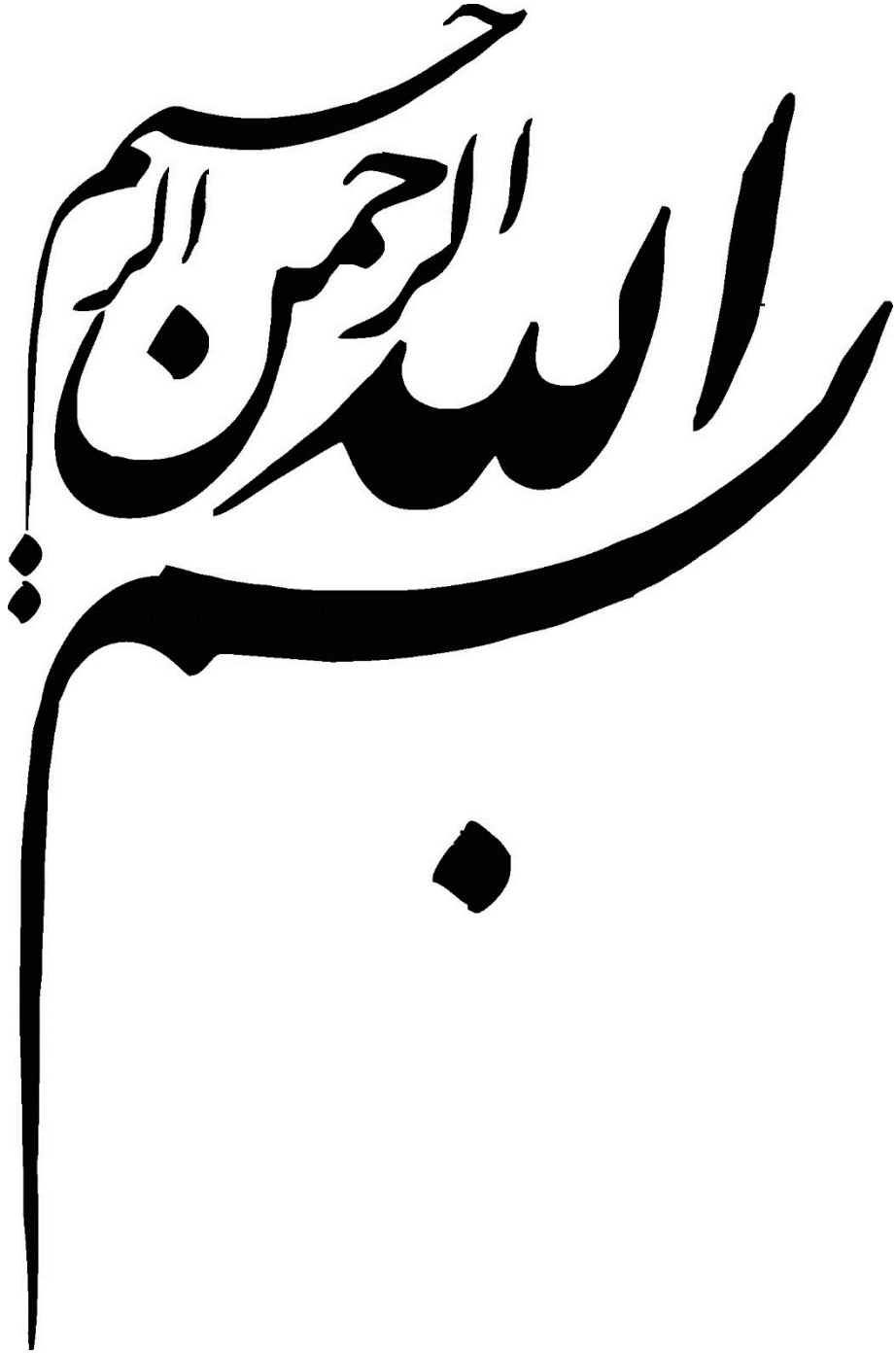

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم زمین

گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی

عنوان:

ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمایی قنات‌های دشت مشهد- چناران

دانشجو:

حمیده صالحی

استاد راهنما:

دکتر هادی جعفری

استاد مشاور:

محمود ارجمند شریف

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۶

نام و نام خانوادگی ... تاریخ و امضاء رونوشت

شماره: ۱۲۸۶۲
تاریخ: ۹۶/۱۲/۶

باسمه‌تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم حمیده صالحی با شماره دانشجویی ۹۴۱۱۰۳۴ رشته زمین‌شناسی گرایش هیدروژئولوژی تحت عنوان ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمیایی قنات‌های دشت مشهد- چناران که در تاریخ ۹۶/۱۱/۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: خیلی خوب ...) ☑ **مردود** ☐

نوع تحقیق: **نظری** ☐ **عملی** ☑

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱- استادراهنمای اول	دکتر هادی جعفری	استادیار	
۲- استادراهنمای دوم	—	—	
۳- استاد مشاور	محمود ارجمند شریف	—	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر حبیب ا... قاسمی	استاد تمام	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر غلامحسین کرمی	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر رحیم باقری	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر [illegible]

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشکده علوم زمین

تقدیم به پدر و مادر عزیز مهربانم

که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یاوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده‌اند...

تشکر و قدردانی

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا در سایه‌سار بنده نوازی‌هایش پایان‌نامه حاضر را به انجام برسانم. لذا برخود لازم می‌دانم مراتب سپاس را از بزرگوارانی که دست یاریگرشان همواره با اینجانب بوده است، بجای آورم.

در ابتدا از زحمات و محبت‌های بی‌دریغ خانواده‌ام که در نهایت صبر و بردباری همواره محیطی مساعد و آرام را جهت رشد تحصیلات بنده فراهم نموده‌اند سپاسگزاری می‌نمایم.

همچنین از زحمات بی شائبه‌ی استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر هادی جعفری تشکر می‌کنم که در تهیه و تکمیل این پژوهش از مساعدت‌ها و راهنمایی‌های سودمندشان بهره برده‌ام.

بر خود لازم می‌دانم از زحمات استاد مشاور دلسوز و مهربانم جناب آقای محمود ارجمند شریف که در تهیه‌ی پایان نامه اینجانب از هیچ زحمتی فروگذار نکرده‌اند کمال تقدیر و تشکر را داشته باشم.

همچنین از زحمات تمامی اساتید گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم به ویژه جناب آقایان دکتر کرمی و دکتر باقری و همچنین کارشناس محترم گروه سرکار خانم فارسی بی‌نهایت سپاسگزارم.

همچنین از شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی که در امر انجام این پایان نامه نهایت همکاری صمیمانه را با اینجانب نموده‌اند کمال سپاسگزاری را دارم.

در پایان از همگی همکلاسی‌های گرامی و عزیزم که در تمام مراحل انجام پایان نامه در طی مدت تحصیلاتم نهایت همکاری و همراهی را در حق اینجانب داشته‌اند سپاسگزارم.

حمیده صالحی

بهمن ۱۳۹۶

تعهد نامه

اینجانب **حمیده صالحی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته آبشناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان **ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمایی قنات‌های دشت مشهد-چناران** تحت راهنمائی دکتر هادی جعفری متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

دشت مشهد یکی از مهم‌ترین دشت‌های خراسان رضوی می‌باشد که با کشیدگی شمال‌غرب-جنوب‌شرق توسط دو زون زمین‌شناسی بینالود (غرب و جنوب‌غرب) و کپه‌داغ (شمال و شمال شرق) احاطه شده است. قنات به عنوان یکی از راه‌های تامین آب شرب و کشاورزی در این منطقه بسیار ارزشمند است. لذا هدف از انجام این تحقیق ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروشیمی قنات‌های انتخابی دشت مشهد-چناران می‌باشد. بدین منظورسری زمانی آبدهی قناتها در یک دوره‌ی ۵۰ ساله (۱۳۹۱-۱۳۴۰) بررسی شده است. همچنین خصوصیات کیفی قنات‌ها از طریق برداشت ۲۱ نمونه آب و آنالیز شیمیایی آن‌ها ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد، روند عمومی سطح آب زیرزمینی در آبخوان مشهد بر اساس هیدروگراف معرف آبخوان، کاهشی بوده و بیشترین مقادیر افت در این آبخوان در حاشیه غربی روی داده است. تغییرات آبدهی قنات‌ها در طی دوره ۵۰ ساله به دو دوره مبنا (از شروع دوره‌ی آماری تا زمان تصویب قانون توزیع عادلانه‌ی آب در سال ۱۳۶۱) و دوره فعلی (بعد از تصویب قانون تعیین تکلیف چاه‌های کشاورزی فعال فاقد پروانه‌ی بهره‌برداری در سال ۱۳۸۰ تا پایان دوره‌ی آماری) تفکیک شده که نتایج نشان دهنده‌ی کاهش آبدهی این قنات‌ها با زمان می‌باشد. بررسی عوامل موثر بر کاهش آبدهی نشان دهنده‌ی ارتباط بارش و آبدهی تا شروع دوره فعلی می‌باشد. پس از این زمان تغییرات آبدهی نوسانات کمی نسبت به بارش نشان می‌دهد. بررسی تغییرات آبدهی و افت سطح ایستابی نشان دهنده‌ی تاثیر بیشتر افت در قنات‌های واقع در بخش میانی آبخوان بوده که این افت عمدتاً در اثر برداشت توسط چاه‌های بهره‌برداری می‌باشد. بررسی تاثیر پارامترهای مورفولوژیکی قنات‌ها بر آبدهی نشان می‌دهد مقادیر زیاد کاهش آبدهی در قنات‌های با کم‌ترین مقادیر عمق مادرچاه و طول قسمت آبده قنات روی داده است. بر اساس نمودارهای کیفی قنات‌ها در دو گروه کربناته و سولفاته قابل تفکیک می‌باشد.کلیه قنات‌ها از کیفیت مناسبی برای مصارف کشاورزی برخوردارند.

کلمات کلیدی: دشت مشهد-چناران، سری زمانی آبدهی قنات، هیدروژئوشیمی

مقاله مستخرج از پایان نامه

صالحی ح.، جعفری ه و ارجمند م.، (۱۳۹۶)، " بررسی تغییر الگوی بهره‌برداری از منابع آب در دشت مشهد-چناران با استفاده از تجزیه و تحلیل تغییرات کمی آبدهی قنوات انتخابی" پنجمین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری دانشگاه شهید بهشتی تهران، مرکز همایش‌های بین‌المللی امام خمینی (ره)

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات..... ۱

۱ـ۱ بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق..... ۱

۱ـ۲ـ موقعیت جغرافیایی منطقه..... ۲

۱ـ۳ـ آب و هوا..... ۳

۱ـ۴ـ طبقه‌بندی اقلیمی..... ۳

۱ـ۴ـ۱ـ ضریب خشکی دمارتن..... ۳

۱ـ۴ـ۲ـ نمودار امبروترمیک..... ۴

۱ـ۵ـ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۵

۱ـ۵ـ۱ـ چینه‌شناسی..... ۶

۱ـ۵ـ۱ـ۱ـ پالئوزوئیک..... ۶

۱ـ۵ـ۱ـ۲ـ مزوزوئیک..... ۷

۱ـ۵ـ۱ـ۳ـ سنوزوئیک..... ۸

۱ـ۵ـ۱ـ۴ـ عهد حاضر..... ۱۰

۱ـ۶ـ زمین‌شناسی ساختاری و تکتونیک..... ۱۰

۱ـ۷ـ هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه..... ۱۲

۱ـ۸ـ هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه..... ۱۴

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین در مورد خصوصیات هیدروژئولوژی و هیدروشیمی قنات

۲ـ۱ـ تعریف قنات..... ۱۶

۲ـ۲ـ تاریخچه قنات..... ۱۷

۲ـ۳ـ قنات و گسترش آن در جهان..... ۱۸

۲ـ۴ـ اجزای تشکیل دهنده‌ی قنات..... ۱۸
۲ـ۵ـ طبقه‌بندی انواع قنات..... ۲۱
۲ـ۵ـ۱ـ تقسیم‌بندی قنات بر حسب طول..... ۲۱
۲ـ۵ـ۲ـ تقسیم‌بندی قنات بر حسب طول..... ۲۱
۲ـ۵ـ۳ـ تقسیم‌بندی براساس آبدهی..... ۲۲
۲ـ۵ـ۴ـ تقسیم‌بندی انواع قنات براساس توپوگرافی..... ۲۲
۲ـ۵ـ۵ـ تقسیم‌بتدی قنات بر اساس نوع منشاء آبدهی..... ۲۴
۲ـ۶ـ آبدهی قنات..... ۲۵
۲ـ۷ـ عوامل مؤثر در تغییرات آبدهی قنات..... ۲۶
۲ـ۸ـ عوامل تقلیل کیفیت آب قنات..... ۲۸
۲ـ۹ـ کیفیت آب قنات..... ۲۹
۲ـ۱۰ـ آسیب‌پذیری قنات..... ۳۰
۲ـ۱۱ـ مروری بر مطالعات گذشته..... ۱۲
فصل سوم: روش انجام تحقیق..... ۳۷
۳ـ۱ـ مقدمه..... ۳۸
۳ـ۲ـ مطالعات دفتری..... ۳۸
۳ـ۳ـ بررسی هیدروژئولوژی آبخوان آبرفتی مشهد ـ چناران..... ۳۹
۳ـ۴ـ ترسیم هیدروگراف قنات‌های انتخابی آبخوان آبرفتی مشهد ـ چناران..... ۳۹
۳ـ۵ـ بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات آبدهی قنات‌های انتخابی دشت مشهد ـ چناران..... ۳۹
۳ـ۶ـ بررسی خصوصیات کیفی قنات‌های دشت مشهد ـ چناران..... ۴۰
۳ـ۶ـ۱ـ نمونه‌برداری از قنات‌ها..... ۴۰
۳ـ۶ـ۲ـ آنالیزهای کیفی..... ۴۰
۳ـ۶ـ۳ـ تحلیل داده‌های کیفی..... ۴۴

فصل چهارم: هیدروژئولوژی و هیدروشیمی قنات‌های آبخوان آبرفتی مشهد ـ چناران..... ۴۵

۴ـ۱ـ مقدمه..... ۴۵

۴ـ۲ـ هیدروژئولوژی آبخوان آبرفتی مشهد ـ چناران..... ۴۵

۴ـ۲ـ۲ـ تغییرات زمانی سطح آب زیرزمینی..... ۴۵

۴ـ۲ـ۲ـ۱ـ هیدروگراف معرف آبخوان آبرفتی مشهد ـ چناران..... ۴۶

۴ـ۲ـ۲ـ۲ـ نقشه هم‌افت سطح آب زیرزمینی..... ۴۸

۴ـ۳ـ بررسی هیدروژئولوژیکی قنات‌های دشت مشهد ـ چناران..... ۴۹

۴ـ۳ـ۱ـ سری زمانی..... ۴۹

۴ـ۳ـ۲ـ عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌های انتخابی دشت مشهد ـ چناران..... ۵۹

۴ـ۳ـ۳ـ بررسی ارتباط تغییرات آبدهی و پارامترهای مورفولوژیکی قنات..... ۶۹

۴ـ۴ـ بررسی هیدروشیمی قنات‌های انتخابی دشت مشهد ـ چناران..... ۷۳

۴ـ۴ـ۱ـ هدایت الکتریکی و pH قنات‌ها..... ۷۳

۴ـ۴ـ۲ـ بررسی غلظت یون‌های اصلی در آب قنات‌های انتخابی مشهد ـ چناران..... ۷۴

۴ـ۴ـ۳ـ سختی آب..... ۷۹

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها..... ۸۵

۵ـ۱ـ مقدمه..... ۸۵

۵ـ۲ـ نتیجه‌گیری..... ۸۵

۵ـ۳ـ پیشنهادها..... ۸۷

پیوست..... ۹۲

منابع..... ۸۸

فهرست شکل‌ها

شکل ۱ـ۱ـ راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه..... ۲

شکل ۱ـ۲ـ نمودار امبروترمیک منطقه بر اساس دوره آماری ۳۵ ساله..... ۵

شکل ۱ـ۳ـ نقشه زمین‌شناسی آبخوان آبرفتی دشت مشهد ـ چناران..... ۱۱

شکل ۲ـ۱ـ اجزای مختلف قنات..... ۲۰

شکل ۲ـ۲ـ نمودار مقایسه تغییرات هدایت الکتریکی آب قنات‌ها در دشت قروه سال ۱۳۸۳ و ۱۳۸۷..... ۲۹

شکل ۳ـ۱ـ نمونه‌برداری از قنات کاریزده در دشت مشهد..... ۴۱

شکل ۳ـ۲ـ نمونه‌برداری از قنات یزدان‌آباد در دشت مشهد..... ۴۲

شکل ۳ـ۳ـ اندازه‌گیری هدایت الکتریکی قنات انداد..... ۴۲

شکل ۳ـ۴ـ اندازه‌گیری pH قنات خلیل‌آباد..... ۴۲

شکل ۴ـ۱ـ نقشه هم‌پتانسیل و جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی مشهد ـ چناران (خرداد ۹۶)..... ۴۷

شکل ۴ـ۲ـ هیدروگراف معرف ترسیمی آبخوان آبرفتی مشهد ـ چناران..... ۴۸

شکل ۴ـ۳ـ نقشه هم‌افت آبخوان مشهد در بازه زمانی ۱۳۹۵ـ۱۳۶۱..... ۵۰

شکل ۴ـ۴ـ سری زمانی (هیدروگراف) تعدادی از قنات‌های انتخابی دشت مشهد ـ چناران..... ۵۲

شکل ۴ـ۵ـ مقایسه میانگین آبدهی قنات‌ها در دو دوره مبنا و فعلی..... ۵۷

شکل ۴ـ۶ـ تغییرات میانگین آبدهی قنات‌ها در دوره فعلی نسبت به دوره مبنا..... ۵۷

شکل ۴ـ۷ـ مقایسه ضریب چولگی آبدهی قنات‌ها در دو دوره مبنا و فعلی..... ۶۰

شکل ۴ـ۸ـ مقایسه ضریب کشیدگی آبدهی در دو دوره مبنا و فعلی..... ۶۰

شکل ۴-۹- سری زمانی بارش در دشت مشهد در بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۳۶۱..... ۶۱

شکل ۴-۱۰- سری زمانی بارش و آبدهی قنات‌ها..... ۶۲

شکل ۴-۱۱- رابطه بارش و میانگین آبدهی سالیانه قنات‌های انتخابی دشت مشهد..... ۶۶

شکل ۴-۱۲- رابطه بارش و میانگین سالانه آبدهی قنات‌ها تا قبل از سال ۱۳۸۰..... ۶۶

شکل۴-۱۳- نرخ افت سطح ایستابی و کاهش آبدهی قنات‌های دشت مشهد..... ۶۸
شکل۴-۱۴- تغییرات سالیانه تعداد و تخلیه چاه‌ها در آبخوان آبرفتی مشهد-چناران..... ۶۹
شکل۴-۱۵- رلبطه نرخ کاهش آبدهی سالیانه و عمق مادرچاه قنات‌ها..... ۷۱
شکل۴-۱۶- رابطه نرخ کاهش آبدهی سالیانه و طول رشته قنات..... ۷۲
شکل۴-۱۷- رابطه نرخ کاهش آبدهی سالیانه و طول قسمت آبده..... ۷۲
شکل۴-۱۸- تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در قنات‌های دشت مشهد..... ۷۵
شکل۴-۱۹- دیاگرام شولر مربوط به نمونه آب قنات‌های انتخابی دشت مشهد..... ۷۷
شکل۴-۲۰- نمودار پایپر آب قنات‌ها در منطقه مورد مطالعه..... ۷۸
شکل۴-۲۱- نمودار استیف قنات‌های گروه اول دشت مشهد (تیپ آنیونی بی‌کربناته)..... ۸۰
شکل۴-۲۲- نمودار استیف قنات‌های دشت مشهد گروه دوم (تیپ آنیونی سولفاته)..... ۸۱
شکل۴-۲۳- ترسیم نمونه‌های مربوط به قنات‌های دشت مشهد بر روی دیاگرام ویلکاکس..... ۸۴

فهرست جداول

جدول۱-۱- اقلیم بر اساس ضریب خشکی دمارتن..... ۴
جدول۴-۱- آماره‌های آبدهی قنات‌ها از ابتدای دوره آماری تا زمان تصویب قانون توزیع عادلانه..... ۵۵
جدول۴-۲- آماره‌های آبدهی قنات از سال ۱۳۸۰ تا پایان دوره آماری (۱۳۹۱)..... ۵۶
جدول۴-۳- پارامترهای موفولوژیکی قنات‌های انتخابی دشت مشهد..... ۷۲
جدول۴-۴- غلظت آنیون و کاتیون‌های اصلی..... ۷۶
جدول۴-۵- ظبقه‌بندی آب بر اساس سختی..... ۸۲
جدول۴ـ۶ـ کیفیت آب کشاورزی بر مبنای پارامترهای سدیم و شوری..... ۸۳

فصل اول

کلیات

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

قنات یکی از قدیمی‌ترین روش‌های استخراج آبهای زیرزمینی می‌باشد، که از ۲۵۰۰ سال پیش در ایران رایج بوده است. قنات یک نظام آبرسانی است که در آن آبهای زیرزمینی بدون نیاز به نیروی مکانیکی و تنها با استفاده از نیروی جاذبه زمین به سطح زمین آورده می‌شود. به طور کلی قنات، از یک دهانه یا مظهر روباز، یک مجرای تونل مانند زیرزمینی یا کوره قنات و چندین چاه عمودی یا میله قنات که مجرا یا کوره زیرزمینی را در فواصل مشخص با سطح زمین مرتبط می‌سازد، تشکیل شده است (میرباقری ۱۳۷۹). با توجه به اهمیت قنات‌ها در تامین آب شرب در برخی از مناطق، مطالعه کمی و کیفی آنها حائز اهمیت می‌باشد. یکی از مهم‌ترین دشت‌های استان خراسان‌رضوی می‌باشد که با کشیدگی شمال‌غرب-جنوب‌شرق توسط دو زون زمین‌شناسی بینالود (غرب و جنوب‌غرب) و کپه‌داغ (شمال و شمال‌شرق) احاطه شده است (آقانباتی ۱۳۸۳). رسوبات مخروط‌افکنه‌ای در حاشیه‌ی ارتفاعات بینالود معمولا درشت دانه و از عناصر شن و ماسه و قلوه‌سنگ با تناوب رسوبات ریزدانه حاوی آب شیرین تشکیل شده است که شهر مشهد بر روی این رسوبات قرار گرفته است (جلیلیان و همکاران ۱۳۶۵). قنات‌های دشت مشهد بیشتر در شمال غرب و شمال مشهد گسترش داشته و اکثر مادر چاه‌ها در شمال‌غرب، که از رسوبات آبرفتی دانه درشت تشکیل شده است، واقع شده‌اند (گزارش ممنوعیت محدوده مطالعاتی مشهد-چناران ۱۳۹۴). با توجه به اهمیت قنات‌ها و ارزش منابع آب زیرزمینی در این منطقه، مطالعه‌ی کمی و کیفی قنات‌ها مهم و ضروری بوده و لذا هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی قنات‌های دشت مشهد می‌باشد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه

محدوده مطالعاتی مشهد با وسعتی حدود ۹۹۵۷ کیلومترمربع از شمال به محدوده‌های مطالعاتی قوچان-شیروان و کلات نادری، از جنوب و جنوب‌شرق به محدوده‌های مطالعاتی سرجام (سنگ بست) و نریمانی و

از غرب به محدوده مطالعاتی نیشابور محدود می‌گردد. محدوده مطالعاتی مشهد یکی از زیرحوضه‌های قره‌قوم می‌باشد و از نظرموقعیت جغرافیایی، در حدود ′۲۲ °۵۸ تا ′ ۷ °۶۰ طول‌شرقی و ′ ۵۹ °۳۵ تا ′ ۲ °۳۷ عرض‌شمالی قرار گرفته است. مساحت ارتفاعات و دشت محدوده مشهد به ترتیب برابر ۶۱۶۹/۱۴ و ۳۷۸۸/۳ کیلومترمربع می‌باشند. (شکل ۱-۱)، راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۱-۳- آب و هوا

شهر مشهد دارای آب و هوای متغیر، اما معتدل و متمایل به سرد و خشک است و از تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و مرطوب برخوردار است. افزایش دما و کاهش رطوبت نسبی از دیگر ویژگی‌های این منطقه به شمار می‌آید. به منظور بررسی وضعیت اقلیمی منطقه از آمار بارش ۳۱ ساله ایستگاه اولنگ‌اسدی از سال ۹۰-۱۳۶۱ استفاده شده است. بارش سالانه در ایستگاه اولنگ‌اسدی به عنوان معرف

حوضه دارای میانگین درازمدت ۱۸۳/۸ میلیمتر می‌باشد. میانگین سالانه دما از ۹۰-۱۳۶۱ برابر ۱۵/۰ درجه سانتی‌گراد است.

۱-۴- طبقه‌بندی اقلیمی

اقلیم نتیجه تأثیر توأم پدیده‌های هواشناسی است و حالت متوسط هوا را در یک نقطه دلخواه بدست می‌دهد. آنچه در هیدرولوژی تاثیر بسزایی دارد قرار دادن حوضه در یکی از گروه‌های مناسب اقلیمی است تا از روی آن بتوان در تفاسیر نتایج محاسبات هیدرولوژی کمک گرفت. این تحقیق به منظور تعیین وضعیت اقلیم منطقه مورد مطالعه از ضریب خشکی دمارتن و برای تعیین دوره‌های تر وخشک از نمودار امبروترمیک استفاده شده است.

۱-۴-۱- ضریب خشکی دمارتن

یکی از تقسیم بندی‌های اقلیمی معتبر در سطح جهانی که برای مناطق خشک و نیمه‌خشک نسبتاً بهتر جواب می‌دهد، تقسیم‌بندی اقلیمی دمارتن می‌باشد. این طبقه‌بندی براساس میانگین بارندگی و درجه حرارت سالیانه از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

معادله(۱-۱) $$I = \frac{P}{T+10}$$

P: متوسط بارندگی سالیانه (میلیمتر)

T: متوسط درجه‌حرارت سالیانه (سانتیگراد)

I: ضریب خشکی

بر این اساس می‌توان طبق فرمول هفت نوع اقلیم را از خشک تا بسیار مرطوب مشخص نمود که طبق

جدول (۱-۱) ارائه شده است.

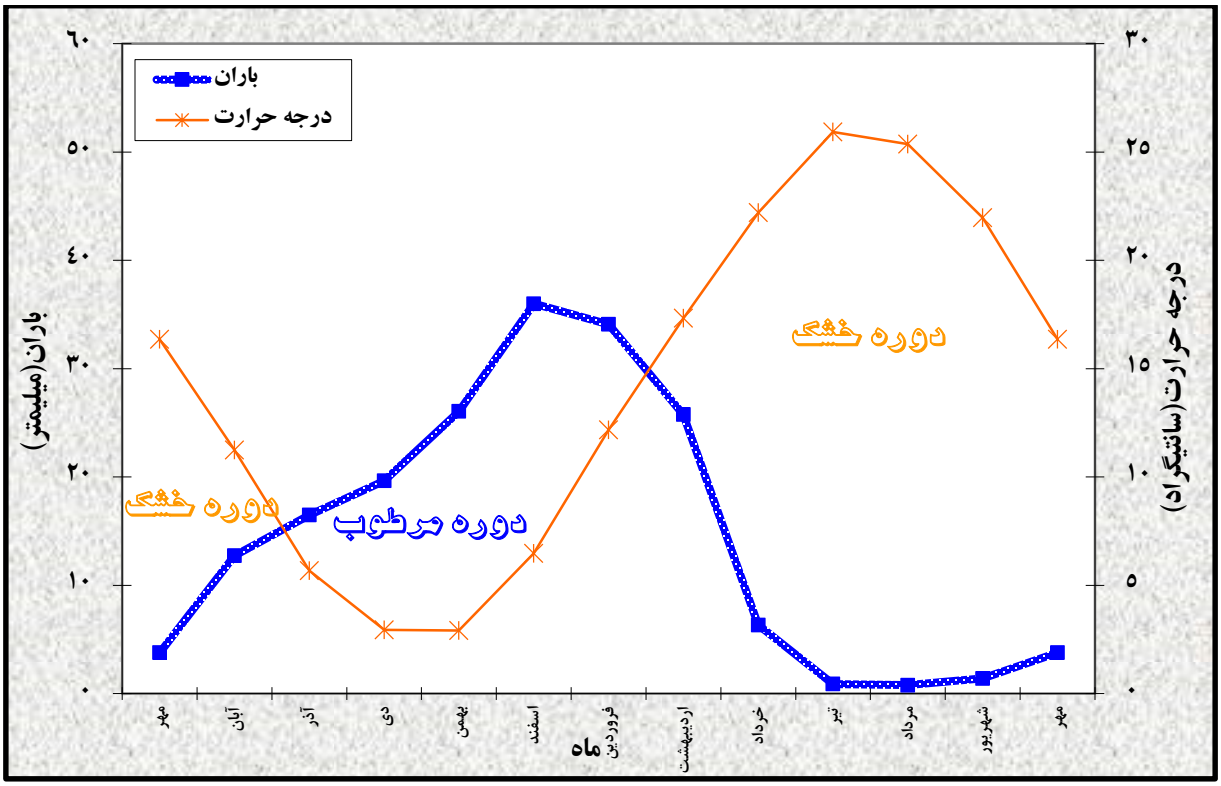
محدوده مطالعاتی مشهد، بر اساس روش دمارتن با توجه به ضریب بدست آمده (۷/۳۲) دارای اقلیم خشک است.

جدول ۱-۱-اقلیمی بر اساس ضریب خشکی دمارتن

نام اقلیم	ضریب خشکی دمارتن
خشک	<۱۰
نیمه خشک	۱۰-۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰-۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴-۲۷/۹
مرطوب	۲۸-۳۴/۹
بسیار مرطوب	>۳۵

۱-۴-۲- نمودار امبروترمیک

نمودار امبروترمیک منطقه بر اساس دما و بارش ماهانه ترسیم و در شکل ۲-۱ ارائه شده است. نمودارهای امبروترمیک برای شناخت‌های ماه‌های خشک در ایستگاه‌های اقلیمی مورد مطالعه تهیه می‌شوند. در نمودار ترسیم شده ماه‌هایی که در آنها محورهای بارش و دما یکدیگر را قطع می‌کنند و منحنی دما بالاتر از منحنی بارش قرار دارد ماه‌های خشک محسوب می‌شوند.



شکل ۱-۲- نمودار امبروترمیک منطقه بر اساس دوره آماری ۳۵ ساله

۱-۵- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

شکل ۱-۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به لحاظ جایگاه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی مشهد در حدفاصل دو زون زمین‌شناسی کپه‌داغ و بینالود واقع شده است. زون بینالود با روند شمال غرب-جنوب‌شرق در امتداد زون البرزشرقی است که تا کشور افغانستان امتداد می‌یابد و زون کپه‌داغ با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق، در قسمت شمالی دشت مشهد قرار گرفته است(گزارش ممنوعیت محدوده مطالعاتی مشهد-چناران ۱۳۹۴). منطقه مشهد از شمال به وسیله‌ی رشته‌کوه‌های هزارمسجد و از جنوب به وسیله‌ی سلسله کوههای بینالود با روند عمومی شمال‌غربی-جنوب‌شرقی محصور شده است. دشت مشهد(کشف‌رود) در حد فاصل دو حوضه رسوبی با دو سیستم جداگانه کپه‌داغ (هزارمسجد) در شمال با

تاقدیس‌ها و ناودیس‌های نسبتاً متقارن آهکی و ماسه‌سنگی و البرزشرقی(بینالود) در جنوب با سری سنگ‌های آذرین و دگرگونی با ساختمانی پیچیده واقع است (ترشیزیان ۱۳۸۶).

۱-۵-۱- چینه‌شناسی

در سطح محدوده مطالعاتی مشهد، سازندهای زمین‌شناسی از دوران اول تا چهارم رخنمون دارند. کهن‌ترین سازند سنگ‌های پالئوزوئیک می‌باشد، که در غرب محدوده رخنمون داشته و جوانترین سازندها نیز آبرفت‌های جوان کواترنری و پهنه‌های رسی و شنی هستند که در مناطق پست و فرو افتاده حوضه گسترش دارند. در مرز غربی محدوده مطالعاتی سازندهای زمین‌شناسی متعلق به زون بینالود (ادامه البرز شرقی)، از سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگون شده متعلق به دوره‌های مختلف زمین‌شناسی تشکیل شده است و به سمت شرق به موازات زون کپه‌داغ رخنمون دارند (گزارش ممنوعیت محدوده مطالعاتی مشهد-چناران ۱۳۹۴). ارتفاعات بینالود با راستای شرقی-غربی تا حدی به سمت شمال و دربرگیرنده‌ی سنگ‌های پالئووزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک می‌باشد. سازندهای مهمی که در این ارتفاعات قرار دارند شامل سازندلالون، سازند بهرام و دولومیت سلطانیه است که سازند بهرام در داخل این دشت قرار می‌گیرد. سنگ آهک بهرام در جنوب غرب مشهد برونزد دارد و آهک‌های تقریباً یکنواختی به ضخامت ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر دارد که درصد کمی از منطقه را تحت پوشش قرار می‌دهند (ترشیزیان ۱۳۸۶).

۱-۵-۱-۱- پالئوزوئیک

قدیمی‌ترین تشکیلات زمین‌شناسی رخنمون یافته در سطح محدوده مشهد شامل سنگ آهک و دولومیت‌های متبلور سازند بهرام (Db) می‌باشد که در خطالراس ارتفاعات بینالود و حاشیه جنوب‌غربی

منطقه با وسعتی حدود ۳۲/۶ کیلومترمربع در سطح ظاهر شده‌اند (گزارش ممنوعیت محدوده مطالعاتی مشهد- چناران ۱۳۹۴).

۱-۵-۱-۲- مزوزوئیک

رسوبات دوران دوم زمین‌شناسی (ژوراسیک و کرتاسه) بخش اعظم سطح محدوده مطالعاتی مشهد را به خود اختصاص داده‌اند. رسوبات ژوراسیک در ارتفاعات غرب دشت مشهد (بینالود) شامل شیل و فیلیت (فیلیتهای مشهد)، ماسه‌سنگ، شیل و کنگلومرا ، سنگ‌آهک، مارن خاکستری رنگ، سنگ آهک توده‌ای و مطبق روشن رنگ می‌باشد. بخش وسیعی از ارتفاعات بینالود شامل فیلیت‌های مشهد می‌باشند که در غرب شهر مشهد رخنمون دارند. بخش اعظم ارتفاعات شمالی محدوده مطالعاتی مشهد را سازند مزدوران و سازند چمن بید به خود اختصاص داده‌اند. این واحدها خطالرأس ارتفاعات منطقه را تشکیل داده و در هسته تاقدیس‌های موجود با امتداد شمال غرب-جنوب‌شرق در سطح رخنمون یافته‌اند.

سازند چمن‌بید: بخش باختری سازند کپه‌داغ از نوع نهشته‌های مارنی تیره رنگ، قیری، پیریتی و آمونیت‌دار به همراه سنگ آهک‌های نازک لایه می‌باشند. سازند چمن‌بید درخور قابل قیاس با مارن‌های سازند دلیچای (البرز) و بغمشاه (ایران مرکزی) است.

سازند مزدوران: در ناحیه کپه‌داغ سازند مزدوران آخرین واحد سنگ چینه‌ای کربناتی ژوراسیک و سنگ مخزن میدان گازی خانگیران است که بیشتر از سنگ‌های میکریتی ستبرلایه و کوه‌ساز با رگه‌ها و گرهک‌های چرت تشکیل شده است. رخساره آواری سازند مزدوران را به سه نوع آهکی-دولومیتی، آواری-تبخیری و آهکی-ماسه‌سنگی می‌داند.

در کرتاسه زیرین این حوضه بالا آمده و رسوبات آواری شامل ماسه سنگ و شیل‌های قرمز رنگ سازند شوریجه در منطقه نهشته شده‌اند. این سازند دارای نفوذپذیری اندکی بوده و عمدتاً نقش لایه محدودکننده

آبخوان‌های آهکی مزدوران و تیرگان منطقه را ایفا می‌نماید.

سازند تیرگان: بررسی دیرینه‌ی جغرافیای کرتاسه توسط افشار حرب۱۳۷۲ نشان می‌دهد که نهشته‌های آغاز کرتاسه از نوع آواری‌های سرخ رنگی به نام سازند (شوریجه) است که در محیط‌های مردابی، دشت ساحلی و دلتایی نهشته شده است. به تدریج رژیم‌های قاره‌ای-مردابی به انواع مردابی-دریایی تبدیل شده و در زمان پارمین، نخست سکوی کربناتی کم ژرفا و پر انرژی و در دوره‌ی زمانی آپتین محیط‌های دریایی بر تمام منطقه چیره شده که شرایط مناسبی برای نهشت سنگ آهک‌های زیست‌آواری و ائولیتی (سازند تیرگان) بوده است، و به دلیل لیتولوژی کربناته و پتانسیل کارستی‌شدن توانایی تشکیل آبخوان آهکی را در منطقه دارند. این حوضه به تدریج ژرفای بیشتر داشته و با ورود رس سازند سرچشمه و سازند شیلی سنگانه نهشته شده است. سپس شرایط دریایی زمان تورونین، با تغییرات اندک کم و بیش ادامه یافته، و در طی آن سازندهای آب دراز، آب‌تلخ، نیزار و کلات نهشته شده است (گزارش ممنوعیت محدوده مطالعاتی مشهد-چناران ۱۳۹۴؛ ترشیزیان ۱۳۸۶).

۱-۵-۱-۳- سنوزوئیک

دوران سوم زمین‌شناسی به سه دوره پالئوژن، نئوژن و کواترنر قابل تقسیم است. رخساره‌ها و سازندهای متعلق پالئوژن در سطح محدوده مشهد رخنمون ندارد.

نئوژن

سازندهای نئوژن در یال جنوبی بینالود به وفور یافت می‌شود، ولی در یال شمالی به صورت نهشته‌های پراکنده در حاشیه‌ی ارتفاعات و به صورت رخنمون‌هایی در بعضی نقاط دشت خصوصاً در جنوب‌شرقی و شرق مشهد دیده می‌شوند که عمدتاً شامل واحدهای مارنی قرمز رنگ گچ‌دار می‌باشند. در نواحی شمال‌غربی بینالود گدازه‌های آندزیتی، داسیتی و توف مشاهده می‌شوند. در محدوده‌ی شهر مشهد رسوبات مارنی گچ‌دار

در پای ارتفاعات و در شرق مشهد در حوالی دهکده‌های شهرآباد، حسین‌آباد، فیض‌آباد و ... شامل مارن‌های گچی-سیلتی رخنمون دارد. لایه‌های قرمز نئوژن شامل کنگلومرا، لای، ماسه‌سنگ مارن و سیلت در میان‌دشت، در شمال کشف‌رود و شمال‌شرقی شهر مشهد و حوالی کشف‌رود به وفور یافت می‌شود (ترشیزیان ۱۳۸۶). این رخساره‌ها در سه منطقه عمده در سطح محدوده مشهد دیده می‌شوند (گزارش ممنوعیت محدوده مطالعاتی مشهد- چناران ۱۳۹۴).

الف-در ارتفاعات شمال‌شرقی دشت مشهد

ب- در جنوب شرقی‌آبخوان آبرفتی مشهد

ج- شمال غربی‌آبخوان آبرفتی دشت مشهد

کواترنر

محدوده‌ی بین بینالود و کپه‌داغ شامل سنگ‌های دگرگونی و مجموعه‌ی افیولیتی است که به طول ده‌ها کیلومتر با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق در دامنه‌ی شمالی ارتفاعات بینالود امتداد می‌یابد، همچنین بین ارتفاعات هزارمسجد و بینالود را رسوبات کواترنر پوشانده است که شامل آبرفت‌ها مخروط‌افکنه‌ها و پهنه‌های گل و لایی است (ترشیزیان ۱۳۸۶). رسوبات کواترنر عمدتاً شامل رسوبات تحکیم نیافته آواری می‌باشند که حاصل فرسایش ارتفاعات و واحدهای سنگی قدیمی‌تر بوده و در مناطق پست و فروافتاده حوضه تجمع یافته‌اند. مخروط افکنه‌ها و رسوبات جوان آبرفتی تقریباً تمامی بخش فروافتاده مرکزی دشت مشهد را به خود اختصاص می‌دهند (گزارش ممنوعیت محدوده مطالعاتی مشهد-چناران ۱۳۹۴). شهر مشهد بر روی نهشته‌های آبرفتی جوان دشت مشهد بنا شده است. مهم‌ترین عارضه فیزیوگرافی دشت مشهد رودخانه کشف‌رود است که از کوه‌های هزارمسجد و بینالود سرچشمه گرفته و پس از عبور از دشت مشهد و رشته‌کوه‌های مزدوران با پیوستن به رودخانه مرزی هریرود، رودخانه‌ی تجن را تشکیل داده که سرانجام در نزدیکی سرخس وارد صحرای قره‌قوم در ترکمنستان می‌شود. نهشته‌های آبرفتی این دشت حاصل فعالیت

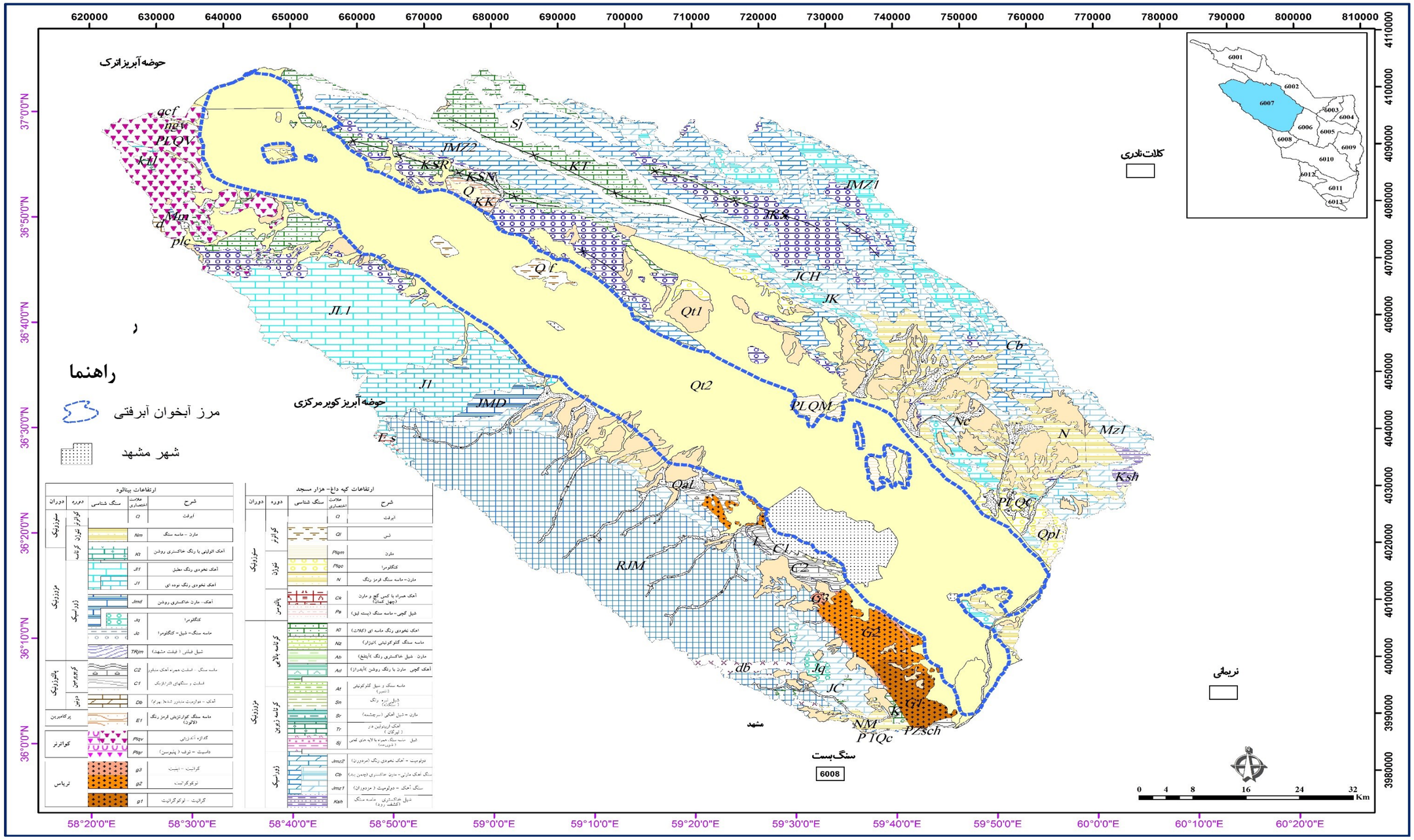
رودخانه کشف‌رود و سیلاب‌های فصلی رودخانه‌هایی نظیر رادکان، کارده و ... از کوه‌های هزارمسجد و رودخانه‌های فریزی، شاندیز و طرقبه، طرق و ... از کوه‌های بینالود می‌باشند(ترشیزیان ۱۳۸۶).

۱-۵-۱-۴- عهدحاضر

جوان‌ترین واحدهای آبرفتی موجود در دشت مشهد شامل نهشته‌های بخش پایینی بادبزن‌های آبرفتی، رسوبات بستر رودخانه کشف‌رود و دیگر رودخانه‌های منطقه و پادگانه‌های پست و جدیدتر رودخانه کشف‌رود می‌باشند (بربریان و همکاران ۱۳۷۸).

۱-۶- زمین‌شناسی ساختاری و تکتونیک

در کل گسل‌ها و صفحات رورانده عمده‌ترین ساخت‌های زمین‌شناسی در منطقه هستند (ترشیزیان و همکاران ۱۳۸۶). در محدوده مطالعاتی مشهد روند کلی سیستم‌های ناپیوستگی گسل‌ها و چین خوردگی‌ها از نظر ساز و کار حرکتی به دو گروه تقسیم می‌شوند، که گروه اول منطبق بر روند کلی عوارض زمین‌شناسی و در راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق می‌باشد، و گروه دوم از گسل‌ها که محور چین‌ها را قطع می‌کنند و از نوع همگرا هستند. زون گسله مشهد شاندیز در حاشیه ارتفاعات بینالود، گسله اصلی کشف رود در آبخوان آبرفتی مشهد می‌باشد (گزارش ممنوعیت محدوده مطالعاتی مشهد-چناران ۱۳۹۴). چین‌ها تقریباً در تمامی انواع سنگ‌ها و تشکیلات مشاهده می‌شوند. چین‌های موجود در جنوب مشهد عمدتاً از نوع برگشته و خوابیده هستند. چین‌های حوضه‌ی کپه‌داغ بیشتر از نوع موازی می‌باشند (ترشیزیان و همکاران ۱۳۸۶).



شکل ۱-۳- نقشه زمین‌شناسی آبخوان آبرفتی دشت مشهد-چناران

۱-۷- هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه

رودخانه کشف رود مهم‌ترین رودخانه بخش شمال شرقی استان خراسان است که در بین کوه‌های هزار مسجد و بینالود قرار گرفته است. شاخه‌های متعدد از دو سو به آن اتصال می یابند، از دامنه های کوه‌های بینالود و هزار مسجد سرچشمه می گیرند سپس به سمت مرکز دشت مشهد جریان یافته و رودخانه کشف رود را بوجود می‌آورند. به طور مختصر به معرفی شاخه‌های متعدد می‌پردازیم.

رودخانه کشف‌رود

مهم‌ترین رودخانه بخش شمال خاوری استان خراسان است که در دره‌ای بین کوه‌های هزار مسجد و بینالود جریان دارد، این رود از دامنه های کوه‌های بینالود و هزار مسجد سرچشمه می‌گیرد، سپس به سمت مرکز دشت مشهد جریان یافته و رودخانه کشف‌رود را به وجود می‌آورد. طول رودخانه ۲۹۰ کیلومتر است. این رودخانه، در محل پل خاتون سرخس، به رودخانه هریرود می‌پیوندد و از آنجا به بعد، رودخانه تجن نام گرفته و به سمت ترکمنستان ادامه می‌یابد و در ریگزارهای ترکمنستان فرو می‌رود.

رودخانه زشک

رودخانه زشک از رودخانه‌های دائمی حوضه آبریز قره‌قوم است که از ارتفاعات بینالود سرچشمه می‌گیرد، و در فاصله ۲۰ کیلومتری شمال‌غربی شهر مشهد قرار گرفته است. این رودخانه با طول حدود ۳۲ کیلومتر از سرشاخه تا محل ورود به دشت توس مشهد دارای مساحت حوضه آبریزی حدود ۲۰۰ کیلومترمربع می‌باشد. سرشاخه‌های آن از بخش جنوب‌شرقی حوضه از کوه‌های زنبورگاه و سیاه‌خوانی سرچشمه گرفته و ابتدا دارای دو شاخه اصلی به نام رودخانه بزرگ و رودخانه کوچک بوده و در جنوب‌غربی آبادی زشک به همدیگر

پیوسته و شاخه اصلی رودخانه زشک را تشکیل می‌دهند. شاخه دیگری به نام رودخانه کنگ، از مجاورت آبادی سرآسیاب عبور کرده و در محل غرب روستای حصارسرخ و عبور از پل جاده شاندیز-مشهد وارد دشت توس-مشهد می‌گردد و در نهایت به کشف‌رود منتهی می‌گردد.

رودخانه ارداک

این رودخانه، طولی حدود ۶۵ کیلومتر دارد که از ارتفاعات کپه‌داغ و از دامنه‌های کوه جهانگیر از رشته‌کوه‌های هزارمسجد در ۸۵ کیلومتری شمال‌غربی مشهد، سرچشمه می‌گیرد و در نهایت به کشف‌رود می‌پیوندد. آبرفت رودخانه نسبتاً غنی و دارای مخازن زیرزمینی که بیشتر با قنات برداشت می‌شود(گزارش ممنوعیت محدوده مطالعاتی مشهد-چناران؛ ترشیزیان و همکاران ۱۳۸۶).

رودخانه گلمکان

از رودخانه دائمی حوضه آبریز قره‌قوم، به طول ۲۲ کیلومتر که از ارتفاع حدود ۲۶۰۰ متری کوه گودزرد، در حدود ۴۸ کیلومتری غرب مشهد و از کوه‌های بینالود، سرچشمه می‌گیرد و وارد دشت چناران می‌شود و به کشف رود می‌پیوندد. آبدهی دائمی رودخانه باعث گسترش باغات میوه در حاشیه‌ی دره گلمکان شده است و منابع آب زیرزمینی را تغذیه می‌کند (گزارش ممنوعیت محدوده مطالعاتی مشهد-چناران ۱۳۹۴؛ ترشیزیان و همکاران ۱۳۸۶).

رودخانه فریزی

پر آب‌ترین رودخانه‌ی دشت مشهد و از شاخه‌های دائمی حوضه آبریز کشف‌رود می‌باشد، و طول حدود ۳۵ کیلومتر دارد. این رودخانه از ارتفاع ۲۱۰۰ متری دامنه‌های شمالی رشته‌کوه بینالود سرچشمه می‌گیرد. در طول مسیر، شاخه‌ی پایه به آن افزوده می‌شود، سپس وارد دشت چناران می‌گردد. رودخانه فریزی یکی از

مخروط‌افکنه‌های بزرگ دشت مشهد را تغذیه می‌کند و نقش بسزایی در تغذیه‌ی منابع زیرزمینی دشت چناران دارد. وجود قنات‌های متعدد در اطراف بستر رودخانه حاکی از وضعیت مناسب برای تغذیه‌ی طبیعی در این نقاط می‌باشد (گزارش ممنوعیت محدوده مطالعاتی مشهد- چناران ۱۳۹۴؛ ترشیزیان و همکاران ۱۳۸۶).

۱-۸- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

آبخوان آبرفتی مشهد-چناران با حدود ۲۲۲۲ کیلومترمربع که از نوع آبخوان آزاد می‌باشد. رسوبات مخروطه افکنه‌ای در حاشیه ارتفاعات بینالود(در محدوده معمولاً درشت‌دانه و از عناصر شن و ماسه و قلوه سنگ با تناوب رسوبات ریزدانه حاوی آب‌شیرین تشکیل گردیده است. در نواحی شمال دشت مشهد آبرفت دانه‌ریز (بی‌دانه‌بندی آبرفت در حاشیه جنوبی، درشت دانه و نسبتاً هموژن است که با نزدیک شدن به آبراهه مرکزی دشت (کشف رود)، ریزدانه شده و دارای لایه‌بندی متناوب می‌گردد. دانه‌بندی آبرفت در حاشیه جنوبی، درشت دانه و نسبتاً هموژن است که با نزدیک شدن به آبراهه مرکزی دشت (کشف‌رود)، ریزدانه شده و دارای لایه‌بندی متناوب می‌گردد. این روند در بخش شرقی آبخوان (خروجی دشت) نیز قابل مشاهده است (گزارش ممنوعیت محدوده مطالعاتی مشهد- چناران ۱۳۹۴).

تغییرات ضرایب هیدرودینامیکی سبب تغییرات آبدهی چاه‌ها می‌گردد، بطوری که دبی چاه‌های عمیق در نقاط مختلف از ۱۱۰-۲۵ لیتر در ثانیه متفاوت است. بطور کلی نهشته‌های آبرفتی دشت مشهد که حاصل فرایند رودخانه کشف‌رود و سرشاخه‌های آن می‌باشد در دوطرف رودخانه به علت رخساره‌های زمین‌شناسی متفاوت است. با توجه به نقشه‌ها و منحنی‌های هم‌عمق دشت مشهد (۱۳۷۸) سطح آب زیرزمینی در محدوده‌ی شهر مشهد بین اعماق ۸۰-۳۰ متر و در شمال‌شرق مشهد عمق آب در حدود ۴۰ متر است. سطح آب در قسمت جنوبی دشت پایین، و به طرف شمال دشت افزایش می‌یابد. پایین‌ترین سطح آب حدود

۱۰۰ متر در محدوده‌ی مخروط‌افکنه ارتفاعات بینالود در جنوب دشت و بالاترین سطح آن ۱۰ متر در مخروط‌افکنه ارتفاعات هزارمشجد در شمال دشت مشاهده می‌شود.

طبق آخرین آماربرداری انجام شده در دشت مشهد (آماربرداری سال ۸۸-۱۳۸۷) تعداد ۶۷۱۶ حلقه چاه، ۱۰۸۷ رشته قنات و ۶۸۰ دهانه چشمه (به ترتیب با تخلیه ۸۴۷/۳۷، ۱۳۷/۸۲و ۸۷/۳۵ میلیون متر مکعب) وجود دارد و نیز ۴۲۸۵ حلقه چاه کشاورزی، ۱۲۴۸ حلقه چاه شرب و ۶۶۰ حلقه چاه صنعتی وجود داشته و ۶۱۴ چاه دیگر فاقد تخلیه است. عمق آب زیرزمینی در دشت مشهد به طور متوسط ۴۸ متر بوده و متوسط ضریب دخیره ۳درصد می‌باشد. با توجه به موارد قید شده و به صورت تخمینی ذخیره ثابت آبخوان دشت حدود ۵/۵ میلیارد مترمکعب است که در خوشبینانه‌ترین حالت با کاهش ۵۰ درصد، آن دشت فاقد آب با کیفیت مناسب خواهد بود که باعث افت سطح آب زیرزمینی افزون بر یک متر در سال برآورد می‌گردد (ترشیزیان و همکاران ۱۳۸۶).

با استفاده از هیدروگراف چاه‌ها، نقشه‌های هم‌پتانسیل و نقشه هم‌افت منطقه مطالعاتی مشهد در چند بازه زمانی ترسیم و با استفاده از داده‌های بارندگی منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. بررسی نقشه‌های هم پتانسیل سال ۹۰-۱۳۷۵ نمایانگر کاهش فاصله منحنی‌های تراز در طی زمان و افزایش شیب هیدرولیکی در سمت شرق و جنوب‌شرق آبخوان شهر مشهد می‌باشد، به طور کلی سطح آب زیرزمینی در قسمت جنوبی دشت مشهد پایین و به طرف شمال دشت، افزایش می‌یابدکه بیانگر بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در سمت جنوبی آن است. بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی باعث افت سطح آب در محدوده منطقه مطالعاتی گردیده است، هیدروگراف واحد نیز بیانگر کاهش سطح آب زیرزمینی در طی دوره ۱۵ ساله است (تندیسه و همکاران ۱۳۷۴).

فصل دوم

مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- تعریف قنات

سرزمین ایران دارای آب و هوای بری است و قسمت وسیعی از فلات ایران را صحرای خشک و کم آب فرا گرفته است. قنات (کاریز) یکی از بزرگترین منابع تامین آب در مناطق خشک است که با حفظ شرایط طبیعی هیدروژئولوژیکی آبخوان در دوره‌های پرآبی و کم‌آبی مانند تعدیل کننده‌ی جریان خروجی آب زیرزمینی عمل می‌کند (یوسفی‌راد و همکاران ۲۰۱۲). قنات پیچیده‌ترین و کهن‌ترین ابزار تمدن ایرانی برای مقابله با کم‌آبی در ایران باستان است. چنان که هنوز هم حدود ۸ میلیارد متر مکعب از آب‌های زیرزمینی در سطح کشور از طریق قنات‌ها استحصال می‌شود. در حال حاضر به عقیده‌ی بهنیا ۱۳۷۶ بالغ بر ۳۰۰۰۰ رشته قنات در کشور به صورت فعال وجود دارد که وظیفه آبرسانی بخش‌های کم‌آب کشور را بر عهده دارند. سیستم قنات شامل تونل یا تونل‌های زیرزمینی با شیبی ملایم و کمتر از شیب سطح‌زمین و دارای شفت‌های عمودی (میله‌چاه) که باعث زهکشی آب موجود در سفره‌های زیرزمینی می‌شود و آن را به مزارع و مراکز جمعیتی انتقال می‌دهد (Kowsar 2012). تاکنون مطالعات مفیدی پیرامون قنات‌های ایران صورت گرفته است (پاپلی ۱۳۷۹؛ پاپلی‌یزدی ۱۳۸۲؛ مهدوی ۱۳۸۰؛ کریمیان سردشتی ۱۳۸۳). قنات تکنولوژی پایدار برای مدیریت آب‌های زیرزمینی است و با شرایط اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی جامعه مطابقت دارد (حمیدیان و همکاران ۲۰۱۵).

۲-۲- تاریخچه قنات

آب به عنوان مهم‌ترین عنصر حیات در پیدایش تمدن‌های بشری و ساخت شهرها، در جهان به ویژه در ایران نقشی اساسی داشته است. آب در تعالیم اسلامی و فرهنگ ایرانی دارای مفاهیم و ارزش‌های والای معنوی و روحانی است، که در راس آن‌ها توجه به قدرت و علم الهی مطرح می‌شود و به عنوان مایه و اصل حیات

هر چیز معرفی می‌گردد (امین‌زاده ۱۳۸۲). به طوریکه در روایات اسلامی و آیات قرآن کریم به نقش آب در پیدایش آفرینش بسیار اشاره شده است.

و جعلنا من الماء کل شیء حی و هر چیز زنده‌ای را از آب پدید آوردیم (سوره انبیاء آیه ۳۰)

قنات برخوردار از گونه‌ای نظام مهندسی دیرپا و تکوین یافته در طی سده‌های طولانی بوده است (حائری ۱۳۸۶). و تمامی ابعاد و رشته‌های فنی نظیر زمین‌شناسی، معماری، هیدرولیک و سازه را شامل می‌شود. قنات با توجه به کارکردی پایدار، در مناطق وسیعی از ایران به تفصیل تحت مطالعه موردی قرار گرفته است. چرا که یکی از پیچیده‌ترین ابداعات بشری است که برای رفع نیازهای مهم حیاتی جوامع انسانی، یعنی آبرسانی به مناطق کم‌آب به وجود آمده است. وجود ۸۰۰ منبع مکتوب در زبان فارسی و ۵ منبع به زبان‌های انگلیسی، فرانسوی، آلمانی، اسپانیایی و ایتالیایی در مورد قنات نشان از اهمیت موضوع است (بهنیا ۱۳۷۹). برای آنکه عظمت کار ایرانیان قدیم در امر آبیاری و حفر قنات معلوم گردد انتشار کتاب (استخراج آب‌های پنهانی، کرجی) که برای یکی از بزرگان گرگان و طبرستان، به زبان عربی نوشته و به فارسی ترجمه و چاپ شده است، آنچه در میان دانشمندان اروپایی و آمریکایی انعکاس وسیعی یافت که یکی از کارشناسان این فن در یکی از مجلات مهم غربی نوشت (علم هیدرولوژی در جستجوی پدر خود بود که ناگهان جد بزرگ خود را در ایران یافت). هانری گوبلو فرانسوی که بیش از ۳۰ سال بررسی و مطالعه بر روی قنات‌های ایران، جدی‌ترین مطالعه را در زمینه قنات‌های گناباد انجام داد (گوبلو ۱۳۷۱). از دیگر کسانی که مطالعات جامعی در ارتباط با قنات‌های ایران انجام داده‌اند، می‌توان پطروشفسکی را نام برد (پطروشفسکی ۱۳۵۷).

۲-۳- قنات و گسترش آن در جهان

حفاری‌ها و اسناد مکتوب بدست آمده، نشان می‌دهدکه صنعت قنات، دیرینه‌ترین فناوری ایرانیان می‌باشد. به عبارت دیگر ایران زادگاه قنات است و ایرانیان با داشتن دانش کافی هزاران سال پیش قنات را ساخته‌اند (ابی‌زاده ۱۳۸۹). این فن دستیابی به آب زیرزمینی، توسط کشاورزان در داخل فلات ایران رواج پیدا کرد و

از آنجا به سایر نقاط جهان گسترش یافت. (بهنیا ۱۳۶۷)، معتقد است((نقش قنات در آبیاری زمین‌های مزروعی و تامین آب آشامیدنی در گذشته و حال آنچنان موثر بوده و هست که فن قنات‌سازی از ایران تقریبا به یک پنجم کشورهای جهان گسترش پیدا کرده است)). بیشترین تعداد قنات در کشورهای آسیایی وجود دارد، استفاده از قنات توسط ایرانیان به عمان و شبه‌جزیره عربستان منتقل شد و توسط لشکرکشی‌های ایرانیان در مصر رواج یافت (مالکی و خورسندی ۱۳۸۴). مسلمانان سامانه‌ی احداث قنات را نه تنها در سرزمین‌های خویش گسترش دادند بلکه آن را به اروپا برده و از آنجا به اسپانیا و سپس به آمریکا منتقل کرده‌اند (حائری ۱۳۸۶). هدف ایرانیان از حفر قنات انتقال آب زیرزمینی به سطح زمین و جلوگیری از تبخیر و هدر رفتن آب بوده است (منزوی ۱۳۶۰).

۲-۴- اجزاء تشکیل دهنده‌ی قنات

به طور کلی قنات تشکیل شده از یک دهانه که روباز است و یک مجرای تونل مانند زیرزمینی و چندین چاه عمودی که مجرا یا کوره زیرزمینی را در فواصل مشخص با سطح زمین مرتبط می‌سازد. ساختمان قنات و اجزای اصلی تشکیل دهنده‌ی آن به شرح زیر و مطابق شکل ۲-۲ می‌باشد (مالکی و همکاران۱۳۸۴؛ گزارش آب و آبفا ۱۳۹۳؛ حائری ۱۳۸۶).

مظهر یا دهانه

محل ظاهر شدن آب زیرزمینی قنات در سطح زمین را می‌گویند.

کوره یا گالری

حفره‌ی افقی که شیب آن معین بوده و دارای قطر مناسبی می‌باشد، و کار جمع‌آوری و انتقال آب زیرزمینی را انجام می‌دهد.

پیشکار

امتداد کوره‌ی قنات را پس از مادرچاه در داخل آبخوان می‌گویند، پیشکار را جهت استحصال بیشتر آب زیرزمینی حفر نموده و سازه‌ای متغیر در ساختمان قنات می‌باشد.

میله

حفره‌های عمودی که از سطح زمین تا کوره‌ی قنات حفر می‌شود. میله‌ی قنات، نقش تهویه و انتقال نخاله‌های حاصل از حفاری به سطح زمین را ایفا می‌کند.

مادرچاه

میله چاه، انتهای مسیر قنات که از عمیق‌ترین میله چاه‌ها می‌باشد.

خشکون یا خشکه‌کار

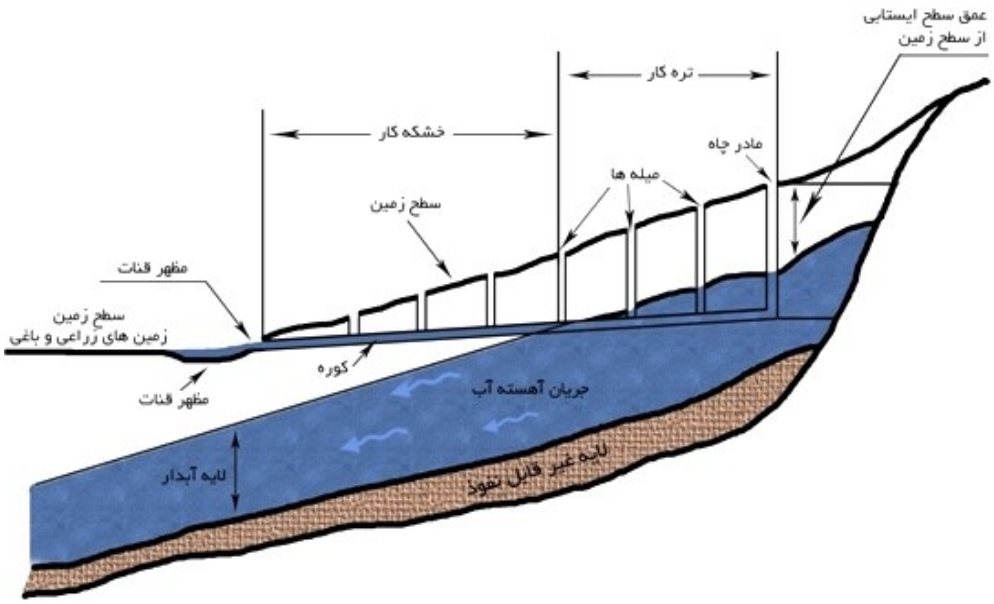
مجرای حدفاصل تره‌کار تا مظهر قنات را خشکه‌کار می‌گویند. بخش‌هایی از ساختمان قنات که در بالای سطح ایستابی واقع شده‌اند. وظیفه این مجرا هدایت و انتقال آب به مظهر قنات است و در آبگیری قنات نقش عمده‌ای را بر عهده ندارد.

آبگون یا تره‌کار

بخش‌هایی از قنات که در تماس یا زیر سطح ایستابی قرار گرفته‌اند. که از محل خشکه‌کار قنات شروع می‌شود و تا مادر چاه قنات ادامه دارد. این قسمت از کوره قنات از آبخوان تغذیه می‌کند و وظیفه‌اش تامین آب قنات است. طول و تراوایی بخش مذکور و همچنین عمق آن نسبت به سطح ایستابی از عوامل مهم در آبدهی قنات به حساب می‌آید. طول تره‌کار ثابت نبوده و تابع نوسانات سطح آب زیرزمینی است. هرقدر آبگیر قنات بیشتر باشد، میزان آبدهی آن بیشتر خواهد شد.

پشته

فاصله بین دو میله چاه متوالی قنات را پشته می‌گویند



شکل۲-۱- اجزای مختلف قنات

۲-۵- طبقه‌بندی انواع قنات

قنات ها بر حسب موقعیت قرارگیری و مکان احداث، آبدهی، ساختمان، کاربرد و ... می‌توان تقسیم‌بندی نمود. در این قسمت به تقسیم بندی قنات‌ها بر حسب طول، عمق و آبدهی پرداخته می‌شود(حائری ۱۳۸۶).

۲-۵-۱- تقسیم بندی قنات بر حسب طول

دو نوع قنات کوتاه و طویل وجود دارد، که بستگی به بارش سالیانه مناطق دارد که هرچه طول قنات‌ها کمتر باشد، عمق مادرچاه آن نیز کمتر است و هرچه بارش سالیانه مناطق کمتر باشد طول قنات بیشتر و عمق مادرچاه آن بیشتر است. چون در نواحی پرباران آب زیرزمینی در عمق کمتری وجود دارد و در مناطق کم باران باید در عمق بیشتری به جستجوی آب زیرزمینی پرداخته می‌شود (حائری ۱۳۸۶).

۲-۵-۲- تقسیم‌بندی قنات‌ها بر حسب عمق

دو نوع تقسیم‌بندی را می‌توان تعریف کرد، قنات‌های عمیق و سطحی.

قنات‌هایی که برای دستیابی به آب به عمق بیش از ۳۰ و حداکثر ۱۰۰ متر یا بیش از آن نیاز دارند قنات عمیق می‌گویند. در بعضی مناطق، عمق لایه‌ی قابل نفوذ نسبت به سطح زمین کم است. احداث قنات در این مناطق نیازمند عمق زیاد مادرچاه و میله نیست که این نوع قنات‌ها به قنات‌های سطحی معروفند (حائری ۱۳۸۶).

۲-۵-۳- تقسیم‌بندی بر اساس آبدهی

این نوع تقسیم‌بندی در دو گروه قرار دارند، قنات‌هایی که دارای آبدهی ثابت و همیشگی در طول سال هستند و قنات‌هایی که آبدهی آنها بر حسب میزان بارندگی و خشکسالی متغیر است. به این نوع قنات‌ها در اصطلاح قناتی، فصل یا هوابین می‌گویند(بهنیا ۱۳۶۷).

۲-۵-۴- تقسیم‌بندی انواع قنات بر اساس توپوگرافی

قنات‌ها بر اساس موقعیت جغرافیایی نیز به سه دسته کوهستانی، دامنه‌ای و دشتی تقسیم می‌شوند.

کوهستانی

شکل زمین در حفر قنات نقش اساسی دارد، شاید بیشتر قنات‌های ایران کوهستانی باشند. از مشخصات عمومی این قنات‌ها این است مادرچاهی کم‌عمق دارند و به طبع آن سایر چاه‌ها نیز از ژرفای چندانی برخوردار نیستند. به دلیل اینکه در این نوع زمین‌ها، لایه‌ی غیرقابل نفوذ در عمق زیادی قرار ندارد و سفره‌ی

آب زیرزمینی هم به سطح خاک نزدیکتر است. عمق نسبتا اندک چاه‌ها و شیب زیاد سطح زمین نسبت به افق، باعث کوتاه شدن طول کوره یا گالری اصلی قنات می‌شود و این ویژگی دیگر قنات‌های کوهستانی است. عمق نسبتا اندک مادرچاه و طول کم قنات که معمولا کمتر از ۲۰۰۰ متر می‌باشد و از طرفی نزدیکی لایه‌ی غیرقابل نفوذ به سطح زمین و کم ژرفایی سفره آب زیرزمینی باعث می‌شود که آبدهی این نوع قنات‌ها نوسان زیادی داشته باشد. قنات‌های کوهستانی هوابین هستند (پاپلی‌یزدی خانیکی۱۳۸۲)، یعنی میزان آبدهی آنها ارتباط مستقیمی با میزان ریزش‌های جوی دارد و میزان آبدهی آنها در سالهای پر ریزش زیاد و در سال‌های کم ریزش کم می‌باشد از ویژگی بارز این نوع قنات‌ها و ریزش‌های جوی و بارش به صورت برف از دلایل عمده‌ی حفر آن‌هاست (رهبری و افشاراصل ۱۳۸۴؛ پاپلی ۱۳۸۲).

قنات‌های دامنه

تعداد این نوع قنات‌ها در منطقه‌ی یزد زیاد بوده و شامل قنات‌هایی است که مادرچاه آنها در مناطق کوهستانی حفر شده ولی مظهر آنها در اراضی کم شیب جلگه‌ای و دشتی است. طول و عمق مادرچاه این نوع قنات از نوع کوهستانی بیشتر است و در نتیجه آبدهی بیشتری دارد ولی مانند نوع کوهستانی معمولا هوابین است. قنات چاهک، نمونه‌ی کاملی از این نوع قنات است که در زوستای چاهک در بخش مرکزی تفت واقع شده است. قنات‌هایی که در دامنه‌های کوهپایه‌ای دیده می‌شود از ذهاب‌های کوهستان استفاده می‌کند (رهبری و افشار ۱۳۸۴؛ پاپلی ۱۳۸۲).

قنات‌های دشتی

این قنات‌ها از انواع قبلی طولانی‌تر بوده و ژرفای مادرچاه آنها نیز بیشتر است. از آنجاکه در اراضی دشتی، لایه‌ی غیرقابل نفوذ معمولا در عمق بیشتری قرار دارد، لذا سفره‌ی آب زیرزمینی هم در عمق پایین‌تری تشکیل می‌شود. بنابراین برای رسیدن به لایه‌ی آبدار در عمق بیشتری کوره را حفر می‌کنند و همین عمق زیاد باعث می‌شود که کوره‌ی قنات دیرتر با سطح زمین تلاقی کند و درازای آن بیشتر شود. از طرفی آب

قنات‌های دشتی از انواع قبلی بیشتر بوده و معمولاً هوابین نیستند. یکی از مهم‌ترین قنات‌های دشتی شهرستان تفت، قنات شیرین فخرآباد است که واقع در روستای فخرآباد آب مورد نیاز روستا را تامین می‌کند. این نوع قنات‌ها که از جریان‌های آب زیرزمینی درون دشت تغذیه می‌کنند، در تامین آب مورد نیاز کشاورزان کمک زیادی می‌کند (رهبری و افشار ۱۳۸۴؛ پاپلی ۱۳۸۲). قنات‌های دشتی دبی ثابتی دارند و دبی قنات بزرگ بیارجمند در طول یکسال آبی تغییرات زیادی نداشته است چرا که به علت طول زیاد قنات، آب آن به سرعت از بارندگی تاثیر نمی‌پذیرد (کرمی و کیانی ۱۳۹۰).

۲-۵-۵- تقسیم‌بندی قنات بر اساس نوع منشاء آبدهی

قنات‌ها را نیز بر اساس نوع منشا آبدهی به سه دسته‌ی قنات‌های ساده، قنات‌های منشعب از رودخانه و قنات‌های دو طبقه می‌توان تقسیم‌بندی کرد.

قنات‌های ساده

شامل مظهر قنات، مجرا، میله چاه و مادر چاه می‌باشد. منظور قنات‌هایی است که آب خروجی از مظهر آنها، صرفاً زه‌آب کوره‌های خود قنات یا قنات‌های مجاور بوده که از منطقه‌ی تره‌کار وارد خشکان شده و سپس از مظهر خارج می‌شود. همه‌ی قنات‌های معمولی از این نوع می‌باشند (پاپلی‌یزدی۱۳۸۲).

قنات‌های منشعب از رودخانه

شامل قنات‌هایی که از رودخانه منشعب می‌شود و آب رودخانه‌های فصلی وارد کوره‌ی آنها شده و با آب آنها می‌آمیزد. این قنات‌ها برخلاف قنات‌های ساده، آب را از کوهستان نمی‌گیرند، بلکه از رودخانه‌ها به زمین‌های زراعی منتقل می‌کنند. معمولاً برای اینکه ورود آب رودخانه به قنات قابل کنترل باشد و مواد همراه با آب موجب انسداد و تخریب قنات نشوند، آب رودخانه را قبل از ورود به قنات مدتی در استخر یا بند، ساکن نگه می‌دارند. نمونه‌ی مهمی از این قنات، قنات هادی‌خانی است (حائری ۱۳۸۶؛ پاپلی‌یزدی۱۳۸۲).

قنات-چشمه

قنات‌هایی که آب یک چشمه‌ی طبیعی وارد کوره‌ی آنها شده و با آب آنها می‌آمیزد. نمونه‌ی کاملی از این نوع قنات، نهر اهرستان است که نیمی از آب چشمه را از زیر زمین دریافت می‌کند (پاپلی‌یزدی۱۳۸۲).

قنات-چاه

قنات‌هایی هستند که آب آنها با آب چاخ‌های عمیق یا نیمه عمیق ترکیب می‌شود و آب حاصل از قنات و چاه توسط کشاورزان مصرف می‌شود. این ترکیب در درون جوی و سطح زمین انجام می‌شود. مانند قنات یحیایی در شوده‌ی علیا با آب دو حلقه‌ی نیمه‌عمیق درمی‌آمیزد و مجموعا شرب می‌شود (پاپلی‌یزدی۱۳۸۲).

قنات‌های دو طبقه

در قنات‌های دو طبقه به جای یک تونل سراسری، دو تونل افقی وجود دارد که یکی از آن‌ها با فاصله‌ای در بالای دیگری قرار دارد و از مبداء تا مظهر دارای دو طبقه فوقانی و تحتانی می‌باشد. قنات (مون) در اردستان نمونه‌ای از قنات دو طبقه می‌باشد (صفی‌نژاد ۱۳۷۹).

۲-۶- آبدهی قنات

از دیدگاه هیدرولیکی، قنات‌ها که با استفاده از نیروی گرانش زمین باعث به حرکت درآوردن آب از سطح ایستابی به سطح‌زمین می‌شوند (سعیدیان ۲۰۱۳). در مورد تعداد قنات‌های ایران و میزان آبدهی کل آنها نظریات گوناگونی وجود دارد. براساس آمار موجود، درحال حاضر حدود ۳۵۰۰۰ رشته قنات با میزان آبدهی سالیانه حدود ۹ میلیارد متر مکعب درسطح کشور وجود دارد، که عمدتاً در مناطق خراسان، فارس، کرمان، یزد اصفهان، سمنان، آذر باینجان شرقی واستان مرکزی قرار دارند (بهنیا ۱۳۶۷). مدیر مرکز بین المللی قنات در حال حاضر تعداد قنات‌های کشور را ۳۶ هزار رشته قنات فعال با آبدهی هشت میلیارد مترمکعب می‌داند (روزنامه جام‌جم ۷ اردیبهشت ۱۳۹۰؛ وولف ۱۳۶۱) تعداد قنات‌های ایران را ۲۲۰۰۰ رشته با بیش

از ۲۷۴۰۰۰ کیلومتر درازا اعلام نموده است. با توجه به آخرین گزارش در سال ۲۰۰۵ توسط وزارت منابع آب وابسته به وزارت انرژی منتشر شده که تعداد ۳۴۳۳۵ رشته قنات با مجموع آبدهی سالانه ۸۲۱۲۰۰۰۰۰۰ مترمکعب در کشور وجود دارد (حمیدیان و همکاران ۲۰۱۵). بر اساس آخرین آماربرداری (سال آبی ۹۰-۱۳۸۹)، تعداد ۳۹۵۳۱ رشته قنات برآورد شده است (گزارش آب و آبفا ۱۳۹۳). به منظور تعیین میزان آبدهی قنات دبی خروجی را طی دو فصل ابتدای بهار و پاییز به روش تعیین با جسم شناور اندازه‌گیری و میانگین آن به عنوان آبدهی قنات‌ها منظور شد (دادرسی سبزواری ۱۳۸۴). آبدهی حدود ۹۰ درصد قنات‌های شهرستان تفت تحت تاثیر شدید ریزش‌های جوی می‌باشد و اینگونه قنات‌ها شدیداً از خشکسالی متاثر گردیده و در صورت شدت خشکسالی به مرحله‌ی خشک شدن کامل نیز می‌رسد. ۱۰ درصد قنات‌های تفت تحت تاثیر خشکسالی نبوده ولی در صورت بروز دوره‌های خشکسالی بلندمدت، از سال دوم به بعد، اثرات خشکسالی بر آبدهی قنات‌ها تدریجاً ظاهر می‌گردد (پاپلی‌یزدی، خانیکی۱۳۸۲)

۲-۷- عوامل موثر در تغییرات آبدهی قنات‌ها

وسعت و ظرفیت لایه آبدار در تره‌کار و موقعیت لایه غیر قابل نفوذ (سنگ کف)، نفوذ پذیری رسوباتی که قنات در آن رسوبات حفر شده است، ابعاد هندسی قنات که خود مشتمل است بر طول کوره در تره‌کار، طول کوره به خشکه‌کار، سطح مقطع کوره و بالاخره شیب طول کوره در قسمت‌های گوناگون، وضع حوضه آبریز و نوع و میزان نزولات جوی، تراکم منابع برداشت آب در منطقه، وضع توپوگرافی (پستی و بلندی و شیب) منطقه سال، تعیین وسعت لایه آبدار، عمق لایه‌های آبدار، نوع زمین‌های منطقه از لحاظ وجود نمک و نامناسب شدن لایه‌های آبدار منبع تغذیه لایه آبدار در ظرفیت لایه آبدار نقش دارند (کارگر و همکاران ۱۳۸۴).

آبدهی قنات وابستگی زیادی به طول قنات به‌ویژه قسمت تره‌کار دارد. با استفاده از بررسی‌های انجام شده پارامترهای هیدروفیزیکی نشان می‌دهد که همواره رابطه‌ی مثبت و معناداری بین طول، عمق مادرچاه و آبدهی قنات وجود دارد (قادری و همکاران ۱۳۹۰). همچنین، آبدهی قنات تحت‌تاثیر عوامل هیدروژئولوژیکی و ابعاد هندسی می‌باشد و نقش ضرایب هیدرودینامیکی برای قنات‌ها به عنوان الویت اول بسیار بااهمیت است و شیب هیدرولیکی و تغییرات عمق آب به عنوان الویت دوم حائز اهمیت می‌باشد. دبی توسط ضرایب هیدرودینامیکی(T و S) آبخوان تحت‌تاثیر قرار می‌گیرد. بنابراین، تغذیه و تخلیه قنات کاملاً با شرایط آبخوان سازگار است (یوسفی‌راد و همکاران ۲۰۱۲). ۲۹ رشته قنات در شش دشت در استان مرکزی از نظر هیدرولوژیکی با استفاده از نرم افزارهای آماری هر یک از فاکتورهای موثر در دبی قنات‌ها تجزیه و تحلیل شد و نتایج نشان داد که، ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان بیشترین همبستگی را با دبی قنات‌ها دارد (یوسفی‌راد و خیراندیش ۱۳۷۹). تراوایی زمین در قسمت تره‌کار سبب آبدهی قنات و در قسمت خشکه‌کار سبب تلفات آب در زمین می‌شود. ابعاد هندسی قنات که در محاسبه هیدرولیکی آن موثر است تابع شرایط هندسی زمین، سطح ایستایی و بالاخره شرایط کار در قنات است. اگر نزولات جوی به صورت برف باشد به تدریج ذوب شده و اثر بسیار خوبی در آبدهی قنات دارد و اگر به صورت باران باشد به مقدار خیلی کمتری جذب زمین می‌شود.

اگر منابع برداشت آب در منطقه به اندازه‌ای باشد که میزان آب استخراج شده از میزان تغذیه زیادتر باشد افت سطح ایستایی را سبب می‌شود. هرچه شیب زیادتر شود تغذیه لایه آبدار کمتر می‌شود. تبخیر از تره‌کار کم و از طرف تره‌کار به خشکه‌کار تبخیر بیشتر می‌شود (کارگر و همکاران ۱۳۸۴).

امین و همکاران ۱۳۸۸ به بررسی ویژگی‌های مربوط به آبدهی، شیب بستر، شیب سطح آب و طول بخش‌های تره‌کار و خشکه‌کار به صورت میدانی و نیز به بررسی امکان ذخیره‌سازی آب در طول فصل غیر رویشی مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج حاصله نشان داد که قنات کتک با آبدهی حدود ۱۵ لیتر بر ثانیه و شیب بستر

۰/۰۰۱۳ قابلیت ذخیره‌سازی آب را در فصل غیر رویشی دارد. عوامل دیگری که در آبدهی قنات تاثیر دارد مساحت منطقه تپه ماهوری در حوضه قنات(شیب زیاد و پوشش گیاهی بسیار فقیر با نفوذپذیری کم)، مساحت تجمعی منطقه تپه ماهوری، مساحت دشت سرفرسایشی(دارای رسوبات درشت دانه و نفوذپذیر و با شیب نسبتاً ملایم)، مساحت تجمعی شدت سرفرسایشی، کل مساحت حوضه بالادست قنات شامل همه واحدها و ... (شاهرخی‌ساردو ۱۳۸۰).

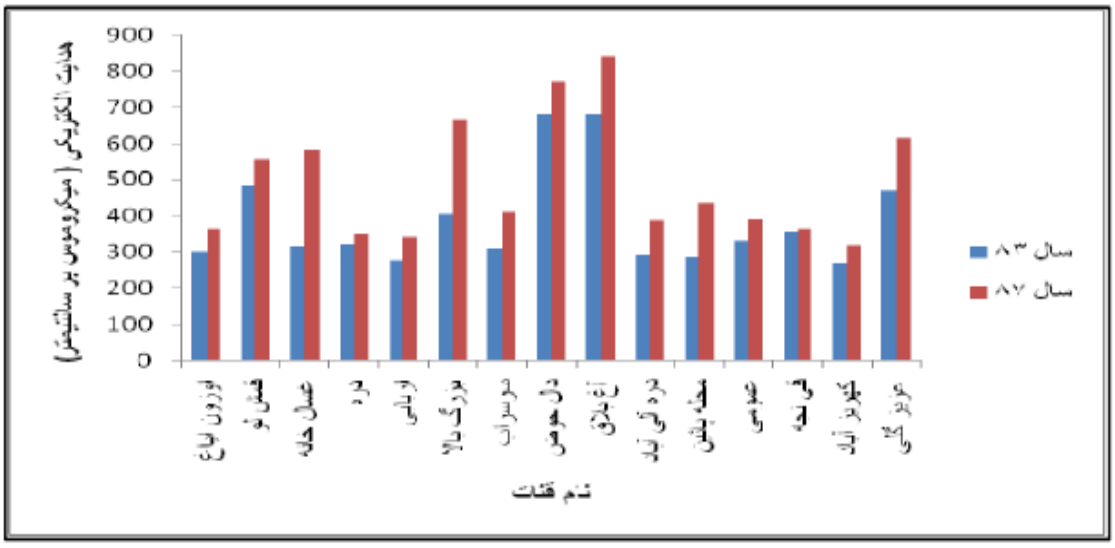
۲-۸- عوامل تقلیل کیفیت آب قنات‌ها

کیفیت آب قنات تقریباً متاثر از شرایط اکوسیستم بستر می‌باشد، شرایط منفی حاکم بر بستر، از دو دیدگاه مدنظر قرار می‌گیرد که یکی تحت‌تاثیر آلودگی شیمیایی و دیگری آلودگی میکروبی است. اما در اینجا بیشتر به بررسی تاثیر جنس زمین‌شناسی بستر در مسیر قنات‌ها که بر کیفیت آب موثر است، می‌پردازیم. یکی از مثال‌های بارز که علی‌الخصوص در استان یزد قابل مشاهده می‌باشد حضور تپه‌ها و تشکیلات نئوژن می‌باشد که بعضاً بستر بعضی از قنات‌ها را شامل می‌شود، تشکیلات نئوژن عمدتاً شامل شن، ماسه، قلوه سنگ اجزاء ریز، سلیت و رس و حضور چشمگیر گچ و نمک و املاح تبخیری می‌باشد که طبیعتاً جریان آب در مسافت بیش از ۶-۵ کیلومتر فرصت کافی برای انحلال املاح و کاهش کیفیت آب را دارد. البته بالا بودن میزان تخلخل آبرفت‌های بستر نیز بی‌تاثیر در تقلیل کمیت آب نیست گرچه معمولا املاح موجود به ویژه کربناتها در صورت سرد شدن رسوبات پیوسته‌ای را در کف تشکیل می دهند که نفوذپذیری را بسیار تقلیل می دهد. در بررسی دو رشته قنات (عنایت آباد و فاضلیه)، در رشته قنات عنایت‌آباد کیفیت آب در مظهر نسبت به مادرچاه حدود ۲۰٪ تقلیل یافته یعنی در مادرچاه EC»11000mμ/sec و در مظهر EC»13300mμ/sec بوده است که اشاره به تشکیلات زمین شناسی گچی و نمکی کشور داشته است که هر کدام از آنها می‌تواند تاثیر منفی بر جریانات آبی جاری بگذارد. ولی در مورد قنات فاضلیه ۵/۲ درصد

اختلاف کیفی مشهود است. در نتیجه، به منظور کنترل کمیت نیز پیشنهاد می‌گردد، ایزولاسیون یا لوله‌گذاری کف در بخش خشکون قنات عنایت‌آباد توصیه می‌گردد. بدیهی است این اختلاف کیفیت در مادرچاه و مظهر در برخی موارد ممکن است تا چندین برابر افزایش مشهود داشته باشد که از آن جمله می‌توان قنات دشت‌خون بافق را مثال زد در حال حاضر دارای آبدهی بسیار اندکی است (صالحی و همکاران، ۱۳۸۳).

۲-۹- کیفیت آب قنات‌ها

هدایت الکتریکی آب قنات‌ها در مناطق کوهستانی نسبت به ناحیه‌ی دشت تفاوت فاحشی را نشان می‌دهد. هرقدر به سمت ارتفاعات نزدیک شویم از مقدار هدایت الکتریکی آب قنات‌ها کاسته می‌گردد. هدایت الکتریکی آب در ۸۵ درصد قنات‌ها کمتر از ۱۰۰۰ میکروموهس بر سانتی متر می‌باشد (پاپلی‌یزدی و خانیکی ۱۳۸۲). با توجه به استحصال آب در مناطق مختلف از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق موجود در دشت قروه و اضافه شدن قسمتی از همین آب استحصالی به آب زیرزمینی به صورت هرز آب‌های کشاورزی، تغییرات محسوسی در شوری آب قنات‌ها مشاهده گردید. شکل زیر تغییرات شوری قنات‌های مورد مطالعه را در دشت قروه نشان می‌دهد (کشاورزی حسن آباد و همکاران ۱۳۹۲).



شکل۲-۲- نمودار مقایسه‌ی تغییرات هدایت الکتریکی آب قنات‌ها در دشت قروه سال ۸۳ و ۸۷

با مطالعاتی که بر روی قنات در روستای شتریه واقع در استان مرکزی انجام شد نشان داد که، بر اساس توصیه‌ی سازمان بهداشت جهانی(W.H.O.) با توجه به میزان سختی کل ۱۸/۲۲ از نوع آب‌های نرم بوده و با توجه به میزان باقی‌مانده‌ی خشک (TDS) برابر با ۶۳۳/۶ میلی‌گرم بر لیتر، جزء آب‌های شیرین قرار می‌گیرد و بر اساس دیاگرام شولر آب این قنات جزء آب‌های با کیفیت خوب تا قابل‌قبول بوده و بر اساس طبقه‌بندی دانشگاه کالیفرنیا با توجه به میزان EC برابر با ۰/۹۹ آب این قنات دارای درجه مشکلات کم تا متوسط برای آبیاری می‌باشد (وفاخواه ۱۳۸۴).

بررسی تغییرات کمی و کیفی قنات‌های منطقه‌ی خور که توسط (کرمی و همکاران ۱۳۹۲) انجام شد نشان می‌دهد که آب قنات‌های منطقه علی‌الرغم قرارگرفتن مادر چاه آنها در دامنه‌ی ارتفاعات آهکی، دارای تیپ بی‌کربناته نیستند و به دلیل وجود رسوبات تبخیری، مارنی و رسی در طول مسیر قنات، غلظت یون‌های سدیم و کلر در آب تمام قنات‌ها افزایش یافته و این افزایش شوری باعث رسوب کلسیم در آب شده و غلظت

آن در آب کم شده است و بر اساس نمودار ویلکاکس، آب تمام قنات‌ها در رده‌ی C_4 S_4 قرار گرفته که از لحاظ تقسیم‌بندی برای آب کشاورزی بدترین آب است.

۲-۱۰- آسیب‌پذیری قنات‌ها

به‌طور کلی قنات‌ها نسبت به سایر منابع آبی آسیب‌پذیری بیشتری دارند. لیکن آسیب‌پذیری عمدتاً مربوط به خطر سیل بر روی قنات‌ها می‌باشد. در شهرستان تفت مسیر بسیاری از قنات‌ها در کنار و امتداد مسیل‌ها قرار دارد و یا عرض مسیل‌ها را طی می‌نمایند و به ناچار تعدادی از میله‌چاه‌های قنات در بستر و یا حاشیه‌ی مسیل‌ها قرار گرفته‌اند. وقوع سیل موجب انهدام میله‌ها و ورود سیلاب و رسوبات به داخل قنات‌ها می‌گردد و بعضاً خسارت‌های هنگفتی به قنات‌ها وارد می‌گردد. پیشگیری از خطرات سیل در حفاظت از قنات‌ها اهمیت و ضرورت خاصی دارد و بایستی میله‌های چاه در بستر و حاشیه مسیل‌ها به خوبی طوقه‌چینی شده و با نصب درپوش غیرقابل نفوذ شوند. حدود ۵۴ درصد قنات‌های شهرستان تفت به درجات متفاوت در معرض خطرات سیل قرار دارند و از این نظر شهرستان تفت نسبت به شهرستان‌های استان یزد در مرتبه‌ی چهارم قرار دارد (پاپلی یزدی، خانیکی۱۳۸۲).

۲-۱۱- مروری بر مطالعات گذشته درخصوص هیدروژئولوژی قنات

۱) تاثیر تغذیه مصنوعی سیلاب در تحول روستایی سمیرم سفلی توسط خانیا در سال (۱۳۷۰) انجام شد. بر اساس این بررسی در روستای سمیرم سفلی ۲۵ رشته قنات و تعداد زیادی موتور پمپ وجود دارد. تغذیه‌ی مصنوعی سیلاب تاثیر زیادی بر روی آبدهی این قنات‌ها و چاه‌ها داشته است.

۲) تعداد ۲۹رشته قنات در شش دشت در استان مرکزی از نظر هیدرولوژیکی توسط یوسفی‌راد و خیراندیش در سال (۱۳۷۹) انتخاب شد. با استفاده از نرم‌افزارهای آماری هر یک از فاکتورهای موثر در دبی قنات‌ها

تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان بیشترین همبستگی را با دبی قنات‌ها دارد.

۳) ویژگی‌ها و نظام مالکیت قنات‌های عایشه، بناب و کتک‌شهر ارسنجان توسط ناظم‌السادات و همکاران در سال (۱۳۷۹) انجام شد. در این مطالعه شیب سطح آب، عمق، تعداد میله‌ها، آبدهی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی این قنات‌ها تعیین شده است و سپس به تلاش‌هایی که در جهت احیای این قنات‌ها به عمل آمده است، پرداخته شده است و پیشنهاداتی در رابطه با بهره‌برداری بهینه از این قنات‌ها داده‌اند.

۴) زینی و پوردارا (۱۳۸۴) با بررسی قنات‌ها به عنوان دقیق‌ترین ساختمان‌های تعیین پهنه‌بندی نفوذپذیری زمین و با محاسبه‌ی آبدهی قنات مشخص گردید که هرچه اختلاف ارتفاع بین سطح آب زیرزمینی و آب درون کوره بیشتر باشد دقت در محاسبات بیشتر خواهد بود تا جایی که اگر سطح ایستابی ۱۰ متر بالاتر از سطح آب درون کوره باشد اختلاف دبی محاسباتی با دبی واقعی فقط ۵ درصد خواهد شد.

۵) توانگری‌برزی و همکاران (۱۳۸۴) با شبیه‌سازی عددی پارامترهای هیدرولیکی قنات مشخص شد که بوسیله‌ی این مطالعات می‌توان با توجه به معلوم بودن سطح آب زیرزمینی در هر نقطه قبل از احداث قنات پیش‌بینی‌های لازم را برای تعیین آبدهی و نیز پروفیل سطح آب جهت تعیین سطح مقطع قنات انجام داد.

۶) هنری و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی تغییرات زمانی آبدهی و کیفیت آب قنات‌های منطقه‌ی خور و مطالعه بر روی ۴ رشته قنات در سال ۱۳۸۸ و ۱۳۹۲ باهم مقایسه شد و نتایج نشان داد که آب قنات‌های منطقه علی‌رغم قرارگیری مادرچاه اکثر آن‌ها در دامنه‌ی ارتفاعات آهکی، دارای تیپ بی‌کربناته نیستند و به دلیل وجود رسوبات تبخیری، مارنی و رسی در طول مسیر قنات، غلظت‌های یون سدیم و کلر در آب تمام قنات‌ها افزایش یافته و این افزایش شوری باعث رسوب کلسیم در آب شده و غلظت آن در آب کم شده است.

۷) فرهادی و همکاران (۱۳۸۴) با بررسی هیدرولیک قنات_راسته‌ی تره‌کار موازی با جهت جریان آب زیرزمینی مشاهده شد که با افزایش عمق نفوذ مادرچاه در آبخوان، آبدهی قنات افزایش می‌یابد، در مورد شعاع نیز با افزایش میزان آن همانطور که انتظار می‌رفت آبدهی افزایش خواهد یافت.

۸) قادری و همکاران (۱۳۹۰)، با بررسی دانش سنتی حفر قنات با با فاکتورهای هیدروفیزیکی آن در دشت سبزوار به این نتیجه رسیدند که، همواره رابطه‌ی مثبت و معنی‌داری بین طول، عمق مادرچاه و آبدهی قنات وجو دارد همبستگی آبدهی قنات با عمق مادرچاه یک همبستگی خطی با ضریب تعیین بیش از ۷۰ درصد است، در حالیکه همبستگی طول قنات‌ها با آبدهی آن یک رابطه‌ی توانی با ضریب تعیین ۶۰ درصد بدست آمده است.

۹) گودرزی و اسلامیان (۱۳۸۴) با بررسی تاثیرات کمی و کیفی طرح‌های پخش سیلاب و تغذیه‌ی مصنوعی باغ‌سرخ شهرضا بر آب قنات‌های منطقه به این نتیجه رسیدند که، اجرای پخش طرح سیلاب و تغذیه مصنوعی بر افزایش آبدهی قنات‌های منطقه تاثیر داشته است و همچنین، تاثیر طرح بر روی قنات‌های مختلف تابع جهت جریان آب زیرزمینی و فاصله از محل طرح می‌باشد.

۱۰)یزدانی و همکاران (۱۳۸۴) استفاده از سدهای زیرزمینی جهت تغذیه‌ی سفره‌های آب زیرزمینی و کنترل آب قنات‌ها نشان داد که، ورود تکنولوژی چاه تاثیر منفی بر سطح آب‌زیرزمینی گذاشته است. به علت سیستم‌های نامناسب، فقدان آگاهی و عدم توسعه‌ی دانش بومی و فهم نامناسب از دانش قنات و الگوهای کشت و تولید سبب شده است که سیستم قنات رو به نابودی کشیده شود. انجام هر اقدامی جهت حفظ و کنترل آب قنات باید بر اساس مطالعات و تحقیقات لازم صورت گیرد و پس از تعیین کارایی آن استفاده از آن اجرایی گردد. سد یا بندهای زیرزمینی از جمله راهکارهای مناسب که می‌تواند ضمن جلوگیری از هدر رفتن آب، سبب بهبود وضعیت کمی و کیفی منابع آب در منطقه گردد و ذخیره مناسبی را جهت استفاده در فصولی با نیاز بیشتر فراهم نماید.

۱۱) ولایتی و همکاران (۱۳۸۸)، با بررسی‌های صورت گرفته بر علل کاهش آبدهی قنات‌های دشت گناباد و پیامدهای اجتماعی-اقتصادی آن، حاکی از این است که دو عامل اصلی در کاهش آبدهی قنات‌ها، یکی افت سطح آب زیرزمینی و دیگری پدیده‌ی تغییر اقلیم جهانی است که اثرات آن در کشور ما، به صورت خشکسالی‌های شدید نمود یافته و در تشدید افت سطح آب و کسری مخزن زیرزمینی موثر واقع شده است. این دو عامل، منطقه‌ی گناباد را به شدت دچار بحران آب نموده است. پیامد مستقیم افت سطح آب زیرزمینی و کسری ذخائر آب در این منطقه به صورت خشک شدن و کاهش دبی قنات‌ها بوده است.

۱۲) بیگلری و سیاری (۱۳۹۶) با بررسی کیفیت جریان آب قنات با استفاده از شاخص GWQI در شهرستان بم) جهت طبقه‌بندی آب این قنات‌ها استفاده شد. براساس مقادیر به‌دست آمده از محاسبه شاخص، آب این قنات‌ها فاقد رنگ، بو و طعم بوده و به لحاظ عناصر شیمیایی موجود در محدوده مجاز که توسط سازمان بهداشت جهانی اعلام شده، قرار دارند. نتایج نشان داد که آب این قناتها از نوع کربناته میباشند و دارای کیفیت مناسبی برای مصارف کشاورزی و صنعتی می‌باشند.

۱۳) بیگلری و سیاری (۱۳۹۶)، کیفیت آب خروجی از ۱۰ قنات در شهرستان بم با استفاده از مدل نرم افزاری aqQA مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور، اندازه گیری ۹ پارامتر مرتبط با کیفت آب در چهار فصل از سال صورت پذیرفت و داده های اندازه گیری شده با استفاده از مدل مذکور ارزیابی شد. براساس مقادیر به دست آمده از اجرای نرم افزار و مقایسه نقشه های شاخص کیفیت آب زیرزمینی و کلاس بندی آب توسط روش شولر مشخص شد که آب این قنات ها از نوع کربناته بوده و از کیفیت مناسبی برای مصارف کشاورزی برخوردار است.

۱۴) سیاری و مصطفایی (۱۳۹۵)، با مطالعه بر اطلاعات و آمار پارامترهای کیفی منطقه موردمطالعه از شرکت آب منطقه ای استان کرمان و روش های درون یابی مکانی، مقدار پارامترها درتمام قسمت‌های دشت محاسبه و نقشه رستری تغیرات پارامترهای کیفی در محیط GIS ترسیم و نقشه پتانسیل کیفی آبخوان

تهیه گردید. درنهایت مشخص شد که مناطق شرق (جازموریان) و غرب (قلعه سرخ) منطقه از نظر کیفیت آب در وضعیت بهتری قرار داشته و محدوده کوچکی در اطراف شهرستان رودبار نیز کیفیتی تقریبا مناسب را داراست.

۱۵) بنی‌اسدی و همکاران (۱۳۸۴)، با ارزیابی تاثیر پخش سیلاب آب باریک بم در افزایش بهره‌وری از قنات‌ها نشان دادند که این سیستم‌ها که به منظور ذخیره و نفوذ آب در منطقه احداث شده اند تاثیر بسزایی در افزایش آب زیرزمینی منطقه و آبدهی قنوات پایین دسته داشته اند. بطوریکه میزان آبدهی ۷ قنات تعیین شده در محدوده طرح بین یک تا دو برابر افزایش داشته اند در حالی که در ۵ قنات خارج از محدوده طرح هیچگونه افزایشی در میزان آبدهی آنها وجود نداشته است، همین مساله بیانگر اهمیت اجرای سیستم های پخش سیلاب جهت تغذیه سفره های آب زیر زمینی و کمک به افزایش آبدهی قنوات می باشد.

۱۶) دانایان و دانشور (۱۳۸۴) با بررسی تاثیر آبخوانداری میانکوه بر کیفیت آب و آبدهی قنوات منطقه نشان دادند که دبی قنوات بعد از وقوع هر سیل افزایش و هدایت الکترکی آب زیر زمینی کاهش یافته است.

۱۷) توانگری برزی و همکاران (۱۳۸۴)، و با شبیه سازی عددی پارامترهای هیدرولیکی قنات در این مطالعه، معادله پیوستگی حاکم بر جریان در مجاری باز همراه با شرایط مرزی موجود در قنات به روش عددی تفاضلات محدود پیشرو (Forward Different) حل شد. روابط بدست آمده قابل انطباق با شرایط موجود رد یک قنات دلخواه بوده و بوسیله آن می توان میزان بده و پروفیل سطح آب را در هر نقطه از طول قنات محاسبه کرد. نتایج حاصل از روش عددی باروش تحلیلی و نتایج حاصل از برداشت های صحرایی از یک قنات مقایسه شده که نشان دهنده دقت روش عددی میباشد.

فصل سوم

روش انجام تحقیق

۳-۱- مقدمه

از بین قنات‌های موجود در دشت مشهد-چناران قنات‌های انتخابی جهت ارزیابی هیدروژئولوژیکی مورد بررسی قرار گرفتند. در این فصل مراحل انجام تحقیق به ترتیب ارائه شده و توضیح مختصری ارائه می‌گردد.

۳-۲- مطالعات دفتری

به منظور ارزیابی هیدروژئولوژیکی قنات‌ها، به اطلاعات آماری آن در بلند مدت نیاز است. بنابراین با مراجعه به شرکت آب منطقه‌ای مشهد در چندین مرحله کلیه‌ی گزارشات و پرونده‌های قنات‌های انتخابی در محدوده مشهد-چناران بررسی شده و آبدهی قنات‌ها استخراج گردید. علاوه بر آبدهی پارامترهای مورفولوژیکی هر قنات شامل مختصات مظهر و مادرچاه، عمق مادرچاه، طول قنات، طول قسمت آبده جهت بررسی‌های بعدی ثبت شده است.

۳-۳- بررسی هیدروژئولوژی آبخوان آبرفتی مشهد-چناران

با توجه به اینکه قنات‌ها در محدوده آبخوان آبرفتی مشهد قرار می‌گیرند، خصوصیات عمومی آبخوان آبرفتی مشهد-چناران، رسم نقشه‌های هم‌پتانسیل و هیدروگراف معرف آبخوان ترسیم گردید. اطلاعات سطح ایستابی در چاه‌های مشاهده‌ای حفر شده در محدوده مشهد-چناران از شرکت آب منطقه‌ای مشهد اخذ شد. نقشه هم‌پتانسیل آبخوان مشهد ابتدا به صورت دستی ترسیم و سپس در نرم‌افزار (ARC GIS) رقومی گردید. برای ترسیم هیدروگراف معرف آبخوان و بررسی تغییرات زمانی سطح ایستابی، نقشه تیسن آبخوان ترسیم و میانگین ارتفاع سطح ایستابی در هر زمان محاسبه و هیدروگراف معرف ترسیم گردید.

۳-۴- ترسیم هیدروگراف قنات‌های انتخابی آبخوان آبرفتی مشهد-چناران

جهت بررسی تغییرات آبدهی قنات‌ها در طول زمان هیدروگراف هر قنات ترسیم و بررسی شد. هیدروگراف ترسیمی مربوط به دوره ۵۰ ساله (۱۳۹۱-۱۳۴۰) بوده که جهت تحلیل تغییرات زمانی آبدهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای اطمینان از صحت اطلاعات آماری و تحلیل زمانی آبدهی پارامترهای آماری آبدهی شامل ضرایب چولگی و کشیدگی در محیط (SPSS) محاسبه شده است.

۳-۵- بررسی عوامل موثر بر تغییرات آبدهی قنات‌های دشت مشهد- چناران

عوامل موثر بر تغییرات آبدهی قنات‌ها در فصل دوم شناسایی و در آبخوان مشهد مورد بررسی قرار گرفتند. این عوامل شامل تغییرات بارتدگی، تغییرات افت سطح ایستابی، بهره‌برداری از چاه‌ها می‌باشد. تاثیر پارامترهای مورفولوژیکی قنات‌ها دیگری هم قرار می‌گیرد همچون عمق مادرچاه، طول رشته قنات در آبدهی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۳-۶- بررسی خصوصیات کیفی قنات‌های دشت مشهد-چناران

۳-۶-۱- نمونه‌برداری از قنات‌ها

جهت بررسی کیفی قنات‌های انتخابی آبخوان آبرفتی مشهد-چناران، طی یک مرحله در اردیبهشت ماه ۱۳۹۶ از آب قنات‌ها نمونه‌برداری صورت گرفت. مقدار هدایت الکتریکی و pH آب در محل با استفاده از دستگاه پرتابل (EC meter) اندازه‌گیری گردید. شکل‌های ۳-۱ و ۳-۴ تصاویری از نمونه‌برداری و اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی در تعدادی از قنات‌های انتخابی را نشان می‌دهد.

۳-۶-۲- آنالیزهای کیفی

آنالیز نمونه‌های آب قنات‌ها در آزمایشگاه زیست‌محیطی و آب‌شناسی در محل دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد. غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در آزمایشگاه به روش‌های استاندارد به شرح زیر اندازه‌گیری شده است.

اندازه‌گیری بی‌کربنات

برای اندازه گیری میزان بی‌کربنات به آب یک یا دو قطره متیل اورانژ اضافه کرده و تیتراسیون را انجام می‌دهیم تا رنگ محلول از زرد به قرمز تبدیل شود (نارنجی). میزان اسیدی که برای تیتراسیون مصرف شده را یادداشت می نماییم، که این مقدار اسید مصرف شده برای اندازه‌گیری بی‌کربنات است.

اندازه گیری کلر

برای اندازه‌گیری کلر نیز از روش تیتراسیون استفاده شد. در این روش یون کلر را با یون نقره ترکیب می‌نمایند و نمک حاصل به دلیل غیر محلول بودن در آب رسوب داده و از محیط فعل و انفعال خارج می‌گردد. پس از اینکه تمام یون کلر به وسیله یون نقره از محیط خارج شد، اولین قطره یون نقره اضافی با شناساگر که در این آزمایش کرومات پتاسیم می‌باشد ترکیب شده و تولید رسوب کرومات نقره که دارای رنگ قرمز آجری است، می نماید.

شکل ۳-۱- نمونه‌برداری از قنات کاریزده در دشت مشهد

شکل۳-۲- نمونه‌برداری از قنات یزدان‌آباد در دشت مشهد

شکل ۳-۳- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی قنات انداد

شکل۳-۴- اندازه‌گیری pH قنات خلیل‌آباد

اندازه گیری سولفات

یون سولفات بر اساس کدرسنجی به کمک دستگاه توربیدیتی متری تعیین شد. برای کالیبره کردن دستگاه ابتدا از محلول‌هایی با غلظت مشخص یون سولفات استفاده گردید.

اندازه‌گیری مجموع کلسیم و منیزیم

. برای اندازه‌گیری مقدار Ca و Mg دو قسمت نمونه آب را انتخاب کرده و برای یک قسمت مجموع Ca و Mg را پیدا می‌کنند و برای قسمت دوم فقط Ca را تعیین می‌کنند و از اختلاف این دو می توان مقدار Mg را نیز تعیین کرد. برای تعیین Ca از اندیکاتور مروکسید به عنوان شناساگر استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری Ca مقدار ۲۵ سی سی از نمونه آب را برداشته و به آن به اندازه یک قاشقک (اسپاتول) اندیکاتور مروکسید اضافه می‌کنند تا رنگ قرمز ظاهر شود. آنرا با EDTA تیتر می‌کنند تا رنگ از قرمز به بنفش تغییر کند.

اندازه‌گیری غلظت سدیم و پتاسیم

غلظت سدیم و پتاسیم محلول در آب توسط دستگاه فلیم فتومتر (Flame Photometer) اندازه‌گیری گردید.

۳-۶-۳- تحلیل داده‌های کیفی

به منظور تاثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب قنات‌ها نمودارهای کیفی (شولر، پایپر و استیف) بر اساس مقادیر یون‌های اندازه‌گیری شده ترسیم گردید و خصوصیات کیفی قنات‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

فصل چهارم

هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی

قنات‌های دشت مشهد- چناران

۴-۱- مقدمه

در دشت مشهد-چناران تعداد ۳۰ رشته قنات بر اساس خصوصیات هیدرولیکی و هیدروژئولوژیکی آبخوان آبرفتی به عنوان قنات معرف انتخاب و هر ساله اقدام به اندازه‌گیری آبدهی آن‌ها می‌شود. در این فصل ابتدا هیدروژئولوژی دشت مشهد، شامل نقشه‌های هم‌پتانسیل و جهت جریان و تغییرات افت سطح آب زیرزمینی بررسی می‌شود و سپس خصوصیات کمی قنات‌های انتخابی در قالب بررسی تغییرات زمانی بلندمدت آبدهی قنات‌ها در یک دوره ۵۰ ساله (۹۱-۱۳۴۰) انجام و علل تغییرات آبدهی قنات‌ها تحلیل می‌گردد. در نهایت خصوصیات کیفی قنات‌های انتخابی از طریق بررسی نتایج هیدروشیمی نمونه‌های برداشت شده از آن‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۴-۲- هیدروژئولوژی آبخوان آبرفتی مشهد-چناران

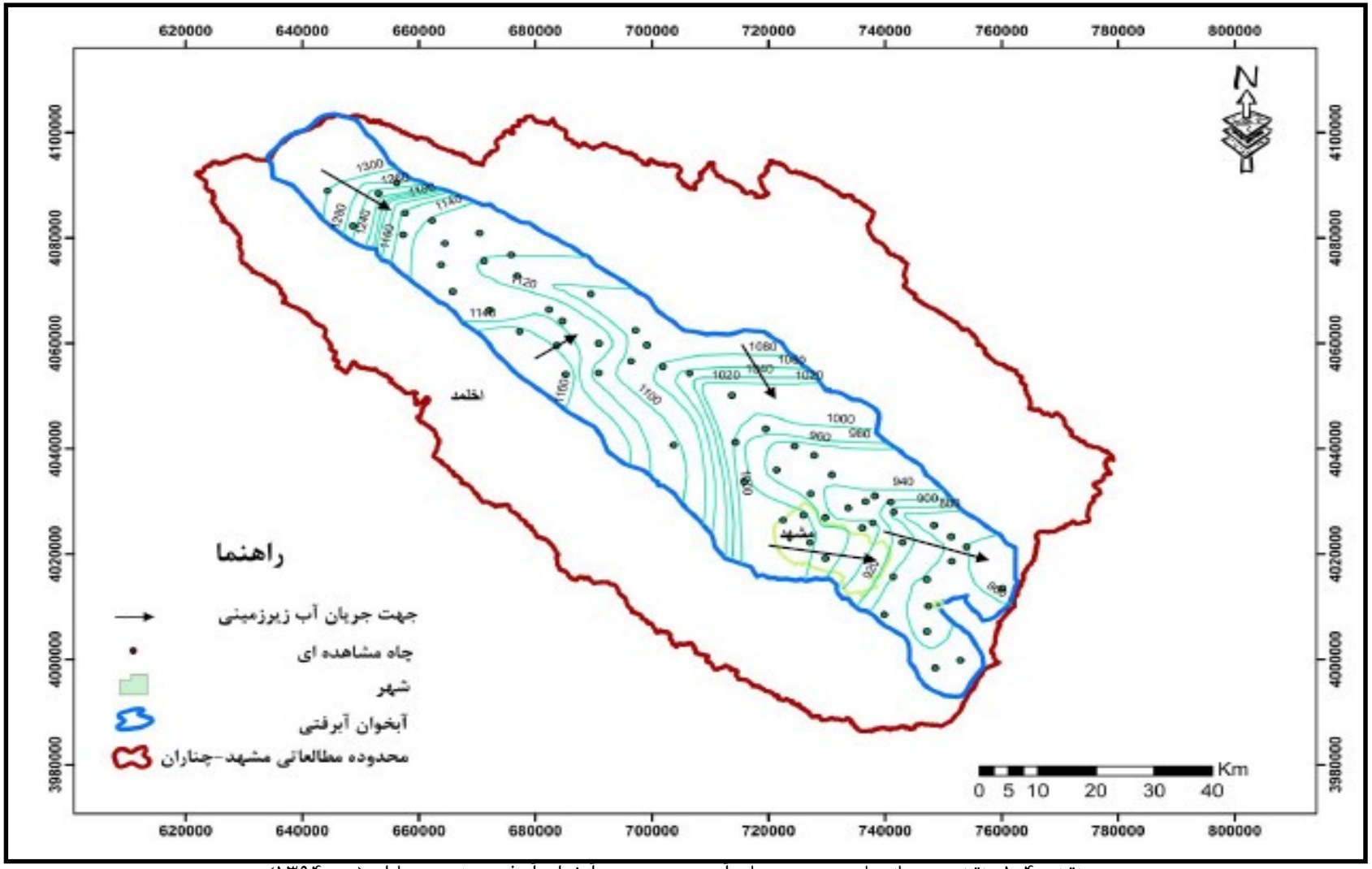
نقشه هم پتانسیل آبخوان آبرفتی مشهد-چناران بر اساس اطلاعات ۳۳ حلقه چاه مشاهده‌ای برای دی ماه ۱۳۹۴ تهیه شده است. شکل ۴-۱، حداکثر تراز سطح آب زیرزمینی در پیزومتر دوغایی (در بخش شمال غربی آبخوان) بیش از ۱۳۰۰ متر به ثبت رسیده است. کمترین تراز سطح آب زیرزمینی نیز در بخش جنوب شرقی آبخوان و در پیزومتر امرقان هلالی به میزان ۸۳۵ متر می‌باشد. بر اساس نقشه هم پتانسیل آب زیرزمینی (شکل ۴-۱)، جهت کلی حرکت آب زیرزمینی در این آبخوان از شمال غرب به سمت جنوب شرق می‌باشد. همانطور که در نقشه هم‌پتانسیل ملاحظه می‌شود، ورودی‌های زیرزمینی به آبخوان عمدتاً از حاشیه غربی آبخوان به خصوص در محل تماس با سازندهای آهکی منطقه می‌باشند. مطابق نقشه هم پتانسیل آب زیرزمینی آبخوان مشهد-چناران، محل تغذیه اصلی آبخوان به طور عمده از طریق مخروط‌افکنه‌های حاشیه ارتفاعات بینالود (مخروط افکنه اخلمد) می‌باشد. انحنای خطوط هم پتانسیل به خوبی اثر تغذیه‌ای این

مخروط‌افکنه بر آبخوان آبرفتی مشهد-چناران را تایید می‌کند. بخش شمال‌غربی و حاشیه‌ی شرقی آبخوان نیز در تغذیه آبخوان موثر می‌باشد که این محل‌ها بر اساس خطوط جریان قابل شناسایی است. در محدوده شهر مشهد انحنای خطوط هم‌پتانسیل به دلیل بالاآمدگی سطح ایستابی ناشی از آب برگشتی مصارف مختلف می‌باشد. با توجه به نقشه هم‌پتانسیل خروجی زیرزمینی آبخوان آبرفتی مشهد-چناران در بخش جنوب‌شرقی واقع شده است.

۴-۲-۲- تغییرات زمانی سطح آب زیرزمینی

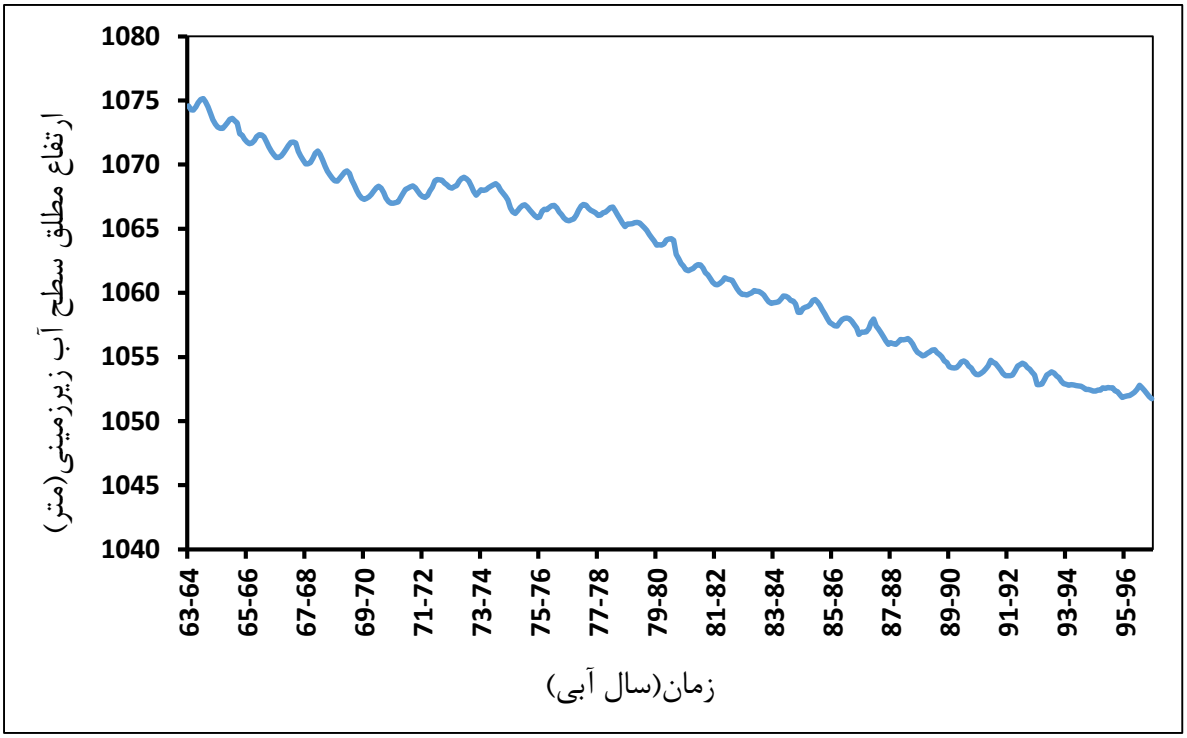
۴-۲-۲-۱- هیدروگراف معرف آبخوان آبرفتی مشهد-چناران

سطح آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی مشهد-چناران از سال ۹۶-۱۳۶۳ اندازه‌گیری شده است. جهت تهیه‌ی هیدروگراف واحد آب زیرزمینی در محدوده آبخوان آبرفتی از آمار و اطلاعات ۳۳ حلقه چاه‌های مشاهده‌ای استفاده شد. هیدروگراف معرف آبخوان ترسیم شده است (شکل ۴-۲). هیدروگراف معرف ۳۳ ساله آبخوان مشهد، نشان می‌دهد که روند عمومی سطح آب زیرزمینی در آبخوان مشهد، کاهشی می‌باشد.



نقشه ۴-۱- نقشه هم‌پتانسیل و جهت جریان آب زیرزمینی در ابخوان ابرفتی مشهد-چناران (دی ۱۳۹۴)

علت کاهش مقدار افت در سال‌های انتهایی هیدروگراف آبخوان مشهد، احتمالاً مرتبط با انتقال آب از سد دوستی به شهر مشهد بوده که اثرات آن در بالاآمدگی سطح ایستابی در محدوده شهر مشهد در نقشه هم‌پتانسیل (شکل ۴-۱) نیز شناسایی گردید.



شکل ۴-۲- هیدروگراف معرف ترسیمی آبخوان آبرفتی مشهد-چناران

۴-۲-۲-۲- نقشه هم‌افت سطح آب زیرزمینی

نقشه هم‌افت آبخوان مشهد در دوره‌ی زمانی ۳۵ ساله (۱۳۶۱ تا ۱۳۹۶) در شکل ۴-۳ نشان داده شده است. به طور کلی ۱۷ پیزومتر طی سال‌های اخیر، افتی بیش از ۲۰ متر را به ثبت رسانده‌اند. در آبخوان مشهد-چناران، سطح آب زیرزمینی در ۲ پیزومتر (پیزومتر بلوار تلویزیون در شمال‌شرق آبخوان و پیزومتر موچنان در بخش شمال غربی آبخوان) نیز بالاآمدگی داشته است. بیشترین مقادیر افت در این دوره در حاشیه غربی

آبخوان روی داده است، که این موضوع مرتبط با برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی در این بخش از آبخوان می‌باشد.

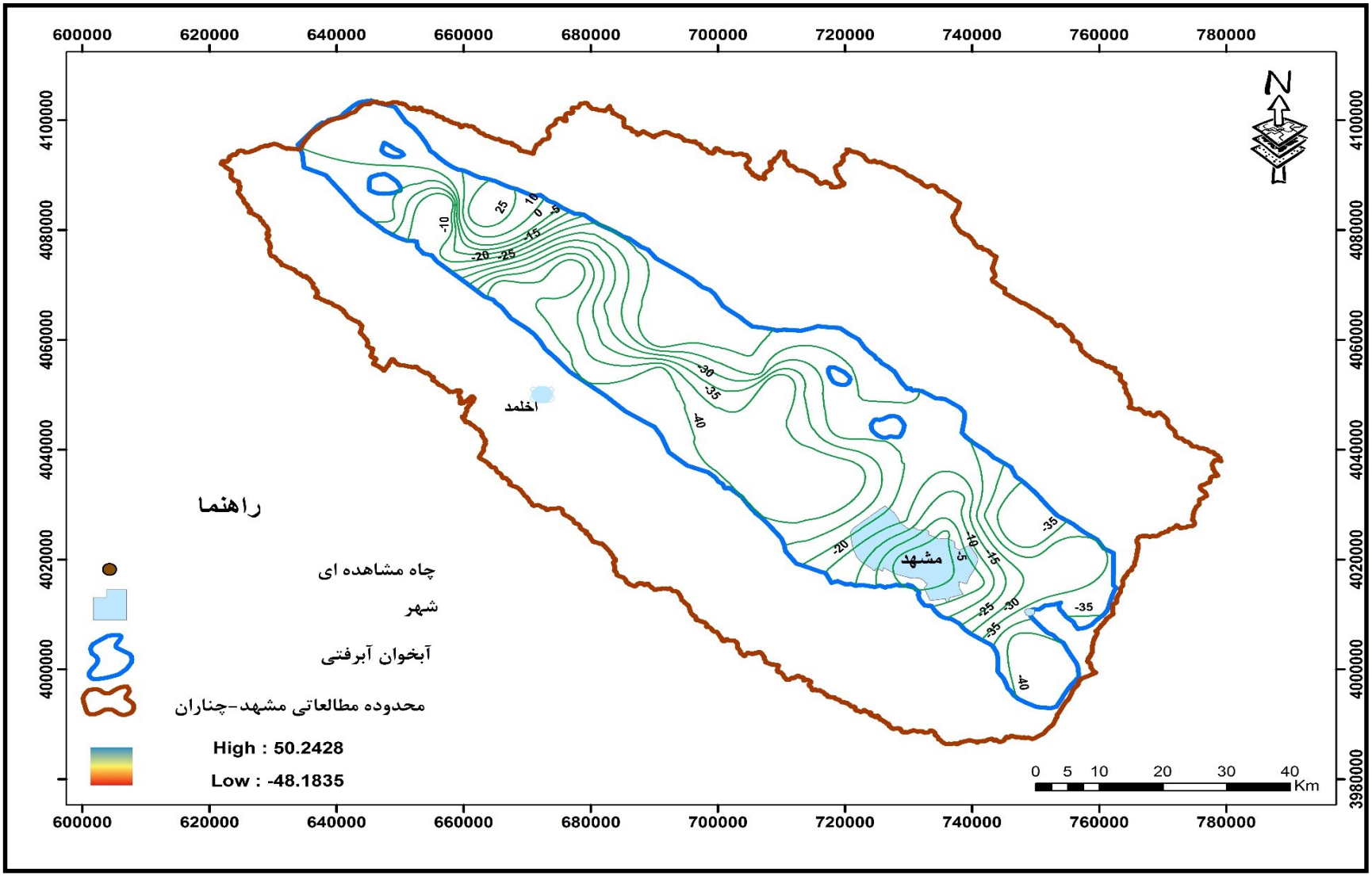
۴-۳- بررسی هیدروژئولوژیکی قنات‌های دشت مشهد-چناران

۴-۳-۱- سری زمانی

تغییرات آبدهی (هیدروگراف) کلیه‌ی قنات‌های انتخابی دشت مشهد-چناران در پیوست شماره یک ارائه شده است. برای بررسی تغییرات زمانی آبدهی، هیدروگراف تعدادی از قنات‌ها که بیشترین آمار اندازه‌گیری در طی سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۹۱ را داشته‌اند، در شکل ۴-۴ ارائه شده است. قنات‌های حصارسرخ، نوچاه، سلوگرد، کورده، شلنگرد و زاک به ترتیب با ۲۶۰، ۲۵۳، ۲۱۴، ۲۰۸ و ۲۰۷ مرتبه اندازه‌گیری دبی طی دوره بررسی، بیشترین آمار اندازه‌گیری را داشته‌اند. بررسی کلی هیدروگراف این قنات‌ها نشان‌دهنده‌ی کاهش آبدهی آن‌ها با زمان می‌باشد. به منظور بررسی جزئی‌تر تغییرات آبدهی قنات‌های دشت مشهد-چناران، سری زمانی کلیه‌ی قنات‌ها در دو دوره به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

الف)دوره مبنا

این دوره از شروع دوره‌ی آماری (سال ۱۳۴۰) تا زمان تصویب قانون توزیع عادلانه‌ی آب (سال ۱۳۶۱) بوده است. انتخاب این دوره به عنوان مبنا جهت مقایسه‌ی آبدهی به دلیل حداقل بودن دخل و تصرف (حفرچاه و برداشت) در منابع آبی در این دوره بوده است. بنابراین آبدهی قنات‌ها در این دوره می‌تواند به عنوان شاخصی از میزان آبدهی آن‌ها در شرایط طبیعی(پایه) باشد.



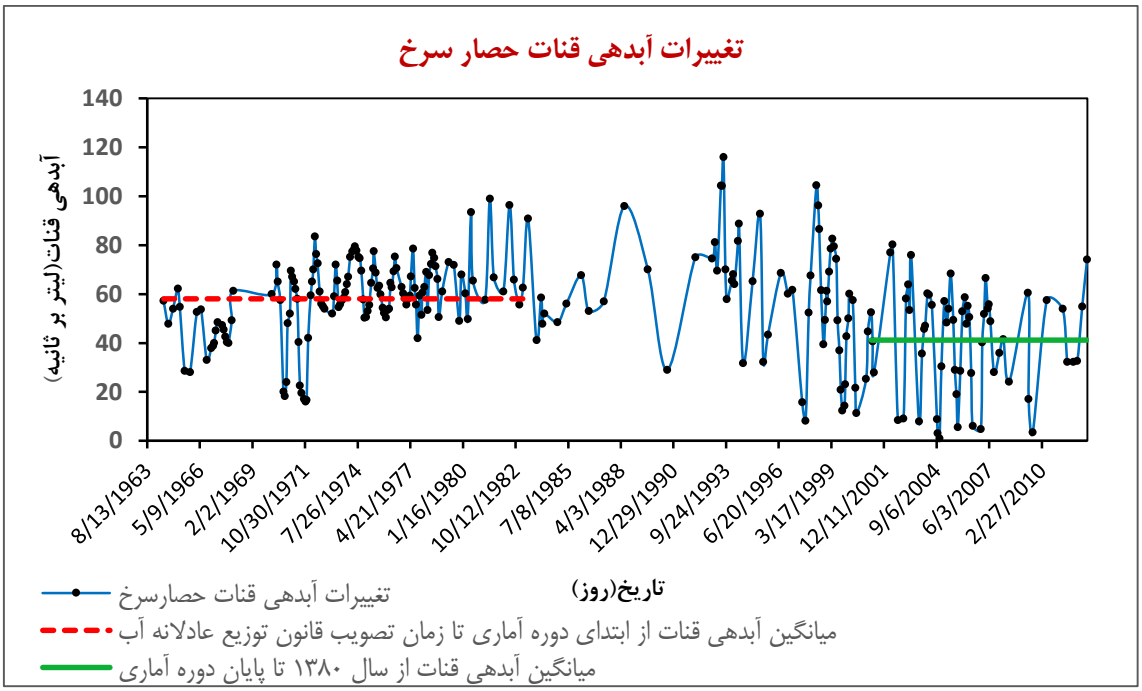
شکل ۴-۳- نقشه هم‌افت آبخوان مشهد در بازه زمانی ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۵

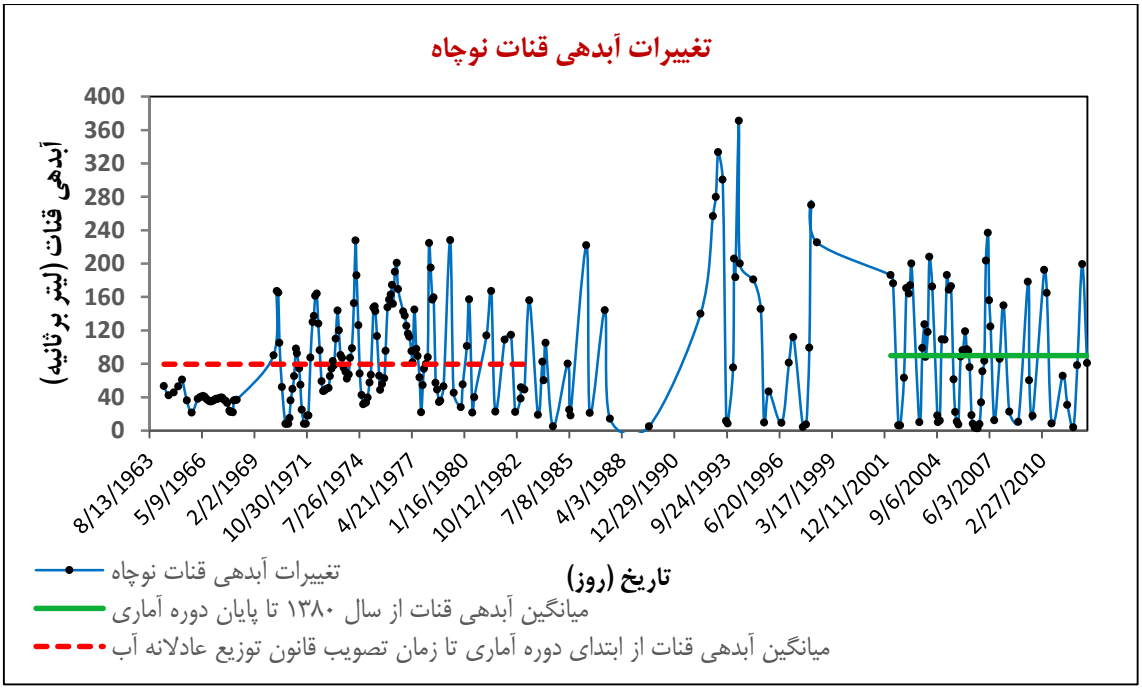
ب) دوره‌ی فعلی

این دوره از سال ۱۳۸۰ (بعد از تصویب قانون تعیین تکلیف چاه‌های کشاورزی فعال فاقد پروانه‌ی بهره‌برداری) تا پایان دوره‌ی آماری (۱۳۹۱) در نظر گرفته شده است. مشخصات آماری قنات‌ها در این دوره به عنوان ویژگی‌های آن‌ها در شرایط فعلی لحاظ شده است.

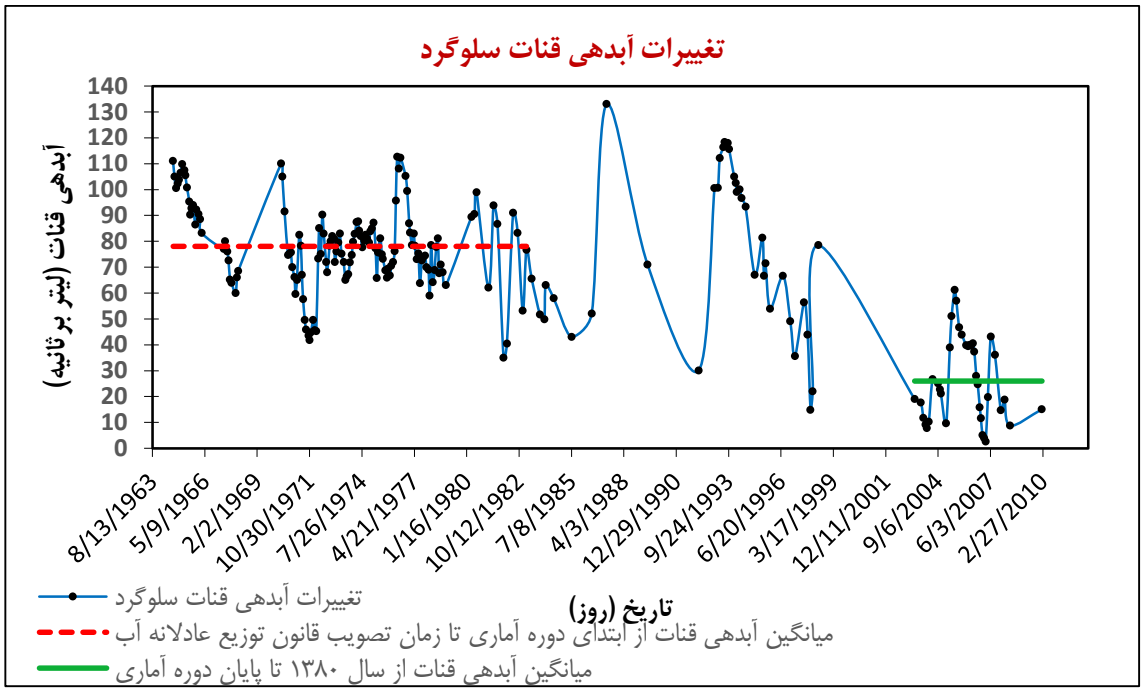
شاخص‌های آماری آبدهی قنات‌ها شامل(میانگین، انحراف‌معیار، واریانس، کج‌شدگی و کشیدگی) در دو دوره مورد بررسی در جداول ۴-۱ و ۴-۲ ارائه شده است.

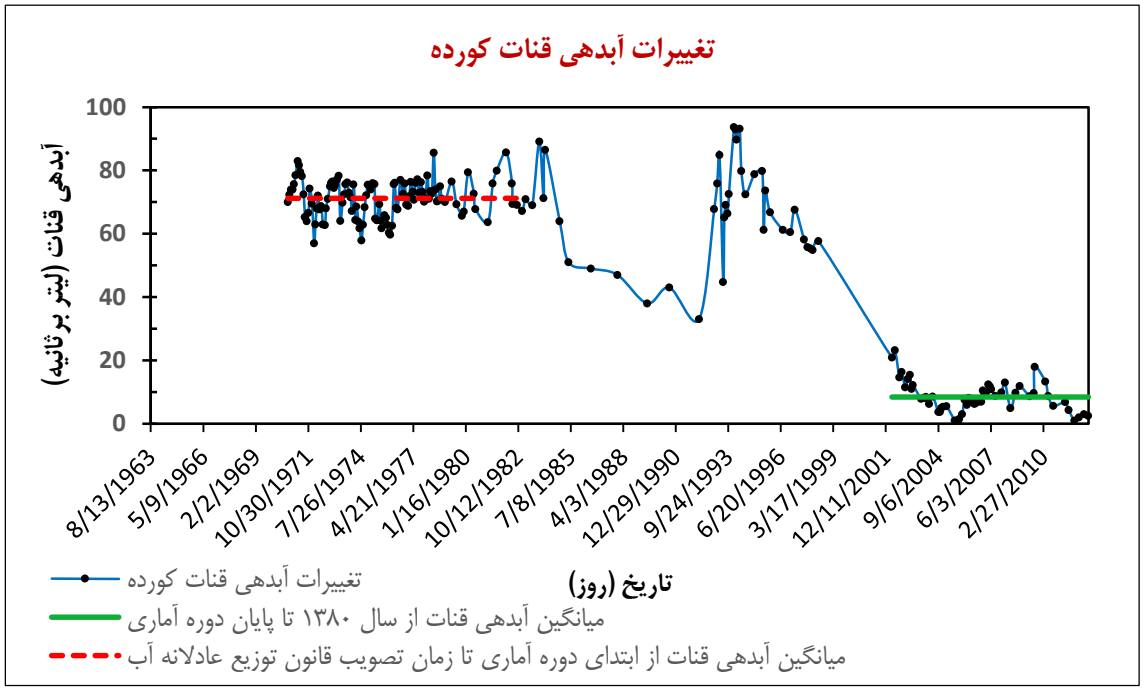
میانگین آبدهی قنات‌ها در دو دوره‌ی مبنا و فعلی در (شکل ۴-۵) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، تمامی قنات‌ها به جزء قنات نوچاه با کاهش آبدهی در دوره‌ی فعلی نسبت به دوره‌ی مبنا مواجه هستند. میزان کاهش آبدهی قنات‌ها در شرایط فعلی نسبت به دوره‌ی مبنا در شکل۴-۶ نشان داده شده است. با توجه به این شکل بیشترین کاهش آبدهی(۱۱۵/۴ لیتر در ثانیه) مربوط به قنات چهارطاقی عبدل آباد واقع در منطقه غربی آبخوان آبرفتی مشهد-چناران قرار می‌گیرد. قنات‌های معین‌آباد سفلی، کورده، صرف‌آباد، سلوگرد و شلنگرد به ترتیب با کاهش آبدهی ۶۳، ۶۲، ۵۴، ۵۲ و ۴۴ لیتر در ثانیه در رده‌های بعدی به لحاظ کاهش آبدهی قرار می‌گیرند.



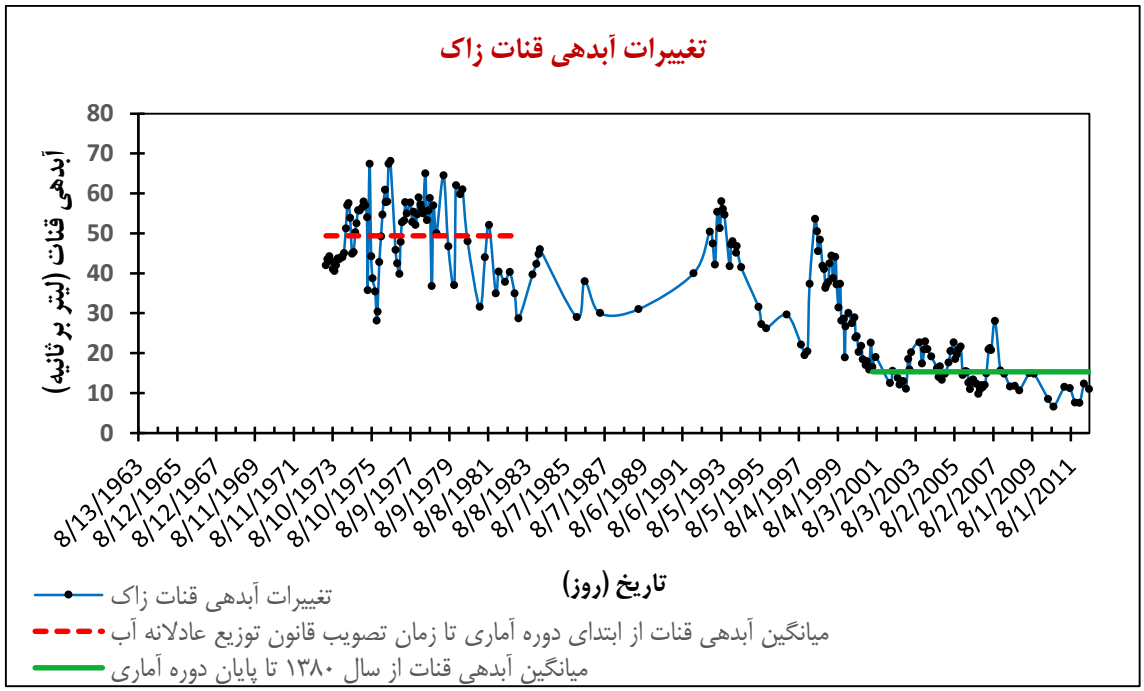


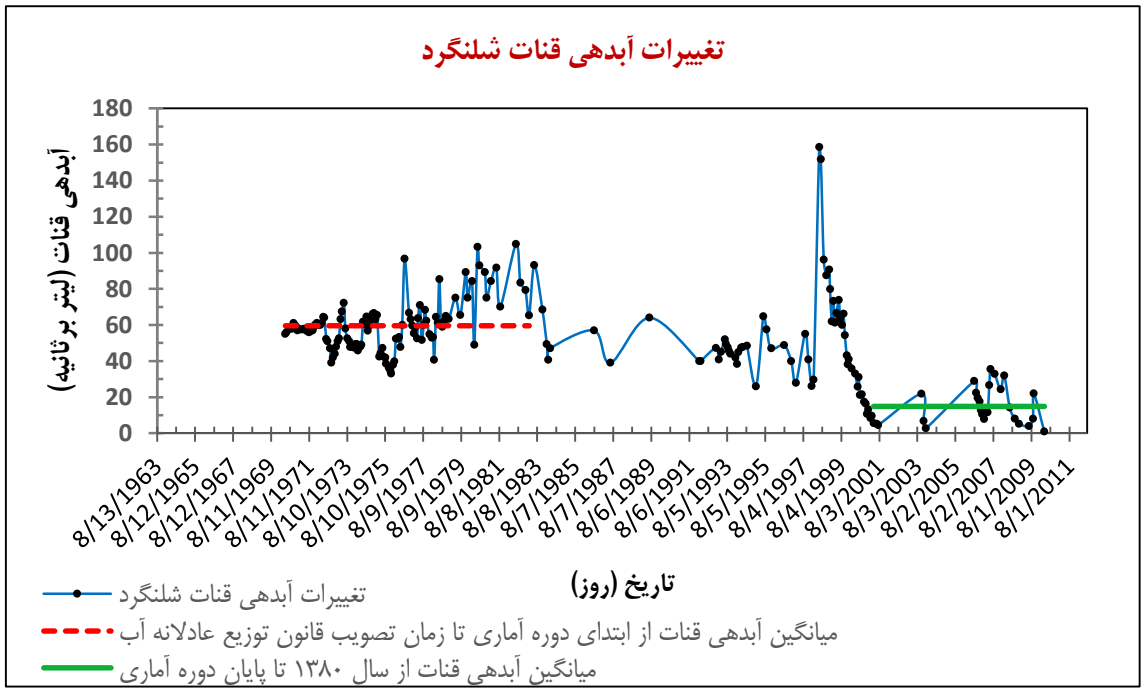
شکل ۴-۴- سری زمانی (هیدروگراف) تعدادی از قنات‌های انتخابی دشت مشهد-چناران


تغییرات آبدهی قنات سلوگرد
آبدهی قنات (لیتر بر ثانیه)
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
8/13/1963
5/9/1966
2/2/1969
10/30/1971
7/26/1974
4/21/1977
1/16/1980
10/12/1982
7/8/1985
4/3/1988
12/29/1990
9/24/1993
6/20/1996
3/17/1999
12/11/2001
9/6/2004
6/3/2007
2/27/2010
تاریخ (روز)
تغییرات آبدهی قنات سلوگرد
میانگین آبدهی قنات از ابتدای دوره آماری تا زمان تصویب قانون توزیع عادلانه آب
میانگین آبدهی قنات از سال ۱۳۸۰ تا پایان دوره آماری


تغییرات آبدهی قنات کورده
آبدهی قنات (لیتر بر ثانیه)
100
80
60
40
20
0
8/13/1963
5/9/1966
2/2/1969
10/30/1971
7/26/1974
4/21/1977
1/16/1980
10/12/1982
7/8/1985
4/3/1988
12/29/1990
9/24/1993
6/20/1996
3/17/1999
12/11/2001
9/6/2004
6/3/2007
2/27/2010
تاریخ (روز)
تغییرات آبدهی قنات کورده
میانگین آبدهی قنات از سال ۱۳۸۰ تا پایان دوره آماری
میانگین آبدهی قنات از ابتدای دوره آماری تا زمان تصویب قانون توزیع عادلانه آب

شکل ۴-۴- ادامه


تغییرات آبدهی قنات زاک
آبدهی قنات (لیتر بر ثانیه)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
8/13/1963
8/12/1965
8/12/1967
8/11/1969
8/11/1971
8/10/1973
8/10/1975
8/9/1977
8/9/1979
8/8/1981
8/8/1983
8/7/1985
8/7/1987
8/6/1989
8/6/1991
8/5/1993
8/5/1995
8/4/1997
8/4/1999
8/3/2001
8/3/2003
8/2/2005
8/2/2007
8/1/2009
8/1/2011
تاریخ (روز)
تغییرات آبدهی قنات زاک
میانگین آبدهی قنات از ابتدای دوره آماری تا زمان تصویب قانون توزیع عادلانه آب
میانگین آبدهی قنات از سال ۱۳۸۰ تا پایان دوره آماری


تغییرات آبدهی قنات شلنگرد
آبدهی قنات (لیتر بر ثانیه)
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
8/13/1963
8/12/1965
8/12/1967
8/11/1969
8/11/1971
8/10/1973
8/10/1975
8/9/1977
8/9/1979
8/8/1981
8/8/1983
8/7/1985
8/7/1987
8/6/1989
8/6/1991
8/5/1993
8/5/1995
8/4/1997
8/4/1999
8/3/2001
8/3/2003
8/2/2005
8/2/2007
8/1/2009
8/1/2011
تاریخ (روز)
تغییرات آبدهی قنات شلنگرد
میانگین آبدهی قنات از ابتدای دوره آماری تا زمان تصویب قانون توزیع عادلانه آب
میانگین آبدهی قنات از سال ۱۳۸۰ تا پایان دوره آماری

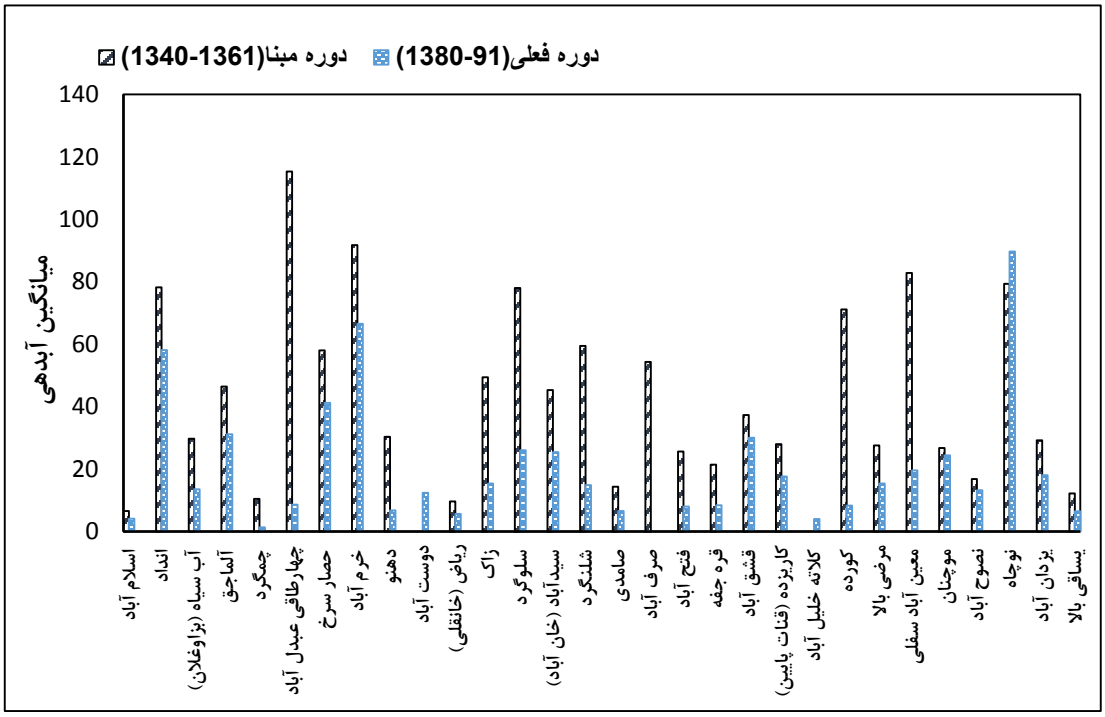
شکل ۴-۴- ادامه

جدول ۴-۱- آماره‌های آبدهی قنات‌ها از ابتدای دوره آماری (۱۳۴۰) تا زمان تصویب قانون توزیع عادلانه آب (۱۳۶۱)(دوره مبنا)

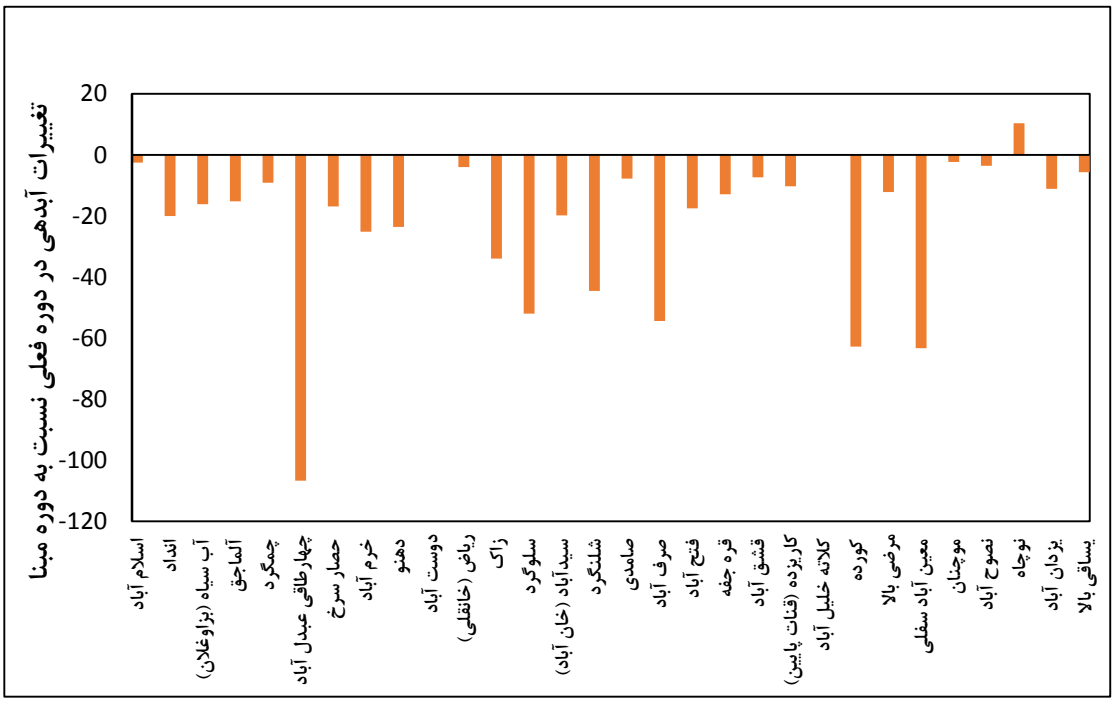
ردیف	نام قنات	N	Range	Min.	Max.	Mean	Std. Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis
۱	قنات اسلام آباد	۲۹	۸/۲۰	۳/۰۰	۱۱/۲۰	۶/۶۴	۱/۸۲	۳/۳۲	۰/۷۴	۰/۹۵
۲	قنات انداد	۷۹	۴۴/۴۰	۶۰/۵۰	۱۰۴/۹۰	۷۸/۱۹	۹/۱۴	۸۳/۶۱	۰/۸۲	۰/۸۹
۳	قنات آب بزاوغلان	۴۰	۲۱/۱۰	۲۱/۶۰	۴۲/۷۰	۲۹/۷۵	۴/۸۰	۲۳/۰۸	۰/۶۶	۰/۳۴
۴	قنات آلماجق	۳۸	۳۵/۸۰	۳۰/۶۰	۶۶/۴۰	۴۶/۴۲	۸/۲۷	۶۸/۴۶	۰/۲۷	-۰/۲۵
۵	قنات چمگرد	۸	۷/۰۰	۷/۰۰	۱۴/۰۰	۱۰/۵۰	۲/۳۹	۵/۷۱	-۰/۱۳	-۱/۱۳
۶	قنات چهارطاقی	۱۱۰	۶۵/۳۵	۸۰/۷۵	۱۴۶/۱۰	۱۱۵/۳۶	۱۱/۷۷	۱۳۸/۶۰	-۰/۱۹	۰/۱۹
۷	قنات حصار سرخ	۱۳۵	۸۲/۹۰	۱۶/۰۰	۹۸۹۰	۵۸/۰۷	۱۵/۵۱	۲۴۰/۴۸	-۰/۶۰	۱/۰۸
۸	قنات خرم آباد	۹۱	۱۸۳/۰۰	۲۴/۰۰	۲۰۷۰۰	۹۱/۷۱	۳۹/۶۶	۱۵۷۲/۶۴	۰/۵۰	-۰/۳۱
۹	قنات دهنو	۱۷	۳۲/۰۰	۱۵/۰۰	۴۷۰۰	۳۰/۳۵	۹/۰۸	۸۲/۴۹	-۰/۰۳	-۰/۳۴
۱۰	قنات دوست آباد	قنات دوست آباد در این دوره فاقد آمار آبدهی بوده است.								
۱۱	قنات ریاض (خانقلی)	۳۲	۸/۵۰	۶/۰۰	۱۴/۵۰	۹/۶۵	۱/۸۱	۳/۲۹	۰.۳۴	۰/۲۷
۱۲	قنات زاک	۸۱	۴۰/۰۰	۲۸/۱۰	۶۸/۱۰	۴۹/۳۸	۹/۵۱	۹۰/۳۶	-۰/۲۱	-۰/۶۳
۱۳	قنات سلوگرد	۱۴۰	۷۷/۷۰	۳۴/۹۰	۱۱۲/۶۰	۷۸/۰۰	۱۶/۰۲	۲۵۶/۶۱	-۰/۰۷	۰/۲۱
۱۴	قنات سیدآباد	۷۹	۵۶/۳۰	۱۵/۰۰	۷۱/۳۰	۴۵/۳۳	۱۰/۰۴	۱۰۰/۷۱	۰/۰۳	۰/۶۳
۱۵	قنات شلنگرد	۱۱۶	۷۱/۷۰	۳۳/۱۰	۱۰۴/۸۰	۵۹/۵۲	۱۳/۸۷	۱۹۲/۲۴	۰/۹۹	۱/۴۹
۱۶	قنات صامدی	۳۲	۱۶/۰۰	۷/۰۰	۲۳/۰۰	۱۴/۳۵	۳/۹۱	۱۵/۲۶	۰/۱۲	-۰/۵۶
۱۷	قنات صرف آباد	۱۵۲	۱۰۹/۰۴	۱۶/۸۶	۱۲۵/۹۰	۵۴/۳۸	۱۹/۳۳	۳۷۳/۸۱	۰/۲۸	۰/۳۲
۱۸	قنات فتح آباد	۶۶	۷۵/۰۰	۹/۰۰	۸۴/۰۰	۲۵/۶۱	۱۲/۷۵	۱۶۲/۶۶	۲/۷۰	۸/۶۴
۱۹	قنات قره جفه	۳۲	۱۴/۶۰	۱۲/۴۰	۲۷/۰۰	۲۱/۴۴	۳/۹۷	۱۵/۷۸	-۱/۱۰	۰/۴۹
۲۰	قنات قشق آباد	۱۷	۷۶/۰۰	۱۳/۰۰	۸۹/۰۰	۳۷/۳۵	۱۹/۰۵	۳۶۲/۷۴	۱/۳۹	۲/۰۸
۲۱	قنات کاریزده	۹۹	۵۷/۹۰	۷/۰۰	۶۴/۹۰	۲۷/۹۹	۱۲/۱۶	۱۴۷/۷۸	۰/۸۶	۰/۴۳
۲۲	قنات کلاته خلیل آباد	قنات کلاته خلیل آباد در این دوره فاقد آمار آبدهی بوده است.								
۲۳	قنات کورده	۱۱۳	۲۸/۷۰	۵۷/۰۰	۸۵/۷۰	۷۱/۱۹	۵/۷۵	۳۳/۰۷	-۰/۱۰	-۰/۲۰
۲۴	قنات مرضی بالا	۳۳	۱۸/۷۰	۱۷/۰۰	۳۵/۷۰	۲۷/۶۴	۵/۵۵	۳۰/۸۱	-۰/۵۱	-۱/۰۳
۲۵	قنات معین آباد سفلی	۸۲	۹۷/۲۰	۲۸/۸۰	۱۲۶/۰۰	۸۲/۸۵	۱۷/۲۸	۲۹۸/۴۹	۰/۵۰	۱/۰۲
۲۶	موچنان	۳۱	۱۴/۸۰	۲۰/۰۰	۳۴/۸۰	۲۶/۷۸	۳/۸۵	۱۴/۸۵	۰/۳۰	-۰/۶۵
۲۷	قنات نصوح آباد	۱۱	۴۲/۰۰	۳/۰۰	۴۵/۰۰	۱۶/۸۲	۱۳/۰۷	۱۷۰/۷۶	۱/۰۲	۰/۶۶
۲۸	قنات نو چاه	۱۵۱	۲۲۰/۰۰	۸/۰۰	۲۲۸/۰۰	۷۹/۴۰	۵۲/۹۸	۲۸۰۷/۲۱	۰/۸۸	-۰/۱۱
۲۹	قنات یزدان آباد	۳۶	۲۷/۰۰	۱۸/۰۰	۴۵/۰۰	۲۹/۲۵	۶/۵۶	۴۳/۰۹	۰/۴۹	-۰/۴۱
۳۰	قنات یساقی بالا	۳۷	۱۷/۵۰	۷/۵۰	۲۵/۰۰	۱۲/۲۴	۳/۷۳	۱۳/۸۸	۱/۲۸	۲/۵۵

جدول ۴-۲- آماره‌های آبدهی قنات از سال ۱۳۸۰ تا پایان دوره آماری (۱۳۹۱)(دوره فعلی)

ردیف	نام قنات	N	Range	Min.	Max.	Mean	Std. Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis
۱	قنات اسلام آباد	۶۳	۳/۵۷	۲/۳۱	۵/۸۸	۴/۰۹	۰/۷۳	۰/۵۳	۰/۱۴	-۰/۰۱
۲	قنات انداد	۶۵	۲۴/۱۴	۴۴/۰۰	۶۸/۱۴	۵۸/۱۸	۴/۷۸	۲۲/۸۳	-۰/۷۵	۰/۹۵
۳	قنات آب بزاوغلان	۶۰	۱۲/۰۸	۸/۶۵	۲۰/۷۳	۱۳/۵۷	۳/۰۵	۹/۳۱	۰/۷۳	۰/۰۴
۴	قنات آلماجق	۷۱	۲۱/۹۷	۲۱/۲۲	۴۳/۱۹	۳۱/۱۸	۴/۶۲	۲۱/۳۰	۰/۲۸	۰/۳۶
۵	قنات چمگرد	۵۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۲/۰۰	۱/۳۵	۰/۳۷	۰/۱۴	۰/۵۵	-۰/۹۴
۶	قنات چهارطاقی	۳۸	۲۰/۷۹	۲/۵۵	۲۳/۳۴	۸/۶۴	۴/۶۷	۲۱/۷۸	۱/۵۸	۳/۰۹
۷	قنات حصار سرخ	۵۹	۷۹/۲۹	۱/۰۰	۸۰/۲۹	۴۱/۱۹	۲۱/۴۰	۴۵۸/۰۶	-۰/۳۶	-۰/۸۰
۸	قنات خرم آباد	۶۶	۱۹۴/۲۶	۳/۵۰	۱۹۷/۷۶	۶۶/۵۲	۵۰/۷۷	۲۵۷۷/۰۹	۰/۷۹	-۰/۲۷
۹	قنات دهنو	۳۴	۱۶/۷۸	۱/۰۰	۱۷/۷۸	۶/۷۶	۵/۴۳	۲۹/۴۴	۰/۶۸	-۱/۱۰
۱۰	قنات دوست آباد	۶۰	۱۷/.۴۰	۴/۳۰	۲۱/۷۰	۱۲/۴۶	۴./۱۸	۱۷./۴۵	۰/۵۱	-۰/۳۰
۱۱	قنات ریاض (خانقلی)	۶۳	۵/۰۰	۲/۹۳	۷/۹۳	۵/۶۲	۱/۰۰	۱/۰۱	۰/۲۷	۰/۴۷
۱۲	قنات زاک	۶۴	۲۱/۵۱	۶/۵۶	۲۸/۰۷	۱۵/۳۶	۴/۵۲	۲۰/۳۹	۰/۴۰	-۰/۳۰
۱۳	قنات سلوگرد	۳۷	۵۸/۶۴	۲/۵۰	۶۱/۱۴	۲۶/۰۴	۱۵/۹۵	۲۵۴/۳۴	۰/۴۱	-۰/۸۷
۱۴	قنات سیدآباد (خان آباد)	۶۲	۲۴/۶۲	۱۶/۶۸	۴۱/۳۰	۲۵/۴۵	۵./۷۵	۳۳/۰۷	۰/۷۸	۰/۰۸
۱۵	قنات شلنگرد	۲۷	۳۴/۴۷	۱/۰۰	۳۵/۴۷	۱۴/۹۳	۱۰/۲۸	۱۰۵/۶۵	۰/۵۵	-۰/۹۴
۱۶	قنات صامدی	۳۴	۲۰/۴۴	۲/۳۵	۲۲/۷۹	۶/۶۱	۴/۰۲	۱۶/۱۸	۲/۷۰	۸/۵۸
۱۷	قنات صرف آباد	قنات صرف آباد در این دوره خشک شده است.								
۱۸	قنات فتح آباد	۶۰	۱۴/۱۴	۲/۴۹	۱۶/۶۳	۸/۰۵	۳/۰۰	۹/۰۲	۰/۶۹	۰/۶۰
۱۹	قنات قره جفه	۶۱	۷/۷۰	۵/۲۲	۱۲/۹۲	۸/۴۸	۱/۴۱	۲/۰۰	۰/۱۸	۰/۹۶
۲۰	قنات قشق آباد	۵۲	۶۸/۳۱	۵/۰۱	۷۳/۳۲	۳۰/۰۲	۱۷/۰۸	۲۹۱/۵۷	۰/۶۰	-۰/۴۰
۲۱	قنات کاریزده	۶۷	۵۰/۳۶	۳/۶۴	۵۴/۰۰	۱۷/۶۷	۱۲/۴۱	۱۵۳/۹۹	۱/۵۰	۱/۳۳
۲۲	قنات کلاته خلیل آباد	۲۶	۱۰/۹۶	۱/۰۰	۱۱/۹۶	۴/۰۴	۳//۱۲	۹/۷۱	۰/۹۰	۰/۰۳
۲۳	قنات کورده	۶۰	۲۲/۲۶	۱/۰۰	۲۳/۲۶	۸/۳۷	۴/۷۵	۲۲/۶۱	۰/۷۸	۱/۰۴
۲۴	قنات مرضی بالا	۶۰	۱۷/۷۱	۱۰/۴۱	۲۸/۱۲	۱۵/۴۴	۳/۲۰	۱۰/۲۳	۱/۱۲	۲/۷۷
۲۵	قنات معین آباد سفلی	۵۹	۴۵/۶۲	۱/۰۰	۴۶/۶۲	۱۹/۵۷	۱۱/۶۵	۱۳۵/۷۸	۰/۳۹	-۰/۶۷
۲۶	موچنان	۶۳	۶۴/۴۰	۵/۶۲	۷۰/۰۲	۲۴/۴۵	۱۳/۷۸	۱۸۹/۸۳	۱/۳۶	۱/۹۸
۲۷	قنات نصوح آباد	۳۵	۳۴/۸۷	۲/۰۰	۳۶/۸۷	۱۳/۲۶	۸/۷۳	۷۶/۲۷	۰/۹۶	۰/۵۹
۲۸	قنات نو چاه	۶۴	۲۳۴/۳۳	۲/۵۰	۲۳۶/۸۳	۸۹/۷۱	۷۱/۰۸	۵۰۵۲/۰۸	۰/۲۹	-۱/۲۸
۲۹	قنات یزدان آباد	۶۲	۱۳/۴۸	۱۰/۱۵	۲۳/۶۳	۱۸/۱۰	۲/۷۶	۷/۶۲	-۰/۳۴	۰/۷۱
۳۰	قنات یساقی بالا	۶۸	۸/۵۷	۳/۳۵	۱۱/۹۲	۶/۵۱	۱/۶۸	۲/۸۲	۰/۸۸	۱/۳۸



شکل ۴-۵- مقایسه میانگین آبدهی قنات‌ها در دو دوره مبنا (۶۱-۱۳۴۰) و فعلی (۹۱-۱۳۸۰)



شکل ۴-۶- تغییرات میانگین آبدهی قنات‌ها در دوره فعلی نسبت به دوره مبنا (اختلاف میانگین آبدهی دوره مبنا و فعلی)

سایر پارامترهای آماری قنات‌های انتخابی شامل چولگی و کشیدگی در شکل‌های ۴-۷ و ۴-۸ ارائه شده است. در مقایسه دو یا چند جامعه با یکدیگر، ابتدا از پارامترهای مرکزی استفاده می‌شود. اما در صورت تساوی برخی از پارامترهای مرکزی (مانند میانگین) اختلاف جوامع آماری به کمک شاخص‌های پراکندگی (مانند ضرایب چولگی، کشیدگی و انحراف معیار) محاسبه می‌شود. این شاخص‌های آماری توزیع اطلاعات بسیار مناسبی برای تجزیه و تحلیل میزان تقارن و پراکندگی یک پارامتر کمی نسبت به یک توزیع نرمال ارائه می‌دهند.

توزیع نرمالی که در آن پارامترهای مرکزی با یکدیگر مساوی باشد، توزیع متقارن است و بر این اساس هرچه یک توزیع با توزیع متقارن تفاوت بیشتری داشته باشد، معیار چولگی در آن بیشتر خواهد بود. اگر چولگی کمتر از ۰/۱ باشد آماری متقارن بوده و چولگی ندارد. اگر چولگی بین ۰/۵-۰/۱ باشد، جامعه تفاوت اندکی با توزیع نرمال دارد و اگر بیشتر از ۰/۵ باشد جامعه از نظر تقارن تفاوت فاحشی با توزیع نرمال دارد و چولگی آن زیاد است.

ضریب چولگی معیاری از تقارن یا عدم تقارن تابع توزیع می‌باشد. برای یک توزیع نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر بالاتر، چولگی مثبت و برای توزیع نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر کوچکتر مقدار چولگی منفی است.

ضریب کشیدگی نشان‌دهنده‌ی ارتفاع یک توزیع است. به عبارت دیگر معیاری از بلندی منحنی در نقطه حداکثر بوده و برای توزیع نرمال برابر ۳ می‌باشد. کشیدگی مثبت یعنی قله از توزیع نرمال بالاتر و کشیدگی منفی نشانه‌ی پایین‌تر بودن قله از توزیع نرمال می‌باشد.

ضریب چولگی قنات‌ها در دو دوره مبنا و فعلی در شکل ۴-۷ مقایسه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در اغلب قنات‌ها ضریب چولگی در دوره فعلی نسبت به دوره مبنا افزایش یافته (مثبت‌تر شده) که

این موضوع نیز تاییدی بر عدم تقارن منحنی آبدهی به سمت مقادیر بالاتر، به عبارت دیگر کاهش میانگین آبدهی در دوره فعلی (افزایش فراوانی آبدهی‌های کم نسبت به میانگین) می‌باشد.

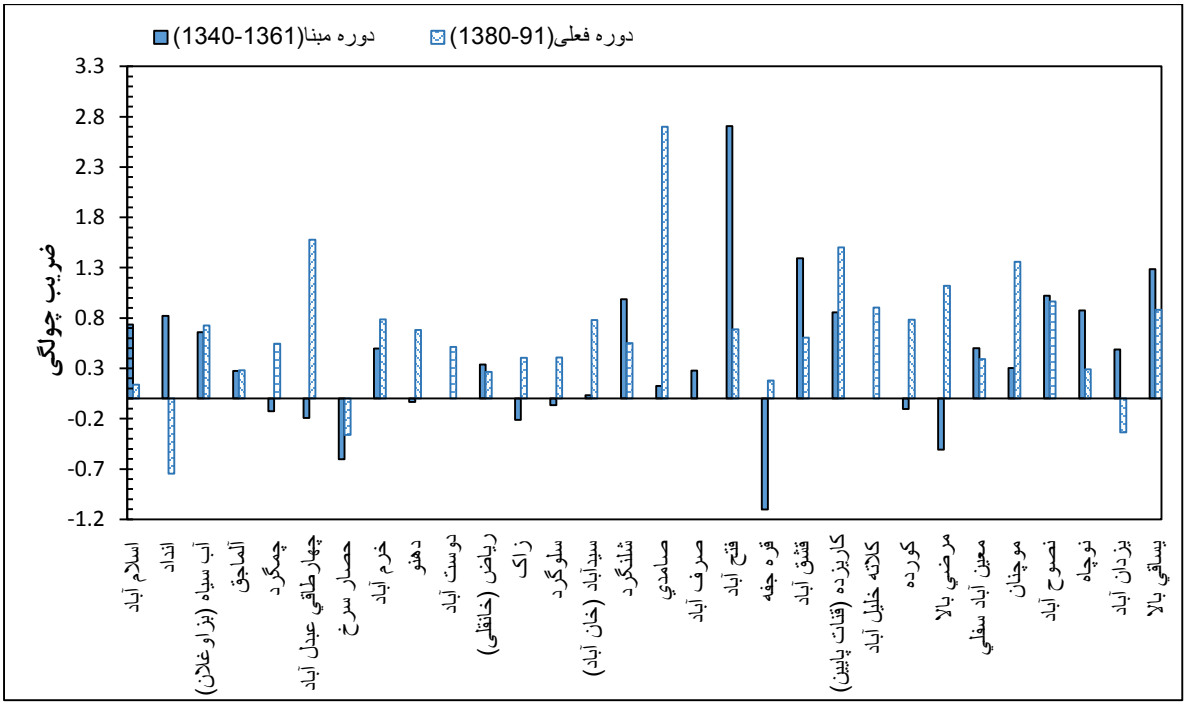
مقایسه ضریب کشیدگی قنات‌های دشت مشهد-چناران (شکل ۴-۷) نشان دهنده‌ی کاهش ضریب کشیدگی در دوره فعلی نسبت به دوره مبنا در اغلب قنات‌ها می‌باشد. این پارامترهای آماری نشان می‌دهد ماکزیمم آبدهی قنات‌ها در دوره فعلی نسبت به توزیع نرمال کاهش داشته که این موضوع نیز کاهش آبدهی قنات‌ها در دوره فعلی نسبت به دوره مبنا را تایید می‌کند.

۴-۳-۲- عوامل موثر بر آبدهی قنات‌های انتخابی دشت مشهد-چناران

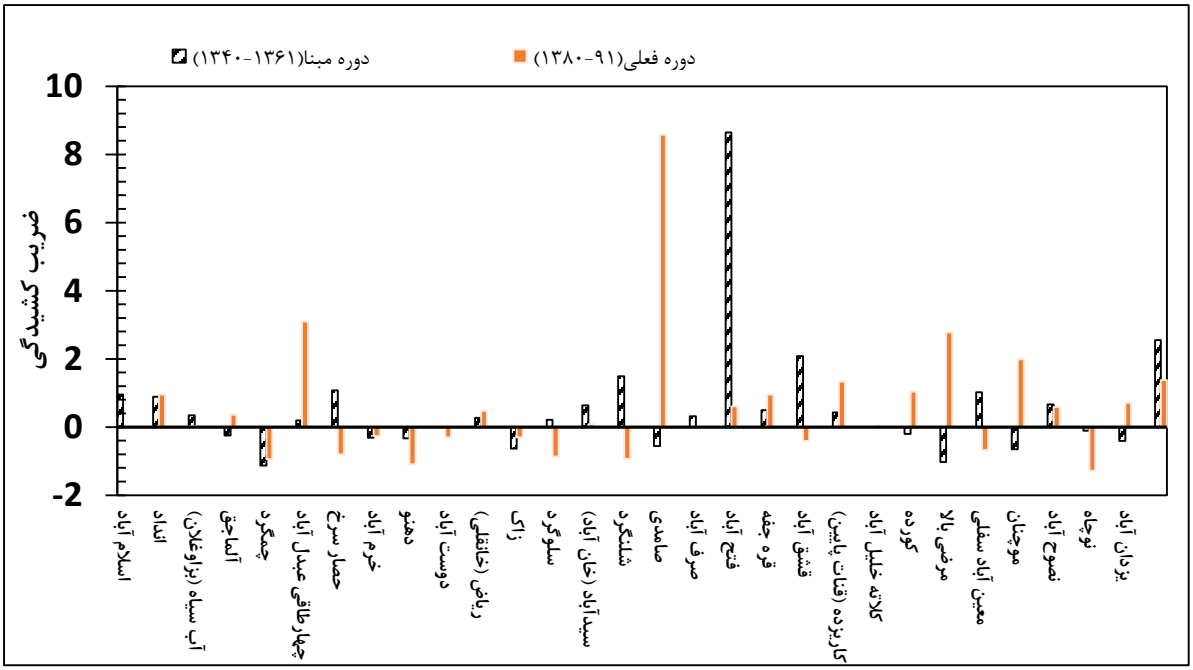
الف- بارندگی

بارش از جمله مهم‌ترین عواملی است که به طور مستقیم و غیر مستقیم بر دبی قنات‌های منطقه تاثیرگذار است. آمار سالیانه بارش دشت مشهد از سال ۱۳۶۱ تا سال ۱۳۹۰ در شکل ۴-۹ نشان داده شده است. به منظور بررسی ارتباط بارش و تغییرات آبدهی سری زمانی بارش بر روی هیدروگراف قنات ترسیم شده است. با توجه به اینکه قنات‌های حصارسرخ، نوچاه، سلوگرد، کورده، شلنگرد و زاک نوچاه، در طول دوره‌ی آماری بیشترین تعداد اندازه‌گیری آبدهی را داشته‌اند، بنابراین، سری زمانی آبدهی این قنات‌ها همراه با تغییرات بارش ترسیم (شکل ۴-۱۰) و بررسی شده است.

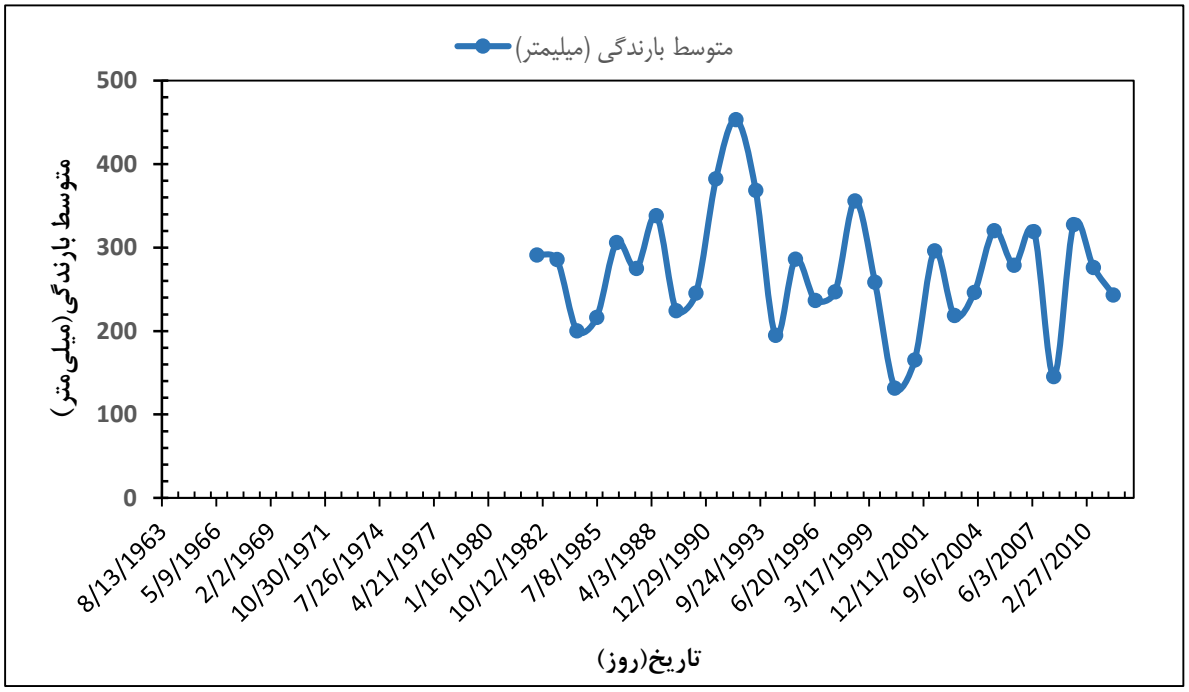
میانگین بارش سالیانه در دوره مورد بررسی برابر ۲۶۷/۳ میلی‌متر بوده است. هرچند نوساناتی در میزان بارش مشاهده می‌شود، لیکن روند کلی تغییرات بارش تقریباً ثابت بوده است. همانطور که در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است، تغییرات آبدهی رابطه مستقیمی با نوسانات بارش سالیانه داشته است و آبدهی قنات



شکل ۴-۷- مقایسه ضریب چولگی آبدهی قنات‌ها در دو دوره مبنا و فعلی



شکل ۴-۸- مقایسه ضریب کشیدگی آبدهی در دو دوره مبنا و فعلی

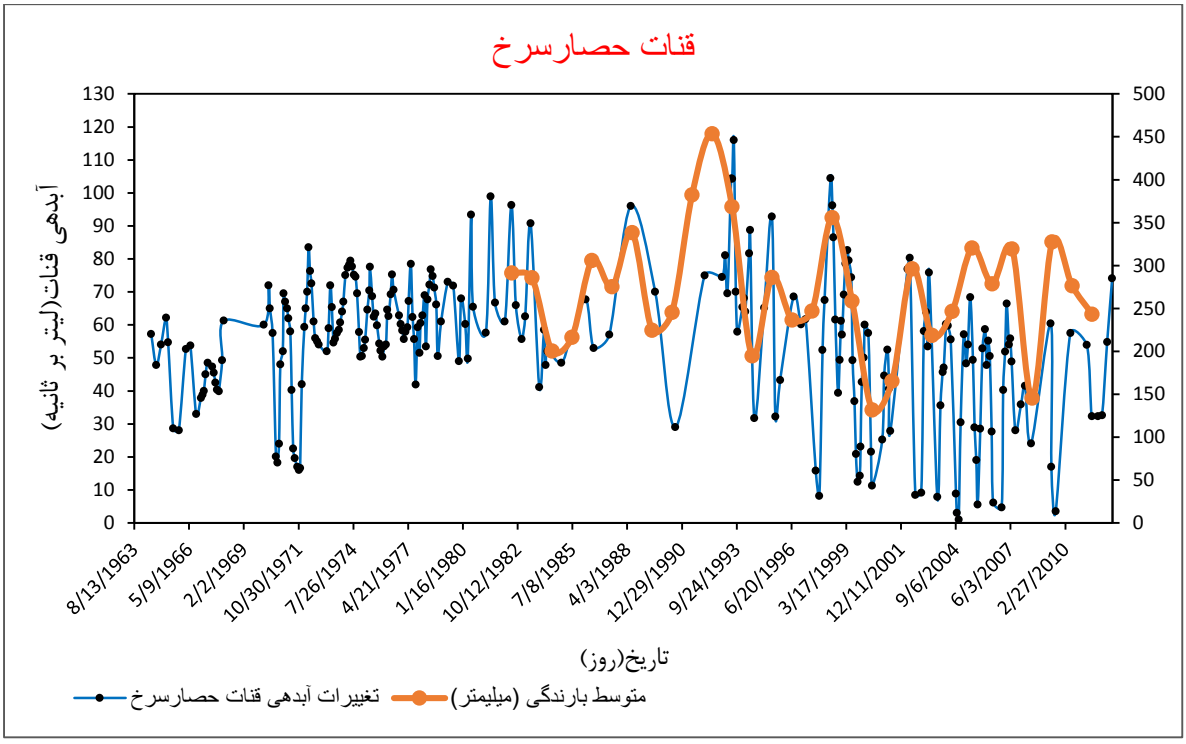


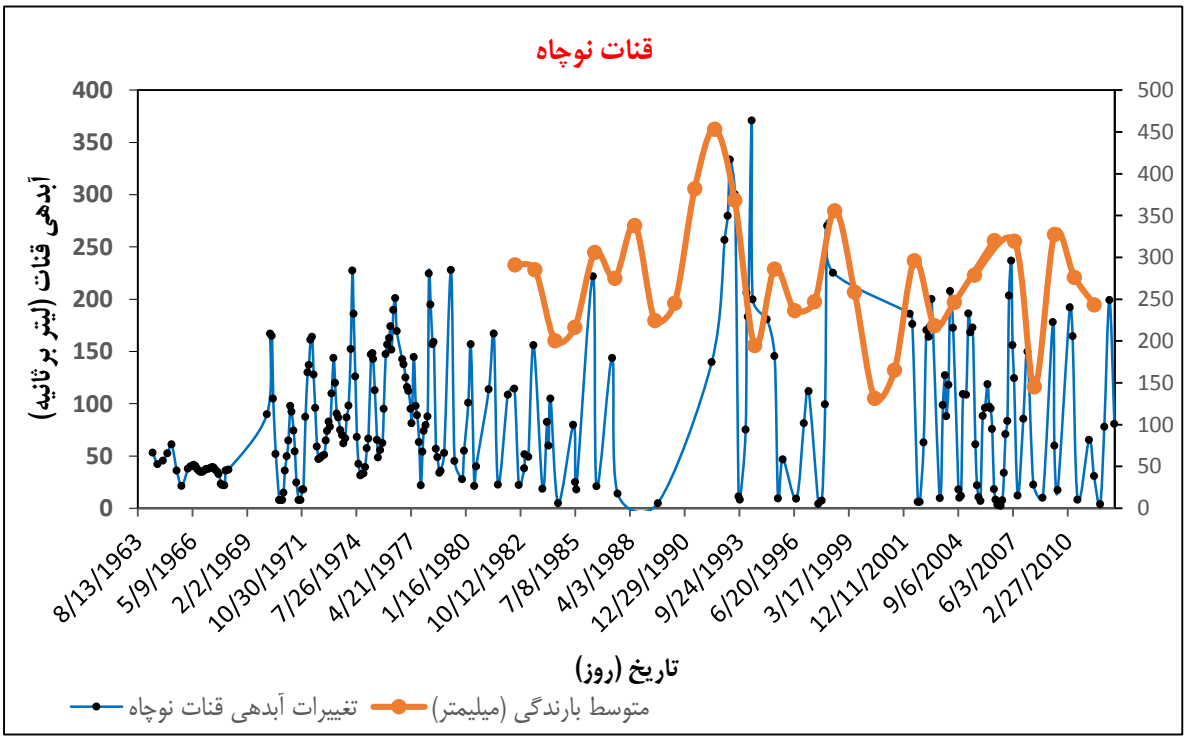
شکل ۴-۹- سری زمانی بارش در دشت مشهد در بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۳۶۱

تحت‌تاثیر افزایش یا کاهش بارندگی قرار گرفته است. این وضعیت در اغلب قنات‌ها مشاهده می‌شود. نکته قابل توجه در مقایسه سری زمانی بارش و آبدهی (شکل ۴-۱۰) عدم تاثیرپذیری زیاد آبدهی قنات‌ها از سال ۱۳۸۰ به بعد نسبت به بارش بوده است. همانطور که مشاهده می‌شود بارش در این دوره نوسان داشته، در حالیکه میانگین آبدهی قنات‌ها تقریباً ثابت بوده است.

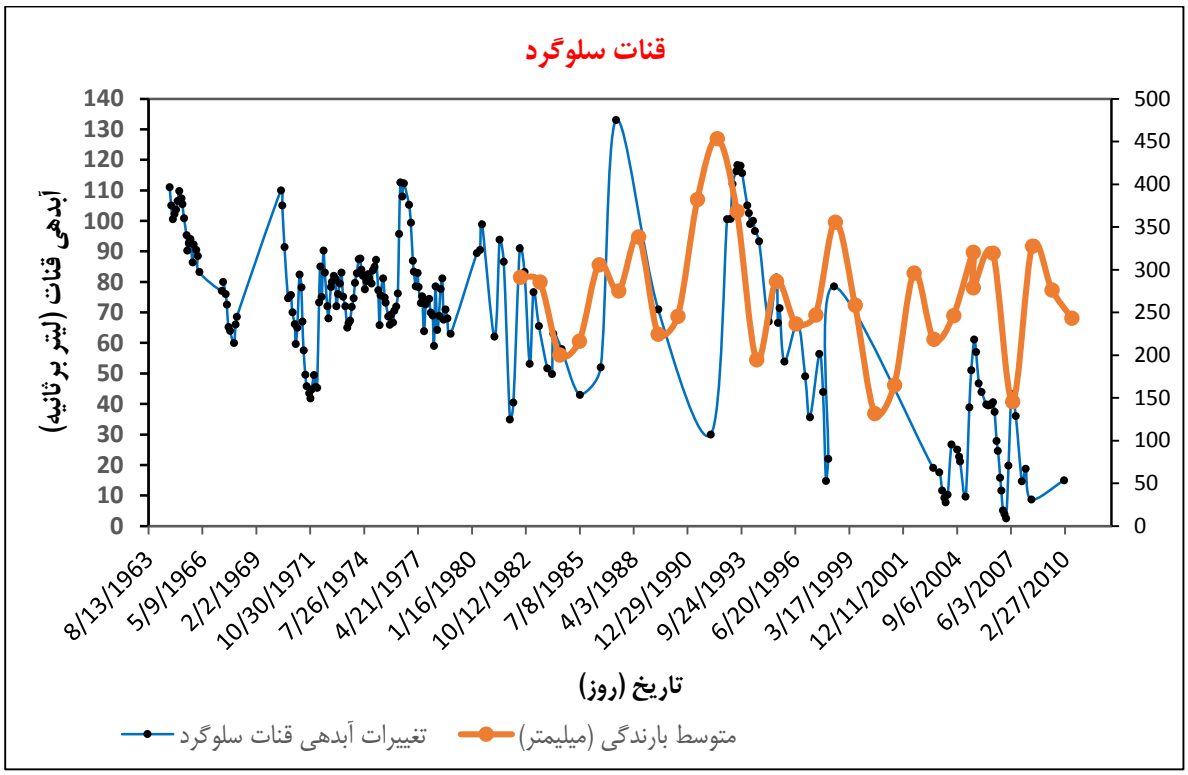
برای بررسی تاثیر بارش بر آبدهی قنات‌های انتخابی دشت مشهد-چناران میانگین آبدهی کلیه قنات‌های انتخابی در هر سال محاسبه شده و رابطه آن با بارش در شکل ۴-۱۱ ترسیم شده است.

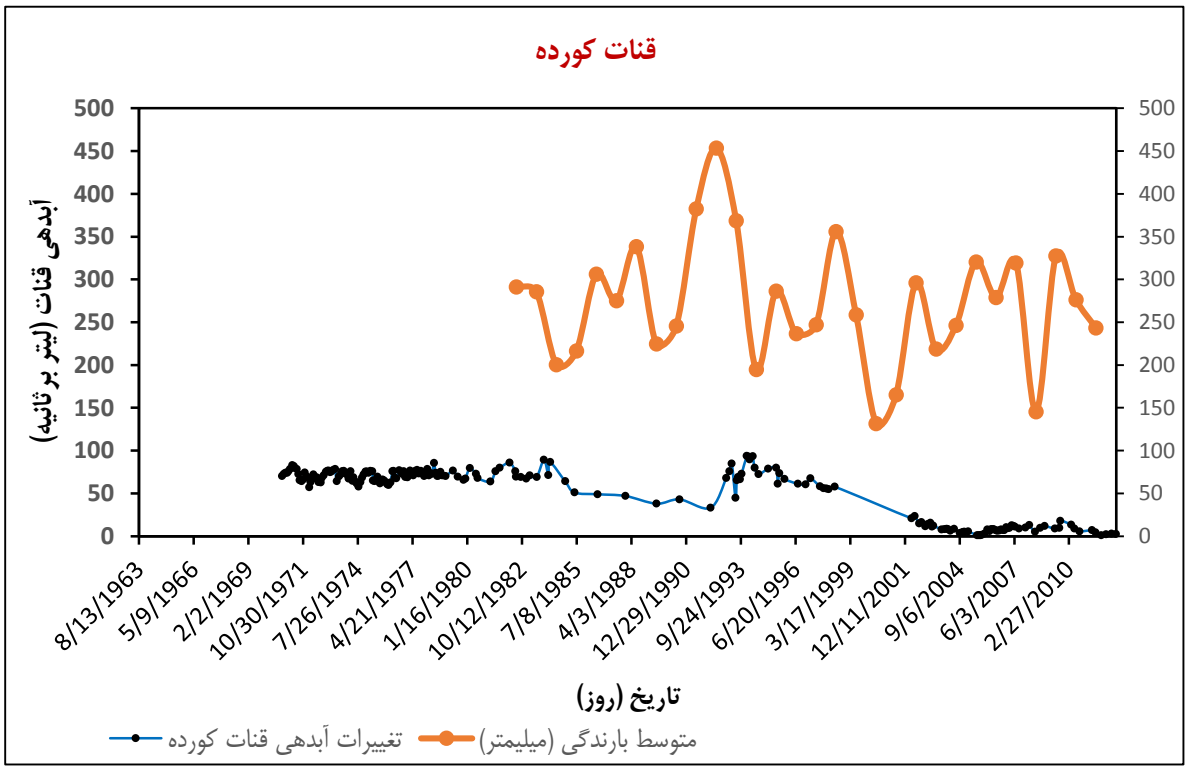
همانطور که ملاحظه می‌شود، نقاط ترسیمی از پراکندگی زیادی برخوردار می‌باشد. رابطه آبدهی و بارش از ضریب همبستگی پایینی برخوردار می‌باشد (R^2=0.19).



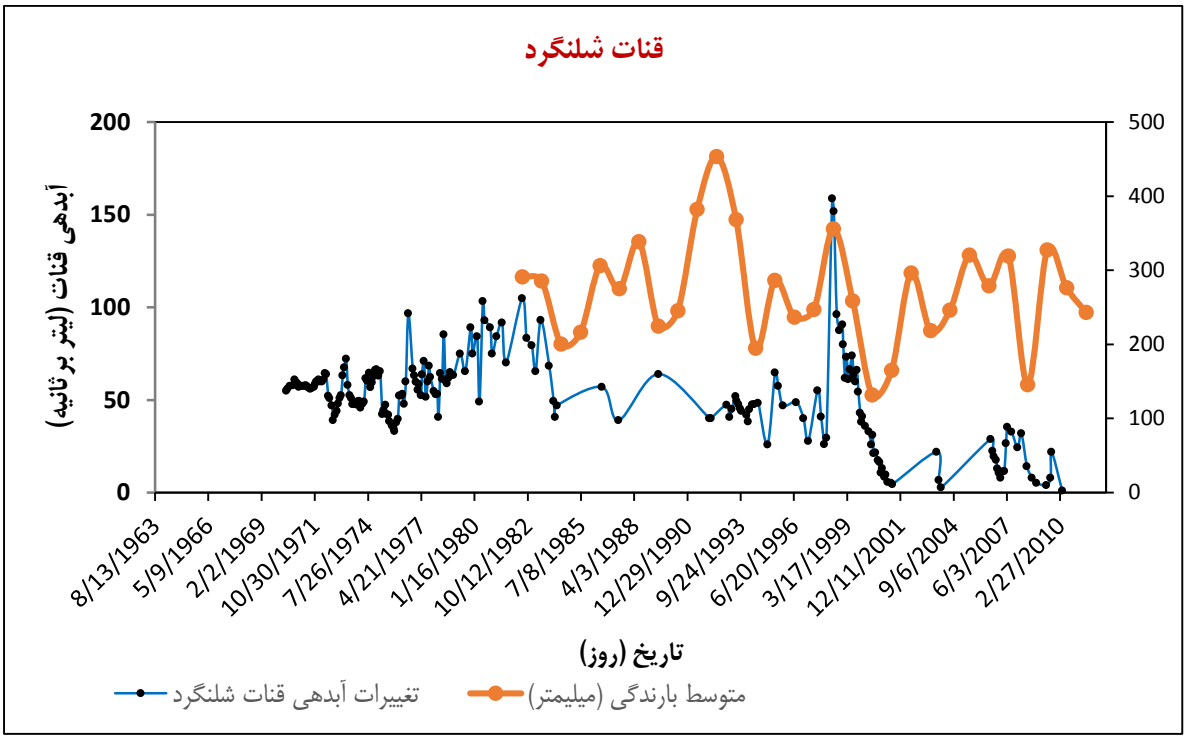


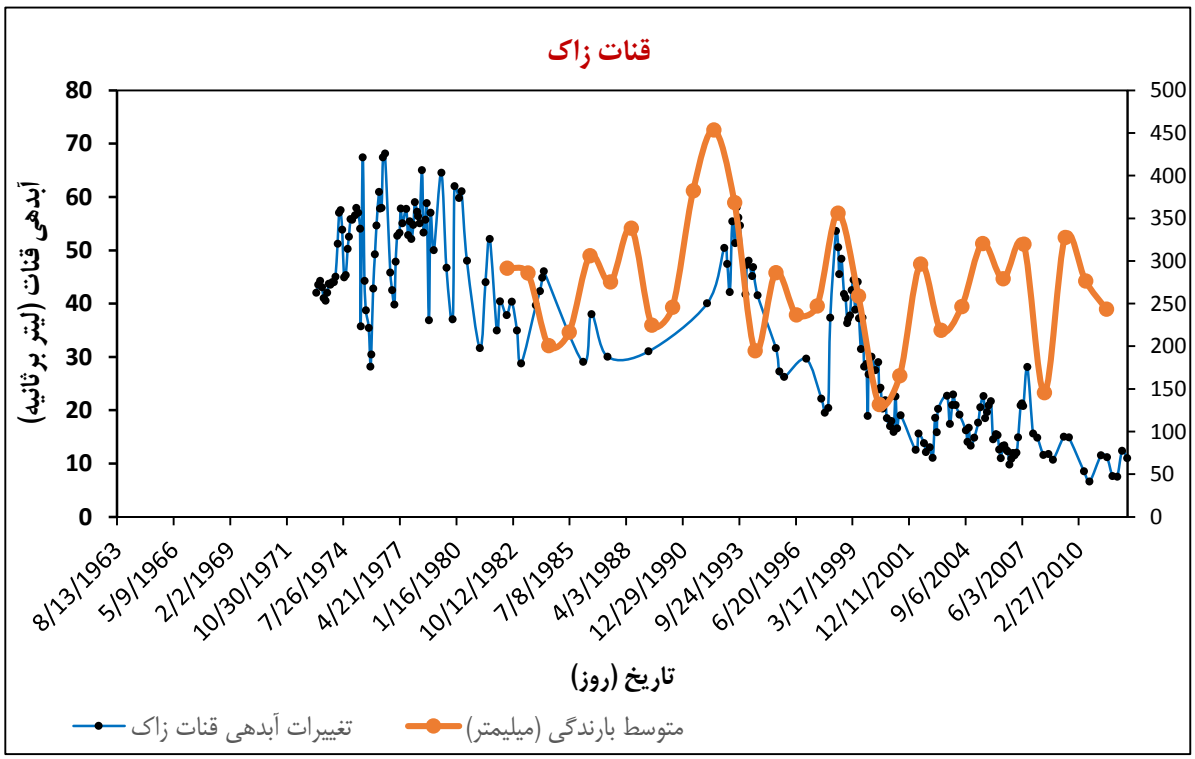
شکل ۴-۱۰- سری زمانی بارش و آبدهی قنات‌ها





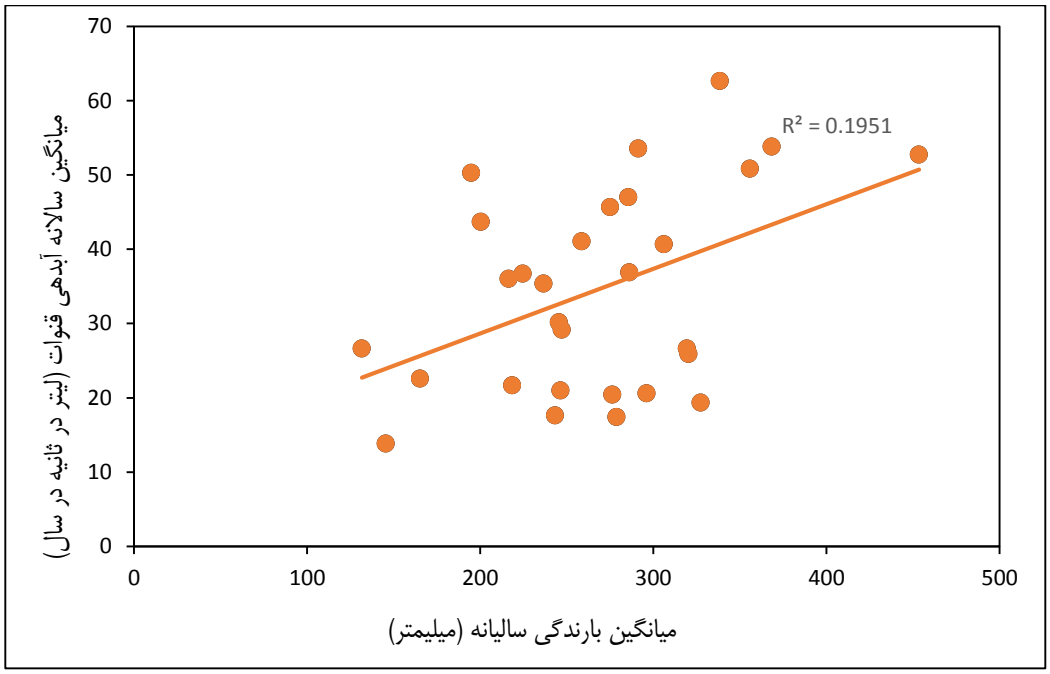
شکل ۴-۱۰- ادامه



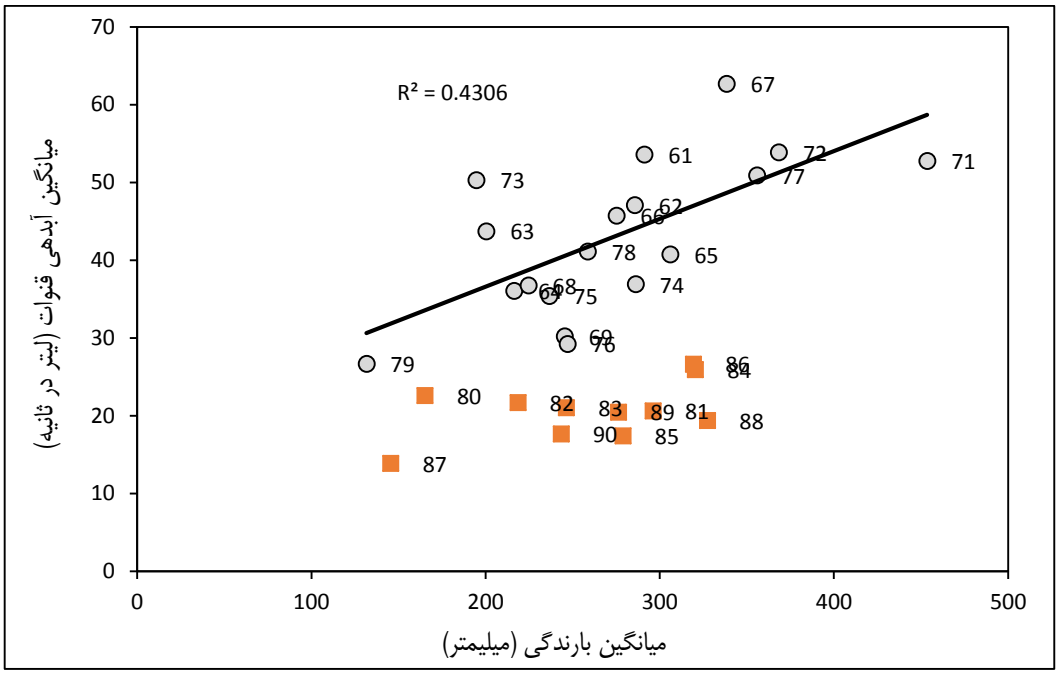


شکل ۴-۱۰- ادامه

بررسی جزئی‌تر این نمودار نشان می‌دهد، که میانگین آبدهی قنات‌ها تا قبل از سال ۱۳۸۰ رابطه بسیار خوبی با بارش داشته است، لیکن در سال‌های بعد از ۱۳۸۰ آبدهی تحت تاثیر تغییرات بارش قرار نمی‌گیرد. همانطور که دیده می‌شود، کلیه مقادیر مربوط به سال‌های ۱۳۸۰ به بعد در قسمت زیر خط برازش رابطه آبدهی و بارش قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده‌ی عدم تاثیرپذیری آبدهی قنات‌ها از بارش در این سال‌ها می‌باشد. چنانچه مقادیر سال‌های ۱۳۸۰ به بعد در ترسیم خط روند در نظر گرفته نشوند (شکل ۴-۱۲)، رابطه بسیار خوبی بین بارش و آبدهی قنات‌ها برقرار خواهد بود (R^2=0.43). این موضوع نشان می‌دهد تغییرات آبدهی قنات‌ها در سال‌های اخیر تحت‌تاثیر بارش نبوده است که این موضوع می‌تواند مرتبط با تغییرات در الگوی بارش‌ها یا سایر عوامل موثر بر آبدهی باشد که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۴-۱۱- رابطه بارش و میانگین آبدهی سالیانه قنات‌های انتخابی دشت مشهد



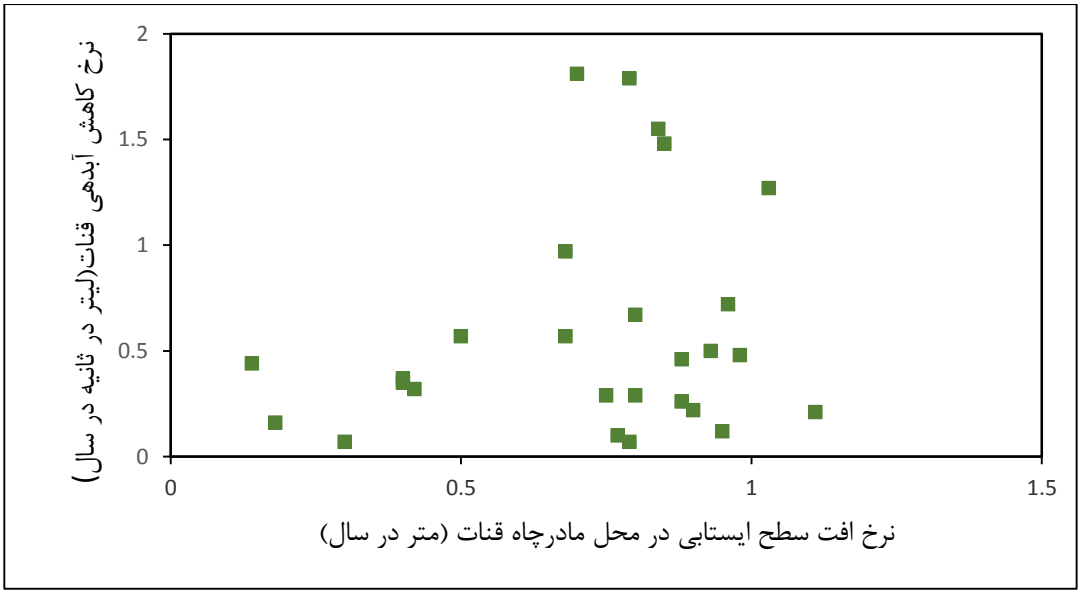
شکل ۴-۱۲- رابطه بارش و میانگین سالانه آبدهی قنات‌ها تا قبل از سال ۱۳۸۰

ب) تغییرات سطح آب زیرزمینی

تغییرات سطح آب زیرزمینی از عوامل اصلی نوسانات آبدهی قنات‌ها می‌باشد. در مناطق با افت سطح آب زیرزمینی کاهش آبدهی قنات‌ها با زمان دیده می‌شود. برای تعیین رابطه بین کاهش آبدهی قنات‌ها و افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان مشهد ابتدا نرخ افت سطح ایستابی در محل مادرچاه قنات‌های انتخابی محاسبه شده است. بدین منظور مادرچاه هر قنات بر روی نقشه هم‌افت (شکل ۴-۳) پیاده شده و پس از تعیین افت در دوره ۳۵ ساله مورد بررسی، نرخ سالیانه افت سطح ایستابی در محل هر مادرچاه تعیین شده است.

میانگین آبدهی قنات‌ها در طول دو دوره آماری نیز برای محاسبه نرخ کاهش آبدهی در دو دوره مورد بررسی مورد استفاده قرار گرفته است. رابطه نرخ افت سطح ایستابی در محل مادرچاه هر قنات و نرخ کاهش آبدهی آن در شکل ۴-۱۳ ترسیم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، نرخ کاهش آبدهی سالیانه در اغلب

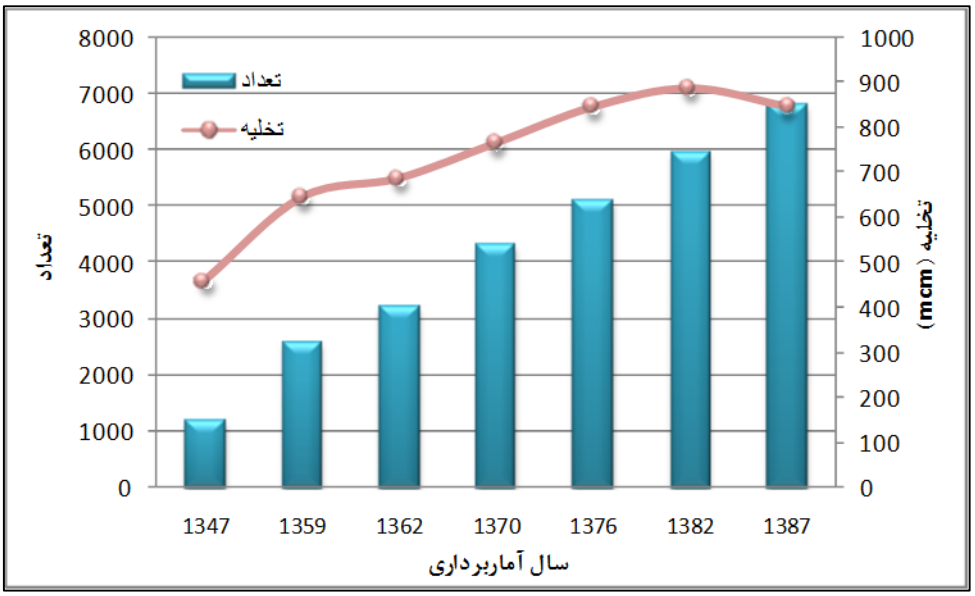
قنات‌ها کمتر از یک لیتر در ثانیه در سال می‌باشد. در مورد این قنات‌ها نرخ کاهش آبدهی رابطه معناداری با نرخ افت سطح ایستابی ندارد. بررسی موقعیت مکانی این قنات‌ها نشان‌دهنده‌ی قرارگیری آن‌ها در حاشیه شرقی و غربی آبخوان می‌باشد. به نظر می‌رسد، افت سطح ایستابی تغییرات زیادی در آبدهی این قنات‌ها ندارد. مطابق این شکل، مقادیر زیاد کاهش آبدهی سالیانه در مورد قنات‌هایی روی می‌دهد که نرخ افت سطح ایستابی در محل مادرچاه آن‌ها زیاد بوده است. بررسی موقعیت مکانی قنات‌های با نرخ کاهش آبدهی سالیانه زیاد نشان دهنده‌ی قرارگیری آن‌ها در بخش داخلی‌تر آبخوان بوده و به همین دلیل این قنات‌ها تاثیرپذیری بیشتری نسبت به افت سطح ایستابی نشان داده‌اند.



شکل ۴-۱۳- نرخ افت سطح ایستابی و کاهش آبدهی قنات‌های دشت مشهد

دلیل اصلی افت سطح ایستابی در آبخوان آبرفتی مشهد-چناران و کاهش آبدهی قنات‌های مرتبط با آن، افزایش میزان تخلیه و برداشت از منابع آب زیرزمینی بوده است. همانطور که در شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است، تعداد و تخلیه‌ی سالیانه چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان مشهد با زمان افزایش یافته که این

برداشت دلیل اصلی افت سطح آب زیرزمینی در این آبخوان و در نتیجه کاهش آبدهی قنات‌ها در بخش میانی می‌باشد.



شکل ۴-۱۴- تغییرات سالیانه تعداد و تخلیه چاه‌ها در آبخوان آبرفتی مشهد

۴-۳-۳- بررسی ارتباط تغییرات آبدهی و پارامترهای مورفولوژیکی قنات‌ها

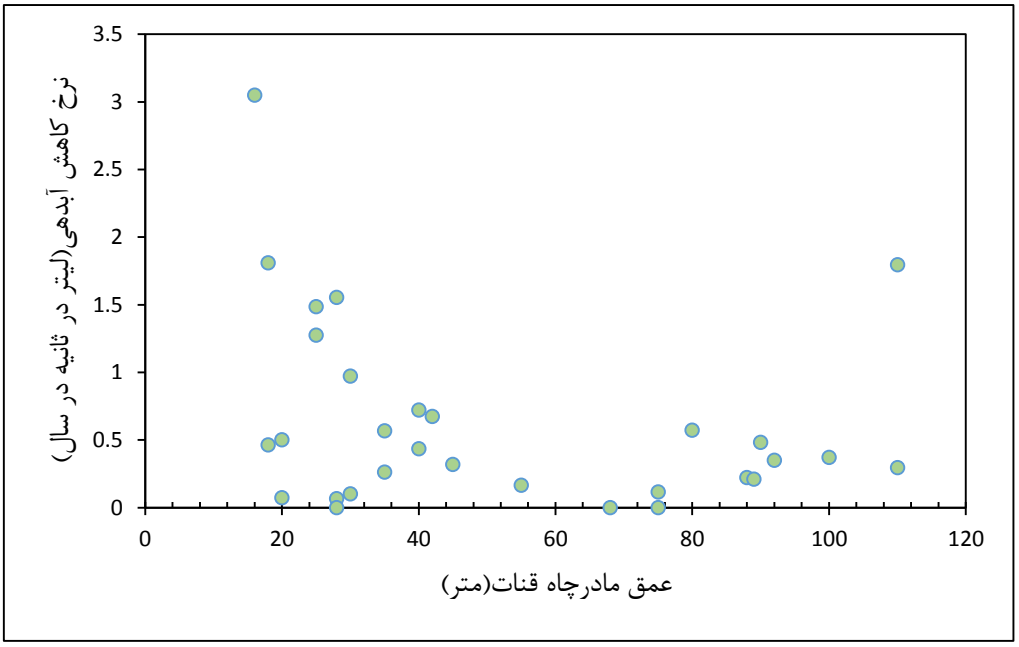
مادرچاه اغلب قنات‌ها با توجه به جهت شیب، در ارتفاعات و دامنه‌های جنوبی و شمالی دشت حفر شده‌اند. بیشترین عمق مادرچاه قنات‌ها ۱۱۵ متر (مربوط به قنات شلنگرد) و کمترین آن مربوط به قنات صرف‌آباد می‌باشد. قنات قشق‌آباد با ۱۵۰۰۰ متر طول و مرضی بالا با ۶۰۰ متر طول به ترتیب بیشترین و کم‌ترین طول رشته قنات را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین طول قسمت آبده مربوط به قنات موچنان می‌باشد. خصوصیات عمومی قنات‌های انتخابی آبخوان آبرفتی مشهد-چناران که شامل مختصات مادرچاه و مظهر قنات، طول قنات، طول قسمت آبده و عمق مادرچاه که در جدول۴-۳ ارائه شده است. رابطه بین نرخ کاهش آبدهی قنات‌ها، عمق مادرچاه، طول قنات و طول قسمت آبده به ترتیب در شکل‌های ۴-۱۵، ۴-۱۶ و ۴-۱۷ ترسیم شده است.

جدول ۴-۳- پارامترهای مورفولوژیکی قنات‌های انتخابی دشت مشهد

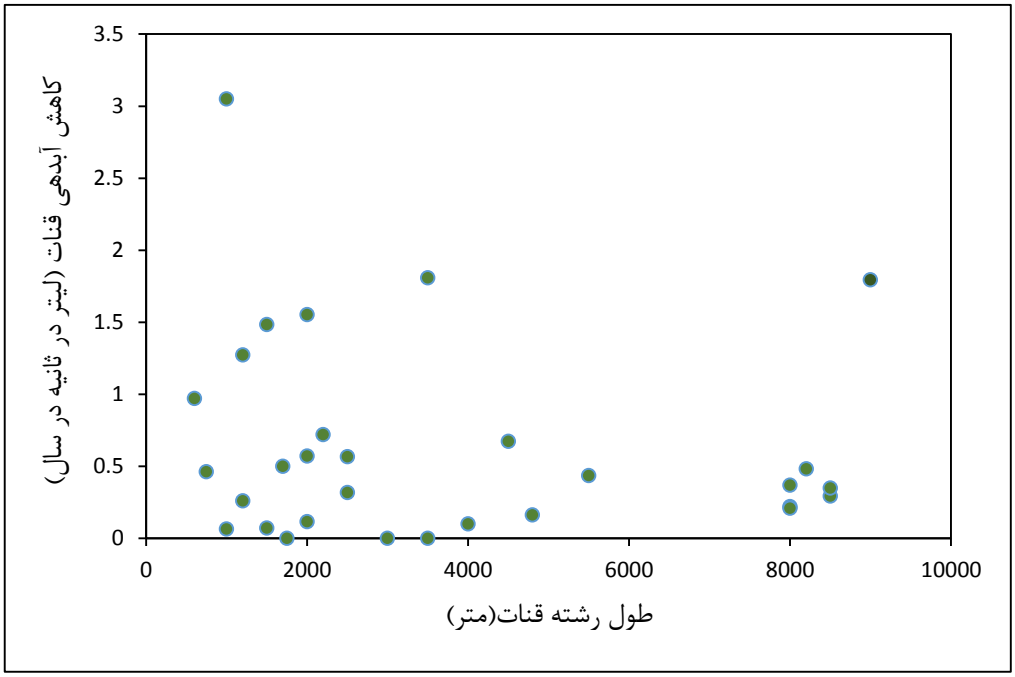
ردیف	نام قنات	مختصات مظهر قنات		مختصات مادرچاه قنات		عمق مادر چاه (متر)	طول قنات (متر)	طول قسمت آبده
		UTM-Y	UTM-X	UTM-Y	UTM-X			
۱	اسلام آباد	۴۰۹۵۰۰۸	۶۳۸۴۱۱	۴۰۹۳۴۵۰	۶۳۷۲۵۰	۴۰	۱۷۰۰	۳۰۰
۲	انداد	۴۰۶۰۴۷۵	۷۱۹۳۸۷	۴۰۶۱۲۱۳	۷۱۹۴۵۷	۲۵	۷۵۰	--
۳	آب سیاه	۴۰۸۳۰۴۱	۶۷۲۰۵۸	۴۰۸۴۲۲۲	۶۷۲۱۵۱	۲۴	۲۲۰۰	۴۰۰
۴	آلماجق	۴۰۸۹۷۷۶	۶۴۹۶۷۵	۴۰۹۱۲۱۲	۶۴۵۱۵۷	۴۰	۶۰۰۰	--
۵	چمگرد	۴۰۸۱۸۹۳	۶۶۹۴۲۷	۴۰۸۲۷۰۴	۶۶۹۷۴۱	۲۵	۱۲۰۰	۲۰۰
۶	چهارطاقی	۴۰۴۷۰۸۶	۷۰۵۵۶۶	۴۰۴۷۲۳۱	۶۹۶۸۲۸	۹۰	۸۲۰۰	۲۰۰
۷	حصار سرخ	۴۰۳۱۹۱۴	۷۰۹۸۶۰	۴۰۳۰۴۵۱	۷۰۹۱۳۲	۵۰	۱۷۰۰	۳۰۰
۸	خرم آباد	۴۰۵۳۳۶۹	۶۸۴۹۶۹	۴۰۴۹۳۰۵	۶۸۸۰۰۲	۴۲	۵۰۰۰	۲۰۰
۹	دهنو	۴۰۴۳۰۷۰	۶۹۹۶۸۳	۴۰۴۰۵۱۰	۶۹۷۷۵۰	۲۵	۳۰۰۰	۲۵۰
۱۰	دوست آباد	۴۰۹۵۲۳۴	۶۴۹۳۵۵	۴۰۹۶۷۳۰	۶۵۰۲۶۸	۷۵	۲۰۰۰	۱۰۰
۱۱	ریاض	۴۰۸۰۲۱۸	۶۷۶۷۹۷	۴۰۸۱۷۲۰	۶۷۷۲۵۰	۳۵	۳۰۰۰	۲۵۰
۱۲	زاک	۴۰۴۸۸۶۱	۷۳۱۸۶۲	۴۰۵۰۱۵۶	۷۳۲۷۰۵	۴۰	۱۵۰۰	--
۱۳	سلوگرد	۴۰۴۹۷۲۵	۶۹۹۷۸۰	۴۰۴۶۷۶۵	۶۹۳۵۰۵	۸۸	۱۵۰۰	۲۰۰
۱۴	سیدآباد	۴۰۵۸۹۸۱	۷۰۳۲۶۹	۴۰۵۹۵۹۱	۷۰۴۵۵۵	۲۱	۱۷۰۰	--
۱۵	شلنگرد	۴۰۵۴۳۶۶	۶۹۸۰۵۵	۴۰۵۰۵۵۰	۶۹۰۰۵۰	۱۱۵	۸۰۰۰	۴۰۰
۱۶	صامدی	۴۰۷۵۹۲۰	۶۸۶۹۴۰	۴۰۷۷۷۵۰	۶۸۷۵۱۵	۲۵	۱۵۰۰	۳۰۰
۱۷	صرف آباد	۴۰۴۳۷۶۱	۷۱۳۴۵۰	۴۰۴۳۱۸۹	۷۰۶۲۰۴	۹	۳۰۰۰	--
۱۸	فتح آباد	۴۰۵۰۵۸۱	۷۰۱۱۲۸	۴۰۵۰۶۰۰	۶۹۳۵۳۰	۱۱۰	۸۵۰۰	۳۰۰
۱۹	قره جفه	۴۰۹۷۳۷۵	۶۴۹۷۳۵	۴۰۹۸۹۷۰	۶۵۰۱۱۲	۷۵	۱۹۵۰	۳۰۰
۲۰	قشق آباد	۴۰۵۴۰۲۰	۶۹۶۰۰۰	۴۰۵۴۳۷۸	۶۸۸۵۸۹	۱۱۰	۱۵۰۰۰	--
۲۱	کاریزده	۴۰۴۰۰۲۹	۶۹۸۰۶۶	۴۰۳۹۱۵۲	۶۹۷۱۴۲	۱۲	۱۲۰۰	--
۲۲	کلاته خلیل‌آباد	۴۰۹۹۲۸۰	۶۴۵۷۴۴	۴۱۰۰۵۳۲	۶۴۶۵۸۸	۳۰	۱۰۰۰	۱۵۰
۲۳	کورده	۴۰۴۳۹۳۷	۷۰۸۷۶۸	۴۰۴۴۴۷۳	۶۹۹۴۸۳	۱۱۰	۹۰۰۰	۳۵۰
۲۴	مرضی بالا	۴۱۰۱۳۵۳	۶۴۴۸۵۸	۴۱۰۱۷۲۶	۶۴۵۴۰۸	۳۰	۶۰۰	۵۰۰
۲۵	معین آباد	۴۰۴۴۹۸۵	۷۳۷۲۴۰	۴۰۴۸۲۵۰	۷۳۶۹۴۰	۱۸	۳۵۰۰	۷۰۰
۲۶	موچنان	۴۰۸۶۲۷۵	۶۶۵۰۵۴	۴۰۸۷۴۰۸	۶۶۴۷۴۱	۳۵	۱۳۰۰	۱۰۰۰
۲۷	نصوح آباد	۴۰۲۲۷۷۷	۷۱۶۶۳۰	۴۰۲۱۵۰۴	۷۱۴۴۹۹	۳۰	۴۰۰۰	--
۲۸	نوچاه	۴۰۲۴۶۷۱	۷۱۷۸۴۹	۴۰۲۱۸۴۵	۷۱۶۲۷۸	۳۵	۳۵۰۰	--
۲۹	یزدان آباد	۴۰۸۴۵۶۰	۶۵۲۲۰۰	۴۰۸۴۱۵۵	۶۴۷۷۰۵	۵۵	۵۰۰۰	۸۰۰
۳۰	یساقی بالا	۴۰۹۳۱۸۴	۶۵۳۲۹۵	۴۰۹۳۹۲۰	۶۵۴۸۸۳	۴۵	۲۵۰۰	۱۰۰

رابطه نرخ کاهش آبدهی قنات با عمق مادرچاه (شکل ۴-۱۵) نشان می‌دهد، با افزایش عمق مادرچاه تا عمق ۵۰ متر، آبدهی سالیانه به شدت کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر قنات‌های با عمق مادرچاه کمتر از ۵۰ متر نرخ کاهش آبدهی در آن‌ها بسیار زیادتر بوده که این موضوع نقش تغییرات سطح آب زیرزمینی در تغییرات آبدهی قنات‌ها با عمق مادرچاه کمتر از ۵۰ متر را نشان می‌دهد.

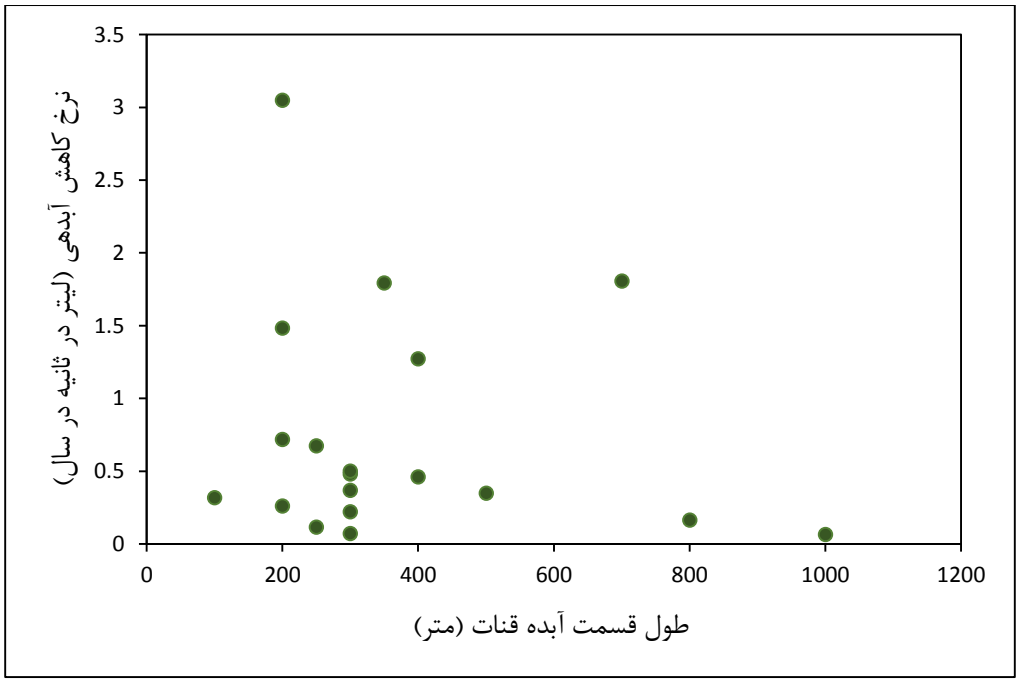
رابطه بین نرخ کاهش آبدهی با طول قنات (شکل ۴-۱۶) و طول قسمت آبده قنات (شکل ۴-۱۷) نیز نشان می‌دهد، بالاترین نرخ کاهش آبدهی در مورد قنات‌هایی روی می‌دهد طول کمتری داشته باشند. این موضوع نیز تاثیر تغییرات سطح آب زیرزمینی بر آبدهی قنات‌های با طول کمتر را تایید می‌نماید.



شکل ۴-۱۵- رابطه نرخ کاهش آبدهی سالیانه و عمق مادرچاه قنات‌ها



شکل ۴-۱۶- رابطه نرخ کاهش آبدهی سالیانه و طول رشته قنات



شکل ۴-۱۷- رابطه نرخ کاهش آبدهی سالیانه و طول قسمت آبده قنات

۴-۴- بررسی هیدروشیمی قنات‌های انتخابی دشت مشهد-چناران

نمونه‌برداری از ۲۱ قنات از ۳۰ رشته قنات انتخابی دشت مشهد در اردیبهشت ۱۳۹۶ صورت گرفت و مابقی قنات‌ها در زمان نمونه‌برداری فاقد آبدهی بودند. در این بخش به بررسی خصوصیات کیفی قنات‌های منطقه مانند تغییرات هدایت الکتریکی(EC)، pH و تغییرات غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی پرداخته می‌شود. در نهایت با ترسیم نمودارهای کیفی(استیف، پایپر، ویلکاکس) ارزیابی کیفی قنات‌ها انجام خواهد شد.

۴-۴-۱- هدایت الکتریکی و pH قنات‌ها

هدایت الکتریکی از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین خصوصیت هیدروژئوشیمی آب است. این پارامتر با کل املاح محلول آب رابطه مستقیم دارد. نقشه تغییرات مکانی هدایت الکتریکی قنات‌های مورد مطالعه در شکل ۴-۱۸ ترسیم شده است. مقادیر هدایت الکتریکی قنات‌ها از ۲۶۰ تا ۲۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر بوده و میانگین آن ۸۱۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. کمترین مقادیر هدایت الکتریکی قنات‌ها در بخش غربی آبخوان (قنات‌های واقع در مخروط‌افکنه‌ی اخلمد) دیده می‌شود که این مرتبط با تغذیه آبخوان از واحدهای آهکی موجود در این منطقه می‌باشد.

مقدار pH آب به عوامل مختلفی از قبیل میزان دی‌اکسیدکربن محلول در آب، مقدار آنیون‌های بی‌کربنات و کربنات و همچنین درجه حرارت آب بستگی دارد. هرچه میزان دی‌اکسیدکربن آب افزایش یابد، مقدار pH آب کمتر می‌شود. با افزایش مقدار یون‌های بی‌کربنات و کربنات در آب میزان pH نیز افزایش می‌یابد. افزایش درجه حرارت نیز باعث کاهش pH می‌شود. حداقل و حداکثر میزان pH به ترتیب مربوط به قنات حصارسرخ با ۷/۱۴ و قنات یساقی با ۸/۱۵ است. چون محدوده تغییرات pH بین ۷ الی ۸ می‌باشد، بنابراین قنات‌های منطقه در محدوده آب‌های خنثی تا اندکی قلیایی می‌باشند. با توجه به اینکه در منطقه مورد

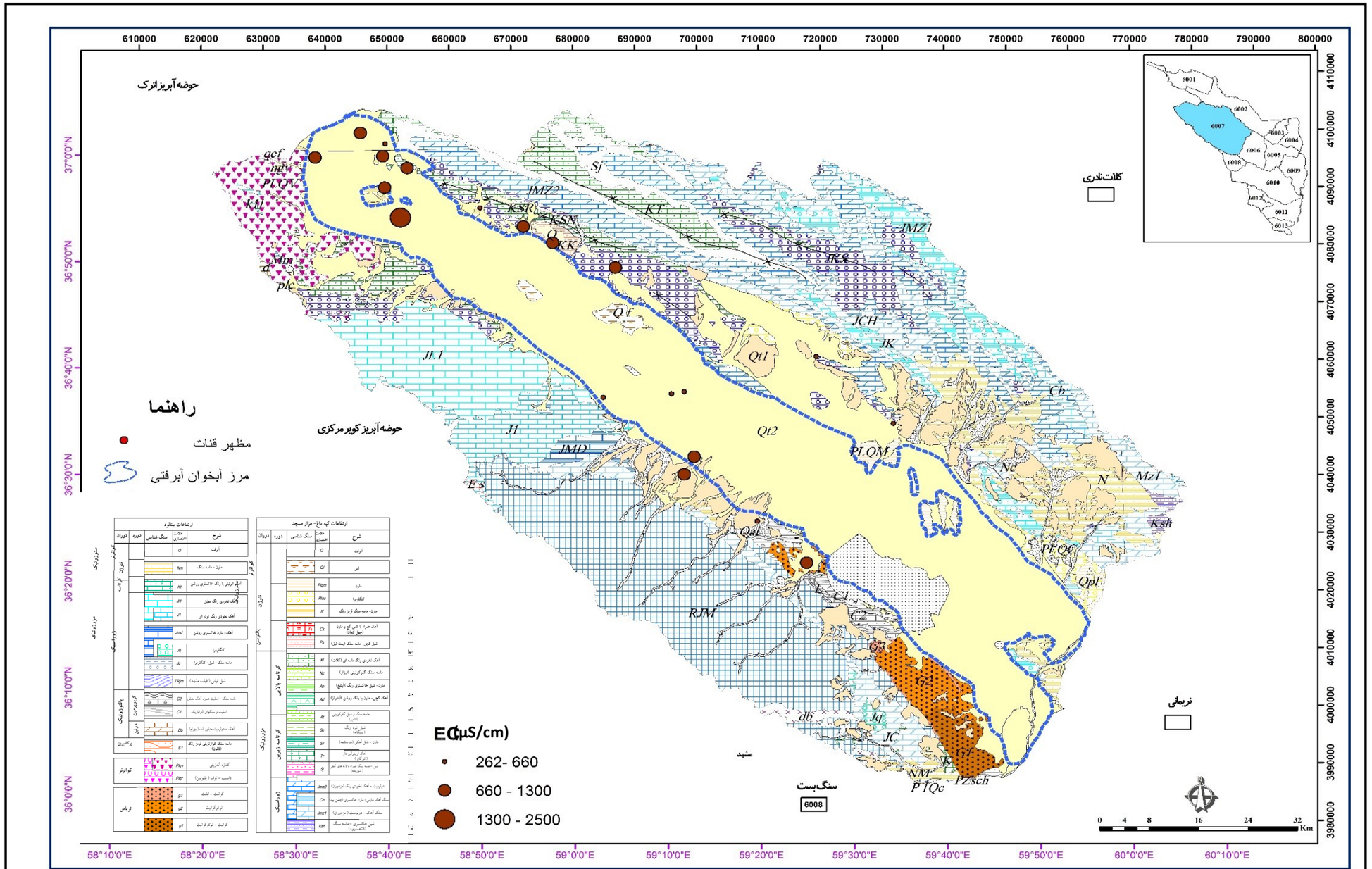
مطالعه عمدتاً سازندهای کربناته حضور دارند، مقدار pH تغییرات زیادی نشان نمی‌دهد و در محدوده‌ی آب‌های زیرزمینی طبیعی قرار گرفته است.

۴-۴-۲- بررسی غلظت یون‌های اصلی در آب قنات‌های انتخابی مشهد-چناران

جدول ۴-۳ غلظت یون‌های اصلی در قنات‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. جهت تفسیر و مقایسه‌ی غلظت یون‌ها و گروه‌بندی قنات‌ها، از دیاگرام‌های شولر، پایپر و استیف استفاده شده است.

شولر

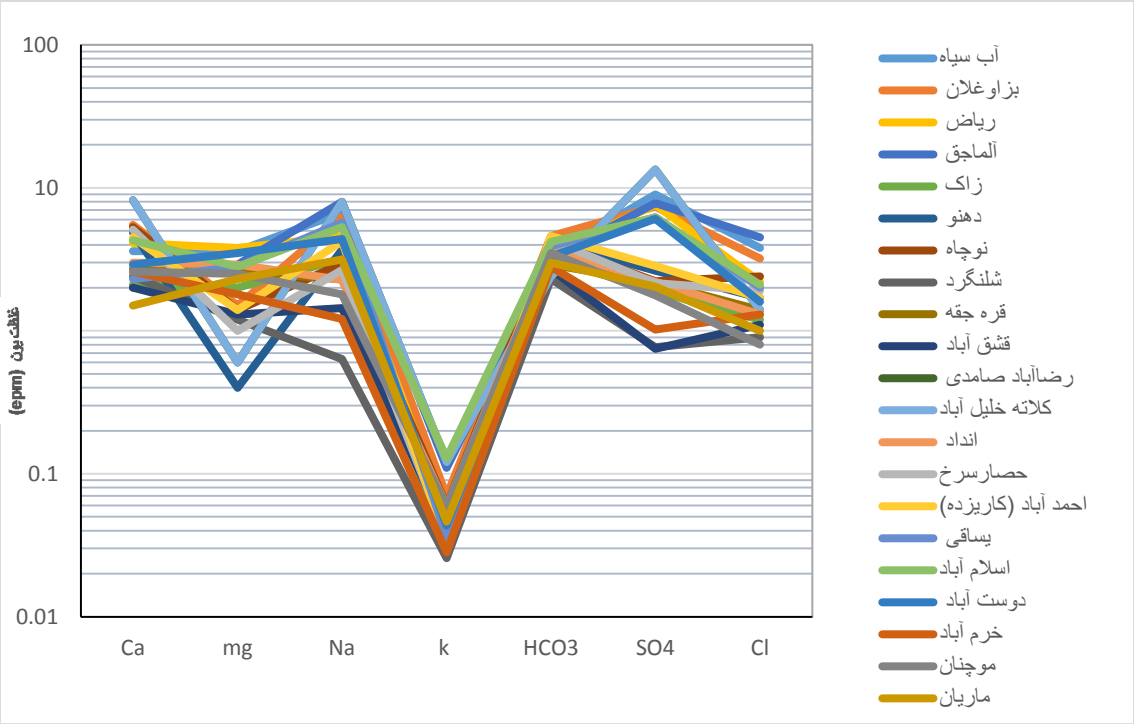
نمودار نیمه لگاریتمی شولر جهت دسته‌بندی قنات‌ها در شکل ۴-۱۹ ترسیم شده است. بارتوجه به این دیاگرام روند تغییرات غلظت یون‌های اصلی در تمامی قنات‌های انتخابی یکسان بوده که نشانگر یکسان بودن منشاء اولیه‌ی آب قنات‌ها و جنس ذرات تشکیل‌دهنده سفره آب زیرزمینی می‌باشد. یون سولفات در بین آنیون‌ها و کلسیم در بین کاتیون‌ها غالب می‌باشد.



شکل ۴-۱۸- تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در قنات‌های دشت مشهد

جدول ۴-۴- غلظت آنیون و کاتیون‌های اصلی(epm)

نام قنات	EC	pH	غلظت آنیون و کاتیون اصلی(میلی‌اکی‌والان بر لیتر)							%ERORR	SAR
			Na^{+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	HCO_3^{-}	Cl^{-}	SO_4^{2-}		
یزدان آباد	۲۵۰۰	۷/۳	۲۵/۰۰	۵/۷	۳/۳	۰/۱۸	۴/۱	۱۴	۱۶/۱۴	۰/۰۹	۱۶/۶
ریاض	۹۲۸	۷/۴	۴/۵۸	۴/۱	۳/۸	۰/۰۵	۳/۵	۲/۲	۷/۶۲	۳/۰۵	۳/۲
آلماجق	۱۱۵۰	۷/۹	۸/۰۰	۲/۰۰	۲/۹	۰/۱۱	۳/۲	۴/۵	۷/۸	۸/۷۵	۷/۲
زاک	۴۸۸	۷/۷	۳/۱۹	۲/۱	۲	۰/۰۳	۳/۲	۱/۲	۱/۸۹	۷/۵۴	۳/۱
دهنو	۷۴۵	۷/۶	۳/۶۸	۴/۹	۰/۴	۰/۰۵	۴/۲	۱/۷	۲/۶۴	۲/۸۱	۳/۲
نوچاه	۷۳۵	۷/۳	۲/۹۵	۵/۳	۱/۴	۰/۰۶	۴/۱	۲/۴	۲/۲۲	۵/۳۶	۲/۳
شلنگرد	۲۷۱	۷/۶	۰/۶۳	۲/۴	۱/۲	۰/۰۳	۲/۳	۰/۹	۰/۷۷	۳/۵۳	۰/۶
قره‌جقه	۵۷۷	۸/۱	۲/۲۹	۲/۷	۲/۶	۰/۰۵	۲/۹	۱/۴	۲/۱۸	۸/۱۹	۱/۹
قشق‌آباد	۲۶۲	۷/۶	۱/۴۴	۲	۱/۳	۰/۰۴	۲/۷	۱/۱	۰/۷۵	۲/۵۱	۱/۶
رضاآبادصامدی	۱۰۵۰	۷/۷	۸	۸/۲	۰/۶	۰/۱۲	۲/۴	۱/۴	۱۳/۴۵	۰/۹۶	۵/۵
خلیل‌آباد	۹۰۳	۷/۸	۳/۳۴	۵/۴	۳/۷	۰/۰۶	۳	۱/۴	۹/۰۴	۳/۶۴	۲/۲
انداد	۵۷۸	۷/۴	۲/۲۷	۳	۲/۹	۰/۰۶	۳/۷	۱/۳	۲/۲	۶/۶۷	۱/۸
حصارسرخ	۶۶۰	۷/۱	۲/۶۶	۵/۱	۱	۰/۰۴	۴/۳	۱/۹	۲/۱۶	۲.۵۵	۲/۲
احمدآباد	۸۰۰	۷/۴	۴/۲۳	۴/۵	۱/۴	۰/۰۳	۴/۶	۱/۷	۲/۸۵	۵/۲۵	۳/۵
یساقی	۸۱۹	۸/۱	۵/۷	۲/۳	۲/۸	۰/۰۴	۳/۹	۲	۶/۲۲	۵/۵۷	۵/۱
اسلام آباد	۹۳۴	۷/۹	۵/۳۱	۴/۳	۲/۸	۰/۱۳	۴/۲	۲/۱	۶/۲۱	۰/۱۱	۴/۰
دوست آباد	۷۱۰	۷/۹	۴/۳۸	۲/۹	۳/۵	۰/۰۴	۳/۳	۱/۶	۶/۰۶	۰/۶۱	۳/۵
خرم آباد	۳۴۲	۷/۳	۱/۲۱	۲/۶	۱/۸	۰/۰۳	۲/۸	۱/۳	۱/۰۲	۴/۸۱	۱/۲
موچنان	۴۶۰	۷/۸	۱/۸۰	۲/۶	۲/۵	۰/۰۶	۳/۵	۰/۸	۱/۷۷	۶/۸۲	۱/۶
آب سیاه	۱۱۴۴	۷/۷	۶/۲۵	۵/۵	۱/۵	۰/۰۷	۴/۶	۳/۲	۷/۳۹	۷/۳۲	۵/۱

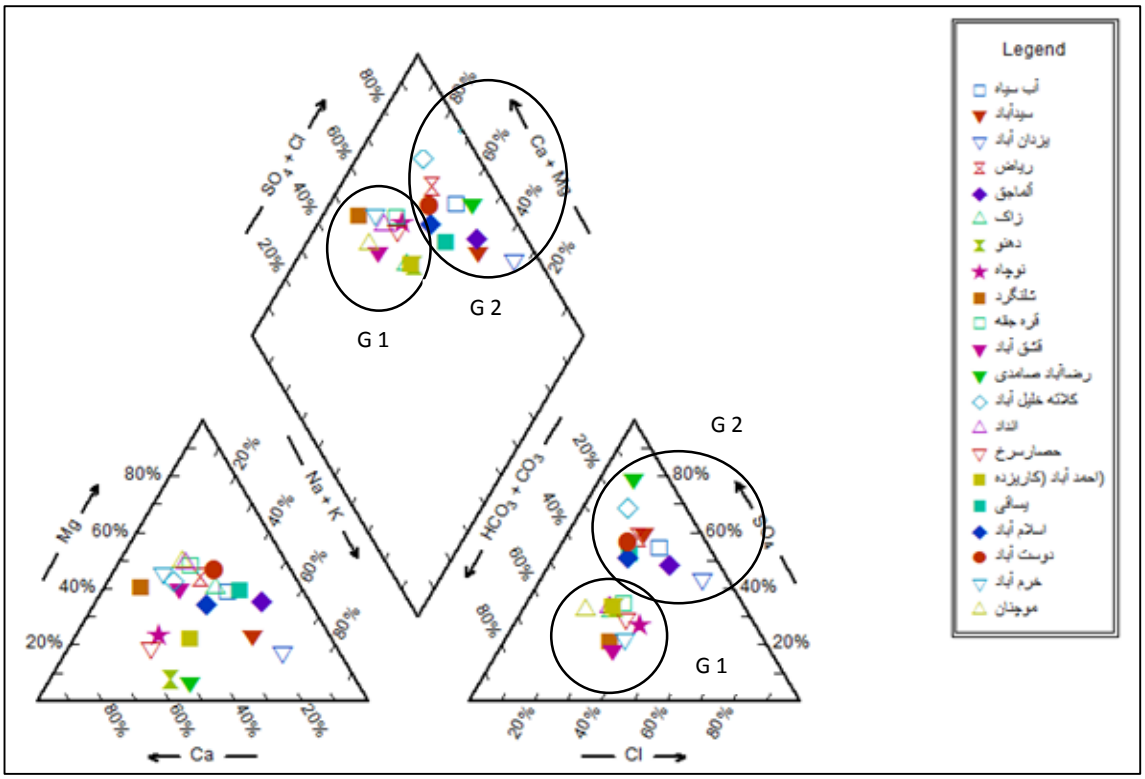


شکل ۴-۱۹- نمودار شولر مربوط به نمونه آب قنات‌های انتخابی دشت مشهد

ب) پایپر

نمودار پایپر جهت گروه‌بندی و تعیین رخساره‌های ژئوشیمیایی و زون‌های غالب یونی و تعیین تیپ آب به کار می‌رود. با توجه به این نمودار منابع آبی که منشاء یکسان دارند به صورت گروهی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. شکل ۴-۲۰، نمودار پایپر مربوط به قنات‌های انتخابی دشت مشهد را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار، کلیه یون‌ها در مثلث کاتیونی دارای غلظت‌های تقریباً یکسان بوده و زون غالب کاتیونی مشاهده نمی‌شود. ولی با توجه به غلظت آنیون‌ها دو گروه عمده را می‌توان از یکدیگر تفکیک کرد. گروه یک (G1)، شامل قنات‌های انداد، نوچاه، دهنو، خرم‌آباد، قشق‌آباد، شلنگرد، حصارسرخ، قره‌جقه، احمدآباد(کاریزده)، موچنان و زاک می‌باشد که دارای یون غالب عمدتاً بی‌کربناته هستند و این قنات‌ها با تیپ بی‌کربناته کلسیک و بی‌کربناته منیزیک در غرب و در حاشیه‌ی آبخوان قرار گرفته‌اند. گروه دوم (G2) شامل قنات‌های یزدان‌آباد، آلماجق، اسلام‌آباد، آب سیاه، دوست آباد، کلاته خلیل‌آباد،

یساقی، سیدآباد، ریاض، و رضا آبادصامدی می‌باشد. این گروه نسبت به گروه اول از هدایت الکتریکی بیشتری برخوردار بوده که علت آن افزایش مقدار سولفات در آب می‌باشد. قنات‌های گروه دوم در قسمت‌های شرقی و شمال شرق آبخوان قرار گرفته‌اند. افزایش سولفات در قنات‌های این گروه مرتبط با زمین‌شناسی محل قرارگیری آن‌ها می‌باشد.



شکل ۴-۲۰- نمودار پایپر آب قنات‌ها در منطقه مورد مطالعه

ج) استیف

نمودار استیف، روش مناسبی برای مقایسه نمونه‌ها می‌باشد. نمودار استیف از چهار محور افقی موازی تشکیل شده است که یک محور با مقدار صفر آن‌ها را قطع می‌کند. مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر هستند و سطح این نمودار نشان دهنده مقدار کل مواد جامد محلول می‌باشد (Hounslow 1995). نمودار استیف آب قنات‌های منطقه مورد مطالعه، با استفاده از نرم افزار

AqQA رسم شده است. برای قنات‌های با تیپ آنیونی سولفاته و کربناته به صورت مجزا ترسیم گردید (شکل ۴-۲۲ و شکل ۴-۲۳). تشابه دیاگرام استیف در هر یک از گروه‌های مورد بررسی نشان دهنده‌ی ترکیب شیمیایی یکسان قنات‌ها بوده که با توجه به موقعیت آن‌ها قابل توجیه می‌باشد.

۴-۴-۳- ارزیابی کیفی قنات‌های دشت مشهد به لحاظ مصرف آب

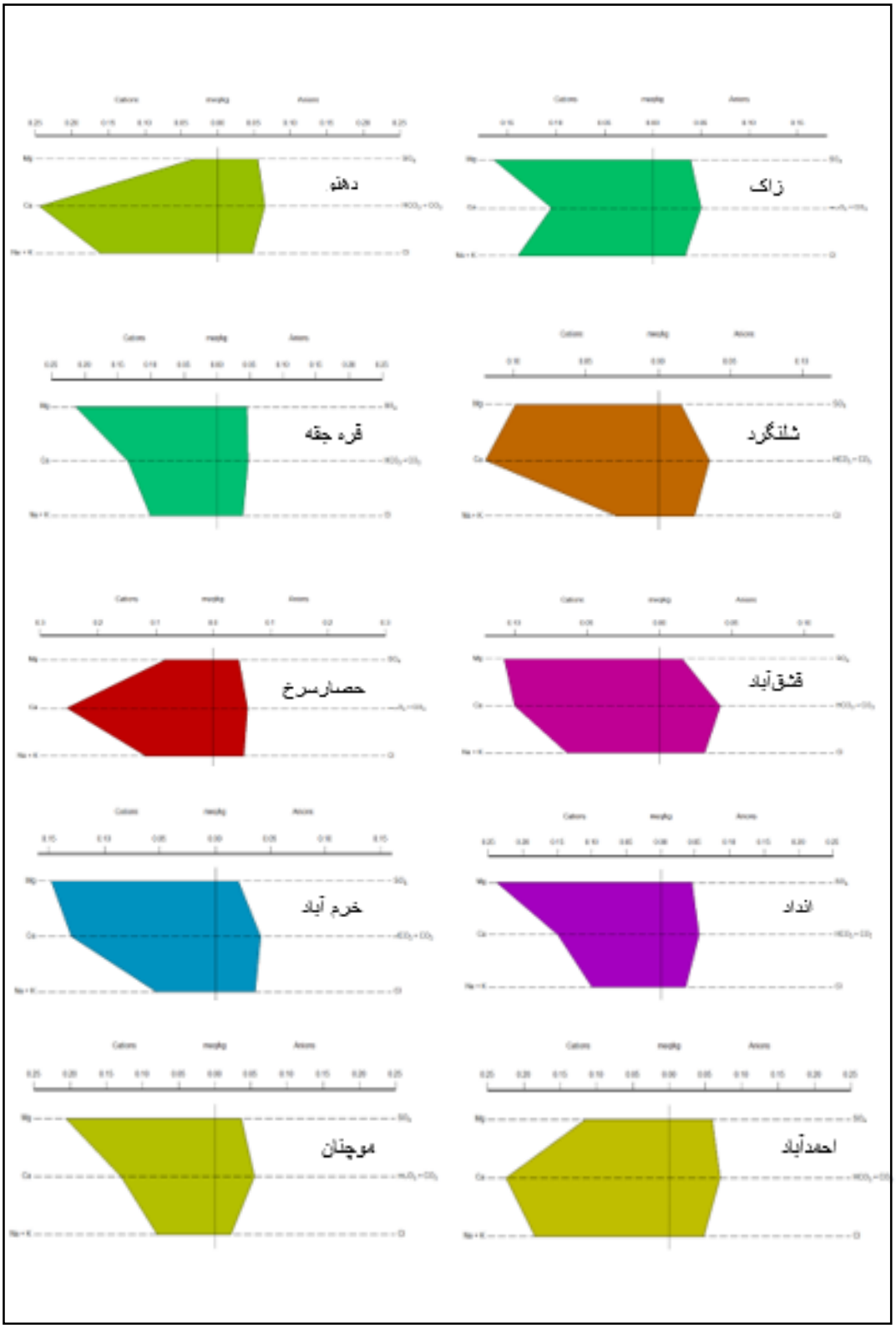
الف) سختی آب

سختی آب به غلظت کلسیم و منیزیم وابسته می‌باشد و به صورت میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم بیان می‌شود. سختی آب به دو گروه سختی کربناته (موقت) و سختی غیر کربناته (دائم). سختی کربناته تقسیم می‌شود. به آن قسمت از کلسیم و منیزیم گفته می‌شود که با آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات ترکیب می‌شوند. سختی غیر کربناته به آن قسمت از یون‌های کلسیم و منیزیم گفته می‌شود که با آنیون‌های غیر از کربنات و بی‌کربنات همچون کلر و سولفات در محلول به تعادل رسیده است. معمولا ً در مطالعه سختی آب این دو نوع سختی از یکدیگر تفکیک نشده و به صورت مجموع محاسبه شده و از آن‌ها به عنوان سختی کل یاد می‌شود.

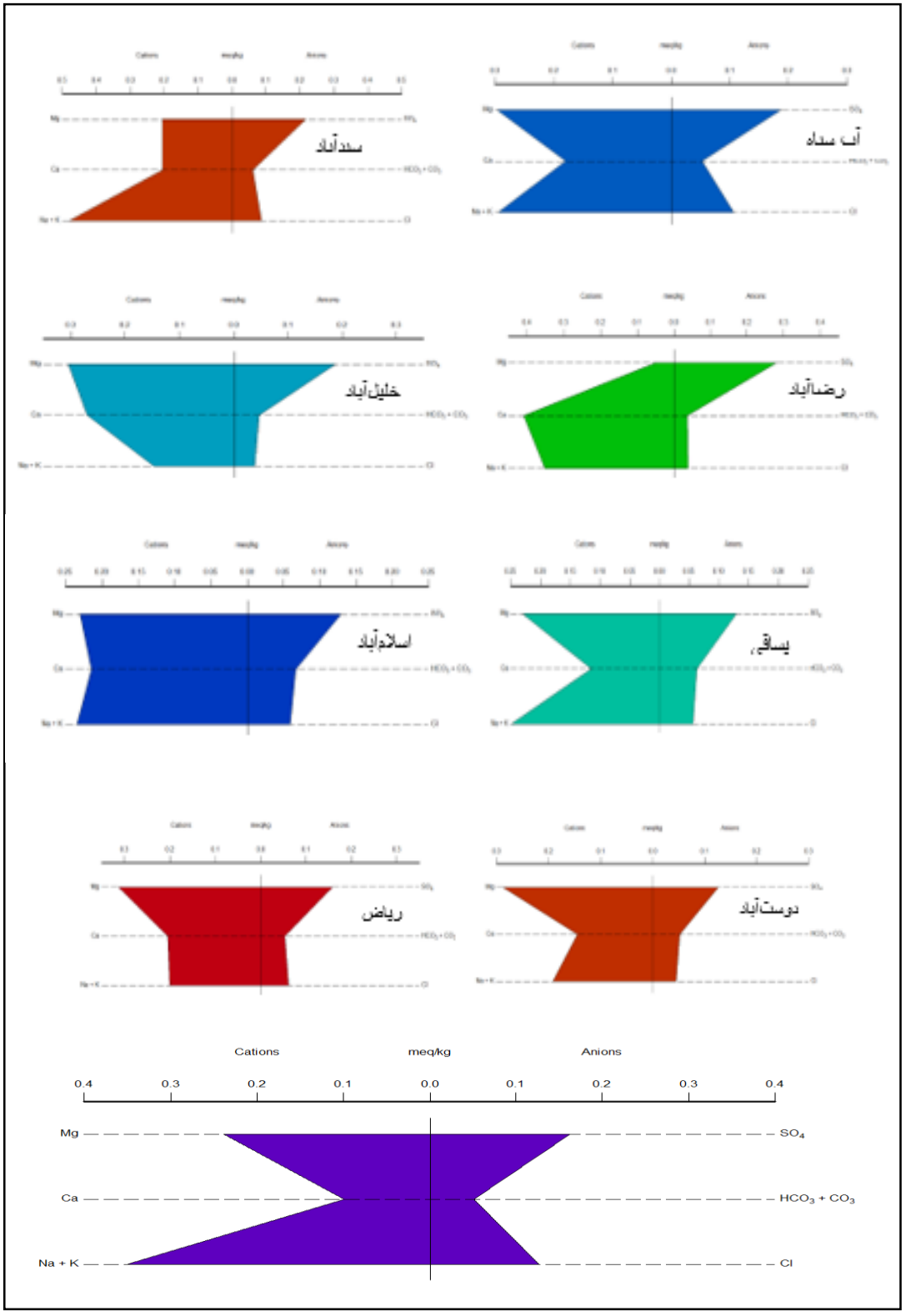
برای محاسبه‌ی سختی (TH) از معادله‌ی زیر استفاده می‌شود.

$$TH = ۲.۵\ Ca + ۴.۱\ Mg$$ (معادله ۴-۱)

سختی قنات‌های منطقه از ۱۶۵ تا ۴۶۵ میلی‌گرم بر لیتر متفاوت است. برای تعیین نوع آب بر اساس سختی از طبقه‌بندی رایج (Todd and Mays 2005) استفاده می‌شود. بر اساس این طبقه‌بندی آب‌ها بر اساس سختی کل به ۴ گروه نرم، نسبتا سخت، سخت و خیلی سخت تقسیم می‌شوند.



شکل ۴-۲۱- نمودار استیف قنات‌های گروه اول دشت مشهد (تیپ آنیونی بی کربناته)



شکل ۴-۲۲- نمودار استیف قنات‌های دشت مشهد گروه دوم (تیپ آنیونی سولفاته)

بر اساس جدول قان‌های آلماجق، زاک، دهنو، شلنگرد، قره‌جقه، قشق‌آباد، انداد، احمدآباد، یساقی، خرم‌آباد موچنان در ردیف آب‌های سخت قرار می‌گیرند. قنان‌های آب سیاه، یزدان‌آباد، ریاض، نوچاه، رضاآباد، کلاته‌خلیل‌آباد، حصارسرخ، اسلام‌آباد و دوست‌آباد در ردیف آب‌های خیلی سخت قرار دارند.

جدول ۴-۵- طبقه‌بندی آب بر اساس سختی (Todd and Mays 2005)

سختی (میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم)	طبقه‌بندی
۰-۷۵	نرم
۷۵-۱۵۰	نسبتاً نرم
۱۵۰-۳۰۰	سخت
۳۰۰<	خیلی سخت

ب) نسبت جذبی سدیم

سدیم یکی از یون‌هایی است که به لحاظ کیفیت آب آبیاری بسیار حائز اهمیت است. از دیگر معیارهای بررسی میزان سدیم آب نسبت جذبی سدیم (SAR) می‌باشد. این پارامتر طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$SAR = \frac{\mathrm{Na}}{\frac{\sqrt{Ca + Mg}}{2}}$$ (معادله ۴-۲)

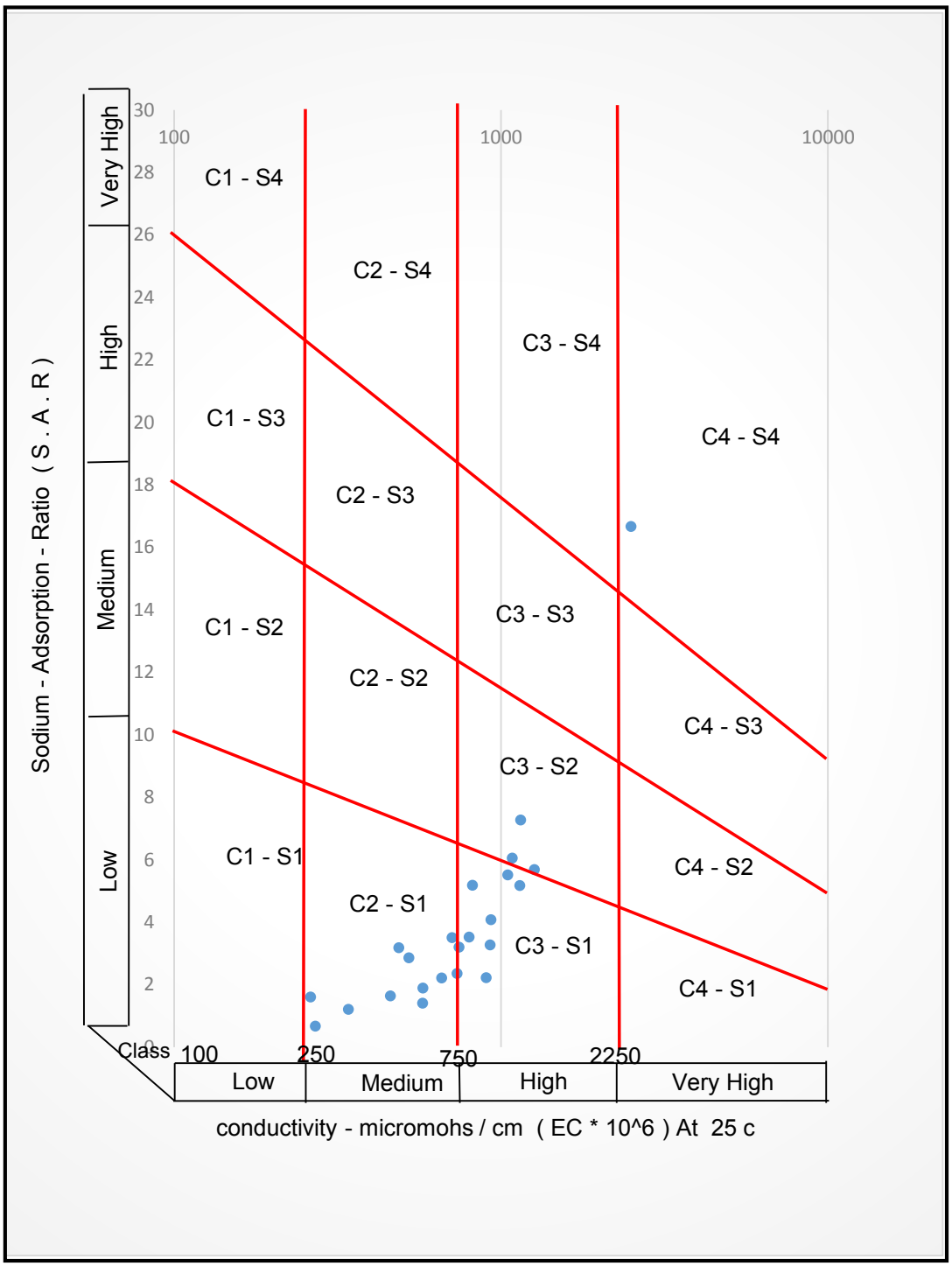
کلیه مقادیر کاتیون‌ها در معادله فوق بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر می‌باشد. بر اساس معادله فوق و طبق جدول ۴-۳ میزان جذب سدیم در همه‌ی قنات‌ها به لحاظ کیفیت برای مصارف کشاورزی مناسب هستند.

مهم‌ترین معیار طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی شوری و مقدار سدیم موجود در آن می‌باشد. زیرا این دو نه تنها بر رشد گیاه موثر است بلکه درجه تناسب آن را از نظر آبیاری و تاثیر آن بر نفوذپذیری خاک

مشخص می‌سازند. در شکل ۴-۲۳ نمودار ویلکاکس ترسیم شده برای نمونه آب قنات‌های دشت مشهد نشان داده شده است. در این نمودار آب آبیاری بر اساس دو معیار SAR (درصد جذب سدیم) و هدایت الکتریکی ویژه به ۱۶ رده مطابق جدول ۴-۵ تقسیم می‌شود. مطابق نمودار ویلکاکس قنات‌یزدان‌آباد در محدوده‌ی C_4 S4، قنات‌های سیدآباد، بزاوغلان و آلماجق در محدوده‌ی C_3 S_2، شلنگرد، قشق‌آباد، خرم‌آباد، موچنان، قره‌جقه، انداد، ماریان، زاک، حصارسرخ، دوست‌آباد و دهنو در محدوده C_2 S_1 و قنات‌های احمدآباد، کلاته خلیل‌آباد، اسلام‌آباد، ریاض، آب‌سیاه، یساقی و رضاآباد صامدی در محدوده‌ی C_3 S_1 قرار گرفته‌اند. قنات‌های انتخابی در رده‌ی آب‌های کمی‌شور تا شور قرار می‌گیرند.

جدول ۴-۶- کیفیت آب کشاورزی بر مبنای پارامترهای سدیم و شوری (Bahadir and Gheorghe, 2009)

نوع کیفیت آب برای کشاورزی	رده‌آب
شیرین، برای آبیاری کاملا بی‌ضرر	**C_1S_1**
کمی‌شور، برای آبیاری کمی بی‌ضرر	**C_1S_2, C_2S_2, C_2S_1**
شور، برای آبیاری با اعمال تمهیدات لازم	**C_1S_3, C_2S_3, C_3S_1, C_3S_2 C_3S_3**
خیلی شور، مضر برای آبیاری	**C_1S_4, C_2S_4, C_3S_4, C_4S_4, C_4S_3, C_4S_2, C_4S_1**



شکل ۴-۲۳- ترسیم نمونه‌های مربوط به قنات‌های دشت مشهد بر روی نمودار ویلکاکس

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه

در این بخش نتایج حاصل از ارزیابی کمی و کیفی قنات‌های انتخابی دشت مشهد ارائه شده و در پایان پیشنهادهایی برای مطالعات آینده ارائه می‌گردد.

۵-۲- نتیجه‌گیری

- بر اساس نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی جهت کلی حرکت آب زیرزمینی در این آبخوان از شمال غرب به سمت جنوب شرق می‌باشد. ورودی‌های زیرزمینی به آبخوان عمدتاً از حاشیه غربی آبخوان به خصوص در محل تماس با سازندهای آهکی منطقه می‌باشند.
- هیدروگراف معرف ۳۳ ساله آبخوان مشهد، نشان می‌دهد که روند عمومی سطح آب زیرزمینی در آبخوان مشهد، کاهشی می‌باشد. بیشترین مقادیر افت در این دوره در حاشیه غربی آبخوان روی داده است، که این موضوع مرتبط با برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی در این بخش از آبخوان می‌باشد.
- بررسی افت سطح آب زیرزمینی، بیانگر این است بیشترین مقادیر افت در این دوره در حاشیه غربی آبخوان روی داده است، که این موضوع مرتبط با برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی در این بخش از آبخوان می‌باشد.
- بررسی تغییرات زمانی آبدهی قنات‌های انتخابی در طول دوره و هیدروگراف آن‌ها نشان دهنده‌ی کاهش آبدهی این قنات‌ها با زمان می‌باشد. برای بررسی جزئی‌تر به دو گروه مبنا و فعلی تفکیک می‌شود. تغییرات میانگین آبدهی این گروه نشان دهنده‌ی کاهش آبدهی در طی دوره‌ی آماری می‌باشد.
- جهت بررسی تغییرات آبدهی قنات، پارامترهای آماری (میانگین، کج‌شدگی و چولگی) استفاده شد و نتایج حاصل از آن تاییدی بر کاهش آبدهی قنات‌های انتخابی می‌باشد.

- نتایج حاصل از ارتباط بارش با آبدهی قنات‌ها در دشت مشهد نشان می‌دهد،که تغییرات آبدهی رابطه مستقیمی با نوسانات بارش سالیانه داشته است و آبدهی قنات‌ها از سال ۱۳۸۰ به بعد (دوره فعلی) تحت تاثیر افزایش یا کاهش بارندگی قرار نمی‌گیرند.
- بررسی رابطه بین کاهش آبدهی قنات‌ها و افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان مشهد نشان می‌دهد که قنات‌هایی که در حاشیه‌شرقی و غربی آبخوان قرار گرفته‌اند رابطه معناداری با افت سطح ایستابی ندارند و قنات‌هایی که در بخش داخلی‌تر آبخوان قرار گرفته‌اند تاثیرپذیری بیشتری نسبت به افت سطح ایستابی نشان می‌دهند. دلیل افت سطح ایستابی در آبخوان آبرفتی مشهد-چناران، افزایش میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی می‌باشد.
- رابطه نرخ کاهش آبدهی قنات با هریک از پارامترهای مورفولوژیکی نشان می‌دهد، قنات‌های با عمق مادرچاه کمتر از ۵۰ متر نرخ کاهش آبدهی در آن‌ها بسیار زیادتر بوده که این موضوع نقش تغییرات سطح آب زیرزمینی در تغییرات آبدهی قنات‌ها با عمق مادرچاه کمتر از ۵۰ متر را نشان می‌دهد.
- رابطه‌ی کاهش آبدهی قنات با طول رشته قنات بیانگر این است، بیشترین نرخ کاهش آبدهی در مورد قنات‌هایی روی می‌دهد که طول کمتری داشته باشند، این موضوع نیز تاثیر تغییرات سطح آب زیرزمینی بر آبدهی قنات‌های با طول کمتر را تایید می‌کند.
- محدوده تغیرات هدایت الکتریکی در قنات‌های انتخابی بین ۲۶۰ تا ۲۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد که کم‌ترین این میزان در بخش غربی و بیشترین آن در بخش شمالی قرار می‌گیرد.
- حداقل و حداکثر میزان pH در منطقه بین ۷ الی ۸ می‌باشد. بنابراین قنات‌های منطقه در محدوده آب‌های خنثی و قلیایی قرار می‌گیرند.
- نمودار نیمه لگاریتمی شولر نشان می‌دهد، روند تغییرات غلظت یون‌های اصلی در تمامی قنات‌های انتخابی یکسان بوده و نشانگر یکسان بودن منشاء اولیه‌ی آب قنات و جنس ذرات

تشکیل دهنده‌ی سفره آب زیرزمینی می‌باشد. نمودار پایپر که جهت گروه‌بندی و تعیین رخساره‌های هیدروشیمی و زون غالب یونی نشان می‌دهد که قنات‌های منطقه بر اساس غلظت آنیونی به دو گروه کربناته و سولفاته می‌توان تفکیک نمود.

- قنات‌های منطقه بر اساس سختی در محدوده آب‌های سخت و خیلی سخت قرار می‌گیرند و قنات‌ها برای مصارف کشاورزی مناسب است.

پیشنهادها

۱) با توجه به تاثیر تفت سطح ایستابی بر آبدهی قنات‌های واقع در بخش‌های داخلی‌تر آبخوان پیشنهاد می‌شود برداشت توسط چاه‌ها کنترل و مدیریت شود تا از کاهش آبدهی قنات و خشک شدن احتمالی جلوگیری شود

۲) پیشنهاد می‌شود تغییرات آبدهی قنات‌های انتخابی در فواصل زمانی کوتاه مدت بررسی شده تا نقش عوامل تاثیرگذار برآبدهی با جزأیات بیشتری ارزیابی گردد.

۳) بررسی کیفی قنات‌های انتخابی به لحاظ وجود آلاینده‌های مختلف نظیر نیترات و فلزات سنگین پیشنهاد می‌شود.

منابع

- آقا نباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، چاپ دوم، وزارت صنایع و معادن، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶
- ابی زاده، ا.، ۱۳۸۹، نگرشی بر قنات با محوریت آموزش و احیا فناوری بومی، فرهنگ و معماری ایرانی، نشریه معماری و شهرسازی آرمان شهر، دوره ۳، شماره ۵، ۱ - ۲۲ .
- امین، س.، ایزدی، ت.، ناظم السادات، س.م، ۱۳۸۸، ویژگی های فیزیکی آبدهی و بررسی امکان ذخیره سازی آب قنات کتک ارسنجان، فصلنامه علمی - پژوهشی مهندسی منابع آب، دوره ۲، شماره ۳، ۲۱-۳۰.
- بهنیا، ع.، ۱۳۶۷، قنات سازی و قنات‌داری، تهران، انتشارات دانشگاه تهران
- بیگلری، ن.، سیلری، ن.، ۱۳۹۶، ارزیابی پارامترهای کیفی جریان آب خروجی از قنات با مدل aqQA، سومین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری، شیراز
- پاپلی‌یزدی، م.ح.، ۱۳۷۹، قنات و ارزش اقتصادی آن، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی مشهد، شماره دوم، ۳۰۹ – ۳۳۲
- پاپلی‌یزدی، م.ح.، ۱۳۸۲، شترگلو کارآمدترین سازه آبی در مناطق نیمه‌خشک مقالات، همایش بین‌المللی قنات، تهران
- پطروشفسکی.، پادولوویچ، ا.، ۱۳۵۷، کشاورزی و مناسبات ارضی در ایران عهد مغول، ترجمه کریم کشاورز، تهران، نیل
- ترشیزیان، ح.ا.، ۱۳۸۶، امکان استفاده از قنوات متروکه جهت تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی(دشت مشهد)، پروژه تحقیقاتی، کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی.
- تندیسه، ز.، حافظی مقدس، ن.، کرمی، غ.، ۱۳۹۱، ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان: مطالعه موردی شهر مشهد، شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، شیراز، انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه شیراز.
- توانگری برزی، م.، شفیعی، ب.، خانجانی، م.ج.، ۱۳۸۴، شبیه سازی عددی پارامترهای هیدرولیکی قنات، کنفرانس بین المللی قنات، کرمان.
- جلیلی پروانه، ز. و رمضانزاده لسبونی، م.، ۱۳۸۹، قنات بلده و نقش آن در توسعه ی کشاورزی منطقه، مجله رشد آموزش جغرافیا، دوره بیست و پنجم، شماره ۲، ۳۴-۳۷.

- حائری، م.، ۱۳۸۶، قنات در ایران، تهران، دفتر پژوهش‌های فرهنگی
- دادرسی سبزوار، ا.، ۱۳۸۴، بررسی روند تغییرات آبدهی قنوات در شهرستان سبزوار، کنفرانس بین المللی قنات، کرمان.
- داناییان، م.، دانشور، م.، ۱۳۸۴، بررسی تاثیر آبخوانداری میانکوه بر کیفیت آب و آبدهی قنوات منطقه، کنفرانس بین‌المللی قنات
- رهبری، پ.، افشار اصل، م.، ۱۳۸۴، متدولوژی ارزیابی زیست محیطی قنات، کنفرانس بین المللی قنات، کرمان.
- زینی، م.، پوردارا، ه.، ۱۳۸۴، قنات ها، دقیق ترین ساختمانهای تعیین پهنه بندی نفوذ پذیری زمین، کنفرانس بین المللی قنات، کرمان.
- شاهرخی ساردو، ج.، ۱۳۸۰، بررسی رابطه بین میزان دبی با خصوصیات هیدرولیکی قنوات و ویژگی های مورفولوژیک حوضه آبخیز آنها، نخستین همایش آبخیزداری و مدیریت استحصال آب در حوضه های آبخیز، بوشهر.
- صفی نژاد، ج.، ۱۳۷۹، دو قنات از قنات‌های اردستان، مقالات جلد اول، همایش بین‌المللی قنات
- فرهادی، ع.، خانجانی، م.ج.، کامیاب مقدس، ر.، ۱۳۸۴، بررسی هیدرولیک قنات-راسته ترکار موازی با جهت جریان آب زیرزمینی، کنفرانس بین المللی قنات، کرمان.
- قادری، م.، اختصاصی، م.ر.، صابر چناری، ک.، ۱۳۹۰، بررسی دانش سنتی حفر قنات با فاکتورهای هیدروفیزیکی آن در دشت سبزوار، همایش بین المللی دانش سنتی مدیریت منابع آب، یزد، مرکز بین المللی قنات و سازه های تاریخی آبی.
- کارگر، م.، احرامپوش، م.، قانعیان، م.، شیرانیان، م.، ۱۳۸۴، بررسی کیفی میکروبی و شیمیایی آب قنات شرب العین و ارائه پیشنهادات، هشتمین همایش ملی بهداشت محیط.
- کرمی، غ. ح. و کیانی، م. ، ۱۳۹۰، بررسی خصوصیات کمی و کیفی آب قنات بزرگ بیارجمند، هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- کشاورزی حسن آباد، م. بشیری، ع.، اوجاقلو، ف.، ۱۳۹۲، بررسی مسائل و مشکلات بهره برداری از قنات و ارائه راهکارهای بهبود آن (مطالعه موردی - شهرستان قروه)، اولین همایش ملی چالش های منابع آب و کشاورزی، اصفهان، انجمن ملی آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.
- گزارش ممنوعیت محدوده مطالعاتی مشهد-چناران، ۱۳۹۴، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی

- گوبلو، ه.، ۱۳۷۱، قنات فنی برای دستیابی به آب، ترجمه سرو مقدم و پاپلی یزدی، انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۹۶۰
- مالکی، ا.، خورسندی آقایی، ا.، ۱۳۸۴، قنات در ایران، مطالعه موردی قنوات تهران، شرکت پردازش و برنامه‌ریزی شهری تهران، انتشارات ناصح، ۱۸۵
- منزوی، م.ت.، ۱۳۶۰، گفتاری درباره‌ی آبدهی قنات‌ها، نشریه‌ی دانشکده فنی، شماره ۴۳، ۷۹-۷۱
- مهدوی، م.، مهریزی، ش.، صاحب‌جلال، ا.، محسنی ساروی، م.، ۱۳۹۰، بررسی تغییرات آبدهی قنوات در ترسالیها و خشکسالیها در اردکان یزد، اولین همایش منطقه‌ای توسعه منابع آب
- میرباقری، ا.، ۱۳۷۹، مشخصات و ویژگی‌های قنات فیروزآباد، مجموعه مقالات قنات، جلد۱، سازمان آب منطقه‌ای یزد.
- وفاخواه، م.، ۱۳۸۴، ویژگیها و مشخصات قنوات روستای شتریه (استان مرکزی)، کنفرانس بین المللی قنات، کرمان.
- ولایتی، س.، طالشی، م.، شریفی مقدم ریابی، م.، ۱۳۸۸، علل کاهش آبدهی قنوات دشت گناباد و پیامدهای اجتماعی اقتصادی آن، نشریه جغرافیا، دوره ۷، شماره ۲۰-۲۱، ۴۷ - ۶۶ .
- وولف، اچ-ای.، ۱۳۶۱، قنات‌های ایران، ترجمه حسن نیر، زیتون، شماره ۱۵، ۶۱ - ۲۵
- هنری، ف.، کرمی، غ.، کاظمی، غ.، ۱۳۹۲، تغییرات زمانی آبدهی و کیفیت آب قناتهای منطقه خور، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین.
- یوسفی راد، م.، خیراندیش، م.، ۱۳۷۹، نقش قنات در کنترل منابع آب زیر زمینی، مجموعه مقالات قنات، جلد اول

REFRENCES

Bahadir, A.M., Gheorghe, D., 2009, The Role of Ecological Cemistry In Pollution Research and Sustainable Development. NATO Science for Peace and Security Series, Environmental Security, Springer, 120p

English, P., 1968, The Origin and Spread of Qanats in the Old World. Proceedings of the American Philosophical Society, 112(3), 170-181.

Hamidian, A., Ghorbani, M., Abdolshahnejad, M. Abdolshahnejad, A., 2015, Qanat, Traditional Eco-technology for Irrigation and Water Management, Agriculture and Agricultural Science Procedia,Volume 4, 119-125.

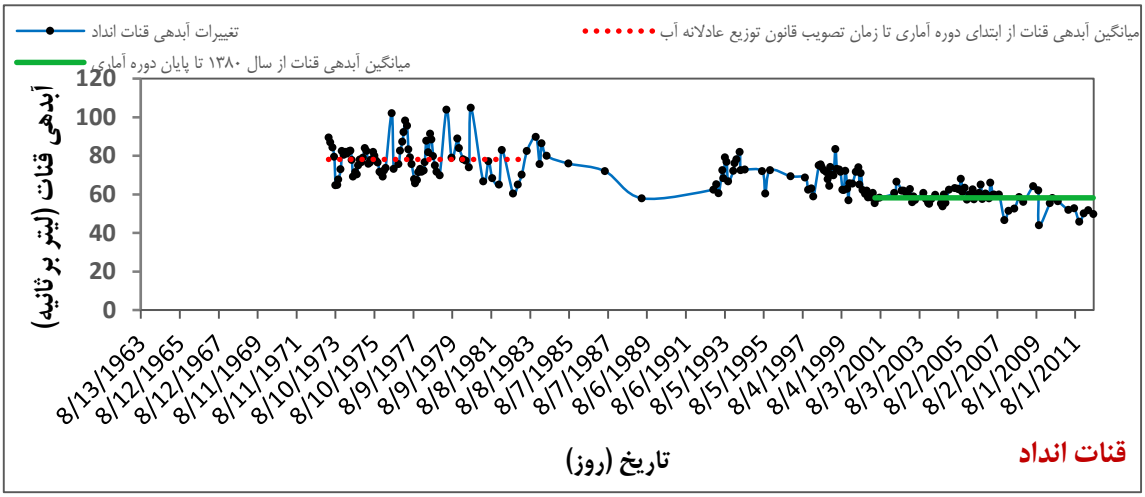
Hounslow, A.W., 1995, Water Quality Data Analysis and Interpretation Stillwater, Oklahoma, lewis Publishers, 397p

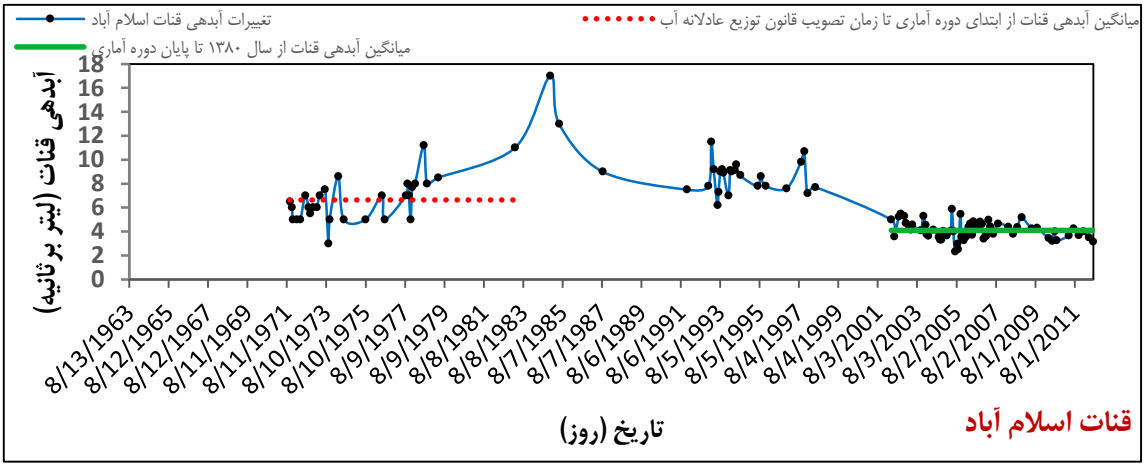
Kowsar, S.A. and Kowsar, S.S., 2012. Karaji: mathematician and qanat master. Groundwater, 50(5), pp.812-817.

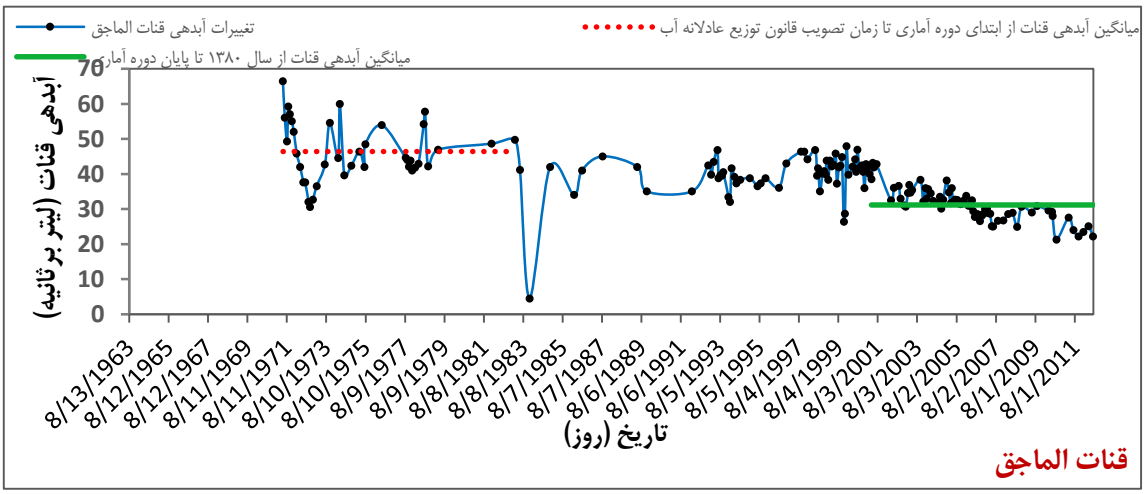
Saeidian, A., 2013. Qanat, traditional irrigation infrastructure system in Iran. Elixir Sustain. Arc. 55 , 12743-12747.

Yousefirad M, Mokhtar S, Mahbod A (2012) The influential factors on the qanat hydrogeology. J Food Agric Environ 10(2):843–848

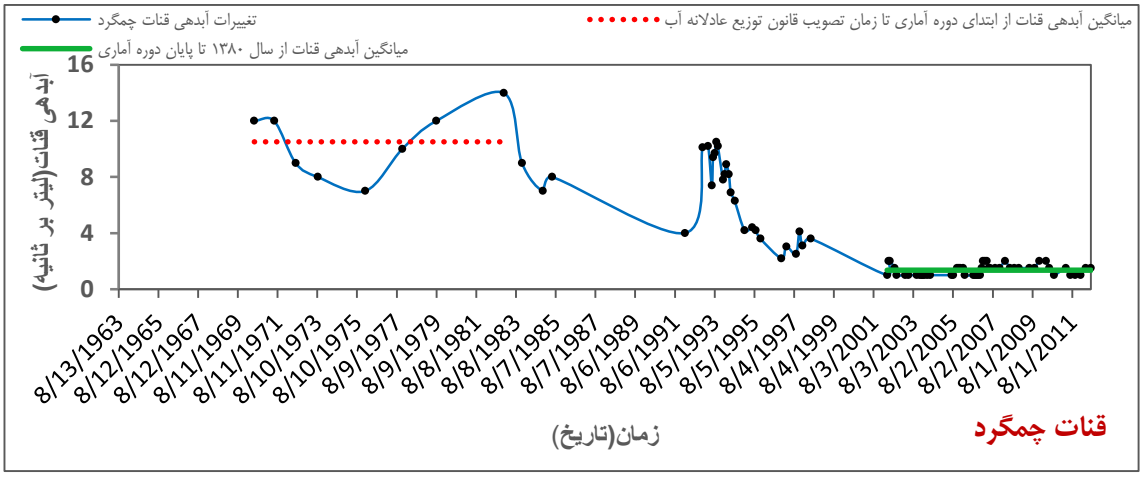
Todd.D.k and Mays.L.W, 2005, “Groundwater Hydrology”, New York,: John Wileg and Sons. Pp.535.

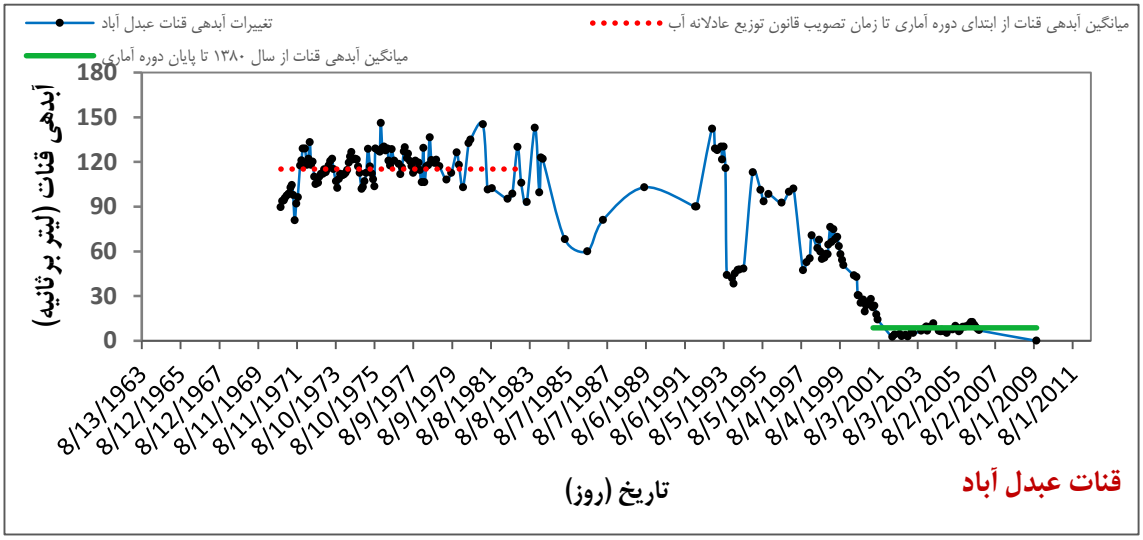


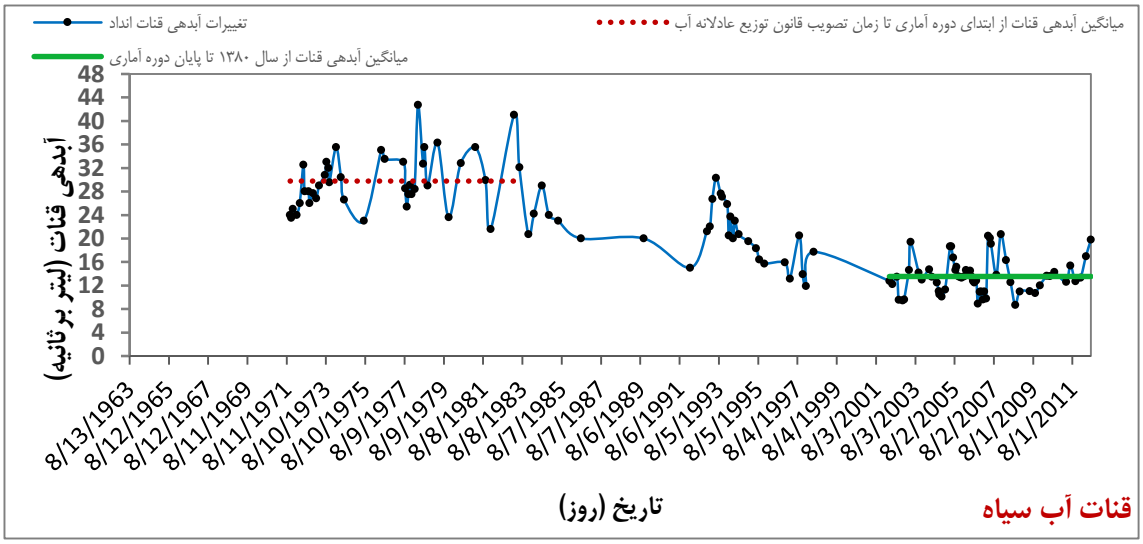




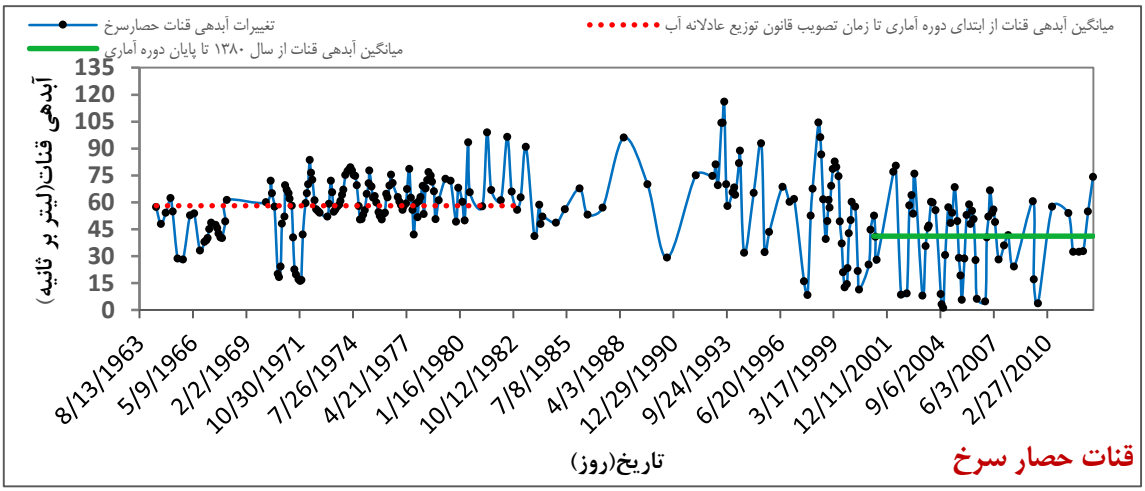
پیوست یک- هیدروگراف قنات‌های انتخابی دشت مشهد

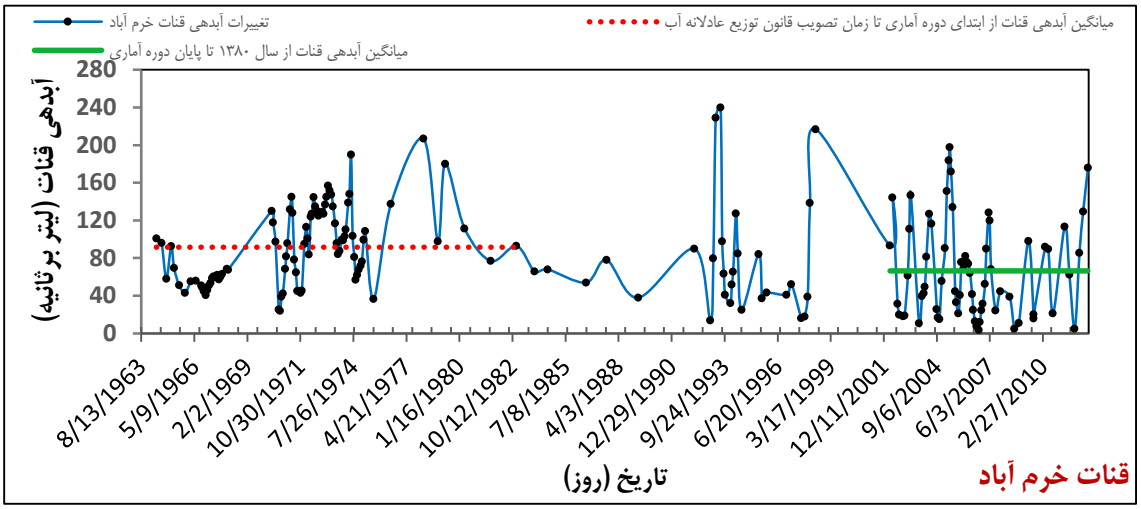


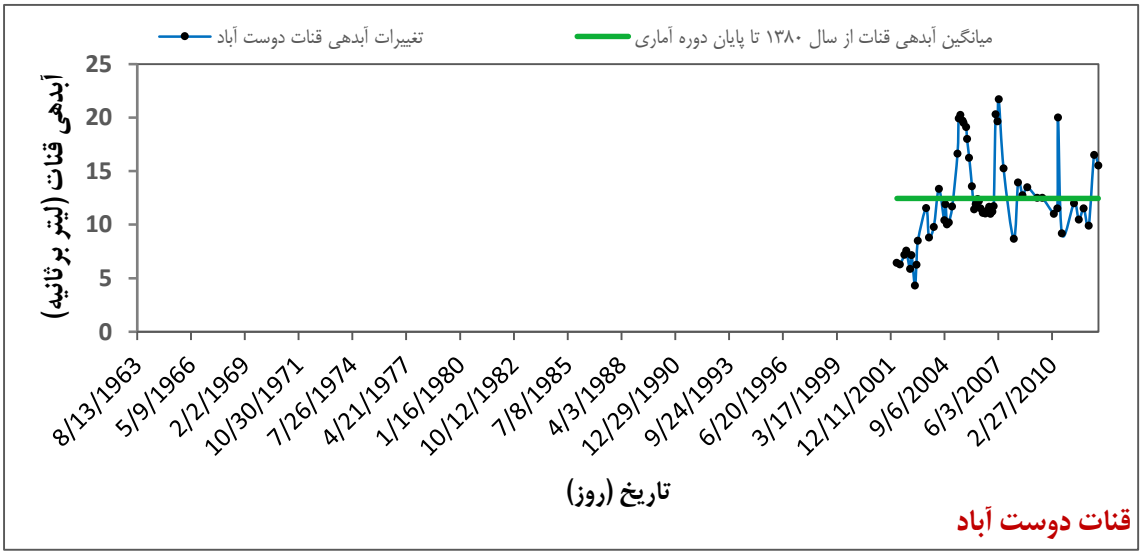




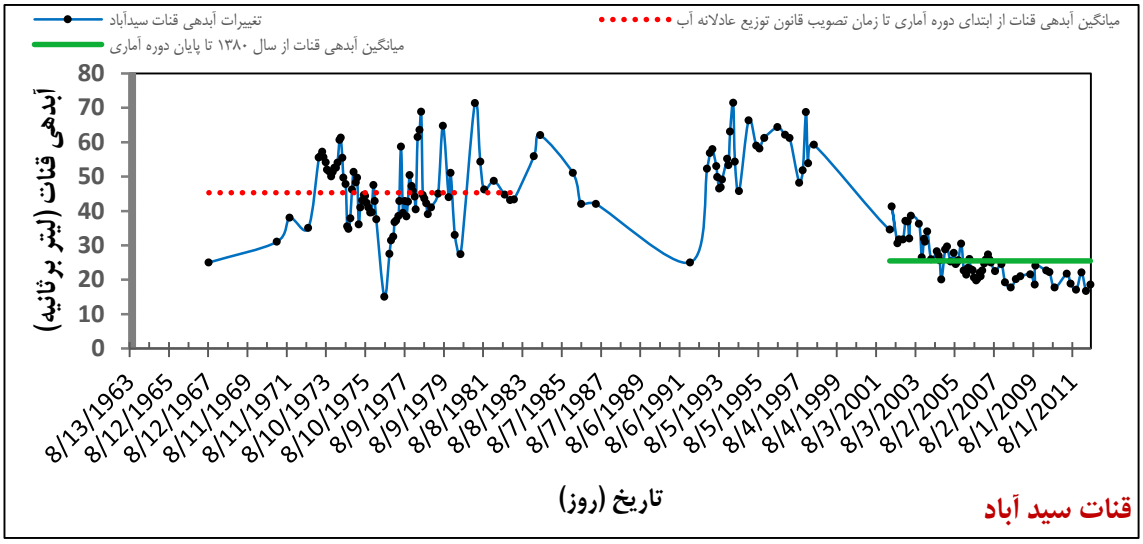
پیوست یک- ادامه

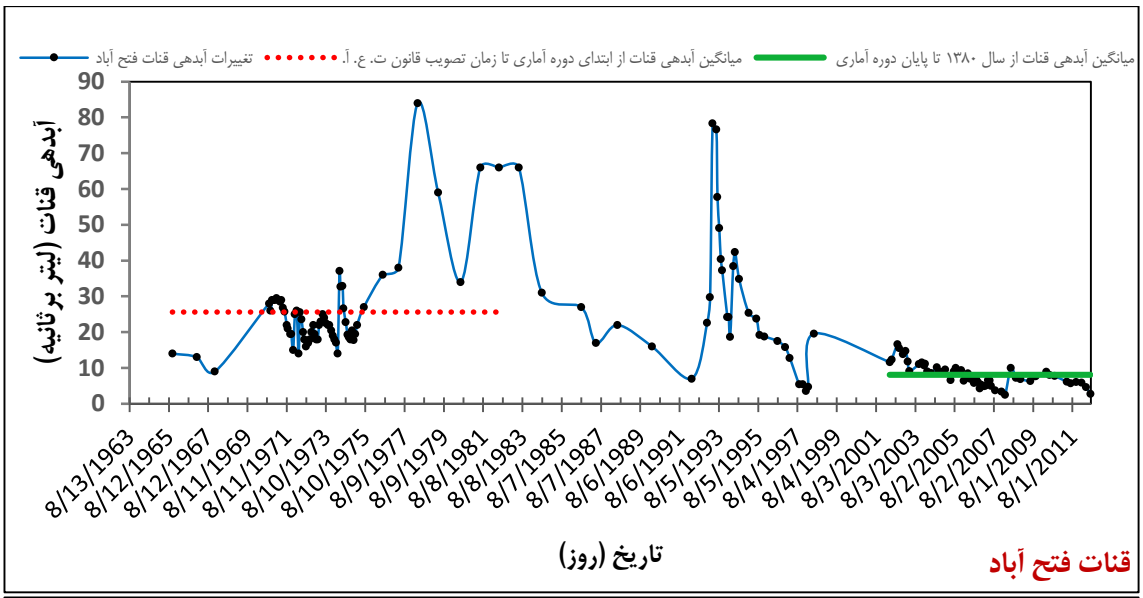


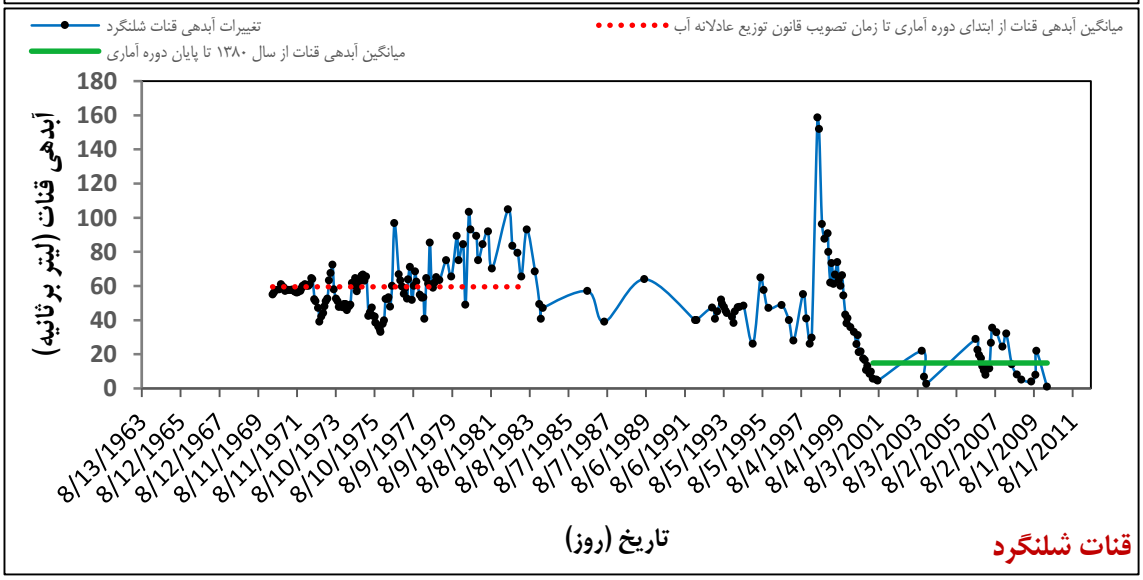


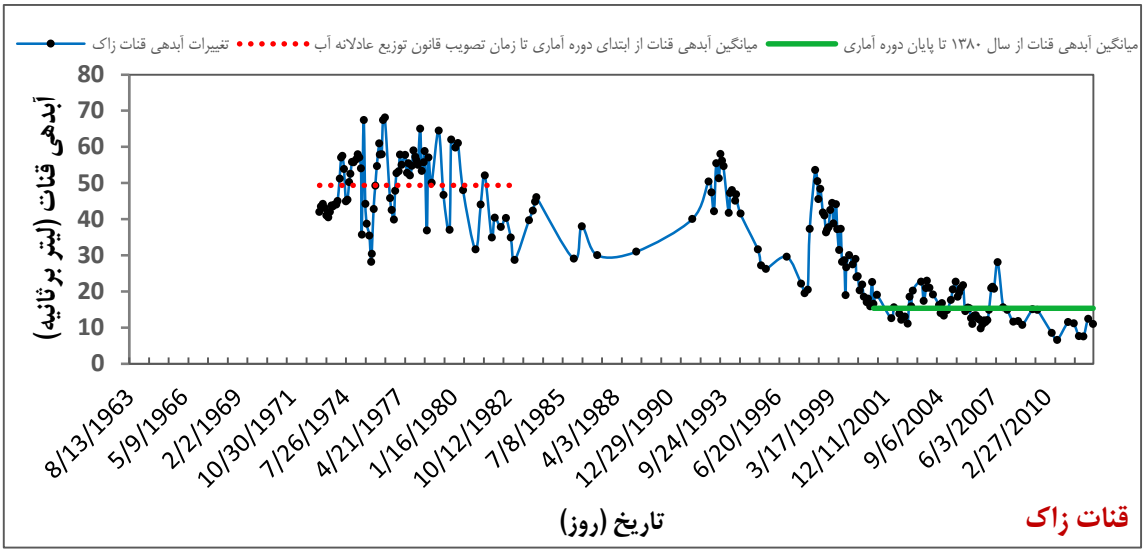


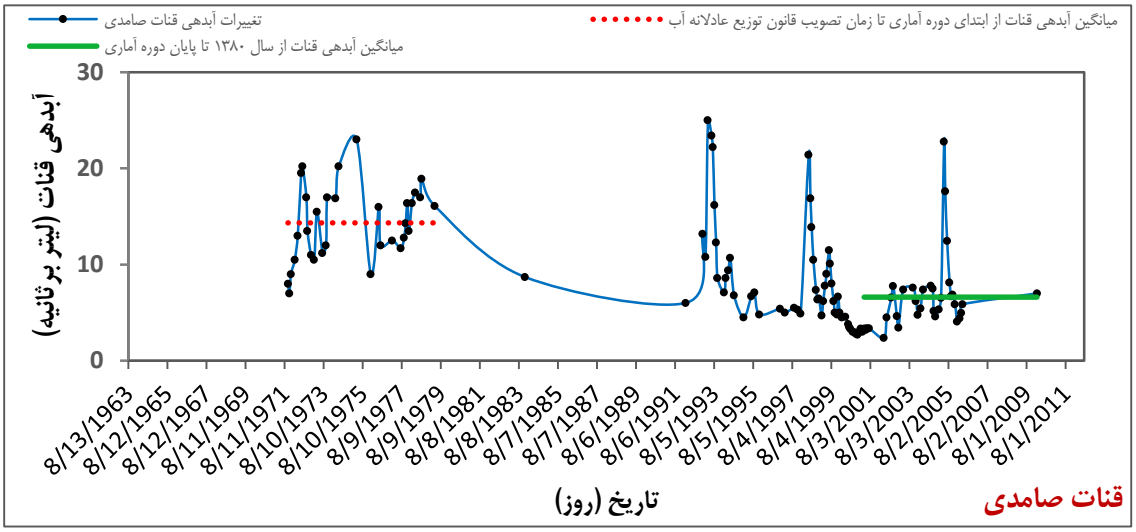
پیوست یک- ادامه

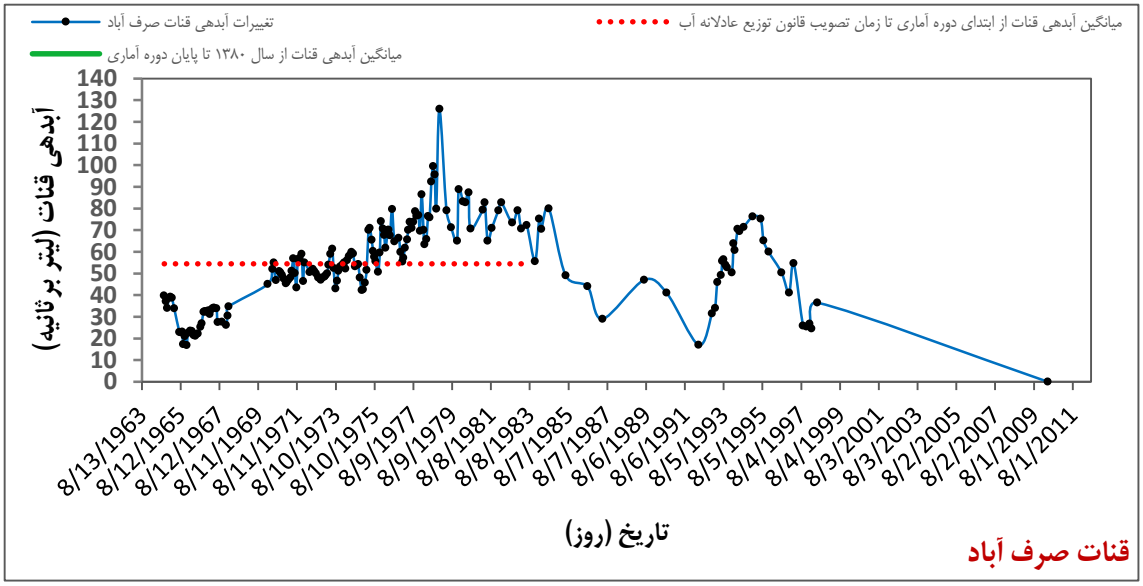

تغییرات آبدهی قنات سیدآباد
میانگین آبدهی قنات از ابتدای دوره آماری تا زمان تصویب قانون توزیع عادلانه آب
میانگین آبدهی قنات از سال ۱۳۸۰ تا پایان دوره آماری
آبدهی قنات (لیتر بر ثانیه)
تاریخ (روز)
قنات سید آباد


تغییرات آبدهی قنات فتح آباد
میانگین آبدهی قنات از ابتدای دوره آماری تا زمان تصویب قانون ت. ع. آ.
میانگین آبدهی قنات از سال ۱۳۸۰ تا پایان دوره آماری
آبدهی قنات (لیتر بر ثانیه)
تاریخ (روز)
قنات فتح آباد

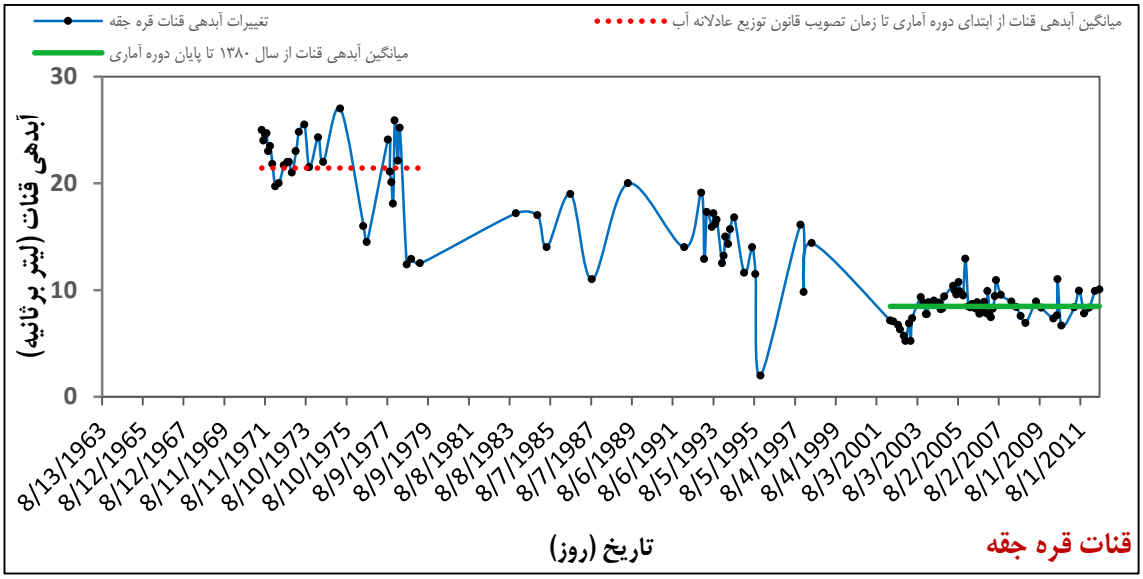

تغییرات آبدهی قنات شلنگرد
میانگین آبدهی قنات از ابتدای دوره آماری تا زمان تصویب قانون توزیع عادلانه آب
میانگین آبدهی قنات از سال ۱۳۸۰ تا پایان دوره آماری
آبدهی قنات (لیتر بر ثانیه)
تاریخ (روز)
قنات شلنگرد

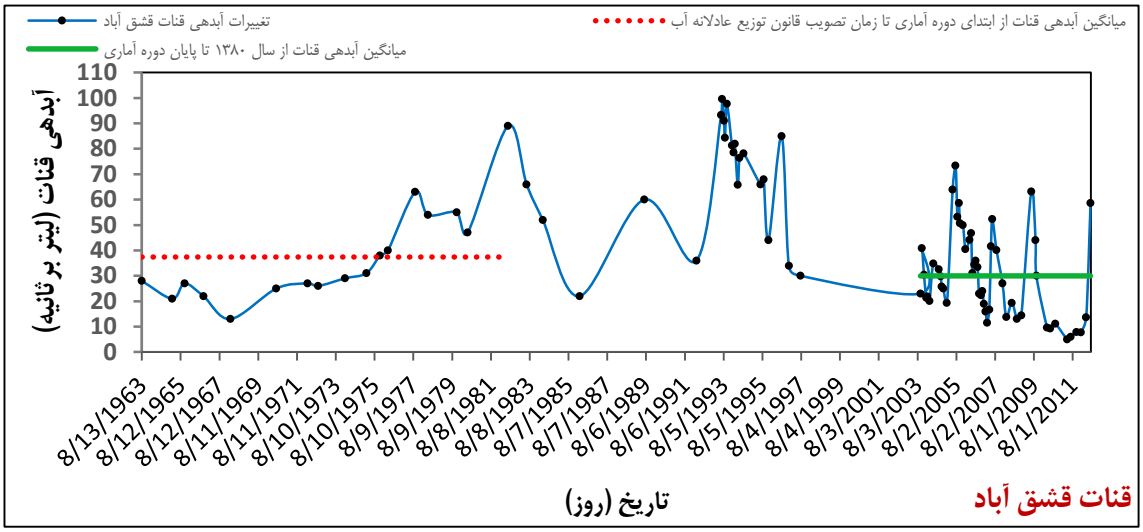


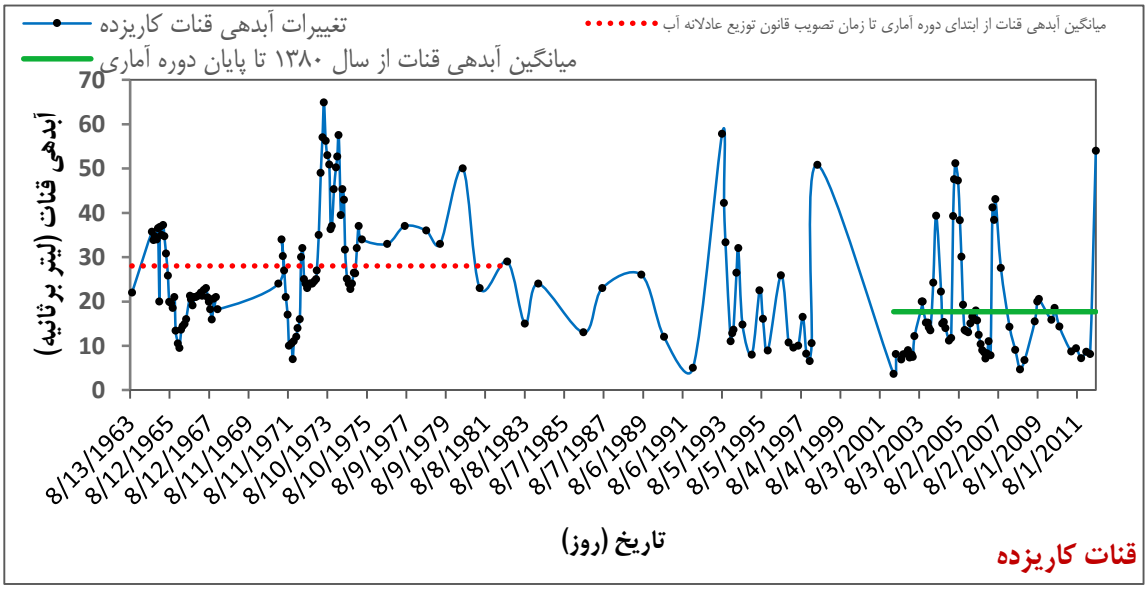




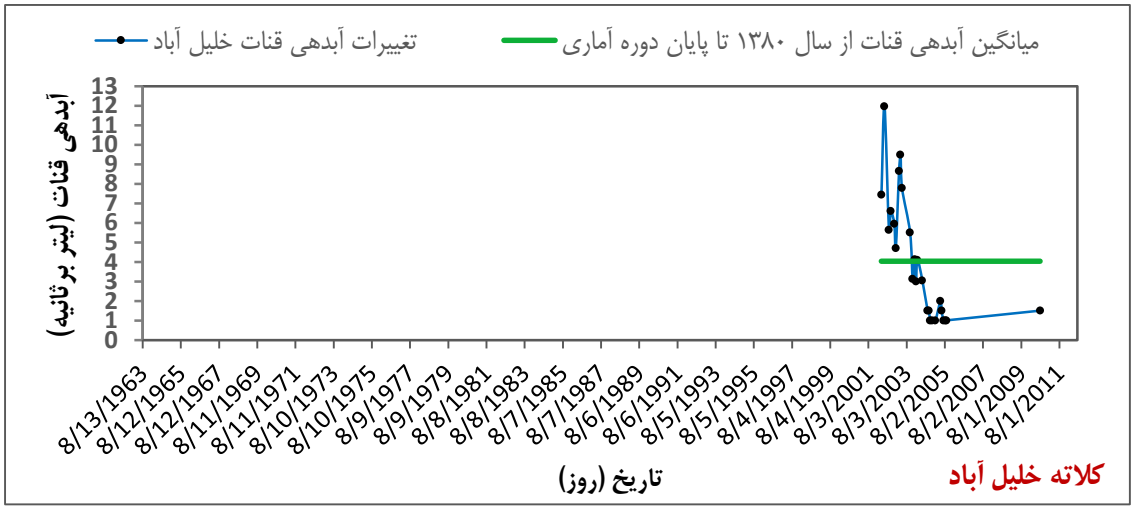
پیوست یک- ادامه

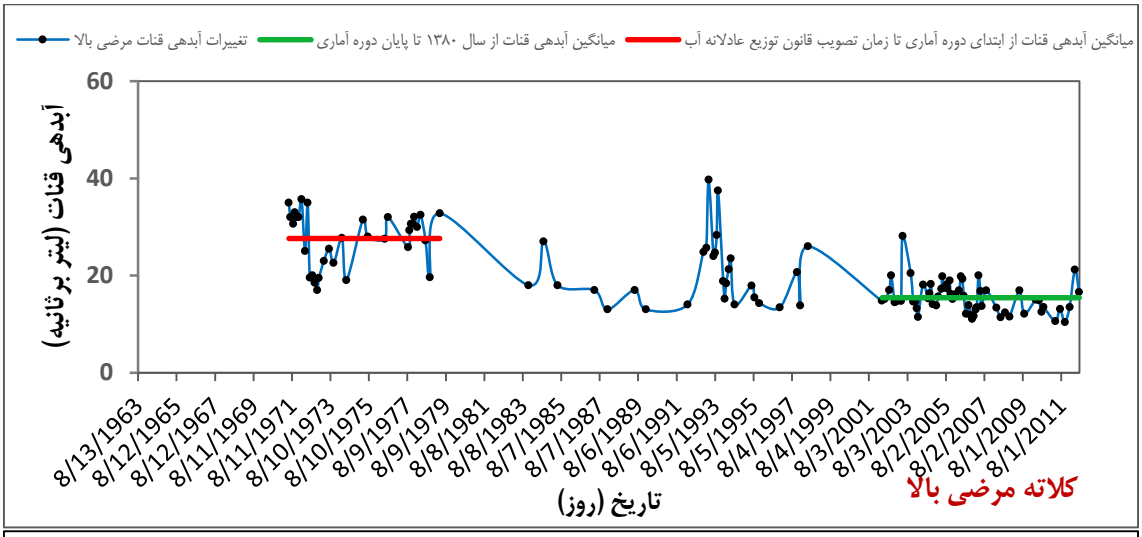


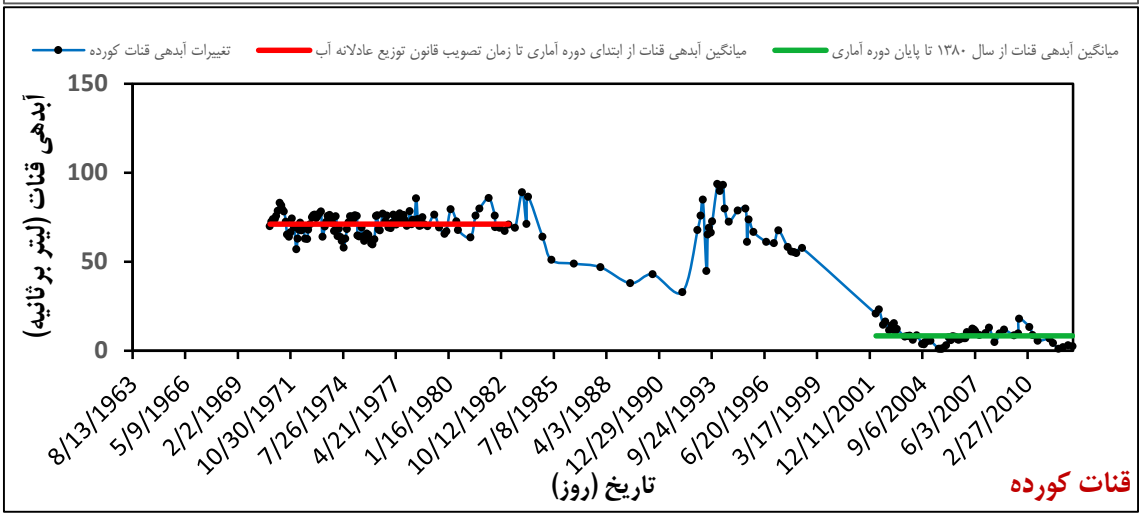




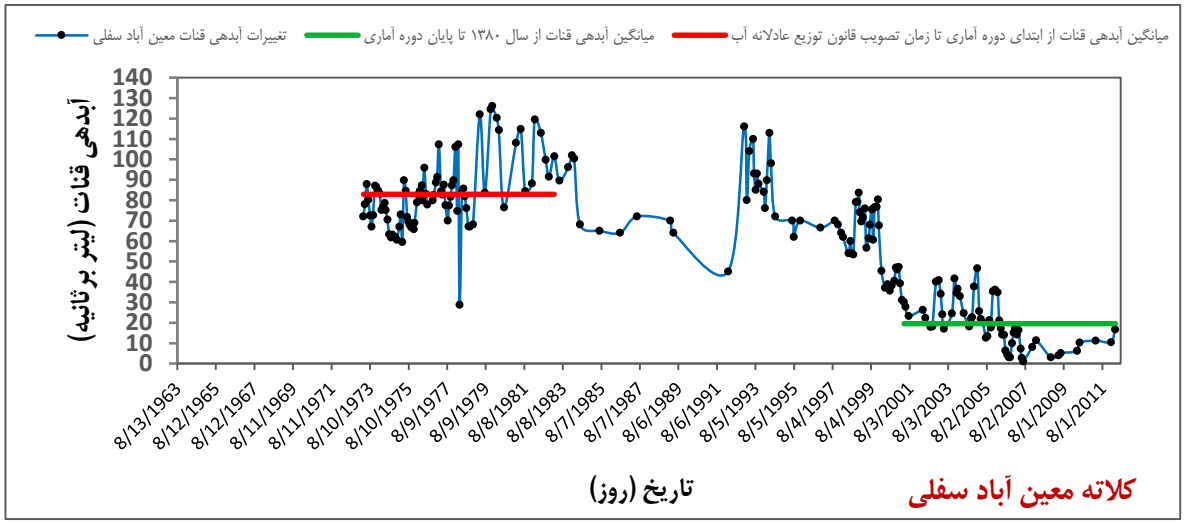
پیوست یک- ادامه

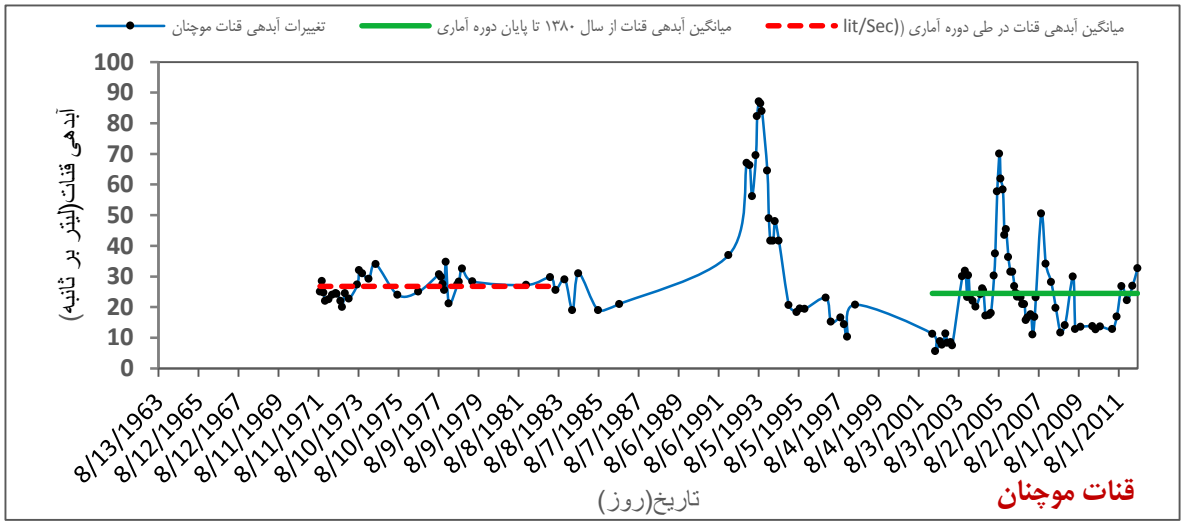


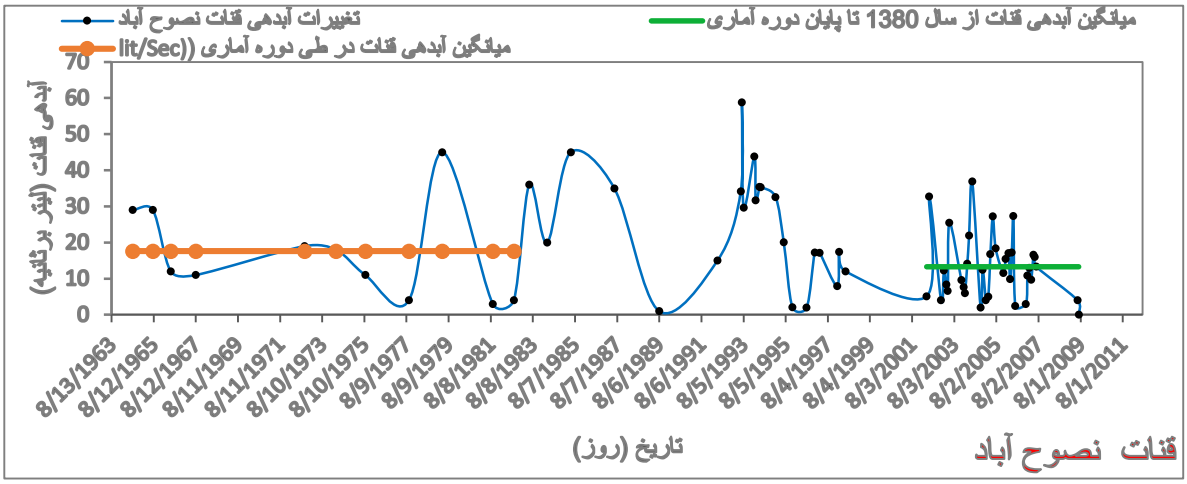




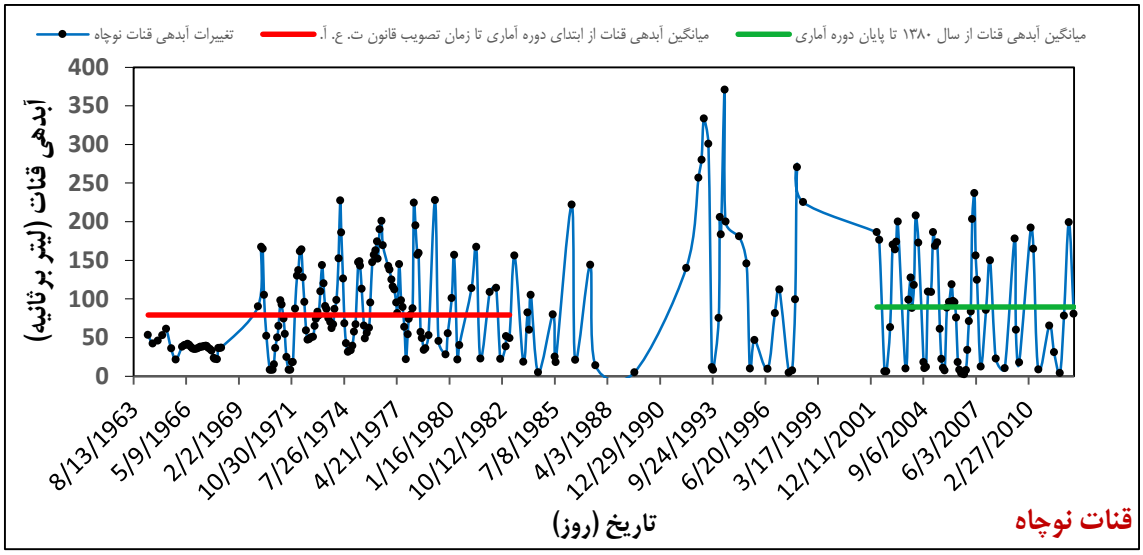
پیوست یک- ادامه

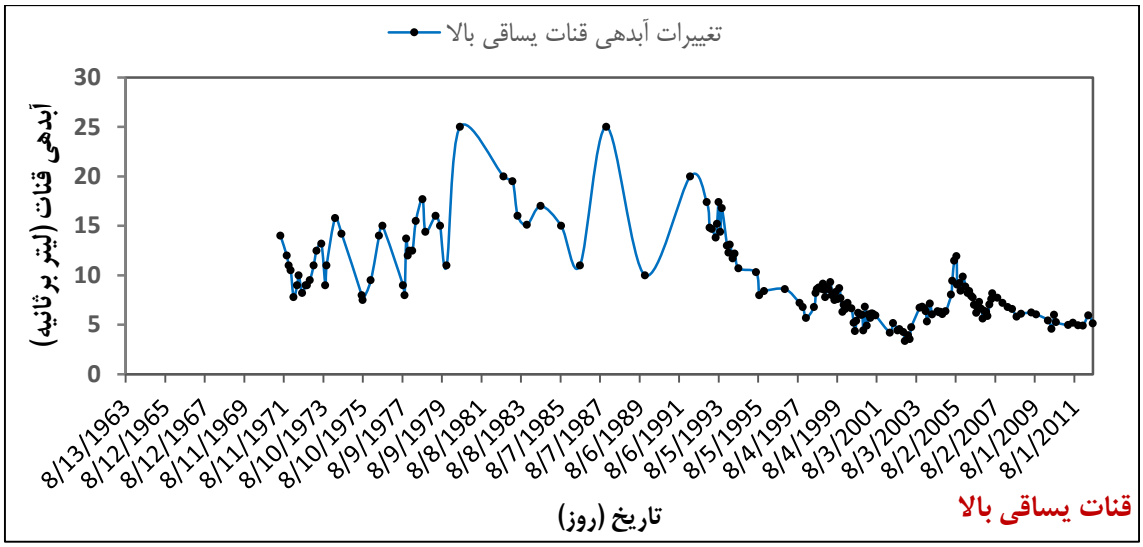


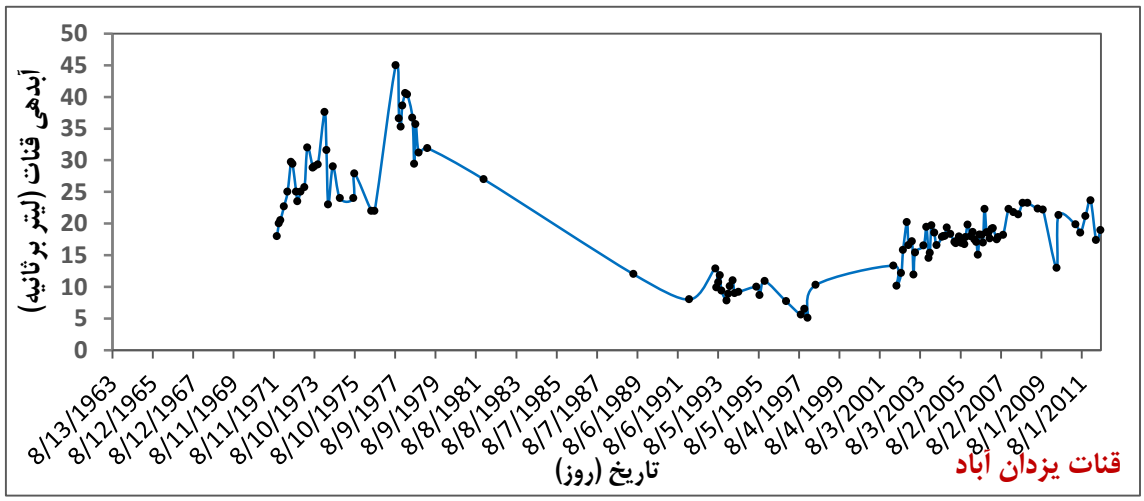




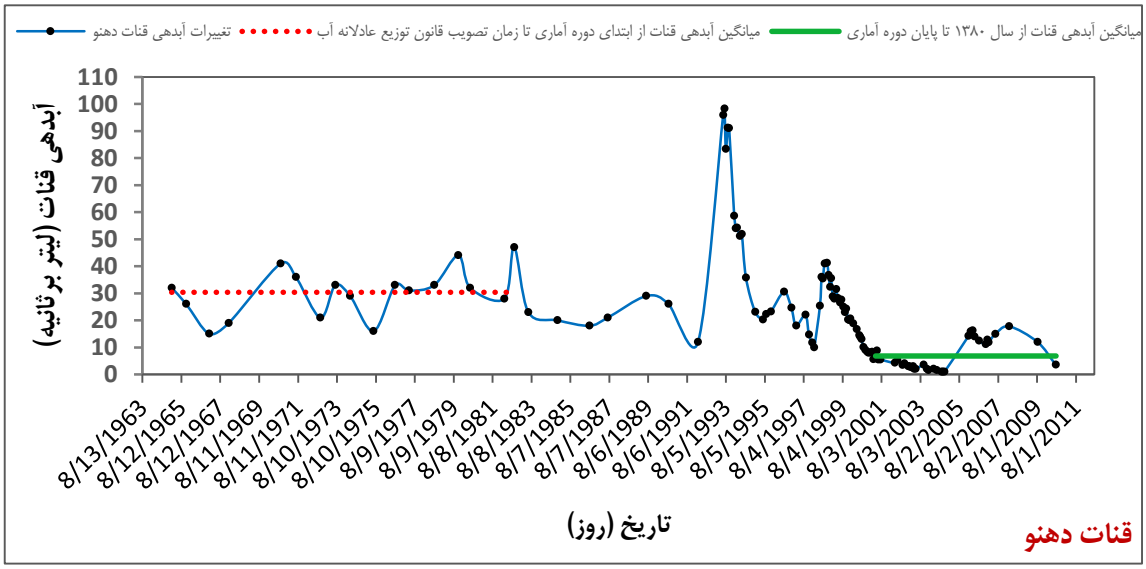
پیوست یک- ادامه

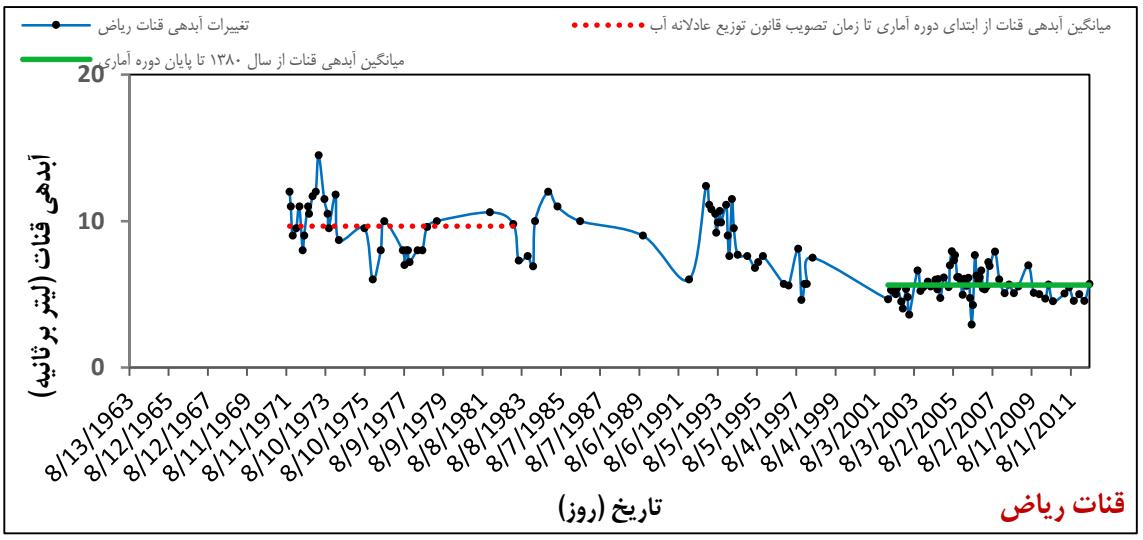


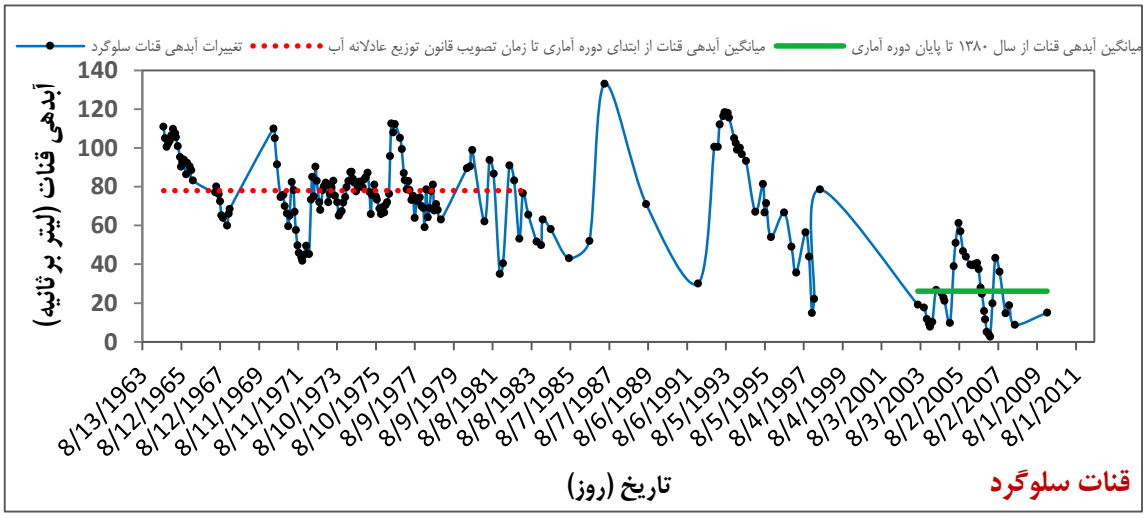




پیوست یک- ادامه







پیوستیک- ادامه

Abstract

Mashhad-Chenaran plain is one of the most important plains of Khorasan Razavi Which is surrounded by two zones of Binalood (west and south west) and Kope-Dagh (north and north east). Qanat is a very valuable way to supply water for drinking and agriculture in this area. Therefore, the aim of this research is to evaluate the hydrogeological and hydrochemical properties of some selected Qanats in Mashhad-Chenaran plain. For this purpose, the discharge time series of Qanats has been investigated over a period of 50 Year (1340-1391). The qualitative properties of Qanats have also been evaluated through the collecting chemical analysis 21 samples of water. The results show that the general trend of groundwater level in the mashhad aquifer based on the unit hydrograph of the aquifer is decreasing and the highest drop in this aquifer has occurred in the western margin. Changes in discharge of the Qanats during the 50-year period are divided into two parts: the base period (from the beginning of the statistical period until the adoption of the fair distribution of water law in 1361) and current period (after the adoption of the law on the determination of active agriculture wells without a license for exploitation in1380 until the end of the statistical period). The result of this two study periods indicate that there is a decreasing in discharge of Qanats with time. Evaluation of effective factors on decreasing discharge indicates the relationship between precipitation and discharge until the beginning of the current period. Changes in discharge during the current period show slight fluctuations with precipitation. Evaluation of discharge fluctuations and water table decreasing indicate that the most influence was related to the Qanats which located in middle zone of aquifer and this is because of well withdrawal. Investigation of the influence of Qanats morphological parameters and discharge show that the largest reduction of discharge in Qanats have occurred in Qanats with the lowest depth of mother well and length of the catchment area. On the basis of qualitative diagrams, the Qanats can be divided into carbonate and sulfate groups. All Qanats have appropriate quality for agriculture.

Keywords: Mashhad-Chenaran plain, time series of Qanat discharge, Hydrogeochemistry

Shahrood University Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc Thesis in Hydrogeology

Evaluating the Hydrogeological and Hydrogeochemical Characteristics of the Qanats in Mashhad –Chenaran Plain

By:

Hamideh Salehi

Supervisor:

Dr. Hadi Jafari

Advisor:

Mahmood Arjmand Sharif

January 2018