



فصلنامه علوم محیطی، دوره هفدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸

۸۹-۱۰۶

## ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت سیدان - فاروق برای هدف‌های آبیاری و شرب

مجتبی قره محمودلو<sup>۱\*</sup>، علی حشمت‌پور<sup>۱</sup>، نادر جندقی<sup>۱</sup>، علی زارع<sup>۲</sup> و حسین مهرابی<sup>۱</sup>  
گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران  
<sup>۲</sup> کارشناس امور آب سیدان - فاروق، مرودشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۹

قره محمودلو، م.، ع. حشمت‌پور، ن. جندقی، ع. زارع و ح. مهرابی، ۱۳۹۸. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت سیدان - فاروق برای اهداف آبیاری و شرب. فصلنامه علوم محیطی، ۱۷(۳): ۸۹-۱۰۶.

**سابقه و هدف:** مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی یکی از ابزارهای مهم برای توسعه پایدار در هر منطقه‌ای می‌باشد و اطلاعات تعیین کننده‌ای را برای مدیریت آب در بخش‌های مختلف فراهم می‌کند. در سال‌های اخیر برداشت بی‌رویه آب از آبخوان‌های کشور سبب کاهش کیفیت آب زیرزمینی در بیشتر دشت‌ها شده‌است. این تحقیق بمنظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت سیدان - فاروق برای مصرف‌های کشاورزی، شرب و همچنین پهنه‌بندی برخی پارامترهای شیمیایی موثر در این دو بخش انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش از نتایج یک دوره آنالیز شیمیایی مربوط به ۱۲ حلقه چاه در سال ۱۳۹۵ استفاده شد. ابتدا تیپ و رخساره هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی تعیین شد. سپس عامل‌های کنترل‌کننده شیمی آب زیرزمینی با استفاده از نمودار گیبس و نمودار Ca+Mg در برابر  $SO_4+HCO_3$  تعیین شد. بمنظور طبقه‌بندی آب برای آبیاری از هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، درصد سدیم محلول، نسبت منیزیم، نسبت خورندگی و اندیس نفوذپذیری استفاده شد. سپس نقشه پهنه‌بندی برخی از پارامتر مهم در بخش آبیاری تهیه شد. برای طبقه‌بندی آب برای شرب، ابتدا پارامترهای شیمیایی با دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی (WHO) مقایسه شد. در مرحله بعد برخی از پارامترهای مهم در بخش شرب نظیر کل مواد جامد محلول، سختی کل، غلظت یون کلرید با استانداردهای موجود مقایسه و تأثیر آن‌ها بر سلامت انسان بحث شد. سپس نقشه پهنه‌بندی این پارامتر برای دشت مورد مطالعه تهیه گردید. در نهایت کیفیت آب با استفاده از دیاگرام شولر مورد ارزیابی قرار گرفت.

**نتایج و بحث:** الگوی پراکندگی نمونه‌ها در دیاگرام درو، نشان از تمایل برخی از نمونه‌های آب برای رسیدن به انتهای سیکل تکاملی هیدروژئوشیمیایی دارد. بطوریکه در فاصله کوتاهی از تیپ بی‌کربناته به تیپ کلریده تغییر کرده‌است. براساس نمودار گیبس و نمودار Ca+Mg در برابر  $SO_4+HCO_3$  واکنش آب - سنگ و هوازدگی کانی‌های کربناته عامل اصلی در تغییر کیفیت شیمی آب زیرزمینی دشت می‌باشد. باتوجه به میزان SAR تمام نمونه‌ها در رده عالی قرار گرفتند که برای آبیاری مناسب می‌باشند و هیچ خطری مبنی بر قلیایی شدن خاک وجود ندارد. درحالی که بلحاظ شوری (EC) در بخش کشاورزی قابل قبول می‌باشند. براساس میزان درصد سدیم، نمونه‌ها در رده عالی تا خوب قرار می‌گیرند که برای آبیاری مناسب می‌باشند. براساس اندیس نفوذپذیری بجز یک نمونه، همه نمونه‌ها دارای کیفیت خوب برای آبیاری می‌باشند و نفوذپذیری خاک را تغییر نمی‌دهند. در بیشتر نمونه‌ها میزان نسبت منیزیم کمتر از ۵۰ می‌باشد که برای آبیاری مناسب

\* Corresponding Author: Email Address: mmahmoodlu@gonbad.ac.ir

هستند. مقایسه پارامترهای شیمیایی با دستورالعمل WHO نشان داد که هیچ کدام از پارامترها از حد مجاز تجاوز نمی‌کند. مقایسه TDS و کلرید نمونه‌ها با دیگر استانداردهای موجود نشان داد تنها یک نمونه جزء آب‌های لب شور بوده و مناسب شرب نمی‌باشد. براساس میزان سختی، آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه جزء آب‌های با سختی بالا طبقه‌بندی می‌شود. باتوجه به دیاگرام شولر، کیفیت آب دشت مورد مطالعه در رده خوب قرار می‌گیرد.

**نتیجه‌گیری:** براساس نتایج هیدروژئوشیمیایی، واکنش آب-سنگ و هوازدگی کانی‌های کربناته عامل اصلی در تغییر شیمی آب می‌باشد. از آنجائی که بیشتر سنگ‌های تغذیه کننده آبخوان مورد مطالعه آهکی هستند غالب بودن یون‌های کلسیم و بی‌کربنات در آب زیرزمینی بدیهی بنظر می‌رسد. بجز چاه‌هایی که نفوذ آب شور در آن‌ها محتمل بنظر می‌رسد در همه نمونه‌ها، پارامترهایی نظیر خطر شوری، SAR، سدیم محلول و اندیس نفوذپذیری قابل قبول برای کشاورزی می‌باشند و هیچ خطری مبنی بر قلیایی شدن خاک وجود ندارد. تغذیه آبخوان توسط سنگ‌های آهکی-دولومیتی و دولومیتی در برخی از منطقه‌ها سبب افزایش نسبت منیزیم در حدود ۴۰ درصد از نمونه‌ها و افزایش سختی آب زیرزمینی شده است. هیچ کدام از پارامترهای شیمیایی از حد مجاز WHO تجاوز نکردند و نمودار شولر کیفیت آب دشت را در رده خوب طبقه‌بندی می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** کیفیت آب زیرزمینی، هیدروژئوشیمی، آب آبیاری، آب شرب.

## مقدمه

در دهه‌های اخیر، با توجه به صنعتی شدن و افزایش سریع جمعیت بشر، استرس بر منابع‌های طبیعی افزایش چشمگیری داشته است و حفظ آن‌ها یکی از چالش‌های عمده برای بشر می‌باشد. آب‌های زیرزمینی یکی از حیاتی‌ترین منابع‌های آب برای شرب و کشاورزی در بیشتر نقاط دنیا می‌باشد. از این‌رو حفظ کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی از مهمترین عامل‌ها در مدیریت آن‌ها می‌باشد. کیفیت آب‌های زیرزمینی، بعنوان یکی از مهمترین و آسیب پذیرترین منابع‌های تأمین آب در دهه‌های اخیر، از اهمیت بالایی برخوردار است (Sawyer and McCarty, 1967; Janardhana Raju, 2007). ترکیب شیمیایی و کیفیت آب‌های زیرزمینی بطور عمده متأثر از: (۱) ترکیب آب‌های تغذیه‌کننده، (۲) واکنش‌های مختلف بین آب - سنگ و (۳) فعالیت‌های انسانی می‌باشد (Ravikumar and Somashekar, 2017).

تاکنون روش‌های متنوعی برای مطالعه داده‌های هیدروژئوشیمیایی و طبقه‌بندی آب برای مصرف‌های مختلف در داخل و خارج کشور انجام شده است که در ادامه به برخی آن‌ها اشاره شده است. (Shirvani et al., 2016) در پژوهشی به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی و پهنه‌بندی آن برای مصرف‌های کشاورزی و صنعتی پرداختند. در این پژوهش افزون بر مطالعه کیفی آب از نظر کشاورزی، خاصیت خوردگی و رسوب‌گذاری

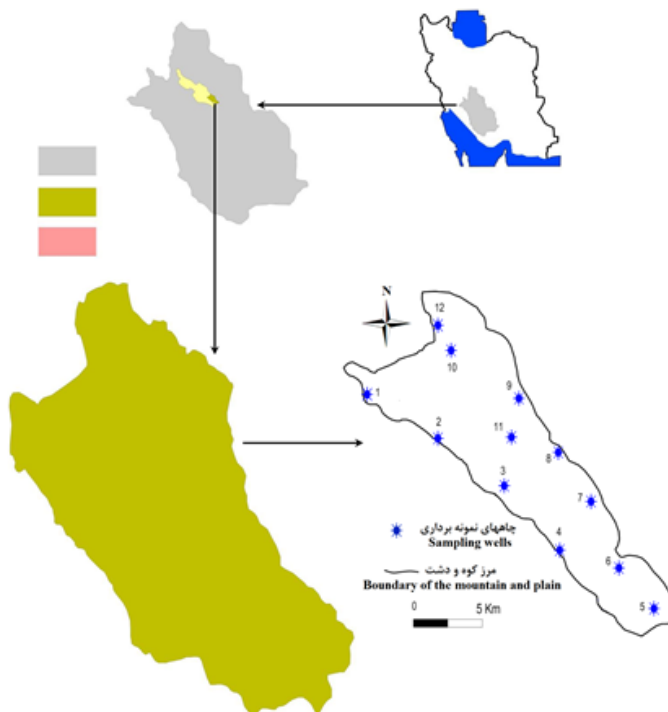
آب منطقه با استفاده از سنج‌های اشباع لانژلیه و پایداری رایزنر بررسی شد. (Talebi et al., 2017) بمنظور طبقه‌بندی کیفی آب چشمه‌ها، منطقه شمال دشت قزوین برای مصرف‌های شرب از روش سنجه کیفی آب (WQI) و برای مصرف‌های کشاورزی از سنج‌های ویلکوکس، درصد سدیم و کربنات سدیم باقی مانده (RSC) استفاده کردند. Homay-oonnezhad et al. (2016) با استفاده از نمودارهای شولر و ویلکوکس به ارزیابی کیفی آب مخازن چاه نیمه زابل از نقطه نظر شرب و کشاورزی پرداختند. (Alipour et al., 2017) با استفاده از سنج‌های WQI و ویلکوکس به بررسی کیفیت آب زیرزمینی نه استان خشک و نیمه‌خشک کشور برای مصرف‌های شرب و کشاورزی پرداختند. (Singh et al., 2015) با استفاده از مطالعات هیدروشیمیایی کیفیت آب زیرزمینی دشت گانگا در هند را بررسی کردند. بدین منظور از سنج‌های کربنات سدیم باقی و نفوذپذیری و همچنین دیاگرام ویلکوکس استفاده کردند. در تحقیقی دیگر (Kaur et al., 2017) کیفیت آب زیرزمینی منطقه‌ای را در جنوب غرب پنجاب هند برای مصرف‌های شرب و کشاورزی با استفاده از استانداردهای کشور هند و نسبت جذب سدیم، نسبت منیزیم و نسبت خوردگی ارزیابی کردند. (Bhat et al., 2018) کیفیت آب زیرزمینی را برای کشاورزی با استفاده از پارامترها و سنج‌های مختلف نظیر pH، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، درصد

طبقه‌بندی آب جهت آبیاری، (۳) مقایسه پارامترهای شیمیایی با دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی<sup>۱</sup> (WHO) و استفاده از دیاگرام شولر بمنظور طبقه‌بندی آب برای شرب و در نهایت (۴) تهیه نقشه پهنه‌بندی برخی از پارامترها و اندیس‌های مهم در هر دو بخش کشاورزی و آبیاری برای دشت مورد مطالعه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

دشت سیدان- فاروق با ارتفاع متوسط ۱۷۰۲ متر از سطح تراز آب دریا یکی از دشت‌های شهرستان مرودشت واقع در استان فارس می‌باشد (شکل ۱). مساحت محدوده مورد مطالعه ۳۶۹ کیلومتر مربع می‌باشد. که حدود ۲۲۳ کیلومتر مربع آن را ارتفاعات و ۱۴۶ کیلومتر مربع را دشت تشکیل می‌دهد. این حوزه باتوجه به وسعت آن، جزء حوزه‌های متوسط می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت دشت مورد مطالعه و نقشه پراکندگی چاههای نمونه برداری در آن  
Fig. 1- Location of the study plain and the distribution map of sampling wells

نیریز، سازند سورمه، سازند فهلیان، سازند گداوان، سازند داریان، سازند کژدمی، سازند سروک و رسوبات کواترنری که عمدتاً از سنگ‌های آهکی، دولومیتی، شیلی، مارنی و رسوبات ناپیوسته (عهد حاضر) تشکیل شده‌اند. لازم به بیان است که در حدود

سدیم محلول، نسبت جذب سدیم، کربنات سدیم باقی مانده، یون کلراید، خطر منیزیم، سنجه نفوذپذیری، نسبت کلی (Kelly's ratio) و درصد اشباع بررسی کردند. باتوجه به موارد بیان شده، بررسی کیفی آب‌های سطحی و یا زیرزمینی برای مصرف‌های شرب و کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین، انجام یک مطالعه به نسبت جامع برای تعیین کاربری آب برای هدف‌های مختلف مانند شرب و کشاورزی می‌تواند داده‌های مفیدی را به محققان، سازمان‌های ذینفع و یا حتی عموم مردم بدهد.

هدف کلی این پژوهش بترتیب (۱) بکارگیری روش‌های هیدروژئوشیمیایی و روش‌های گرافیکی برای تعیین عامل‌های مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت سیدان- فاروق، (۲) استفاده از پارامترها، دیاگرام‌ها و اندیس‌های مختلف مانند هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم محلول، نسبت منیزیم، نسبت خوردگی و اندیس نفوذپذیری برای

(۱۸-۲۶) و غیر قابل قبول (>۲۶) تقسیم بندی می‌شود. غلظت یون سدیم در آب در طبقه‌بندی کیفی آب برای آبیاری بسیار مهم است (Purushothman *et al.*, 2012). سدیم موجود در آب توسط ذرات باردار رس جذب می‌شوند. افزون بر این، یون سدیم بر اساس فرآیند تبادل یونی توانایی جایگزینی یون‌های دو ظرفیتی منیزیم و کلسیم موجود در ذرات خاک را دارد (Ku-mar *et al.*, 2007). نتیجه این عمل کاهش نفوذپذیری خاک به همراه زهکشی داخلی ضعیف و در پی آن کاهش حرکت آب و هوا در شرایطی که خاک مرطوب می‌باشد. ولی در شرایطی که خاک خشک است، غلظت بالای یون سدیم باعث سخت شدن خاک می‌شود (Saleh *et al.*, 1999). درصد سدیم محلول<sup>۴</sup> (Na%) از رابطه ۲ قابل محاسبه می‌باشد:

$$\%Na = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \times 100 \quad (2)$$

در رابطه بالا غلظت تمام یون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. Wilcox (1955) بر اساس میزان درصد سدیم محلول کیفیت آب برای آبیاری را به ۵ دسته عالی (<۲۰)، خوب (-۴۰، ۲۰)، قابل قبول (۴۰-۶۰)، با احتیاط استفاده شود (۶۰-۸۰)، غیر قابل قبول (>۸۰) تقسیم بندی می‌شود.

بطور کلی در بیشتر آب‌ها طبیعی غلظت یون‌های Ca و Mg با هم در تعادل هستند. زمانی که میزان منیزیم در آب زیاد می‌شود اثر معکوس بر کیفیت خاک دارد. بطوری که سبب قلیایی شدن خاک و در نتیجه کاهش بازدهی محصول‌های کشاورزی می‌شود. بر اساس نسبت منیزیم<sup>۵</sup> (MR) می‌توان آب را برای استفاده در بخش کشاورزی طبقه بندی کرد. این نسبت را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$MR = \frac{Mg^{2+}}{Mg^{2+} + Ca^{2+}} \times 100 \quad (3)$$

در رابطه ۳ غلظت تمام یون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. در صورتی که نسبت منیزیم کوچکتر از ۵۰ درصد باشد آب برای آبیاری مناسب می‌باشد و چنانچه این نسبت بزرگتر از ۵۰ درصد باشد آب برای آبیاری مناسب نیست. خوردگی یک پروسه الکترولیتی است که در سطح فلزها

۵۰ درصد سطح حوضه توسط رسوب‌های آبرفتی حال حاضر پوشیده شده است.

## طبقه‌بندی کیفی آب زیرزمینی در بخش‌های کشاورزی و شرب

**در بخش کشاورزی:** در این تحقیق باتوجه به پارامترهای شیمیایی موجود معیارهای مختلفی برای ارزیابی آب در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است که در ادامه به اختصار شرح داده شدند.

هدایت الکتریکی<sup>۲</sup> (EC) یکی از مهمترین پارامترها در تعیین کیفیت آب برای کشاورزی است که می‌تواند بر رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصول‌های زراعی تاثیر گذار باشد (Kumar *et al.*, 2007). افزایش شوری سبب جذب آب و مواد مغذی از خاک و در پی آن کاهش فعالیت‌های اسمزی در گیاهان می‌شود (Saleh *et al.*, 1999). بر اساس هدایت الکتریکی کیفیت آب برای آبیاری را به ۵ دسته عالی (<۲۵۰  $\mu\text{S/cm}$ )، خوب (۲۵۰-۷۵۰  $\mu\text{S/cm}$ )، قابل قبول (۷۵۰-۲۰۰۰  $\mu\text{S/cm}$ )، با احتیاط استفاده شود (۲۰۰۰-۳۰۰۰  $\mu\text{S/cm}$ ) و غیر قابل قبول (>۳۰۰۰  $\mu\text{S/cm}$ ) تقسیم بندی می‌شود.

نسبت جذب سدیم<sup>۳</sup> (SAR) بعنوان یک سنجه موثر در ارزیابی خطر بالقوه سدیم در محلول در حال تعادل با فاز جامد خاک می‌باشد. همچنین یک معیار مناسب برای ارزیابی خطر قلیایی شدن خاک است (Subramani *et al.*, 2005; Kaur *et al.*, 2017). کلسیم، منیزیم و سدیم کاتیون‌های مهم از نظر آب مصرفی در بخش کشاورزی هستند. یون‌های سدیم و پتاسیم پراکندگی ذرات رس را تسهیل می‌کنند و همچنین موجب کاهش نفوذپذیری خاک می‌شوند (Kumar *et al.*, 2007). نسبت جذب سدیم برای هر نمونه آب را می‌توان توسط رابطه زیر محاسبه نمود.

$$SAR = Na^+ / \left( \frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

در رابطه ۱ غلظت تمام یون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. بر اساس میزان نسبت جذب سدیم آب کشاورزی در چهار رده عالی (<۱۰)، خوب (۱۰-۱۸)، با احتیاط استفاده شود

ایجاد می‌شود و موجب تخریب و سوراخ شدن دیواره‌های فلزی می‌گردد. این مشکل بیشتر به سبب شوری و پوسته گذاری ایجاد می‌شود. در مورد آب‌های کشاورزی این عامل بوسیله پارامتر نسبت خوردگی<sup>۶</sup> (CR) برای بررسی کیفیت آب در لوله‌های انتقال به مزرعه‌های مورد بررسی قرار می‌گیرد. این نسبت را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

استانداردهای آب آشامیدنی، پارامترهای لازم برای ارزیابی کیفیت آب شرب می‌باشند. از این رو، بسیاری از کشورهای پیشرفته برای ارزیابی کیفی آب شرب خود استانداردهایی تهیه کرده‌اند. سازمان بهداشت جهانی برای آن دسته از کشورهایی که استاندارد داخلی ندارند یک راهنما و دستورالعمل برای بررسی کیفیت آب در بخش شرب تهیه کرده‌است که بعنوان معیاری برای کیفیت آب آشامیدنی محسوب می‌شود. در این تحقیق افزون بر مقایسه یون‌های اصلی با استاندارد WHO، برخی از پارامترهای شیمیایی نظیر کل جامدات محلول، یون کلر و سختی با استانداردهای موجود در منبع‌های مختلف مقایسه شد. تعیین سختی آب یک سنجه بسیار ارزشمند برای ارزیابی کیفیت آب برای استفاده در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت می‌باشد (Sheikhy Narany *et al.*, 2014). بطور کلی آب سخت سبب بروز سنگ کلیه آنانسفالی<sup>۷</sup>، مرگ و میر، شیوع برخی از انواع سرطان و اختلالات قلبی و عروقی می‌شود (Durvey *et al.*, 1991). آب‌های سخت همچنین می‌توانند سبب تشکیل رسوب و پوسته در آبگرمکن‌ها، لوله‌های انتقال آب، پمپ‌های چاه‌ها، دیگ‌های بخار و وسایل پخت و پز شوند. از آنجائی که غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم در آب‌های طبیعی بیش از یون‌های دیگر است سختی آب براساس غلظت این دو یون محاسبه می‌شود. این دو کاتیون ممکن است با تشکیل ترکیبات کربناته و غیرکربناته سبب ایجاد سختی در آب شوند. سختی کل (برحسب  $\text{CaCO}_3$ ) نمونه‌های آب را می‌توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد (Bhat *et al.*, 2018):

$$[\text{CaCO}_3] = 2.5[\text{Ca}^{2+}] + 4.1[\text{Mg}^{2+}] \quad (۶)$$

غلظت یون‌ها در رابطه  $\gamma$  برحسب میلی اکی والان بر لیتر می‌باشد.

### روش کار

بمنظور بررسی کیفی آب زیرزمینی و تشخیص فرآیندهایی که آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، تعداد ۱۲ نمونه از منبع‌های آب زیرزمینی واقع در دشت مورد مطالعه، در سال ۱۳۹۵ برداشت شد (شکل ۱). پارامترهای شیمیایی نظیر کل

ایجاد می‌شود و موجب تخریب و سوراخ شدن دیواره‌های فلزی می‌گردد. این مشکل بیشتر به سبب شوری و پوسته گذاری ایجاد می‌شود. در مورد آب‌های کشاورزی این عامل بوسیله پارامتر نسبت خوردگی<sup>۶</sup> (CR) برای بررسی کیفیت آب در لوله‌های انتقال به مزرعه‌های مورد بررسی قرار می‌گیرد. این نسبت را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$CR = \left[ \frac{\text{Cl}^-}{35.5} + 2\left(\frac{\text{SO}_4^{2-}}{96}\right) \right] / \left[ 2\left(\frac{\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}}{100}\right) \right] \quad (۴)$$

اگر میزان CR در آب‌های زیرزمینی کمتر از یک باشد از هر نوع لوله‌ای می‌توان برای انتقال آب استفاده کرد. در صورتی که میزان CR بیش از یک باشد می‌توان از لوله‌های فلزی برای انتقال آب استفاده نمود (Tripathi *et al.*, 2012).

نفوذپذیری خاک تحت تاثیر ترکیب و غلظت برخی از یون‌ها نظیر  $\text{Na}^+$ ،  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{HCO}_3^-$  موجود در آب آبیاری می‌باشد. از این رو استفاده طولانی مدت از آب با شوری و میزان بالای سدیم سبب کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود. سنجه نفوذپذیری<sup>۸</sup> (PI) را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد (Do- neen, 1964):

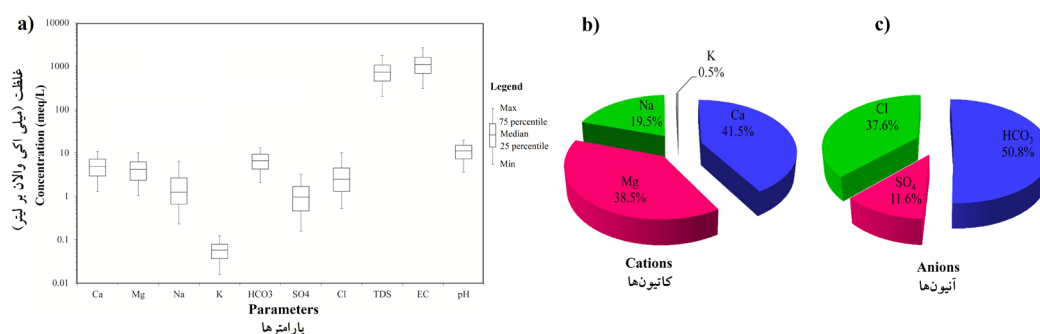
$$PI = (\text{Na}^+ + \sqrt{\text{HCO}_3^-}) \times 100 / (\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}) \quad (۵)$$

در صورتی که میزان PI بزرگتر از ۷۵٪ باشد (کلاس I) نشان از کیفیت عالی آب برای آبیاری دارد. اگر مقدار PI بین ۲۵٪ تا ۷۵٪ باشد (کلاس II) کیفیت آب برای آبیاری خوب می‌باشد و در صورتی که میزان PI کمتر از ۲۵٪ باشد (کلاس III) کیفیت آب برای آبیاری نامناسب ارزیابی می‌شود.

**در بخش شرب:** آب مورد استفاده در بخش شرب باید بدون رنگ، کدورت و میکروارگانیسم باشد. یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها برای بررسی کیفیت آب از نظر شرب دیاگرام شولر می‌باشد. این دیاگرام بر پایه غلظت یون‌های اصلی سدیم، کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم استوار است. در این دیاگرام غلظت یون‌های اصلی بر حسب میلی‌اکی‌والان گرم در لیتر نشان داده می‌شود. براساس دیاگرام شولر آب‌ها از نظر شرب به شش گروه شامل خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامناسب و غیر قابل شرب تقسیم می‌شود.

مانند هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم محلول، نسبت منیزیم، نسبت خوردگی و اندیس نفوذپذیری استفاده شد. برای طبقه‌بندی آب برای شرب، ابتدا پارامترهای شیمیایی با دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی مقایسه شد. در مرحله بعد برخی از پارامترهای مهم در بخش شرب مانند کل مواد جامد محلول، سختی کل، یون کلرید با استانداردهای شرب (مانند استاندارد شولر) مقایسه و تاثیر آن‌ها بر سلامت انسان بحث شد و در نهایت نقشه پهنه‌بندی برخی از پارامترهای مهم در بخش آبیاری و شرب با استفاده از نرم افزار ArcGis9.3 و روش وزن دهی عکس فاصله (IDW) تهیه و روند

مواد جامد محلول، بی‌کربنات، کلراید، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. شکل 2-a نمودار جعبه‌ای پارامترهای کیفی آب دشت سیدان- فاروق را نشان می‌دهد. بمنظور تفسیر و تحلیل نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی چاه‌ها و محاسبه برخی از پارامترها و اندیس‌های موثر بر کیفیت آب آبیاری و شرب و همچنین رسم برخی نمودارها نظیر درو از نرم افزار AqQa استفاده شد. سپس برای تعیین عامل‌های کنترل‌کننده شیمی آب زیرزمینی از دیاگرام گیبس<sup>۱</sup> و نمودار Ca+Mg در برابر  $\text{SO}_4+\text{HCO}_3$  استفاده شد. بمنظور طبقه‌بندی آب برای آبیاری از پارامترهای شیمیایی و اندیس‌های مختلف



شکل ۲- نمودار جعبه‌ای پارامترهای کیفی (a) و نمودار دایره‌ای از متوسط کاتیون‌های (b) و آنیون‌های اصلی (c) آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه  
Fig. 2- Box diagram (a) and pie chart of main cations (b) and anions (c) of groundwater in the study area

دشت را می‌توان به پراکنندگی میان لایه‌های رسی- ماری در برخی ارتفاعات مشرف به دشت و همچنین در قسمت‌های جنوبی دشت مرتبط دانست. نسبت سدیم به کلر (Na/Cl) اطلاعات مفیدی را در رابطه منشأ یون کلر و سدیم می‌دهد (Azizi et al., 2017). در بیشتر نمونه‌ها، آب غلظت یون سدیم کوچکتر از کلر ( $\text{Na}^+ < \text{Cl}^-$ ) می‌باشد. این امر نشان دهنده غالب بودن فرآیند عکس تبادل یونی در آبخوان است. تنها در چاه شماره ۱۱ این نسبت بزرگتر از یک (۸۷۳/۱) می‌باشد که بیانگر منشأ سدیم غیر از کانی‌هالیت<sup>۱۰</sup> و احتمالاً از آلبیت<sup>۱۱</sup> یا تبادل یونی طبیعی باشد.

باتوجه به متوسط غلظت یون‌های اصلی در آب (شکل ۲-b و c) می‌توان نتیجه گرفت که تیپ غالب آب زیرزمینی در دشت سیدان- فاروق به احتمال فراوان، بی‌کربنات کلسیک می‌باشد. نتایج حاصل از محاسبه تیپ آب نشان داد که در حدود ۵۰ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه دارای تیپ

تغییرهای مکانی آن‌ها در دشت مورد مطالعه تفسیر گردید.

## نتایج و بحث

**هیدروشیمی آب:** شکل ۲-b و ۲-c متوسط آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. براین اساس آنیون و کاتیون غالب آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه بترتیب کلسیم و بی‌کربنات می‌باشد. میزان آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در آب زیرزمینی به جنس سنگ‌ها، میزان انحلال کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها، سرعت و مسیر حرکت آب‌های زیرزمینی بستگی دارد. باتوجه به اینکه بخش وسیعی از ارتفاعات دشت مورد مطالعه را سنگ‌های آهکی دربر می‌گیرد (شکل ۱)، غالب بودن یون‌های کلسیم و بی‌کربنات بدیهی می‌باشد. از طرفی بالا بودن متوسط غلظت کاتیون منیزیم (شکل ۲-b)، احتمال به دلیل انحلال سنگ‌های آهکی دولومیتی موجود در مسیر حرکت آب زیرزمینی می‌باشد. بالا بودن متوسط غلظت کلراید در آب زیرزمینی



در آبخوان دشت فاروق- سیدان دارد. بطوری که می‌توان از رخساره  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$  که از لحاظ سختی در رده سبک<sup>۱۲</sup> قرار دارد تا رخساره  $\text{Na-HCO}_3\text{-Cl}$  با سختی به نسبت زیاد را مشاهده نمود. اگرچه براساس تجمع نمونه‌ها در قسمت مربع شکل دیاگرام درو می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر نمونه‌ها دارای رخساره‌های آب‌های شیرین می‌باشند.

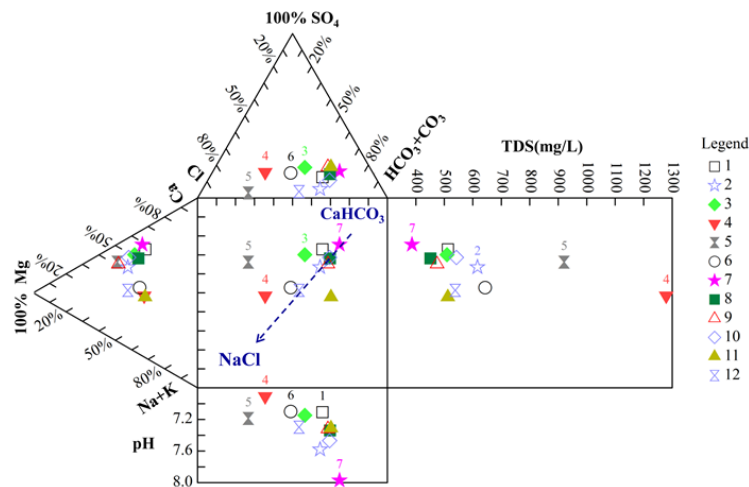
بمنظور تعیین وضعیت هیدروژئوشیمیائی آب زیرزمینی دشت سیدان - فاروق از نمودارهای TDS در مقابل نسبت‌های کاتیونی  $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$  و  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+})$  آنیونی استفاده شده است (شکل ۴). براساس نمودار گیبس مهمترین عامل‌هایی که می‌توانند شیمی آب را کنترل کنند عبارتند از: (۱) تبخیر<sup>۱۳</sup>، (۲) تبخیر و رسوبگذاری<sup>۱۴</sup>، (۳) سنگ منشاء<sup>۱۵</sup> و بارندگی<sup>۱۶</sup> (Gibbs, 1970). براین اساس نمودار گیبس (شکل ۴-a) واکنش آب - سنگ عامل اصلی در تغییر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت سیدان - فاروق می‌باشد. اگرچه در برخی چاه‌ها نظیر چاه‌های شماره ۴ و ۵ تبخیر-ته‌نشینی نقش پررنگ‌تری در تغییر کیفیت شیمیایی آب این دو چاه دارد. در دو پژوهش انجام شده توسط Abbasnejad et al. (2014) و Sheikhy Narany et al. (2016) بر روی فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی مؤثر بر کیفیت آب‌های

بی‌کربنات کلسیک می‌باشند (جدول ۱). بقیه نمونه‌ها دارای تیپ‌های مختلفی نظیر کلروره - سدیک، کلروره - منیزیک، بی‌کربنات - منیزیک و بی‌کربنات - سدیک هستند. نتایج این پژوهش با نتایج Sajedi-Hosseini et al. (2015) مبنی بر غالب بودن تیپ بی‌کربنات کلسیک در آب زیرزمینی دشت سیدان - فاروق بدلیل تغذیه آبخوان توسط تشکیلات کربناته مشرف به دشت همسو می‌باشد.

با توجه به قسمت مستطیل شکل دیاگرام درو (Durov Diagram) افزایش ناگهانی کل مواد جامد محلول در چاه شماره ۴ طبیعی به نظر نمی‌رسد (شکل ۳). الگوی پراکندگی آن‌ها در قسمت مستطیل شکل دیاگرام درو، نشان از تمایل برخی از نمونه‌های آب برای رسیدن به انتهای سیکل تکاملی هیدروژئوشیمیایی دارد (Karant, 2001; Ghareh Mahmoodlu, 2008) بطوری که با توجه به وسعت محدوده مورد مطالعه، در مسیر به نسبت کوتاهی تیپ آب از بی‌کربنات به تیپ کلریده نزدیک شده است. این تمایل در چاه شماره ۴ بیشتر است. با توجه به پراکندگی نمونه‌ها در قسمت‌های مربع و مثلثی دیاگرام درو می‌توان نتیجه گرفت که تیپ غالب آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه بی‌کربنات کلسیک می‌باشد. همچنین الگوی پراکندگی نمونه‌ها در این دو قسمت نشان از تنوع رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی

جدول ۱- تغییرات تیپ آب در چاه‌های نمونه برداری  
Table 1. Changes in water type in sampling wells

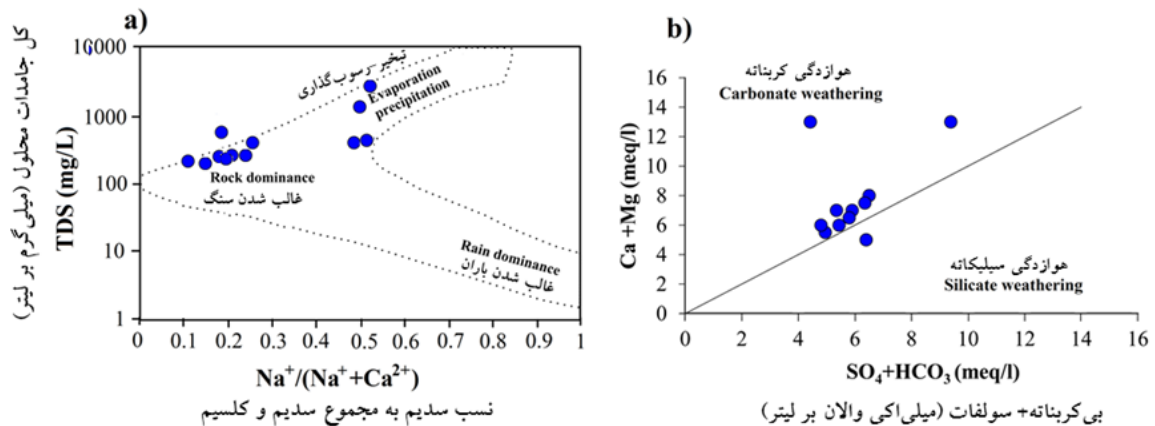
شمار چاه Well number	توصیف Description	تیپ آب Water type
1	بی‌کربنات- کلسیک	Ca-HCO <sub>3</sub>
2	بی‌کربنات- کلسیک	Ca-HCO <sub>3</sub>
3	بی‌کربنات- کلسیک	Ca-HCO <sub>3</sub>
4	کلروره- سدیک	Na-Cl
5	کلروره- منیزیک	Mg-Cl
6	کلروره- کلسیک	Ca-Cl
7	بی‌کربنات- کلسیک	Ca-HCO <sub>3</sub>
8	بی‌کربنات- کلسیک	Ca-HCO <sub>3</sub>
9	بی‌کربنات- منیزیک	Mg-HCO <sub>3</sub>
10	بی‌کربنات- کلسیک	Ca-HCO <sub>3</sub>
11	بی‌کربنات- سدیک	Na-HCO <sub>3</sub>
12	بی‌کربنات- منیزیک	Mg-HCO <sub>3</sub>



شکل ۳- نمودار پایپر آب زیرزمینی دشت سیدان و فاروق  
 Fig. 3- Piper diagram of groundwater of Seydan Farooq plain

سديم در چاه شماره (۱۱) اشاره شد. طبقه‌بندی آب برای آبیاری: از آنجائی که آب زیرزمینی تنها منبع آب در بخش کشاورزی در دشت سیدان - فاروق می‌باشد بنابراین مطالعه پارامترهای موثر در کیفیت آب آبیاری از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در این تحقیق هدایت الکتریکی، نسبت جذب درصد سديم، نسبت منیزیم و نسبت خوردگی از مهمترین پارامترهایی بودند که برای طبقه‌بندی آب برای کشاورزی مورد استفاده قرار گرفتند. هدایت الکتریکی یکی از مهمترین پارامترهای کیفی آب در بخش کشاورزی است. آبیاری خاک با میزان هدایت الکتریکی بالا می‌تواند غلظت نمک خاک را افزایش دهد و بدلیل خاصیت تجمعی آن در خاک، به زمین‌های زراعی و محصول‌های کشاورزی آسیب می‌رساند.

زیرزمینی بترتیب دشت بابل و راین کرمان، واکنش آب - سنگ نقش پررنگ‌تری در کنترل شیمی آب نسبت به تبخیر-ته‌نشینی داشته است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. در این مطالعه برای تفکیک فرآیند نوع کانی‌های غالب تاثیر گذار بر شیمی آب زیرزمینی آبخوان سیدان-فاروق از نمودار در  $Ca+Mg$  در برابر  $SO_4+HCO_3$  استفاده شد (شکل ۴-ب) براساس این نمودار در ۱۱ نمونه (بیش از ۹۰ درصد)، شیمی آب تحت تاثیر هوازدگی کانی‌های کربناته می‌باشد. تنها در یک نمونه آب، هوازدگی کانی‌های سیلیکاته عامل اصلی در تغییر شیمی آب می‌باشد که در بررسی نسبت  $Na/Cl$  نیز به این نکته (تاثیر کانی آلبیت بعنوان یک کانی سیلیکاته در افزایش غلظت یون



شکل ۴- عامل‌های کنترل‌کننده شیمی آب زیرزمینی دشت سیدان - فاروق. (a) نمودار گیبس، (b) نمودار  $Ca+Mg$  در برابر  $SO_4+HCO_3$   
 Fig. 4- Controlling factors of groundwater chemistry of Seydan Farooq plain. a) Gibbs diagram, b) Plot of  $Ca+Mg$  versus  $SO_4+HCO_3$



که این امر را می‌توان ناشی از تغذیه قسمت خروجی دشت توسط سازند کژدمی، عبور آب از تشکیلات رسی-مارنی جنوب دشت و همچنین تاثیر آب برگشتی حاصل از کشاورزی دانست (شکل ۵-ا). باتوجه به جدول ۲ نسبت جذب سدیم در تمام نمونه‌ها کمتر از  $10(SAR < 10)$  می‌باشد. براساس طبقه بندی Richards (1954)، تمام نمونه‌ها در رده عالی قرار می‌گیرند که برای استفاده در بخش کشاورزی مناسب می‌باشند و در صورت استفاده از این آب زیرزمینی دشت سیدان - فاروق برای آبیاری هیچ خطری مبنی بر قلیایی شدن خاک وجود نخواهد داشت (جدول ۲).

Wilcox (1955) با استفاده از دو پارامتر EC و SAR کیفیت آب را برای کشاورزی طبقه بندی نمود. در این تحقیق

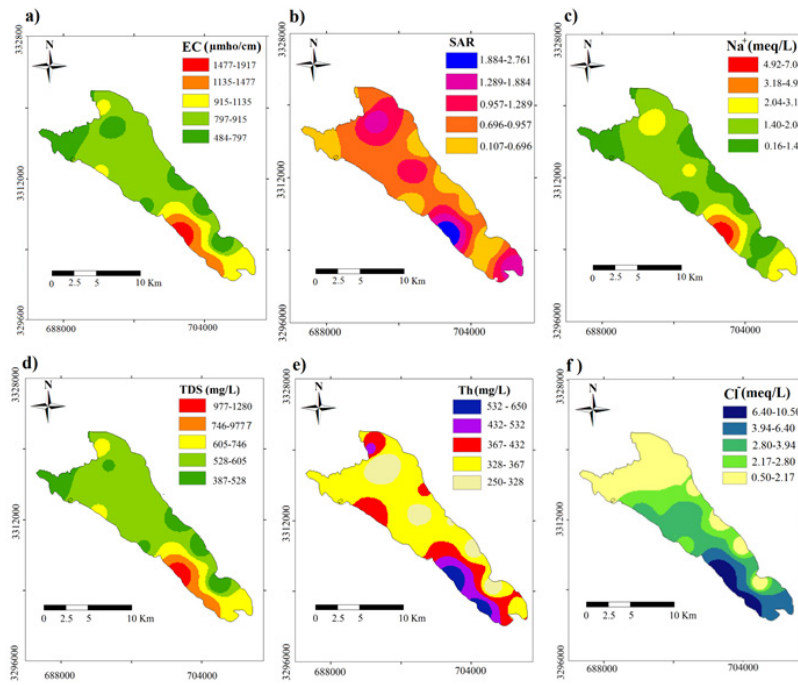
رنج به نسبت وسیعی از میزان تغییرات هدایت الکتریکی در محدوده مورد مطالعه با کمترین میزان ۵۸۴ میکروموس بر سانتی‌متر (چاه شماره ۷) و بیشترین میزان ۱۹۱۷ میکروموس بر سانتی‌متر (چاه شماره ۴) مشاهده می‌شود. براساس تقسیم بندی ویلکوس و خطر شوری هیچ کدام از نمونه‌ها در کلاس عالی واقع نشده‌است (جدول ۲). اگرچه خطر شوری تنها در دو نمونه آب برای کشاورزی خوب توصیف شده است ولی در بیشتر نمونه‌ها بلحاظ خطر شوری، قابل قبول برای کشاورزی می‌باشد و نیازی به اصلاح خاک بعد از مصرف آن ندارد. نقشه پهنه‌بندی EC در محدوده مورد مطالعه نشان داد که این پارامتر بدلیل تغذیه آبخوان از سازندهای آهکی حاشیه دشت کم می‌باشد. در قسمت‌های خروجی میزان هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد

جدول ۲- طبقه بندی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای هدف‌های آبیاری  
Table 2. Classification of groundwater samples of the study area for irrigation

پارامترها Parameters	میزان Range	طبقه بندی Classification	تعداد نمونه‌ها No. samples
خطر شوری (EC) ( $\mu\text{S/cm}$ ) (Wilcox, 1955) (Salinity hazard)	<250	عالی (Excellent)	-
	250-750	خوب (Good)	2
	750-2000	قابل قبول (Permissible)	10
	2000-3000	با احتیاط استفاده شود (Doubtful)	-
	>3000	غیر قابل قبول (Unsuitable)	-
نسبت جذب سدیم (Sodium adsorption ratio) (Richards, 1954) (SAR)	<10	عالی (Excellent)	12
	10-18	خوب (Good)	-
	18-26	با احتیاط استفاده شود (Doubtful)	-
	>26	غیر قابل قبول (Unsuitable)	-
درصد سدیم (Sodium percent) (Wilcox, 1955) (Na%)	<20	عالی (Excellent)	7
	20-40	خوب (Good)	3
	40-60	قابل قبول (Permissible)	2
	60-80	با احتیاط استفاده شود (Doubtful)	-
	>80	غیر قابل قبول (Unsuitable)	-
نسبت منیزیم (Magnesium ratio) (Palliwai, 1972) (MR)	<%.50	مناسب (Suitable)	7
	>%.50	نامناسب (Unsuitable)	5
نسبت خوردگی (Corrosivity ratio) (Raman, 1985) (CR)	<1	بی‌خطر (Safe)	8
	>1	خطرناک (Unsafe)	4
سنجه نفوذپذیری (Permeability index) (Doneen, 1964) (PI)	<25	نامناسب (Unsuitable)	2
	25-75	خوب (Good)	10
	>75	عالی (Excellent)	-

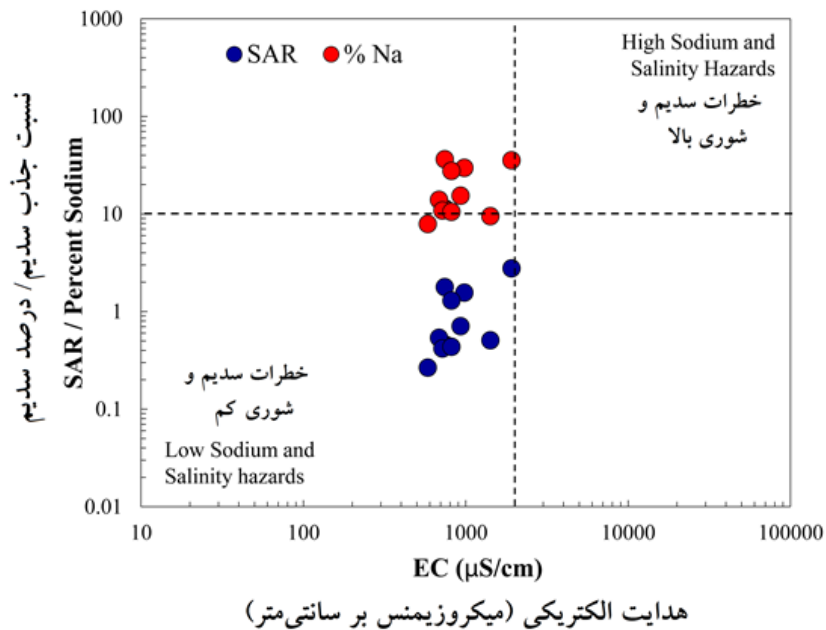
براین اساس، بجز یک نمونه که دارای خطر شوری متوسط می باشد و باید با احتیاط استفاده شود بقیه نمونه ها دارای

باتوجه به اهمیت دو پارامتر EC و SAR در تقسیم بندی آب برای کشاورزی، ارتباط این دو پارامتر بررسی شد (شکل ۶).



شکل ۵- پهنه بندی هدایت الکتریکی (a) و نسبت جذب سدیم (b) (SAR)، یون سدیم (c) (Na+)، کل جامدات محلول (d) (TDS)، سختی (e) (Th) و یون کلر (f) (Cl-) در آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه

Fig. 5- Mapping electrical conductivity (a), sodium adsorption ratio (SAR), (b) sodium ion (Na+) (c), total dissolved solid (TDS)(d), Total hardness (Th)(e) and chloride ion (Cl-) (f) in groundwaters of the study area



شکل ۶- رابطه بین هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم محلول (Ravikumar and Somashekar, 2017)  
Fig. 6- The relationship between electrical conductivity (EC), sodium adsorption (SAR) and soluble sodium percentage (Ravikumar and Somashekar, 2017)

(Ravikumar and Somashekar, 2017) مطابقت دارد. میزان نسبت منیزیم در حدود ۴۰ درصد از نمونه‌ها بیش از ۵۰ می‌باشد (جدول ۲). در نتیجه آب این نمونه‌ها برای آبیاری مناسب نمی‌باشد. تغذیه آبخوان توسط سنگ‌های آهکی - دولومیتی و دولومیتی از مهمترین دلایل افزایش غلظت منیزیم و در پی آن نسبت منیزیم در آب زیرزمینی در برخی از منطقه‌های محدوده مورد مطالعه می‌باشد. نسبت خوردگی یکی از پارامترهای مهم در بررسی کیفیت آب لوله‌های استفاده شده در مزرعه‌ها می‌باشد. باتوجه به جدول ۲، در چهار نمونه، نسبت خوردگی بیش از یک ( $CR > 1$ ) می‌باشد که نشان از خاصیت خورنده آن‌ها دارد. از اینرو آب این چاه‌ها برای انتقال در لوله‌های فلزی مناسب نمی‌باشد (Tripathi et al., 2012). افزون بر این، استفاده دراز مدت از آب این چاه‌ها می‌تواند سبب خوردگی تجهیزات فلزی چاه‌ها بویژه پمپ‌ها شود. براساس سنج نفوذپذیری تنها در دو نمونه آب (چاه‌های شماره ۴ و ۵) میزان این سنج کمتر از ۲۵٪ ( $PI < 25$ ) می‌باشد (جدول ۲). در نتیجه کیفیت آب این دو نمونه برای آبیاری مناسب نمی‌باشد و استفاده طولانی مدت از این دو نمونه آب سبب کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود. در بقیه نمونه‌ها میزان سنج نفوذپذیری بین ۲۵٪ تا ۷۵٪ می‌باشد که بیانگر کیفیت خوب آب این چاه‌ها برای آبیاری می‌باشد. ولی در پژوهش انجام شده توسط Aher (2017) بر روی کیفیت آب زیرزمینی منطقه بوری نالا در کشور هند، همه نمونه‌های آب زیرزمینی بلحاظ سنج

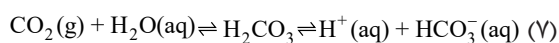
خطر شوری کم هستند و برای آبیاری مناسب می‌باشند (Ravikumar and Somashekar, 2017). شکل ۶ نشان از یک رابطه به نسبت مستقیم بین EC و SAR وجود دارد بطوریکه با افزایش میزان شوری، میزان نسبت جذب سدیم نیز افزایش می‌یابد.

شکل ۵ - b نقشه پهنه‌بندی نسبت جذب سدیم در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج این پهنه‌بندی نشان از ناهنجاری‌های بیشتری نسبت به هدایت الکتریکی در منطقه دارد. باتوجه به شکل ۵ - b، بیشترین تغییرات نسبت جذب سدیم در شمال و قسمت‌های جنوبی دشت می‌باشد. وجود سازندهای مارنی - رسی تغذیه کننده آبخوان نظیر سازند کژدمی و تغییر رخساره آبخوان در بخش خروجی از مهمترین دلایل تغییر میزان این نسبت در دشت مورد مطالعه می‌باشد. باتوجه به همبستگی بالای این پارامتر با یون سدیم ( $R^2 > 0.9$ ) تغییرات نسبت جذب سدیم در دشت، شباهت زیادی به تغییرات یون سدیم دارد (شکل ۵ - c). نتایج درصد سدیم نشان داد که نمونه‌ها در رده عالی تا خوب قرار دارند که برای آبیاری مناسب می‌باشند (جدول ۲). روند تغییرات درصد سدیم در برابر هدایت الکتریکی شباهت زیادی به نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی دارد (شکل ۶). اگرچه تقسیم‌بندی آب آبیاری براساس هر دو پارامتر درصد سدیم و هدایت الکتریکی نشان داد که بیشتر نمونه‌های آب دارای کیفیت خوب تا متوسط می‌باشند که با نتایج

جدول ۳- پارامترهای شیمیایی اندازه‌گیری شده در چاه‌ها و مقایسه آن‌ها با استانداردهای WHO برای شرب  
Table 3. Measured chemical parameters in wells and their comparison with WHO for drinking

پارامترهای شیمیایی Chemical parameters	کمترین Minimum	بیشترین Maximum	حد مجاز WHO Permissible limit	اثرهای نامطلوب Undesirable effect
کلسیم (Ca)	50	130	200	پوسته گذاری (Scale formation)
منیزیم (Mg)	25.2	88.2	150	-
سدیم (Na)	10.12	161.92	200	فشار خون بالا (High blood pressure)
پتاسیم (K)	1.17	3.12	12	تلخ مزه (Bitter taste)
بی‌کربنات ( $HCO_3$ )	244	396.5	600	-
سولفات ( $SO_4$ )	28.8	277.44	600	ملین (Laxative effect)
کلراید (Cl)	35.5	372.75	600	شور مزه (Salty taste)
کل جامدات محلول (TDS)	387	1280	1500	تحریک دستگاه گوارش (Gastrointestinal irritation)
بی‌اچ (pH)	6.91	7.97	9.2	طعم ناخوشایند (Unpleasant Taste)

و ۷/۹۷ متغیر می‌باشد. براین اساس آب زیرزمینی دشت بطور طبیعی کمی طبیعت قلیایی دارند. بطور کلی انحلال گاز  $\text{CO}_2$  موجود در اتمسفر و خاک به آسانی با آب‌های نفوذی حاصل از بارندگی ترکیب و تولید اسید کربنیک ضعیف<sup>۱۷</sup> می‌کند (رابطه ۶). از آنجائی که اسید کربنیک یک اسید ناپایدار است به  $\text{H}^+$  و  $\text{HCO}_3^-$  تجزیه شده و pH آب نفوذی و در نهایت آب زیرزمینی را کمی قلیایی می‌کند (رابطه ۷). افزون بر این، این اسید ضعیف یا  $\text{H}^+$  تولید شده توانایی انحلال سنگ‌های آهنی و تولید یون‌های بیکربنات و کربنات را در آب دارد (رابطه ۸) (Sreepat, 2014).



نفوذپذیری دارای کیفیت خوب برای آبیاری، طبقه‌بندی شدند. **طبقه‌بندی آب برای شرب:** آب مورد استفاده در بخش شرب می‌بایست بدون رنگ، کدورت و میکروارگانیسم باشد. برای تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی در بخش شرب و بهداشت عمومی از پارامترهای هیدروشیمیایی مطرح شده در جدول ۳ استفاده شد. بدین منظور ابتدا پارامترهای بیان شده با دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی (WHO) مقایسه شد. نتایج این مقایسه نشان داد که هیچ کدام از پارامترهای هیدروشیمیایی اندازه‌گیری شده در این تحقیق از حد مجاز استانداردهای جهانی تجاوز نمی‌کند (WHO, 2004).

میزان pH نمونه‌های آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه بین ۶/۹۱

جدول ۴- طبقه‌بندی آب‌های زیرزمینی بر اساس پارامترهای مختلف برای شرب  
Table 4. Groundwater classification based on different parametrs for drinking

پارامتر Parameters	مقدار Range	طبقه‌بندی Classification	تعداد نمونه‌ها No. samples
	<500	مطلوب برای شرب (Desirable for drinking)	3
کل مواد جامد محلول* (TDS) Davis and De Wiest, (1966)	500-1000	مجاز به شرب (Permissible for drinking)	8
	1000-3000	مناسب برای کشاورزی (Useful for agriculture)	1
	>3000	نامناسب برای کشاورزی و شرب (Unfit for drinking and irrigation)	-
کل مواد جامد محلول* (TDS) (Freeze and Cherry, 1979)	<1000	آب شیرین (Fresh water)	11
	1000-10000	آب لب شور (Brackish water)	1
	10000-100000	آب شور (Saline water)	-
	>100000	آب بی‌نهایت شور (Brine water)	-
سختی* (Hardness) Sawyer and McCarty, (1967)	<75	سبک (Soft)	-
	75-150	کمی سخت (Slightly hard)	-
	150-300	سختی متوسط (Moderately hard)	2
یون کلرید* (Chloride) (Stuyfzand, 1991)	>300	خیلی سخت (Very hard)	10
	<0.141	آب بی‌نهایت شیرین (Extremely fresh)	-
	0.141-0.846	آب خیلی شیرین (Very fresh)	-
	0.846-4.231	آب شیرین (fresh)	11
	4.231-8.462	آب شیرین تا لب شور (Fresh brackish)	-
	8.462-28.206	آب لب شور (brackish)	1
	28.206-282.064	آب لب شور تا شور (Brackish to salty)	-
282.064-564.127	آب شور (Salty)	-	
>564.127	بی‌نهایت شور (Hyperhaline)	-	

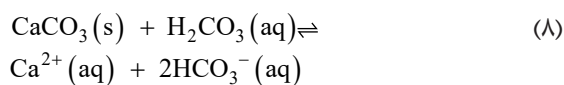
کل مواد جامد محلول و سختی برحسب میلی‌گرم بر لیتر و یون کلراید برحسب میلی‌اکی والان بر لیتر

سختی آب بدیهی بنظر می‌رسد.

براساس نقشه پراکندگی سختی آب، این پارامتر در حاشیه شمالی دشت کم و به سمت جنوب شرق منطقه افزایش می‌یابد (شکل ۵-ع).

کلراید یکی از مهمترین یون‌های موجود در آب است. منبع اصلی این یون در آب زیرزمینی، سنگ‌های رسوبی بویژه سنگ نمک و نیز سنگ‌های رسی-شیلی می‌باشد. روند تغییرات یون کلر تا حد زیادی از تغییرهای هدایت الکتریکی و TDS تبعیت می‌کند. بطور کلی تغییرات آن در منطقه بین حدود ۱ تا ۵/۱۰ میلی اکی والان در لیتر نوسان دارد. غلظت یون کلر نیز در حاشیه شمالی دشت کم و به سمت جنوب شرق منطقه مورد مطالعه افزایش یافته است (شکل ۵-ف). دلیل آن می‌تواند تغذیه آب زیرزمینی توسط سازند کژدمی با جنس شیل سیاه، آهک شیلی و همچنین عبور آب زیرزمینی از آهک رسی و آبرفت رسی-مارنی باشد. براساس غلظت کلراید بجز یک نمونه (چاه شماره ۴) که کیفیت آب آن در رده لب شور<sup>۱۸</sup> قرار می‌گیرد در همه نمونه‌ها غلظت کلراید کمتر از حد مجاز می‌باشد (جدول ۴) و آب زیرزمینی براساس این آنیون در رده شیرین<sup>۱۹</sup> قرار می‌گیرد. کلرید آنیونی که بطور عمده طعم آب را تغییر می‌دهد و تاثیر جدی بر روی سلامتی انسان ندارد. غلظت بیش از حد کلر در آب شامیدنی سبب طعم شور می‌شود و دارای اثر ملین در افرادی است که به غلظت بالای آن عادت ندارند.

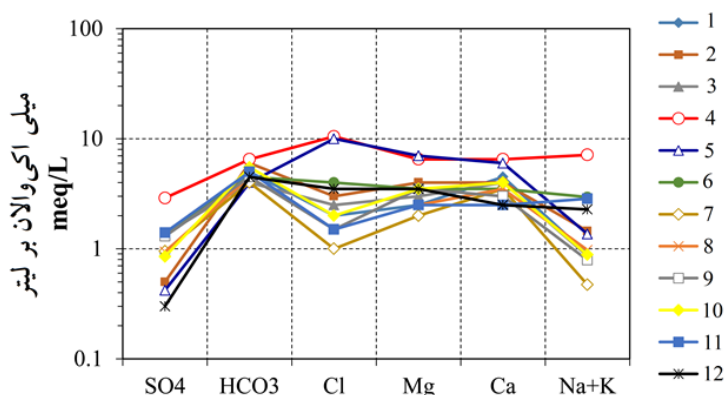
دیگرام شولر یکی از مهمترین طبقه‌بندی‌ها برای بررسی کیفیت آب از نظر شرب می‌باشد. باتوجه به این دیگرام، کیفیت آب دشت سیدان-فاروق در رده خوب قرار می‌گیرد (شکل ۷). اگرچه برای



از آنجائی که بیشتر سنگ‌های تغذیه‌کننده آبخوان مورد مطالعه آهکی هستند، در نتیجه غالب بودن آنیون بی‌کربنات بدیهی به‌نظر می‌رسد.

کل جامدات محلول (TDS) بطور کلی شامل نمک‌های معدنی مانند کربنات‌ها، بی‌کربنات‌ها، کلرایدها، سولفات‌ها، فسفات‌ها و نترات‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، آهن و غیره است. غلظت TDS در محدوده مورد مطالعه بین ۳۸۷ تا ۱۲۸۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. برای اطمینان از مناسب بودن آب‌های زیرزمینی برای هر هدفی، طبقه‌بندی آب‌های زیرزمینی براساس ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها بویژه TDS ضروری می‌باشد. براساس طبقه بندی Davis and De Wiest (1966) بیشتر نمونه‌های آب برای شرب مجاز یا مطلوب می‌باشد و تنها یک نمونه مناسب شرب نمی‌باشد (جدول ۴). براساس طبقه‌بندی Freeze and (1979) Cherry نیز بیشتر نمونه‌ها در کلاس آب شیرین قرار می‌گیرند و تنها یک نمونه (چاه شماره ۴) جزء آب‌های لب شور بحساب می‌آید.

بطور کلی تغییرهای سختی در منطقه بین حدود ۲۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نوسان دارد. براساس جدول ۴ آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه دارای سختی متوسط تا خیلی زیاد می‌باشد. سختی آب نشان دهنده ماهیت تشکیلات زمین‌شناسی است که آب زیرزمینی با آن‌ها در ارتباط می‌باشد. باتوجه به پراکندگی سازنده‌های آهکی، آهکی-دولومیتی و دولومیتی، بالا بودن



شکل ۷- نمودار شولر نمونه‌های آبی دشت مورد مطالعه  
Fig. 7- Schoeller diagram of water samples of the study plain

شده است.

مقایسه پارامترهای هیدروشیمیایی اندازه‌گیری شده با دستورالعمل‌های WHO نشان داد که در هیچ کدام از پارامترهای شیمیایی از حد مجاز استانداردهای جهانی تجاوز نمی‌کند. میزان pH نمونه‌های آب زیرزمینی بیانگر آن است که آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه طبیعت به نسبت قلیایی دارند. مقایسه کل جامدات محلول و غلظت یون کلراید با دیگر استانداردهای موجود نشان داد که تنها یک نمونه جزء آب‌های لب شور بوده و مناسب شرب نمی‌باشد. درحالی که براساس نمودار شولر، کیفیت آب دشت سیدان- فاروق در رده خوب قرار می‌گیرد.

### پی‌نوشت‌ها

<sup>1</sup> World Health Organization (WHO)

<sup>2</sup> Electrical Conductivity (EC)

<sup>3</sup> Sodium Adsorption Ratio (SAR)

<sup>4</sup> Soluble Sodium Percentage (%Na)

<sup>5</sup> Magnesium ratio (MR)

<sup>6</sup> Corrosivity ratio (CR)

<sup>7</sup> Permeability index (PI)

<sup>8</sup> Anencephaly

<sup>9</sup> Gibbs diagram

<sup>10</sup> Halite (NaCl)

<sup>11</sup> Albite (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)

<sup>12</sup> Soft

<sup>13</sup> Evaporation

<sup>14</sup> Evaporation-precipitation

<sup>15</sup> Rock

<sup>16</sup> Rainfall

<sup>17</sup> Carbonic acid (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)

<sup>18</sup> Brackish

<sup>19</sup> Fresh

اطمینان بیشتر از سلامت آب دشت در بخش شرب، پیشنهاد می‌شود که نمونه‌های آبی بلحاظ میکروبی و دیگر پارامترهای شیمیایی نظیر نترات، فلزهای سنگین بررسی شوند.

### نتیجه‌گیری

این پژوهش بمنظور بررسی کیفی آب زیرزمینی دشت سیدان- فاروق برای مصرف‌های کشاورزی و شرب و همچنین پهنه‌بندی برخی پارامترهای شیمیایی ( نظیر EC، TDS، Na، Cl، Th و SAR) موثر در این دو بخش انجام شد. براساس مطالعات هیدروژئوشیمیایی، کلسیم و بی‌کربنات بترتیب آنیون و کاتیون غالب آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه می‌باشند. الگوی پراکندگی نمونه‌ها در دیاگرام درو، نشان از تنوع رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی در آبخوان دشت سیدان- فاروق دارد. بطوریکه می‌توان از رخساره Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> که بلحاظ سختی در رده سبک قرار دارد تا رخساره Na-HCO<sub>3</sub>-Cl با سختی به نسبت زیاد را مشاهده نمود. نتایج حاصل از نمودار گیبس و نمودار Ca+Mg در برابر SO<sub>4</sub>+HCO<sub>3</sub> نشان داد که واکنش آب- سنگ و انحلال سنگ‌های کربناته، عامل اصلی در تغییر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت سیدان- فاروق می‌باشد.

نتایج حاصل از بیشتر سنجه‌های طبقه‌بندی آب در بخش کشاورزی نشان داد که بجز یک نمونه که احتمال نفوذ آب شور در آن وجود دارد و باید با احتیاط برای آبیاری استفاده شود بقیه نمونه‌ها داری کیفیت خوب هستند و برای کشاورزی مناسب می‌باشند. اگرچه تغذیه آبخوان توسط سنگ‌های آهکی- دولومیتی و دولومیتی موجب افزایش غلظت یون منیزیم در برخی از نقاط دشت و در پی آن افزایش میزان نسبت منیزیم و سختی به نسبت زیاد آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه

### منابع

Abbasnejad, A. Nazari, Y. and Dehghani, M., 2016. Investigation of hydrogeochemical process affecting the groundwater quality of rayen plain (Northeast Kerman Province) using statistical analyses. *Journal of Geochemistry*. 5(2), 145-155. (In Persian with English abstract).

Agrawal, V. and Jagetia, M., 1997. Hydrogeochemical assessment of groundwater quality in Udaipur City, Rajasthan, India. *Proceedings of National Conference on*

*Dimensions of Environmental Stress in India*, Baroda, pp. 151-154.

Aher, K.R., 2017. Delineation of groundwater quality for drinking and irrigation purposes: a case study of Bori Nala watershed, district Aurangabad, Maharashtra, India. *Journal of Applied Geochemistry*. 19(3), 321-338.

Alipour, A., Rahimi, J. and Azarnivand, A., 2017.



- Groundwater quality analysis for drinking and agricultural purposes-a prerequisite for land use planning in the arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Natural Environment*. 70(2), 423-434. (In Persian with English abstract).
- Azizi, F. and Asghari Moghaddam, A., 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. (In Persian with English abstract).
- Bhat, M.A., Wani, A.S., Vijay, K., Jyotirmaya, S., Dinesh, T. and Sanswal, R., 2018. An overview of the assessment of groundwater quality for irrigation. *Journal of Agricultural Science and Food Research*. 9(1), 1-9.
- Davis, S.N. and De Wiest, R.J.M., 1966. *Hydrogeology*. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Doneen, L.D., 1964. *Water Quality for Agriculture*. Department of Irrigation, University of California, Davis, USA, p. 48.
- Durvey, V.S., Sharma, L.L., Saini, V.P. and Sharma, B.K., 1991. *Handbook on the Methodology of Water Quality Assessment*. Rajasthan Agriculture University, India.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*. Prentice Hall, Engle Wood Cliffs, New Jersey, p. 604.
- Ghareh Mahmoodlu, M., Raghimi, M. and Tahmasebi, A., 2008. Salt water intrusion in water wells by using of hydrogeochemistry study (case study: Sari City). *Journal of Agriculture Sciences and Natural Resources*. 15(4), 281-293. (In Persian with English abstract).
- Gibbs, R.J., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science Journal*. 170, 795-840.
- Homayoonzad, I., Amirian, P. and Piri, I., 2016. Investigation on water quality of zabol chahnimeh reservoirs from drinking water and agricultural viewpoint with focus on schuler and Wilcox diagrams. *Journal of Environmental Science and Technology*. 18(1), 1-13. (In Persian with English abstract).
- Janardhana Raju, N., 2007. Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in the upper Gunjanaeru River basin, Cuddapah District, Andhra Pradesh, South India. *Environmental Geology*. 52, 1067-1074.
- Karanth, K.R., 2001. *Assessment Development and Management*. Tata McGraw-Hill, New Delhi, p. 720.
- Kaur, T., Bhardwaj, R. and Arora, S., 2017. Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Malwa region, southwestern part of Punjab, India. *Applied Water Science*. 7(6), 3301-3316.
- Kumar, M., Kumari, K., Ramanathan, A.L. and Saxena, R., 2007. A comparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated districts of Punjab, India. *Journal of Environmental Geology*. 53, 553-574.
- Palliwal, K.V., 1972. *Irrigation with Saline Water*. ICARI Monograph No.2, New Delhi, p. 198.
- Purushothman, P., Rao, M.S., Kumar, B., Rawat, Y.S., Krishan, G., Gupta, S., Marwah, S., Bhatia, A.K., Kaushik, Y.B., Angurala, M.P. and Singh, G.P., 2012. Drinking and irrigation water quality in Jalandhar and Kapurthala Districts, Punjab, India: using hydrochemistry. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*. 5(6), 1599-1608.
- Raman, V., 1985. Impact of corrosion in the conveyance and distribution of water. *Journal of Indian Water Works Association*. 11, 115-121.
- Ravikumar, P. and Somashekar, R.K., 2017. Principal component analysis and hydrochemical facies characterization to evaluate groundwater quality in Varahi river basin, Karnataka state, India. *Journal of Applied Water Sciences*. 7, 745-755.
- Rezaee, M., 2011. Assessing the controlling factors of groundwater hydrochemistry in Mond alluvial aquifer, Bushehr. *Journal of Environmental studies*. 37(58), 105-116. (In Persian with English abstract).
- Richards, L.A., 1954. *Diagnosis and Improvement of Sa-*

- line and Alkali Soils. Agriculture Handbook. 60, 210-220.
- Sajedi-Hosseini, F., Choubin, B. and Shahbazi, B., 2015. Determining type, faces and hypothetical composition of groundwater aquifer Seydan-Farooq in Fars Province. *Journal of Water Management in Arid Lands*. 1(2), 35-44. (In Persian with English abstract).
- Saleh, A., Al-Ruwaih, F. and Shehata, M., 1999. Hydro-geochemical processes operating within the main aquifers of Kuwait. *Journal of Arid Environments*. 42,195-209.
- Sappa, G., Ergul, S. and Ferranti, F., 2014. Water quality assessment of carbonate aquifers in southern Latium region, Central Italy: a case study for irrigation and drinking purposes. *Journal of Applied Water Science*. 4, 115-128.
- Sawyer, G.N. and McCarty, D.L., 1967. *Chemistry of Sanitary Engineers*. 2nd ed, McGraw Hill, New York. USA.
- Shanmugasundharam, A., Kalpana, G., Mahapatra, S.R., Sudharson, E.R. and Jayaprakash, M., 2017. Assessment of groundwater quality in Krishnagiri and Vellore districts in Tamil Nadu, India. *Jourml of Applied Water Science*. 7, 1869-1879.
- Sheikhy Narany, T., Firuz Ramli, M., Zaharin Aris, A., Sulaiman, W.N.A., Juahir, H. and Fakharian, K., 2014. Identification of the hydrogeochemical processes in groundwater using classic integrated geochemical methods and geostatistical techniques, in Amol-Babol Plain, Iran. *The Scientific World Journal*. 2014, 1-15.
- Shirvani, T., Shirvani Saroei, I., Boochani, M.H. and Aref, F., 2016. Qualitative assessment of groundwater for agriculture and industry purposes in Sahra Bagh plain, Lar-estan, Iran. *Iranian Journal of Ecohydrology*. 2(4), 345-356. (In Persian with English abstract).
- Singh, S., Raju, N.J. and Ramakrishna, Ch., 2015. Evaluation of groundwater quality and its suitability for domestic and irrigation use in parts of the Chandauli-Varanasi Region, Uttar Pradesh, India. *Journal of Water Resource and Protection*. 7, 572-587.
- Sreepat, J., 2014. *Fundamentals of Physical Geology*, Springer, India, p. 488.
- Stuyfzand, P.J., 1991. Non-point source of trace element in potable groundwater in Netherland. *Proceedings of the 18th International Water Supply Congress and Exhibition (IWSA)*, 25th-31th May, Copenhagen, Denmark.
- Subramani, T., Elango, L. and Damodarasamy, S.R., 2005. Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Chithar River Basin, Tamil Nadu, India. *Journal of Environmental Geology*. 47, 1099-1110.
- Talebi, B. Sajjadi, N. and Sharmad, T., 2017. Evaluation of drinking and agricultural water quality in the north of Qazvin Plain's. *Journal of Marine Science & Technology*. 12(2), 1-16. (In Persian with English abstract).
- Tamma, R.G., Srinivasa, R.Y., Mahesh, J., Surinaidu, L., Dhakate, R., Gurunadha, R.V.V.S. and Durga, P.M., 2015. Hydrochemical assessment of groundwater in alluvial aquifer region, Jalandhar District, Punjab, India. *Journal of Environmental Earth Sciences*. 73, 8145-8153.
- Tripathi, A.K., Mishra, U.K., Mishra, A., Tiwari, S. and Dubey, P., 2012. Studies of hydrogeochemical in groundwater quality around Chakghat Area, Rewa District, Madhya Pradesh, India. *International Journal of Modern Engineering and Research Technology*. 2(6), 4051-4059.
- Wilcox, L.V., 1955. *Classification and Use of Irrigation Waters*. U.S. Department of Agriculture. Circ, Washington, DC. USA.
- World Health Organization (WHO), 2004. *Guideline for Drinking-Water Quality*, 3rd ed, Vol. 1: Recommendations, World Health Organization, Geneva: Switzerland. Available online at: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/gdwq3/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq3/en/).





Environmental Sciences Vol.17/ No.3/ Autumn 2019

89-106

## Assessment of groundwater quality in Seydan-Farooq plain for irrigation and drinking purposes

Mojtaba Ghareh Mahmoodlu<sup>1\*</sup>, Ali Heshmatpour<sup>1</sup>, Nader Jandaghi<sup>1</sup>, Ali Zarei<sup>2</sup> and Hossein Mehrabi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Watershed and Rangeland Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources,  
Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

<sup>2</sup> Water Expert at Regional Water Company of Seydan-Farooq, Marvdasht, Iran

Received: 2018.09.01

Accepted: 2018.12.10

**Ghareh Mahmoodlu, M., Heshmatpour, A., Jandaghi, N., Zarei, A. and Mehrabi, H., 2019.** Assessment of groundwater quality in Seydan-Farooq plain for irrigation and drinking purposes. *Environmental Science*.17(3): 89-106.

**Introduction:** Groundwater quality study is one of the important tools for the sustainable development of a region and provides crucial information for managing water in different sectors. In recent years, water withdrawal from Iran's aquifers has reduced the groundwater quality in most of the plains. This research was conducted to investigate the groundwater quality of Seydan-Farooq plain for agricultural and drinking purposes and also mapping some effective chemical parameters in these two sections.

**Material and methods:** In this research, the results of chemical analysis of twelve wells in 2016 were used. First, groundwater type and hydrogeochemical facies were determined. Factors controlling groundwater chemistry were determined using Gibbs diagram and plot of Ca+Mg versus SO<sub>4</sub>+HCO<sub>3</sub>. To classify water for irrigation, electrical conductivity (EC), sodium adsorption ratio (SAR), sodium percentage (%Na), magnesium ratio, corrosivity ratio, and permeability index were used. Then, the map of some important parameters for irrigation water was prepared. To classify water for drinking purposes, chemical parameters were first compared with World Health Organization (WHO) guidelines. Next, some important parameters for drinking such as total dissolved solids, total hardness, and chloride ion concentration were compared with existing standards and their effects on human health were discussed. Then, the map of these parameters for the study plain was prepared. Finally, the quality of water for drinking purposes was evaluated using the Schoeller diagram.

**Results and discussion:** The distribution pattern of samples in Durov diagram indicated the tendency of some samples to reach the end of the hydrogeochemical evolutionary cycle. As such, the bicarbonate type was changed into chloride type in

\*Corresponding Author: *Email Address*.mmahmoodlu@gonbad.ac.ir

a short time. Based on Gibbs diagram and the plot of Ca+Mg versus SO<sub>4</sub>+HCO<sub>3</sub>, rock-water interaction and dissolution of carbonate rocks were the main factors changing the groundwater chemical quality of the plain. According to SAR value, all samples fell in the excellent category which is suitable for irrigation and there is no risk of soil alkalinity. While in terms of salinity (EC), they are acceptable in the agricultural sector. Based on the percentage of sodium, samples were categorized as excellent, which are suitable for irrigation. According to the permeability index, all samples, except for one sample, showed good irrigation quality and did not change the soil permeability. In the majority of samples, the magnesium ratio was less than 50, which is suitable for irrigation. Comparison of chemical parameters with the WHO guidelines showed that none of the parameters exceeded the permissible limit. Comparison of TDS and chloride in samples with other existing standards showed that only one sample was brackish, which is not suitable for drinking purposes. Based on the groundwater hardness, water of the study plain was classified as high hardness water. According to the Schoeller diagram, the water quality of the study plain was classified in the good category.

**Conclusion:** According to the hydrogeochemical results, water-rock interaction and weathering of carbonate minerals are the main factors in changing water chemistry. Since the majority of rocks recharging the aquifer are calcareous, it seems obvious that calcium and bicarbonate ions are dominant in the groundwater. In all samples, except those wells with possible saltwater intrusion, parameters such as salinity risk, SAR, sodium solution, and permeability index were acceptable for irrigation and there was no risk of soil alkalinity. Aquifer recharge by limestone-dolomite and dolomitic rocks in some regions has increased the magnesium ratio of groundwater in about 40% of samples. It has also increased the groundwater hardness. None of the chemical parameters exceeded the permissible limit set by the WHO and Schoeller diagram indicated that the water quality of the study plain was classified in the good category.

**Keywords:** Groundwater quality, Hydrogeochemistry, Irrigation water, Drinking water.