورزی از قنات‌ها به دست می‌آید. گیاهانی که در این منطقه می‌رویند، اغلب بوته‌ای بوده و به ندرت درختچه‌ای هستند. به علت بارندگی کم و هوای گرم، رودهای منطقه بیشتر حالت مسیل دارند. میزان بارش و تبخیر سالانه

و همچنین میانگین درجه حرارت ماهانه در یک دوره آماری ۲۶ ساله در جدول (۱-۱) ارائه شده است. علاوه براین، میانگین بارش، تبخیر و درجه حرارت به صورت ماهانه در یک دوره آماری ۲۲ ساله در جدول (۱-۲) نشان داده شده است.

جدول ۱-۱- میزان بارش و تبخیر سالانه و میانگین درجه حرارت ماهانه در یک دوره آماری ۲۶ ساله

سال	بارش (میلی‌متر)	مجموع تبخیر (میلی‌متر)	درجه حرارت (°C)
۱۳۶۲-۱۳۶۳	۸۹/۰	-	-
۱۳۶۳-۱۳۶۴	۱۱۵/۵	۱۱۰۷/۰	-
۱۳۶۴-۱۳۶۵	۱۲۲/۰	۱۵۱۷/۲	۱۴/۲
۱۳۶۵-۱۳۶۶	۱۱۷/۴	-	-
۱۳۶۶-۱۳۶۷	۸۰/۲	۲۱۴۹/۲	-
۱۳۶۷-۱۳۶۸	۲۸/۵	۲۲۱۸/۰	-
۱۳۶۸-۱۳۶۹	۴۳/۰	۲۶۳۹/۳	۱۵/۵
۱۳۶۹-۱۳۷۰	۲۷/۰	۱۶۱۷/۸	۱۴/۲
۱۳۷۰-۱۳۷۱	۳۴/۰	۸۳۷/۳	۵/۶
۱۳۷۱-۱۳۷۲	۵۰/۵	۹۴۷/۷	۱۴/۱
۱۳۷۲-۱۳۷۳	۸۸/۵	۱۰۴۰/۵	۱۵/۵
۱۳۷۳-۱۳۷۴	۱۴۵/۰	۱۵۳۲/۵	۱۴/۷
۱۳۷۴-۱۳۷۵	۸۵/۰	۱۳۷۹/۴	۱۳/۹
۱۳۷۵-۱۳۷۶	۲۸/۰	۱۴۱۰/۵	۱۳/۹
۱۳۷۶-۱۳۷۷	۹۵/۰	۱۹۰۴/۴	۱۶/۷
۱۳۷۷-۱۳۷۸	۲۸/۰	۱۲۲۷/۳	۲۰/۳
۱۳۷۸-۱۳۷۹	۵۲/۵	۱۲۶۴/۳	۱۵/۴
۱۳۷۹-۱۳۸۰	۳۷/۰	۱۳۳۲/۰	۱۷/۵
۱۳۸۰-۱۳۸۱	۷۸/۵	۲۶۹۲/۱	۱۶/۸
۱۳۸۱-۱۳۸۲	۷۷/۵	۲۱۴۹/۶	۱۵/۵
۱۳۸۲-۱۳۸۳	۹۲/۵	۲۷۷۷/۷	۱۵/۹
۱۳۸۳-۱۳۸۴	۸۵/۵	۲۹۴۴/۴	۱۵/۵
۱۳۸۴-۱۳۸۵	۱۰۶/۰	۲۷۸۸/۹	۱۴/۸
۱۳۸۵-۱۳۸۶	۱۰۳/۰	۲۸۸۳/۶	۱۴/۶
۱۳۸۶-۱۳۸۷	۸۶/۰	۲۲۱۷/۰	۱۴/۵
۱۳۸۷-۱۳۸۸	۱۴۶/۰	۱۶۸۴/۶	-

جدول ۱- ۲- میانگین ماهانه بارندگی، تبخیر و درجه حرارت طی یک دوره آماری ۲۲ ساله
در ایستگاه حسین‌آباد میامی از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۸

ماه	بارش (میلی‌متر)	تبخیر (میلی‌متر)	درجه حرارت (°C)
مهر	۲/۹	۱۴۱/۲	۱۶/۳
آبان	۴/۷	۸۴/۴	۱۱/۱
آذر	۸/۶	۲۲/۶	۵/۱
دی	۶/۷	۶/۱	۱/۹
بهمن	۱۰/۳	۹/۷	۳/۶
اسفند	۱۰/۷	۳۰/۸	۷/۴
فروردین	۱۷/۲	۱۱۹/۵	۱۲/۱
اردیبهشت	۸/۷	۲۰۶/۷	۱۷/۹
خرداد	۴/۶	۲۵۹/۲	۲۲/۱
تیر	۰/۷	۳۱۳/۲	۲۶/۴
مرداد	۱/۱	۲۹۱/۶	۲۵/۷
شهریور	۲/۰	۲۳۶/۳	۲۳/۰

۱-۵- ژئومورفولوژی منطقه

منطقه مورد مطالعه از نظر توپوگرافی نسبتاً مرتفع بوده و ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا حدود ۱۱۰۰ متر است. نقاط مرتفع‌تر به طرف جنوب و زمین‌های پست و کم ارتفاع به طرف شمال منطقه واقع شده‌اند. با توجه به تنوع در ترکیب نهشته‌ها، نوع فرسایش و گسترش واحدهای سنگی یکسان نیستند. سنگ‌های آهکی کرتاسه و سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی ائوسن بخش‌های مرتفع و سنگ‌های سست (مارن و ماسه سنگ) نئوژن نواحی پست منطقه را درست کرده‌اند (نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور). از ارتفاعات مهم ناحیه می‌توان کوه‌های قبله و میامی به ترتیب با ارتفاع ۲۶۰۰ و ۲۴۱۷ متر را نام برد. شکل آبراهه‌های منطقه به تبعیت از شیب توپوگرافی منطقه عمدتاً موازی هم بوده و در مناطق کم ارتفاع به هم

می‌پیوندند، در مناطقی که توپوگرافی مرتفعی دارند گاه دره‌هایی با شیب تند دیده می‌شود. شکل (۱-۲) نمایی از ارتفاعات منطقه میامی را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۲- نمایی از کوه‌های میامی

۱-۶- زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در بخش انتهایی شمال شرق ایران مرکزی و در شرق استان سمنان در قسمت شرقی نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی قرار دارد. در این منطقه سازندهای مختلفی از ژوراسیک تا عهد حاضر رخنمون دارند. این سازندها به طور عمده عبارتند از: سازندهای آهکی و آهکی ماسه‌ای اوربیتولین‌دار به رنگ خاکستری تیره به سن کرتاسه زیرین، تناوب ماسه سنگ و شیل همراه با مارن و کنگلومرا به سن ائوسن و کنگلومرای قهوه‌ای زرد رنگ به سن نئوژن که در جنوب منطقه رخنمون دارند و در شمال واحدهای سنگی مذکور ردیفی از آبرفت‌های عهد حاضر رخنمون پیدا کرده‌اند. شکل

(۱-۳) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در بخش‌های زیر چینه‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی منطقه به طور مختصر ارائه می‌شوند:

۱-۶-۱- چینه‌شناسی منطقه

واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه در برگیرنده ردیفی از سنگ‌های ژوراسیک تا کرتاسه و حجم قابل توجهی از نهشته‌های رسوبی و آتشفشانی ائوسن و سرانجام نهشته‌های نئوژن و کواترنر می‌باشد. علاوه بر این چند توده آذرین در میان سنگ‌های منطقه نفوذ کرده است و باعث دگرگونی گرمایی آن‌ها شده است.

بر اساس گزارش زمین‌شناسی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی و بسطام، واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه از قدیم به جدید به شرح زیر می‌باشند.

الف- واحدهای سنگی دوران مزوزوئیک

۱) واحدهای سنگی ژوراسیک: نهشته‌های ژوراسیک به طور عمده، در جنوب غرب شهر میامی رخنمون دارد. این نهشته‌ها به دلیل زمین‌ساخت شدیدی که منطقه را تحت تاثیر قرار داده است به طور کامل چین خورده و در بخش‌هایی تحت تاثیر توده‌های آذرین، دگرگونی مجاورتی را متحمل شده‌اند. فعالیت دگرگونی در دوره ژوراسیک بیشتر معلول فاز سیمرین پسین در ژوراسیک پایانی است (خسرو تهرانی ۱۳۸۴). نهشته‌های ژوراسیک در منطقه مورد مطالعه از واحدهای مختلفی تشکیل شده است که عبارتند از: تناوب شیل و ماسه سنگ نازک لایه قهوه‌ای رنگ که تعداد زیادی دایک دیابازی لایه‌های این واحد را قطع می‌کنند. این واحد در جنوب کلاته‌اسد کاملتر رخنمون پیدا کرده است. واحد یاد شده در جنوب کلاته اسد با ناپیوستگی روی کوارتزیت و میکا شیست‌های قدیم با سن نامعلوم جای گرفته است. ضخامت این واحد حدود ۲۰۰ متر تخمین زده می‌شود. از دیگر واحدهایی که دارای گسترش قابل توجهی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد از لایه‌های کنگلومرا در تناوب با ماسه

سنگ و شیل پدید آمده است که در بخش‌هایی تبدیل به یک ماسه سنگ سبز تیره ضخیم لایه می‌شود. قطعات فراوانی از فاز گرانیت عبداله آباد (g_1) در کنگلومرای این واحد یافت می‌شود. این واحد تحت تاثیر حرارت فاز بیوتیت گرانیت (g_2) دگرگون شده است. جوان‌ترین بخش ژوراسیک را آهک‌های مارنی سبز روشن ورقه ورقه با میان لایه‌های ماسه سنگ قرمز قهوه‌ای تشکیل داده‌اند که به دلیل نزدیکی با گسل میامی به شدت به هم ریخته و چین خورده شده‌اند. و با یک ناپیوستگی هم شیب و اغلب به صورت گسله در زیر آهک‌های اوربیتولین‌دار کرتاسه پائین جای می‌گیرند.

۲) واحدهای سنگی کرتاسه: نهشته‌های کرتاسه در جنوب میامی با ضخامت شایان توجه، ستیغ و قله‌های مرتفع منطقه را می‌سازند. نهشته‌های کرتاسه زیرین گسترش و ضخامتی بیش از رسوبات کرتاسه بالایی دارند. از جمله واحدهایی که در دره زیدر رخنمون دارند شامل تناوب شیل، مارن با میان لایه‌هایی از آهک ورقه ورقه و آهک متبلور و برشی شده است. ارتباط و وابستگی آن با سایر واحدها تماماً گسله است و تحت تاثیر تکتونیک شدید منطقه در بیشتر جاها چین خورده و دگرگون شده است و با توجه به فسیل‌های موجود در مارن‌ها سن کرتاسه بالایی برای آن‌ها معلوم شده است. سنگ آهک‌های اربیتولین‌دار کرتاسه پائینی، یکی از شاخص‌ترین واحدهای ایران مرکزی است که اغلب با ریف‌های آواری سرخ رنگ آغاز و به طور پیشرونده و گاه دگرشیب سنگ‌های کهن‌تر را می‌پوشاند. رخساره سنگی کربنات‌های اوربیتولین‌دار ایران مرکزی نشانگر محیط‌های دریایی گرم با ژرفای کم می‌باشد و گاهی نشانگر محیط‌های ریفی است (آقا نباتی ۱۳۸۵). سنگ آهک اوربیتولین‌دار موجود در منطقه گسترشی شایان توجه دارد و بیشتر قله‌های مرتفع منطقه از آهک‌های ضخیم لایه این واحد ساخته شده است. آغاز این واحد با سنگ آهک مارنی خاکستری روشن نازک لایه است که سپس به سنگ آهک دانه شکری و متبلور زرد ضخیم لایه تبدیل می‌شود و با توجه به فسیل‌های موجود، سن آن کرتاسه زیرین (آپسین- آلبین) تعیین شده است.

ب- واحدهای سنگی دوران سنوزوئیک

۱) واحدهای سنگی ائوسن: در ناحیه میامی نهشته‌های ائوسن بیشتر از سنگ‌های رسوبی تشکیل شده است و مقدار کمتری سنگ‌های آتشفشانی وجود دارد. ائوسن زیرین با یک پیشروی گسترده دریا همراه بوده که حاصل آن رسوبات کنگلومرائی، ماسه سنگ و مارنی است که در محدوده مورد مطالعه وجود دارد. در واحد (E^{scm}) (تناوب کنگلومرای ریز دانه، ماسه سنگ و مارن) فسیلی یافت نشد اما در واحد (E^{msa}) (تناوب مارن و ماسه سنگ) لایه مارنی حاوی نومولیت هستند که سن ائوسن زیرین را برای آن‌ها معلوم می‌کند.

۲) واحدهای سنگی نئوژن: واحدهای نئوژن بیشتر رخساره‌های ساحلی و کولابی دارند و در شمال غرب ورقه مورد مطالعه، انباشته‌های کنگلومرائی نئوژن، گسترده شده‌اند. واحد (Ng^{c}) که در محدوده مورد بررسی قرار دارد یک کنگلومرای خاکستری تیره و قهوه‌ای رنگ با قطعاتی به اندازه ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر، گردشدگی خوب، جورشدگی متوسط، لایه بندی متوسط تا ضخیم لایه است که جنس قطعات آن گرانیت، ماسه سنگ، کوارتزیت، سنگ آهک و قطعاتی از یک کنگلومرای دیگر (ائوسن) می‌باشد.

۳) واحدهای سنگی کوارترنر: در بین نهشته‌های کواترنر، نهشته‌های آبرفتی بیشترین سهم را دارند. این‌ها مواد فرسایشی هستند که از دامنه ارتفاعات تا نواحی پست دشت‌ها گسترده شده‌اند و با دور شدن از ارتفاعات درشتی دانه‌ها کاهش می‌یابد (آقا نباتی ۱۳۸۵). واحدهای کواترنری که در این منطقه رخنمون دارند عبارتند از: رسوبات درشت دانه، قلوه سنگ، پاره سنگ و ریگ (پادگانه‌های آبرفتی مرتفع) و آبرفت‌های رودخانه عهد حاضر. انباشته‌های کواترنری (Q^{al}) (آبرفت‌های رودخانه عهد حاضر) جوان‌ترین رسوبات کواترنر است که در کف و حاشیه رودخانه‌های منطقه به صورت ماسه سنگ‌های ریز و درشت دانه و قطعه سنگ‌های سیلابی تشکیل می‌شود.

ج- سنگ‌های دگرگونی منطقه

سنگ‌های دگرگونی به گونه‌ای محدود در منطقه مورد مطالعه رخنمون دارند. از واحدهای دگرگونی موجود در منطقه کالک شیست سبز روشن همراه با فیلیت و اسلیت در تناوب با آهک متبلور برشی شده است که در امتداد دره زیدر قرار گرفته است. به دلیل نزدیکی این واحد به گسل میامی در بعضی قسمت‌ها به طور کامل خورد شده است و از آهک متبلور برشی شده قرمز رنگ در تناوب با کالک شیست سبز روشن همراه با اسلیت و فیلیت تشکیل شده و با توجه به خصوصیات چینه‌شناسی احتمال داده می‌شود که سن ژوراسیک داشته باشد. علاوه بر این، در امتداد دره‌ای که قنات‌های نرم‌پشته و کال‌سپیدار حفر شده‌اند، واحدهای سنگی ماسه سنگ و کنگلومرای دگرگون شده، اسلیت، فیلیت همراه با آهک متبلور شده به سن ژوراسیک بالایی رخنمون دارد.

د- سنگ‌های نفوذی منطقه

در محدوده مورد بررسی سنگ‌های نفوذی برونزدی محدود را به نمایش می‌گذارند. سنگ‌های آذرین درونی وابسته به ماگماتیسم اواخر مزوزئیک و اوائل سنوزوئیک هستند و به صورت توده‌های کوچک و متوسط در جنوب غرب شهر میامی و جنوب ارمیان نمایان شده‌اند. واحدهای نفوذی منطقه از قدیم به جدید به صورت اجمال معرفی شده‌اند.

۱) واحد گرانیت صورتی و قرمز روشن (g_1) : این گروه از سنگ‌های نفوذی در ارتفاعات جنوب باختری شهر میامی برونزد دارند. سنگ‌های آن دارای رنگ سفید روشن‌اند. سنگ‌های گرانیتی این واحد توسط لایه‌های کنگلومرائی ژوراسیک پایانی پوشیده می‌شود ولی جوان‌ترین سنگ‌هایی که توسط این توده بریده می‌شوند در سطح زمین نمایان نیستند از این رو زمان جایگیری این واحد نفوذی به پیش از ژوراسیک پایانی می‌رسد.

۲) واحد بیوتیت گرانیت (g_2) : در اواخر ژوراسیک واحدهای سنگی منطقه تحت تاثیر یک فاز پلوتونیک دیگر قرار گرفته‌اند.

۳) واحد بیوتیت مونزونیت (mz) : از دیگر واحدهای نفوذی موجود در منطقه به سن ائوسن زیرین همین واحد بیوتیت مونزونیت می‌باشد.

در نتیجه، در جنوب غرب شهر میامی، سنگ‌های نفوذی واحد بیوتیت گرانیت (g_2) به صورت زبانه‌های پر شمار نفوذی، در میان سنگ‌های گرانیتی واحد (g_1) و رسوبات سخت شده ژوراسیک میانی- پایانی جاگیر شده‌اند و به طور جانبی کنگلومرای دارای قطعات گرانیتی واحد (g_1) توسط توده‌های نفوذی واحد (g_2) دگرگون شده‌اند.

۱-۶-۲- زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه

در این بخش به گسل‌ها و سیستم شکستگی‌های منطقه و همچنین چین خوردگی‌های منطقه پرداخته می‌شود:

الف) گسل‌های منطقه

منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیم بندی‌های ساختاری جزئی از ایران مرکزی است که در جنوب گسل میامی قرار دارد و مناطق شمال این گسل در محدوده پهنه بینالود است. عناصر اصلی ساختاری ناحیه شامل شکستگی‌ها، گسل‌ها و چین خوردگی‌ها می‌باشند. گسل‌های منطقه عمدتاً دارای سه روند اصلی هستند:

۱- گسل‌های با روند شرقی- غربی

۲- گسل‌های با روند شمال غرب- جنوب شرق

۳- گسل‌های با روند شمال شرق- جنوب غرب

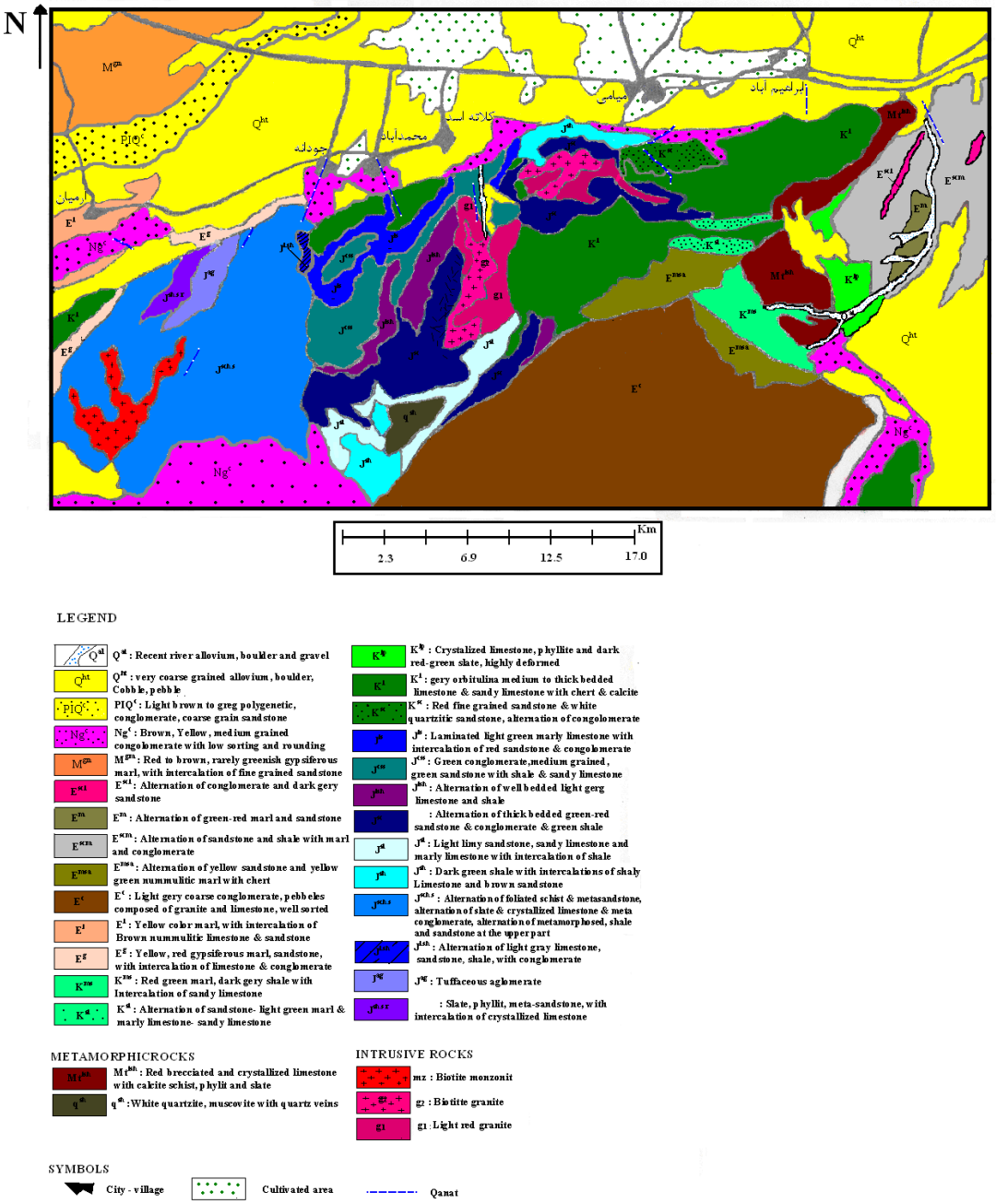
گسل‌های منطقه عمدتاً دارای روند شرقی- غربی هستند. از مهم‌ترین گسل‌هایی که روند شرقی- غربی داشته گسل میامی می‌باشد که جداکننده زون بینالود و البرز شرقی از ایران مرکزی است و دارای مولفه‌های امتداد لغز راستگرد می‌باشد. گسل‌های سکون و شیر مار با روند شمال شرق- جنوب غرب تقریباً به موازات گسل میامی از گسل‌های فرعی منطقه هستند.

و گسل آب آسمانو با روند شمال غرب- جنوب شرق در قسمت شرق محدوده مورد مطالعه قرار گرفته است. از آن‌جایی که گسل میامی جزء مهم‌ترین گسل‌های منطقه می‌باشد به طور مختصر ویژگی‌های آن ذکر می‌شود. این گسل با طول گسلش بیش از ۱۵۰ کیلومتر، پس از بریدن واحدهای سنگی از منطقه مورد مطالعه گذر می‌کند. گسل میامی یک شکستگی واحد نیست در حقیقت یک زون گسله (متشکل از چند گسل به موازات یکدیگر) است. روند کلی گسل میامی $N75E$ می‌باشد. شیب صفحه گسله میامی متغیر و در سطح زمین نزدیک به ۷۵ تا ۸۵ درجه به سمت جنوب است. این گسل دارای مولفه امتداد لغز راستگرد و مولفه شیب لغز از نوع معکوس یا راندگی است که در مجموع می‌توان آن را از نوع گسل‌های اریب لغز[1] معرفی کرد. جابه‌جائی شیب لغز این گسل منجر به بیرون‌زدگی بقایای افیولیتی در اطراف آن شده است.

ب) چین‌خوردگی‌های منطقه

در صفحات بین گسل‌ها، چین‌خوردگی‌های پرشماری را می‌توان مشاهده کرد که بسیاری از آن‌ها کوچک هستند. چین‌خوردگی‌ها از نظر اندازه، توزیع و گسترش بسیار متغیرند و در اغلب موارد به موازات گسل‌های اصلی یا با زاویه کمی نسبت به آن‌ها جای دارند. در اواخر ژوراسیک فاز کوهزایی سیمرین بالائی، منطقه را تحت تاثیر قرار داده و سنگ‌های ژوراسیک را دچار چین‌خوردگی و گاه دگرگونی کرده است.

[1] Oblique fault



شکل ۱-۳- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی و بسطام)

۱-۷- هیدرولوژی منطقه

به علت آب و هوای خشک منطقه مورد مطالعه، هیچ رودخانه دائمی در منطقه وجود ندارد. مسیل‌های مهمی که در بارندگی‌های سیل‌آسا ممکن است در آن‌ها سیل جاری شود به شرح زیر است:

کال شور: از کوه‌های شمال شرقی میامی سرچشمه گرفته و پس از گذشتن از شمال میامی، زمین‌های مسیرش را سیراب می‌کند و وارد کویر می‌شود.

کال زیدر: در شرق زیدر واقع شده است. جهت این آبراهه از جنوب به شمال می‌باشد و در مواقع باران‌های سیل آسا در آن سیل ایجاد می‌شود.

همان طور که بیان شد به علت موقعیت طبیعی، این منطقه فاقد رودخانه دائمی و حتی فصلی بوده و فقط دارای مسیل‌هایی است که ممکن است در مواقع بارندگی‌های شدید در آن‌ها سیل جاری شود.

۱-۸- هیدروژئولوژی منطقه

منطقه میامی از دو قسمت کوه و دشت تشکیل شده است که در بخش کوهستانی آن سنگ‌های آهکی و سخت رخنمون دارند که نواحی کارستی بر روی سنگ آهک‌های آن توسعه پیدا کرده است. اغلب آن‌ها دارای سیستم افشان می‌باشند یعنی اینکه جریان از داخل درزه‌ها و شکاف‌های کوچک با بازشدگی نسبتاً کم (کوچکتر از یک سانتی‌متر) و خلل و فرج به هم پیوسته عبور می‌کند. این نواحی کارستی در جنوب میامی قرار دارند. دشت میامی دارای وسعتی به اندازه ۵۰۴۶/۲۵ کیلومتر مربع است و هدایت الکتریکی آن به طور متوسط ۵۵۳۳ میکروموهس بر سانتی‌متر می‌باشد. جهت جریان در جنوب دشت میامی از جنوب به سمت شمال می‌باشد به عبارت دیگر از ارتفاعات به سمت دشت می‌باشد حال آنکه در غرب میامی جهت جریان از جنوب غرب به سمت شمال شرق است (امور آب شهرستان شاهرود).

فصل دوم

مروری بر مطالعات انجام شده

۲-۱- مقدمه

اولین قنات‌ها در فلات ایران در حدود ۳۰۰۰ سال قبل ساخته شد و سپس در مناطق دور و نزدیک و با نام‌های محلی فوگارا[1]، کاریز[2] و فلج[3] گسترده شدند (Wulff 1968, Stiros 2005). برخی از محققان، یکی از قدیمی‌ترین و بزرگترین اقدام ایرانیان را در زمینه تهیه آب از روزگاران باستان حفر قنات دانسته و ایرانیان را مبتکر آن می‌دانند (پاپلی یزدی ۱۳۷۹).

گوبلو (۱۳۷۱) ضمن بررسی‌ها و تحقیقات مفصلی که در منابع و مأخذ متعدد انجام داد و با مسافرت‌های بسیاری که به مناطق مختلف جهان کرد موفق شد که نحوه گسترش قنات را به طور دقیق مشخص نماید. طبق نظر او قنات ابتدا در شمال غرب ایران و در معادن سرب این نواحی شکل گرفته و بعدها توسط کشاورزان در سال‌های ۸۰۰ ق.م. به بخش مرکزی فلات ایران کشیده شد و از آن جا به سایر نقاط دنیا گسترش یافته است. به عنوان مثال در حدود ۵۰۰ ق.م. ایرانیان این سیستم

[1] foggara
[2] qareez
[3] falaj

را به مصر و در حدود ۷۵۰ ق.م. به اسپانیا و در سال ۱۵۲۰ به آمریکا و به ویژه به لس آنجلس فعلی و در سال ۱۵۴۰به ناحیه پیکا[1] در شیلی منتقل شده است.

بدیهی است که بدون دستیابی به فن قنات زندگی در قسمت‌های زیادی از کره زمین در زمان‌های گذشته امکان نداشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بدون قنات امکان وجود شهرهای بزرگی مانند ری، نیشابور، طوس، مشهد، کاشان، یزد و ... مشکل و حتی غیر ممکن بود. اگر قنات این میراث جاودان ابداع نمی‌شد شاید بسیاری از شهرهای آباد در اطراف کویرهای ایران و عربستان و صحرای آفریقا به وجود نمی‌آمدند.

۲-۲- ساختمان قنات

قنات عبارت است از تونل یا تونل‌های زیرزمینی که با شیب کمتر از سطح زمین در مخروط افکنه‌ها، مناطق کوهستانی و سفره‌های آب زیرزمینی حفر می‌شوند تا آب زیرزمینی را به صورت ثقلی به سطح زمین هدایت نماید. نمود ظاهری قنات در سطح زمین زنجیره‌ای طولانی از چاه‌های قائمی است که به یک یا چند کوره زیرزمینی متصل می‌شوند (گوبلو ۱۳۷۱، شاطری ۱۳۸۳، عنایتی نیا ۱۳۸۳، Lightfoot 1995, Haeri 2003,).

در این بخش به منظور بیان اجزاء تشکیل دهنده ساختمان قنات از منابع مختلفی استفاده شده است. این اجزاء تقریباً در تمامی مراجع به طور یکسانی تعریف شده‌اند که به طور مختصر اشاره خواهند شد. در مطالب ارائه شده از منابع مختلف موجود به عنوان مثال (کرجی قرن پنجم هجری، ترجمه شده از خدیوجم ۱۳۴۵، سجادی ۱۳۶۱، گوبلو ۱۳۷۱، کردوانی ۱۳۷۴، صداقت ۱۳۷۸، بهنیا ۱۳۷۹، پاپلی یزدی ۱۳۷۹، سمسار یزدی و علمدار ۱۳۷۹، صفی‌نژاد ۱۳۷۹، عنایتی نیا ۱۳۸۳، شاطری ۱۳۸۳، Sylvia 2000, Sankaran Nair 2004, Stiros 2005, Salih 2006, Hansen 2007, Bustani 2008 Wulf 1968, Lightfoot 1996,) استفاده شده است.

[1] Pica

ساختمان قنات از اجزای مختلفی تشکیل شده است که البته در همه قنات‌ها مشترک نیستند ولی به طور کلی عبارتند از: گمانه، مادرچاه، میله‌چاه، کوره، مظهر، خشکه‌کار، تره‌کار، پشته، پیشکار، هرنج، پایاب، دستک. البته ساختمان‌هایی از قبیل یخچال، بادگیر، انبار، آسیاب آبی نیز در برخی قنات‌ها دیده می‌شود.

گمانه: برای احداث قنات ابتدا یک یا سه چاه برای تعیین محل سطح ایستابی و اطمینان از وجود آب در شروع کار حفر می‌کنند که به این چاه‌های آزمایشی اصطلاحاً گمانه می‌گویند. در صورت داشتن شرایط فوق این چاه به عنوان مادرچاه قنات در نظر گرفته می‌شود.

مادرچاه: عمیق‌ترین چاه قنات مادرچاه قنات نامیده می‌شود. که در زیر سطح ایستابی قرار دارد. به عبارت دیگر، آخرین چاه در دامنه کوهستان است که مجرای زیرزمینی به آن ختم می‌شود. در واقع منبع اصلی تغذیه قنات محسوب می‌شود از این رو از اهمیت خاصی برخوردار است. هنگامی که مادرچاه به عمق مطلوب رسید تعدادی کوره کوچک در اطراف آن به شکل ضربدر حفر می‌کنند تا آب را از قسمت‌های مختلف به سمت مادرچاه بکشاند. عمق مادرچاه‌ها از چند متر تا حدود ۴۰۰ متر متغیر است که بستگی به وضعیت منبع آب زیرزمینی دارد.

میله چاه: میله چاه‌های قنات از قسمت‌های اساسی قنات‌ها هستند به منظور خارج کردن مواد کنده شده، فراهم کردن تهویه مناسب برای مقنی‌ها (هوادهی)، ارتباط با سطح زمین و در نهایت تعمیر و لایروبی قنات‌ها که در حکم زندگی دوباره می‌باشد، حفر شده‌اند. در ضمن این میله‌ها برای کنترل مسیر قنات از بالا نیز ضروری به نظر می‌رسند. فاصله بین دو میله چاه معمولاً بر اساس عمق قنات و میزان جریان هوا می‌باشد. در منابع مختلف این فاصله متفاوت می‌باشد به طور مثال فاصله آن‌ها از ۱۵ تا ۲۰ متر (کردوانی ۱۳۷۴، عنایتی نیا ۱۳۸۳، Sylvia 2000)، ۲۰ تا ۳۵ متر (Boustani 2008) و حتی ۵۰ تا ۱۰۰ متر (Sankaran Nair 2004) ذکر شده است. البته اگر تپه یا رودخانه‌ای در مسیر

باشد فاصله آن به ۲۰۰ متر هم می‌رسد. عمق میله‌ها بر اساس عمق تونل تغییر می‌کند و با نزدیک شدن به مادرچاه بیشتر می‌شود.

کوره (تونل): یکی از چند بخش عمده و اصلی قنات می‌باشد که وظیفه آن انتقال آب از مادرچاه به مظهر می‌باشد. شیب تونل باید ملایم و یکنواخت باشد در حدی که موجب فرسایش کف نشود. مقدار این شیب در منابع مختلف متفاوت است به عنوان مثال وولف (Wulff 1968) مقدار این شیب را ۱:۵۰۰ تا ۱:۱۵۰۰ ذکر می‌کند در حالی که گوبلو (۱۳۷۱) مقدار آن را ۱:۳۰۰۰ بیان می‌کند. در حقیقت شیب تونل کمتر از شیب سطح زمینی است که قنات در آن احداث شده است و سجادی (۱۳۶۱) مقدار آن را در قسمت آبده بین صفر تا پنج در هزار و در قسمت خشکه‌کار بین پنج تا دو در هزار در نظر می‌گیرد. از نظر بهنیا (۱۳۷۹) بهترین شرایط برای حفر قنات به صورت زیر می‌باشد:

شیب سطح زمین > شیب سطح ایستابی > شیب کف کوره

ابعاد مربوط به ارتفاع و عرض تونل تقریباً در تمام ایران یکسان است و معمولاً در حدود ۶۰ سانتی‌متر در ۱۲۰ سانتی‌متر می‌باشد. اما در زمین‌های سست این ابعاد به علت لایروبی بزرگتر است و معروف است در گناباد یک اسب سوار می‌تواند سوار بر اسبش از داخل مجرای قنات عبور نماید. لازم به ذکر است اگر خاک زمینی که قنات در آن حفر شده است سست نباشد می‌توان ابعاد تونل‌های آن را کمی بزرگتر در نظر گرفت اما در زمین‌های نرم هرچه که ابعاد تونل تنگ‌تر باشد بهتر است و شکل آن ترجیحاً مدور باشد.

مظهر: محلی است در ابتدای خشکه‌کار قنات که آب در سطح زمین ظاهر می‌شود. این محل معمولاً در مجاورت روستا یا در میدان اصلی روستا قرار گرفته است تا به راحتی مورد استفاده مردم قرار بگیرد و از نظر کنترل استفاده از آب (حق آب) بسیار مهم است و به خوبی از آن محافظت می‌شود.

تره‌کار: فاصلهٔ بین مادرچاه قنات تا محل تلاقی کف تونل با سطح ایستابی را تره‌کار می نامند. این قسمت در زیر سطح ایستابی قرار دارد و آب از کف آن تراوش می‌کند، به این قسمت آبده قنات نیز می‌گویند و دبی قنات مستقیماً به این منطقه بستگی دارد.

خشکه‌کار: قسمتی از تونل قنات می‌باشد که از محل تقاطع کف با سطح ایستابی تا مظهر ادامه دارد. این منطقه بالای سطح ایستابی قرار دارد و ممکن است آب از کف آن به زمین نفوذ کند. به عبارت دیگر بخشی از تونل قنات است که صرفاً به عنوان یک گالری وظیفه هدایت و انتقال آب را به مظهر قنات به عهده دارد.

پشته: حد فاصل بین دو میله قنات را پشته می‌نامند. خاک و مواد کنده شده از درون قنات را به دور دهانه چاه‌ها جمع می‌کنند و تپه کوچکی ایجاد می‌شود که چاه را از ورود سیلاب، رسوب و آلاینده-های دیگر به درون آن محافظت می‌کند.

پیشکار: امتداد قنات بعد از مادرچاه به سمت بالا را پیشکار قنات می‌گویند. که در صورت پیشکارکنی هر چاه که اضافه شود به عنوان مادرچاه جدید در نظر گرفته می‌شود. البته از نظر بعضی از محققین پیشکار معادل کوره می‌باشد.

پایاب: قسمتی از تونل که از زیر مناطق مسکونی عبور می‌کند و به وسیلهٔ یک راهرو شیبدار با پله-هائی به سطح متصل می‌شود و محلی است که غالباً روستائیان برای شستن لباس‌ها و ظروف با آب قنات از آن استفاده می‌کنند. البته پایاب معادل سر به طاق در قمش‌های خوزستان (قنات‌های مجاور رودخانه) می‌باشد.

هرنج: کانال یا مجرای آبرسانی روبازی است که وظیفه هدایت و انتقال آب را از مظهر قنات به محلی که آب باید از آن استفاده شود عهده‌دار می‌باشد. این کانال روباز هرنج یا هرهنج نامیده می‌شود.

دستک: کوره‌های فرعی منشعب از کوره اصلی که برای تشخیص جنس خاک و یافتن زهکشی بیشتر توسط مقنی حفر می‌شوند را دستک می‌گویند.

علاوه بر اجزاء فوق الذکر که جزء قسمت‌های اصلی قنات محسوب می‌شوند، اجزائی از قبیل یخچال، بادگیر، انبار و ... وجود دارند که در تمام قنات‌ها رایج نیستند و تنها در تعداد معدودی از قنات‌ها مشاهده می‌شوند که به طور مختصر ارائه می‌گردند.

یخچال: در طول زمستان مقادیر بالای یخ را از کوهستان آورده و در یک فضای زیرزمینی بزرگ با دیواره‌های عایق‌دار ضخیم که متصل به قنات است ذخیره می‌کنند که مجهز به یک سیستم بادگیر به منظور پائین نگه داشتن دمای درون این فضا در تابستان می‌باشد.

بادگیر: در بعضی از شهرها نظیر یزد، آب قنات در تونل‌هایی زیر مناطق مسکونی جریان دارد و به منظور رسیدن به این تونل‌ها پلکان‌هائی در نظر گرفته شده است. در خانه ثروتمندان اتاق‌هایی کروی در کنار تونل این قنات‌ها همراه با چاه‌های بلندی که دو برج بالای آن‌ها می‌باشد ساخته شده است. بادگیر توسط این دو برج که به سمت بادهای غالب تابستان است باد را به درون چاه وارد می‌کند، باد در سطح آب می‌چرخد و دمای آن کاهش می‌یابد و در نتیجه پناهگاهی سرد را در بعد از ظهر گرم تابستان فراهم می‌کند.

انبار: مخازن کوچکی در دهانهٔ قنات می‌باشند که برای استفادهٔ روزانه، آب را ذخیره و نگهداری می کنند.

به طور کلی قنات یک سازه آبی است که از یک تونل و تعدادی چاه قائم تشکیل شده و به منظور بهره‌بردای از آب زیرزمینی احداث می‌شود و آب را برای استفاده کشاورزان تحت تاثیر نیروی ثقل به سطح زمین منتقل می‌کند و از اجزای زیر تشکیل شده است: مادرچاه، کوره، میله، مظهر، تره‌کار، خشکه‌کار و هرنج. این سازه آبی سنتی بیشتر در مناطق خشک که آب سطحی کم می‌باشد گسترش یافته است. حفر قنات از مظهر به سمت بالادست شروع می‌شود و در طول مسیر چاه‌های قائمی به منظور تهویه، لایروبی، انتقال مواد کنده شده و کنترل مسیر قنات در سطح زمین حفر می‌گردد و در قنات‌های طویل عملیات حفاری ممکن است از دو سمت چاه انجام شود.

۲-۳- شناخت آب زیرزمینی به منظور احداث قنات

برای کاوش و حفر قنات چندین شرط لازم است که اگر وجود نداشته باشد امکان حفر و جاری شدن آب در قنات نیز وجود ندارد. یکی از این شرایط وجود آب زیرزمینی دائم و کافی در منطقه می‌باشد. اگر اطمینان به وجود آب‌های زیرزمینی وجود نداشته باشد، عملیات حفاری قنات کاری بیهوده می‌باشد. این مهم به روش‌های زیر انجام می‌شود:

۲-۳-۱- شناخت آب زیرزمینی از طریق شناخت منطقه

از مواردی که امکان حفر قنات را در یک محل قطعی می‌کند، قرار گرفتن لایه یا لایه‌های آبدار در عمق کم است (بهنیا ۱۳۷۹). در مورد چگونگی یافتن زمین‌های آبدار کرجی (قرن پنجم هجری، ترجمه شده از خدیوجم ۱۳۴۵) بیان می‌کند: " مقنی که نشانه‌های آب را نشناسد ناقص است. زمینی آبدار است که خاک آن خلل و فرج داشته باشد. زمین‌هایی که در صبح بخار فراوان یا مه یا شبنم داشته باشد". بیشتر آب‌های ساکن در زیر مجراهای پهناور و سست قرار دارند و دسترسی به آن‌ها در عمق مشخصی امکان پذیر است. وقتی گفته می‌شود زمینی خشک و یا کم آب است بدان معنی است

که آب زیرزمینی در این منطقه در عمق زیادی قرار گرفته است (کرجی قرن پنجم هجری، ترجمه شده از خدیوجم ۱۳۴۵).

۲-۳-۲- شناخت از طریق پوشش گیاهی، جانداران و حشرات

طبق گفته کرجی (قرن پنجم هجری) گیاهانی که دلالت بر آب دارند عبارتند از: "خرفه، لوخ، تاج ریزی، پونه آبی، ترشک، کرفس آبی، گیاهانی شبیه بنفشه که خوش بو و طعم هستند و گرگ تیغ نازک شاخه و راست بالا، نی نازک میان پر، گاو زبان، کنگر، فاشر (مار دارو)، پر سیاوشان، گزنه، شیرین بیان، الکیل الملک، علیق، علف بوریا، خار شتر، هویج صحرایی، کلم صحرایی و علف هفت بند". این گیاهان در صورتی می‌توانند دلیل بر وجود آب باشند که خودرو باشند. ظهور پاره‌ای از جانداران مانند قورباغه، حلزون و بعضی حشرات در زمین‌هایی که در آن‌ها رود، چشمه و برکه وجود ندارد نشانه‌ای از وجود آب است (بهنیا ۱۳۷۹).

۲-۳-۳- شناخت از روی سنگ و شکل زمین

کوه‌های سیاه رنگ و پر نم با سنگ‌های آمیخته به گل، سپس کوه‌های سبز رنگ، زرد رنگ و سرخ رنگ به ترتیب دارای آب هستند که به ترتیب رنگ‌های ذکر شده آبشان کاهش می‌یابد. البته کوه‌های نرم و سیاهرنگی که دارای سنگ نرم و متورق هستند و قله‌های پهن و مسطح دارند از دیگر کوه‌ها پر آب‌ترند. کوه‌های سفید فاقد آب هستند و در تمام این کوه‌ها دامنه‌های شمالی آن نسبت به دامنه‌های جنوبی (به علت تابش خورشید در تمام طول روز بر دامنه‌های جنوبی) پر آب‌تر هستند. بیشتر سلسله کوه‌های پیوسته که طول زیادی دارند و دارای دره‌های پر برف هستند با هر رنگی که باشند پر آب و اگر قله مسطح باشد پر آب‌ترند. در نتیجه زمین‌های متصل به دامنه این کوه‌ها نیز دارای آب می‌باشند. ضمن اینکه زمین‌های منفرد مخصوصاً اگر سنگی باشند خشک هستند (کرجی قرن پنجم هجری، ترجمه شده از خدیوجم ۱۳۴۵).

۲-۳-۴- شناخت آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های جدید

روش‌هایی چون زمین شناسی، ژئوفیزیکی، عکس‌های هوایی، خصوصیات هیدروژئولوژیکی، گمانه زنی و ... نیز بسیار مفید می‌باشند.

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که بهترین محل برای حفر قنات‌ها جلگه‌های دامنه کوه‌هایی است که دارای رطوبت و برف دائمی باشند و یا زمین‌هایی که در میان دره‌های وسیع بین این کوه‌ها واقع شده‌اند و بعد از آن‌ها می‌توان به صحراهایی اشاره کرد که ادامه آن‌ها به سلسله کوه‌های مرطوب و طولانی می‌رسد و نیز صحراهایی که از کوهستان دور هستند اما دارای گیاهان شاداب و فراوانی هستند. مزیت مهم ایجاد قنات در نزدیکی کوهپایه‌ها این است که قنات دارای عمق کم و طول کمتری می‌شود. بنابراین هزینه‌های نگهداری و حفاظت از آن کمتر می‌شود به علاوه آب آن‌ها زیادتر و با صرفه‌تر است (سجادی ۱۳۶۱).

۲-۴- تقسیم بندی قنات‌ها

تقسیم بندی‌های مختلفی برای قنات ارائه شده است که بعضی از مهم‌ترین این تقسیم‌بندی‌ها به طور مختصر ارائه می‌شوند:

۲-۴-۱- تقسیم بندی قنات‌ها بر اساس فرم و ساختمان قنات

قنات‌ها را می‌توان بر اساس فرم و ساختمان آن‌ها به سه دسته قنات‌های ساده، قنات‌های دوطبقه و قنات‌های منشعب از رودخانه تقسیم نمود (سجادی ۱۳۶۱):

قنات‌های ساده: منظور از این نوع قنات‌ها همان تونل‌های زیرزمینی با یک سری چاه‌های عمودی است.

قنات‌های دو طبقه: در این نوع قنات‌ها به جای یک تونل زیرزمینی دو تونل وجود دارد کـه یکـی از آن‌ها با فاصله‌ای در بالای دیگری قرار دارد و از مبدأ تا مظهر دارای دو طبقه زیر و روسـت. تـا کنـون تنها یک قنات دو طبقه شناخته شده است و آن قنات مون در اردستان می‌باشد که آب یک طبقـه در طبقه دیگر نفوذ نمی‌کند.

قنات‌های منشعب از رودخانه‌ها: این نوع قنـات‌هـا بـرخلاف قنـات‌هـای سـاده آب را از کوهسـتان نمی‌گیرند بلکه از رودخانه به زمین‌های کشاورزی اطراف منتقل می‌کنند. تا کنون نمونه‌های بسـیاری از آن‌ها دیده شده است و در گذشته از آن‌ها استفاده می‌شده است (سجادی ۱۳۶۱). به عنـوان مثـال در شمال خوزستان و به ویژه در شهرستان دزفول و شوشتر این نوع قنات‌ها وجود دارد که منبع تغذیه آن‌ها به جای سفره زیرزمینی، رودخانه‌های دز و کارون می‌باشد (سجادی ۱۳۶۱، اسلامی ۱۳۷۹).
این نوع قنات‌ها در مکان‌هایی که طرفین بستر رودخانه عمود یا سخت می‌باشد (بهنیا ۱۳۷۹) یا ایجاد کانال آبرسانی به اراضی کشاورزی به علت پائین بودن سطح آب رودخانه امکان پذیر نباشد و یا فراز و نشیب زمین زیاد باشد (بهنیا ۱۳۷۹، اسلامی ۱۳۷۹) حفر می‌گردند. در این گونه قنـات‌هـا عملیـات کوهبرداری و خاکبرداری نیز کاهش می‌یابد (اسلامی ۱۳۷۹). مهدوی (۱۳۷۲) از این قنات‌هـا بـا نـام منگل یاد کرده است. یکی از روش های احداث این نوع قنات‌هـا بـدین صـورت اسـت کـه چـاهی در نزدیکی بستر رودخانه حفر می‌کنند و آبی که از رودخانه وارد این چاه می‌شود توسط کوره به اراضـی کم ارتفاع‌تر، دور از بستر رودخانه برده می‌شود. روش دیگر آن است که قنات‌هـای رودخانـه‌ای را هـم تراز با رودخانه آب دهنده حفر می‌کنند که غالباً ایـن روش کـاربرد دارد (بهنیـا ۱۳۷۹). قنـات هـای رودخانه‌ای در شوشتر، سفته[1] و در دزفول، قمش[2] نامیده می‌شوند. قمش‌ها شامل دهانه ورودی یا بـه عبارتی محل آبگیر از رودخانه به نام دونی، کوره قنات، میله چاه‌ها، محل‌های دسترسـی آب در شـهر مرسوم به سر به طاق و مظهر آن به نام قمش سر کنده می‌باشد (اسلامی ۱۳۷۹).

[1] Softeh
[2] Qomesh

۲-۴-۲- تقسیم بندی قنات‌ها بر اساس وضعیت توپوگرافی

از این نظر قنات‌ها به دو گروه قنات‌های کوهستانی و قنات‌های دشتی تقسیم می‌شوند که به تفصیل توضیح داده می‌شوند:

قنات‌های مناطق کوهستانی: قنات‌هایی هستند که در کوهستان و در دامنه کوه‌ها حفر شده و از آب برف و باران که در ارتفاعات وجود دارد تغذیه می‌شوند به عبارت دیگر تابع نزولات جوی هستند و میزان آبدهی این گونه قنات‌ها ثابت نیست (مهدوی ۱۳۷۲، بهنیا ۱۳۷۹، یزدانی ۱۳۷۹). بدین معنی که در بهار که برف و باران زیاد می‌باشد آبشان زیاد می‌شود و بالعکس در تابستان آبشان کاهش می‌یابد و حتی امکان دارد در هنگام خشکسالی آبشان خشک شود. عمق مادرچاه و طول قنات در این مناطق کم می‌باشد لذا هزینه نگهداری و احیای این قنات‌ها معمولاً کم است (مهدوی ۱۳۷۲، بهنیا ۱۳۷۹). در این نقاط به دلیل ضخامت کم آبرفت و محدود بودن لایه آبدار و حریم قنات، حفر چاه متداول نیست. ضمن اینکه این نوع قنات‌ها در معرض خطر سیلاب‌ها می‌باشند (بهنیا ۱۳۷۹). این نوع از قنات‌ها به چهار گروه دسته بندی می‌شوند:

الف) قنات‌های مسیر دره‌ها

دره‌ها و آبراهه‌های کوهستانی دارای شیب زیادی هستند (غیور ۱۳۷۹، بهنیا ۱۳۷۹). طرز قرار گرفتن آن‌ها به گونه‌ای است که قنات بالا دست قنات پائین دست را تغذیه می‌کند (غیور ۱۳۷۹). برخی از دره‌ها دارای رودخانه دایمی هستند و برخی فصلی، که این دره‌ها و مسیل‌ها محل مناسبی برای احداث قنات می‌باشد و تا زمانی که آب رودخانه‌های فوق الذکر جاری باشد آب قنات‌های این منطقه زیاد است (بهنیا ۱۳۷۹). قنات‌هایی که در مسیر آبراهه‌های کوهستانی احداث شده‌اند قنات‌هایی کوتاه هستند که غالباً طول آن‌ها از چند متر تا چند صد متر متغیر می‌باشد. به دلیل کوتاه بودن این قنات‌ها، در مناطق خشک و نیمه خشک آبدهی آن‌ها کم می‌باشد (کرمی ۱۳۸۳).

ب) قنات‌های دامنه‌ی تپه‌ها و کوه‌ها

این گونه قنات‌ها در دامنه تپه‌ها و کوه‌های مشرف به دشت حفر می‌شوند و شامل رسوبات سیلابی و واریزه‌های تپه‌ها، کوه‌ها و منطقه نفوذ آب زیرزمینی دشت‌ها است (بهنیا ۱۳۷۹، غیور ۱۳۷۹). کوره این قنات‌ها در جهت مادرچاه اغلب به ریشه کوه برخورد می‌کند و به همین علت طول این قنات‌ها کوتاه است ولی عمق مادرچاه زیاد و دبی آن‌ها کم و متغیر است (بهنیا ۱۳۷۹). قنات‌های مخروط افکنه‌ای نیز در این دسته قرار می‌گیرند و یکی از مناسب ترین محل‌ها برای طراحی و حفر قنات، همین رسوبات مخروط افکنه‌ای است (ارزانی ۱۳۸۳، Lightfoot 1995).

ج) قنات‌های آبگیر از چشمه‌های زیرزمینی یا چشمه قنات‌ها

گاهی کوه‌های آهکی دارای ذخایر قابل ملاحظه‌ای آب زیرزمینی هستند و به همین علت چشمه‌هایی در عمق دره‌های مرتبط به این کوه‌ها یا حد فاصل کوه‌های مزبور و دشت‌ها یا در محل شکستگی‌های متعلق به این کوه‌ها به وجود می‌آید. روی این چشمه‌ها را معمولا واریزه‌های کوه‌ها یا آبرفت پوشانده است. طبیعتاً آب این چشمه‌ها به واریزه‌ها یا آبرفت‌ها نفوذ می‌کند که با حفر قنات در این محل‌ها می‌توان از آب این چشمه‌ها استفاده کرد مقدار آب این قنات‌ها با طول و عمقشان تناسب چندانی ندارد و بیشترین طول تونل را خشکه کار تشکیل می‌دهد. این قبیل قنات‌ها معمولاً دبی نسبتاً ثابتی دارند. در بعضی از این قبیل قنات‌ها مادرچاه وجود ندارد و از آب چشمه‌های دایم یا موقت پای کوه‌ها تغذیه می‌شوند (بهنیا ۱۳۷۹).

د) قنات‌های سنگی

این نوع قنات‌ها در نواحی کوهستانی حفر می‌شوند. طول آن‌ها کم و در حدود ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر می‌باشد. دبی آن‌ها نیز کم و ثابت است که آبشان بیشتر از درز و شکاف سنگ‌ها تراوش می‌کند و به ندرت ساختمان آن‌ها خراب می‌شود (بهنیا ۱۳۷۹). اگرچه تعداد قنات‌های سنگی کم است ولی نقش خود را به خوبی ایفا می‌کنند. بیشتر این قنات‌ها در جنوب غرب ایران وجود دارند که علاوه بر مادرچاه

یک یا چند میله دیگر آن در سنگ و بقیه میله‌ها در آبرفت حفاری شده است. صرف نظر از سختی کار حفاری در توده‌های سنگی، مکان‌یابی محل حفر از نظر شکستگی‌ها و درزه‌ها نیز مشکل می‌باشد در حالیکه در سفره‌های آبرفتی این مسأله بسیار راحت‌تر قابل حل است (حسینی ۱۳۷۹).

قنات‌های دشتی: قنات‌هایی هستند که در دشت حفر شده‌اند و از آب زیرزمینی که در اعماق زیاد قرار گرفته است سرچشمه می‌گیرند. عمق مادرچاه و طول این قنات‌ها زیاد است و دبیشان در تمام طول سال ثابت می‌باشد (مهدوی ۱۳۷۲، بهنیا ۱۳۷۹، یزدانی ۱۳۷۹).

۲-۴-۳- تقسیم بندی قنات‌ها بر اساس چگونگی وضعیت قرارگیری آن‌ها

از نقطه نظر چگونگی وضعیت قرارگیری قنات‌ها نسبت به هم، آن‌ها را به سه گروه قنات‌های متوالی، قنات‌های موازی و قنات‌های همگرا تقسیم می‌کنند (غیور ۱۳۷۹):

قنات‌های متوالی: این نوع قنات‌ها بیشتر در نواحی کوهستانی و دره‌هایی که دارای شیب زیاد می‌باشند وجود دارند و طرز قرار گرفتن آن‌ها به گونه‌ای است که قنات بالادست قنات پائین‌دست را تغذیه می‌کند. یعنی این که مادرچاه هر قنات در محل کشت قنات بالادست قرار گرفته است و از آب‌های نفوذی آن استفاده می‌کند.

قنات‌های موازی: این نوع قنات‌ها بیشتر در مناطق کوهپایه‌ای رویت می‌شوند قنات‌ها در این مناطق در امتداد یک دره فرسایشی که کف آن مملو از مواد آبرفتی است قرار دارد. آب این گونه قنات‌ها عمدتاً از زهکشی آب‌های کوهستان تامین می‌گردد.

قنات‌های همگرا: این قنات‌ها معمولاً در نواحی ایجاد می‌شوند که دشت توسط ارتفاعاتی محاط شده است. در نتیجه قنات‌ها به صورت شعاعی از اطراف به سمت مرکز دشت احداث می‌شوند. در حقیقت جهت جریان آب زیرزمینی به سمت مرکز دشت می‌باشد.

به طور کلی قنات‌ها اثباتی از سکونت گاه‌های دائمی در مخروط افکنه‌ها که خود در آن حفر شده‌اند می‌باشند. در این محل‌ها قنات‌ها سفره‌های سطحی که آب آن از رسوبات آواری بالادست در دره‌های کوهستانی تامین می‌شوند، را به وسیله تونل‌های زیرزمینی تخلیه می‌کنند و معمولاً در مناطقی که: ۱- فاقد رودخانه بزرگ با جریان سالیانه کافی هستند ۲- در مجاورت کوه‌های پر بارش یا رشته کوه‌ها باشند ۳- سفره‌هایی کم عمق و آبدار داشته باشند و...، حفر می‌گردند.

۲-۵- آبدهی قنات

قنات‌های ایران از جنبه‌های مختلفی دارای اهمیت می‌باشد از آن جمله می‌توان به اهمیت آن‌ها از لحاظ آبدهی اشاره کرد. متاسفانه به دلیل عدم اندازه‌گیری دقیق آب‌های خروجی از قنات‌ها آمار دقیقی در دست نیست. به هر حال این اطلاعات شهر به شهر و منطقه به منطقه فرق می‌کند چون مقدار بارش در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد.

از اواخر دهه ۱۹۵۰ به بعد به دلیل حفر چاه‌های عمیق و استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی از یک طرف و کاهش نزولات جوی که خود عامل افزایش حفر چاه‌های عمیق بود از طرف دیگر، به تدریج سطح ایستابی پایین رفت و در نتیجه از آبدهی قنات‌ها کاسته شد و تعدادی از آن‌ها خشک شدند به طوری که از ۲۲۰۰۰ رشته قنات دایر در سال ۱۹۶۱ بیش از ۷۰۰۰ رشته از آن در سال ۱۹۷۲ خشکیدند و راندمان آبدهی قنات‌ها از ۱۷۶۶۰ میلیون متر مکعب به ۵۵۶۷ میلیون متر مکعب یعنی حدود یک سوم کاهش یافت (غیور ۱۳۷۹).

در یک قنات سالم، جریان آب خروجی به صورت پیوسته است(Lightfoot 1995). اگرچه این جریان پیوسته بارها به عنوان تلفات ذکر می‌شود اما قابل کنترل است. سرعت جریان آب در قنات اساساً به

وسیله سطح آب زیرزمینی کنترل می‌شود (Boustani 2008). ممکن است با تغییرات سطح ایستابی نرخ دبی تغییر کند (کردوانی ۱۳۷۴، غیور ۱۳۷۹، Lightfoot 1995, 1996). این تغییرات سطح ایستایی می‌تواند در نتیجه نوسانات دریا و یا در طول دوره های خشکسالی باشد. بنابراین خود قنات نمی‌تواند باعث افت مهمی در سفره شود چرا که جریان مستقیماً همزمان با ذخیره آب زیرزمینی کنترل می‌شود زمانی که قنات به درستی نگهداری شود سیستم پایداری است که به طور نامحدود آب فراهم می‌کند (Boustani 2008).

در واقع قنات یکی از روش‌های موجود در بازگشت متعادل آب در مناطق خشک می‌باشد و چون قنات آب را به طور کامل توسط نیروی گرانشی زمین تخلیه می‌کند در نتیجه تعادل طبیعی آب را به هم نمی‌زند (Lightfoot 1995, 1996, Boustani 2008). آب به آرامی در طول شیب کوره به سمت پایین حرکت کرده و تدریجاً حجم آن تا رسیدن به مظهر افزایش می‌یابد (Salih 2006). در سیستم آبیاری قنات، آب به وسیله زمان پایه توزیع می‌شود (Al-Ghafri et al. 2001, Hansen 2007) که باعث می‌شود سیستم در دوره خشکسالی دوام بیشتری داشته باشد (Hansen 2007).

طول یک رشته قنات در میزان آبدهی آن موثر است که البته به شیب زمین و عمق مادرچاه بستگی دارد. از طرفی هرچه سطح آب زیرزمینی پائین‌تر باشد عمق مادرچاه هم بیشتر می‌شود (کردوانی ۱۳۷۴). عمیق‌ترین قناتی که تا کنون در ایران حفر شده در حوالی گناباد از توابع خراسان است که طول آن ۳۳/۱۳۳ کیلومتر و عمق مادر چاه آن ۳۰۰ الی ۴۰۰ متر ذکر شده است (احتمالاً ۳۴۰ متر) و آبدهی آن بیش از ۱۵۰ لیتر در ثانیه است (پاپلی یزدی ۱۳۷۹). در یک بررسی که در شهرستان سبزوار بر روی ۱۱۲ رشته قنات صورت گرفت، رابطه لگاریتمی بین طول قنات و مادرچاه، همچنین طول قنات و عمق چاه با میزان آبدهی بررسی گردید. نتایج نشان داد که آبدهی قنات رابطه مستقیمی با عمق مادرچاه و طول قنات دارد ضمن اینکه خود عمق مادرچاه با طول قنات که تابعی از شیب توپوگرافی نیز رابطه مستقیمی را نشان می‌دهد (دادرسی و همکاران ۱۳۷۹).

عوامل زیادی بر روی آبدهی قنات‌های ایران تاثیر دارد از این عوامل موارد زیر را می‌توان نام برد (کردوانی ۱۳۷۴، بهنیا ۱۳۷۹، صفی‌نژاد ۱۳۷۹):

۱) عمده‌ترین عاملی که باعث نوسان آب قنات می‌شود نوسان در میزان بارندگی یا منبع تغذیه قنات می‌باشد.

۲) طول مجرای یک رشته قنات در میزان آبدهی آن موثر است که البته به شیب زمین و عمق مادرچاه بستگی دارد. عمق زیاد مادرچاه و میله‌های آبزی قنات باعث می‌شود که با تغییرات میزان بارندگی در مقدار حجمی آن تغییری حاصل نشود.

۳) ضخامت لایه آبده، موقعیت سنگ کف و عمق لایه آبدار

۴) ابعاد هندسی قنات که خود مشتمل بر طول تره‌کار، طول خشکه‌کار، سطح مقطع تونل و بالاخره شیب طولی تونل در قسمت‌های گوناگون می‌باشد. ابعاد هندسی قنات تابع شرایط هندسی زمین، سطح ایستابی و بالاخره شرایط کار در قنات است.

۵) نفوذپذیری رسوباتی که قنات در آن حفر شده است. تراوایی در تره‌کار سبب آبدهی بیشتر قنات می‌شود در صورتی که این مسأله در خشکه‌کار باعث نفوذ آب در زمین و تلفات بیشتر آن می‌شود (سمسار یزدی و هادیان ۱۳۷۹، صالحی ۱۳۸۳). البته املاح موجود به ویژه کربنات‌ها در صورت ته نشین شدن، رسوبات پیوسته‌ای را در کف تشکیل داده و نفوذپذیزی را کم می‌کند (صالحی ۱۳۸۳).

۶) وضع حوضه آبگیر، نوع و میزان نزولات جوی (کرجی قرن پنجم هجری، ترجمه شده از خدیوجم ۱۳۴۵). اگر نزولات جوی به صورت برف باشد به علت ذوب تدریجی آن اثر خوبی در دبی قنات‌ها دارد (بهنیا ۱۳۷۹). به نظر کرجی اگر منشأ آب قنات از باران باشد پس از بهار خشک می‌شود زیرا از بستر و کف قنات نشأت نمی‌گیرد بلکه از دو طرف یا یک طرف و یا از سقف قنات تراوش می‌کند. آب اصلی و با دوام همان آبی است که از بستر کاریز سرچشمه می‌گیرد.

۷) وضع توپوگرافی منطقه و موقعیت دشت

۸) تراکم چاه‌ها و قنات‌ها در منطقه

۹) میزان تبخیر از آب قنات

در ضمن عواملی مانند عـدم لایروبـی (سمسـار یـزدی و تفتـی ۱۳۷۹، Lightfoot 1995)، برداشـت بی‌رویه چاه‌ها از سفره‌های آب زیرزمینی و افت سطح آب (سمسار یزدی و هادیان ۱۳۷۹، ابراهیمی و زمزمیان ۱۳۷۹)، تجاوز به حریم قنات‌ها (کرجی قرن پنجم هجری، ترجمه شده از خـدیوجم ۱۳۴۵، Lightfoot 1995) باعث کاهش آبدهی قنات‌ها می‌گردند.

زمانی که کاهش در آبدهی قنات به علت کم شدن آب در یک مخزن یا در اثر حفر بی‌رویه چـاه‌هـای عمیق و نیمه عمیق باشد در این صورت نمی‌توان کاری کرد. اما اگر کم شدن دبی یک قنات به علـت کاهش طبیعی آب بر اثر بهره‌برداری یا فصول خشک و امثال آن باشد در چنین حالتی باید اقـدام بـه نوکنی کرد (کردوانی ۱۳۷۴، سمسار یزدی و تفتی ۱۳۷۹، عنایتی نیا ۱۳۸۳) به این ترتیب که امتداد کوره قنات از مادرچاه به داخل لایه آبدار در همان مسیر موجود یا مسیرهای دیگر ادامه داده می‌شـود و یک یا چند چاه در تونلی که تازه احداث شده است اضافه می‌شود. یکی دیگر از روش‌هـای افـزایش آبدهی قنات‌ها کف شکنی است. علت اینکه کف شکنی در سرتاسر تونل انجام می‌شود ایـن اسـت کـه شیب مجرا تغییری نکند (عنایتی نیا ۱۳۸۳). از دیگر راهکارهای پیشـنهادی مناسـب جهـت افـزایش آبدهی، اضافه کردن شاخه‌هایی از گالری نفوذ (دستک) در بالادست به منظور این کـه تونـل اصـلی را تغذیه کند (بهنیا ۱۳۷۹، Lightfoot 1995, 1996، Wulff 1968) و یا اینکه سفره آب زیرزمینـی بـه روش‌های مختلف تغذیه شود (کردوانی ۱۳۷۴).

به طور کلی جریان آب در قنات یک جریان پیوسته است که به وسـیله سـطح آب زیرزمینـی کنتـرل می‌شود و قابل انتظار است که نسبت به تغییرات آن حساس باشد و با تغییـرات آن، نـرخ دبـی تغییـر کند. تغییرات سطح ایستابی می‌تواند متأثر از افزایش بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، میزان نزولات جوی و نوسانات دریا باشد.

۲-۶- مقایسه قنات با چاه

آبرسانی با استفاده از سیستم قنات روش خاصی از آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک فلات ایران می‌باشد که در این کشور ابداع شده، تکامل یافته و در دیگر مناطق مشابه جهان گسترده شده است. امروزه قنات همچنان با پیدا شدن سیستم‌های پیشرفته ارزش و اعتبار خود را حفظ کرده است.

در دنیای امروز، در زمینه قنات و چاه سه گروه وجود دارد. گروه اول جزء طرفداران قنات هستند و معتقدند که سیستمی که جزء تاریخ کهن ایران است و تا مدت‌ها وظیفه آبرسانی را به خوبی انجام داده است نباید به دست فراموشی سپرده شود و بر این باورند که با مدرنیزه کردن آن هنوز می‌توان بخش‌های زیادی از کشور را از خطر کم آبی محفوظ داشت. گروه دوم از طرفداران چاه هستند و چاه را بهترین سیستم بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی می‌دانند. آخرین گروه هم طرفدار قنات هستند و هم طرفدار چاه، یعنی بر این عقیده هستند که تا جائی که امکان دارد از سیستم قنات استفاده شود و به منظور حفظ و نگهداری آن برنامه‌های منظم و دقیقی طراحی گردد اما در شرایطی که امکان حفر قنات نیست و دور از حریم قنات دیگر واقع شده، چاه حفر گردد (کردوانی ۱۳۷۴).

در حقیقت به خاطر مزایا و معایبی که قنات دارد این اختلافات طبیعی است که به بیان این مزایا و معایب می‌پردازیم:

۲-۶-۱- محاسن و مزایای قنات

۱) استخراج آب قنات تحت تاثیر نیروی ثقل و بدون استفاده از انرژی و وسایل مکانیکی می‌باشد (سجادی ۱۳۶۱، کردوانی ۱۳۷۴، Haeri 2003).

۲) به‌خاطر کانال زیرزمینی، تلفات آب از طریق تراوش و تبخیر کاهش می‌یابد (Boustani 2008).

۳) سرعت جریان آب و دبی آن در قنات به وسیلهٔ سطح آب زیرزمینی کنترل می‌شود، بنابراین خود قنات نمی‌تواند باعث افت مهمی در سفره شود (کردوانی ۱۳۷۴، Haeri 2003 ,1995 Lightfoot).

۴) با وجود این که هزینهٔ حفر قنات چندین برابر چاه است، اما اگر قنات به طور منظم تعمیر و لایروبی شود می‌توان گفت طول عمر طولانی و نامحدودی دارد. در حالیکه، طول عمر یک چاه چیزی در حدود ۲۰ سال است (بهنیا ۱۳۷۹، Haeri 2003).

۵) چون نیاز به پمپ و سوخت ندارد در نتیجه مانند چاه برای تامین وسایل، نیازی به مبادلات ارزی نمی‌باشد (کردوانی ۱۳۷۴، بهنیا ۱۳۷۹، Haeri 2003).

۶) قنات‌ها به کیفیت آب زیرزمینی صدمه نمی‌زنند چون به طور تدریجی آب را زهکشی می‌کنند (بهنیا ۱۳۷۹، Haeri 2003، Boustani 2008).

۷) با انتقال آب شیرین از مناطق کوهستانی به پائین‌دست که خاک شوری دارد می‌توانند شوری خاک را کنترل نمایند و به مبارزه با بیابان‌زائی کمک می‌کند (سجادی ۱۳۶۱، Haeri 2003).

۸) در دوره‌های خشکسالی بیشتر انعطاف پذیر هستند و به سرعت خشک نمی‌شوند و به آرامی سفره را تخلیه می‌کنند (کردوانی ۱۳۷۴، Haeri 2003).

۹) در برخی از دشت‌ها رابطه بین بالادست و پائین‌دست به وسیلهٔ هسته نفوذناپذیری قطع شده است که احداث قنات بین این دو قسمت رابطه و تعادل ایجاد می‌کند (کردوانی ۱۳۷۴، بهنیا ۱۳۷۹).

۱۰) در محیط اطراف خود آلودگی ایجاد نمی‌کند (Boustani 2008).

۱۱) قنات‌ها در بسیاری از موارد منبع قابل اعتمادی برای آبیاری در سکونتگاه‌های دور از رودخانه را در طول زمان فراهم می‌کنند (کردوانی ۱۳۷۴، بهنیا ۱۳۷۹، Haeri 2003).

۱۲) منبع آب زیرزمینی توسط قنات دیر تمام می‌شود (کردوانی ۱۳۷۴).

۱۳) در نقاط کوهستانی که امکان حفر چاه عمیق نیست می‌توان قنات حفر کرد و از آب زیرزمینی آن استفاده کرد (کردوانی ۱۳۷۴).

۱۴) آب قنات دائمی و در مواقع اضطراری کشت آب آن قطع نمی‌گردد.

۱۵) جاهایی که آب کم می‌باشد و ورود آب در آن مناطق نیز کم است، سیستم قنات به گونه‌ای است که برای یک مدت طولانی آب می‌دهد در حالی که ممکن است این ذخیره آبی ظرف یک مدت کوتاه توسط چاه برداشت شود و به اتمام برسد.

۲-۶-۲- معایب و اشکالات قنات

۱) یکی از عمده‌ترین ایرادهایی که به قنات گرفته می‌شود جریان دائمی آب و غیرقابل کنترل بودن آن می‌باشد. در زمستان زمانی که دبی قنات بیشتر است آب تلف می‌شود در حالیکه در تابستان که نیاز به آب افزایش می‌یابد دبی آن کم می‌شود (سجادی ۱۳۶۱، سمساریزدی و هادیان ۱۳۷۹، نظرفرد و همکاران ۱۳۸۳).

۲) صرف وقت و هزینه‌های زیاد برای ایجاد و ساختمان قنات (کردوانی ۱۳۷۴، بهنیا ۱۳۷۹).

۳) اتلاف آب در بخش خشکه‌کار: همیشه مقداری آب هنگام عبور از قسمت خشکه‌کار به درون آن نفوذ می‌کند و بسته به این مقدار دبی قنات کاهش می‌یابد و یا حتی ممکن است منجر به خشک شدن آن شود (بهنیا ۱۳۷۹، سمساریزدی و هادیان ۱۳۷۹).

۴) دامنه‌های مرتفع را نمی‌توان به وسیلهٔ قنات آبیاری کرد (کردوانی ۱۳۷۴، بهنیا ۱۳۷۹).

۵) بهره‌برداری از لایه‌های آبدار عمیق با قنات امکان‌پذیر نیست (کردوانی ۱۳۷۴، بهنیا ۱۳۷۹).

۶) عدم امکان حفر قنات در زمین‌های هموار و مناطقی که آب زیرزمینی شیب کافی ندارد (کردوانی ۱۳۷۴، بهنیا ۱۳۷۹).

۷) قنات نسبت به چاه در برابر حوادث طبیعی آسیب‌پذیرتر است (کردوانی ۱۳۷۴).

۸) در مواقع لزوم نمی‌تواند بیش از آبدهی مجاز سفره، آب دهد (کردوانی ۱۳۷۴، سمساریزدی و هادیان ۱۳۷۹، Lightfoot 1995).

۹) امکان آلودگی آب قنات زیاد است (کردوانی ۱۳۷۴).

۱۰) قنات قابلیت استخراج آب زیرزمینی را تا تراز معینی دارد و نسبت به تغییرات آن بسیار حساس است (کردوانی ۱۳۷۴).

طبق نظر هائری (Haeri 2003) چاه‌ها عموماً برای استفادهٔ کوتاه مدت مفید هستند و محیط اطراف خود را به سرعت تغییر می‌دهند و در خشکسالی‌ها مشکل ساز بوده، به سرعت سفره را تخلیه می‌کنند.

به طور کلی می‌توان گفت یکی از مهم‌ترین مزایای قنات این است که تعادل آب زیرزمینی را به هم نمی‌زند و خود باعث افت سفره نمی‌شود. ضمن اینکه نیاز به انرژی ندارد و در دوره‌های خشکسالی مقاوم‌تر هستند و هزینهٔ تعمیر و نگهداری آن‌ها نسبت به چاه‌ها خیلی کم است.

از معایب عمده آن می‌توان به هدر رفتن آب در فصول تر، عدم حفر در دامنه‌های کم شیب و نفوذ آب در قسمت خشکه‌کار اشاره کرد. در واقع برایندی از این مزایا و معایب است که کارائی یک قنات را تعیین می‌کند.

۲-۷- کیفیت آب قنات

کیفیت آب زیرزمینی به اندازه کمیت آن حائز اهمیت است و تحت تاثیر عوامل طبیعی انسانی تغییر می‌کند. پدیده‌های مهمی که در ژئوشیمی باعث تغییرات آب در زمین می‌گردد به دو دسته شیمیایی و تغییر دهنده تقسیم می‌شوند. پدیده‌های شیمیایی عبارتند از: انحلال، اکسیداسیون و احیا و پدیده‌های تغییر دهنده که بعد از طی مسافتی کم و بیش طولانی رخ داده و باعث تغییرات ترکیب شیمیایی آب می‌شود عبارتند از واکنش احیای سولفات، تبادل یونی و فرایند تغلیظ (غفوری ۱۳۷۴). به طور کلی غلظت نمک‌های محلول موجود در آب زیرزمینی نسبت به آب سطحی بیشتر است، زیرا آب زیرزمینی مدت زمان طولانی‌تری در معرض توالی‌های زمین‌شناسی که دارای مواد قابل حل می‌باشند قرار می‌گیرد. همه آب‌های زیرزمینی دارای نمک‌های محلول می‌باشند ولی نوع و غلظت نمک‌های محلول موجود در آن به منشأ آب زیرزمینی، نحوه حرکت آن و محیطی که آب از آن عبور

کرده بستگی دارد. یکی از فاکتورهای کنترل کننده کیفیت آب زیرزمینی، جنس سنگ‌هایی است که آب ضمن عبور از آن کانی‌های قابل حل موجود در آن‌ها را حل می‌کند. میزان شوری آب بسته به جنس مواد سفره، قابلیت انحلال کانی‌های قابل حل موجود و زمان ماندگاری تغییر می‌کند. میزان شوری با کند شدن حرکت آب افزایش می‌یابد، بنابراین میزان املاح موجود در آب با افزایش عمق افزایش می‌یابد (کلانتریان ۱۳۸۸).

با عبور تونل قنات از لایه‌های مختلف زمین‌شناسی، امکان آلودگی آب قنات به وسیلهٔ برخی از این لایه‌ها وجود دارد (سمساریزدی و هادیان ۱۳۷۹). در صورتی که در قسمت خشکه‌کار جنس بستر نامناسب باشد کیفیت آب را کاهش می‌دهد (صالحی و همکاران ۱۳۸۳). در یک بررسی هیدروژئولوژیکی که در دشت بجستان (استان خراسان) انجام شد، نمونه‌های آب سه حلقه چاه و هشت رشته قنات مورد بررسی قرار گرفت که هدایت الکتریکی قنات‌ها بین ۴۴۷ تا ۲۵۷۰ میکروموهس بر سانتی‌متر و هدایت الکتریکی چاه‌ها بین ۱۵۴۱ تا ۲۲۳۴ میکروموهس بر سانتی‌متر بود و غلظت یون‌های اصلی در آب قنات‌ها بین ۳/۸ تا ۴/ ۲۵ میلی اکی والان بر لیتر و برای چاه‌ها بین ۱۰ تا ۲۱ میلی اکی والان بر لیتر بود. به طور کلی چاه‌ها و قنات‌هایی که در بخش‌های شمالی حوضه حفر شده‌اند در مقایسه با چاه‌ها و قنات‌های بخش جنوبی شورتر بوده و از کیفیت نامناسب‌تری برخوردارند و علت اصلی آن تاثیر سوء عوامل زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی بر روی کیفیت آب در بخش شمالی حوضه می‌باشد و شیل‌ها و مارن‌های گچ‌دار سازند سردر و تشکیلات هوازده و ولکانیکی نقش بسزائی را در کاهش کیفیت آب منطقه ایفا کرده‌اند (باقریان و همکاران ۱۳۸۳).

در یک طرح دیگر که در بافق یزد بر روی دو قنات (عنایت آباد و فاضلیه) انجام شد بررسی‌ها نشان داد که بستر قنات از تشکیلات نئوژن بوده (شن، ماسه، سیلت و رس و به طور چشمگیری گچ، نمک و املاح تبخیری) و طبیعتاً در مسافت‌های بیش از ۵ تا ۶ کیلومتر آب فرصت لازم برای انحلال این املاح و در نتیجه کاهش کیفیت را دارد. همین مسأله باعث کاهش ۲۰٪ کیفیت در مظهر نسبت به مادرچاه بوده است (صالحی و همکاران ۱۳۸۳).

به عقیدهٔ بهنیا (۱۳۷۹) قنات به طور دائم و به صورت خودکار عمل نمک‌زدائی را در خود انجام می‌دهد. بدین معنی که آب قنات با از دست دادن متوالی برخی از نمک‌ها به خاطر رسوب آن‌ها، نسبت به املاح سنگین محلول در خود سبک می‌شوند و به طور طبیعی کیفیت خود را از نظر مصرف بالا می‌برد. البته با کول‌گذاری و بندکشی مابین آن‌ها در قسمت‌هائی که تره‌کار در لایه‌های مخرب کیفیت حفر شده است می‌توان کیفیت آب را بهبود بخشید.

علاوه بر عوامل طبیعی، آلاینده‌های حاصل از فاضلاب‌های صنعتی و خانگی (بهنیا ۱۳۷۹)، سقوط حیوانات به داخل میله‌چاه‌ها (سمساریزدی و هادیان ۱۳۷۹)، کودهای شیمیائی و موادی مانند آفت-کش‌ها (Salih 2006) نیز آب قنات‌ها را تهدید می‌کنند. البته آب آلوده در درون لایه آبدار، قبل از پیوستن به آب قنات به علت عبور از قشر خاکی مقداری از این آلودگی را از دست می‌دهد و میزان این تصفیه به ضخامت قشر زمینی که آب از آن عبور کرده و همچنین جنس لایه‌ها بستگی دارد. ورود مستقیم آب آلوده به قنات‌های واقع در روستاها، به خصوص آن‌هائی که از چند روستا عبور می‌کنند، می‌تواند خطرناک باشد و باعث آلودگی آب در منطقهٔ وسیعی گردد. به منظور بالا بردن کیفیت آب قنات باید از دخول فاضلاب‌ها به تونل جلوگیری کرد و دهانهٔ میله‌های قنات‌هایی را که از میان روستاها و شهرها عبور می‌کنند مسدود کرد (بهنیا ۱۳۷۹).

۲-۸- مدیریت قنات‌ها

مدیریت مربوط به قنات شامل موارد متعددی است از جمله: حفاظت، مرمت و لایروبی قنات، حریم قنات، تغذیه مصنوعی و ذخیره سازی در ماه‌های سرد می‌باشد. این قوانین و نظام‌ها در بخش‌هایی که قنات‌ها وجود دارند و حیات مردم به آن‌ها وابسته است از مسائل مهم می‌باشد، به خصوص در مناطق خشک و کویری ایران که نهایت استفاده را از قنات می‌کنند که به تفکیک ارائه می‌شوند:

۲-۸-۱- حفاظت قنات

با وجود هزینه‌های زیادی که ساخت و حفر قنات در ابتدای کار خود دارد یکی از مهم‌ترین مسئله‌های مطرح شده در زمینه حفر قنات روش‌های مختلف حفاظت و نگهداری از آن می‌باشد. در نگهداری قنات چندین مسئله وجود دارد که عبارتند از: حفاظت از نظر ساختمان (جلوگیری از ریزش، جلوگیری از ورود سیلاب‌ها)، مرمت و لایروبی و بهسازی قنات و مسئله سوم رعایت حریم قنات و حفظ تداوم آبدهی آن می‌باشد. اگر شرایط فوق رعایت نشود به تدریج آبدهی آن کم و در آینده‌ای نه چندان دور (۱۰ تا ۱۵ سال) غیرقابل استفاده می‌گردد (سجادی ۱۳۶۱، سمساریزدی و تفتی ۱۳۷۹).

جلوگیری از ریزش

یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی که باعث فرسایش تونل قنات و جابه‌جایی دیواره آن می‌گردد جریان آب موجود در آن می‌باشد که موجب ایجاد فروچاله‌ها و فرونشست در سطح زمین می‌گردد. پارامترهای بسیاری در پایداری ساختمان قنات‌ها موثر است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: سطح آب زیرزمینی، خواص هندسی قنات و بارگذاری در سطح. معمولاً خطر ریزش در قنات‌های کم عمق که در سطح زمین بارگذاری وجود دارد بیشتر است و این خطر در خاک‌های ضعیف افزایش می‌یابد در بعضی موارد ریزش قنات‌ها علاوه بر مسدود کردن خود قنات باعث صدماتی به ساختمان‌ها و محیط زندگی اطراف آن می‌شود (Rayhani and EL- Naggar 2006).

اگر قنات در جائی احداث شود که تونل آن از رسوبات شنی عبور نماید، خاک دیواره‌های چاه و مجراهای زیرزمینی به داخل چاه ریزش می‌کند و این گل و لای در قنات جمع شده و مانع از جریان آب در مجرا می‌گردد. با انباشته شدن این مواد آب با دیواره‌ها بیشتر تماس پیدا می‌کند و خیس می‌شوند. و امکان ریزش بیشتر می‌شود در نتیجه جریان آب ضعیف‌تر می‌گردد. لذا لازم است که از حلقه‌های گل پخته شده (کول) برای پشتیبانی از دیوارۀ تونل استفاده کرد. اما اگر خاک محکم باشد نیازی به پوشش‌گذاری تونل نیست (گوبلو ۱۳۷۱، بهنیا ۱۳۷۹، Sankaran Nair 2004). قنات‌های

کوهستانی به علت عبور تونل از لایه‌های سنگی و محکم احتیاج به نصب کول ندارند، ولی قنات‌های طویلی که در دشت‌ها قرار دارند نیاز به کول دارند. در واقع یکی از عملیات‌های مهم اجرائی در زمینهٔ ترمیم و بازسازی قنات‌ها در درجهٔ اول، نصب کول است. اگر کول خوب باشد کمک زیادی به نگهداری و محافظت مجرا و میله می‌نماید و با داوام‌ترین کول‌ها، کول‌هایی هستند که اصل و جنس آن‌ها از خاک رس و بدون ریگ باشد (کرجی قرن پنجم هجری، ترجمه شده از خدیوجم ۱۳۴۵). بعد از کول‌گذاری چند سانتی‌متر اطراف کول‌ها آزاد می‌ماند که با کول‌های شکسته پر می‌کنند (سجادی ۱۳۶۱، بهنیا ۱۳۷۹). کول گذاری علاوه براینکه در جلوگیری از ریزش موثر است از نفوذ آب در بخش خشکه‌کار و تلفات آب در این قسمت جلوگیری می‌کند، پوشش خشکه‌کار معمولاً کمی بعد از حفر قنات انجام می شود زیرا در اوایل نفوذ آب به مراتب بیشتر از ماه‌های بعدی می باشد (بهنیا ۱۳۷۹).

هنگامی که ریزش قنات زیاد باشد آب در پشت قسمتی که ریزش کرده جمع می‌شود و ریزش شدیدتر می‌شود برای جلوگیری از این مسئله تونل جدیدی حفر می‌کنند که دو قسمت سالم و محکم تونل را به هم وصل کند که به آن بغل بر می‌گویند (کردوانی ۱۳۷۴، بهنیا ۱۳۷۹).

جلوگیری از ورود سیلاب‌ها

مسئله دیگری که در زمینه نگهداری قنات‌ها از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد حفاظت دهانه میله-چاه‌ها است. زیرا اگر دهانه قنات‌ها به صورت کامل باز باشد باعث وارد شدن سیلاب‌ها، سنگ و باد و غیره به داخل آن می‌شود که موجب پر شدن و خراب شدن میله‌چاه‌ها و در نتیجه قنات‌ها می‌گردد. از این رو سازندگان قنات هنگام احداث قنات تمام خاک و سنگ حاصل از حفاری را به صورت دایره در اطراف دهانه میله می‌ریزند و آن را بالا می‌آورند بنابراین این دیواره‌ها باعث عدم نفوذ و داخل شدن سیلاب و گرد و خاک و سایر مواد خارجی به داخل میله‌ها می‌شود (کرجی قرن پنجم هجری، ترجمه شده از خدیوجم ۱۳۴۵، سجادی ۱۳۶۱، Wulff 1968). در بعضی جاهای دیگر برای حفاظت این میله‌چاه‌ها، دیوارهای گردی در اطراف آن‌ها ساخته و کمی بالا می‌آورند به عنوان مثال در قنات

نزدیک شوشتر چنین کاری انجام شد (سجادی ۱۳۶۱). به منظور محافظت دهانه میله‌ها در زمستان آن‌ها را با آجر و تخته سنگ مسدود می‌کنند زیرا بیشتر خرابی قنات‌ها در نتیجه خرابی دهانه میله-چاه‌ها ایجاد می‌گردد (کرجی قرن پنجم هجری، ترجمه شده از خدیوجم ۱۳۴۵، سجادی ۱۳۶۱، Boustani 2008).

۲-۸-۲- لایروبی

لایروبی یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین کارهایی است که می‌توان برای حفاظت قنات‌ها انجام داد. به علت جریان دائم آب با مجرای قنات به تدریج کف و دیواره‌های تونل‌های قدیمی قنات ممکن است با رسوبات آهکی پر شود و یا درون مادرچاه و چاه‌های تغذیه کننده با رسوبات کانیائی پوشیده شود که در این صورت باعث کاهش تراوش آب از سفره شده و باید این رسوبات را تخلیه کرد (گوبلو ۱۳۷۱، Lightfoot 1995). بیرون آوردن گل، لای و رسوبات جمع شده در قنات را لایروبی می‌گویند و اگر طبقات رسوب زیاد باشد به آن گل‌کشی اطلاق می‌شود (بهنیا ۱۳۷۹). کرجی (قرن پنجم هجری، ترجمه شده از خدیوجم ۱۳۴۵) معتقد است که قنات ماهی یک بار حداقل مورد بازرسی قرار بگیرد و مخصوصاً باید به مظهرشان توجه کامل گردد زیرا در آن گل بیشتری جمع می‌شود و در بستر آن خزه رشد می‌کند. در بعضی موارد لایروبی قنات ضروری به نظر می‌رسد که این موارد به شرح زیر است (کرجی قرن پنجم هجری، ترجمه شده از خدیوجم ۱۳۴۵):

۱) بعد از جنگ‌ها و ویرانی‌های ناشی از آن

۲) جاری شدن سیل و ورود آب‌های گل آلود به داخل قنات

۳) بعد از وقوع زلزله

۴) بعد از ریزش‌های سقف و دیواره‌های قنات

۵) کاهش دبی قنات در اثر نهشته شدن لایه‌های سخت در دیواره‌ها و بستر کوره قنات

لایروبی قنات به دو روش طبیعی و مصنوعی انجام می‌گردد. در روش طبیعی از ماهی‌های موجود در آب قنات استفاده می‌کنند، به طوری که ماهی‌ها با حرکت خود گل و لای رسوب شده را به وسیلهٔ جریان آب به خارج هدایت می‌کنند (بهنیا ۱۳۷۹) و روش مصنوعی همان روش سنتی است که با بیل و کلنگ انجام می‌شود.

۲-۸-۳- حفظ حریم قنات

یکی دیگر از راه‌های حفاظت قنات و جلوگیری از کم آبی و یا خشک شدنشان، پیشگیری از حفر قنات یا چاه دیگر در حریم آن‌ها می‌باشد. حریم قنات یا چاه، منطقه‌ای است که اگر در آن چاه یا قنات جدیدی حفر شود بر آبدهی قنات یا چاه مورد نظر تاثیر خواهد گذاشت، در قنات این منطقه بیشتر برای مادرچاه در نظر گرفته می‌شود (Lightfoot 1995).

اما مقدار این حریم چقدر باید باشد؟

کرجی (قرن پنجم هجری، ترجمه شده از خدیوجم ۱۳۴۵) می گوید: " این حریم بر حسب اختلاف خاک‌ها بسیار گوناگون است؛ هر گاه کاریز در زمینی حفر شود که زمین آن دارای خلل و فرج یکسان باشد و در طول و عرض خاک آن اختلافی موجود نباشد، و آبش از باران و رودهای موجود بر سطح زمین باشد، برای آن حریم و حدی لازم نیست، نمونهٔ آن کاریزهای اطراف دجله، زیرا در این گونه قنات‌ها آب از مسافت‌های دور و از چپ و راست به آن‌جا سرازیر می‌گردد.

اما کاریزهائی که منابع آن کوه‌های پر برف باشد، خاکشان سست و نرم و دارای خلل و فرج است و رشتهٔ کاریز به دامنهٔ این کوه‌ها می‌رسد در نتیجه در طول قنات منشأ و منبعی نیست و حریم آن از هر طرف تقریباً پانصد ذراع است و اگر کاریزی به موازات آن حفر شود باید فاصلهٔ بین دو کاریز ۱۰۰۰ ذراع شود (کف هر دو کاریز در یک عمق باشند)". معمولاً حریم قنات‌هایی که چاه بزرگتر از چاه پمپاژ دارند (شعاع آن ۶ تا ۸ برابر بزرگتر باشد)، بیشتر می‌باشد (Lightfoot 1995).

بهنیا (۱۳۷۹) عقیده دارد حریم قنات از هر دو طرف عبارت است از فاصلهٔ محور تونل تا نقطه‌ای که تاثیر بهره‌برداری قنات بر سطح آب در آن نقطه ناچیز و قابل چشم پوشی باشد. این حریم در نزدیکی مادرچاه به حداکثر و در نزدیکی چاه تران ـ خشکان (چاهی که تقریباً در مرز خشکه کار و تره کار واقع است) به حداقل یا صفر می رسد. این حریم از دو دیدگاه حقوقی و فنی قابل بررسی است:

۱) حریم حقوقی: بر اساس سنت و قانون متداول عددی ثابت را در نظر می‌گیرند. به طور مثال این عدد در دشت‌های آبرفتی ۵۰۰ متر، در مناطق خشک ۱۵۰۰ متر و در دره‌ها و مناطق کوهستانی ۲۵۰ متر می باشد.

۲) حریم فنی: با استفاده از شعاع تاثیر چاه در لایهٔ آزاد و فرمول تایس آن را با در نظر گرفتن هفت عامل به قنات تعمیم می‌دهند. این هفت عامل عبارتند از: میزان بهره‌برداری از منطقه، میزان افت قابل اغماض، ضرایب هیدرودینامیکی سفره، مدت بهره‌برداری مداوم از چاه یا قنات، شرایط محلی و منطقه‌ای، ساختار زمین شناسی منطقه و میزان تغذیهٔ لایهٔ آبدار.

برای حفاظت و پایدار نگه داشتن یک قنات بایستی ویژگی‌های موثر و عوامل تهدید کننده یک قنات بررسی شود تا بتوان راهکارهائی مناسب برای حفاظت از آن ارائه کرد.

۲-۸-۴- ذخیره سازی در ماه‌های سرد

یکی از عمده‌ترین ایرادهایی که برخی از صاحب نظران به قنات و این سیستم آبرسانی وارد می‌کنند و با استناد به آن قنات را از نقطه نظر اقتصادی با معیارهای موجود مقرون به صرفه نمی‌دانند، جریان دائمی آب و غیر قابل کنترل بودن آن در ماه‌های سرد می‌باشد (سمساریزدی و هادیان ۱۳۷۹، غیور ۱۳۷۹، Sankaran Nair 2004).

به منظور کنترل این امر محققان مختلف راهکارهای متفاوتی ارائه می‌دهند که به شرح زیر می‌باشد:

۱) آب را در استخرهایی ذخیره کرده و در فصول مورد نیاز از آن استفاده کرد (گوبلو ۱۳۷۱، سمسار یزدی و هادیان ۱۳۷۹، بهنیا ۱۳۷۹)

۲) تغذیه قنات‌های خشکیده پائین دست توسط آب‌های مازاد قنات بالادست در ماه‌های غیر زراعی (غیور ۱۳۷۹، آقا رضی ۱۳۸۳)

۳) هدایت آب به سوی مناطق کویری به منظور آبیاری درخت‌ها و بوته‌های کویری و ایجاد مناطقی سرسبز در حاشیه کویر و جلوگیری از هجوم شن‌های روان و گسترش کویر (سجادی ۱۳۶۱)

۴) زیر کشت بردن زمین‌های بالادست مظهر توسط پمپاژ آب اضافی (کردوانی ۱۳۷۴)

۵) نصب یک دریچه تنظیمی در کانال قنات و بعد از قسمت آبده که توسط آن در مواقع عدم نیاز تا حد امکان جلو جریان آب را گرفت (غیور ۱۳۷۹)

۶) بستن قنات‌هایی که سرتاسر تونل‌هایشان کول‌گذاری شده است (بهنیا ۱۳۷۹ برگرفته از خمارلو ۱۳۶۰)

۷) احداث دیوار در یکی از تونل‌های قنات (بهنیا ۱۳۷۹)

۸) ایجاد یخ آب روی مزارع (بهنیا ۱۳۷۹)

اگرچه عده‌ای بر این باورند که آب قنات در فصول سرد به هدر می‌رود در جواب به این ایراد می‌توان استدلال کرد که آب زیرزمینی هیچ وقت ساکن و راکد نیست و اگر این آب توسط قنات هم تخلیه نگردد در زیر زمین به سوی منطق پست‌تر جریان خواهد یافت و به تدریج از منطقه آبدار خارج می‌گردد (سجادی ۱۳۶۱، غیور ۱۳۷۹ برگرفته از پازوش ۱۳۶۱)

عدم سازگاری دبی قنات با نیاز کشاورزان در تابستان منجر به کشش آنان به چاه‌های پمپاژ گردیده است و با توجه به این که حجم بالائی از آب قنات در زمستان به هدر می‌رود می‌توان با استفاده از راهکارهائی تا حدی این مشکل را حل نمود که به روش‌های زیر می‌توان اشاره کرد:

۱- مهر و موم کردن مظهر ۲- استفاده از استخر و آب انبار ۳- ایجاد یخ روی مزارع ۴- آب بند ۵- هدایت آب قنات به سمت قنات پایین دست ۶- استفاده از هرز آب جهت آبیاری درختان کویری ۷- احداث دیوار همراه با دریچه در یکی از میله‌های قنات .....

۲-۸-۵- تغذیه مصنوعی در قنات

یکی از راه‌هائی که منجر به افزایش عمق جریان و در نتیجه افزایش آبدهی تره‌کار می‌گردد، تغذیه لایه آبداری است که تره‌کار قنات در آن حفر شده است (ابراهیمی و زمزمیان ۱۳۷۹).

این راهکارها عبارتند از: روش های سطحی، زیرزمینی و ذخیره سازی و نگهداری آب در داخل قنات که به طور مختصر به توضیح آن‌ها پرداخته می‌شود:

الف) روش های سطحی

روش‌های سطحی شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- ایجاد حوضچه یا استخرهای تغذیه (ابراهیمی و زمزمیان ۱۳۷۹، زنجانی جم ۱۳۸۳): با استفاده از آب‌های مازاد رودخانه و پخش آن در حوضچه‌های تغذیه می‌توان قنات‌ها را تغذیه کرد. در یک طرح که در دشت فاریاب کوهیچ هرمزگان انجام شد توسط حوضچه‌های تغذیه‌ای سالانه دو میلیون متر مکعب جریان سطحی را به داخل سفره نفوذ دادند که دبی قنات‌های پایین دست به طور متوسط ۶۰ درصد افزایش یافت (ابراهیمی و زمزمیان ۱۳۷۹).

۲- ذخیره آب در منطقه‌ای بالاتر از مادرچاه (ابراهیمی و زمزمیان ۱۳۷۹، عبدی ۱۳۸۳): با کنترل و مهار آب‌های سطحی در حوضه‌های بالادست قنات‌ها و تغذیه آن‌ها به داخل زمین و انجام عملیات مرمت و لایروبی به صورت مستمر می‌توان از خشک شدن قنات‌ها جلوگیری کرد (عبدی ۱۳۸۳).

۳- ایجاد آب بند و احداث سدهای خاکی در مسیل‌های اطراف قنات (ابراهیمی و زمزمیان ۱۳۷۹).

۴- پخش سیلاب: یکی از روش‌های مناسب برای جلوگیری از هدر رفتن آب و تغذیه سفره آب زیرزمینی پخش سیلاب می‌باشد (کردوانی ۱۳۷۴، تقوائی ابریشمی ۱۳۸۳، موحد و شامی ۱۳۸۳).

در تحقیقی که به وسیله موحد و شامی (۱۳۸۳) انجام شد تاثیر پخش سیلاب بر تغییرات دبی خروجی دو رشته قنات (یکی به عنوان شاهد و دیگری در محدوده پخش سیلاب) طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۳ بعد از احداث ایستگاه پخش سیلاب بر آبخوان سهرین قره چریان زنجان بررسی شد.

نتایج هفت دوره آبی نشان داد که دبی خروجی قنات به طور کامل تحت تآثیر مقدار آبگیری و پخش سیلاب بوده و از نظر آماری همبستگی خوبی را نشان می‌دهد. این در حالی است که قنات شاهد با وجود دارا بودن حوضه بسیار بزرگتر از قنات نمونه، تغییرات زیادی نداشته و تنها متأثر از بارش‌های جوی و تغییرات نسبی حوضه خود بوده است. طبق این نتایج گفته می‌شود که در صورت اجرای عملیات آبخوان‌داری و پخش سیلاب‌ها می‌توان در دراز مدت افت سطح ایستابی را کاهش و قنات‌ها را احیا نمود که این امر در توسعه پایدار کشاورزی مفید است.

۵- گسترش پوشش گیاهی و کرت بندی سطح زمین در طول تره‌کار و یا بالادست آن (ابراهیمی و زمزمیان ۱۳۷۹).

ب) روش‌های زیرزمینی

در صورتی که زمین مناسب برای اجرای تغذیه سطحی وجود نداشته باشد (قیمت زمین بالا باشد، منطقه مسکونی باشد و یا در بالای لایه آبدار لایه غیر قابل نفوذی داشته باشیم) از تغذیه زیرزمینی استفاده می‌شود (صداقت ۱۳۷۸، ابراهیمی و زمزمیان ۱۳۷۹، بهنیا ۱۳۷۹) که شامل راهکارهای زیر می‌باشد:

۱- تغذیه به وسیله چاه (ابراهیمی و زمزمیان ۱۳۷۹، بهنیا ۱۳۷۹): در صورت وجود لایه آبدار آزاد در منطقه می‌توان قنات را به وسیله حفر چاه‌های دستی ناقص تغذیه کرد در انتهای این چاه‌ها تعدادی تونل افقی حفر شده است. اگر نفوذپذیری خاک کم باشد سیستم تغذیه مصنوعی ممکن است از چند حلقه چاه کم عمق که از شن و ماسه با دانه بندی مناسب پر شده اند، تشکیل شود. البته ظرفیت تغذیه کم، کم شدن سرعت تغذیه، گران بودن و مشکل تعمیر و نگهداری چاه‌ها و کوتاه بودن عمر مفید چاه (حداکثر ده سال) از معایب این گونه چاه‌ها است (بهنیا ۱۳۷۹).

۲- توام کردن چاه‌های عمیق با قنات‌ها (ابراهیمی و زمزمیان ۱۳۷۹، بهنیا ۱۳۷۹): درمناطقی که فشار آب در عمق زیاد است (آرتزین) با حفر یک چاه عمیق در کف مادر چاه قنات آب خروجی از آن

که در حکم یک چاه آرتزین است را می‌توان از طریق کوره هدایت کرد و دبی قنـات را بـدین ترتیـب افزایش داد (بهنیا ۱۳۷۹).

۳- تغذیه واداری (ابراهیمی و زمزمیان ۱۳۷۹)

۴- احداث سد زیرزمینی (جعفری باری ۱۳۸۳)

ج) ذخیره سازی و نگهداری آب در داخل قنات

با استفاده از قنات‌های متروکه و قنات‌هایی که به دلیل افت سطح آب خشک شده‌اند می‌تـوان سـطح آب را بهبود بخشید (سمسار یزدی و هادیان ۱۳۷۹). در منطقه سـعدآباد اسـتان هرمزگـان دو رشـته قنات متروکه وجود دارد. در طرحی که با مشارکت کشاورزان و شـرکت آب منطقـه‌ای انجـام شـد بـا استفاده از یک بند ستونی به ارتفاع ۲/۵ متر و یک دریچـه تنظـیم در حـدود ۲۰۰ لیتـر بـر ثانیـه از جریان‌های پایه و سیلابی رودخانه را، که در حالت طبیعی در پائین‌دست در برخورد بـا گنبـد نمکـی کیفیت مطلوب خود را از دست داده و یا به صورت سیلاب از دسترس خارج می‌شدند با فشار طبیعـی حاصل از جریان آب در پشت بند توسط ۶۰۰ متر کانال زیرزمینی که عمود بـر مسـیر طبیعـی قنـات است، به داخل کانال‌های زیرزمینی قنات متروکه پرعابدین هدایت مـی‌کننـد سـپس آب بـا لایروبـی مناسب در مظهر قنات که حدود چند کیلومتر پائین‌تر است ظاهر می‌شود.

یکی دیگر از راه‌های جبران افت سطح ایستابی استفاده از آب قنات‌هـای بالادسـت در مـاه‌هـای غیـر زراعی در تغذیه سفره قنات‌های خشکیده پائین دست است (کردوانی ۱۳۷۴، آقا رضی ۱۳۸۳).

در تحقیقی در استان مرکزی دو قنات که حدوداً ۲ کیلومتر از هم فاصله داشتند بدین منظور در نظـر گرفته شد. قنات بالادست دارای هرز آب زمستانه و قنـات پـایین‌دسـت خشـکیده بـود. بعـد از انجـام آزمایشات اندازه‌گیری سطح آب، تعیین جهت حرکت آب، شـیب هیـدرولیکی، دانـه بنـدی خـاک در اعماق مختلف و مطالعات ژئوفیزیکی، اقدام به حفـر یـک چـاه آرتـزین در ۶۰ متـری مادرچـاه قنـات خشکیده، گردید و آبی با دبی ۲ لیتر بر ثانیه در طی دو دوره ۱۳۵ روزه غیر زراعی، به چاه تزریق شد.

با انجام تزریق و همچنین لایروبی قنات ضمن جبران افت سفره، آب در قنات خشکیده جریـان یافـت (آقا رضی ۱۳۸۳).

با افزایش بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی به وسیله چاه پمپاژ و افـت سـطح ایسـتابی، آبـدهی قنات‌ها با مشکل روبه‌رو شده است از جمله راه‌هائی که می‌توان این افت را جبران کـرد مـی‌تـوان بـه تغذیه سطحی، تغذیه زیرزمینی و ذخیره‌سازی و نگهداری در داخل قنات در طول ماه‌های سرد اشـاره کرد.

فصل سوم

روش انجام تحقیق و مطالعات

۳-۱- مقدمه

در این فصل کلیه کارهایی که به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی قنات‌های منطقه میامی انجام گرفته است به طور مختصر بیان می‌شوند. به طور کلی در این تحقیق موارد زیر انجام شده است:

۱- از ده رشته قنات منطقه میامی از مهر ماه ۱۳۸۷ تا مهر ماه ۱۳۸۸، هفت بار نمونه‌برداری شده است.

۲- ارزیابی خصوصیات هیدروشیمیایی قنات‌ها و بررسی تغییرات کیفی آن در یک سال آبی با توجه به نتایج به‌دست آمده از آنالیز شیمیایی نمونه‌ها در آزمایشگاه

۳- بررسی‌های هیدروژئولوژیکی منطقه

۴- اندازه‌گیری آلودگی بیولوژیکی در بعضی از قنات‌های منطقه

۵- مشخص کردن موقعیت قنات‌ها بر روی نقشه زمین شناسی و تعیین حوضه آبگیر آن‌ها

در این فصل شیوه انجام موارد ذکر شده در بالا به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۲- نمونه‌برداری

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمی قنات‌های منطقه میامی از مهر ماه ۱۳۸۷ تا مهر ماه ۱۳۸۸، از ده رشته قنات نمونه‌برداری شد. به منظور دستیابی به نتایج دقیق و قابل اعتماد باید نمونه‌برداری از آب قنات‌ها به شکل صحیح انجام گیرد. در نمونه برداری از آب قنات‌ها رعایت چند نکته در جمع‌آوری درست داده‌ها ضروری می‌باشد. مواردی مانند ظرف نمونه، محل نمونه‌برداری، بازه زمانی صرف شده بین برداشت نمونه‌ها و ارسال آن‌ها به آزمایشگاه و ثبت اطلاعات دقیق هر یک، نحوه برداشت و نمونه‌برداری تکراری برای کنترل عملکرد آزمایشگاه همه در نیل به این هدف تاثیرگذار هستند. برای این منظور از بطری‌های پلاستیکی مخصوص این کار با حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر استفاده شده است. هنگام هر نمونه‌برداری، ظرف پلاستیکی و در پوش آن سه بار با آب قنات شستشو داده و در مرحله چهارم ظرف به آرامی پر می‌شود تا هیچگونه حبابی در آن ایجاد نشود و اطراف محل برداشت گل‌آلود نگردد. علاوه بر این همواره سعی شده است تا نمونه‌ها در نزدیک‌ترین محل به مظهر قنات برداشته شوند. نمونه‌های آب برداشته شده به آزمایشگاه پارک علم و فن‌آوری استان سمنان (شاهرود) ارسال شده تا مورد آنالیز شیمیایی قرار گیرد. در آزمایشگاه غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی محلول در آب که شامل یون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلر، سولفات، کربنات، بی‌کربنات و نیترات می‌باشد، اندازه‌گیری شدند. لازم به ذکر است که بعضی از پارامترها شامل هدایت الکتریکی، اسیدیته و درجه حرارت آب در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده‌اند. پس از دریافت نتایج آنالیز شیمیایی درصد خطای آزمایش برای تمام نمونه‌ها محاسبه و پس از اطمینان از دقت آزمایش پارامترهایی از قبیل کل املاح جامد محلول، درصد جذب سدیم، درصد سدیم، سختی کل و قلیائیت و برخی از نسبت‌های یونی از قبیل نسبت سدیم به کل کاتیون‌ها و نسبت کلر به کل آنیون‌ها و کلسیم به منیزیم و همچنین نسبت کل املاح جامد محلول به هدایت الکتریکی محاسبه شد. به منظور تعیین خصوصیات کیفی آب جهت مصارف شرب و کشاورزی و مقایسه نمونه‌ها و تعیین تیپ آب، نمودارهای پایپر و استیف (با استفاده از نرم افزار RockWork14)، ویلکوکس و شولر برای آن‌ها ترسیم گردید.

۳-۳- اندازه‌گیری آبدهی قنات (دبی)

دبی قنات یکی از خصوصیات هیدروژئولوژیکی است که در صحرا اندازه‌گیری شده است. مقصود از آبدهی، حجمی از آب است که در واحد زمان از سطح مقطع عمود بر جریان عبور می‌کند. چنانچه سرعت متوسط جریان را v، مساحت سطح مقطع عمود بر جریان را A و آبدهی قنات را Q در نظر بگیریم آن‌گاه معادله (۳-۱) برقرار خواهد بود:

$$Q = A \cdot v \qquad (۱-۳)$$

در معادله (۳-۱) سرعت بر حسب متر در ثانیه، دبی بر حسب متر مکعب در ثانیه و سطح مقطع بر حسب متر مربع در نظر گرفته می‌شوند.

یکی از روش‌هایی که در این تحقیق به منظور اندازه‌گیری دبی قنات استفاده شد اندازه‌گیری با استفاده از سرعت‌سنج[1] می‌باشد.

سرعت سنج‌ها معمولاً به نام مولینه معروف هستند و بر این اصل استوارند که قسمت پروانه‌ای آن در مقابل جریان آب قرار می‌گیرد و در اثر جریان آب به چرخش در می‌آید. تعداد چرخش پروانه در واحد زمان به سرعت آب بستگی دارد. بعضی از مولینه‌ها به شمارشگر مجهز شده‌اند که تعداد دور را اندازه‌گیری می‌کند. اگر N تعداد دور پروانه در دقیقه باشد سرعت حرکت آب (v) عبارت خواهد بود از:

$$v = a + bN \qquad (۲-۳)$$

که در معادله (۳-۲)، a و b ضرایب مربوط به نوع سرعت سنج بوده و توسط کارخانه سازنده مشخص می‌شود.

دستگاه مورد استفاده در این تحقیق از نوع آوت و ساخت شرکت آذر آشنا می‌باشد که روابط تعیین سرعت برای آن به شرح زیر می‌باشد:

[1] Currentmeter

$$v = 0.241201 \times N + 0.0115414 \quad 0.383469 \langle N \langle 10.848 \qquad (۳-۳)$$

$$v = 0.276 \times N - 0.365871 \quad 10.8481 \langle N \langle 11.893 \qquad (۴-۳)$$

در معادله‌های (۳-۳) و (۴-۳) تعداد دور گردش پروانه دستگاه در هر ثانیه با N و سرعت جریان آب با v نشان داده شده است. شکل (۳- ۱) کاربرد مولینه در برآورد دبی در یکی از قنات‌های منطقه را نشان می‌دهد.

شکل ۳-۱- روش استفاده از مولینه

یکی دیگر از روش‌هایی که در این تحقیق به منظور اندازه‌گیری دبی استفاده شد روش جسم شناور می‌باشد برای این منظور قسمتی از خروجی قنات که جریان یکنواخت دارد و عاری از علف و گیاهان آبی است را انتخاب کرده و جسمی مانند یک تکه چوب را داخل آب انداخته و سرعت حرکت آن بین دو نقطه مشخص از مسیر آب اندازه‌گیری می‌شود. مدت زمانی که جسم فاصله بین دو نقطه از مسیر

را طی می‌کند (t)، اندازه‌گیری می‌شود. اگر L فاصله بین دو نقطه باشد سرعت سطحی آب عبارت است از:

$$v = \frac{L}{t} \qquad (۵-۳)$$

در معادله (۳-۵) سرعت بر حسب متر در ثانیه، طول بر حسب متر و زمان بر حسب ثانیه در نظر گرفته می‌شوند.

علاوه بر روش‌های فوق الذکر سومین روشی که برای اندازه‌گیری دبی قنات‌های منطقه میامی استفاده شد روش حجمی می‌باشد. در این روش دبی با استفاده از فرمول (۳-۶) به‌دست می‌آید:

$$Q = \frac{V}{t} \qquad (۶-۳)$$

در معادله فوق، دبی بر حسب متر مکعب در ثانیه، حجم (V) بر حسب متر مکعب و زمان بر حسب ثانیه می‌باشد.

۳-۴- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی آب یکی از پارامترهای مهم کیفی آب است که با مقادیر مواد جامد محلول در آب رابطه مستقیمی دارد. این خصوصیت نیز همانند مواردی که پیش‌تر بیان شد، در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده است. برای این منظور از دستگاه هدایت سنج الکتریکی ساخت شرکت HACH آمریکا استفاده شده است. دقت این دستگاه برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی کمتر از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر، برابر با یک میکروموس بر سانتی‌متر و در محدوده بزرگتر از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر، برابر با ۱۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. شکل (۳-۲) استفاده از هدایت سنج الکتریکی برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی یکی از قنات‌های منطقه را نشان می‌دهد.

شکل ۳-۲- نحوه استفاده از هدایت سنج الکتریکی

۳-۵- اندازه‌گیری اسیدیته

اندازه‌گیری pH یا اسیدیته آب همانند هدایت الکتریکی در محل نمونه‌برداری انجام شده است. این ویژگی از آب به عواملی مانند دی اکسید کربن محلول در آب، میزان آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات و دمای آب وابسته است. به این شکل که هر قدر میزان دی اکسید کربن محلول در آب افزوده گردد، میزان pH کمتر می‌شود. برای اندازه‌گیری اسیدیته آب از pH متر مدل SUNTEX-۷۱۰ ساخت کشور تایوان استفاده شده است. دقت این دستگاه برای اندازه‌گیری pH برابر با ۰/۰۱ واحد می‌باشد. شایان ذکر است که این دستگاه می‌بایست در بازه‌های مشخص و قبل از اندازه‌گیری با کمک محلول‌های بافرهای ۴ و ۷ واسنجی[1] شود.

۳-۶- اندازه‌گیری درجه حرارت آب

از دیگر پارامترهایی که در محل نمونه‌برداری همزمان با اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی قنات‌ها اندازه‌گیری می‌شود، درجه حرارت آب می‌باشد. درجه حرارت آب نیز با استفاده از همان دستگاه هدایت سنج الکتریکی اندازه‌گیری شده است که دقت آن ۰/۱ درجه سانتی گراد می‌باشد.

[1] Calibration

۳-۷- اندازه‌گیری یون‌های اصلی

به منظور اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، نمونه‌های برداشت‌شده از قنات‌ها به آزمایشگاه پارک علم و فن‌آوری استان سمنان ارسال شده‌اند. در آزمایشگاه غلظت کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و آنیون‌های کلر، بی‌کربنات، کربنات، سولفات و نیترات اندازه‌گیری شدند. نتایج آزمایش‌های مذکور بر اساس میلی گرم در لیتر (ppm) ارائه شده‌اند.

۳-۸- اندازه‌گیری خصوصیات بیولوژیکی آب قنات

به منظور آنالیز بیولوژیکی آب، چهار نمونه آب از مظهر بعضی از قنات‌های منطقه (ابراهیم آباد، میامی، محمد آباد و جودانه) برداشته شد و به آزمایشگاه اداره آب و فاضلاب شهرستان شاهرود انتقال یافت تا مورد آزمون MPN (Maximum Probability Number) و تعیین بیشترین تعداد کلیفرمی در صد میلی لیتر آب قرار گیرد. برای آنالیز بیولوژیکی از بطری‌های شیشه‌ای درب دار، دهان گشاد و از جنس شیشه مقاوم که قبلاً در دستگاه اتوکلاو به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲ درجه سانتی گراد استریل شده، جهت نمونه‌برداری استفاده شده است. بطری نمونه‌برداری را تا زمان نمونه‌برداری، بسته نگه داشته و در حین نمونه‌گیری باید نهایت دقت را به کار برد تا سطح داخلی درپوش و ابتدای ظرف نمونه‌برداری آلوده نشود. سپس ظرف نمونه‌گیری را پر کرده و فوراً درپوش آن قرار داده می‌شود.

۳-۸-۱- نحوه نمونه‌گیری از آب قنات به منظور آنالیز بیولوژیکی

برای نمونه‌گیری از آب قنات باید از تماس بطری نمونه‌گیری با کناره‌ها جلوگیری شود. از این رو، بطری استریل را در حالیکه درب آن بسته است به طور کامل به زیر آب برده، سپس درب آن را باز کرده تا آب وارد آن شود. لازم به ذکر است که در هنگام پر کردن بطری نمونه‌گیری از آب، درب بطری را نباید از آب خارج کرد تا از تماس دیواره داخلی درب با هوای محیط اطراف جلوگیری شود.

بعد از این که بطری از آب پرشد، درپوش آن در زیر آب بسته شده و آن گاه از زیـر آب بیـرون آورده می‌شود. علاوه بر این نمونه‌گیری باید به گونه‌ای انجام گردد که حباب هـوا همـراه بـا آب وارد ظـرف نمونه‌برداری نشود.

۳-۸-۲- اندازه‌گیری خصوصیات بیولوژیکی آب در آزمایشگاه

بعد از نمونه‌برداری در شرایط اسـتریل، نمونـه‌هـای موجـود در کلمـن یـخ بـرای تشـخیص آلـودگی بیولوژیکی به آزمایشگاه اداره آب و فاضلاب شهرستان شاهرود منتقل شده تا از طریـق آزمـون MPN مورد آزمایش قرار گیرند.

الف- روش تهیه محیط کشت لاکتوز براث

به منظور تهیه محیط کشت لاکتوز براث[1] دو محیط استفاده می‌گردد (برای حجم نمونه ۱۰ میلی لیتر محیط غلیظ و برای حجم نمونه یک میلی لیتر و ۰/۱ میلی لیتر محـیط رقیـق تهیـه مـی‌گـردد). بـه منظور تهیه محیط‌های غلیظ و رقیق به ترتیب ابتدا مقدار ۲۶ و ۱۳ گـرم از محـیط کشـت لاکتـوز را وزن کرده، در یک ارلن ۱۰۰۰ میلی لیتری ریخته سپس در حجم یـک لیتـر آب مقطـر کـاملاً حـل می‌شود. سپس محیط کشت آماده شده را در لوله‌های آزمایش محتوی لوله دورهام به مقدار ۱۰ میلی لیتر تقسیم کرده و درب آن‌ها را با پنبه و فویل آلومینیومی بسته و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد در اتوکلاو گذاشته تا استریل گردد. (امتیازی ۱۳۷۹).

ب- روش تهیه محیط کشت بریلیانت گرین

جهت تهیه محیط کشت فوق، ۴۰ گرم محـیط کشـت Brillient Green را در یـک ارلـن مـایر ۱۰۰۰ میلی لیتری ریخته و با یک لیتر آب مقطر حل کرده و هماننـد روش فـوق الـذکر اسـتریل مـی‌گـردد (امتیازی ۱۳۷۹).

[1] Lactose Broth

ج- روش انجام آزمایش

آزمون MPN در سه مرحله صورت می‌گیرد که شامل مراحل احتمالی، تأییدی و تکمیلی است (امتیازی ۱۳۷۹):

- **مرحله احتمالی:** در این مرحله به ترتیب ۱۰، ۱ و ۰/۱ میلی لیتر از نمونه آب را در ۹ لوله ریخته به طوری که در سه لوله اول ۱۰ میلی لیتر، سه لوله دوم ۱ میلی لیتر و در سه لوله آخر ۰/۱ میلی لیتر از نمونه آب بر روی محیط کشت اضافه شده است. سپس نمونه‌های کشت داده شده را به مدت ۲۴ الی ۴۸ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد در انکوباتور قرار داده می‌شود. اگر در آب کلیفرم وجود داشته باشد مواد مغذی را مصرف کرده و گاز دی اکسید کربن تولید می‌شود. بنابراین وجود گاز در ۴۸ ساعت نشان دهنده مثبت بودن آزمایش می‌باشد. لازم به ذکر است که در لوله‌هایی که رشد وجود دارد اما گازی دیده نشده است از محیط بریلیانت گرین استفاده می‌شود. در این صورت تردید در مورد نمونه‌هایی که به کندی گاز تولید می‌کنند، از بین می‌رود.

- **مرحله تأییدی:** برای مرحله تائیدی از محیط کشت بریلیانت گرین استفاده می‌شود. هر لوله‌ای را که در آن گاز ایجاد شده است، با دو لوله در محیط بریلیانت گرین آمیخته می‌شود. سپس نمونه‌های کشت داده شده در این محیط به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد در انکوباتور قرار داده می‌شود. اگر جواب مثبت باشد، نمونه آب دارای آلودگی کلیفرمی است. لازم به ذکر است که در صورت مثبت بودن نمونه‌ها در هر مرحله می‌توان با شمارش لوله‌های مثبت، از روی جداول مقدار MPN را به دست آورد.

- **مرحله گرماپای یا مدفوعی:** این مرحله را در مورد لوله‌هایی می‌توان انجام داد که مرحله تأییدی آن‌ها مثبت باشد. در این مرحله نیز لوله‌ها را در محیط بریلیانت گرین در دمای ۴۴/۵ درجه سانتی گراد و به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه بن ماری ساخت شرکت ایران خودرو خودساز قرار داده می‌شود.

اگر جواب مثبت باشد، نمونه آب حاوی اشرشیاکلی[1] می‌باشد. که با شمارش تعداد لوله‌های مثبت، MPN از روی جداول به دست می‌آید. MPN معرف بیشترین تعداد کلیفرمی در ۱۰۰ میلی لیتر از نمونه آب می‌باشد.

۳-۹- مشخص کردن موقعیت قنات‌ها بر روی نقشه زمین شناسی و تعیین حوضه آبگیر آن‌ها

جهت مشخص کردن موقعیت قنات‌های منطقه میامی بر روی نقشه زمین شناسی، ابتدا با استفاده از دستگاه GPS مختصات جغرافیایی قنات‌های مورد مطالعه تعیین و با استفاده از نرم افزار Global Mapper بر روی نقشه زمین شناسی منطقه مورد بررسی مشخص شدند. سپس با استفاده از همان نرم افزار حوضه آبگیر قنات‌های منطقه میامی تعیین شد.

[1] E.Coli

فصل چهارم

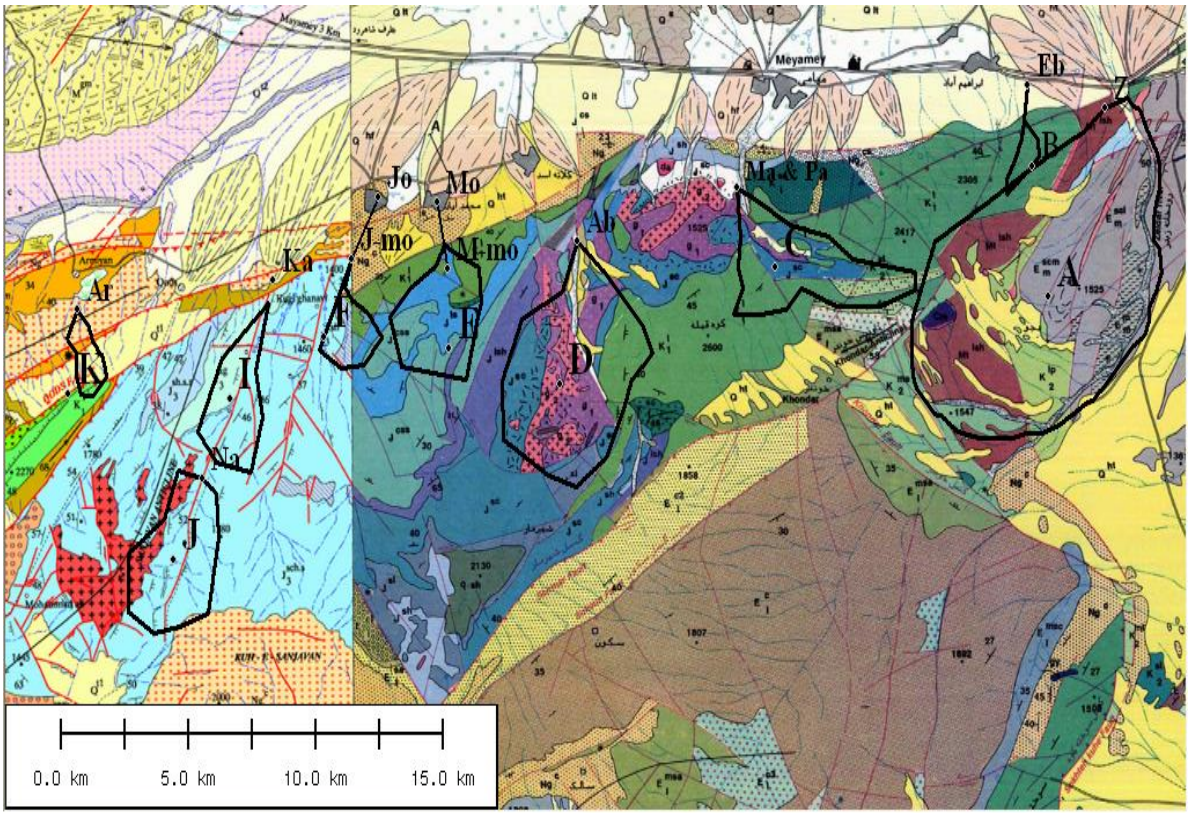
بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی قنات‌های منطقه میامی

۴-۱- مقدمه

یکی از موضاعات بسیار مهم در هیدرولوژی کاربردی کیفیت آب است. از آن جایی کـه آب زیرزمینـی به عنوان اصلی‌ترین منبع ذخیره آب شیرین مورد توجه و استفاده بشر است، تعیین خصوصیات کیفی آن جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت و همچنین ارزیابی پارامترهای موثر بـر تغییـر کیفیـت از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. امروزه بررسی‌های کیفی آب دامنه گسترده‌تری پیـدا کـرده اسـت و مسائل مربوط به آلودگی آب‌های زیرزمینی را نیز شامل می‌گردد. موضوع آلودگی نه تنها در کشورهای صنعتی بلکه در کشورهای در حال توسعه نیز مطرح می‌باشد. به عنوان مثال در اکثر شـهرهای ایـران که آب شرب از منابع زیرزمینی تأمین می‌گردد باید به مسئله آلوده بودن این منابع توسـط چـاه‌هـای فاضلاب یا کودها و سمومی که در کشاورزی مصرف شده و همراه با آب‌های نفوذی به لایه‌هـای آبـدار می‌رسد، توجه شود. بنابراین در مطالعات هیدرولوژی همراه با مطالعه کمی مقدار آب، معیارهای کیفی آن نیز بررسی می‌شوند (علیزاده ۱۳۸۰).

۴-۲- مشخص کردن موقعیت قنات‌ها بر روی نقشه زمین شناسی و تعیین حوضه آبگیر آن‌ها

موقعیت قنات‌های منطقه میامی با توجه به مختصات جغرافیایی آن‌ها بر روی نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه مشخص شدند و سپس با استفاده از نرم افزار Global Mapper حوضه آبگیر آن‌ها تعیین گردید. به منظور مشخص نمودن جنس رسوباتی که در حوضه آبگیر آن‌ها قرار دارد، حوضه آبگیر تعیین شده بر روی نقشه زمین شناسی منطقه رسم شد. در شکل (۴-۱) موقعیت قنات‌های منطقه میامی و حوضه آبگیر تعیین شده بر روی نقشه زمین شناسی منطقه ارائه شده است. علاوه بر این، نمایی از قنات‌های منطقه میامی (زیدر، ابراهیم‌آباد، میامی، ارمیان، جودانه، محمدآباد، نرم‌پشته، کال‌سپیدار، آب‌مرجان و پنفتنی) در شکل (۴-۲) مشاهده می‌شود.

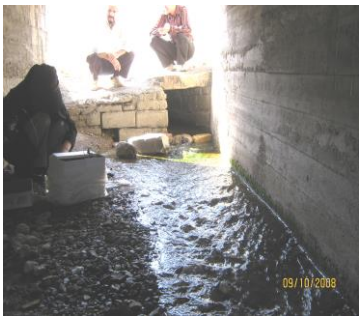


شکل ۴-۱- موقعیت قنات‌های منطقه میامی و حوضه آبگیر آن‌ها

(z- قنات زیدر، Eb- ابراهیم‌آباد، Ma- میامی، Pa- پنفتنی، Ab- آب مرجان، Mo- محمدآباد، Jo- جودانه، Ka- کال‌سپیدار، Na- نرم پشته، Ar- ارمیان

قنات زیدر

قنات ابراهیم‌آباد



قنات کال‌سپیدار

قنات پنفتنی

قنات آب مرجان

قنات نرم پشته

قنات جودانه

قنات محمدآباد

قنات میامی

قنات ارمیان

شکل ۴-۲- نمایی از مظهر قنات‌های منطقه مورد مطالعه

جدول (۴-۱) مساحت حوضه آبگیر و جنس لیتولوژی‌های غالب را در حوضه آبگیر قنات‌های منطقـه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱- مساحت حوضه آبگیر و لیتولوژی های غالب در قنات‌های منطقه

نام قنات	مساحت حوضه آبگیر (کیلومتر مربع)	لیتولوژی غالب در حوضه آبگیر
زیدر	۵۰/۵	شیل، مارن، ماسه سنگ، کنگلومرا
ابراهیم آباد	۰/۹	آهک و آهک ماسه‌ای
آب مرجان	۱۹/۵	کنگلومرا، ماسه سنگ، شیل، بیوتیت گرانیت
میامی و پنفتنی	۱۰/۲	آهک و آهک ماسه‌ای، ماسه سنگ، کنگلومرا
محمد آباد	۷/۳	آهک مارنی، شیل، ماسه سنگ، میکرو کنگلومرا
جودانه	۲/۷	آهک مارنی، شیل، ماسه سنگ، میکرو کنگلومرا
نرم پشته	۹/۰	شیست، فیلیت، ماسه سنگ و کنگلومرای دگرگون شده، سنگ‌های آذرین
کال سپیدار	۵/۷	شیست، فیلیت، ماسه سنگ و کنگلومرای دگرگون شده، اگلومرا
ارمیان	۱/۶	کنگلومرا و آبرفت‌های درشت دانه

۴-۳- تهیه شناسنامه قنات‌های منطقه

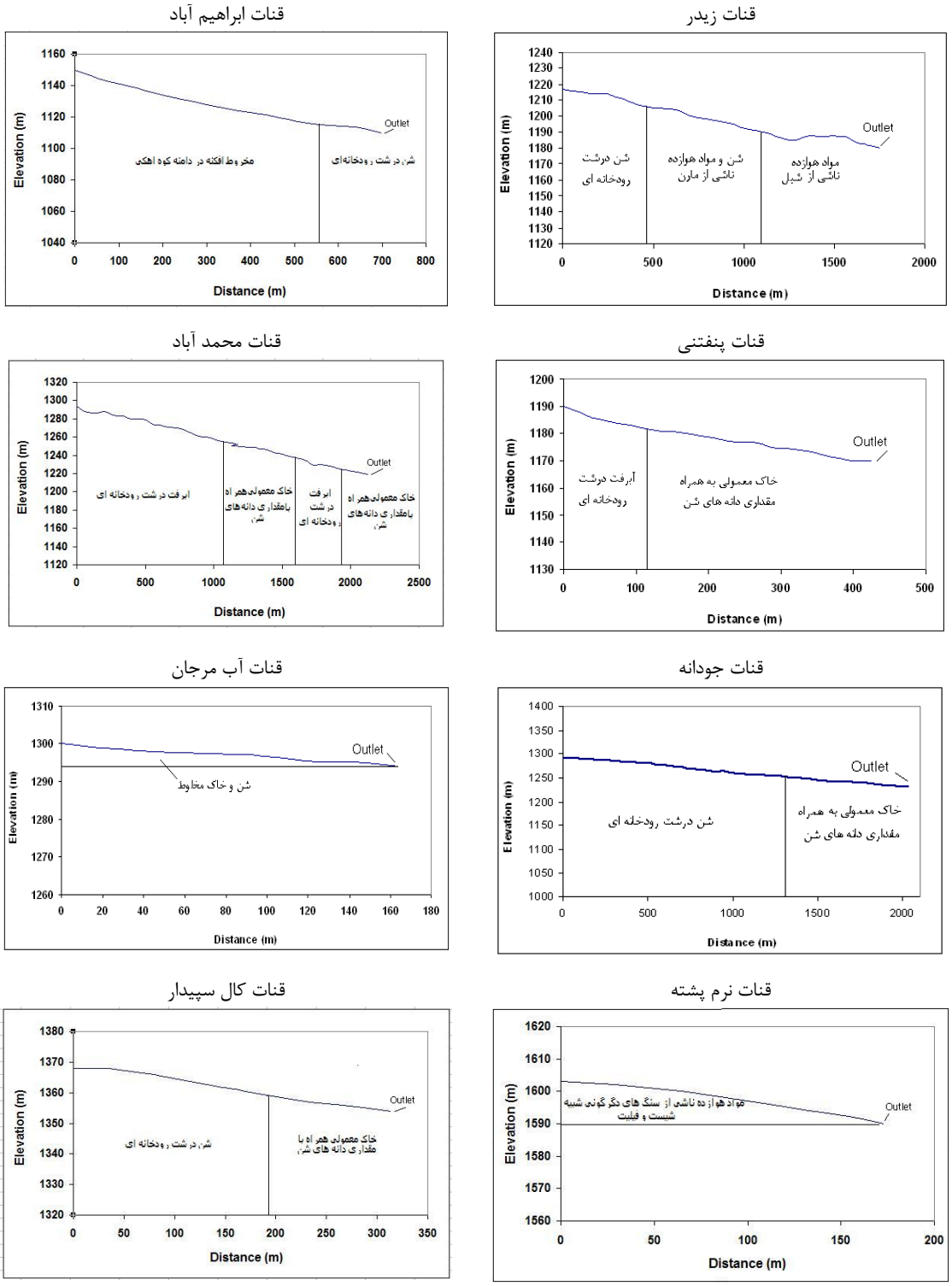
پارامترهای مختلفی همچون طول قنات، عمق مادر چاه، تعداد میله چـاه و وضـعیت کـول گـذاری در قنات‌های منطقه اندازه‌گیری شد و در جدول (۴-۲) ارائه شده است.

جدول ۴-۲- شناسنامه قنات‌های منطقه

نام قنات	نوع قنات	طول قنات (متر)	عمق مادر چاه (متر)	تعداد میله چاه	وضعیت کول گذاری
زیدر	دره‌ای	۱۷۵۵	۱۱	۲۶	بخش ابتدایی
ابراهیم آباد	کوهپایه‌ای	۶۹۹	۱۵/۵	۱۴	بخش ابتدایی
پنفتنی	دره‌ای	۴۲۶	بسته	۱۴	نشده
آب مرجان	دره‌ای	۱۹۴	بسته	۷	نشده
جودانه	دره‌ای	۲۰۳۵	۲۶	۲۴	به صورت کامل
محمد آباد	دره‌ای	۲۱۲۷	۲۴	۴۵	به صورت کامل
کال سپیدار	دره‌ای	۳۱۳	۱۰/۲	۱۳	به صورت کامل
نرم پشته	دره‌ای	۱۷۳	۸	۷	نشده
میامی	چشمه قنات	-	-	-	-
ارمیان	چشمه قنات	-	-	-	-

۴-۴- مقطع توپوگرافی مسیر قنات‌ها

به منظور مشخص نمودن جنس رسوباتی که در مسیر قنات قرار گرفته، مقطع توپوگرافی قنـات‌هـای منطقه ترسیم شد که در شکل (۴-۳) نشان داده شده است.



شکل۴-۳- مقطع توپوگرافی قنات‌های منطقه مورد مطالعه

۴-۵- تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی قنات‌های میامی

به منظور تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی قنات‌های محدوده مورد مطالعه از مهرماه ۱۳۸۷ تا مهرماه ۱۳۸۸ هفت بار از قنات‌های مزبور نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها از مظهر قنات‌ها برداشت شده است. شکل (۴-۱) موقعیت قنات‌های نمونه‌برداری شده را نشان می‌دهد. همان طور که در فصل سوم بیان شد، مقادیر دبی، هدایت الکتریکی، درجه حرارت و اسیدیته در محل نمونه‌برداری و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی موجود در آب قنات‌ها در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده است که به طور مفصل به بیان ویژگی‌های آن‌ها پرداخته می‌شود.

۴-۵-۱- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و آبدهی قنات‌ها

همان طور که در بخش‌های قبل اشاره شد، هدایت الکتریکی آب قنات در محل مظهر اندازه‌گیری شده است و داده‌های حاصله در مقابل زمان ترسیم شده‌اند. هدایت الکتریکی و روند تغییرات آن همواره نشان دهنده زمان ماندگاری آب در سفره آب زیرزمینی و جنس آبخوان می‌باشد. بدیهی است هنگامی که دبی جریان خروجی از قنات افزایش می‌یابد، در واقع سرعت حرکت آب سریع‌تر می‌شود که به نوبه خود سبب کاهش زمان اقامت آب در سفره آب زیرزمینی می‌شود. این عمل باعث کاهش انحلال مواد تشکیل دهنده سفره آب زیرزمینی می‌شود که در نتیجه هدایت الکتریکی آب کاهش می‌یابد. در شرایطی که دبی جریان خروجی از قنات کاهش می‌یابد تمام موارد فوق الذکر برعکس می‌شوند و در نتیجه هدایت الکتریکی آب قنات افزایش می‌یابد. علاوه بر این، به علت این که تغییرات دبی در بیشتر قنات‌های منطقه متأثر از بارش می‌باشد، مقادیر بارندگی منطقه در سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۸ در جدول (۴-۳) آورده شده است.

جدول ۴-۳- آمار بارندگی روزانه در سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۸ بر حسب میلی‌متر

روز	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱												
۲												
۳					۴							
۴												
۵	۶											
۶												
۷												
۸												
۹	۳				۲۰							
۱۰						۴						
۱۱			۲				۱۳					
۱۲			۱۷					۱				
۱۳												
۱۴					۱۴							
۱۵					۸							
۱۶							۳					
۱۷							۵	۲				
۱۸												
۱۹												
۲۰												
۲۱												
۲۲							۵					
۲۳												
۲۴												
۲۵												
۲۶												
۲۷												۴
۲۸	۸						۸					۱۲
۲۹												
۳۰												
۳۱					۷							
جمع	۱۷	۰	۱۹	۰	۵۳	۴	۳۴	۳	۰	۰	۰	۱۶

جداول (۴-۴) و (۴-۵) به ترتیب میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات، مقادیر دبی و هدایت الکتریکی را در قنات‌های منطقه در طی هفت دوره نمونه‌برداری نشان می‌دهد. روند تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی در قنات‌های منطقه ترسیم شده و در شکل (۴-۴) نشان داده شده است. روند تغییرات زمانی پارامترهای مذکور به طور جداگانه ارائه می‌شوند.

جدول ۴-۴- مقادیر دبی (لیتر بر ثانیه) در قنات‌های منطقه و میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات آن‌ها

نام قنات / تاریخ بازدید	زیدر	ابراهیم‌آباد	ارمیان	میامی	پنفتنی	جودانه	محمدآباد	نرم‌پشته	کال‌سپیدار	آب‌مرجان
۱۳۸۷/۷/۱۸	۱۷	۸/۶	-	۲۲/۰	۱۲/۰	۵/۵	۱۱/۶	۰/۵	۱/۷	۸/۲
۱۳۸۷/۹/۲۱	۱۷/۵	۸/۱	-	۱۹/۲	۱۰/۰	۲/۹	۸/۱	۰/۴	۲/۱	۷/۹
۱۳۸۷/۱۱/۱۷	۱۸/۲	۷/۸	۳/۰	۱۷/۰	۹/۳	۲/۴	۵/۹	۰/۵	۲/۳	۷/۶
۱۳۸۷/۱۲/۲۲	۲۰/۰	۹/۴	۹/۷	۱۸/۷	۱۳/۷	۲/۱	۴/۷	۰/۹	۳/۶	۹/۸
۱۳۸۸/۲/۲۴	۲۱/۸	۱۱/۷	۱۴/۵	۱۸/۳	۱۳/۰	۲/۷	۴/۲	۲/۶	۶/۹	۹/۱
۱۳۸۸/۴/۲۵	۱۸/۵	۱۰/۳	۱۱/۳	۲۲/۶	۱۲/۵	۴/۸	۷/۷	۲/۷	۱۱/۱	۸/۹
۱۳۸۸/۷/۹	۱۷/۲	۹/۸	۱/۵	۱۹/۰	۱۱/۵	۱۰/۳	۲۰/۶	۱/۰	۳/۶	۸/۶
میانگین	۱۸/۶	۹/۴	۸/۰	۱۹/۵	۱۱/۷	۴/۴	۸/۹	۱/۲	۴/۵	۸/۶
انحراف معیار	۱/۶	۱/۳	۴/۹	۱/۹	۱/۵	۲/۷	۵/۳	۰/۹	۳/۱	۰/۷
ضریب تغییرات (٪)	۸/۶	۱۳/۴	۶۲/۱	۹/۶	۱۲/۵	۶۱/۳	۵۸/۸	۷۴/۵	۷۰/۴	۸/۱

جدول ۴-۵- مقادیر هدایت الکتریکی (میکروموهس بر سانتی‌متر) در قنات‌های منطقه و میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات آن‌ها

نام قنات / تاریخ بازدید	زیدر	ابراهیم‌آباد	ارمیان	میامی	پنفتنی	جودانه	محمدآباد	نرم‌پشته	کال‌سپیدار	آب‌مرجان
۱۳۸۷/۷/۱۸	۱۵۲۱	۳۰۷	-	۳۸۸	۵۳۶	۶۳۴	۷۴۸	۶۸۱	۸۹۶	۷۳۹
۱۳۸۷/۹/۲۱	۱۵۱۰	۳۲۳	-	۳۹۰	۵۳۸	۶۴۱	۷۳۵	۶۸۹	۸۹۳	۷۴۰
۱۳۸۷/۱۱/۱۷	۱۵۰۳	۳۳۲	۳۴۵	۳۹۴	۵۴۲	۶۵۲	۷۰۳	۶۹۹	۸۷۳	۷۴۰
۱۳۸۷/۱۲/۲۲	۱۴۹۵	۳۱۸	۳۳۱	۳۸۳	۵۳۹	۶۷۲	۷۱۹	۶۸۸	۸۶۶	۷۲۶
۱۳۸۸/۲/۲۴	۱۵۱۵	۳۰۴	۳۲۴	۳۸۲	۵۵۳	۶۵۸	۷۵۳	۶۶۸	۸۹۰	۷۳۲
۱۳۸۸/۴/۲۵	۱۵۲۳	۳۰۹	۳۲۸	۳۷۷	۵۶۱	۶۵۲	۷۸۳	۶۲۰	۹۰۸	۷۱۹
۱۳۸۸/۷/۹	۱۵۳۷	۳۰۸	۳۳۳	۳۸۹	۵۷۲	۶۶۱	۷۶۴	۶۵۰	۸۸۰	۷۲۸
میانگین	۱۵۱۴/۸	۳۱۴/۴	۳۳۲/۲	۳۸۶/۱	۵۴۸/۷	۶۵۲/۸	۷۴۳/۶	۶۷۰/۷	۸۸۶/۶	۷۳۲/۰
انحراف معیار	۱۲/۸	۹/۵	۷/۱	۵/۳	۱۲/۷	۱۱/۷	۲۵/۱	۲۵/۵	۱۳/۴	۷/۵
ضریب تغییرات (٪)	۰/۸	۳/۰	۲/۱	۱/۴	۲/۳	۱/۸	۳/۴	۳/۸	۱/۵	۱/۰

قنات زیدر:

شکل (۴-۴) تغییرات زمانی دبی و هدایت الکتریکی را در قنات زیدر نشان می‌دهد. هدایت الکتریکی آب این قنات در میان قنات‌های مطالعه شده بالاترین می‌باشد که دلیل آن عبور آب این قنات از سازندهای مارن، شیل و ماسه سنگ است. این قنات به علت این که عموماً از تشکیلات مارنی و شیلی تغذیه می‌شود و طول مسیر آن نسبتاً زیاد است اثرات بارندگی اندکی با تاخیر می‌رسد.

قنات ابراهیم آباد:

تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی در قنات ابراهیم آباد در شکل (۴-۴) ترسیم شده است. این قنات به دلیل این که مادر چاه آن در فاصله حدود صد متری از کوه‌های آهکی واقع شده است و از آهک‌های موجود در منطقه تغذیه می‌شود، پائین‌ترین هدایت الکتریکی را در میان قنات‌های مطالعه شده دارا می‌باشد. لذا پائین‌ترین میانگین هدایت الکتریکی را این قنات به خود اختصاص داده است. با توجه به این که این قنات از آهک‌هایی تغذیه می‌شود که دارای سیستم افشان می‌باشند یعنی این که تغذیه عمدتاً از طریق شکستگی‌های به هم پیوسته کوچک‌تر از یک سانتی‌متر انجام می‌پذیرد، بنابراین تغییرات دبی آن اندک است.

قنات ارمیان:

این قنات جزء چشمه قنات‌ها محسوب می‌شود همان طور که در فصل دوم ذکر شد گاهی کوه‌های آهکی دارای ذخائر قابل ملاحظه‌ای آب زیرزمینی هستند و به همین علت چشمه‌هایی در عمق دره‌های مرتبط با این کوه‌ها یا حد فاصل کوه‌های مزبور و دشت یا در محل شکستگی‌های متعلق به این کوه‌ها به وجود می‌آید. روی این چشمه‌ها را معمولاً واریزه‌های کوه‌ها یا آبرفت پوشانده است. طبیعتاً آب این چشمه‌ها به واریزه‌ها یا آبرفت‌ها نفوذ می‌کند که با حفر قنات در این محل‌ها می‌توان از آب این چشمه‌ها استفاده کرد. مقدار آب این قنات‌ها با طول و عمقشان تناسب چندانی ندارد و

بیشترین قسمت تونل متعلق به خشکه‌کار است. در بعضی از قنات‌ها مادرچاه وجود ندارد که قنات ارمیان نیز جزء همین گروه است. این قنات نیز به دلیل این که از کوه‌های آهکی تغذیه می‌گردد، هدایت الکتریکی پائینی دارا می‌باشد. در شکل (۴-۴) روند تغییرات دو پارامتر مورد بررسی (هدایت الکتریکی و دبی) نشان داده شده است. به علت بارندگی‌های بهمن، اسفند و فروردین ماه، میزان دبی به مقدار قابل توجهی افزایش یافته است و از اردیبهشت ماه به بعد به دلیل فقدان بارندگی قابل ملاحظه دبی به طور محسوسی کاهش یافته است. همزمان با افزایش دبی، هدایت الکتریکی کاهش یافته است و در زمانی که دبی روند نزولی داشته است، هدایت الکتریکی افزایش یافته است. نکته قابل توجه این است که هنگامی که قنات بالاترین دبی را داشته است، هدایت الکتریکی تقریباً حداقل بوده است. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این قنات در پنج مرتبه از بهمن ماه ۱۳۸۷ انجام شده است.

قنات میامی:

این قنات نیز همانند قنات ارمیان جزء چشمه قنات‌ها تقسیم‌بندی می‌گردد. و به دلیل تغذیه از کوه‌های آهکی هدایت الکتریکی پائینی دارد. به علت افزایش میزان بارندگی در سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۸ انتظار داریم که مقدار دبی در مهرماه ۱۳۸۸ نسبت به مهرماه ۱۳۸۷ افزایش یابد اما دلیل کاهش نسبی دبی جریان در مهرماه ۱۳۸۸، به احتمال قوی برداشت آب برای آبیاری مزارع کوچک بالادست محل اندازه‌گیری بوده است زیرا به علت این که دسترسی به مظهر قنات مشکل بوده است، نمونه‌برداری از مظهر قنات صورت نگرفته است. در این قنات نیز همانند قنات‌های قبلی دو پارامتر مورد بررسی (هدایت الکتریکی و دبی) با یکدیگر روند معکوسی دارند که روند تغییرات آن‌ها در شکل (۴-۴) نشان داده شده است.

قنات پنفتنی:

شکل (۴-۴) تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی را در قنات پنفتنی نشان می‌دهد. این قنات در پائین دست قنات میامی واقع شده است لذا انتظار است که هدایت الکتریکی آن از قنات میامی بیشتر باشد و نتایج نیز هم موکد این مسئله است. تغییرات هدایت الکتریکی این قنات نیز همانند دیگر قنات‌های مطالعه شده با تغییرات دبی جریان رابطه معکوسی را نشان می‌دهد.

قنات جودانه:

در شکل (۴-۴) تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی جریان در قنات جودانه ارائه شده است. حوضه آبگیر این قنات از سازندهایی با تراوایی نسبتاً پائین تشکیل شده است که آب آن‌ها به صورت تدریجی و با زمان تاخیر نسبتاً بالایی به قنات می‌رسد. به خاطر همین مسئله از اردیبهشت ماه به بعد دبی شروع به افزایش کرده است. به همین دلیل هدایت الکتریکی در ابتدا کاهش یافته سپس در اوائل تابستان یک افزایش جزئی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است به دلیل این که در قنات جودانه ناهمگنی زیاد است لذا در مهرماه ۱۳۸۸ با افزایش دبی، هدایت الکتریکی هم افزایش یافته است. این مسئله به دلیل آن است که در این زمان قنات از آبی تغذیه می‌شود که هدایت الکتریکی بیشتری را شامل می‌شود.

قنات محمدآباد:

حوضه آبگیر این قنات از سنگ‌های مختلفی از قبیل شیل، مارن و سنگ‌های آذرین و دگرگونی که دارای تراوایی پائینی هستند تشکیل شده است لذا تغذیه سالانه آن با زمان تاخیر نسبتاً بالایی می‌رسد در نتیجه دبی از اردیبهشت ماه افزایش یافته است. این قنات به دلیل این که در نزدیکی قنات جودانه واقع شده است روند تغییراتش مشابه با قنات جودانه می‌باشد که در شکل (۴-۴) نشان داده شده است. یکسان بودن روند تغییرات این دو قنات را می‌توان به تشکیلات تقریباً مشابهی که در

حوضه آبگیرشان وجود دارد نیز نسبت داد. علاوه بر این به دلیل بزرگتر بودن حوضه آبگیر این قنات نسبت به قنات جودانه، میزان آبدهی آن نیز بیشتر می‌باشد.

قنات نرم پشته:

این قنات جزء قنات‌های دره‌ای است و دارای هدایت الکتریکی متوسطی می‌باشد. تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی در شکل (۴-۴) نشان داده شده است. آبدهی این قنات تحت تاثیر بارش‌های منطقه می‌باشد به طوری که به علت عدم بارندگی در ماه‌های مهر و آبان، دبی در آذر ماه کاهش یافته اما با ریزش‌های قابل ملاحظه‌ای که در ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین ماه رخ داده دبی یک روند افزایشی را نشان می‌دهد. اما با وجود این که در اردیبهشت و خرداد ماه بارندگی محسوسی نداشته‌ایم اما دبی افزایش یافته است این مسئله به دلیل آن است که آب قنات غیر از آبرفت‌های دانه درشت رودخانه از تپه‌های اطراف نیز تغذیه می‌گردد. در ضمن به علت عدم بارندگی قابل توجه در مرداد و شهریور ماه، دبی در مهرماه ۱۳۸۸ کاهش یافته است اما به طور محسوسی از دبی در مهر ماه ۱۳۸۷ بالاتر است.

قنات کال‌سپیدار:

این قنات همانند قنات نرم پشته جزء مشخص‌ترین قنات‌های دره‌ای است که قنات بالادست قنات پائین‌دست را تغذیه می‌کند. قنات کال‌سپیدار در پائین‌دست قنات نرم‌پشته واقع شده است لذا انتظار است که هرچه از بالادست دره به سمت پائین‌دست دره می‌آییم هدایت الکتریکی افزایش یابد که نتایج نیز موید بالا بودن هدایت الکتریکی قنات کال‌سپیدار نسبت به قنات نرم‌پشته می‌باشد. روند تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی در این قنات نیز در شکل (۴-۴) آورده شده است. با افزایش دبی، هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد اما همان طور که در شکل (۴-۴) مشاهده می‌گردد در این قنات از اسفندماه به بعد با افزایش آبدهی، هدایت الکتریکی نیز افزایش یافته است این مسئله به خاطر این

است که عمق کوره قنات بسیار کم است و در حدود پنج الی شش متری زیر مسیر رودخانه که دارای بافت دانه درشت می‌باشد واقع شده است و در بالادست آن چندین مـزارع کشـاورزی وجـود دارد بـه عبارت دیگر به دلیل اثر آبهای برگشتی از کشاورزی می‌باشد.

قنات آب مرجان:

تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی در شکل (۴-۴) نشان داده شـده اسـت. ایـن قنـات نیـز جـزء قنات‌های دره‌ای می‌باشد و در دره حفر شده است. لذا قسمتی از آب قنات از آبرفت‌های دانـه درشـت رودخانه است و بخش دیگر آبی که قنات را تغذیه می‌کند از نقـاط مختلـف دره بـا تشـکیلات زمـین شناسی مختلف که دارای زمان‌های تأخیر متفاوتی هستند تأمین می‌شود. بنابراین این آب‌هـا بـا هـم تداخل می‌کنند و چنین نوساناتی در مقادیر هدایت الکتریکی مشاهده می‌گردد. با توجـه بـه ایـن کـه حوضه آبگیر این قنات بزرگ و تراوایی کم است لذا ممکن است که هدایت الکتریکی زیاد شود و دبـی تغییری نکند و یا بر عکس.

۴-۵-۲- بررسی هیدروگراف قنات

به منظور بررسی کمی تخلیه آب قنات و همچنین برآورد ضریب یا ضرایب دبی، منحنی فرود قنات‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های مربوط به هیدروگراف (تغییرات زمانی دبی) ترسیم شده است. شکل (۴-۵) منحنی‌های فرود ترسیم شده مربوط به قنات‌های منطقه را نشان می‌دهد. منحنی فرود از دبی اوج آغاز شده و تا زمان افزایش مجدد دبی ادامه می‌یابد و در این بازه زمانی دبی قنات از آب‌های ذخیره شده در سفره آب زیرزمینی تامین می‌گردد. لازم به ذکر است که این منحنی به صورت نیمه لگاریتمی است بدین صورت که دبی در روی محور عمودی که لگاریتمی است در برابر زمان ترسم می‌گردد که روند داده‌ها به صورت یک خط مستقیم .و یا یک خط شکسته با

شیب‌های مختلف ظاهر می‌شود. شیب خط و یا خطوط شکسته ایجاد شده به عنوان ضریب یا ضرایب دبی در نظر گرفته می‌شوند. ضریب دبی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_1}{0.4343(t_1 - t_0)} \qquad (۱-۴)$$

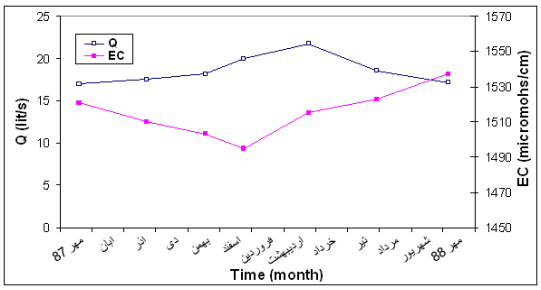
که در معادله (۴-۱) α ضریب دبی، Q_0 و Q_1 دبی‌های قنات بر حسب متر مکعب بر ثانیه به ترتیب در زمان‌های t_0 و t_1 می‌باشد.

مقادیر شیب به دست آمده از منحنی‌های فرود در قنات‌های مختلف در جدول (۴-۶) ارائه شده است. در قنات‌های زیدر، محمدآباد، جودانه، ابراهیم‌آباد و ارمیان، تخلیه آب زیرزمینی در دو رژیم مختلف صورت می‌گیرد به عبارتی منحنی فرود دارای دو شیب می‌باشد. اما قنات‌های میامی، پنفتنی، آب‌مرجان، نرم پشته و کال‌سپیدار اساساً دارای یک شیب هستند.

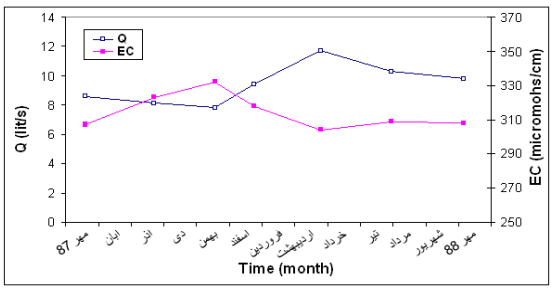
جدول ۴-۶- مقادیر شیب به دست آمده از منحنی فرود در قنات‌های مختلف

شیب / نام قنات	شیب (۱)	شیب (۲)
زیدر	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۱۱
محمدآباد	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۱۸
جودانه	۰/۰۰۹۹	۰/۰۰۳۷
ابراهیم‌آباد	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۷
ارمیان	۰/۰۰۳۹	۰/۰۳۰۱
میامی	۰/۰۰۲۲	-
پنفتنی	۰/۰۰۰۹	-
آب‌مرجان	۰/۰۰۰۶	-
نرم‌پشته	۰/۰۱۵۱	-
کال‌سپیدار	۰/۰۱۶۸	-

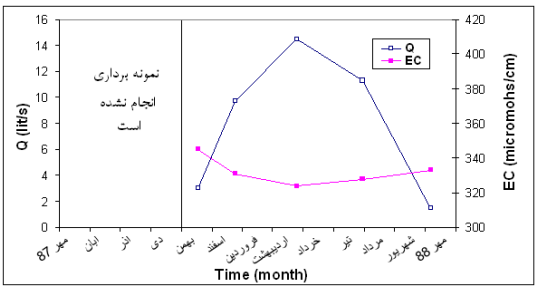
قنات زیدر



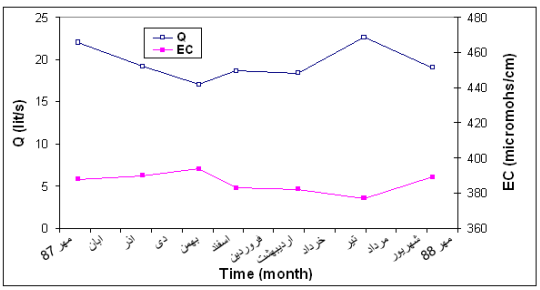
قنات ابرهیم‌آباد



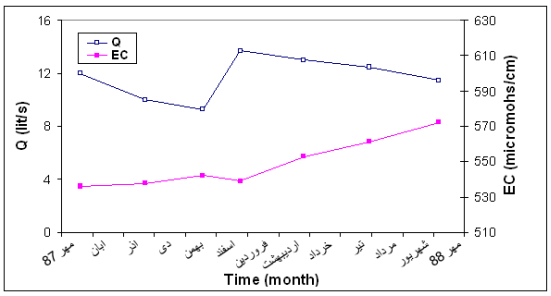
قنات ارمیان



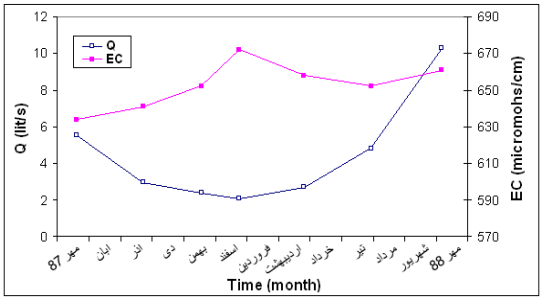
قنات میامی



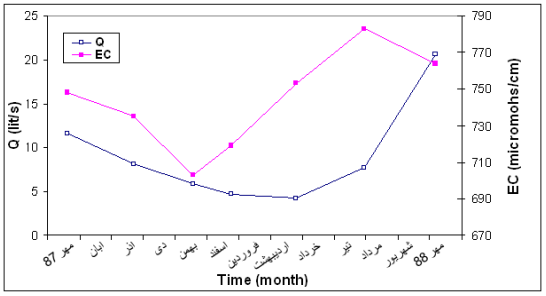
قنات پنفتنی



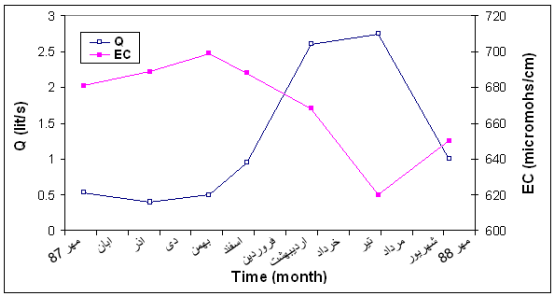
قنات جودانه



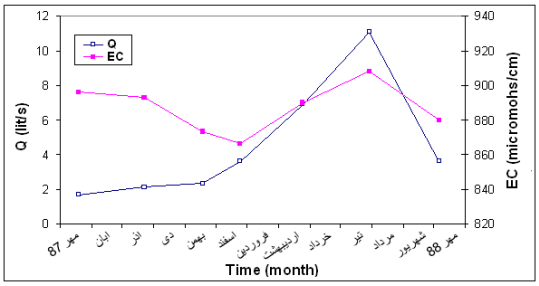
قنات محمدآباد



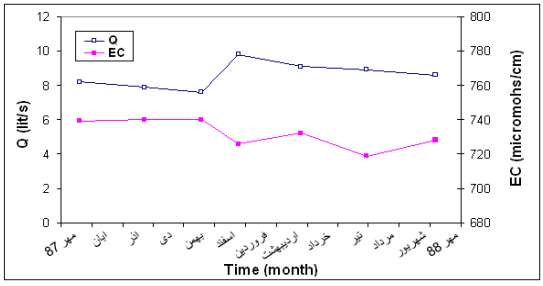
قنات نرم‌پشته



قنات کال‌سپیدار

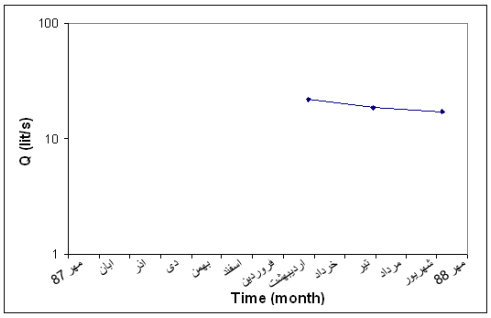


قنات آب مرجان

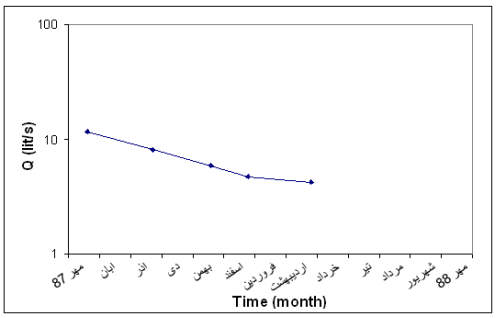


شکل ۴-۴- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی در قنات‌های منطقه مورد مطالعه

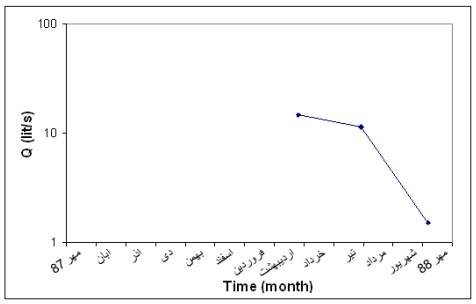
قنات زیدر



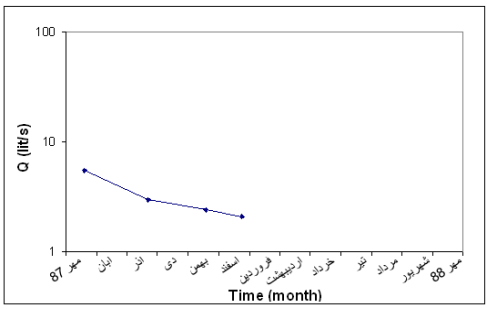
قنات محمدآباد



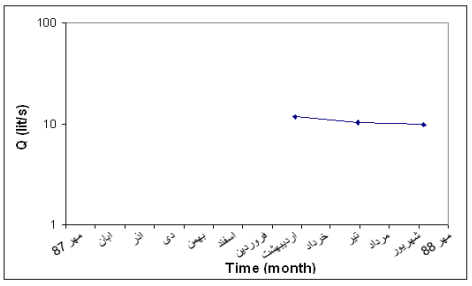
قنات ارمیان



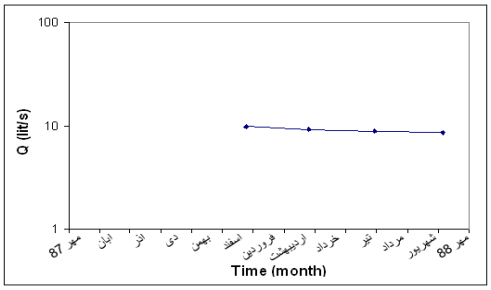
قنات جودانه



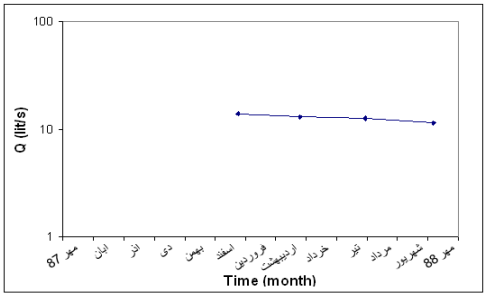
قنات ابراهیم آباد



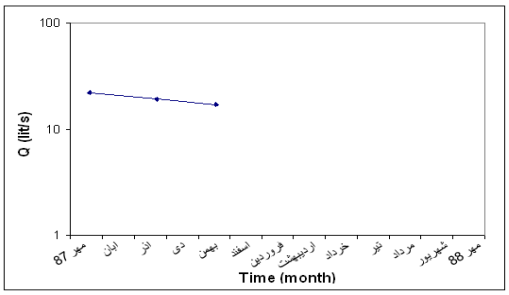
قنات آب‌مرجان



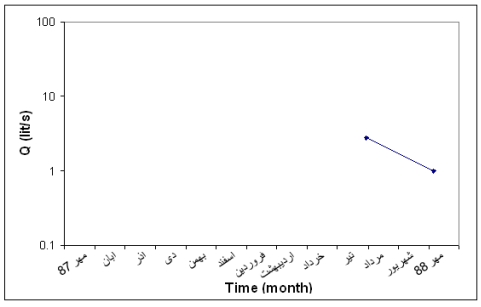
قنات پنفتنی



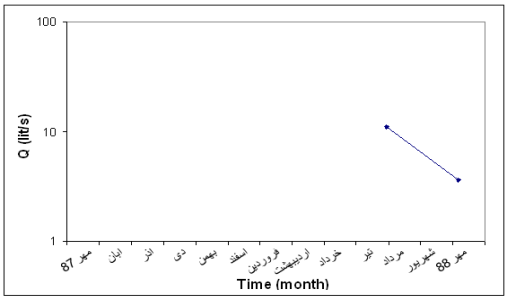
قنات میامی



قنات نرم‌پشته



قنات کال‌سپیدار



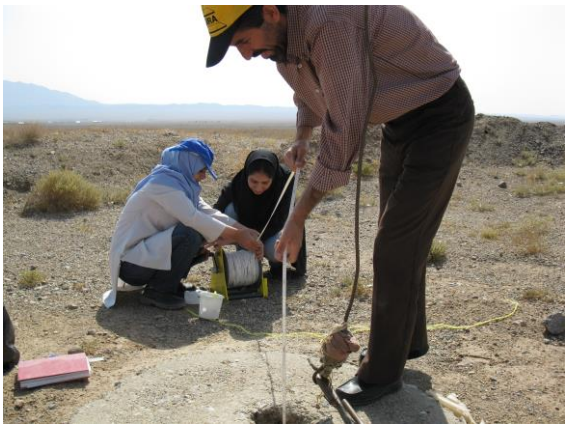
شکل ۴-۵- منحنی فرود قنات‌های مورد مطالعه

۴-۵-۳- بررسی آبدهی قنات‌ها

همان طور که در فصل دوم نیز بیان شد، عوامل مختلفی بر روی آبدهی قنات‌ها تاثیر می‌گذارد که یکی از این فاکتورها مساحت حوضه آبگیر قنات‌ها می‌باشد. به این ترتیب که هرچه مساحت حوضه آبگیر بیشتر باشد طبیعتاً میزان آبدهی نیز زیادتر می‌شود اما همیشه وسیع بودن حوضه آبگیر دلیل بر افزایش آبدهی قنات نمی‌باشد به عنوان مثال قنات آب مرجان دارای یک حوضه آبگیر نسبتاً وسیع و بزرگ می‌باشد اما به دلیل این که دارای تشکیلات مختلف با زمان‌های تاخیر متفاوت می‌باشد در نتیجه میزان آبدهی آن خیلی زیاد نیست و در یک سال آبی نوسانات متفاوتی دارد. علاوه بر این به علت بزرگ بودن حوضه آبگیر و تراوایی کم ممکن است مقدار هدایت الکتریی زیاد شود و دبی تغییری نکند و یا بر عکس. قنات‌های کال‌سپیدار و نرم‌پشته نیز دارای حوضه آبگیر تقریباً بزرگی هستند اما به دلیل جنس رسوبات واقع شده در آن‌ها آبدهی خیلی زیادی ندارند. بنابراین علاوه بر حوضه آبریز، جنس رسوباتی که در آن حوضه قرار گرفته‌اند نیز مهم می‌باشد. از دیگر مسائلی که در مورد آبدهی قنات‌ها مطرح می‌شود میزان هدرروی آب در خشکه کار است اما تعیین دقیق طول خشکه کار به علت نوسانات سطح آب زیرزمینی کاری مشکل است. به خاطر همین مسئله تعیین دقیق نفوذ از خشکه‌کار میسر نیست. اما به طور کلی در مناطق کوهستانی و آبرفت‌های رودخانه که بافت دانه درشت دارند هدرروی نسبتاً زیاد می‌باشد مخصوصاً اگر کول گذاری انجام نگرفته باشد. در قنات‌هایی مانند نرم‌پشته، کال‌سپیدار و آب‌مرجان که از آبرفت‌های دانه درشت رودخانه تغذیه می‌گردد احتمال هدرروی زیاد است. اما در نواحی دشتی به علت این که دارای بافت ریز دانه می‌باشند، هدرروی کمتر صورت می‌گیرد لذا در قنات زیدر که از رسوباتی تغذیه می‌شود که داری شرایط فوق را دارند احتمالاً هدرروی کمتر است و بالاتر بودن دبی آن نسبت به بیشتر قنات‌های منطقه مورد مطالعه طبیعی است.

۴-۵-۴- مقایسه کیفیت آب در بالادست و پائین‌دست قنات

به منظور مقایسه کیفیت آب قنات در بالادست و پائین‌دست قنات، هدایت الکتریکی قنات‌های زیدر، جودانه، کال‌سپیدار و میامی در دو محل مورد نظر اندازه‌گیری شد. شکل (۴-۶) نحوه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی را در بالادست یکی از قنات‌های منطقه نشان می‌دهد. علاوه بر این، مقادیر هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در پائین‌دست و بالادست، در جدول (۴-۷) ارائه شده است.



شکل ۴-۶- نحوه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در بالادست یکی از قنات‌های منطقه

جدول ۴-۷- مقادیر اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی در بالادست و پائین‌دست در قنات‌های مختلف

قنات	مقادیر هدایت الکتریکی در بالادست (میکروموهس بر سانتی‌متر)	مقادیر هدایت الکتریکی در پائین‌دست (میکروموهس بر سانتی‌متر)
زیدر	۱۵۲۶	۱۵۳۷
جودانه	۶۵۰	۶۶۱
کال‌سپیدار	۸۹۴	۸۸۰
میامی	۲۶۰	۳۸۶

همان طور که انتظار است نتایج نشان داد که مقادیر هدایت الکتریکی در بالادست قنات‌های مطالعه شده کمتر از پائین‌دست می‌باشد اما در قنات کال‌سپیدار این گونه نیست علت آن است که در هنگام بالا آوردن آب از چاه، احتمالاً ظرف نمونه‌برداری به دیواره‌های چاه برخورد کرده و موجب شده است که املاح آن زیاد گردد. یکی دیگر از علل افزایش هدایت الکتریکی در مادرچاه نسبت به مظهر، تاخیر

ایجاد شده در هنگام بالا آوردن آب از چاه است که باعث بالا رفتن درجه حرارت آب و به تبع آن افزایش هدایت الکتریکی می‌شود. زیرا با افزایش درجه حرارت، هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد. از آن‌جایی که محل نمونه‌برداری هدایت الکتریکی در پائین‌دست چشمه قنات میامی یک کانال روباز است لذا انتظار می‌رفت که بیشترین اختلاف هدایت الکتریکی را با بالادست داشته باشد. با اندازه‌گیری‌های انجام شده این مسئله تائید شد.

۴-۵-۵- بررسی تغییرات زمانی دبی و درجه حرارت

درجه حرارت آب قنات‌های منطقه میامی با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد در مظهر آن در یکسال آبی اندازه‌گیری شده است که در جدول (۴-۸) نشان داده شده است. شکل (۴-۷) تغییرات زمانی درجه حرارت آب را با دبی در قنات‌های مورد مطالعه مقایسه می‌کند. تغییرات درجه حرارت در قنات‌های منطقه تحت تاثیر عوامل مختلفی است که به ذکر چند مورد از مهم‌ترین آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱- تغییرات دمای هوا یا محیط

۲- طول مسیری که آب قنات در معرض هوا است

۳- آبدهی قنات (هرچه دبی بیشتر باشد، تاثیر هوای بیرون کمتر می‌شود و هرچه دبی کمتر شود تاثیر هوای بیرون نیز بیشتر می‌شود)

۴- توپوگرافی منطقه

۵- عمق قنات (هرچه که عمق قنات کمتر باشد، بیشتر تحت تاثیر هوای محیط قرار می‌گیرد و بر عکس)

۶- باز یا بسته بودن دهانه چاه‌ها (اگر دهانه چاه‌ها باز باشد به علت این که در معرض هوای محیط قرار می‌گیرند لذا از هوای محیط تبعیت می‌کنند)

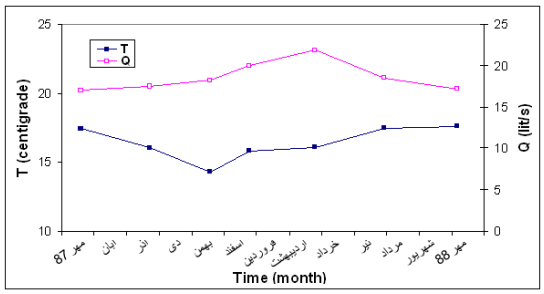
۷- زمان اندازه‌گیری درجه حرارت آب قنات در طول روز

همان طور که ذکر شد تغییرات درجه حرارت آب قنات علاوه بر خود سفره آب زیرزمینی تابعی از طول مسیر قنات و ... نیز می‌باشد. به عنوان مثال در قنات ابراهیم آباد که طول مسیر قنات کوتاه می‌باشد تغییرات زمانی درجه حرارت با تغییرات زمانی دبی رابطه مستقیمی را نشان می‌دهد. به این ترتیب که هرچه دبی قنات بیشتر باشد درجه حرارت قنات نیز بیشتر است. علت این امر به این قرار است که در هنگام دبی اوج قنات، بخشی از آب قنات از بخش‌های سطحی‌تر سفره آب زیرزمینی تامین می‌شود که درجه حرارت نسبی آن‌ها اندکی بالاتر می‌باشد و در دبی‌های کمتر (مثل اواخر فصل تابستان و اوایل فصل پاییز) آب قنات از قسمت‌های نسبتاً عمیق‌تر تخلیه می‌شود که به طور نسبی درجه حرارت آب مناطق اندکی پائین‌تر است. اما در قنات‌هایی مانند جودانه و محمدآباد که طول قنات بیشتر است بیشتر تحت تاثیر هوای محیط می‌باشند. قنات زیدر جزء قنات‌های کم عمق می‌باشد لذا عمق چاه‌های آن کم می‌باشد. علاوه بر این، اکثر دهانه چاه‌های آن باز هستند به خاطر همین مسئله درجه حرارت آن بیشتر تحت تاثیر هوای بیرون است. بنابراین قنات‌های نرم‌پشته و کال‌سپیدار که دارای عمق اندکی هستند نیز بیشتر تحت تاثیر هوای محیط می‌باشد. در قنات پنفتنی به علت این که دهانه چاه‌ها بسته است تغییرات درجه حرارت با دبی رابطه مستقیمی را نشان می‌دهد به طوری که با افزایش دبی، درجه حرارت آب نیز افزایش یافته است. قنات‌های ارمیان و میامی به دلیل آن که حالت چشمه دارند لذا تغییرات درجه حرارت آن‌ها با تغییرات دبی هم خوانی دارد. تغییرات درجه حرارت در قنات آب مرجان با تغییرات دبی رابطه مستقیمی دارد اما در تیرماه ۱۳۸۷ و مهرماه ۱۳۸۸ دبی با درجه حرارت آب رابطه عکس دارد که این نوسانات جزئی به علت موارد ذکر شده در بالا است.

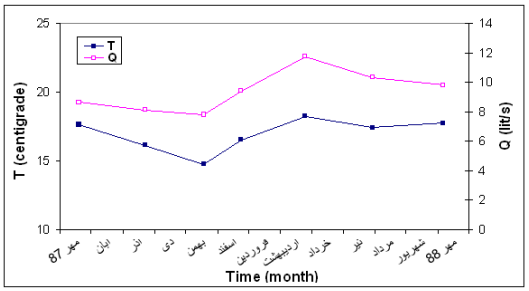
جدول ۴-۸- میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات و مقادیر درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) در قنات‌های مورد مطالعه

نام قنات / تاریخ بازدید	زیدر	ابراهیم‌آباد	ارمیان	میامی	پنفتنی	جودانه	محمدآباد	نرم‌پشته	کال‌سپیدار	آب‌مرجان
۱۳۸۷/۷/۱۸	۱۷/۴	۱۷/۶	-	۱۸/۰	۱۸/۰	۱۸/۷	۲۰/۱	۱۹/۰	۱۷/۸	۱۸/۵
۱۳۸۷/۹/۲۱	۱۶/۰	۱۶/۱	-	۱۵/۵	۱۶/۵	۱۶/۵	۱۷/۸	۱۵/۳	۱۵/۲	۱۶/۸
۱۳۸۷/۱۱/۱۷	۱۴/۳	۱۴/۷	۱۳/۹	۱۳/۷	۱۵/۸	۱۴/۳	۱۵/۸	۱۲/۲	۱۳/۶	۱۵/۹
۱۳۸۷/۱۲/۲۲	۱۵/۸	۱۶/۵	۱۷/۴	۱۶/۷	۱۷/۱	۱۶/۴	۱۷/۷	۱۵/۶	۱۶/۱	۱۷/۰
۱۳۸۸/۲/۲۴	۱۶/۱	۱۸/۲	۱۸/۷	۱۷/۳	۱۷/۳	۱۷/۵	۱۸/۲	۱۵/۹	۱۶/۴	۱۶/۷
۱۳۸۸/۴/۲۵	۱۷/۵	۱۷/۴	۱۸/۰	۱۹/۰	۱۷/۲	۱۷/۸	۱۸/۲	۱۶/۲	۱۶/۶	۱۷/۵
۱۳۸۸/۷/۹	۱۷/۶	۱۷/۷	۱۷/۴	۱۸/۰	۱۷/۰	۱۷/۸	۱۸/۴	۱۶/۸	۱۶/۷	۱۸/۴
میانگین	۱۶/۴	۱۶/۹	۱۷/۱	۱۶/۹	۱۷/۰	۱۷/۰	۱۸/۰	۱۵/۸	۱۶/۰	۱۷/۲
انحراف معیار	۱/۱	۱/۱	۱/۷	۱/۶	۰/۶	۱/۳	۱/۲	۱/۹	۱/۲	۰/۹
ضریب تغییرات (٪)	۶/۸	۶/۶	۹/۷	۹/۸	۳/۷	۷/۸	۶/۵	۱۱/۸	۷/۷	۵/۰

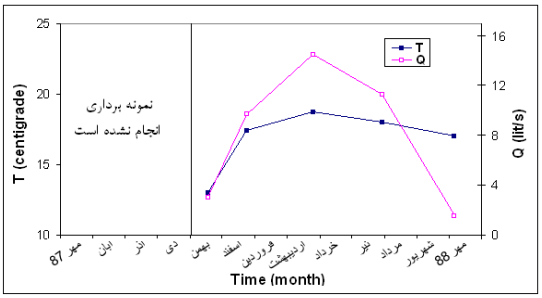
قنات زیدر



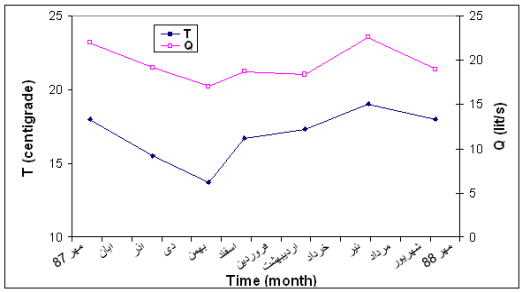
قنات ابراهیم‌آباد



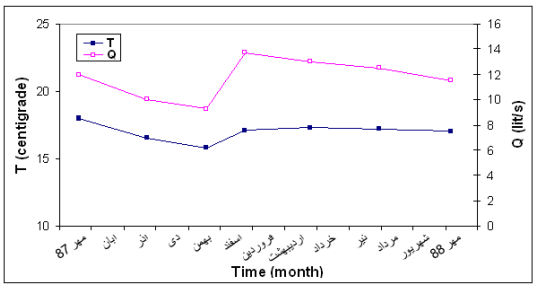
قنات ارمیان



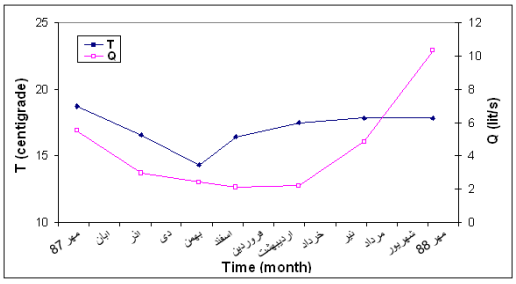
قنات میامی



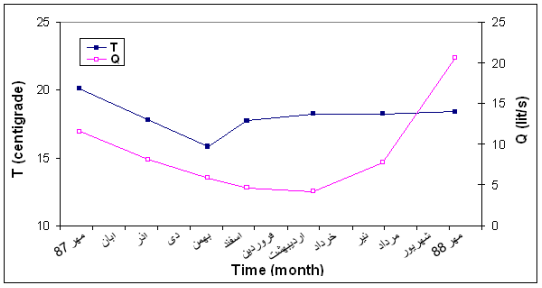
قنات پنفتنی



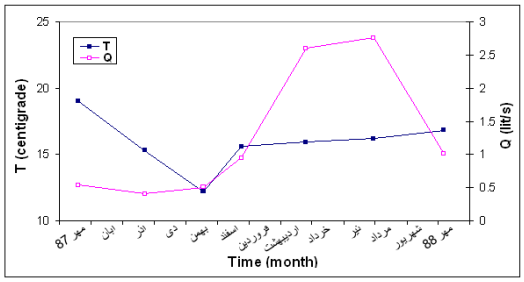
قنات جودانه



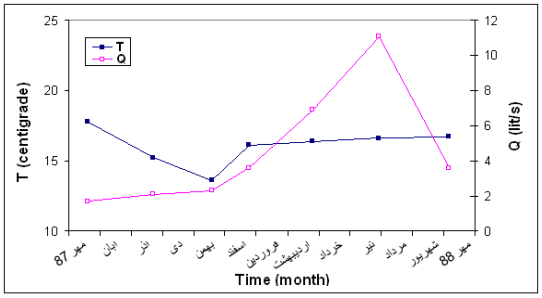
قنات محمدآباد



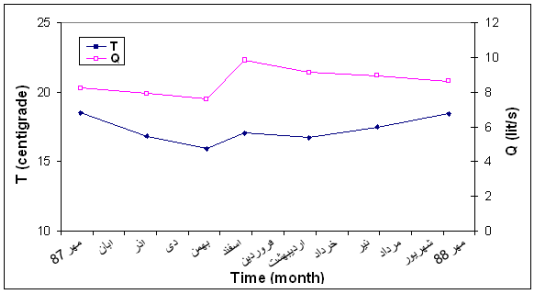
قنات نرم‌پشته



قنات کال‌سپیدار



قنات آب‌مرجان



شکل ۴-۷- تغییرات زمانی دبی و درجه حرارت در قنات‌های مورد مطالعه

۴-۵-۶- بررسی تغییرات زمانی اسیدیته (pH):

مقدار pH آب به عواملی از قبیل غلظت دی اکسید کربن محلول، آنیون‌های بی‌کربنات و کربنات و همچنین درجه حرارت آب وابسته است. به این ترتیب که هرچه مقدار دی اکسید کربن محلول در آب افزایش یابد، مقدار pH کمتر می‌شود. با افزایش مقدار آنیون‌های بی‌کربنات و کربنات، مقدار pH افزایش می‌یابد و با افزایش مقدار درجه حرارت مقدار pH کمتر می‌شود. میزان pH همانند درجه حرارت آب، دبی و هدایت الکتریکی در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده است و داده‌های حاصله در جدول (۴-۹) درج شده‌اند.

به منظور ارزیابی کمی تغییرات pH، مقادیر میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات داده‌های pH محاسبه شده‌اند جدول (۴-۷). علاوه بر این، تغییرات زمانی pH در قنات‌های منطقه در شکل (۴-۸) نشان داده شده است.

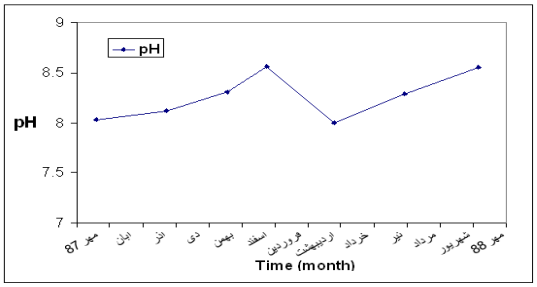
۴-۴- اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی قنات‌های منطقه مورد مطالعه

غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی شامل سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلر، سولفات، کربنات، بی‌کربنات و نیترات طی هفت دوره نمونه‌برداری در سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۸ در قنات‌های منطقه در آزمایشگاه پارک علم و فن‌آوری استان سمنان اندازه‌گیری شد که نتایج حاصله در جداول (۴-۱۰) تا (۴-۱۹) بر حسب میلی گرم در لیتر ارائه شده است. علاوه بر این میانگین این هفت دوره اندازه‌گیری نیز محاسبه گردید که در جدول (۴-۲۰) آورده شده است.

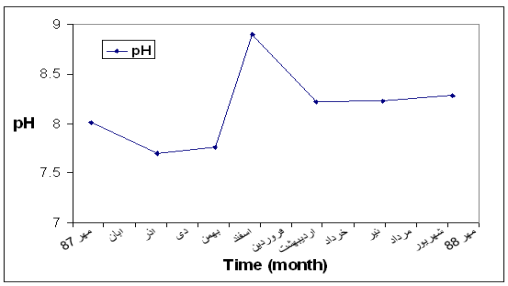
جدول ۴-۹- میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات و مقادیر اسیدیته در قنات‌های مورد مطالعه

نام قنات / تاریخ بازدید	زیدر	ابراهیم‌آباد	ارمیان	میامی	پنفتنی	جودانه	محمدآباد	نرم‌پشته	کال‌سپیدار	آب‌مرجان
۱۳۸۷/۷/۱۸	۸/۰۳	۸/۰۱	-	۸/۳۰	۸/۲۲	۸/۲۶	۸/۲۲	۸/۲۱	۸/۱۸	۸/۱۰
۱۳۸۷/۹/۲۱	۸/۱۲	۷/۷۰	-	۸/۲۹	۸/۲۹	۷/۵۷	۸/۳۷	۸/۳۳	۸/۲۲	۸/۲۶
۱۳۸۷/۱۱/۱۷	۸/۳۱	۷/۷۶	۸/۳۸	۸/۲۸	۸/۴۷	۷/۴۹	۸/۴۲	۸/۳۷	۸/۲۳	۸/۳۳
۱۳۸۷/۱۲/۲۲	۸/۵۶	۸/۹۰	۸/۸۳	۸/۹۲	۸/۷۹	۸/۸۲	۸/۸۲	۸/۷۲	۸/۲۵	۷/۹۳
۱۳۸۸/۲/۲۴	۸/۰۰	۸/۲۲	۸/۰۰	۸/۱۵	۸/۰۰	۸/۲۸	۷/۹۰	۷/۹۳	۷/۷۸	۷/۶۵
۱۳۸۸/۴/۲۵	۸/۲۹	۸/۲۳	۸/۱۶	۸/۱۵	۸/۰۵	۸/۲۸	۸/۰۲	۸/۱۱	۷/۹۳	۷/۹۸
۱۳۸۸/۷/۹	۸/۵۵	۸/۲۵	۸/۲۰	۸/۴۱	۸/۳۰	۸/۳۶	۸/۱۳	۸/۱۵	۸/۱۲	۸/۱۶
میانگین	۸/۲۶	۸/۱۵	۸/۳۱	۸/۳۵	۸/۳۰	۸/۱۵	۸/۲۷	۸/۲۶	۸/۱۰	۸/۰۵
انحراف معیار	۰/۲۱	۰/۳۷	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۴۳	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۲۱
ضریب تغییرات (٪)	۲/۶	۴/۵	۳/۴	۲/۹	۲/۹	۵/۳	۳/۴	۲/۸	۲/۰۴	۲/۶

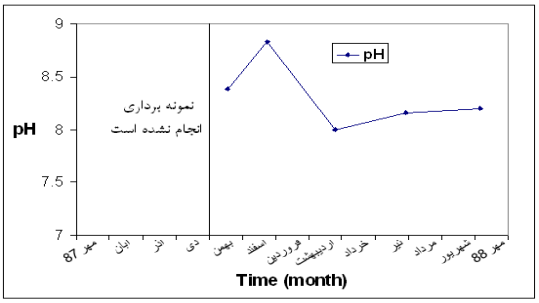
قنات زیدر



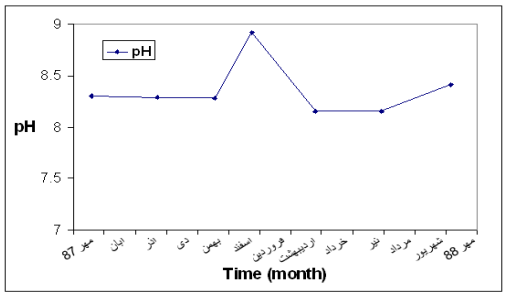
قنات ابراهیم‌آباد



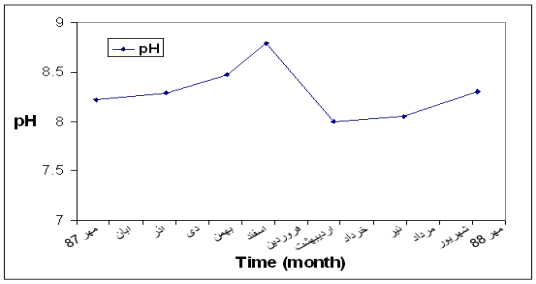
قنات ارمیان



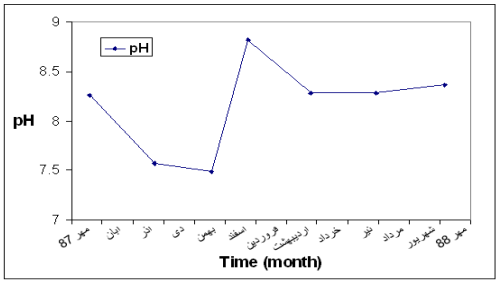
قنات میامی



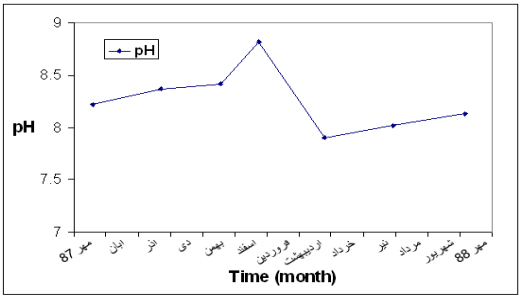
قنات پنفتنی



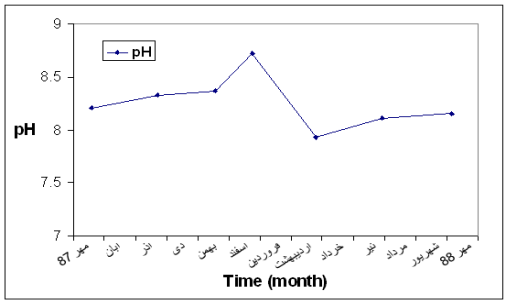
قنات جودانه



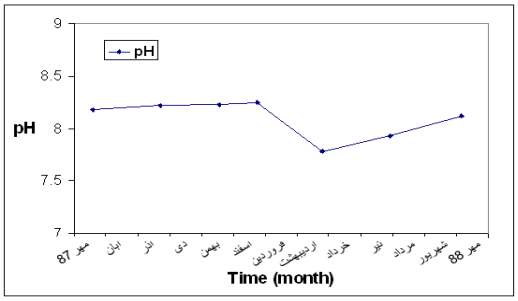
قنات محمدآباد



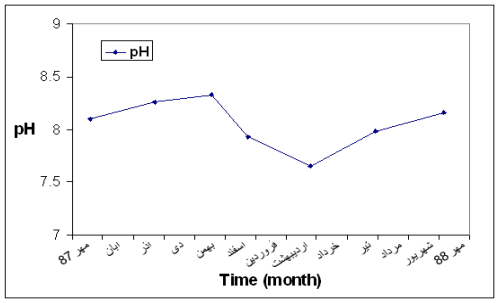
قنات نرم‌پشته



قنات کال‌سپیدار



قنات آب‌مرجان



شکل ۴-۸- تغییرات زمانی اسیدیته در قنات‌های مورد مطالعه

جدول ۴-۱۰- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات زیدر بر حسب ppm

NO_3^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	K^+	یون‌ها / تاریخ بازدید
۷/۴	۲۹۵	۱۰	۳۷۵	۱۰۵	۴۲	۷۷	۱۷۵	۲	۱۳۸۷/۷/۱۸
۷/۴	۲۹۳	۱۰	۳۷۰	۱۰۲	۴۰	۷۷	۱۷۰	۱/۸	۱۳۸۷/۹/۲۱
۷/۴	۲۸۹	۹	۳۶۴	۱۰۰	۳۸	۷۷	۱۷۰	۱/۷	۱۳۸۷/۱۱/۱۷
۷/۳	۲۸۴	۹	۳۶۰	۱۰۰	۳۷	۷۵	۱۷۰	۱/۶	۱۳۸۷/۱۲/۲۲
۷/۴	۲۸۶	۹	۳۶۵	۱۰۲	۴۰	۷۵	۱۷۳	۱/۸	۱۳۸۸/۲/۲۴
۷/۴	۲۹۳	۹	۳۷۰	۱۰۲	۴۰	۷۵	۱۷۵	۲	۱۳۸۷/۴/۲۶
۷/۵	۲۹۶	۱۰	۳۷۵	۱۰۵	۴۲	۷۸	۱۷۷	۲	۱۳۸۸/۷/۸
۷/۴	۲۹۰/۸	۹/۴	۳۶۸/۴	۱۰۲/۳	۳۹/۸	۷۶/۳	۱۷۲/۸	۱/۸	میانگین
۰/۰۵	۴/۲	۰/۵	۵/۳	۱/۹	۱/۷	۱/۲	۲/۷	۰/۱۵	انحراف معیار
۰/۷	۱/۵	۵/۲	۱/۴	۱/۹	۴/۳	۱/۵	۱/۵	۸/۱	ضریب تغییرات (٪)

جدول ۴-۱۱- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات ابراهیم‌آباد بر حسب ppm

NO_3^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	K^+	یون‌ها / تاریخ بازدید
۴/۲	۱۳۷	۵	۱۰	۱۲	۱۰	۳۲	۱۶	۱/۳	۱۳۸۷/۷/۱۸
۴/۵	۱۴۰	۶	۱۰	۱۵	۱۰	۳۵	۱۶	۱/۵	۱۳۸۷/۹/۲۱
۴/۶	۱۴۳	۶	۱۲	۱۵	۱۱	۳۷	۱۶	۱/۷	۱۳۸۷/۱۱/۱۷
۴/۵	۱۴۰	۶	۱۲	۱۳	۹	۳۴	۱۶	۱/۵	۱۳۸۷/۱۲/۲۲
۴/۱	۱۳۸	۶	۱۲	۱۲	۹	۳۲	۱۴	۱/۳	۱۳۸۸/۲/۲۴
۴/۳	۱۳۸	۶	۱۲	۱۳	۹	۳۲	۱۷	۱/۴	۱۳۸۷/۴/۲۶
۴/۱	۱۳۷	۵	۱۰	۱۳	۸	۳۱	۱۶	۱/۴	۱۳۸۸/۷/۹
۴/۳	۱۳۹/۰	۵/۷	۱۱/۱	۱۳/۳	۹/۴	۳۳/۳	۱۵/۸	۱/۴	میانگین
۰/۲	۲/۰	۰/۴	۰/۹	۱/۲	۰/۹	۲/۰	۰/۸	۰/۱	انحراف معیار
۴/۴	۱/۴	۷/۹	۸/۹	۸/۷	۹/۶	۵/۹	۵/۲	۸/۹	ضریب تغییرات (٪)

جدول ۴-۱۲- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات میامی بر حسب ppm

یون‌ها / تاریخ بازدید	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-
۱۳۸۷/۷/۱۸	۱/۲	۱۷	۴۶	۱۴	۱۳	۱۴	۱۰	۱۷۵	۸
۱۳۸۷/۹/۲۱	۱/۳	۱۹	۴۶	۱۶	۱۶	۱۸	۱۰	۱۸۱	۸
۱۳۸۷/۱۱/۱۷	۱/۳	۲۰	۴۷	۱۷	۱۶	۲۱	۱۰	۱۸۵	۸
۱۳۸۷/۱۲/۲۲	۱/۲	۱۸	۴۷	۱۵	۱۴	۱۷	۱۰	۱۸۲	۸
۱۳۸۸/۲/۲۴	۱/۲	۱۷	۴۶	۱۵	۱۳	۱۵	۱۰	۱۸۰	۷/۹
۱۳۸۷/۴/۲۶	۱/۰	۱۷	۴۶	۱۳	۱۲	۱۴	۱۰	۱۷۶	۷/۹
۱۳۸۸/۷/۹	۱/۵	۱۸	۴۸	۱۳	۱۴	۱۶	۱۰	۱۷۶	۸/۳
میانگین	۱/۲	۱۸/۰	۴۶/۶	۱۴/۷	۱۴/۰	۱۶/۴	۱۰	۱۷۹/۳	۸/۰
انحراف معیار	۰/۱	۱/۱	۰/۷	۱/۴	۱/۴	۲/۳	۰	۳/۴	۰/۱
ضریب تغییرات (٪)	۱۱/۳	۵/۹	۱/۶	۹/۴	۱۰/۱	۱۴/۱	۰	۱/۹	۱/۵

جدول ۴-۱۳- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات پنفتنی بر حسب ppm

یون‌ها / تاریخ بازدید	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-
۱۳۸۷/۷/۱۸	۲/۵	۲۵	۵۲	۲۲	۱۹	۱۶	۱۰	۲۴۵	۶
۱۳۸۷/۹/۲۱	۲/۵	۲۷	۵۵	۲۲	۲۳	۱۸	۱۰	۲۵۰	۷
۱۳۸۷/۱۱/۱۷	۲/۸	۲۹	۵۵	۲۲	۲۵	۱۸	۱۰	۲۵۴	۷/۵
۱۳۸۷/۱۲/۲۲	۲/۸	۲۷	۵۲	۲۱	۲۱	۱۸	۱۰	۲۴۹	۷/۵
۱۳۸۸/۲/۲۴	۲/۸	۲۷	۵۳	۲۲	۲۱	۱۹	۱۰	۲۵۰	۷/۵
۱۳۸۷/۴/۲۶	۲/۹	۲۷	۵۳	۲۳	۲۲	۱۹	۱۰	۲۵۱	۷/۵
۱۳۸۸/۷/۹	۲/۹	۲۷	۵۴	۲۳	۲۲	۱۹	۱۰	۲۵۲	۷/۸
میانگین	۲/۷	۲۷/۰	۵۳/۴	۲۲/۱	۲۱/۸	۱۸/۱	۱۰	۲۵۰/۱	۷/۲
انحراف معیار	۰/۱	۱/۱	۱/۲	۰/۶	۱/۷	۱/۰	۰	۲/۶	۰/۵
ضریب تغییرات (٪)	۵/۸	۳/۹	۲/۲	۲/۹	۷/۹	۵/۴	۰	۱/۰	۷/۷

جدول ۴-۱۴- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات آب مرجان بر حسب ppm

یون‌ها / تاریخ بازدید	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-
۱۳۸۷/۷/۱۸	۲/۷	۳۱	۵۰	۳۹	۲۶	۵۴	۱۰	۲۷۵	۱۹/۲
۱۳۸۷/۹/۲۱	۲/۷	۳۰	۵۱	۳۹	۲۵	۵۴	۱۰	۲۷۶	۱۹/۵
۱۳۸۷/۱۱/۱۷	۲/۷	۳۰	۵۲	۳۹	۲۵	۵۵	۱۰	۲۷۷	۱۹/۶
۱۳۸۷/۱۲/۲۲	۲/۷	۳۰	۵۰	۳۸	۲۵	۵۴	۱۰	۲۷۵	۱۹/۳
۱۳۸۸/۲/۲۴	۲/۸	۳۱	۵۰	۳۹	۲۶	۵۴	۱۰	۲۷۷	۱۹/۳
۱۳۸۷/۴/۲۶	۲/۶	۳۱	۴۸	۳۸	۲۶	۵۳	۱۰	۲۷۴	۱۹/۱
۱۳۸۸/۷/۱۹	۲/۷	۳۱	۵۰	۴۰	۲۶	۵۵	۱۰	۲۷۴	۱۹/۳
میانگین	۲/۷	۳۰/۶	۵۰/۱	۳۸/۸	۲۵/۶	۵۴/۱	۱۰/۰	۲۷۵/۴	۱۹/۳
انحراف معیار	۰/۰۵	۰/۵	۱/۱	۰/۶	۰/۵	۰/۶	۰	۱/۲	۰/۱
ضریب تغییرات (٪)	۲/۰	۱/۶	۲/۲	۱/۶	۱/۹	۱/۲	۰	۰/۴	۰/۸

جدول ۴-۱۵- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات محمدآباد برحسب ppm

یون‌ها / تاریخ بازدید	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-
۱۳۸۷/۷/۱۸	۴/۰	۳۴	۶۲/۰	۳۳	۲۵/۵	۵۸	۱۰	۲۶۵	۱۸/۸
۱۳۸۷/۹/۲۱	۲/۹	۳۴	۵۸/۰	۳۳	۲۳/۰	۵۴	۹	۲۶۵	۱۸/۵
۱۳۸۷/۱۱/۱۷	۲/۶	۳۲	۵۸/۰	۳۳	۲۱/۰	۵۲	۹	۲۶۵	۱۷/۸
۱۳۸۷/۱۲/۲۲	۳/۰	۳۲	۶۱/۰	۳۴	۲۳/۵	۵۶	۱۰	۲۶۷	۱۸/۵
۱۳۸۸/۲/۲۴	۳/۷	۳۴	۶۱/۰	۳۴	۲۵/۰	۵۸	۱۱	۲۶۷	۱۸/۷
۱۳۸۷/۴/۲۶	۴/۱	۳۴	۶۲/۵	۳۵	۲۸/۰	۵۸	۱۱	۲۶۷	۱۸/۹
۱۳۸۸/۷/۹	۳/۹	۳۴	۶۱/۰	۳۳	۲۵	۵۷	۱۰	۲۶۵	۱۸/۹
میانگین	۳/۴	۳۳/۴	۶۰/۵	۳۳/۶	۲۴/۴	۵۶/۱	۱۰/۰	۲۶۵/۸	۱۸/۶
انحراف معیار	۰/۶	۰/۹	۱/۷	۰/۷	۲/۰	۲/۲	۰/۷	۱/۰	۰/۳
ضریب تغییرات (٪)	۱۶/۳	۲/۷	۲/۷	۲/۲	۸/۴	۳/۸	۷/۵	۰/۴	۱/۹

جدول ۴-۱۶- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات جودانه برحسب ppm

یون‌ها / تاریخ بازدید	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-
۱۳۸۷/۷/۱۸	۲/۹	۳۳	۴۶	۲۶	۲۴	۵۵	۵	۲۵۵	۱۲
۱۳۸۷/۹/۲۱	۳/۵	۳۵	۵۰	۲۶	۲۶	۵۷	۵	۲۶۱	۱۴
۱۳۸۷/۱۱/۱۷	۳/۵	۳۵	۵۴	۲۸	۲۶	۵۸	۶	۲۶۴	۱۷
۱۳۸۷/۱۲/۲۲	۳/۵	۳۶	۵۴	۲۹	۲۷	۵۹	۶	۲۶۴	۱۷
۱۳۸۸/۲/۲۴	۳	۳۶	۵۰	۲۶	۲۵	۵۹	۵	۲۵۶	۱۴
۱۳۸۷/۴/۲۶	۲/۹	۳۳	۴۷	۲۶	۲۴	۵۴	۵	۲۵۴	۱۲
۱۳۸۸/۷/۹	۳	۳۳	۴۷	۲۷	۲۴	۵۶	۵	۲۵۶	۱۲/۲
میانگین	۳/۱	۳۴/۴	۴۹/۷	۲۶/۸	۲۵/۱	۵۶/۸	۵/۳	۲۵۸/۶	۱۴/۰
انحراف معیار	۰/۳	۱/۳	۳/۰	۱/۱	۱/۱	۱/۸	۰/۴	۴/۰	۲/۰
ضریب تغییرات (٪)	۸/۶	۳/۷	۶/۱	۴/۲	۴/۵	۳/۲	۸/۵	۱/۵	۱۴/۶

جدول ۴-۱۷- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات کال‌سپیدار برحسب ppm

یون‌ها / تاریخ بازدید	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-
۱۳۸۷/۷/۱۸	۳/۰	۴۶	۶۱	۳۵	۳۸	۷۱	۱۰	۲۹۰	۶/۸
۱۳۸۷/۹/۲۱	۳/۰	۴۵	۶۱	۳۲	۳۸	۶۷	۱۰	۲۸۰	۶/۸
۱۳۸۷/۱۱/۱۷	۲/۸	۴۲	۵۹	۳۲	۳۵	۶۷	۹	۲۸۰	۶/۳
۱۳۸۷/۱۲/۲۲	۲/۸	۴۱	۵۸	۳۱	۳۵	۶۵	۸	۲۷۰	۶/۱
۱۳۸۸/۲/۲۴	۳	۴۴	۶۰	۳۳	۳۵	۶۸	۱۰	۲۸۰	۶/۸
۱۳۸۷/۴/۲۶	۳/۲	۴۵	۶۱	۳۳	۳۷	۷۳	۱۰	۲۹۲	۶/۸
۱۳۸۸/۷/۹	۳/۲	۴۵	۶۱	۳۲	۳۷	۷۱	۱۰	۲۸۹	۶/۵
میانگین	۳/۰	۴۴/۰	۶۰/۱	۳۲/۶	۳۶/۴	۶۸/۸	۹/۶	۲۸۳/۰	۶/۶
انحراف معیار	۰/۱	۱/۷	۱/۱	۱/۲	۱/۳	۲/۶	۰/۷	۷/۲	۰/۳
ضریب تغییرات (٪)	۵/۰	۳/۸	۱/۹	۳/۶	۳/۵	۳/۸	۷/۶	۲/۵	۴/۱

جدول ۴-۱۸- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات نرم‌پشته برحسب ppm

یون‌ها / تاریخ بازدید	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-
۱۳۸۷/۷/۱۸	۲/۱	۴۱	۵۹	۳۲/۰	۳۳	۶۵	۱۰	۲۶۵	۹/۶
۱۳۸۷/۹/۲۱	۲/۲	۴۱	۶۳	۳۵/۰	۳۳	۷۲	۱۲	۲۷۵	۹/۶
۱۳۸۷/۱۱/۱۷	۲/۳	۴۳	۶۳	۳۶/۰	۳۳	۷۵	۱۲	۲۷۷	۹/۶
۱۳۸۷/۱۲/۲۲	۲/۱	۴۳	۵۹	۳۳/۰	۳۱	۷۰	۱۲	۲۷۳	۹/۵
۱۳۸۸/۲/۲۴	۲/۱	۴۱	۵۹	۳۳/۰	۳۱	۶۶	۱۱	۲۶۹	۹/۵
۱۳۸۷/۴/۲۶	۲/۰	۴۱	۵۷	۳۱/۵	۳۰	۶۶	۱۰	۲۶۴	۹/۴
۱۳۸۸/۷/۹	۲/۲	۴۱	۵۹	۳۳	۳۳	۶۷	۱۰	۲۶۶	۹/۴
میانگین	۲/۱	۴۱/۶	۵۹/۸	۳۳/۳	۳۲/۰	۶۸/۷	۱۱/۰	۲۶۹/۸	۹/۵
انحراف معیار	۰/۱	۰/۹	۲/۱	۱/۵	۱/۲	۳/۴	۰/۹	۴/۸	۰/۱
ضریب تغییرات (٪)	۴/۲	۲/۲	۳/۵	۴/۴	۳/۷	۵/۰	۸/۴	۱/۸	۰/۹

جدول ۴-۱۹- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در قنات ارمیان برحسب ppm

یون‌ها / تاریخ بازدید	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-
۱۳۸۷/۷/۱۸	–	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۳۸۷/۹/۲۱	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۳۸۷/۱۱/۱۷	۱/۵	۱۹	۳۲	۱۷	۱۵	۱۲	۱۰	۱۶۳	۴/۸
۱۳۸۷/۱۲/۲۲	۱/۵	۱۸	۳۲	۱۷	۱۵	۱۰	۱۰	۱۶۳	۴/۵
۱۳۸۸/۲/۲۴	۱/۰	۱۸	۳۲	۱۷	۱۴	۱۰	۱۰	۱۶۳	۴/۳
۱۳۸۷/۴/۲۶	۱/۳	۲۰	۳۳	۱۷	۱۴	۱۳	۱۰	۱۶۶	۴/۳
۱۳۸۸/۷/۱۹	۱/۳	۲۰	۳۵	۱۸	۱۴	۱۳	۱۰	۱۶۹	۴/۶
میانگین	۱/۳	۱۹/۰	۳۲/۸	۱۷/۲	۱۴/۴	۱۱/۶	۱۰	۱۶۴/۸	۴/۵
انحراف معیار	۰/۲	۰/۹	۱/۲	۰/۴	۰/۴۹	۱/۳	۰	۲/۴	۰/۲
ضریب تغییرات (٪)	۱۳/۹	۴/۷	۳/۵	۲/۳	۳/۴	۱۱/۷	۰	۱/۴	۴/۲

جدول ۴-۲۰- میانگین مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در هفت دوره اندازه‌گیری بر حسب ppm

یون‌ها / قنات	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-
زیدر	۱/۸	۱۷۲/۸	۷۶/۲۸	۳۹/۸۶	۱۰۲/۲۸	۳۶۸	۹/۴۳	۲۹۰/۸	۷/۴
ابراهیم آباد	۱/۴	۱۵/۸۶	۳۳/۲۸	۹/۴۳	۱۳/۲۸	۱۱/۱۴	۵/۷۰	۱۳۹	۴/۳
میامی	۱/۲۴	۱۸	۴۶/۵۷	۱۴/۷۰	۱۴/۰۰	۱۶/۴۲	۱۰/۰۰	۱۷۹/۲۸	۸/۰۱
پنفتنی	۲/۷۴	۲۷	۵۳/۴۲	۲۲/۱۴	۲۱/۸۵	۱۸/۱۴	۱۰/۰۰	۲۵۰/۱۴	۷/۲۵
آب مرجان	۲/۷۰	۳۰/۵۷	۵۰/۱۴	۳۸/۸۶	۲۵/۵۷	۵۴/۱۴	۰۰/۱۰	۲۷۵/۴۲	۱۹/۳۲
محمد آباد	۳/۴۶	۳۳/۴۳	۶۰/۵۰	۳۳/۵۷	۲۴/۴۳	۵۶/۱۴	۱۰/۰۰	۲۶۵/۸۵	۱۸/۵۸
جودانه	۳/۱۸	۳۴/۴۰	۴۹/۷۰	۲۶/۸۵	۲۵/۴۲	۵۶/۸۵	۵/۲۸	۲۵۸/۵۷	۱۴/۰۲
کال‌سپیدار	۳/۱۰	۴۴/۰۰	۶۰/۱۴	۳۲/۵۷	۳۶/۴۳	۶۸/۸۵	۹/۵۷	۲۸۳/۰۰	۶/۵۸
نرم پشته	۲/۱۴	۴۱/۵۷	۵۹/۸۵	۳۳/۳۶	۳۲	۶۸/۷۱	۱۱/۰۰	۲۶۹/۸۵	۹/۵۱
ارمیان	۱/۳۲	۱۹/۰۰	۳۲/۸۰	۱۷/۲۰	۱۴/۴۰	۱۱/۶۰	۱۰/۰۰	۱۶۴/۸۰	۴/۵۴

با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده کاتیون‌ها و آنیون‌ها، پارامترهای مختلفی از جمله سختی، قلیائیت، TDS، SAR، Na%، $\frac{Ca}{Mg}$، $\frac{Na}{\sum Cat}$ و $\frac{Cl}{\sum Ani}$ محاسبه گردید که در جداول (۴-۲۱) تا (۴-۳۱) ارائه شده است.

جدول ۴-۲۱- پارامترهای محاسبه شده در قنات زیدر

پارامتر محاسبه شده / تاریخ بازدید	Error %	سختی (ppm)	قلیائیت (ppm)	TDS (ppm)	SAR	$\%Na$	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Na}{\sum Cat}$	$\frac{Cl}{\sum Ani}$	$\frac{TDS}{EC}$
۱۳۸۷/۷/۱۸	۷/۲	۳۶۵/۲	۳۰۵/۰	۱۰۸۸/۴	۵/۶	۵۱/۲	۱/۱	۰/۵	۰/۲	۰/۷
۱۳۸۷/۹/۲۱	۵/۸	۳۵۷/۰	۳۰۳/۰	۱۰۷۱/۲	۴/۰	۵۲/۲	۱/۲	۰/۵	۰/۲	۰/۷
۱۳۸/۱۱/۱۷	۷/۵	۳۴۸/۷	۲۹۸/۰	۱۰۵۶/۱	۴/۰	۵۱/۶	۱/۲	۰/۵	۰/۲	۰/۷
۱۳۸/۱۲/۲۲	۷/۹	۳۳۹/۶	۲۹۳/۰	۱۰۴۳/۹	۴/۰	۵۲/۲	۱/۲	۰/۵	۰/۲	۰/۷
۱۳۸۸/۲/۲۴	۶/۴	۳۵۲/۰	۲۹۵/۰	۱۰۵۹/۲	۴/۰	۵۱/۸	۱/۱	۰/۵	۰/۲	۰/۷
۱۳۸۷/۴/۲۶	۷/۰	۳۵۲/۰	۳۰۲/۰	۱۰۷۳/۴	۴/۰	۵۲/۱	۱/۱	۰/۵	۰/۲	۰/۷
۱۳۸۸/۷/۸	۶/۰	۳۶۷/۷	۳۰۶/۰	۱۰۸۹/۵	۴/۰	۵۱/۳	۱/۱	۰/۵	۰/۲	۰/۷
میانگین	۶/۸	۳۵۴/۶	۳۰۰/۳	۱۰۶۸/۸	۴/۲	۵۱/۸	۱/۱	۰/۵	۰/۲	۰/۷
انحراف معیار	۰/۷	۹/۰	۴/۶	۱۵/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۱	۰	۰	۰
ضریب تغییرات (٪)	۱۰/۶	۲/۵	۱/۵	۱/۵	۱۳/۲	٪۷	۴/۳	۰	۰	۰

جدول ۴-۲۲- پارامترهای محاسبه شده در قنات ابراهیم‌آباد

پارامتر محاسبه شده / تاریخ بازدید	Error %	سختی (*ppm*)	قلیائیت (*ppm*)	*TDS* (*ppm*)	SAR	% *Na*	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Na}{\sum Cat}$	$\frac{Cl}{\sum Ani}$	$\frac{TDS}{EC}$
۱۳۸۷/۷/۱۸	۳/۶	۱۲۱/۱	۱۴۲/۰	۲۲۷/۵	۰/۶	۲۳/۰	۲/۰	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۷/۹/۲۱	۳/۴	۱۲۸/۶	۱۴۶/۰	۲۳۸/۰	۰/۶	۲۲/۱	۲/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸/۱۱/۱۷	۱/۲	۱۳۷/۷	۱۴۹/۰	۲۴۶/۳	۰/۶	۲۲/۵	۱/۸	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸/۱۲/۲۲	۲/۲	۱۲۲/۰	۱۴۶/۰	۲۳۶/۰	۰/۶	۲۲/۵	۲/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۸/۲/۲۴	۳/۳	۱۱۷/۰	۱۴۴/۰	۲۲۸/۴	۰/۶	۲۱/۵	۲/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۷/۴/۲۶	۱/۳	۱۱۷/۰	۱۴۴/۰	۲۳۲/۷	۰/۷	۲۴/۸	۲/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۸/۷/۹	۲/۷	۱۱۰/۴	۱۴۲/۰	۲۲۵/۵	۰/۷	۲۴/۶	۲/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۷
میانگین	۲/۵	۱۳۰/۵	۱۴۴/۷	۲۳۳/۵	۰/۶	۲۳/۰	۲/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
انحراف معیار	۰/۹	۲۰/۶	۲/۳	۶/۷	۰/۱	۱/۱	۰/۱	۰	۰	۰
ضریب تغییرات (٪)	۳۶/۳	۱۵/۸	۱/۶	۲/۹	۷/۲	۵/۰	۷/۲	۰	۰	۰

جدول ۴-۲۳- پارامترهای محاسبه شده در قنات میامی

پارامتر محاسبه شده / تاریخ بازدید	Error %	سختی (*ppm*)	قلیائیت (*ppm*)	*TDS* (*ppm*)	SAR	% *Na*	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Na}{\sum Cat}$	$\frac{Cl}{\sum Ani}$	$\frac{TDS}{EC}$
۱۳۸۷/۷/۱۸	۵/۶	۱۷۲/۶	۱۸۵/۰	۲۹۸/۲	۰/۶	۱۸/۲	۲/۰	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۷/۹/۲۱	۵/۰	۱۸۰/۸	۱۹۱/۰	۳۱۵/۳	۰/۶	۱۹/۲	۱/۷	۰/۲	۰/۱	۰/۸
۱۳۸/۱۱/۱۷	۵/۵	۱۸۷/۴	۱۹۵/۰	۳۲۵/۳	۰/۶	۱۹/۲	۱/۷	۰/۲	۰/۱	۰/۸
۱۳۸/۱۲/۲۲	۴/۹	۱۷۹/۲	۱۹۲/۰	۳۱۲/۲	۰/۶	۱۸/۴	۱/۹	۰/۲	۰/۱	۰/۸
۱۳۸۸/۲/۲۴	۵/۰	۱۷۶/۷	۱۹۰/۰	۳۰۵/۱	۰/۶	۱۷/۹	۱/۹	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۷/۴/۲۶	۳/۹	۱۶۸/۵	۱۸۶/۰	۲۹۶/۹	۰/۶	۱۸/۴	۲/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۸/۷/۹	۵/۵	۱۷۳/۵	۱۸۶/۰	۳۰۴/۸	۰/۶	۱۹/۱	۲/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۷
میانگین	۵/۰	۱۷۶/۹	۱۸۹/۳	۳۰۸/۲	۰/۶	۱۸/۶	۱/۹	۰/۲	۰/۱	۰/۷
انحراف معیار	۰/۵	۵/۷	۳/۴	۹/۳	۰	۰/۵	۰/۲	۰	۰	۰/۱
ضریب تغییرات (٪)	۱۰/۷	۳/۲	۱/۸	۳/۰	۰	۲/۶	۹/۱	۰	۰	۶/۷

جدول ۴-۲۴- پارامترهای محاسبه شده در قنات پنفتنی

پارامتر محاسبه شده / تاریخ بازدید	Error %	سختی (*ppm*)	قلیائیت (*ppm*)	*TDS* (*ppm*)	SAR	% *Na*	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Na}{\sum Cat}$	$\frac{Cl}{\sum Ani}$	$\frac{TDS}{EC}$
۱۳۸۷/۷/۱۸	۴/۶	۲۲۰/۵	۲۵۵/۰	۳۹۷/۵	۰/۷	۲۰/۷	۱/۴	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۷/۹/۲۱	۴/۲	۲۶۰/۰	۲۶۰/۰	۴۱۴/۵	۰/۸	۲۱/۲	۱/۵	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸/۱۱/۱۷	۳/۶	۲۲۸/۰	۲۶۴/۰	۴۲۳/۳	۰/۸	۲۲/۶	۱/۵	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸/۱۲/۲۲	۱/۴	۲۱۶/۳	۲۵۹/۰	۴۰۸/۳	۰/۸	۲۲/۳	۱/۵	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۸/۲/۲۴	۳/۰	۲۲۳/۰	۲۶۰/۰	۴۱۲/۳	۰/۸	۲۱/۷	۱/۵	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۷/۴/۲۶	۳/۷	۲۲۷/۱	۲۶۱/۰	۴۱۵/۴	۰/۸	۲۱/۴	۱/۴	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۸/۷/۹	۴/۲	۲۲۹/۶	۲۶۲/۰	۴۱۷/۷	۰/۸	۲۱/۳	۱/۴	۰/۲	۰/۱	۰/۷
میانگین	۳/۵	۲۲۹/۲	۲۶۰/۱	۴۱۲/۷	۰/۸	۲۱/۶	۱/۴	۰/۲	۰/۱	۰/۷
انحراف معیار	۱/۰	۱۳/۳	۲/۶	۷/۵	۰/۰۳	۰/۶	۰/۱	۰	۰	۰
ضریب تغییرات (٪)	۲۸	۵/۸	۱/۰	۱/۸	۴/۴	۲/۸	۳/۴	۰	۰	۰

جدول ۴-۲۵- پارامترهای محاسبه شده در قنات آب مرجان

پارامتر محاسبه شده / تاریخ بازدید	Error %	سختی (*ppm*)	قلیائیت (*ppm*)	*TDS* (*ppm*)	SAR	% *Na*	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Na}{\sum Cat}$	$\frac{Cl}{\sum Ani}$	$\frac{TDS}{EC}$
۱۳۸۷/۷/۱۸	۱/۸	۲۸۵/۳	۲۸۵/۰	۵۰۶/۹	۰/۸	۱۹/۹	۰/۸	۰/۲	۰/۱	۰/۶
۱۳۸۷/۹/۲۱	۲/۱	۲۸۷/۸	۲۸۶/۰	۵۰۷/۲	۰/۸	۱۹/۲	۰/۸	۰/۲	۰/۱	۰/۶
۱۳۸/۱۱/۱۷	۱/۸	۲۹۰/۴	۲۸۷/۰	۵۱۰/۳	۰/۸	۱۹/۰	۰/۸	۰/۲	۰/۱	۰/۶
۱۳۸/۱۲/۲۲	۰/۳	۲۸۱/۲	۲۸۵/۰	۵۰۴/۰	۰/۸	۱۹/۶	۰/۸	۰/۲	۰/۱	۰/۶
۱۳۸۸/۲/۲۴	۱/۴	۲۸۵/۴	۲۸۸/۰	۵۰۹/۱	۰/۸	۲۰/۰	۰/۸	۰/۲	۰/۱	۰/۶
۱۳۸۷/۴/۲۶	۰/۳	۲۷۶/۳	۲۸۴/۰	۵۰۱/۷	۰/۸	۲۰/۸	۰/۸	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۸/۷/۹	۲/۹	۲۸۹/۵	۲۸۴/۰	۵۰۸/۰	۰/۸	۱۹/۷	۰/۸	۰/۲	۰/۱	۰/۷
میانگین	۱/۵	۲۸۵/۱	۲۸۵/۶	۵۰۶/۷	۰/۸	۱۹/۷	۰/۸	۰/۲	۰/۱	۰/۶
انحراف معیار	۰/۹	۴/۶	۱/۴	۲/۷	۰	۰/۵	۰	۰	۰	۰/۱
ضریب تغییرات (٪)	۵۶	۱/۶	۰/۵	۰/۵	۰	۲/۷	۰	۰	۰	۷/۲

جدول ۴-۲۶- پارامترهای محاسبه شده در قنات محمدآباد

پارامتر محاسبه شده / تاریخ بازدید	Error %	سختی (ppm)	قلیائیت (ppm)	TDS (ppm)	SAR	$\%Na$	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Na}{\sum Cat}$	$\frac{Cl}{\sum Ani}$	$\frac{TDS}{EC}$
۱۳۸۷/۷/۱۸	۶/۷	۲۹۰/۷	۲۷۵/۰	۵۱۰/۳	۰/۹	۲۱/۴	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۶
۱۳۸۷/۹/۲۱	۶/۵	۲۸۰/۷	۲۷۴/۰	۴۹۷/۴	۰/۹	۲۱/۶	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۶
۱۳۸/۱۱/۱۷	۶/۷	۲۸۰/۷	۲۷۴/۰	۴۹۰/۴	۰/۸	۲۰/۵	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸/۱۲/۲۲	۶/۸	۲۹۲/۳	۲۷۷/۰	۵۰۵/۰	۰/۸	۲۰/۱	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۸/۲/۲۴	۶/۴	۲۹۲/۳	۲۷۸/۰	۵۱۲/۴	۰/۸	۲۱/۱	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۶
۱۳۸۷/۴/۲۶	۷/۲	۳۰۰/۲	۲۷۸/۰	۵۱۸/۵	۰/۸	۲۰/۸	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۶
۱۳۸۸/۷/۹	۶/۷	۲۸۸/۲	۲۷۵/۰	۵۰۷/۸	۰/۹	۲۱/۵	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۶
میانگین	۶/۷	۲۸۹/۳	۲۷۵/۸	۵۰۶/۰	۰/۸	۲۱/۰	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۶
انحراف معیار	۰/۲	۶/۴	۱/۶	۸/۸	۰/۱	۰/۵	۰	۰	۰	۰/۱
ضریب تغییرات (٪)	۳/۵	۲/۲	۰/۶	۱/۷	۵/۶	۲/۵	۰	۰	۰	۷/۲

جدول ۴-۲۷- پارامترهای محاسبه شده در قنات جودانه

پارامتر محاسبه شده / تاریخ بازدید	Error %	سختی (ppm)	قلیائیت (ppm)	TDS (ppm)	SAR	$\%Na$	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Na}{\sum Cat}$	$\frac{Cl}{\sum Ani}$	$\frac{TDS}{EC}$
۱۳۸۷/۷/۱۸	۶/۸	۲۲۱/۹	۲۶۰/۰	۴۵۸/۹	۱/۰	۲۵/۲	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۷/۹/۲۱	۵/۱	۲۳۱/۹	۲۶۶/۰	۴۷۷/۵	۱/۰	۲۵/۸	۱/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸/۱۱/۱۷	۲/۰	۲۵۰/۲	۲۷۰/۰	۴۹۱/۵	۱/۰	۲۴/۳	۱/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸/۱۲/۲۲	۰/۹	۲۴۵/۳	۲۷۰/۰	۴۹۵/۵	۱/۰	۲۴/۵	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۸/۲/۲۴	۳/۴	۲۳۱/۹	۲۶۱/۰	۴۷۴/۰	۱/۰	۲۶/۱	۱/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۷/۴/۲۶	۴/۱	۲۲۴/۴	۲۵۹/۰	۴۵۷/۹	۱/۰	۲۵/۰	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۸/۷/۹	۵/۴	۲۲۸/۵	۲۶۱/۰	۴۶۳/۲	۱/۰	۲۴/۸	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
میانگین	۳/۹	۲۳۳/۴	۲۶۳/۸	۴۷۴/۱	۱/۰	۲۵/۱	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
انحراف معیار	۱/۹	۹/۷	۴/۴	۱۴/۱	۰	۰/۶	۰/۱	۰	۰	۰
ضریب تغییرات (٪)	۴۷	۴/۲	۱/۷	۳/۰	۰	۲/۴	۴/۳	۰	۰	۰

جدول ۴-۲۸- پارامترهای محاسبه شده در قنات کال‌سپیدار

پارامتر محاسبه شده / تاریخ بازدید	Error %	سختی (*ppm*)	قلیائیت (*ppm*)	*TDS* (*ppm*)	SAR	% *Na*	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Na}{\sum Cat}$	$\frac{Cl}{\sum Ani}$	$\frac{TDS}{EC}$
۱۳۸۷/۷/۱۸	۴/۳	۲۹۶/۴	۳۰۰/۰	۵۶۰/۸	۱/۲	۲۶/۰	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۶
۱۳۸۷/۹/۲۱	۲/۹	۲۸۴/۱	۲۹۰/۰	۵۴۲/۸	۱/۲	۲۶/۴	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۶
۱۳۸/۱۱/۱۷	۱/۶	۲۷۹/۱	۲۸۹/۰	۵۳۳/۱	۱/۱	۲۵/۴	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۶
۱۳۸/۱۲/۲۲	۱/۴	۲۷۲/۵	۲۷۸/۰	۵۱۶/۹	۱/۱	۲۵/۳	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۶
۱۳۸۸/۲/۲۴	۳/۶	۲۸۵/۷	۲۹۰/۰	۵۳۹/۸	۱/۱	۲۵/۸	۱/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۶
۱۳۸۷/۴/۲۶	۰/۱	۲۸۸/۲	۳۰۲/۰	۵۶۱/۰	۱/۱	۲۶/۱	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۶
۱۳۸۸/۷/۹	۰/۴	۲۸۴/۱	۲۹۹/۰	۵۵۴/۷	۱/۲	۲۶/۴	۱/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۶
میانگین	۲/۰	۲۸۴/۳	۲۹۲/۶	۵۵۴/۱	۱/۱	۲۵/۹	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۶
انحراف معیار	۱/۵	۶/۹	۷/۸	۱۴/۹	۰/۱	۰/۴	۰/۱	۰	۰	۰
ضریب تغییرات (٪)	۷۲	۲/۴	۲/۶	۲/۷	۴/۳	۱/۶	۴/۰	۰	۰	۰

جدول ۴-۲۹- پارامترهای محاسبه شده در قنات نرم‌پشته

پارامتر محاسبه شده / تاریخ بازدید	Error %	سختی (*ppm*)	قلیائیت (*ppm*)	*TDS* (*ppm*)	SAR	% *Na*	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Na}{\sum Cat}$	$\frac{Cl}{\sum Ani}$	$\frac{TDS}{EC}$
۱۳۸۷/۷/۱۸	۴/۳	۲۷۹/۱	۲۷۵/۰	۵۱۶/۷	۱/۱	۲۴/۷	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۷/۹/۲۱	۴/۸	۳۰۱/۴	۲۸۷/۰	۵۴۲/۸	۱/۰	۲۳/۲	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸/۱۱/۱۷	۵/۸	۳۰۵/۵	۲۸۹/۰	۵۵۰/۹	۱/۱	۲۳/۹	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸/۱۲/۲۲	۳/۱	۲۸۳/۲	۲۸۵/۰	۵۳۲/۶	۱/۱	۲۵/۳	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۸/۲/۲۴	۴/۴	۲۸۳/۲	۲۸۰/۰	۵۲۱/۶	۱/۱	۲۴/۴	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸۷/۴/۲۶	۳/۵	۲۷۲/۰	۲۷۴/۰	۵۱۰/۹	۱/۱	۲۵/۲	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۸
۱۳۸۸/۷/۹	۴/۲	۲۸۳/۲	۲۷۶/۰	۵۲۰/۶	۱/۱	۲۴/۵	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۸
میانگین	۴/۳	۲۸۶/۸	۲۸۰/۸	۵۲۸/۰	۱/۱	۲۴/۴	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
انحراف معیار	۰/۸	۱۱/۲	۵/۷	۱۳/۵	۰/۰	۰/۷	۰	۰	۰	۰/۱
ضریب تغییرات (٪)	۱۸	۳/۹	۲/۰	۲/۶	۳/۲	۲/۸	۰	۰	۰	۶/۲

جدول ۴-۳۰- پارامترهای محاسبه شده در قنات ارمیان

پارامتر محاسبه شده / تاریخ بازدید	Error %	سختی (ppm)	قلیائیت (ppm)	TDS (ppm)	SAR	% Na	Ca/Mg	Na/∑Cat	Cl/∑Ani	TDS/EC
۱۳۸۷/۷/۱۸	–	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۳۸۷/۹/۲۱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۳۸/۱۱/۱۷	۲/۸	۱۶۵/۶	۱۷۳/۰	۲۷۴/۰	۰/۷	۲۱/۵	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۷
۱۳۸/۱۲/۲۲	۲/۹	۱۴۹/۹	۱۷۳/۰	۲۷۱/۰	۰/۷	۲۳/۳	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۸
۱۳۸۸/۲/۲۴	۳/۴	۱۴۹/۹	۱۷۳/۰	۲۶۹/۳	۰/۶	۲۱/۰	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۸
۱۳۸۷/۴/۲۶	۴/۱	۱۵۲/۴	۱۷۶/۰	۲۷۸/۶	۰/۷	۲۲/۶	۱/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۸
۱۳۸۸/۷/۹	۵/۵	۱۶۱/۵	۱۷۹/۰	۲۸۴/۹	۰/۷	۲۱/۸	۱/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۸
میانگین	۳/۷	۱۵۵/۹	۱۷۴/۸	۲۷۵/۶	۰/۷	۲۲/۰	۱/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۸
انحراف معیار	۱/۰	۶/۵	۲/۴	۵/۶	۰/۱	۰/۸	۰/۱	۰	۰	۰/۱
ضریب تغییرات (٪)	۲۶	۴/۱	۱/۴	۲/۰	۵/۹	۳/۷	۴/۳	۰	۰	۵/۱

جدول ۴-۳۱- پارامترهای محاسبه شده در میانگین هفت دوره اندازه‌گیری

پارامتر محاسبه شده / تاریخ بازدید	Error %	سختی (ppm)	قلیائیت (ppm)	TDS (ppm)	SAR	% Na	Ca/Mg	Na/∑Cat	Cl/∑Ani	TDS/EC
زیدر	۳/۵	۳۵۶/۵	۳۰۰/۲	۱۰۶۸/۶	۴/۰	۵۱/۶			۰/۱	-
ابراهیم آباد	۰/۳	۱۲۲/۴	۱۴۴/۷	۲۳۳/۴	۰/۶	۲۲/۹	۲/۱	۰/۲	۰/۱	-
میامی	۵/۱	۱۷۷/۶	۱۸۹/۳	۳۰۸/۲	۰/۶	۱۸/۶	۱/۹	۰/۲	۰/۱	-
پنفتنی	۳/۴	۲۲۵/۶	۲۶۰/۱	۴۱۲/۷	۰/۸	۲۱/۶	۱/۵	۰/۲	۰/۱	-
آب مرجان	۱/۴	۲۸۷/۰	۲۸۵/۴	۵۰۶/۷	۰/۸	۱۹/۷	۰/۸	۰/۲	۰/۱	-
محمد آباد	۶/۹	۲۹۰/۹	۲۷۵/۸	۵۰۶/۰	۰/۸	۲۱/۰	۱/۱	۰/۲	۰/۱	-
جودانه	۴/۴	۲۳۵/۹	۲۶۳/۸	۴۷۴/۳	۱/۰	۲۵/۱	۱/۱	۰/۲	۰/۱	-
کال سپیدار	۲/۰	۲۸۵/۸	۲۹۲/۶	۵۴۴/۲	۱/۱	۲۵/۹	۱/۱	۰/۲	۰/۱	-
نرم پشته	۴/۳	۲۸۸/۴	۲۸۰/۸	۵۲۸/۰	۱/۱	۲۴/۵	۱/۱	۰/۲	۰/۱	-
ارمیان	۴/۷	۱۵۵/۱	۱۷۵/۱	۲۷۶/۸	۰/۷	۲۱/۶	۱/۲	۰/۲	۰/۱	-

به منظور محاسبه درصد خطای آزمایش در جداول فوق از رابطه زیر استفاده شده است

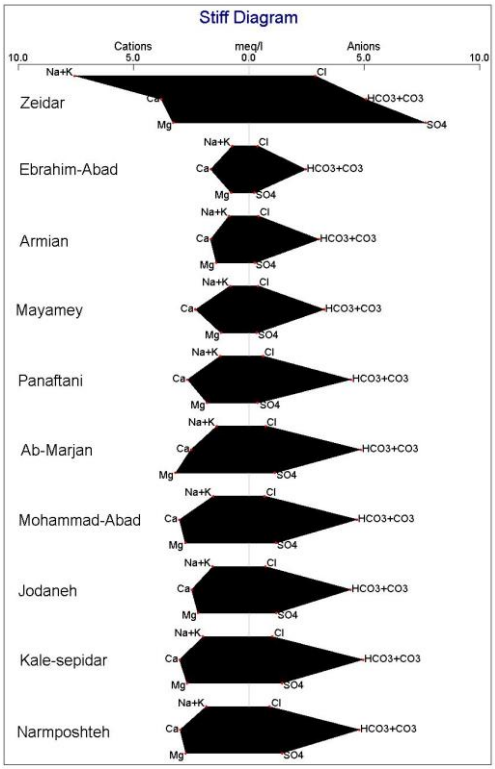
$$Error\% = \frac{\left|\sum Cat - \sum Ani\right|}{(\sum Cat + \sum Ani)/2} \times 100 \qquad (۲-۴)$$

که در رابطه فوق $\sum Cat$ مجموع کاتیون‌ها و $\sum Ani$ مجموع آنیون‌ها می‌باشد.

لازم به ذکر است که غلظت کلیه یون‌ها در فرمول (۴-۲) بر حسب اکی والان وزنی (epm) می‌باشد.

۴-۶-۱- بررسی تیپ آب زیرزمینی با استفاده از نمودار استیف

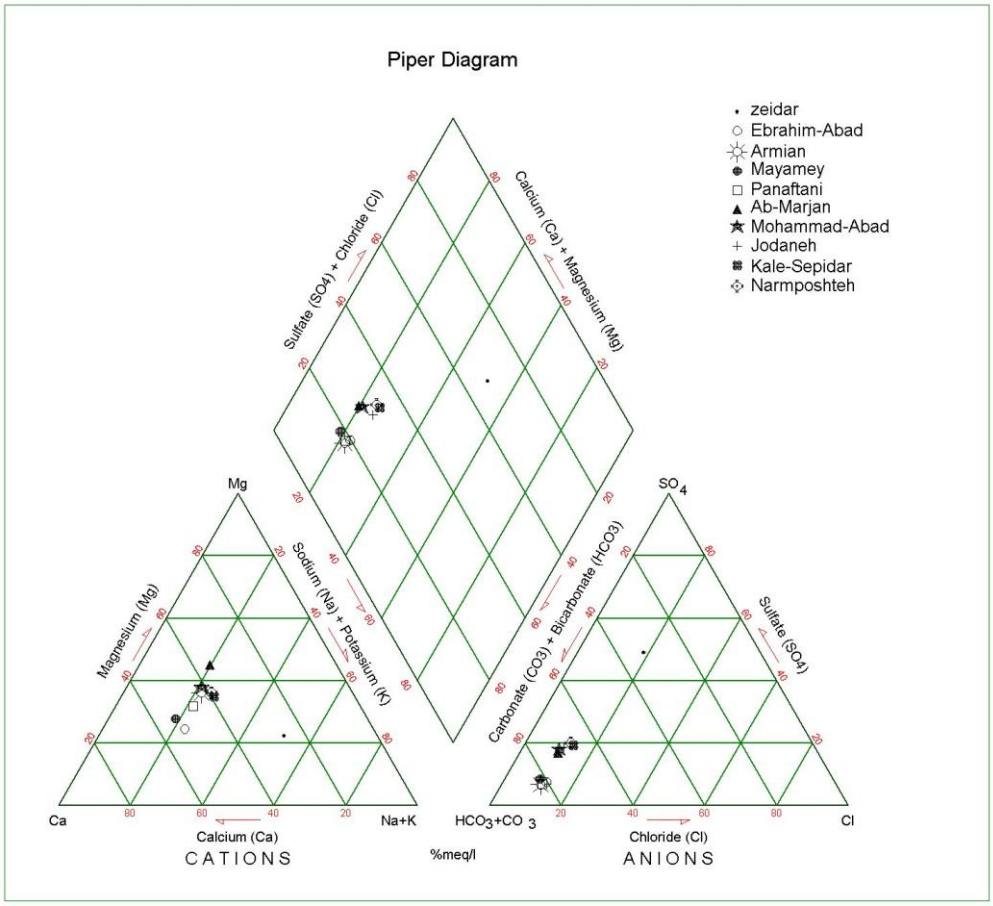
یکی از روش‌های مناسب جهت تعیین تیپ آب زیرزمینی، استفاده از نمودار استیف است. اندازه و شکل حاصل از نمودار، تقریباً برابر با کل محتوای یونی است. این نمودار از نظر مقایسه سریع تعداد زیادی از نمونه‌ها بسیار مفید است. علاوه بر این، جهت تشخیص سنگ منشأهای مختلف نیز استفاده می‌شود. به علت این که نمودارهای استیف مربوط به قنات‌های مطالعه شده در طی هفت دوره اندازه‌گیری، بسیار مشابه یکدیگر است لذا فقط نمودار استیف مربوط به مقدار میانگین آورده شده است که در شکل (۴-۹) ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود تیپ آب در قنات زیدر از نوع سولفات سدیک می‌باشد به عبارت دیگر آنیون غالب آن سولفات و کاتیون غالب آن پتاسیم و سدیم است و در قنات آب مرجان از نوع بی‌کربنات منیزیک اما در مابقی قنات‌ها از نوع بی‌کربنات کلسیک است.



شکل ۴-۹- نمودار استیف مربوط به هفت دوره اندازه‌گیری

۴-۶-۲- بررسی زون‌های غالب یونی آب زیرزمینی با استفاده از نمودار پایپر

یکی از رایج‌ترین و کاربردی‌ترین نمودارهایی که جهت بررسی کیفیت آب مورد استفاده قرار می‌گیرد، دیاگرام مثلثی پایپر می‌باشد. به علاوه این نمودار از نظر تعبیر و تفسیر نتایج تجزیه شیمیایی آب‌ها بسیار سودمند می‌باشد. نمودار پایپر از ترکیب سه میدان مجزا درست شده است. درصد کاتیون‌ها و آنیون‌ها را در دو میدان مثلثی و موقعیت ترکیبی آن‌ها را در میدان لوزی شکل پیاده می‌کنند. شباهت و تفاوت‌های نمونه‌ها از طریق دیاگرام پایپر به خوبی مشخص می‌گردد زیرا نمونه‌هایی که دارای خصوصیات مشابه هستند به صورت گروهی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. بر اساس نمودارهای پایپر رسم شده، سه گروه قنات در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. گروه اول شامل قنات زیدر است که دارای بالاترین میانگین هدایت الکتریکی است و نامناسب‌ترین کیفیت را دارد. و در منطقه قلیایی غیر کربناته بیش از ۵۰ درصد قرار دارد و غلبه با قلیایی‌ها و اسیدهای قوی است. قنات‌های ابراهیم آباد، ارمیان، میامی و پنفتنی جزء گروه دوم هستند که هدایت الکتریکی نسبتاً پائینی دارند. گروه آخر شامل قنات‌های جودانه، محمدآباد، آب مرجان، کال سپیدار و نرم پشته هستند که دارای میانگین هدایت الکتریکی متوسطی هستند. گروه دوم و سوم دارای سختی کربناته بیش از ۵۰ درصد هستند که در آن‌ها غلبه با اسیدهای ضعیف و عناصر قلیایی خاکی می‌باشد. همان طور که قبلاً بیان شد به منظور تجزیه و تحلیل خصوصیات شیمیایی قنات‌های محدوده مورد مطالعه از مهرماه ۱۳۸۷ تا مهرماه ۱۳۸۸ طی هفت دوره نمونه‌برداری انجام شد. غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی موجود در آب قنات در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد که جداول (۴-۱۰) تا (۴-۱۹) مقادیر اندازه‌گیری شده کاتیون‌ها و آنیون‌ها را برای هر قنات نشان می‌دهد. علاوه بر این میانگین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در طول هفت دوره نمونه‌برداری نیز در جدول (۴-۲۰) نشان داده شده است. با توجه به مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها نمودارهای پایپر این قنات‌ها رسم گردید اما به دلیل مشابه بودن، فقط نمودار پایپر مربوط میانگین آورده شده، که در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰- نمودار پایپر مربوط به هفت دوره اندازه‌گیری

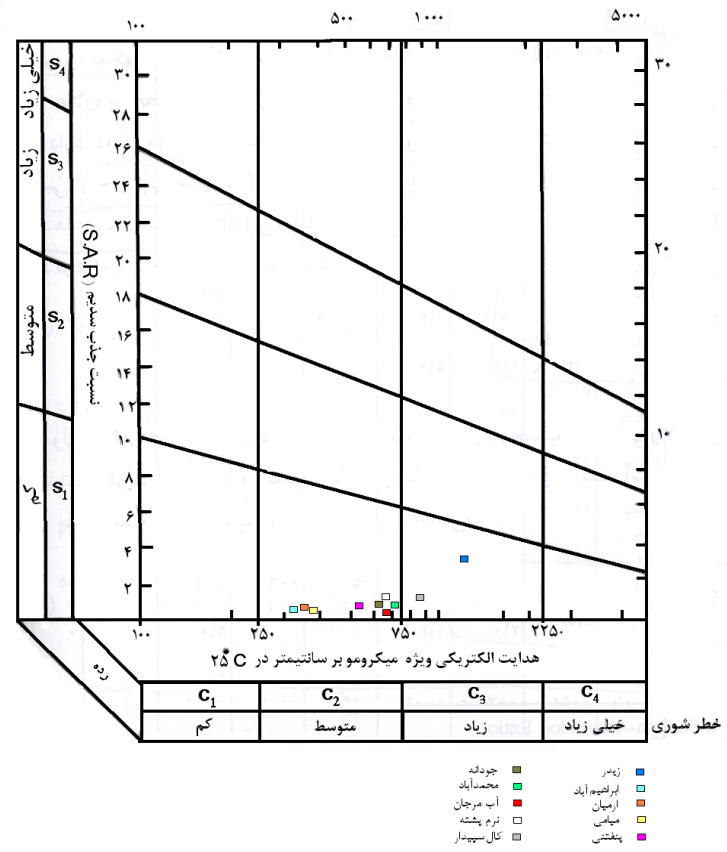
۴-۶-۳- طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی

مهم‌ترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی شوری و مقدار سدیم موجود در آن می‌باشد. زیرا این دو پارامتر نه تنها بر رشد گیاه موثرند، بلکه درجه تناسب آب را از نظر آبیاری و تاثیر آن بر روی نفوذپذیری خاک مشخص می‌سازند. روش طبقه‌بندی ویلکوکس و استفاده از نمودار آن کاربردی‌ترین روش برای طبقه‌بندی آب از لحاظ کشاورزی در مطالعات هیدرولوژی می‌باشد. شکل (۴-۱۱) نمودار ویلکوکس مربوط به قنات‌های منطقه را نشان می‌دهد. بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس آب‌های خیلی خوب همگی دارای هدایت الکتریکی کمتر از ۲۵۰ میکروموهس بر سانتی‌متر بوده و در گروه C_1S_1 قرار می‌گیرند. آب‌های خوب در گروه C_2S_2, C_2S_1, C_1S_2، آب‌های متوسط در کلاس C_3S_1, C_3S_2, C_2S_3, C_1S_3, C_3S_3 قرار گرفته و بقیه آن‌ها نامناسبند (علیزاده ۱۳۸۰). بر اساس این

تقسیم‌بندی قنات زیدر و کال‌سپیدار در گروه آب‌های متوسط (C_3S_1) و مابقی قنات‌ها در گروه آب‌های خوب (C_2S_1) واقع شده‌اند. در جدول (۴-۳۲) طبقه‌بندی آب از لحاظ کشاورزی نشان داده شده است.

جدول ۴-۳۲- طبقه‌بندی آب از لحاظ کشاورزی (دستور العمل وزارت نیرو)

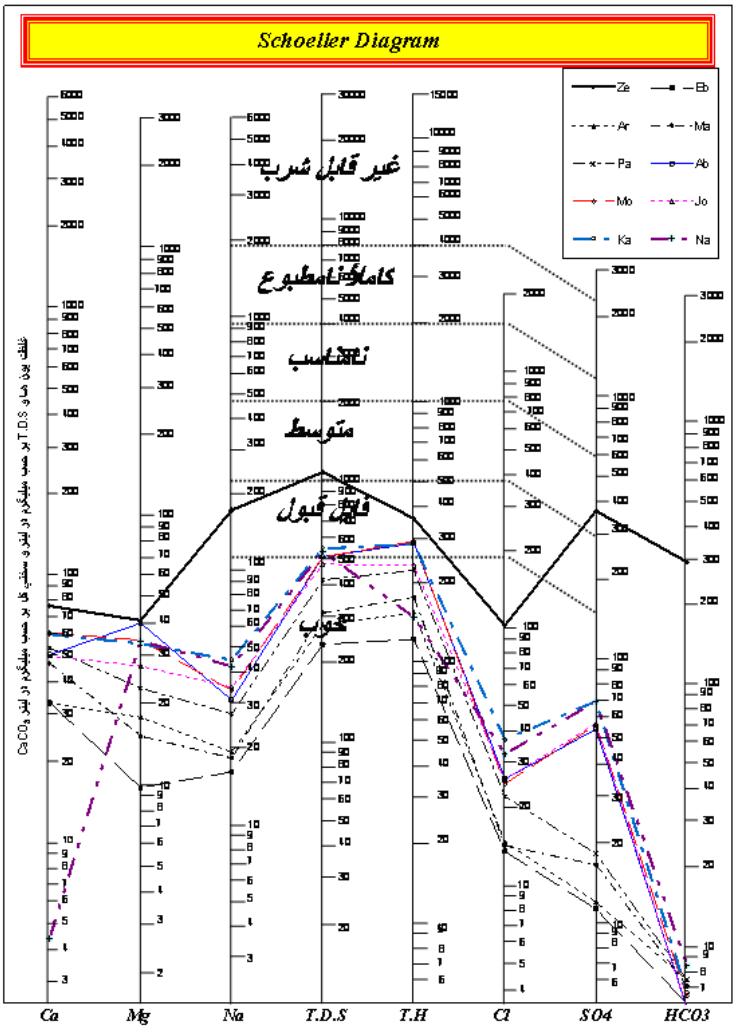
قنات	***SAR***	میانگین ***EC***	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
زیدر	۳/۹۸	۱۵۱٤/۸	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
ابراهیم آباد	۰/٦۲	۳۱۴/۴	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
ارمیان	۰/٦٦	۳۳۳/۲	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
میامی	۰/٥۹	۳۸٦/۱	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
پنفتنی	۰/۷۸	٥۲۲/٦	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
آب مرجان	۰/۷۸	۷۳۲/۰	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
محمدآباد	۰/۸٥	۷٤۳/٥	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
جودانه	۰/۹۷	٦٥۲/۸	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
کال سپیدار	۱/۱۳	۸۸٦/٥	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
نرم پشته	۱/٤۸	٦۷۰/۷	C2-S1	کمی شور – مناسب برای کشاورزی



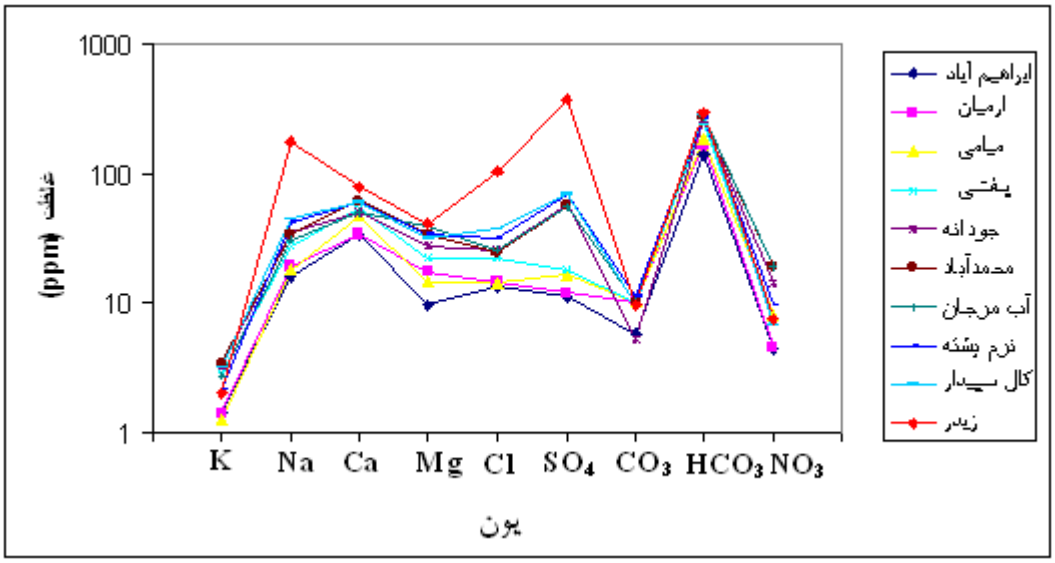
شکل ۴-۱۱- نمودار ویلکوکس جهت تعیین کیفیت آب آبیاری در قنات‌های منطقه

۴-۶-۴- طبقه‌بندی آب از لحاظ شرب

به منظور بررسی آب از لحاظ شرب معمولاً از نمودار شولر استفاده می‌شود. با ترسیم این نمودار بر اساس غلظت کاتیون‌ها، آنیون‌ها، سختی و TDS می‌توان به درجه تناسب آب برای شرب پی برد. شکل (۴-۱۲) نمودار شولر قنات‌های منطقه را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار، قنات زیدر در محدوده متوسط، قنات‌های محمدآباد، کال‌سپیدار و آب مرجان در محدوده قابل قبول و مابقی قنات‌ها در محدوده خوب قرار دارند. علاوه بر این جهت مشاهده همزمان غلظت یون‌ها از نمودار نیمه لگاریتمی غلظت یون‌ها (شولر) استفاده شده است. در شکل (۴-۱۳) نمودار نیمه لگاریتمی غلظت یون‌ها نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۲- نمودار شولر قنات‌های میامی



شکل ۴-۱۳- نمودار نیمه لگاریتمی غلظت یون‌ها

۴-۶-۵- بررسی سختی در قنات‌های مورد مطالعه

سختی نتیجه وجود کاتیون‌های فلزی دو ظرفیتی نظیر کلسیم و منیزیم در آب می‌باشد. کربنات و بی‌کربنات کلسیم و منیزیم از عوامل اصلی سختی کربناته و سایر نمک‌های کلسیم و منیزیم موجب سختی غیر کربناته آب هستند. مجموع سختی کربناته و بی‌کربناته، سختی کل آب را تشکیل می‌دهد. سختی موقت یا کربناته در اثر حرارت تجزیه و گاز دی اکسید کربن از آب خارج شده و کربنات‌های کلسیم و منیزیم رسوب می‌نماید و به سختی غیرکربناته که حرارت در آن اثری ندارد و به واسطه سولفات و کلرورهای کلسیم و منیزیم که در اثر جوشیدن رسوب نمی‌دهند پدید می‌آیند، سختی دائم گفته می‌شود. این یون‌ها در اثر واکنش با صابون رسوب می‌کند و همچنین اگر همراه آنیون‌های خاص در آب باشند منجر به پوسته‌گذاری می‌شوند. زمانی که آب باران به صورت عمقی نفوذ می‌کند بر اثر فعالیت باکتری‌ها، میزان دی اکسید کربن محلول در آب افزایش می‌یابد و در نتیجه انحلال کانی‌های کربناته موجود در سفره سرعت می‌گیرد و غلظت یون‌های فلزی منیزیم و کلسیم در آب زیاد شده و سختی آب زیاد می‌گردد. میزان سختی کل از رابطه زیر محاسبه می‌گرد:

$$H = 2.5\left(Ca^{2+}\right) + 4.16\left(Mg^{2+}\right) \qquad (۳-۴)$$

که در معادله (۴-۳) غلظت یون‌های منیزیم و کلسیم بر حسب میلی‌گرم در لیتر و سختی کل بر حسب میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم می‌باشد (صداقت۱۳۷۸). طبق پیشنهاد سازمان جهانی در سال ۱۹۷۱ بالاترین حد مطلوب سختی برابر با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر حسب کربنات کلسیم می‌باشد و اگر سختی بیش از ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم باشد نامناسب است و برای استفاده از آن باید سختی را کاهش داد (Davis and Dewiest 1986). تقسیم‌بندی نوع آب بر اساس سختی کل در جدول (۴-۳۳) ارائه شده است (Todd 1980).

جدول ۴-۳۳- تقسیم بندی آب بر اساس سختی کل (Todd 1980)

نوع آب	سختی بر حسب میلی گرم در لیتر کربنات کلسیم
نرم	۰-۷۵
نسبتاً سخت	۷۵-۱۵۰
سخت	۱۵۰-۳۰۰
خیلی سخت	بیشتر از ۳۰۰

پس از دریافت نتایج آنالیز شیمیایی، سختی کل برای تمام قنات‌ها در یک سال آبی محاسبه شد جداول (۴-۲۱) تا (۴-۳۰). بر اساس جداول مذکور حداقل سختی مربوط به قنات ابراهیم‌آباد با میانگین ۱۲۲/۴ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم می‌باشد که در رده آب‌های نسبتاً سخت قرار می‌گیرد و حداکثر سختی مربوط به قنات زیدر با میانگین ۳۵۶/۵ می‌باشد که در رده آب‌های خیلی سخت واقع شده است. مابقی قنات‌ها در رده آب‌های سخت قرار می‌گیرند.

۴-۶-۶- نسبت جذب سدیم

نسبت جذب سدیم[1]، نسبت یون‌های سدیم را به یون‌های کلسیم و منیزیم در یک نمونه آب نشان می‌دهد. در صورتی که نسبت جذب سدیم کمتر از ۴ باشد مشکلی از نظر میزان سدیم وجود ندارد اما اگر این نسبت از ۸ بیشتر شود مقدار سدیم زیاد است و باعث کاهش نفوذپذیری و سخت شدن خاک می‌گردد (صداقت ۱۳۷۸). از دیگر مشکلات مهمی که به علت افزایش سدیم ایجاد می‌شود شامل کمبود اکسیژن، فرسایش خاک و افزایش اسیدیته خاک است. جدول (۴-۳۴) خطر SAR را برای آب‌های آبیاری نشان می‌دهد.

جدول ۴-۳۴- خطر SAR در آب‌های آبیاری (www.lenntech.com)

خطر استفاده از آب آن	مقادیر SAR
بدون هیچ محدودیتی می‌توان از آن استفاده کرد	<۳
بین ۶-۸ باید از ژیپس استفاده کرد و برای محصولات حساس استفاده نگردد. خاک باید هر سال مورد آزمایش قرار بگیرد	۹_۳
نامناسب و آسیب‌های جدی	>۹

مقادیر نسبت سدیم در قنات‌های منطقه پائین بوده و خاک مشکل سدیمی شدن ندارد. این اثر ناشی از جانشینی یون‌های کلسیم و منیزیم به وسیله یون‌های سدیم در رس‌ها و کلوئیدهای خاک است این پارامتر را می‌توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca + Mg)}{2}}} \qquad (۴-۴)$$

در فرمول (۴-۴) Ca, Mg, Na نشان دهنده غلظت این یون‌ها بر حسب میلی اکی والان در لیتر است. نتایج محاسبه نسبت جذب سدیم در قنات‌های منطقه در جداول (۴-۲۱) تا (۴-۳۰) ارائه شده است.

[1] Sodium Absorbation Ratio

۴-۶-۷- درصد سدیم

یکی دیگر از پارامترهایی که برای بیان مقدار سدیم در آب مورد استفاده قرار می‌گیرد، درصد سدیم است. سدیم به دلیل سمی بودنش برای بعضی از گیاهان و همچنین تخریب ساختمان خاک خطرساز می‌باشد. این پارامتر نیز در قنات‌های منطقه محاسبه شد که در جداول (۴-۲۱) تا (۴-۳۰) ارائه شده است و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Na\% = \frac{Na}{\sum Cat} \times 100 \qquad (۴-۵)$$

در این رابطه غلظت سدیم و کلیه کاتیون‌ها بر حسب میلی اکی والان بر لیتر (meq/l) است.

۴-۷- آنالیز بیولوژیکی آب قنات‌ها

به منظور ارزیابی آلودگی بیولوژیکی قنات‌های منطقه میامی در مهرماه سال ۱۳۸۸، از چهار قنات منطقه (میامی، محمدآباد، جودانه و ابراهیم‌آباد) نمونه‌گیری انجام شد. نمونه‌ها بلافاصله پس از نمونه‌برداری در شرایط استریل، درون کلمن یخ به آزمایشگاه منتقل گردید تا از طریق آزمون MPN (حداکثر تعداد کلیفرم‌ها در ۱۰۰ میلی لیتر آب) مورد آزمایش قرار گیرند. در آزمایشاتی که روی اکثر آب‌های آشامیدنی صورت می‌گیرد، تست کلیفرم‌ها اساسی‌ترین تست برای پی بردن به آلودگی بیولوژیکی آب می‌باشد. وجود کلیفرم‌ها در آب نشانه آلوده شدن آن‌ها است. باکتری‌ها، آلاینده‌های بالقوه‌ای هستند که در جریان‌های سطحی منشأ گرفته از زمین‌هایی که در آن‌ها از فضولات انسانی یا حیوانی به عنوان کود استفاده شده است، یافت می‌شود. وجود کلیفرم یا کلیفرم مدفوعی در زه آب، دلالت بر ورود نوعی فاضلاب اعم از شهری، صنعتی یا دامی در شبکه زهکش دارد. اشرشیاکلی[1] که شاخص آلودگی با فاضلاب است، تقریباً همیشه در آب‌هایی که به تازگی با مدفوع آلوده شده است پیدا می‌شود و نسبت به کلیفرم‌های دیگر بیشتر تحت تاثیر تغییرات محیطی قرار

[1] E.Coli

می‌گیرد (امتیـازی ۱۳۷۹). طبـق سـازمان بهداشـت جهـانی (WHO) بـرای آب شـرب در خصـوص آلاینده‌های بیولوژیکی صفر است لذا عوامل بیماری‌زا نباید در آب شرب وجود داشـته باشـد. بنـابراین جهت بررسی خصوصیات بیولوژیکی قنات‌های منطقه مورد مطالعه، چهـار رشـته قنـات از قنـات‌هـای موجود مورد آنالیز بیولوژیکی قرار گرفت. نتایج آنالیز بیولوژیکی قنات‌های میامی، محمدآباد، جودانه و ابراهیم‌آباد در جدول (۴-۳۵) نشان داده شده است.

جدول ۴-۳۵- نتایج آنالیز بیولوژیکی در قنات‌های مورد بررسی

نام قنات	MPN در ۱۰۰ میلی لیتر
میامی	۱۱۰۰
ابراهیم‌آباد	۴۶۰
جودانه	۹۳
محمدآباد	۲۳

میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی کمتـر از آب‌هـای سـطحی اسـت زیـرا آب‌هـای سـطحی در تمـاس نزدیک‌تر و بیشتری با آلاینده‌ها قرار دارند و همچنین بخشی از این آلودگی توسط خاک پالایش شده و زمان رسیدن آن به آبخوان طولانی می‌باشد. از این رو قنات میامی که مسیر زیادی از طول آن روباز می‌باشد همانند آب‌های سطحی عمل می‌کند و دارای بالاترین میزان آلـودگی در قنـات‌هـای منطقـه می باشد. بعد از قنات میامی، قنات ابراهیم‌آباد دارای بیشترین مقدار آلودگی است که علت آلودگی آن را می‌توان به باز بودن دهانه میله‌چاه‌های آن در طول مسیر قنات، نزدیک بـودن مظهـر آن بـه محـل عبور و مرور و مواردی از این قبیل نسبت داد. مظهر قنات‌های محمدآباد و جودانه در مرکز روستا قرار دارد لذا تونل آن از زیر روستا عبور می‌کند بنابراین یکی از علل آلـودگی آب ایـن قنـات‌هـا مـی‌توانـد فاضلاب‌های خانگی باشد. از دیگر علل این آلودگی باز بودن دهانه چاه‌ها و ورود لاشه حیوانات و ... به داخل آن‌ها می‌باشد. نزدیک بودن لانه حیواناتی مانند مار، موش و ... به این قنـات نیـز از فاکتورهـای موثر در ایجاد آلودگی آب آن‌ها می‌باشد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به منظور بررسی خصوصیات کیفی قنات های منطقه میامی از مهرماه ۱۳۸۷ تا مهرماه ۱۳۸۸ نمونه برداری از مظهر قنات ها انجام شد. در این فصل یافته‌های مربوط به خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی مربوط به قنات‌های منطقه میامی به طور خلاصه ارائه می‌شود و در نهایت پیشنهاداتی به منظور ادامه کار ذکر خواهد شد.

۵-۱- نتیجه گیری

۵-۱-۱- نتایج به دست آمده از آنالیز شیمیایی قنات‌های مورد مطالعه

نتایج به دست آمده از این تحقیق به طور خلاصه برای پارامترهای مختلف مربوط به قنات‌ها ارائه می‌شود:

۱- هدایت الکتریکی و روند تغییرات آن همواره نشان دهنده زمان ماندگاری آب در سفره آب زیرزمینی و جنس آبخوان می‌باشد. بدیهی است هنگامی که دبی جریان خروجی از قنات افزایش می‌یابد، در واقع سرعت حرکت آب سریع‌تر می‌شود که به نوبه خود سبب کاهش زمان اقامت آب در سفره آب زیرزمینی می‌شود. این عمل باعث کاهش انحلال مواد تشکیل دهنده سفره آب زیرزمینی می‌شود که در نتیجه هدایت الکتریکی آب کاهش می‌یابد. در شرایطی که دبی جریان خروجی از قنات

کاهش می‌یابد تمام موارد فوق الذکر برعکس می‌شوند و در نتیجه هدایت الکتریکی آب قنات افزایش می‌یابد. نتایج به دست آمده از نمودارهای هدایت الکتریکی حاکی از آن است که مقادیر هدایت الکتریکی به طور قابل توجهی تحت تأثیر لیتولوژی سازندها و رسوبات موجود در منطقه می‌باشد. به این ترتیب که حداقل مقدار هدایت الکتریکی برابر با ۳۰۴ میکروموهس بر سانتی‌متر در قنات ابراهیم آباد می‌باشد که منشأ آب آن عمدتاً به سازندهای آهکی کرتاسه مربوط می‌شود. حداکثر هدایت الکتریکی برابر با ۱۵۳۷ میکروموهس بر سانتی‌متر مربوط به قنات زیدر می‌باشد که حوضه آبگیر آن عمدتاً شامل شیل، مارن و ماسه سنگ می‌شود. ضریب تغییرات هدایت الکتریکی در اکثر قنات‌های منطقه اندک می‌باشد اما با این وجود حداقل ضریب تغییرات مربوط به قنات زیدر می‌باشد به دلیل آن که از آبرفت‌های دانه ریز تغذیه می‌شود و حداکثر ضریب تغییرات مربوط به قنات نرم‌پشته می‌باشد به علت این که از آبرفت‌های دانه درشت رودخانه تغذیه می‌گردد. علاوه براین مشاهده گردید که در اکثر قنات‌های منطقه، هدایت الکتریکی و دبی با یکدیگر رابطه مستقیمی دارند بدین صورت که با افزایش دبی، هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد اما در قسمتی از دوره مورد مطالعه چنین روندی مشاهده نگردید که به دلیل توزیع لیتولوژی‌های مختلف و سهم آن‌ها در آبدهی قنات می‌باشد.

۲- نتایج به دست آمده از داده‌های اسیدیته نشان دهنده آن است که pH قنات‌های مورد مطالعه در محدوده آب‌های طبیعی است. حداقل اسیدیته مربوط به قنات آب مرجان با میانگین ۸/۰۵ و حداکثر اسیدیته مربوط به قنات میامی با میانگین ۸/۳۵ می‌باشد.

۳- با توجه به نمودارهای استیف و پایپر رسم شده، تیپ آب قنات های مطالعه شده در لیتولوژی های مختلف متفاوت بوده است. بدین صورت که تیپ آب قنات های زیدر، آب مرجان به ترتیب سولفات سدیک و بی‌کربنات منیزیک می‌باشد اما در مابقی قنات‌ها از نوع بی‌کربنات کلسیک است.

علاوه بر این، بر اساس نمودار پایپر، قنات‌های مورد مطالعه به لحاظ کیفی به سه گروه قابل تقسیم هستند. گروه اول شامل قنات زیدر است که دارای بالاترین میانگین هدایت الکتریکی است و نامناسب‌ترین کیفیت را دارد. و در منطقه قلیایی غیر کربناته بیش از ۵۰ درصد قرار دارد و غلبه با

قلیایی‌ها و اسیدهای قوی است. قنات‌های ابراهیم‌آباد، ارمیان، میامی و پنفتنی جزء گروه دوم هستند که هدایت الکتریکی نسبتاً پائینی دارند. گروه آخر شامل قنات‌های جودانه، محمدآباد، آب‌مرجان، کال‌سپیدار و نرم‌پشته هستند که دارای هدایت الکتریکی متوسطی هستند. گروه دوم و سوم دارای سختی کربناته بیش از ۵۰ درصد هستند که در آن‌ها غلبه با اسیدهای ضعیف و عناصر قلیایی خاکی می‌باشد.

۴- بر اساس نمودار ویلکوکس ملاحظه می‌شود که قنات‌های زیدر و کال‌سپیدار در گروه آب‌های متوسط و مابقی قنات‌ها در گروه آب‌های خوب واقع شده‌اند. لذا قنات‌های زیدر و کال‌سپیدار شور و قابل استفاده برای آب‌های کشاورزی و بقیه قنات‌های منطقه کمی شور و برای کشاورزی مناسب هستند.

۵- با استفاده از نمودار شولر، آب قنات‌ها به لحاظ شرب، مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس آب قنات زیدر در محدوده متوسط، قنات‌های محمدآباد، کال‌سپیدار و آب مرجان در محدوده قابل قبول و مابقی قنات‌ها در محدوده خوب قرار دارند.

۶- حداقل سختی مربوط به قنات ابراهیم‌آباد با میانگین ۱۲۲/۴ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم می‌باشد که در رده آب‌های نسبتاً سخت قرار می‌گیرد و حداکثر سختی مربوط به قنات زیدر با میانگین ۳۵۶/۵ می‌باشد که در رده آب‌های خیلی سخت واقع شده است. مابقی قنات‌ها در رده آب‌های سخت قرار می‌گیرند.

۷- مقادیر مربوط به نسبت جذب سدیم از ۰/۶ تا ۴/۰ و درصد سدیم از ۱۸/۶ تا ۵۱/۶ متغیر بوده است. با عنایت به این نتایج ملاحظه می‌شود که کیفیت آب‌ها به لحاظ آبیاری قابل قبول بوده و مشکلی در خصوص سدیمی شدن خاک‌ها وجود ندارد.

۵-۱-۲- نتایج به دست آمده از بررسی خصوصیات فیزیکی قنات‌ها

۱- تغییرات دبی در قنات‌های مختلف به طور قابل توجهی متفاوت است. دلیل این امر از این قرار است که عوامل بسیاری در تغییرات آن تاثیر دارد از آن جمله می‌توان به تراوایی، شکل حوضه آبگیر قنات، ساختمان قنات، میزان نفوذ از خشکه کار، میزان بارش و ... اشاره کرد. به عنوان مثال به دلیل آن که حوضه آبگیر قنات‌های جودانه و محمدآباد از سازندهایی با تراوایی نسبتاً پائین تشکیل شده است آب آن‌ها به صورت تدریجی و با زمان تاخیر نسبتاً بالایی به قنات می‌رسد. به خاطر همین مسئله از اردیبهشت ماه به بعد دبی شروع به افزایش کرده است. اما در قنات نرم‌پشته اثرات بارندگی خیلی سریع‌تر خود را نشان می‌دهد به طوری که به علت عدم بارندگی در ماه‌های مهر و آبان، دبی در آذر ماه کاهش یافته اما با ریزش‌های قابل ملاحظه‌ای که در ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین ماه رخ داده دبی یک روند افزایشی را نشان می‌دهد لذا بیشترین ضریب تغییرات را این قنات به خود اختصاص داده است. ضریب تغییرات دبی در قنات‌های مورد بررسی از ۸/۱ تا ۷۴/۵ متغیر بوده است که به ترتیب مربوط به قنات‌های آب مرجان و نرم پشته می‌باشد. به منظور بررسی کمی تخلیه آب قنات و همچنین برآورد ضریب یا ضرایب دبی، منحنی فرود قنات‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده-های مربوط به هیدروگراف (تغییرات زمانی دبی) ترسیم شد. مقادیر شیب به دست آمده از منحنی-های فرود در قنات‌های مختلف نشان داد که در قنات‌های زیدر، محمدآباد، جودانه، ابراهیم‌آباد و ارمیان، تخلیه آب زیرزمینی در دو رژیم مختلف صورت می‌گیرد به عبارتی منحنی فرود دارای دو شیب می‌باشد. این مسئله می‌تواند به پاسخ‌های متفاوت بخش‌های مختلف حوضه آبگیر مربوط شود اما قنات‌های میامی، پنفتنی، آب‌مرجان، نرم پشته و کال‌سپیدار اساساً دارای یک شیب هستند.

۲- با توجه به نمودارهای درجه حرارت، می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات درجه حرارت در قنات‌های منطقه تحت تاثیر عوامل مختلفی است که چند مورد از مهم‌ترین آن‌ها شامل تغییرات دمای هوا یا محیط، طول مسیری که آب قنات در معرض هوا است، آبدهی قنات، توپوگرافی منطقه، عمق قنات، باز یا بسته بودن دهانه چاه‌ها، زمان اندازه‌گیری درجه حرارت آب قنات در طول روز می‌شود. به عنوان

مثال در قنات ابراهیم آباد که طول مسیر قنات کوتاه می‌باشد تغییرات زمانی درجه حرارت با تغییرات زمانی دبی رابطه مستقیمی را نشان می‌دهد. به این ترتیب که هرچه دبی قنات بیشتر باشد درجه حرارت قنات نیز بیشتر است. علت این امر به این قرار است که در هنگام دبی اوج قنات، بخشی از آب قنات از بخش‌های سطحی‌تر سفره آب زیرزمینی تامین می‌شود که درجه حرارت نسبی آن‌ها اندکی بالاتر می‌باشد و در دبی‌های کمتر (مثل اواخر فصل تابستان و اوایل فصل پاییز) آب قنات از قسمت‌های نسبتاً عمیق‌تر تخلیه می‌شود که به طور نسبی درجه حرارت آب مناطق اندکی پائین‌تر است. اما در قنات‌هایی مانند جودانه و محمدآباد که طول قنات بیشتر است، بیشتر تحت تاثیر هوای محیط می‌باشند.

۳- از دیگر مسائلی که در مورد قنات‌ها مطرح می‌شود میزان هدرروی آب در خشکه کار است که به دلایل مختلفی از قبیل تغییرات طول خشکه کار، نوسانات سطح آب زیرزمینی، میسر نبودن اندازه‌گیری نفوذپذیری بستر کانال حاوی جریان آب، امکان برآورد دقیق آن وجود ندارد. اما به طور کلی در مناطق کوهستانی و آبرفت‌های رودخانه که بافت دانه درشت دارند هدرروی نسبتاً زیاد می‌باشد مخصوصاً اگر کول گذاری انجام نگرفته باشد. در قنات‌هایی مانند نرم‌پشته، کال‌سپیدار و آب‌مرجان که از آبرفت‌های دانه درشت رودخانه تغذیه می‌گردد احتمال هدرروی زیاد است. اما در نواحی دشتی به علت این که دارای بافت ریز دانه می‌باشند، هدرروی کمتر صورت می‌گیرد لذا در قنات زیدر که از رسوباتی تغذیه می‌شود که شرایط فوق را دارند احتمالاً هدرروی کمتر است و بالاتر بودن دبی آن نسبت به بیشتر قنات‌های منطقه مورد مطالعه طبیعی است.

۵-۱-۳- نتایج حاصله از بررسی آلودگی بیولوژیکی قنات‌ها

به منظور ارزیابی آلودگی بیولوژیکی قنات‌های منطقه در مهرماه ۱۳۸۸، از چهار قنات منطقه (میامی، محمدآباد و جودانه و ابراهیم اباد) نمونه‌گیری انجام شد. طبق استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO)، میزان آلاینده‌های بیولوژیکی در آب شرب باید صفر باشد. اما نتایج این آزمایش نشان داد که همه قنات‌های مورد آزمایش تا اندازه‌ای آلوده هستند که دلیل آن احتمالاً باز بودن دهانه چاه‌های قنات، ورود لاشه حیوانات در داخل میله چاه‌ها، نزدیک بودن مظهر قنات به محل عبور و مرور و ورود پلاستیک‌ها و دیگر اشیاء آلوده به داخل کوره قنات، عبور تونل قنات از مسیر فاضلاب خانگی، نزدیک بودن لانه حیواناتی همچون مار، موش و ... به مظهر قنات می‌باشد.

۵-۲- پیشنهادها

با توجه به مطالبی که بیان شد موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

۱- به منظور مطالعات جامع‌تری از قنات‌ها، به طور همزمان انواع مختلف قنات‌ها (دره‌ای، دشتی، کوهستانی) در نقاط مختلف با یکدیگر مقایسه و مورد بررسی قرار بگیرند.

۲- به علت این که قنات اختراع ایرانیان می‌باشد و قنات‌های ایران جزء سرمایه‌های عظیمی هستند که طی نسل‌ها به وجود آمده‌اند پیشنهاد می‌گردد که تا همانند آنچه در این تحقیق انجام شد در مکان‌های مختلف انجام شود.

۳- به منظور حفاظت قنات‌ها از مشکلاتی همچون خشک و متروک شدن و کم شدن آبدهی و ... طی یک برنامه مدیریتی مدون به مسائل مربوط به قنات پرداخته شود.

۴- پیشنهاد می‌شود که روی ذخیره سازی آب قنات‌هایی که برای آبیاری استفاده می‌شوند در فصل سرد اقداماتی عملی انجام شود.

۵- برای جلوگیری از آلوده شدن قنات‌ها و هم چنین تخریب آن‌ها، پیشنهاد می‌شود که میله چاه قنات‌ها مسدود شود و برای هر قنات یک متصدی در نظر گرفته شود.

منابع مورد استفاده

۱- ابراهیمی م. و زمزمیان م. (۱۳۷۹) **"تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با هدف افزایش آبدهی قنات در دشت فاریاب کوهیچ استان هرمزگان"**، کنفرانس بین المللی قنات، ص ۵۱۷ یزد.

۲- ارزانی ن. (۱۳۸۳) **"رسوبات مخروط افکنه کوهپایه‌ای و دشتی و نقش آن‌ها در کنترل آبدهی قنوات، مطالعه از دشت ابرکوه در غرب استان یزد"**، چکیده مقالات همایش ملی قنات، ص ۹۳، گناباد.

۳- اسلامی م. و رکنی ن. (۱۳۷۹)، **"قمش نمونه‌ای ویژه از کاریزهای رودخانه‌ای در شمال خوزستان"**، کنفرانس بین المللی قنات جلد دوم، ، ص ۶۱۹، یزد.

۴- آقا رضی ح. (۱۳۸۳) **"احیاء قنوات خشکیده با استفاده از چاه‌های تزریقی"**، چکیده مقالات همایش ملی قنات، ص ۷۹، گناباد.

۵- آقا نباتی ع. (۱۳۸۵) **"زمین شناسی ایران"** چاپ دوم، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۵۸۶.

۶- امور آب شهرستان شاهرود، **"آمار دراز مدت ایستگاه‌های آب و هواشناسی"**، (۱۳۸۰).

۷- باقریان کلات ع. و کاضمی گلیان، ر. و احمد نژاد ح. (۱۳۸۳)، **"بررسی هیدروژئولوژی دشت جنوب بجستان"**، چکیده مقالات همایش ملی قنات، ص۱۳۸، گناباد.

۸- بهنیا ع. (۱۳۷۹)، **"قنات‌سازی و قنات‌داری"** انتشارات مرکز نشر دانشگاهی تهران، ۲۳۶ص.

۹- پاپلی یزدی م. (۱۳۷۹) **"قنات قصبه گناباد"** سازمان آب منطقه‌ای خراسان.

۱۰- تقوایی ابریشمی ع. (۱۳۸۳)، **"بررسی بهره‌وری از سیلاب به روش آبخوانداری با هدف تغذیه دشت و احیا قنوات گناباد"**، چکیده مقالات همایش ملی قنات، ص ۱۳۴، گناباد.

۱۱- جعفری باری م. (۱۳۸۳)، **"بررسی نقش سدهای زیرزمینی بر آبدهی قنات‌ها"**، چکیده مقالات همایش ملی قنات، ص ۷۸، گناباد.

۱۲- حسینی ا. (۱۳۷۹) **"بررسی هیدروژئولوژیکی قنات سنگی تنگ ارم- غرب ایران"**، همایش بین المللی قنات، ص ۴۳۵، یزد.

۱۳- خسرو تهرانی خ. (۱۳۸۴)، **"زمین‌شناسی ایران"**، جلد دوم، انتشارات کلیدر، ۴۵۸ ص.

۱۴- دادرسی ا. و فیله کش ا. و صادق زاده ا. (۱۳۷۹)، **"بررسی نظام بهره‌برداری فنی قنات در شهرستان سبزوار"**، کنفرانس بین المللی قنات جلد دوم، ص ۴۶۵ ، یزد.

۱۵- زنجانی‌جم م. (۱۳۸۳)، "بهره‌برداری **از دبی مازاد رودخانه‌ها و سطوح آبگیر، راهکاری مناسب برای افزایش بده قنوات و چاه‌ها"**، همایش ملی قنات، ص۶۷، گناباد.

۱۶- سجادی م. (۱۳۶۱)، **"قنات (کاریز)، تاریخچه، ساختمان و چگونگی گسترش آن در جهان"**، انتشارات انجمن فرهنگی ایتالیا در تهران، ۱۳۹ ص.

۱۷- سمسار یزدی ع. و تفتی م. (۱۳۷۹)، **"تحلیلی بر وضعیت موجود قنوات استان یزد"**، کنفرانس بین المللی قنات جلد دوم، ، ص ۳۸۱، یزد.

۱۸- سمسار یزدی ع. علمدار م. (۱۳۷۹) **"واژگان قنات در یزد"**، همایش بین المللی قنات جلد دوم، ص ۳۴۷، یزد.

۱۹- سمسار یزدی ع و هادیان م. (۱۳۷۹)، **"بررسی علل تحلیل قنوات دشتی استان یزد و ارائه راه حل‌های پیشگیری از این موضوع"**، کنفرانس بین المللی قنات جلد دوم، ص ۳۹۱، یزد.

۲۰- شاطری م. (۱۳۸۳)، **"نظام مدیریت در قنات شاهیک قائن"**، کنفرانس بین المللی قنات، ص ۴۸۱، یزد.

۲۱- صالحی م. و عطایی م. و سمسار یزدی ع. (۱۳۸۳) **"بررسی عوامل تقلیل کیفیت آب قنوات"**، چکیده مقالات همایش ملی قنات، ص۶۱، گناباد.

۲۲- صداقت م. (۱۳۷۸)، **"زمین و منابع آب"**، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۶۸ ص.

۲۳- صفی نژاد ج. (۱۳۷۹)، **"قنات‌های کویری و کوهستانی کاشان"**، گزیده مقالات همایش بین المللی قنات جلد اول، ص ۲۱۱، یزد.

۲۴- عبدی پ. (۱۳۸۳)، **"بررسی وضعیت قنوت استان زنجان و ارائه راهکارهائی برای ارتقاء بهره‌برداری و حفاظت و احیای آن‌ها"**، چکیده مقالات همایش ملی قنات، ص۷۶، گناباد.

۲۵- علیزاده ا. (۱۳۸۰)، **"اصول هیدرولوژی کاربردی"**، چاپ سیزدهم، انتشارات آستان قدس رضوی، ۷۳۵ ص.

۲۶- عنایتی‌نیا ا. (۱۳۸۳)، **"قنوات و رابطه هیدرولیکی آن‌ها با آب‌های زیرزمینی"**، چکیده مقالات همایش ملی قنات، ص ۹۴، گناباد.

۲۷- غفوری م. مرتضوی ر. (۱۳۷۴)، **"آب شناسی"**، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۴۳.

۲۸- غیور ح. (۱۳۷۹)، **"نگرشی تازه بر قنات در ایران و چگونگی توزیع آن در مناطق مختلف جغرافیایی"**، گزیده مقالات همایش بین المللی قنات، ص ۲۳، یزد.

۲۹- فدراسیون کنترل آلودگی آب (Wpcf)، ترجمه امتیازی گ. (۱۳۷۹)، **"آزمایشات میکروبی آب و پساب"**، انتشارات مانی.

۳۰- کرجی ا. (۱۳۴۵)، **"استخراج آب‌های پنهانی"**، ترجمه: حسین خدیوجم، پژوهشکده علوم انسانی و مطالعات فرهنگی و کمیسیون ملی یونسکو در ایران، ۱۶۲ص.

۳۱- کردوانی پ. (۱۳۷۴)، **"منابع و مسائل آب در ایران"**، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۲۰ ص.

۳۲- کرمی غ. (۱۳۸۳)، **"قنوات کوچک موجود در آبراهه‌های کوهستانی"**، چکیده مقالات همایش ملی قنات، ص۱۳۵، گناباد.

۳۳- کلانتریان ف. (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی تنکابن"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۳۴- گوبلو ه. (۱۳۷۱)، **"قنات فنی برای دستیابی به آب"**، ترجمه: ابوالحسن سرومقدم و محمد حسین پاپلی یزدی، انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۹۶ص.

۳۵- موحد ف. و شامی ح. (۱۳۸۳)، **"احیاء قنات‌ها تحت تأثیر عملیات آبخواندارى و پخش سیلاب"**، چکیده مقالات همایش ملی قنات، ص ۸۴، گناباد.

۳۶- مهدوی م. (۱۳۷۲)، **"بررسی و شناخت جغرافیایی منابع آبی روستاهای ایران"**، انتشارات جهاد دانشگاهی، ۲۱۸ ص.

۳۷- نظرفرد م. و لیفی ک. و شیبانی ک. (۱۳۸۳)، **"استفاده بهینه از اراضی بالا دست قنات و جلوگیری از هدر رفتن آب در زمستان"**، چکیده مقالات همایش ملی قنات، ص ۷۸، گناباد.

۳۸- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ میامی، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۳۹- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بسطام، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۴۰- یزدانی ل. (۱۳۷۹)، **"ویژگی‌های قنوات خراسان جنوبی"**، گزیده مقالات همایش بین المللی قنات، صفحه ۲۱۱، یزد.

References

1- Al- Ghafri A. S. Norman W. R. Inoue T. and Nagasawa T. (2000) "Traditional irrigation scheduling in a falaj irrigation system of Oman: case study of falaj Al-Hageer, Northern Oman". In proceeding of the first international symposium on Qanat, 8-11, May, Yazd.

2- Boustani F. (2008) "Sustainable water utilization in arid region of Iran by Qanats" pp 213- 216.

3- Davis and Dewiest (1986) "Ground water and wells" (4rd edn), USA

4- Haeri M. R. (2003) "Kariz(Qanat); An Eternal Friendly System For Harvesting Groundwater" This article has been prepared for presentation In Adaptation Workshop November 12th – 13th 2003, New Delhi.

5- Hansen,R.D. (2007) “Karez (Qanats) of Turpan, Chiny” S. of . www.waterhistory.org

6- Lightfoot D. (1995) "Syrian Qanat Romani: history, ecology, abandonment" J. of Arid Environment, Volume 33, pp 321- 336.

7- Lightfoot D. (1996) "Traditional irrigation and progressive desiccation" *Volume 27*, pp 261- 273.

8- Rayhani M. Hesham El Naggar M. (2006) "Collapse hazard zonation of Qanats in greater Tehran area" pp 327- 338.

9- Salih A. (2006) "Qanats a Unique Groundwater Management Tool in Arid Region: The case of Bam Region in Iran" Paper presented at the International Symposium on Groundwater Sustainability (ISGWAS).

10- Sankaran Nair Dr.V. (2004) "Etymological conduit to the land of Qanat".

11- Stiros C. S. (2005) "Accurate measurement with primitive instruments: the "paradox" in the Qanat design" J. of Archaeological Science., Volume 33, pp 1058-1064.

12- Sylvia (2000) "Building a better Qanat".

13- Todd D.K. (2005) "Groundwater hydrology" (3rd edn), NewYork, U.S.A. 535 pp.

14- WHO. (1984) "Guidence for Drinking Water Quality" Vol 12.

15- Wulff H. E. (1968) "The Qanats of Iran" Scientific American, pp 94- 105.

16- WWW. lenntech.Com

Abstract

The study area is located in Mayamey region in 65 Km east of Shahrood in 55˚ 23' to 55˚ 45' east longitude and 36˚ 16' to 36˚ 25' north latitude. Mayamey is situated in the end of east north of central Iran which include dry and sub-dry climate. Because of little precipitation and hot water condition, there is no surface water in this area and required water is concerned to groundwater. In the plains margins and higher regions, qanats are the most important device for extracting the ground water. To determined the qualitative and quantitative characteristic of qanats in Mayamey region, ten different qanats (Zeidr, Ebrahim-Abad, Mayamey, Panaftani, Ab-Marjan, Mohammad-Abad, Jodaneh, Kale-Sepidar, Narmposhteh and Armian) have been studied. Electrical conductivity, water temperature, pH and discharge measured for all qanats in situ and majer cations (Na, K, Ca, Mg) and anions (Cl, SO_4, CO_3, HCO_3, NO_3) measured in the laboratory. The obtained results indicate that the values of electrical conductivity and the concentration of major ions considerably depend upon the lithology of the catchment area of qanats. In order to evaluate the water quality of qanats, stiff, piper, wilcox and scholler digrams have been drawn. According to these diagrams, the water type varies in different qanats. Furthermore, the changes in discharge of qanats is a function of characteristic of catchment area of qanats, permeability and as well as the structure of qanats. Moreover, in order to evaluate the biological contamination of water, four water samples from the studied qanats (Ebrahim-Abad, Maymey, Mohammad-Abad, Jodaneh) were collected and transmitted to the lab for MPN test. The obtained results of this test show that all of them are relatively contaminated due to some open shafts and entrance of domestic waters to the qanats tunnels.

Keyword: Mayamey, Qanat, Electrical conductivity, Discharge, Ion concentration, Biological contamination

Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

Hydrogeology Group

M.SC Thesis

Evaluating of hydrogeological and hydrochemical characteristics in Mayamey qanats

Fatemeh Abbasi

Supervisor:
Gholam Hossein Karami

February 2010