

ارزیابی هیدروژئوشیمی و کیفیت آبخوان آبرفتی دشت گور استان بوشهر

رضا میرزایی محمودآبادی^{۱*} و امید آزادی‌جو^۲

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد استهبان، استهبان، ایران

۲- کارشناس ارشد منابع آب، سازمان آب منطقه‌ای استان بوشهر، بوشهر، ایران

r_mirzaeem@iauest.ac.ir

نوع مقاله: کاربردی

دریافت: ۱۴۰۲/۵/۲۵ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۲۶

چکیده

دشت گور در شمال‌شرق استان بوشهر و در محدوده مطالعاتی دالکی- شبانکاره قرار دارد. در گذشته این دشت دارای پتانسیل مناسبی به لحاظ کمی و کیفی بشمار می‌رفته و هم‌اکنون با داشتن ۳۰۳ حلقه چاه غیرمجاز کشاورزی یکی از دشت‌های ممنوعه و بحرانی بشمار می‌رود. از طریق شبکه پایش انتخابی آبخوان با ۲۶ حلقه چاه بهره‌برداری و آنالیز نمونه‌های آب زیرزمینی در بازه زمانی ۹ ساله (۱۳۸۸-۱۳۹۷) ویژگی‌های هیدروژئوشیمی آبخوان دشت گور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج تجزیه و تحلیل دیگرام‌های هیدروژئوشیمیایی و نقشه‌ها در محیط آرک جی ای اس نشان داد که در آبخوان مورد مطالعه آنیون غالب سولفات و کاتیون غالب کلسیم است. کل مواد محلول جامد طی دوره ۹ ساله به مقدار ۳۵۵ میلی گرم افزایش یافته است. آب‌ها عمدتاً از نوع سولفات کلسیک و شوری به میزان ۱۲۲۱ واحد با متوسط سالانه ۱۳۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر سیر صعودی داشته است. عامل اثرگذار و کنترل کیفیت آب وجود سازندهای آغاجاری و کنگلومرای بختیاری است.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، آب زیرزمینی، دشت گور، بوشهر

۱- پیشگفتار

امروزه با کاهش شدید ذخایر آب زیرزمینی، باقیمانده اندک این ذخایر در معرض تغییرات شدید کیفی و همچنین خطر آلودگی بالا قرار دارند. بهره‌برداری بی‌رویه و توسعه کشاورزی، صنعت، خدمات و مصارف آب شرب، کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات، رهاسازی زباله و پسماندهای شهری و روستایی از عوامل انسانزادی هستند که در کنار سایر عوامل طبیعی نظیر تاثیر سازندهای زمین‌شناسی، نقش مهمی در تغییرات شیمیایی و آلودگی آب‌ها دارند. مهم‌ترین گام برای برنامه‌ریزی و مدیریت این بخش از مدیریت منابع آب، مطالعه و شناخت دقیق ویژگی‌های کیفی آب و بعضاً مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی است. مطالعه هیدروژئوشیمی منابع آب زیرزمینی یک آبخوان می‌تواند رفتارشناسی تغییرات کیفی در زمان و مکان را تشریح نموده و راهکارهای لازم را ارائه کند (طاهری‌تیزرو و همکاران، ۱۴۰۱؛ ترابی و همکاران، ۱۴۰۱). آب زیرزمینی، حلالی است که در تماس با کانی‌های مختلفی در طی زمان محتوا و ماهیت کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول آن تغییر می‌کند. آب‌های زیرزمینی می‌توانند غلظت جامدات محلول کمتر از ۱۰۰ میلی گرم

در لیتر تا بیش از ۵۰۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر داشته باشند. از یون‌ها و گازهای محلول عمده در آب‌های طبیعی می‌توان به کلسیم، سدیم، منیزیم، پتاسیم، کلراید، سولفات، بی‌کربنات، کربنات، نیتروژن، دی‌اکسیدکربن، متان، اکسیژن و سولفید هیدروژن اشاره کرد (هم، ۱۹۸۹). به‌طور کلی کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی تأثیر مستقیم بر سلامت انسان‌ها دارد (عظیمیان و همکاران، ۱۴۰۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۲؛ تیواری و همکاران، ۲۰۱۶). آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر مستقیم عوامل طبیعی مانند سازندهای زمین‌شناسی، میزان تغذیه و ماندگاری، اندرکنش آب-سنگ، عمق و فعالیت‌های انسانزاد دارد (راویکومار و همکاران، ۲۰۱۱؛ راویکومار و سوماشکار، ۲۰۱۲؛ بهرامی نصب و همکاران، ۱۳۹۹؛ خان و جریا، ۲۰۱۸). ژئوشیمی آب زیرزمینی تابعی از فرآیندهای مختلفی همچون تبادل کاتیونی، انحلال نمک‌ها و اختلاط با دیگر آب‌های زیرزمینی است (کلارک، ۲۰۱۵). استفاده از نمودارهای ترکیبی یون‌های عمده از ابزارهای مفید در تعیین فرایندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر آبخوان‌ها هستند (آهنکوب و همکاران، ۱۴۰۱؛ لکشمینان و همکاران، ۲۰۰۳؛ تسیت و

دسترسی است. این دشت در حاشیه ارتفاعات و سازندهای زمین‌شناسی آغاچاری (ماسه‌سنگ، شیل و مارن) و سازند بختیاری (کنگلومرا، ماسه سنگ و شیل) قرار دارد (شکل ۱). فرسایش سازندهای مذکور سبب شده تا در قسمت‌هایی از دشت، آبرفت از نوع دانه‌ریز با ذخایر آبی کم پتانسیل (نواحی شرق و جنوب شرق) و در بخش‌های غربی دشت با وسعت بیشتر رسوبات دانه‌درشت در اندازه‌های شن تا قلوه‌سنگ محصول فرسایش سازند کنگلومرای بختیاری گسترش یابد. زیر حوضه آبخوان آبرفتی دشت گور هم به لحاظ منابع آب سطحی (رودخانه شاپور و مخزن سد رئیسعلی دلواری) و هم به جهت منابع آب زیرزمینی قابل بهره‌برداری دارای اهمیت است. آبخوان دشت گور توسط رودخانه شاپور به دو بخش غربی و شرقی تقسیم می‌شود. خصوصیات رسوب‌شناسی، هیدروژئولوژیکی و همچنین هیدروژئوشیمیایی آبخوان و شرایط هیدرولیک چاه‌ها متفاوت است. دانه‌بندی رسوبات آبخوان به استناد لاگ حفاری چاه پیرومتری روستای میلک عمدتاً رسوبات دانه‌درشت شامل قلوه‌سنگ، شن، ماسه، گراول به همراه مقداری سیلت است. بیشترین مقدار تراکم چاه در این ناحیه قرار دارد. در نواحی شرقی رودخانه شاپور، دانه‌های رسوبی آبخوان، دانه‌ریزتر (عمدتاً شامل: سیلت، رس و ماسه بوده که در عمق‌های بالا گاه‌ها شن هم قابل‌رؤیت است) و تحت تأثیر سازندهای گروه فارس از جمله سازند آغاچاری است. تراکم چاه‌ها در این بخش به نسبت بخش غربی کمتر و میزان توان آبدهی چاه‌ها نیز کمتر است. آبخوان دشت گور با پهنه‌ای به مساحت ۹۵ کیلومترمربع از سال ۱۳۸۷ که اولین حفاری اکتشافی در آن انجام پذیرفت، به طور مستمر در حال پایش است و تغییرات سطح ایستابی سفره آب زیرزمینی و روند تغییرات تراز و شوری در آن اندازه‌گیری می‌شود. این آبخوان در بخش رسوبات بالایی دارای آبخوان آزاد و عمدتاً در لایه‌های پایینی وجود سفره‌های نیمه تحت‌فشار با ضخامت کم نیز شناسایی گردیده است. در بخش‌های شمال غربی رسوبات بیشتر دانه‌درشت و گاه‌ویژگی کنگلومرای بختیاری را داشته و در بخش‌هایی نیز (مناطق جنوب شرق) سیلتی و رسی است که ذخایر آبی ضعیفی داشته و مربوط به نواحی اطراف روستای کان سرخ است. بیشترین ضخامت آبرفت در حفاری چاه‌های اکتشافی و مطالعات حاصل از بررسی‌های ژئوفیزیکی در حدود ۱۱۰

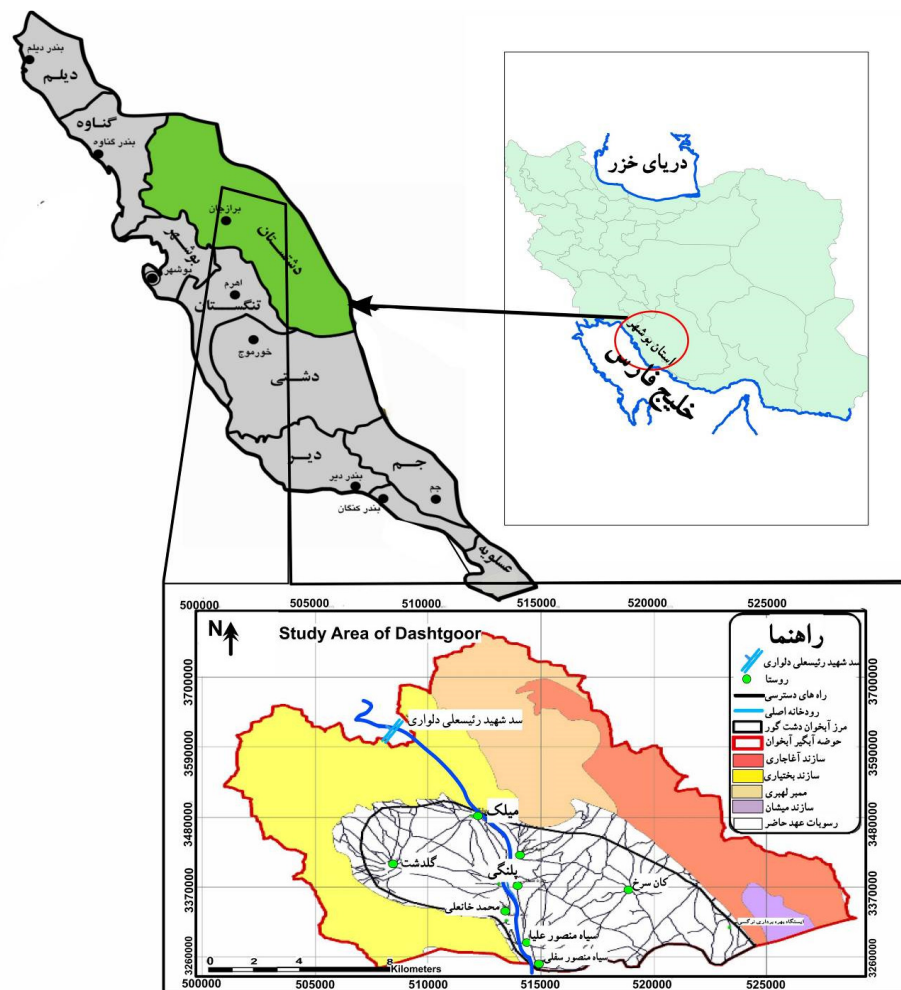
همکاران، ۲۰۱۵). در این مطالعه هیدروژئوشیمی و خصوصیات کلی یون‌های محلول در آب زیرزمینی دشت گور مورد بحث قرار می‌گیرد. مطالعات هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌ها می‌تواند اطلاعات مفیدی را در زمینه تأثیر مواد متشکله آبخوان و منطقه، مسیر جریان آب، تأثیر سنگ کف، نواحی تغذیه و تخلیه، نواحی تبخیر از آب زیرزمینی و تأثیر آب‌های سطحی بر آب زیرزمینی و کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب، کشاورزی و صنعت در اختیار قرار دهد. منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌های استان بوشهر به‌شدت تحت تأثیر عواملی نظیر نزدیکی به دریا، شوری بالا، قرارگیری بر روی منابع عظیم نفت و گاز و همچنین پساب کشاورزی قرار دارند (حمیدیان و همکاران، ۱۳۹۶). در حالت کلی حفظ و نگهداری کیفیت منابع آبی آبخوان‌ها و ارزیابی کیفیت آن‌ها جهت کاهش تأثیرات منفی بیشتر در آینده امری کاملاً ضروری است (وگه و همکاران، ۲۰۱۹). استفاده از نرم‌افزارهای هیدروژئوشیمیایی و سیستم اطلاعات جغرافیایی Arc Gis در بررسی کیفیت آبخوان‌ها به‌صورت گسترده استفاده شده است (ترابی و همکاران، ۱۴۰۱؛ طاهری تیزرو و همکاران، ۱۴۰۱؛ یونسسی و همکاران، ۱۳۹۹؛ الکاشوتی و همکاران، ۲۰۱۹؛ شبیر و احمد، ۲۰۱۵؛ اسدزاده و همکاران، ۱۳۹۶). از مهم‌ترین موارد جهت رسیدن به آرمان‌های توسعه پایدار در منابع آب بررسی کیفیت آبخوان‌ها در بازه‌های زمانی مختلف است. بدین منظور جهت مطالعه کیفیت آب و هیدروژئوشیمی آبخوان آبرفتی دشت گور در استان بوشهر نمونه‌برداری‌های فصلی و سالانه در یک بازه زمانی ۹ ساله انجام و از طریق آنالیز شیمیایی و بررسی مکانی و زمانی کلیه پارامترهای شیمیایی مهم نمونه‌های آب در نواحی مختلف دشت مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

۲- هیدروژئولوژی و موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

آبخوان دشت گور با مساحت ۹۵ کیلومترمربع یکی از دشت‌های مهم از لحاظ برداشت آب زیرزمینی و فعالیت‌های کشاورزی است که در محدوده ممنوعه برازجان دالکی- شبانکاره واقع است. فاصله آن تا شهر بوشهر حدود ۱۰۰ کیلومتر و از طریق جاده‌های ارتباطی برازجان به شبانکاره در مسیر روستای گلدشت قابل

هست. تغذیه آبخوان عمدتاً از طریق نفوذ بارش مستقیم و نفوذ از ارتفاعات مجاور و سد رئیسه‌لی دلواری صورت می‌گیرد (شکل ۱).

متر (متوسط ۶۸ متر) که در عمق به سازندهای بختیاری و آغاچاری ختم می‌گردد. همچنین متوسط ضخامت بخش غیراشباع و اشباع آبخوان به ترتیب ۴۱ و ۲۷ متر



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی آبخوان آبرفتی دشت گور

Fig. 1. Geographical location of the Alluvial aquifer of Dasht Goor

۴- مواد و روش‌ها

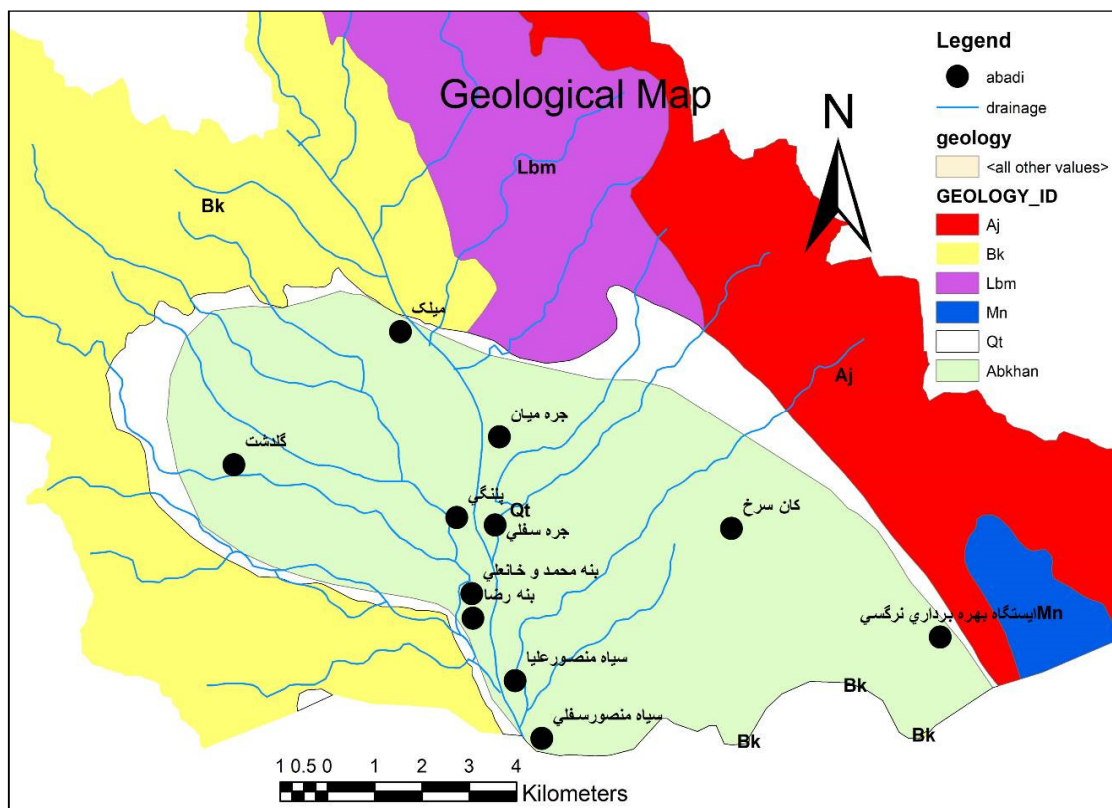
به‌طور کلی مراحل این پژوهش شامل سه مرحله الف: مطالعات میدانی و نمونه‌برداری‌های صحرائی، ب: مطالعات و آنالیزهای آزمایشگاهی و ج: مطالعات نرم‌افزاری است. الف) مطالعات میدانی و نمونه‌برداری‌های صحرائی: در مطالعات میدانی ابتدا سازندهای رخنمون یافته در منطقه از لحاظ جنس، ضخامت، شیب و امتداد لایه‌بندی و توالی چینه‌شناسی آن‌ها مورد بررسی و در ادامه ویژگی‌های رسوب‌شناسی آبرفت شرایط منابع آب سطحی و زیرزمینی بررسی گردید. سپس به‌تناسب ویژگی‌های منابع آب و زمین‌شناسی منطقه شبکه کیفی روش نمونه‌برداری

۳- زمین‌شناسی عمومی آبخوان دشت گور

محدوده مورد مطالعه در زون زاگرس چین‌خورده قرار دارد و سن سازندهای زمین‌شناسی آن مربوط به دوره نئوژن -کواترنر است. کیفیت آب‌های زیرزمینی در هر منطقه متأثر از خصوصیات زمین‌شناسی (تنوع سنگی، میزان خلل و فرج سنگ‌ها و انحلال‌پذیری) است (میرزایی محمودآبادی، ۱۳۹۸). عمده سازندهای رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه سازندهای آغاچاری، بختیاری و آبرفت‌های کواترنری است. نقشه زمین‌شناسی دشت گور در شکل ۲ و میزان گسترش و مساحت رخنمون واحدهای سنگ‌شناسی منطقه در جدول ۱ آمده است.

ساله (۱۳۸۸-۱۳۹۷) تعداد ۳۴۱ نمونه آب زیرزمینی از آب‌چاه‌های بهره‌برداری برداشت و به آزمایشگاه ارسال گردید.

انتخاب شد. در مرحله نمونه‌برداری از منابع آب با توجه به پراکندگی چاه‌های بهره‌برداری و لزوم بررسی تغییرات در بازه زمانی حداکثری طی فصول مختلف در بازه زمانی ۹



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی محدوده آبخوان دشت گور

Fig. 2. Geological map of Dasht Goor aquifer area

جدول ۱. میزان گسترش و مساحت رخنمون واحدهای سنگ‌شناسی منطقه

Table 1. The amount of expansion and outcrop area of lithological units in the region

ردیف	سازند	سنگ‌شناسی	مساحت (کیلومترمربع)	سن
۱	کواترنر	آبرفت	۹۰	عهد حاضر
۲	بختیاری	کنگومرا	۹۱/۷۴	پلیستوسن
۳	آغاچاری	مارن و ماسه سنگ	۷۷/۰۱	میوسن بالایی تا پلیوسن
مجموع	-	-	۲۵۸/۷۵	-

استفاده شده است. برای سنجش کلسیم، منیزیم، کلراید و بی‌کربنات به روش تیتراسیون، برای سنجش سدیم و پتاسیم از روش شعله‌سنجی و برای سنجش سولفات از روش وزن‌سنجی استفاده شد. برای هدف انجام مطالعات هیدروژئوشیمی آبخوان دشت گور، تمامی آنیون‌ها و کاتیون‌ها، pH، EC و TDS برای بازه زمانی ۹ ساله در دو مقطع زمانی (اسفندماه ۱۳۸۸ و اسفندماه ۱۳۹۷) اندازه‌گیری، محاسبه، بررسی، تحلیل و مقایسه شده تا

ب) مطالعات و آنالیزهای آزمایشگاهی: هم‌زمان با نمونه‌برداری جهت ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه، فاکتورهای هدایت الکتریکی و pH از طریق دستگاه‌های پرتابل در صحرا نیز اندازه‌گیری شده است. تا ضمن کنترل و صحت‌سنجی نتایج آزمایشگاه، مقایسه‌ای نیز برای به حداقل رسیدن خطا صورت گیرد. در محاسبه و سنجش یون‌های غالب نمونه‌های آب از روش‌های استاندارد تیتراسیون، شعله‌سنجی، وزن‌سنجی و اسپکتروفتومتری

بتوان اثر بهره‌برداری و سایر عوامل محیطی طبیعی و انسان‌زاد را در دوره زمانی ۹ ساله در پهنه دشت مورد مطالعه قرارداد.

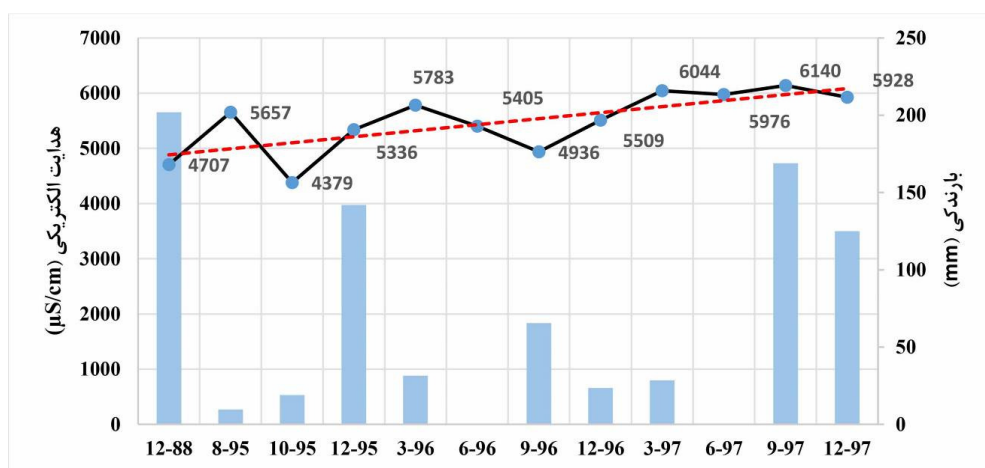
ج) مطالعات نرم‌افزاری: پس از شناسایی و مطالعه تمامی آنیون‌ها و کاتیون‌ها، فصول بهره‌برداری و نحوه تأثیرات سد رئیسعلی دلواری جدول و نمودارهای شاخص کیفی تهیه و از منظر مصارف، شرب، کشاورزی وضعیت توسط نرم‌افزار هیدروژئوشیمی AqQa 1.5.1 مورد تحلیل قرار گرفته. در مرحله بعد جهت ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آبخوان مورد مطالعه رخساره آب‌های زیرزمینی از نمودارهای مختلف مانند پایپر، استیف، شولر، ویلکاکس، درو و گیبس استفاده شد. به منظور تعیین تیپ آب زیرزمینی از نمودار پایپر (پایپر، ۱۹۴۴) استفاده شده است. این دیاگرام کاتیون‌ها به‌صورت درصدی از کل کاتیون‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان در لیتر در نمودار مثلثی سمت چپ و آنیون‌ها نیز به همان ترتیب در نمودار مثلثی سمت راست رسم می‌شوند. در این دیاگرام کاتیون‌ها به‌صورت درصدی از کل کاتیون‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان در لیتر در نمودار مثلثی سمت چپ و آنیون‌ها نیز به همان ترتیب در نمودار مثلثی سمت راست رسم می‌شوند. سپس این دونقطه به سطح لوزی که در وسط دو مثلث قرار گرفته، انتقال می‌یابند. در دیاگرام شولر آب‌ها از نظر میزان کربنات، سولفات و کلراید، تغییرات یونی و روابط بین غلظت‌های آنیون و کاتیون تقسیم‌بندی شده و قابل شرب بودن آن مشخص می‌شود. در این توصیف و طبقه‌بندی مهم‌ترین پارامتر غلظت کلر است. در این نمودار برای هر یک از مقادیر کاتیون (Ca، Mg، K، Na) و آنیون (Cl، SO₄، HCO₃) و نیز درجه سختی آب (TH) و TDS محور جداگانه‌ای در نظر گرفته شده است که با تعیین آن‌ها در آزمایشگاه و اتصال نقاط متناظرشان روی این محورها می‌توان به درجه تناسب آب برای شرب پی برد. برای طبقه‌بندی آب مورد استفاده در آبیاری از نمودار ویلکاکس (ویلکاکس، ۱۹۵۸) استفاده می‌شود. در این نمودار آب مورد استفاده کشاورزی بر اساس دو معیار S.A.R (خطر سدیم - نسبت جذب سدیم) و هدایت الکتریکی ویژه (خطر شوری) به ۱۶ رده تقسیم‌بندی می‌گردد و بر این اساس آب‌های رده C₁S₁ بهترین و آب‌های رده C₄S₄ بدترین آب برای استفاده در فعالیت‌های کشاورزی محسوب می‌شوند. نمودار درو شکل پیشرفته‌تر نمودار پایپر است که جهت بررسی هم‌زمان نسبت‌های

یونی با غلظت کل جامدات محلول و pH نمونه‌های آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (کلانتری، ۱۳۹۰). در نمودار درو نتایج آزمایش آب در قالب مثلث‌های آنیونی و کاتیونی، غلظت کل جامدات محلول (TDS) و pH مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. نمودار گیبس (گیبس، ۱۹۷۰) یا به عبارتی TDS در مقابل نسبت کاتیونی (Na+K)/(Na+K+Ca) برای تعیین منشأ و خصوصیات هیدروژئوشیمی آبخوان دشت مورد استفاده قرار می‌گیرد. طبق دیاگرام گیبس آب‌ها در سه حالت متأثر از باران، سنگ و تبخیر تقسیم‌بندی می‌شوند. بنابراین بر اساس این نمودار مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده شیمی آب تبخیر، تبخیر و رسوب‌گذاری و خصوصیات سنگ منشأ و میزان بارندگی است. یکی از روش‌های بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی یک منطقه تهیه نمودار استیف یا نمودار ستاره‌ای است. در این نمودارها نتایج تجزیه شیمیایی برحسب میلی‌اکی‌والان در لیتر بر روی محورها پیاده می‌شوند. با اتصال نقاط به‌دست‌آمده به هم شکل‌های مشخصی به وجود می‌آید که از لحاظ مقایسه سریع تعداد زیادی از نمونه‌ها بسیار مفید است. از دیگر ویژگی‌های این نمودار می‌توان به مواردی نظیر تشخیص منشأ آب‌ها، افزایش یا کاهش یک آنیون و یا کاتیون در هر نمونه چاه و تحلیل موقعیت مکانی آن، بررسی و شناخت مخازن مشترک آب‌ها در کارست‌ها و شناخت ارتباط هیدرولیکی طبقات و سفره‌های آبی اشاره کرد. در نمودار ستاره‌ای و یا نمودار استیف، Ca در مقابل CO₃+HCO₃؛ Mg در مقابل SO₄ و Na+K در برابر Cl قرار می‌گیرد. هرچه این کاتیون‌ها و آنیون‌ها از نظر مقدار به هم نزدیک‌تر باشند، شکل حاصل منتظم‌تر خواهد بود. برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی در محیط آرک جی‌ای اس از روش‌های مختلف درونیابی می‌توان استفاده کرد. ارزیابی میزان دقت و خطای مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی معیارهای مختلفی مظیر مجموع مربعات باقیمانده، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) است. پیش‌بینی توزیع مکانی یک متغیر در روش‌های زمین‌آماري شامل محاسبه نیم تغییرنمای تجربی و مرحله مدلسازی بر اساس یک تئوری مناسب است. در سیستم اطلاعات جغرافیایی نرم‌افزار Arc GIS از روش‌های آماری کریجینگ، کوکریجینگ، روش مطلق وزندهی معکوس (IDW) و روش اسپلین (Spline) استفاده می‌شود. کریجینگ یک روش تخمینی بر مبنای متحرک

مقدار ۵۹۲۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر تغییر و افزایش یافته است که رشدی معادل ۲۶ درصد را نشان می‌دهد. از نکات قابل توجه دیگر نمودار تغییرات کیفی فصل‌های خشک و تر است که برعکس تئوری کلی که معمولاً فصل خشک می‌بایست هدایت الکتریکی بالاتر و شوری بیشتر باشد، در نمودار کموگراف دشت گور نیمه دوم سال شمسی (یا به عبارتی نیمه اول سال آبی) و فصل تر سال میانگین شوری بیشتر است. علت این پدیده متناقض که در اکثر دشت‌ها می‌تواند رخ دهد، کشاورزی و مصرف بی‌رویه آب از طریق چاه‌های بهره‌برداری است. به صورتی که در طی ماهه‌ای آذر الی خردادماه (فصل بارندگی) میزان برداشت از کل آبخوان آن‌قدر زیاد است که آب با شوری بالاتر از اعماق استخراج شده و آبیاری مزارع کشاورزی و باغات توسط آن انجام می‌شود. نتیجه این اقدام باعث شده تا نتیجه نمونه‌برداری آب سفره زیرزمینی در فصل کشاورزی شورتر از آب سفره زیرزمینی در فصول غیر کشاورزی است. این رخداد به‌صورت سیستماتیک و پرتکرار در نمودار کموگراف دشت قابل مشاهده است. افزایش هدایت الکتریکی در بازه زمانی مورد مطالعه (۹ ماهه) میزان هدایت الکتریکی رو به افزایش بوده است. بنابراین به‌طور کلی روند شوری دشت و آبخوان رو به افزایش است و با افت سطح آب سفره زیرزمینی رابطه مستقیم دارد به‌نحوی که سطح آب به‌طور متوسط در دوره اندازه‌گیری ۲۲/۵ متر افت داشته و کیفیت آب زیرزمینی دشت نیز ۱۲۲۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر شورتر شده است (شکل ۳).

وزن‌دار و بهترین تخمین‌گر خطی ناریب است که مهمترین ویژگی آن تخمین خطا همزمان با محاسبه است (گواس و همکاران، ۲۰۰۳). میان‌یابی با روش Spline ارزش متغیرها بر اساس یک تابع ریاضی که میزان خمیدگی و انحناء کلی سطح را به حداقل می‌رساند محاسبه شده و در نهایت یک سطح نرم و یکنواخت را ایجاد می‌کند. دلیل بکارگیری و انتخاب آن نمایش بهتر متغیرها است. برای رسم نقشه‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS از روش درون‌یابی با فرمان اسپلین استفاده شده است.

کموگراف آبخوان دشت گور: در یک مجموعه آماری به‌منظور پردازش آماری داده‌های کیفی، باید بتوان یک عدد را به‌عنوان معرف وضعیت کیفی دشت معرفی نمود، این رقم در رابطه با تمام متغیرهای موردنظر صورت می‌گیرد. البته می‌توان به‌جای اعلام رقم معرف برای TDS و EC در رابطه با یکی از آن‌ها رقم معرف را اعلام نمود. شاخص معرف آب زیرزمینی، میانگین شوری آب است که از نظر مقایسه‌ای دارای اهمیت زیادی هست. معیار شوری در این بررسی میزان هدایت الکتریکی برحسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر است و می‌بایست ارقام هدایت الکتریکی مورد استفاده مربوط به یک نوع آبخوان باشد. مطالعه نمودار شکل ۳ کموگراف هدایت الکتریکی آبخوان دشت گور نشان می‌دهد که در ابتدای دوره اندازه‌گیری (اسفند، ۱۳۸۸) مقدار میانگین وزنی هدایت الکتریکی چاه‌های دشت ۴۷۰۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بوده که در انتهای دوره مورد مطالعه یعنی اسفند سال ۱۳۹۷ به



شکل ۳. کموگراف آبخوان دشت گور در بازه زمانی ۹ ساله
Fig. 3. Chemograph of Dasht Gor aquifer in 9 years period

جدول ۳. مشخصه‌های آماری مؤلفه‌های مختلف شیمیایی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر مربوط به نمونه‌های اسفندماه ۹۷

Table 3. Statistical characteristics of different chemical components in terms of miligrams/litre related to the samples of March 2018

پارامتر	EC	T.D. S	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄
تعداد نمونه ها	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
میانگین حسابی	۵۵۵۲/۶	۳۳۷۳/۵	۷/۸	۴۳۷/۴	۱۹۴/۱	۴۳۶/۷	۱۲/۷	۱۶۱/۸	۸۱۴/۹	۱۴۶۹/۵
انحراف معیار	۳۲۳۵	۲۰۰۶/۵	۰/۱	۱۷۷/۹	۱۲۹/۹	۴۴۸/۵	۱۱/۶	۲۶/۴	۸۵۵	۹۱۳/۸
ضریب تغییرات (درصد)	۵۸/۳	۵۹/۵	۱/۸	۴۰/۷	۶۶/۹	۱۰۲/۷	۹۱/۳	۱۶/۳	۱۰۴/۹	۶۲/۲
حداکثر	۱۲۶۷۵	۷۴۹۳	۱/۸	۷۰۰	۴۸۰	۱۴۰۳/۲	۳۹	۲۲۵/۷	۳۴۷۹	۴۸۵۶/۲
حداقل	۲۶۳۸	۴۵۶	۷/۵	۱۵۴	۴۸	۵۶/۸	۴/۷	۹۱/۵	۱۶۸/۶	۶۶۲/۹
مد	۲۸۰۸	۱۷۶۴	۷/۷	۶۰۰	۴۸	مد ندارد	۶/۲	۱۶۱/۷	۳۰۱/۸	مد ندارد
میانه	۴۷۹۲/۵	۲۷۲۶	۷/۸	۵۱۱	۱۷۴	۲۸۱/۳	۸	۱۶۱/۷	۴۴۳/۸	۱۲۳۳/۴
دامنه تغییرات	۱۰۰۳۷	۷۰۳۷	۰/۶	۵۴۶	۴۳۲	۱۳۴۶/۴	۳۴/۳	۱۳۴/۲	۳۳۱۰/۴	۴۱۹۳/۳
چولگی	۱/۴	۱	۰/۴	۰/۱	۰/۷	۱/۳	۱/۷	۰/۱-	۲	۲/۱
واریانس	۱۰۸۶۰۱۵۷	۵۷۵۲۷۷۱	۰/۰	۳۳۸۲۳	۲۴۴۰۶	۲۷۹۵۵۹	۱۲۰/۹	۱۳۹۵	۹۱۵۷۰۲	۴۹۹۰۳۶

در نواحی غربی رودخانه دامنه EC تغییر کرده و گستره هدایت الکتریکی ۲۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بسیار محدودتر شده و بیشترین میزان هدایت الکتریکی نیز از حدود ۲۶۳۸ به ۱۲۶۷۵ رسیده است. علت را می‌توان در افزایش تعداد چاه‌های غیرمجاز و بهره‌برداری بی‌رویه دانست که با افزایش عمق چاه، تبادل هیدرولیکی بیشتر با آب سطحی رودخانه و مخزن سد رئیسعلی دلواری این مسئله تشدید شده است. دلیل کاهش EC در مناطق شمالی این بخش نیز تغذیه از طریق سد و سازند کنگلومرای بختیاری است. در نواحی شرقی رودخانه متوسط تغییرات هدایت الکتریکی چندان تفاوت معناداری ایجاد نشده است. (شکل ۴).

یون کلر (Cl): منشأ اصلی کلر آب‌های طبیعی، کانی‌های نمک طعام است. در دور اول نمونه‌برداری در مناطق غربی رودخانه عمدتاً میزان کلر کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و حداکثر آن تا مقادیر ۷۹۸ میلی‌گرم بر لیتر است. اما در نواحی شرقی از مجاور رودخانه (مقادیر ۸۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) شروع و تا میزان ۴۰۰۰ نیز افزایش را نشان می‌دهد. متوسط میزان کلر در سال ۱۳۸۸ برابر با ۹۴۸ میلی‌گرم بر لیتر است. در دور دوم نمونه‌برداری (اسفند ۱۳۹۷) مقادیر کلر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برای نواحی غربی تغییرات شدیدی داشته و از حدود

در نمونه‌های آب چاه‌های آبخوان برای دور دوم تغییرات (اسفند ۹۷) هدایت الکتریکی طبق شکل شماره ۴ متفاوت با دور اول است. در نواحی غربی رودخانه دامنه EC متفاوت با دور اول است. در نواحی غربی رودخانه دامنه EC تغییر کرده و گستره هدایت الکتریکی ۲۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بسیار محدودتر شده و بیشترین میزان هدایت الکتریکی نیز از حدود ۴۰۰۰ به ۱۲۵۰۰ رسیده است. علت را می‌توان در افزایش تعداد چاه‌های غیرمجاز و بهره‌برداری بی‌رویه دانست که با افزایش عمق چاه، تبادل هیدرولیکی بیشتر با آب سطحی رودخانه و مخزن سد رئیسعلی دلواری این مسئله تشدید شده است. دلیل کاهش EC در مناطق شمالی این بخش نیز تغذیه از طریق سد و سازند بختیاری است. در نواحی شرقی رودخانه تغییرات هدایت الکتریکی چندان تفاوت معناداری ایجاد نشده است. تغییرات هدایت الکتریکی یا به عبارتی شوری طی این دوره ۹ ساله نشانگر افزایش شوری عمومی آبخوان است. در بهترین نقاط دشت که کیفیت آب مناسبی داشته (مناطق غربی رودخانه) امروزه به دلیل فعالیت‌های بیش از ظرفیت آبخوان، شوری نامتعارفی حاکم شده است. در نمونه‌های آب چاه‌های آبخوان برای دور دوم تغییرات (اسفند ۹۷) هدایت الکتریکی طبق شکل شماره ۴ ب متفاوت با دور اول است. در نواحی غربی رودخانه دامنه EC متفاوت با دور اول است.

خطوط هم‌پتانسیل از ۵۰ تا ۶۸۰ میلی‌گرم بر لیتر قابل نمایش است. در مقابل تغییرات و شرایط دور دوم نمونه‌برداری (اسفند ۱۳۹۷) گویای یکنواختی و کاهش اختلاف این یون به مقادیر ماکزیمم و مینیمم است. در نواحی شرقی دشت تفاوت مقادیر سدیم بین ۶۰ تا ۱۴۰۰ میلی‌گرم است. در مجموع می‌توان گفت که وجود یون سدیم در نواحی شرقی متأثر از سازند تبخیری و تخریبی آغاجاری است. شکل ۷ به ترتیب نقشه هم‌پتانسیل یون سدیم مربوط به نمونه‌های اسفندماه ۱۳۸۸ و اسفندماه ۱۳۹۷ را نشان می‌دهد.

بی‌کربنات (HCO_3): منشأ بی‌کربنات آب‌های زیرزمینی، عمدتاً انحلال سنگ‌های کربنات است (راویکومار و همکاران، ۲۰۱۱). در دور اول نمونه‌برداری (اسفند ۱۳۸۸) میزان بی‌کربنات در نواحی غربی دشت بیش از نواحی شرقی دشت است. اما در دور دوم نمونه‌برداری (اسفند ۱۳۹۷) این مسئله برعکس شده و نواحی شرقی دشت میزان یون بی‌کربنات غلظت بیشتری دارد. به طور کلی مقادیر یون بی‌کربنات طی دوره آماری ۹ ساله از ۲۰۶ واحد به ۱۶۴ واحد کاهش پیدا کرده است. در مجموع علت این تغییرات را می‌توان به برداشت اولیه آب از سازند بختیاری، افزایش تعداد چاه‌های کشاورزی در مناطق غربی رودخانه، کف‌شکنی‌ها همه‌گیر، ارتباط هیدرولیکی مخزن سد شهید رئیسعلی دلواری نسبت داد. شکل ۸ به ترتیب نقشه هم‌پتانسیل یون بی‌کربنات مربوط به نمونه‌های اسفندماه ۱۳۸۸ و اسفندماه ۱۳۹۷ را نشان می‌دهد.

یون پتاسیم (K): در نقشه‌های هم‌مقدار پتاسیم آنچه گویای تغییرات عمده است، افزایش و توسعه مقادیر پتاسیم در گستره دشت است. به طوریکه میانگین این یون از ۱۱ میلی‌گرم در لیتر در سال ۱۳۸۸ به ۱۴ میلی‌گرم در سال ۱۳۹۷ افزایش یافته است. علت آن فعالیت‌های گسترده کشاورزی و برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی است. با توجه به اینکه افزایش این کاتیون با مراکز تخلیه آبرفت و دشت هم‌کانون است، لذا می‌توان یکی از احتمالات را استفاده از کودها و سموم کشاورزی دارای پتاسیم ذکر کرد که توسط رواناب‌های سطحی به درون آبخوان نفوذ نموده است. شکل ۹ به ترتیب نقشه هم‌پتانسیل یون پتاسیم مربوط به نمونه‌های اسفندماه ۱۳۸۸ و اسفندماه ۱۳۹۷ را نشان می‌دهد.

۸۰۰ به ۳۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش پیدا کرده است. علت آن را می‌توان در عواملی نظیر حفر چاه‌های جدید در مناطق با پتانسیل آبی مناسب و پمپاژ آن‌ها از افق‌های دیگر سفره‌های آبی و افزایش بهره‌برداری دانست. در نواحی شرقی به دلیل محدودیت‌های کیفی (برخلاف نواحی غربی) تغییرات کمتر از نواحی غربی بوده و بهره‌برداری چندان افزایش پیدا نکرده است. متوسط مقدار یون کلر در سال ۱۳۹۷ برابر ۹۰۳ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شده است. که علت کاهش آن نسبت به دور اول همان افزایش حفر چاه در مناطق دارای آب مناسب و کف‌شکنی بیشتر دانست. در دوره بلندمدت ۹ ساله آماربرداری از منابع آب، حاکی از آن است که بهره‌برداری و حفر چاه‌های جدید نواحی از آبخوان را با افزایش میزان یون کلر همراه نموده است. شکل ۵ به ترتیب نقشه هم‌پتانسیل کلر مربوط به نمونه‌های اسفندماه ۱۳۸۸ و اسفندماه ۱۳۹۷ را نشان می‌دهد.

یون سولفات (SO_4): این آنیون که عمدتاً ناشی از انحلال کانی‌های تبخیری نظیر ژپیس و انیدریت است طی دوره آماری بشدت تغییر کرده و عمدتاً مقادیر آن در نواحی غربی آبخوان دستخوش تغییر شده است. در این نواحی یون‌ها از ۲۰ تا ۱۸۶۰ میلی‌گرم طی دوره ۹ ساله افزایش مقادیر یون سولفات رخ داده است. به‌طورکلی چاه‌های نواحی غربی از میزان یون سولفات کمتری برخوردارند. از نواحی شمال غرب به سمت جنوب شرق به میزان یون سولفات افزوده شده است که یکی از دلایل آن اثر رخنمون سازند آغاجاری در نواحی شمال شرق و شرق دشت است. در دور اول (اسفند ۱۳۸۸) حداقل، حداکثر و متوسط یون سولفات به ترتیب ۳۳۴، ۲۶۰۸ و ۱۰۶۱ میلی‌گرم بر لیتر است. درحالی‌که در دور دوم (اسفند ۱۳۹۷) یون سولفات به ترتیب حداقل، حداکثر و متوسط آن به ترتیب ۶۶۳، ۴۸۵۹ و ۱۵۲۹ میلی‌گرم بر لیتر است که نشان از افزایش متوسط مقادیر سولفات در دوره آماری ۹ ساله دارد. شکل ۶ به ترتیب نقشه هم‌پتانسیل سولفات مربوط به نمونه‌های اسفندماه ۱۳۸۸ و اسفندماه ۱۳۹۷ را نشان می‌دهد.

یون سدیم (Na): با بررسی نقشه هم‌پتانسیل سدیم مشخص می‌شود که مقادیر این یون در دشت مورد مطالعه تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای دارد. در دور اول نمونه‌برداری (اسفند ۱۳۸۸) این یون برای نواحی شرقی دشت از ۳۰۰ تا ۲۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و در نواحی غربی دشت، تنها

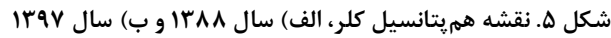
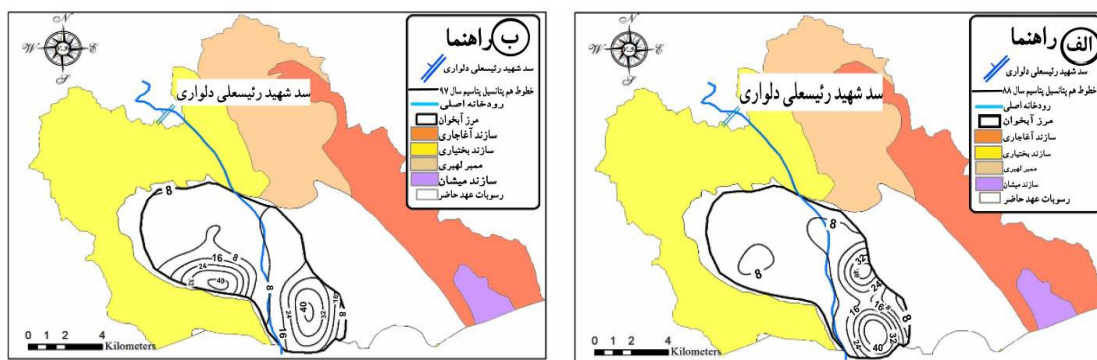


Fig. 8. Bicarbonate isopotential map, A) 2009, B) Year 2018



شکل ۹. نقشه هم‌پتانسیل پتاسیم، الف) سال ۱۳۸۸ و ب) سال ۱۳۹۷

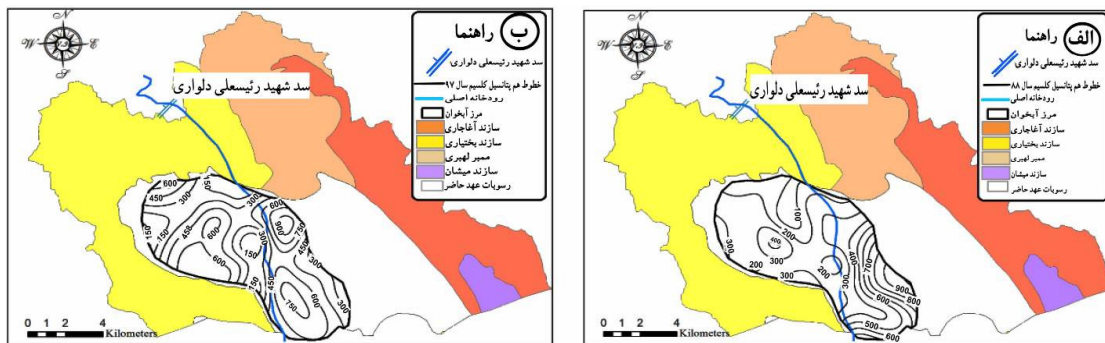
Fig. 9. Potassium isopotential map, A) 2009, B) Year 2018

کل مواد جامد محلول (TDS): آب‌های زیرزمینی شوری را از تداخل آب‌ها و واکنش آن‌ها با موادی که از داخل و یا کنار آن جریان می‌یابند، به دست می‌آورند. در جدول ۴ طبقه‌بندی شوری آب زیرزمینی بر اساس غلظت کل مواد جامد حل شده ارائه گردیده است (تاد، ۲۰۰۵).

شاخص TDS در نقشه سال ۱۳۸۸ (دوره اول نمونه‌برداری) به میزان معناداری با دور دوم تفاوت نشان می‌دهد که ناشی از حفر چاه‌های بیشتر در نقاط مختلف دشت است. در دور اول نمونه‌برداری نواحی غربی رودخانه و شمال آن میزان مواد جامد محلول عمدتاً کمتر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده و شرایطی برای استفاده آب شرب (با رعایت الزاماتی) وجود داشته است. در این مناطق حداکثر TDS حدود ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است. نواحی شرقی از مجاور رودخانه تا فواصل دورتر میزان مواد جامد محلول بین ۳۰۰۰ تا ۱۰۱۰۰ متغیر است. در اسفندماه سال ۹۷ برخلاف سال ۸۸ در بخش غربی رودخانه شاخص TDS افزایش یافته است به‌طوری‌که کمترین مقدار آن ۱۳۸۰ میلی‌گرم بر لیتر و محدود به حاشیه‌های دشت است و بیشترین مقدار آن از ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ۴۵۰۰ در مرکز و ۷۵۰۰ در حاشیه جنوبی رسیده است که دلیل اصلی آن برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و حفاری‌های غیرمجاز در این بخش از آبخوان است. در بخش شرقی رودخانه نیز اثر حفاری‌های غیرمجاز مشهود است به نحوی که مناطق با مجموع املاح محلول بالا (در دور اول) در این دوره وسعت کمتری را شامل می‌شود و دلیل آن زمان کم تماس آب با محیط جامد آبخوان است. همچنین اختلاط با آب سازندهای سخت با کیفیت بالاتر نیز می‌تواند دلیل تغییر کیفی آب در نظر گرفته شود (شکل ۱۲).

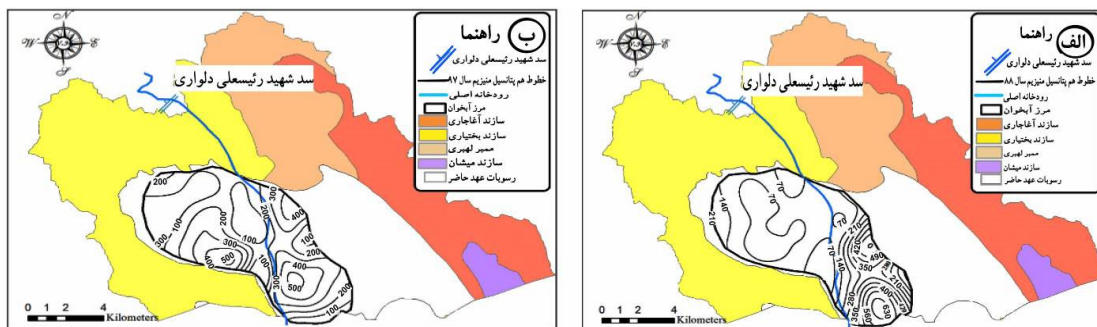
یون کلسیم (Ca): کلسیم همانند منیزیم از کاتیون‌های اصلی آب زیرزمینی است که عمده منبع آن کانی‌های کلسیت، آراگونیت، دولومیت و ژیپس است. بر اساس شکل ۱۰ به ترتیب نقشه هم‌پتانسیل یون کلسیم مربوط به نمونه‌های اسفندماه ۱۳۸۸ و اسفندماه ۱۳۹۷ نشان می‌دهد که به‌طور کلی میزان یون کلسیم از مناطق غربی به مناطق شرقی افزایش می‌یابد. میزان افزایش متوسط این یون طی ۹ سال دوره آماری به دو برابر رسیده است. به عبارتی میانگین این کاتیون از ۷۰ میلی‌گرم در سال ۱۳۸۸ به ۱۵۴ در سال ۱۳۹۷ تغییر کرده است. با توجه به اینکه در سازند آغاجاری انواع کانی‌های تبخیری نظیر ژیپس و انیدریت و طبقات نازک تا متوسط لایه‌ای از ماسه‌سنگ آهکی و سیلتستون به همراه کنگلومرای بختیاری با سیمان آهکی مشاهده می‌شود، کف‌شکنی و توسعه چاه‌ها دلیل مشخصی بر افزایش کلسیم در منطقه است. از طرفی هجوم حفاری‌ها به نزدیک مرزهای سازند آغاجاری و عمق طبقات کنگلومرای بختیاری دلیلی دیگر بر وقوع چنین پدیده‌ای است (شکل ۱۰).

یون منیزیم (Mg): بر اساس شکل ۱۱ میزان یون منیزیم از مناطق غربی به مناطق شرقی افزایش می‌یابد. علت این افزایش میزان کانی‌های تبخیری موجود در نهشته‌های سازند آغاجاری است که در نواحی شمال شرق دشت رخنمون دارند. گفتنی است متوسط یون منیزیم از ۱۷۰ میلی‌گرم در سال ۱۳۸۸ به ۲۰۶ میلی‌گرم در لیتر در سال ۱۳۹۷ رسیده است. کف‌شکنی و توسعه چاه‌ها دلیل مشخصی بر افزایش منیزیم در منطقه است. از طرفی هجوم حفاری‌ها به نزدیک مرزهای سازند آغاجاری و عمق طبقات کنگلومرای بختیاری دلیلی دیگر بر وقوع چنین پدیده‌ای است.



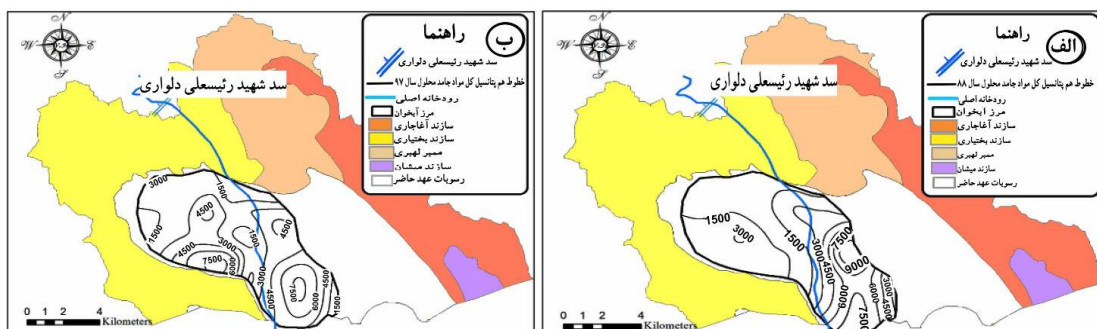
شکل ۱۰. نقشه هم‌پتانسیل کلسیم، الف) سال ۱۳۸۸ و ب) سال ۱۳۹۷

Fig. 10. Calcium isopotential map, A) 2009, B) 2018



شکل ۱۱. نقشه هم‌پتانسیل منیزیم، الف) سال ۱۳۸۸ و ب) سال ۱۳۹۷

Fig. 11. Magnesium equipotential map, A) 2009, B) 2018



شکل ۱۲. نقشه هم‌پتانسیل TDS، الف) سال ۱۳۸۸ و ب) سال ۱۳۹۷

Fig. 12. Equipotential map of TDS, A) 2009, B) year 2018

جدول ۴. طبقه‌بندی شوری آب زیرزمینی (تاد، ۲۰۰۵)

Table 4. Groundwater salinity classification (Todd, 2005)

گروه آب	TDS) mg/Lit) کل مواد جامد حل شده
آب شیرین (fresh water)	۰ - ۱۰۰۰
آب لب‌شور (Brakish water)	۱۰۰۰ - ۱۰۰۰۰
آب شور (Saline water)	۱۰۰۰۰ - ۱۰۰۰۰۰
آب نمک (Brine)	> ۱۰۰۰۰۰

در نظر گرفته شده است. انجمن مطالعات آب آمریکا (AWWA) تراز ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سختی برحسب CaCO_3 را برای آب ایدئال پیشنهاد داده است. لایه‌های

سختی کل (TH): استاندارد سختی آب بنا به توصیه سازمان بهداشت جهانی برابر ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر برحسب CaCO_3 به‌عنوان حداکثر غلظت مجاز برای شرب

به اطلاعات به‌دست‌آمده و ارائه شده در جدول شماره ۳ حداکثر مقدار سختی کل در چاه شماره ۳۵ در منطقه سیاه منصور به میزان ۳۵۵۶ قابل مشاهده است.

آبدار سنگ‌آهک و سنگ گچ ممکن است حاوی آب دارای سختی ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی گرم در لیتر باشند (هم، ۱۹۸۹). جدول‌های ۵ و ۶ وضعیت سختی نمونه‌های برداشت‌شده در دوره‌های اسفند ۸۸ و اسفند ۹۷ نشان می‌دهد. با توجه

جدول ۵. طبقه‌بندی کیفیت بر اساس سختی کل مربوط به نمونه‌های اسفندماه ۸۸

Table 5. Quality classification based on total hardness (March 2009)

ردیف	محل نمونه‌برداری	علامت اختصاری	سختی کل	سختی موقت	سختی دائم	کیفیت آب بر اساس سختی کل
۱	گلدشت	W1	۱۳۴۱/۶۶	۴۲۰	۹۲۱/۶۶	کاملاً سخت
۲	گلدشت	W2	۷۴۵/۷۴	۳۵۰	۳۹۵/۷۴	کاملاً سخت
۳	گلدشت	W3	۹۹۴/۶	۲۷۰	۷۲۴/۶	کاملاً سخت
۴	گلدشت	W4	۸۷۱/۱۵	۴۰۰	۴۷۱/۱۵	کاملاً سخت
۵	گلدشت	W5	۷۹۶/۸	۴۰۰	۳۹۶/۸	کاملاً سخت
۶	گلدشت	W6	۶۲۰/۸۹	۳۰۰	۳۲۰/۸۹	کاملاً سخت
۷	گلدشت	W7	۱۲۴۵/۱۳	۵۰۰	۷۴۵/۱۴	کاملاً سخت
۸	گلدشت	W8	۸۷۱/۱۵	۴۰۰	۴۷۱/۱۵	کاملاً سخت
۹	گلدشت	W9	۴۷۱/۰۷	۳۵۰	۱۲۱/۰۷	کاملاً سخت
۱۰	میلک	W10	۵۷۱/۵۱	۴۰۰	۱۷۱/۵۱	کاملاً سخت
۱۱	پلنگی	W11	۱۱۱۹/۴۵	۳۵۰	۷۶۹/۴۵	کاملاً سخت
۱۲	میلک	W12	۷۷۰/۷۱	۳۵۰	۴۲۰/۷۱	کاملاً سخت
۱۳	پلنگی	W13	۷۴۶/۰۲	۴۰۰	۳۴۶/۰۲	کاملاً سخت
۱۴	پلنگی	W14	۱۱۱۹/۴۵	۲۵۰	۸۶۹/۴۵	کاملاً سخت
۱۵	پلنگی	W15	۱۱۹۴/۶۴	۳۰۰	۸۹۴/۶۴	کاملاً سخت
۱۶	پلنگی	W16	۵۹۷/۰۴	۳۵۰	۲۴۷/۰۴	کاملاً سخت
۱۷	بنه محمد	W17	۸۴۷/۳	۳۸۰	۴۶۷/۳	کاملاً سخت
۱۸	جره	W18	۹۹۳/۴۸	۳۵۰	۶۴۳/۴۸	کاملاً سخت
۱۹	جره	W19	۱۱۴۵/۵۴	۲۳۰	۹۱۵/۵۴	کاملاً سخت
۲۰	سیاه منصور	W20	۱۲۴۲/۹	۳۵۰	۸۹۲/۹	کاملاً سخت
۲۱	سیاه منصور	W21	۱۳۴۶/۶۶	۳۰۰	۱۰۴۱/۶۶	کاملاً سخت
۲۲	سیاه منصور	W22	۳۲۷۷	۳۰۰	۲۹۷۷	کاملاً سخت
۲۳	سیاه منصور	W23	۳۹۷۰/۲۸	۳۵۰	۳۶۲۰/۲۸	کاملاً سخت
۲۴	سیاه منصور	W24	۳۲۳۰/۷	۳۰۰	۲۹۳۰/۷	کاملاً سخت
۲۵	سیاه منصور	W25	۳۵۶۶/۵۶	۳۲۰	۳۲۴۶/۵۶	کاملاً سخت
۲۶	صبا	W26	۲۹۳۳/۰۲	۲۵۰	۲۶۸۳/۰۲	کاملاً سخت

اسیدیته (pH): بررسی میزان اسیدیته دشت مورد مطالعه نشان می‌دهد که این شاخص در سال ۱۳۸۸ بین ۷/۲۵ تا ۷/۹۵ متغیر و در نتیجه اسیدیته آب برای تمامی چاه‌ها بازی گزارش می‌گردد. میانگین، دامنه تغییرات و انحراف میانگین این شاخص در سال ۱۳۸۸ به ترتیب ۷/۷، ۰/۷ و ۰/۱ است. شاخص pH طی ۹ سال بعد یعنی در سال ۱۳۹۷ بین ۴۹/۷ تا ۸/۰۵ متغیر و در نتیجه خاصیت آب برای تمامی چاه‌ها بازی گزارش می‌گردد.

نمودار شولر^۱: نمودار شولر بر اساس املاح و یون‌های عمده مورد نیاز بدن، طبق استانداردهای پیشنهادی مراکز علمی-پژوهشی جهان تنظیم شده است. بر اساس نمودار شولر ممکن است بعضی نمونه‌های آب دارای کیفیت خوبی از لحاظ آشامیدن باشند، درحالی‌که بعضی دیگر می‌تواند حاوی مواد مضر و سمی نظیر: نیترات، آرسنیک، مواد آلی و باکتریایی باشد؛ که در غیر این صورت کاملاً غیرقابل شرب خواهند بود. از نمودار شولر جهت شناخت پدیده اختلاط

¹ Schoeller Diagram

اسفندماه ۸۸ را نشان می‌دهد هیچ‌یک از نمونه در رده خوب جهت مصرف شرب قرار نمی‌گیرد و بیشتر نمونه در رده‌های قابل قبول تا کاملاً نامطبوع قرار گرفته است. بررسی نقشه پهنه‌بندی طبقه‌بندی آب آشامیدنی دشت گور نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی در اکثر نقاط دشت وضع مناسبی برای آشامیدن ندارد. تنها در قسمت جنوب شرقی دشت کیفیت در حد قابل قبول و متوسط است.

آب‌های زیرزمینی نیز می‌توان استفاده کرد (ریشتر و کریترلر، ۱۹۹۳). بر این مبنا آب‌ها به ۶ گروه شامل گروه ۱ (قابل شرب خوب)، گروه ۲ (قابل قبول)، گروه ۳ (متوسط)، گروه ۴ (نامناسب)، گروه ۵ (کاملاً نامطبوع) و گروه ۶ (غیرقابل شرب) تقسیم‌بندی می‌شود. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول‌های شماره ۷ و ۸ که درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در

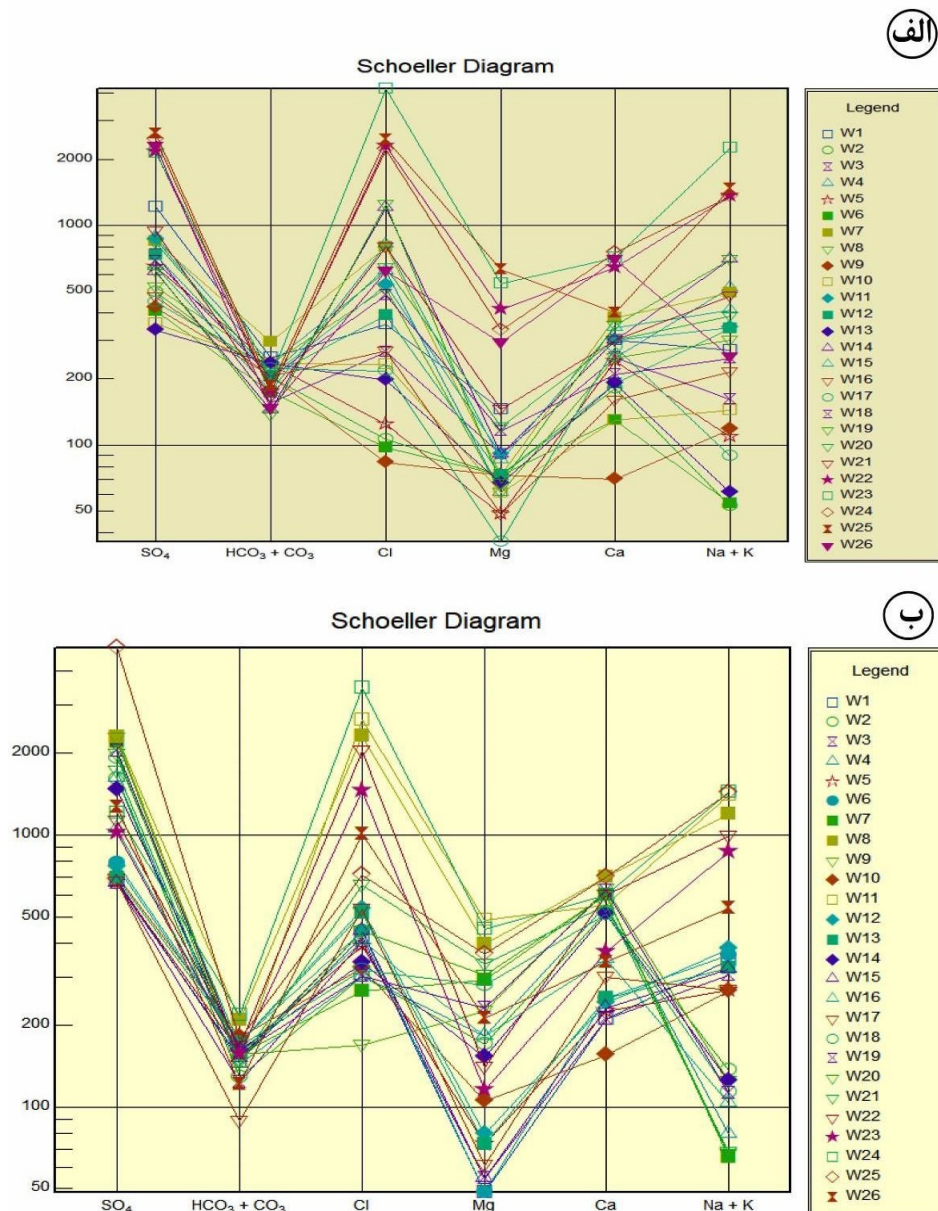
جدول ۶. طبقه‌بندی کیفیت بر اساس سختی کل (اسفندماه ۱۳۹۷)

Table 6. Quality classification based on total hardness (March 2018).

ردیف	محل نمونه‌برداری	علامت اختصاری	سختی کل	سختی موقت	سختی دائم	کیفیت آب بر اساس سختی کل
۱	گلدشت	W1	۷۲۱/۸۹	۲۵۰	۴۷۱/۸۹	کاملاً سخت
۲	گلدشت	W2	۱۹۸۹/۷۶	۲۱۵	۱۷۷۴/۷۶	کاملاً سخت
۳	گلدشت	W3	۷۴۶/۵۸	۲۱۰	۵۳۶/۵۸	کاملاً سخت
۴	گلدشت	W4	۲۱۱۴/۰۵	۲۴۰	۱۸۷۴/۰۵	کاملاً سخت
۵	گلدشت	W5	۸۵۸/۱۱	۲۶۵	۵۹۳/۱۱	کاملاً سخت
۶	گلدشت	W6	۸۲۱/۷۷	۲۹۰	۵۳۱/۷۷	کاملاً سخت
۷	گلدشت	W7	۲۶۸۳/۳۲	۲۶۵	۲۴۱۸/۳۲	کاملاً سخت
۸	گلدشت	W8	۳۳۵۲/۷۵	۳۵۰	۳۰۰۲/۷۵	کاملاً سخت
۹	گلدشت	W9	۲۴۸۶/۶۴	۲۶۵	۲۲۱/۶۴	کاملاً سخت
۱۰	میلک	W10	۸۰۹/۲۱	۳۰۵	۵۰۴/۲۱	کاملاً سخت
۱۱	پلنگی	W11	۳۳۴۸/۵۵	۲۵۰	۳۰۹۸/۵۵	کاملاً سخت
۱۲	میلک	W12	۹۲۰/۲۵	۲۹۰	۶۳۰/۲۵	کاملاً سخت
۱۳	پلنگی	W13	۹۲۰/۵۳	۲۹۰	۶۲۰/۵۳	کاملاً سخت
۱۴	پلنگی	W14	۱۸۹۰/۷۲	۲۷۰	۱۶۲۰/۷۲	کاملاً سخت
۱۵	پلنگی	W15	۷۹۶/۵۲	۲۵۵	۵۴۱/۵۲	کاملاً سخت
۱۶	پلنگی	W16	۱۶۱۴/۶۵	۲۶۵	۱۳۴۹/۶۵	کاملاً سخت
۱۷	بنه محمد	W17	۹۹۶	۱۵۰	۸۴۶	کاملاً سخت
۱۸	جره	W18	۲۴۱۴/۲	۲۸۰	۲۱۳۴/۲	کاملاً سخت
۱۹	جره	W19	۲۴۸۶/۳۶	۲۶۵	۲۲۲۱/۳۶	کاملاً سخت
۲۰	سیاه منصور	W20	۲۷۳۲/۷	۲۵۰	۲۴۸۲/۷	کاملاً سخت
۲۱	سیاه منصور	W21	۲۷۳۱/۳	۲۵۰	۲۴۸۱/۳	کاملاً سخت
۲۲	سیاه منصور	W22	۲۰۶۶/۰۷	۲۸۰	۱۷۸۶/۰۷	کاملاً سخت
۲۳	سیاه منصور	W23	۱۳۹۳	۲۶۵	۱۱۲۸	کاملاً سخت
۲۴	سیاه منصور	W24	۳۳۲۵/۲۶	۳۷۰	۲۹۵۵/۲۶	کاملاً سخت
۲۵	سیاه منصور	W25	۳۲۲۹/۳	۳۰۰	۲۹۲۹/۳	کاملاً سخت
۲۶	صبا	W26	۱۷۱۳/۱۳	۲۱۰	۱۵۰۳/۱۳	کاملاً سخت

شش نمونه در گروه آب‌های غیرقابل شرب قرار می‌گیرند. بررسی نقشه پهنه‌بندی طبقه‌بندی آب آشامیدنی دشت گور نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی در اکثر نقاط دشت وضع مناسبی برای آشامیدن ندارد. تنها در قسمت جنوب شرقی دشت کیفیت در حد قابل قبول و متوسط است (شکل ۱۳).

با توجه به نمودار شولر در دور دوم درصد قابل قبولی از نمونه‌ها در رده خوب جهت شرب قرار نمی‌گیرد و بیشتر در رده متوسط تا کاملاً نامطبوع قرار می‌گیرند. اساس شکل شماره ۱۳ الف و ب و نتایج ارائه شده در جدول‌های ۷ و ۸ از بین ۲۶ نمونه دشت گور، نه نمونه در گروه آب‌های نامناسب، یازده نمونه در گروه آب‌های کاملاً نامطبوع و



شکل ۱۳. نمودار شولر در منطقه مورد مطالعه، الف) سال ۱۳۸۸ و ب) سال ۱۳۹۹، واحد بردار عمودی میلی گرم بر لیتر.

Fig. 13. Shuler's diagram in the study area, A) 2009, B) 2018, vertical boarder unit is mg/l

جدول ۷. درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در کل محدوده اسفندماه ۸۸

Table 7. The percentage of each of Schuler's classification classes for drinking purposes in the entire area of March 2009.

SO4	Cl	Na	pH	TH	TDS	طبقه‌بندی آب
۰	۱۵	۱۹	۹۶	۰	۰	خوب
۰	۱۹	۱۵	۴	۴	۸	قابل قبول
۳۱	۳۱	۳۱	۰	۴۶	۳۸	متوسط
۴۶	۱۹	۱۹	۰	۳۱	۳۵	نامناسب
۱۲	۱۲	۱۲	۰	۱۹	۱۵	کاملاً نامطبوع
۱۲	۴	۰	۰	۰	۴	غیر قابل شرب

جدول ۸. درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در کل محدوده اسفندماه ۹۷

Table 8. % of each of Shuler's classification classes for drinking purposes in the entire range of March 2018

SO4	Cl	Na	pH	TH	TDS	طبقه‌بندی آب
۰	۴	۲۷	۹۶	۰	۴	خوب
۰	۲۷	۱۲	۴	۰	۰	قابل قبول
۰	۴۲	۳۵	۰	۳۵	۲۷	متوسط
۴۶	۸	۸	۰	۱۹	۴۶	نامناسب
۳۸	۱۵	۱۹	۰	۴۶	۲۳	کاملاً نامطبوع
۱۵	۴	۰	۰	۰	۰	غیر قابل شرب

۱۳۹۷ (شکل ۱۴ ب) نشان می‌دهد که نمونه‌های آب عمدتاً از نوع سولفات-کلسیک (سولفات کلسیمی) است. نمودار ویلکاکس^۲: بر اساس اطلاعات ارائه شده مربوط به اسفندماه سال ۸۸ تعداد ۸ نمونه موجود در دشت گور جزء آب‌های شور قرار می‌گیرند و برای مصارف کشاورزی نامناسب هستند و سایر نمونه‌ها (۱۸ نمونه) جزء آب‌های خیلی شور قرار می‌گیرند. این آب‌ها از نظر مصارف کشاورزی نامناسب و می‌تواند در شرایط خاص برای گیاهان خاصی قابل استفاده باشد. شکل شماره ۱۵ موقعیت پهنه‌های آب شور و خیلی شور را با طبقه‌بندی ویلکاکس برای دور اول نمونه‌برداری (اسفند ۱۳۸۸) نشان می‌دهد. گذشت زمان و شوری بیشتر آب آبخوان سبب شده تا کل آب آبخوان برای دور دوم نمونه‌برداری (اسفند ۱۳۹۷) در رده خیلی شور تقسیم‌بندی گردد (به دلیل اینکه تنها یک رده تقسیم‌بندی آب (خیلی شور) شناسایی شده و امکان طبقه‌بندی در نقشه تقسیم‌بندی شوری آب وجود ندارد، نقشه‌ای برای دور دوم نمونه‌برداری ترسیم نشده است). در میان نمونه‌های انتخابی موجود تمامی نمونه‌ها در گروه آب‌های خیلی شور قرار گرفته و از نظر مصارف کشاورزی نامناسب می‌باشند (شکل ۱۵).

نمودار درو^۳: بر اساس دیاگرام درو در سال ۸۸ حداکثر TDS مربوط به نمونه آب چاه شماره W23 به میزان ۱۰۱۴۰ میلی گرم بر لیتر و حداقل آن مربوط به نمونه آب چاه شماره ۶ به میزان ۹۲۸ میلی گرم بر لیتر است. بر اساس نمونه‌برداری از شبکه پایش در دور اول (اسفند ۱۳۸۸) ترتیب مقادیر TDS برای چاه‌های دشت گور نشان می‌دهد که چاه شماره ۲۳ بیشترین مقادیر مواد جامد محلول و چاه شماره ۶ کمترین مقادیر را دارا است. در

نمودار پایپر^۱: نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب از طریق دیاگرام پایپر مورد تحلیل و تفسیر قرار گرفته است. این نمودار برای شناخت ترکیب و تیپ آب زیرزمینی، رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی و مسیرهای تکاملی هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی تعیین کننده توده‌های آبی با ماهیت هیدروژئوشیمیایی متفاوت بوده و جهت توصیف تفاوت‌ها در ترکیب شیمیایی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (کلانتری، ۱۳۹۰). بر اساس نتایج حاصل از رسم دیاگرام پایپر دشت گور، نمونه‌های آب در اسفند ۸۸ عمدتاً از نوع سولفات-کلسیک (سولفات کلسیمی) و بعد از آن سولفات منیزیک (سولفات منیزیمی) نیز مشاهده می‌شود. تحلیل نمونه‌ها نشان می‌دهد که مقدار یون‌های SO₄ (آنیون غالب) و Ca (کاتیون غالب) در مقایسه با سایر یون‌ها بیشتر است که علت آن دی‌اکسید کربن و حلالیت بالای کربنات کلسیم است. علاوه بر این یون SO₄ ناشی از انحلال تبخیری‌های سازند آغاچاری منطقه (نظیر کانی‌های ژئوپس و انیدریت) و سازند تبخیری گچساران (آب شستگی در بالادست) است. همچنین رسم این دیاگرام برای نمونه‌های آب در اسفند ۹۷ نشان می‌دهد که نمونه‌های آب عمدتاً از نوع سولفات-کلسیک (سولفات کلسیمی) است. مطالعات هیدروژئوشیمی بر اساس نتایج حاصل از رسم دیاگرام پایپر (شکل ۱۴) برای دشت گور نشان می‌دهد کیفیت آب در دور اول نمونه‌برداری یعنی اسفند سال ۱۳۸۸ عمدتاً از نوع سولفات-کلسیک (سولفات کلسیمی) و در مرتبه بعد از آن سولفات منیزیک (سولفات منیزیمی) است. همچنین رسم این دیاگرام برای نمونه‌های آب در دور دوم اسفند سال

³ Durov Diagram

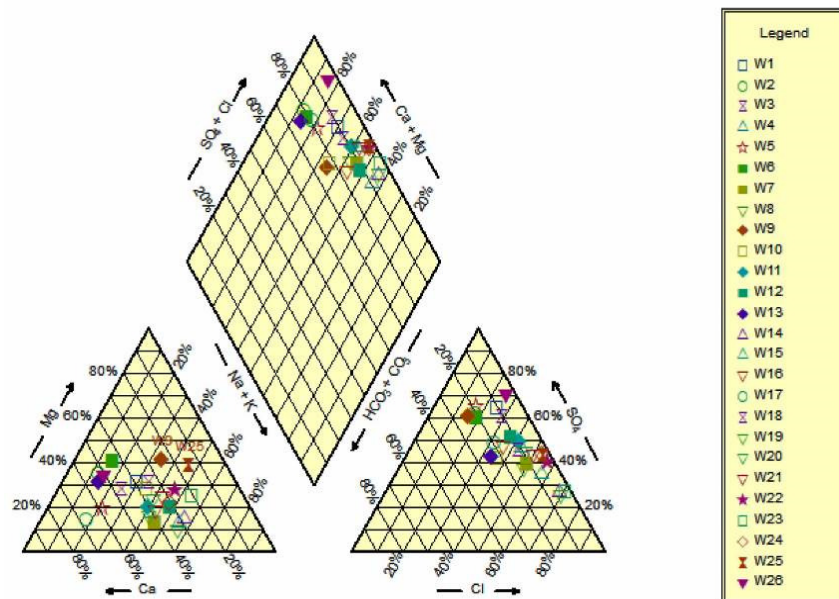
¹ Piper Diagram

² Wilcox Diagram

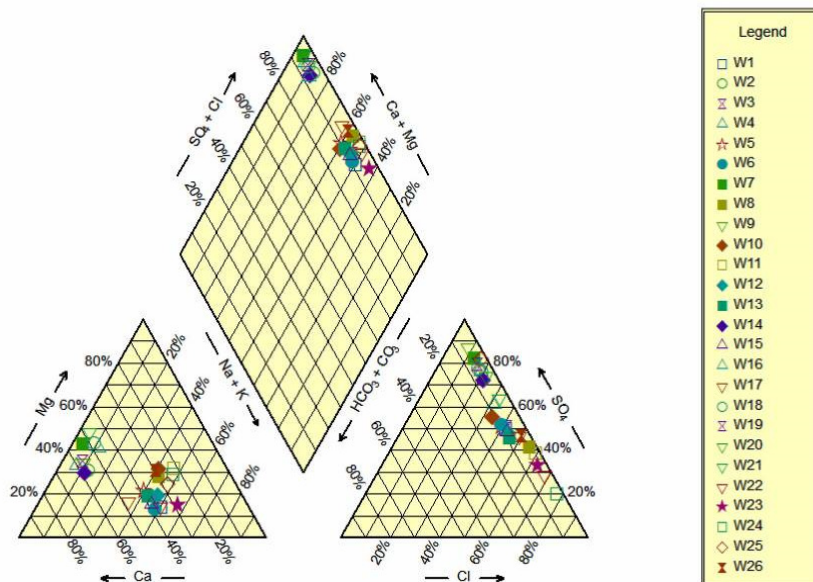
نسبت به سال ۱۳۸۸ بیشتر شده است بطوریکه بیشترین pH در سال ۱۳۸۸ مربوط به نمونه آب چاه شماره ۱۹ به مقدار ۷/۹۵ و در سال ۹۷ مربوط به چاه‌های شماره ۵ و ۶ به مقدار ۸/۰۹ است (شکل ۱۶).

نمونه‌برداری دور دوم (اسفند ۱۳۹۷) حداکثر میزان TDS در نمونه آب چاه شماره ۲۴ و حداقل آن چاه شماره ۱۸ است. عمده مقادیر TDS در محدوده ۴۵۶ تا ۷۴۹۳ میلی گرم بر لیتر است. دامنه تغییرات pH در سال ۱۳۹۷

الف

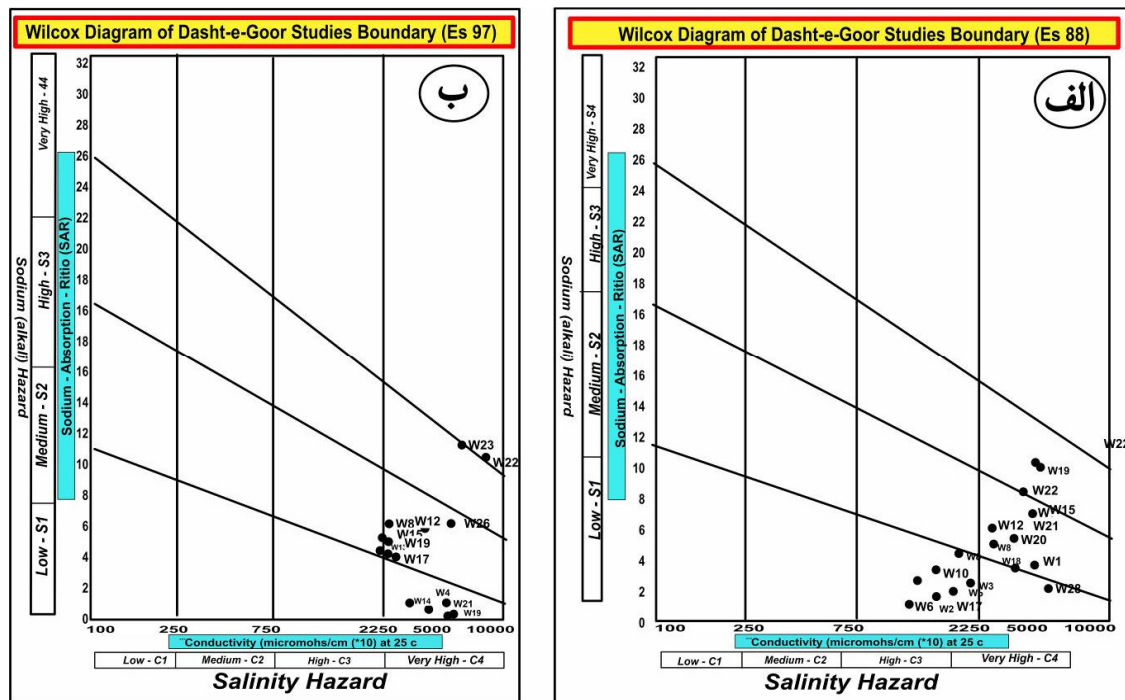


ب



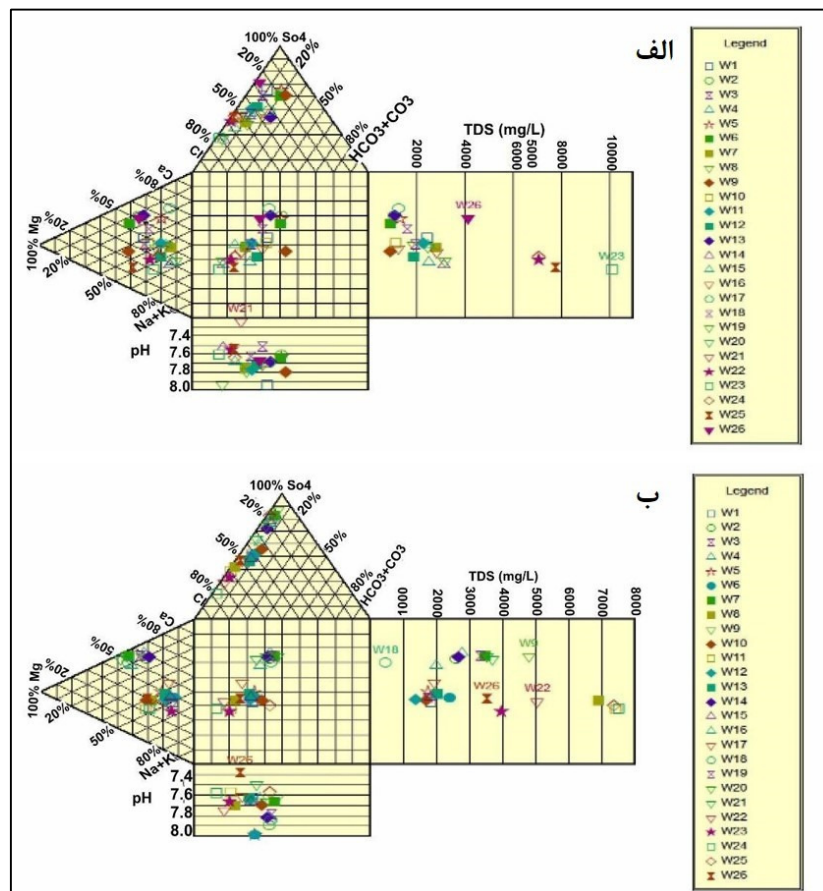
شکل ۱۴. نمودار پایپر در منطقه مورد مطالعه، الف) سال ۱۳۸۸ و ب) سال ۱۳۹۹

Fig. 14. Piper diagram in the study area, A) 2009, B) 2018



شکل ۱۵. نمودار ویلکاکس در منطقه مورد مطالعه، الف) سال ۱۳۸۸ و ب) سال ۱۳۹۹

Fig. 15. Wilcox diagram in the study area, A) 2009, B) 2018



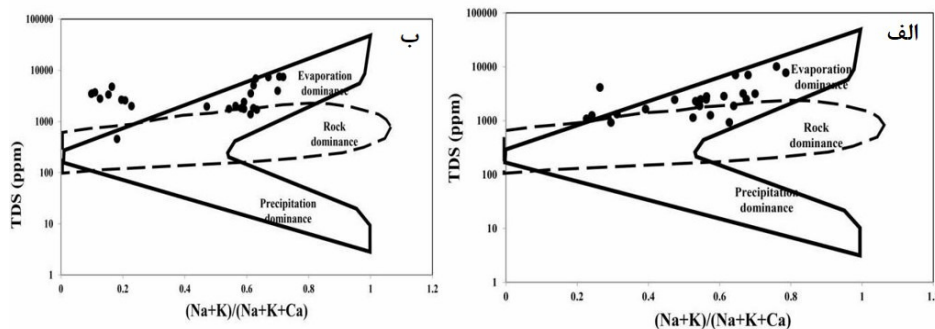
شکل ۱۶. نمودار دورو در منطقه مورد مطالعه، الف) سال ۱۳۸۸ و ب) سال ۱۳۹۹

Fig. 16. Doro chart in the study area, A) 2009, B) 2018

نمودار گیبس

همان‌طور که در نمودار شکل شماره ۱۷ مشاهده می‌شود عمده نمونه‌های آب دشت به دلیل TDS بالایی که دارند، در بخش بالایی نمودار^۱ و بالای مرز هوازدگی سنگ‌ها قرار می‌گیرند. این ویژگی در نمودار دور دوم نمونه‌برداری (اسفند ۹۷) بیش از دور اول نمونه‌برداری (اسفند ۸۸) مشهود است. دلیل آن می‌تواند وجود آبخوان طبیعی و بکرتر (مناطق دارای لایه‌های دانه‌درشت) دشت گور در سال‌های اولیه باشد، که چندان مورد هجوم و پمپاژی رویه قرار نگرفته و بخشی از آب (بخصوص نواحی غرب رودخانه) از میزان TDS کمتری برخوردار هستند. از طرفی سطح آب سفره زیرزمینی بسیار پایین‌تر از عمق سطح تبخیر است و دلیل قرارگیری نمونه‌های آب دشت مورد مطالعه

علاوه بر تبخیر مستقیم می‌تواند ناشی از وجود رسوبات دانه‌ریز و افزایش رسوبات جامد محلول در آب و تبخیری‌های ناشی از انحلال کانی‌های تبخیری همانند ژپس در سازند آغاچاری (به‌ویژه در مناطق شرقی رودخانه) باشد. تعدادی از نمونه‌ها، واکنش‌هایی که سنگ روند واکنش را تحت کنترل دارد عمدتاً در دور اول نمونه‌برداری قابل تشخیص است و این نشان می‌دهد که ضمن زمان بالای تماس آب و سنگ، طبقات حفر شده برای پمپاژ آب، فاقد کانی‌های تبخیری بوده است. در پیدایش ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، این نسبت‌ها متأثر از ترکیب شیمیایی کانی‌های محلول در آب بوده و مقدار کانی انحلال یافته در درجه بعدی قرار دارد (هانسلو، ۱۹۹۵) (شکل ۱۷).



شکل ۱۷. نمودار گیبس در منطقه مورد مطالعه، الف) سال ۱۳۸۸ و ب) سال ۱۳۹۹

Fig. 17. Gibbs diagram in the study area, A) 2018, B) 2019

نمودار استیف^۱

بررسی نمودار استیف در نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که در بیشتر نمونه‌های موجود در دشت گور برای دور اول و دوم نمونه‌برداری یون سولفات فراوان‌ترین و یون بی‌کربنات فقیرترین یون است. نمونه آب‌های موجود در دشت گور بر اساس نمودارهای ستاره‌ای به ۴ گروه تقسیم گردید: گروه شماره یک: نمونه‌های چاه‌های شماره (۱، ۲، ۳، ۵، ۶ و ۱۲)، گروه شماره دو: نمونه‌های چاه‌های شماره (۴، ۷ و ۸)، گروه شماره سه: نمونه‌های چاه‌های شماره (۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۲۰ و ۲۱) و گروه شماره چهار شامل نمونه‌های چاه‌های شماره (۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵) است. بررسی اشکال دیاگرام ستاره‌ای برای نتایج آنالیز شیمیایی دور اول (۱۳۸۸) نشان می‌دهد که می‌توان ۴ زون با خصوصیات هیدروژئوشیمیایی شناسایی نمود. در مناطق

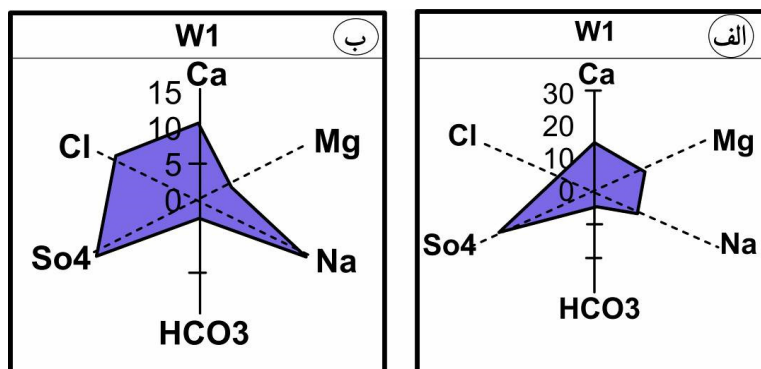
شمال غربی چاه‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۵ و ۱۲ خصوصیات تقریباً مشابهی دارند. در مناطق مرکزی بخش غربی رودخانه چاه‌های شماره ۴، ۷ و ۸ خصوصیات نسبتاً مشابهی دارند. در مناطق اطراف رودخانه چاه‌های شماره ۱۱ و ۱۲ و همچنین چاه‌های شماره ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۲۰ و ۲۱ نیز تا حدودی از ویژگی مشابه و یکسانی برخوردارند. در مناطق جنوب شرقی آبخوان چاه‌های شماره ۲۲، ۲۳ و ۲۴ و تا حدی چاه شماره ۲۵ شباهت‌های زیادی به لحاظ منشأ دارند. بررسی منشأ آب و مقایسه ویژگی هیدروژئوشیمی چاه‌های آبخوان دشت گور در دوره دوم (اسفند ۱۳۹۷) نشان می‌دهد که تغییراتی در مقایسه با سال ۱۳۸۸ وجود دارد. در این دوره نیز چهار منطقه با خصوصیات متفاوت و دارای چاه‌های با ویژگی‌های مشابه برای هر گروه قابل شناسایی است. گروه اول شامل چاه‌های

¹ Stiff

¹ Dominated Evaporation

چاه‌های مجاور تغییر یا مشابه نموده‌اند. دلیل چنین تغییرات می‌تواند ناشی از کف‌شکنی، تغییرات مکانی، تفاوت کمی و کیفی رسوبات آبرفتی، ویژگی‌های بهره‌برداری و همچنین اثر سد رئیسعلی دلواری و رودخانه شاپور باشد. در دشت گور تنوع نمودارهای ستاره‌ای حاکی از وجود آب با خصوصیات و منشأهای نسبتاً متفاوت است که علت آن آب از اعماق مختلف دشت در لایه‌ها و طبقات کنگلومرای بختیاری و همچنین اثر متفاوت سازند مارنی تبخیری آغاچاری است. در شکل ۱۸ نمودار استیف چاه شماره یک جهت نمونه آمده است.

شماره ۳، ۵، ۶ و ۱۲، گروه دوم شامل چاه‌های شماره ۴ و ۷، گروه سوم شامل چاه‌های شماره ۱۴، ۱۸ و ۱۹ و در جنوب شرقی دشت گروه چهارم شامل چاه‌های شماره ۲۲، ۲۳ و ۲۴ قرار می‌گیرند. سایر چاه‌ها از خصوصیات متفاوت خارج از ۴ گروه فوق تبعیت می‌کنند. با بررسی روند تغییرات در ویژگی‌های هیدروشیمیایی چاه‌های بهره‌برداری در نقاط مختلف دشت نشانگر آن است که در دوره آماری ۹ ساله تغییراتی در ویژگی منشأ هیدروشیمیایی برای آب چاه‌های مناطق مختلف دشت ایجاد شده است و ویژگی‌های هیدروشیمیایی خود را با



شکل ۱۸. نمودار استیف در منطقه مورد مطالعه چاه شماره ۱، الف) سال ۱۳۸۸ و ب) سال ۱۳۹۹
Fig. 18. Stiff chart in the study area Well No. 1, A) 2009, B) 2018

و نتیجتاً باعث افزایش بار معلق و یون‌های مخربی نظیر کلر و سولفات در منابع آب زیرزمینی می‌شود (هیت و ترینر، ۱۹۶۸)؛ پیران قرنی نمین و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به زمین‌شناسی دشت گور دشت گور نهشته‌های دشت سیلابی تحکیم نیافته (گراول و ماسه) در سطح و در اعماق بخش‌هایی از لایه‌های جوان‌تر کنگلومرای بختیاری رخنمون دارند. در اطراف دشت نیز سازندهای آغاچاری و بختیاری گسترش دارند. لایه‌های ماسه‌سنگی سازند آغاچاری اثر مخربی بر کیفیت آب ندارند اما لایه‌های مارنی به علت ریزافت بودن می‌توانند تأثیر منفی داشته باشد. لایه‌های گچی نیز به علت انحلال‌پذیری بالا باعث تخریب کیفیت آب و افزایش یون سولفات در آب می‌گردند. سنگ-شناسی غالب سازند بختیاری کنگلومرای است که در زیر سطح با لایه‌های افقی بخشی از آبخوان را نیز تشکیل می‌دهد. این سازند همچون سازندهای کارستی عمل کرده و به لحاظ حلالیت کم ذرات تشکیل‌دهنده، منابع آب شکل‌گرفته در آن می‌تواند از کیفیت مطلوبی برخوردار باشند.

۵-۲- اثر سازندهای مختلف منطقه بر کیفیت

منابع آب در محدوده مورد مطالعه

شناخت دقیق مسائل سنگ‌شناسی، رسوب‌شناسی، کانی‌شناسی سازندهای زمین‌شناسی از مهم‌ترین عوامل موثر بر کیفیت و کمیت منابع آب‌های زیرزمینی است (هیت و ترینر، ۱۹۶۸)؛ پیران قرنی نمین و همکاران، ۲۰۱۸). در منطقه مورد مطالعه نهشته‌های مربوط به فارس بالایی یعنی سازند آغاچاری قرار دارد که انواع هوازدگی شیمیایی و فیزیکی را می‌توان در آن مشاهده نمود. بطوریکه وجود طبقات ماسه‌سنگی با سیمان آهکی، رسوبات مارنی و سیلتستون و نیز رگه‌های ژئپسی و سایر کانی‌های تبخیری نقش مستقیمی در کیفیت آب‌های زیرزمینی دارند. ماسه‌سنگ‌ها به دلیل مقاومت بیشتر در برابر عوامل فرسایش معمولاً برجستگی‌ها را تشکیل می‌دهد و به دلیل داشتن سیمان کلسیتی بعضاً دارای حفراتی نیز در اندازه‌های مختلف می‌باشند. سازندهای زمین‌شناسی که اجزاء متشکله آن‌ها نهشته‌ها و رسوبات کلوئیدی-تبخیری ریزدانه و تبخیری‌هاست، دارای توان فرسایشی بالایی بوده

۶- نتیجه‌گیری

بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که به‌طور کلی روند شوری آبخوان دشت گور افزایشی و با افت سطح آب سفره زیرزمینی رابطه مستقیم دارد به نحوی که سطح آب به‌طور متوسط در دوره اندازه‌گیری ۲۲/۵ متر افت داشته و کیفیت آب زیرزمینی دشت نیز ۱۲۲۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر شورت‌تر شده است که دلیل افزایش آن ناشی از افزایش تعداد چاه‌های غیرمجاز است. نمودار تغییرات هدایت الکتریکی دشت به نحوی است که در فصل بهره‌برداری میزان شوری بیشتر و در فصول غیر بهره‌برداری از مقدار شوری کاسته می‌شود. تغییرات میزان کلر، بی‌کربنات، سولفات، کلسیم، منیزیم و سدیم در بازه زمانی مورد مطالعه دشت گور ناشی از تعداد بالای حفاری‌های جدید چاه‌ها و افزایش بهره‌برداری، تاثیر سازنده‌های آواری و تبخیری و احتمالاً کف‌شکنی چاه‌ها است. تغییرات شاخص TSD در آبخوان مورد مطالعه در بازه زمانی مورد مطالعه ناشی از تغییر در ترکیب طبیعی آبخوان به دلیل حفر چاه‌های بیشتر در نقاط مختلف دشت است. همچنین شاخص pH طی ۹ سال بین ۷/۴۹ تا ۸/۰۵ متغیر و شرایط آبخوان بازی گزارش می‌شود. بر اساس تفسیر نمودار شولر در آبخوان مورد مطالعه هیچ‌یک از نمونه در رده خوب جهت مصرف شرب قرار نمی‌گیرد و بیشتر نمونه در رده‌های قابل قبول تا کاملاً نامطبوع قرار گرفته است. بررسی نقشه پهنه‌بندی طبقه‌بندی آب آشامیدنی دشت گور نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی در اکثر نقاط دشت وضع مناسبی برای آشامیدن ندارد. تنها در قسمت جنوب شرقی دشت کیفیت در حد قابل قبول و متوسط است.

بر اساس نتایج حاصل از رسم دیاگرام پایپر دشت گور، نمونه‌های آب در اسفند ۸۸ عمدتاً از نوع سولفات-کلسیک (سولفات کلسیمی) و بعد از آن سولفات منیزیک (سولفات منیزیمی) نیز دیده می‌شود. تحلیل نمونه‌ها نشان می‌دهد که مقدار یون‌های SO_4 (آنیون غالب) و Ca (کاتیون غالب) در مقایسه با سایر یون‌ها بیشتر بوده که علت آن دی‌اکسید کربن و حلالیت بالای کربنات کلسیم است. نتایج حاصل از بررسی نمودارهای ویلکاکس نشان می‌دهد که بر اساس اطلاعات ارائه شده مربوط به اسفندماه سال ۸۸ تعداد ۸ نمونه موجود در دشت گور در گروه آب‌های شور و برای مصارف کشاورزی نامناسب هستند و سایر نمونه‌ها (۱۸ نمونه) در دسته آب‌های خیلی شور قرار می‌گیرند.

بررسی نمودار درو و شبکه پایش نشان می‌دهد که در دور اول (اسفند ۱۳۸۸) ترتیب مقادیر TDS برای چاه‌های دشت گور نشان می‌دهد که چاه شماره ۲۳ بیشترین مقادیر مواد جامد محلول و چاه شماره ۶ کمترین مقادیر را دارا است. در نمونه‌برداری دور دوم (اسفند ۱۳۹۷) حداکثر میزان TDS در نمونه آب چاه شماره ۲۴ و حداقل آن چاه شماره ۱۸ است. بررسی نمودارهای استیف تهیه شده نشان می‌دهد که در بیشتر نمونه‌های موجود در دشت گور برای دوره‌های اول و دوم نمونه‌برداری SO_4 فراوان‌ترین و HCO_3 فقیرترین یون است. نمونه آب‌های موجود در دشت گور بر اساس نمودارهای ستاره‌ای به ۴ گروه تقسیم گردید: گروه شماره یک: نمونه‌های چاه‌های شماره (۱، ۲، ۳، ۵، ۶ و ۱۲)، گروه شماره دو: نمونه‌های چاه‌های شماره (۴، ۷ و ۸)، گروه شماره سه: نمونه‌های چاه‌های شماره (۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۲۰ و ۲۱) و گروه شماره چهار شامل نمونه‌های چاه‌های شماره (۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵) است. طبق نمونه‌برداری‌های دور اول اسفند سال ۱۳۸۸ در دشت گور دو تیپ سولفات و کلروره قابل مشاهده است. تواتر آنیونی غالب در دشت گور به ترتیب $SO_4 > CL > HCO_3$ و یا $CL > SO_4 > HCO_3$ است. در دور اول نمونه‌برداری (اسفند ۱۳۸۸) آبخوان دارای سه نوع رخساره بنام‌های: سدیک، منیزیک و کلسیک است و در دور دوم نمونه‌برداری (اسفند ۱۳۹۷) نمونه آبی با رخساره منیزیک مشاهده نگردید و وسعت پهنه آبی با رخساره کلسیک بیش از سدیک شناسایی گردید.

References

- Asadzadeh, F. Shakiba, S., Kaki, M (2017) Evaluation of Groundwater Quality Trend for Agricultural usage in Ajabshir Plain, 11(21): 114-124. doi.org/10.22084/nfag.2017.1929 (in Persian).
- Azimian, S., Forghani Tehrani, G., Akhtari, Y., Bagheri, R (2023) Quality of groundwater resources in Fariman- Torbat-e-Jam plain, New Finding in Applied Geology, 17(33): 114-137, doi.org/10.22084/nfag.2022.25711.1505 (in Persian).
- Ahankoub, M., Mardani, G., Tabatabaei, S. H. Hadipour, Z (2022) Hydrochemical study of Khanmirza plain aquifer in relation to geological formations (Chaharmahal and Bakhtiari Province), New Finding in Applied Geology, 16(31): 189-199. (in Persian).
- Bahrami Nasab, R., Pirkharrati, H., Abasfan, A. R. Sheikhi, Z (2020) Assessment of the groundwater quality resources in the Kahriz

- drinking purposes in the Markandeya River basin, Belgaum District, Karnataka State, India. implication for pollution and metal contamination. *Environmental Earth Sciences*, 75: 1170. doi.org/10.1007/s10661-010-1399-2.
- Ravikumar, P., & Somashekar, R. K (2011) Geochemistry of groundwater, Markandeya River Basin, Belgaum district, Karnataka State, India. *Chinese Journal of Geochemistry*, 30: 51-74. doi.org/10.1007/s11631-011-0486-6.
- Rezaee, M (2011) Assessing the controlling factors of groundwater hydrochemistry in Mond alluvial aquifer, Bushehr. *Journal of Environmental Studies*, 37(58): 105-116. (in Persian).
- Richter, B. C, Kreitler, C. W (1993) Geochemical techniques for identifying sources of groundwater salinization, C.K: Smoley, U. S. Environmental protection agency Report EPA, 258P.
- Shabbir, R., Ahmad, S. S (2015) Use of geographic information system and water quality index to assess groundwater quality in Rawalpindi and Islamabad. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(7): 2033-2047. doi.org/10.1007/s13369-015-1697-7.
- Sheikhy Narany, T., Firuz Ramli, M., Zaharin Aris, A., Sulaiman, W. N. A., Juahir, H., Fakharian, K (2014) Identification of the hydrogeochemical processes in groundwater using classic integrated geochemical methods and geostatistical techniques, in Amol-Babol Plain, Iran. Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal, Article ID 419058. dx.doi.org/10.1155/2014/419058.
- Taheri Tizro, A., Etezazy, P., Marofy, S., Fasihi, R (2023) Investigating the effect of water level fluctuations in Lenjanat aquifer on Zayandrood river discharge, New Finding in Applied Geology, 16(32): 15-27. doi.org/10.22084/nfag.2021.24628.1476 (in Persian).
- Tiwari, S. K., Bartarya, S. K., Rai, S. K., Gupta, K., Asthana, A. K. L (2016) Isotopic and geochemical studies of groundwater from the Ramganga basin and the middle Ganga Plains: implication for pollution and metal contamination. *Environmental Earth Sciences*, 75: 1170. doi.org/10.1007/s12665-016-5971-0.
- Todd, D. K (2005) *Groundwater Hydrogeology*. 3th edition, USA: Argosy Publishing.
- Torabi, S., Taheritizro, A., Fasihi, R (2022) Simulation of Groundwater Gesture and Prediction of Groundwater Level Fluctuations by Applying a Management Scenario in Nahavand Plain Aquifer, Hamadan Province, *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 13(1): 286-304. doi.org/10.22125/iwe.2022.158529 (in Persian).
- Wagh, V. M., Panaskar, D. B., Jacobs, J. A., Mukate, S. V., Muley, A. A., Kadam, A. K plain and comparing its trend over recent years, *New Fining in Applied Geology*, 14(28): 1-17. doi.org: 10.22084/nfag.2020.3545 (in Persian).
- ElKashouty, M (2019) Groundwater quality distribution by geostatistical investigation (GIS) Nile Delta, Northern Egypt, *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 11(1): 1-21. doi.org/10.5897/JECE2018.0437.
- Gaus, I., Kinniburgh, D. G., Talbot, J. C., Webster, R (2003) Geostatistical analysis of arsenic concentration in groundwater in Bangladesh using disjunctive Kriging. *Environmental geology*, 44: 939-948.
- Hamidian, L., Meraji, S. H., Fijani, E., Battaleb-Looie, S (2017) Assessment of groundwater quality in Bushehr province using water quality index, *Hydrogeology*, 2(1): 31-44, doi.org/10.22034/hydro.2017.5001 (in Persian).
- Heath, R. C., Trainer, W (1968) *Introduction to ground water hydrology*, New York, John Wiley, 284 pp. doi.org/10.1177/146642406908900238.
- Hem, J. D (1989) *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters*. third Edition, U.S, Geological survey, Water-supply paper 2254.
- Hounslow, A (1995) *Water quality data: analysis and interpretation*. CRC perss.
- Khan, R., Jhariya, D. C (2018) Hydrogeochemistry and Groundwater Quality Assessment for Drinking and Irrigation Purpose of Raipur City Chhattisgarh. *Journal of the Geological Society of India*, 91(4): 475-482. doi.org/10.1007/s12594-018-0881-2.
- Lakshmanan, E., Kannan, R., and Senthil Kumar, M (2003) Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical processes of ground water in a part of Kancheepuram district, Tamil Nadu, India. *Environmental Geosciences*, 10: 157-166. doi.org/10.1306/eg.0820303011.
- Mirzaee Mahmoodabadi, R (2019) Evaluation of water quality and bed load sediment contamination of Qareaghaj River to heavy metals, Kahfr Watershed, Fars province, *Journal of environmental science study*, 4(3): 1696-1706.
- Piper, A. M (1944) A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25(6): 914-928.
- Piran Gharni Namin, S., Javid, H., Ghoddousi, J (2018) Effect of geological formation on the quality of groundwater Case study: Ardebil Plain, *Journal of Environmental Science and Technology*, 20 (3): 1-10. doi.org/10.22034/jest.2018.13250 (in Persian).
- Ravikumar, P, Somashekar, R. K, Angami, M (2011) Hydrochemistry and evaluation of groundwater suitability for irrigation and

- (2019) Influence of hydro-geochemical processes on groundwater quality through geostatistical techniques in Kadava River basin, Western India. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(1): 7. doi.org/10.1007/s12517-018-4136-8.
- Wilcox, L. V (1958) Determining the quality of irrigation water. Dept. of Agriculture, USA, pp. 6.
- World Health Organization (WHO) (2011) Guidelines for drinking-water quality (4th ed., Vol. 1: Recommendations). Geneva: World Health Organization.
- Yonesi, H., Torabipoudeh, H., Shahinejad, B., Arshia, A., Mirzapour, H (2022) Groundwater quality trend analysis and zoning using TFPW-MK and GIS(Case Study: Najaf Abad Aquifer), *Journal of Water and Soil Resources Conversation*, 9(3): 143-156. doi.org/20.1001.1.22517480.1399.9.3.9.1.
- Zhang, B. Song, X. Zhang, Y. Han, D. Tang, C. YU, Y., & Ma, Y (2012) Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface water and groundwater in Songnen plain, Northeast China. *Water Research*, 46: 2737-2748.

Evaluation of hydrogeochemistry and quality of alluvial aquifer in Dasht Goor plain of Bushehr province

R. Mirzaee Mahmoodabadi^{1*} and A. Azadijoo²

1- Assoc. Prof., Dept., of Geology, Islamic Azad University, Estahban Branch, Estahban, Iran

2- Senior expert in water resources, Bushehr province regional water organization, Bushehr, Iran

* r_mirzaem@iauest.ac.ir

Received: 2023.8.16 Accepted: 2023.10.18

Abstract

Dasht Gour is located in the northeast of Bushehr province and the study area of Dalki-Shabankare. In the past, this plain had good potential in quantity and quality, and now, with 303 unauthorized agricultural wells, it is considered one of the prohibited and critical plains. Through the selective monitoring network with 26 exploitation wells and the analysis of underground water samples in a period of 9 years (1388-1397), the hydrogeochemical characteristics of the Dasht Gour aquifer were analyzed. The analysis of hydrogeochemical diagrams and maps in the Arc GIS environment showed that in the studied aquifer, the dominant anion is sulfate, and the dominant cation is calcium. Total dissolved solids have increased to 355 mg during the nine years. The waters are mainly calcium sulfate, and salinity has increased by 1221 units with an annual average of 136 microsiemens/cm. The influencing factor and water quality control is the presence of the Aghajari formations and Bakhtiari conglomerate.

Keywords: Aquifer, Underground Water Quality, Dasht Goor, Bushehr

Introduction

In general, reducing groundwater quality directly impacts human health. Groundwater is directly affected by natural factors such as geological formations, nutrition and retention rate, water-rock interaction, depth, and anthropogenic activities. Groundwater geochemistry is a function of various processes such as cation exchange, dissolution of salts, and mixing with other groundwater. The use of composition diagrams of significant ions is a useful tool in determining hydrochemical processes governing aquifers. This study discusses the hydrogeochemistry and general characteristics of dissolved ions in the underground water of Gore Plain. Dasht Gore aquifer, with an area of 95 square kilometers, is one of the important plains in terms of underground water harvesting and agricultural activities, and it is located in the prohibited area of Barazjan Dalki-Shabankare. The distance between the studied area and Bushehr city is about 100 km and accessible through the connecting roads from Barazjan to Shabankare on the way to Goldasht village. This plain is located on the edge of the heights and geological formations of Aghajari (sandstone,

shale, and marl) and Bakhtiari Formation (conglomerate, sandstone, and shale).

Materials and Methods

In general, this research includes three stages: field studies and field sampling, laboratory analyses, and software studies. In the field studies, firstly, the exposed formations in the area were examined in terms of their type, thickness, slope, layering length, and stratigraphic sequence. Then, the sedimentological characteristics of alluvium and the conditions of surface and underground water sources were examined. Then, the sampling method was selected according to the characteristics of water resources and the geology of the qualitative network area. In the sampling stage of water sources, considering the dispersion of exploitation wells and the need to investigate the changes in the maximum period during different seasons in a period of 9 years (1009-2017), 341 samples of underground water were taken from the exploitation wells and sent to the laboratory. At the same time as sampling to send the samples to the laboratory, electrical conductivity, and pH factors have also been measured through

portable devices in the desert. In order to control and validate the laboratory results, a comparison is also made to minimize the error. Standard titration, flame measurement, gravimetry, and spectrophotometry methods were used to calculate and measure the dominant ions of water samples. The titration method was used to measure calcium, magnesium, and chloride, and the gravimetric method was used to measure sulfate. After identifying and studying all the anions and cations, the operating seasons, and the effects of Rais Ali Delwari Dam, qualitative index tables and charts were prepared, and the situation was analyzed from the point of view of consumption, drinking, agriculture by hydrogeochemical software AqQa 1.5.1. Then, for the hydrogeochemical evaluation of the studied aquifer, different charts such as Piper and Statistical methods of kriging, kriging, inverse weighting method (IDW), and spline method were used in ArcGIS geographic information system.

Discussions & Results

Qualitative investigation of the aquifer through composite diagrams and main elements of the aquifer

(Cl): The primary source of chlorine in natural waters is the mineral halite or table salt. In the first round of sampling in the western areas of the river, chlorine was mainly less than 200 mg/liter, and its maximum value was 798 mg/liter. However, in the eastern areas, it starts from near the river (values of 800 and 400 mg/liter) and shows an increase up to 4000. The average amount of chlorine in 2018 was 948 mg/liter. In the second round of sampling (March 2017), the amount of chlorine drastically changed from 400 mg/liter for the western regions and increased from about 800 to 3500 mg/liter. The reason for this can be found in factors such as digging new wells in areas with suitable water potential, pumping them from other horizons of aquifers, and increasing exploitation.

(SO₄): This anion, mainly caused by the dissolution of evaporite minerals such as gypsum and anhydrite, has changed dramatically during the statistical period, and its values have changed mainly in the western areas of the aquifer. In these areas, there has been an increase in the amount of sulfate ions from 20 to 1860 mg during the 9 years. In general, the wells in the western regions have

less sulfate ions. From the northwest to the southeast, the amount of sulfate ions has increased, one of the reasons for which is the outcrop of the Aghajari formation in the northeast and east of the plain. In the first round (March 2017), the minimum, maximum, and average sulfate ions were 334, 2608, and 1061 mg/liter, respectively. In the second round (March 2017), the minimum, maximum, and average of sulfate ions were 663, 4859, and 1529 mg/liter, respectively, which shows the average increase of sulfate amounts in the 9-year statistical period.

(Ca): Like magnesium, calcium is one of the central cations of underground water, the primary sources of which are calcite, aragonite, dolomite, and gypsum minerals. According to Figure 10, the calcium ion equipotential map related to the samples of March 2018 and March 2017 shows that, in general, the amount of calcium ion increases from the western to the eastern regions. The average increase of this ion has doubled during the 9 years of the statistical period. In other words, the average of this cation has changed from 70 mg in 2009 to 154 in 2017 because, in the Aghajari Formation, various types of evaporite minerals such as gypsum and anhydrite and thin to medium layers of calcareous sandstone and siltstone along with Bakhtiari conglomerate with calcareous cement are observed. The drilling and development of wells is an apparent reason for increased calcium in the region. On the other hand, the influx of excavations near the borders of the Aghajari formation and the depth of the Bakhtiari conglomerate layers is another reason for the occurrence of such a phenomenon.

(Mg): In general, the amount of magnesium ions increases from western to eastern regions. The reason for this increase is the amount of evaporite minerals in the deposits of the Aghajari Formation, which are exposed in the northeastern areas of the plain. The average magnesium ion has reached 206 mg/liter from 170 mg/L in 2017. Drilling and development of wells are clear reasons for the increase in magnesium in the region. On the other hand, the influx of excavations near the borders of the Aghajari formation and the depth of the Bakhtiari conglomerate layers is another reason for the occurrence of such a phenomenon.

Piper Diagram: Based on the results of the Piper diagram of Dasht-Gor, the water samples in Esfand 88 are mainly sulfate-calcic (calcium sulfate) and then magnesium sulfate (magnesium sulfate). The analysis of the samples shows that the amount of SO₄ (dominant anion) and Ca (dominant cation) ions is higher than other ions due to carbon dioxide and the high solubility of calcium carbonate. In addition, the SO₄ ion is caused by the dissolution of the evaporites of the Aghajari formation in the region (gypsum and anhydrite samples) and the evaporite formation of Gachsaran (washing water upstream). Also, the drawing of this diagram for water samples in March 2017 shows that the water samples are mainly sulfate-calcic (calcium sulfate). Hydrogeochemical studies based on the results of the Piper diagram of Dasht Gour show that the water quality in the first round of sampling in Esfand 2017 is mainly sulfate-calcic (calcium sulfate) and then magnesium sulfate (magnesium sulfate). Also, drawing this diagram for water samples in the second round of March 2017 shows that the water samples are mainly sulfate-calcic (calcium sulfate).

Stiff Diagram: Examining the Stiff diagram in the studied samples shows that in most of the samples in Dasht Gore for the first and second rounds of sampling, the sulfate ion is the most abundant, and the bicarbonate ion is the poorest ion. The water samples in Dasht Gor were divided into four groups based on the star charts: Group number one: samples from wells number (1, 2, 3, 5, 6 and 12), group number two: samples from wells number (4, 7 and 8), group number three: samples from wells number (11, 12, 14), 15, 16, 20 and 21) and group number four including samples of wells number (22, 23, 24 and 25). Examining the shapes of the star diagram for the results of the first round of chemical analysis (2018) shows that four zones with hydrogeochemical characteristics can be identified. In the northwestern regions, wells No. 1, 2, 3, 5, and 12 have similar characteristics. In the central areas of the western part of the river, wells No. 4, 7, and 8 have relatively similar characteristics. In the areas around the river, wells No. 11 and 12 and No. 14, 15, 16, 20, and 21 have similar and identical characteristics to some extent. In the southeastern areas of the aquifer, wells No. 22, 23, and 24 and, to some extent, well No. 25 have many similarities in terms of origin. Investigating the water source

and comparing the hydrogeochemical characteristics of the aquifer wells of Gore Plain in the second period (March 2017) shows changes compared to 2018. In this period, four regions with different characteristics and wells with similar characteristics can be identified for each group. The first group includes wells No. 3, 5, 6, and 12; the second group includes wells No. 4 and 7; the third group includes wells No. 14, 18, and 19; and the fourth group includes wells No. 22, 23, and 24 in the southeast of the plain. Other wells follow different characteristics outside the above four groups. Examining the process of changes in the hydrochemical characteristics of the exploitation wells in different parts of the plain shows that in the 9-year statistical period, there have been changes in the characteristics of the hydrochemical origin of wells in different areas of the plain and their hydrochemical characteristics have changed or are similar to the neighboring wells. The reason for such changes can be floor breaking, spatial changes, quantitative and qualitative differences in alluvial sediments, exploitation characteristics, and the effect of Rais Ali Delwari Dam and Shapur River.

The effect of different formations of the region on the quality of water resources in the studied area: Accurate knowledge of lithology, sedimentology, and mineralogy of geological formations is one of the most important factors affecting the quality and quantity of underground water resources. In the studied area, there are deposits related to the Upper Fars, namely the Aghajari Formation, where various chemical and physical weathering can be observed. So that the existence of sandstone layers with lime cement, marl, and siltstone sediments, as well as gypsy veins and other evaporite minerals, have a direct role in the quality of underground water. Due to their excellent resistance to erosion factors, sandstones usually form ridges, and due to calcite cement, they sometimes have holes of different sizes. Geological formations whose components are fine-grained and evaporite deposits and colloidal sediments have high erosive power and, as a result, increase the suspended load and destructive ions such as chlorine and sulfate in underground water sources. According to the geology of Dasht Gur Plain, unconsolidated floodplain deposits (gravel and sand) are exposed on the surface and in the

depths of parts of the younger layers of the Bakhtiari conglomerate. Aghajari and Bakhtiari formations are also spread around the plain. Sandstone layers of Aghajari formation do not destroy water quality, but marl layers can have a negative effect due to their delicate texture. Due to high solubility, gypsum layers cause water quality degradation and increase sulfate ions in water. The dominant lithology of the Bakhtiari formation is conglomerate, which also forms a part of the aquifer below the surface with horizontal layers. This formation acts like karst formations, and due to the low solubility of the constituent particles, the water sources that form it can be of good quality.

Conclusions

The changes in chlorine, sulfate, calcium, and magnesium in the studied period in Dasht Gur are caused by the high number of new wells drilled and increased exploitation, the impact of debris and evaporation formations, and possibly the bottoming of the wells. Changes in the TSD index in the studied aquifer in the studied period are caused by the change in the natural composition of the aquifer due to the drilling of more wells in different parts of the plain. Also, the pH index varies between 7.49 and 8.05 in 9 years, and the aquifer conditions are reported to be shallow.

Based on the results of the Piper diagram of Dasht-Gor, water samples in Esfand 88 are

mainly sulfate-calcic (calcium sulfate) and then magnesium sulfate (magnesium sulfate). The analysis of the samples shows that the amount of SO_4 (dominant anion) and Ca (dominant cation) ions is higher compared to other ions, which is due to carbon dioxide and the high solubility of calcium carbonate.

Examining the prepared Stiff diagrams shows that in most of the samples in Dasht Gor for the first and second sampling periods, SO_4 is the most abundant, and HCO_3 is the poorest. The water samples in Dasht Gor were divided into four groups based on the star charts: Group number one: samples from wells number (1, 2, 3, 5, 6 and 12), group number two: samples from wells number (4, 7 and 8), group number three: samples from wells number (11, 12, 14), 15, 16, 20 and 21) and group number four including samples of wells number (22, 23, 24 and 25). According to the sampling in the first round of March 2018, two types of sulfate and chloride can be seen in Dasht Gor. The dominant anion frequency in Dasht Gore is $\text{HCO}_3 > \text{CL} > \text{SO}_4$ or $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{CL}$. In the first round of sampling (March 2017), the aquifer had three types of facies: sedimentary, menisic, and calcic, and in the second round of sampling (March 2017), no aquifer sample with a menisic facies was observed, and the extent of the water area with calcic facies was more than that of sedimentary.