Gonbad Kavous University
Journal of New Approaches in
Water Engineering and Environment
Volume 2, Issue 1

# Assessment and comparison of the spring and well water resources quality for Drinking and Irrigation Purposes (Case study: East of Gorgan plain)

**Mojtaba Ghareh mahmoodlu[1], Javad Shirzadnia[2*]**

[1] Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
[2] Master Degree in Watershed Management Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
Received: 01.03.2023; Accepted:05.06.2023

## Abstract

**The present study was conducted in order to evaluate and compare the quality of underground water resources (springs and wells) in the eastern part of Gorgan Plain in terms of potability and irrigation in a 10-year period. In this research, the results of chemical analysis of 14 wells and 8 springs were used. Water quality index (WQI), Schuler's diagram and some criteria and standards were used to evaluate the quality of drinking water sources. Electrical conductivity, corrosion ratio, magnesium ratio, sodium absorption ratio, soluble sodium percentage, permeability ratio and overall ratio were used in the irrigation section. Then, the zoning of some effective parameters and indicators in each section was done in the GIS environment using the IDW method. Based on the WQI index, the quality of all springs and wells on the edge of the highlands is in the excellent category, but as you move away from the plain, the quality of some wells varies from good to poor. Based on the concentration of some hydrochemical parameters, standards and Schuler's diagram, except for one remaining well, the studied water sources are of suitable quality for drinking. In the irrigation sector, based on the Wilcox diagram, sodium absorption ratio, salinity risk, residual sodium carbonate index and overall ratio, water from wells in the west of the region should be used with caution. In general, the quality of spring water in both drinking and irrigation sectors is much better than well water.**

**Keywords: Groundwater, Schoeller Diagram, Corrosion Ratio, Wilcox Diagram, Water Quality Index.**

*Corresponding author: Javad.shirzadnia@gmail.com

دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط‌زیست"
دوره دوم، شماره اول
http:// Nawee.gonbad.ac.ir

# ارزیابی و مقایسه کیفیت منابع آبی چشمه و چاه از نظر قابلیت شرب و آبیاری (مطالعه موردی: شرق دشت گرگان)

**مجتبی قره‌محمودلو[1]، جواد شیرزادنیا[2*]**

[1] دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبدکاووس، ایران
[2] دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبدکاووس، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۰؛ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۰۳/۱۵

## چکیده

**پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی و مقایسه کیفیت منابع آب زیرزمینی (چشمه و چاه) بخش شرقی دشت گرگان از نظر قابلیت شرب و آبیاری در یک دوره ۱۰ ساله انجام شد. در این تحقیق از نتایج آنالیز شیمیایی ۱۴ چاه و ۸ چشمه استفاده شد. از شاخص کیفیت آب (WQI)، دیاگرام شولر و برخی معیارها و استانداردها برای ارزیابی کیفی منابع آب شرب استفاده شد. در بخش آبیاری از هدایت الکتریکی، نسبت خوردگی، نسبت منیزیم، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم محلول، نسبت نفوذپذیری و نسبت کلی استفاده شد. سپس پهنه‌بندی برخی از پارامترها و شاخص‌های موثر در هر بخش در محیط GIS و با استفاده از روش IDW انجام شد. براساس میزان شاخص WQI، کیفیت تمامی چشمه‌ها و چاه‌های حاشیه ارتفاعات در رده عالی قرار می‌گیرد اما با دور شدن از دشت کیفیت برخی از چاه‌ها از خوب تا ضعیف متغیر است. براساس غلظت برخی از پارامترهای هیدروشیمیایی، استانداردها و دیاگرام شولر به جز یک چاه مابقی منابع آب مورد مطالعه از کیفیت مناسبی برای شرب برخوردار هستند. در بخش آبیاری، براساس دیاگرام ویلکوکس، نسبت جذب سدیم، خطر شوری، شاخص کربنات سدیم باقی‌مانده و نسبت کلی، آب چاه‌های غرب منطقه می‌بایست با احتیاط استفاده شود. به‌طورکلی کیفیت آب چشمه‌ها در هر دو بخش شرب و آبیاری به‌مراتب بهتر از آب چاه‌ها می‌باشد.**

**کلمات کلیدی: آب زیرزمینی، دیاگرام شولر، نسبت خوردگی، دیاگرام ویلکوکس، شاخص کیفیت آب.**

*نویسنده مسئول: Javad.shirzadnia@gmail.com

**مقدمه**

با توجه به توسعه جوامع بشری، آب‌های زیرزمینی نقش مهمی را جهت استفاده در بخش‌های شرب و آبیاری ایفا می‌کنند. دسترسی به آب های زیرزمینی با کیفیت مناسب برای سلامت انسان، آبیاری کشاورزی و توسعه اجتماعی پایدار ضروری است. در دهه‌های اخیر، کیفیت آب‌های زیرزمینی و ویژگی‌های هیدروشیمیایی تحت تأثیر فزاینده آلودگی در منطقه‌ای با فعالیت‌های شدید کشاورزی قرار گرفته است. آلاینده‌ها پس از عبور از خاک و مناطق غیر اشباع و به داخل آبخوان نفوذ کرده و باعث افت کیفیت آب زیرزمینی می‌شوند(Guo et al., 2021). بنابراین، نظارت بر کیفیت برای مدیریت پایدار آب‌های زیرزمینی برای اهداف مختلف بسیار مهم است، خصوصا در مناطقی که برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی و افزایش بار آلودگی زیرسطحی ناشی از فعالیت‌های انسانی به اندازه کافی کنترل نمی‌شود ( Aragaw and Gnanachandrasamy, 2021).

بطورکلی شاخص‌های کیفیت آب ابزاری ساده و قابل فهم برای مدیران در مورد کیفیت و استفاده‌های احتمالی آب در بخش‌های شرب و آبیاری را فراهم می‌کند. با این حال، یک عامل کیفی فردی به تنهایی برای ارزیابی کیفیت آب کافی نیست، زیرا می‌تواند محدود کننده باشد و گاهی اوقات کیفیت نامطلوبی ارائه دهد. ارزیابی و طبقه‌بندی کیفی آب برای مصارف شرب، آبیاری و صنعتی بیشتر براساس غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی استوار است(Hosseinifard and Aminiyan, 2015).

تاکنون مطالعات گوناگونی در خصوص طبقه‌بندی آب برای مصارف مختلف در داخل و خارج از کشور انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده‌است. رحیمی و همکاران، (Rahimi et al., 2016) به ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان اردبیل برای مصارف شرب و کشاورزی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد کیفیت آب زیرزمینی این آبخوان برمبنای شاخص کیفی آب (WQI) در وضعیت مطلوب قرار دارد. همچنین آب زیرزمینی این آبخوان دارای خاصیت خورندگی بوده و استفاده از آن در سامانه‌های آب‌رسانی شهری، سبب بروز بیماری و مسائل مختلف ناشی از خوردگی لوله‌ها، در انسان خواهد شد. علاوه براین استفاده از این آب‌ها، برای مصارف کشاورزی می‌تواند سبب بروز مشکل در اتصالات فلزی سامانه‌های آبیاری بارانی خواهد شد. (Gabr et al., 2021) به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی در یکی از شهرهای مصر برای مصارف شرب و آبیاری پرداختند. نتایج شاخص کیفیت آب شرب برای غرب شهر ضعیف و در شرق دارای کیفیت خوب است اما نیاز به ضدعفونی دارد. تمامی شاخص‌های استفاده شده در این تحقیق، نشان از کیفیت خوب آب در بخش آبیاری دارد. جعفری و همکاران (Jafari et al., 2021) در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی کیفی منابع آب برای مصارف شرب و کشاورزی در حوضه آبریز گاماسیاب به این نتیجه رسیدند که منابع آبی حوضه به لحاظ آبیاری از کیفیت خوبی برخوردار است. درحالی‌که از لحاظ شرب براساس شاخص شولر و سختی بی‌کربنات در حد قابل قبول قرار می‌گیرند. همچنین براساس نتایج شاخص‌های کیفی، آب دارای کیفیت عالی برای هر دو منبع آبی سطحی و زیرزمینی در حوضه می‌باشد. (Anonna et al., 2022) در پژوهشی مشابه جعفری و همکاران (Jafari et al., 2021) به این نتیجه رسیدند که به جز نمونه‌های کمی در نزدیکی مناطق مسکونی پرجمعیت، آب رودخانه ماهاندا در کشور بنگلادش هم برای مصارف آشامیدنی و هم برای مصارف کشاورزی مناسب است. تمامی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که بدون انجام مطالعات کیفی آب نمی‌توان برای تخصیص منابع آب برای مصارف مختلف برنامه ریزی کرد. اکثر مطالعات اخیر بر کیفیت آب آشامیدنی یا کشاورزی تاکید کرده‌اند. لازم به ذکر است با وجود توسعه شتابان در منطقه مورد مطالعه و نقش حیاتی آب به عنوان یک منبع مهم، این تحقیق به منظور پرکردن شکاف مطالعاتی و ارزیابی و مقایسه کیفی آب چشمه و چاه در شرق دشت گرگان از نظر پارامترهای فیزیکوشیمیایی از منظرهای مختلف با استفاده از شاخص‌های کیفی آب شرب و آبیاری انجام شد.

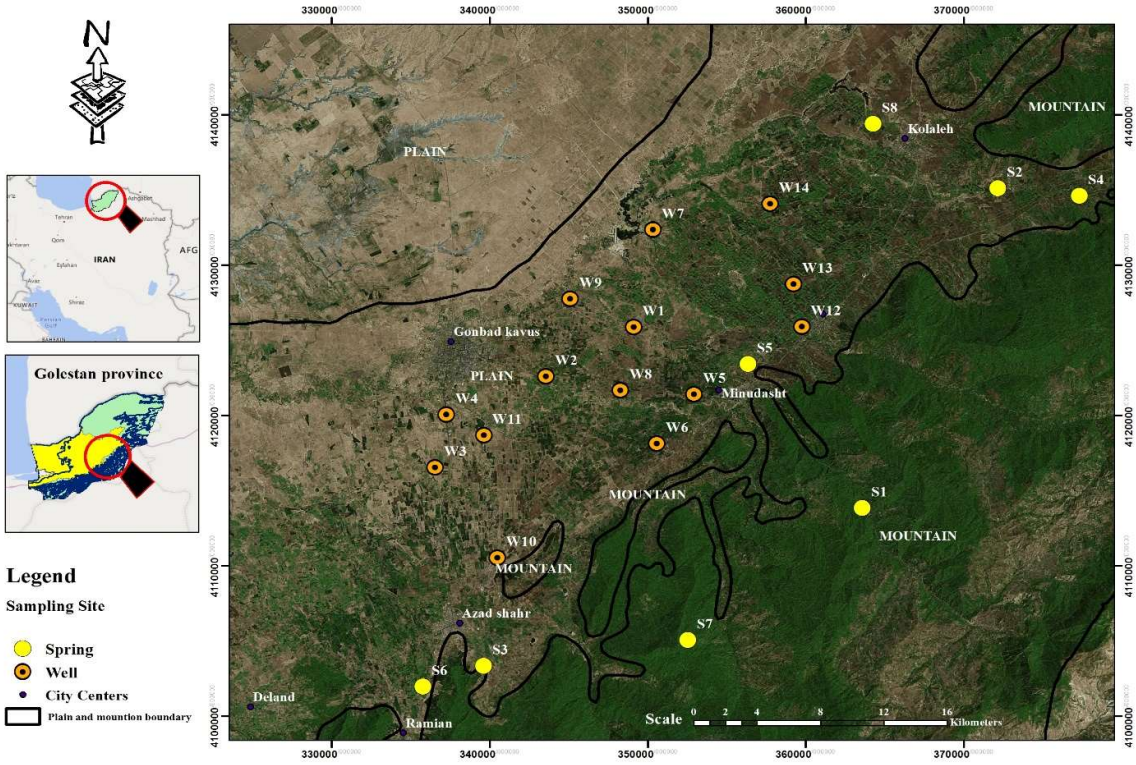
**منطقه مورد مطالعه**

دشت گرگان با مساحتی در حدود ۵۰۰۰ کیلومترمربع یکی از بزرگ‌ترین دشت‌های کشور بوده که در نیمه

شمالی استان گلستان و جنوب شرق دریای خزر واقع شده است. این دشت دارای ۵ حوضه آبریز اصلی شامل حوضه‌های آبریز شرق خلیج گرگان، نکارودعلیا، قره‌سو، گرگانرود، اترک‌سفلی می‌باشد. محدوده موردمطالعه در این پژوهش قسمت شرقی دشت می‌باشد (شکل۱).

رودخانه گرگانرود با طول ۳۳۳ کیلومتر طولانی‌ترین و حوضه آبخیز آن بزرگ‌ترین حوضه در استان گلستان می‌باشد که نقش مهمی در تأمین منابع آب مورد نیاز این استان دارد. تقریباً ۶۷ درصد از منابع آب سطحی استان، معادل ۸۲۸ میلیون مترمکعب در این حوضه جریان دارد.

بررسی خطوط هم‌باران در محدوده دشت گرگان نشان می‌دهد که در قسمت‌های جنوبی آن بارندگی متوسط سالانه حدود ۶۰۰ میلی‌متر بوده و هر چه به سمت شمال حرکت کنیم از مقدار بارندگی کاسته شده به‌طوری‌که در نزدیک مرز ترکمنستان به زیر ۴۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد. هم‌چنین در بررسی خطوط هم‌دمای سالانه مشخص شد که در قسمت‌های جنوبی دشت گرگان متوسط دمای سالانه حدود ۱۶ درجه سانتی‌گراد بوده و هر چه به سمت شمال دشت برویم بر مقدار دما افزوده شده به‌طوری‌که در نزدیک مرز ترکمنستان به بالای ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. اقلیم دشت گرگان بر اساس روش دومارتن از نیمه‌خشک در شرق تا مرطوب در بخش‌های غربی منطقه مورد مطالعه متغیر می‌باشد.




**شکل۱- موقعیت دشت مورد مطالعه و نقشه پراکندگی چشمه و چاه‌های نمونه برداری در ایران و استان گلستان**

## مواد و روش‌ها

### طبقه‌بندی کیفی منابع آبی مورد مطالعه

**-در بخش شرب:** بطور کلی آب مورد استفاده در بخش شرب باید از عاری از رنگ، کدورت و میکروارگانیسم باشد. یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها جهت بررسی کیفیت آب ازنظر شرب دیاگرام شولر می‌باشد. این دیاگرام بر پایه غلظت یون‌های اصلی سدیم، کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم استوار است. در این دیاگرام غلظت یون‌های اصلی را برحسب میلی‌اکی‌والان گرم در لیتر نشان داده می‌شود. بر اساس دیاگرام شولر آب‌ها ازنظر شرب به شش گروه شامل خوب، قابل‌قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامناسب و غیرقابل‌شرب تقسیم می‌شود(Schoeller,1965).

استانداردهای آب آشامیدنی، پارامترهای لازم برای ارزیابی کیفیت آب شرب می‌باشند. ازاین‌رو، بسیاری از کشورهای پیشرفته برای ارزیابی کیفی آب شرب خود استانداردهایی تهیه نموده‌اند. سازمان بهداشت جهانی (WHO)برای آن دسته از کشورهایی که فاقد استاندارد داخلی هستند یک راهنما و دستورالعمل برای بررسی کیفیت آب در بخش شرب تهیه کرده‌است که به‌عنوان معیاری برای کیفیت آب آشامیدنی محسوب می‌شود. در این تحقیق علاوه بر مقایسه یون‌های اصلی با استاندار WHO، برخی از پارامترهای شیمیایی نظیر کل جامدات محلول، یون کلر و سختی با استانداردهای موجود در منابع مختلف مقایسه شد.

تعیین سختی آب یک شاخص بسیار ارزشمند برای ارزیابی کیفیت آب جهت استفاده در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت می‌باشد (Sheikhy Narany et al., 2014). به‌طورکلی آب سخت سبب بروز سنگ کلیه آنانسفالی، مرگ‌ومیر، 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 پخت‌وپز شوند. از آنجائی‌که غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم در آب‌های طبیعی بیش از یون‌های دیگر است سختی آب بر اساس غلظت این دو یون محاسبه می‌شود. این دو کاتیون ممکن است با تشکیل ترکیبات کربناته و غیرکربناته باعث ایجاد سختی در آب شوند. سختی کل (برحسب $CaCO_3$) نمونه‌های آب را می‌توان با استفاده از رابطه (۱) محاسبه کرد (Bhat et al., 2018):

$$TH[CaCO_3] = 2.5[Ca^{2+}] + 4.1[Mg^{2+}] \qquad (۱)$$

غلظت یون‌ها در رابطه (۱) برحسب میلی اکی والان بر لیتر می‌باشد.

-در بخش آبیاری: در این تحقیق با توجه به پارامترهای شیمیایی موجود معیارهای مختلفی برای ارزیابی آب در بخش آبیاری مورد استفاده قرار گرفته است که در ادامه به‌اختصار شرح داده شدند.

هدایت الکتریکی[۱](EC) یکی از مهم‌ترین پارامترها در تعیین کیفیت آب برای آبیاری است که می‌تواند بر رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصولات زراعی تأثیرگذار 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. بر اساس هدایت الکتریکی کیفیت آب برای آبیاری را به ۵ دسته عالی (<۲۵۰μS/cm)، خوب (۲۵۰-۷۵۰μS/cm)، قابل‌قبول (۷۵۰-۲۰۰۰ μS/cm)، با احتیاط استفاده شود (۲۰۰۰-۳۰۰۰ μS/cm) و غیرقابل‌قبول (>۳۰۰۰ μS/cm) تقسیم‌بندی می‌شود (Saleh et al., 1999).

نسبت جذب سدیم[۲] (SAR) به‌عنوان یک شاخص مؤثر 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 ازنظر آب مصرفی در بخش آبیاری هستند. یون‌های سدیم و پتاسیم پراکندگی ذرات رس را تسهیل می‌کنند همچنین باعث کاهش نفوذپذیری خاک می‌شوند (Kumar et al., 2007). نسبت جذب سدیم برای هر نمونه آب را می‌توان توسط رابطه (۲) محاسبه نمود.

$$SAR = Na^{+} / \left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۲)$$

در رابطه (۲) غلظت تمام یون‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. بر اساس میزان نسبت جذب سدیم آب آبیاری در چهار رده عالی (<۱۰)، خوب (۱۰-۱۸)، بااحتیاط استفاده شود (۱۸-۲۶) و غیرقابل‌قبول (>۲۶) تقسیم‌بندی می‌شود(Ricahrd, 1954).

غلظت یون سدیم در آب در طبقه‌بندی کیفی آب برای آبیاری بسیار مهم است (Purushothaman, 2012). سدیم موجود در آب توسط ذرات باردار رس جذب

[۱] Electrical Conductivity

[۲]- Sodium Adsorption Ratio

می‌شوند. علاوه براین، یون سدیم بر اساس فرآیند تبادل یونی توانایی جایگزینی یون‌های دو ظرفیتی منیزیم و کلسیم موجود در ذرات خاک را دارد (Kumar et al., 2007). نتیجه این عمل کاهش نفوذپذیری خاک به همراه زهکشی داخلی ضعیف و در پی آن کاهش حرکت آب‌وهوا در شرایطی که خاک مرطوب می‌باشد. اما در شرایطی که خاک خشک است، غلظت بالای یون سدیم باعث سخت شدن خاک می‌شود (Saleh et al, 1999). درصد سدیم محلول[3](%Na) از رابطه (۳) قابل‌محاسبه می‌باشد:

$$\%Na = \frac{Na^{+} + K^{+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+}} \times 100 \qquad (۳)$$

در رابطه (۳) غلظت تمام یون‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. ویلکوکس (Wilcox, 1055) بر اساس میزان درصد سدیم محلول کیفیت آب برای آبیاری را به ۵ دسته عالی (<۲۰)، خوب (۴۰-۲۰)، قابل‌قبول (۶۰-۴۰)، بااحتیاط استفاده شود (۸۰-۶۰)، غیرقابل‌قبول (>۸۰) تقسیم‌بندی می‌کند.

یکی از پارامترهای مهمی که برای سنجش کیفیت آب در بخش آبیاری آنیون بیکربنات است؛ چراکه بیکربنات باعث رسوب کلسیم و به مقدار کمتری رسوب منیزیم می‌شود. این عمل باعث افزایش SAR محلول خاک و به دنبال آن باعث بالا رفتن ESP خاک می‌شود. گرچه رسوب کربنات‌ها در آب‌های سطحی معمول است، ولی این عمل در آب‌های زیرزمینی از شدت بیشتری برخوردار است. آب‌های زیرزمینی با $CO_2$ موجود در خود و غلظت زیاد بی‌کربنات در حالت تعادل هستند و به‌محض استخراج این آب‌ها و قرار گرفتن در معرض هوای آزاد، $CO_2$ آن‌ها متصاعد می‌شود و کلسیم و منیزیم موجود به‌صورت کربنات رسوب می‌کنند. با فرض این‌که کلیه کلسیم و منیزیم‌ها به‌صورت کربنات رسوب کنند، کربنات سدیم باقی‌مانده را می‌توان مطابق رابطه (۴) محاسبه نمود:

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^{-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \qquad (۴)$$

غلظت یون‌ها برحسب میلی اکی والان بر لیتر می‌باشد.

بر اساس میزان RSC کیفیت آب برای آبیاری را به ۳ رده مناسب (<۱/۲۵)، متوسط یا قابل‌تحمل (۲/۵-۱/۲۵) و نامناسب (>۲/۵) تقسیم‌بندی می‌شود(Ricahrd, 1954)

به‌طورکلی در بیشتر آب‌ها طبیعی غلظت یون‌های Ca و Mg باهم در تعادل هستند. زمانی که میزان منیزیم در آب زیاد می‌شود اثر معکوس بر کیفیت خاک دارد. به‌طوری‌که باعث قلیایی شدن خاک و در نتیجه کاهش بازدهی محصولات کشاورزی می‌شود. بر اساس نسبت منیزیم[4](MR) می‌توان آب را برای استفاده در بخش آبیاری طبقه‌بندی کرد. این نسبت را می‌توان از رابطه (۵) محاسبه نمود:

$$MR = \frac{Mg^{2+}}{Mg^{2+} + Ca^{2+}} \times 100 \qquad (۵)$$

در رابطه (۵) غلظت تمام یون‌ها برحسب میلی اکی والان بر لیتر می‌باشد. درصورتی‌که 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(Tripathi et al., 2012).

خورندگی یک پروسه الکترولیتی است که در سطح فلزات ایجاد می‌شود و باعث تخریب و سوراخ شدن دیواره‌های فلزی می‌گردد. این مشکل اغلب به سبب شوری و پوسته گذاری ایجاد می‌شود. در مورد آب‌های کشاورزی این عامل به‌وسیله پارامتر نسبت خورندگی[5] (CR) جهت بررسی کیفیت آب در لوله‌های انتقال به مزارع موردبررسی قرار می‌گیرد. این نسبت را می‌توان از رابطه (۶) محاسبه نمود:

$$CR = \left[\frac{Cl^{-}}{35.5} + 2\left(\frac{SO_4^{2-}}{96}\right)\right] / \left[2\left(\frac{HCO_3^{-} + CO_3^{2-}}{100}\right)\right] \qquad (۶)$$

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

[3]- Soluble Sodium Percentage

[4]- Magnesium ratio

[5]- Corrosivity ratio

نفوذپذیری خاک تحت تأثیر ترکیب و غلظت برخی از یون‌ها نظیر $Na^+$، $Mg^{2+}$، $Ca^{2+}$ و $HCO_3^-$ موجود در آب آبیاری می‌باشد. ازاین‌رو استفاده طولانی‌مدت از آب با شوری و میزان بالای سدیم سبب کاهش نفوذپذیری خاک می‌گردد. شاخص نفوذپذیری[۶] (PI) را می‌توان از رابطه (۷) محاسبه کرد (Doneen,1964):

$$PI = (Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}) \times 100 / (Na^+ + Mg^{2+} + Ca^{2+}) \quad (۷)$$

درصورتی‌که مقدار 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 درصورتی‌که مقدار PI کمتر از ۲۵٪ باشد (کلاس III) کیفیت آب برای آبیاری نامناسب ارزیابی می‌شود.

نسبت کلی(Kelly's ratio)، برای تقسیم‌بندی آب جهت آبیاری استفاده می‌شود. این نسبت از تقسیم غلظت یون سدیم بر مجموع کلسیم و منیزیم محاسبه گردید.

$$Kelly's\ ratio = KR = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \quad (۸)$$

اگر نسبت کلی بیش از یک باشد نشان از مقدار بالای سدیم در آب دارد که این آب برای آبیاری مناسب نمی‌باشد. درصورتی‌که نسبت کلی کمتر از یک باشد آب برای آبیاری مناسب می‌باشد (Kelly, 1940).

**محاسبه شاخص کیفیت آب**

محاسبه شاخص کیفیت آب شامل سه مرحله می‌باشد: (Al-Hadithi, 2012) در مرحله اول برای هر فاکتور یک وزن خاص اختصاص بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (استاندارد ۲۰۱۱، WHO) داده شد. سپس در مرحله دوم به با استفاده از رابطه (۹) وزن نسبی هر فاکتور محاسبه گردید:

$$Wi = \frac{Wi}{\sum_{i=1}^{n} Wi} \quad (۹)$$

در این رابطه Wi وزن هر فاکتور و n تعداد فاکتور است. همچنین، وزن تعیین شده از ۱ تا ۵ متغیر است. حداکثر وزن به مقدار ۵ برای نیترات و TDS، ۴ برای pH، EC، $SO_4$، ۳ برای $HCO_3$، کلر، ۲ برای کلسیم، سدیم، پتاسیم و وزن ۱ برای منیزیم اختصاص داده شده‌است.

در مرحله سوم مقیاس نرخ کیفیت محاسبه می‌گردد. این مقیاس با تقسیم غلظت هر فاکتور در هر نمونه آب بر مقدار استاندارد آن فاکتور محاسبه می‌شود (رابطه ۱۰):

$$q_i = \frac{c_i}{s_i} \times 100 \quad (۱۰)$$

که در آن Ci غلظت و Si استاندارد هر فاکتور شیمیایی در نمونه است. سپس برای محاسبه شاخص از روابطه ۱۱ و ۱۲ استفاده شد:

$$SI_i = Wi \times qi \quad (۱۱)$$

$$WQI = \sum SI_i \quad (۱۲)$$

مقدار شاخص به دست آمده برای تعیین رده بندی کیفیت آب طبقه بندی می‌شود. در این طبقه بندی آب هایی با کیفیت کمتر از ۵۰ در رده بسیار خوب، ۵۰ تا ۱۰۰ در رده خوب، ۱۰۰ تا ۲۰۰ در رده ضعیف، ۲۰۰ تا ۳۰۰ در رده بسیار ضعیف و بالاتر از ۳۰۰ در رده آب نامناسب قرار می‌گیرند( Logeshkumaran et al., 2015).

**روش کار**

جهت بررسی تغییرات کیفی و همچنین تعیین برخی از شاخص‌ها از نتایج پارامترهای فیزیکوشیمیایی (شامل: Ca، Mg، Na، K، $HCO_3$، Cl، $SO_4$، TDS، pH و EC) مربوط به ۱۴ حلقه چاه پیزومتری نیمه عمیق (کمتر از ۳۵ متر عمق) و ۸ چشمه (شکل ۱) در یک دوره ۱۰ سال بین سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ استفاده‌شد (جدول ۱). تمامی داده‌های کیفی این تحقیق از امور آب استان گلستان جمع‌آوری شد.

به منظور تحلیل نتایج به دست آمده و محاسبه پارامترهای موثر بر کیفیت آب شرب و آبیاری از نرم افزار AqQa استفاده گردید. برای طبقه بندی آب شرب، برخی پارامترهای مهم با دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت. برای طبقه بندی

[۶]- Permeability index

آب آبیاری، از پارامترهای هدایت الکتریکی، نسبت خوردگی، نسبت منیزیم، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم محلول، نسبت نفوذپذیری و نسبت تغییرات کلی استفاده شد. در نهایت شاخص کیفیت آب زیرزمینی با توجه به استانداردهای سازمان بهداشت جهانی محاسبه و نقشه پهنه‌بندی با استفاده از نرم افزار ArcGis9.3 تهیه و روند تغییرات مکانی آن‌ها در دشت مورد مطالعه تفسیرگردید. در ضمن، تمامی نمودارهای مذکور در محیط Excel تهیه گردید.

## نتایج

### کیفیت آب در بخش شرب

به‌طورکلی استانداردهای آب آشامیدنی، پارامترهای لازم برای ارزیابی کیفیت آب شرب می‌باشند. ازاین‌رو، بسیاری از کشورهای پیشرفته برای ارزیابی کیفی آب شرب خود استانداردهایی تهیه نموده‌اند. در این پژوهش علاوه بر مقایسه
یون‌های اصلی با استاندار WHO، برخی از پارامترهای شیمیایی نظیر کل جامدات محلول، یون کلر و غیره با استانداردهای موجود در منابع مختلف (جدول۲) مقایسه گردید. کل جامدات محلول (TDS) شامل نمک‌های معدنی مانند کربنات‌ها، بی‌کربنات‌ها، کلریدها، سولفات‌ها، فسفات‌ها و نیترات‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، آهن و غیره است. با توجه به جدول (۱) غلظت TDS در محدوده مورد مطالعه بین ۳۲۴ تا ۵۳۹ میلی‌گرم بر لیتر برای چشمه‌ها و ۴۰۳ تا ۲۶۶۹ میلی‌گرم بر لیتر برای چاه‌ها می‌باشد. برای اطمینان از مناسب بودن آب‌های زیرزمینی برای هر هدفی، طبقه‌بندی آب‌های زیرزمینی بر اساس خواص شیمیایی آن‌ها خصوصاً TDS ضروری می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی (Davis and De Wiest, 1966) اکثر نمونه‌های آب برای مصارف شرب مجاز یا مطلوب می‌باشد و تنها یک نمونه مناسب شرب نمی‌باشد (جدول ۱). بر اساس طبقه‌بندی( Freeze and Cherry, 1979) نیز بیشتر نمونه‌ها در کلاس آب شیرین قرار می‌گیرند و تنها یک نمونه (چاه شماره ۳) جز آب‌های لب‌شور به‌حساب می‌آید. به‌طورکلی تغییرات سختی در منطقه بین حدود ۲۳۶ تا ۳۳۳ میلی‌گرم بر لیتر برای چشمه‌ها و ۲۲۵ تا ۱۱۸۴ میلی‌گرم بر لیتر برای چاه‌ها نوسان دارد (جدول۲).

**جدول ۱- میانگین پارامترهای فیزیکوشیمیایی منابع آبی موردمطالعه در سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۹۶**

| ایستگاه | pH | EC | TDS | $NO_3$ | Cl | $SO_4$ | $HCO_3$ | K | Na | Mg | Ca |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S1 | ۷/۵۰ | ۷۳۳/۸۳ | ۴۶۹/۳۳ | ۰/۱۷ | ۱/۴۶ | ۱/۴۴ | ۴/۴۷ | ۰/۰۴ | ۱/۶۵ | ۲/۲۶ | ۳/۵۳ |
| S2 | ۷/۵۲ | ۸۴۴/۱۱ | ۵۳۹/۱۱ | ۰/۱۹ | ۱/۲۲ | ۱/۵۳ | ۴/۸۴ | ۰/۰۴ | ۲/۳۲ | ۲/۹۲ | ۳/۴۶ |
| S3 | ۷/۵۰ | ۶۲۱/۲۲ | ۳۹۸/۸۹ | ۰/۱۵ | ۰/۵۱ | ۱/۴۹ | ۴/۳۳ | ۰/۰۴ | ۰/۵۱ | ۲/۴۱ | ۳/۴۴ |
| S4 | ۷/۷۶ | ۵۶۴/۳۹ | ۳۶۳/۱۷ | ۰/۱۹ | ۰/۶۴ | ۰/۵۴ | ۴/۵۴ | ۰/۰۶ | ۰/۵۱ | ۲/۳۱ | ۲/۹۶ |
| S5 | ۷/۶۴ | ۵۰۴/۴۴ | ۳۲۴/۳۳ | ۰/۱۹ | ۰/۴۵ | ۰/۶۶ | ۴/۱۲ | ۰/۰۴ | ۰/۴۷ | ۱/۸۳ | ۲/۹۹ |
| S6 | ۷/۶۱ | ۷۳۸/۷۸ | ۴۷۰/۵۰ | ۰/۱۵ | ۰/۶۲ | ۳/۰۲ | ۴/۹۷ | ۰/۰۴ | ۰/۹۹ | ۳/۴۳ | ۳/۲۳ |
| S7 | ۷/۸۲ | ۵۳۰/۰۶ | ۳۴۰/۴۴ | ۰/۱۱ | ۰/۴۸ | ۰/۶۱ | ۴/۴۳ | ۰/۰۳ | ۰/۸۷ | ۲/۱۹ | ۲/۵۳ |
| S8 | ۷/۹۱ | ۷۷۹/۰۰ | ۵۰۱/۲۸ | ۰/۱۵ | ۰/۹۹ | ۱/۶۰ | ۵/۳۴ | ۰/۰۵ | ۲/۷۸ | ۳/۳۳ | ۱/۹۸ |
| W1 | ۷/۷۱ | ۱۰۹۸/۲۸ | ۶۹۴/۸۳ | ۰/۲۲ | ۳/۶۰ | ۲/۷۲ | ۴/۸۸ | ۰/۰۵ | ۳/۱۹ | ۴/۶۹ | ۳/۴۴ |
| W2 | ۷/۴۵ | ۱۴۲۲/۲۲ | ۹۰۶/۰۶ | ۰/۱۹ | ۴/۴۹ | ۳/۹۴ | ۶/۲۴ | ۰/۰۹ | ۵/۶۲ | ۵/۲۹ | ۳/۷۸ |
| W3 | ۷/۵۴ | ۴۳۷۱/۸۳ | ۲۶۶۹/۰ | ۰/۰۵ | ۳۰/۶۶ | ۸/۰۵ | ۶/۸۱ | ۰/۰۸ | ۲۱/۹۰ | ۱۴/۸۹ | ۸/۷۷ |
| W4 | ۷/۹۸ | ۱۱۲۶/۰۶ | ۷۰۹/۸۹ | ۰/۰۹ | ۴/۵۱ | ۲/۰۵ | ۵/۱۷ | ۰/۰۸ | ۶/۷۴ | ۲/۷۴ | ۲/۳۲ |
| W5 | ۷/۷۶ | ۷۵۷/۱۱ | ۴۸۳/۲۲ | ۰/۱۴ | ۲/۰۵ | ۱/۱۵ | ۴/۵۹ | ۰/۰۴ | ۲/۲۲ | ۲/۶۹ | ۲/۹۷ |
| W6 | ۷/۶۶ | ۸۲۶/۴۴ | ۵۵۰/۰۶ | ۰/۲۳ | ۱/۳۴ | ۱/۱۷ | ۶/۲۰ | ۰/۰۴ | ۲/۶۸ | ۳/۲۴ | ۲/۹۱ |
| W7 | ۷/۷۸ | ۷۱۱/۴۴ | ۴۶۱/۱۱ | ۰/۰۷ | ۱/۲۳ | ۱/۱۵ | ۵/۰۷ | ۰/۰۴ | ۲/۶۵ | ۲/۵۳ | ۲/۳۶ |
| W8 | ۷/۶۰ | ۷۳۰/۷۲ | ۴۶۶/۹۴ | ۰/۱۵ | ۱/۵۶ | ۱/۱۶ | ۴/۹۰ | ۰/۰۳ | ۲/۷۳ | ۲/۴۹ | ۲/۴۵ |
| W9 | ۷/۷۳ | ۹۳۰/۸۳ | ۵۹۳/۶۱ | ۰/۰۶ | ۲/۰۶ | ۲/۲۷ | ۵/۴۹ | ۰/۰۴ | ۵/۳۱ | ۲/۳۱ | ۲/۱۸ |
| W10 | ۷/۵۵ | ۱۳۹۴/۲۲ | ۸۷۶/۳۳ | ۰/۱۰ | ۲/۰۵ | ۱/۹۴ | ۵/۰۶ | ۰/۰۳ | ۶/۷۸ | ۳/۴۱ | ۳/۸۳ |
| W11 | ۷/۹۱ | ۱۰۵۷/۳۳ | ۶۶۹/۰۶ | ۰/۰۵ | ۴/۱۳ | ۱/۶۱ | ۵/۱۷ | ۰/۰۴ | ۶/۰۸ | ۲/۶۳ | ۲/۲۸ |
| W12 | ۷/۶۱ | ۶۳۲/۸۹ | ۴۰۳/۸۹ | ۰/۳۱ | ۰/۸۲ | ۰/۷۷ | ۴/۸۸ | ۰/۰۳ | ۱/۰۲ | ۲/۹۱ | ۲/۶۸ |
| W13 | ۷/۶۴ | ۸۰۱/۴۴ | ۵۰۰/۵۰ | ۰/۱۹ | ۱/۲۳ | ۱/۱۰ | ۵/۷۲ | ۰/۰۴ | ۱/۵۸ | ۳/۲۷ | ۳/۳۷ |
| W14 | ۷/۶۰ | ۷۸۵/۵۶ | ۵۰۲/۶۰ | ۰/۱۳ | ۱/۷۷ | ۱/۳۷ | ۵/۰۳ | ۰/۰۴ | ۲/۲۱ | ۳/۰۷ | ۲/۹۲ |

**S**: چشمه، **W**: چاه ، غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها برحسب **meq/L** ، **TDS** برحسب **mg/L** و **EC** برحسب **µmho/cm** می‌باشد.

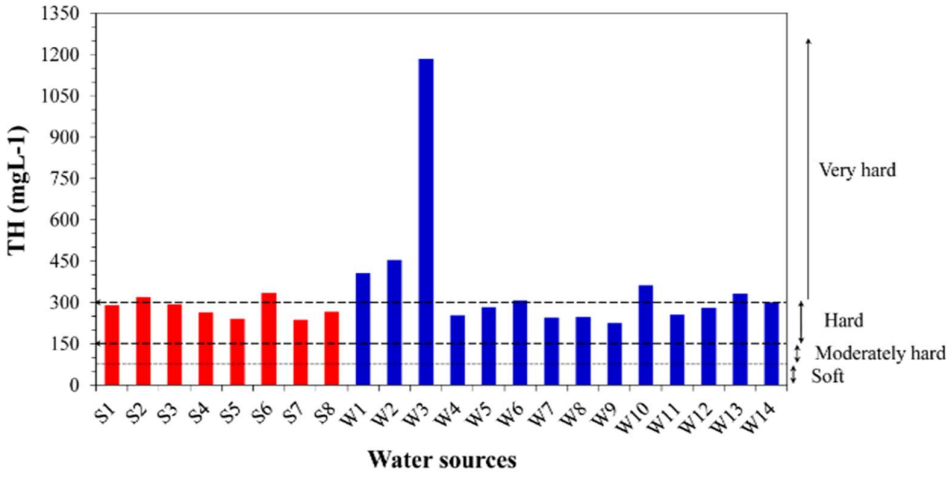
**جدول۲- مقادیر برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی منابع آب موردمطالعه برای مصرف شرب بر اساس رهنمودهای حفاظت محیط‌زیست، سازمان محیط‌زیست، وزارت نیرو و موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران**

| پارامتر کیفی (mg/l) | حفاظت محیط‌زیست آمریکا[۷] | سازمان جهانی بهداشت[۸] | وزارت نیرو | موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران | متوسط چشمه‌ها | متوسط چاه‌ها | اثرات نامطلوب |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| نیترات | ۱۰ | ۵۰ | ۵۰ | ۵۰ | ۱۰/۰۷۵ | ۱۱/۱۶ | رشد سرطان و بیماری‌های قلبی و عروقی |
| سولفات | ۵۰۰ | ۴۵۰ | ۴۰۰ | ۴۰۰-۶۰۰ | ۶۵/۴۶ | ۱۰۴/۵ | ملین |
| کلراید | ۲۵۰ | ۲۵۰ | ۶۰۰ | ۴۰۰ | ۳۲/۶۷ | ۱۶۸/۴ | شور مزه |
| کلسیم | - | ۱۰۰ | ۲۰۰ | ۲۵۰ | ۶۰/۴۲ | ۶۶/۱۹ | پوسته گذاری |
| منیزیم | - | ۵۰ | ۱۵۰ | ۵۰ | ۳۱/۴۱ | ۴۸/۷۵ | - |
| سختی کل | - | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۲۸۰/۹۷ | ۳۶۶/۹ | رسوب‌گذاری |
| سدیم | - | ۲۰۰ | - | ۲۰۰ | ۲۹/۰۳ | ۱۱۶/۱ | فشارخون بالا |
| TDS | - | ۱۵۰۰ | ۲۰۰۰ | ۱۵۰۰ | ۴۲۴/۸ | ۷۴۷/۳ | تحریک دستگاه گوارش |
| pH | - | ۶/۵-۸/۵ | - | ۹-۶ | ۷/۶۶ | ۷/۶۸ | طعم ناخوشایند |

[۷]- USEPA

[۸]- WHO

بر اساس شکل (۲) آب زیرزمینی منابع آبی مورد مطالعه دارای سختی متوسط تا خیلی زیاد می‌باشد. اگرچه بیشتر چشمه‌ها با سختی متوسط قرار می‌گیرند. به‌طورکلی سختی آب نشان‌دهنده ماهیت تشکیلات زمین‌شناسی است که آب با آن‌ها در تماس می‌باشند. با توجه به پراکندگی سازندها آهکی، آهکی-دولومیتی و دولومیتی در ارتفاعات بالادست دشت بالا بودن سختی آب منابع آب زیرزمینی بدیهی به نظر می‌رسد.




**شکل ۲- تغییرات سختی در منابع آبی مورد مطالعه**

تغییرات کلراید در منطقه بین حدود ۰/۴۵ تا ۲/۲۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر برای چشمه‌ها و ۰/۸۲ تا ۳۰/۶۶ میلی‌اکی‌والان در لیتر برای چاه‌های مشاهده‌ای نوسان دارد. بر اساس غلظت کلراید، آب چشمه‌های مورد مطالعه در دو گروه خیلی شیرین و شیرین طبقه‌بندی می‌شوند. درحالی‌که چاه‌ها در چهار رده خیلی شیرین(یک چاه)، شیرین (۹ چاه)، شیرین تا لب‌شور(سه چاه) و لب‌شور تا شور (یک چاه) طبقه‌بندی می‌شوند (جدول ۳). کلرید آنیونی که عمدتاً طعم آب را تغییر می‌دهد و تأثیر جدی بر روی سلامتی انسان ندارد. غلظت بیش‌ازحد کلر در آب آشامیدنی باعث طعم شور می‌شود و دارای اثر ملین در افرادی است که به غلظت بالای آن عادت ندارد

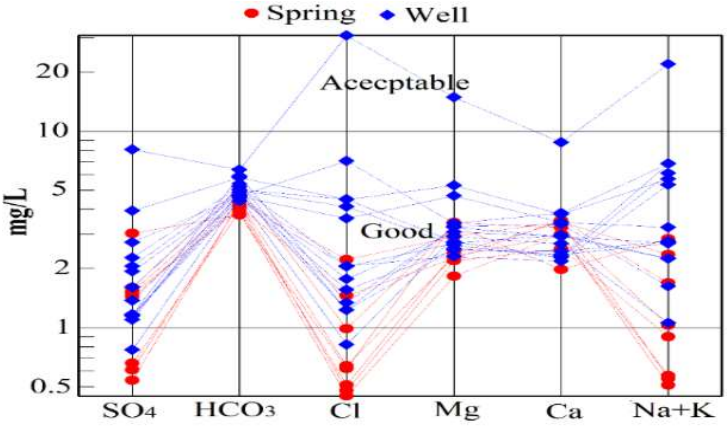
**جدول۳: طبقه‌بندی منابع آب‌های زیرزمینی موردمطالعه بر اساس پارامترهای مختلف برای شرب**

| پارامتر | مقدار | طبقه‌بندی | تعداد چاه | تعداد چشمه |
|---|---|---|---|---|
| کل مواد جامد محلول* (TDS) (Davis and De Wiest, 1966) | <۵۰۰ | مطلوب برای شرب | ۴ | ۶ |
| | ۱۰۰۰-۵۰۰ | مجاز به شرب | ۹ | ۲ |
| | ۳۰۰۰-۱۰۰۰ | مناسب برای کشاورزی | ۱ | - |
| | >۳۰۰۰ | نامناسب برای کشاورزی و شرب | - | - |
| کل مواد جامد محلول* (TDS) (Freeze and Cherry, 1979) | <۱۰۰۰ | آب شیرین | ۱۳ | ۸ |
| | ۱۰۰۰۰-۱۰۰۰ | آب لب‌شور | ۱ | - |
| | ۱۰۰۰۰۰-۱۰۰۰۰ | آب شور | - | - |
| | >۱۰۰۰۰۰ | آب بی‌نهایت شور | - | - |
| سختی* (TH) Sawyer and (McCartly, 1967) | <۷۵ | سبک | - | - |
| | ۱۵۰-۷۵ | کمی سخت | - | - |
| | ۳۰۰-۱۵۰ | سختی متوسط | ۷ | ۶ |
| | >۳۰۰ | خیلی سخت | ۷ | ۲ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| یون کلرید*(Cl) (Stuyfzand, 1991) | <۰/۱۴۱ | آب بی‌نهایت شیرین | - | - |
| | ۰/۱۴۱ - ۰/۸۴۶ | آب خیلی شیرین | ۱ | ۵ |
| | ۰/۸۴۶ - ۴/۲۳۱ | آب شیرین | ۹ | ۳ |
| | ۴/۲۳۱ - ۸/۴۶۲ | آب شیرین تا لب‌شور | ۳ | - |
| | ۸/۴۶۲ - ۲۸/۲۰۶ | آب لب‌شور | - | - |
| | -۲۸۲/۰۶۴ ۲۸/۲۰۶ | آب لب‌شور تا شور | ۱ | - |
| | -۵۶۷/۱۲۷ ۲۸۲/۰۶۴ | آب شور | - | - |
| | >۵۶۴/۱۲۷ | بی‌نهایت شور | - | - |
| نیترات ($NO_3^-$) (Higgins,2008) | ۰-۴۴ | بدون خطر | ۱۴ | ۸ |
| | ۴۴-۱۳۲ | کم‌خطر | - | - |
| | ۱۳۳-۲۲۰ | زیان‌آور | - | - |
| | ۲۲۱-۶۶۰ | خطر مرگ | - | - |
| | >۶۶۱ | پرخطر | - | - |
| نیترات ($NO_3^-$) (میران زاده و همکاران، ۱۳۸۵) | <۲۰ | کمی آلوده | ۱۴ | ۸ |
| | ۲۰-۴۵ | آلوده | - | - |
| | >۴۵ | خیلی آلوده | - | - |

کل مواد جامد محلول، سختی برحسب میلی‌گرم بر لیتر و یون کلراید و نیترات برحسب میلی اکی والان بر لیتر

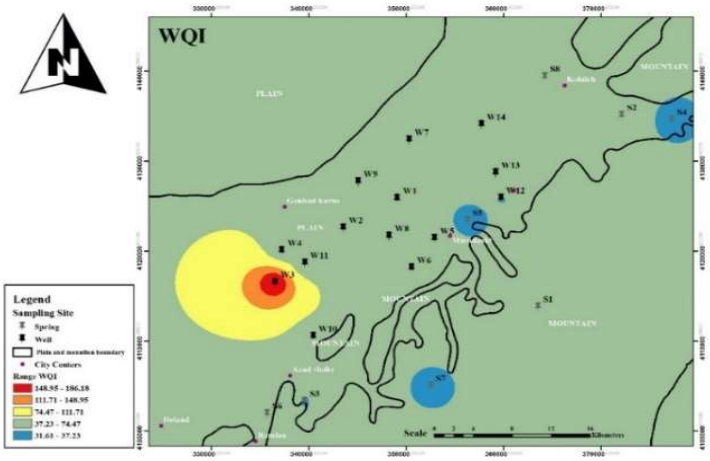
نتایج پژوهش نشان داد غلظت نیترات بین ۶/۸۲ تا ۱۱/۷۸ میلی گرم برلیتر برای چشمه‌ها و بین ۳/۱ تا ۳۷/۲ میلی‌گرم برلیتر برای چاه‌ها که بیشترین آن برای چاه شماره ۱۳ گزارش شده است. بر اساس طبقه‌بندی Higgins(2008)، Miranzadeh et al(2005)در جدول(۳) میانگین غلظت نیترات در رده بدون خطر و کمی آلوده برای چشمه و چاه‌های منطقه موردمطالعه قرارگرفته است. با توجه به دیاگرام شولر (شکل۳) به‌جز چاه شماره ۳ (آقچلی) که دارای کیفیتی قابل‌قبول برای شرب نمی‌باشد، بقیه چاه‌ها از کیفیت خوبی برای شرب برخوردار هستند. البته برای تصمیم‌گیری دقیق می‌بایست پارامترهای بیشتری نظیر پارامترهای بیولوژیکی و رادیواکتیوی آب زیرزمینی هم بررسی گردد.



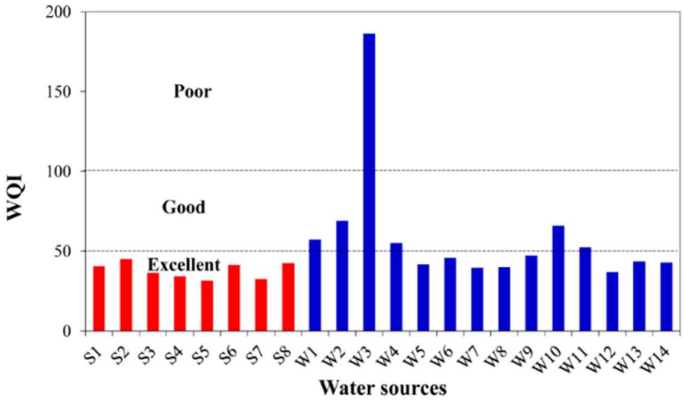

**شکل۳- دیاگرام شولر منابع آب زیرزمینی در محدوده موردمطالعه**

نتایج حاصل از محاسبه شاخص WQI برای هر دو منبع آبی نشان داد که میزان شاخص برای تمامی

چشمه‌ها بین ۵۰ تا ۷۵ می‌باشد که این امر بیانگر کیفیت خیلی خوب چشمه است (شکل۵). در مقابل این شاخص برای چاه‌های واقع در دشت بسیار متغیر می‌باشد. به‌طوری‌که در چاه‌های حاشیه ارتفاعات مقدار WQI کمتر از ۵۰ می‌باشد. اما برای برخی از چاه‌هایی که فاصله بیشتری از جبهه کوهستان دارند به دلیل ورود پساب‌های شهری و زه‌آب‌های کشاورزی شاخص مذکور کاهش چشمگیری یافته است (شکل۶). به‌طوری‌که برای چاه‌ها مقادیر آن بیشتر از ۵۰ و کمتر از ۱۰۰ می‌باشد که بیانگر کیفیت خوب این دسته از چاه‌ها است. با توجه به شکل (۶) تنها در چاه شماره (۳) مقدار شاخص WQI بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ جبهه کوهستان دارند به دلیل ورود پساب‌های شهری و زه‌آب‌های کشاورزی شاخص مذکور کاهش چشمگیری متغیر است. این مقدار نشانگر کیفیت ضعیف آب چاه مذکور است.




**شکل۵- تغییرات میزان شاخص کیفیت آب (WQI) در منابع آبی موردمطالعه**



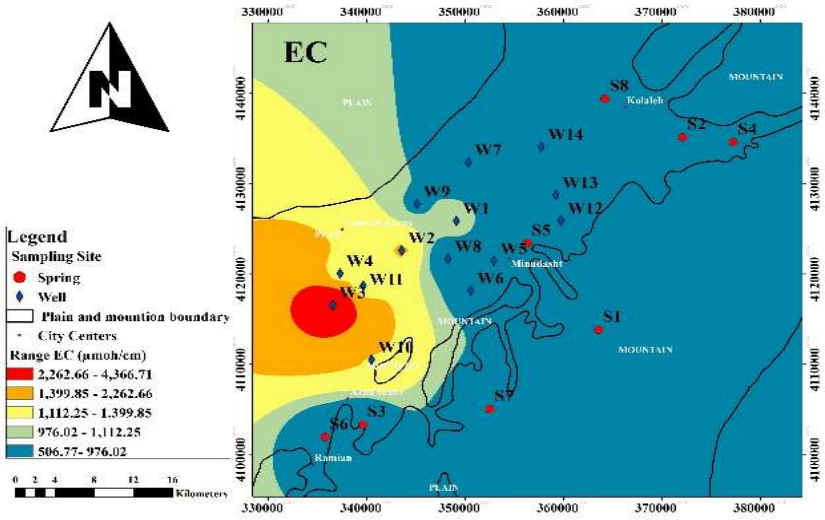

**شکل۶- پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب (WQI) در محدوده موردمطالعه**

## کیفیت آب در بخش آبیاری

از آنجائی‌که آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع آب در بخش آبیاری و کشاورزی در دشت گرگان می‌باشد ازاین‌رو مطالعه پارامترهای مؤثر در کیفیت آب آبیاری از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در این پژوهش هدایت الکتریکی، نسبت جذب درصد سدیم، نسبت منیزیم و نسبت خوردگی از مهم‌ترین پارامترهایی بودند که برای طبقه‌بندی آب به جهت کشاورزی مورداستفاده قرار گرفتند.

هدایت الکتریکی یکی از مهم‌ترین پارامترها در تعیین

کیفیت آب برای کشاورزی است که می‌تواند بر رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصولات زراعی تأثیرگذار باشد(Subramani et al., 2005). بر اساس نقشه پهنه‌بندی میزان هدایت الکتریکی (به‌عنوان پارامتر معرف شوری) بیشترین تغییرات این پارامتر مربوط به غرب این منطقه می‌باشد (شکل ۷). به‌طوری‌که میزان هدایت الکتریکی در اکثر نقاط بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرو موس بر سانتی‌متر متغیر می‌باشد. اما در برخی چاه‌های غرب منطقه این پارامتر به بیش از۴۷۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر تغییر می‌کند. به‌طورکلی رنج تغییرات هدایت الکتریکی در چشمه‌ها به‌مراتب کمتر از چاه‌ها می‌باشد. نقشه پهنه‌بندی EC در محدوده موردمطالعه نشان داد که این پارامتر به دلیل تغذیه آبخوان از سازندهای آهکی حاشیه دشت کم می‌باشد. در قسمت‌های خروجی دشت (شمال غرب و غرب) میزان هدایت الکتریکی افزایش چشمگیری داشته است (شکل ۷).




**شکل۷- پهنه‌بندی میزان هدایت الکتریکی در محدوده موردمطالعه**

نتایج حاصل از نسبت جذب سدیم (SAR) در محدوده موردمطالعه در جدول (۴) ارائه شده‌است. تغییرات نسبت جذب سدیم شباهت زیادی به هدایت الکتریکی در منطقه براساس تقسیم‌بندی ویلکوکس و خطر شوری هیچ‌کدام از نمونه‌ها در کلاس عالی واقع نشده است (جدول۵). بیشتر منابع آبی موردمطالعه از لحاظ آبیاری در رده کمی شور و مناسب برای کشاورزی می‌باشد (Kumar et al., 2007). اما با افزایش این پارامتر در چاه‌های غرب منطقه مورد مطالعه خصوصاً چاه شماره (۳) کیفیت آب در بخش کشاورزی نامناسب می‌باشد (جدول۵).

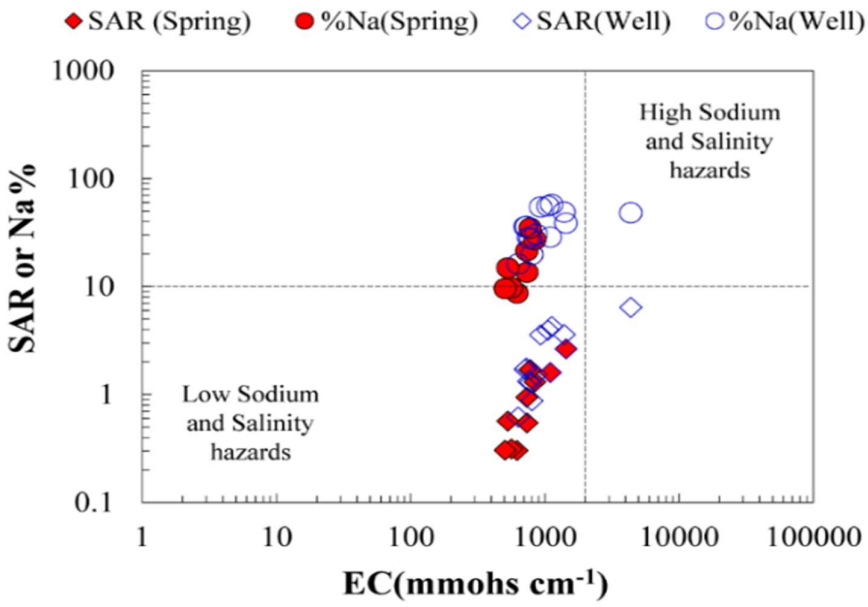
**جدول۴- مقادیر شاخص‌های محاسبه‌شده در بخش کشاورزی برای منابع آبی موردمطالعه**

| نوع منبع آبی | محل نمونه‌برداری | SAR | Na% | RSC | MH | CR | KR | PI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| چشمه | کمترین | ۰/۳۰ | ۸/۷۰ | ۲/۶۹ | ۳۸/۰۳ | ۰/۳۰ | ۰/۰۹ | ۳۹/۱۱ |
| | بیشترین | ۱/۷۱ | ۳۴/۷۴ | ۰/۰۳ | ۶۲/۷۵ | ۱/۰۳ | ۰/۵۲ | ۶۳/۰۷ |
| | متوسط | ۰/۷۵ | ۱۷/۴۷ | ۱/۱۰ | ۴۶/۲۲ | ۰/۶۱ | ۰/۲۲ | ۴۹/۰۴ |
| چاه | کمترین | ۰/۶۲ | ۱۶/۱۶ | ۱۶/۸۵ | ۴۷/۵۲ | ۰/۴۱ | ۰/۱۹ | ۴۷/۸۷ |
| | بیشترین | ۶/۴۱ | ۵۷/۵۴ | ۱/۰۱ | ۶۳/۱۳ | ۷/۹۰ | ۱/۳۵ | ۷۸/۳۲ |
| | متوسط | ۲/۵۱ | ۳۷/۵۸ | ۱/۹۴ | ۵۳/۲۲ | ۱/۵۸ | ۰/۶۸ | ۶۰/۶۳ |

ویلکوکس(Wilcox, 1955) با استفاده از دو پارامتر EC و SAR کیفیت آب را برای بخش کشاورزی طبقه‌بندی نمود. در این تحقیق باتوجه به اهمیت دو پارامتر EC و SAR در تقسیم‌بندی آب برای کشاورزی، ارتباط این دو پارامتر بررسی شد (شکل۸). براین اساس، به‌جز یک نمونه که دارای خطر شوری بالا می‌باشد و باید بااحتیاط استفاده شود بقیه نمونه‌ها دارای خطر شوری کم هستند و برای آبیاری مناسب می‌باشند ( Ravikumar and Somashekar, 2017). شکل(۸) نشان از یک رابطه نسبتاً مستقیم بین EC و SAR وجود دارد به‌طوری‌که با افزایش میزان شوری میزان نسبت جذب سدیم نیز افزایش می‌یابد.

**جدول۵- طبقه‌بندی ویلکوکس براساس دو معیارهای هدایت الکتریکی(EC) و نسبت جذب سدیم(SAR)**

| نوع منبع آبی | محل نمونه‌برداری | SAR | EC | کلاس آب | کیفیت آب برای کشاورزی |
|---|---|---|---|---|---|
| چشمه | S1 | ۰/۱۷ | ۷۳۳/۸۳ | C2-S1 | کمی شور- مناسب برای کشاورزی |
| | S2 | ۰/۲۲ | ۸۴۴/۱۱ | C3-S1 | شور-قابل‌استفاده برای کشاورزی |
| | S3 | ۰/۰۵ | ۶۲۱/۲۲ | C2-S1 | کمی شور- مناسب برای کشاورزی |
| | S4 | ۰/۰۵ | ۵۶۴/۳۹ | C2-S1 | کمی شور- مناسب برای کشاورزی |
| | S5 | ۰/۰۵ | ۵۰۴/۴۴ | C2-S1 | کمی شور-مناسب برای کشاورزی |
| | S6 | ۰/۰۹ | ۷۳۸/۷۸ | C2-S1 | کمی شور- مناسب برای کشاورزی |
| | S7 | ۰/۱ | ۵۳۰/۰۶ | C2-S1 | کمی شور- مناسب برای کشاورزی |
| | S8 | ۰/۲۸ | ۷۷۹/۰۰ | C3-S1 | شور- قابل‌استفاده برای کشاورزی |
| چاه | W1 | ۰/۲۶ | ۱۰۹۸/۲۸ | C3-S1 | شور- قابل‌استفاده برای کشاورزی |
| | W2 | ۰/۴۴ | ۱۴۲۲/۲۲ | C3-S1 | شور- قابل‌استفاده برای کشاورزی |
| | W3 | ۱/۰۴ | ۴۳۷۱/۸۳ | C4-S1 | خیلی شور- برای کشاورزی نامناسب |
| | W4 | ۰/۷۱ | ۱۱۲۶/۰۶ | C3-S1 | شور- قابل‌استفاده برای کشاورزی |
| | W5 | ۰/۲۲ | ۷۵۷/۱۱ | C3-S1 | شور- قابل‌استفاده برای کشاورزی |
| | W6 | ۰/۲۶ | ۸۲۶/۴۴ | C3-S1 | شور- قابل‌استفاده برای کشاورزی |
| | W7 | ۰/۲۸ | ۷۱۱/۴۴ | C2-S1 | کمی شور- مناسب برای کشاورزی |
| | W8 | ۰/۲۹ | ۷۳۰/۷۲ | C2-S1 | کمی شور- مناسب برای کشاورزی |
| | W9 | ۰/۵۹ | ۹۳۰/۸۳ | C3-S1 | شور- قابل‌استفاده برای کشاورزی |
| | W10 | ۰/۶۱ | ۱۳۹۴/۲۲ | C3-S1 | شور- قابل‌استفاده برای کشاورزی |
| | W11 | ۰/۶۵ | ۱۰۵۷/۳۳ | C3-S1 | شور - قابل‌استفاده برای کشاورزی |
| | W12 | ۰/۱ | ۶۳۲/۸۹ | C2-S1 | کمی شور- مناسب برای کشاورزی |
| | W13 | ۰/۱۵ | ۸۰۱/۴۴ | C3-S1 | شور - قابل‌استفاده برای کشاورزی |
| | W14 | ۰/۲۱ | ۷۸۵/۵۶ | C3-S1 | شور- قابل‌استفاده برای کشاورزی |



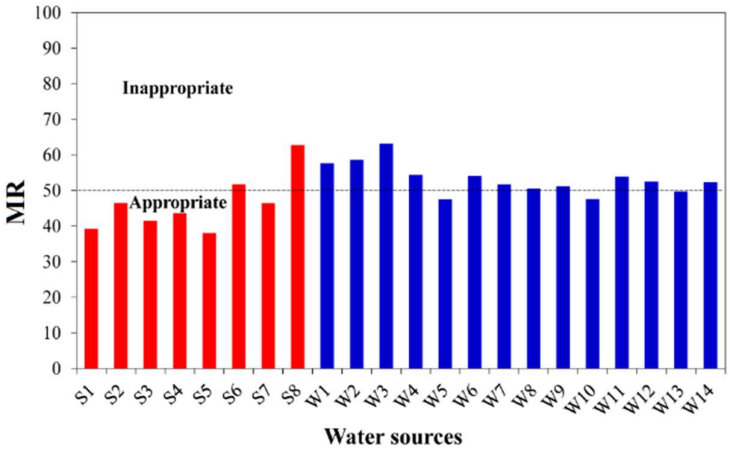

**شکل۸-رابطه بین هدایت الکتریکی(EC)، با نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم محلول**

با توجه به مقادیر محاسبه‌شده درصد سدیم محلول (Na%)، تغییرات این پارامتر برای چشمه‌ها بین ۵/۸۵ تا ۲۴/۵۱ متغیر است(جدول۴). ازاین‌رو به‌جز چشمه شماره (۸) (در شمال غرب کلاله) که در خوب۴۰-۲۰) برای کشاورزی قرار می‌گیرد بقیه چشمه‌ها در رده عالی (۲۰>) قرار می‌گیرند.

در مقابل میزان درصد سدیم محلول در چاه‌های موردبررسی بین ۱۰/۷۵ تا ۴۶/۱۸ متغیر است. ازاین‌رو میزان درصد سدیم محلول در چاه‌های کشاورزی افزایش چشمگیری داشته است. این امر باعث شده‌است که آب چاه‌های کشاورزی در سه رده عالی، خوب و قابل‌قبول تقسیم‌بندی شوند. بیشتر چاه‌های منطقه (بیش از ۵۷٪) در رده خوب قرار دارند.

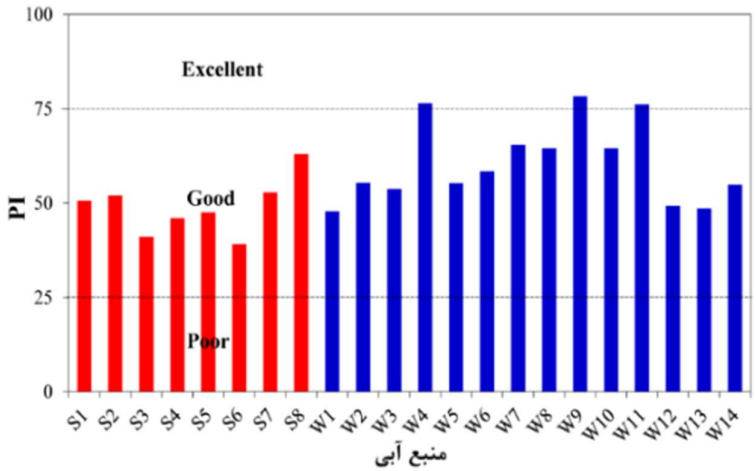
با توجه به نتایج حاصل از شاخص کربنات سدیم باقی‌مانده(RSC)، به‌جز یک نمونه مربوط به چاه آب شماره (۳) که آب آن را می‌بایست با احتیاط برای آبیاری استفاده نمود، مابقی نمونه‌ها دارای کیفیت متوسط (قابل‌تحمل) برای کشاورزی هستند (جدول۴).

میزان نسبت منیزیم در بیشتر (۷۵ درصد) نمونه‌های مربوط به چشمه‌ها کمتر از ۵۰ می‌باشد (جدول۴). ازاین‌رو کیفیت آب اکثر چشمه برای کشاورزی مناسب می‌باشد. در مقابل بیش از ۷۸ درصد نمونه‌های مربوط به چاه‌ها میزان نسبت منیزیم بیش از ۵۰ می‌باشد که این امر نشان از کیفیت نامناسب اکثر چاه‌های مشاهده‌ای برای بخش کشاورزی است (شکل۹). 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 مناطق محدوده موردمطالعه می‌باشد.



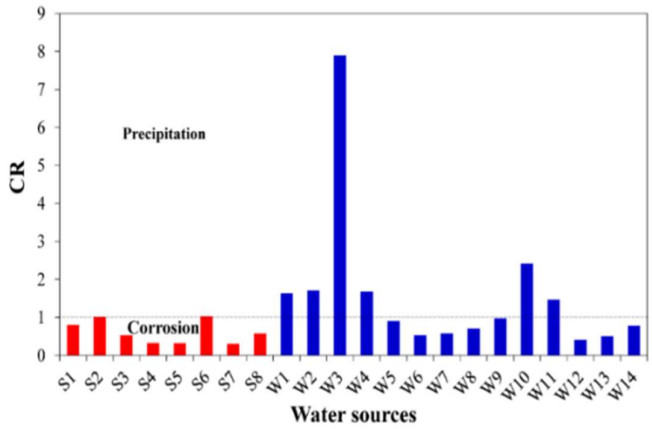

**شکل۹- تغییرات نسبت منیزیم (MR) در منابع آبی موردمطالعه**

نسبت خوردگی یکی از پارامترهای مهم در بررسی کیفیت آب لوله‌های استفاده‌شده در مزارع می‌باشد. با توجه به جدول (۴)، تنها در دو نمونه مربوط به چشمه‌ها که نسبت خوردگی آن‌ها بیش از یک (CR>۱) می‌باشد که نشان از خاصیت خورنده آب این دو چشمه دارد. بقیه چشمه‌ها دارای نسبت خوردگی کمتر از یک هستند. ازاین‌رو آب این چشمه‌ها برای انتقال در لوله‌های فلزی مناسب می‌باشد (Tripathi et al., 2012). در مقابل حدود ۴۲ درصد چاه‌ها میزان نسبت خوردگی آن‌ها بیش از یک می‌باشد که استفاده درازمدت از آب این چاه‌ها می‌تواند باعث خوردگی تجهیزات فلزی چاه‌ها خصوصاً پمپ‌ها شود (شکل۱۰).



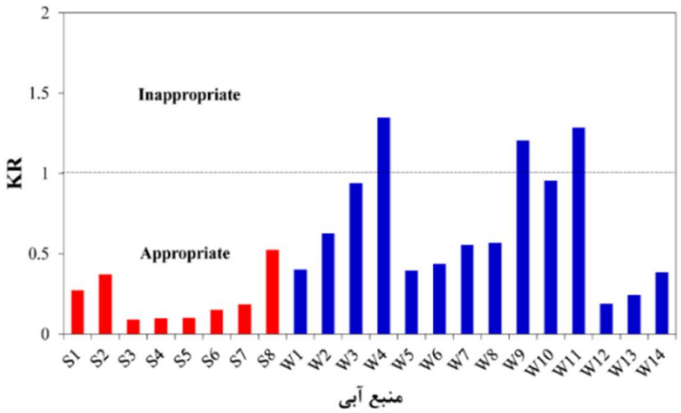

**شکل۱۰- تغییرات نسبت خوردگی (CR) در منابع آبی موردمطالعه**

بر اساس شاخص نفوذپذیری (PI) تمامی نمونه‌های منابع آبی (چشمه و چاه) میزان این شاخص نفوذپذیری بین ۲۵ ٪ تا ۷۵٪ می‌باشد (شکل ۱۱) که بیانگر کیفیت خوب آب این چاه‌ها برای آبیاری می‌باشد. در پژوهش انجام‌شده توسط Aher (2017) بر روی کیفیت آب زیرزمینی منطقه بوری نالا در کشور هند، تمامی نمونه‌ها آب زیرزمینی به لحاظ شاخص نفوذپذیری دارای کیفیت خوب برای آبیاری طبقه‌بندی شده‌اند.




**شکل۱۱- تغییرات شاخص نفوذپذیری (PI) در منابع آبی موردمطالعه**

پارامتر دیگری که در بخش کشاورزی اهمیت بالایی دارد نسبت کلی است. این نسبت برای تمامی چشمه‌های موردمطالعه کمتر از یک می‌باشد که بیانگر کیفیت مناسب آب آن‌ها برای بخش کشاورزی است. از میان چاه‌های موردمطالعه تنها در چاه‌های ۴، ۹ و ۱۱ میزان این نسبت بالای یک است که بیانگر کیفیت نامناسب آب آن‌ها برای کشاورزی است. در مابقی چاه‌ها این نسبت کمتر از یک می‌باشد (شکل ۱۲).




**شکل۱۲- تغییرات نسبت کلی (KR) در منابع آبی موردمطالعه**

## نتیجه‌گیری

این پژوهش به منظور ارزیابی کیفی منابع آبی شرق دشت گرگان برای مصارف شرب و آبیاری انجام شد. بر اساس طبقه بندی آب در بخش شرب به‌جز چاه شماره (۳) که دارای کیفیتی قابل‌قبول برای نمی‌باشد، بقیه چاه‌ها از کیفیت خوبی برای شرب برخوردار هستند. البته برای تصمیم‌گیری دقیق می‌بایست پارامترهای بیشتری نظیر پارامترهای بیولوژیکی و رادیواکتیوی آب زیرزمینی هم بررسی گردد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص WQI برای هر دو منبع آبی نشان داد که میزان شاخص بین برای تمامی چشمه‌ها کمتر ۵۰ تا ۷۵ می‌باشد که این امر بیانگر کیفیت خیلی خوب چشمه است. در مقابل این شاخص برای چاه‌های واقع در دشت بسیار متغیر می‌باشد. به‌طوری‌که در چاه‌های حاشیه ارتفاعات مقدار WQI کمتر از ۵۰ می‌باشد. اما برای برخی از چاه‌هایی که فاصله بیشتری از جبهه کوهستان دارند به دلیل ورود پساب‌های شهری و زه آب‌های کشاورزی شاخص مذکور کاهش چشمگیری یافته‌است. بر اساس طبقه‌بندی‌های مختلف آب در بخش کشاورزی، به‌جز یک نمونه مربوط به چاه آب

شماره (۳) که آب آن را می‌بایست بااحتیاط برای آبیاری استفاده نمود، مابقی نمونه‌ها دارای کیفیت متوسط (قابل‌تحمل) برای کشاورزی هستند. منابع آبی موردمطالعه دارای سختی متوسط تا خیلی زیاد می‌باشند. اگرچه بیشتر چشمه‌ها با سختی متوسط قرار می‌گیرند. به‌طورکلی سختی آب نشان‌دهنده ماهیت تشکیلات زمین‌شناسی است که آب با آن‌ها در تماس می‌باشند. با توجه به پراکندگی سازندها آهکی، آهکی-دولومیتی و دولومیتی در ارتفاعات بالادست دشت بالا بودن سختی آب منابع آب زیرزمینی بدیهی به نظر می‌رسد. این نتایج با یافته‌های قره‌محمودلو و همکاران (۱۳۹۷) به‌طورکلی کیفیت آب چشمه‌ها در هر دو بخش شرب و آبیاری به‌مراتب بهتر از آب چاه‌ها می‌باشد. از مهم‌ترین دلایل زوال کیفی آب چاه‌ها در دشت می‌توان به عوامل زمین شناسی (سازندهای تبخیری، رسی و مارنی، لایه‌های آب شور)، فعالیت‌های انسانی نظیر برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی و نفوذ پساب‌های کشاورزی و انسانی به داخل آب زیرزمینی می‌باشد.

## منابع


Aher K.R. 2017. Delineation of growndwater 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.

Al-Hadithi M. 2012. Application of water quality index to assess suitability of groundwater quality for drinking purposes in Ratmao–Pathri Rao watershed, Haridwar District, India. The American Journal of Scientific and Industrial Research, 3(6):395-402.

Anonna T.A., Ahmed Z., Alam R., Masud Karim M.D., Xie Z., Kumar P., Zhang F. & Gandara J. 2022. Water Quality Assessment for Drinking and Irrigation Purposes in Mahananda River Basin of Bangladesh. Earth Systems and Environment, 6, 87-98.

Aragaw T.T., & Gnanachandrasamy G. 2021. Evaluation of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using GIS-based water quality index in urban area of Abaya-Chemo sub-basin of Great Rift Valley, Ethiopia. Water Science, 11, 148.

Bhat M.A., Wani A.S., Vijay K., Jyotirmaya S., Dinesh T., & Sanswal R. 2018. An overview of the assessment of growndwater quality for irrigation. Journal of Agricultural Science and Food Research, 9(1), 1-9.

Davis S.N. & De Weist R.J.M. 1966. Hydrogeology, John Wiley and Sons, New York, 463 p.

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 & Sharma, B. K. 1991. Handbook on the Methology of Wtaer Quality Assessment. Rajasthan Agriculture University, India.

Freeze R.A. & Cherry, J.A. 1979. Ground Water, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, p. 691.

Gabr M.E., Soussa H. & Fattouh E. 2021. Groundwater quality evaluation for drinking and irrigation uses in Dayrout city Upper Egypt. Ain Shams Engineering Journal, 12, 327-340.

Mahmoodlu M.G., Heshmatpour A., Jandaghi N., Zarei A. & Mehrabi H. 2019. Hydrogeochemical assessment of groundwater quality: Seyedan-Farooq aquifer, Fars province. Journal of Echo Hydrology, 5(4): 1241-1253

Guo H., Li M., Wang L., Wang Y., Zang X., Zhao X., Wang H. & Zhu J. 2021. Evaluation of Groundwater Suitability for Irrigation and Drinking Purposes in an Agricultural Region of the North China Plain. Water, 13, p. 3426.

Higgins S. F., Agouridis C.T. & Gumbert A.A. 2008. Drinking Water Quality Guidelines for Cattle. UK Cooperative Extension Service, University of Kentucky, College of Agriculture, Lexington, KY, USA.

Hosseinifard S.J. & Aminiyan M. 2015. Hydrochemical Characterization of Groundwater Quality for Drinking and Agricultural Purposes: A Case Study in Rafsanjan Plain, Iran. Water Qual Expo Health, 7, 531-544.

Jafari N., Hafazparast M, & Farhadi B. 2021. Qualitative assessment of water resources for drinking and agriculture (case study: Gamasiab watershed, Kermanshah province). Environmental Science Studies, 6(2), 3525-3532. [in Persian]

Kaur T., Bhardwaj R., & 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, v. 7(6), p. 3301-3316.

Kelly, W.P. 1940. Permissible Composition and Concentration of Irrigated Waters. Proceedings of the American Society of Civil Engineers , 66, 607-613.

Kumar M., Kumari K., Ramanathan A.L. & 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.

Logeshkumaran A., Magesh N., Godson P.S. & Chandrasekar N. 2015. Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City, Tamil Nadu, India. Applied Water Science, 5(4):335-43.

Miranzadeh M.B., Mostafaie G.H. & Jalali kashani A. 2006. Investigating the concentration of

nitrates in water supply wells and the water distribution network of Kashan city in 2004-2005, Faiz scientific-research quarterly.10(2), 39-45.

Purushothaman U. 2012. American Shadow over India–Iran Relations, Strategic Analysis, 36(6), 899-910.

Rahimi M., Besharat S. & Vardinzhad V.R. 2016. Evaluation of the quality of underground water resources of Ardabil aquifer for drinking and agricultural purposes. Journal of Environment and Water Engineering, 2(4), 360-375. [in Persian]

Ravikumar P. & 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 Scinces, 7, 745-755.

Richard, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkalis Soils. Agric. Handbook 60, US Dept. Agric., Washington DC, 160 p.

Saleh A., Al-Ruwaih F. & Shehata M. 1999. Hydrogeochemical processes operating within the main aquifers of Kuwait. Journal of Arid Environments, 42(3), 195-209.

Sawyer G.N. & McMcartly D.L. 1967. Chemistry of sanitary engineers. 2nd edn McGraw Hill, New York 518p.

Schoeller H. 1965. Qualitative evaluation of groundwater resources in: methods and techniques of groundwater investigations and development. UNESCO, 54–83.

Sheikhy narany T., Firuz Ramli M., Zaharin Aris A., NorAzmin Sulaiman W., 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, p. 15.

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, Water Supply 9, Copenhagen, Denmark.

Subramani T., Elango L. & 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.

Tripathi A.k., Mishra U.K., Mishra A., Tiwari S. & Dubey P. 2012. Studies of hydrogeochemical in growndwater quality around Chakghat Area, Rewa District, Madhya Pradesh, India. International Journal of Modern Engineering and Research Technology, 2(6), 4051-4059.

WHO, 2011. Guidelines for drinking-water quality, 4th edn. Organization, World Health.

Wilcox L.V. 1955. Classification and use of irrigation water. USDA Circular, Washington DC, 969.