

ارزیابی و تجزیه و تحلیل آماری پارامترها 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 می‌شود. 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 زمین‌شناسی 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 و کلر نشان دهنده ی انحلال هالیت سازند گچساران در منطقه است. همبستگی بالای بین هدایت الکتریکی با سولفات، سدیم و کلر را می‌توان به انحلال هالیت و نمک‌های سولفات، به خصوص سولفات کلسیم ارتباط داد. همچنین، همبستگی بین بی‌کربنات 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 می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی بین ۷۳ تا ۸۱ بوده و بیان‌کننده مناسب تا قابل قبول است که می‌تواند 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 داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل خوشه‌ای، تحلیل عاملی، خرم‌آباد، ضریب همبستگی، کیفیت آب زیرزمینی.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی دانشگاه لرستان

^۲ استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه لرستان

تلفن ۰۹۱۲۲۳۰۸۱۶۱، Email: sarikhani.r@lu.ac.ir

^۳ استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه لرستان

^۴ استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه لرستان

مقدمه

بایبکر 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 می‌دهد. در ایران نیز کارهای متعددی با استفاده از این روش انجام گرفته 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

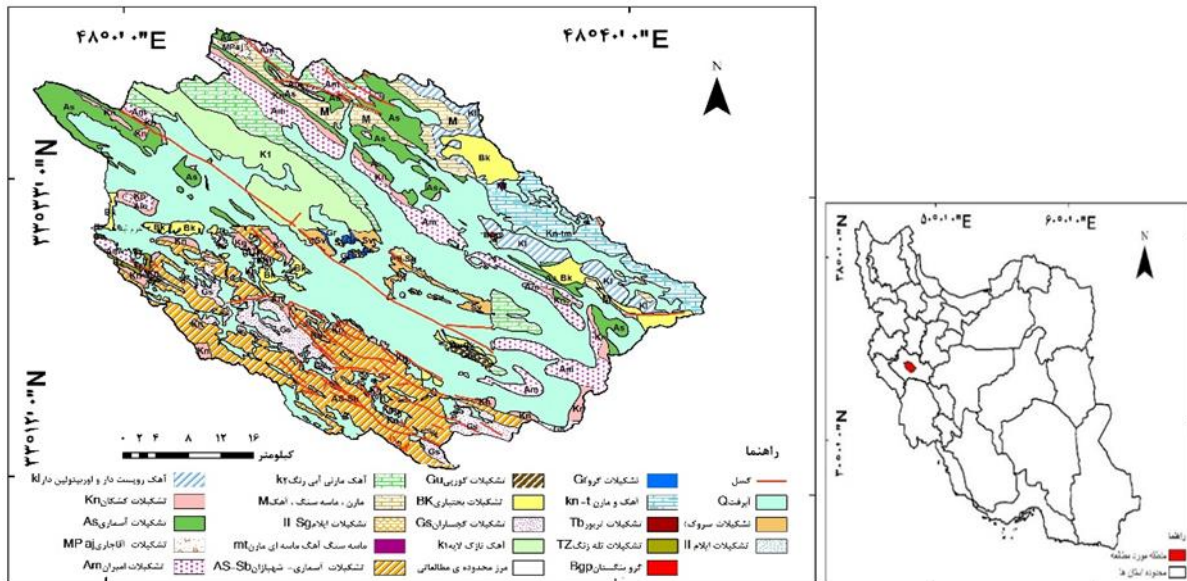
موقعیت و مشخصات جغرافیایی منطقه

محدوده‌ی مطالعاتی (خرم‌آباد) در غرب ایران و در مرکز استان لرستان قرار گرفته است. این محدوده بین طول‌های $47^{\circ}50'$ تا $48^{\circ}50'$ شرقی و بین عرض‌های $33^{\circ}20'$ تا $34^{\circ}20'$ شمالی واقع شده است. محدوده‌ی مذکور شامل یک دشت اصلی (دشت مرکزی) و تعدادی دشت‌های پراکنده کوچک از جمله 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 بخش‌های مطالعاتی حوضه آبریز کرخه بوده و با وسعت $2501/4$ کیلومتر مربع 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 وسیله‌ی مهندسان اداره آب منطقه‌ای شهرستان خرم‌آباد برداشت گردیده است. جامعه‌ی مورد مطالعه شده، منابع آب زیرزمینی شهرستان خرم‌آباد و محل نمونه‌برداری از خط برداشت نزدیک‌ترین قسمت به منبع آبی در مکان موردنظر بوده است. تعداد نمونه‌های

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). بررسی‌هایی که چندین متغیر به صورت هم‌زمان مورد توجه قرار می‌دهند 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 می‌دهند تا منابعی را که ممکن است سامانه‌های 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؛ جنونگ 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 توسعه‌ی مناسب یک منطقه ارزیابی شود و کیفیت آب باید بر اساس متغیرهای فیزیکی و شیمیایی در ارتباط با استفاده از آب، تعریف شده باشد (بایبکر و همکاران، ۲۰۰۷؛ چینی 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

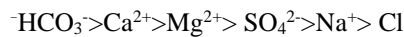


شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه‌ی مطالعه شده در نقشه ایران و نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ی مطالعه شده

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:



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. از نظر اسیدیته آب منطقه در طیف قلیایی قرار گرفته است. منشأ بی‌کربنات منطقه به انحلال سنگ‌های کربناته و کانی‌های مختلف کربنات سدیم منطقه برمی‌گردد.

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

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

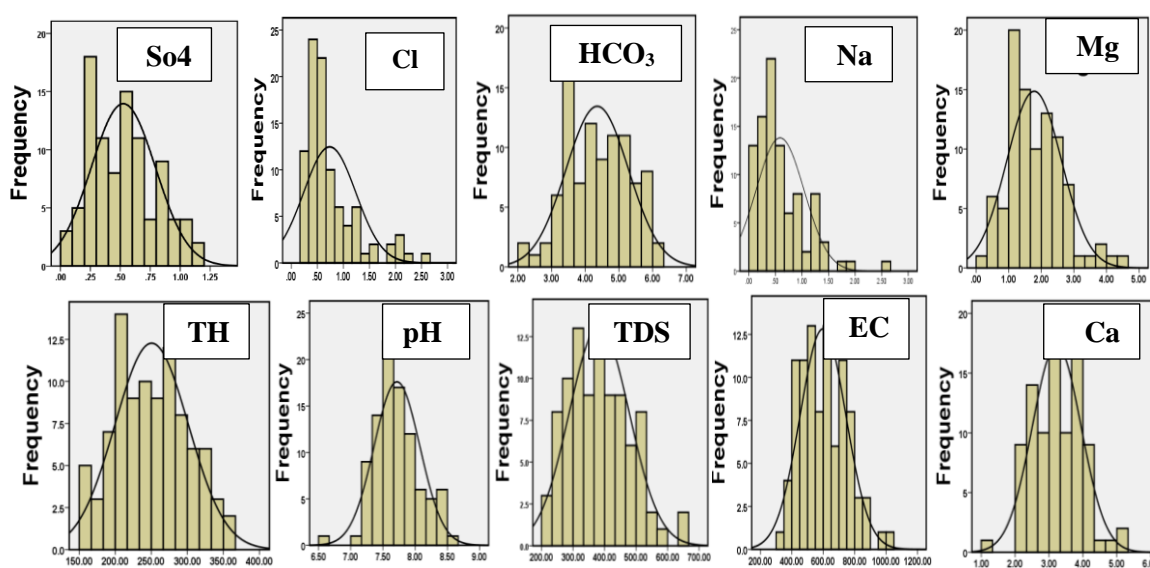
توصیف آماری داده‌های شیمی آب

برای بررسی بهنجار بودن داده‌ها ابتدا به بررسی چولگی و کشیدگی پرداخته شد. اگر چولگی و کشیدگی بین ± 1 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 داده‌های مربوط به سولفات و سدیم و کلر بهنجار نیستند (جدول ۱، شکل ۲). از آزمون شاپیروویک جهت سنجش بهنجار استفاده شد. معنی‌داری آماری این شاخص‌ها به‌طور آرمانی در سطح آلفای (۰/۰۵ > P)، 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.

استاندارد (WHO 2011) در محدوده ی آن قرار دارد. سولفات از اکسایش پیریت و سایر سولفات ها که به طور

جدول ۱: نتایج بررسی چولگی و کشیدگی در منطقه ی مطالعه شده

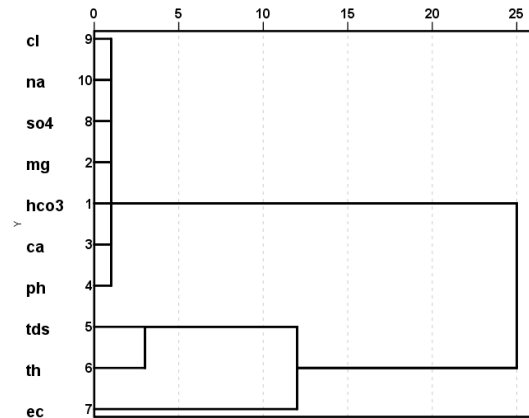
کشیدگی	چولگی	تعداد	پارامترها
۱/۱۰۱	-۱/۱۰۲	۹۴	سولفات
۱/۷۰۰	۲/۴۲۳	۹۴	کلر
-۰/۱۳۶	-۰/۷۲۶	۹۴	بی کربنات
۱/۵۱۰	۲/۹۴۸	۹۴	سدیم
۰/۷۳۸	۰/۶۹۲	۹۴	منیزیم
۰/۰۵۵	۰/۰۹۷	۹۴	کلسیم
۰/۱۳۸	۰/۵۶۷	۹۴	pH
۰/۵۰۲	-۰/۱۸۶	۹۴	جامدات محلول
/۱۱۰	-۰/۷۸۱	۹۴	سختی
۰/۴۱۵	-۰/۳۰۱	۹۴	هدایت الکتریکی



شکل ۲: نمودارهای توزیع داده های آماری (واحد آنیون ها و کاتیون (meq/l) و سختی (mg/l) و هدایت الکتریکی (µmho/cm) است.

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

متغیر	آزمون شاپیروویلک	متغیر	آزمون شاپیروویلک
سدیم	۰/۰۰	سدیم	۰/۱۵۲
کلر	۰/۰۰	کلر	۰/۰۱۱
هدایت الکتریکی	۰/۰۵۸	هدایت الکتریکی	۰/۰۵۸
سختی	۰/۱۹۷	سختی	۰/۱۹۷
جامدات محلول	۰/۰۳۶	جامدات محلول	۰/۰۳۶
اسیدیته	۰/۲۰	اسیدیته	۰/۲۰
کلسیم	۰/۳۷۹	کلسیم	۰/۳۷۹
منیزیم	۰/۰۷۰	منیزیم	۰/۰۷۰
بی کربنات	۰/۰۷۶	بی کربنات	۰/۰۷۶
سولفات	۰/۰۰۹	سولفات	۰/۰۱۳



شکل ۳: دیاگرام خوشه‌ای داده‌های آماری آب‌های زیرزمینی شهرستان خرم‌آباد

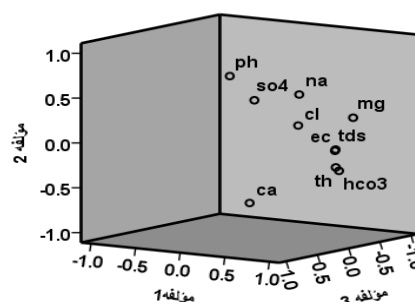
جدول ۴: مقادیر پارامترهای آماری محاسبه شده آب‌های زیرزمینی خرم‌آباد (واحد آنیون ها و کاتیون (meq/l) ، سختی (mg/l) ، هدایت الکتریکی (μmho/cm) است .

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

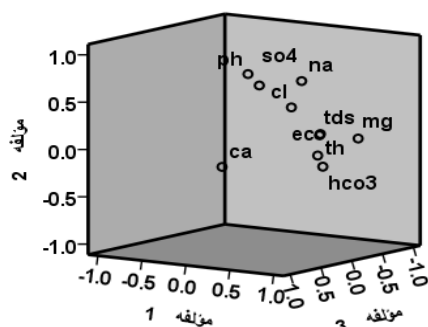
جدول ۵: نتایج حاصل از خوشه‌بندی داده ها

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

شکل ۴: شکل سه بعدی مؤلفه های اصلی دوران نیافته



شکل ۵: شکل سه بعدی مؤلفه های اصلی دوران یافته



لیتر است. غلظت منیزیم نیز در مقایسه با استاندارد (WHO 2011) در محدوده ی استاندارد قرار دارد. در سنگ های رسوبی منشأ یون منیزیم عمدتاً کانی دولومیت و منیزیت هستند (دوتچ، ۱۹۹۷).

نتایج مطالعات آماری چند متغیره:

۱- تحلیل خوشه‌ای: برای سنجش میزان تشابه، گروه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی از روش تجزیه خوشه‌ای 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 گروه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی از خوشه‌بندی HCA و با کاربرد روش (average linkage method) (between groups) استفاده شده است. با توجه به نمودار خوشه‌ای ترسیم شده (شکل ۳) 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 قرار گرفته اند. اختلاف دو خوشه به عواملی مثل نوع سازند و جنس سنگ برمی‌گردد. قرار

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

۳- کلراید (Cl): غلظت حداکثر کلر در آب آشامیدنی ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر توصیه می‌شود که در محدوده ی استاندارد قرار دارد. غلظت کلراید نیز در مقایسه با استاندارد (WHO 2011) در محدوده ی 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 میلی‌اکی‌والان در لیتر و کمترین آن ۰/۰۲ میلی‌اکی‌والان در لیتر است، غلظت سدیم نیز در مقایسه با استاندارد (WHO 2011) در محدوده استاندارد قرار دارد. در سنگ‌های آذرین سدیم موجود در آب عمدتاً از فلدسپات‌ها (آلبیت) و از محصولات عمل تجزیه این کانی‌ها (رسی شدن) حاصل شده است. کانی‌های رسی، تبخیری‌هایی از قبیل هالیت، فاضلاب‌های صنعتی از دیگر منشأهای اصلی سدیم بوده‌اند.

۵- کلسیم (Ca²⁺): میانگین فراوانی این عنصر ۳/۲۲ میلی‌اکی‌والان در لیتر است که بیشینه آن ۵/۱۰ میلی‌اکی‌والان در لیتر و کمترین آن ۱/۲۰ میلی‌اکی‌والان 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 (Mg²⁺): میانگین فراوانی این عنصر ۱/۷۸ میلی‌اکی‌والان در لیتر است که بیشینه آن ۴/۴۰ میلی‌اکی‌والان در لیتر و کمترین آن ۰/۱۰ میلی‌اکی‌والان در

همبستگی به این معنی است که مؤلفه‌ها جنبه‌های مقاومتی از متغیرهای اولیه را نمایان ساخته-اند (مانلی، ۱۹۸۶). در این روش به جای استفاده مستقیم از متغیرهای اولیه، ابتدا آن‌ها را به مؤلفه‌های جدیدی تبدیل کرد، سپس از این مؤلفه‌ها به جای متغیرهای اولیه استفاده کرد، همچنین به دلیل آن که در تشکیل مؤلفه‌های از تمام متغیرها استفاده شده است، اطلاعات متغیرهای اولیه با کم‌ترین تلفات به وسیله مؤلفه‌های اصل ارائه شده اند در این روش‌ها هر مؤلفه اصلی می‌تواند با دنباله زیر مشخص شود:

$$Z_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ip}X_p \quad (1)$$

که در آن Z_i (۱) معرف مؤلفه ی مورد نظر، 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 I ، ماتریس واحد، R ماتریس همبستگی بین متغیرهای اولیه و λ 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 هر کدام از متغیرهای اولیه مورد استفاده شده را نشان می‌دهد. در حقیقت مقدار هر کدام از درایه‌های این ماتریس، a_{ij} 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

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 قرار گرفته 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 به منظور 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 می‌شوند. مؤلفه‌های جدید ایجاد شده ترکیبی خطی از متغیرهای اولیه هستند (نوری و همکاران، ۲۰۰۹). با استفاده از این روش‌ها، ترکیباتی از P متغیر اولیه $X_1 X_2 \dots X_p$ برای ایجاد مؤلفه مستقل (معادل با تعداد متغیر-های اولیه استفاده شده) $Z_1 Z_2 \dots Z_p$ هستند. عدم

کل (۲۰/۸۹۲)، سختی کل و جامدات محلول (۰/۸۸۶) =I، هدایت الکتریکی و بی‌کربنات (۰/۸۴۵) =I، بی-کربنات و جامدات محلول (۰/۸۳۴) =I، سختی کل و منیزیم (۲۰/۷۰۹) و سدیم و کلر (۰/۷۰۵) =I مشاهده کرد. به طور کلی می‌توان بیان کرد که بین بی‌کربنات، منیزیم، جامدات محلول، سختی کل و هدایت الکتریکی رابطه همبستگی قوی برقرار است که این رابطه را می‌توان 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 سولفات به 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. وجود یک همبستگی قوی بین هدایت الکتریکی و جامدات محلول می‌تواند 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 (GQI) Index" اولین بار به وسیله بابیکر و همکاران در سال ۲۰۰۷ ارائه شده است. اساس این روش بر پایه مقایسه غلظت پارامترهای شیمیایی و فیزیکی در آب زیرزمینی با استاندارد جهانی است. به‌طور کلی شاخص GQI از رابطه ۳ به‌دست آمده است (اینساف و همکاران، ۲۰۰۷).

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

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

سختی هستند. در عامل اول، بی‌کربنات و کلراید (از میان آنیون‌ها) و سدیم و منیزیم (از میان کاتیون‌ها) تأثیر بسزایی را داشته‌اند. این پارامترها نشانگر کیفیت آب منطقه هستند. عامل دوم، بیشتر تحت تأثیر اسیدیته و سولفات بوده است. عامل سوم، بیشتر تحت تأثیر کلسیم است (جدول ۶). اعمال چرخش بر روی داده‌ها (جدول ۷)، بر عامل اول تأثیر فراوانی نداشته، اما عامل دوم بعد از اعمال چرخش بیشتر تحت تأثیر سولفات، اسیدیته و سدیم قرار گرفته است. عامل سوم نیز بعد از اعمال چرخش تغییر نکرده و تحت تأثیر کلسیم است. شکل‌های ۵ و ۴ مشخصه‌های مؤثر در هر عامل را نشان می‌دهد. با توجه به مشخصه‌های موجود در هر عامل و منشأ آنها، عامل‌های اول، دوم و سوم مبین تأثیر سازنده‌های زمین-شناسی بر شیمی آب منطقه است که این اثر را زمین زاد گویند. تأثیر سه عامل گفته شده نشان‌دهنده تعامل آب-سنگ است، که این عوامل در ارتباط با انحلال و هوازگی 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 کمی 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 مورد بحث 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، ۲۰۱۱).

بررسی مقدار ضریب همبستگی پارامترهای مطالعه شده نشان می‌دهد که بالاترین آنها را می‌توان بین هدایت الکتریکی و جامدات محلول (۲۰/۹۹۱) =I، بین سختی کل و بی‌کربنات (۲۰/۹۲۸) =I بین هدایت الکتریکی و سختی

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 پارامتر است. با توجه به میانگین رتبه-بندی هر پارامتر می‌توان با توجه به رابطه ۶ وزن آن پارامتر را تعیین کرد (جدول ۹).

$$w_i = \bar{r}_i + 2 \quad \text{رابطه (۶)}$$

طبیعی است هر چه تعداد پارامترهای به کار گرفته شده بیشتر باشد شاخص کیفی از دقت بالاتری بهره‌مند است. نکته قابل توجه دیگر اینکه هر چه شاخص کیفیت آب زیرزمینی بیشتر باشد کیفیت آب جهت مصرف مورد نظر بهتر است. در منطقه مطالعه شده جهت بررسی شاخص کیفیت آب زیرزمینی ابتدا نقشه پراکنندگی 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 محاسبه شده است. نقشه پهنه‌بندی شاخص GQI طبق رابطه (۱) با انجام همپوشانی نقشه‌های رتبه‌بندی پارامترها ضمن اعمال وزن هر پارامتر در محیط GIS تهیه و طبقه‌بندی شده 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 تقسیم‌بندی کیفیت آب بر پایه این معیار اگر شاخص GQI بین ۹۰-۷۱ باشد برای اهداف شرب قابل قبول است (جدول ۱۰).

نقشه کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه شده نشان می‌دهد 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 می‌کند. 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 می‌دهد. همچنین بررسی همبستگی بین شاخص کیفی آب زیرزمینی و پارامترهای کیفی (جدول ۱۱) نشان داده است که سختی کل و میزان HCO_3^- و TDS بیش-ترین تأثیر را بر پائین آوردن کیفیت آب زیرزمینی داشته است.

جدول ۶: 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 جمعی	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 جمعی	۴۸/۰۹۶	۶۵/۹۹۶	۸۰/۱۸۶

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

$$r = \frac{C_i - C_{WHO}}{C_i + C_{WHO}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

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

جدول ۸: ماتریس همبستگی عناصر موجود در نمونه‌های آب زیرزمینی 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				
جامدات محلول	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		
هدایت الکتریکی	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

جدول ۹: وزن بندی پارامترهای به کار رفته (شاخص

GQI)

جدول ۱۱- همبستگی بین شاخص کیفیت آب زیرزمینی و پارامترهای کیفی

پارامتر	GQI
سختی کل	۰/۹۱
بی کربنات	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

پارامتر	WHO (mg/l)	وزن
کلسیم	۲۰۰	۶
منیزیم	۵۰	۵/۳
سدیم	۲۰۰	۴
جامدات محلول	۱۰۰۰	۶/۶۲
pH	۸	۶/۹
بی کربنات	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

نتیجه‌گیری

کیفیت آبهای زیرزمینی بر اساس معیارهای مختلفی سنجیده می‌شود، 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 تپ بی‌کربنات کلسیم و منیزیم آبهای زیرزمینی است.

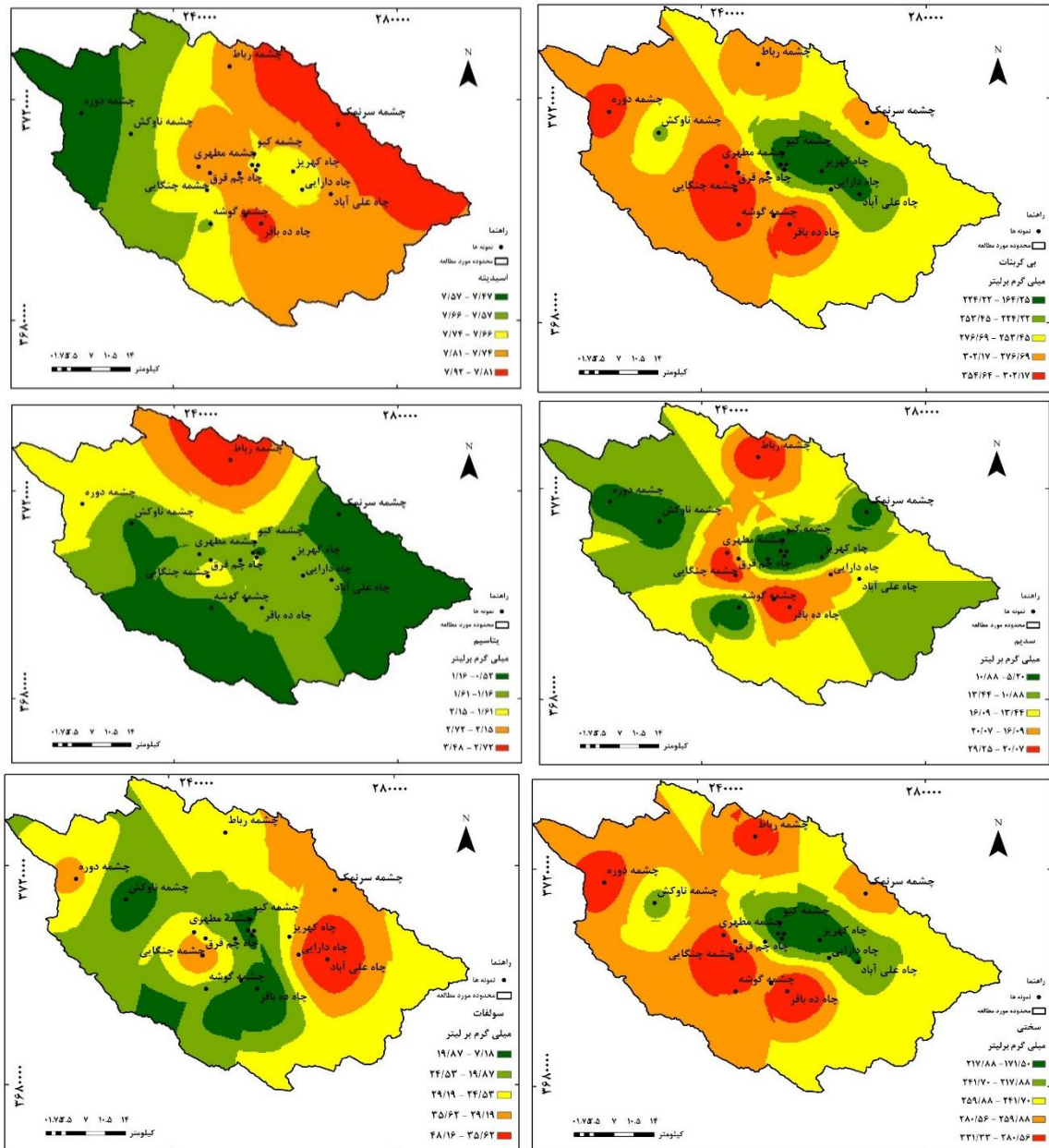
جدول ۱۰: تقسیم‌بندی کیفیت آب بر پایه

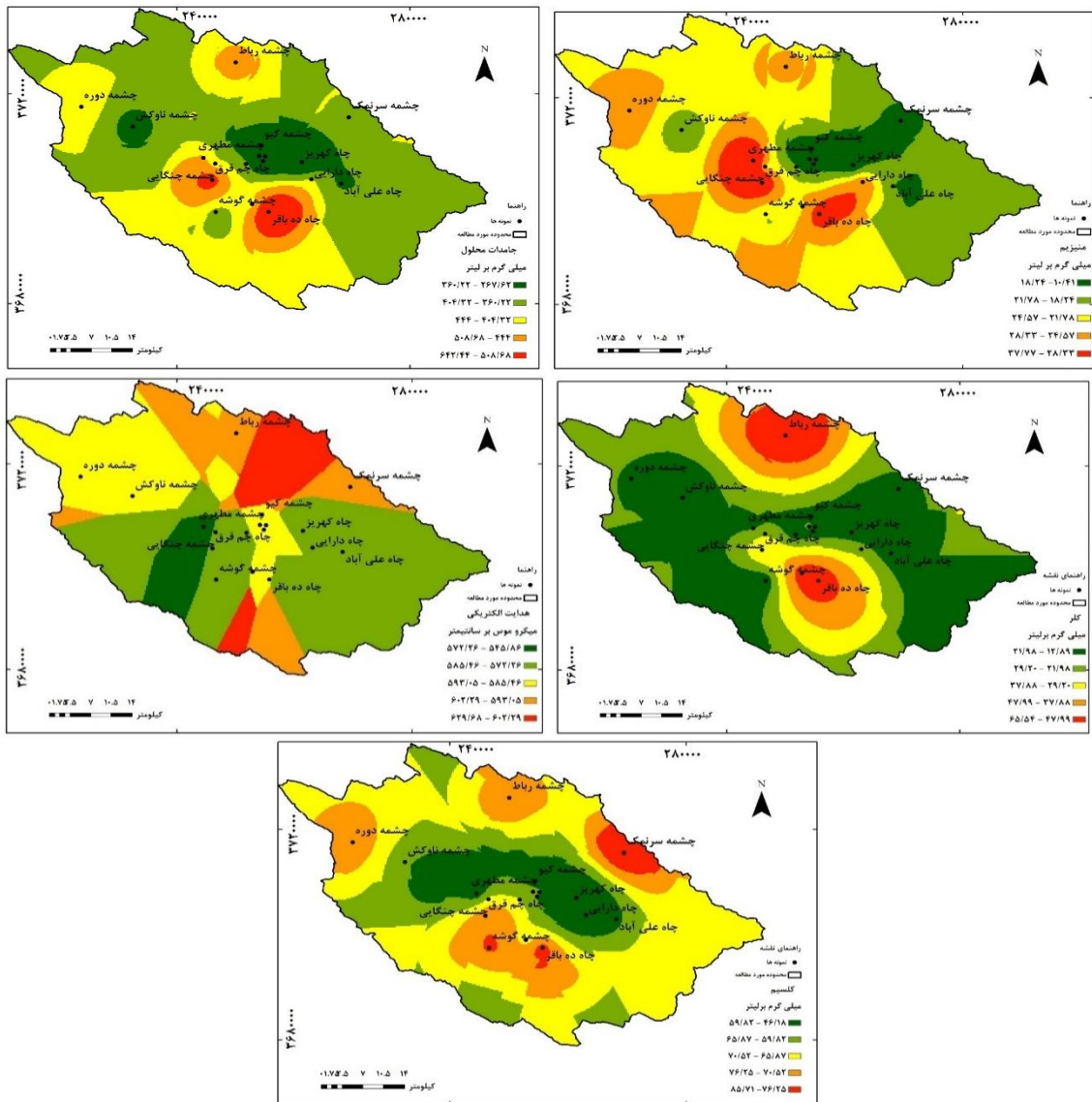
GQI (Babiker et al., 2007)

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

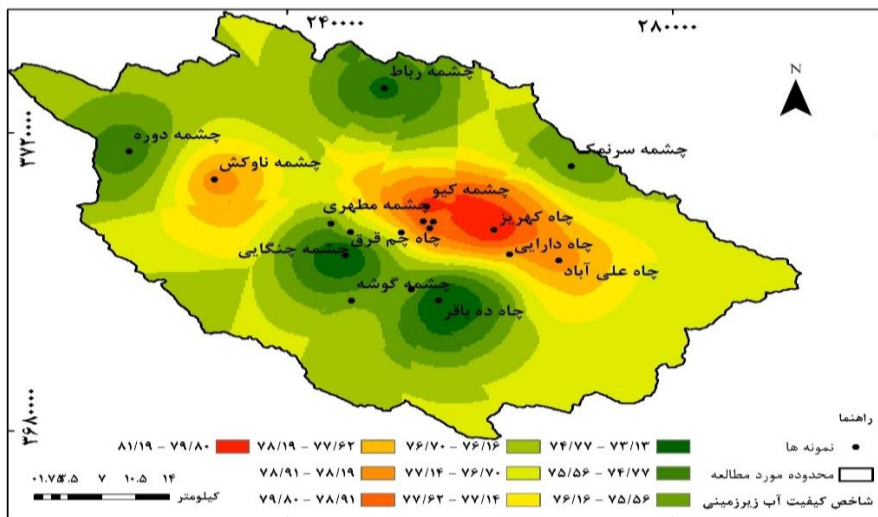
سازندهای زمین‌شناسی کربناتی (آسماری-چهرم) را بر شیمی آب منطقه مهم دانست. بررسی مقدار ضریب همبستگی پارامترهای مورد مطالعه نشان دادند که بین بی‌کربنات، منیزیم، جامدات محلول، سختی کل و هدایت الکتریکی همبستگی قوی برقرار است، این رابطه را نیز می‌توان بین هدایت الکتریکی با سدیم و کلر مشاهده کرد؛ همبستگی بالای سدیم و کلر نشان‌دهنده 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 سولفات به

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 می‌توان تأثیر





شکل ۶: نقشه غلظت عناصر در آب زیرزمینی منطقه‌ی مطالعه شده.



شکل ۷: نقشه شاخص کیفی آب زیرزمینی منطقه‌ی مطالعه شده

- 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 of 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.

خصوص سولفات کلسیم در افزایش ضریب هدایت الکتریکی ارتباط داد. همچنین همبستگی بین بی کربنات و منیزیم را نشانگر نقش انحلال دولومیت در افزایش غلظت کلسیم موجود در آب دانست. با توجه به نقشه پهنه بندی شاخص GQI، مقدار این شاخص در منطقه مطالعه شده از ۷۳ تا ۸۱ درصد تغییر می کند، در نتیجه با توجه به تقسیم بندی کیفیت آب بر پایه GQI برای اهداف شرب قابل قبول است. شکل گیری این پهنه بندی به دلیل در نظر گرفتن تأثیر پارامترهای کیفی در آب های زیرزمینی منطقه است که این خود می تواند متأثر از عوامل زمین شناسی جنس سنگ ها و جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه باشد. همچنین بررسی همبستگی بین شاخص های کیفی آب زیرزمینی، پارامترهای کیفی و بر اساس نقشه های به دست آمده از منطقه ی مطالعه شده نشان داد که سختی کل و میزان بی کربنات 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.

- assessment of Hydrogeochemistry of Groundwater in Agbabu Area, S.W. Nigeria. Proceedings of the Environmental Management Conference, Federal University of Agriculture, Abeokuta, Nigeria.
- 28) Raghunath, 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 Kooch-Sorkh. *Journal of Earth Sciences*.(89)23: 175-182(In Persian).
- 33) Usunoff, E.J., 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, Hangan 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, B.F., 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*