ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی با استفاده از آنالیزهای چند متغیره (مطالعه موردی: دشت بهبهان)

بهزاد عادلی[۱*]، احسان کمالی مسکونی[۲]، محسن آرمین[۳]

چکیده

منابع آب زیرزمینی نقش مهمی در توسعه و پایداری یک سرزمین ایفا می‌کنند. بنابراین در مناطقی که دسترسی به منابع آب سطحی، محدود و بارش‌ها کم و نامنظم می‌باشد، مدیریت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی جزء لاینفک اصول توسعه‌ی پایدار می‌باشد. در این بین یکی از ارکان اصلی مدیریت منابع آبی، ارزیابی خصوصیات کیفی این منابع می‌باشد. در این تحقیق از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) جهت تحلیل کیفیت آب زیرزمین دشت بهبهان. استفاده شده است. بدین منظور ۱۲ متغیر کیفی برای تجزیه و تحلیل خصوصیات کیفیت آب دشت بهبهان انتخاب شد. آزمون KMO و بارتلت نشان داد که امکان استفاده از روش PCA برای تجزیه و تحلیل خصوصیات کیفی آب زیرزمینی دشت با استفاده از پایگاه داده ساخته شده براساس متغیرهای انتخاب شده وجود دارد. بنابراین با استفاده از PCA دو محور (مؤلفه) اصلی که ۸۵/۳۰۷ درصد از واریانس کل داده‌های مشاهداتی را پوشش می‌داد، استخراج گردید. مؤلفه اول ۷۶/۶۸ درصد واریانس داده‌ها را در بر گرفته و عمدتا تحت تاثیر ۱۰ متغیر (TH، SAR، K، Na، Mg، Ca، Cl، SO4، TDS و EC) و محور دوم با توضیح ۸/۶۲۲ درصد واریانس کل، دارای همبستگی مثبت بالا با HCO3 و همبستگی منفی با pH می‌باشد. در این تحقیق همچنین الگوی تغییرات مکانی هر متغیر و ارتباط آن با کاربری اراضی مورد بررسی قرار گرفت.

واژه های کلیدی: کیفیت آب، مؤلفه‌های اصلی، دشت بهبهان، آزمون KMO، روش PCA.

[۱] دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
Email: adeli2info@gmail.com تلفن: ۰۹۱۷۶۰۰۸۷۰۱
[۲] عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان. دانشگاه آزاد، واحد جیرفت، ایران
[۳] استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج

مقدمه

در کشورهایی که دسترسی به منابع آب سطحی، محدود و بارش‌ها کم و نامنظم می‌باشد، آب زیرزمینی دارای اهمیت بالایی است. این درحالی‌است که امروزه علاوه‌بر برداشت بیش از حد مجاز؛ آلوده شدن این منابع و تنزل کیفیت آنها؛ امنیت غذایی، پیشرفت اقتصادی و توسعه‌ی پایدار کشورها را با تهدیدی جدی روبرو ساخته است (نظری و جودویی، ۲۰۱۴). مطالعات اثبات کرده که در بسیاری کشورها آب‌های زیرزمینی طی چند سال اخیر دچار افت کیفی قابل ملاحظه‌ای شدند (جونگ، ۲۰۰۱؛ الهاتیپ و همکاران، ۲۰۰۳). کیفیت آب‌های زیرزمینی به واسطه‌ی عبور جریان آب از سازندهای زمین‌شناسی و احاطه آن بر سفره‌های آب زیرزمینی، تا حدود بسیار بالایی توسط سازندهای زمین‌شناسی کنترل می‌شود (بالخیر و همکاران، ۲۰۱۲؛ مهماندوست و ادبی ، ۲۰۱۳). اما طی چند دهه اخیر توسعه‌ی شهرها و فعالیت‌های کشاورزی بر تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی اثرات بسیاری را تحمیل نمود (لی و همکاران، ۲۰۱۰؛ ویجی و همکاران، ۲۰۱۱؛ فوجیتا و همکاران، ۲۰۱۳). از سویی دیگر وقایع طبیعی نظیر تغییرات آب و هوایی و اقلیمی را نیز بایستی بر موارد فوق افزود. مجموع عوامل یاد شده پیامدهایی مانند کاهش سطح آبخوان، پیشروی آب شور دریا به درون آبخوان‌های ساحلی، خشک شدن تالاب، مرداب و دریاچه‌ها، شوری، فشردگی و کاهش کیفیت و حاصلخیزی خاک و متعاقب آن پیامدهای اقتصادی و اجتماعی بسیاری را به همراه خواهد داشت.

وابستگی بخش زیادی از حیات و تمدن بشر به آب‌های زیرزمینی از یک‌سو و افت کیفی و کمی این منابع از سویی دیگر باعث ایجاد حساسیت جوامع نسبت به آب‌های زیرزمینی و مسائل مرتبط با آن شده است. از این‌رو مدیریت بهره‌برداری و حفاظت از آب‌های زیرزمینی امری ضروری می‌باشد (نظری و جودویی، ۲۰۱۴). برای مدیریت این منابع علاوه‌بر آگاهی از خصوصیات فیزیکی آبخوان و چرخه‌ی جریان آب، آگاهی از وضعیت کیفیت آب سفره نیز ضروری می‌باشد. در ژاپن بررسی منابع آلودگی آب زیرزمینی شهر هوچیمن نشان داد که عمده‌ترین دلایل آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی ناشی از دو عامل فعالیت انسانی شامل ورود فاضلاب‌ها، زباله‌ها و آب چاه‌های تخریب یافته و عوامل طبیعی شامل آب‌های سطحی آلوده می‌باشد که مورد اخیر موجب افزایش TDSدر این منابع می‌شود (تران، ۲۰۰۳). در کشور هند با بررسی که بر روی آب‌های زیرزمینی صورت گرفت، مشخص شد که منبع آلودگی آبهای زیرزمینی را می‌توان به چهار دسته‌ی: آلودگی با منشأ فعالیت‌های انسانی، آلودگی زمین‌شناختی، شوری دشتی و شوری ساحلی تقسیم‌بندی نمود (گردونو و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین با توجه به اهمیت آب و اثراتی که آلودگی آن می‌تواند بر سلامتی انسان و اکوسیستم طبیعی داشته باشد، پایش کیفیت آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. یکی از مسائل مهم در تعیین کیفیت آب، ایجاد شبکه کنترل کیفی آب با کارآیی مناسب می‌باشد، به گونه‌ای که متغیرهای کیفی اندازه‌گیری شده حتی‌المقدور بیانگر کل تغییرات کیفی آب در سیستم آبی باشد. افزایش ایستگاه‌های پایش و فراوانی نمونه‌برداری‌ها از روش‌های نیل به این هدف می‌باشند، که با هزینه‌های گزافی همراه می‌باشد (نوری و همکاران، ۲۰۰۷). در این بین یکی از گزینه‌ها موجود برای کاهش هزینه‌ها، استفاده از روش چند متغیره تحلیل مؤلفه اصلی PCA[1] برای شناسایی پارامترهای اصلی فیزیکی و شیمیایی می‌باشد. این روش ابزار مناسبی برای گزینش متغیرهایی است که تأثیر بسیاری بر یک پدیده می‌گذارند (والیس، ۱۹۶۸ ، شریف نیا و همکاران، ۲۰۱۶). روش PCA با استفاده از اطلاعات کلیه متغیرهای موجود، نمونه‌ها و ایستگاه‌ها را از لحاظ کیفیت فیزیکی و شیمیایی بخوبی طبقه‌بندی می‌نماید (سوجکا و همکاران، ۲۰۰۸). بطوری‌که در سال‌های اخیر استفاده از این‌گونه روش‌ها در موضوعات مرتبط با آب و تحلیل‌های مهم زیست‌محیطی مورد توجه ویژه‌ی پژوهشگران زیادی قرار گرفت.

نوری و همکاران (۲۰۰۷) به ارزیابی اهمیت ایستگاه‌های پایش کیفی رودخانه‌ها با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی و آنالیز فاکتور در رودخانه کارون پرداختند. کمالی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از آنالیز فاکتر و بررسی تأثیر شیمیایی آب آبیاری سد را بر روی کیفت آب زیرزمینی دشت بیعرد در یک دوره ۳ ساله را مورد بررسی قرار دادند. راثی‌نظام و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از آنالیز آماری چند متغیره بر پایه همبستگی و

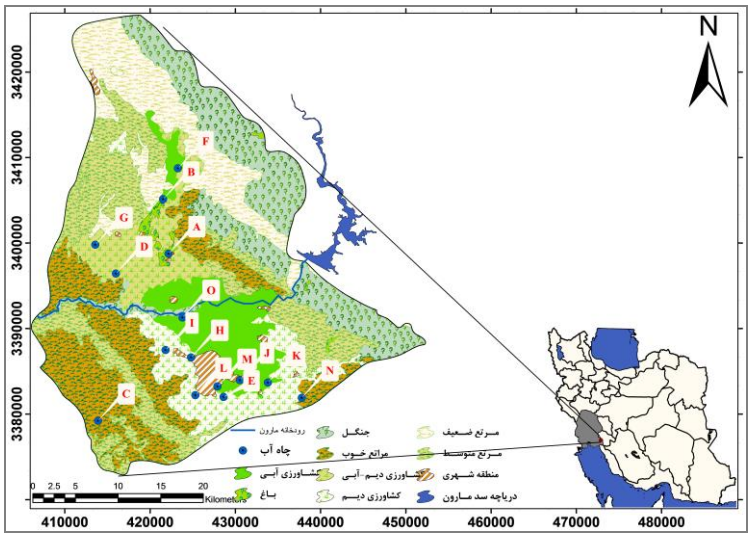
[1] Principle Component Analysis

تغییرات داده‌های کیفی، کیفیت آب رودخانه کرخه را مورد بررسی قرار دادند. فریادی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی اولویت‌بندی پارامترهای کیفیت آب، ارتباط بین آنها و همچنین موضوع معدنی و غیر معدنی بودن آنها در طول ۳ سال در رودخانه تجن پرداختند. فان و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای برای مشخص کردن خصوصیات آب و ارزیابی الگوی مکانی کیفیت آب از آنالیزهای آماری PCA و CCA استفاده کردند. رضایی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی از روش آماری آنالیز مؤلفه‌های اصلی جهت شناسایی کیفیت آب مخزن سد مارون استفاده نمودند. منجرزی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از دو روش PCA و HCA به کنترل کیفیت آب زیرزمینی دره رودخانه شیر در مالاوی، که در شمالی ترین قسمت بخش غربی مجموعه ریفت‌های آفریقای شرقی می‌باشد، پرداختند. میرزایی و همکاران (۲۰۱۴)، آنالیز کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه‌های استان مازندران با استفاده از روش‌های چندمتغیره آماری را مورد ارزیابی قرار دادند. جانگ و همکاران (۲۰۱۶) با بهره‌گیری از دو روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی و آنالیز فاکتور به ارزیابی کیفیت آب رودخانه ناکدنگ در کره جنوبی پرداختند. ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی، خصوصیات شیمیایی و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت سانگنن در شمال شرقی چین را مورد ارزیابی قرار دادند.

با توجه به نقش گسترده منابع آب زیرزمینی در حیات بشر و اثرات کیفیت آن بر سلامتی و پایداری جوامع، لزوم ارزیابی خصوصیات مؤلفه‌های کیفی این منابع بیش از پیش ضرورت یافته است. چرا که ارزیابی خصوصیات کیفی منابع آبی، می‌تواند مدیران و تصمیم-گیران را در زمینه‌ی مدیریت حال و آینده‌ی این منابع، یاری سازد. در این بین آنچه کمتر مورد توجه محققان قرار گرفت، گروه‌بندی ایستگاه‌های سنجش کیفیت فیزیکی و شیمیایی، تعیین مؤلفه‌های اصلی و ارتباط بین متغیرهای مختلف فیزیکی و شیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌باشد. لذا تحقیق حاضر با هدف تعیین مؤلفه‌های اصلی کلاس کیفی منابع آب زیرزمینی دشت بهبهان و بررسی ارتباط بین متغیرهای کیفی آب با واحدهای کاربری اراضی، با استفاده از آنالیزهای آماری چند متغیره‌ی PCA صورت پذیرفت.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه محدوده‌ی آبخوان دشت بهبهان در موقعیت جغرافیایی″۱۵'۳۰ و ۳۰º تا″۱۰'۰۰و ۳۱º عرض شمالی و″۵'۰۰ و ۵۰º تا″۱۰'۳۰و ۵۰º طول شرقی در بخش جنوب شرقی استان خوزستان واقع شده است. این دشت که بخشی از حوزه‌ی آبریز رودخانه مارون می‌باشد، در قسمت جنوبی دامنه‌های رشته کوه زاگرس میانی قرار دارد. بر اساس آمار ۳۰ ساله متوسط بارندگی سالانه در مناطق کوهستانی ۵۷۹/۲ و در محدوده‌ی دشت بهبهان ۴۵۰/۲ میلی‌متر برآورد گردید. رودخانه مارون زهکش اصلی منطقه با امتداد شرقی-غربی در محل تنگ تکاب و پس از عبور از سد مارون وارد این واحد مطالعاتی می‌شود و پس از پیوستن زهکش‌های کره‌سیاه، منصوربیگ و سرآسیاب از مرز غربی محدوده خارج می‌شود (شهسواری و خدائی، ۲۰۰۶). مساحت محدوده بالغ بر ۱۳۰۰ کیلومترمربع برآورد شده است. سطح زیر کشت شبکه آبیاری قبل از احداث سد مخزنی مارون حدود ۹۹۰۰ هکتار بوده که به ۱۵۷۰۰ هکتار در سال ۱۳۸۱ و بعد از احداث سد مارون افزایش یافت (کرمی و همکاران، ۲۰۱۲). مقادیر درصد آبدهی ویژه‌ی دشت از ۱ تا ۲۰ درصد و هدایت هیدرولیکی حداکثر و حداقل آن بترتیب۲۵ m/day و ۰/۵ m/day گزارش شد (کلانتری و ماجدی، ۲۰۰۸). ضخامت رسوبات دشت بین ۲۰ تا ۱۵۰ متر و تراز سطح آب از حدود ۳ متر در فاصله دو کیلومتری از شرق شهر بهبهان تا حدود ۴۰ متر در قسمت شمال غربی شهر (غرب روستای کیکاووس) متغیر می‌باشد.آبگذری آن از حدود ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ متر در روز متغیر است که این مقدار در قسمت جنوبی دشت کمتر می‌باشد (کرمی و همکاران، ۲۰۱۲). شهر بهبهان مهمترین منطقه مسکونی واقع در این محدوده می‌باشد که جمعیتی بالغ بر ۱۱۹ هزار نفر در آن سکونت دارند (مرکز آمار، ۲۰۱۰). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه در دشت بهبهان.

روش تحقیق

برای بررسی خصوصیات کیفی آب زیرزمینی محدوده‌ی مورد مطالعه از آمار ۱۱ ساله‌ی ۱۵ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق طی دوره مشترک آماری ۱۳۸۰-۱۳۷۹ تا ۱۳۹۰-۱۳۸۹ استفاده شد. موقعیت فضایی نقاط مورد بررسی در شکل (۱) آمده است. متغیرهای فیزیکی و شیمیایی شامل کاتیون‌ها (سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم)، آنیون‌ها (کربنات، بی‌کربنات، کلرید و سولفات) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) از شرکت مدیریت منابع آب کشور (تماب) دریافت شد. داده‌ها دارای اریب مثبت و فاقد توزیع نرمال بودند. بنابراین متوسط سالانه طی دوره آماری برای هر متغیر مورد استفاده قرار گرفت (یوانگ ، ۲۰۰۵). در ادامه برای تعیین پارامترهای اصلی کیفیت نمونه‌ها از روش آماری چند متغیره تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) استفاده شده است. همچنین در این تحقیق مساحت کاربری اراضی تا شعاع ۵ کیلومتری چاه مطالعاتی محاسبه و برای بررسی نقش کاربری‌ها بر کیفیت آب هر کدام از ایستگاه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی

در روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی P متغیر اصلی همبسته به p مؤلفه غیرهمبسته تبدیل می‌شود. با اعمال PCA متغیرهای ورودی اصلی به متغیرهای جدید که بدون همبستگی می‌باشند تبدیل می‌شوند. مؤلفه‌های ایجاد شده ترکیبی خطی از متغیرهای اصلی می‌باشند.

اگر در P متغیر اصلی تنها مقداری همبستگی معنی‌دار وجود داشته باشد انجام این روش می‌تواند مفید باشد. به همین دلیل اولین گام برای اجرای این روش بررسی تناسب داده‌ها با استفاده از روش‌های مرسوم می‌باشد. از جمله این روش‌ها می‌توان به محاسبه فاکتور KMO[1] اشاره کرد. مقدار این عامل همواره بین صفر و یک متغیر است و در صورتیکه مقدار آن کمتر از ۰/۵ باشد، استفاده از روش PCA برای تحلیل داده‌های مورد تحقیق مناسب نخواهد بود. چنانچه مقدار این فاکتور بین ۰/۵۰ تا ۰/۷۰ باشد همبستگی داده‌ها برای استفاده از روش PCA متوسط و در صورتی‌که مقدار آن بیش از ۰/۷۰ باشد همبستگی داده‌ها برای استفاده از این روش بسیار مناسب خواهد بود. این عامل به کمک ضرایب همبستگی ساده[2] و جزئی[3] طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$KMO=\frac{\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{p} r_{ij}^2}{\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{p} r_{ij}^2+\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{p} a_{ij}^2} \quad i \neq j \qquad (۱)$$

که در آن؛ r_{ij} ضریب همبستگی ساده بین متغیرهای i و j، a_{ij}: ضریب همبستگی جزئی بین متغیرهای i و j و p برابر با تعداد متغیرها می‌باشد. با توجه به این رابطه مقادیر بزرگتر KMO در نتیجه کوچک بودن ضرایب همبستگی جزئی بوده که نهایتاً منجر به افزایش دقت محاسبات با استفاده از روش PCA می‌شود. دامنه نوسان P متغیر اصلی متفاوت است. از اینرو بر

[1] Kaiser-Meyer-Olkin
[2] Simple correlation coefficients
[3] Partial correlation coefficients

اساس رابطه ۲ داده‌های ورودی به نحوی استاندارد می‌شوند که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک باشند.

$$Z=\frac{x_{ij}-\mu_i}{\sigma_i} \quad (۲)$$

که در آن؛ Z: معادل استاندارد شده مشاهدات، x_{ij}: داده ورودی برای متغیر i ام، μ: میانگین متغیر iام و σ: مقادیر انحراف معیار برای متغیر i ام می‌باشد. از ماتریس واریانس-کواریانس برای نشان دادن میزان تغییرات در نمونه و میزان همبستگی P متغیر با هم استفاده می‌شود. این ماتریس، ماتریسی متقارن است که عضوهای روی قطر اصلی آن، واریانس متغیرهای ورودی و بقیه درایه‌های آن، کواریانس بین متغیرهای ورودی است. از آنجائیکه برای تشکیل این ماتریس از داده‌های استاندارد شده استفاده شده است، بنابراین این ماتریس معادل همبستگی بین متغیرهای ورودی نیز می‌باشد. بنابراین درایه‌های روی قطر اصلی در تمامی این ماتریس‌ها یک می‌باشد و درایه‌های غیر قطری معادل کواریانس بین متغیر ورودی است. هر مقدار ویژه با اطلاعات مربوط به آن (بردارهای ویژه) ویژگی‌های یک مؤلفه را نشان می‌دهد. هر مؤلفه نیز درصدی از اطلاعاتی که توسط متغیرهای اولیه بیان می‌شود را در بر می‌گیرد. هر چه کمیت عددی مقادیر ویژه بزرگتر باشد، بیانگر اینست که مؤلفه متناظر نیز درصد بیشتری از اطلاعات متغیرهای اولیه را شامل می‌شود. برای بدست آوردن این مقادیر بایستی رابطه ۳ حل شود:

$$\left|R-\lambda I_p\right|=0 \quad (۳)$$

که؛ I_p: ماتریس واحد با بعد P*P، R: ماتریس واریانس-کواریانس یا ماتریس همبستگی، λ: مقادیر ویژه و $|...|$: علامت دترمینان ماتریس می‌باشد. معادله فوق یک مسئله کلاسیک مقادیر ویژه می‌باشد (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۳).

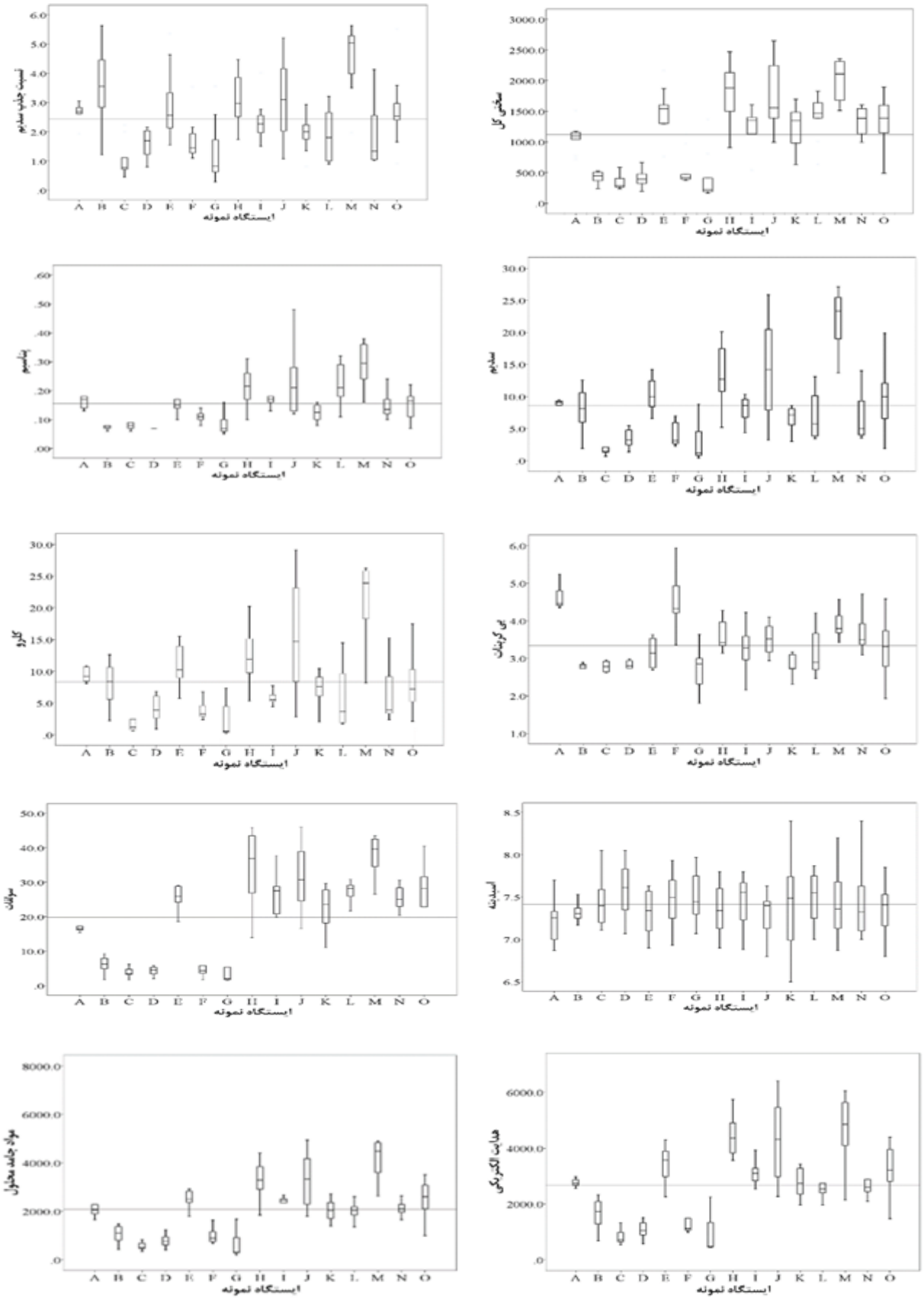
نتایج و بحث

به منظور تحلیل کیفیت منابع آب زیر زمینی دشت بهبهان،آمار فیزیکی-شیمیایی ۱۲ متغیر کیفی آب، طی یک بازه زمانی ۱۰ ساله از ۱۵ ایستگاه نمونه تهیه شده است. در این مطالعه از روش‌های آماری توصیفی و چند متغیره برای بیان خصوصیات آماری متغیرهای مورد بررسی استفاده شده است. جدول ۱ نتایج توصیف آماری متغیرهای تحقیق و همچنین نتایج آزمون کلموگراف-اسمیرنوف را نشان می‌دهد.

جدول ۱- توصیف آماری و آزمون نرمال بودن متغیرها با استفاده از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف.

ایستگاه		TH	SAR	K	Na	Mg	Ca	HCO3	CL	SO4	pH	TDS	EC
A	تعداد	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷
	میانگین	۱۰۵۵/۸	۲/۷	۰/۱۶	۸/۸۲	۶/۶۴	۱۵/۱	۴/۴۹	۸/۹۳	۱۶/۷۷	۷/۱۹	۲۰۰۵/۲	۲۷۴۵/۷
	S.D.	۳۹۳/۳	۰/۵۳	۰/۰۶	۲/۰۷	۳/۷۲	۴/۲۳	۰/۹۲	۲/۸۲	۶/۸۵	۰/۳۱	۴۲۵/۳	۶۲۹/۸
	Sign.	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۲	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۲
B	تعداد	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸
	میانگین	۴۲۳/۲	۳/۳	۰/۰۷	۷/۶	۲/۷	۶/۳	۲/۸	۷/۷	۶/۰۸	۷/۳	۱۰۳۳/۶	۱۶۰۸/۲
	S.D.	۱۹۷/۸	۲/۱۴	۰/۰۲	۵/۳	۱/۱	۲/۷	۰/۳	۵/۴	۳/۶	۰/۳۱	۵۳۵/۸	۸۳۹/۷
	Sign.	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۲	۰/۰۸	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۰۱
C	تعداد	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۳۷۸/۲	۱/۲	۰/۰۸	۲/۷۲	۲/۴۵	۵/۴۸	۲/۸۷	۳/۰۷	۴/۴۳	۷/۳۳	۶۶۱/۰۶	۹۸۷/۶
	S.D.	۱۶۱/۱	۰/۸۱	۰/۰۴	۲/۰۲	۱/۳۹	۱/۸۵	۰/۴۳	۳/۰۲	۱/۹۶	۰/۴۲	۲۵۹/۴	۴۲۱/۱
	Sign.	۰/۲	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۰۰۱	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۰۷
D	تعداد	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸
	میانگین	۳۹۴/۶	۱/۶	۰/۰۷	۳/۴۲	۲/۲۱	۵/۸	۲/۸	۳/۹۵	۴/۵۷	۷/۵۲	۷۴۴/۸	۱۰۴۸/۶
	S.D.	۲۱۶/۸	۰/۸۸	۰/۰۱	۲/۱	۱/۶۵	۲/۸	۰/۵	۳/۲۳	۳/۵۵	۰/۳۸	۴۰۷/۷	۵۶۷/۹
	Sign.	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۲	۰/۰۸

E	تعداد	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷
	میانگین	۱۴۳۶/۰۹	۲/۹۳	۰/۱۴	۱۱/۰۶	۷/۱۵	۲۲/۳۳	۳/۳۳	۱۱/۳۲	۲۵/۵۵	۷/۳۳	۲۵۵۳/۰۲	۳۴۸۱/۴
	S.D.	۵۵۲/۸	۱/۴۹	۰/۰۶	۵/۹۴	۴/۵۵	۸/۱۵	۰/۸۹	۶/۰۲	۱۰/۲۴	۰/۳۸	۹۶/۵	۱۳۶۳/۷
	Sign.	۰/۰۹	۰/۱۶	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۲	۰/۲	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۲	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۰۸
F	تعداد	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
	میانگین	۵۸۰/۱	۱/۷۷	۰/۱۰	۴/۲۱	۴/۲	۷/۶۰	۴/۳۲	۴/۶۶	۳/۵۷	۷/۴۱	۱۱۴۳/۰	۱۵۰۷/۸
	S.D.	۴۱۱/۹	۱/۴۳	۰/۰۴	۳/۱۹	۳/۱۵	۵/۷۹	۰/۸۹	۳/۱۷	۱/۳۵	۰/۳۷	۷۳۸/۰۲	۱۰۸۹/۴
	Sign.	۰/۰۰	۰/۵۱	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۲	۰/۱	۰/۰۰	۰/۰۰
G	تعداد	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۵۳۰/۳	۱/۷۵	۰/۰۹	۵/۰۷	۳/۱۲	۷/۷	۲/۹۶	۴/۵۹	۸/۸۱	۷/۳۳	۱۰۱۸/۶	۱۵۲۷/۶
	S.D.	۶۱۸/۸	۰/۵۵	۰/۰۰۵	۱/۴	۳/۲۷	۹/۴۲	۰/۵۸	۶/۶۶	۱۲/۸	۰/۴۲	۱۲۰۰/۴	۱۷۷۷/۳
	Sign.	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲	۰/۰۰	۰/۰۰
H	تعداد	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷
	میانگین	۱۷۵۴/۰	۲/۹	۰/۲	۱۱/۹	۱۵/۰۵	۲۱/۶	۳/۶	۱۱/۴	۳۳/۳۶	۷/۳۰	۳۲۲۳/۹	۴۱۶۷/۵
	S.D.	۸۶۱/۵	۱/۵	۰/۰۱	۵/۹	۷/۷	۸/۵	۱/۰۱	۶/۰۴	۱۵/۷	۰/۴۱	۱۱۳۰/۴	۱۵۱۸/۰
	Sign.	۰/۰۳	۰/۰۰۲	۰/۱۱	۰/۱	۰/۳	۰/۰۰۱	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۰۲
I	تعداد	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
	میانگین	۱۲۸۸/۰۸	۲/۴۳	۰/۱۶	۹/۱	۹/۲	۱۷/۴	۳/۱	۶/۸	۲۵/۲۶	۷/۳۷	۲۴۱۲/۰۲	۳۱۷۵/۳
	S.D.	۶۴۱/۰	۱/۵۷	۰/۰۶	۷/۵	۵/۳	۷/۰۸	۱/۰۸	۶/۰	۱۳/۷۵	۰/۴۴	۱۲۰۹/۰۳	۱۵۴۳/۵
	Sign.	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۱۷	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۰/۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۲
J	تعداد	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
	میانگین	۱۶۰۲/۸	۲/۹۶	۰/۲۱	۱۲/۷	۱۰/۲۵	۲۳/۰۵	۳/۵	۱۳/۸۴	۲۸/۷۲	۷/۲۵	۳۰۸۳/۹	۴۰۹۱/۵
	S.D.	۷۴۷/۵	۱/۵۵	۰/۲۰	۸/۸	۵/۸	۸/۹۱	۰/۸۷	۹/۵	۱۳/۰۴	۰/۴	۱۴۲۹/۴	۱۸۲۵/۱
	Sign.	۰/۲	۰/۳	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۲	۰/۱۲	۰/۲	۰/۰۳	۰/۲	۰/۲
K	تعداد	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷
	میانگین	۱۱۶۹/۹	۲/۰۷	۰/۱۱	۶/۷	۶/۶۷	۱۷/۴۲	۲/۸۸	۷/۴۹	۲۰/۸۴	۷/۳۸	۱۹۹۸/۰۳	۲۷۳۰/۶
	S.D.	۴۴۸/۷	۰/۸۸	۰/۰۴	۲/۲۷	۲/۴۹	۶/۲۳	۰/۷۵	۲/۹	۷/۲۵	۰/۵۶	۵۰۹/۲	۶۲۷/۹
	Sign.	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۲	۰/۲	۰/۱۷	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۲	۰/۱۶	۰/۲
L	تعداد	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
	میانگین	۱۳۸۴/۶	۲/۱۳	۰/۲۰	۷/۸۲	۱۰/۱۱	۱۷/۹	۳/۲۷	۶/۵۳	۲۵/۸۸	۷/۴	۲۱۳۴/۰۳	۲۹۰۱/۳
	S.D.	۵۲۱/۰۸	۱/۳۳	۰/۰۹	۵/۵	۴/۵۸	۷/۲	۰/۷۵	۶/۲۵	۹/۰۸	۰/۳۵	۶۵۷/۵	۱۰۶۱/۷
	Sign.	۰/۰۰۷	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۳	۰/۰۱	۰/۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۲	۰/۱۲	۰/۰۰۱
M	تعداد	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷
	میانگین	۱۹۳۳/۵	۴/۴۵	۰/۲۸	۲۰/۲۲	۸/۰۴	۳۲/۳۷	۳/۷۹	۲۰/۱۴	۳۶/۴۱	۷/۲۶	۴۰۵۳/۱	۴۷۸۱/۵
	S.D.	۶۳۱/۳	۱/۴۴	۰/۱۱	۸/۲۱	۳/۳۱	۹/۹۵	۰/۸۳	۸/۴۳	۱۰/۳۵	۰/۴۰	۱۲۹۵/۳	۱۸۶۹/۰
	Sign.	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۲	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۲	۰/۰۰	۰/۱۲
N	تعداد	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷
	میانگین	۱۳۱۱/۵	۲/۱	۰/۱۵	۷/۲۹	۹/۸۰	۱۷/۲۳	۳/۷۱	۶/۷۲	۲۳/۸۲	۷/۳۳	۲۱۰۱/۹	۲۹۰۲/۴
	S.D.	۴۹۳/۳	۱/۹	۰/۰۷	۶/۰۰	۳/۲۴	۷/۱۶	۰/۸۲	۶/۵	۹/۱۷	۰/۴۱	۷۱۷/۶	۱۰۱۳/۱
	Sign.	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۲	۰/۰۳	۰/۰۴
O	تعداد	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴
	میانگین	۱۱۳۶/۸	۳/۰۲	۰/۱۴	۱۰/۸۹	۸/۵۶	۱۵/۴	۳/۳۸	۸/۵۹	۲۲/۳۷	۷/۳۴	۲۲۴۴/۳	۲۹۴۷/۳
	S.D.	۶۶۴/۷	۲/۶۲	۰/۰۶	۱۰/۵۷	۵/۱۴	۷/۹۸	۱/۲۳	۹/۱	۱۴/۹	۰/۳۹	۱۳۹۴/۳	۱۷۸۵/۶
	Sign.	۰/۱۳	۰/۰۰	۰/۲	۰/۰۰	۰/۲	۰/۰۶	۰/۲۱	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۰۹



شکل ۲- نمودار جعبه‌ای متغیرهای کیفیت آب.

بررسی تغییر و تحول متغیرهای فیزیکی–شیمیایی مورد مطالعه

در این بخش ترکیبی از خصوصیات داده‌های مشاهداتی ارائه شده است. شکل ۲ مقدار متوسط پارامترهای تحقیق و چگونگی روند تغییرات هر یک از متغیرها را برای ایستگاه‌های مورد مطالعه (چاه) نشان می‌دهد.

الگوی تغییرات مکانی متغیرهای کیفی نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های B، C، D، F و G متوسط قریب به اتفاق آلاینده‌ها، پائین‌تر از مقدار متوسط آلایندگی این متغیرها در آبخوان مورد مطالعه می‌باشد. بطور کلی در این ایستگاه‌ها علاوه‌بر پائین بودن میزان آلاینده‌ها، تغییرات زمانی نیز بصورت جزئی بوده و تغییرات معناداری در بیشتر ایستگاه‌های این گروه، طی دوره مورد مطالعه مشاهده نگردید. بنابراین می‌توان محدوده‌ی ایستگاه‌های مذکور را از جزء محدوده‌های با ثبات، از نظر خصوصیات کیفیت آب قلمداد نمود. جانگ و همکاران (۲۰۱۶) با بهره‌گیری از این تکنیک محدوده‌های با ثبات، از نظر خصوصیات کیفیت آب را مشخص نمودند. در بین ایستگاه‌های این گروه ایستگاه G با داشتن ۷ متغیر که کمترین مقدار را در بین سایر ایستگاه‌ها به خود اختصاص داده است از کیفیت مطلوب‌تری نسبت به سایر ایستگاه‌ها قرار دارد. ایستگاه‌های A، K، L و N ایستگاه‌هایی هستند که علاوه‌بر اینکه نسبت به گروه اول از میزان آلایندگی بیشتری برخوردار هستند، الگوهای متفاوت و متغیری را از خود نشان دادند. بطوریکه متوسط برخی آلاینده‌ها در این ایستگاه‌ها بالاتر از متوسط آبخوان و مابقی پائین‌تر از آن قرار گرفتند. گروه آخر شامل ایستگاهایی است که متوسط آنها بیشترین فاصله را با متوسط آبخوان ایجاد کرده است. این گروه که در واقع دارای بیشترین میزان آلودگی می‌باشد، شامل ایستگاه‌های E، H، I، J، M و O می‌باشد. بررسی کلی ایستگاه‌های این گروه بیانگر تغییرات زمانی قابل توجه ایستگاه‌های گروه نسبت به دیگر ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. بطوریکه در این ایستگاه‌ها مقادیر متغیرهای فیزیکی-شیمیایی کیفیت آب بیشترین انحراف معیار را از خود نشان دادند. از دیگر نتایج قابل توجه در این بخش می‌توان به تفاوت کیفیت ایستگاه M با سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه اشاره نمود. نتایج نشان داد که در این ایستگاه متوسط ۹ آلاینده کیفی در ایستگاه بالاتر از متوسط آلایندگی متغیرها در آبخوان مورد مطالعه می‌باشد. هر یک از گروه‌های بدست آمده در این بخش دارای خصوصیات مکانی خاص می‌باشند. نگاه اجمالی به شکل یک که موقعیت ایستگاه‌های تحقیق در منطقه را نشان می‌دهد، بیانگر واقعیت اخیر می‌باشد. ایستگاه‌های گروه اول در محدوده‌های طبیعی‌تر و با تغییرات کاربری ناچیز، واقع شدند. ایستگاه‌های گروه دوم و سوم شامل ایستگاه‌های است که بترتیب در مناطق مرزی و محدوده‌های با تغییرات کاربری شدید واقع شده‌اند. در این مناطق کیفیت آب، عمدتاً متأثر از نفوذ فاضلاب شهری و کشاورزی به درون آبخوان خواهد بود. از اینرو غلظت آلاینده‌ها بالاتر از دیگر مناطق می‌باشد. پارینت و همکاران (۲۰۰۴) نیز با بررسی تغییرات مکانی آلاینده‌های کیفی آب، دریافتند که متغیرهای کیفی در مناطق مختلف، رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند. ایشان دراین تحقیق تغییرات مکانی متغیرهای کیفی را ناشی از بازخورد قدرتمند محیط‌زیست بر روی متغیرهای کیفی دانستند. در منطقه مورد مطالعه نیز تفاوت آشکار و بسیار شدید خصوصیات کیفیت آب ایستگاه‌های M و J با ایستگاه‌های C و G می‌تواند ناشی از بازخورد متفاوت محیط این ایستگاه‌ها بر خوصیات کیفی آب باشد.

PCA یک روش ناپارامتریک طبقه‌بندی است و هیچ‌گونه فرضیه‌ای در مورد اصول توزیع آماری ندارد (وگو و همکاران، ۱۹۹۸؛ هلنا و همکاران، ۲۰۰۰؛ آلبرتو و همکاران، ۲۰۰۱). این آزمون در مورد توزیع آماری متغیرها، فاقد پاسخ آماری می‌باشد. بنابراین از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف می‌توان دریافت که اکثر متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق دارای توزیع نرمال می‌باشند. برای نرمال کردن متغیرهایی که فاقد توزیع نرمال بودند از تبدیل Ln(x+a) استفاده شده است (هوی و همکاران، ۲۰۱۶). در ادامه به منظور امتحان تناسب داده‌های پژوهش حاضر جهت بکارگیری روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، از آزمون بسندگیKMO و Bartelett استفاده شد. مقادیر بالایی آزمون KMO (نزدیک به یک)، نشان می‌دهد که تحلیل عاملی می‌تواند برای داده‌های تحقیق مورد استفاده قرار گیرد. مقدار این متغیر برای ایستگاه‌های مورد بررسی۰/۷۰۴ بوده است (جدول ۵). پارینت و

همکاران (۲۰۰۴)؛ پریمپس و همکاران، (۲۰۱۰)؛ شیخ-الاسلامی و همکاران (۲۰۱۴) نیز از این آزمون برای بررسی کفایت داده‌های تحقیق استفاده کردند و مقادیر متفاوتی از این آزمون را گزارش دادند.مقدار بدست آمده در تحقیق حاضر با اینکه بیانگر مقدار ایده‌آل این فاکتور برای استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای ایستگاه‌های نمونه نمی‌باشد؛ اما نشان می‌دهد که امکان استفاده از روش PCA برای تحلیل متغیرهای کیفی تحقیق وجود دارد. آزمون بارتلت‌کرویت نیز نشان می‌دهد که آیا ماتریس همبستگی یک ماتریس واحد است و توانایی نشان دادن متغیرهای نامرتبط را دارد یا خیر. سطح معنی‌داری صفر (کمتر از ۰/۰۵) که برای اکثر داده‌های این پژوهش بدست آمده است نشان دهنده‌ی روابط معنی‌دار بین متغیرها و واحد بودن ماتریس همبستگی است (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج آزمون KMO و بارتلت.

آزمون KMO	مقدار آزمون KMO	۰/۷۰۴
آزمون بارتلت	Chi-Square	۳۵۰/۱۹
	df	۶۶
	Sig.	.۰۰۰

جدول ۳- ماتریس همبستگی (الف) و سطح معنی‌داری (ب).

	TH	SAR	K	Na	Mg	Ca	HCO3	CL	SO4	pH	TDS	EC
الف												
TH	۱/۰۰۰											
SAR	۰/۶۳۷	۱/۰۰۰										
K	۰/۹۱۱	۰/۶۵۹	۱/۰۰۰									
Na	۰/۸۵۰	۰/۹۰۶	۰/۸۵۷	۱/۰۰۰								
Mg	۰/۸۷۲	۰/۴۰۲	۰/۷۶۲	۰/۵۹۳	۱/۰۰۰							
Ca	۰/۹۷۲	۰/۷۱۴	۰/۹۰۶	۰/۹۱۱	۰/۷۳۶	۱/۰۰۰						
HCO3	۰/۳۶۰	۰/۲۶۸	۰/۴۸۳	۰/۳۲۹	۰/۳۵۴	۰/۳۴۶	۱/۰۰۰					
CL	۰/۸۰۹	۰/۹۱۱	۰/۸۲۶	۰/۹۷۴	۰/۵۱۰	۰/۸۹۲	۰/۳۳۸	۱/۰۰۰				
SO4	۰/۹۹۶	۰/۶۳۰	۰/۹۰۰	۰/۸۴۸	۰/۸۸۴	۰/۹۶۱	۰/۳۲۲	۰/۷۸۸	۱/۰۰۰			
pH	-۰/۴۹۷	-۰/۵۳۶	-۰/۵۵۳	-۰/۵۸۲	-۰/۳۹۳	-۰/۵۲۵	-۰/۴۹۴	-۰/۶۰۴	-۰/۴۷۵	۱/۰۰۰		
TDS	۰/۹۴۵	۰/۷۶۳	۰/۹۲۴	۰/۹۱۸	۰/۷۷۴	۰/۹۵۴	۰/۵۰۴	۰/۸۹۱	۰/۹۳۴	-۰/۶۴۹	۱/۰۰۰	
EC	۰/۹۸۲	۰/۷۴۷	۰/۹۰۷	۰/۹۱۶	۰/۸۳۰	۰/۹۷۴	۰/۳۷۳	۰/۸۸۲	۰/۹۸۷	-۰/۵۷۹	۰/۹۷۳	۱/۰۰۰
ب												
TH												
SAR	۰/۰۰۵											
K	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴										
Na	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰									
Mg	۰/۰۰۰	۰/۰۶۹	۰/۰۰۰	۰/۰۱۰								
Ca	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱							
HCO3	۰/۰۹۴	۰/۱۶۷	۰/۰۳۴	۰/۱۱۶	۰/۰۹۸	۰/۱۰۳						
CL	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰	۰/۱۰۹					
SO4	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۲۱	۰/۰۰۰				
pH	۰/۰۳۰	۰/۰۲۰	۰/۰۱۶	۰/۰۱۱	۰/۰۷۴	۰/۰۲۲	۰/۰۳۱	۰/۰۰۹	۰/۰۳۷			
TDS	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۲۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴		
EC	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۸۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰	

نتایج همبستگی متقارن بین متغیرهای تحقیق نشان می‌دهد که اکثر متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش با یکدیگر همبستگی دارند. این نتایج همچنین نشان می‌دهد که در این تحقیق بیشترین مقدار همبستگی بین متغیرهای SO4 و TH و کمترین مقدار آن بین متغیرهای HCO3 و نسبت جذب سدیم (SAR) برقرار می‌باشد. همانطور که از نتایج اخیر برمی‌آید همبستگی معناداری بین اکثر متغیرهای فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی برقرار می‌باشد. راثی‌نظامی و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که چنانچه همبستگی بین این دو دسته از متغیرها زیاد باشد، این متغیرها می‌توانند از منبع یکسانی نشأت گرفته شده باشند. آماره بدست آمده در آزمون بارتلت و سطح معنی‌داری آن نیز نشان می‌دهد که ماتریس همبستگی بخوبی توانسته بیانگر ارتباط متغیرها با هم باشد (پارینت و همکاران، ۲۰۰۴).در ادامه پس از استاندارد کردن متغیرهای مورد بررسی با استفاده رابطه ۲، مدل PCA مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین ماتریس کواریانس بر ماتریس همبستگی منطبق شد. با حل رابطه ۳ تعداد ۱۰ مقدار ویژه بدست می‌آید. جدول ۴ نشان دهنده مقادیر ویژه برای کیفیت آب در این تحقیق میباشند. مطابق جدول ۴ اولین مؤلفه که همان مقدار ویژه‌ی اول می‌باشد برابر ۹/۲ می‌باشد که ۷۶/۶۸ درصد از کل واریانس داده‌ها را شامل می‌شود. دومین مقدار ویژه که مقدار آن برابر با ۱/۰۳ می‌باشد، ۸/۶۲ درصد از کل واریانس داده های مشاهداتی را شامل می‌شود. این دو مؤلفه برای داده‌های تحقیق حاضر مجموعاً ۸۵/۳ درصد از واریانس داده‌های اصلی را در دشت بهبهان بیان می‌کنند. بنابراین می‌توان این دو مؤلفه را به عنوان دو مؤلفه اصلی انتخاب نمود. (پارینت و همکاران، ۲۰۰۴؛ پریمپس و همکاران، ۲۰۱۰؛ هوی و همکاران، ۲۰۱۶؛ شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۲۰۱۴؛ راثی-نظامی و همکاران، ۲۰۱۳) نیز متغیرهای کیفی را بر روی دو محور اول و دوم ترسیم و به منظور تفسیر واضح‌تر اقدام به رسم متغیرهای بر روی گراف نمودند. می‌دهد. در این تحقیق از روش PCA برای تعیین متغیرهایی که مسئول مقدار زیادی از واریانس مجموعه داده‌های مشاهداتی کیفیت آب زیرزمینی دشت بهبهان هستند، استفاده شده است.

جدول ۴- مؤلفه‌های ایجاد شده با استفاده از مدل متغیرهای اولیه (فیزیکی-شیمیایی).

محور	مقدار ویژه	درصد واریانس نسبی	درصد واریانس نسبی تجمعی
۱	۹/۲۰۲	۷۶/۶۸۵	۷۶/۶۸۵
۲	۱/۰۳۵	۸/۶۲۲	۸۵/۳۰۷
۳	۰/۹۸۶	۸/۰۶۹	۹۳/۳۷۶
۴	۰/۴۲۴	۳/۵۳۴	۹۶/۹۱۰
۵	۰/۲۰۳	۱/۶۹۰	۹۸/۶۰۰
۶	۰/۱۰۱	۰/۸۳۸	۹۹/۴۳۸
۷	۰/۰۲۵	۰/۲۱۱	۹۹/۶۴۸
۸	۰/۰۲۱	۰/۱۷۵	۹۹/۸۲۴
۹	۰/۰۱۸	۰/۱۴۹	۹۹/۹۷۳
۱۰	۰/۰۰۳	۰/۰۲۵	۹۹/۹۹۸

جدول ۵ مقادیر بردارهای ویژه متغیرهای کیفیت آب دشت بهبهان را نشان می‌دهد. این مقادیر ضرایب هر مؤلفه را برای محاسبه آن تعیین می‌کند. برای تشکیل مؤلفه اول بایستی مقادیر متغیرها را در بردارهای ویژه مربوط به هر متغیر ضرب نموده و حاصل را با هم جمع کرد. بر این اساس، مؤلفه‌های بوجود می‌آیند که می‌توان از آنها به‌جای متغیرهای اولیه به عنوان ورودی به مدل رگرسیونی استفاده نمود (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۲۰۱۴).

جدول ۶ مؤلفه‌های اصلی و جدول ۷ بردارهای ویژه هر ایستگاه را با توجه به کاربری‌های اراضی تا شعاع ۵ کیلومتری از هر ایستگاه نشان می‌دهد. شعاع محتاطانه ۵ کیلومتری با استفاده از روش شعاع ثابت دلخواه (OFR[8])

[8] Optional Fix Radial

بدست آمده است. این مقدار در ایالات جورجیا حدود ۴۵۰ متر برای هر چاه در نظر گرفته شده ولی در ایالات لوئیزیانا برای آبخوان آزاد ۳۲۰۰ متر تعریف شده است. در ایران نیز بسته به نوع حریم مورد نظر می‌توان یک شعاع در نظر گرفت. بنابراین با توجه به گستردگی کاربری‌های شهری و کشاورزی آبی در منطقه و خروجی‌های آلاینده‌ی این کاربری‌ها، حریم محتاطانه ۵ کیلومتری در نظر گرفته شده است. بر اساس مقادیر بردارهای ویژه‌ی دو مؤلفه اول که در جدول ۸ ارائه شده است، در مؤلفه اول بیشترین مقدار قدرمطلق بردار ویژه بترتیب مربوط به متغیرهای EC، TDS، Ca، TH،SO4،Na، K، SAR و Mg می‌باشد. این مقدار در مؤلفه دوم مربوط به پارامتر HCO3 با مقدار ویژه‌ی ۰/۶۱۲- می‌باشد. مطالعات صورت گرفته در این زمینه به ارجح بودن متغیرهای محور اول بر محور دوم تأکید داشتند (پارینت و همکاران، ۲۰۰۴؛ پریمپس و همکاران، ۲۰۱۰؛ هوی و همکاران، ۲۰۱۶؛ شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۲۰۱۴؛ راثی‌نظامی و همکاران، ۲۰۱۳).

در ادامه همچنین از PCA جهت بررسی نقش واحدهای کاربری اراضی در تعیین خصوصیات کیفی هر ایستگاه استفاده شده است.

جدول ۵- بردارهای ویژه (ضرایب) متغیرهای کیفیت آب جهت تعیین مؤلفه‌ها.

ردیف	متغیر	بردار ویژه		ردیف	متغیر	بردار ویژه	
		مؤلفه اول	مؤلفه دوم			مؤلفه اول	مؤلفه دوم
۱	TH	**۰/۹۶۰**	۰/۲۳۳	۷	HCO3	۰/۴۵۶	**-۰/۶۱۲**
۲	SAR	**۰/۷۹۲**	-۰/۲۱۵	۸	CL	**۰/۹۱۶**	-۰/۱۳۶
۳	K	**۰/۹۳۸**	۰/۰۲۹	۹	SO4	**۰/۹۵۱**	۰/۲۷۴
۴	Na	**۰/۹۴۳**	-۰/۰۵۸	۱۰	pH	**-۰/۵۶۶**	**۰/۶۰۹**
۵	Mg	**۰/۷۸۸**	۰/۳۳۱	۱۱	TDS	**۰/۹۸۸**	-۰/۰۴۰
۶	Ca	**۰/۹۶۷**	۰/۱۴۰	۱۲	EC	**۰/۹۸۸**	۰/۱۲۴

جدول ۶.- مشخصات مؤلفه‌های ایجاد شده با استفاده از متغیرهای اولیه (کاربری اراضی).

محور	مقدار ویژه	درصد واریانس نسبی	درصد واریانس نسبی تجمعی
۱	۳/۲۷۶	۳۶/۳۹	۳۶/۳۹۵
۲	۲/۰۱۸	۲۲/۴۲	۵۸/۸۲۳
۳	۱/۱۶۲	۱۲/۹۰	۷۱/۳۱
۴	۰/۹۶۶	۱۰/۷۲	۸۲/۴۵۹
۵	۰/۵۹۷	۶/۶۳۰	۸۹/۰۸۹
۶	۰/۵۱۶	۵/۷۳۸	۹۴/۸۲۷
۷	۰/۳۳۱	۳/۶۷۶	۹۸/۵۰۲
۸	۰/۱۳۵	۱/۴۹۷	۱۰۰/۰۰۰
۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱۰۰/۰۰۰

جدول ۷- بردارهای ویژه (ضرایب) هر یک از کاربری‌های اراضی جهت تعیین مؤلفه‌ها.

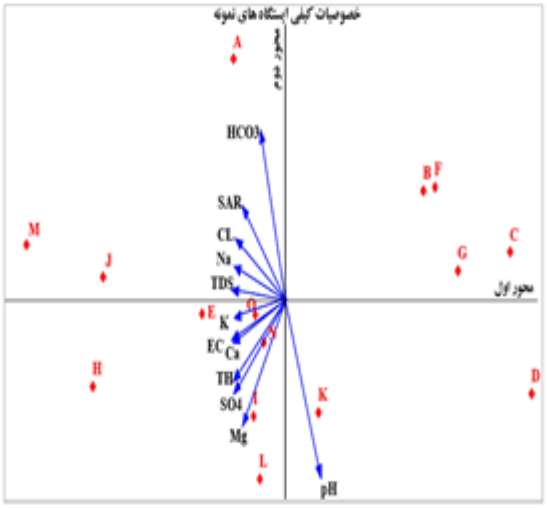
ردیف	متغیر	بردارهای ویژه			
		مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم	مؤلفه چهارم
۱	اراضی شهری	**۰/۷۹۶**	-۰/۰۹۵	-۰/۲۷۱	۰/۱۷۶
۲	جنگل	-۰/۲۸۲	**۰/۶۱۵**	۰/۳۹۷	-۰/۵۲۷
۳	باغ	-۰/۴۶۶	۰/۳۴۳	**-۰/۵۵۲**	۰/۲۶۲
۴	کشاورزی آبی	**۰/۶۳۸**	۰/۵۲۵	۰/۲۲۴	-۰/۱۰۰۰
۵	ترکیب کشاورزی آبی ودیم	**-۰/۶۰۶**	۰/۴۹۲	-۰/۴۶۵	-۰/۰۶۷
۶	کشاورزی دیم	**۰/۷۹۱**	-۰/۳۶۸	-۰/۰۰۲	-۰/۰۳۷
۷	مرتع خوب	-۰/۶۰۹	**-۰/۶۲۰**	-۰/۰۲۸	-۰/۳۸۸
۸	مرتع متوسط	**-۰/۶۳۶**	-۰/۶۲۶	۰/۲۲۷	۰/۱۴۹
۹	مرتع ضعیف	-۰/۴۹۵	۰/۲۷۹	۰/۵۵۲	**۰/۶۳۱**

جدول ۶ مشخصات مؤلفه‌های ایجاد شده با استفاده از بردارهای ویژه‌ی اختصاص یافته به هریک از واحدهای کاربری اراضی را نشان می‌دهد. مطابق نتایج بدست آمده دو مؤلفه‌ی اول ۵۸/۸۲ درصد از کل واریانس داده‌ها را شامل می‌شود. این دو مؤلفه برای داده‌های تحقیق به عنوان مؤلفه‌های اصلی این بخش انتخاب می‌شوند. مقادیر بردارهای ویژه‌ی دو مؤلفه اول نشان می‌دهد که در محدوده‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه، کاربری‌های شهری، کشاورزی دیم، کشاورزی آبی، مراتع متوسط و اراضی ترکیبی دیم-آبی بترتیب بیشترین تأثیر را بر روی تشکیل مؤلفه اول و واحدهای کاربری اراضی جنگلی و مراتع خوب بترتیب بیشترین تأثیر را بر روی تشکیل مؤلفه دوم دارند. بنابراین می‌توان گفت در منطقه مورد مطالعه کاربری‌های اراضی شهری و کشاورزی دیم و آبی عوامل اصلی تعیین کننده، برای خصوصیات کیفی ایستگاه‌های مورد بررسی می‌باشند. موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد بررسی که عمدتاً در حومه‌ی شهر بهبهان و اراضی تحت کشاورزی آبی قرار گرفتند باعث بالا بودن مقادیر ویژه‌ی این کاربری‌ها و در نتیجه نقش مؤثر آنها در تعیین خصوصیات کیفی آبخوان بهبهان شده است.

بررسی مهمترین پارامتر کیفی و کاربری اراضی ایستگاه‌های مورد مطالعه

مطابق با نتایج این بخش می‌توان ایستگاه‌های منطقه را در ۴ گروه با خصوصیات نسبتاً مشابه قرار داد. گروه اول تنها شامل ایستگاه A می‌باشد که دارای خصوصیات کیفی متمایزی با سایر ایستگاه‌ها می‌باشد. در این ایستگاه متغیر کیفی بی‌کربنات (HCO_3) بیشترین نقش را در تمایز این ایستگاه با سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه داشته است (شکل ۳). الگوی کاربری اراضی این ایستگاه نشان می‌دهد که دو کاربری کشاورزی دیم-آبی و باغات (نخلستان) در این ایستگاه نمونه، کاربری غالب تا شعاع ۵ کیلومتری ایستگاه می‌باشد (شکل ۴). غلظت بی‌کربنات با ورود فاضلاب غنی از مواد آلی به درون آبخوان، در اثر دی‌اکسید کربن تولید شده حاصل از این مواد بالا می‌رود (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۱؛ شیرانی و همکاران، ۲۰۱۳). قرار گرفتن ایستگاه A در پائین دست اراضی باغی از یک‌سو و تمرکز مقدار این آلاینده که در اثر جهت شیب جریان در این ایستگاه قابل پیش‌بینی است می‌تواند از دلایل تفاوت ایجاد شده بین ایستگاه A با سایر ایستگاه‌های مورد بررسی از نر داشتن مقدار بی-کربنات باشد.گروه دوم شامل ایستگاه‌هایB، F، G، C و Dمی‌باشد که به لحاظ نزدیکی خصوصیات کیفی در یک طبقه قرار می‌گیرند. این ایستگاه‌ها ضمن تمایز با دیگر ایستگاه‌های مورد مطالعه، همبستگی منفی و نسبتاً شدیدی با سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه، از حیث سایر متغیرهای کیفی مورد مطالعه به‌جزء متغیرهای pH و HCO_3 دارند. در واقع این ایستگاه‌ها از آلایندگی کمتری نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه برخوردار هستند. این گروه عمدتاً در مناطق منطبق بر اراضی با عمق بالای رسوبات و تراز سطح آبخوان می‌باشند (کرمی و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین ویژگی اخیر آبخوان در محدوده‌ی ایستگاه‌های این گروه می‌تواند از دلایل کیفیت برتر این ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه باشد. علاوه بر این، بررسی الگوی کاربری اراضی در این ایستگاه‌ها نشان دهنده‌ی غالب بودن کاربری‌های کشاورزی دیم-آبی و کاربری‌های مرتعی با درجات مختلف ضعیف، متوسط و خوب می‌باشد (شکل ۴). این کاربری‌ها که همخوانی بیشتری با شرایط بکر و طبیعی دارند، نمی‌توانند اثر هم-افزایی بر میزان آلاینده‌های طبیعی داشته باشند، بنابراین در این ایستگاه‌ها میزان آلاینده‌ها بیشتر متأثر از جنس سازند در برگیرنده‌ی آبخوان می‌باشد (بالخیر و همکاران، ۲۰۱۲؛ مهمندوستی و ادبی، ۲۰۱۳). دیگر طبقه‌ی قابل تمایز شامل ایستگاه‌های K،L و I می‌باشد که عمدتاً در محدوده‌های با کاربری غالب کشاورزی دیم واقع شده‌اند. در این ایستگاه‌ها نزدیکی مقادیر متغیرهای کیفی pH و Mg وجه تمایز گروه، با دیگر گروه‌هایشناخته شده می-باشد. در واقع در این گروه متغیرهای کیفی pH و Mg ضمن اینکه باعث قرار گرفتن ایستگاه‌های K، L و I در یک طبقه شده‌اند، باعث تمایز ایستگاه‌های این طبقه با سایر ایستگاه‌ها شدند. آخرین گروه از ایستگاه‌های مورد مطالعه شامل ایستگاه‌های E، O، N، H، J و M می‌باشد. در این گروه، کاربری‌های شهری و کشاورزی آبی، کاربری غالب ایستگاه تا شعاع ۵ کیلومتری می‌باشند. ایستگاه‌های این گروه که همبستگی مثبت و شدیدی با اکثر آلاینده-های کیفی همچون Na، TDS، K، EC، Ca و TH دارند، در واقع دارای بیشترین آلایندگی در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشند. در این بین می‌توان ایستگاه‌های

M، H وJ را بترتیب به عنوان آلوده‌ترین ایستگاه مورد مطالعه تحقیق حاضر انتخاب معرفی نمود. ایستگاه‌های M، H و J که در محدوده‌ی شهر بهبهان واقع شده‌اند بیشترین تأثیر پذیری را نفوذ فاضلاب شهری به درون آبخوان نشان دادند. نتایج اخیر با در نظر گرفتن موقعیت ایستگاه‌ها (شکل ۱)، عمق کم سازند و بالا بودن سطح آبخوان در محدوده‌ی این ایستگاه‌ها (کرمی و همکاران، ۲۰۱۲)، جهت شیب جریان که فاضلاب شهری و کشاورزی نفوذ یافته را در ایستگاه‌های گروه اخیر متمرکز می‌سازد و همچنین افزایش اراضی با کاربری شهری و کشاورزی آبی طی سالیان اخیر در این مناطق (کرمی و همکاران، ۲۰۱۲)، قابل توجیه می‌باشند. بنابراین می‌توان اذعان نمود در این گروه، فعالیت‌های انسانی و بازخورد آنها بر روی محیط زیست بیشترین نقش را در تعیین میزان کیفیت آب داشته



شکل ۳- متغیرهای کیفی استخراج شده با استفاده از روش PCA.

شکل ۴- واحدهای کاربری اراضی استخراج شده با استفاده از روش PCA.

ارزیابی کیفیت آب چاه‌ها از نظر شرب

نتایج آزمایش‌های مربوط به کیفیت شیمیایی آب چاه‌ها طی ۱۰ سال با توجه به نمودار طبقه بندی شولر (مقایسه جدول ۱ با جدول ۸) نشان می‌دهد پارامترهای کیفی در ایستگاه‌های B، C، D، F و G از حداکثر مجاز در استانداردهای ایران فراتر نرفته است. لذا کیفیت آب ایستگاه‌های مذکور برای آشامیدن مناسب می‌باشد. ملکوتیان و کرمی (۲۰۰۴) جهت بررسی تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت بم از این روش استفاده نمودند.

جدول ۸- طبقه بندی آب آشامیدنی طبق نظریه شولر (توماس، ۱۹۹۶).

طبقه بندی آبها برای آشامیدن	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	SO4 mg/l	Cl mg/l
قابلیت شرب(خوب)	۷/۳	۲۰	۴/۵	۶۹	۳۷	۲۸
قابلیت شرب(قابل قبول)	۷/۸	۲۵	۶	۷۳	۴۸	۳۵
نامناسب	۹	۸۵	۳۷	۱۰۴	۵۷	۵۴
بد	۱۰	۱۳۰	۷۲	۷۳۰	۶۵۰	۵۵۰
قابل استفاده در شرایط اضطراری	۱۱	۱۷۵	۸۵	۸۸۰	۷۲۰	۶۰۳
غیر قابل شرب	>۱۱	۲۴۰	۱۴۴	۱۱۵۰	۹۶۰	۱۲۴۲

نتیجه‌گیری

با توجه به ضرورت ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی در مدیریت منابع آبی، در این تحقیق از روش‌های آماری چندمتغیره و توصیفی برای ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت بهبهان استفاده شده است. بر این اساس از آمار ۱۰ ساله مربوط به ۱۲ متغیر کیفی در ۱۵ حلقه چاه استفاده شده است. آنچه از نتایج این تحیق می‌توان دریافت شامل موارد زیر می‌باشد.

۱. تمامی متغیرهای مورد مطالعه در این تحقیق، صرفنظر از شدت تأثیرگذاری که در تعیین خصوصیات کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه دارند، برای ارزیابی کیفیت این منابع مهم و ضروری می‌باشند.

۲. در مناطقی که بنا به هر دلیلی سطح آبخوان بالا آمده و به سطح زمین نزدیک بوده، نفوذ آلاینده‌های انسان‌ساخت به درون آبخوان تسهیل یافته و موجب آلودگی غیرمتعارف آبخوان در این گونه مناطق شده است.

۳. کیفیت آبخوان به شدت متأثر از بازخوردهای محیطی می‌باشد. بطوریکه در مناطقی که شرایط منطقه با محیط زیست طبیعی همخوانی بیشتری داشت، آبخوان مورد مطالعه از کیفیت بالاتری برخوردار بود.

۴. مدیریت و سامان‌دهی فاضلاب‌های شهری و کشاورزی، اجرای طرح‌های آبخوان‌داری و آبخیزداری در مناطق مستعد منطقه می‌تواند به بهبود کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان بهبهان کمک نماید.

۵. نتایج بدست آمده در این تحقیق ویژه‌ی آب‌های زیرزمینی دشت بهبهان می‌باشد و با توجه به نقش گسترده‌ی شرایط محیطی در کنترل خصوصیات آب‌های زیرزمینی، قابل بسط به سایر مناطق نمی‌باشند.

۶. نتایج حاصل از مقایسه پارامترهای کیفی ایستگاه‌های نمونه‌برداری (چاه) با طبقه بندی آب آشامیدنی طبق نظریه شولر بیان می‌کند تنها ایستگاه‌های B، C، D، F و G به لحاظ شرب قابل آشامیدن می‌باشند.

منابع:

1) Alberto, W. D., del-Pilar, D. M., Valeria, A. M., Fabiana, P. S., Cecilia, H. A. and de-los-Ángeles, B. M. 2001. Pattern Recognition Techniques for the Evaluation of Spatial and Temporal Variations in Water Quality. A Case Study: Suquía River Basin (Córdoba–Argentina). Water research, 35(12): 2881-2894.

2) Belkhiri, L., Mouni, L. and Tiri, A. 2012. Water–rock interaction and geochemistry of groundwater from the Ain Azel aquifer, Algeria. Environmental Geochemistry and Health. 34(1): 1-13.

3) Elhatip, H., Afşin, M., Dirik, K., Kurmaç, Y. and Kavurmacı, M. 2003. Influences of Human Activities and Agriculture on Groundwater Quality of Kayseri-Incesu-Dokuzpınar Springs, Central Anatolian Part of Turkey. Environmental Geology. 44(4): 490-494.

4) Fan, X., Cui, B., Zhao, H., Zhang, Z. and Zhang, H. 2010. Assessment of River Water Quality in Pearl River Delta Using Multivariate Statistical Techniques. Procedia Environmental Sciences. 2: 1220-1234.

5) Faryadi, S., Shahedi, K. and Nabatpoor, M. 2012. Investigation of Water Quality Parameters in Tadjan River using Multivariate Statistical Techniques. Journal of Watershed Management Research. 3(6): 75-92(In Persian).

6) Fujita, M., Suzuki, J., Sato, D., Kuwahara, Y., Yokoki, H. and Kayanne, H., 2013. Anthropogenic impacts on water quality of the lagoonal coast of Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu. Sustainability science, 8(3), pp.381-390.

7) Garduño, H., Saleem, R., Sengupta, B. 2011. India Groundwater Governance Case StudyWater Papers: 9-10, see http://www.worldbank.org/water.

8) Hassanzadeh, R., Abbasnejad, A. and Hamzeh, M. A. 2011. Assessment of Groundwater Pollution in Kerman Urban Areas. Journal of Environmental Studies. 36(56):101-110(In persian).

9) Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Fernandez, J. M. and Fernandez, L. 2000. Temporal Evolution of Groundwater Composition in An Alluvial Aquifer (Pisuerga River, Spain) By Principal Component Analysis. Water Research. 34(3). pp.807-816.

10) Hou, W., Sun, S., Wang, M., Li, X., Zhang, N., Xin, X., Sun, L., Li, W. and Jia, R. 2016. Assessing Water Quality of Five Typical Reservoirs in Lower Reaches of Yellow River, China: Using a Water Quality

11) Jeong, C. H. 2001. Effect of Land Use and Urbanization on Hydrochemistry and Contamination of Groundwater from Taejon Area, Korea. Journal of Hydrology. 253(1): 194-210.

12) Jung, K. Y., Lee, K. L., Im, T. H., Lee, I. J., Kim, S., Han, K. Y. and Ahn, J. M. 2016. Evaluation of Water Quality for the Nakdong River Watershed Using Multivariate Analysis. Environmental Technology and Innovation. 5, pp.67-82.

13) Kalantari, N. and Majedi, H. R. 2008. Application of Verification in Groundwater Flow Simulation Using PMWIN and MODFLOW Computer Codes (A Case Study of Behbehan Plain Aquifer Modeling). Applied Geology. 4(1): 56-64(In Persian).

14) Kamali-Maskooni, E., Kompanizare, M. and Afzali, S. F. 2017. Chemical Assessment of Dam Water Irrigation Effects on Groundwater Qualities in Bigherd Plain, Fars Province, Iran. Environmental Earth Sciences. 76:238.

15) Karami, R., lashkaripour, G. R., Ghafari, M. and Hafazi-Moghadas, N. 2012. Investigating the Causes of Increasing Water Table in the Baghlan Area (Case study: Dewatering the Marl Mine of Behbahan Cement Factory). Advanced Applied Geology. 2(6): 74-79 (In Persian).

16) Li, X. D., Liu, C. Q., Harue, M., Li, S. L. and Liu, X. L. 2010. The Use of Environmental Isotopic (C, Sr, S) and Hydrochemical Tracers to Characterize Anthropogenic Effects on Karst Groundwater Quality: a Case Study of the Shuicheng Basin, SW China. Applied Geochemistry. 25(12): 1924-1936.

17) 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): 77-89.

18) Malakoonian, M. and Karami, A. 2004. Chemical Quality Change of the Underground Water Resources of Bam and Baravat Plain between 1997-2003. Hormozgan Medical Journal. 8(2):109-116(In Persain).

19) Mehmandosti, E. A. and Adabi, M. H. 2013. Application of Geochemical Data as Evidence of Water-rock Interaction in the Sarvak Formation, Izeh Zone, Zagros, Iran. Procedia Earth and Planetary Science. 7: 31-35.

20) Mirzayi, M., Riyahi-Bakhtiyari, A., Salman-Mahini, A. R. Gholamalifard, M. 2014. Analysis of the Physical and Chemical Quality of Mazandaran Province (Iran) Rivers Using Multivariate Statistical Methods. Jornal of Mazandaran University Medical Sciences. 23(108):41-52(In Persian).

21) Monjerezi, M., Vogt, R. D., Aagaard, P. and Saka, J. D. 2011. Hydro-geochemical Processes in an Area with Saline Groundwater in Lower Shire River valley, Malawi: an Integrated Application of Hierarchical Cluster and Principal Component Analyses. Applied Geochemistry. 26(8): 1399-1413.

22) Nazari, R. Joodavi, A. 2014. Applied Flow and Contaminant Transport Modeling in Aquifers. Pp: 230(In Persian).

23) Noori, N., Kerachian, R., Khodadadi-Darban, A. and Shakibaienia A. 2007. Assessment of Importance of Water Quality Monitoring Stations Using Principal Components Analysis and Factor Analysis: A Case Study of the Karoon River. Journal of Water and Wastewater. 18(3): 60-69(In Persian).

24) Ouyang, Y. 2005. Evaluation of River Water Quality Monitoring Stations by Principal Component Analysis. Water Research. 39(12): 2621-2635.

25) Parinet, B., Lhote, A. and Legube, B. 2004. Principal Component Analysis: an Appropriate Tool for Water Quality Evaluation and Management—Application to a Tropical Lake System. Ecological Modelling. 178(3): 295-311.

26) Primpas, I., Tsirtsis, G., Karydis, M. and Kokkoris, G. D. 2010. Principal Component Analysis: Development of a Multivariate Index for Assessing Eutrophication According to the European Water Framework Directive. Ecological Indicators. 10(2): 178-183.

27) Rasi-Nezami, R., Nazariha, M., Baghvand, A. and Moridi, Ali. 2013. Karkheh Index Method. Ecological Indicators. 61: 309-316.

River Water Quality Using Multivariate Statistical Analysis and Qualitative Data Variations. Journal of Health System Research. 8(7): 1280-1292 (In Persian).
28) Rezaee, R., zaree, H., Kalantari, N. and Aliyari, Z. 2016. Water Quality Assessment of Maroon Dam Reservoirs Using Multivariate Statistical Analysis Method Based on Correlation and Variation of Water Quality Data, Bebhan. Journal of Advanced Applied Geology. 7(19): 82-88(In Persian).
29) Shahsavari, A. and Khodaee, K. 2006. Preparation of the Groundwater Flow Model of the Bakhbon Plain Aquifer Using GIS. Ninth congress of Iran geology. Trabiat Modares University. 61-70(In Persian).
30) Sharifinia, M., Mahmoudifard, A., Gholami, K., Namin, J. I. and Ramezanpour, Z. 2016. Benthic diatom and Macroinvertebrate Assemblages, a Key for Evaluation of River Health and Pollution in the Shahrood River, Iran. Limnology. 17(1): 95-109.
31) Sheikholeslami, N., Ghahraman, B., Mosaedi, A., Davary, K. and Mohejerpour, M. 2014. Estimating Reference Evapotranspiration by Using Principal Component Analysis (PCA) and The Development of a Regression Model (MLR-PCA) (Case Study: Mashhad Station). Journal of Water and Soil. 28(2): 420-429(In Persian)
32) Shirani, Z., Abbaspour, M., Javid, A. H. and Taghavi, L. 2013. Assessment of Groundwater Pollution Sources in the Urban Environment (Case Study: Tehran Municipality of District 14). Journal of Human and Environment. 11(1): 1-16(In Persian).
33) Sojka, M., Siepak, M., Zioła, A., Frankowski, M., Murat-Błażejewska, S. and Siepak, J. 2008. Application of Multivariate Statistical Techniques to Evaluation of Water Quality in the Mała Wełna River (Western Poland). Environmental Monitoring and Assessment, 147(1-3):159-170.
34) Statistical Central of Iran. 2010. Estimated City Population of the Country.
35) Thomas NV.1996. Global water quality standards. Ground Water.
36) Tran, V. X. 2003. Groundwater Pollution in Hochiminh City and it's Prevention-case Study, Annual Report of FY 2001, The Core University Program between Japan society for the Promotion of Science (JSPS) and National Centre for Natural Science and Technology (NCST) ,Volume .P.1-P.7,pp.4-5.
37) Vega, M., Pardo, R., Barrado, E., Debán L. 1998. Assessment of Seasonal and Polluting Effects on the Quality of River Water by Exploratory Data Analysis. Water research. 32(12): 3581-3592.
38) Vijay, R., Khobragade, P., Mohapatra PK. 2011. Assessment of Groundwater Quality in Puri City, India: an Impact of Anthropo-genic Activities. Environmental Monitoring Assessment. 177(1–4):409–418.
39) Wallis, J. R. 1968. Factor Analysis in Hydrology: An Agnostic View. Journal of Water Resources Research. 4(3): 521-527.
40) Zhang, B., Song, X., Zhang, Y., Han, D., Tang, C., Yu, Y., Ma, Y. 2012. Hydro Chemical Characteristics and Water Quality Assessment of Surface Water and Groundwater in Songnen plain, Northeast China. Water Research. 46(8): 2737-2748.