

ارزیابی هیدروژئوشیمیائی منابع آب زیرزمینی در مناطق افیولیتی شمال - شمال غرب خوی و قره‌ضیاءالدین جهت شناسایی کیفیت آب‌ها و تعیین اثرات زیست محیطی

فریبرز خدادادی^۱، عبدالناصر فضل‌نیا^{۲*}، حسین پیرخرطی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی؛

۲- عضو هیئت علمی گروه زمین‌شناسی دانشگاه ارومیه

*qfazlnia@yahoo.com

دریافت: ۹۱/۱/۲۳ پذیرش: ۹۱/۵/۳۱

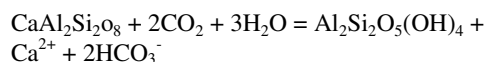
چکیده

به منظور بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی شمال و شمال غرب دشت خوی و نیمه جنوبی دشت قره‌ضیاءالدین، که در مجاورت مجموعه افیولیتی خوی قرار گرفته‌اند، از پارامترهای هدایت الکتریکی، کلسیم، کلور، منیزیم، سدیم، سولفات، کربنات و بی‌کربنات، SAR و TDS حاصل از تجزیه شیمیایی آب زیرزمینی، استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده‌های کیفیت شیمیایی آب ۳۱ حلقه چاه که در دو دوره (اواخر مهر ۱۳۸۹ و اواخر خرداد ۱۳۹۰) برداشت شده است، توسط نمودارهای شولر، پایپر، ویلکوکس، دورو و نقشه‌های هیدروژئوشیمیایی، انجام گردید. این بررسی‌ها نشان داده است که اکثر منابع آب از نظر کشاورزی در طبقه C_2S_1 و C_3S_1 قرار دارند. همچنین این بررسی‌ها، کیفیت خوب تا متوسطی را برای مصارف کشاورزی نشان داد. علاوه بر این، کیفیت آب برای شرب در این دشت، در نمودار شولر و بر اساس میزان سختی تقریباً مناسب می‌باشد. کیفیت آب از لحاظ مصارف صنعتی در کلیه نقاط نیمه جنوبی دشت قره‌ضیاءالدین خاصیت خوردنگی داشته و در شمال و شمال غرب دشت خوی علاوه بر خوردنگی رسوب‌گذار نیز است.

واژه‌های کلیدی: هیدروژئوشیمی، افیولیت، خوی، زیست‌محیطی، کیفیت

مقدمه

در تماس با سنگ‌ها قرار گرفته، باعث هوازگی آنها می‌شود. ترکیب آب‌های زیرزمینی که در تماس با سنگ‌های آذرین می‌باشند، توسط واکنش آب‌های متئوریک سرشار از CO_2 با فلدسپات (پلاژیوکلاز) و کانی‌های تیره (مانند هورنبلند، پیروکسن و بیوتیت) تعیین می‌شود. این عمل، باعث هوازگی سنگ‌های آذرین خواهد شد. برای مثال واکنش هوازگی زیر:



اثر آب حاوی هیدرواکسیدکربن بر کانی‌های آذرین برای تولید کانی‌های رسی و یون‌های حل شونده را نشان می‌دهد. به علاوه قسمتی از سازنده‌های دیگر آب‌های زیرزمینی، مانند Ca^{2+} ، Na^+ ، SO_4^{2-} و Cl^- گاهی به وسیله نمک‌های دریایی، از طریق چرخه‌های متوالی انحلال، ته نشست و خشک شدن و همچنین قسمتی نیز در نتیجه هوازگی سنگ‌ها به آب‌های زیرزمینی اضافه شده‌اند [۲]. کلارک نشان داد که شوری‌های واقعی آب‌ها بسیار متغیرند. داده‌های کلارک نشان می‌دهد که غلظت‌های

آلودگی آب‌های طبیعی نه فقط به خاطر خطرات زیست محیطی آن است، بلکه باعث ایجاد آسیب‌های اقتصادی می‌شود. عوامل عمده آلودگی آب زیرزمینی شامل آلودگی‌های شهری، صنعتی، کشاورزی و به میزان کمتر آلودگی‌های ژئوتئیک می‌باشد [۱۹]. آبی که در مجاورت سازنده‌های مختلف زمین‌شناسی قرار می‌گیرد، نسبت به عناصر شیمیایی که شاخص آن نوع سازند است، غنی می‌شود [۴].

کیفیت آب‌های زیرزمینی منعکس کننده تمام فرآیندها و عکس‌العمل‌هایی است که بر روی آب از زمان حرکت در اتمسفر تا زمان تخلیه از چاه و یا چشمه عمل می‌کنند. ماده حل شونده اصلی در آب‌های موجود در خشکی، یون بی‌کربنات (HCO_3^-) است و از انحلال CO_2 موجود در هوا در آب باران و افزایش CO_2 به وسیله فعالیت آلی در خاک‌ها به وجود می‌آید. این ترکیب در نهایت باعث تولید اسید کربنیک می‌شود. آب متئوریک حاوی اسید کربنیک،

قلب نیز دخالت مستقیم داشته باشد [۸]. اگر کلسیم و منیزیم محلول در آب بصورت کلرور و سولفات باشد، آب مصرفی اختلالاتی در عملکرد گوارشی بوجود خواهد آورد. همچنین سختی آب در تاسیسات حرارتی باعث تشکیل رسوبات سخت می‌شود.

زمین‌شناسی منطقه

یکی از مهم‌ترین واحدهای سنگ زمین‌ساختی^۳ منطقه، مجموعه افیولیتی خوی می‌باشد. این مجموعه تنها بخشی از زنجیره افیولیت‌های تتیس است که از مدیترانه باختری تا خاور دور ادامه دارد. سن این مجموعه، کرتاسه پایانی و حداکثر تا پایان ائوسن می‌باشد [۱۳، ۱۶]. افیولیت خوی یکی از بزرگ‌ترین مجموعه‌های افیولیتی ایران است که ناحیه‌ای در حدود ۳۹۰۰ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد، این کمپلکس از غرب و شمال به وسیله مرز ایران - ترکیه و در شرق به وسیله گسلی با روند شمال‌غرب - جنوب - شرق و در جنوب با لبه شمالی ریز قاره سندج - سیرجان در تماس است. بر اساس نقشه تکتونیکی ایران این منطقه بین بلوک البرز - آذربایجان در شمال شرق و صفحه عربی در جنوب‌غرب واقع شده است [۱].

موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی محدوده

مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال‌غرب ایران و در شمال و شمال‌غرب (قره‌ضیاءالدین) شهرستان خوی، در محدوده ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ خوی، بین طول‌های جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۴ درجه و ۳۰ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه و ۳۹ درجه (شکل ۱) با میانگین ارتفاع ۱۱۴۵ متر در استان آذربایجان غربی واقع شده است. شهرستان خوی به عنوان مهم‌ترین مرکز جمعیتی منطقه محسوب می‌شود. این ناحیه از نظر آب و هوایی معمولاً دارای زمستان‌های سرد و نیمه خشک و تابستان‌های معتدل بوده و میانگین دمای هوا در خوی ۱۱/۸ درجه - سانتی‌گراد و میانگین نوسان سالانه دمای آن بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. بنابراین اغلب میانگین دما در ماه‌های زمستان به زیر صفر درجه می‌رسد. متوسط میزان

کربنات، کلسیم و منیزیم به سرعت با شوری بالا می‌روند تا اینکه به مقادیرهای محدود کننده‌ای حدود ۲۰۰ ppm برسند. شوری‌های بالاتر عمدتاً به دلیل افزایش در مقادیر سدیم، سولفات و کلرور اتفاق می‌افتد [۱۲]. آب‌های با شوری تا ۵۰ ppm نواحی را زهکشی می‌کنند که اساساً از سنگ‌های آذرین یا دگرگونی ساخته شده‌اند؛ در حالی که برای شوری‌های ۲۰۰ - ۵۰۰ ppm، این زهکشی عمدتاً در سنگ‌های رسوبی رخ می‌دهد. رقم‌های بزرگ‌تر، آلودگی بزرگ مقیاس را به وسیله انسان یا زهکشی نواحی خشک که در آن خاک‌های شور زیاد هستند نشان می‌دهند [۲]. از جمله پارامترهای تعیین کیفیت آب شرب عبارتند از سختی، قلیائیت، اسیدیته، TSS^۱، TDS^۲، pH و غلظت مواد شیمیایی از قبیل کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، آهن، منگنز، کلر و مواد رادیواکتیو [۹]. در شمال و شمال‌غرب دشت خوی و نیمه جنوبی دشت قره‌ضیاءالدین عمده استفاده آب‌های زیرزمینی، به فعالیت‌های شرب و کشاورزی مربوط می‌شود.

سرپانتینی شدن سنگ‌های مافیک و اولترامافیک موجود در مجموعه افیولیتی و همچنین سوسوریتی شدن پلاژیوکلازها، ممکن است سبب آزادسازی کمپلکس‌های فلزی مختلف و کاتیون‌های آن‌ها شود. از مهم‌ترین کاتیون‌های فلزی آزاد شده از مجموعه افیولیتی می‌توان به آهن و منیزیم اشاره کرد، که انتظار می‌رود غلظت این دو کاتیون در آب‌های مناطق مجاور این مجموعه‌های سنگی بیش از سایر مناطق با ترکیب سنگی دیگر باشد. منیزیم به همراه کلسیم تشکیل دهنده سختی آب بوده و اغلب به صورت ترکیباتی چون کربنات، بی‌کربنات، کلرور و سولفات موجود می‌باشند. مقدار کلسیم و منیزیم وارد شده به بدن از طریق آب آشامیدنی، برای رفع احتیاجات بدن کافی نمی‌باشند، اما نمی‌توان اثرات آنها را در رشد و تکوین استخوان‌ها نادیده گرفت. بر اساس مطالعات انجام شده در نقاطی از دنیا که از آب‌ها با سختی زیادتر استفاده می‌گردد، مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلب و عروق ۲۰ درصد کمتر از نقاطی است که آب‌های با سختی کمتر مصرف می‌کنند. از طرفی، کلسیم قادر است مانع جذب بعضی سموم توسط اعضای بدن شده و در اعمال آنزیمی

1-Total Sospansion Solids

2 -Total Dissolved Solids

3 -Lithostratigraphic

شد. سپس عناصری مثل فلزات سنگین، مواد آلی و نفتی و ... مورد آزمایش قرار گرفتند [۷]. با تفسیر نقشه‌ها و نمودارهای مربوطه می‌توان تاثیر سازندهای زمین‌شناسی موجود، که آب در تماس با آنها قرار داشته است را مشخص نمود [۳].

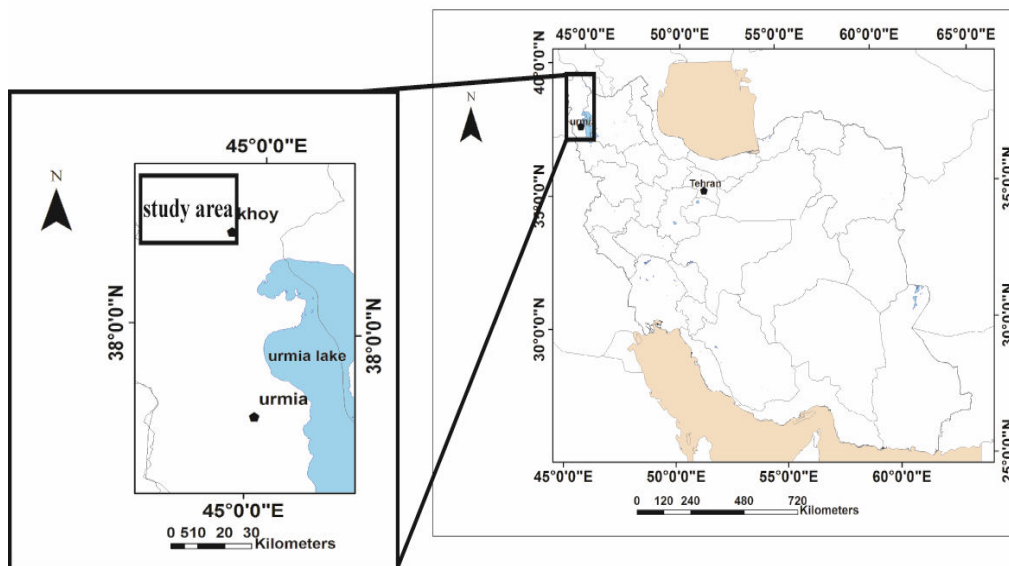
در مراحل مطالعه منابع آب منطقه، که شامل چاه‌های نیمه عمیق تا عمیق می‌باشند، نمودارهای استیف، پایپر (شکل ۲)، دورو، ویلکوکس در محیط نرم افزار Rock (Chemistry) Work (پایگاه برگرفتن این نرم‌افزار: www.rockware.com/product/overview.php?id=165) تهیه شده‌اند و از نقشه‌های هم‌پارامتری که توسط نرم افزار ARC GIS (پایگاه‌های برگرفتن این نرم‌افزار: www.esri.com/software/arcgis/explorer) و یا ترسیم شده‌اند، استفاده گردیده است. در این مطالعه داده‌های شیمیایی مربوط به ۲۰ حلقه چاه در قسمت شمال و شمال غرب دشت خوی و ۱۱ حلقه چاه در قسمت جنوبی دشت قره ضیاءالدین که در مجاورت با منطقه افیولیتی می‌باشند برای دو دوره (اواخر دوره خشک و اواخر دوره تر) بدست آمده است. موقعیت این چاه‌ها و زون افیولیتی در شکل ۳ مشخص شده است. داده‌های مربوط به تجزیه شیمیایی این چاه‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان در لیتر (epm) برای هر دو دوره به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده‌اند.

بارندگی سالانه ۳۳۴ میلی‌متر و رطوبت نسبی حدود ۶۲ می‌باشد.

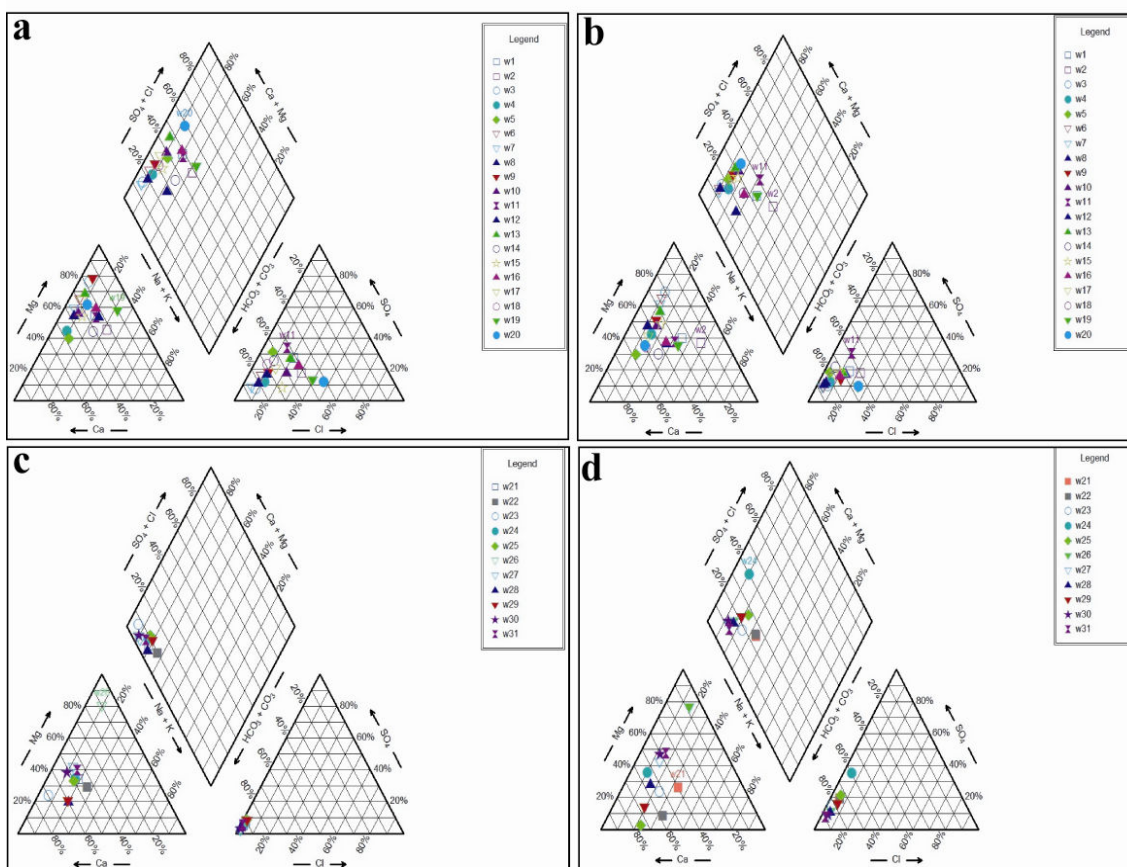
مواد و روش‌ها

جهت تفسیر داده‌های شیمیایی منابع آب شمال و شمال غرب دشت خوی و همچنین قسمت جنوبی دشت قره ضیاءالدین و تعیین رخساره و نوع آب در نقاط نمونه برداری شده از روش‌های مختلفی نظیر نمودارهای پایپر، دایره‌ای، ستونی، دورو، ستاره‌ای، استیف استفاده گردید. همچنین با استفاده از نمودارهای شولر و ویلکوکس قابلیت شرب و کشاورزی آب‌ها معین شد. به منظور مصرف صنعتی نیز ضرایب اشباع شدن لائولیه و پایداری رایزنر آنها محاسبه گردید. در نهایت با تهیه نقشه‌های هم میزان و شاخص‌های آماری به پردازش زمانی و مکانی پارامترهای شیمیایی در محدوده مورد مطالعه پرداخته شد.

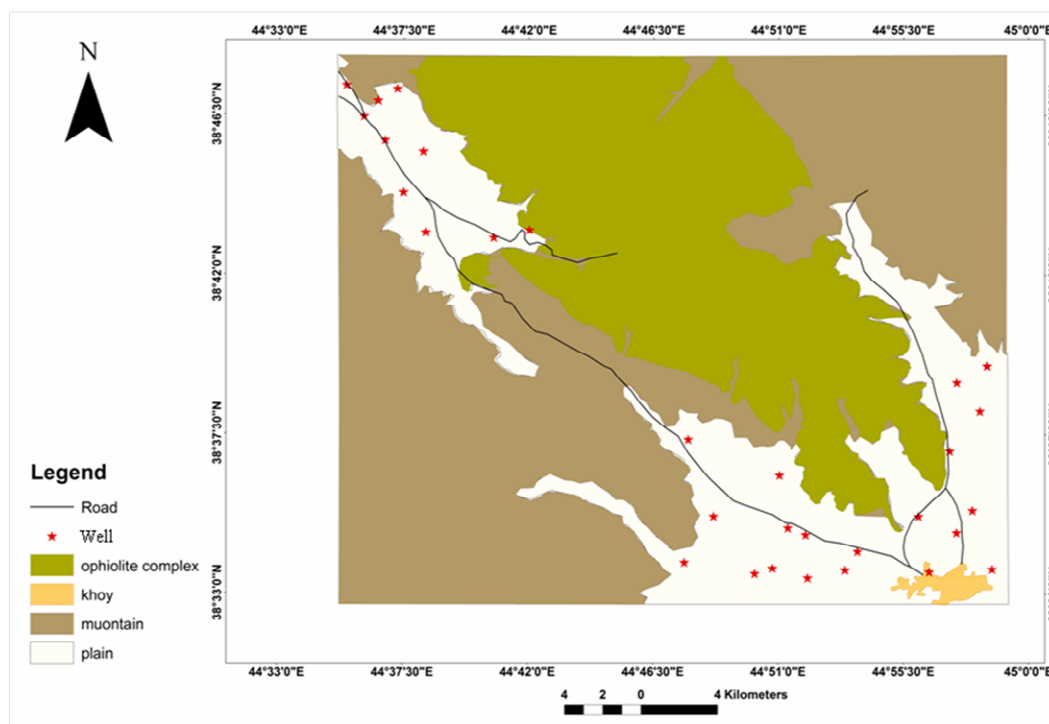
برای تعیین ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی منابع آب، بعد از نمونه برداری از نقاط مشخص شده، که می‌بایست شرایط استاندارد نمونه برداری رعایت شود، بعضی از شاخصه‌های مربوط به آب نظیر درجه حرارت، اسیدیته (pH) و هدایت الکتریکی در محل نمونه برداری اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و بلافاصله مورد آزمایش قرار گرفتند. در مرحله اول سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آنیون‌های کربنات، بی‌کربنات، سولفات و کلرور اندازه‌گیری



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- نمودار پایپر، الف و ب) به ترتیب، مهرماه سال ۱۳۸۹ و خرداد ۹۰ (شمال و شمال غرب خوی). الف و ب) به ترتیب مهر ۸۹ و خرداد ۹۰ (نیمه جنوبی دشت قره‌ضیاءالدین).



شکل ۳- نقشه موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری نسبت به زون افیولیتی خوی و راه‌های دسترسی.

جدول ۱- مقادیر تجزیه شیمیایی برای ۳۱ حلقه چاه در نیمه اول سال آبی (مهر ۱۳۸۹). غلظت یون‌ها بر اساس meq/l و هدایت الکتریکی (EC) بر حسب میکروزیمنس بر سانتیمتر و TDS بر حسب mg/l می‌باشد.

EC	T.D.S	PH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	علامت اختصاری
1370	890.5	7.55	4.5	6	4	0.4	9	0.7	2.2	3.8	w1
1870	1215.5	7.5	5.1	6.3	8.4	0.1	12	0.9	4.2	3.2	w2
1490	968.5	7.85	4.5	11.6	1.6	0.2	16.1	0.5	1	1.1	w3
1010	656.5	7.4	6	3.5	1.2	0.2	8.8	0.8	0.8	1.1	w4
950	617.5	6.9	6.1	3.1	1.8	0.1	8.5	1	0.5	2.9	w5
1810	1176.5	6.8	8.2	11.2	1.75	0.3	18.3	0.5	0.8	2.3	w6
2330	1514.5	6.66	12.7	13	2.3	0.1	26.4	0.5	0.7	1.4	w7
810	526.5	7	4	3.5	0.8	0.3	7.8	1.1	0.4	0.7	w8
580	377	7.4	1.3	4.3	0.7	0.1	4.5	1.5	0.5	1.1	w9
810	526.5	7.4	3.7	3.7	1.2	0.1	5.7	1	1.3	1.4	w10
770	500.5	8.6	2.5	3.2	2.4	0.1	4.6	1	0.9	2.9	w11
2050	1332.5	7.9	7	9.8	8	0.1	20.5	0.9	1.8	3.8	w12
550	357.5	7.3	2	3.5	0.6	0.2	3.5	0.7	0.8	1.5	w13
1010	656.5	8	3.6	3.1	3.2	0.1	7.3	1.2	0.8	2.6	w14
610	396.5	7.8	2.7	2.7	1.2	0.1	5	0.5	1.1	0.5	w15
760	494	7.2	2.2	3.6	2.1	0.1	5.2	0.4	1.5	1.7	w16
440	286	7.4	1.8	2.5	0.5	0.1	3	0.5	0.4	0.8	w17
330	214.5	8	1.4	1.6	0.4	0.2	2.6	0.5	0.2	0.8	w18
1430	929.5	7.4	1.8	6.2	6.5	0.1	8.7	1.4	4.5	2	w19
1160	754	7.3	4.2	6	2.2	0.2	6.1	1.2	4.3	1.5	w20
550	357.5	7.2	2.6	1.9	0.95	0.1	4.7	0.8	0.3	0.8	w21
320	208	7.3	1.5	1	0.8	0.1	2.7	0.5	0.2	0.8	w22
320	208	8.09	2.3	0.8	0.1	0.1	2.5	0.5	0.2	0.6	w23
560	364	7.2	2.8	2	0.75	0.2	5	0.7	0.3	1	w24
390	253.5	7.2	2.1	1.4	0.6	0.1	3.4	0.4	0.2	0.8	w25
390	253.5	8.04	0.4	3.3	0.3	0.1	3.5	0.6	0.2	0.3	w26
750	487.5	7.2	3.5	3.2	0.8	0.1	7.2	1	0.3	0.4	w27
330	214.5	7.3	2.1	0.7	0.6	0.1	3	1	0.2	0.6	w28
320	208	7.25	2	0.7	0.55	0.1	3	0.3	0.2	0.6	w29
860	559	7.1	4.7	3.5	0.8	0.1	8.5	0.5	0.2	0.4	w30
590	383.5	7.68	2.9	2.6	0.9	0.1	5.2	0.6	0.2	0.8	w31

بحث

طبقه‌بندی آب از نظر شرب

بررسی قابلیت شرب منابع آب زیرزمینی، تک تک نمونه‌ها در هر دو دوره با استفاده از نمودار شولر مورد سنجش قرار گرفتند (شکل ۴) و نتایج بر حسب درصد در جداول ۳ و ۴ برای دو دوره نمونه‌برداری گردآوری شده است. همانطور که در جداول ۳ و ۴ مشخص است، آب‌های زیرزمینی منطقه از لحاظ شرب تقریباً در طبقه خوب تا متوسط قرار دارند. درصد هر یک از کلاس‌های شولر در مهرماه ۸۹ به ترتیب شامل: ۶۶/۶ درصد خوب، ۲۲ درصد قابل قبول، ۹/۱ درصد متوسط، ۱/۶ درصد نامناسب و ۰/۵ درصد کاملاً نامطبوع می‌باشند (شکل ۲). برای نیمه دوم سال

بر اساس استاندارد، آب شرب باید دارای ویژگی‌های خاص شیمیایی باشد و املاح آن از حدود خاصی تجاوز نکند. به منظور طبقه‌بندی آب از نظر شرب از نمودار شولر (شکل ۴) استفاده می‌شود. بر اساس این نمودار، منابع آب بر حسب متغیرهای اصلی شیمیایی محلول در آن در یکی از طبقات شش گانه قرار می‌گیرند. طبقات یک تا شش به ترتیب معرف آب خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامطبوع، و غیر قابل شرب می‌باشند [۲۰]. جهت

جدول ۲- مقادیر تجزیه شیمیایی برای ۳۱ حلقه چاه در نیمه دوم سال آبی (خرداد ۱۳۹۰)

EC	T.D.S	PH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	علامت اختصاری
990	643.5	7.93	2.7	4.2	3.3	0.4	6.7	0.9	1.6	2	w1
1560	1014	7.87	2.5	6	7.6	0.2	9.5	1.4	3.7	3	w2
2330	1514.5	7.33	4.8	15.8	2.3	0.1	20	0.7	1.5	2.2	w3
780	507	7.75	3.5	3.5	1.2	0.1	6.5	2	0.6	1.1	w4
1100	715	7.89	6.6	3.4	1.36	0.1	9	2.2	0.5	2.3	w5
2200	1430	7.47	5.6	14.6	1.9	0.4	20	2.1	1	2.1	w6
1850	1202.5	7.5	5.4	12	2	0.2	17	0.7	0.7	1.7	w7
730	474.5	8.01	3.2	3.6	0.7	0.1	6.3	1.4	0.3	0.85	w8
670	435.5	8.24	2.4	3.5	0.78	0.2	5	1.7	1	1.1	w9
780	507	8.23	2.9	3.8	1.2	0.1	5.3	1.4	1.2	1.5	w10
850	552.5	8.73	2.8	3.4	2.8	0.1	4.2	1.1	0.9	2.5	w11
2130	1384.5	7.53	7.8	7.8	5.8	0.1	18.4	1.3	1	2.6	w12
650	422.5	8.31	2	3.8	0.7	0.2	3.9	1.5	0.8	1.2	w13
1470	955.5	7.72	6.8	4.6	3.9	0.1	10.5	1.6	0.8	3.2	w14
670	435.5	8.52	2.4	3.5	1.2	0.1	4.6	0.8	0.7	1.3	w15
690	448.5	8.4	2.4	2.5	1.7	0.1	4.5	0.7	0.7	1.1	w16
470	305.5	8.43	2.2	2	0.6	0.1	3.1	0.6	0.3	0.8	w17
430	279.5	7.9	2.3	1.6	0.45	0.3	3.5	0.6	0.3	0.7	w18
2070	1345.5	7.2	6.5	7.6	7.5	0.1	14.3	2	5.1	1.9	w19
1460	949	7.25	7.5	5.3	2.2	0.1	10	1.5	3.7	1.4	w20
460	299	7.99	2	1.3	1.6	0.1	3.2	1.6	0.3	1	w21
340	221	8.2	2.1	0.3	1.1	0.1	2.3	0.8	0.2	0.7	w22
320	208	8.47	2	0.9	0.8	0.1	2.4	0.6	0.1	0.5	w23
520	338	8.23	3.2	2.1	0.5	0.13	3	1.2	0.3	2.1	w24
380	247	8.52	2.9	0.1	0.8	0.1	2.5	0.4	0.2	0.8	w25
470	305.5	8.58	0.4	3.9	0.7	0.1	3.3	0.8	0.2	0.5	w26
740	481	8.43	3.4	3.3	1	0.13	5.6	1.4	0.3	0.58	w27
390	253.5	8.25	2.4	1.2	0.6	0.1	3.2	1.4	0.2	0.5	w28
300	195	8.35	2.4	0.5	0.6	0.1	2.2	0.5	0.2	0.5	w29
760	494	7.84	3.2	3.7	0.9	0.1	6.6	0.9	0.3	0.7	w30
700	455	7.19	2.8	3.6	1.1	0.1	6.7	1	0.2	0.55	w31

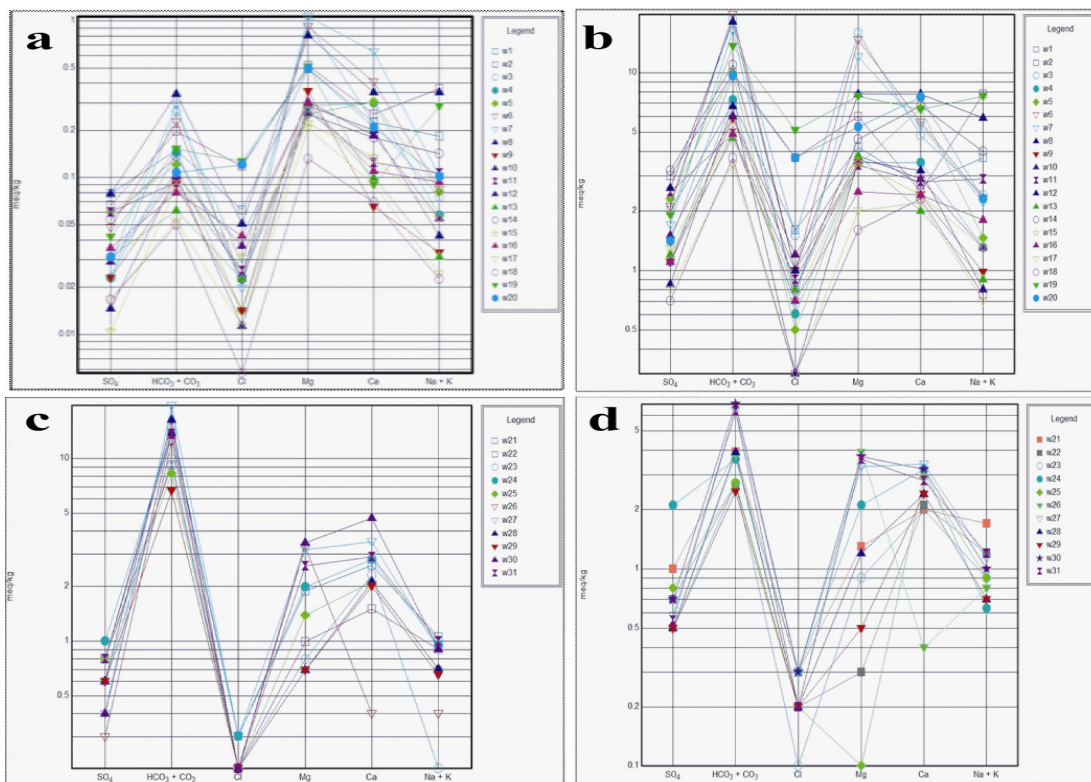
رخساره‌های هیدروشمیایی آب زیرزمینی، معین کننده توده‌های آبی با ماهیت ژئوشیمی متفاوت می‌باشند. اساس طبقه‌بندی این رخساره‌ها، مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های عمده (بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر) آب زیرزمینی می‌باشد [۱۸]. بر اساس تواتر یونی (جدول ۵ و ۶) برای ۳۱ نمونه آب در هر دو دوره، تیپ آب در کل محدوده بی-کربناته می‌باشد و رخساره آب در کل محدوده، به استثنای چاه روستای دیزجدیز که سدیک می‌باشد کاملاً کلسیک و منیزیک می‌باشند (جدول ۷).

آبی (خرداد-۹۰)، ۷۶/۳ درصد خوب، ۱۵/۶ قابل قبول، ۶/۹ درصد متوسط و ۱ درصد نامناسب می‌باشند (جدول ۳ و ۴). چنین مشخصاتی نشان می‌دهد که در اواخر دوره تر، به علت تغذیه آب زیرزمینی، کیفیت آب از نظر شرب بهبود پیدا می‌کند. مهم‌ترین عامل تنزل کیفیت آب در بعضی از مناطق که در طبقه نامناسب و کاملاً نامطبوع قرار گرفته‌اند، بالا بودن میزان سختی آب می‌باشد. سختی و TDS مهم‌ترین عوامل تاثیر گذار در کیفیت آب در هر دو دوره می‌باشند.

سختی بیانی از میزان تمایل آب به پوسته گذاری است و تقریباً تمام سختی آب ناشی از یون‌های کلسیم و منیزیم محلول می‌باشد. کیفیت آب‌های زیرزمینی کل منطقه از لحاظ سختی (جدول ۸) در دو دوره نمونه برداری، سخت تا کاملاً سخت می‌باشند. از لحاظ سختی، آب‌های سبک ($75 \text{ mg/l as CaCO}_3 <$ سختی) برای شرب مضر تلقی می‌شوند. زیرا خطر بیماری تسلب شراین را بیشتر می‌کند [۱۴]. از اینرو نتایج سختی کل منطقه، مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید این گونه آب در هر دو دشت موجود نمی‌باشد. از نظر استاندارد سختی که بنا به توصیه سازمان بهداشت جهانی (WHO) برابر mg/l 500 as CaCO_3 به عنوان حداکثر غلظت مجاز برای شرب در نظر گرفته شده است، ۵۰ درصد آب‌ها در محدوده کاملاً سخت قرار دارند (جدول ۸). از دیگر مشکلات آب‌های سخت، نامناسب بودن آنها در مصارف خانگی می‌باشد؛ زیرا برای ایجاد کف، مقدار صابون زیادی بکار برده می‌شود.

از دیدگاه ژئوشیمی، توالی توصیف شده می‌تواند ناشی از دو متغیر عمده، یعنی قابلیت دسترس بودن کانی‌ها و قابلیت انحلال کانی‌ها تشریح گردد.

مقدار بی‌کربنات آب‌های زیرزمینی معمولاً از CO_2 منطقه خاک و انحلال کلسیت و دولومیت ناشی می‌گردد. فشارهای جزئی CO_2 تولید شده در منطقه خاک و قابلیت انحلال کلسیت و دولومیت معمولاً میزان کل جامدات محلول آب‌های زیرزمینی را محدود می‌نماید. از آنجائیکه کلسیت و دولومیت به میزان قابل ملاحظه‌ای در اکثر حوضه‌های رسوبی وجود دارند و بدلیل آنکه این کانی‌ها در هنگام تماس با آب زیرزمینی غنی از CO_2 ، حل می‌شوند، بی‌کربنات، آنیون غالب در اکثر نواحی تغذیه می‌باشد. بر اساس جداول ۵ و ۶ نحوه توسعه تیپ و رخساره، در کل محدوده در مهرماه ۸۹، $58/06$ درصد دارای توسعه انتقالی و $41/94$ درصد دارای توسعه اساسی می‌باشد. در صورتی که در اواخر دوره تر (خرداد - ۹۰) توسعه انتقالی به $61/2$ درصد افزایش و توسعه اساسی به $38/7$ درصد در کل محدوده کاهش یافته است. یکی دیگر از معیارهای مناسب برای مصرف شرب سختی می‌باشد.



شکل ۴- نمودار شولر. الف و ب) به ترتیب، مهرماه سال ۱۳۸۹ و خرداد ۹۰ (شمال و شمال غرب خوی). ج و د) به ترتیب مهر ۸۹ و خرداد ۹۰ (نیمه جنوبی دشت قره‌ضیاءالدین).

جدول ۴- درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی

شولر برای مصرف شرب در کل محدوده (خرداد-۹۰)

طبقه بندی آب	TDS	TH	PH	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻
خوب	58.06	32.26	83.87	90.32	96.77	96.77
قابل قبول	22.58	45.16	9.68	9.68	3.23	3.23
متوسط	19.35	16.13	6.45	0	0	0
نامناسب	0	6.45	0	0	0	0
کاملاً نامطبوع	0	0	0	0	0	0
غیر قابل شرب	0	0	0	0	0	0

جدول ۳- درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای

مصرف شرب در کل محدوده (مهر-۸۹)

طبقه بندی آب	TDS	TH	PH	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻
خوب	51.61	32.26	35.48	90.32	100	90.32
قابل قبول	35.48	45.16	32.26	9.68	0	9.68
متوسط	12.9	19.35	22.58	0	0	0
نامناسب	0	3.23	6.45	0	0	0
کاملاً نامطبوع	0	0	3.23	0	0	0
غیر قابل شرب	0	0	0	0	0	0

جدول ۵- تواتر یونی، تیپ و رخساره آب و نحوه توسعه آن (مهر-۸۹).

نحوه توسعه تیپ و رخساره	رخساره آب	تیپ آب	غلظت کاتیونها	غلظت آنیونها
توسعه انتقالی	منیزیک	بی کربناته	Mg > Ca > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه انتقالی	سدیک	بی کربناته	Na+K > Mg > Ca	HCO ₃ > Cl > SO ₄
توسعه اساسی	منیزیک	بی کربناته	Mg > Ca > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه انتقالی	کلسیک	بی کربناته	Ca > Mg > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه اساسی	کلسیک	بی کربناته	Ca > Mg > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه اساسی	منیزیک	بی کربناته	Mg > Ca > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه اساسی	منیزیک	بی کربناته	Mg > Ca > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه انتقالی	کلسیک	بی کربناته	Ca > Mg > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه اساسی	منیزیک	بی کربناته	Mg > Ca > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه انتقالی	کلسیک	بی کربناته	Ca ≥ Mg > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه انتقالی	منیزیک	بی کربناته	Mg > Na+K > Ca	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه انتقالی	منیزیک	بی کربناته	Mg > Na+K > Ca	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه اساسی	منیزیک	بی کربناته	Mg > Ca > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه انتقالی	کلسیک	بی کربناته	Ca > Na+K > Mg	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه انتقالی	کلسیک	بی کربناته	Ca ≥ Mg > Na+K	HCO ₃ > Cl > SO ₄
توسعه انتقالی	منیزیک	بی کربناته	Mg > Na+K > Ca	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه انتقالی	منیزیک	بی کربناته	Mg > Ca > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه انتقالی	منیزیک	بی کربناته	Mg > Ca > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه انتقالی	سدیک	بی کربناته	Na+K > Mg > Ca	HCO ₃ > Cl > SO ₄
توسعه انتقالی	منیزیک	بی کربناته	Mg > Ca > Na+K	HCO ₃ > Cl > SO ₄
توسعه انتقالی	کلسیک	بی کربناته	Ca > Mg > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه اساسی	کلسیک	بی کربناته	Ca > Mg > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه اساسی	کلسیک	بی کربناته	Ca > Mg > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه انتقالی	کلسیک	بی کربناته	Ca > Mg > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه اساسی	کلسیک	بی کربناته	Ca > Mg > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه اساسی	منیزیک	بی کربناته	Mg > Na+K > Ca	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه انتقالی	کلسیک	بی کربناته	Ca > Mg > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه اساسی	کلسیک	بی کربناته	Ca > Na+K > Mg	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه اساسی	کلسیک	بی کربناته	Ca > Mg > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه انتقالی	کلسیک	بی کربناته	Ca > Mg > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
توسعه انتقالی	کلسیک	بی کربناته	Ca > Mg > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl

جدول ۶- تواتر یونی، تیپ و رخساره آب و نحوه توسعه آن (خرداد-۹۰).

غلظت آنیونها	غلظت کاتیونها	تیپ آب	رخساره آب	نحوه توسعه تیپ و رخساره
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Na+K > Ca$	بی کربناته	منیزیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > Cl > SO_4$	$Na+K > Mg > Ca$	بی کربناته	سدیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Ca > Na+K$	بی کربناته	منیزیک	توسعه اساسی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca \geq Mg > Na+K$	بی کربناته	کلسیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Mg > Na+K$	بی کربناته	کلسیک	توسعه اساسی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Ca > Na+K$	بی کربناته	منیزیک	توسعه اساسی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Ca > Na+K$	بی کربناته	منیزیک	توسعه اساسی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Ca > Na+K$	بی کربناته	منیزیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Ca > Na+K$	بی کربناته	منیزیک	توسعه اساسی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Ca > Na+K$	بی کربناته	منیزیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Na+K > Ca$	بی کربناته	منیزیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca \geq Mg > Na+K$	بی کربناته	کلسیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Ca > Na+K$	بی کربناته	منیزیک	توسعه اساسی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Mg > Na+K$	بی کربناته	کلسیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Ca > Na+K$	بی کربناته	منیزیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Ca > Na+K$	بی کربناته	منیزیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Mg > Na+K$	بی کربناته	کلسیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Mg > Na+K$	بی کربناته	کلسیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg \geq Na+K > Ca$	بی کربناته	منیزیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > Cl > SO_4$	$Ca > Mg > Na+K$	بی کربناته	کلسیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Na+K > Mg$	بی کربناته	کلسیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Na+K > Mg$	بی کربناته	کلسیک	توسعه اساسی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Na+K > Mg$	بی کربناته	کلسیک	توسعه اساسی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Mg > Na+K$	بی کربناته	کلسیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Na+K > Mg$	بی کربناته	کلسیک	توسعه اساسی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Na+K > Ca$	بی کربناته	منیزیک	توسعه اساسی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Mg > Na+K$	بی کربناته	کلسیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Mg > Na+K$	بی کربناته	کلسیک	توسعه اساسی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Na+K > Mg$	بی کربناته	کلسیک	توسعه اساسی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Ca > Na+K$	بی کربناته	منیزیک	توسعه انتقالی
$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Ca > Na+K$	بی کربناته	منیزیک	توسعه انتقالی

جدول ۷- درصد هر یک از رده‌های نحوه توسعه تیپ و رخساره برای هر دو دوره در کل محدوده.

درصد	نحوه توسعه تیپ و رخساره (مهر-۸۹)	درصد	نحوه توسعه تیپ و رخساره (خرداد-۹۰)
61.29	توسعه انتقالی	58.06	توسعه انتقالی
0	توسعه مخلوط	0	توسعه مخلوط
38.71	توسعه اساسی	41.94	توسعه اساسی

جدول ۸- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس سختی کل برای هر دو دوره در کل محدوده.

محل نمونه‌برداری	سختی کل (نیمه اول)	کیفیت آب بر اساس سختی کل	سختی کل (نیمه دوم)	کیفیت آب بر اساس سختی کل
دیزج اریک	521.01	کاملاً سخت	342.23	کاملاً سخت
دیزجدیز	565.79	کاملاً سخت	421.13	کاملاً سخت
قشلاق فیرورق	797.54	کاملاً سخت	1019.92	کاملاً سخت
فیرورق	472.47	کاملاً سخت	347.62	کاملاً سخت
فیرورق	457.71	کاملاً سخت	497.5	کاملاً سخت
فیرورق - ینگچه	962.56	کاملاً سخت	1000.61	کاملاً سخت
وسط جاده پسک	1276.18	کاملاً سخت	862.24	کاملاً سخت
پیرموسی	372.59	کاملاً سخت	337.58	کاملاً سخت
یاریم قیه	277.26	سخت	292.69	سخت
پارچی	367.48	کاملاً سخت	332.47	کاملاً سخت
اگری بوجاق	282.87	سخت	307.72	کاملاً سخت
کشک زر	833.5	کاملاً سخت	774.7	کاملاً سخت
پیرکندی	272.71	سخت	287.52	سخت
خویاما	332.86	کاملاً سخت	566.74	کاملاً سخت
رهال	268.16	سخت	292.69	سخت
سیوان	287.64	سخت	243.31	سخت
وسط وار	213.34	سخت	208.63	سخت
ورودی وار	148.92	نسبتاً سخت	193.87	سخت
کورنای	396.05	کاملاً سخت	699.9	کاملاً سخت
سیاه باز ۲	506.03	کاملاً سخت	636.26	کاملاً سخت
قره قوش	223.67	سخت	164.07	سخت
قیز سفلی	124.29	نسبتاً سخت	119.69	نسبتاً سخت
قیز علیا	154.37	سخت	144.32	نسبتاً سخت
زاویه سکمن آباد	238.59	سخت	263.51	سخت
شگفتی	174.01	سخت	149.76	نسبتاً سخت
کلوانس	182.93	سخت	212.56	سخت
کلوانسی	332.81	کاملاً سخت	332.75	کاملاً سخت
شوریک	139.44	نسبتاً سخت	179.11	سخت
ممش خان	134.45	نسبتاً سخت	144.55	نسبتاً سخت
کلدور	407.55	کاملاً سخت	342.51	کاملاً سخت
کلدور ۲	273.21	سخت	317.6	کاملاً سخت

طبقه‌بندی آب برای مصارف کشاورزی

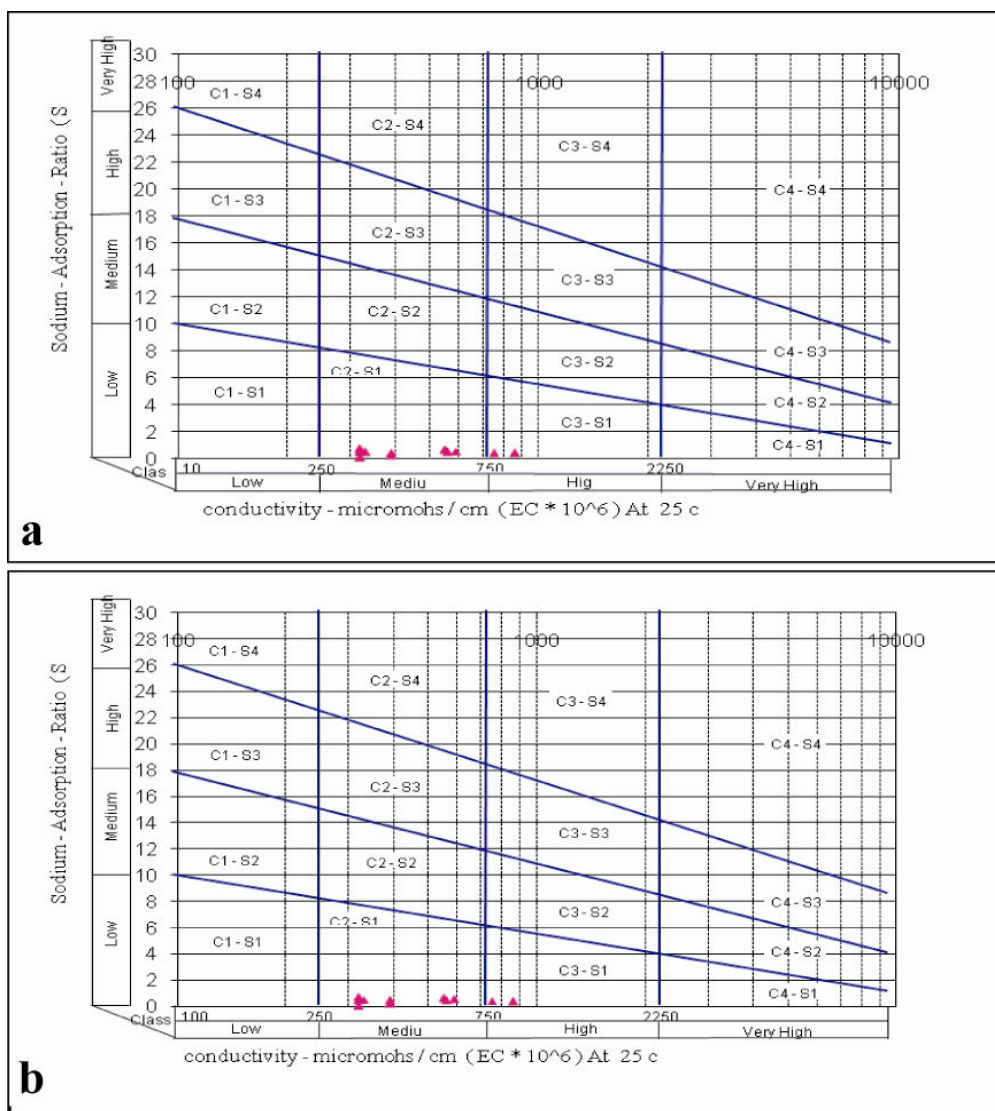
استانداردهای کیفی آب آبیاری بر اساس سه عامل ذیل بنیان گذاری شده است [۱۵]:

۱- غلظت کل نمک‌های محلول آب، که این غلظت از طریق اعمال اسمزی بر روی محصول اثر می‌گذارد.

۲- غلظت یون‌های ویژه (مثل بور) که ممکن است برای گیاهان سمی بوده و یا اینکه اثر نامساعدی بر روی کیفیت محصول داشته باشند.

۳- غلظت کاتیون‌ها (مثل سدیم) که با پراکندگی رس در خاک، ساختمان خاک را تخریب و از مقدار نفوذ آب می‌کاهد.

برای طبقه‌بندی آب‌های دشت خوی و قره‌ضیاءالدین بر حسب مصرف کشاورزی از نمودار ویلکوکس استفاده شده است (شکل‌های ۵ و ۶). اساس این طبقه‌بندی میزان هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) می‌باشد:



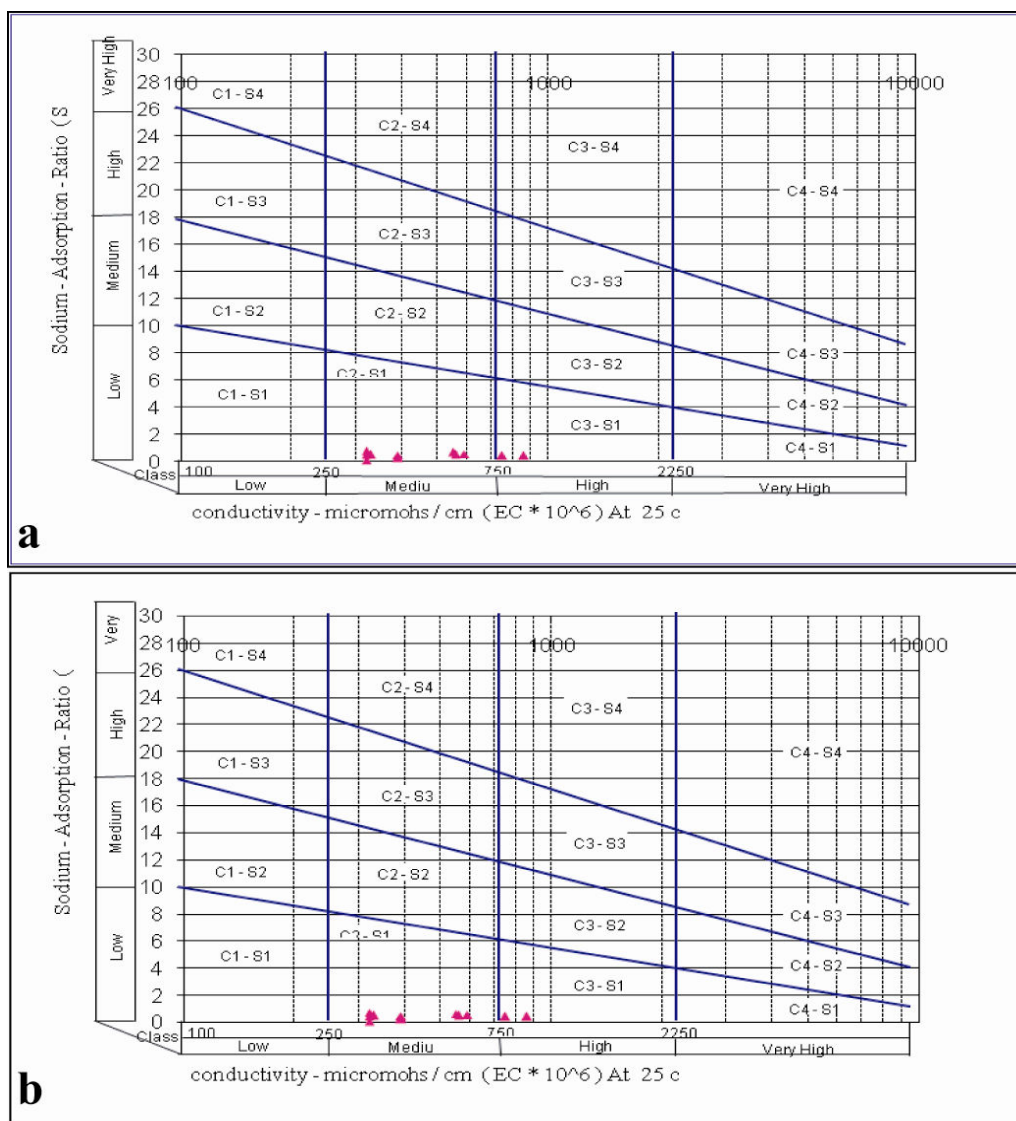
شکل ۵- نمودار ویلکوکس. الف و ب) به ترتیب، مهرماه سال ۱۳۸۹ و خرداد ۹۰ (شمال و شمال غرب خوی).

کم توصیه می‌شود؛ زیرا به ازای مقدار معینی از کاتیون سدیم، افزایش کاتیون‌های کلسیم و منیزیم آب منجر به قابلیت جذب سدیم توسط خاک شده و در نتیجه زیان آن برای گیاه کمتر می‌شود. علاوه بر این، خطر بی‌کربنات از دیگر استانداردهای آب آبیاری است که با نمایه کربنات سدیم باقی‌مانده (RSC) نشان داده می‌شود. غلظت‌های زیاد بی‌کربنات در آب زیرزمینی می‌تواند رشد گیاهان را مختل نموده و منجر به رسوب کلسیت، کاهش نفوذپذیری خاک، پائین آوردن نرخ نفوذ و افزایش فرسایش خاک شود. خطر RSC به وسیله رابطه زیر محاسبه می‌گردد [۱۵]. رابطه (۲)

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

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

غلظت کاتیون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر بیان می‌شود. میزان هدایت الکتریکی نشانگر خطر شوری و نسبت جذب سدیم (SAR) بیانگر خطر سدیم است. خطر سدیم و خطر شوری دو معیار مهم در طبقه‌بندی آب‌های آبیاری می‌باشند. خلاصه طبقه‌بندی ویلکاکس و کلاس‌های مختلف آب در جداول ۹ و ۱۰ ارائه شده است. غلظت زیاد نمک در آب باعث شوری خاک و مقدار زیاد سدیم منجر به تولید خاک قلیایی همراه با کمبود کلسیم خاک، و نهایتاً نفوذ ناپذیر شدن خاک‌های منطقه و کاهش محصولات می‌شود. لذا در مصارف کشاورزی آب با SAR



شکل ۶- نمودار ویلکوکس. الف و ب) به ترتیب، مهرماه سال ۱۳۸۹ و خرداد ۹۰ (نیمه جنوبی دشت قره‌ضیال‌الدین).

سدیم (SAR) در یکی از ۱۶ کلاس آبیاری قرار می‌گیرند. چنانچه شوری آب بیش از ۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر و نسبت جذب سدیم آن بیش از ۳۰ باشد، نمونه خارج از نمودار قرار می‌گیرد؛ که برای کشاورزی مناسب نخواهد بود [۲۰]. بر این اساس در مهرماه ۸۹، ۴۵/۱۶ درصد دارای طبقه C_2S_1 و ۵۱/۶۱ درصد در طبقه C_3S_1 و ۳/۲۳ درصد در طبقه C_4S_1 قرار می‌گیرند و در خرداد ۹۰، ۵۴/۸۴ درصد دارای کلاس آبی C_2S_1 و ۴۱/۹۴ درصد دارای کلاس آبی C_3S_1 و ۳/۲۳ درصد در کلاس C_4S_1 قرار می‌گیرند. بنابراین بیشترین کلاس آبی به ترتیب مربوط به طبقه C_2S_1 و C_3S_1 می‌باشد (جدول ۱۱). بر اساس جداول ۹ و ۱۰ کیفیت آب برای کشاورزی در منطقه مورد مطالعه به استثناء چاه جاده پسک در نیمه اول سال آبی و چاه

غلظت یون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. آب‌های دارای مقادیر RSC کمتر از ۱/۲۵ epm برای آبیاری مناسب هستند. در حالیکه آب‌های دارای مقادیر RSC بیش از ۲/۵ epm برای آبیاری نامناسب می‌باشند. مهم‌ترین ویژگی‌های آب آبیاری علاوه بر شوری، نسبت یون سدیم به یون‌های کلسیم و منیزیم در آن است. بالا بودن میزان سدیم در آب نسبت به دیگر کاتیون‌های محلول در آب، موجب شوره‌زایی و سختی خاک خواهد شد. متداول‌ترین روش طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی استفاده از نمودار ویلکوکس است (شکل‌های ۵ و ۶). هر نمونه آب بسته به میزان هدایت الکتریکی نسبت به جذب

آنیونی نسبت به چرخه تبادل کاتیونی دارد. سیر این تکامل در آبخوان مورد نظر از تیپ بی‌کربناته در مناطق تغذیه شروع و به تیپ سولفات‌ها به سمت مرکز دشت ختم می‌شود. این روند را به وضوح می‌توان با افزایش TDS نمونه‌های آب در قسمت مربع شکل نمودار دورو مشاهده نمود. نمودارهای دورو دشت خوی و قره‌ضیاءالدین در دو دوره مهر و خرداد الگوی تقریباً مشابهی را نشان می‌دهد. تیپ‌های هیدروشیمیایی نمونه‌ها در حد فاصل بین دوره های نمونه‌برداری برای اغلب نقاط منطقه تغییر چندانی ننموده است.

روستای قشلاق فیرورق در نیمه دوم سال آبی، که خیلی شور می‌باشند، آب شور تا کمی شور می‌باشد. چنین مشخصاتی برای کشاورزی قابل استفاده می‌باشند. کیفیت آب منطقه برای کشاورزی بر اساس درصد Na خوب تا عالی و بر اساس RSC، به استثنای روستای کشک‌زر که نامناسب است، برای کشاورزی مناسب و قابل قبول می‌باشد (جداول ۹ و ۱۰).

بر اساس نمودار دورو (شکل ۷؛ قسمت مربع شکل) تنها یک جهت تکامل شیمیایی برای آب‌های زیرزمینی شمال دشت خوی و یک جهت تکامل شیمیایی برای آب‌های زیرزمینی جنوب دشت قره‌ضیاءالدین وجود دارد. این چرخه تکامل یونی تبعیت بیش‌تری از چرخه تکامل

جدول ۹- طبقه‌بندی کیفیت آب برای کشاورزی (مهر - ۸۹).

محل نمونه‌برداری	کلاس آب (EC-SAR)	کیفیت آب برای کشاورزی	SAR	%Na	کیفیت بر اساس %Na	RSC	کیفیت بر اساس RSC
دیج اریک	C3-S1	شور - قابل استفاده	1.75	29.53	خوب	-0.8	مناسب
دیج‌دیز	C3-S1	شور - قابل استفاده	3.52	42.71	قابل قبول	1.5	قابل قبول
قشلاق فیرورق	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.56	10.06	عالی	0.5	مناسب
فیرورق	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.55	12.84	عالی	0.1	مناسب
فیرورق	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.84	17.12	عالی	0.3	مناسب
فیرورق - ینگجه	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.56	9.56	عالی	-0.6	مناسب
وسط جاده بسک	C4-S1	خیلی شور - نامناسب	0.64	8.54	عالی	1.2	مناسب
پیرموسی	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.41	12.79	عالی	-	-
یاریم قیه	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.42	12.5	عالی	0.4	مناسب
پارچی	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.62	14.94	عالی	-0.7	مناسب
اگری بوجاق	C3-S1	شور - قابل استفاده	1.42	30.49	خوب	-0.1	مناسب
کشک زر	C3-S1	شور - قابل استفاده	2.76	32.53	خوب	4.6	نامناسب
پیرکندی	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.36	12.7	عالی	-1.3	مناسب
خویاما	C3-S1	شور - قابل استفاده	1.75	33	خوب	1.8	قابل قبول
رهل	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.73	19.4	عالی	0.1	مناسب
سیوان	C3-S1	شور - قابل استفاده	1.23	27.5	خوب	-0.2	مناسب
وسط وار	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.34	12.24	عالی	-0.8	مناسب
ورودی وار	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.33	16.67	عالی	0.1	مناسب
کورنای	C3-S1	شور - قابل استفاده	3.25	45.21	قابل قبول	2.1	قابل قبول
سیاه باز ۲	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.97	19.05	عالی	-2.9	مناسب
قره قوش	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.63	18.92	عالی	1	مناسب
قیز سفلی	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.72	26.47	خوب	0.7	مناسب
قیز علیا	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.08	6.06	عالی	-0.1	مناسب
زاویه سکمن آباد	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.48	16.52	عالی	0.9	مناسب
شگفتی	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.45	16.67	عالی	0.3	مناسب
کلوانس	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.22	9.76	عالی	0.4	مناسب
کلوانسی	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.44	11.84	عالی	1.5	قابل قبول
شوریک	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.51	20	عالی	1.2	مناسب
ممش خان	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.47	19.4	عالی	0.6	مناسب
کلدور	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.4	9.89	عالی	0.8	مناسب

جدول ۱۰- طبقه‌بندی کیفیت آب برای کشاورزی (خرداد-۱۳۹۰).

محل نمونه برداری	کلاس آب (EC-) (SAR)	کیفیت آب برای کشاورزی	SAR	%Na	کیفیت بر اساس %Na	RSC	کیفیت بر اساس RSC
دیج اریک	C3-S1	شور - قابل استفاده	1.78	34.91	خوب	0.7	مناسب
دیج جدید	C3-S1	شور - قابل استفاده	3.69	47.85	قابل قبول	2.4	قابل قبول
قشلاق فیرورق	C4-S1	خیلی شور - نامناسب	0.72	10.43	عالی	0.1	مناسب
فیرورق	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.64	15.66	عالی	1.5	قابل قبول
فیرورق	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.61	12.74	عالی	1.2	مناسب
فیرورق - بنگچه	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.6	10.22	عالی	1.9	قابل قبول
وسط جاده پسک	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.68	11.22	عالی	0.3	مناسب
پیرموسی	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.38	10.53	عالی	0.9	مناسب
یاریم قیه	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.45	14.24	عالی	0.8	مناسب
پارچی	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.66	16.25	عالی	0	مناسب
اگری بوجاق	C3-S1	شور - قابل استفاده	1.59	31.87	خوب	-0.9	مناسب
کشک زر	C3-S1	شور - قابل استفاده	2.08	27.44	خوب	4.1	نامناسب
پیرکندی	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.41	13.43	عالی	-0.4	مناسب
خویاما	C3-S1	شور - قابل استفاده	1.63	25.97	خوب	0.7	مناسب
رہال	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.7	18.06	عالی	-0.5	مناسب
سیوان	C2-S1	کمی شور - مناسب	1.09	26.87	خوب	0.3	مناسب
وسط وار	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.41	14.29	عالی	-0.5	مناسب
ورودی وار	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.32	16.13	عالی	0.2	مناسب
کورنای	C3-S1	شور - قابل استفاده	2.82	35.02	خوب	2.2	قابل قبول
سیاه باز ۲	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.87	15.23	عالی	-1.3	مناسب
قره قوش	C2-S1	کمی شور - مناسب	1.25	34	خوب	1.5	قابل قبول
قیز سفلی	C2-S1	کمی شور - مناسب	1	33.33	خوب	0.7	مناسب
قیز علیا	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.66	23.68	خوب	0.1	مناسب
زاویه سکمن آباد	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.31	10.62	عالی	-1.1	مناسب
شگفتی	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.65	23.08	خوب	-0.1	مناسب
کلوانس	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.48	15.69	عالی	-0.2	مناسب
کلوانسی	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.55	14.43	عالی	0.3	مناسب
شوریک	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.45	16.28	عالی	1	مناسب
ممش خان	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.5	19.44	عالی	-0.2	مناسب
کلدور	C3-S1	شور - قابل استفاده	0.48	12.66	عالی	0.6	مناسب
کلدور ۲	C2-S1	کمی شور - مناسب	0.61	15.79	عالی	1.3	قابل قبول

طبقه‌بندی آب برای مصارف صنعتی

در صنعت، آب به اشکال گوناگونی در قسمت‌های مختلف یک واحد تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده آب در دیگ‌های بخار، تاسیسات خنک کننده و فرآیندهای تولیدی از مصارف عمده آب در صنعت می‌باشد. خواص آب در هر کارخانه با توجه به نوع فرآورده واحد تولیدی تعیین می‌گردد. دیگ‌های بخار و لوله‌های انتقال آب به منظور سرمایش و گرمایش در تمام کارخانه‌ها یکسان هستند. پدیده خوردگی و رسوب‌گذاری به عنوان شاخص قابلیت مصرف صنعتی آب مورد توجه قرار می‌گیرند. علیرغم تنوع زیادی که در کیفیت آب مورد نیاز صنایع وجود دارد، برای تمام صنایع سه پارامتر شوری، سختی و

میزان سیلیس حائز اهمیت می‌باشد [۱۹]. جهت بررسی کیفیت آب منابع خوی و قره‌ضیاءالدین به منظور مصارف صنعتی، از ضریب اشباع لانزلیه^۱ (I_s) و نیز ضریب پایداری رایزنز^۲ (I_r) استفاده گردید:

$$I_s = pH - pH_s \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$I_r = 2PH_s - pH \quad \text{رابطه (۴)}$$

pH مقدار اندازه‌گیری شده اسیدیته آب در صحرا (واقعی) و PH_s میزان pH در حالت اشباع است که تحت عنوان شاخص اشباع از رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$PH_s = C - (\text{Log Alk} + \text{Log Ca}) \quad \text{رابطه (۵)}$$

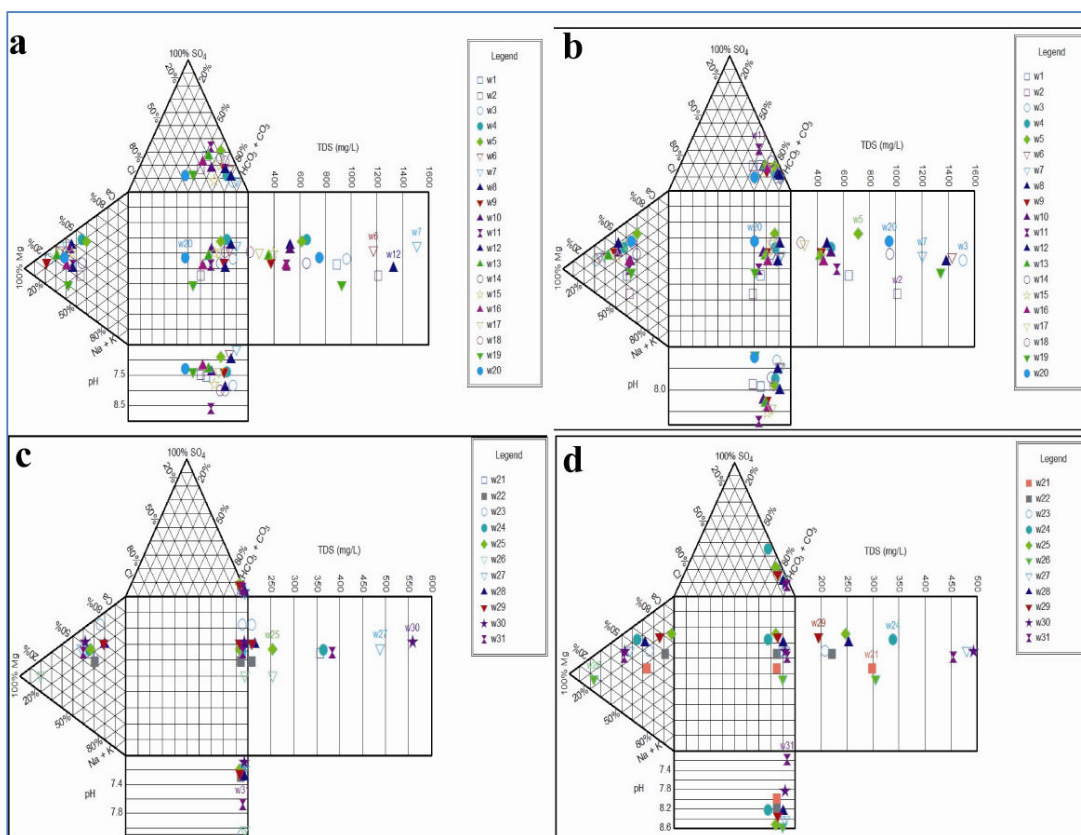
1 -Langelier

2 -Ryznar

بر اساس داده‌های شیمیایی دو دوره نمونه‌برداری، خاصیت پوسته‌گذاری و خوردگی توسط روابط فوق معین و در جداول ۱۲ و ۱۳ ارائه گردیده است. همان طور که مشاهده می‌گردد آب زیرزمینی در اغلب نقاط منطقه مورد مطالعه در اواخر دوره خشکی (مهر - ۸۹) تمایل به خوردگی و در اواخر دوره تر (خرداد - ۹۰) اغلب تمایل به رسوب‌گذاری دارند.

به طور کل خاصیت آب‌های زیرزمینی در این منطقه تحت تاثیر فعل و انفعالات ژئوشیمیایی درون آبخوان و ترکیب آب‌های نفوذی است. در حالی که آب منطقه قره‌ضیاءالدین بیش‌تر تحت تاثیر ریزش‌های جوی خاصیت خوردگی پیدا نموده است و در جایی که تحت تاثیر شبکه آبیاری - زهکشی می‌باشد (شمال خوی) وضعیت متعادل‌تری را نشان می‌دهد.

C، پارامتری است که تابع درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) و باقی‌مانده خشک (TDS) می‌باشد. غلظت کاتیون کلسیم بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و کلیانیت بر حسب میلی‌گرم در لیتر CaO است. در روش لانژلیه اگر ضریب لانژلیه منفی باشد آب خاصیت خوردگی^۳ دارد و در Is برابر صفر، آب متعادل می‌باشد. همچنین در Is بزرگ‌تر از صفر آب تمایل به پوسته‌گذاری^۴ دارد. از نظر شاخص رایزنز اگر Istab کمتر از ۶ باشد، آب پوسته‌گذار و در Istab بیش‌تر از ۷/۵ آب خوردنده می‌باشد. ضریب لانژلیه بیش‌تر در سیستم‌های با سرعت کم و جریان آرام کاربرد دارد؛ در حالیکه شاخص رایزنز خاص سیستم‌هایی با سرعت جریان بیش‌تر از ۰/۶ m/s می‌باشد. از آنجائیکه سرعت آب ورودی از منافذ اسکرین به چاه و نیز سرعت آب در هنگام استخراج، اغلب کمتر از مقدار فوق است، برای تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه از ضریب لانژلیه استفاده شده است.



شکل ۷- نمودار دورو (Durov)، الف و ب) به ترتیب، مهرماه سال ۱۳۸۹ و خرداد ۹۰ (شمال و شمال غرب خوی)، ج و د) به ترتیب مهر ۸۹ و خرداد ۹۰ (نیمة جنوبی دشت قره‌ضیاءالدین).

- 3 - Aggressive
- 4 - Scaling

جدول ۱۱: درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکاکس برای مصارف کشاورزی برای سال آبی ۹۰-۸۹ در کل محدوده

C4- S1	C3- S1	C2- S1	نیمه ۱
3.23	51.61	45.16	
C4- S1	C3- S1	C2- S1	نیمه ۲
3.23	41.94	54.84	

جدول ۱۲- مشخصه‌های آماری مولفه‌های مختلف شیمیایی بر حسب meq (مهر-۸۹)

SO ₄ ⁻	Cl ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺	Ca ⁺⁺	PH	T.D.S	EC	پارامتر
31	31	30	31	31	31	31	31	31	31	31	تعداد نمونه ها
1.43	1.01	0.75	7.49	0.14	1.87	4.18	3.62	7.45	577.03	887.74	میانگین حسابی
1.02	1.22	-	5.71	0.08	2.12	3.24	2.46	0.42	359.69	553.38	انحراف معیار
71.33	120.8	-	76.23	57.14	113.4	77.51	67.96	5.64	62.33	62.34	ضریب تغییرات (درصد)
3.8	4.5	1.5	26.4	0.4	8.4	13	12.7	8.6	1514.5	2330	حداکثر
0.3	0.2	0.3	2.5	0.1	0.1	0.7	0.4	6.66	208	320	حداقل
0.8	0.2	0.5	3	0.1	0.8	3.5	4.5	7.4	208	320	مد
1.1	0.5	0.7	5.2	0.1	0.95	3.3	2.8	7.4	494	760	میانه
3.5	4.3	1.2	23.9	0.3	8.3	12.3	12.3	1.94	1306.5	2010	دامنه تغییرات
1.13	2.1	-	1.91	1.96	2.18	1.49	1.95	0.65	1.13	1.13	چولگی
1.03	1.48	-	32.66	0.01	4.51	10.47	6.06	0.18	129380	306225	واریانس

جدول ۱۳- مشخصه‌های آماری مولفه‌های مختلف شیمیایی بر حسب meq (خرداد-۹۰)

SO ₄ ⁻	Cl ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺	Ca ⁺⁺	PH	T.D.S	EC	پارامتر
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	تعداد نمونه ها
1.39	0.93	1.19	7.2	0.14	1.9	4.3	3.52	8.01	613.52	943.87	میانگین حسابی
0.8	1.17	0.51	5.36	0.08	1.9	3.79	1.87	0.44	400.84	616.68	انحراف معیار
57.55	125.8	42.86	74.44	57.14	100	88.14	53.13	5.49	65.33	65.34	ضریب تغییرات (درصد)
3.2	5.1	2.2	20	0.4	7.6	15.8	7.8	8.73	1514.5	2330	حداکثر
0.5	0.1	0.4	2.2	0.1	0.45	0.1	0.4	7.19	195	300	حداقل
0.5	0.3	1.4	6.7	0.1	1.2	3.5	2.4	8.23	507	780	مد
1.1	0.6	1.2	5.3	0.1	1.2	3.5	2.8	8.01	474.5	730	میانه
2.7	5	1.8	17.8	0.3	7.15	15.7	7.4	1.54	1319.5	2030	دامنه تغییرات
0.71	2.49	0.35	1.39	2.32	2.11	1.84	1.05	-0.41	1.1	1.1	چولگی
0.64	1.36	0.26	28.78	0.01	3.61	14.34	3.49	0.2	160673	380291	واریانس

بخش جهت بررسی توزیع مکانی و زمانی متشکله‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه، اقدام به تهیه نقشه های هم‌ارزش پارامترهای اصلی برای دوره‌های مختلف نمونه‌برداری شده است. رسم نقشه‌های هم‌ارزش با استفاده از نرم افزار ARC GIS صورت گرفته است که در نهایت باعث ایجاد کنتورهای صافی بین داده‌های ورودی می‌گردد.

توزیع مکانی و تغییرات زمانی مولفه‌های هیدروشیمیایی یکی از روش‌های مناسب در مطالعات هیدروشیمیایی جهت پردازش و نمایش داده‌های بدست آمده در یک منطقه وسیع و گسترده، ترسیم نقشه‌های هم‌ارزش پارامترهای مختلف می‌باشد. این نقشه‌ها از داده‌های جمع آوری شده در یک زمان مشابه تهیه می‌شوند. توزیع نقاط نمونه‌برداری در یک منطقه برای مقایسه نقشه‌های هم میزان از اهمیت بسزایی برخوردار است [۱۱]. در این

جدول ۱۴- طبقه‌بندی کیفیت آب برای مصرف صنعتی (مهر-۸۹).

محل نمونه‌برداری	قلیائیت بر حسب CaO	Ca (mg/l)	ضریب C	PHs	PH	PHs-PH	کیفیت آب برای مصارف صنعتی
دیزج اریک	107.6	90	11.31	7.3	7.55	-0.25	رسوبگذار
دیزج دیز	197.1	102	11.31	7	7.5	-0.5	رسوبگذار
قشلاق فیرورق	44.6	90	11.31	7.7	7.85	-0.15	رسوبگذار
فیرورق	35.4	120	11.3	7.7	7.4	0.3	خورنده
فیرورق	45.3	122	11.3	7.6	6.9	0.7	خورنده
فیرورق - ینگجه	51.95	164	11.31	7.4	6.8	0.6	خورنده
وسط جاده پسک	56.8	254	11.32	7.2	6.66	0.54	خورنده
پیرموسی	30.1	80	11.29	7.9	7	0.9	خورنده
یاریم قبه	20	26	11.29	8.6	7.4	1.2	خورنده
پارچی	31.5	74	11.29	7.9	7.4	0.5	خورنده
اگری بوجاق	59.1	50	11.29	7.8	8.6	-0.8	رسوبگذار
کشک زر	187.9	140	11.32	6.9	7.9	-1	رسوبگذار
پیرکندی	21.6	40	11.28	8.3	7.3	1	خورنده
خوباما	77.5	72	11.3	7.6	8	-0.4	رسوبگذار
رھال	31.5	54	11.29	8.1	7.8	0.3	خورنده
سیوان	52.2	44	11.29	7.9	7.2	0.7	خورنده
وسط وار	15.4	36	11.28	8.5	7.4	1.1	خورنده
ورودی وار	17	28	11.27	8.6	8	0.6	خورنده
کورنای	153.4	36	11.31	7.6	7.4	0.2	خورنده
سیاه باز ۲	58.4	84	11.3	7.6	7.3	0.3	خورنده
قره قوش	25.75	52	11.28	8.2	7.2	1	خورنده
قیز سفلی	22.3	30	11.27	8.4	7.3	1.1	خورنده
قیز علیا	6.2	46	11.27	8.8	8.09	0.71	خورنده
زاویه سکمن آباد	25.05	56	11.28	8.1	7.2	0.9	خورنده
شگفتی	17.7	42	11.28	8.4	7.2	1.2	خورنده
کلوانس	10.8	8	11.28	9.3	8.04	1.26	خورنده
کلوانسی	22.3	70	11.29	8.1	7.2	0.9	خورنده
شوریک	17.7	42	11.27	8.4	7.3	1.1	خورنده
ممش خان	16.55	40	11.27	8.4	7.25	1.15	خورنده
کلدور	22.3	94	11.3	8	7.1	0.9	خورنده
کلدور ۲	24.6	58	11.29	8.1	7.68	0.42	خورنده

شمال‌غرب دشت خوی می‌باشد. بیش‌ترین میزان سختی مربوط به جاده پسک در شمال‌غرب خوی (۱۲۷۶) و بعد از آن روستاهای قشلاق فیرورق و فیرورق ینگجه به ترتیب با میزان سختی ۱۰۱۹ و ۱۰۰۰ دارای بیش‌ترین درجه سختی می‌باشند. این بخش‌ها به رنگ سفید بر روی نقشه مشخص هستند. میزان pH در تمام منطقه به غیر از روستاهای فیرورق، فیرورق ینگجه، پیرموسی و جاده پسک که بین ۶/۶ تا ۷ می‌باشند، در بقیه نقاط بین ۷/۱ تا ۸/۷ متغیر می‌باشد. به طور کلی میزان pH در اواخر دوره خشک (مهر-۸۹) کمتر از میزان آن در اواخر دوره تر سالی (خرداد-۹۰) می‌باشد (اشکال ۱۰ ج و ۱۰ د).

پارامترهای شیمیایی آب‌ها با توجه به شاخص‌های آماری، در طول سال آبی نمونه‌برداری شده، نوساناتی را نشان می‌دهد. جهت شناخت کلی تغییرات زمانی متشکله‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت خوی، نمایه‌های آماری غلظت‌های یون‌های عمده، pH، هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول و مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات، واریانس و ... نمونه‌های آب در هر دوره محاسبه گردید (جداول ۱۴ و ۱۵) و نمودار پارامترهای آماری مولفه‌های شیمیایی برای هر دو نیم فصل ترسیم شده است (اشکال ۸ و ۹). بر اساس نقشه هم‌سختی (اشکال ۱۰ الف و ۱۰ ب)، میزان سختی موجود در جنوب دشت قره‌ضیاءالدین به نسبت، کمتر از شمال و

جدول ۱۵- طبقه‌بندی کیفیت آب برای مصرف صنعتی (خرداد-۹۰)

محل نمونه‌برداری	قلیائیت بر حسب CaO	Ca (mg/l)	ضریب C	PHs	PH	PHs-PH	کیفیت آب برای مصارف صنعتی
دیزج اریک	91.5	54	11.3	7.6	7.93	-0.33	رسوبگذار
دیزجدیز	182.6	50	11.31	7.3	7.87	-0.57	رسوبگذار
قشلاق فیرورق	56.8	96	11.32	7.6	7.33	0.27	خورنده
فیرورق	31.5	70	11.29	7.9	7.75	0.15	خورنده
فیرورق	35.18	132	11.3	7.6	7.89	-0.29	رسوبگذار
فیرورق - ینگچه	59.3	112	11.32	7.5	7.47	0.03	خورنده
وسط جاده پسک	53.8	108	11.31	7.5	7.5	0	متعادل
پیرموسی	20	64	11.29	8.2	8.01	0.19	خورنده
یاریم قیه	25.74	48	11.29	8.2	8.24	-0.04	رسوبگذار
پارچی	31.5	58	11.29	8	8.23	-0.23	رسوبگذار
اگری بوجاق	68.3	56	11.29	7.7	8.73	-1.03	رسوبگذار
کشک زر	137.3	156	11.32	7	7.53	-0.53	رسوبگذار
پیرکندی	23.9	40	11.29	8.3	8.31	-0.01	رسوبگذار
خویاما	93.6	136	11.31	7.2	7.72	-0.52	رسوبگذار
رهال	31.5	48	11.29	8.1	8.52	-0.42	رسوبگذار
سیوان	43	48	11.29	8	8.4	-0.4	رسوبگذار
وسط وار	17.7	44	11.28	8.4	8.43	-0.03	رسوبگذار
ورودی وار	22.05	46	11.28	8.3	7.9	0.4	خورنده
کورنای	176.4	130	11.32	7	7.2	-0.2	رسوبگذار
سیاه باز ۲	54.5	150	11.31	7.4	7.25	0.15	خورنده
قره قوش	40.7	40	11.28	8.1	7.99	0.11	خورنده
قیز سفلی	29.2	42	11.27	8.2	8.2	0	متعادل
قیز علیا	22.3	40	11.27	8.3	8.47	-0.17	رسوبگذار
زاویه سکمن آباد	16.57	64	11.28	8.3	8.23	0.07	خورنده
شگفتی	22.3	58	11.28	8.2	8.52	-0.32	رسوبگذار
کلوانس	20	8	11.28	9.1	8.58	0.52	خورنده
کلوانسی	28.07	68	11.29	8	8.43	-0.43	رسوبگذار
شوریک	17.7	48	11.28	8.4	8.25	0.15	خورنده
ممش خان	17.7	48	11.27	8.3	8.35	-0.05	رسوبگذار
کلدور	24.6	64	11.29	8.1	7.84	0.26	خورنده
کلدور ۲	29.2	56	11.29	8.1	7.19	0.91	خورنده

ناهنجاری در نقشه‌های هم‌کلیسیم مشخص گردیده است می‌تواند ناشی از انحلال لایه‌های آهکی باشد (اشکال ۱۱ الف و ۱۱ ب). نقشه هم‌منیزیم آب‌های زیرزمینی خوی (اشکال ۱۱ ج و ۱۱ د) نیز نشانگر افزایش غلظت منیزیم از حواشی دشت به سمت قسمت جنوبی دشت می‌باشد.

معمولاً غلظت کلسیم آب‌های زیرزمینی در نواحی شمال و شمال‌غربی خوی بیش از نیمه جنوبی دشت قره‌ضیاءالدین می‌باشد؛ به طوریکه غلظت کلسیم در روستای قیز سفلی در دشت قره‌ضیاءالدین تا ۱/۵ meq/l کاهش می‌یابد. افزایش شدید و ناگهانی غلظت کلسیم در حوالی جاده پسک و روستای قشلاق فیرورق که به صورت یک

محلول سازی این آب‌ها به جهت دارا بودن CO_2 فراوان آن‌ها است. این خاصیت منجر به افزایش غلظت بیکربنات، کلسیم و منیزیم شده و در نتیجه آب‌های از نوع بی‌کربنات کلسیک-منیزیک در منطقه تولید شده است.

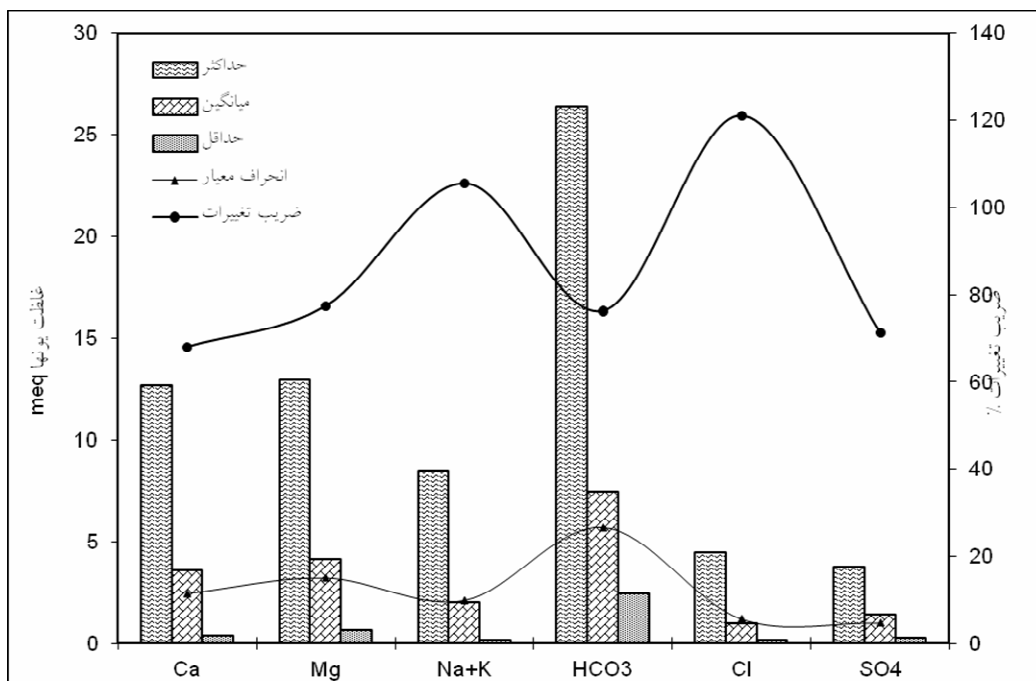
همچنین آب‌های منطقه مورد مطالعه بر حسب میزان TDS در دسته شیرین تا لب شور ($2000-3000 \text{ mg/l}$) قرار می‌گیرند (اشکال ۱۲ ج و ۵۱۲). اغلب این آب‌ها از لحاظ قابلیت شرب، خوب تا مناسب هستند. نمونه‌های آبی که TDS آنها بیش از 900 mg/l (مانند روستای قشلاق فیرورق و جاده پسک) است، قابلیت شرب نامناسب می‌باشد. مقادیر TDS بالا بیانگر حضور کاتیون‌ها و آنیون‌های بیشتر در آب و شور بودن آن می‌باشد. از جمله عوامل موثر در افزایش TDS آب زیرزمینی دشت خوی و قره-ضیاءالدین می‌توان به حرکت آب از میان کانی‌های قابل حل و ورود آلاینده‌های ناشی از پساب فاضلاب‌ها و زه‌آب کشاورزی اشاره نمود. هر چند که بر طبق غلظت یون‌های عمده و نمودار شولر، اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه قابل شرب می‌باشند، ولی بایستی از لحاظ باکتریایی و آلودگی به مواد مضر نظیر نیترات، نیتريت، BOD و COD مورد پردازش قرار گیرند. نقشه هم‌سولفات منطقه مورد مطالعه (اشکال ۱۳ الف و ۱۳ ب) نیز همانند اکثر نقشه‌های هم‌یون، متاثر از وجود بخش‌ها و انحلال‌پذیری لایه‌های ژیبسی موجود در آبرفت می‌باشد. انحلال ژیبس طی فرآیند دولومیتی شدن، که یک فرآیند برگشت ناپذیر است، باعث افزایش غلظت سولفات‌هایی مانند منیزیم و کلسیم از آب‌های زیرزمینی نواحی شمالی به طرف نواحی شمال‌شرقی دشت خوی شده است. افزایش غلظت سولفات در نمونه‌های روستاهایی دیزج‌اریک و کشک‌زر بعضاً به 300 میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد. این میزان غلظت از نظر استاندارد آب شرب بیش از حد مطلوب می‌باشد. از عوامل دیگر افزایش غلظت سولفات می‌توان به غالب بودن یون‌های تک ظرفیتی (K^+ و Na^+) جذب شده به وسیله سطح کانی‌های رسی در منطقه اشاره کرد. وجود این کاتیون‌ها، که منشاء آنها می‌تواند عامل تبخیر و تعرق باشد، باعث می‌گردد تا میزان جذب سولفات بر روی سطح رس‌ها کاهش یافته و میزان آبشویی آنها به سمت آب‌های زیرزمینی بالا برود [۱۷]. به همین جهت در اغلب آب‌های کم‌عمق منطقه، بویژه در بستر مناطق کشاورزی (مانند

غلظت این کاتیون در دشت قره‌ضیاءالدین در کمترین میزان قرار دارد. افزایش شدید غلظت منیزیم در قشلاق فیرورق و جاده پسک و به طور کلی در حاشیه شمال و شمال‌غرب خوی، احتمالاً مبین شسته شدن منیزیم در طی تراوش آب متئوریک از میان سنگ‌های مافیک و اولترامافیک منطقه باشد که منجر به حل شدن منیزیم و ورود آن به آب زیرزمینی می‌شود. منیزیم از کانی الیوبین و کانی‌های آزبستی که در سنگ‌های اولترامافیک دگرسان شده یافت می‌شوند، می‌تواند تولید گردد. همچنین منیزیم می‌تواند در اثر هوازدگی بازالت‌ها شسته و هوازده شود و وارد خاک و آب گردد. به طور کلی میزان منیزیم در دشت قره‌ضیاءالدین بسیار کمتر از دشت خوی بوده که بیانگر تاثیر بیشتر مجموعه افیولیتی در دشت خوی می‌باشد. بر طبق نقشه‌های هم EC، در دشت قره‌ضیاءالدین میزان EC کمتر از سایر نواحی می‌باشد (اشکال ۱۲ الف و ۱۲ ب).

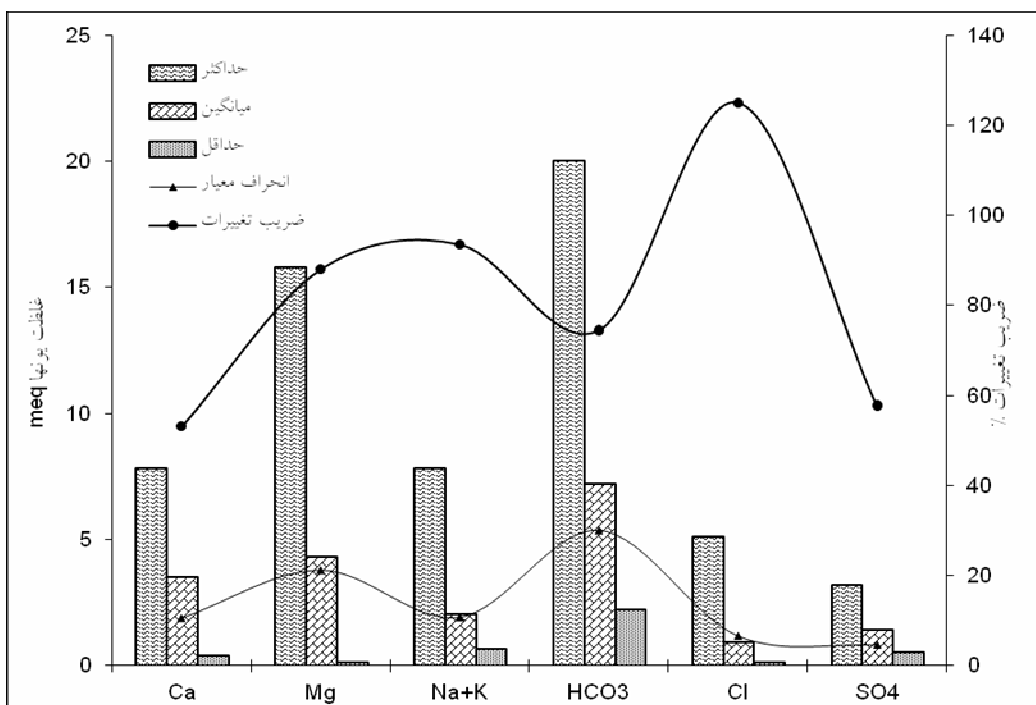
در قسمت شمال و شمال‌غرب دشت خوی، یک ناهنجاری در کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی مشاهده می‌شود که با سایر نواحی دشت قابل مشاهده نیست. میزان هدایت الکتریکی در این مناطق عموماً بیش از 2000 میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. این مقدار در جاده پسک حتی به $2330 \mu\text{mohs}$ نیز می‌رسد. علت افزایش EC را می‌توان به عامل زمین‌شناسی نسبت داد (اگر چاه عمیق باشد). با توجه به نقشه‌های هم‌هدایت دو دوره سال آبی $90-1389$ ، یک کاهش نسبی در میزان هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی در خردادماه نسبت به مهرماه (انتهای دوره خشک) روی داده است. این امر نشانگر رقیق شدن آب‌های زیرزمینی در خردادماه به علت اختلاط با آب‌های دارای مقادیر هدایت الکتریکی کم ناشی از بارش ماه‌های پرباران‌تر (بهمین 89 تا اردیبهشت 90) می‌باشد. در حالیکه از عوامل شوری آب‌های زیرزمینی خوی و قره-ضیاءالدین در انتهای دوره خشک زه‌آب برگشتی از مناطق کشاورزی می‌باشد. این افزایش بیشتر در بستر مناطق کشاورزی و مکان‌هایی که زهکش‌ها توسعه دارند قابل مشاهده‌اند. افزایش موضعی مقدار EC در ماه‌های پرباران می‌تواند به علت انحلال شدید کانی‌های دولومیت و کلسیت موجود در زون غیر اشباع توسط آب‌های نفوذی حاصل از بارش باشد. دلیل چنین وضعیتی، قدرت بالای

باشد. دلیل چنین وضعیتی، افزایش جذب دوباره سولفات به وسیله خاک می‌باشد که در حین آبشویی نمی‌تواند به درون آب زیرزمینی وارد شوند.

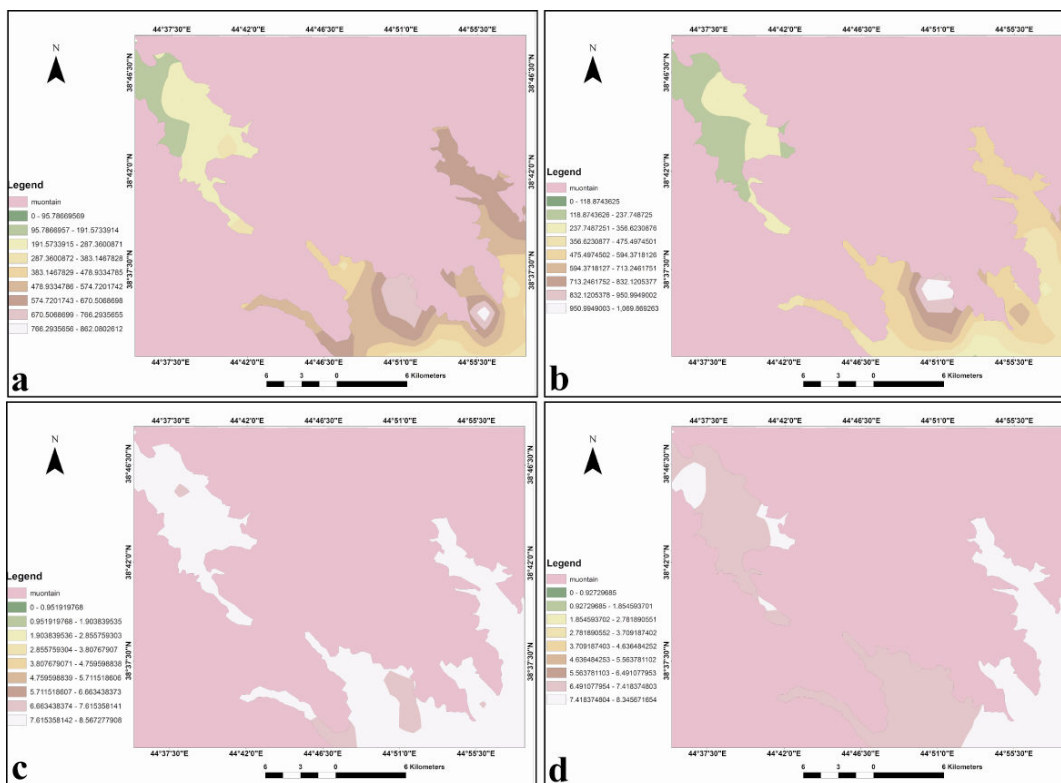
چاه، غلظت سولفات بیشتر می‌باشد. در مقابل در دشت قره‌ضیاءالدین غلظت سولفات آب‌ها در حداقل میزان (۱۷mg/l) قرار دارد. این امر می‌تواند نشانگر کاتیون‌های جذبی مانند آلومینیم و کلسیم بر سطح کانی‌های رسی



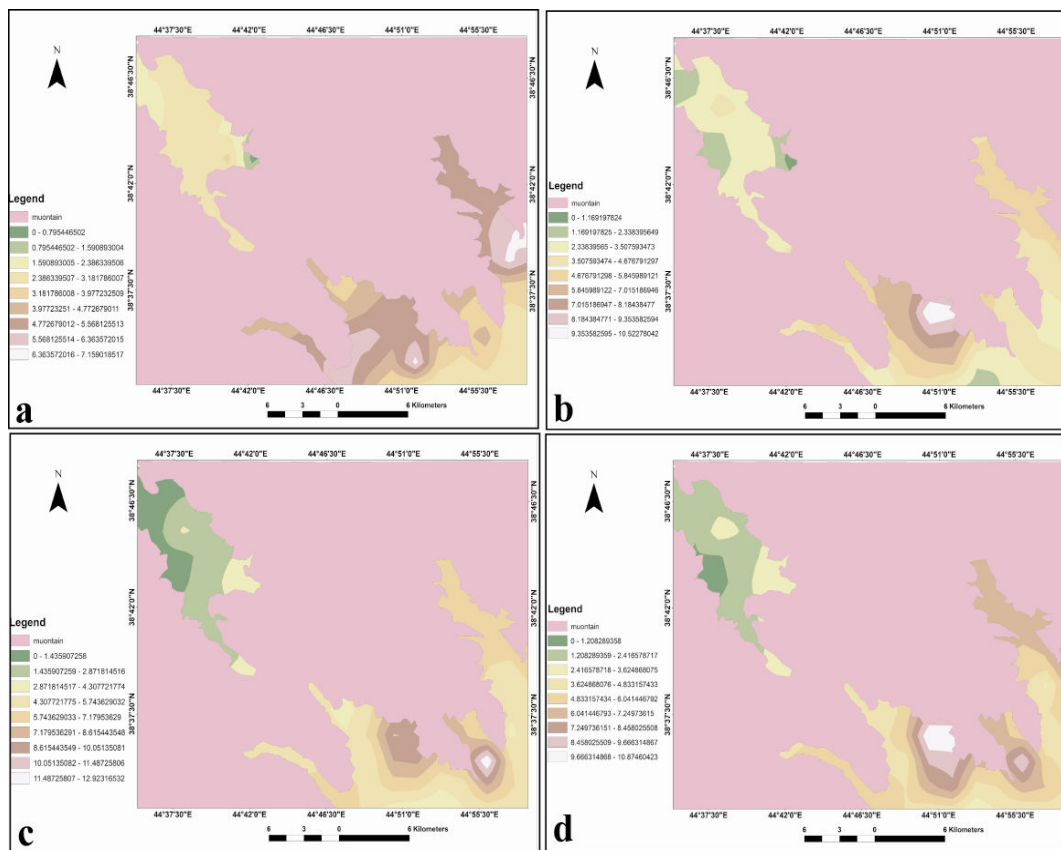
شکل ۸- نمودار پارامترهای آماری مولفه‌های شیمیایی (مهر-۸۹).



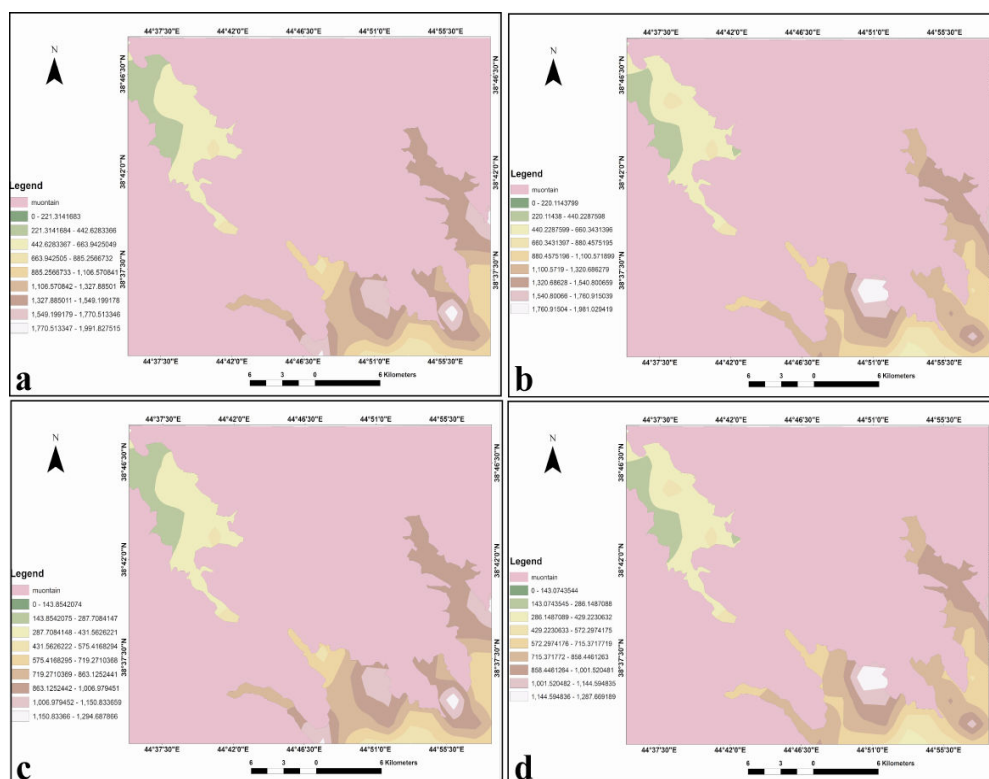
شکل ۹- نمودار پارامترهای آماری مولفه‌های شیمیایی (خرداد-۹۰).



شکل ۱۰- الف و ب) به ترتیب، نقشه هم‌سختی (Th) مه‌رماه سال ۱۳۸۹ و خرداد ۹۰ (کل محدوده). ج و د) به ترتیب، نقشه هم‌pH مهر ۸۹ و خرداد ۹۰ (کل محدوده).



شکل ۱۱- الف و ب) به ترتیب، نقشه هم‌کلسیم مه‌رماه سال ۱۳۸۹ و خرداد ۹۰ (کل محدوده). ج و د) به ترتیب، نقشه هم‌pH منیزیم مهر ۸۹ و خرداد ۹۰ (کل محدوده).



شکل ۱۲- الف و ب) به ترتیب، نقشه هم‌EC مهرماه سال ۱۳۸۹ و خرداد ۹۰ (کل محدوده). ج و د) به ترتیب، نقشه هم‌TDS مهر ۸۹ و خرداد ۹۰ (کل محدوده).

۸۹ (اشکال ۴ ا و ۱۴) مشخص می‌گردد که بین نقشه‌های هم‌کلر و هم‌هدایت الکتریکی، در هر دو دشت خوی و نیمه جنوبی دشت قره‌ضیاءالدین تشابه زیادی وجود دارد، بطوریکه این دو پارامتر وابسته به تغییرات زمانی و مکانی کم یا زیاد می‌شوند. تشابه میان این نقشه‌ها شاخص خوبی از تاثیر عامل تبخیر بر روی ترکیب آب زیرزمینی می‌باشد. ناهنجاری‌های مشاهده شده در نقشه‌های هم‌کلر همانند نقشه‌های هم‌هدایت الکتریکی می‌باشد، بطوریکه حداکثر مقدار کلر مربوط به روستاهای دیزجدیز و کورنای است. صرف نظر از مقدار کلر این نقاط، غلظت کلرور دشت خوی بین ۰/۲ و ۴/۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر متغیر است. به طور کلی در طول سال اختلاف چشم‌گیری در غلظت کلر مشاهده نمی‌گردد. کم بودن تراکم جمعیت و چاه‌های بهره‌برداری از عوامل کاهش غلظت کلر در دشت قره‌ضیاءالدین نسبت به شمال دشت خوی می‌باشند. بررسی نقشه‌های هم‌کلر دو دوره نمونه‌برداری مشخص می‌نماید که کمترین میزان کلر آب زیرزمینی مربوط به خرداد (پایان دوره تر) است. علت چنین وضعیتی، تغذیه مستقیم

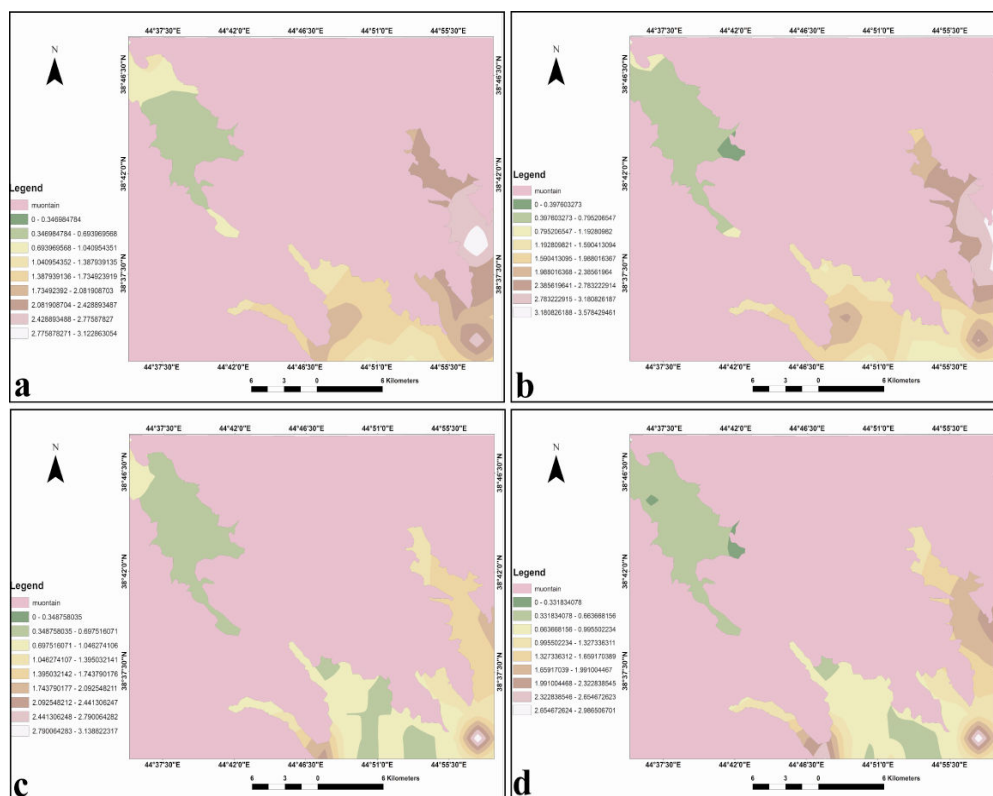
مفهوم «نسبت جذب سدیم»، در رابطه با واکنش‌های تبادل یونی و به ویژه نسبت ظرفیت تعویض یون سدیم با کاتیون‌های دو ظرفیتی کلسیم، منیزیم و تغییر خواص فیزیکی و خطر افزایش یون سدیم خاک، ارائه شده است [۱۰]. نقشه‌های هم SAR (اشکال ۱۳ ج و ۱۳ د)، شاخص بسیار خوبی در استفاده بهینه از آبخوان‌ها در آبیاری، کشاورزی و جلوگیری از شور شدن، سفت شدن و اصلاح خاک و نیز بررسی‌های ژئوشیمیایی حوضه‌های مطالعاتی می‌باشد. در طراحی شبکه‌های بزرگ آبیاری، زهکشی و تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها باید از نقشه‌های SAR تصحیح شده استفاده نمود. نقشه هم SAR منطقه مورد مطالعه در شکل (اشکال ۱۳ ج و ۱۳ د) نشان داده شده است. مقادیر محاسباتی SAR با قرار دادن غلظت کاتیون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم بر حسب mg/l در رابطه ۱ به دست می‌آید. توزیع میزان HCO_3^- در منطقه، نیز بر اساس نقشه‌های هم HCO_3^- مانند دیگر کاتیون و آنیون‌ها می‌باشد (اشکال ۱۴ الف و ۱۴ ب). با توجه به نقشه هم‌کلر سال آبی ۹۰ -

فیرورق ینگجه دارای بدترین کیفیت از نظر شرب، کشاورزی و صنعتی می‌باشد. در مقابل تمامی پارامترهای تعیین کننده کیفیت در نیمه جنوبی دشت قره‌ضیاءالدین دارای مقادیر استاندارد است. در کل با بررسی و تجزیه تحلیل داده‌های کیفیت شیمیایی ۳۱ حلقه چاه که در دو دوره (اواخر مهر ۱۳۸۹ و اواخر خرداد ۱۳۹۰) توسط نمودارهای شولر، پایپر، ویلکوکس، دورو و نقشه‌های هیدروژئوشیمیایی انجام شده است، مشخص می‌شود که کیفیت آب از لحاظ کشاورزی تقریباً مناسب و از لحاظ شرب مناسب و از لحاظ مصارف صنعتی در نیمه جنوبی دشت قره‌ضیاءالدین خورنده و در شمال و شمالغرب دشت خوی رسوبگذار و خورنده می‌باشند. اکثر منابع آب از لحاظ کشاورزی در طبقه C_2S_1 و C_3S_1 قرار می‌گیرند. بنابراین نشان دهنده کیفیت خوب تا متوسط برای مصارف کشاورزی هستند. کیفیت آب این دشت از لحاظ شرب بر اساس نمودار شولر و میزان سختی تقریباً مناسب می‌باشد.

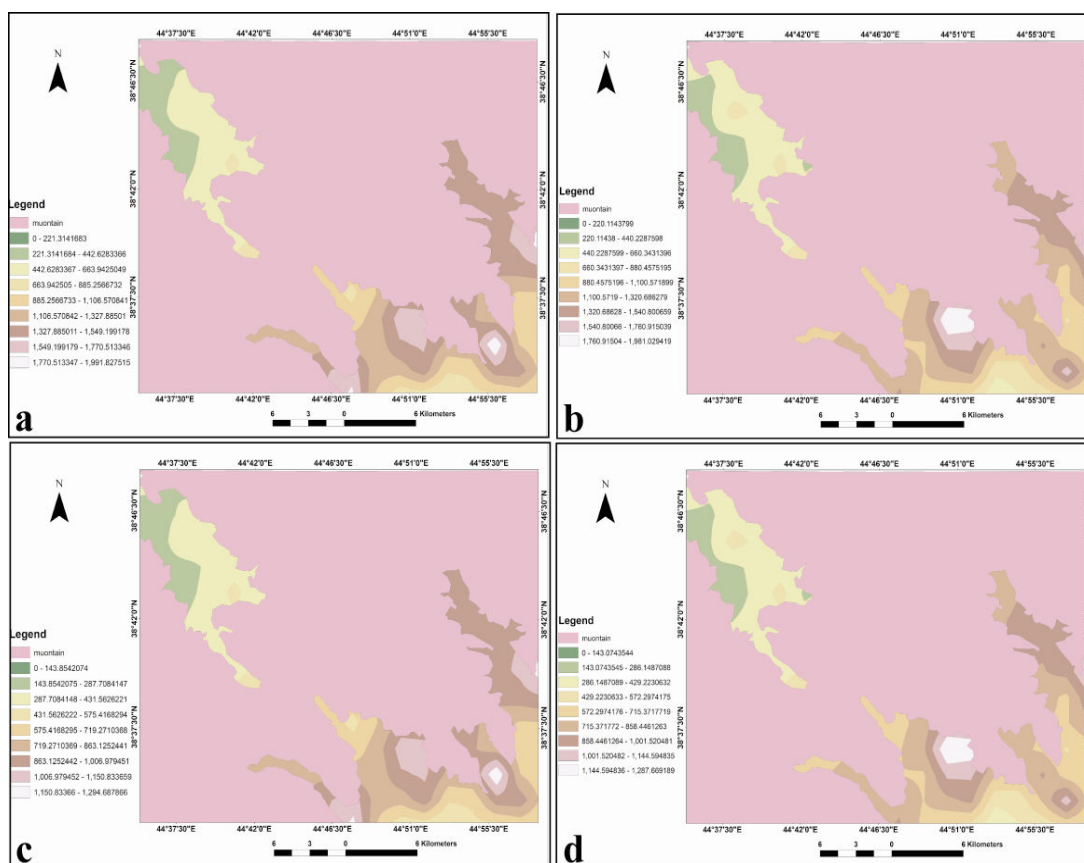
از ریزش‌های جوی و زمان ماندگاری کم این یون است. در حالیکه در انتهای دوره خشک (مهرماه) غلظت کلر به بیشترین میزان خود در نقاط مختلف دشت می‌رسد. کمترین و بیشترین غلظت کلر نیز روندی مشابه میزان EC دارد. در هر حال تغییرات کلر در یک نمونه، در طول سال اندک است و بیشترین غلظت کلر آن در انتهای دوره خشک اندازه‌گیری شده است. به طور کلی، میزان کلر اندازه‌گیری شده در دشت خوی به مراتب بیش‌تر از دشت قره‌ضیاءالدین می‌باشد. به طور کلی در منطقه مورد مطالعه میزان یون‌های HCO_3^- ، منیزیم و کلسیم بیشتر از بقیه یون‌ها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نقشه‌ها و نمودارها مطالعاتی، آب‌های زیرزمینی در شمال و شمال‌غرب خوی به خصوص در میانه‌های جاده پسک و روستاهای قشلاق فیرورق، دیزج‌دیز و



شکل ۱۳- الف و ب) به ترتیب، نقشه هم‌سولفات مهرماه سال ۱۳۸۹ و خرداد ۹۰ (کل محدوده). ج و د) به ترتیب، نقشه هم‌SAR مهر ۸۹ و خرداد ۹۰ (کل محدوده).



شکل ۱۴- الف و ب) به ترتیب، نقشه هم HCO_3 مه‌رمه سال ۱۳۸۹ و خرداد ۹۰ (کل محدوده). ج و د) به ترتیب، نقشه هم کلر مهر ۸۹ و خرداد ۹۰ (کل محدوده).

منابع

- [۱] آقاباتی، ع (۱۳۸۱) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۲] بهرامی، م (۱۳۸۸) مبانی ژئوشیمی، انتشارات دانشگاه پیام نور، ص ۳۱۲-۳۱۰.
- [۳] پیش نویس استانداردها (۱۳۷۳) راهنمای تهیهی نقشه‌های هیدروژئوشیمیایی پروژه‌های منابع آب، وزارت نیرو.
- [۴] حسنی‌پاک، ع، ا (۱۳۸۹) اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۵] رادفر، ج، امینی، ب، امامی، م، ه، خلعتبری، م، بهره مند، م (۱۳۷۶) نقشه زمین‌شناسی خوی، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۶] سازمان آب منطقه‌ی ارومیه (۱۳۹۰) داده‌های شیمی آب.
- [۷] صداقت، م (۱۳۷۲) زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- [۸] گلکار، ف، فرهمند، ع (۱۳۸۹) آلودگی های محیط زیست، انتشارات ماندگار.
- [۹] مقیمی، ه (۱۳۸۵) هیدروژئوشیمی، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- [10] Afzal, S., I., Ahmad, M., Younas, M., Din Zahid, M. H., Atique Khan, A., and Ali, K (2000) Study of water quality of Hudriara drain, India-Pakistan, Environment International, Vol: 26, pp: 87-96.
- [11] Appelo, C. A. J., and Postma, D (1994) Geochemistry, Groundwater and pollution. Brookfield, 2th Balkema, Rotherdam, 536 pp.
- [12] Douglas, M., Clark, I. D., Raven, K., and Bottomleg, D (2000) Groundwater mixing dynamics at a Canadian Shield mine. Hydrogeol Journal, Vol: 235, pp: 88-10.
- [13] Ghazi, A. M., Pessagno, E. A., and Hasanipak, A. A (2003) Biostratigraphic zonation and $^{40}Ar/^{39}Ar$ ages for the Neotethyan Khoy ophiolite of NW Iran. ELSEVER, PALAEO, Vol: 193, pp: 311-323.

- [17] Liu, D. H. F., and Liptak, D. G (2000) groundwater and surface water pollution. CRC Press LIC. 150 pp.
- [18] Sikdar, P. K., Sarkar, S. S., and Palchoudhury, S (2001) Geochemical evolution of ground water in the Quaternary aquifer of Calcutta and Howrah, India. Journal of Asian Earth Science, Vol: 19, pp: 579-594.
- [19] Todd, D. K (1980) Ground water hydrology. 2d, Ed., John Wiley, New York, 535pp.
- [20] Todd, D. K., and Mays, L.W (2005) Groundwater hydrology. Third edition. John Wiley & sons Inc.
- [14] Hem, J. D (1992) Groundwater characteristics and interpretation, Third edition, U. S. Geological Survey, Washington, 263pp.
- [15] Karanth, K. R (2001) Groundwater Assessment Development and management. MCGraw-Hill. 72 pp.
- [16] Khalatbari-Jafari, M., Juteau, T., Bellon, H., and Emami, H (2004) New geological, geochronological and geochemical investigations on the Khoy ophiolites and related formations, NW Iran. ELSEVER, Journal of Asian Science, Vol: 23, pp: 507-535.