

بررسی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی آبخوان دشت سیدان-فاروق، استان فارس

مجتبی قره محمودلو^{۱*}، علی حشمت پور^۱، نادر جندقی^۱، علی زارع^۲، حسین مهربانی^۳

۱. استادیار دانشگاه گنبد کاووس، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه آبخیزداری

۲. کارشناس امور آب سیدان-فاروق

۳. دانشجوی مهندسی آب، دانشگاه گنبد کاووس

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۳/۳۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۰۷/۱۵)

چکیده

در پژوهش حاضر، به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی دشت سیدان-فاروق از نتایج به دست آمده از یک دوره آنالیز شیمیایی ۱۲ حلقه چاه طی سال ۱۳۹۵ استفاده شده است. براساس نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای شیمیایی، کیفیت آب در جهت جریان آب زیرزمینی، از سمت شمال غرب به سمت جنوب شرق دشت کاهش می‌یابد. بررسی سازندهای زمین‌شناسی منطقه نشان داد کیفیت آب زیرزمینی در مجاورت سازندهای تغذیه‌کننده دشت که بیشتر کربناته اند، مناسب است و به طرف خروجی دشت و در نزدیکی سازند کژدمی و نیز رسوبات رسی-مارنی از کیفیت آن کاسته می‌شود. بر اساس نمودار استیف تیپ غالب دشت بی‌کربنات کلسیک است، اگرچه در برخی چاه‌ها (مانند چاه‌های ۴ و ۶) آنیون کلرید غالب می‌شود. نمودار پایپر آب زیرزمینی دشت فاروق-سیدان نشان دهنده پنج رخساره هیدروژئوشیمیایی با ترکیب یون‌های غالب بی‌کربنات و کلسیم است. بر اساس نمودار گیبس، واکنش آب-سنگ منشأ اصلی یون‌ها و نیز تغییر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی در دشت مطالعه شده است. همچنین، به منظور تعیین منشأ املاح و یون‌ها در آبخوان مطالعه شده از نسبت‌های یونی ژئوشیمیایی استفاده شد. نمودارهای ژئوشیمیایی ضمن تأیید فعال‌بودن واکنش‌های آب-سنگ در آبخوان مطالعه شده، نشان‌دهنده تأثیر انحلال رسوبات رسی-مارنی، فرایند تبادل یونی معکوس و در برخی مناطق تأثیر فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب زیرزمینی است. از آنجا که در هیچ یک از نمودارهای ترکیبی الگوی خطی دیده نمی‌شود و پراکندگی نمونه‌ها بیشتر در دو منطقه است، می‌توان نتیجه گرفت که حداقل دو منبع تغذیه‌کننده سفره آب زیرزمینی وجود دارد.

کلیدواژگان: نسبت‌های یونی، نمودارهای ترکیبی، هیدروژئوشیمی.

مقدمه

هدف از پژوهش حاضر، نخست بررسی هیدروشیمی آب زیرزمینی دشت سیدان- فاروق و تعیین عوامل و فرایند غالب کنترل کننده شیمی آب زیرزمینی و سپس، بررسی تغییرات غلظت یون‌ها در آب زیرزمینی و در آخر، تأثیرپذیری آن از ترکیب سنگ‌شناسی سازندهای موجود با استفاد از نسبت‌های یونی و نمودارهای ترکیبی است.

مواد و روش‌ها

موقعیت و زمین‌شناسی منطقه مطالعه شده

دشت سیدان- فاروق یکی از دشت‌های شهرستان مرودشت (شکل ۱- b) است که در مرکز حوضه آبریز دریاچه‌های طشک، بختگان و مهارلو قرار دارد. این محدوده از شرق به محدوده مطالعاتی ارسنجان، از جنوب به توابع ارسنجان، از جنوب غرب، غرب و شمال غرب به مرودشت خرامه و از شمال به محدوده سعادت‌آباد محدود شده است. مساحت محدوده مطالعه شده ۳۶۹ کیلومترمربع است که حدود ۲۲۳ کیلومترمربع آن را ارتفاعات و ۱۴۶ کیلومترمربع را دشت تشکیل می‌دهد. ارتفاع متوسط دشت حدود ۱۷۰۲/۶۳ متر از سطح تراز آب دریاست. بیشترین ارتفاع حوضه ۲۸۴۰ متر در ارتفاعات شمالی سیوند (کوه سیدان) و کمترین ارتفاع آن در محل خروجی آب‌های سطحی در تنگ گلوآسیاب معادل ۱۶۲۰ متر از سطح دریاست. این حوضه با توجه به وسعتی که دارد، جزء حوضه‌های متوسط است. محدوده مطالعه شده بر اساس مطالعات هواشناسی در محدوده خشک و نیمه‌خشک سرد قرار دارد که متوسط بارندگی سالانه آن حدود ۳۴۵ میلی‌متر است.

کیفیت آب‌های زیرزمینی در هر منطقه متأثر از خصوصیات زمین‌شناسی (تنوع سنگی، میزان خلل و فرج سنگ‌ها، انحلال‌پذیری آنها...) هر منطقه است. از این‌رو، مطالعات زمین‌شناسی می‌تواند کمک شایانی به تفسیر داده‌های هیدروژئوشیمی در منطقه مطالعه شده کند. دشت سیدان-فاروق در حوزه زاگرس جنوبی قرار دارد. قسمت بیشتر واحدهای سنگی منطقه را سازندهای کرتاسه در بر گرفته است. از مهم‌ترین سازندهایی که در محدوده مطالعه شده رخنمون دارند، عبارت‌اند از: سازند نیریز، سازند سورمه، سازند فهلیان، سازند گداوان، سازند داریان، سازند کژدمی، سازند سروک و رسوبات کواترنری که بیشتر از سنگ‌های آهکی، دولومیتی، شیلی، مارنی و رسوبات

دشت سیدان- فاروق یکی از قطب‌های کشاورزی و دامداری در استان فارس است و آب زیرزمینی تنها منبع آبی برای این نوع فعالیت‌ها محسوب می‌شود، بنابراین بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی به عنوان مهم‌ترین منبع تأمین کننده آب برای این فعالیت‌ها، اهمیت زیادی دارد.

ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی در یک دشت متأثر از ترکیب آب‌های تغذیه کننده، وضعیت خشک‌سالی و ترسالی منطقه، ترکیب رسوبات نهشته شده و فرایندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر لایه آبداری است که در آن جریان دارد [۱ و ۲]. انحلال، تبادل یونی، تبادل وارونه، واکنش آب - سنگ و رسوب‌گذاری از مهم‌ترین فرایندهای هیدروژئوشیمیایی هستند که ترکیب شیمیایی آب زیرزمین را کنترل می‌کنند. این فرایندها بسته به ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی لایه‌های آبدار، به لحاظ زمانی و مکانی بسیار متفاوت‌اند [۳]. بنابراین، مطالعات هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌ها می‌تواند اطلاعات مفیدی را در زمینه تأثیر مواد متشکله آبخوان و منطقه، مسیر جریان آب، تأثیر سنگ کف، نواحی تغذیه و تخلیه، نواحی تبخیر از آب زیرزمینی و تأثیر آب‌های سطحی بر آب زیرزمینی و کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب، کشاورزی و صنعت در اختیار قرار دهد [۲].

برای مطالعه ترکیب شیمیایی آب، عوامل کنترل کننده کیفیت آب‌های زیرزمینی و تعیین منشأ املاح از روش‌های گوناگونی در تحقیقات مختلف استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به تجزیه و تحلیل غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها، ترسیم نمودار پایپر به منظور تعیین تیپ و رخسار آب زیرزمینی، استفاد از نسبت‌های یونی، نمودارهای ترکیبی، مدل‌های کیفی، نمایه‌های اشباع مختلف و فاکتور عاملی که نوعی روش آماری چندمتغیره است، اشاره کرد [۴ و ۵]. در خصوص بررسی کیفی آب‌های زیرزمینی و شناخت عوامل مؤثر بر ترکیب آب زیرزمینی پژوهش‌های فراوانی در ایران و خارج از کشور انجام شده است که از آن جمله می‌توان به کیم و همکارانش (۲۰۱۵)، تفرشی و همکارانش (۱۳۹۵)، بواتنگ و همکارانش (۲۰۱۶)، یانگ و همکارانش (۲۰۱۶)، عزیزی و همکارانش (۱۳۹۶) و پاژند و همکارانش (۲۰۱۸) اشاره کرد [۴ و ۶-۱۰].

مطالعه‌شده از نتایج یک دوره آنالیز شیمیایی ۱۲ حلقه چاه در خردادماه ۱۳۹۵ استفاده شد (جدول ۱). در تحقیق حاضر برای بررسی شیمی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی نمونه‌های آبی دشت مطالعه‌شده از دیاگرام‌های مثلثی استفاده شد [۱۱]. بر اساس این دیاگرام، کلسیم و منیزیم کاتیون‌های غالب آب در دشت سیدان- فاروق هستند (شکل ۲-ا). به طوری که بیش از ۵۰ درصد نمونه‌های آب غنی از یون‌های کلسیم و منیزیم‌اند. بقیه نمونه‌ها تمایل به سمت مرکز مثلث دارند. این نمونه‌ها یک کاتیون غالب ندارند. میزان غلظت یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} در میان سازندهای آهکی (قلیایی) به ترتیب بین ۴-۰/۲ و ۵۸-۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. به جز یک نمونه (چاه ۴) که غلظت سدیم در آن بیشتر از حد مجاز است، در دیگر نمونه‌ها غلظت Ca^{2+} ، Mg^{2+} و Na^+ کمتر از حد مجاز (به ترتیب ۲۰۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم) است [۱۲]. با توجه به دیاگرام مثلثی، بی‌کربنات و کلراید دو آنیون غالب آب زیرزمینی در دشت سیدان-فاروق‌اند (شکل ۲-ب). از این رو، می‌توان آنها را به ترتیب جزء آب‌های بی‌کربناته و کلریده به حساب آورد. حدود ۳۰ درصد نمونه‌ها آنیون غالب ندارند و در هیچ یک از نمونه‌ها آنیون سولفات غالب نیست.

عوامل کنترل‌کننده شیمی آب زیرزمینی

به منظور تعیین وضعیت هیدرووشیمیایی آب زیرزمینی دشت سیدان- فاروق از نمودارهای TDS در مقابل نسبت‌های کاتیونی $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+})$ و $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ (شکل ۳). براساس نمودار گیبس مهم‌ترین عواملی که می‌توانند شیمی آب را کنترل کنند، عبارت‌اند از: ۱. تبخیر، ۲. تبخیر و رسوب‌گذاری، ۳. سنگ منشأ و بارندگی [۱۳] و ۱۴]. با توجه به نمودار گیبس، ترکیب شیمیایی بیش از ۸۰ درصد نمونه‌ها توسط سنگ بستر آب زیرزمینی کنترل می‌شود.

ناپیوسته (عهد حاضر) تشکیل شده‌اند (شکل ۱-۱). درخور یادآوری است که حدود ۵۰ درصد سطح حوضه توسط رسوبات آبرفتی پوشیده شده است.

روش کار

به منظور انجام پایش کیفی آبخوان دشت سیدان- فاروق در خردادماه ۱۳۹۵ از ۱۲ حلقه چاه نمونه‌برداری شد (شکل ۱-د). نمونه‌های آب در بطری‌های ۲۵۰ میلی‌متری جمع‌آوری شدند که قبلاً اسیدشویی شده و با آب مقطر شسته شده بودند. موقع نمونه‌برداری نیز هر بطری سه بار با آب چاه شست و شو داده شد. بعد از انجام نمونه‌برداری، نمونه‌ها بلافاصله داخل کلمن حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند. میزان برخی پارامترها نظیر pH، دما (T) و هدایت الکتریکی (EC) هنگام نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. در حالی که میزان پارامترهای شیمیایی نظیر کل مواد جامد محلول (TDS)، بی‌کربنات (HCO_3^-)، کلراید (Cl^-)، سولفات (SO_4^{2-})، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سدیم (Na^+)، پتاسیم (K^+) در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. محاسبه درصد خطای موازنه یونی اختلاف کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان گرم بر لیتر نشان داد خطای انجام آزمایش در تمامی نمونه‌ها در حد استاندارد تعیین‌شده برای صحت داده‌هاست.

نقشه‌های مربوط به تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در مناطق مختلف دشت با استفاده از نرم‌افزار ArcGis9.3 تهیه شده و روند تغییرات آنها در محدوده مطالعه‌شده تفسیر شد. برای تحلیل بهتر داده‌های هیدروژئوشیمیایی و نیز ترسیم دیاگرام‌های استیف^۱، پایپر^۲ و سه‌گانه^۳ از نرم‌افزار Aq.QA استفاده شد. در نهایت، به‌منظور شناسایی عوامل حاکم بر تغییر کیفیت آب زیرزمینی و نیز بررسی روابط بین متغیرها از دیاگرام گیبس، نسبت‌های یونی و نمودارهای ترکیبی استفاده شد. تمامی نمودارهای یادشده در محیط Excle تهیه شدند.

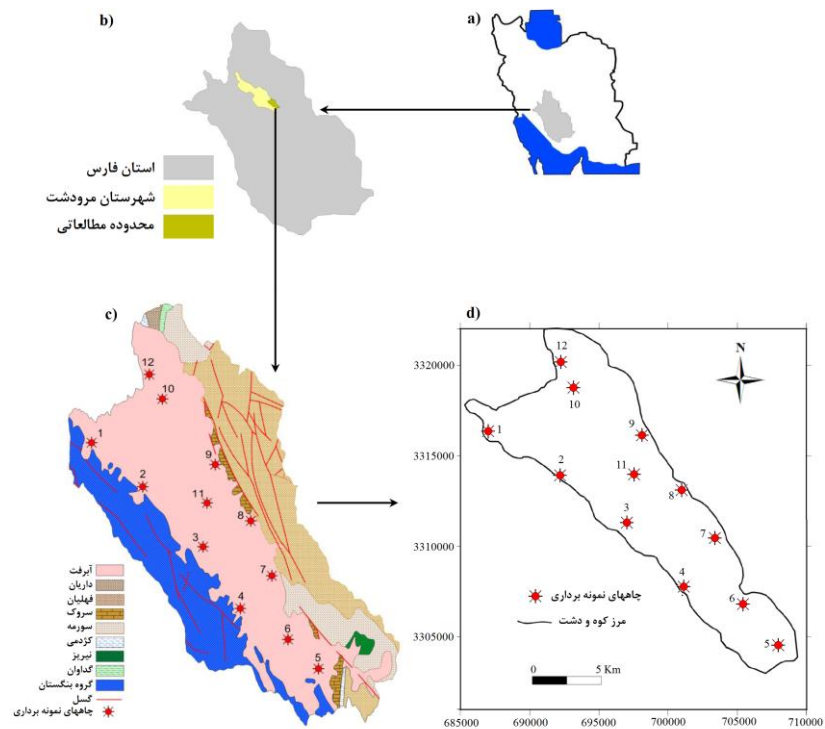
نتایج

شیمی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی

به‌منظور بررسی هیدرووشیمی آب زیرزمینی دشت

4. Evaporation
5. Evaporation-precipitation
6. Rock
7. Rainfall

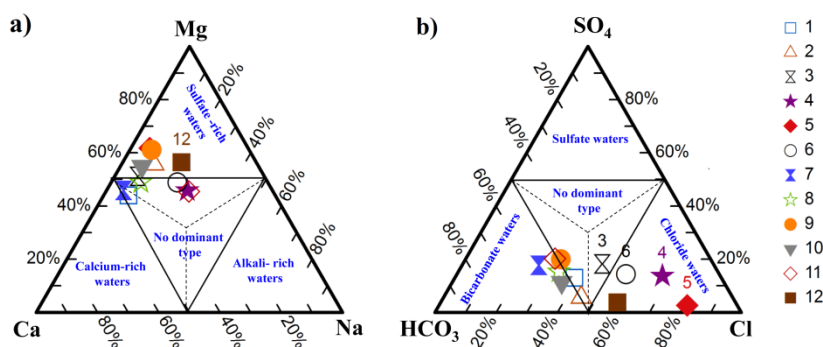
1. Stiff Diagram
2. Piper Diagram
3. Ternary Diagram



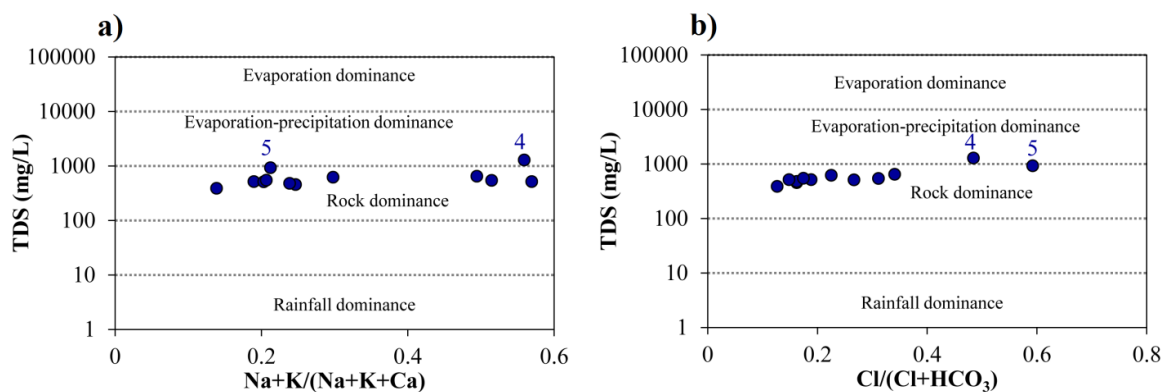
شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی دشت سیدان - فاروق در استان فارس و کشور (a و b) به همراه نقشه زمین شناسی (c) و نقشه پراکندگی چاهها (d)

جدول ۱. نتایج پارامترهای فیزیکوشیمیایی چاههای نمونه برداری در خردادماه ۱۳۹۵ (غلظت آنیونها و کاتیونها برحسب TDS meq/L برحسب EC و mg/L برحسب $\mu\text{mho/cm}$ است).

شماره چاه	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	TDS	EC	pH
۱	۴/۵	۲/۵	۰/۸۵	۰/۰۴	۵	۰/۹	۲	۵۱۳	۷۵۲	۷/۱۱
۲	۴	۴	۱/۴۱	۰/۰۴	۶	۰/۵	۳	۶۱۷	۹۳۰	۷/۵۸
۳	۴	۳	۰/۸۲	۰/۰۴	۴	۱/۳۵	۲/۵	۵۱۰	۷۵۹	۷/۱۵
۴	۶/۵	۶/۵	۷/۰۴	۰/۰۸	۶/۵	۲/۸۹	۱۰/۵	۱۲۸۰	۱۹۱۷	۶/۹۱
۵	۶	۷	۱/۲۹	۰/۰۷	۴	۰/۴۲	۱۰	۹۲۱	۱۴۱۹	۷/۱۹
۶	۳/۵	۳/۵	۲/۹۱	۰/۰۴	۴/۵	۱/۴	۴	۶۴۴	۹۸۲	۷/۱
۷	۳/۵	۲	۰/۴۴	۰/۰۳	۴	۰/۹۵	۱	۳۸۷	۵۸۴	۷/۹۷
۸	۳/۵	۲/۵	۰/۹۳	۰/۰۴	۴/۵	۰/۹۴	۱/۵	۴۵۲	۶۸۵	۷/۳۴
۹	۳	۳/۵	۰/۷۵	۰/۰۴	۴/۵	۱/۳	۱/۵	۴۷۵	۷۱۹	۷/۳۲
۱۰	۴	۳/۵	۰/۸۴	۰/۰۴	۵/۵	۰/۸۵	۲	۵۴۳	۸۱۸	۷/۴۷
۱۱	۲/۵	۲/۵	۲/۸۱	۰/۰۴	۵	۱/۴	۱/۵	۵۱۳	۷۴۴	۷/۳۱
۱۲	۲/۵	۳/۵	۲/۲۴	۰/۰۴	۴/۵	۰/۳	۳/۵	۵۳۹	۸۱۸	۷/۳
بیشترین	۶/۵	۷	۷/۰۴	۰/۰۸	۶/۵	۲/۸۹	۱۰/۵	۱۲۸۰	۱۹۱۷	۷/۹۷
کمترین	۲/۵	۲	۰/۴۴	۰/۰۳	۴	۰/۳	۱	۳۸۷	۵۸۴	۶/۹۱



شکل ۲. دیاگرام سه‌گانه $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{Na}^+$ برای تعیین کاتیون غالب (a) و $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{Cl}^-$ برای تعیین آنیون غالب (b) [۱۱]



شکل ۳. عوامل کنترل‌کننده شیمیایی آب زیرزمینی دشت سیدان- فاروق [۱۴]
(a) براساس کاتیون‌های غالب آب زیرزمینی، (b) برحسب آنیون‌های غالب آب زیرزمینی

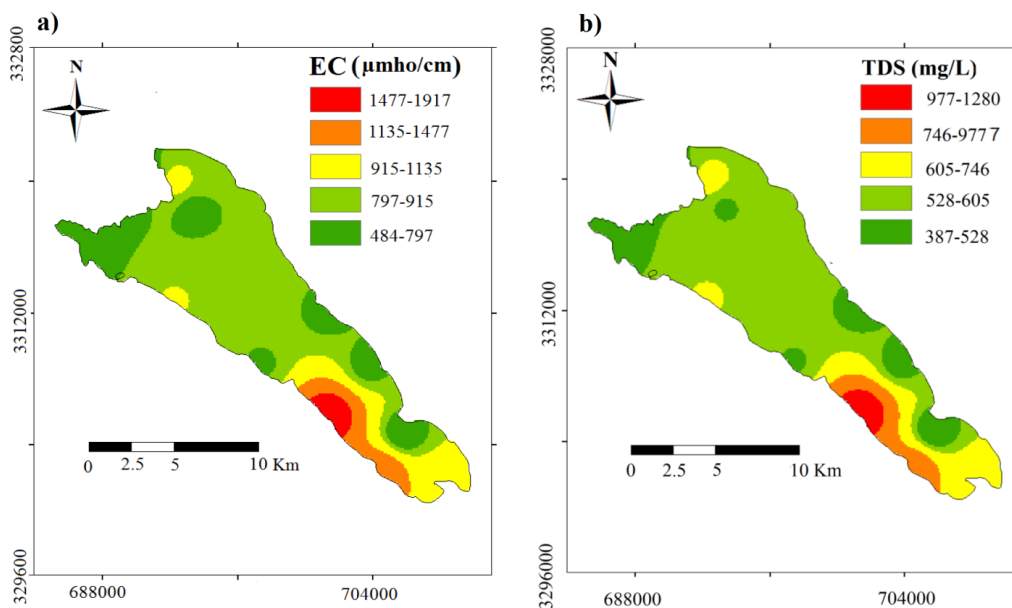
دشت توسط سازند کژدمی (متشکل از شیل سیاه، آهک شیلی و آهک رسی)، عبور آب از تشکیلات رسی-مارنی جنوب دشت و نیز تأثیر آب برگشتی حاصل از کشاورزی دانست.

شکل ۴- b پهنه‌بندی TDS^۱ را در محدوده مطالعه شده نشان می‌دهد. به طور کلی، تغییرات آن در منطقه حدود ۳۸۷ تا ۱۲۸۰ میلی‌گرم بر لیتر نوسان دارد. روند تغییرات EC و TDS شباهت زیادی به یکدیگر دارند، به طوری که بیشترین تغییر مربوط به جنوب و منطقه خروجی آب زیرزمینی است، جایی که میزان املاح محلول در آب با توجه به تماس با رسوبات رسی و نیز کاهش حرکت آب، افزایش یافته است [۱۵]. در بقیه نقاط دشت تغییرات به صورت تقریباً یکنواخت دیده می‌شود.

از این رو، واکنش آب-سنگ مهم‌ترین عامل در تغییر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت سیدان- فاروق است، اگرچه در برخی چاه‌ها، نظیر چاه‌های ۴ و ۵ تبخیر-ته‌نشینی تأثیر زیادی در تغییر کیفیت شیمیایی این دو چاه دارد.

پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب

با توجه به نتایج آنالیز شیمیایی چاه‌های دشت مطالعه شده، دامنه نوسانات هدایت الکتریکی (EC) در دشت سیدان- فاروق بین ۵۸۴ تا ۱۹۱۷ میکروموس بر سانتی‌متر در نوسان است. به علت تغذیه دشت توسط سازندهای آهکی نظیر سازندهای سورمه، سازند کربناته داریان، فهلیان و سازند، هدایت الکتریکی در حاشیه دشت کم است (شکل ۴- a). در قسمت‌های خروجی میزان هدایت الکتریکی تا ۱۹۱۷ میکروموس بر سانتی‌متر افزایش می‌یابد. این امر را می‌توان ناشی از تغذیه این قسمت از



شکل ۴. پهنه‌بندی هدایت الکتریکی (a) و مواد جامد محلول (TDS) (b) آب زیرزمینی محدوده مطالعه شده

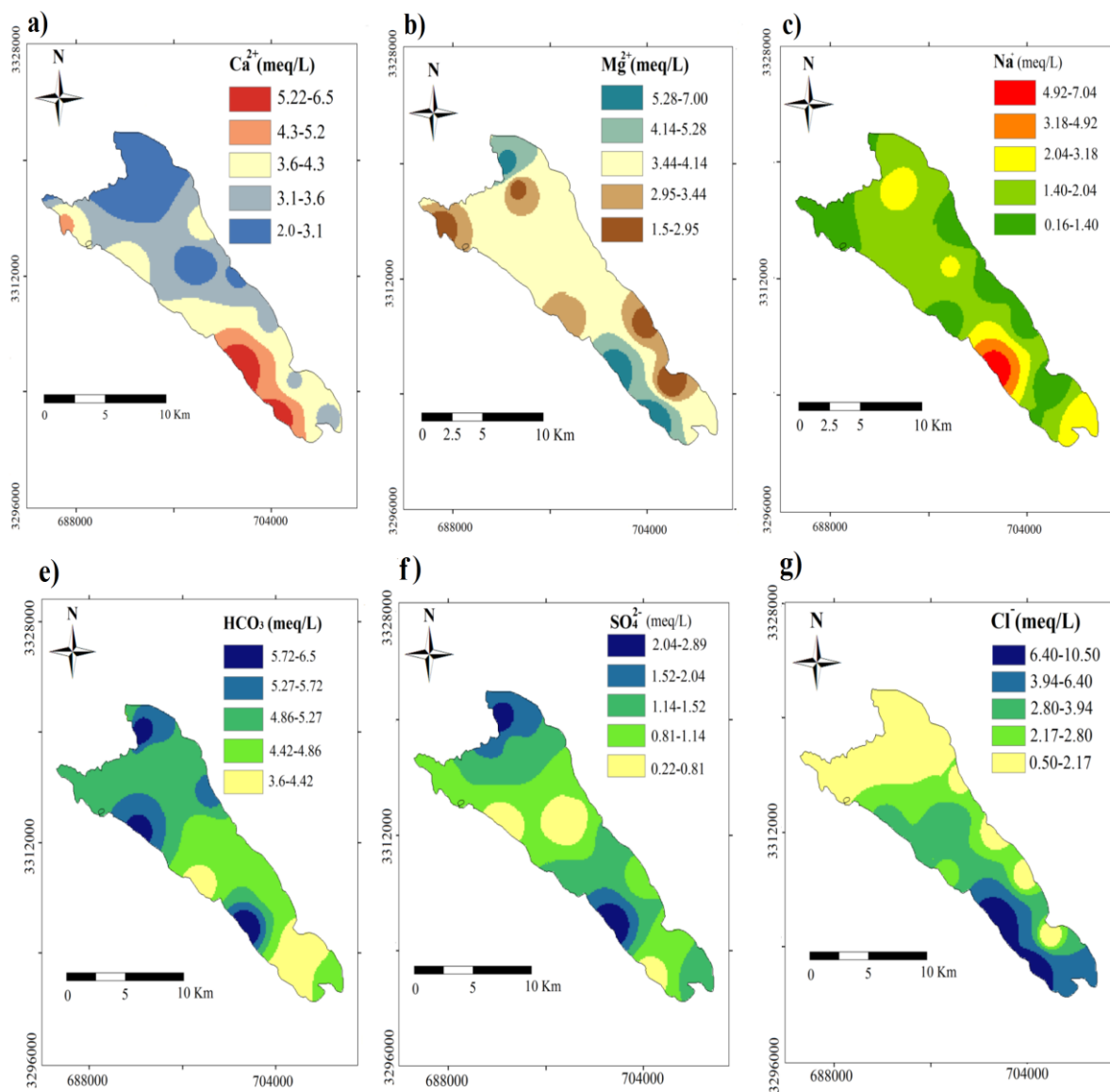
افزایش میزان یون سدیم در این قسمت از دشت است. بی‌کربنات مهم‌ترین آنیون موجود در آب‌های طبیعی است. به طور کلی، تغییرات بی‌کربنات در محدوده مطالعه شده بین حدود ۴ تا ۶/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر است (شکل ۵-۵). به علت وجود سازندهای آهکی در اطراف منطقه و تغذیه آبخوان آبرفتی توسط این سازندها میزان یون یادشده در بیشتر نقاط دشت افزایش یافته است. سولفات یکی دیگر از یون‌های اصلی موجود در آب به خصوص در نواحی جنوب ایران است. عوامل ایجادکننده این یون در آب‌های زیرزمینی شامل اکسایش سنگ‌های سولفیدی معدنی و انحلال سنگ‌های گچی (ژیپس) است. به طور کلی، تغییرات آن در آب زیرزمینی منطقه مطالعه شده حدود ۰/۳ تا ۲/۸۹ میلی‌اکی‌والان بر لیتر نوسان دارد. در قسمت جنوب شرقی دشت میزان سولفات افزایش یافته که علت آن وجود لایه‌هایی با کیفیت بد و همچنین آبرفت رسی-مارنی در نزدیکی خروجی دشت است (شکل ۵-۶). در قسمت شمال غربی دشت مطالعه شده نیز میزان سولفات افزایش یافته است. بررسی‌های انجام شده نشان داد میزان سولفات در این منطقه به صورت فصلی و با شروع به کار واحدهای صنعتی شامل کارخانه‌های تولید رب گوجه‌فرنگی، به طور غیرطبیعی افزایش می‌یابد. یکی از یون‌های مهم موجود در آب زیرزمینی کلراید است. منبع اصلی این یون در آب زیرزمینی، سنگ‌های رسوبی به خصوص سنگ نمک و نیز

به‌طور کلی، تغییرات یون کلسیم در منطقه حدود ۲/۵ تا ۶/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی یون کلسیم را در محدوده مطالعه شده، میزان این یون در قسمت خروجی دشت و جنوب شرقی منطقه به دلیل همجواری آبخوان با لایه‌های غنی از کلسیم (سازند کژدمی که بیشتر از جنس شیل سیاه، آهک شیلی، آهک رسی و آبرفت رسی مارنی) رو به افزایش است (شکل ۵-۸). محدوده تغییرات یون منیزیم شبیه یون کلسیم حدود ۲ تا ۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. به دلیل تغذیه آبخوان توسط لایه‌های دولومیتی متراکم و تیره‌رنگ سازند داریان بیشترین میزان غلظت آن در شمال غرب است (شکل ۵-۸). در قسمت خروجی دشت (جنوب شرقی محدوده مطالعه شده) به دلیل وجود لایه‌هایی با کیفیت بد از سازند کژدمی، میزان منیزیم افزایش می‌یابد. در حالی که در بقیه نقاط، میزان منیزیم تقریباً به صورت یکنواخت است. انحلال هالیت مهم‌ترین عامل در افزایش غلظت یون سدیم در آب‌های زیرزمینی است. این یون همچنین می‌تواند از طریق هوازدگی فلدسپات‌ها، کانی‌های رسی و محلول‌هایی از قبیل میرابلیت به آب‌های زیرزمینی وارد شود. تغییرات یون سدیم در منطقه بین ۰/۴۴ تا ۷/۰۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. تغییرات غلظت یون سدیم در بیشتر مناطق دشت به جز قسمت جنوب شرقی منطقه، یکنواخت است. وجود سازند به همراه آبرفت رسی-مارنی، از عوامل اصلی در

تیپ و رخساره هیدروژئوشیمیایی

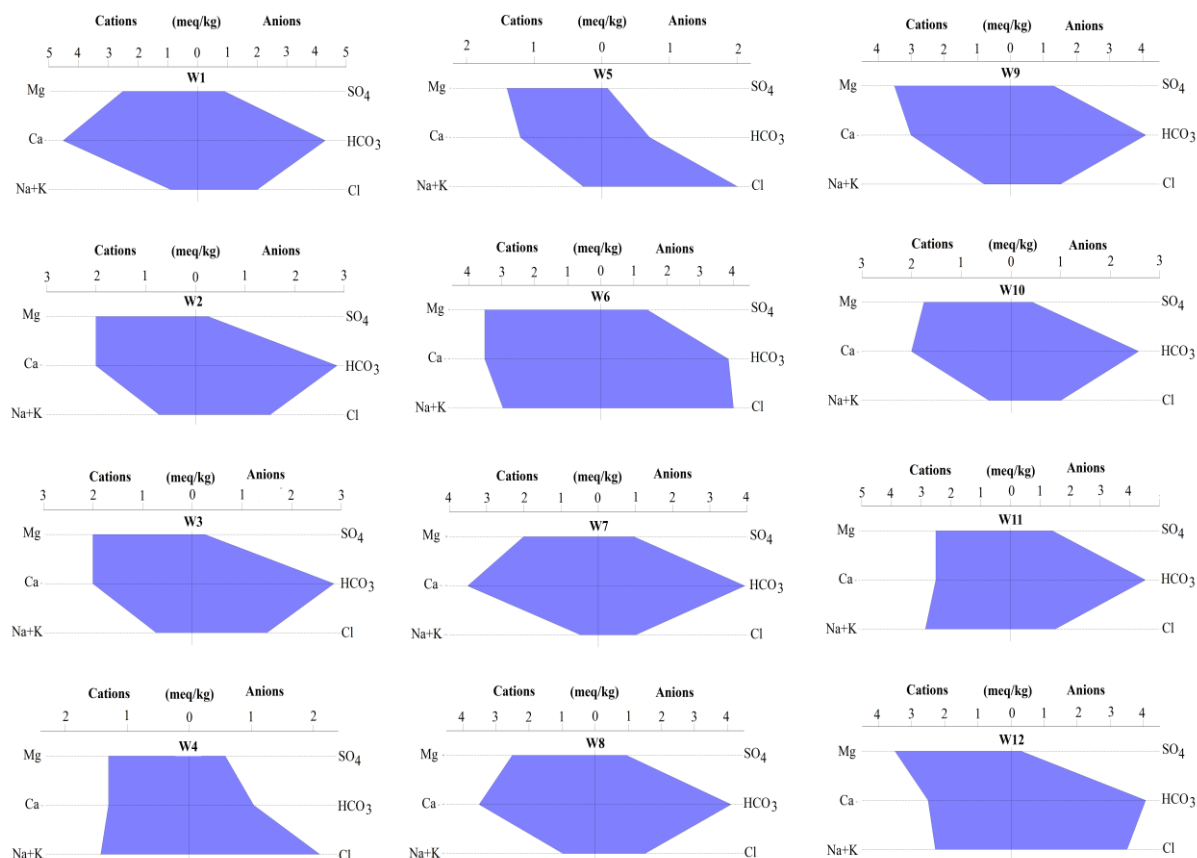
یکی از روش‌های بررسی کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی، بررسی تیپ و رخساره آنهاست. نمودار استیف یکی از روش‌های سریع تعیین تیپ آب زیرزمینی است. با رسم نمودار استیف علاوه بر تشخیص سریع تیپ آب، با توجه به پلی‌گون‌ها (اندازه و شباهت)، می‌توان به منشأ نمونه‌های آبی پی برد. شکل ۶ نمودارهای استیف نمونه‌های آب را نشان می‌دهد. بر این اساس، تیپ غالب دشت بی‌کربنات کلسیک است.

رسوبات رسی و شیلی است. روند تغییرات یون کلر تا حد زیادی از تغییرات هدایت الکتریکی و TDS تبعیت می‌کند به‌طور کلی تغییرات آن در منطقه حدود ۱ تا ۱۰/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر نوسان دارد (شکل ۵-۵). غلظت یون کلر نیز در حاشیه شمالی دشت کم و به سمت جنوب شرق منطقه افزایش یافته است. از مهم‌ترین دلایل آن می‌توان به تغذیه آب زیرزمینی توسط سازند کژدمی و نیز عبور آب زیرزمینی از آهک رسی و آبرفت رسی-مارنی اشاره کرد.



شکل ۵. پهنه‌بندی برخی یون‌های اصلی آب زیرزمینی در محدوده مطالعه‌شده

کلسیم (a)، منیزیم (b)، سدیم (c)، بی‌کربنات (d)، سولفات (e) و کلراید (f)



شکل ۶. نمودار استیف مربوط به چاه‌های نمونه برداری

جزء آب‌های ترکیبی اند. کیفیت این نوع تیپ در مقایسه با تیپ آب شیرین بدتر است. مقدار TDS آب‌های ترکیبی از ۵۰۰ تا ۹۵۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. از نظر سختی جزء آب‌های سخت^۵ و مقدار بی‌کربنات آنها مشابه آب‌های شیرین است. در این آب‌ها غلظت کلرید نسبت به آب‌های شیرین افزایش می‌یابد.

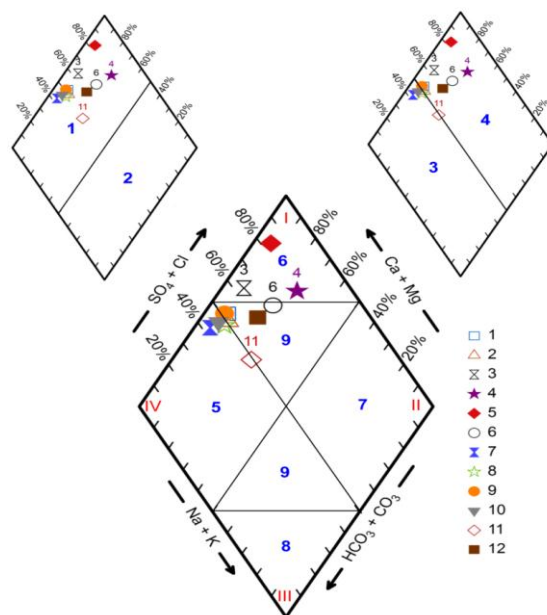
تعیین منشأ املاح و رسوبات با استفاده از نسبت‌های یونی ژئوشیمیایی

نسبت‌های یونی، شاخص‌های مناسبی در ارزیابی شیمی منابع آب هستند و استفاده از آنها در تعیین منشأ نمک‌ها، کمک فراوانی خواهد کرد [۱۷ و ۱۸]. در پیدایش ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، این نسبت‌ها متأثر از ترکیب شیمیایی کانی‌های محلول در آب است و مقدار کانی انحلال یافته در درجه بعدی اهمیت قرار دارد [۱۸]. از مهم‌ترین این نسبت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

رخساره‌های هیدروشیمیایی^۱ آب زیرزمینی، تعیین‌کننده توده‌های آبی با ماهیت ژئوشیمی متفاوت اند. اساس طبقه‌بندی رخساره‌ها مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های عمده (برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر) آب زیرزمینی است [۱۶]. براساس نمودار پایپر (شکل ۷) آب زیرزمینی دشت فاروق-سیدان به ترتیب پنج رخساره هیدروژئوشیمیایی Ca-Mg-HCO₃-Cl، Ca-Mg-HCO₃-Cl، Mg-HCO₃-Cl، Na-HCO₃-Cl، Cl-HCO₃ دارد. این پنج رخساره براساس مقدار مواد جامد محلول و میزان بی‌کربنات در دو نوع تیپ اصلی آب‌های شیرین^۲ و آب‌های ترکیبی^۳ قرار می‌گیرند [۱۶]. رخساره Ca-Mg-HCO₃ جزء تیپ آب شیرین بوده که از نظر سختی در رده سبک^۴ قرار دارد و نسبتاً شیرین و قابل شرب است. مقدار مواد جامد محلول این تیپ آب حدود ۲۱۰ تا ۷۵۵ میلی‌گرم بر لیتر است و مقدار متوسط بی‌کربنات آن بسیار زیادتر از کلرید است. باقی رخساره‌ها

1. Hydrochemical Facies
2. Fresh
3. Blended
4. Soft

5. Hard



شکل ۷. نمودار پایپر مربوط به آب زیرزمینی دشت سیدان- فاروق

غلظت سدیم به دلیل وجود رس‌های غنی از کلسیم (رسوبات مارنی) در مسیر جریان آب زیرزمینی است. آب زیرزمینی با شوری زیاد ($TDS > 500 \text{ mg/l}$) سبب آزاد شدن یون‌های کلسیم و منیزیم در آب و جذب سدیم توسط رس‌ها (فرایند تبادل یونی وارونه) می‌شود که این فرایند بیشترین تأثیر را بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی دشت سیدان- فاروق دارد.

نسبت $(\text{Cl}^- / \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$: روش اندیس رول^۱ بر پایه نسبت غلظت یون کلر به مجموع یون‌های بی‌کربنات و کربنات استوار است. یون‌های بی‌کربنات و کربنات معمولاً فراوان‌ترین یون‌های موجود در آب‌های زیرزمینی هستند و در آب دریا به مقدار جزئی وجود دارند، در مقابل مقدار یون کلر در آب‌های شور و یا آب دریا بیش از یون‌های دیگر بوده، اما در آب زیرزمینی معمولاً کم است. این اندیس معیار مناسبی برای ارزیابی و تشخیص آلودگی آب‌های زیرزمینی به وسیله آب دریا یا آب‌های شور فسیلی است [۱۷] و [۱۸]. در بیشتر نقاط دشت مقدار این نسبت کمتر یک است که تغذیه آبخوان توسط تشکیلات آهکی را نشان می‌دهد. اما در برخی نمونه‌ها (چاه‌های ۴ و ۵) مقدار این نسبت بیشتر از یک است (۱) $(\text{Cl}^- / \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}) > 1$ که بیان‌کننده تأثیر آب شور و احتمالاً کودهای شیمیایی در ترکیب شیمیایی این قسمت از دشت مطالعه شده است.

نسبت سدیم به کلر (Na^+/Cl^-): مقادیر نسبت سدیم به کلر اطلاعات مفیدی در زمینه منشأ یون کلر با سدیم می‌دهد. به طوری که اگر این نسبت برابر یک باشد ($\text{Na}^+ = \text{Cl}^-$)، منشأ سدیم از کانی‌های حالت است. در صورتی که میزان غلظت یون سدیم کوچک‌تر از کلر باشد ($\text{Na}^+ < \text{Cl}^-$)، نشان‌دهنده عکس تبادل یونی است. اگر میزان غلظت سدیم بیشتر از کلر باشد ($\text{Na}^+ > \text{Cl}^-$)، منشأ سدیم غیر از حالت احتمالاً از آلبیت یا تبادل یونی طبیعی است [۱۷]. مقادیر نسبت سدیم به کلر در آب‌های زیرزمینی دشت سیدان- فاروق در جدول ۲ نشان داده شده است. در بیشتر نمونه‌ها مقادیر $\text{Na}^+ < \text{Cl}^-$ نشان‌دهنده عکس تبادل یونی است [۱۳]. فقط در چاه ۱۱ این نسبت بزرگ‌تر از یک است.

نسبت $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Cl}^-)$: در صورتی که میزان این نسبت برابر با ۰/۵ باشد، نشان‌دهنده انحلال حالت در آب زیرزمینی است. مقادیر بیش از ۰/۵ برای این نسبت، نشان‌دهنده افزایش غلظت سدیم و ورود آن به آب زیرزمینی از منبعی غیر از انحلال حالت است. به بیان دیگر، فرایند تبادل کاتیونی و جانشینی یون‌های دو ظرفیتی نظیر کلسیم و منیزیم محلول در آب زیرزمینی با سدیم موجود در رس‌ها، سبب آزاد شدن این یون در آب می‌شود. با توجه به اینکه فقط در چاه ۱۱ این نسبت بیشتر از ۰/۵ است (جدول ۲)، این پدیده را می‌توان در محدوده چاه یادشده مشاهده کرد. در شرایطی که $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Cl}^-) < 0.5$ باشد، نشان‌دهنده کاهش

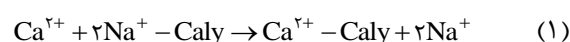
جدول ۲. میزان نسبت‌های یونی در محدوده مطالعه شده

شماره چاه	Na/Na+Cl	Na/Cl	Cl/HCO ₃ ⁻ +Cl ⁻	Cl/Sum Anions	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Mg ²⁺ /Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Ca/Ca ²⁺ +SO ₄
۱	۰/۲۹۸	۰/۴۲۵	۰/۴۰۰	۰/۲۵۳	۱/۸۰۰	۰/۳۵۷	۰/۸۳۳
۲	۰/۳۲۰	۰/۴۷۵	۰/۵۰۰	۰/۳۱۶	۱/۰۰۰	۰/۵۰۰	۰/۸۸۹
۳	۰/۲۴۷	۰/۳۲۸	۰/۶۲۵	۰/۳۱۸	۱/۳۳۳	۰/۴۲۹	۰/۷۴۸
۴	۰/۴۰۱	۰/۶۷۰	۱/۶۱۵	۰/۵۲۸	۱/۰۰۰	۰/۵۰۰	۰/۶۹۲
۵	۰/۱۱۴	۰/۱۲۹	۲/۵۰۰	۰/۶۹۳	۰/۸۵۷	۰/۵۳۸	۰/۹۳۵
۶	۰/۴۲۱	۰/۷۲۸	۰/۸۸۹	۰/۴۰۴	۱/۰۰۰	۰/۵۰۰	۰/۷۱۴
۷	۰/۳۰۶	۰/۴۴۰	۰/۲۵۰	۰/۱۶۸	۱/۷۵۰	۰/۳۶۴	۰/۷۸۷
۸	۰/۳۸۳	۰/۶۲۰	۰/۳۳۳	۰/۲۱۶	۱/۴۰۰	۰/۴۱۷	۰/۷۸۸
۹	۰/۳۳۳	۰/۵۰۰	۰/۳۳۳	۰/۲۰۵	۰/۸۵۷	۰/۵۳۸	۰/۶۹۸
۱۰	۰/۲۹۶	۰/۴۲۰	۰/۳۶۴	۰/۲۴۰	۱/۱۴۳	۰/۴۶۷	۰/۸۲۵
۱۱	۰/۶۵۲	۱/۸۷۳	۰/۳۰۰	۰/۱۹۰	۱/۰۰۰	۰/۵۰۰	۰/۶۴۱
۱۲	۰/۳۹۰	۰/۶۴۰	۰/۷۷۸	۰/۴۲۲	۰/۷۱۴	۰/۵۸۳	۰/۸۹۳

است که انحلال دولومیت یا خارج شدن کلسیم بر اثر رسوب‌گذاری کلسیت را نشان می‌دهد (جدول ۲).

نسبت $(Ca^{2+}/(Ca^{2+}+SO_4^{2-}))$: از این نسبت در تعیین منشأ کلسیم، انحلال ژپس، تعویض یونی و رسوب‌گذاری کلسیت استفاده می‌شود. مقدار کمتر از ۰/۵ برای نسبت مد نظر در pH خنثی، به دلیل کاهش غلظت یون کلسیم بر اثر فرایند تبادل یونی یا رسوب کلسیت است. در شرایطی که این نسبت بزرگ‌تر از ۰/۵ باشد، سبب به‌وجود آمدن تنوع رخساره‌های شیمیایی با مشخصات بی‌کربنات کلسیک و سدیک، کلرید سدیک و در نهایت رسوب‌گذاری کلسیت می‌شود. افزایش غلظت یون Ca^{2+} از منبعی غیر از انحلال ژپس (کربنات‌ها یا سیلیکات‌ها) است. این نسبت برای تمامی چاه‌های آب بیشتر از ۰/۵ است (جدول ۲).

فرایندهای تبادل یونی و عکس تبادل یونی آبخوان
فرایندهای تبادل یونی در مکان‌هایی به وجود می‌آیند که کانی‌های رسی غنی از سدیم (مانند مونت موریلونیت) بر اساس رابطه ۱ با کلسیم و منیزیم موجود در آب زیرزمینی واکنش می‌دهند و سبب ورود سدیم به آب زیرزمینی می‌شوند [۸ و ۱۷]:



از این‌رو، می‌توان تبادل یونی برای سدیم را از عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی دانست. برای تشخیص فرایندهای تبادل یونی و عکس تبادل یونی از نمودارهای ترکیبی استفاده می‌شود.

در نمودارهای دومتغیره EC به Na^+/Cl^- نمونه‌هایی که در بالای خط $Na^+/Cl^- = 1$ قرار دارند تحت تأثیر فرایند

نسبت مجموع آنیون Cl^- : در محدوده مطالعاتی مقدار

این نسبت در تمامی چاه‌ها کمتر از ۰/۸ است که غالب بودن هوازگی سنگ‌ها را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن مقدار تصحیحی و تفکیکی ۰/۵ به‌عنوان معیار برای این نسبت در منطقه مطالعه شده، در حاشیه جنوب و جنوب شرقی آبخوان (نزدیک به خروجی) تحت تأثیر پدیده تبخیر و احتمالاً نفوذ آب شور قرار می‌گیرد (جدول ۲).

نسبت (Ca^{2+}/Mg^{2+}) : این نسبت در شناسایی سازندهای آهکی از دولومیت و نیز در شناسایی واپاشی خاک و کاهش تدریجی عملکرد آن استفاده می‌شود. مقدار این نسبت در چاه‌های ۵، ۹ و ۱۲ کمتر از یک است که واپاشی خاک و کاهش تدریجی عملکرد آن را نشان می‌دهد. از طرف دیگر، اگر نسبت (Ca^{2+}/Mg^{2+}) نزدیک به یک باشد، احتمالاً یون کلسیم از محلول استفاده می‌شود.

مقدار این نسبت در بقیه چاه‌ها بیش از یک و کمتر از سه محاسبه شده است که تغذیه آب زیرزمینی توسط سازندهای دولومیتی، دولومیت-آهکی و آهک-دولومیتی مربوط به دوران‌های مختلف زمین‌شناسی را نشان می‌دهد.

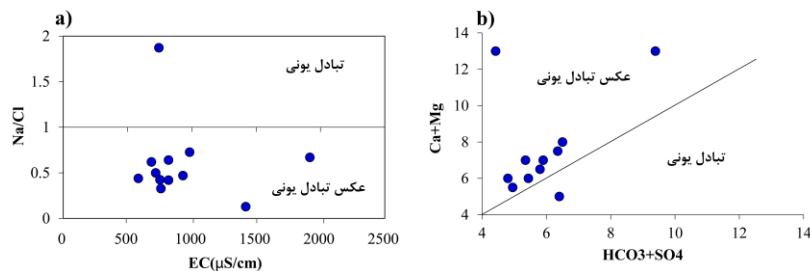
نسبت $(Mg^{2+}/(Ca^{2+} + Mg^{2+}))$: این نسبت معرف هوازگی و انحلال سنگ‌های آهکی و دولومیتی و رسوب‌گذاری کلسیت است. مقدار میانگین این نسبت در محدوده مطالعاتی در چاه‌های ۱، ۳، ۷، ۸ و ۱۰ کمتر از ۰/۵ است که هوازگی سنگ‌های آهکی و دولومیتی را نشان می‌دهد. این مقدار در چاه‌های ۲، ۴، ۶ و ۱۱ برابر با ۰/۵ بوده که ناشی از هوازگی سنگ‌های دولومیتی است و در بقیه چاه‌ها (۵، ۹ و ۱۲) مقدار این نسبت بیش از ۰/۵

شیمیایی و تعیین منشأ و اختلاط آب‌ها از نمودارهای ترکیبی یا دومتغیره^۱ استفاده می‌شود [۱۹ و ۲۰]. مباحث تکمیلی این نمودارها و انواع الگوهای تشکیل یافته شده در آن توسط میزر (۱۹۹۱) ارائه شده است [۲۱]. نمودارهای دومتغیره کل یون‌های محلول (TDI) در مقابل سایر یون‌های عمده برای آبخوان سیدان-فاروق در شکل ۹ ارائه شده است. از آنجا که در هیچ یک از نمودارهای ترکیبی الگوی خطی دیده نمی‌شود و پراکندگی نمونه بیشتر در دو منطقه است، می‌توان نتیجه گرفت که حداقل دو منبع تغذیه‌کننده در سفره وجود دارد. با توجه به فراوانی سنگ‌های آهکی در ارتفاعات منطقه، منبع نخست می‌تواند تغذیه آبخوان توسط این تشکیلات آهکی باشد. منبع دوم را که فقط دو نمونه در آن جای دارد و میزان TDI در آن زیاد است را می‌توان به تغذیه آبخوان توسط تشکیلات رسی و ماری که در مناطقی از دشت نظیر جنوب و جنوب شرق گسترش دارند، مربوط دانست.

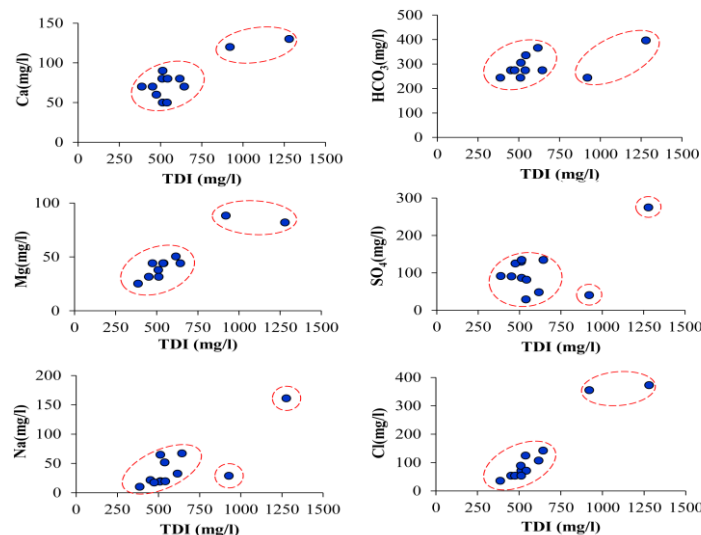
تبادل یونی طبیعی هستند و منشأ دوگانه از سازندهای زمین‌شناسی (رسوبات رسی) و نفوذ آب شور دارند (شکل ۸-a)، در محدوده مطالعه شده فقط یک نمونه تحت تأثیر فرایندهای تبادل یونی طبیعی قرار دارد و بقیه نمونه‌ها متأثر از عکس تبادل یونی‌اند. در نمودار $(SO_4^{2-} + HCO_3^-)$ نسبت به $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ خط ۱:۱ نشان‌دهنده فرایند انحلال کلسیت، دولومیت و ژپس است. فقط یک نمونه زیر خط ۱:۱ قرار گرفته است (شکل ۸-b) که تأثیر انحلال ژپس هم‌زمان با پدیده تبادل کاتیونی در ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. در حالی که بیشتر نمونه‌ها بالای خط ۱:۱ قرار دارند و عکس تبادل یونی در این نمونه‌ها را نشان می‌دهند. به این ترتیب، کلسیم و منیزیم در آب جایگزین سدیم موجود در خاک می‌شوند.

نمودارهای ترکیبی

در مطالعات هیدروژئوشیمی برای تشخیص نوع فرایندهای



شکل ۸. نمودارهای فرایندهای تبادل یونی و عکس تبادل یونی در محدوده مطالعه شده



شکل ۹. نمودارهای ترکیبی بین یون‌های اصلی و TDI (کل یون‌های محلول) در محدوده مطالعه شده

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر تأثیر فرایندهای هیدروژئوشیمیایی به همراه سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت سیدان-فاروق، استان فارس بررسی شده است. پهنه‌بندی پارامترهای شیمیایی در دشت نشان می‌دهد میزان بیشتر پارامترهای شیمیایی در جهت حرکت آب زیرزمینی و به سمت خروجی حوضه، افزایش می‌یابد. به طوری که در نزدیکی محل تغذیه آبخوان میزان پارامترهای شیمیایی در حد مطلوب است. این امر به دلیل وجود سازندهای کربناته (آهکی و دولومیتی) در ارتفاعات این قسمت از دشت است. بیشتر پارامترهای کیفی روند تقریباً یکنواختی تا میانه‌های دشت دارند و تغییرات محسوسی در آنها دیده نمی‌شود، اما در قسمت خروجی، میزان پارامترهای شیمیایی افزایش می‌یابد. این امر احتمالاً به دلیل همجواری آبخوان با لایه‌های نامطلوب از سازند کژدمی بوده و همچنین تغییر جنس آبخوان به رس و مارن است.

بر اساس نمودار گیبس، واکنش آب-سنگ عامل اصلی در تغییر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت سیدان-فاروق است. اگرچه در برخی چاه‌ها (مانند چاه‌های ۴ و ۵) تبخیر-ته‌نشینی، تأثیر زیادی در تغییر کیفیت شیمیایی این دو چاه دارد. از آنجا که نسبت $Ca^{2+} / (Ca^{2+} + SO_4^{2-})$ در بیشتر نمونه‌ها بزرگ‌تر از ۰/۵ است، غلظت یون Ca^{2+} از منبعی غیر از انحلال ژپیس (کربنات‌ها یا سیلیکات‌ها) است. این امر همچنین سبب به‌وجود آمدن تنوع رخساره‌های شیمیایی در آبخوان مورد مطالعه شده است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد در بیشتر نمونه‌های آبی (۱۱ نمونه) نسبت $Na^+ / (Na^+ + Cl^-)$ کوچک‌تر از ۰/۵ است. این امر نشان دهنده کاهش غلظت سدیم به دلیل وجود رس‌های غنی از کلسیم (رسوبات مارنی) در مسیر جریان آب زیرزمینی است. در صورتی که آب زیرزمینی با شوری زیاد باشد، یون‌های کلسیم و منیزیم در آب آزاد می‌شوند و جذب سدیم توسط رس‌ها اتفاق می‌افتد که این فرایند (فرایند عکس تبادل یونی) بیشترین تأثیر را بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی دشت سیدان-فاروق دارد. اندیس رول $(Cl^- / HCO_3^- + CO_3^{2-})$ در محدوده مطالعاتی، کمتر از یک است که این امر تغذیه آبخوان توسط رسوبات آهکی و دولومیتی را نشان می‌دهد. اما در برخی چاه‌ها (مانند چاه‌های ۴ و ۵) این نسبت بیشتر از یک است که غنی‌شدگی آب از

کلسیم، نفوذ آب شور و احتمالاً آبشویی کودهای شیمیایی استفاده‌شده در بخش کشاورزی را نشان می‌دهد. در دشت مطالعه شده مقدار نسبت یون کلراید به مجموع آنیون در تمامی چاه‌ها کمتر از ۰/۸ است که غالب بودن فرایند هوازدگی در سنگ‌ها را نشان می‌دهد، اگرچه در حاشیه جنوب و جنوب شرقی آبخوان فعال بودن پدیدهایی نظیر تبخیر و احتمالاً نفوذ آب شور سبب افزایش این نسبت شده است.

میزان نسبت $Mg^{2+} / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$ در آبخوان مطالعه شده بسیار متغیر است. به طوری که حدود ۵۰ درصد نمونه‌ها میزان این نسبت کمتر از ۰/۵ است که هوازدگی سنگ‌های آهکی و دولومیتی را نشان می‌دهد. در بیش از ۳۰ درصد نمونه‌ها میزان این نسبت برابر با ۰/۵ است که هوازدگی سنگ‌های دولومیتی نشان می‌دهد و در بقیه چاه‌ها بیشتر از ۰/۵ است. در چاه‌هایی که میزان این نسبت بزرگ‌تر از ۰/۵ باشد، انحلال دولومیت و رسوب‌گذاری کلسیت از فرایندهای تأثیرگذار در شیمی آب زیرزمینی دشت است. مقدار نسبت Ca^{2+} / Mg^{2+} حدود ۲۵ درصد نمونه‌ها کمتر از یک است که واپاشی خاک و کاهش تدریجی عملکرد آن را نشان می‌دهد. در بقیه نمونه‌ها این نسبت بیش از یک و کمتر از سه است، که تغذیه آب زیرزمینی توسط سازندهای دولومیتی، دولومیت-آهکی و آهک-دولومیتی مربوط به سازندهای مختلف زمین‌شناسی را نشان می‌دهد.

بر اساس نمودارهایی دومتغیره، فقط یک نمونه تحت تأثیر فرایندهای تبادل یونی طبیعی است و باقی نمونه‌های از عکس تبادل یونی تأثیر پذیرفته‌اند. با توجه به نمودارهای ترکیبی بین یون‌های اصلی و TDI حداقل دو منبع تغذیه‌کننده در سفره وجود دارد. منبع نخست می‌تواند تغذیه آبخوان توسط تشکیلات آهکی موجود در ارتفاعات باشد. منبع دوم را می‌توان به تغذیه آبخوان توسط تشکیلات رسی و مارنی مربوط دانست که در مناطقی از دشت نظیر جنوب و جنوب شرقی گسترش دارند.

منابع

- [1]. Tajbakhshian M, Mahmudy Gharai MH, Mahboubi A, Moussavi Harami R, Ejlali I. Hydrogeochemical study of water resources in Shahied Hashemi-Nejad gas refinery and surrounding area using compound diagrams saturation indices and ionic ratios. Scientific Quaternary Journal, Geosciences. 2015; 25(29): 71-84 [Persian].

- [2]. Rezaee M. Assessing the controlling factors of groundwater hydrochemistry in Mond alluvial aquifer, Bushehr. *Journal of Environmental Studies*. 2011; 37(58): 105-116 [Persian].
- [3]. Nwankwoala HO, Udom GJ. Hydrochemical facies and ionic ratios of groundwater in Port Harcourt, Southern Nigeria. *Research Journal of Chemical Sciences*. 2011; 1(3): 87-101.
- [4]. Mohebbi Tafreshi A, Rezaei M, Mohebbi Tafreshi G. A hydrogeochemical study of Golpayegan Plain Based on the examination of ionic ratios and environmental factors controlling the chemical composition of groundwater. *Journal of Environmental Studies*. 2016; 42(1): 49-63 [Persian].
- [5]. Dowlati J, Lashkaripour GH, Hafezi Moghadas N. Investigating the factors affecting the Zahedan's aquifer hydrogeochemistry using factor analysis, saturation indices and composite diagrams' methods. *Journal of Water and Soil*. 2014; 28 (4): 679-694 [Persian].
- [6]. Kim, J, Kim BW, Kwon JS, Koh YK, 2015. Geochemical evolution of mixing zone with freshwater and seawater near the coast area during underground space construction. *Journal of Soil and Groundwater Environment*. 2015; 20(7): 90-102.
- [7]. Boateng TK, Opoku F, Acquah SO, Akoto O. Groundwater quality assessment using statistical approach and water quality index in Ejisu-Juaben municipality, Ghana. *Environmental Earth Sciences*. 2016; 75:489.
- [8]. Yang Q, Li Z, Ma H, Wang L, Martín JD. Identification of the hydrogeochemical processes and assessment of groundwater quality using classic integrated geochemical methods in the Southeastern part of Ordos basin, China. *Environmental Pollution*. 2016; 218: 879-888.
- [9]. Azizi F, Asghari Moghaddam A. Evaluation of groundwater salinization and delineation of ion offspring in Malekan plain coastal aquifer using ionic ratios. *Journal of Environmental Studies*. 2017; 43(3): 437-454 [Persian].
- [10]. Pazand K, Khosravi D, Ghaderi MR, Rezvanianzadeh MR. Identification of the hydrogeochemical processes and assessment of groundwater in a semi-arid region using major ion chemistry: A case study of Ardestan basin in central Iran. *Journal of Groundwater for Sustainable Development*, 2018; 6: 245-254.
- [11]. Ravikumar P, Somashekar RK. Principal component analysis and hydrochemical facies characterization to evaluate groundwater quality in Varahi river basin, Karnataka state, India, *Applied Water Science*. 2017; 7: 745-755.
- [12]. BIS. 1998. Drinking water specifications (revised 2003). Bureau of Indian Standards.2003; IS:10500.
- [13]. Gibbs RJ. 1970. Mechanism controlling world water chemistry. *Science*; 170: 1088-1090.
- [14]. Sheikhy Narany T, Firuz Ramli M, Zaharin Aris A, Sulaiman WNA, Juahir H, Fakharian K. 2014. Identification of the hydrogeochemical processes in groundwater using classic integrated geochemical methods and geostatistical techniques, in Amol-Babol Plain, Iran. *Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal*. 2014; Article ID 419058. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/419058>.
- [15]. Asghari Moghaddam A, Ghandi A. Investigation of effective factors on ground water quality in Tasuj plain. 9th Symposium of Geological Society of Iran, 30 -31 August, 2005, Tehran, Iran. [Persian]
- [16]. Sikdar PK, Sarkar SS, Palchoudhury S. Geochemical evolution of groundwater in the Quaternary aquifer of Calcutta and Howrah, India. *Journal of Asian Earth Science*. 2001; 19: 579-594.
- [17]. Hounslow A. Water quality data: analysis and interpretation. CRC press; 1995.
- [18]. Faryabi M, Kalantari N, Negarestani A. Evaluation of factors influencing groundwater chemical quality using statistical and hydrochemical methods in Jiroft Plain. *Scientific Quaternary Journal, Geosciences*. 2010; 20(77): 115-120.
- [19]. Ghareh Mahmoodlu M, Raghimi M, Tahmasebi A. Salt water intrusion in water wells by using of hydrogeochemistry study (case study: Sari City) *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 2008; 15(4): 281-293.
- [20]. Kim Y, Lee K, Koh DC, Lee DH, Lee S, Park W, et al. Hydrogeochemical and isotopic evidence of groundwater salinization in a coastal aquifer: a case study in Jeju volcanic island, Korea, *Journal of Hydrology*. 2003; 270: 282-294.
- [21]. Mazar E, Applied chemical and isotopic groundwater hydrology. John Wiley & Sons, New York; 1991.