Archive of SID


# ارزیابی و تجزیه و تحلیل آماری پارامتر ها و شاخص کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف آشامیدنی در منطقه‌ی خرم آباد

زهرا چراغی[۱]، رامین ساریخانی[۲*]، محمد مهدی فرهپور[۳]، آرتیمس قاسمی دهنوی[۴]

## چکیده

روش‌های آماری یک متغیره و چند متغیره در بررسی کیفیت شیمی آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف استفاده می شود. در منطقه‌ی مورد مطالعه شده با توجه به نمودار خوشه‌ای، پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه در دو خوشه قرار گرفتند که ناشی از عوامل تأثیر سازندها و سنگ‌های کربناته و هالیت و عاملهای زمین شناسی است. روش تحلیل مؤلفه اصلی داده‌ها نشان داده است که عاملهای تأثیرگذار در کیفیت آب زیرزمینی املاح محلول، هدایت الکتریکی، بی‌کربنات، کلراید، کلسیم، منیزیم، سدیم و سختی است. با توجه به مشخصه‌های موجود در هر عامل و منشأ آن‌ها، مبین تأثیر سازندهای زمین‌شناسی ، سنگهای آهکی و تبخیری در منطقه است. بررسی ضریب همبستگی پارامترهای آب زیرزمینی منطقه مطالعه شده، نشان داد که همبستگی بالایی بین سدیم وکلر نشان دهنده ی انحلال هالیت سازند گچساران در منطقه است. همبستگی بالای بین هدایت الکتریکی با سولفات، سدیم و کلر را می توان به انحلال هالیت و نمک های سولفاته، به خصوص سولفات کلسیم ارتباط داد. همچنین، همبستگی بین بی کربنات و منیزیم را نشانگر نقش انحلال دولومیت در افزایش غلظت کلسیم موجود در آب دانست. شاخص کیفی آب زیرزمینی در منطقه بررسی شده که نشان می دهد که کیفیت آب زیرزمینی بین ۷۳ تا ۸۱ بوده و بیان کننده مناسب تا قابل قبول است که می نواند متأثر از عوامل زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی) و جهت جریان در منطقه باشد. همبستگی بین شاخص کیفی آب زیرزمینی و پارامترهای کیفی نشان داد که سختی کل و میزان بی‌کربنات و جامدات محلول بیش‌ترین تأثیر را در کیفیت آب زیرزمینی داشته اند.

**واژه های کلیدی**: تحلیل خوشه‌ای، تحلیل عاملی، خرم‌آباد، ضریب همبستگی، کیفیت آب زیرزمینی.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی دانشگاه لرستان
[۲] استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه لرستان
تلفن ۰۹۱۲۲۳۰۸۱۶۱، Email: sarikhani.r@lu.ac.ir
[۳] استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه لرستان
[۴] استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه لرستان

www.SID.ir

Archive of SID


## مقدمه

بررسی تغییرات شیمی منابع آب زیرزمینی با ابزارها و روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد که در مطالعات پر شمار اخیر استفاده از روش‌های تحلیل آماری چندمتغیره در شناختن منشأ آلودگی محلی توجه شده است (اگیونریبدو و همکاران،۲۰۱۱؛ ادت و همکاران،۲۰۱۱؛ حاجیلو و همکاران ،۲۰۰۹). بررسی هایی که چندین متغیر به صورت هم‌زمان مورد توجه قرارمی دهند در تعیین کیفیت آب برای آشامیدن کاربرد دارند، روش‌های آماری چند متغیره ابزار مناسبی در بررسی روابط متغیرها بوده‌اند (ناصری،۲۰۰۸). کاربرد تکنیک‌های آماری چند متغیره به ما این امکان را می دهند تا منابعی را که ممکن است سامانه های آبی را تحت تأثیر قرار دهند، شناسایی کرده و ابزاری مناسب را برای مدیریت صحیح آنها در اختیار ما قرار دهند(لن وانگ و همکاران، ۲۰۱۱). محققان از روش‌های آماری چند متغیره در بررسی کیفی، تحلیل کیفیت و مطالعه شیمی آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف استفاده کرده‌اند(اوانس و همکاران،۱۹۹۶؛جئونگ و همکاران،۲۰۰۱؛ باتریز و همکاران ،۱۹۹۹؛ اسونوف و همکاران ،۱۹۸۹؛ لیو و همکاران ،۲۰۰۳؛ رقوناس و همکاران، ۲۰۰۲). کیفیت آب از مهم‌ترین عواملی است که بایستی به هنگام ارزیابی توسعه ی مناسب یک منطقه ارزیابی شود و کیفیت آب باید بر اساس متغیرهای فیزیکی و شیمیایی در ارتباط با استفاده از آب، تعریف‌شده باشد( بابیکر و همکاران،۲۰۰۷؛ چنینی و همکاران ،۲۰۰۹؛کوردوبا و همکاران،۲۰۱۰). ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، مقیاسی از تناسب آن را به عنوان منبع آبی برای مصارف انسانی و حیوانی، آبیاری و برای اهداف صنعتی شامل می‌شود. کیفیت آب در هر محل منعکس‌کننده اثر عوامل مختلف مانند زمین‌شناسی، شرایط اقلیمی و منابع آلاینده انسانی است و پایش کیفیت آنها اغلب موجب تولید داده‌های پیچیده‌ای شده است که نیاز به روش‌های مناسبی برای تحلیل و تفسیر دارد(الاماسی و همکاران؛۲۰۱۲). در این میان طبقه‌بندی، شبیه‌سازی و تحلیل آماری داده‌ها، از مهم‌ترین بخش‌های ارزیابی کیفیت آب هستند(افروزی و همکاران،۲۰۱۵). شاخص کیفیت آب زیرزمینی Groundwater Quality Index(GQI)که اولین بار در آبخوان ناسونا به وسیله بابیکر و همکاران در سال ۲۰۰۷ میلادی، در ژاپن به کار گرفته‌شده و خروجی آن نقشه‌ی واحدی است، از تلفیق چندین پارامتر مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی که تغییرات مکانی کیفیت آب را در کل منطقه نشان می دهد. در ایران نیز کارهای متعددی با استفاده از این روش انجام‌گرفته است، از جمله در آبخوان دشت فیض‌آباد در جنوب غرب مشهد، آبخوان نوشهر-نور، دشت امامزاده جعفر گچساران، منابع آب غرب کوهسرخ (شمال کاشمر) (عزیزی و محمد زاده،۲۰۱۲؛ سلیمانی و همکاران،۲۰۱۲؛خیری و خادم،۲۰۱۵). هدف این مقاله بررسی تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای کیفی و ارزیابی شاخص و پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب زیرزمینی در شهرستان خرم‌آباد برای آشامیدن است.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت و مشخصات جغرافیایی منطقه

محدوده ی مطالعاتی(خرم‌آباد) در غرب ایران و در مرکز استان لرستان قرارگرفته است. این محدوده بین طول‌های ´۵۰ °۴۷ تا ´۵۰ °۴۸ شرقی و بین عرض‌های ´۲۰ °۳۳ تا ´۲۰ °۳۴ شمالی واقع‌شده است. محدوده‌ی مذبور شامل یک دشت اصلی (دشت مرکزی) و تعدادی دشت‌های پراکنده کوچک ازجمله دشت ده‌پیر، کمالوند، خرم‌آباد ،که از طریق جاده آسفالته بروجرد-خرم‌آباد، پل‌دختر-خرم‌آباد و دورود-خرم‌آباد به مراکز شهرستان-های مجاور ارتباط دارند. محدوده‌ی مطالعاتی خرم‌آباد یکی از بخش های مطالعاتی حوضه آبریز کرخه بوده و با وسعت ۲۵۰۱/۴ کیلومترمربع در شرق حوضه واقع شده است. این محدوده تحت پوشش شرکت آب منطقه‌ای لرستان قرار دارد. نقشه (۱) محدوده‌ی حوضه آبریز خرم‌آباد را در نقشه ایران و در کنار آن نقشه زمین-شناسی منطقه نیز آورده شده است.

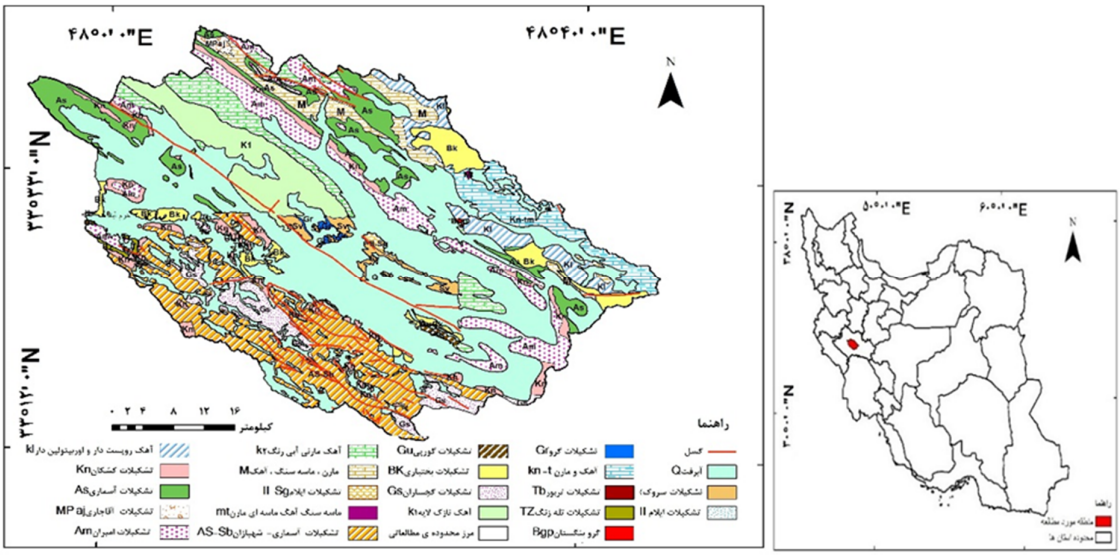
### نمونه‌ها

آمار این تحلیل‌ها از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳ به مدت ۱۰ سال به وسیله ی مهندسان اداره آب منطقه‌ای شهرستان خرم‌آباد برداشت گردیده است. جامعه‌ی مورد مطالعه شده، منابع آب زیرزمینی شهرستان خرم‌آباد و محل نمونه‌برداری از خط برداشتِ نزدیک‌ترین قسمت به منبع آبی در مکان موردنظر بوده است. تعداد نمونه‌های

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه‌ی مطالعه شده درنقشه ایران و نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ی مطالعه شده**

برداشت‌شده عبارتند از: ۶۱ از ۱۰ چشمه و ۳۳ از ۸ چاه در مکان‌های مختلف برداشت گردیده اند، که نتایج تحلیل این پارامترهای کیفی از اداره آب منطقه‌ای شهرستان خرم‌آباد، جهت بررسی کیفی آب زیرزمینی دریافت شده اند. برای تجزیه و تحلیل پارامترهای کیفی از نرم افزار SPSS19 و جهت ارزیابی و پهنه‌بندی شاخص کیفی آب زیرزمینی از نرم افزار ArcGIS10.3 استفاده شده است.

## نتایج و بحث

### توصیف آماری داده‌های شیمی آب

برای بررسی بهنجار بودن داده‌ها ابتدا به بررسی چولگی و کشیدگی پرداخته شد. اگر چولگی و کشیدگی بین ۱± باشد، بهنجار و در غیر این صورت بهنجار نبوده و باید بهنجار شوند(کریمی،۲۰۱۵). همان طور که مشاهده می‌شود بر طبق جدول چولگی و کشیدگی داده-های مربوط به سولفات و سدیم و کلر بهنجار نیستند (جدول۱، شکل۲). از آزمون شاپیرویلک جهت سنجش بهنجار استفاده شد. معنی‌داری آماری این شاخص‌ها به‌طور آرمانی در سطح آلفای ($P< ۰/۰۵$)، بیانگر تخطی از بهنجار بودن تک متغیری است. با توجه به جدول (۲) مشاهده شد که میزان کلر، سدیم و سولفات در این آزمون بهنجار نیست که بعد از انجام عملیات لگاریتم ساده، این داده‌ها در جدول (۳) به صورت بهنجار آورده شده است.

### مطالعات آماری عناصر اصلی و نتایج مطالعات آماری تک متغیره

خلاصه بررسی نتایج اولیه آماری نمونه‌های مورد مطالعه شده در جدول (۴) آمده اند. به منظور ارائه مقایسه آماری منابع آب، پارامترهای آماری میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف استاندارد، واریانس و خطای استاندارد داده‌های شیمیایی نمونه‌ها محاسبه گردیده اند. بر طبق جدول(۴) فراوانی عناصر اصلی موجود در آب‌های زیرزمینی منطقه از روند زیر تبعیت می‌کند:

$HCO_3^- > Ca^{2+} > Mg^{2+} > SO_4^{2-} > Na^+ > Cl^-$

۱- بی‌کربنات ($HCO_3^-$): میانگین فراوانی این عنصر ۴/۳۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر است که بیشینه آن ۶/۱۵ میلی اکی والان در لیتر و کمترین آن ۲/۲۰ میلی اکی والان در لیتر بوده و در مقایسه با استاندارد (WHO 2011) در بعضی از نمونه‌ها بالاتر از محدوده‌ی آن است. ازنظر اسیدیته آب منطقه در طیف قلیایی قرارگرفته است. منشأ بی‌کربنات منطقه به انحلال سنگ‌های کربناته و کانی‌های مختلف کربنات سدیم منطقه برمی-گردد.

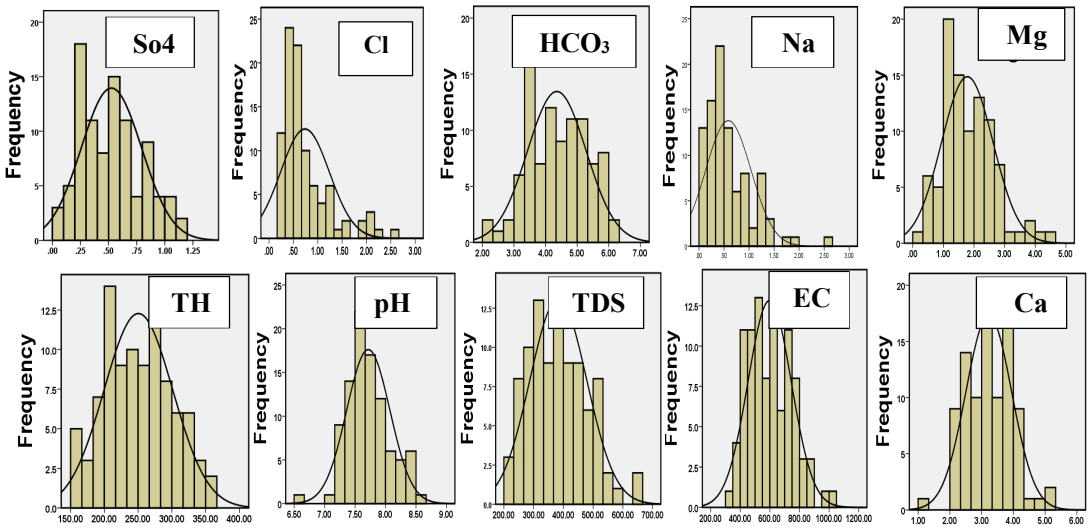
۲- سولفات ($SO_4^{2-}$): میانگین فراوانی این عنصر ۰/۵۲ میلی‌اکی‌والان در لیتر است که بیشینه آن ۱/۱۳ میلی اکی والان در لیتر، کمترین آن ۰/۰۳ میلی اکی والان در لیتر است. غلظت سولفات نیز در مقایسه با استاندارد (WHO 2011) در محدوده‌ی آن قرار دارد. سولفات از اکسایش پیریت و سایر سولفات‌ها که به‌طور

www.SID.ir

Archive of SID


**جدول۱: نتایج بررسی چولگی و کشیدگی در منطقه‌ی مطالعه شده**

| پارامترها | تعداد | چولگی | کشیدگی |
|---|---|---|---|
| سولفات | ۹۴ | -۱/۱۰۲ | ۱/۱۰۱ |
| کلر | ۹۴ | ۲/۴۲۳ | ۱/۷۰۰ |
| بی‌کربنات | ۹۴ | -۰/۷۲۶ | -۰/۱۳۶ |
| سدیم | ۹۴ | ۲/۹۴۸ | ۱/۵۱۰ |
| منیزیم | ۹۴ | ۰/۶۹۲ | ۰/۷۳۸ |
| کلسیم | ۹۴ | ۰/۰۹۷ | ۰/۰۵۵ |
| pH | ۹۴ | ۰/۵۶۷ | ۰/۱۳۸ |
| جامدات محلول | ۹۴ | -۰/۱۸۶ | ۰/۵۰۲ |
| سختی | ۹۴ | -۰/۷۸۱ | /۱۱۰ |
| هدایت الکتریکی | ۹۴ | -۰/۳۰۱ | ۰/۴۱۵ |




**شکل ۲: نمودارهای توزیع داده‌های آماری (واحد آنیون ها وکاتیون (meq/l) و سختی (mg/l) و هدایت اکتریکی (µmho/cm) است.**

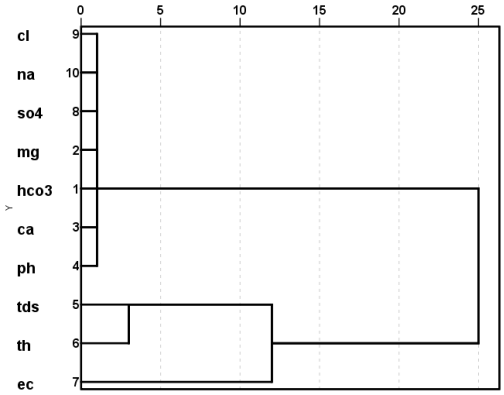
**جدول های ۲ و ۳: آزمون شاپیرو-ویلک قبل از بهنجار کردن و بعد از بهنجار کردن (واحد آنیون ها وکاتیون (meq/l) ، سختی (mg/l) و هدایت اکتریکی(µmho/cm) ) است.**

| متغیر | آزمون شاپیرویلک |
|---|---|
| سدیم | ۰/۰۰ |
| کلر | ۰/۰۰ |
| هدایت الکتریکی | ۰/۰۵۸ |
| سختی | ۰/۱۹۷ |
| جامدات محلول | ۰/۰۳۶ |
| اسیدیته | ۰/۲۰ |
| کلسیم | ۰/۳۷۹ |
| منیزیم | ۰/۰۷۰ |
| بی‌کربنات | ۰/۰۷۶ |
| سولفات | ۰/۰۰۹ |

| متغیر | آزمون شاپیرویلک |
|---|---|
| سدیم | ۰/۱۵۲ |
| کلر | ۰/۰۱۱ |
| هدایت‌الکتریکی | ۰/۰۵۸ |
| سختی | ۰/۱۹۷ |
| جامدات‌محلول | ۰/۰۳۶ |
| اسیدیته | ۰/۲۰ |
| کلسیم | ۰/۳۷۹ |
| منیزیم | ۰/۰۷۰ |
| بی‌کربنات | ۰/۰۷۶ |
| سولفات | ۰/۰۱۳ |

www.SID.ir

Archive of SID


**شکل ۳: دیاگرام خوشه‌ای داده‌های آماری آب‌های زیرزمینی شهرستان خرم‌آباد**

**جدول ۴: مقادیر پارامترهای آماری محاسبه شده آب‌های زیرزمینی خرم‌آباد (واحد آنیون ها وکاتیون (meq/l) ، سختی (mg/l) ، هدایت الکتریکی (µmho/cm)است .**

| پارامترها | دامنه تغییرات | کمترین | بیشترین | میانه | انحراف معیار | واریانس | WHO 2011 (mg/l) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سولفات | ۱/۱۰ | ۰/۰۳ | ۱/۱۳ | ۰/۵۲ | ۰/۲۷ | ۰/۰۷ | ۲۵۰ |
| بی کربنات | ۳/۹۵ | ۲/۲۰ | ۶/۱۵ | ۴/۳۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۶ | ۱۲۰ |
| منیزیم | ۴/۳۰ | ۰/۱۰ | ۴/۴۰ | ۱/۷۸ | ۰/۸۴ | ۰/۷۱ | ۵۰ |
| کلسیم | ۳/۹۰ | ۱/۲۰ | ۵/۱۰ | ۳/۲۲ | ۰/۷۲ | ۰/۵۲ | ۲۰۰ |
| pH | ۲/۰۴ | ۶/۵۲ | ۸/۵۶ | ۷/۷۲ | ۰/۳۵ | ۰/۱۳ | ۶/۵-۸/۵ |
| جامدات محلول | ۴۳۰ | ۲۲۰ | ۶۵ | ۳۸۲/۹ | ۹۵/۴۹ | ۹۱۱۸/۴ | ۱۰۰۰ |
| سختی | ۲۱۴/۶ | ۱۵۰ | ۳۶۴/۶ | ۲۵۰/۴ | ۵۰/۹ | ۲۵۹۱/۳ | ۵۰۰ |
| هدایت الکتریکی | ۶۵۶ | ۳۴۴ | ۱۰۰۰ | ۵۹۸/۳ | ۱۴۶/۱۹ | ۲۱۳۷۲/۷ | ۳۰۰ |
| کلر | ۱/۱۰ | -۰/۷۰ | ۰/۴۰ | -۲۱۰/ | ۰/۲۵ | ۰/۰۶ | ۲۵۰ |
| سدیمی | ۱/۸۰ | -۱/۴۰ | ۰/۴۰ | -۰/۳۶ | ۰/۳۶ | ۰/۱۳ | ۲۰۰ |

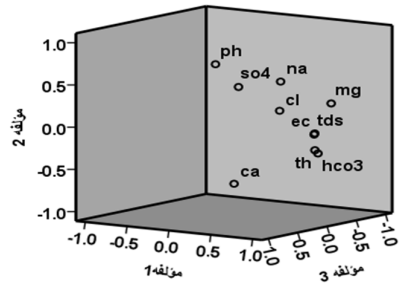
**جدول۵: نتایج حاصل از خوشه‌بندی داده ها**

| پارامترها | خوشه | |
|---|---|---|
| | ۱ | ۲ |
| بی‌کربنات | ۳/۷۱ | ۵/۱۲ |
| منیزیم | ۱/۳۰ | ۲/۳۵ |
| کلسیم | ۲/۹۸ | ۳/۵۲ |
| pH | ۷/۷۵ | ۷/۶۸ |
| جامدات محلول | ۳۱۲/۹۷ | ۴۶۷/۰۲ |
| سختی | ۲۱۳/۰۷ | ۲۹۳/۷۱ |
| هدایت الکتریکی | ۴۸۸/۱۰ | ۷۲۹/۱۸ |
| سولفات | -۰/۳۸ | -۰/۳۱ |
| کلر | -۰/۳۳ | -۰/۰۷ |
| سدیم | -۰/۵۴ | -۰/۱۵ |

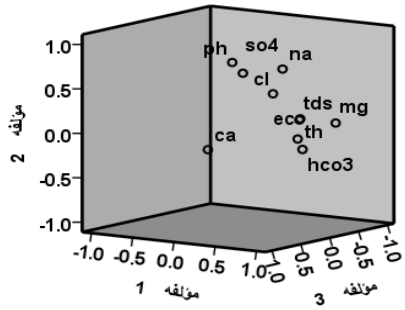
www.SID.ir

Archive of SID


**شکل ۴ : شکل سه بعدی مؤلفه های اصلی دوران نیافته**




**شکل ۵ : شکل سه بعدی مؤلفه های اصلی دوران یافته**




زیادی در سنگ‌های آذرین و رسوبی توزیع شده‌اند به وسیله ریزجانداران کاتالیست حاصل می‌شود(باور،۱۹۷۸). سولفات می‌تواند از انحلال کانی‌های تبخیری ژیپس و انیدریت به آب‌های منطقه وارد شود.

۳- کلراید ($Cl^-$): غلظت حداکثر کلر در آب آشامیدنی ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر توصیه می‌شود که در محدوده‌ی استاندارد قرار دارد. غلظت کلراید نیز در مقایسه با استاندارد (WHO 2011) در محدوده‌ی آن قرار دارد. منشأ اصلی کلراید آب‌های طبیعی کانی هالیت است.

۴- سدیم ($Na^+$): میانگین فراوانی این عنصر ۰/۳۱ میلی‌اکی‌والان در لیتر است که بیشینه آن ۱/۴۲ میلی اکی والان در لیتر و کمترین آن ۰/۰۲ میلی اکی والان در لیتر است، غلظت سدیم نیز در مقایسه با استاندارد (WHO 2011) در محدوده استاندارد قرار دارد. در سنگ-های آذرین سدیم موجود در آب عمدتاً از فلدسپات‌ها (آلبیت) و از محصولات عمل تجزیه این کانی‌ها (رسی شدن) حاصل‌شده است. کانی‌های رسی، تبخیری‌هایی از قبیل هالیت، فاضلاب‌های صنعتی از دیگر منشأهای اصلی سدیم بوده‌اند.

۵- کلسیم ($Ca^{2+}$): میانگین فراوانی این عنصر ۳/۲۲ میلی‌اکی‌والان در لیتر است که بیشینه آن ۵/۱۰ میلی اکی والان در لیتر و کم‌ترین آن ۱/۲۰ میلی اکی والان در لیتر ، در مقایسه با استاندارد (WHO 2011) در بعضی از نمونه‌ها بالاتر از محدوده آن است. کلسیم از کاتیون‌های اصلی آب‌های زیرزمینی و سطحی و می‌تواند از سازندهای آهکی دولومیتی ژوراسیک منطقه منشأ گیرد.

۶- منیزیم ($Mg^{2+}$): میانگین فراوانی این عنصر ۱/۷۸ میلی‌اکی‌والان در لیتر است که بیشینه آن ۴/۴۰ میلی اکی والان در لیتر و کمترین آن ۰/۱۰ میلی اکی والان در لیتر است. غلظت منیزیم نیز در مقایسه با استاندارد (WHO 2011) در محدوده ی استاندارد قرار دارد. در سنگ‌های رسوبی منشأ یون منیزیم عمدتاً کانی دولومیت و منیزیت هستد (دوتچ، ۱۹۹۷).

## نتایج مطالعات آماری چند متغیره:

۱-تحلیل خوشه‌ای: برای سنجش میزان تشابه ، گروه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی از روش تجزیه خوشه-ای استفاده شده است. فرضیات روش تجزیه خوشه‌ای شامل واریانس همسانی و توزیع بهنجار متغیرهاست، به همین منظور قبل از انجام تجزیه‌ها، داده را استاندارد می‌کنند(التر،۱۹۷۹). تجزیه خوشه‌ای اغلب به روش‌های زیر صورت می‌گیرد:

Q-mode hierarchical cluster analysis (HCA)
K-means clustering (KMC)
Fuzzy k-means clustering (FKM)

تحلیل خوشه‌ای برای تعیین شباهت نسبی به کار می‌رود که این شباهت همگنی را در ویژگی‌های اندازه‌گیری شده پارامترها نشان می‌دهد. تحلیل خوشه‌ای مجموعه‌ای از متغیرها را در داخل خوشه‌های همگن جا می‌دهد. خوشه‌های حاصل از این تحلیل، از همگنی درونی (درون خوشه‌ای) و بیرونی(بین خوشه‌ای) برخوردار هستند(شرستا و کازما، ۲۰۰۷). در این مقاله برای گروه-بندی نمونه‌های آب زیرزمینی از خوشه‌بندی HCA و با کاربرد روش (between (average linkage method) (groups استفاده شده است. با توجه به نمودار خوشه‌ای ترسیم شده (شکل۳) و جدول(۵) پارامترها در دو خوشه اصلی ، کلر، سدیم، سولفات، منیزیم، بی‌کربنات، کلسیم و اسیدیته خوشه اول، جامدات محلول، سختی و هدایت الکتریکی خوشه دوم قرارگرفته اند. اختلاف دو خوشه به عواملی مثل نوع سازند و جنس سنگ برمی‌گردد. قرار

www.SID.ir

Archive of SID


گرفتن جامدات محلول و هدایت الکتریکی در یک خوشه (خوشه دوم) ارتباط نزدیک این دو را تأیید کرده است.

۲-تحلیل عاملی: تحلیل عاملی یک روش آماری چند متغیره است که نوعی آرایش مجدد، متغیرهای اصلی را به عامل‌های کمتری کاهش داده و این عوامل معدود برای تهیه بهترین الگوی برگزاری قابل تفسیر مورد استفاده قرارگرفته اند (شین و همکاران،۲۰۱۱). هدف اصلی تحلیل عاملی، در صورت امکان، بیان روابط هم‌تغییری (covariance) تعداد زیادی از متغیرها بر اساس چند کمیت تصادفی غیرقابل مشاهده است که عامل‌ها نامیده شده، در مرحله بعد عامل‌ها استخراج گردیده و تفسیر نتایج انجام گرفت. تغییر و تعیین منشأ هر یک از عامل‌ها بر اساس بارهای عاملی، شرایط آب – زمین شناسی و فرایندهای شیمی آب صورت گرفته است(جئونگ و همکاران،۲۰۰۱). تفسیر عامل‌های به‌دست‌آمده مشکل بوده و لازم است آن‌ها در یک فضای چند بعدی چرخانده شوند. بار چرخیده (rotated) بزرگ‌تر از ۰/۵ به‌عنوان بار متوسط و بار بزرگ‌تر از ۰/۷۵ به‌عنوان بار قوی در نظر گرفته می‌شود. مقادیر ۰/۴ تا ۰/۵ نیز حد پایین متوسط بار متغیرها بر روی عامل‌ها هستند(میلر و همکاران،۱۹۷۷). لاو و همکاران(۲۰۰۴) از تحلیل عاملی به‌منظور اثبات ارتباط تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در اطراف یک معدن آهن و طرح دفع فاضلاب در افریقای جنوبی با فعالیت‌های کشاورزی و معدنی بهره گرفتند. در تحقیقات فراوانی ادغام تحلیل عاملی تجزیه و تحلیل خوشه‌ای در تفسیر تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی سودمند بوده است(دآندراد و همکاران ،۲۰۰۸).

۳-تحلیل مؤلفه اصلی(PCA): از روش‌های آماری چند متغیره است که می‌توان از آن برای کاهش پیچیدگی تحلیل متغیرهای اولیه مسئله در مواردی با حجم زیاد از اطلاعات و تفسیر بهتر آن‌ها استفاده کرد(نوری و همکاران،۲۰۰۹). با اعمال این روش متغیر-های اولیه به مؤلفه‌های جدید و مستقل از یکدیگر (با ضریب همبستگی صفر برای هر دو مؤلفه) تبدیل می شوند. مؤلفه‌های جدید ایجادشده ترکیبی خطی از متغیرهای اولیه هستند (نوری و همکاران، ۲۰۰۹). با استفاده از این روشها، ترکیباتی از P متغیر اولیه $X_1$ $X_2$ ... $X_P$ برای ایجاد مؤلفه مستقل (معادل با تعداد متغیر-های اولیه استفاده شده) $Z_1$ $Z_2$ ... $Z_P$ هستند. عدم همبستگی به این معنی است که مؤلفه‌ها جنبه‌های مقاومتی از متغیرهای اولیه را نمایان ساخته-اند(مانلی،۱۹۸۶). در این روش به‌جای استفاده مستقیم از متغیرهای اولیه، ابتدا آن‌ها را به مؤلفه‌های جدیدی تبدیل کرد، سپس از این مؤلفه‌ها به‌جای متغیرهای اولیه استفاده کرد، همچنین به دلیل آن‌که در تشکیل مؤلفه‌های از تمام متغیرها استفاده شده است، اطلاعات متغیرهای اولیه با کم‌ترین تلفات به وسیله مؤلفه‌های اصل ارائه‌شده اند در این روش‌ها هر مؤلفه اصلی می‌تواند با دنباله زیر مشخص شود:

$$z_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \ldots + a_{ip}x_p \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن (۱)$z_i$ معرف مؤلفه ی موردنظر،$a_{ij}$ ضرایب مربوط به متغیرهای اولیه و $x_i$ نیز متغیرهای اولیه است. ضرایب مربوط به متغیرهای اولیه از حل معادله زیر به دست می‌آیند.

رابطه(۲)

$$|R-\lambda I|=0$$

که در آن (۲)،I ماتریس واحد، R ماتریس همبستگی بین متغیرهای اولیه و $\lambda$ نیز مقادیر ویژه هستند که از ویژه به دست می‌آیند. برای انجام این دو روش مراحل زیر باید انجام می‌شود:

۱- استاندارد نمودن متغیرهای ورودی: در این مرحله داده‌های ورودی به نحوه‌ی استاندارد شده‌اند که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک باشند.

۲-محاسبه ماتریس برای متغیرهای اولیه: این ماتریس که متقارن است، میزان همبستگی بین هرکدام از متغیرهای اولیه مورداستفاده شده را نشان می دهد. در حقیقت مقدار هرکدام از درایه‌های این ماتریس، aij بیانگر همبستگی بین i و j است. نتایج تحلیل عاملی نشان داده است که در این دشت با استفاده از پارامتر بررسی شده در قالب ۹۴ نمونه می‌توان تغییرات کیفی آب زیرزمینی را به وسیله ۳ عامل مورد ارزیابی قرارداد. در این بین عامل ۱ با بیش از ۵۷ درصد تغییرات دارای بیشترین نقش است. عامل دوم با بیش از ۱۶ درصد و عامل ۳ با بیش از ۱۰ درصد مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی در دشت خرم‌آباد بوده اند. بارهای عامل تأثیرگذار روی عامل اول، بیشتر تحت تأثیر املاح محلول، هدایت الکتریکی، بی‌کربنات، کلراید، منیزیم، سدیم و

www.SID.ir

Archive of SID


سختی هستند. در عامل اول، بی‌کربنات و کلراید (از میان آنیون‌ها) و سدیم و منیزیم (از میان کاتیون‌ها) تأثیر بسزایی را داشته اند. این پارامترها نشانگر کیفیت آب منطقه هستند. عامل دوم، بیشتر تحت تأثیر اسیدیته و سولفات بوده است. عامل سوم، بیشتر تحت تأثیر کلسیم است(جدول۶). اعمال چرخش بر روی‌داده‌ها (جدول۷)، بر عامل اول تأثیر فراوانی نداشته، اما عامل دوم بعد از اعمال چرخش بیشتر تحت تأثیر سولفات، اسیدیته و سدیم قرارگرفته است. عامل سوم نیز بعد از اعمال چرخش تغییر نکرده و تحت تأثیر کلسیم است. شکل های۴و۵ مشخصه‌های مؤثر در هر عامل را نشان می‌دهد. با توجه به مشخصه‌های موجود در هر عامل و منشأ آن‌ها، عامل های اول، دوم و سوم مبین تأثیر سازندهای زمین-شناسی بر شیمی آب منطقه است که این اثر را زمین زاد گویند. تأثیر سه عامل گفته‌شده نشان‌دهنده تعامل آب-سنگ است، که این عوامل در ارتباط با انحلال و هوازدگی سنگ‌های کربناته و حاوی ترکیبات کلسیم و منیزیم دار است (غیومیان و همکاران،۲۰۰۵).

۴-آزمون همبستگی پیرسون: احتمالاً، گسترده‌ترین کاربرد شاخص آماری همبستگی دومتغیره، ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون است که به‌طور معمول همبستگی پیرسون نامیده شده و علامت اختصاری آن r است. ضریب پیرسون نشان می‌دهد که تا چه اندازه بین متغیرهای کمّی رابطه خطی وجود دارد. پس از بررسی عامل‌های متأثر در تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت خرم‌آباد، به‌منظور بررسی منشأ و رابطه تغییرات بین پارامترهای مختلف به تحلیل ضرایب همبستگی پارامتر-های شیمی آب موردنظر پرداخته شد، که در جدول(۸) ضرایب همبستگی موردبحث ارائه شده است. اگر ضریب همبستگی (r) بزرگ‌تر از ۰/۷ باشد، دو پارامتر دارای همبستگی بسیار قوی هستند، همین‌طور، ضریب همبستگی متوسط را نیز می‌توان بین ۰/۵ تا ۰/۷ و در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ >p مشاهده کرد. ضریب همبستگی کمتر از ۰/۳ به‌عنوان عدم همبستگی بین پارامترها تلقی شده است (گیو-شین و همکاران ،۲۰۱۰).

بررسی مقدار ضریب همبستگی پارامترهای مطالعه شده نشان می‌دهد که بالاترین آنها را می‌توان بین هدایت الکتریکی و جامدات محلول (r=۰/۹۹۱ )، بین سختی کل و بی‌کربنات (r= ۰/۹۲۸) بین هدایت الکتریکی و سختی کل (r= ۰/۸۹۲)، سختی کل و جامدات محلول (۰/۸۸۶ =r)، هدایت الکتریکی و بی‌کربنات ( r=۰/۸۴۵) ، بی-کربنات و جامدات محلول (r=۰/۸۳۴ )، سختی کل و منیزیم (r= ۰/۷۰۹) و سدیم و کلر (r=۰/۷۰۵ ) مشاهده کرد. به طورکلی می‌توان بیان کرد که بین بی‌کربنات، منیزیم، جامدات محلول، سختی کل و هدایت الکتریکی رابطه همبستگی قوی برقرار است که این رابطه را می-توان بین هدایت الکتریکی با سدیم و کلر مشاهده کرد؛ که با توجه به این موارد می‌توان همبستگی بالای سدیم و کلر را نشان‌دهنده انحلال هالیت در منطقه‌ی مورد مطالعه شده دانست. همبستگی بالای بین هدایت الکتریکی با سولفات، سدیم و کلر را می‌توان به انحلال هالیت و نمک‌های سولفاته به‌خصوص سولفات کلسیم در افزایش ضریب هدایت الکتریکی ارتباط داد. همچنین همبستگی بین بی‌کربنات و منیزیم را نشانگر نقش انحلال دولومیت در افزایش غلظت کلسیم موجود در آب دانست. وجود یک همبستگی قوی بین هدایت الکتریکی و جامدات محلول می‌توان با قرار گرفتن این دو در یک خوشه تأیید کرد.

## شاخص کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی

در این مطالعه میانگین از نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب مربوط به ۸ حلقه چاه و ۱۰ چشمه در منطقه مطالعه شده مربوط به سال‌های ۸۴-۹۳ استفاده شده است. اصول روش تعیین Groundwater Quality" Index" (GQI) اولین بار به وسیله بابیکر و همکاران در سال ۲۰۰۷ ارائه‌شده است. اساس این روش بر پایه مقایسه غلظت پارامترهای شیمیایی و فیزیکی در آب زیرزمینی با استاندارد جهانی است. به‌طورکلی شاخص GQIاز رابطه ۳ به‌دست‌آمده است (اینساف و همکاران ،۲۰۰۷).

رابطه(۳) $$GQI = 100 - \left[\frac{r_1 w_1 + r_2 w_2 + \ldots + r_n w_n}{n}\right]$$

که در آن، w وزن پارامتر کیفی،r رتبه پارامتر کیفی و n تعداد پارامترهای به کار گرفته‌شده است برای محاسبه‌ی

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول۶: ماتریس عاملی دوران نیافته**

| متغیرها | مؤلفه‌ها ۱ | ۲ | ۳ |
|---|---|---|---|
| سولفات | ۰/۲۸۰ | ۰/۵۰۳ | ۰/۳۲۳ |
| بی کربنات | ۰/۸۷۹ | -۰/۲۹۶ | -۰/۱۷۸ |
| منیزیم | ۰/۷۳۱ | ۰/۲۱۸ | -۰/۶۱۴ |
| کلسیم | ۰/۴۵۹ | -۰/۵۷۷ | ۰/۶۵۶ |
| pH | -۰/۰۶۸ | ۰/۷۲۲ | ۰/۲۲۰ |
| جامدات محلول | ۰/۹۷۱ | -۰/۰۳۵ | ۰/۰۲۰ |
| سختی | ۰/۹۳۶ | -۰/۲۲۳ | ۰/۰۴۳ |
| هدایت الکتریکی | ۰/۹۷۷ | -۰/۰۲۰ | ۰/۰۱۹ |
| کلر | ۰/۶۸۹ | ۰/۲۴۶ | ۰/۲۰۶ |
| سدیم | ۰/۶۵۱ | ۰/۵۷۷ | ۰/۱۳۶ |
| درصد واریانس | ۵۲/۷۰۲ | ۱۶/۹۲۶ | ۱۰/۵۷۷ |
| واریانس تجمعی | ۵۲/۷۰۲ | ۶۹/۶۲۸ | ۸۰/۱۸۶ |

**جدول ۷: ماتریس عاملی دوران یافته**

| متغیرها | مؤلفه‌ها ۱ | ۲ | ۳ |
|---|---|---|---|
| سولفات | ۰/۱۰۶ | ۰/۶۴۸ | ۰/۰۶۷ |
| بی کربنات | ۰/۹۱۷ | -۰/۱۰۹ | ۰/۱۹۴ |
| منیزیم | ۰/۸۵۷ | ۰/۰۸۷ | -۰/۴۶۶ |
| کلسیم | ۰/۲۹۲ | -۰/۰۶۷ | ۰/۹۴۰ |
| pH | -۰/۲۱۵ | ۰/۶۹۷ | -۰/۲۰۶ |
| جامدات محلول | ۰/۹۱۳ | ۰/۲۲۸ | ۰/۲۴۲ |
| سختی | ۰/۹۹۲ | ۰/۰۲۲ | ۰/۲۸۵ |
| هدایت الکتریکی | ۰/۹۱۸ | ۰/۲۴۲ | ۰/۲۳۵ |
| کلر | ۰/۵۵۷ | ۰/۴۸۱ | ۰/۱۹۱ |
| سدیم | ۰/۵۰۶ | ۰/۷۱۹ | -۰/۰۴۷ |
| درصد واریانس | ۴۸/۰۹۶ | ۱۷/۹۰۰ | ۱۴/۱۹۰ |
| واریانس تجمعی | ۴۸/۰۹۶ | ۶۵/۹۹۶ | ۸۰/۱۸۶ |

رتبه پارامتر کیفی به‌کاررفته شده ابتدا عامل C از رابطه (۴) محاسبه‌شده، سپس رتبه هر محدوده‌ی عددی پارامتر را از رابطه (۵) به‌دست‌آمده است که مقدار آن بین ۱ تا ۱۰ تغییر می‌کند:

رابطه (۴)
$$C = \frac{C_i - C_{WHO}}{C_i + C_{WHO}}$$

رابطه (۵)
$$r = 0.5 \times c^2 + 4.5 \times c + 5$$

که در آنها C عامل غلظت بوده و مقدار آن بین ۱- تا ۱ است. پارامتر $C_i$ غلظت اندازه‌گیری شده، $C_{WHO}$ غلظت استاندارد پارامتراست. با توجه به میانگین رتبه-بندی هر پارمتر می‌توان با توجه به رابطه ۶ وزن آن پارامتر را تعیین کرد(جدول۹).

رابطه (۶)
$$w_i = \bar{r}_i + 2$$

طبیعی است هر چه تعداد پارامترهای به کار گرفته شده بیشتر باشد شاخص کیفی از دقت بالاتری بهره‌مند است. نکته قابل‌توجه دیگر اینکه هر چه شاخص کیفیت آب زیرزمینی بیشتر باشد کیفیت آب جهت مصرف موردنظر بهتر است. در منطقه مطالعه شده جهت بررسی شاخص کیفیت آب زیرزمینی ابتدا نقشه پراکندگی غلظت پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در محیط GIS با درون‌یابی kiging ترسیم شد شکل (۶). سپس عامل C و مقدار r متناسب با غلظت آن را محاسبه، نقشه رتبه‌بندی هر پارامتر را تهیه و وزن هر پارامتر کیفی محاسبه‌شده است. نقشه پهنه‌بندی شاخص GQI طبق رابطه (۱) با انجام همپوشانی نقشه‌های رتبه‌بندی پارامترها ضمن اعمال وزن هر پارامتر در محیطGIS تهیه و طبقه‌بندی‌شده است. همان‌طور که در نقشه GQI دیده می‌شود ، مقدار این شاخص در کل سطح دشت از ۷۳ تا ۸۱ درصد تغییر کرده است. در نتیجه با توجه به تقسیم-بندی کیفیت آب بر پایه این معیار اگر شاخص GQI بین ۹۰-۷۱ باشد برای اهداف شرب قابل‌قبول است(جدول۱۰).

نقشه کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه شده نشان می دهد که شاخص کیفی GQI می‌تواند متأثر از عوامل زمین‌شناسی و جهت جریان در منطقه باشد (شکل ۷). در این دشت عمدتاً از شرایط تغذیه آبخوان تبعیت می کند. در مناطقی که آبخوان از نفوذپذیری بیشتری برخوردار است روند تغییرات GQI نسبت به دیگر مناطق و شرایط تغذیه به دلیل وجود رودخانه‌های پر آب مناسب‌تر بوده و درصد بالاتری را نشان می دهد. همچنین بررسی همبستگی بین شاخص کیفی آب زیرزمینی و پارامترهای کیفی(جدول۱۱) نشان داده است که سختی کل و میزان $HCO_3^-$ و TDS بیش-ترین تأثیر را بر پائین آوردن کیفیت آب زیرزمینی داشته است.

www.SID.ir

Archive of SID


**جدول ۸: ماتریس همبستگی عناصر موجود در نمونه‌های آب‌زیرزمینی شهرستان خرم‌آباد**

| | سولفات | بی کربنات | منیزیم | کلسیم | اسیدیته | جامدات محلول | سختی | هدایت الکتریکی | کلر | سدیم |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سولفات | ۱ | | | | | | | | | |
| بی کربنات | ۰/۰۶ | ۱ | | | | | | | | |
| منیزیم | ۰/۲۰ | ۰/۶۹ | ۱ | | | | | | | |
| کلسیم | ۰/۰۵ | ۰/۴۹ | -۰/۱۷ | ۱ | | | | | | |
| اسیدیته | ۰/۲۳ | -۰/۱۹ | -۰/۰۰۱ | -۰/۲۲ | ۱ | | | | | |
| جامدات‌محلول | ۰/۲۲ | ۰/۸۳ | ۰/۶۶ | ۰/۴۶ | -۰/۰۶ | ۱ | | | | |
| سختی | ۰/۲۱ | ۰/۹۲ | ۰/۷۰ | ۰/۵۷ | -۰/۱۶ | ۰/۸۸ | ۱ | | | |
| هدایت‌الکتریکی | ۰/۲۹ | ۰/۸۴ | ۰/۶۷ | ۰/۴۶ | -۰/۰۶ | ۰/۹۹ | ۰/۸۹ | ۱ | | |
| کلر | ۰/۰۹ | ۰/۳۵ | ۰/۳۸ | ۰/۲۵ | ۰/۰۵ | ۰/۶۶ | ۰/۵۰ | ۰/۶۵ | ۱ | |
| سدیم | ۰/۳۹ | ۰/۳۶ | ۰/۴۵ | ۰/۰۲ | ۰/۲۴ | ۰/۵۹ | ۰/۳۹ | ۰/۶۱ | ۰/۷۰ | ۱ |

**جدول ۹: وزن‌بندی پارامترهای به کار رفته( شاخص GQI)**

| پارامتر | WHO (mg/l) | وزن |
|---|---|---|
| کلسیم | ۲۰۰ | ۶ |
| منیزیم | ۵۰ | ۵/۳ |
| سدیم | ۲۰۰ | ۴ |
| جامدات محلول | ۱۰۰۰ | ۶/۶۲ |
| pH | ۸ | ۶/۹ |
| بی‌کربنات | ۱۲۰ | ۸/۵ |
| کلر | ۲۵۰ | ۳/۹ |
| سولفات | ۲۵۰ | ۳/۷ |
| پتاسیم | ۱۲ | ۳/۱ |
| هدایت الکتریکی | ۳۰۰ | ۷/۳ |
| سختی کل | ۵۰۰ | ۷/۴ |

**جدول ۱۰:تقسیم‌بندی کیفیت آب بر پایه GQI(Babiker et al., 2007)**

| کیفیت آب | میزان GQI |
|---|---|
| مناسب | ۹۱ – ۱۰۰ |
| قابل قبول | ۷۱ - ۹۰ |
| متوسط | ۵۱ - ۷۰ |
| نامناسب | ۲۶ - ۵۰ |
| کاملا نامطبوع | ۰ - ۲۵ |

**جدول۱۱- همبستگی بین شاخص کیفیت آب زیرزمینی و پارامتر های کیفی**

| پارامتر | GQI |
|---|---|
| سختی کل | ۰/۹۱ |
| بی‌کربنات | ۰/۸۲ |
| جامدات محلول | ۰/۷۶ |
| کلسیم | ۰/۵۸ |
| منیزیم | ۰/۵۴ |
| سدیم | ۰/۳ |
| کلر | ۰/۳ |
| هدایت الکتریکی | ۰/۲۲ |
| پتاسیم | ۰/۱ |
| pH | ۰/۰۲ |
| سولفات | ۰/۰۱ |

## نتیجه‌گیری

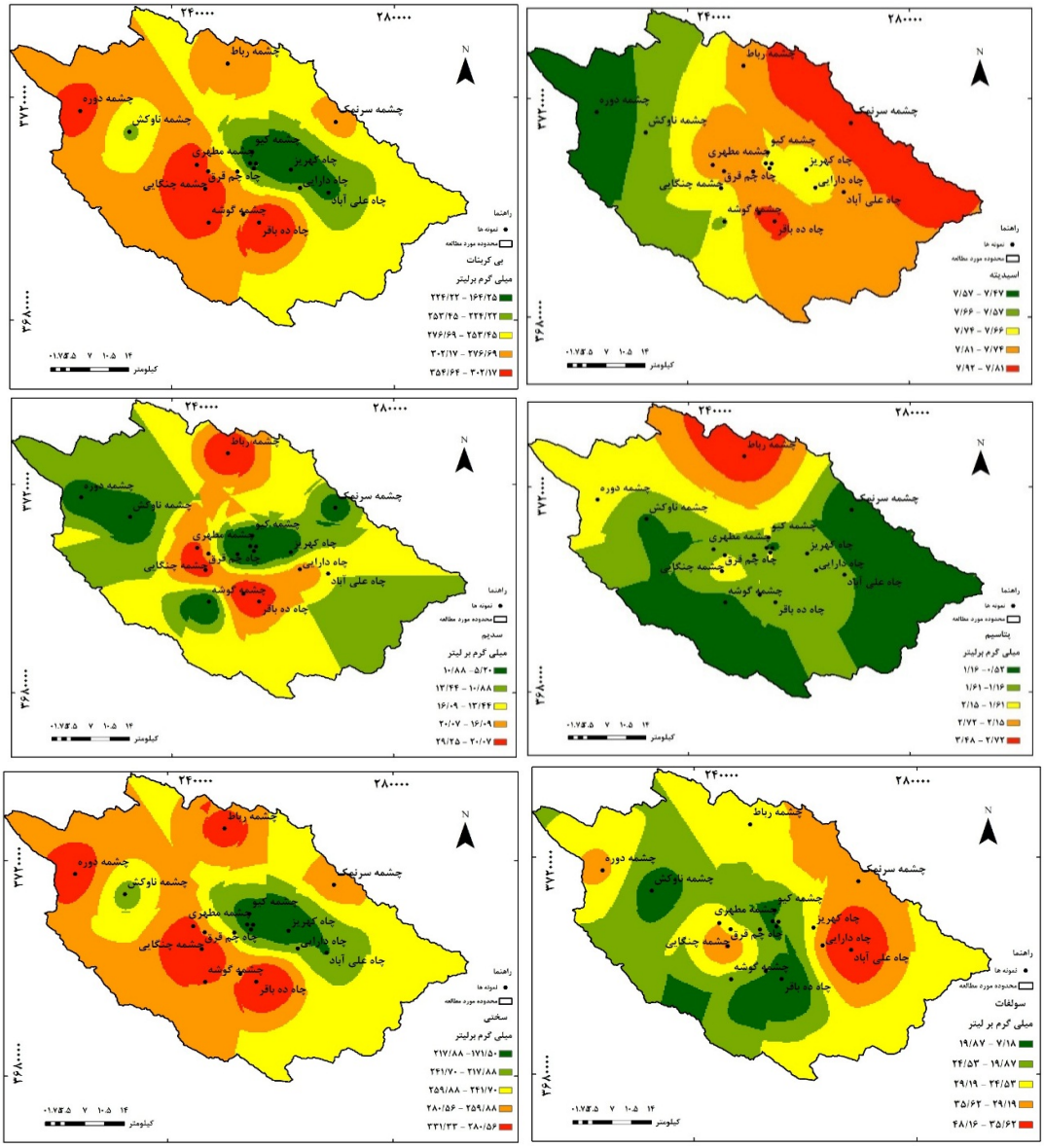
کیفیت آبهای زیرزمینی بر اساس معیارهای مختلفی سنجیده می شود ، بر همین اساس در منطقه‌ی مطالعه گردیده عاملهای مختلفی جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف شرب استفاده شده است. بر اساس نتایج آماری میانگین غلظت عناصر اصلی موجود در منطقه نشان داد که بی‌کربنات و کلسیم و منیزیم بیش‌ترین فراوانی را دارند، که این امر تأیید کننده تیپ بی‌کربنات کلسیم و منیزیم آب‌های زیرزمینی است.

www.SID.ir

Archive of SID

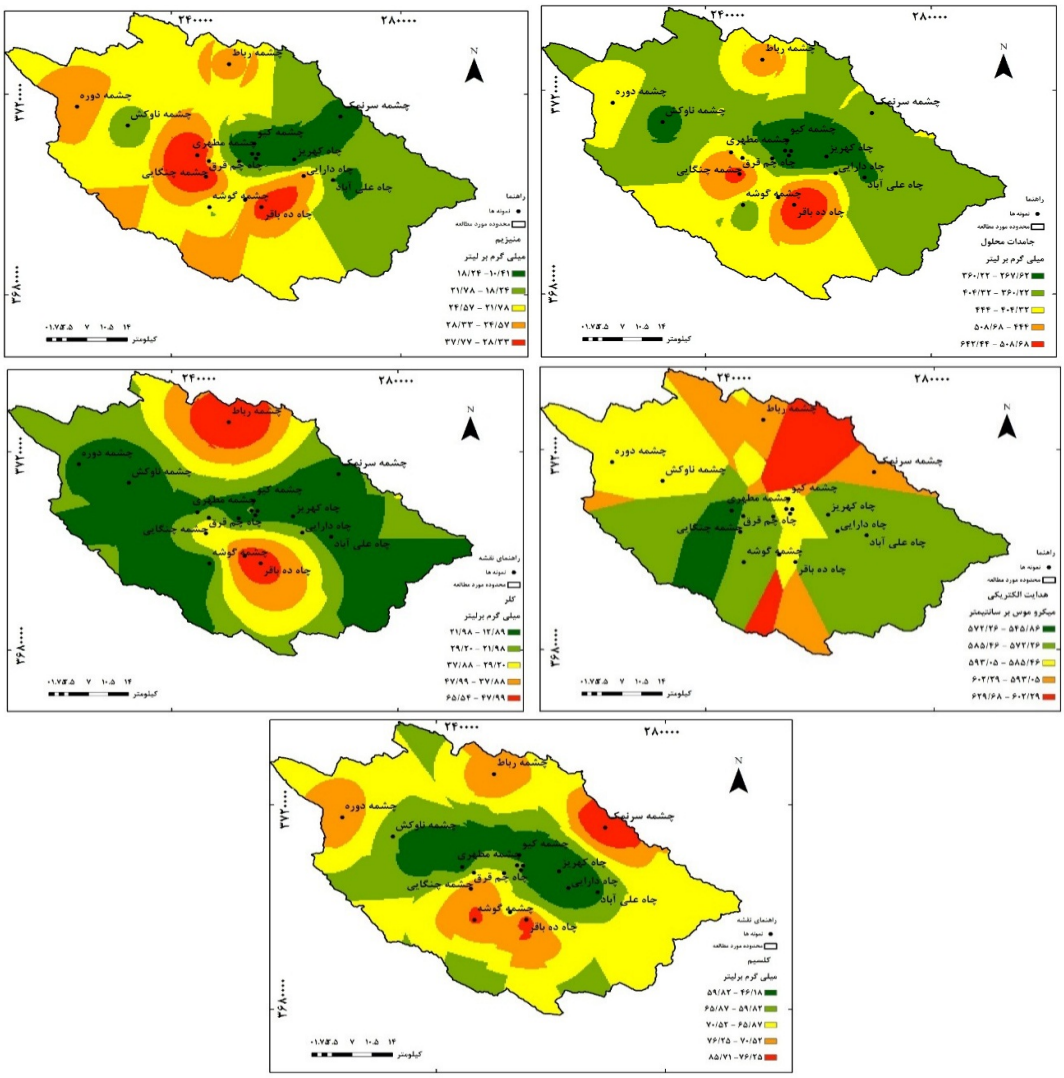

همچنین، با توجه به نمودار خوشه‌ای ترسیم‌شده پارامترها در دو خوشه قرار گرفتند. اختلاف دو خوشه به عواملی مثل جنس سازند و خصوصیات سنگ برمی‌گردد. نتایج تحلیل عاملی نشان دادند مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی در منطقه ، املاح محلول، هدایت الکتریکی، بی‌کربنات، کلراید، منیزیم، سدیم و سختی هستند. عناصر بی‌کربنات و کلراید و سدیم و منیزیم تأثیر بسزایی در کیفیت آب زیرزمینی دارند. عامل دوم، بیشتر تحت تأثیر اسیدیته و سولفات است. عامل سوم، بیشتر تحت تأثیر کلسیم است. با توجه به مشخصه‌های موجود در هر عامل و منشأ آن‌ها می توان تأثیر سازندهای زمین‌شناسی کربناتی (آسماری-جهرم) را بر شیمی آب منطقه مهم دانست.

بررسی مقدار ضریب همبستگی پارامترهای مورد مطالعه نشان دادند که بین بی‌کربنات، منیزیم، جامدات محلول، سختی کل و هدایت الکتریکی همبستگی قوی برقرار است ، این رابطه را نیز می‌توان بین هدایت الکتریکی با سدیم و کلر مشاهده کرد؛ همبستگی بالای سدیم و کلر نشان‌دهنده‌ی انحلال هالیت ناشی از سازند گچساران در منطقه مطالعه شده دانست. همبستگی بالای بین ضریب هدایت الکتریکی با سولفات، سدیم و کلر را می‌توان به انحلال هالیت و نمک‌های سولفاته به

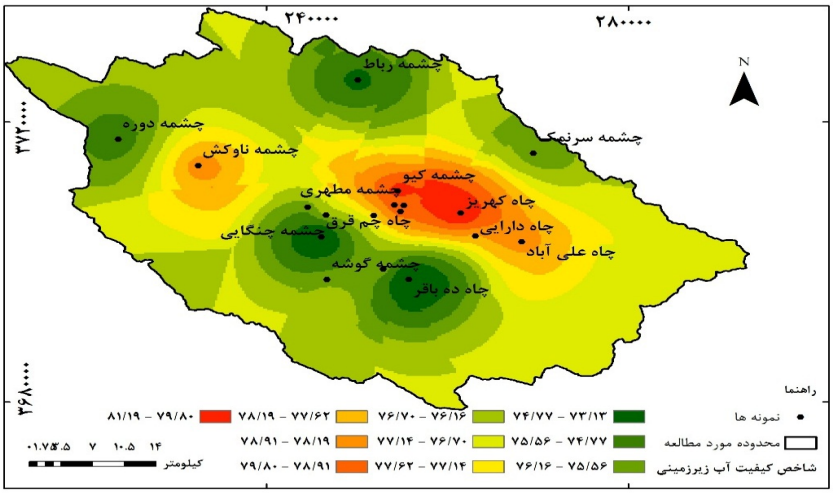



www.SID.ir

Archive of SID


شکل ۶: نقشه غلظت عناصردر آب زیرزمینی منطقه‌ی مطالعه شده.




شکل ۷: نقشه شاخص کیفی آب زیرزمینی منطقه‌ی مطالعه شده

www.SID.ir

Archive of SID


خصوص سولفات کلسیم در افزایش ضریب هدایت الکتریکی ارتباط داد. همچنین همبستگی بین بی‌کربنات و منیزیم را نشانگر نقش انحلال دولومیت در افزایش غلظت کلسیم موجود در آب دانست. با توجه به نقشه پهنه‌بندی شاخص GQI ، مقدار این شاخص در منطقه مطالعه شده از ۷۳ تا ۸۱ درصد تغییر می‌کند، در نتیجه با توجه به تقسیم‌بندی کیفیت آب بر پایه GQI برای اهداف شرب قابل‌قبول است. شکل‌گیری این پهنه بندی به دلیل در نظر گرفتن تأثیر پارامترهای کیفی در آب‌های زیرزمینی منطقه است که این خود می‌تواند متأثر از عوامل زمین‌شناسی جنس سنگ‌ها و جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه باشد. همچنین بررسی همبستگی بین شاخص های کیفی آب زیرزمینی ، پارامترهای کیفی و بر اساس نقشه‌های به دست آمده از منطقه‌ی مطالعه شده نشان داد که سختی کل و میزان بی‌کربنات و جامدات محلول بیش‌ترین تأثیر را بر پائین آوردن کیفیت آب زیرزمینی داشته اند.

## منابع

1) Afrouzi, M., Farhadi, R., and Rahimi Khashb, A. 2015. Evaluation of groundwater quality index Kandideh plain for drinking water, The Second National Conference on strategies for facing water crisis in Iran and the Middle East(In Persian).

2) Alther, GA., 1979. A simplified statistical sequence applied to routine water quality analysis: case history, Ground Water, 17: 556-561.

3) Azizi,F., and Mohamadzadeh,H. 2012. Assessment of spatial variations of groundwater quality in the aquifer of Imamzadeh plain of Jafar Gachsaran using qualitative index. National Conference on Water Flow and Pollution (In Persian).

4) Babiker, I., Mohamed M., Hiyama T., 2007. Assessing groundwater quality using GIS. Water Resources Management, 4: 699-715.

5) Beatriz, AH.,Vega,M.,Barrado, E., Pardo, R. and Fernandez, L. 1999. A case study of hydro chemical characteristics of an alluvium aquifer influenced by human activities. Air, water and Soil pollution Bulletin, 112: 365-487.

6) Bouwer, H. 1978. Groundwater hydrology. McGraw Hill, Inc.

7) Cordoba, E., Martinez A., and Ferrer E. 2010. Water quality indicators: comparison of a probabilistic index and a general quality index, The case of the confederacion hidrografica del jucar (spain), Ecological Indicators, 10: 1049-1054.

8) Chenini, I., Khemiri, S. 2009. Evaluation of ground water quality using multiple linear regression and structural equation modeling. Int. J. Environ. Sci. Tech. 6(3): 509-519.

9) De Andrade, E.M., Palácio, H.A.Q., Souza, I.H., de Oliveira Leão, R.A. and Guerreiro, M.J., 2008. Land use effects in groundwater composition of an alluvial aquifer (Trussu River, Brazil) by multivariate techniques. Environmental research, 106(2):170-177.

10) Deutsch, WJ., 1997. Groundwater geochemistry: Fundamental and application to contamination. Levis Press, New York.

11) Edet, A., Nganje, T.N., Ukpong, A.J. and Ekwere, A.S., 2011. Groundwater chemistry and quality of Nigeria: A status review. African Journal of Environmental Science and Technology, 5(13):1152-1169.

12) Elamassi, KS., 2012. Assessment of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in Gaza governorate-Palestine. The Islamic University-Gaza, Faculty of Science, Master's Degree Program, Environmental science.

13) Ghayoumian, J., Hosseinipour, H.,Ghassemi,A.,Peyrovan,H., 2005. Application of Multivariate Analysis in Hydrogeochemical Analysis in Sarchahan, Hormozgan, The 9th Conference of the Iranian Geological Society, Tehran, Iran(In Persian).

14) Hajalilou, B, Khaleghi, F. ,2009. Investigation of hydrogeochemical factors and groundwater quality assessment in Marand Municipality, northwest of Iran: A multivariate statistical approach. Journal of Food, Agriculture & Environment, 7: 930-937.

15) Jeong, CH. , 2001. Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination ot ground water from Taejon area, Korea, Journal of Hydrology, 253: 194-210.

16) Jeong, J., Gore, JC., Peterson, BS,. 2001. Mutual information analysis of the EEG in patients with Alzheimer's disease. Clin Neurophysiol, 112: 827–835.

www.SID.ir

Archive of SID


assessment of Hydrogeochemistry of Groundwater in Agbabu Area, S.W. Nigeria. Proceedings of the Environmental Management Conference, Federal University of Agriculture, Abeokuta, Nigeria.
28) Reghunath, R., Murthy, T.S. and Raghavan, B.R., 2002. The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India. Water research, 36(10):2437-2442.
29) Shrestha, S., and Kazama F., 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan: Journal of Environmental Modeling & Software, 22: 464- 475.
30) Shyu, G.S., Cheng, B.Y., Chiang, C.T., Yao, P.H. and Chang, T.K., 2011. Applying factor analysis combined with kriging and information entropy theory for mapping and evaluating the stability of groundwater quality variation in Taiwan. International journal of environmental research and public health, 8(4): 1084-1109.
31) Shrestha, S. and Kazama, F., 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji River Basin, Japan. Environmental Modelling & Software, 22(4):464-475.
32) Soleymani,S., Mahmudy Gharaie M. H. , Ghasemzadeh F. and Sayyareh A., 2013. Investigation on Water Resources Quality by Application of GQI Index and GIS in West of Kooh-Sorkh. Journal of Earth Sciences.(89)23: 175-182(In Persian).
33) Usunoff, EJ., and Guzman, A., 1989. Multivariate analysis in hydrochemistry: An example of the use factor and correspondence analysis. Groundwater, 27:27-34
34) WHO. , 2011. Guidelines for drinking water quality, 4th ed. Recommendations. World Health Organisation, 1-4.
17) Karimi, R., 2015. Easy Statistical Analysis Guide of SPSS, Hangam Press(In Persian).
18) Kheiri, H. and Khademi, S., 2015. Application of GQI index in evaluation of Noushar Aquifer for drinking. The 7th Conference of the Iranian Economic Geological Society, Damgan, Iran(In Persian).
19) Lang Wang, L., Wang, Y., Xu, C., An, Z. and Wang, S., 2010. Analysis and evaluation of the source of heavy metals in water of the River Changjiang. Environmental monitoring and assessment, 173(1-4):301-313.
20) Liu, C.W., Lin, K.H. and Kuo, Y.M., 2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. Science of the Total Environment, 313(1-3):77-89.
21) Love, D., Hallbauer, D., Amos, A. and Hranova, R., 2004. Factor analysis as a tool in groundwater quality management: two southern African case studies. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 29(15-18):1135-1143.
22) Manly, BF., 1986. Multivariate statistical methods: A primer. London, UK: Chapman and Hall.
23) Miller, W.R. and Drever, J.I., 1977. Water chemistry of a stream following a storm, Absaroka Mountains, Wyoming. Geological Society of America Bulletin, 88(2):286-290.
24) Naseri, R., 2008. Evaluation of Groundwater Quality of Rokh plain, Torbatheydarieh with Geostatistics methods. Journal of Geographical land,17:37-84(In Persian).
25) Noori, R., Abdoli, M.A., Ghasrodashti, A.A. and Jalili Ghazizade, M., 2009. Prediction of municipal solid waste generation with combination of support vector machine and principal component analysis: a case study of Mashhad. Environmental Progress and Sustainable Energy: An Official Publication of the American Institute of Chemical Engineers, 28(2):249-258.
26) Noori, R, Farokhnia, A., Riahi Medvar, H., 2009. Effects of preprocessing the inlet parameters to artificial neural network (ANN) for predicting the monthly flow by PCA and wavelet. Journal of Water & Wastewater, 20(69): 13- 22. [In Persian].
27) Ogunribido, THT., Kehinde, Ph. O O. , 2011. Multivariate statistical analysis for

www.SID.ir