مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۱، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷
ص ۶۵۷-۶۴۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۰۲
تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۲/۲۹

بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان مشهد با استفاده از GIS و روش‌های آماری چند متغیره

❖ **محبوبه سربازی؛** دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

❖ **سادات فیض‌نیا*؛** استاد دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

❖ **محمد مهدوی؛** استاد بازنشسته دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

کیفیت آب همواره یکی از چالش‌های مهم مدیران و تصمیم‌گیرندگان در مدیریت جامع منابع آب است. این در حالی است که مشکلات کیفیت آب نسبت به کمیت آن از اهمیت بیشتری برخوردار است. یکی از مهم‌ترین روش‌ها در بررسی دقیق کیفیت منابع آب و ارزیابی آن، استفاده از روش‌های آماری چند متغیره است، که اکثر تغییرات یک سیستم، به منظور شناسایی عوامل مهم و تأثیرگذار را می‌تواند شرح دهد. این پژوهش به منظور پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان مشهد به لحاظ قابلیت کشاورزی و بررسی کیفیت آن انجام شده است. بدین منظور ابتدا کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی بررسی و بر مبنای آن نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ تهیه گردید. سپس با بررسی نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه، واحدهای تخریب‌کنندهٔ کیفیت منابع آب تهیه و اثر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب بررسی گردید. در نهایت ۱۰ متغیر مهم کیفی آب مربوط به داده‌های ۳۹ چاه انتخابی آبخوان، با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از تحلیل عاملی برای تعیین مهم‌ترین متغیرها، تحلیل خوشه‌ای برای تعیین گروه‌های همگن متغیرها و همبستگی پیرسون برای بررسی روابط بین متغیرها استفاده گردید. به طور کلی نتایج، ارتباط عوامل بررسی شده را تأیید می‌کند، به نحوی که سازندهای زمین‌شناسی تأثیر مهمی بر روی کیفیت آب زیرزمینی داشته‌اند. همچنین نتایج تحلیل عاملی نشان داد که EC و TDS با توجیه مجموع ۷۱/۰۲ درصد واریانس با بار عاملی ۰/۹۸ و pH با توجیه مجموع ۱۴/۹۱ درصد واریانس با بار عاملی ۰/۹۳ از مهم‌ترین عوامل مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی محدودهٔ مطالعاتی هستند.

کلید واژگان: کیفیت آب زیرزمینی، زمین‌شناسی، GIS، روش‌های آماری چند متغیره، آبخوان مشهد.

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۰۹۸۲۶۳۲۲۲۳۰۴۴+
Email: sfeiz@ut.ac.ir

۱. مقدمه

با توجه به رشد روزافزون جمعیت، آب زیرزمینی یکی از منابع مهم تأمین آب آشامیدنی در بسیاری از مناطق جهان، از جمله ایران به شمار می‌آید. منابع آب در نقاط مختلف به صورت طبیعی یا از طریق فعالیت‌های انسانی دچار تغییر کیفیت و آلودگی می‌شوند [۱۵]. در سال‌های اخیر استفاده از مواد شیمیایی و سموم مختلف در کشاورزی و دامداری در مناطق مختلف باعث تشدید آلودگی آب‌های زیرزمینی شده است. منابع آب زیرزمینی در کشور ایران و بسیاری از کشورهای دیگر که آب و هوایی مشابه دارند، از جمله مهم‌ترین منابع آب مورد استفاده در کشاورزی و شرب محسوب می‌شود. از سوی دیگر خطر آلودگی کمتر این منابع نسبت به دیگر روش‌های استحصال آب، باعث گشته که حتی در مناطقی که کمبودی از لحاظ آب سطحی احساس نمی‌شود، استفاده از منابع آب زمینی رونق داشته باشد. کیفیت آب‌های زیرزمینی همچون آب‌های سطحی دائماً در حال تغییر است. بنابراین ضروری است تا با تمهیدات مدیریتی صحیح و ارائهٔ برنامه‌ها و راهکارهای مناسب، در جهت بهبود بخشیدن وضع موجود و جلوگیری از پدید آمدن بحران آب، گام برداشته شود. تهیهٔ نقشه‌های بهنگام تغییرات کیفیت آب، شوری و املاح می‌تواند گام مهمی در بهره‌برداری صحیح از منابع آب باشد. در این راستا، به کارگیری سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) به علت ارائهٔ تصویری صحیح از وضعیت کیفی منابع آب امری ضروری می‌نماید، تا به کمک آن بتوان هر گونه تصمیم‌گیری مدیریتی که آثار زیست محیطی آن به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم متوجه حوضهٔ آبخیز باشد را با آگاهی بیشتری اتخاذ کرد. در مورد مطالعهٔ کیفیت آب‌های زیرزمینی در ایران و جهان مطالعات گوناگونی صورت گرفته است.

در مطالعه‌ای نقش سازندهای مختلف زمین‌شناسی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی شمال شهر خرم‌آباد بررسی گردید. بر اساس نتایج حاصل از تجزیهٔ شیمیائی نمونه‌های آب گرفته شده از سازندهای زمین‌شناسی مختلف، مشخص گردید، جنس سازندهای زمین‌شناسی دارای مخازن کارستی می‌تواند بر کیفیت آب این منابع تأثیر بسزایی داشته باشد [۴]. همچنین در مطالعه‌ای نقش سازندهای مختلف زمین‌شناسی بر کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی بالادست حوضهٔ آبخیز آجی‌چای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که املاح آب‌های زیرزمینی در مسیر حرکت از پایکوه‌های اطراف به سمت غرب منطقه افزایش یافته و ترکیبات شیمیایی آن‌ها تغییر می‌یابد. دلیل این تغییر، وجود سنگ‌های رسوبی و نهشته‌های تبخیری میوسن در غرب منطقه است [۱۰].

در مطالعه‌ای دیگر کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان با استفاده از GIS مورد بررسی قرار گرفت. پهنه‌بندی کیفی بر اساس طبقه‌بندی شولر و پهنه‌بندی کشاورزی بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس انجام گردید. با توجه به نقشه‌های به دست آمده می‌توان به راحتی وضعیت کیفی آب زیرزمینی را از لحاظ شرب و کشاورزی مورد بررسی قرار داد و با به روز کردن اطلاعات، مدیریت بهتری را بر روی کیفیت آب منطقه اعمال کرد و در هر زمان از وضعیت کیفی آب زیرزمینی دشت زنجان مطلع شد [۱]. کیفیت شیمیایی آب شرب روستایی دشت بیرجند و قائن نیز به صورت آماری- توصیفی با استفاده از دیاگرام شولر و همچنین تجزیه و تحلیل پارامترهای آن (مواد جامد محلول، هدایت الکتریکی، کلر، سدیم، سولفات و سختی کل) بررسی گردید و نتایج نشان داد، آب شرب مناطق مورد مطالعه در وضعیت خوب تا نامناسب قرار دارند [۱۳].

به منظور بررسی کیفیت آب رودخانه‌های استان گیلان، از تحلیل عاملی برای مهم‌ترین پارامتر کیفی آب و از تحلیل خوشه‌ای برای تعیین گروه‌های همگن پارامترهای کیفی آب، همچنین برای بررسی روابط آن‌ها از همبستگی داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت [۱۱]. کاربرد روش‌های آماری چند متغیره برای تفسیر مجموعه داده‌های انبوه به‌دست آمده در طول برنامهٔ پایش آب سطحی در شمال یونان مورد مطالعه قرار گرفت [۱۶]. در

مطالعه‌ای دیگر روش‌های تجزیهٔ مؤلفهٔ اصلی برای ارزیابی همبستگی پارامترهای کیفی آب و تحلیل عاملی برای تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر تغییرات فصلی کیفیت آب رودخانه‌ای در ایالت فلوریدا استفاده گردید [۱۲].

در رودخانهٔ یانگ تسه چین پارامترهای فلزات سنگین، نیتروژن و فسفر، اندازه‌گیری و با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره کیفیت آب سطحی در مناطق صنعتی و مناطق با پوشش گیاهی در مراحل ابتدایی توسعهٔ شهری مقایسه گردید [۱۹]. روند تغییرات کیفی برخی از رودخانه‌های کرهٔ جنوبی مورد مطالعه قرار گرفت و به کمک GIS این روند بررسی و تحلیل گردید [۶]. در مطالعه‌ای دیگر مدل کیفی آب رودخانه‌ای در ترکیه توسط نرم‌افزاری مبتنی برGIS واسنجی شد و در نهایت یک نرم‌افزار در محیط GIS برای مدل‌سازی کیفیت آب ارائه گردید [۱۸]. در شبکهٔ رودخانه یووا در آمریکا با استفاده از GIS کیفیت آب بررسی و روابطی برای آن ارائه گردید، نتایج نشان داد که در بررسی کیفیت آب رودخانه رگرسیون مکانی دقت بیشتری دارند [۱۷]. در مطالعه‌ای دیگر تغییرات ویژگی‌های هیدروشیمیایی آب‌های سطحی شرق حوضهٔ رودخانهٔ نیجر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد کاربرد روش‌های آماری چند متغیره (همبستگی، تحلیل عاملی و خوشه‌ای) برای متغیرهای هیدروشیمیایی به صورت غالب تحت تأثیر عوامل طبیعی و درجهٔ فعالیت‌های انسانی است [۳].

در یک تحقیق عوامل مؤثر بر هیدروژئوشیمی آبخوان زاهدان با استفاده از روش‌های تحلیل عاملی، نمایه‌های اشباع و نمودارهای ترکیبی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تحلیل عاملی نمونه‌ها نشان داد که دو عامل اصلی طبیعی و انسانی در مهرماه به ترتیب ۶۵/۲۵ و ۱۸/۵ درصد و در بهمن ماه به ترتیب ۵۸/۸۲ و ۱۵/۵۶ درصد تغییرات کیفی آب زیرزمینی را کنترل می‌کند. عامل اول که مرتبط با فرآیندهای طبیعی تبادل یونی و انحلال است، با یون‌های Ca، Mg^{2+}، Na^{+}، Cl^{-}، K^{+} و SO_4^{2-} ارتباط داشته و عامل دوم که با یون‌های No_3^{-} و Ca_2^{+} ارتباط دارد، به فعالیت انسانی بستگی دارد [۷].

به منظور بررسی کیفیت آب رودخانهٔ اوگان (جنوب غربی نیجریه)، داده‌های کیفیت آب برای ۸ نقطه طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ نمونه‌برداری گردید. با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره از قبیل تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل خوشه‌ای (CA)، ۱۴ پارامتر فیزیکی- شیمیایی از جمله دما، PH، TS، TDS و ... مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد دما، TS و $NO3^{-}$ مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت آب در این سال‌ها بوده است. این نتایج می‌تواند برای کاهش تعداد نمونه برداری‌ها و جلوگیری از اتلاف زمان در تحلیل اطلاعات استفاده گردد [۲].

در مطالعه‌ای دیگر، عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی جوین با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی ارزیابی شد. برای دستیابی به این هدف، از ۲۲ چاه در محدودهٔ مطالعاتی در خرداد ماه ۱۳۸۸نمونه‌برداری شد. پارامترهای فیزیکی دما، DO، pH و EC در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری گردید. سپس روش‌های آماری چند متغیره مانند تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مؤلفهٔ اصلی، تحلیل عاملی برای بررسی ترکیبات شیمیایی آب زیرزمینی و مشخص کردن عوامل و میزان تأثیر هر کدام استفاده شد. در نهایت چهار عامل اصلی تکامل هیدروشیمیایی، توده‌های کرومیتی و معدن کاری، فرسایش و شرایط اکسیدی آب شناسایی گردید [۸].

در یک تحقیق تغییرات مکانی کیفیت آب‌های سطحی لاگوس (نیجریه) مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌های آب-های سطحی از ۷ مکان طی ۴ مرحله پیمایش زمینی (جولای و آگوست ۲۰۱۱) جمع‌آوری گردید. ۲۵ پارامتر کیفی از جمله TDH، TH، SO42-، NO3، Zn، Ca و ... مورد بررسی قرار گرفت. برای نشان دادن تغییرات مکانی منابع آلودگی از روش‌های آماری چند متغیره استفاده گردید. نتایج حاصل از تحلیل عاملی نشان داد،

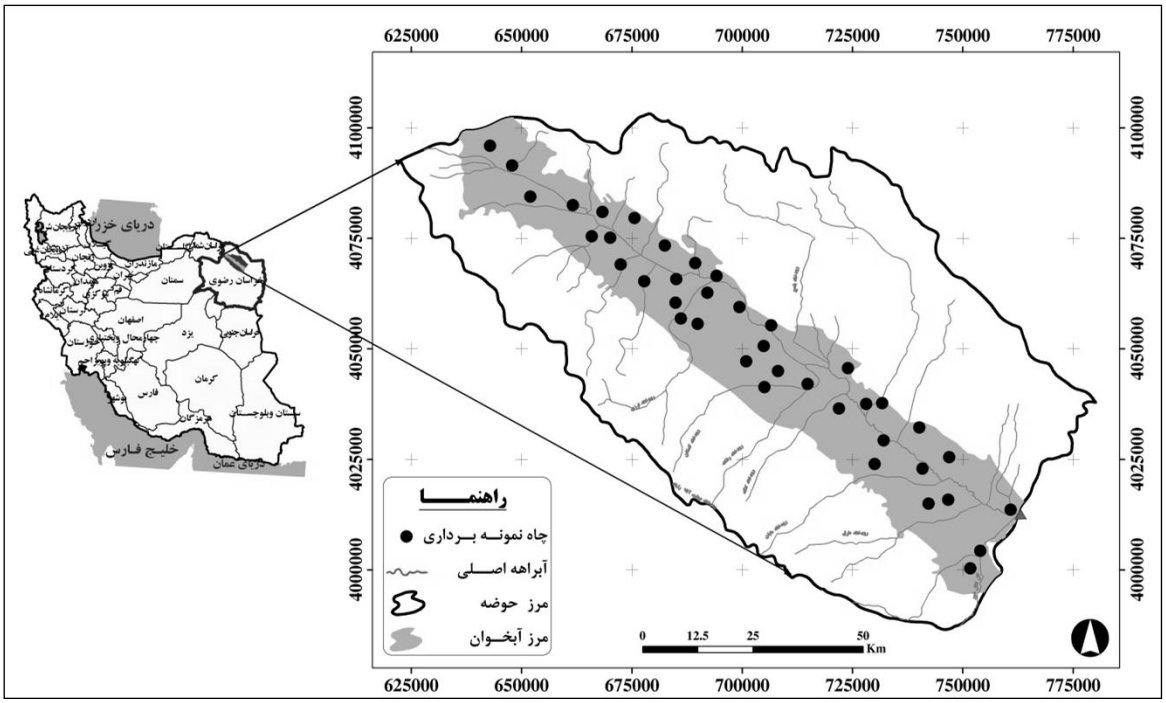
پارامترهای مؤثر بر تغییرات کیفیت آب به طور عمده، اثرات فلزات، مواد معدنی، مواد غیر آلی و آلودگی‌های آلی ۸۱/۸۳ درصد از کل واریانس را توجیه می‌کند. در نهایت اعلام گردید پایش کیفیت منابع آب و کنترل آزادسازی پساب‌های انسانی در این منطقه امری ضروری است [۹].

با توجه به این که مدیریت کیفی منابع آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین مسائل و دغدغه‌های روز می‌باشد که بایستی با دقت و با استفاده از روش‌های نوین و کارآمد مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. کنترل تغییرات کیفی در مقاطع زمانی مختلف علاوه بر آشکارسازی وضعیت کیفی منابع آب، امکان ردیابی علل کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی و پیشگیری از آلودگی آبخوان و ارائهٔ راهکار را میسر می‌سازد. در این راستا هدف از این تحقیق پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان مشهد به لحاظ قابلیت کشاورزی و بررسی کیفیت آن در دههٔ اخیر و بررسی اثر سازندهای زمین شناسی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی محدودهٔ آبخوان آبرفتی دشت مشهد می‌باشد. همچنین به منظور کاهش تعداد نمونه برداری‌ها و صرفه-جویی در هزینه و زمان تحلیل اطلاعات، ارزیابی ۱۰ متغیر کیفی (Na، Ca، Cl، Mg، So4، Hco3، EC، SAR، TDS، PH) آب‌های زیرزمینی آبخوان مشهد با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره، برای شناسایی و استخراج عوامل مهم و مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی در منطقهٔ مطالعاتی انجام گرفت.

۲. روش‌شناسی

۱،۲. معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

حوضهٔ آبخیز دشت مشهد تقریباً در مرکز استان خراسان رضوی و در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲۲ دقیقه ۶۰ درجه و ۷ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲ دقیقه واقع شده است و یکی از زیرحوضه‌های قره‌قوم می‌باشد. دشت مشهد شامل شهرستان‌های مشهد و چناران و قسمتی از قوچان می‌باشد (شکل ۱).

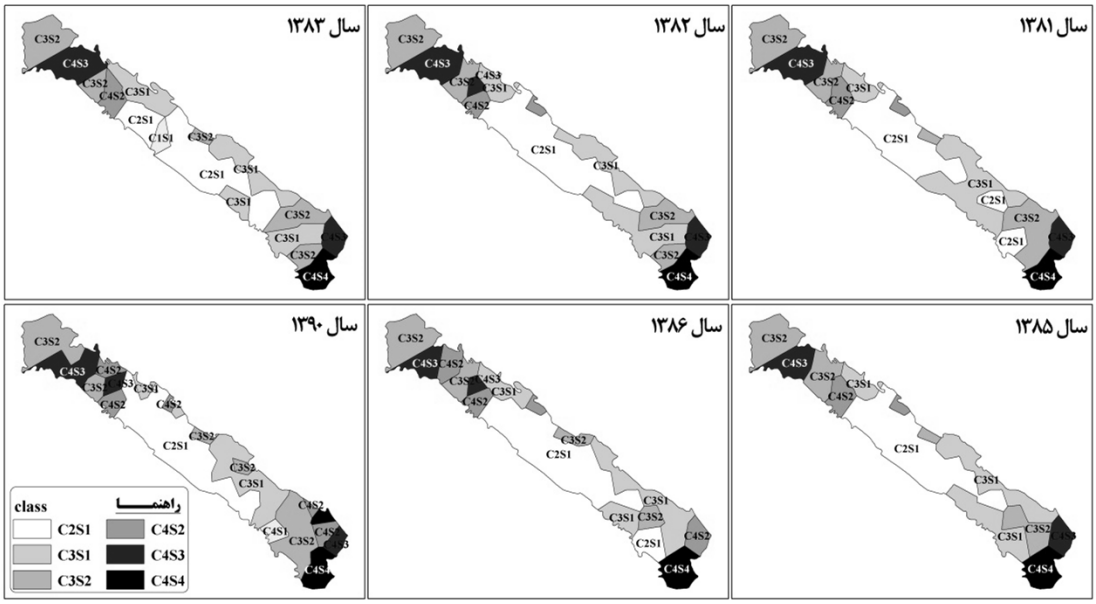


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

اقلیم منطقهٔ طبق روش آمبرژه خشک تا نیمه‌خشک سرد تعیین شده است و بارندگی متوسط سالانهٔ آن ۲۳۵/۹۶ میلی‌متر می‌باشد. مساحت این محدودهٔ مطالعاتی برابر ۹۹۰۹ کیلومتر مربع می‌باشد که ۶۳۳۶ کیلومتر مربع آن را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. دشت مشهد از نظر ژئومورفولوژی به صورت یک فرورفتگی است که بین ارتفاعات هزار مسجد در شمال و کوه‌های بینالود در جنوب قرار گرفته و سازندهای مختلف زمین‌شناسی از دوران پرکامبرین تا اواخر دوران سوم در این حوضه یافت می‌شود. رسوبات دورهٔ کواترنری که آبخوان دشت را تشکیل داده از مواد فرسایش یافته و حمل شده این سازندها می‌باشد. بخشی از محدوده جنوب شرقی دشت به وسعت تقریبی ۲۷۰ کیلومترمربع، که اکنون گستره شهر مشهد در آن واقع است، محدودهٔ سفرهٔ آب زیرزمینی شهر مشهد را تشکیل داده است. واقع گردیدن شهر مشهد در این محدودهٔ مطالعاتی، بر اهمیت آن از جنبه‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی و سیاسی افزوده است.

به منظور ارزیابی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی محدودهٔ مطالعاتی مشهد از اطلاعات مربوط به سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰ استفاده گردید. چاه‌های بهره‌برداری آبخوان‌های آبرفتی از نظر تعداد و میزان تخلیه حائز اهمیت بوده و برای پایش منابع آب ضرورت دارد که تعدادی از چاه‌ها به عنوان چاه‌های شاخص که در شرایط متفاوت هیدروژئولوژیکی و در بخش‌های مختلف آبخوان می‌باشد، انتخاب گردد. در این تحقیق نیز تعدادی نمونه که پراکندگی مناسب در سطح آبخوان داشتند و آمار آن‌ها در طی سال‌های مورد بررسی تکمیل بود، انتخاب گردید. سپس کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی با استفاده از دیاگرام ویلکوکس مورد بررسی قرار گرفت.

عموماً جهت طبقه‌بندی آب برای مصارف کشاورزی از دیاگرام ویلکوکس استفاده می‌شود. در این دیاگرام بر اساس دو فاکتور درصد جذب سدیم آب (SAR) و هدایت الکتریکی (EC) کیفیت آب برای کشاورزی مشخص می‌گردد. با توجه به این دیاگرام، آب‌ها به ۱۶ رده از C1S1 تا C4S4 تقسیم‌بندی می‌شوند که C1S1 دارای بهترین کیفیت و C4S4 دارای بدترین کیفیت برای آب مصرفی کشاورزی می‌باشد. بر این اساس نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی سال‌های مذکور تهیه گردید (شکل ۲). بدین ترتیب که با کمک نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از روش تیسن کیفیت شیمیایی نقاط به صورت محدوده‌هایی تفکیک و نوع کلاس کیفیت هر محدوده مشخص گردید.



شکل ۲. نقشهٔ کیفیت آب سال‌های مورد مطالعه

سنگ‌های تبخیری به‌دلیل اثر شورکنندگی بر منابع آب و تخریب آب‌های شیرین از نظر هیدروژئولوژی دارای اهمیت خاص خود بوده و شامل مارن، مارن گچ‌دار، گچ و نمک می‌باشند. این سنگ‌ها در دامنهٔ شمالی ارتفاعات مشهد به‌صورت لایه‌های گچ، نمک، ژیپس ظاهر گردیده که اثر کیفی نسبتاً نامطلوبی بر جریان‌های آب‌های زیرزمینی، در مناطقی که بیرون‌زدگی دارند گذاشته است. با توجه به این که سازندهای تبخیری تخریب‌کنندهٔ کیفیت شیمیایی منابع آب و سازندهای حساس به فرسایش و تولید رسوب، تخریب‌کنندهٔ کیفیت فیزیکی منابع آب هستند، با بررسی نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه، واحدهای تخریب‌کنندهٔ کیفیت منابع آب تفکیک گردید و اثر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب بررسی گردید. (جدول۱). بر این اساس واحدهای Jks، N و PlQm تخریب‌کنندهٔ کیفیت فیزیکی و شیمیایی، واحد Ksr و TRjm تخریب‌کنندهٔ کیفیت فیزیکی و واحد Qf تخریب‌کنندهٔ کیفیت شیمیایی می‌باشند [۱۴].

جدول۱. واحدهای تخریب‌کنندهٔ کیفیت منابع آب از نظر زمین شناسی

علامت	خصوصیات سنگ شناسی	اسم سازند
Qf	دشت سیلابی، کفه گلی	_
PlQm	مارن رس	_
N	مارن ژیپسی، رس سنگ، ماسه سنگ	
Ksr	مارن، شیل	سرچشمه
Jks	شیل، ژیپس سنگ، ماسه سنگ	شوریجه
TRjm	شیل فیلیتی	فیلیت مشهد

واحدهای تخریب‌کنندهٔ کیفیت آب به طریق شیمیایی (واحدهای شور و قلیا)
واحدهای تخریب‌کنندهٔ کیفیت آب به طریق فیزیکی (رسوب‌زا)
واحدهای تخریب‌کنندهٔ کیفیت آب به طریق فیزیکی و شیمیایی

در نهایت ۱۰ متغیر کیفی آب که از نظر کشاورزی اهمیت دارند، (Na، Ca، Cl، Mg، SO4، HCO3، EC، SAR، TDS و PH) مربوط به داده‌های ۳۹ چاه انتخابی آبخوان بررسی شد. ابتدا از آزمون کلموگروف- اسمیرنف[1] به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها و از آزمون همبستگی پیرسون[2]، به منظور بررسی همبستگی بین متغیرها در سطح اعتماد ۵ درصد استفاده گردید. از روش‌های آماری چندمتغیره، تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی به منظور تجزیه و تحلیل متغیرها استفاده شد. از روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای برای تعیین گروه‌های همگن متغیرها استفاده شد. به دلیل متفاوت بودن واحدهای اندازه‌گیری متغیرها و برای مقایسهٔ صحیح آن‌ها، کلیهٔ متغیرها به Z استاندارد تبدیل شدند. از روش وارد[3] برای تشکیل خوشه‌ای تراکمی و از مربع فاصله اقلیدسی[4] برای نحوهٔ سنجش فاصله و یا همگنی که باید در فرآیند خوشه‌ای کردن در نظر گرفته شود، مورد استفاده قرار گرفت. سپس از تحلیل عاملی برای تعیین مهم‌ترین متغیرهای کیفی اثرگذار بر کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان، استفاده شد. کلیهٔ محاسبات و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS19 انجام گردید.

1- 1-S- ample K-S
2 - Pearson
3 - Ward Method
4 - Squared Euclidean Distance

۳. نتایج

نتایج نقشه‌های طبقه‌بندی کیفی نشان می‌دهد، کلاس‌های مختلف در سال‌های مورد بررسی موقعیت یکسانی داشته و فقط مساحت آن تغییر کرده است. به تدریج از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰ مساحت گروه‌های خوب و متوسط کاهش یافته و مساحت گروه نامناسب افزایش یافته است (جدول ۲).

جدول۲. مساحت طبقات کیفیت آب (بر حسب کیلومترمربع)

کیفیت آب به لحاظ کشاورزی	کلاس بندی ویلکوکس	سال					
		۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۹۰
خیلی خوب	C1S1	_	_	۶۴/۱۰	_	_	_
خوب	C2S1	۹۰۰	۹۳۴/۳۰	۸۸۰/۱۰	۹۳۹/۱۰	۱۱۱۹/۵۰	۹۱۹/۷۰
متوسط	C3S1	۶۹۱/۲۰	۷۶۴	۷۴۸/۵۰	۷۵۹/۷۰	۶۵۴/۸۰	۴۷۰/۳۰
متوسط	C3S2	۷۵۲/۵۰	۶۴۵/۵۰	۶۶۰/۱۰	۶۶۶/۴۰	۵۲۶/۸۰	۸۰۲/۴۰
متوسط	C4S2	۱۳۸/۵۰	۱۰۰/۶۰	۱۱۴/۸۰	۱۴۵/۲۰	۳۱۲/۱۰	۲۸۳/۵۰
نامناسب	C4S3	۳۳۳/۲۰	۳۷۱/۲۰	۳۴۸	۲۶۹/۷۰	۱۶۶/۹۰	۳۰۳/۱۰
نامناسب	C4S4	۱۴۱/۶۰	۱۴۱/۶۰	۱۴۱/۶۰	۱۷۷	۱۷۷	۱۷۸

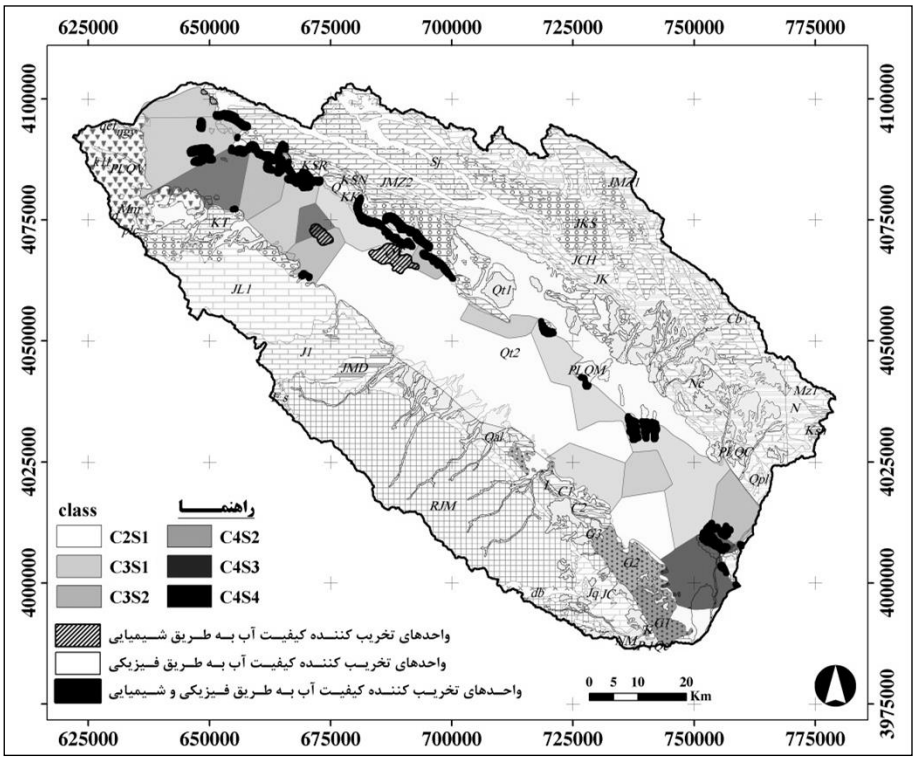
بدین صورت که مساحت کلاس‌های C1S1، C2S1، C3S1 کاهش و مساحت کلاس‌های C3S2، C4S2، C4S3 و C4S4 افزایش یافته است. در این سال‌ها کلاس‌های C3S3 و C4S1 مشاهده نمی‌شود. کیفیت آب زیرزمینی در جنوب شرقی آبخوان آبرفتی و در شمال‌غرب آن در محدودهٔ C4S4 قرار داشته و خطر شوری تخریب ساختمان خاک در صورت استفاده خیلی زیاد وجود دارد. کیفیت آب در دیگر نقاط آبخوان آبرفتی عمدتاً در محدودهٔ C2S1 و C3S1 بوده و دارای خطر سدیم اندک و شوری متوسط تا زیادی می‌باشد.

بررسی نقشهٔ زمین‌شناسی و کیفیت آب‌های زیرزمینی مربوط به سال ۱۳۹۰ که با هم تلفیق شده‌اند، نشان می‌دهد، واحدهای زمین‌شناسی تخریب کنندهٔ کیفیت آب در بیشتر موارد در مجاورت مناطقی که در پهنه‌بندی جزء کیفیت نامناسب از لحاظ کشاورزی می‌باشد، واقع شده‌اند، البته استثنایی وجود دارد و آن در مورد سازند شوریجه Jks (ماسه سنگ و کنگلومرای قرمز) که تخریب کنندهٔ کیفیت فیزیکی و کیفیت شیمیایی می‌باشد، است. این سازند در رخنمون‌های شمال‌غربی که شامل لایه‌های ژیپسی است، موجب تخریب کیفیت آب می‌شود، اما در مناطقی که سازند ژیپس نداشته باشد تخریب ایجاد نمی‌کند.

به طور کلی ۳۷/۲۵ درصد از مساحت آبخوان در واحد Jks (تخریب‌کنندهٔ کیفیت فیزیکی و شیمیایی)، ۰/۹۵ درصد از مساحت آبخوان در واحد Ksr (تخریب‌کنندهٔ کیفیت فیزیکی)، ۲۳/۲۶ در واحد N (تخریب‌کنندهٔ کیفیت فیزیکی و شیمیایی)، ۱۰/۰۹ درصد در واحد PlQm (تخریب‌کنندهٔ کیفیت فیزیکی و کیفیت شیمیایی)، ۲۷/۹۶ درصد از مساحت آبخوان در واحد Qf (تخریب‌کنندهٔ کیفیت شیمیایی) و ۰/۵ درصد از مساحت آبخوان در واحد TRjm (تخریب‌کنندهٔ کیفیت فیزیکی) قرار دارد. (شکل ۳).

در تحلیل عاملی آمارهٔ KMO به جهت ارزیابی تناسب داده‌ها برای تحلیل عاملی، مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر بالای این آماره (مقادیر نزدیک به یک)، مشخص‌کنندهٔ این است که تحلیل عاملی و تجزیهٔ مؤلفه‌های

اصلی بسیار قابل قبول است. با توجه به اینکه مقدار KMO در این مطالعه، ۰/۷۶۵ برآورد گردید، لذا نتایج حاصل از تحلیل عاملی مناسب است. به منظور تعیین مهم‌ترین متغیرهای توجیه کنندهٔ واریانس، مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک در نظر گرفته شد. جدول ۲ آماره‌های توصیفی پارامترهای کیفی مورد مطالعه را در ۳۹ چاه انتخابی آبخوان نشان می‌دهد.



شکل ۳. نقشهٔ تلفیق واحدهای تخریب‌کنندهٔ کیفیت فیزیکی و کیفیت شیمیایی آب و زمین‌شناسی

جدول۲. آماره‌های توصیفی برای ۱۰ پارامتر کیفی آب

پارامتر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
SAR	۰/۰۷	۱۶/۹۶	۳/۹۱	۳/۹۱
Na	۰/۱۰	۴۳	۸/۶۰	۱۰/۱۴
Mg	۱/۲۰	۱۴/۲۰	۴/۳۲	۳/۱۴
Ca	۰/۸۰	۱۱/۲۰	۳/۳۱	۲/۱۹
SO4	۰/۵۰	۲۴	۶/۷۹	۶/۳۶
Cl	۰/۵۰	۳۷/۵۰	۶/۱۶	۸/۲۴
HCO3	۱/۷۰	۶/۳۰	۳/۳۰	۱/۰۴
PH	۷/۱۰	۸/۴۰	۸/۰۴	۰/۲۳
TDS	۲۳۱/۸۴	۳۶۲۸/۸۰	۱۰۰۴/۹۶	۸۹۵/۸۴
EC	۳۶۸	۵۷۶۰	۱۵۹۵/۱۸	۱۴۲۱/۹۷

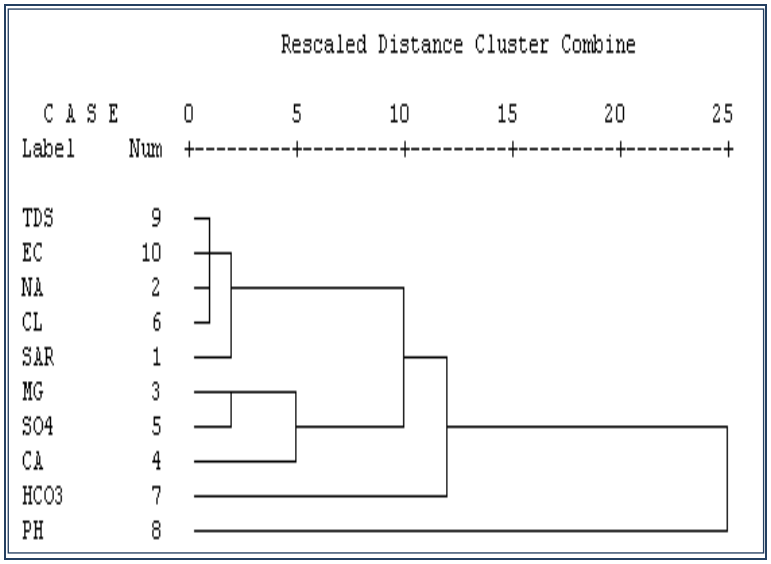
جدول ۳ نشان‌دهندهٔ روابط بین متغیرها با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون است. با توجه به سطح اعتماد کمتر از ۰/۰۱ برای همه متغیرها به جز PH می‌توان بیان کرد که همبستگی بین متغیرها با اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است. علاوه بر اینکه رابطهٔ همبستگی PH با سایر متغیرها معنی‌دار نیست، همبستگی منفی نیز بین آن‌ها وجود دارد. مقدار ضریب همبستگی بین دو متغیر EC و TDS برابر ۱ است که بیشترین همبستگی را در بین متغیرها نشان داده‌اند.

جدول۳. ماتریکس همبستگی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

پارامتر	SAR	NA	MG	CA	SO4	CL	HCO3	PH	TDS	EC
SAR	۱									
Na	۰/۹۷۱**	۱								
Mg	۰/۶۳۴**	۰/۷۵۰**	۱							
Ca	۰/۴۶۴**	۰/۵۹۳**	۰/۶۴۴**	۱						
SO4	۰/۷۵۷**	۰/۸۴۰**	۰/۸۹۹**	۰/۸۱۷**	۱					
Cl	۰/۹۲۸**	۰/۹۸۰**	۰/۷۳۶**	۰/۵۶۹**	۰/۷۷۸**	۱				
HCO3	۰/۴۳۵**	۰/۴۷۲**	۰/۴۸۱**	۰/۴۴۹**	۰/۴۵۷**	۰/۴۲۳**	۱			
PH	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۵	-۰/۴۷	-۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۴۳	۱		
TDS	۰/۹۱۱**	۰/۹۷۶**	۰/۸۵۶**	۰/۷۱۷**	۰/۹۲۴**	۰/۹۵۷**	۰/۵۰۴**	-۰/۰۴	۱	
EC	۰/۹۱۱**	۰/۹۷۶**	۰/۸۵۶**	۰/۷۱۷**	۰/۹۲۴**	۰/۹۵۷**	۰/۵۰۴**	-۰/۰۴	۱**	۱

** معنی دار در سطح ۰,۰۱

به منظور گروه‌بندی ۱۰ متغیر کیفی آب از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای استفاده گردید. با توجه به نمودار درختی تحلیل خوشه‌ای می‌توان متغیرها را در فاصلهٔ ۱۰ تا ۱۵ به دو گروه همگن طبقه‌بندی کرد. در این فاصله متغیرهای Na، Ca، Cl، Mg، Hco3، So4، EC، SAR و TDS در یک گروه و متغیر PH در گروه دیگر قرار می‌گیرند. (شکل ۴).



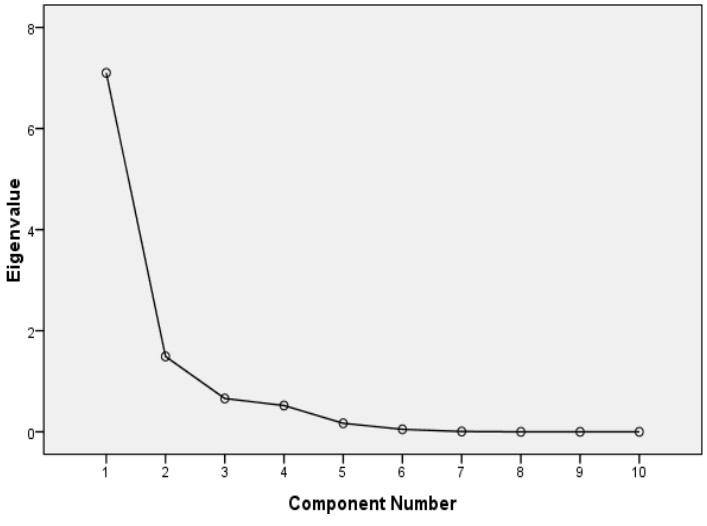
شکل ۴. نمودار درختی تحلیل خوشه‌ای

با مقایسهٔ شکل ۴ و جدول ۳ می‌توان مشاهده کرد، نتیجهٔ تحلیل خوشه‌ای و همبستگی پیرسون تا حد زیادی به هم نزدیک است. به عبارت دیگر همه متغیرها به جز PH که رابطهٔ همبستگی با اطمینان ۹۹ درصد داشتند در یک گروه و متغیر PH در گروه دیگر قرار گرفته است. به عبارت دیگر، متغیرهایی که دارای همبستگی بالایی هستند، در گروه‌های یکسان قرار می‌گیرند.

با توجه به جدول ۴، که بیان‌کنندهٔ نتایج حاصل از تحلیل عاملی است، دو عامل به عنوان مهم‌ترین عامل وجود دارد (در این جدول هر عامل بیان‌کنندهٔ یک متغیر است). عامل اول با مقدار ویژهٔ ۷/۱۰ و عامل دوم با مقدار ویژهٔ ۱/۴۹ مجموعاً ۷۱/۰۲ و ۱۴/۹۱ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه می‌کنند. بدین ترتیب اطلاعات حول این عوامل خلاصه می‌گردد. حدود ۱۴/۰۷۱ درصد از کل واریانس توسط این عوامل توجیه نشده است که می‌تواند با بررسی عوامل دیگر در خصوصیات کیفی آب افزایش یابد. به خاطر فهم بهتر عوامل و مقادیر ویژه، این روابط در نمودار اسکری‌گراف (شکل ۵) نشان داده شده است. با توجه به این نمودار تنها عوامل ۱ و ۲ دارای مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک می‌باشند که به ترتیب برابر ۷/۱۰ و ۱/۴۹ هستند.

جدول۴. مقادیر ویژه و درصد واریانس توجیه شدهٔ ۱۰ پارامتر کیفی مورد مطالعه

عامل	مقادیر ویژهٔ اولیه	درصد واریانس توجیه شده	درصد تجمعی واریانس توجیه شده
۱	۷/۱۰	۷۱/۰۲	۷۱/۰۲
۲	۱/۴۹	۱۴/۹۱	۸۵/۹۳
۳	۰/۶۶	۶/۶۰	-
۴	۰/۵۲	۵/۲۱	-
۵	۰/۱۷	۱/۶۹	-
۶	۵/۰۵	۰/۴۹	-
۷	۰/۰۱	۰/۰۸	-
۸	۰/۰۰	۰/۰۱	-
۹	۰/۰۰	۰/۰۰	-
۱۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-



شکل ۵. نمودار اسکری‌گراف تحلیل عاملی

به منظور مشخص نمودن اینکه دو عامل مهم به‌دست آمده در مرحله قبل، معرف کدام یک از متغیرهای کیفی مورد مطالعه می‌باشند، از تحلیل ماتریکس دورانی واریماکس استفاده شد. نتایج ماتریکس دورانی واریماکس در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵. نتایج تحلیل ماتریکس دورانی

پارامتر	عامل	
	اول	دوم
EC	۰/۹۸	۰/۲۲
TDS	۰/۹۸	۰/۲۲
Na	۰/۹۷	۰/۱۲
Cl	۰/۹۴	۰/۱۲
SAR	۰/۹۳	۰/۰۱
SO4	۰/۹۰	۰/۲۷
Mg	۰/۸۴	۰/۱۹
PH	۰/۱۸	۰/۹۳
Ca	۰/۵۸	۰/۶۶
HCO3	۰/۴۰	۰/۶۵

با توجه به جدول ۵، بیشترین بار وزنی (۰/۹۸) در ردیف عامل اول، مربوط به متغیر EC و TDS است. لذا این متغیرها به عنوان اولین و مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار بر کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقهٔ مورد مطالعه در نظر گرفته شد. همچنین با توجه به اینکه بیشترین بار وزنی (۰/۹۳) در ستون عامل دوم، مربوط به پارامتر PH است، لذا این پارامتر به عنوان دومین پارامتر مهم اثرگذار شناخته شد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج حاصله، روند نزولی کیفیت آب زیرزمینی در دههٔ اخیر در آبخوان مشهد را نشان می‌دهد. کیفیت آب‌های زیرزمینی به عوامل متعددی بستگی دارد که از یکی از مهم‌ترین آن‌ها سازندهای زمین شناسی محدودهٔ آبخوان می‌باشد. کیفیت آبخوان دشت مشهد نیز متأثر از زمین شناسی این منطقه است. در این تحقیق نتیجهٔ تطابق نقشه‌های کیفیت آب تهیه شده با نقشهٔ زمین‌شناسی محدوده تأیید تأثیر سازندها در کاهش کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت مشهد می‌باشد. یافته‌های تحقیق حاضر با نتایج بهاروند و یوسفی راد (سال ۱۳۸۶) که نشان دادند، سازندهای مختلف زمین‌شناسی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی شمال شهر خرم‌آباد تأثیر بسزایی دارند و نتایج عبدی (سال ۱۳۸۶) که با استفاده از GIS پهنه‌بندی کیفی بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس انجام داده و نقشه‌ها را مورد بررسی قرار دادند، همخوانی دارد [۱، ۴]. ناگفته نماند ورود پساب‌های شهری، کشاورزی و صنعتی با توجه به توسعه آن‌ها در دشت مشهد می‌تواند در بخش‌هایی تخریب کیفیت آب زیرزمینی و افزایش املاح را به همراه داشته باشد. با توجه به این موضوع که بخش قابل توجهی از آب شرب ساکنان این دشت و مخصوصاً شهر مشهد، از آب زیرزمینی تأمین می‌شود، باید هر چه سریع‌تر در جهت بهبود وضعیت آب‌های زیرزمینی دشت مشهد چاره‌اندیشی شود. همچنین با توجه به این که بیشترین مصارف آب زیرزمینی دشت مشهد در بخش کشاورزی

می‌باشد، بنابراین ضروری است تا با اصلاح روش آبیاری و همچنین اصلاح الگوی کشت در این دشت و کاشت محصولاتی با مصرف کم آب، در جهت کاهش مصرف آب زیرزمینی در بخش کشاورزی گام‌های بلند و سریعی برداشته شود. تحلیل‌های کیفی و ارزیابی روند تغییرات کیفیت شیمیایی منابع آب علاوه بر جایگاه آن در تأمین نیازهای مصارف گوناگون، در تعیین خصوصیات هیدرولیکی آبخوان‌ها نقش ویژه‌ای دارد. این موضوع در مطالعهٔ سازندهای سخت، تحلیل خصوصیات هیدرولیکی مخازن سازندی از اهمیت بالایی برخوردار و مستلزم هزینهٔ بسیار است. بدین جهت عموماً به صورت دوره‌ای از منابع آب انتخابی یا به صورت مطالعات موردی در مقاطع زمانی در اعماق مختلفی به صورت کلی همزمان با آماربرداری از منابع آب زیرزمینی نمونه‌برداری کیفی نیز انجام شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. نمونه‌برداری و انجام تحلیل‌های کیفی در سطح محدودهٔ مطالعاتی مشهد به دلیل جایگاه ویژهٔ آن از گذشته‌های دور انجام شده است. ارزیابی ۱۰ متغیر کیفی آب زیرزمینی آبخوان مشهد با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره نشان داد که طبق آنالیز خوشه‌ای می‌توان این متغیرها را به دو گروه همگن تقسیم نمود. نتایج تحلیل عاملی بر اساس تجزیهٔ مؤلفه‌های اصلی نشان داد که می‌توان عوامل مهم و مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی را در منطقهٔ مطالعاتی، شناسایی و استخراج کرد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد، پارامترهای EC و TDS به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی آبخوان مشهد هستند. بر اساس نتایج به دست آمده از روش‌های آماری می‌توان تا حدی تعداد عوامل کیفی قابل اندازه‌گیری را بدون تغییر در نتایج حاصل از بررسی کل این عوامل و در نهایت هزینه‌های آماربرداری را کاهش داد. در کل نتایج این مطالعه می‌تواند به کارشناسان محیط زیست و منابع آبی کشور در مدیریت کم هزینه‌تر و ارائه استراتژی‌های بهتر در کنترل کیفیت آب‌های زیرزمینی یاری رساند.

References

[1] Abdi, P. (2007). Investigation Of Groundwater Quality Using GIS in Zanjan Plain. 3rd Conference of Geology and the Environment.

[2] Adebola A. Oketola, Seun M. Adekolurejo and Oladele Osibanjo. (2013). Water Quality Assessment of River Ogun Using Multivariate Statistical Techniques. Journal of Environmental Protection, 4, 466-479

[3] Azubuike Ekwere, Aniekan Edet, Aniediobong Ukpong and Vladimir Obim. (2011). Assessment Of Seasonal Variations of Hydrochemical Signatures of Surface Water Quality Using Multivariate Statistical Methods. Journal of Sustainable Development in Africa Vol. 13, No. 8, ISSN: 1520-5509

[4] Baharvand, S. Ahmadi-Khalaji, A. Adib, A. and Yousefi-Rad, M. (2007). The Quality of Groundwater in Different Geological Formation in the Northern City of Khorramabad. 3rd Conference of Geology and the Environment.

[5] Broers, HP. and van der Grift, B. (2004). Regional Monitoring of Temporal, Changes in Groundwater Quality. Journal of Hydrology, (296), 192- 220

[6] Chang, H. (2008). Spatial Analysis of Water Quality Trends in the Han River Basin, South Korea. Water Resources, 42: 3285-3304

[7] Dowlati, J. Lashkaripour, Gh. and Hafezi Moghadas, N. (2014). Investigating the Factors Affecting the Zahedan's Aquifer Hydrogeochemistry Using Foctor Analysis, Saturation Indices and Composite Diagrams' Methods. Journal of Water and Soil Vol. 28, No. 4, Sept.-Oct. 2014, p. 679-694

[8] Hatefi, R. Shahsavari, A. Asadiyan, F. and Khodaei, K. (2014). Assessment Of Jovein Groundwater Quality Using Principal Component Analysis. Iranian Journal of Geology Vol. 7, No. 28

[9] Kafeelah A. Yusuf1, Surukite O. Oluwole, Ibrahim O. Abdusalam3 and Abdulrafiu O. Majolagbe. (2013). Assessment of Spatial Variation of Surface Water Quality in Lagos, Using Multivariate Statistical Techniques. Journal of Environment Vol. 02, Issue 04, pp. 94-102

[10] Karami, F. and Bayati-Khatibi, M. (2012). Spatial Monitoring Signatures Of Groundwater Quality in Different Geological Formations- Case Study: Upstream Ajichay Basin. Journal of Geography and Regional Development, No. 17: 27- 48

[11] Karbasi, A. and Shahbazi, A. (2006). Water Quality of Rivers in Gilan Province Using Multivariate Statistical Techniques. Journal of Advanced Research in Environmental. No. 5.

[12] Ouyang, Y. P. Nkedi- Kizza, Q.T. Shinde, Wu. and Hung, C.H. (2006). Assessment of Seasonal Variation in Surface Water Quality. Water Research Jornal, 40, 3800-3810.

[13] Rajaei, Gh. Mahdinezhad, M. and Hesari-Motlagh, S. (2011). Quality of Drinking Water in the Rural Birjand and Qaen plains, 2009- 2010. Journal of Health System Research. ISSN 1735- 2363.

[14] Sarbazi, M. Mahdavi, M. and Feiznia, S. (2010). Classification Of Groundwater Quality In Mashhad Plain, Master Thesis, University of Tehran.

[15] Sedaghat, M. (2008). Land and Water Resources (Groundwater), University of Payam-noor.

[16] Simnov, V. Stratis, J.A. Samara, C. Zachariadis, G. Voutsa, D. Anthemidis, A. Sofoniou, M. and Kouimtzis, Th. (2003). Assessment of the Surface Water Quality in Northern Greece. Water research, 37, 4119- 4124.

[17] Yang, X. and Jin, W. (2010). GIS-based Spatial Regression and Prediction of Water Quality in River Networks: A Case Study in Iowa. J. Environ. Manage. 91: 1934-1951

[18] Yetik, M.K. Yüceer, M. Berber, R. and Karadurmus, E. (2009). River Water Quality Model Verification through a GIS based Software. P 1-6, ADCHEM 2009, IFAC Symposium on Advanced Control of Chemical Processes, July 12-15, Istanbul-Turkey.

[19] Zhang, Q. shi, X. hung, B. Yu, D.S. oborn, I. BLOMBACK, A. wang H.J. pagella, T.F. and Sinclair F.L. (2007). Surface Water Quality of Factory- based and Vegetable- based Peri- urban Areas in the Uangtze River Delta Region. China, Catena 69, 57-64