

مقدمه

در سال‌های اخیر با افزایش جمعیت و نیاز روز افزون آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و شرب، بارش کم، تبخیر بالا و توزیع نامناسب بارندگی، منابع آب با بحران کمی و کیفی روبرو شده است. کیفیت منابع آب زیرزمینی به عوامل متعددی از جمله جنس و دانه‌بندی رسوبات سنگ مخزن، سنگ کف و واحدهای سنگی مسیر جریان تغذیه کننده آبخوان و حجم تغذیه، فاصله از محل تغذیه و نیز سرعت جریان آب و زمان ماندگاری آن بستگی دارد [۴ و ۱۲] و ترکیب شیمیایی آب از فاکتورهای عمده و اولیه جهت تعیین مناسب بودن آن برای اهداف مختلف می‌باشد.

روش‌های ژئوشیمیایی و استفاده از دیاگرام‌ها، معرف مناسبی جهت شناخت منشأ مواد و املاح موجود آب زیرزمینی هستند و در ارزیابی خصوصیات کیفی آبخوان کاربرد فراوانی دارند [۵]. تاکنون مطالعات بسیاری در رابطه با کیفیت آب زیرزمینی و عوامل مؤثر و کنترل‌کننده خصوصیات شیمیایی آن انجام گرفته‌است، می‌توان به مواردی از قبیل ارزیابی تغییر مکانی کیفیت و تعیین شبکه‌ی بهینه‌ی پایش آب زیرزمینی دشت شهرکرد با روش‌های زمین‌آمار [۱]، بررسی تأثیر عوامل طبیعی و انسانی بر کیفیت منابع آب دشت لنجان اصفهان توسط ناصری و همکاران [۱۶]، ارزیابی شوری آب زیرزمینی و تبیین منشأ یون‌ها در آبخوان ساحلی دشت ملکان با استفاده از نسبت‌های یونی [۳] اشاره کرد. با استفاده از دیاگرام‌های هیدروژئوشیمیایی، تیپ و نوع رخساره‌ها در مسیر جریان تعیین و طبقه‌بندی از آب‌ها و رفتار ژئوشیمیایی آن‌ها ارائه گردیده است [۹]. نمودار گیبس برای تشخیص واکنش‌های سنگ و آب استفاده شده است [۱۳]. در تجزیه و تحلیل‌ها می‌توان از ارتباط شرایط زمین‌شناسی، هیدرواقليم و دیگر عوامل مؤثر در مکانیسم کنترل شیمی آب زیرزمینی استفاده کرد [۱۱، ۱۵]. کیفیت آب‌های زیرزمینی مناطق روستایی ایالت کارناتاکا مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج به کمک نمودارهای پایپر و گیبس بررسی و تفسیر شده است [۲]. پس از اندازه‌گیری یون‌های اصلی، تیپ آب منطقه مشخص و کیفیت آب را بر اساس نمودارهای شولر و ویلکاکس، از نظر شرب و کشاورزی بررسی شده است. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی به کمک شاخص کیفی GWQI برای شرب توسط بابیکر و همکاران [۶] ارائه شده که به کمک این شاخص متغیرهای مختلف از جمله TDS، Cl⁻، SO₄²⁻، Ca²⁺، Mg²⁺ و Na⁺ با هم تلفیق و تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی بررسی می‌شود. کیفیت نامناسب آب بر سلامت انسان تأثیر

ارزیابی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت باشت و کیفیت آن با استفاده از شاخص‌های کیفی

فرحناز عزیزی^{۱*}، حسن ارجمند^۲، طالب مرادی نژاد^۳ و مجید خزایی^۴

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۶

چکیده

در این تحقیق به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمی منابع آب‌های زیرزمینی دشت باشت از نتایج آنالیز ۱۰ نمونه آب زیرزمینی در ماه‌های خشک و تر سال ۹۷-۱۳۹۶ استفاده شده است. یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش دهنده کیفیت آب زیرزمینی این آبخوان ترکیب سنگی منطقه است که بیشتر سنگ‌های رسوبی و به ویژه تبخیری‌ها را در بر می‌گیرد. به منظور ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت باشت از بررسی‌های زمین‌شناسی، تبادلات یونی، دیاگرام‌های هیدروژئوشیمیایی و شاخص اشباع استفاده شده است. نتایج آنالیزهای صورت گرفته نشان داد که آب‌ها عمدتاً دارای تیپ و رخساره بی‌کربناته کلسیک و سولفاته کلسیک هستند. نتایج ارزیابی کیفی آب زیرزمینی با استفاده از نمودارهای ترکیبی یون‌ها و شاخص اشباع کانی‌ها نشان داد که این آب‌ها نسبت به کانی‌های دولومیت و کلسیت فوق اشباع و نسبت به کانی‌ها سولفاته تحت اشباع هستند و تبادلات یونی عادی و معکوس در منطقه رخ داده است. بررسی‌ها نشان داد که کیفیت شیمیایی آب توسط مسیر جریان و سنگ‌شناسی مخزن کنترل می‌شود. نقشه پهنه‌بندی کیفی دشت باشت بر اساس شاخص GWQI گویای این است که حدود ۹۱/۳ و ۸۷ درصد از سفره آب زیرزمینی مورد مطالعه به ترتیب دارای کیفیتی خوب و بد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دشت باشت، خصوصیات ژئوشیمیایی، شاخص اشباع، کیفیت، منابع آب.

۱. دکتری هیدروژئولوژی، نویسنده مسئول، Email: fazizi90@yahoo.com
۲. کارشناس ارشد مهندسی عمران، دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای کهگیلویه و بویراحمد
۳. کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای کهگیلویه و بویراحمد
۴. دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد

سوء داشته و منجر به غیر قابل مصرف شدن آب می‌گردد. مصرف آب با کیفیت نامناسب در کشاورزی علاوه بر کاهش محصول و ایجاد مشکل برای سیستم‌های آبیاری، خصوصیات فیزیکی خاک را از بین می‌برد. بنابراین لازم است تا جنبه‌های کیفی آب مورد بررسی قرار گیرد. این مطالعات می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و اتخاذ تدابیر لازم در برنامه‌های حفاظت و بهره‌برداری، نقش مؤثری داشته باشد.

منطقه مورد مطالعه یکی از حوزه‌های آبریز واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد بوده که با توجه به بهره‌برداری غیر اصولی از منابع آب و همچنین توسعه روزافزون برداشت از منابع آب زیرزمینی پایش کمی و کیفی آن ضروری است. از آن‌جا که تاکنون بر روی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت باشت مطالعه‌ای صورت نگرفته است، در این پژوهش به بررسی عوامل مؤثر بر وضعیت هیدروژئوشیمی آبخوان، توصیف فرایندهای کنترل‌کننده و تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب پرداخته شده است و جهت مصارف مختلف ارزیابی گردیده است.

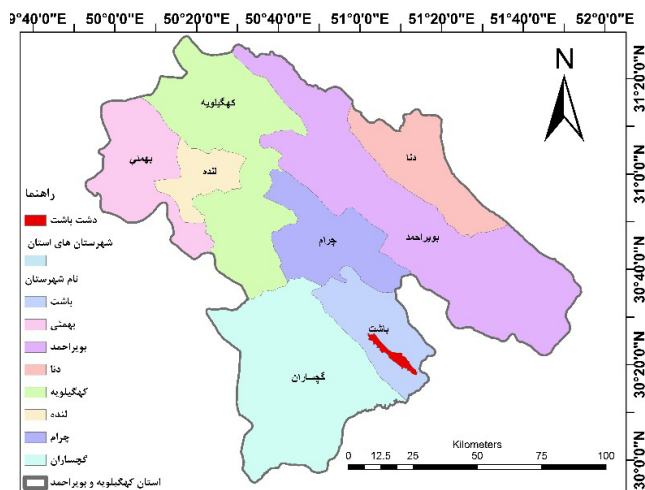
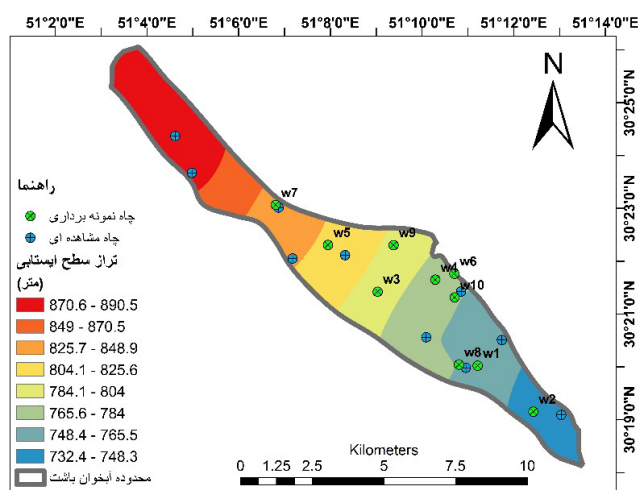
منطقه مورد مطالعه

شهرستان باشت در جنوب استان کهگیلویه و بویراحمد در بین طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی واقع گردیده است. اقلیم منطقه نیمه خشک بوده و رودخانه‌های باشت و لیراب از جمله زهکش‌های اصلی منطقه می‌باشند. این منطقه از دیدگاه ساختاری و زمین‌شناسی، در پهنه زاگرس چین خورده جای گرفته است (شکل ۱). سن واحدهای سنگی محدوده مورد مطالعه از دوره ژوراسیک میانی تا عهد حاضر می‌باشد. کهن‌ترین نهشته‌های رسوبی این منطقه مربوط به نهشته‌های آهکی-شیلی سازندهای گدون، فهلان و سورمه، متعلق به دوره‌های ژوراسیک میانی تا کرتاسه میانی، می‌باشد. نهشته‌های رسوبی دوره ترشیاری، شامل

چرخه رسوبی جهرم به سن پالئوسن تا ائوسن میانی و چرخه رسوبی آسماری به سن الیگوسن تا میوسن پیشین می‌باشد. ترشیری بالایی دربرگیرنده سازندهای گروه فارس، گچساران، آغاچاری و کنگلومرای بختیاری است که سن میوسن پیشین تا پلیوسن دارد. جوان‌ترین واحدهای رسوبی نیز پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های جوان، آبرفت‌های عهد حاضر، رسوبات منفصل بستر آبراهه‌ها و رودخانه‌ها می‌باشند. مساحت آبخوان باشت حدود ۴۵/۵ کیلومترمربع می‌باشد و جهت جریان آب‌های زیرزمینی در دشت، از شمال غرب به جنوب شرق بوده و در نتیجه حرکت آب در آبخوان، آب فرصت کافی جهت واکنش، انحلال و تبادل یونی با سازندهای زمین‌شناسی مختلف را دارد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی دشت باشت ۱۰ نمونه آب با پراکندگی مناسب طی دو ماه مهر و فروردین سال ۹۷-۱۳۹۶ تهیه و جهت تعیین یون‌های اصلی، فرعی و متغیرهای فیزیکوشیمیایی مورد آنالیز قرار گرفته است. متغیرهای درجه حرارت، pH، هدایت الکتریکی (EC) و یون‌های کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سدیم (Na^+)، بیکربنات (HCO_3^-)، سولفات (SO_4^{2-}) و کلر (Cl^-) اندازه‌گیری شده است (جدول ۱). با بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی، محاسبه شاخص‌های اشباع یونی و رسم نمودارهای هیدروژئوشیمیایی فرایندهای اثرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی ارزیابی شده است. تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی به کمک شاخص GWQI و دیاگرام شولر بررسی شده است. برای ارزیابی شاخص GWQI با تقسیم غلظت هر متغیر بر میزان غلظت استاندارد ارائه شده (C_{si}) مطابق جدول (۱) رتبه کیفی برای هر کدام از متغیرها (q_i) محاسبه می‌گردد و به هر یک از متغیرهای مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی با توجه به نقش و درجه اهمیت تاثیر، وزن نسبی (W_i) داده می‌شود [۶]. در نهایت شاخص GWQI مطابق



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت باشت

$$GWQI = \sum_{i=1}^n (w_{ri} \times q_i) \quad (1)$$

$$GWQI = \sum_{i=1}^n (w_{ri} \times q_i) \quad (1)$$

شاخص‌های اشباع محاسبه‌شده به وسیله مدل‌سازی هیدروژئوشیمیایی [۱۷] با نرم‌افزار PHREEQC Interactive 3.0.0، برای شناخت واکنش‌های شیمیایی فعال در آبخوان استفاده شده‌است. با رسم نقشه‌های پراکنش یونی، دیاگرام‌های هیدروژئوشیمیایی در محیط نرم‌افزار RockWare Aq.QA 1.1، تیپ، رخساره، روند تکامل ژئوشیمیایی و منشأ یون‌ها تعیین شده‌است. شکل (۲) موقعیت نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

شاخص GWQI

خیلی بد	بد	خوب	عالی	کیفیت آب زیرزمینی
< ۲۰۰	- ۲۰۰ ۱۰۰	- ۱۰۰ ۵۰	< ۵۰	شاخص GWQI
-	۸/۷	۹۱/۳	-	% مساحت دشت

ترکیب شیمیایی آب معمولاً تحت تأثیر لیتولوژی، سرعت و کمیت جریان آب زیرزمینی، واکنش‌های طبیعی ژئوشیمیایی، قابلیت انحلال رسوبات تبخیری و فعالیت‌های انسانی قرار دارد [۷]. جهت

جدول ۱: نتایج آنالیز شیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت باشت در مهرماه ۱۳۹۶ و فروردین ۱۳۹۷

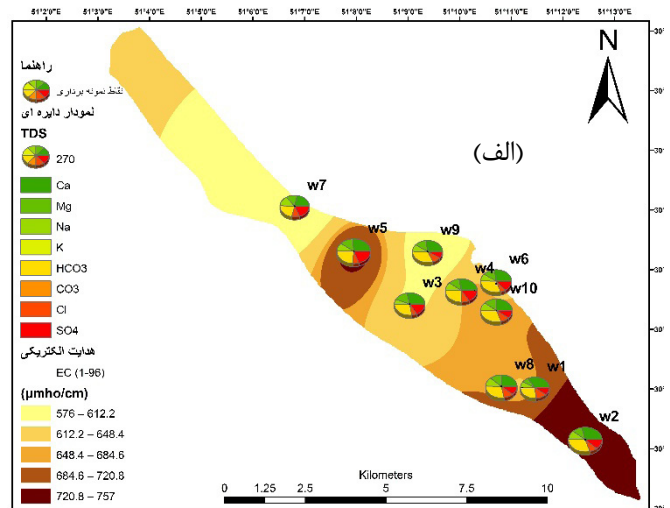
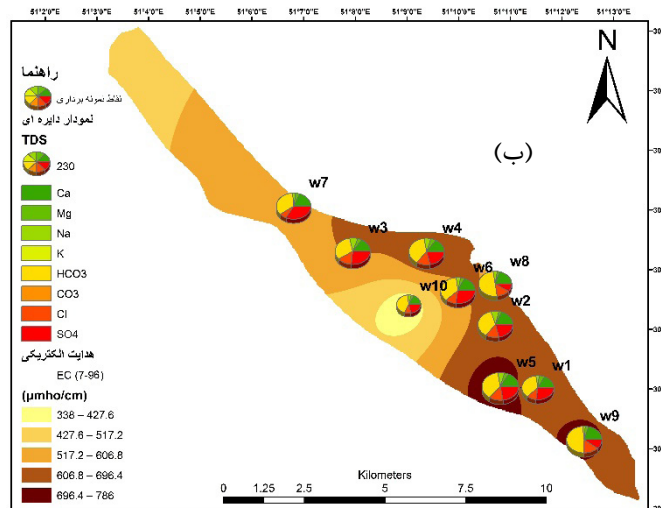
زمان	شماره	تیپ و رخساره	TH	EC	TDS	PH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CAI
			μmho/cm	mg/l	-	meq/l	-								-
مهرماه	W1	Ca- SO ₄	۲۶۷	۶۰۶	۳۳۹	۸/۲	۳/۳	۲/۱	۰/۶	۰/۰۲	۲/۲	۰	۱/۲	۲/۲	۰/۴۴
	W2	Ca-HCO ₃	۲۴۹	۷۰۷	۴۰۵	۷/۴	۳/۹	۱/۱	۱/۶	۰/۰۲	۲/۴	۰	۱/۸	۱/۹	۰/۰۶
	W3	Ca- SO ₄	۲۵۰	۷۰۷	۴۱۱	۷/۲	۳/۴	۱/۶	۱/۸	۰/۰۳	۲/۲	۰	۱/۹	۲/۵	۰/۰۳
	W4	Ca-HCO ₃	۲۳۹	۷۵۶	۴۱۵	۷/۲	۳	۱/۸	۱/۳	۰/۰۳	۲/۴	۰	۱/۷	۱/۸	۰/۲
	W5	Ca-HCO ₃	۲۳۶	۷۸۶	۴۴۸	۷/۴	۳/۲	۱/۵	۱/۳	۰/۰۳	۲/۴	۰	۱/۷	۱/۸	۰/۲۲
	W6	Ca- SO ₄	۲۳۵	۶۹۷	۳۹۷	۷/۹	۳/۴	۱/۳	۱/۳	۰/۰۳	۲/۲	۰	۱/۲	۲/۲	۰/۳
	W7	Ca- SO ₄	۲۵۷	۶۹۷	۳۹۷	۸/۱	۳/۶	۱/۶	۰/۶	۰/۰۲	۲/۲	۰	۰/۸	۲/۸	۰/۲۲
	W8	Ca-HCO ₃	۲۲۰	۶۴۴	۳۶۷	۷/۵	۳/۶	۰/۸	۰/۸	۰/۰۳	۳	۰	۱/۵	۰/۶	۰/۴۵
	W9	Ca-HCO ₃	۲۱۸	۷۳۲	۴۱۷	۷/۳	۳/۴	۱	۰/۴	۰/۰۳	۲/۶	۰	۱/۵	۰/۷	۰/۷
	W10	Ca-HCO ₃	۲۰۵	۳۳۸	۱۹۲	۷/۶	۲/۳	۱/۲	۰/۹	۰/۰۲	۲/۴	۰	۱	۱/۶	۰/۰۸
فروردین ماه	W1	Ca-HCO ₃	۱۸۵	۶۳۸	۳۲۰	۷/۳	۳/۱	۰/۶	۰/۶	۰/۰۲	۲/۴	۰	۱/۳	۰/۸	۰/۵
	W2	Ca-HCO ₃	۲۱۷	۷۴۹	۴۲۶	۷/۲	۳/۲	۱/۲	۱/۱	۰/۰۳	۳/۴	۰	۰/۹	۱/۳	۰/۲۳
	W3	Ca-HCO ₃	۲۵۶	۶۲۵	۳۵۶	۷/۶	۳/۳	۱/۸	۰/۷	۰/۰۳	۳/۲	۰	۰/۸	۱/۸	۰/۰۵
	W4	Ca-HCO ₃	۲۳۸	۶۷۷	۳۸۵	۷/۳	۳/۳	۱/۵	۱/۲	۰/۰۳	۳	۰	۱/۱	۱/۸	۰/۰۸
	W5	Ca-HCO ₃	۲۶۷	۷۵۷	۴۳۱	۷/۲	۳/۵	۱/۹	۱/۲	۰/۰۳	۳/۲	۰	۰/۹	۲/۵	۰/۲۷
	W6	Ca-HCO ₃	۲۱۱	۶۴۲	۳۶۵	۷/۵	۲/۸	۱/۴	۰/۹	۰/۰۲	۳/۲	۰	۰/۶	۱/۴	۰/۴۵
	W7	Ca-HCO ₃	۲۳۷	۵۷۶	۳۲۸	۷/۵	۲/۸	۱/۹	۱/۷	۰/۰۳	۲/۹	۰	۱/۴	۲/۴	۰/۲۳
	W8	Ca-HCO ₃	۲۳۴	۶۵۷	۳۷۴	۷/۵	۳	۱/۷	۱/۳	۰/۰۳	۳/۵	۰	۱/۴	۱/۳	۰/۰۱
	W9	Ca-HCO ₃	۲۱۳	۶۰۶	۳۴۵	۷/۸	۲/۸	۱/۵	۰/۹	۰/۰۳	۳/۴	۰	۱	۰/۹	۰/۰۶
	W10	Ca-HCO ₃	۲۲۲	۶۶۲	۳۷۷	۸	۲/۸	۱/۶	۱/۱	۰/۰۳	۳/۴	۰	۱/۱	۱	۰/۰۲
			-	۱۵۰۰	۵۰۰	۷/۵	۷۵	۳۰	۲۰۰	-	۴۵	-	۲۵۰	۲۵۰	-
			-	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۵	-	۰/۱۳	-	۰/۱۳	۰/۱	-

C_{si} ، میزان غلظت استاندارد برای هر یون بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی و W_r ، وزن نسبی هر متغیر در شاخص GWQI

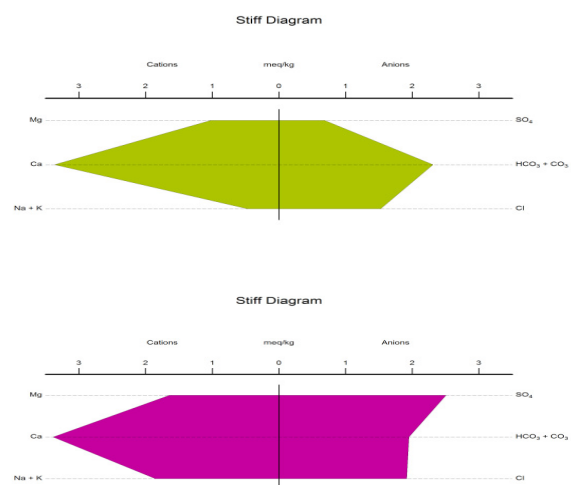
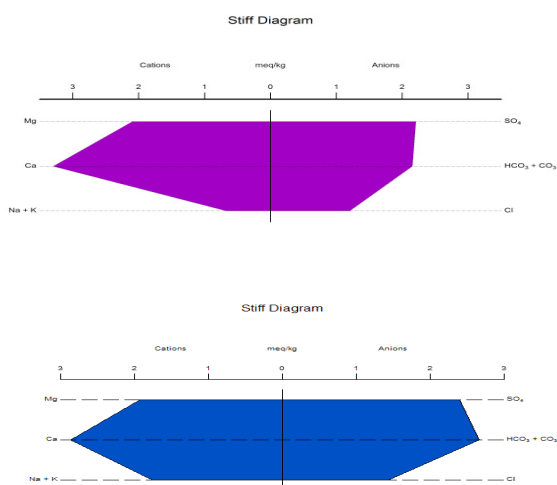
ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت باشت، از نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های آب در دو ماه خشک و تر سال ۹۷-۱۳۹۶ استفاده شده‌است. در جدول (۱) نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه‌ها نشان داده شده‌است.

نتایج تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌های آب زیرزمینی نشان می‌دهد که مقدار هدایت الکتریکی (EC) آبخوان ابرفتی دشت باشت در مهر ماه سال ۱۳۹۶، از حاشیه ارتفاعات جنوب شرق دشت و از مجاورت آهک‌های سازند آسماری بطرف نواحی مرکزی دشت افزایش یافته است که این امر بخوبی گویای تأثیر جنس سنگ‌ها و سازندهای حاشیه ارتفاعات بر کیفیت منابع آب آبخوان ابرفتی می‌باشد. هدایت الکتریکی در فروردین ماه از حدود ۵۷۶ mho/cm در بخش شمال غربی تا بیش از ۷۵۷ $\mu\text{mho/cm}$ در ناحیه خروجی آبخوان متغیر است. میزان TDS از حاشیه ارتفاعات شمال و شمال شرق به طرف نواحی مرکزی دشت افزایش یافته و از حدود ۴۲۰ mg/l در حاشیه ارتفاعات شمال شرق و شمالی دشت به بیش از ۴۲۰

در نواحی خروجی می‌رسد که این تفاوت را می‌توان به وجود برخی جریان‌های سطحی و زیرزمینی فصلی در فروردین ماه نسبت داد. جریان‌های فصلی سطحی و زیرزمینی با کیفیت نسبتاً نامناسب، از میان کنگلومراهای سازند بختیاری گذشته و موجب تغذیه و تغییر کیفیت آب آبخوان می‌گردند اما در مهر ماه این جریان‌های خشک می‌گردد. شکل (۲) تغییرات هدایت الکتریکی و نمودار دایره‌ای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت باشت را با بزرگی بر حسب TDS نشان می‌دهد. دیاگرام‌های استیف می‌توانند در مقایسه نمونه‌ها برای به دست آوردن منشأ آن‌ها راه حلی مفید و سریع باشند، به‌طوری که در این دیاگرام‌ها اختلاف بین تجزیه و تحلیل‌های شیمیایی متفاوت به خوبی نشان داده می‌شود [۱۰]. شکل (۳) دیاگرام‌های استیف را برای چند نمونه انتخابی که مبین نمونه‌ای از هر مجموعه مختلف نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه است، ارائه می‌دهد. نمودارهای استیف (شکل ۳) حاکی از منشأ آهکی و دولومیتی، برای نمونه‌های منطقه مورد مطالعه است. برخی نمونه‌ها نشان



شکل ۲: تغییرات هدایت الکتریکی و نمودار دایره‌ای نمونه‌های آب در الف) مهر ۱۳۹۶ و ب) فروردین ۱۳۹۷



شکل ۳: دیاگرام‌های استیف برخی از نمونه‌های منابع آب زیرزمینی دشت باشت

از اختلاط آب‌هایی با منشأ سازندهای تبخیری ژپسی می‌باشد. واحدهای تبخیری شامل میان لایه‌های ضخیم تا توده‌ای گچ و افق‌های انیدریت سازند گچی و مارنی گچساران (Gs) در کاهش کیفیت منابع آب موثر هستند.

تیپ منابع آب زیرزمینی از جمله متغیرهایی است که علاوه بر جنس واحدهای سنگی منشأ گویای میزان مسافت طی شده نیز می‌باشد و لذا تعیین و تحلیل آن از اهمیت خاصی برخوردار است [۸]. تواتر یونی در آب‌های زیرزمینی دشت باشت در مهرماه به صورت $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ = \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ و در فروردین ماه $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ = \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ و $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ = \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ است. تیپ نمونه‌های آب در فروردین ماه از نوع بیکربناته کلسیک است که این وضعیت نشان دهنده سرچشمه گرفتن آب‌های زیرزمینی از سازندهای با جنس کربنات کلسیم است و ناشی از رخنمون آهک‌های متعلق به دوره کرتاسه در ارتفاعات شمال و جنوب دشت و تغذیه آبخوان آبرفتی توسط این سنگ‌ها می‌باشد. روند تغییرات مقدار سختی کل (TH) از بخش‌های شمال غربی آبخوان به سمت جنوب شرقی، در جهت جریان آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج حاصل تمامی نمونه‌ها در هر دو ماه دارای کیفیتی سخت می‌باشند (جدول ۱).

به منظور بررسی خصوصیات آب زیرزمینی دشت باشت از لحاظ حالیت یا رسوب دهندگی کانی‌ها، مقادیر نمایه‌های اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژپس، انیدریت، هالیت و ... با استفاده از کد کامپیوتری PHREEQC محاسبه گردیده است. شاخص‌های اشباع حاصل از مدل‌سازی ژئوشیمیایی آبخوان حاکی از محیط شیمیایی مناسب جهت انحلال ژپس و هالیت (شاخص اشباع منفی) و رسوبگذاری کلسیت و دولومیت (شاخص اشباع مثبت) است (شکل ۴). توزیع غلظت‌ها تأثیر بیشتر کنترل کننده‌های زمین‌شناسی بر ترکیب آب زیرزمینی آبخوان را محتمل می‌سازد.

به منظور بررسی تأثیر لیتولوژی بر منابع آب و نیز تعیین مکانیسم حاکم بر جریان آب از دیاگرام گیبس استفاده شده است [۲۰]. دیاگرام گیبس شامل سه محدوده واکنش‌های تبخیری و تبلور، واکنش

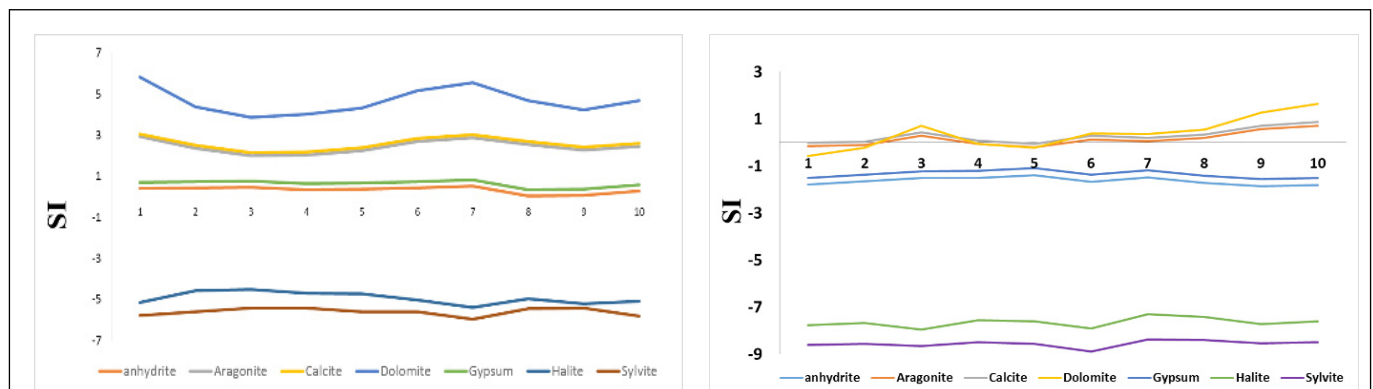
سنگ-آب و واکنش از بارش‌ها می‌باشد [۱۴]. این دیاگرام برای تشخیص واکنش‌های سنگ و آب، براساس نسبت وزنی $\text{Cl}^-/(\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ و $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/(\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+})$ نسبت به TDS مقیاس لگاریتمی ترسیم می‌شود [۲]. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود تمامی نمونه‌ها در محدوده واکنش سنگ-آب قرار گرفته‌اند و در واقع نمودار گیبس نشان‌دهنده متأثر بودن کیفیت آب زیرزمینی از واکنش‌های سنگ-آب می‌باشد (شکل ۵).

جهت نمایش فرایندهای تبادل یونی و عکس آن از نمودارهای ترکیبی با استفاده از توابع بین اجزای تشکیل دهنده شیمیایی متأثر از فرایند تبادل یونی استفاده می‌شود. در مورد تبادل یونی، شولر، اندیس کلروآلکانل $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/(\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$ و Cl^- ... را پیشنهاد داده است [۱۹]. مقادیر اندیس مورد نظر در ماه خشک در همه نمونه‌ها، مثبت می‌باشد و نشان‌دهنده فرایند عکس تبادل یونی است. با توجه به این نتایج، در مسیر جریان آب زیرزمینی به واسطه تماس آب با سازندهای تبخیری و واکنش‌های شیمیایی بین آب-سنگ، تغییرات متفاوتی در ترکیب شیمیایی آب ایجاد می‌گردد. در راستای تشخیص فرایند تبادل یونی در آبخوان از دو نمودار ترکیبی استفاده شده است (شکل ۶).

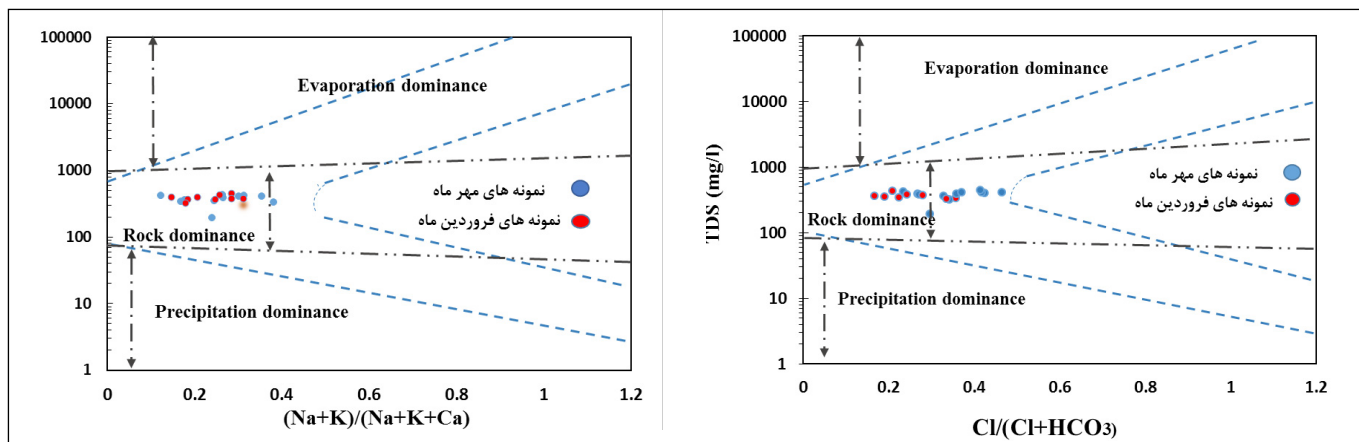
در نمودار دو متغیره EC به $(\text{Na}^+/\text{Cl}^-)$ نمونه‌هایی در بالای خط $\text{Na}^+/\text{Cl}^- = 1$ قرار دارند، دارای منشأ از سازندهای زمین‌شناسی (رسوبات رسی) هستند و بیانگر فرایند تبادل یونی می‌باشند (شکل ۶-الف). نمونه‌ها تحت تأثیر هر دو فرایند تبادل یونی طبیعی و عکس تبادل یونی هستند.

در نمودار $(\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ نسبت به $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ خط ۱:۱ نشان‌دهنده فرایند انحلال کلسیت، دولومیت و ژپس است. برخی نمونه‌ها زیر خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند و بیانگر تعویض یونی و نشانگر انحلال کانی‌های کلسیت و دولومیت در آب زیرزمینی هستند (شکل ۶-ب).

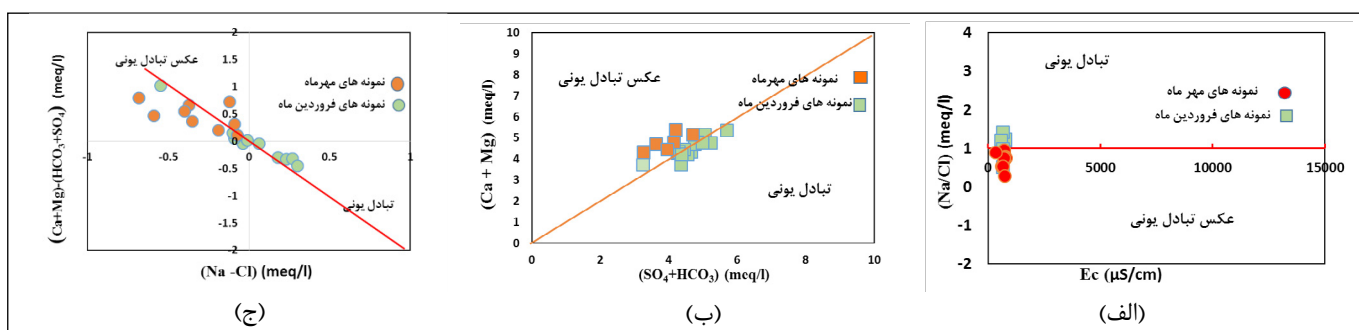
شیب منفی نزدیک به واحد در نمودار $(\text{Na}^+ - \text{Cl}^-)$ در مقابل $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ نیز نشان‌دهنده چیرگی تبادل کاتیونی در تعیین ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی دشت است (شکل ۶-ج).



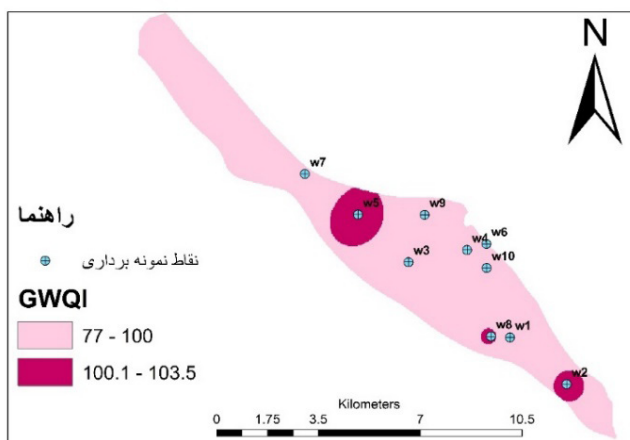
شکل ۴: شاخص اشباع کانی‌های محتمل بر اساس ترکیب شیمیایی آب دشت باشت الف) مهر ۱۳۹۶ و ب) فروردین ۱۳۹۷



شکل ۵: نمودار گیس منابع آب زیرزمینی دشت باشت در دو ماه خشک (مهر ۱۳۹۶) و (ب) ماه تر (فروردین ۱۳۹۷)



شکل ۶: نمودارهای فرایند تبادل یونی در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت باشت دو ماه خشک (مهر ۱۳۹۶) و (ب) ماه تر (فروردین ۱۳۹۷)



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی کیفی دشت باشت از نظر شرب بر حسب شاخص GWQI

بیشتر قسمت‌های آبخوان دارای کیفیت آب خوب می باشد و فقط ۸/۷ درصد از مساحت آبخوان، کیفیت آب از نظر شرب به دلیل بالا بودن میزان TH، TDS و EC آب بد می‌باشد. کیفیت بد در این بخش آبخوان، در اثر تماس آب با لایه های انیدریتی و رسی- مارنی سازند تبخیری گچساران می‌باشد. طبقه‌بندی آب از نظر مصارف کشاورزی بر اساس مقادیر شوری (هدایت الکتریکی) و قلیائیت (درصد جذب سدیم) آب تعیین می‌گردد. این دو متغیر نه تنها بر رشد گیاه مؤثر می‌باشند، بلکه

بررسی کیفیت آب زیرزمینی

یکی از نمودارهایی که می‌توان غلظت عناصر گوناگون را بر روی آن نشان داد نمودار شولر می‌باشد. مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی نمونه منابع آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی باشت از نظر مصارف شرب در مهر و فروردین ماه سال ۹۷-۱۳۹۶ بررسی شده است. مطابق جدول (۳) منابع آب این ناحیه از نظر مصرف شرب در ماه‌های مهر و فروردین نسبتاً از کیفیت یکسانی برخوردار بوده و در رده خوب تا قابل شرب قرار دارند.

به‌منظور ارزیابی و بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت باشت، برای شرب، شاخص GWQI بر اساس نتایج آنالیز شیمیایی ۱۰ نمونه آب از منابع آب زیرزمینی محاسبه شده است. با استفاده از متغیرهای کیفی آب pH ، SO_4^{2-} ، Cl^- ، Mg^{2+} ، Na^+ ، Ca^{2+} ، TDS، EC و TH) و ابزار آنالیز مکانی^۱ نرم افزار Arc GIS 9.3، ابتدا نقشه‌های رستری هر یک از متغیرها رسم و سپس با مقایسه غلظت‌ها با استانداردهای ارائه شده هر یک از متغیرها، رتبه کیفی هر متغیر (q_i) محاسبه و در نهایت با بکارگیری رابطه (۱) مقادیر GWQI محاسبه و نقشه پهنه‌بندی کیفی آبخوان از نظر شرب تهیه گردیده است (شکل ۷). همان‌گونه که شکل (۷) نشان می‌دهد میزان شاخص GWQI آبخوان دشت بین ۷۷ تا ۱۰۳/۵ تغییر می‌کند که بر اساس جدول (۲) نوع کیفیت آب از نظر شرب در محدوده خوب و بد قرار می‌گیرد.

1. Spatial Analyst Extensions

میزان تناسب آب جهت آبیاری و تاثیر آن بر نفوذپذیری خاک را نیز مشخص می‌نمایند.

شکل (۸) گویای روند تغییرات درصد جذب سدیم آب در بافت خاک (SAR) آبخوان آبرفتی دشت باشت در طی ماه‌های مهر و فروردین سال ۹۷-۱۳۹۶ می‌باشند.

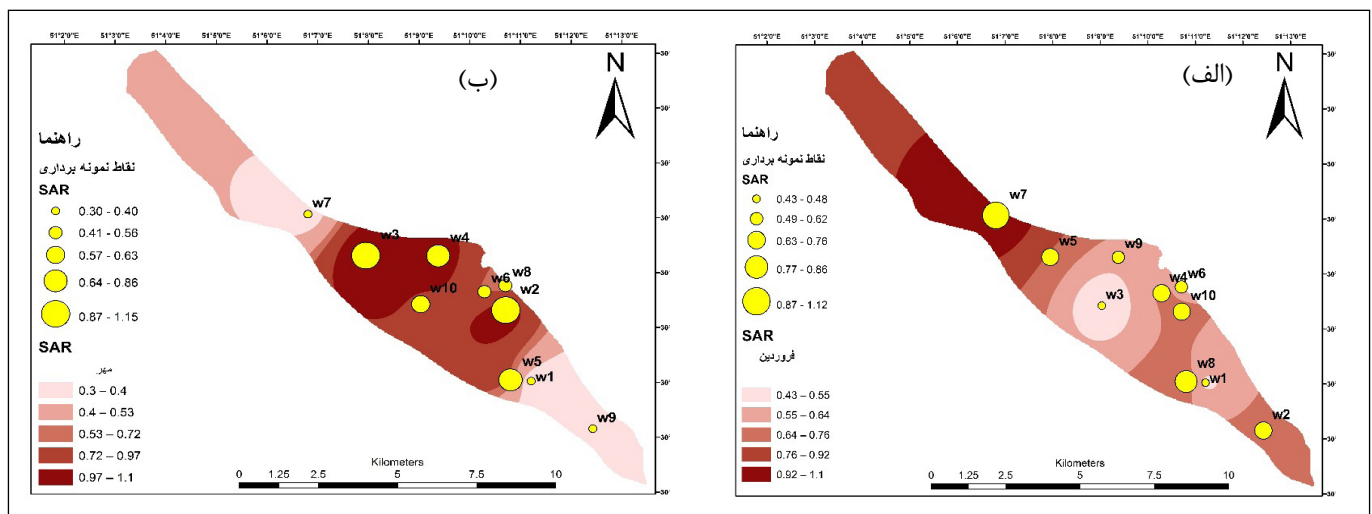
در مهر ماه از حاشیه ارتفاعات شمال و شمال شرق به طرف نواحی مرکزی دشت افزایش یافته و از حدود ۰/۳ درصد در حاشیه ارتفاعات شمال شرق به بیش از ۱/۱ درصد در نواحی مرکزی دشت می‌رسد (شکل ۸-الف) بر این اساس، رسوبات آبرفتی این ناحیه از نظر درصد جذب سدیم آب در خاک بافت سبک و قلیائیت کم دارند و از نظر مصارف کشاورزی مناسب می‌باشند. در فروردین ماه میزان SAR از حاشیه ارتفاعات شمال شرق به طرف نواحی مرکزی دشت کاهش یافته و از حدود ۱/۱ درصد به کم‌تر از ۰/۵ درصد در نواحی مرکزی دشت می‌رسد (شکل ۸-ب). این امر گویای تأثیر جنس سنگ‌ها و سازندهای حاشیه ارتفاعات بر کیفیت منابع آب آبخوان آبرفتی می‌باشد. بر حسب درصد جذب سدیم، کیفیت آب برای مصرف کشاورزی در هر دو ماه خشک و تر در رده‌های عالی و خوب قرار می‌گیرد. سدیم کربنات باقی مانده یکی دیگر از معیارهای بررسی کیفیت آب جهت مصارف

کشاورزی می‌باشد. چنانچه میزان RSC محاسبه شده کم‌تر از ۱/۲۵ باشد دارای کیفیت مناسب، در حدود ۱/۲۵ تا ۲/۵ کیفیت متوسط و مقادیر بالاتر از ۲/۵ نامناسب برای مصرف می‌باشند [۱۷]. بر اساس نتایج حاصل کیفیت آب برای تمامی نمونه‌ها در هر دو ماه خشک و تر بر اساس RSC مناسب بوده است (جدول ۴).

جدول (۴) گویای طبقه‌بندی منابع آب این ناحیه از نظر مصارف کشاورزی در ماه‌های مهر و فروردین ماه سال ۹۷-۱۳۹۶ می‌باشند. در مهر ماه ۸۰٪ نمونه‌ها در گروه C2-S1 و ۲۰٪ در گروه C3-S1 قرار می‌گیرند. نمونه‌های فروردین ماه ۹۰٪ در گروه C2-S1 و ۱۰٪ در گروه C3-S1 قرار دارند (جدول ۶). گروه C2-S1 از نظر خطر شوری (C2) می‌تواند در خاک‌های مختلف در صورت خاک‌شویی مختصر مورد استفاده قرار گیرد. از نظر خطر جذب سدیم (S1) می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که البته میزان تجمع سدیم کنترل گردد. گروه C3-S1 از نظر خطر شوری فقط در زمین‌های با زهکشی مناسب و با کاشت درختان شور پسند می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، از نظر خطر جذب سدیم (S1) بایستی میزان تجمع سدیم کنترل گردد.

جدول ۳: رده بندی کیفیت آب به روش شولر و درصد هر یک از کلاس‌های طبقه بندی (برای مصارف شرب) در دشت باشت

TDS	TH	Na ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	
(mg/l)					طبقه‌بندی کیفیت آب شرب
۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	خوب
۰	۲۰	۰	۰	۰	مهر و فروردین قابل قبول



شکل ۸: تغییرات شاخص نسبت جذب سدیم در دشت باشت (الف) مهر ۱۳۹۶ و (ب) فروردین ۱۳۹۷

$$* SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

$$** \% Na = \frac{Na+K}{Ca+Mg+Na+K} \times 100$$

$$*** RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

جدول ۴: نتایج ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت باشت در مهر ۱۳۹۶ و فروردین ۱۳۹۷

زمان نمونه برداری	علامت اختصاری	SAR*	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی	%Na**	کیفیت بر اساس %Na	RSC***	کیفیت بر اساس RSC
مهر ۱۳۹۶	W _۱	۰/۴	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۱۱	عالی	-۳/۲	مناسب
	W _۲	۱/۱	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۲۵	خوب	-۲/۶	مناسب
	W _۳	۱/۱۵	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۲۷	خوب	-۲/۸	مناسب
	W _۴	۰/۸۶	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	۲۲/۲	خوب	-۲/۴	مناسب
	W _۵	۰/۸۲	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	۲۱/۴	خوب	-۲/۴	مناسب
	W _۶	۰/۵۶	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۱۵/۸	عالی	-۲/۶	مناسب
	W _۷	۰/۴	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۱۰/۷	عالی	-۳	مناسب
	W _۸	۰/۵۲	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۱۵/۵	عالی	-۱/۴	مناسب
	W _۹	۰/۳	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۹/۷	عالی	-۱/۸	مناسب
	W _{۱۰}	۰/۶۳	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۱۸/۴	عالی	-۱/۷	مناسب
فروردین ۱۳۹۷	W _۱	۰/۴۸	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۱۵/۳	عالی	-۱/۳	مناسب
	W _۲	۰/۷۳	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۲۰/۳	خوب	-۱	مناسب
	W _۳	۰/۴۳	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۱۲/۳	عالی	-۱/۹	مناسب
	W _۴	۰/۷۶	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۲۰	خوب	-۱/۸	مناسب
	W _۵	۰/۷۴	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	۱۸/۷	عالی	-۲/۲	مناسب
	W _۶	۰/۶۲	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۱۸	عالی	-۱	مناسب
	W _۷	۱/۱	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۲۷	خوب	-۱/۹	مناسب
	W _۸	۰/۸۶	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۲۲/۳	خوب	-۱/۲	مناسب
	W _۹	۰/۶۱	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۱۷/۶	عالی	-۰/۹	مناسب
	W _{۱۰}	۰/۷۲	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی	۲۰	عالی	-۱	مناسب

نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش غلظت عناصر اصلی میزان TDS از حاشیه ارتفاعات شمال و شمال شرق دشت به سمت نواحی خروجی افزایش می‌یابد. جریان‌ات فصلی سطحی و زیرزمینی با کیفیت نسبتاً نامناسب، از میان کنگلومراهای سازند بختیاری گذشته و موجب تغذیه و تغییر کیفیت آب آبخوان می‌گردند. بر اساس نتایج نمودار گیبس ترکیب شیمیایی آب متأثر از واکنش آب-سنگ است. جنس و دانه‌بندی رسوبات با کنترل سرعت جریان آب و زمان ماندگاری آن، در کیفیت منابع آب آبرفتی موثر می‌باشند. آب‌ها در این آبخوان در ماه تر عمدتاً دارای تیپ و رخساره بی‌کربناته کلسیک هستند، اما در ماه خشک تیپ و رخساره برخی نمونه‌ها از بی‌کربناته کلسیک به سولفات کلسیک تغییر کرده‌است. نتایج محاسبه شاخص اشباع نشان می‌دهد که این آب‌ها نسبت به کانی‌های دولومیت و کلسیت فوق اشباع هستند. با توجه به شاخص‌های اشباع همراه با توزیع و تغییرات غلظت یون‌های اصلی در نمودارهای ترکیبی، واکنش‌های بین آب‌زیرزمینی و رسوبات ناپیوسته رسی-مارنی در جهت جریان آب‌زیرزمینی (شمال شرق به جنوب غرب) نقش اصلی را در تبادل

یونی ایفا می‌کنند. ارزیابی کیفیت آب از طریق مقایسه غلظت یون‌ها با استانداردهای موجود و همچنین بررسی شاخص‌ها و دیاگرام‌ها نشان می‌دهد که کیفیت غالب آب‌های زیرزمینی منطقه در رده آب‌های سخت قرار می‌گیرند. کیفیت آب جهت مصارف شرب در هر دو ماه بر اساس نمودار شولر در رده خوب تا قابل شرب قرار می‌گیرد. نقشه پهنه‌بندی شاخص GWQI نشان می‌دهد که حدود ۹۱/۳ درصد از آبخوان دشت باشت دارای کیفیت خوب از نظر شرب بوده می‌باشد. کیفیت آب برای مصرف کشاورزی در هر دو ماه در رده‌های عالی و خوب قرار می‌گیرد و از نظر مصارف صنعتی تمامی نمونه‌ها دارای خاصیت خورندگی می‌باشند. طول مسیر جریان آب‌های زیرزمینی و مدت تماس آب با ذرات خاک، عدم تغذیه کافی آبخوان و بهره‌برداری بی‌رویه از جمله عوامل افزایش مقدار املاح و تغییر کیفیت منابع آب می‌باشند. منابع آب نامناسب عمدتاً محدود به حوالی رودخانه باشت می‌باشد که توسط جریان‌های سطحی عبوری از میان رخنمون واحدهای تبخیری سازند گچساران تغذیه می‌شوند.

10. Hounslow, A., 1995. Water quality data: analysis and interpretation. CRC press.
11. Jeihouni, M., Toomanian, A., Alavipanah, SK., Hamzeh, S., and Pilesjö, P. 2018. Long term groundwater balance and water quality monitoring in the eastern plains of Urmia Lake, Iran: a novel GIS based low cost approach. *J Afr Earth Sci* 147:11–19. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.06.017>
12. Kouras, A., Katsoyiannis, I., and Voutsas, D. 2007. Distribution of arsenic in groundwater in the area of Chalkidiki, Northern Greece. *Journal of Hazardous materials*, 147(3): 890-899.
13. Kumar, K. A., Priju, C. P., and Prasad, N. N. 2015. Study on saline water intrusion into the shallow coastal aquifers of Periyar River Basin, Kerala using hydrochemical and electrical resistivity methods. *Aquatic Procedia*, 4: 32-40.
14. Kumar, M. S., and Khan, F. L. A. 2015. Analysis of groundwater quality of some selected stations of Palar Riverbed in Vellore district, Tamilnadu, India. *Int J Adv Sci Tech Res*, 2(5): 241-255.
15. Machiwal, D., Cloutier, V., Güler, C., and Kazakis, N. 2018. A review of GIS integrated statistical techniques for groundwater quality evaluation and protection. *Environ Earth Sci*. 77(19):681-695. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7872-x>
16. Nassery, H., Kayhomayoon, Z., Nakhaei, M. 2012. Effect of Natural and Anthropogenic Factors on Water Resources Quality in Lenjanat Plain, Esfahan, Iran. *Journal of Geoscience*, 22(85): 173-186. doi: 10.22071/gsj.2012.54034
17. Parkhurst, D.L., and Appelo, C.A.J. 2012. PHREEQC (Version 3.0.0). A Hydrogeochemical Transport Model.
18. Ragunath, H. M. (1987). *Groundwater* (p. 563).
19. Ravikumar, P., Somashekar, R. K., and Prakash, K. L. 2015. Suitability Assessment of Deep Groundwater for Drinking and Irrigation Use in the Parts of Hoskote and Malur Taluks, Karnataka (India). *Environmental Research, Engineering and Management*. 71(1): 15-26.
20. Subbarao, N. 2001. Geochemistry of groundwater in parts of Guntur district, Andhra Pradesh, India. *Environmental Geology* 41:552-562.
1. Abdollahi Mansourkhani, M., Mohammadzade, H., Amini, M., Azizi, F. 2019. Assessment of Groundwater Quality Spatial Distribution and Appointment Optimize Network of Shahrkord Plain Aquifer Using Geostatistical Methods. *Watershed Management Researches Journal*, 32(2): 60-78. doi: 10.22092/wmej.2019.123678.1159
2. Annapoorna, H., and Janardhana, M. R. 2015. Assessment of groundwater quality for drinking purpose in rural areas surrounding a defunct copper mine. *Aquatic Procedia*. 4: 685-692.
3. Azizi, F., Asghari Moghaddam, A., Nazemi, A. H. 2017. Evaluation of Groundwater Salinization and delineation of ion offspring in Malekan Plain Coastal Aquifer Using Ionic Ratios. *Journal of Environmental Studies*, 43(3): 437-454. doi: 10.22059/jes.2018.226676.1007391
4. Azizi, F., Asghari Moghaddam, A., Nazemi, A., Docheshmeh Gorgij, A. 2019. Introducing a Novel Method in Evaluation of Groundwater Hydrochemical Characteristics, GWQISI Index; Case study: Malekan Aquifer, Northwest of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*. 12: 343-358. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4360-x>
5. Azizi, F., Vadiati, M., Moghaddam, A. A., Nazemi, A., & Adamowski, J. 2019. A hydrogeological-based multi-criteria method for assessing the vulnerability of coastal aquifers to saltwater intrusion. *Environmental Earth Sciences*, 78(17): 548-558.
6. Babiker. I. S., Mohamed. M. A.A., and Hiyama. T. 2007. Assessing ground water quality using GIS, water Resources management, 11: 669 – 715.
7. Cartwright, I., Hall, S., Tweed, S., and Leblanc, M. 2009. Geochemical and isotopic constraints on the interaction between saline lakes and groundwater in southeast Australia. *Hydrogeology Journal*. 17: 1991–2004.
8. Freeze, R. A., and Cherry, J. A. 1979. *Groundwater*, 604 pp.
9. Garing, C., Luquot, L., Pezard, P. A., and Gouze, P. 2013. Geochemical investigations of saltwater intrusion into the coastal carbonate aquifer of Mallorca, Spain. *Applied geochemistry*. 39: 1-10.



Abstract

**Evaluation of Groundwater Hydro-geochemical Characteristics in Basht Plain
Aquifer and its Suitability using Qualitative Indicators**F. Azizi^{*1}, H. Arjomand², T. MoradiNejad³, M. Khazaei¹

Received: 2019/07/16 Accepted: 2020/02/15

In this research, to evaluate the groundwater resource Hydro-geochemical Characteristics in Basht Plain aquifer, Analytical results of 10 groundwater samples in dry and wet periods are used. One of the main factors that deteriorate the quality of groundwater is local geology which comprises mostly sedimentary rocks and in particular evaporates. To estimate of water quality, Hydro-geochemical diagrams, Geological Investigations, Ionic exchange, and Saturation Index studied. The type and facies of water in study area is $\text{Ca}^{2+}\text{--HCO}_3^-$ and $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}$. The results of calculated saturation index show that the saturation index for carbonate minerals is positive and for sulfate minerals is negative. Reverse and normal ion exchange is one of the chemical processes controlling the chemical composition of groundwater. Based on the results, the water quality is controlled by flow paths and reservoir lithology. The GWQI map of ground water in aquifer shows that 91.3 and 8.7 percentage of ground water resources in this area are in good and bad category.

Keywords: Basht Plain, geochemical Characteristics, Quality, Saturation Index, Water resources.

1. Ph.D, hydrogeology. Corresponding author, Email: fazizi90@yahoo.com

2. Master of Civil Engineering, Base Studies Section of Water Resources Department, Kohgiluyeh and Boyerahmad Regional Water Company

3. Master of Hydrogeology, Base Studies Section of Water Resources Department, Kohgiluyeh and Boyerahmad Regional Water Company