

## Research Article

## Assessment of Groundwater Quality in Gorgan Using the Groundwater Quality Index (GWQI)

Kazem Babaei Ziyarati <sup>1</sup>, Behzad Rahnama <sup>2\*</sup>, Eisa Hajiradkouchak <sup>2</sup>, Hasan Nasrollahzadeh Saravi <sup>2</sup>, Ali Shahbazi <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering, Golestan Higher Education Institute, Gorgan, Iran

<sup>2</sup>Caspian Sea Ecology Research Center, Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Sari, Iran

<sup>3</sup>University of Tehran, Tehran, Iran

## Key Words

Groundwater  
Water quality  
Drinking water  
Water resources

## Abstract

**Introduction:** Water quality is a fundamental factor that influences all dimensions of ecosystems as well as public health. Numerous researchers emphasize that the provision of safe drinking water, proper sanitation, and efficient management constitute the three essential pillars of community health.

**Materials & Methods:** the present study aimed to evaluate the groundwater quality index (GWQI) of rural drinking water resources in Gorgan County. A total of 13 sampling stations under the supervision of the Rural Water and Wastewater Company were investigated over a three-year period (2016-2018) to identify temporal trends in groundwater quality. Water samples were analyzed at the laboratories of the Rural Water and Wastewater Company and Golestan Institute of Higher Education using standard analytical methods. The GWQI index was employed to compare groundwater quality across the studied villages.

**Results:** Results revealed that Kaloo village exhibited the lowest GWQI value (37.41, classified as excellent), whereas Ghal'eh Mahmoud village showed the highest (277.39, classified as very poor). Overall, 49% of the groundwater samples were categorized as excellent, 46% as good, and 5% as poor to very poor in terms of drinking suitability. The findings highlight that groundwater in Ghal'eh Mahmoud requires treatment with respect to several chemical parameters, including hardness, turbidity, chloride, and sulfate. Concentrations of iron and fluoride in all drinking water sources remained below permissible limits. Nevertheless, the observed increase in certain parameters in recent years suggests the potential infiltration of wastewater, likely associated with the north-to-south topographic gradient of the region.

**Conclusion:** In recent years, the increase in certain parameters indicates the potential infiltration of wastewater, likely influenced by the north-to-south slope of the area. This issue requires more comprehensive investigations.

## Article info

\* Corresponding Author's email:  
[rahnama.behzad@gmail.com](mailto:rahnama.behzad@gmail.com)

Received: 22 May 2025

Reviewed: 24 June 2025

Revised: 27 August 2025

Accepted: 4 October 2025

## مقاله علمی - پژوهشی

## ارزیابی کیفیت آب‌های زیر زمینی شهرستان گرگان با شاخص کیفی آب زیرزمینی (GWQI)

کاظم بابایی‌زیارتی<sup>۱</sup>، بهزاد رهنما<sup>۲\*</sup>، عیسی حاجی‌رادکوچک<sup>۲</sup>، حسن نصراله‌زاده ساروی<sup>۲</sup>، علی شهبازی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه مهندسی محیط زیست، مؤسسه آموزش عالی گلستان، گرگان، ایران

<sup>۲</sup> پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

<sup>۳</sup> دانشگاه تهران، تهران، ایران

## کلمات کلیدی

## چکیده

آب زیرزمینی  
کیفیت آب  
آب شرب  
منابع آب

**مقدمه:** کیفیت آب عامل مهمی است که تمام جنبه‌های اکوسیستم و بهداشت تحت تأثیر قرار می‌دهد. بسیاری از محققان و پژوهشگران معتقدند که تامین آب سالم، دفع بهداشتی و مدیریت بهینه، سه محور سلامت را تشکیل می‌دهند.

**مواد و روش‌ها:** این پژوهش با هدف بررسی شاخص کیفی آب زیرزمینی بر روی منابع آب شرب روستاهای تحت پوشش شرکت آب و فاضلاب روستایی شهرستان گرگان شامل ۱۳ ایستگاه جهت بررسی روند تغییرات داده‌های کیفیت آب روستاهای شهرستان گرگان در یک دوره سه ساله ۱۳۹۸ تا ۱۳۹۶ انجام شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب روستایی و موسسه آموزش عالی گلستان به روش استاندارد متد اندازه‌گیری شد. جهت مقایسه کیفیت آب‌های زیرزمینی از شاخص کیفی (GWQI) استفاده شد.

**نتایج:** نتایج نشان داد میزان این شاخص برای روستای کلو کم‌ترین میزان ۳۷/۴۱ با کیفیت عالی و روستای قلعه محمود بیش‌ترین میزان ۲۷۷/۳۹ با کیفیت خیلی ضعیف می‌باشد. یعنی نمونه‌های آب زیرزمینی از نظر آشامیدن، ۴۹٪ در کلاس عالی، ۴۶٪ خوب و ۵٪ در کلاس ضعیف و خیلی ضعیف قرار گرفت. با توجه به نتایج منبع آب زیر زمینی قلعه محمود از لحاظ پارامترهای شیمیایی شامل سختی، کدورت، کلراید و سولفات مورد تصفیه قرار گیرند. آهن و فلوراید در تمام منابع آب شرب کم‌تر از حد استاندارد می‌باشد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** در سال‌های اخیر، افزایش برخی پارامترها نشان‌دهنده احتمال نفوذ فاضلاب است که به احتمال زیاد تحت تأثیر شیب شمالی به جنوبی منطقه قرار دارد. این موضوع نیازمند بررسی‌ها و مطالعات جامع‌تری است.

\* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
rahnama.behzad@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱ خرداد ۱۴۰۴

تاریخ داوری: ۳ تیر ۱۴۰۴

تاریخ اصلاح: ۵ شهریور ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۲ مهر ۱۴۰۴

## مقدمه

تحلیل کیفیت آب یکی از موضوعات کلیدی در مطالعات منابع آب زیرزمینی بوده (۱) و بررسی کیفیت آب زیرزمینی نقشی اساسی در برنامه ریزی و مدیریت منابع آب، بهداشت عمومی و حتی سیاست‌های زیست محیطی ایفا می کند (۲). کمبود آب آشامیدنی سالم می تواند پیامدهای نامطلوبی بر سلامت جامعه و امید به زندگی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه داشته باشد (۱، ۲). آب زیرزمینی در معرض آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی گوناگون نظیر کاربری‌های مسکونی، شهری، صنعتی، تجاری و کشاورزی است؛ عواملی که می توانند به شکل مستقیم یا غیرمستقیم بر کیفیت این منابع اثرگذار باشند (۳). آلودگی آب زیرزمینی نه تنها منجر به افت کیفیت آب آشامیدنی می شود، بلکه پیامدهایی هم چون از دست رفتن منابع، افزایش هزینه های تصفیه و جایگزینی و نیز تهدید سلامت عمومی را به دنبال دارد (۴). از این رو، پایش و ارزیابی مستمر کیفیت آب برای پیشگیری از آلودگی های میکروبی و شیمیایی و نیز تضمین دسترسی ایمن و پایدار به آب آشامیدنی، امری حیاتی است (۴). کیفیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب، از منظر پذیرش مصرف کننده، سلامت عمومی و پایداری شبکه های آبرسانی اهمیت ویژه ای دارد (۵). در ترکیب آب، مجموعه ای از یون ها و ترکیبات شیمیایی حضور دارند که هر یک می توانند بر کیفیت نهایی اثرگذار باشند. بررسی دقیق آنیون ها و کاتیون ها نه تنها ویژگی های اصلی آب را مشخص می کند بلکه امکان شناخت سایر خصوصیات شیمیایی آن را نیز فراهم می سازد (۶). از میان مهم ترین پارامترهای شیمیایی می توان به فلوئور، کلراید، سدیم، سولفات، آهن، سختی کل و کل جامدات محلول اشاره کرد (۷). برای ارزیابی کیفیت آب، شاخص های متعددی توسط پژوهشگران ارائه شده که غالباً مبتنی بر استانداردهای سازمان جهانی بهداشت (WHO) هستند. به عنوان نمونه، شاخص WQI با در نظر گرفتن ۱۲ پارامتر شامل pH، سختی کل، کلسیم، منیزیم، بیکربنات، کلراید، نیترات، سولفات، کل جامدات محلول، آهن، منگنز و فلوئوراید محاسبه می شود. این شاخص عددی در بازه ای از صفر تا بی نهایت تعریف شده و هرچه مقدار آن بیش تر باشد، کیفیت آب نامطلوب تر ارزیابی می گردد (۸). در میان شاخص های موجود، شاخص (Ground-water Quality Index) GWQI کاربرد گسترده تری دارد، چراکه در مقایسه با سایر مدل ها از سادگی، سهولت دسترسی و دقت بیش تری برخوردار است (۹). این شاخص بر اساس مقادیر پارامترهایی هم چون کل جامدات محلول، کلراید، کلسیم، pH، منیزیم، سولفات و سدیم محاسبه می شود و ماهیتی کاهش دهنده دارد؛ بدین معنا که با افزایش سطح آلودگی، مقدار شاخص

کاهش می یابد (۱۰). در ایران، Nabizadeh و همکاران، نرم افزار محاسبه شاخص GWQI را برای منابع آب زیرزمینی توسعه دادند که بر مبنای استاندارد ۱۰۵۳ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی طراحی شده بود (۱۱). با توجه به اهمیت روزافزون این موضوع، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کیفیت منابع آب شرب روستاهای شهرستان گرگان بر اساس شاخص GWQI انجام گرفته است.

## مواد و روش ها

این مطالعه یک مطالعه مقطعی (Cross Sectional) با رویکرد توصیفی تحلیلی می باشد که به مدت ۳ سال بر روی منابع آب زیرزمینی روستاهای شهرستان گرگان انجام شد. برای این منظور، عملیات نمونه برداری از آب تمامی این چاه ها به مدت سه سال به صورت شش ماه یکبار و در فاصله زمانی ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ از طریق خروجی چاه صورت گرفت. جمعیت مورد مطالعه منابع آب شرب روستاهای تحت پوشش شرکت آب و فاضلاب روستایی شهرستان گرگان است که ۱۳ روستا بصورت تصادفی انتخاب شد که در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات منابع آب شرب روستایی شهرستان گرگان

Table 1: Characteristics of rural drinking water sources in Gorgan County

| Row | County | Section | Village (Water Supply Complex) | Source Type |
|-----|--------|---------|--------------------------------|-------------|
| 1   | Gorgan | Central | Isfahan Kalate                 | well        |
| 2   | Gorgan | Central | Amirabad                       | well        |
| 3   | Gorgan | Baharan | Chaharchenar                   | well        |
| 4   | Gorgan | Central | Siahtelo                       | well        |
| 5   | Gorgan | Central | Sistanimahaleh                 | well        |
| 6   | Gorgan | Central | Feizabad                       | well        |
| 7   | Gorgan | Baharan | Ghorogh                        | well        |
| 8   | Gorgan | Central | Ghalehmahmoud                  | well        |
| 9   | Gorgan | Central | Kafshgiri                      | well        |
| 10  | Gorgan | Central | Kalou                          | well        |
| 11  | Gorgan | Central | Mamamei                        | well        |
| 12  | Gorgan | Central | Mohammadabad                   | well        |
| 13  | Gorgan | Baharan | Valeshabad                     | well        |

**موقعیت جغرافیایی منطقه:** شهر گرگان در بخش جنوبی استان گلستان واقع شده است. این شهرستان از قسمت شمال به شهرستان های آق قلا و ترکمن و از جنوب به استان سمنان و از شرق به شهرستان علی آباد و از غرب به شهرستان کردکوی محدود می شود. وسعت شهرستان گرگان ۱۶۱۵/۲ کیلومتر مربع (۷/۹۱ درصد از مساحت استان) می باشد و براساس تقسیمات کشوری سال ۸۹ از دو بخش مرکزی و بهاران و سه شهر گرگان، سرخندکلاته، جلین و قرق پنج دهستان و ۹۸ روستا تشکیل شده است.

جدول ۲: روش اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب

Table 2: Method for measuring water quality parameters

| Row | Factors                 | Method or device of measurement        |
|-----|-------------------------|----------------------------------------|
| 1   | pH                      | Lovibond Multi-Parameter pH Meter      |
| 2   | Electrical conductivity | Lovibond Multi-Parameter Conductometer |
| 3   | Alkalinity              | Titration with acid                    |
| 4   | Hardness                | Titration with EDTA                    |
| 5   | Total dissolved solids  | Gravimetry                             |
| 6   | Turbidity               | Nephelometer (turbidimeter)            |
| 7   | Fluoride                | Spadance-Spectrophotometry Method      |
| 8   | Chloride                | Mohr argentometry                      |
| 9   | Sulfate                 | Turbidometry-Spectrophotometry         |
| 10  | Nitrate                 | Spectrophotometry                      |
| 11  | Calcium                 | Volume measurement                     |
| 12  | Magnesium               | Volume measurement                     |
| 13  | Iron                    | Volume measurement                     |
| 14  | Manganese               | Persulfate volume measurement          |
| 15  | Ammonium                | Spectrophotometry                      |
| 16  | Sodium                  | Photometric film                       |

در ایران Nabizadeh و همکاران، شاخص GWQI و نرم‌افزار آن‌را برای منابع آب‌های زیرزمینی براساس استاندارد ۱۰۵۳ موسسه استاندارد تحقیقات صنعتی طراحی نمودند. در این مطالعه از نرم‌افزار طراحی شده توسط Nabizadeh و همکاران، جهت محاسبه شاخص استفاده شد (۱۱). برای محاسبه شاخص کیفی آب ابتدا باید وزن پارامترهای مورد مطالعه مشخص کرد. برای مشخص کردن وزن هر پارامتر از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

که در آن  $W_i$  وزن نسبی و  $w_i$  وزن پارامتر و  $n$  تعداد پارامترها می‌باشد.

پس از محاسبه وزن‌ها در مرحله بعد محدود کیفی از رابطه زیر مشخص می‌گردد:

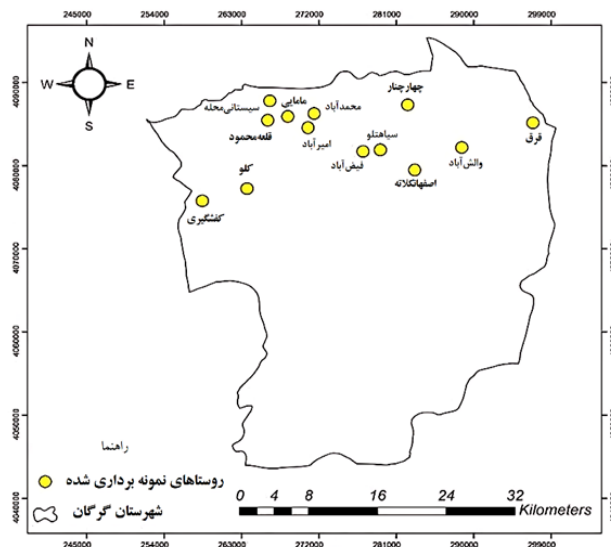
$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100$$

که در آن  $C_i$  مقدار پارامتر و  $S_i$  مقدار استاندارد آن می‌باشد.

سپس میزان شاخص کیفی از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$SI_i = W_i \times q_i$$

$$GWQI = \sum SI_i$$



شکل ۱: موقعیت مکانی منابع آب مورد مطالعه

Figure 1: Location of the studied water sources

#### داده‌های مورد استفاده: جهت بررسی روند تغییرات داده‌های

کیفیت آب روستاهای شهرستان گرگان در یک دوره سه ساله با همکاری از شرکت آب و فاضلاب روستایی و موسسه آموزش عالی بهاران گرفته شد. نمونه‌ها طبق روش استاندارد (جدول ۲) در آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب روستایی به روش استاندارد متد اندازه‌گیری شد. حجم نمونه برداشت شده از هر کدام از منابع تامین حدود یک لیتر بود که در ظروف پلاستیکی یک لیتر برداشت و در کنار یخ به سرعت به آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب روستایی استان گلستان منتقل شد.

#### روش تجزیه و تحلیل داده‌ها: با توجه به ماهیت داده‌ها و

رویکرد مطالعه، شاخص‌های مرکزی و پراکندگی برای متغیرهای وابسته مورد محاسبه قرار گرفت. نمودارها و شاخص مورد نظر توسط نرم‌افزار فرمول‌نویسی شده Excel رسم و تجزیه و تحلیل آماری نیز از نرم‌افزار spss16 محاسبه شد.

#### محاسبه شاخص کیفی آب: از پرکاربردترین شاخص جهت

پهنه‌بندی کیفی آب‌ها شاخص GWQI (Ground Water Quality Index) است که نسبت به سایر شاخص‌ها یا مدل‌ها مشکلات کم‌تری داشته و به دلیل راحتی و قابل دسترسی آسان در مطالعات دانشمندان و محققان استفاده می‌گردد (۹). روش تعیین شاخص بر پایه مقادیر شاخص‌های جامدات محلول کل، کلرور، کلسیم، pH، منیزیم، سولفاتو سدیم می‌باشد و این شاخص از مدل شاخص با مقیاس کاهش است یعنی با مقدار آلودگی رابطه معکوس داشته که با افزایش مقدار آلودگی آب، مقدار شاخص کاهش می‌یابد (۱۰).

## نتیجه

جدول ۴: تقسیم‌بندی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس مقادیر

## GWQI

Table 4: Classification of groundwater quality based on GWQI values

| GWQI value    | Description |
|---------------|-------------|
| Less than 50  | Excellent   |
| 50-100        | Good        |
| 100-200       | Poor        |
| 200-300       | Very poor   |
| More than 300 | Undrinkable |

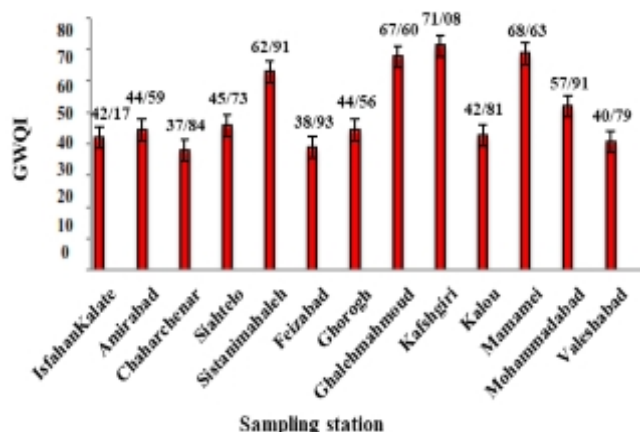
همان‌طور که جدول ۵ نشان می‌دهد میزان شاخص GWQI منابع آب آشامیدنی روستاهای گرگان در سال ۹۴ بین ۴۲/۱۷ تا ۶۷/۶۰ می‌باشد که دارای کیفیت عالی تا خوب می‌باشد. هیچ کدام از منابع آب در محدوده ضعیف قرار نگرفتند. از ۱۳ روستا مورد مطالعه هشت روستا شامل منابع آب با کیفیت عالی و پنج روستا شامل منابع آب با کیفیت خوب برای شرب می‌باشد.

جدول ۵: مقدار شاخص GWQI منابع آب شرب روستایی

شهرستان گرگان در سال ۱۳۹۴

Table 5: GWQI index value of rural drinking water resources in Gorgan County in 2015

| Village (water supply complex) | Index value | Description |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| IsfahanKalate                  | 17.42       | Excellent   |
| Amirabad                       | 44.59       | Excellent   |
| Chaharchenar                   | 37.84       | Excellent   |
| Siahtelo                       | 45.73       | Excellent   |
| Sistanimahaleh                 | 62.91       | Good        |
| Feizabad                       | 38.93       | Excellent   |
| Ghorogh                        | 44.56       | Excellent   |
| Ghalehmahmoud                  | 67.60       | Good        |
| Kafshgiri                      | 71.08       | Good        |
| Kalou                          | 42.81       | Excellent   |
| Mamamei                        | 68.63       | Good        |
| Mohammadabad                   | 51.91       | Good        |
| Valeshabad                     | 40.79       | Excellent   |



شکل ۳: مقدار شاخص GWQI منابع آب شرب روستایی شهرستان گرگان

در سال ۱۳۹۴

Figure 3: GWQI index value of rural drinking water resources in Gorgan County in 2015

بررسی شاخص GWQI: پارامترهای مورد استفاده و وزن آن‌ها

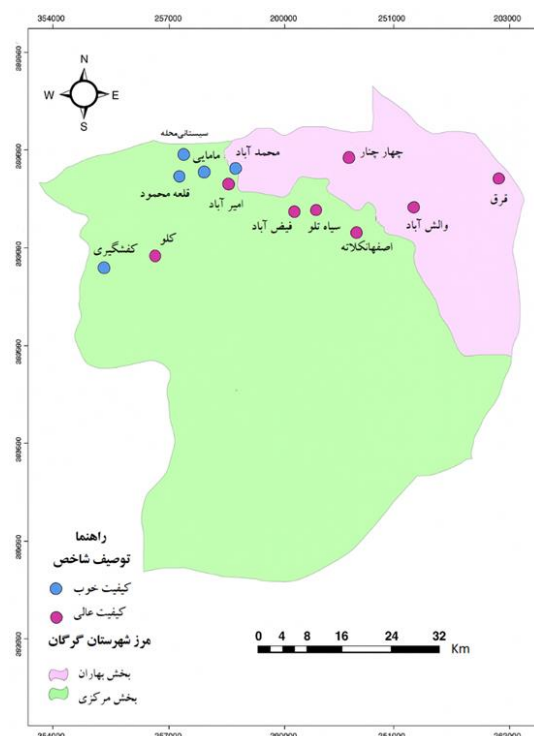
و میزان استاندارد براساس استاندارد ۱۰۵۳ سازمان ملی استاندارد در جدول ۳ نشان داده شده است. شاخص عددی GWQI در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳: پارامترهای معیار، وزن فاکتورها و حدود مجاز برای

تنظیم کردن شاخص GWQI

Table 3: Criteria parameters, factor weights and allowable limits for adjusting the GWQI index

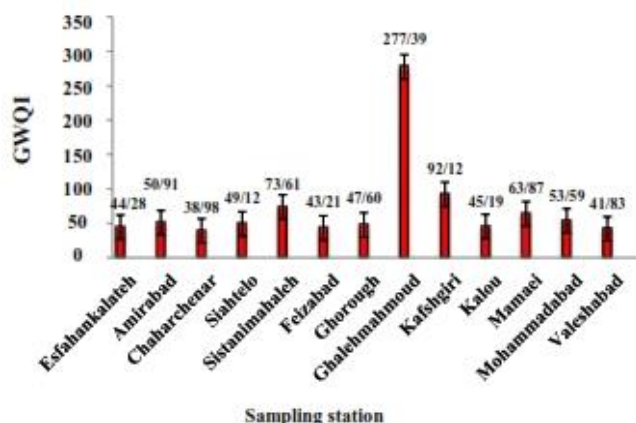
| Criterion parameter | Weight | Allowed limits |
|---------------------|--------|----------------|
| pH                  | 4      | 6.5-8.5        |
| Calcium             | 2      | 300            |
| Magnesium           | 2      | 30             |
| Chloride            | 3      | 250            |
| TDS                 | 4      | 1000           |
| Fluoride            | 4      | 1.5            |
| Manganese           | 4      | 0.1            |
| Nitrate             | 5      | 50             |
| Iron                | 4      | 0.3            |
| Sulfate             | 4      | 250            |
| Ammonium            | 3      | 1.5            |
| Sodium              | 3      | 200            |
| Turbidity           | 4      | 5              |



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی منابع آب با کیفیت عالی و خوب در

سال ۱۳۹۴

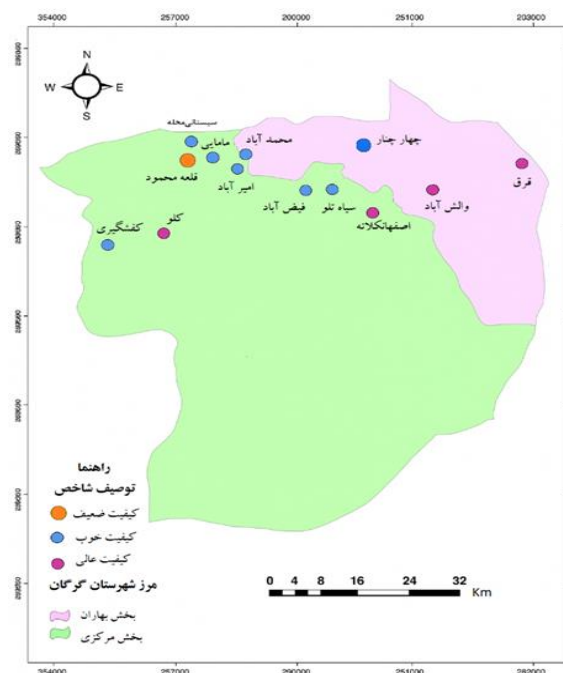
Figure 2: Geographic location of excellent and good quality water resources in 2015



شکل ۵: مقدار شاخص GWQI منابع آب شرب روستایی شهرستان گرگان در سال ۱۳۹۵

Figure 5: GWQI index value of rural drinking water resources in Gorgan County in 2016

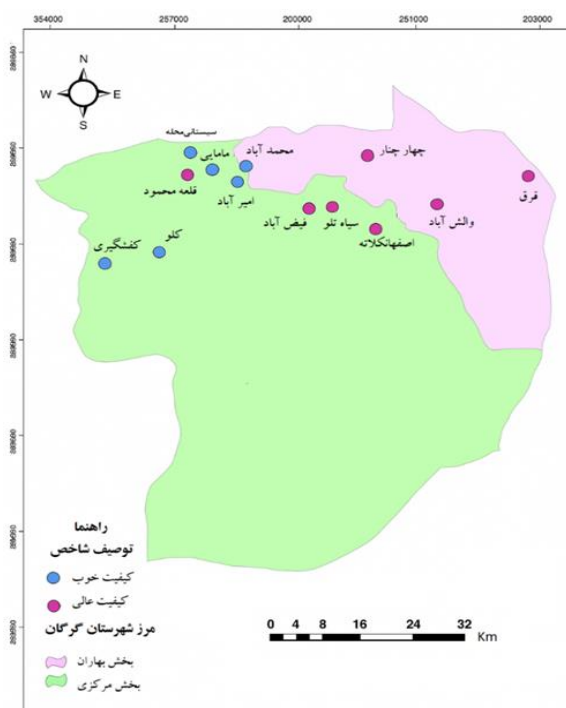
همان‌طور که جدول ۷ نشان می‌دهد میزان شاخص GWQI منابع آب آشامیدنی روستاهای گرگان در سال ۹۶ بین ۳۷/۲۱ تا ۱۵۵/۱۹ می‌باشد که دارای کیفیت عالی، خوب و ضعیف می‌باشد. هیچ کدام از منابع آب در محدوده خیلی ضعیف قرار نگرفتند. از ۱۳ روستا مورد مطالعه چهار روستا شامل منابع آب با کیفیت عالی و هشت روستا شامل منابع آب با کیفیت خوب و یک روستا (قلعه محمود) دارای کیفیت ضعیف (با شاخص کیفی ۱۵۵/۱۹) برای شرب می‌باشد.



شکل ۶: موقعیت جغرافیایی منابع آب با کیفیت‌های مختلف سال ۱۳۹۶

Figure 6: Geographical location of water resources with different qualities in 2017

همان‌طور که جدول ۶ نشان می‌دهد میزان شاخص GWQI منابع آب آشامیدنی روستاهای گرگان در سال ۹۵ بین ۳۸/۹۸ تا ۲۷۷/۳۹ می‌باشد که دارای کیفیت عالی، خوب و خیلی ضعیف می‌باشد. هیچ کدام از منابع آب در محدوده غیرقابل شرب قرار نگرفتند. از ۱۳ روستا مورد مطالعه ۷ روستا شامل منابع آب با کیفیت عالی و ۵ روستا شامل منابع آب با کیفیت خوب و یک روستا (قلعه محمود) دارای کیفیت خیلی ضعیف (با شاخص کیفی ۲۷۷/۳۹) برای شرب می‌باشد.



شکل ۴: موقعیت جغرافیایی منابع آب با کیفیت‌های مختلف سال ۱۳۹۵

Figure 4: Geographical location of water resources with different qualities in 2016

جدول ۶: مقدار شاخص GWQI منابع آب شرب روستایی شهرستان گرگان در سال ۱۳۹۵

Table 6: GWQI index value of rural drinking water resources in Gorgan County in 2016

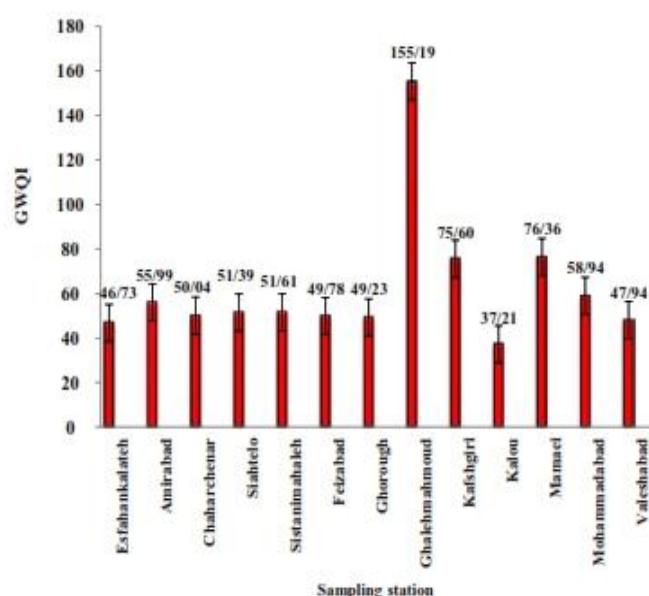
| Village (water supply complex) | Index value | Description |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| IsfahanKalate                  | 44.28       | Excellent   |
| Amirabad                       | 50.91       | Good        |
| Chaharchenar                   | 38.98       | Excellent   |
| Siahtelo                       | 49.12       | Excellent   |
| Sistanimahaleh                 | 73.61       | Good        |
| Feizabad                       | 43.21       | Excellent   |
| Ghorogh                        | 47.60       | Excellent   |
| Ghalehmahmoud                  | 277.39      | Very poor   |
| Kafshgiri                      | 92.12       | Good        |
| Kalou                          | 45.19       | Excellent   |
| Mamamei                        | 63.87       | Good        |
| Mohammadabad                   | 53.59       | Good        |
| Valeshabad                     | 41.83       | Excellent   |

جدول ۷: مقدار شاخص GWQI منابع آب شرب روستایی

شهرستان گرگان در سال ۱۳۹۶

Table 7: GWQI index value of rural drinking water resources in Gorgan County in 2017

| Village (water supply complex) | Index value | Description |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| IsfahanKalate                  | 46.73       | Excellent   |
| Amirabad                       | 55.99       | Good        |
| Chaharchenar                   | 50.04       | Good        |
| Siahtelo                       | 51.39       | Good        |
| Sistanimahaleh                 | 51.61       | Good        |
| Feizabad                       | 50          | Good        |
| Ghorogh                        | 49.23       | Excellent   |
| Ghalehmahmoud                  | 155.19      | Poor        |
| Kafshgiri                      | 75.60       | Good        |
| Kalou                          | 37.21       | Excellent   |
| Mamamei                        | 76.36       | Good        |
| Mohammadabad                   | 58.94       | Good        |
| Valeshabad                     | 47.94       | Excellent   |



شکل ۷: مقدار شاخص GWQI منابع آب شرب روستایی شهرستان گرگان

در سال ۱۳۹۶

Figure 7: GWQI index value of rural drinking water resources in Gorgan County in 2017

## بحث

این مطالعه مقطعی با رویکرد توصیفی تحلیلی می باشد که به مدت ۳ سال بر روی منابع آب زیرزمینی روستاهای شهرستان گرگان انجام شد. دسترسی به منابع آب آشامیدنی سالم در بسیاری از کشورهای دنیا به خصوص در نواحی روستایی مساله ای مهم می باشد. سازمان جهانی بهداشت گزارش نمود که سالانه ۱/۱ میلیارد نفر در جهان به منابع مطمئن آب سالم دسترسی ندارند (۱۲). بدین منظور این مطالعه با هدف بررسی کیفیت پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و تعیین

کیفیت شاخص (GWQI) آب شرب روستاهای شهر گرگان صورت گرفت. با توجه به این که مطالعات کمی در زمینه بررسی فیزیکی شیمیایی آب های زیرزمینی در روستاهای شهر گرگان صورت گرفته است این مطالعه سعی دارد اطلاعاتی در این زمینه به ما آشکار سازد. که براین اساس کمیت ناکافی، ارزیابی و نظارت بر کیفیت آب ها برای جلوگیری از آلودگی و اشاعه بیماری های منطقه از آب و برای اطمینان از استفاده مداوم و ایمن از این منابع برای شرب بررسی شد. تغییرات نیترات و کل جامدات محلول در آب های شرب زیرزمینی دشت همدان نشان داد که براساس نتایج به دست آمده در ایستگاه های نمونه برداری در مورد نیترات، میانگین سالیانه ۳۸/۰۹ میلی گرم در لیتر بوده که بالاتر از استاندارد می باشد و کل جامدات محلول در حد استاندارد بوده است. نتایج مطالعات این پژوهش طی سه سال نشان داد که میانگین نیترات ۱۴/۲۶ و میانگین کل جامدات محلول (TDS) ۶۴۶/۶۸ میلی گرم در لیتر رو به افزایش بوده که کل جامدات محلول بالاتر از استاندارد جهانی و نیترات دارای حداکثر استاندارد مجاز می باشد (۱۳). بررسی ارزیابی شاخص کیفیت آب (WQI) منابع آب زیرزمینی استان کرمان نشان داد که اکثر مناطق مورد مطالعه دارای شرایط نامطلوب می باشند. اما نتایج مطالعه این پژوهش در ارزیابی شاخص کیفی (GWQI) منابع آب زیرزمینی روستاهای شهرستان گرگان نشان داد اکثر مناطق دارای شرایط مطلوب می باشند (۱۴). تعیین بهترین شاخص ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی استان گیلان، با استفاده از شاخص های (WQI، WQI American و CWQI) برای آب های زیرزمینی محاسبه شد که شاخص WQI کیفیت آب را متوسط، CWQI کیفیت آب را بد و شاخص WQI American نیز کیفیت آب را خوب نشان داد (۱۵). در تحقیق انجام شده با استفاده از شاخص (GWQI) وضعیت کیفی آب های زیرزمینی شهرستان گرمی، که نتایج بیانگر این بود که میزان شاخص GWQI در محدوده ۴۱/۳۷ تا ۴۴/۸۶ بوده و کیفیت آب در محدوده خوب می باشد. میزان شاخص GWQI برای چاه ارانچی، کم ترین (۴۱/۳۷) مقدار عدد بوده که نشان دهنده بالاترین کیفیت آب و این مقدار برای چاه گوذه کهریز، بیش ترین مقدار (۴۴/۸۶) بوده که نشان دهنده کیفیت پایین آب می باشد. در مقایسه با آن نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار شاخص (GWQI) در روستاهای گرگان بین ۳۷/۲۱ تا ۲۷۷/۳۹ می باشد و آب مناطق مورد مطالعه در محدوده عالی، خوب، ضعیف و خیلی ضعیف قرار دارد. هم چنین این شاخص برای روستای کلو، کم ترین میزان (۳۷/۴۱) با کیفیت عالی و روستای قلعه محمود، بیش ترین میزان (۲۷۷/۳۹) با کیفیت خیلی ضعیف می باشد (۱۰). کیفیت آب در نتایج مطالعه ای محدوده حوضه Ratmao-Pathri Rao در کشور هندوستان با استفاده از شاخص (WQI) نشان داد که از نمونه های

آب زیرزمینی ۴۹ درصد در کلاسه عالی، ۴۶ درصد خوب و ۵ درصد در کلاسه خیلی بد از نظر آشامیدن قرار دارند (۱۶). در تحقیقی که به بررسی کیفی آب شرب زیرزمینی آبخوان Hantebet در شمال Ethiopia با روش (WQI) با استفاده از پارامترهای شامل: pH، سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، کلرید، بی کربنات، سولفات، نیتрат، جامدات جامد محلول، نتایج نشان داد، تغییرات شاخص WQI در نمونه‌های آب زیرزمینی، در محدوده ۵۴/۴۱ درصد تا ۸۶/۲۴ درصد قرار داشته و تمام نمونه‌های آب زیرزمینی در محدوده خوب بوده و به منظور شرب در سطح مناسب می‌باشند. در مطالعات این پژوهش با شاخص (GWQI) از ۱۳ پارامتر: pH، کلسیم، منیزیم، کلرور، TDS، فلوراید، منگنز، نیترات، آهن، سولفات، آمونیوم، سدیم و کدورت استفاده شده است (۱۷). نتایج مطالعه با مطالعات Sadeghi و همکاران در منطقه مورد مطالعه انجام شده است (۱۹) مطابقت دارد. نتایج این مطالعات نشان داد که استفاده از کودهای شیمیایی و سموم بر میزان کیفیت آب تأثیر گذاشته و در سال‌های اخیر باعث کاهش کیفیت منابع آب شده است (۱۸، ۱۹). نتایج مطالعه حاضر در طی سه سال ۱۳۹۴-۱۳۹۶ نشان داد که ۴۸ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی در رده عالی، ۴۸ درصد در رده خوب و ۴ درصد در رده ضعیف و خیلی ضعیف از نظر آشامیدن قرار دارد که تنها یک روستا را در بر می‌گیرد که آب شرب این روستا قبل از مصرف باید کنترل و از خطرات آلودگی محافظت شود. میانگین کدورت در منابع آب نشان می‌دهد که کدورت در چند سال کاهش و افزایش یافته است. با توجه به تحقیق سه سال اخیر در مورد شاخص GWQI در روستاهای مورد مطالعه نتایج به دست آمده نشان می‌دهد تغییرات چشمگیری در بعضی فاکتورها داشته است. این امر سبب می‌شود نیاز به پایش و رصد منابع روستایی باید به طور پیوسته مورد بررسی قرار گیرد. لذا احتمال نفوذ کود شیمیایی کشاورزی به آب‌های زیر زمینی و نفوذ فاضلاب‌ها با توجه به شیب منطقه از شمال به جنوب می‌باشد. که روستاهای مورد مطالعه از جمله اصفهانکلاته، امیرآباد، چهارچنار، سیاهتلو، فیض آباد، قرق، مامایی، محمدآباد و والش آباد را در بر می‌گیرد. در یک بررسی با عنوان ارزیابی کیفیت آب قره‌سو با استفاده از شاخص IRWQIsc توسط Hajiradkouchak و همکاران با توجه به تحقیق انجام شده، پیشنهاد دادند که منابع آلاینده ورودی به رودخانه قره‌سو از ابتدا تا انتهای رودخانه مشخص گردد و کیفیت میکروبی از نظر میکروارگانیسم‌های پاتوژن و کیفیت شیمیایی از لحاظ عناصر فلزات سنگین و سموم بررسی و رودخانه به صورت دوره زمانی مشخص جهت تعیین وضعیت کیفی طبق دستورالعمل پایش شود (۲۰). هم‌چنین کیفیت آب روستاهای قلعه محمود، سیستانی محله، کفشگیری و کلو در سال ۹۶ رو به بهبود بوده است که می‌تواند

به علت دفع بهداشتی فاضلاب‌ها و کم‌تر استفاده کردن کودهای کشاورزی در بالا دست باشد. از ۱۳ روستا مورد مطالعه در سال ۹۴ هشت روستا شامل منابع آب با کیفیت عالی و پنج روستا شامل منابع آب با کیفیت خوب می‌باشد. در سال ۹۵ هفت روستا شامل منابع آب با کیفیت عالی، پنج روستا شامل منابع آب با کیفیت خوب و یک روستا قلعه محمود دارای کیفیت خیلی ضعیف برای شرب (میزان شاخص بالای ۲۰۰) می‌باشد. در سال ۹۶ چهار روستا شامل منابع آب با کیفیت عالی، هشت روستا شامل منابع آب با کیفیت خوب و یک روستا قلعه محمود دارای کیفیت ضعیف برای شرب (میزان شاخص بالای ۱۰۰) می‌باشد. به‌طور کلی در طی ۳ سال نتایج نشان داد میزان شاخص GWQI منابع آب آشامیدنی روستاهای گرگان بین ۳۷/۲۱ تا ۲۷۷/۳۹ می‌باشد که با این شاخص کیفیت آب برای روستای کلو در سال ۹۶ کم‌ترین میزان ۳۷/۲۱ (کیفیت عالی) و روستای قلعه محمود در سال ۹۵ بیش‌ترین میزان ۲۷۷/۳۹ با (کیفیت خیلی ضعیف) مشخص شد. یعنی نمونه‌های آب زیرزمینی از نظر آشامیدن، ۴۹٪ در کلاسه عالی، ۴۶٪ خوب و ۵٪ در کلاسه ضعیف و خیلی ضعیف قرار گرفت که تنها یک روستا را در بر می‌گیرد، آب شرب این روستا قبل از مصرف باید کنترل و از خطرات آلودگی محافظت شود و هیچ کدام از منابع آب در محدوده غیرقابل شرب قرار نگرفتند.

**نتیجه‌گیری کلی:** نتایج حاصل از بررسی ۳ ساله شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GWQI) در روستاهای شهرستان گرگان طی سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ نشان داد که مقدار این شاخص در دامنه‌ای بین ۳۹/۲۱ تا ۲۷۷/۳۹ متغیر بوده است. بر اساس طبقه‌بندی انجام‌شده، ۴۹ درصد از کل نمونه‌ها در رده عالی، ۴۶ درصد در رده خوب و ۵ درصد در رده ضعیف و خیلی ضعیف قرار گرفتند. به‌طور کلی در این دوره تنها یک روستا (قلعه محمود) دارای کیفیت نامطلوب بود و سایر روستاها کیفیت مناسب تا عالی را نشان دادند. این نتایج نشان دهنده وضعیت نسبتاً مطلوب منابع آب زیرزمینی در اغلب روستاهای مورد بررسی است، هرچند تغییرات مشاهده‌شده در برخی نقاط اهمیت توجه به مدیریت و پایش مستمر را برجسته می‌سازد. در سال ۱۳۹۴ نتایج نشان داد که از ۱۴ روستای مورد مطالعه، هشت روستا دارای کیفیت عالی و پنج روستا دارای کیفیت خوب بودند و شاخص GWQI در این سال بین ۳۹/۲۱ تا ۱۳۰/۳۸ متغیر بود. در سال ۱۳۹۵ کیفیت آب روستاها در دامنه‌ای بین ۴۰/۰۴ تا ۲۷۷/۳۹ قرار گرفت و کاهش محسوسی در برخی نقاط مشاهده شد؛ به‌ویژه روستای قلعه محمود که شاخص کیفیت آن از مرز ۲۰۰ فراتر رفت و در رده بسیار ضعیف قرار گرفت. در سال ۱۳۹۶ کیفیت آب در محدوده ۴۳/۲۶ تا ۲۳۳/۵۹ قرار داشت که براساس آن پنج روستا در رده عالی، هفت روستا در رده خوب و یک روستا (قلعه محمود) در رده ضعیف دسته‌بندی شدند. این روند نشان داد که هرچند

3. **Chapman, D., 1996.** Water Quality Assessments, 2<sup>nd</sup> ed, London: Published by E. & F.N. Spon. 50-550.
4. **Bitton, G., 2005.** Wastewater microbiology, 3<sup>rd</sup> ed, Canada: published by John Wiley and Sons. 15-110.
5. **Drinking water –Microbiological specifications (ISIRI 1011), 2007.** Institute of Standards and Industrial Research of Iran, 6th.Revision. (In Persian)
6. **Drinking water-Physical and chemical specifications, (ISIRI 1053), 2009.** Institute of Standards and Industrial Research of Iran, 5th.Revision. ICS:13.060.020. [http://mboh.umsha.ac.ir/uploads/fiziki\\_shimiyai.pdf](http://mboh.umsha.ac.ir/uploads/fiziki_shimiyai.pdf). (In Persian)
7. **Kawamura S. 2000.** Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities, 2<sup>nd</sup> ed, Canada: John Wiley & Sons Inc. 10-120.
8. **Ramakrishnaiah, C., Sadashivaiah, C. and Ranganna, G., 2009.** Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. *Journal of Chemistry*. 6(2): 523-530.
9. **Tomaszkiewicz, M., AbouNajm, M. and El-Fadel, M., 2014.** Development of a ground water quality index for seawaterintrusion in coastal aquifers. *Environmental Modelling & Software*. 57: 13-26.
10. **Javid, A., Ghomimagsad, N. and Roudbari, A., 2016.** Evaluation of Groundwater Quality with GWQI Index and Preparing of Zoning Map in GIS. *Journal of Knowledge & Health*. 10(4):48-56.
11. **Nabizadeh R, Amin MV, Alimohammadi M, Naddafi K, Mahvi AH, Yousefzadeh S. 2013.** Development of innovative computer software to facilitate the setup and computation of water quality index. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 11(1): 19-28.
12. **World Health Organization. 2006.** World in danger of missing sanitation target; drinking-water target also at risk, new report shows. Geneva: WHO.
13. **Ehsani, H.R., Javid, A. and Hasani, A., 2007.** Investigation of the process of changes of nitrate and total soluble solids in groundwater drinking water of Hamedan-Bahar plain using Geographic Information System (GIS). 10th National Congress on Environmental Health. (In Persian)
14. **Eslami, F., Shokoohi, R., Mazloomi, S., Darvish Motevalli, M. and Salari, M., 2017.** Evaluation of Water Quality Index (WQI) of Groundwater Supplies in Kerman Province. *Occupational and Environmental Health*. 3(1): 48-58.
15. **Tavabian, M., Yousefi, S., Vareki, M. and Ghodsi, M., 2014.** Determine the Best Indicator of Groundwater Quality Assessment in Guilan Province. The first National Conference on Challenges on Water Resources and Agriculture. Khorasan Azad University. 1-10. (In Persian)
16. **Gebrehiwot, A.B., Tadesse, N. and Jigar, E., 2011.** Application of Water Quality Index to Assess Suitability of Groundwater Quality for Drinking Purposes in Hantebet watershed, Tigray, Northern Ethiopia. *Journal of Food and Agriculture Science*. 1(1): 22-30.
17. **Al-hadithi, M., 2012.** Application of Water Quality Index to Assess Suitability of Groundwater Quality for Drinking Purposes in Ratmao- PathriRao watershed, Haridwar District India. *Journal of Scientific and Industrial Research*. 26: 395-402.
18. **Arsham, A., Sadeghi, M. and Sadeghi, M., 2018.** Evaluation of the Physicochemical Properties of Water in AqQala City (Golestan Province), 2005-2015. *Journal of Environment and Health Sustain Development*. 3(1): 454-463. doi:10.1001.1.24766267.2018.3.1.5.6 (In Persian)
19. **Sadeghi, M., Bay, A., Bay, N., Sofflaie, N., Mehdinejad, M. and Mallah, M., 2015.** The effect of agriculture drainage on water quality of the Zaringol in Golestan Province by the water quality index. *Research in Environmental Health*. 1(3): 177-185. (In Persian)
20. **Hajiradkouchak, E., Rahnama, B., Nasrollahzadeh Saravi, H., Shabbazi, A., Raeiji, R. and Babaei Ziyarati, K., 2024.** Water quality assessment of Qarasu River using IRWQIsc index. *Journal of Engineering Geology*. 18(3): 365-381. (In Persian)

کیفیت کلی منابع آب نسبتاً پایدار باقی مانده است، اما نوسانات سالانه در برخی مناطق وجود داشته که بیانگر تأثیر مستقیم عوامل محیطی و انسانی بر کیفیت آب زیرزمینی است. بررسی دقیق تر تغییرات بین سال ها نشان داد که کیفیت آب در روستاهای کفشگیری، کلو و سیستمانی محله در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال های قبل بهبود یافته است. این بهبود می تواند ناشی از کاهش مصرف کودهای شیمیایی، بهبود نسبی مدیریت فاضلاب یا تغییر در الگوهای آبیاری و بارندگی در این سال باشد. در مقابل، روستای قلعه محمود در تمامی سال ها شرایط نامناسبی داشت و کیفیت آب آن از ضعیف تا بسیار ضعیف در نوسان بود. علت اصلی می تواند به نبود سیستم جمع آوری و دفع مناسب فاضلاب، مصرف بی رویه کودهای از ته و همچنین شرایط هیدروژئولوژیک منطقه مربوط باشد که امکان نفوذ آلاینده ها به سفره های آب زیرزمینی را افزایش داده است. نوسانات مشاهده شده در کیفیت آب نشان دهنده تأثیر سه عامل کلیدی است: (۱) مصرف کودها و سموم کشاورزی که به ویژه بر افزایش نیترات و کل جامدات محلول اثرگذار است؛ (۲) نبود سیستم های جمع آوری و دفع بهداشتی فاضلاب که در بسیاری از روستاها منجر به نفوذ مستقیم پساب به آبخوان ها می شود؛ و (۳) ویژگی های جغرافیایی و هیدروژئولوژیک منطقه که با توجه به شیب زمین و شرایط نفوذپذیری خاک، امکان انتقال و تجمع آلاینده ها را فراهم می سازد. در این میان، نقش کشاورزی و استفاده مداوم از کودهای شیمیایی بیش از سایر عوامل برجسته بوده است. بنابراین، یافته های این تحقیق علاوه بر نشان دادن وضعیت موجود، اهمیت مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی را نیز تأکید می کند. برای جلوگیری از کاهش کیفیت آب و تأمین پایدار آب شرب روستاها، پیشنهاد می شود اقداماتی نظیر کاهش مصرف کودهای شیمیایی و جایگزینی آن با کودهای آلی، ایجاد و توسعه سیستم های دفع بهداشتی فاضلاب روستایی، کنترل آلودگی های ناشی از فعالیت های کشاورزی و پایش مستمر کیفیت آب در سطح منطقه در دستور کار قرار گیرد.

## تشکر و قدردانی

این مقاله از پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان بررسی روند تغییرات کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب شرب روستاهای شهر گرگان با شاخص کیفی آب زیرزمینی (GWQI) از مؤسسه آموزش عالی گلستان و بهاران استخراج گردیده است. هم چنین از اساتید پژوهشکده اکولوژی دریای خزر کمال تشکر داریم.

## منابع

1. **Nasseri, S. and Ghaneian, M., 2002.** Quality management of lakes and rivers. First ed. Tehran: Nas. 10-80. (In Persian)
2. **Pourzamani, H.R., Kargar, M. and Mahmoudian, H., 2011.** Environmental Health Book. First ed, Esfahan: Danesh Pajoohan Barin. 31-70. (In Persian)