

مطالعات هیدروژئوشیمی و ارزیابی تغییرات کیفیت آب‌های زیر زمینی دشت سنگان - خواف با استفاده از شاخص GQI

رحیم دبیری*^۱، مرجان بخشی مزده^۲، حبیب ملایی^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۴/۰۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۶/۲۹

^۱ دانشیار، گروه زمین شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

^۲ کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

^۳ دانشیار، گروه زمین شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: rahimdabiri@yahoo.com

چکیده

منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر از لحاظ کمی و کیفی به دلیل افزایش روز افزون جمعیت و فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، با خطر آسیب‌پذیری مواجه شده است. در این مقاله تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت سنگان خواف مورد ارزیابی قرار گرفت. با در نظر گرفتن تغییرپذیری مکانی آلاینده‌های مختلف، از شاخص کیفیت آب زیرزمینی GQI برای توصیف کیفیت آب زیرزمینی استفاده شد. در محاسبه شاخص GQI از پارامترهای اصلی TDS, SO₄, Ca, Cl, Mg, Na استفاده شد. مقدار این شاخص برای منطقه مورد نظر بین ۶۶/۰۱ تا ۸۱/۳۹ درصد به دست آمد که نشانگر کیفیت متوسط تا قابل قبول آب منطقه می‌باشد. شاخص کیفیت آب زیرزمینی در جهت جریان آب زیرزمینی کاهش پیدا کرده است که دلالت بر تأثیر تغییرات لیتوژنیک و وجود لایه‌های آهکی و پهنه‌های رسی در منطقه دارد.

واژه‌های کلیدی: آب زیر زمینی، آلودگی، معدن، GIS، GQI

Hydrogeochemistry Studies and Assessment of Groundwater Quality Variations in Sngan-Khaf Plain Using GQI Index

R Dabiri^{1*}, M Bakhshi Mazdeh², H Mollai³

Received: 25 June 2015 Accepted: 19 September 2016

¹- Assoc. Prof., Department of Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

²- M.Sc., Department of Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

³- Assoc. Prof., Department of Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

*Corresponding Author, Email: rahimdabiri@yahoo.com

Abstract

In recent years, quantity and quality of groundwater resources have been faced with the vulnerability risk due to increasing population and industrial and agricultural activities. In this paper, variations of the groundwater quality in Sangan-Khaf plain have been evaluated. With considering the spatial variability of various pollutants, the groundwater quality index (GQI) was used to describe the quality of the groundwater. Main parameters such as TDS, SO₄, Ca, Cl, Mg, and Na were used in GQI index calculation. GQI values were obtained between 66.01 to 81.39% which showed that the water quality in the region was in the moderate to good class. The groundwater quality index decreased in the direction of groundwater flow which indicated the effect of lithological changes, carbonate beds and clay zones in the region.

Keywords: Contamination, GIS, GQI, Groundwater, Mine

مقدمه

شرب، مقدار غلظت یون‌های اصلی در آب می‌باشد، که حد مجاز آنها توسط سازمان بهداشت جهانی^۱ مشخص شده است (تامسون و همکاران ۲۰۰۷). بایبکر و همکاران (۲۰۰۷) شاخص کیفیت آب زیرزمینی را معرفی کرده و در آبخوان نانسو^۲، در کشور ژاپن به کار گرفته‌اند. در این شاخص بر پایه نرم‌افزار GIS، چندین پارامتر مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی (یون‌های اصلی) با یکدیگر تلفیق می‌شوند. شاخص کیفیت آب زیرزمینی، ترکیب داده‌هایی از آب، با کیفیت‌های مختلف است که آن را به‌شکلی قابل فهم در می‌آورد. در واقع این شاخص، پارامترهای مختلف کیفی را برای ارائه مقدار شاخص نهایی با هم ترکیب کرده به‌طوری‌که برای

آب یک ماده حیاتی در تمام بخش‌های محیط زیست است. خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب به عنوان یک عامل مهم در کنترل بیماری در ارگانسیم‌های زنده در نظر گرفته می‌شود (شاه و همکاران ۲۰۱۲). امروزه بررسی‌های کیفی آب دامنه گسترده‌تری پیدا کرده و مسائل مربوط به آلودگی آب‌های سطحی و زیر زمینی را شامل می‌شود (علیزاده ۱۳۸۶). فعالیت‌های انسانی و توسعه فعالیت‌های صنعتی می‌تواند موجب تغییرات کیفی در آب‌های زیرزمینی شود. لذا بررسی و مطالعه این منابع به منظور حفظ و اصلاح کیفیت آنها ضروری می‌باشد (جعفرزاده حقیقی‌فرد و همکاران ۱۳۸۴). کیفیت آب بر اساس متغیرهای فیزیکی و شیمیایی که در ارتباط با نوع استفاده از آب می‌باشند، تعریف می‌شود (بایبکر و همکاران ۲۰۰۷). یکی از شاخص‌های کیفی آب قابل

¹ WHO

² Nasuno

سوابق و مطالعات پیشین

بر اساس مطالعات و بررسی آنها آب در بیشتر چاه‌های مورد برداشت در دشت خواف دارای کیفیت خوب جهت مصارف مختلف می‌باشد. آریافر و همکاران در مطالعه‌ای دیگر به شبیه‌سازی دریاچه بازیابی آب زیرزمینی در معدن سنگان خواف پرداخته‌اند که مدل‌سازی آنان می‌تواند برای طراحی یک مدیریت مؤثر زیست محیطی، به‌منظور به‌کمینه رساندن اثرات زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های معدن مورد استفاده قرار گیرد (آریافر و همکاران ۲۰۰۹).

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از منطقه به‌منظور ارزیابی کیفیت آب دشت خواف- سنگان از منابع تامین آب روستاهای مختلف که تماماً قنات بود، انجام شد. از هر محل نمونه برداری^۲ ظرف پلی‌اتیلن پرگردید. در هنگام نمونه‌برداری ظروف ابتدا به‌وسیله آب موردنظر شست و شو داده شد. سپس نمونه‌برداری به‌طریقی انجام گرفت که حبابی وارد ظرف نشود و کاملاً پر از آب شوند. پارامترهای فیزیکی شامل دما، pH، کل جامدات محلول^۳، هدایت الکتریکی^۴ و شوری^۵ بلافاصله در محل توسط دستگاه مولتی‌متر مدل Extech اندازه‌گیری گردید. نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی به‌روش ICP- OES به مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی^۶ ارسال گردید. سایر پارامترها از جمله سختی و قلیائیت بر روی نمونه‌ها بعد از انتقال به مشهد و در آزمایشگاه محیط زیست دانشگاه آزاد به‌روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و کمیت‌های سختی و قلیائیت^۷ (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر) در جدول ۱ آورده شده است.

مقایسه‌های مکانی قابل استفاده باشد (خان و همکاران ۲۰۱۱). آریافر و همکاران (۱۳۸۸) طی پژوهشی به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در دشت خواف-سنگان با استفاده از شاخص کیفی آب و شاخص اشباع پرداخته‌اند. بر اساس مطالعات و بررسی آنها آب در بیشتر چاه‌های مورد برداشت در دشت خواف دارای کیفیت خوب جهت مصارف مختلف می‌باشد. معدن سنگان خواف با توجه به ترکیب زمین‌شناسی و نوع ذخیره معدنی، پتانسیل تولید و ایجاد آلودگی در منابع آب و خاک اطراف جایگاه معدنی را دارد. هدف از این تحقیق از شاخص کیفیت آب زیرزمینی در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی ناحیه دشت سنگان- خواف می‌باشد.

معرفی منطقه

معدن آهن سنگان در شهرستان خواف، بزرگترین پروژه ملی در شرق کشور است (شکل ۱). این معدن به‌دلیل عیار بالای آهن، پائین‌بودن میزان فسفر و ذخیره زیاد، یکی از مهم‌ترین کانسارهای آهن ایران به‌شمار می‌رود. سنگ‌های مافیک و الترامافیک، سنگ‌های پلوتونیک و واحدهای رسوبی عمده واحدهای تشکیل‌دهنده در منطقه می‌باشند. این واحدها به‌صورت بالقوه می‌توانند تأثیرات منفی بر کیفیت منابع سطحی و زیرزمینی در حوضه آبریز خواف داشته باشند. رخنمون‌های واقع در حواشی شمالی و جنوبی دشت، بر کیفیت منابع آب سطحی و به سبب تشکیل سنگ کف آبخوان بر کیفیت آب زیرزمینی، تأثیرات منفی دارد (آریافر و همکاران ۱۳۸۸). از آنجایی که این واحدها سنگ کف آبخوان دشت خواف را تشکیل می‌دهند به‌صورت یکپارچه سبب افزایش املاح آب زیرزمینی می‌گردند و با توجه به ماندگاری منابع آب در بخش پایینی آبخوان، نقش تخریبی این واحد بر منابع آب زیرزمینی مهم و قابل توجه است. لازم به ذکر است که سفره‌های آب زیرزمینی که تأمین‌کننده منابع آب شرب منطقه سنگان و دشت خواف می‌باشند در مجاورت ذخیره معدنی کانسار آهن قرار گرفته‌اند.

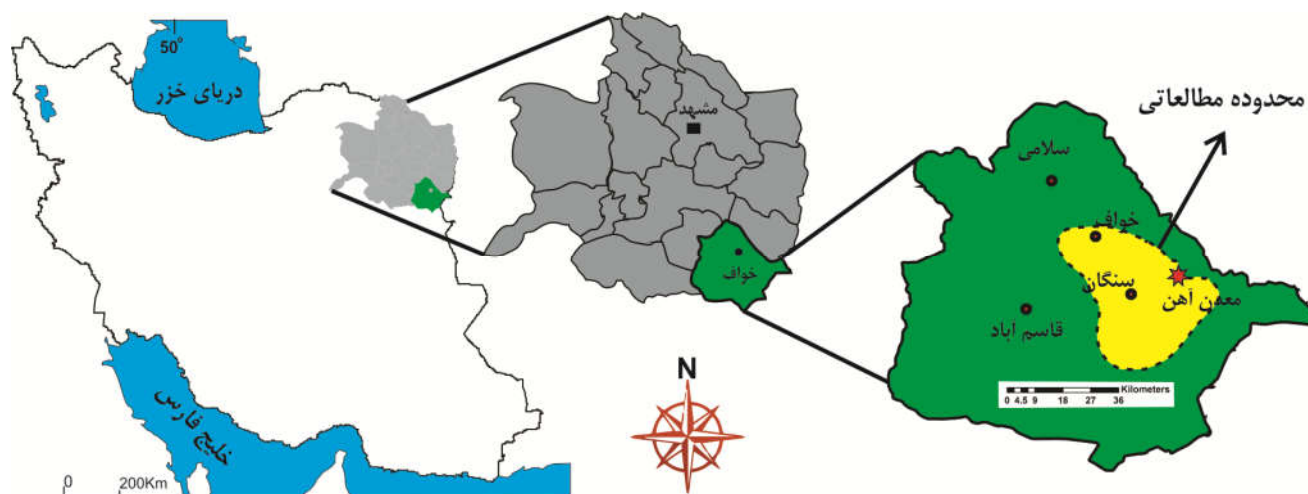
³ Total dissolved solids, TDS

⁴ Electrical conductivity, EC

⁵ Salinity

⁶ IMPRC

⁷ Alkalinity, Alk



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی دشت سنگان و منطقه مورد مطالعه.

زمین‌شناسی منطقه

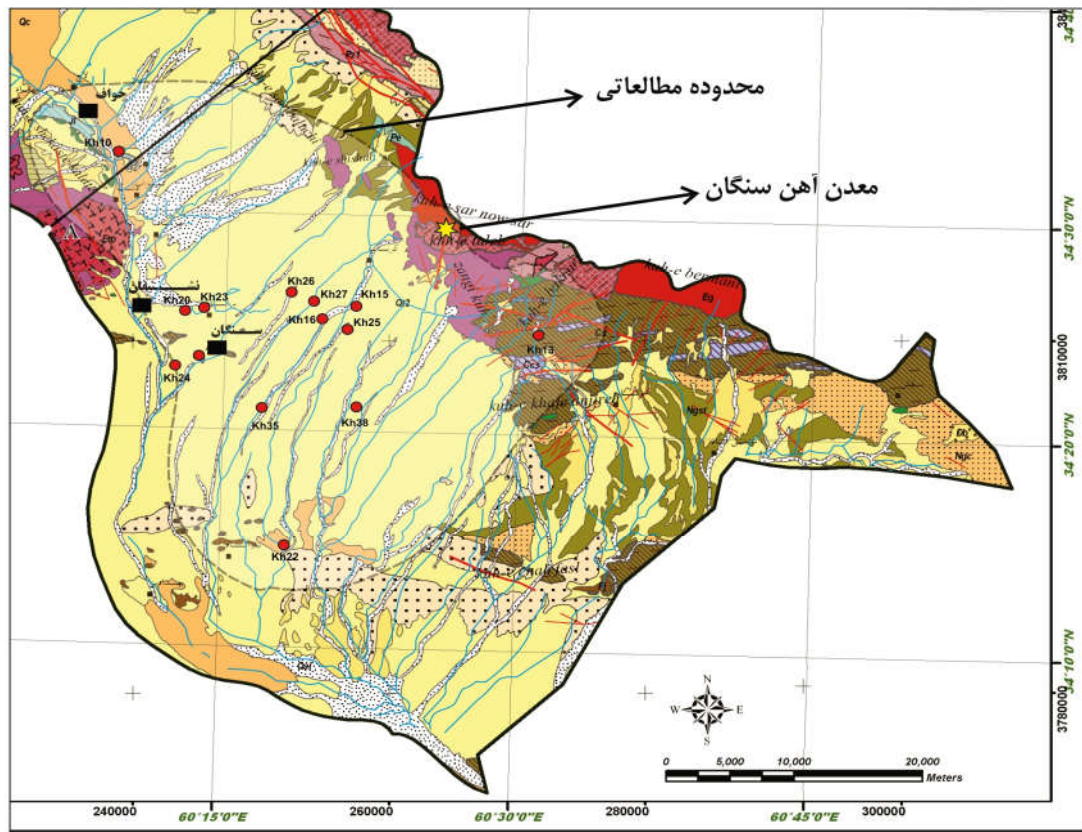
معدن سنگ آهن خواف در نزدیکی روستای سنگان در ۲۸۰ کیلومتری جنوب مشهد واقع شده است. این معدن در مختصات جغرافیایی $60^{\circ}50'$ طول شرقی و $34^{\circ}30'$ عرض شمال واقع شده است. کانسار سنگان جزئی از کمربند آتشفشانی نفوذی تکنار محسوب می‌شود. این کمربند با روند شرقی - غربی در شمال گسل درونه قرار داشته و تا داخل کشور افغانستان نیز ادامه می‌یابد. کمربند تکنار را به‌عنوان کانی‌سازی تیپ Iron- Oxide در ایران معرفی کرده اند (کریم پور و همکاران ۱۳۸۱).

کانسار آهن سنگان بر مبنای سنگ میزبان و ترکیب شیمیایی کانی هایش به دو زون اسکارن کلسیمی و اسکارن منیزیومی تقسیم‌بندی شده است (بومری ۱۹۹۸). کانی‌سازی از نوع اسکارن مگنتیتی است. قدیمی‌ترین سازندهای معدن شامل چرت، شیل‌های سیلیسی، سیلت استون و آهک کریستالین است (شکل ۲). رخنمون‌های این واحد در بخش شمالی توده‌های مگنتیت با روند شرقی - غربی مشاهده می‌شوند. مجموعه عظیمی از سنگ‌های آتشفشانی شامل بازالت، آندزیت، ایگنمبریت و پیروکلاستهای آندزیتی در منطقه است که بیشتر آنها مربوط به

کرتاسه تا اوایل ائوسن هستند (کریم پور و همکاران ۱۳۸۱). سنگ‌های کربناته اغلب به اسکارن و مرمر دگرگون شده‌اند و به سمت شرق به‌صورت آهک کریستالین یافت می‌شوند. سن سنگ‌های کربناته به ژوراسیک فوقانی و کرتاسه زیرین نسبت داده می‌شود (شکل ۲). در محدوده معدنی، به‌جز مگنتیت و هماتیت، کانیهای پیریت، کالکوپیریت، مارکاسیت و پیروتیت نیز دیده می‌شوند. همچنین در بخش شمالی معدن، گرانیت سرنوسر با سن احتمالی ائوسن بالایی - الیگوسن زیرین نفوذ کرده است (مظاهری ۱۳۸۱).

مطالعات آب‌شناسی منطقه

طبق داده‌های حاصل از جدول ۱ و بررسی پارامترهای فیزیکی آب، pH تمامی نمونه‌ها در محدوده استاندارد ۱۰۵۳ ایران که بین ۶/۵ تا ۹/۲ تعریف شده است قرار می‌گیرند. مجموع مواد محلول جامد اطلاعاتی در مورد کل آنیون‌ها و کاتیون‌ها در آب می‌دهد (جانگ ۲۰۰۱). براساس مقادیر به‌دست آمده، مواد جامد محلول هشت نمونه از آب‌های منطقه (KH 16, KH 18, KH 22, KH 23, KH 24, KH 26, KH 27, KH 38) در محدوده غیر قابل قبول (بیش از ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام) قرار می‌گیرند.



LEGEND

شماره	سنگ شناسی	دوران / دوره
Qal	آبرفت های پستتر رودخانه	چهارم ایگوانیز
Qc	پهنه های رسی	
Qt2	تراش های آبرفتی حیوان	
Qt1	تراش های آبرفتی قدیمی	
Qcg	کنگلومرای قرمز تیره	سوم انوزین
PIQc	کنگلومرای رس، سیلت و ماسه سنگ قرمز رنگ	
Ngst	ماسه سنگ قرمز و سیلت کچی	
Ngcs	ماسه سنگ، سیلت، کنگلومرا	
Ngc	کنگلومرای قدیم	سوم ایگوانیز
Os	ماسه سنگ و مارن قرمز و سبز رنگ، کنگلومرا	
OsD	سیلت استون و ماسه سنگ خاکستری تا سبز رنگ	
Ocs	کنگلومرا و ماسه سنگ	
Etp	توف ریبولیتی	
Ead	آندزیت پرفیری	

شماره	سنگ شناسی	دوران / دوره
Eg	میکروگرانیت	سوم ایگوانیز
mo	مونزونیت	
Eabt	آندزیت، بازالت، داسیت، ایکسیریت	سوم ایگوانیز
Ec	کنگلومرا	
Jl	سنگ آهک کچی تیره	سوم ایگوانیز
Js	ماسه سنگ شیپلی (سازند شمشک)	
Pj	سنگ آهک فسیل دار و دولومیت (سازند جمال)	سوم ایگوانیز
Cs	کلیست کلسیتی	
Ccs	کوارتزیت، شیست، دولومیت، کنگلومرای ولکانیکی	سوم ایگوانیز
Db	سنگ آهک نخته سنگی سیاه رنگ	
Pld	سنگ های ولکانیکی دگرگون شده	سوم ایگوانیز
Pz1	سنگ آهک، دولومیت، توف	

شکل ۲: نقشه زمین شناسی حوضه آبریز دشت سنگان برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سنگان به

همراه نقاط نمونه برداری و محدوده مطالعاتی.

سازمان بهداشت جهانی در خصوص هدایت الکتریکی و حد مجاز و مطلوب آن، استاندارد را ارائه نکرده است ولی مجمع اروپایی حد مطلوب ۴۰۰ میکروموس را پیشنهاد می کند. با توجه به استاندارد تعریف شده، تمامی نمونه ها از نقطه نظر این کمیت، با داشتن مقادیر بین ۷۱۴ تا ۴۸۸۰ در سطح بالایی قرار می گیرند

باتوجه به مقادیر به دست آمده اغلب نمونه ها با داشتن مقادیر بالای مواد جامد محلول در محدوده آب های لبشور و تعدادی نیز در محدوده آب شیرین قرار می گیرند. بالا بودن میزان مواد محلول در آب با وجود واحدهای کربناته قابل توجه می باشد. هدایت الکتریکی همبستگی مثبت با مواد جامد محلول دارد (جانگ ۲۰۰۱).

(جدول ۱). هدایت الکتریکی با غلظت محلول‌ها رابطه مستقیم داشته و با افزایش مقادیر کلر، سولفات و بی‌کربنات‌ها مقدار آن نیز افزایش می‌یابد. بر اساس اندازه‌گیری‌ها انجام شده نیز نمونه‌های دارای مقادیر بالای کلر، سولفات و بی‌کربنات دارای هدایت الکتریکی بالایی می‌باشند. از طرف دیگر وجود لایه‌های آهکی فراوان در منطقه و نیز بارش کم، دربالا بودن هدایت الکتریکی نقش به‌سزایی دارد. سختی آب در منطقه از نوع دائم می‌باشد. براساس مقادیر تعریف‌شده توسط استاندارد شماره ۱۰۵۳ مؤسسه استاندارد و تحقیقات

صنعتی ایران و نتایج به‌دست آمده تعداد ۷ نمونه با مقادیری بینابین ۱۴۳/۳۳ تا ۲۰۶/۶۹ در محدوده آب سخت قرار می‌گیرند. (قنات‌های گریاب (KH16)، مرغزار (KH25)، سملکی (KH27)، آبد (KH22)، آب سینه (KH23)، کلاته کلان (KH26) و آب انبار (KH35)). و ۵ نمونه با محدوده تغییرات بین ۳۱۶ تا ۴۶۶ در حد آب خیلی سخت می‌باشند. سختی آب در منطقه را می‌توان به‌وجود واحدهای کربناته و تغذیه آبخوان از واحدهای کائولینیتی و سریسیتی منتسب دانست.

جدول ۱- پارامترهای فیزیکی اندازه‌گیری شده در نمونه آب‌های محدوده مطالعاتی.

نمونه/پارامتر	KH10	KH15a	KH16	KH18	KH22	KH23	KH24	KH25	KH26	KH27	KH35	KH38
منطقه	حوضچه	معدن	قنات	قنات	قنات آب	قنات آب	قنات	قنات	قنات	قنات	آب انبار	معدن
	داخل معدن	پلاستی	گریاب	برنجک	ده	سینه	کیسه نان	مرغزار	کلان	سملکی		پلاستی
pH (-)	۸/۵	۷/۶۷	۷/۸	۷/۶۶	۸/۴۵	۸/۲	۷/۶۷	۸/۲	۷/۶	۸/۲۱	۷/۳۲	۸/۱۲
Temp. (°C)	۲۰	۱۸/۳	۲۲/۷	۲۰	۲۷/۲	۲۵/۷	۲۷/۱	۲۶	۲۶	۲۵	۲۶	۲۵
TDS (mg ^l ⁻¹)	۴۶۵	۵۱۰	۲۵۰۰	۳۴۰۰	۲۱۰۷	۱۸۲۰	۲۷۵۰	۷۷۵	۲۲۸۰	۱۸۶۰	۳۸۲	۱۶۸۰
Salinity (mg ^l ⁻¹)	۳۴۳۰	۳۵۶	۴۴۸	۲۴۳۰	۱۴۵۰	۱۲۸۰۲	۱۹۸۰	۵۳۶	۱۶۱۰	۱۳۱۰	۲۷۰	۱۱۹۰
EC (μScm ⁻¹)	۱۰۹۱	۷۱۴	۹۱۶	۴۸۸۰	۲۹۸۰	۲۶۵۰	۴۰۰۰	۱۱۲۰	۱۴۹۵	۲۷۰۰	۵۴۵	۲۴۱۰
TH (mg ^l ⁻¹)	۴۶۶/۶۶	۳۷۶/۶۶	۱۶۳/۳۳	۳۱۶/۶۶	۲۰۶/۶۶	۲۲۳/۳۳	۳۳۶/۶۶	۱۴۳/۳۳	۲۳۰	۱۷۳/۳۳	۱۶۶/۶۶	۳۹۰
Alk (mg ^l ⁻¹)	۹۸	۵۴	۱۸۸	۳۴۶	۱۵۰	۱۴۶	۲۲۶	۱۴۲	۱۴۲	۱۳۴	۶۸	۶۸

نتایج و بحث

خاک دارد. عنصر سدیم نیز در آب بسیار محلول بوده و لذا در تمام آب‌های طبیعی به مقدار کم یا زیاد موجود است. کلر آنیونی که در تمام آب‌های طبیعی یافت می‌شود، اگر غلظت آن در آب زیاد باشد به لحاظ رشد گیاه سمی خواهد بود و آنیون سولفات هم در تمام آب‌های طبیعی به مقدار فراوان یافت می‌شود (علیزاده ۱۳۸۶).

شش پارامتر کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، سولفات، وکل مواد جامد محلول در دسته ترکیبات شیمیایی مشتق‌شده از آلاینده‌هایی که می‌توانند، مزه، بو یا ظاهر آب را تغییر دهند، قرار می‌گیرند (دشتی برمکی و همکاران ۱۳۹۳). نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌های انتخابی در منطقه مورد مطالعه و خلاصه اطلاعات

متغیرهای زیادی در کیفیت آب‌های زیرزمینی تأثیر دارد که همه آنها قابل تجزیه و بررسی نمی‌باشند (لوکا و جوناس ۲۰۰۹). در این پژوهش از شش متغیر کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، سولفات و کل جامدات محلول برای تولید شاخص کیفیت آب‌های زیر زمینی^۸ و نیز از استانداردهای سازمان بهداشت جهانی برای مقایسه استفاده شده است. کلسیم و منیزیم در تمام آب‌های طبیعی به مقدار قابل ملاحظه‌ای وجود دارند. وجود کلسیم در آب باعث افزایش نفوذ آب به‌داخل خاک می‌شود. منیزیم رفتاری مشابه به کلسیم در آب و

⁸ GQI

آماري شش پارامتر فوق در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۲- نتایج تحلیل و اطلاعات آماری پارامترهای کیفی آب در نمونه‌های مورد نظر و مقایسه آن با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (واحدها بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد).

نمونه‌ها	عرض جغرافیایی (°N)	طول جغرافیایی (°E)	کلسیم mg l ⁻¹	منیزیم mg l ⁻¹	سدیم mg l ⁻¹	کلر mg l ⁻¹	سولفات mg l ⁻¹	مواد جامد محلول
kh 10	۲۶۷۵۱۷/۶	۲۸۱۹۲۸۱	۱۴۸	۵۹	۲۲۰	۶۴	۸۲۷	۴۶۵
kh 15a	۲۵۸۴۴۵/۱	۲۸۱۳۴۹۷	۵۵	۱۳	۶۰	۷۱	۵۱۸	۵۱۰
kh 16	۲۵۶۱۷۷/۳	۲۸۱۲۶۷۱	۴۴	۱۲	۲۶۵	۲۰۶	۲۵۳	۲۵۰۰
kh 18	۲۴۶۸۰۳/۹	۲۸۰۸۶۲۶	۱۴۸	۹۸	۷۵۰	۸۵۱	۸۰۳	۳۴۰۰
kh 25	۲۵۸۰۷۷/۳	۲۸۱۱۷۸۹	۲۴	۶	۱۸۶	۹۰	۱۶۳	۷۷۵
kh 38	۲۵۹۱۰۶/۴	۲۸۰۵۲۰۷	۱۷۰	۶	۵۲	۴۵	۴۵۴	۱۶۸۰
بیشینه			۱۸۴	۹۸	۷۵۰	۸۵۱	۸۲۷	۳۴۰۰
کمینه			۲۴	۶	۵۲	۴۵	۱۶۳	۵۱۰
میانگین			۱۰۴/۱۲۵	۲۳/۳۳	۲۲۵/۵	۲۲۱/۱۶	۵۰۳	۱۶۰۵
استاندارد سازمان بهداشت جهانی			۳۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۲۵۰	۱۰۰۰

شاخص کیفیت آب‌های زیرزمینی (GQI)

در مرحله اول، نقشه‌های غلظت برای هریک از پارامترهای نام برده، با استفاده از روش کریجینگ تهیه می‌شوند. در این روش پس از اندازه‌گیری مقدار متغیر برای نمونه‌های متعدد در نقاط نمونه‌برداری نشده، نیز با توجه به موقعیت و فاصله‌ای که با نقطه معلوم دارند، برآورد می‌گردد (مقامی و همکاران ۱۳۹۰). وبر و انگلند (۱۹۹۲) و کرسیس (۱۹۹۱) در تحقیقات و پژوهش‌های خود، کریجینگ را به‌عنوان روشی با دقت بالا برای میان بندی در GIS معرفی کرده‌اند. در مرحله بعد، جهت هم‌معیار شدن داده‌های مختلف، غلظت اندازه‌گیری شده در هر سلول، X ، به مقدار استاندارد آن، X_c ، با استفاده از فرمول زیر نرمال می‌شوند (بابیکر و همکاران ۲۰۰۷).

$$C = \frac{(X - X_c)}{(X_c + X)}$$

[۱]

مقادیر سدیم و منیزیم در نمونه‌های KH10 و KH18 بالاتر از حد استاندارد می‌باشند نمونه KH10 مربوط به حوضچه داخل معدن بوده و KH18 آب قنات خشک شده برنجک می‌باشد که محل تخلیه فاضلاب و پسماندهای معدنی می‌باشد. غلظت سولفات در ۴ نمونه (KH10, KH115a, KH18, KH38) بالاتر از حد استاندارد دیده می‌شود که وجود این آنیون فراوان در منطقه را شاید بتوان به هوازگی پیریت‌های حاصل از فعالیت‌های معدن‌کاری مرتبط دانست. تغییرات کلر در منطقه بین ۴۵-۸۵۱ ppm می‌باشد و فقط نمونه KH18 با مقدار ۸۵۱ ppm بالاتر از حد استاندارد می‌باشد. استاندارد ایران مقدار مطلوب مواد جامد محلول را ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و بیشینه مجاز را ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اعلام کرده است. براساس مقادیر به‌دست آمده برای کل جامدات محلول، نمونه‌های KH 16, KH 18, KH 22, KH 23, KH 24, KH 26, KH 27, KH 38 به‌ترتیب دارای مقادیر ۳۴۰۰، ۲۵۰۰، ۱۶۸۰، ۱۸۶۰، ۲۷۵۰، ۱۸۲۰، ۲۱۰۷ پی‌پی‌ام بوده و در محدوده غیرقابل قبول قرار می‌گیرند.

$$GQI = 100 - \left(\frac{r_1w_1 + r_2w_2 + \dots + r_nw_n}{n} \right) \quad [۳]$$

در این فرمول r رتبه هر پیکسل از نقشه‌های رتبه‌بندی شده، n تعداد کل پارامترهای شیمیایی و w وزن نسبی هر یک از پارامترها می‌باشد که برابر با مقدار میانگین کل پیکسل‌های نقشه رتبه‌بندی شده مربوطه، می‌باشد. برای محاسبه GQI در واقع از پارامترهای مختلف میانگین وزنی گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، پارامترهای با مقدار بیشتر (تفاوت بیشتر با مقدار استاندارد) دارای وزن نسبی و در نتیجه تأثیر گذاری بیشتری می‌باشند. نهایتاً با تقسیم حاصل ضرب رتبه هر پارامتر در وزن میانگین آن به مقدار کل پارامترها شاخص GQI با محدوده بین ۱ تا ۱۰۰ بدست می‌آید. مقادیر نزدیک به ۱۰۰ نشان‌دهنده کیفیت مطلوب و مقادیر نزدیک به ۱ کیفیت نامناسب را نشان می‌دهند. در GQI ، تأثیر پارامترها به صورت انفرادی کاهش پیدا می‌کند و محاسبه شاخص به تعداد معدود و معینی از پارامترهای شیمیایی محدود نمی‌گردد. نقشه‌های رتبه‌بندی شده برای هر یک از ۶ پارامتر شیمیایی در شکل ۳ آورده شده است.

نتیجه این یکسان‌سازی تولید ۶ نقشه جدید است که در نقشه‌های به دست آمده، برای هر سلول، یک مقدار مشخص آلودگی بین محدوده ۱- تا ۱ وجود دارد. سپس نقشه رتبه‌بندی تهیه می‌شود. که محدوده آن بین ۱ تا ۱۰ می‌باشد. رتبه ۱ نشان دهنده کیفیت خوب آب زیر زمینی و ۱۰ نشان‌دهنده کیفیت بد آب زیرزمینی می‌باشد. در نقشه‌های جدید کمترین سطح آلودگی (۱-) معادل ۱، سطح وسط (۰) برابر ۵ و بالاترین سطح (۱) معادل ۱۰ می‌باشد. برای این منظور از رابطه تابع چند جمله ای زیر استفاده می‌شود (بابیکر و همکاران ۲۰۰۷).

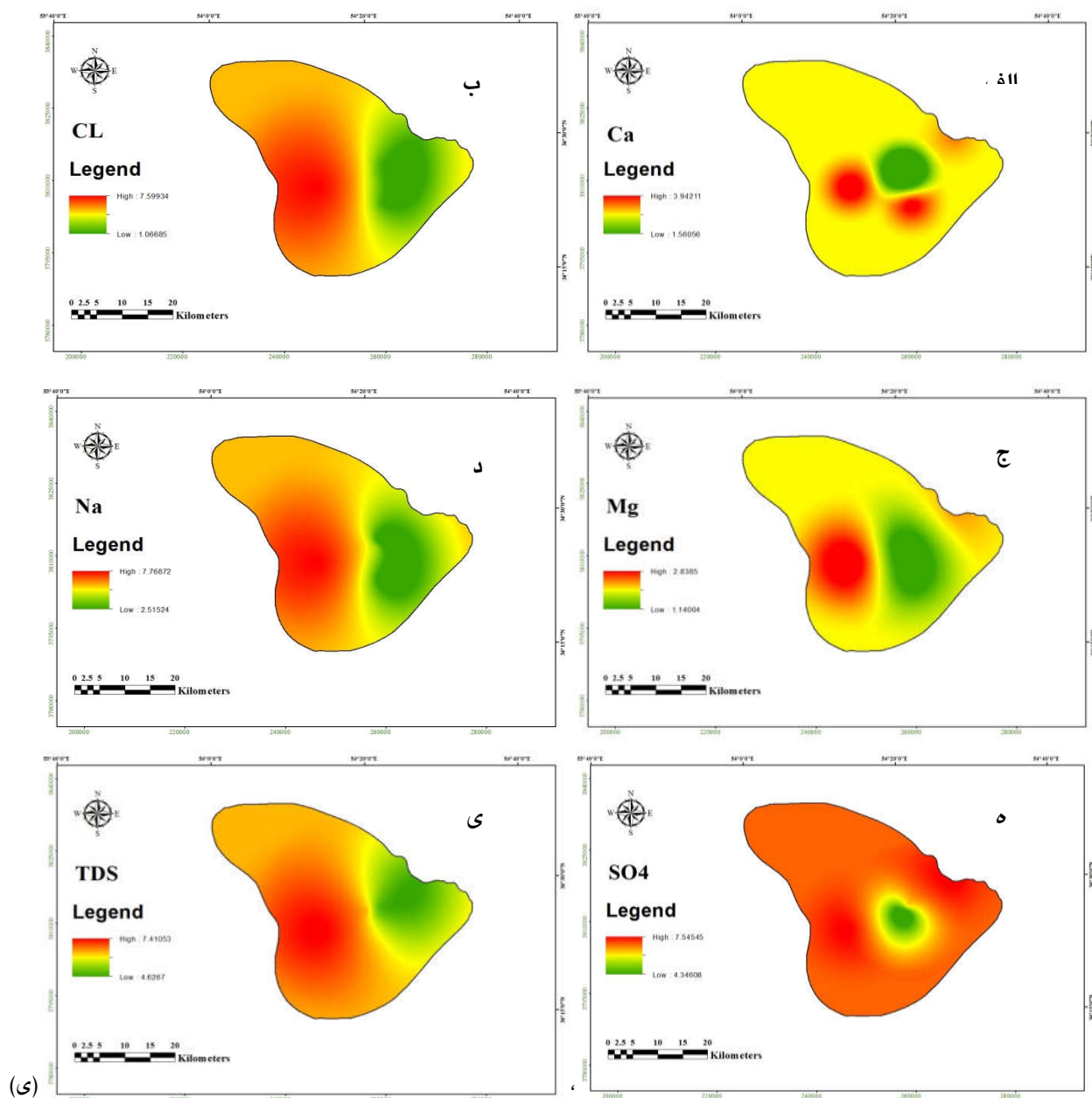
$$r = 0.5 \times C^2 + 4.5 \times C + 5 \quad [۲]$$

در این معادله، C مقدار شاخص آلودگی و r مقدار رتبه مربوط به آن می‌باشد (بابیکر و همکاران ۲۰۰۷).

در مرحله نهایی به منظور ایجاد یک نقشه واحد که حاصل ۶ پارامتر شیمیایی مورد نظر باشد و کیفیت آب را در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی، به صورت کمی نشان دهد، از فرمول زیر استفاده می‌شود (بابیکر و همکاران ۲۰۰۷):

جدول ۳- نتایج آماری حاصل از نقشه‌های رتبه‌بندی شده پارامترهای شیمیایی مورد نظر.

متغیرها	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف استاندارد
کلسیم	۱/۵۶	۳/۹۴	۳/۲۸	۰/۱۶
منیزیم	۱/۱۴	۲/۸۳	۱/۹۸	۰/۲۱
سدیم	۲/۵۱	۷/۷۶	۵/۹۸	۰/۹۶
کلر	۱/۰۶	۷/۵۷	۵/۲۴	۱/۲۹
سولفات	۴/۳۴	۷/۵۴	۷/۰۱	۰/۲۷
مواد جامد محلول	۴/۶۲	۷/۴۱	۶/۲۹	۰/۵۲



(محدوده پهنه‌بندی در شکل ۲ مشخص شده است).

۶۶٫۰۱ تا ۸۱٫۳۹ درصد تغییرات دارد که با توجه به جدول ۴ که تقسیم‌بندی کیفیت آب بر پایه GQI را نشان می‌دهد (بایبکر و همکاران ۲۰۰۷). در حد متوسط تا قابل قبول قرار می‌گیرند. میزان GQI به‌دست‌آمده برای و کیفیت آب‌ها در نقاط موردنظر در محدوده مطالعاتی در جدول ۵ آورده شده است.

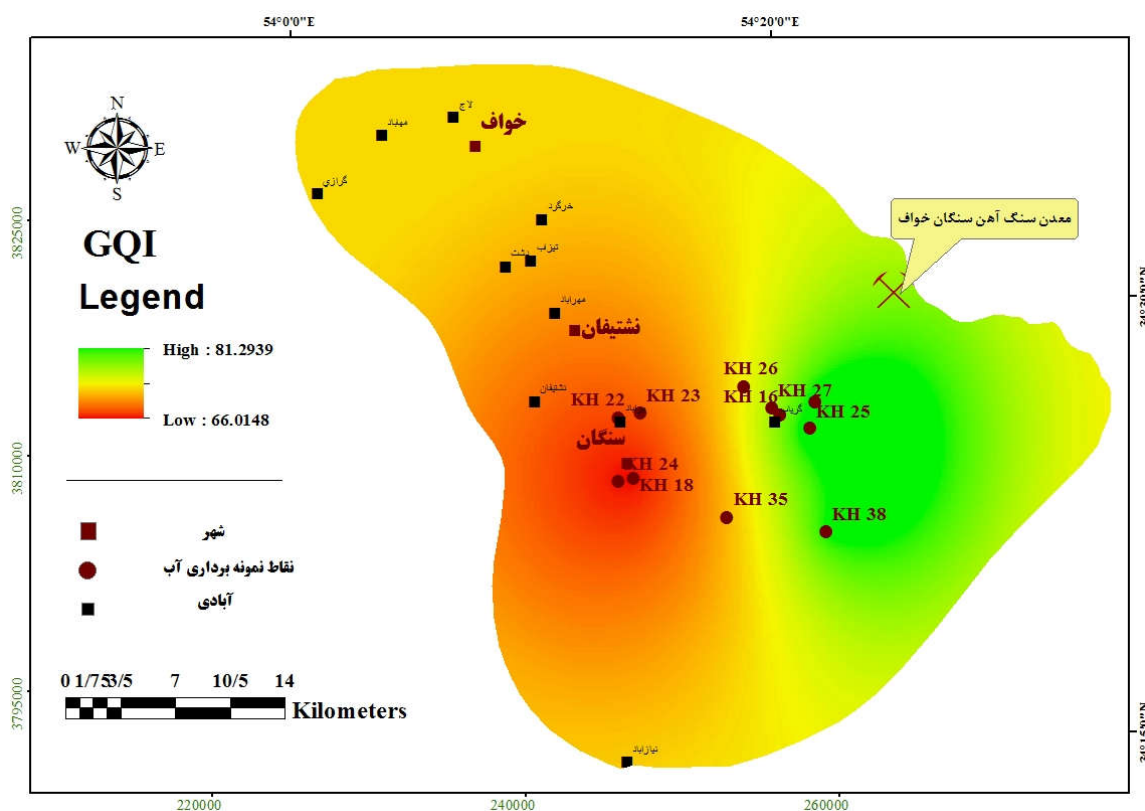
این نقشه‌ها، مناطق بحرانی محدوده مورد مطالعه را نسبت به هریک از پارامترهای شیمیایی نشان می‌دهد. نتایج آماری مربوط به ۶ نقشه رتبه‌بندی شده در جدول ۳ قابل بررسی است. نقشه GQI مربوط به محدوده مطالعاتی در شکل ۴ قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به محاسبات انجام‌شده، مقدار این شاخص در منطقه بین

جدول ۴- کیفیت آب بر اساس GQI (بایبکر و همکاران ۲۰۰۷).

نامطلوب	نامناسب	متوسط	قابل قبول	مناسب	کیفیت آب
۲۵-۰	۵۰-۲۶	۷۰-۵۱	۹۰-۷۱	۹۱-۱۰۰	GQI

جدول ۵- میزان GQI در نقاط مورد نظر در محدوده مطالعاتی.

نمونه‌ها	Kh 10	Kh 15a	Kh 16	Kh 18	Kh 25	Kh 38
GQI	۷۶/۶۸	۷۹/۹۹	۷۵/۹۳	Jan-66	۸۰/۳۷	۷۹/۲۵
کیفیت	قابل قبول	قابل قبول	قابل قبول	متوسط	قابل قبول	قابل قبول



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص GQI (محدوده پهنه‌بندی در شکل ۲ مشخص شده است).

نشان می‌دهند، قابل توجه است. وجود آنیون سولفات فراوان در محدوده مطالعاتی را می‌توان به دگرسانی پیریت‌های حاصل از فعالیت‌های معدن‌کاری گسترده در منطقه مرتبط دانست. رتبه نقشه کلسیم کمتر از ۴ و نقشه منیزیم کمتر از ۳ می‌باشد. سایر پارامترها دارای رتبه بالاتر از ۷ می‌باشند (جدول ۳).

با توجه به نقشه‌های رتبه‌بندی شده پارامترهای شیمیایی کلر، منیزیم، سدیم، مواد جامد محلول در آب تقریباً از یک الگوی مشابه پیروی می‌کنند، با این تفاوت که روند تغییرات سولفات و کلسیم کمتر است (شکل ۳). میانگین مقدار سولفات در نقشه رتبه‌بندی شده ۷/۰۱ می‌باشد که با توجه به غلظت‌های بالای این آنیون در منطقه که بیشتر موارد مقادیر بالاتر از استاندارد را

می‌شود، یعنی سنگ کف بالا آمدگی دارد، که بر کیفیت آب زیرزمینی تأثیر منفی دارد. و با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه که به سمت غرب بر واحدهای رسی و لایه‌های آهکی اضافه شده و لیتولوژی غالب را شامل می‌شوند، تخریب کیفیت آب زیرزمینی در مناطق غربی قابل پیش‌بینی می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به پارامترهای فیزیکی آب در محدوده مطالعاتی، TDS بیشتر نمونه آب‌های منطقه در محدوده لب شور قرار می‌گیرند. از نظر هدایت الکتریکی تمامی نمونه‌ها در سطح بالایی هستند. وجود لایه‌های آهکی نئوژن در افزایش این پارامتر بسیار مؤثر هستند. با استفاده از پارامترهای TDS, SO₄, Cl, Na, Mg, Ca شاخص کیفیت آب زیرزمینی GQI برای محدوده مطالعاتی محاسبه شد که بین ۶۶/۰۱ تا ۸۱/۳۹ درصد متغیر بوده و کیفیت آب منطقه را در حد متوسط تا قابل قبول نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن نقشه‌های هم‌عمق منطقه، کیفیت آب زیرزمینی در جهت جریان آب کاهش پیدا کرده است. کاهش کیفیت آب در منطقه را می‌توان به تغییرات لیتوژنیک در منطقه نسبت داد.

نقشه نهایی برای بررسی چگونگی و نیز دلایل تغییرات مکانی آب‌های زیرزمینی قابل استفاده می‌باشد. بدین‌منظور، اطلاعات این نقشه را با نقشه‌های هم‌عمق، هم‌پتانسیل سطح آب، نقشه زمین‌شناسی منطقه و نیز کاربری اراضی، ارتباط می‌دهند، تا عوامل کنترل‌کننده تغییرات کیفی آب مشخص شده و قابل بحث و توجیه‌پذیر باشند. نقشه کیفیت آب زیرزمینی منطقه موردنظر نشان می‌دهد که شاخص کیفیت آب زیرزمینی، به سمت مناطق غربی کاهش کیفیت داشته است. جهت حرکت آب‌های زیرزمینی در دشت سنگان در محدوده موردنظر در جهت مسیر، واحدهای Qal (آبرفت‌های بستر رودخانه) می‌باشد. این واحدها وظیفه زهکشی آب سطحی در دشت را به عهده دارند. با توجه به این مورد و نیز با در نظر گرفتن به نقشه‌های هم‌عمق منطقه که عمق از قسمت شرقی به طرف غربی کاهش پیدا کرده و در نتیجه جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه از شمال شرق به جنوب غرب می‌باشد، کیفیت آب در جهت جریان آب زیرزمینی کاهش پیدا کرده است. از طرف دیگر، کیفیت آب زیرزمینی با سنگ‌شناسی تغییر می‌کند (قره‌چلو و همکاران ۱۳۸۸). واحدهای Cs (شلیست‌های کلسیتی) که در محل معدن هم دیده می‌شوند، در اطراف سمت غرب و جنوب دشت نیز بیرون زدگی دارند که باعث بالا آمدن کف دشت

منابع مورد استفاده

- آریافر آ، دولتی ارده جانی ف، محوی م و کیانوش پ، ۱۳۸۸. استفاده از شاخص کیفی آب و شاخص اشباع برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در دشت خواف- سنگان. صفحه‌های ۱ تا ۸، سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، ۲۵ تا ۲۹ مهر، تهران.
- جعفرزاده حقیقی فرد ن، حسنی ا، زین الدینی میمند ع و حسینی ع، ۱۳۸۴. بررسی اثرات بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی انار کرمان بر کیفیت آب منطقه با استفاده از نمودارهای تشخیص کیفیت. نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، جلد ۲۴، صفحه‌های ۷۶ تا ۸۶.
- دشتی برمکی م، رضایی م و صابری نصر ا، ۱۳۹۳. ارزیابی شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) در آبخوان لنجانان با استفاده سیستم اطلاعات جغرافیایی. نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد ۸، شماره ۲، صفحه‌های ۲۱۲۱ تا ۲۱۲۸.

- کریم پور م، ۱۳۶۹. بررسی منشا و چگونگی تشکیل کانسار آهن سنگان خراسان. صفحه‌های ۲۶۹ تا ۲۸۲، مجموعه مقالات سمینار سنگ آهن، شهریور ماه، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- کریم پور م، سعادت س و ملک زاده شفارودی آ، ۱۳۸۱. شناسایی و معرفی کانی‌سازی و نوع Fe-Oxides Cu-Au و مگنتیت مرتبط با کمر بند ولکانیکی- پلوتونیک خواف- کاشمر- بردسکن. صفحه‌های ۸۹ تا ۹۷، بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین، ۲۸ تا ۳۰ بهمن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- مقامی ی، قضاوی ر، ولی ع و شرفی س، ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به منظور پهنه‌بندی کیفیت آب با استفاده از GIS، مطالعه موردی: شهرستان آباد. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره ۲، صفحه‌های ۱۷۱ تا ۱۸۲.
- مظاهری س، ۱۳۸۱. رده‌بندی آمفیبول‌های کانسار سنگ آهن ناحیه سنگان خواف. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، جلد ۱۰، شماره ۱، صفحه‌های ۶۷ تا ۸۰.
- قره چلو س، فیض نیا س، علوی‌پناه س و میراخورلو خ، ۱۳۸۸. ارزیابی پهنه‌بندی شاخص شوری زمین‌شناسی مؤثر بر تخریب آب و خاک (بررسی موردی: حوزه آبخیز حبله‌رود). نشریه مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، دوره ۶۲، شماره ۴، صفحه‌های ۵۲۷ تا ۵۳۷.
- علیزاده ا، ۱۳۸۶. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، چاپ بیست و یکم، ۸۰۳ صفحه.
- Aryafar A, Doulati Ardejani F and Baafi E, 2009. Groundwater recovery simulation for determination of post-mining lake formation at the Sangam iron mine, Mashhad, Iran. *Journal of Geology and Mining Research* 1(5): 111-117.
- Babiker I, Mohamed M and Hiyama T, 2007. Assessing groundwater quality using GIS. *Water Resources Management* 21: 699-715.
- Boomeri M, 1998. Petrography and geochemistry of the Sangam iron skarn deposit and related igneous rocks, northeastern Iran. Unpublished Ph.D. thesis, Akita university, Japan, 226p.
- Cressies N, 1991. *Statistic for Spatial data*, John Wiley and sons, New York, N.Y.
- Jung MCh, 2001. Heavy metal contamination of soils and waters in and around the Imcheon Au-Ag mine, Korea. *Applied Geochemistry* 16:1369-1375.
- Khan HH and Arina Khan ShA, 2011. Jerome Perrin GIS-based impact assessment of land-use changes on groundwater quality: study from a rapidly urbanizing region of South India. *Environmental Earth Sciences* 63(6):1289-1302.
- Luka F and Jonas L, 2009. *Groundwater: Modeling, Management and Contamination*. Nova Science Publishers, Inc. New York.
- Shah MT, Ara J, Muhammad S, Khan S and Tariq S, 2012. Health risk assessment via surface water and sub-surface water consumption in the mafic and ultramafic terrain, Mohmand agency, northern Pakistan. *Journal of Geochemical Exploration* 118: 60-67.
- Thompson T, Fawell J, Kunikane S, Jackson D, Appleyard S, Callan P, Bartram J and Kingston P, 2007. *Chemical Safety of Drinking-Water: Assessing Priorities for Risk Management*. World Health Organization, Geneva.
- Weber D and England E, 1992. Evaluation and comparison of spatial interpolations. *Mathematical Geology* 24: 381-391.