هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۲۵، سال هفتم، زمستان ۱۳۹۹، صص ۳۷-۱۹
Hydrogeomorphology, Vol. 7, No. 25, Winter 2021, pp (19-37)

تأثیر کاربری اراضی و زمین‌شناسی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره و زمین‌آمار
مطالعه‌ی موردی: بخشی از حوضه‌ی آبریز حبله‌رود

مهدی تیموری*[1]، امید اسدی نلیوان[2]

۱- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، مجتمع آموزش عالی شیروان، خراسان شمالی، ایران
۲- دکتری آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران

وصول مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۲۰ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۳۱

چکیده

در این تحقیق تأثیر وضعیت زمین‌شناسی و کاربری اراضی به عنوان مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده‌ی کیفیت آب زیرزمینی در بخشی از حوضه‌ی آبریز حبله‌رود مورد ارزیابی قرار گرفته است. جهت انجام این تحقیق، ۱۳۲ منبع آبی شامل چاه، چشمه و قنات مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تعیین مهم‌ترین پارامترهای کیفی آب از تحلیل عاملی، جهت بررسی روابط بین پارامترها از همبستگی بین داده‌ها، جهت مقایسه‌ی میانگین‌ها از آزمون دانکن و برای پهنه‌بندی کیفیت آب از روش‌های زمین‌آمار در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. نتایج نشان داد که پارامترهای TH, Ca, Na, TDS, EC, Cl و SO_4 در کاربری‌های مختلف و پارامترهای TH, TDS, EC, Cl و SO_4 در واحدهای مختلف زمین شناسی اختلاف معنی‌دار دارند. همچنین پارامتر EC در سطح ۵ درصد بیشترین همبستگی را با TDS نشان داد. تحلیل عاملی بر اساس مشخصه‌های کیفیت آب نشان داد که ۸۸/۱۶ در صد تغییرات کیفیت آب در بین کاربری‌ها با یک عامل (پارامتر TDS با بار وزنی ۰/۹۹) و ۹۱/۵۹ درصد تغییرات کیفیت آب در بین واحدهای زمین‌شناسی با دو عامل (عامل اول با بار وزنی ۰/۹۵ مربوط به پارامتر TDS و برای عامل دوم، با بار وزنی ۰/۹۵ مربوط به پارامتر EC) کنترل می‌شود. واریوگرام داده‌ها نشان داد که همبستگی بالای مکانی بین متغیرها وجود دارد. پهنه‌بندی آب شرب با استفاده از دیاگرام شولر کیفیت آب زیرزمینی را در ۵ دسته خوب، قابل قبول، نامناسب، بد و موقتاً قابل شرب نشان داد. همچنین پهنه‌بندی آب کشاورزی با استفاده از دیاگرام ویلکوکس کیفیت آب را در ۳ دسته آب‌های خوب، متوسط و نامناسب طبقه‌بندی کرد. نتایج نشان داد که روند تغییرات کیفیت آب اثر کنترلی کاربری اراضی و زمین‌شناسی را بر کاهش کیفیت آب نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق جهت مدیریت کیفی منابع آب زیرزمینی حوضه‌ی آبریز حبله‌رود با استفاده از مدیریت کاربری اراضی این حوضه قابل استفاده خواهد بود.

کلمات کلیدی: کیفیت آب، زمین‌شناسی، تحلیل عاملی، کاربری اراضی، حوضه‌ی آبریز حبله‌رود استان سمنان

* نویسنده‌ی مسئول: **E-mail**:m_teimouri@um.ac.ir

۱- مقدمه

آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین منابع آب هستند که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت‌های کشاورزی و شرب در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارند. آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازمندی‌های مهم در مدیریت، برنامه‌ریزی و توسعه‌ی منابع آب و حفاظت و کنترل آن‌ها می‌باشد (اوساما و احمد[۱]، ۲۰۱۸: ۱)؛ (ویو[۲] و همکاران، ۲۰۱۹)؛ (کومار[۳] و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۴۸۳). آلودگی و کاهش کیفیت آب در دهه‌های اخیر به یک تهدید جدی و در حال گسترش برای جامعه‌ی انسانی و اکوسیستم‌های طبیعی تبدیل شده است. برای ارزیابی کیفیت آب باید هم‌زمان چند پارامتر در یک دوره زمانی خاص به‌طور جداگانه اندازه‌گیری شده (کلستینو[۴] و همکاران، ۲۰۱۸: ۲). و نیز بایستی معلوم گردد که آلودگی آب باید به منشأ زمین‌شناسی نسبت داده شود یا به منشأ انسانی (فینکلر[۵] و همکاران، ۲۰۱۶: ۵۷۸؛ بوترا[۶] و همکاران، ۲۰۱۹). بررسی هم‌زمان چند متغیر و همچنین موضوع انسانی یا طبیعی بودن منشأ آلودگی می‌تواند با استفاده از روش‌های چندمتغیره‌ی قوی مثل تحلیل عاملی قابل‌حل باشد (مانگونگ[۷]، ۲۰۱۵: ۲۶). اصولاً تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی تابعی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی است که به شدت تحت تأثیر ساختار زمین‌شناسی منطقه و فعالیت‌های انسانی است (گوپتا و همکاران[۸]، ۲۰۱۷: ۱۱۶۷). روش‌های چند متغیره از قبیل تحلیل عاملی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی به دلیل اینکه قادر به تشخیص شباهت‌ها و تفاوت‌های بین متغیرها و پارامترها می‌باشند، امروزه به‌صورت گسترده‌ای استفاده می‌گردند (پسندیده‌فرد و همکاران[۹]، ۲۰۱۹)؛ بونانسی[۱۰] و همکاران، ۲۰۱۵) و بوترا و همکاران، ۲۰۱۹). استفاده از این روش‌ها محققان را در شناسایی مهم‌ترین فاکتورهای اثرگذار بر کیفیت سیستم‌های آبی یاری نموده و ابزار با ارزشی برای مدیریت مطمئن منابع آب است (هلنا[۱۱] و همکاران، ۲۰۰۰: ۸۱۵)؛ (ویو و همکاران، ۲۰۱۹). از طرف دیگر روش‌های زمین‌آمار نیز قادر به پهنه‌بندی کیفیت آب در سطح حوضه هستند و می‌توانند در تکمیل ارزیابی کیفیت آب و خاک نقش مؤثری داشته باشند (احمدی[۱۲] و همکاران، ۲۰۱۹: ۳). تحقیقات مختلفی در زمینه‌ی اثرپذیری کیفیت آب از زمین‌شناسی یا فعالیت‌های انسانی انجام شده است. در مطالعه‌ای نقش ساختارهای زمین‌شناسی در تغییرات کمی و کیفی آبخوان‌های منطقه اشتهارد مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که روند تغییرات کیفی منطبق با رودخانه شور است. از طرفی وجود پهنه‌ی نمکی در شمال

1- Usama and Ahmad
2- Wu
3- Kumar
4- Celestino
5- Finkler
6- Bouteraa
7- Muangthong
8- Gupta
9- Pasandidehfard
10- Bonansea
11- Helena
12- Ahmadi

دشت به همراه افت ایجاد شده در مرکز دشت ناشی از برداشت بی‌رویه منابع آبی، تأثیر زیادی در کاهش کیفیت آب داشته است (عبادتی و سپهوندی[1]، ۲۰۱۵). در تحقیقی دیگر با بررسی کیفیت آب شهرستان ملارد به این نتیجه رسیدند که واحدهای تبخیری، کودهای شیمیایی، فاضلاب‌های خانگی و دفع غیراصولی فضولات پرورش-گاه‌های دام و طیور عوامل مؤثر بر تغییرات کیفیت آب هستند (نصرتی[2] و همکاران، ۲۰۱۸). محققان دیگر در مطالعه دیگر به ارزیابی آلودگی نیترات بر اساس روش‌های مؤلفه‌های اصلی و تحلیلی عاملی در آبخوان دشت کرج پرداختند. نتایج نشان داد که تغییرات میزان نیترات در آبخوان به ترتیب به عوامل ژئوژنیک و فعالیت‌های انسانی به خصوص فاضلاب ارتباط دارد (چیت‌سازان[3] و همکاران، ۲۰۱۹). در تحقیقی دیگر به بررسی توزیع مکانی پارامترهای شیمیایی جهت بررسی کیفیت آب در هند پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مناطق شهری و صنعتی بیشترین میزان آلودگی را دارند و با بررسی میدانی به این نتیجه رسیدند که روش‌های زمین‌آمار توانایی قابل ملاحظه‌ای در بررسی کیفیت آب زیرزمینی دارند (کومار و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعه‌ای به ارزیابی کیفیت آب با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره، زمین‌آمار و روش WQI پرداختند و به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر فرآیندهای ژئوشیمایی (تعامل آب و سنگ) و فعالیت‌های انسانی (آبیاری) است (بوترا و همکاران، ۲۰۱۹). محققان در بررسی ارزیابی کیفیت آب در شمال پاکستان با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره بیان کردند که کاهش کیفیت آب زیرزمینی در اثر نفوذ آب آلوده از آب سطحی و همچنین واحدهای منطقه می‌باشد. آن‌ها همچنین ارتباط بین پارامترها را مورد بررسی قرار دادند (اوساما و احمد، ۲۰۱۸).

هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی مورد استفاده برای شرب و کشاورزی در بخشی از حوضه‌ی آبریز حبله‌رود، تحلیل و تفسیر کیفیت این منابع با استفاده از ArcGIS و انجام آزمون‌های آماری جهت تعیین اثرپذیری کیفیت آب از کاربری اراضی و واحدهای زمین‌شناسی است. با توجه به مشکلات جدی مدیریت آب زیرزمینی در حوضه‌ی آبریز حبله‌رود به لحاظ تخلیه بی‌رویه‌ی آب زیرزمینی از طریق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق، افت شدید سطح آب زیرزمینی سالانه و کاهش کیفیت آب، این حوضه برای انجام این تحقیق انتخاب گردید. با وجود اهمیت بسیار زیاد آب‌های زیرزمینی در حوضه‌ی مورد مطالعه که نیاز آبی فراوانی دارد، اطلاعات اندکی در مورد چگونگی تأثیر پدیده‌های طبیعی و انسانی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی این منطقه در دسترس

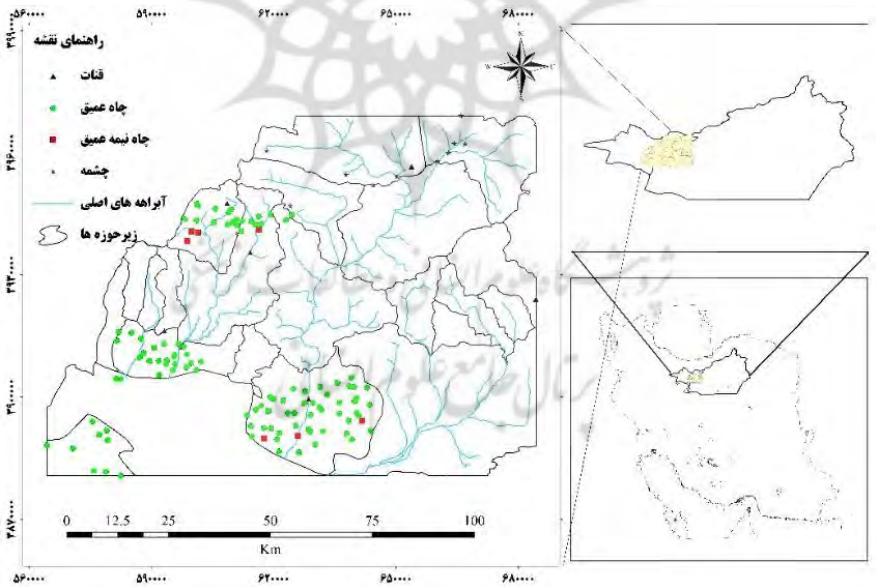
1- Ebadati and Sepavandi
2- Nosrati
3- Chitsazan

است. از این رو بررسی مطالعه کیفیت آب زیرزمینی اهمیت زیادی در سیاست‌گذاری مدیریت آب منطقه خواهد داشت.

۲- مواد و روش

۲-۱-منطقه‌ی مورد مطالعه

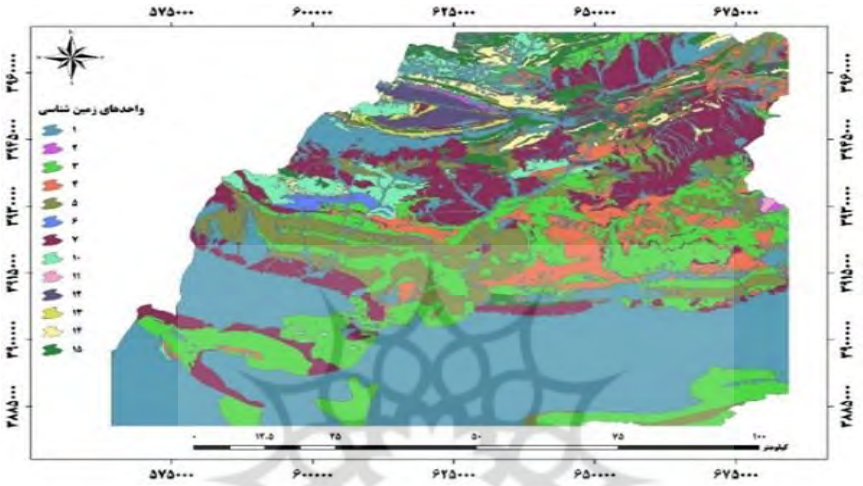
منطقه‌ی مورد مطالعه با مختصات ۳۵ تا ۳۶° عرض شمالی و ۵۲° تا ۵۳° طول شرقی و با مساحت ۸۵۴۳ کیلومترمربع در دو استان سمنان و تهران واقع شده است. فیزیوگرافی و توپوگرافی این محدوده شامل بخش‌های کوهستانی و دشتی می‌باشد. جهت انجام این تحقیق ۱۳۲ منبع آبی شامل چاه، چشمه و قنات (دوره آماری ۱۳۸۷- ۱۳۹۷) مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱). حداقل ارتفاع ۷۲۲ متر در جنوب حوضه و مرتفع‌ترین نقطه در حوضه در ارتفاع ۳۷۸۴ متر قرار گرفته است. متوسط سالانه نزولات جوی حدود ۳۴۵ میلی‌متر در سال و متوسط دمای سالانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد است.



شکل (۱): موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در ایران و استان سمنان

Figure (1): Location of the study area in Iran and the Province of Semnan

از نظر تقسیمات زمین‌شناسی بخش شمالی حوضه در واحد ساختمانی البرز مرکزی و جنوب آن در زون ایران مرکزی جای می‌گیرد و دارای سنگ‌شناسی متنوعی است. سازندهای منطقه‌ی مورد مطالعه مربوط به دوران سنوزوئیک می‌باشد. حوضه را به لحاظ سنگ‌شناسی می‌توان به ۱۳ دسته اصلی تقسیم نمود (شکل ۲ و جدول ۱).



شکل (۲): نقشه‌ی نوع واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

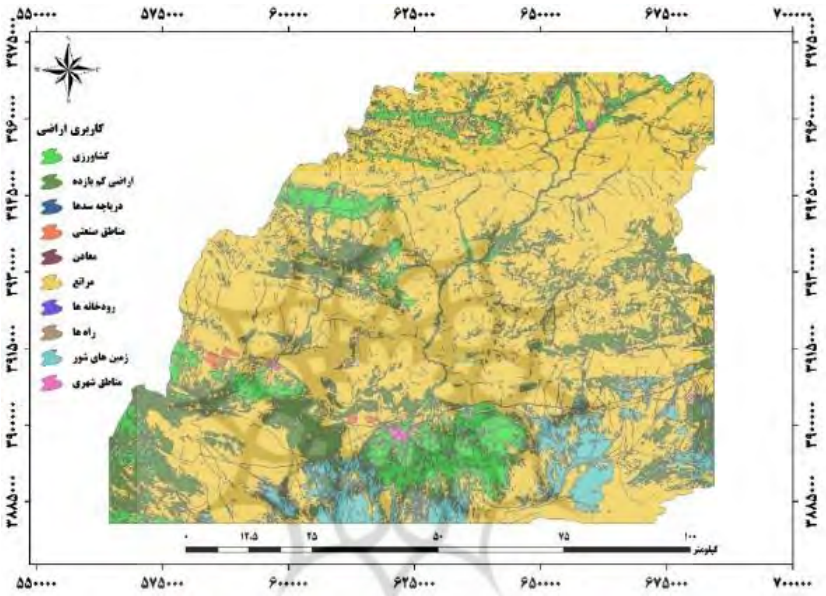
Figure (2): Map of the geological units of the study area

جدول (۱): توزیع فراوانی واحدهای زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

Table (1): Frequency of geological units in the study area

شماره	واحد	مساحت (ha)	مساحت (٪)
۱	نهشته‌های آبرفتی	۳۳۷۹۱۴	۳۹/۵۵
۲	مارن، رس و شیل، به‌طور محلی دارای آهک	۲۲۵۰	۰/۲۶
۳	مادستون، شیل، مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سنگ‌های تبخیری	۱۶۰۶۹۳	۱۸/۸۱
۴	مارن، آهک مارنی، آهک توفی و توف آهکی	۵۳۵۶۹	۶/۲۷
۵	سیلتستون، شیل، گلسنگ، مادستون، ماسه‌سنگ و کنگلومرا	۷۶۸۸۸	۹
۶	ماسه‌سنگ، مارن، شیل، کنگلومرا، توف، سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری	۴۳۹۱	۰/۵۱
۷	کنگلومرا و ماسه‌سنگ	۱۲۰۶۶۹	۱۴/۱۲
۱۰	شیل، گدازه و سنگ‌های آذرآواری	۲۷۳۹۲	۳/۲۱
۱۱	انواع توف همراه با ماسه‌سنگ، شیل، کنگلومرا و آهک	۶۵۰	۰/۰۸
۱۲	دولومیت و آهک با تناوبی از لایه‌های آهکی شیل، مارن، ماسه‌سنگ و سیلتستون	۱۷۴۸۳	۲/۰۵
۱۳	آهک و دولومیت	۳۲۸۳	۰/۳۸
۱۴	آهک، آهک‌رسی، آهک مارنی، توف و مارن	۱۶۵۳۵	۱/۹۴
۱۵	آهک	۳۲۶۱۳	۳/۸۲

حوضه‌ی آبریز حبله‌رود (بخش مورد مطالعه) دارای ۱۰ کاربری اصلی است (شکل ۳). بیشترین مساحت حوضه را کاربری مرتع با ۷۱/۰۴ درصد و کمترین مساحت را دریاچه سدها به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۲).



شکل (۳): نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه

Figure (3): Land use map of the study area

جدول (۲): توزیع فراوانی کاربری اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه

Table (2): Distribution of land use Frequency of the study area

شماره	نوع کاربری	مساحت طبقه (**ha**)	درصد مساحت
۱	مراتع	۶۰۶۸۷۴	۷۱/۰۴
۲	اراضی کم بازده	۹۸۰۳۳	۱۱/۴۸
۳	کشاورزی	۸۵۹۹۵	۱۰/۰۷
۴	رودخانه‌ها	۷۳۲۵	۰/۸۶
۵	راه‌ها	۳۸۴۹	۰/۴۵
۶	مناطق شهری (مسکونی)	۴۲۷۷	۰/۵
۷	زمین‌های شور	۴۶۰۱۹	۵/۳۹
۸	مناطق صنعتی	۱۹۳۴	۰/۲۳
۹	دریاچه سدها	۰/۲	۰/۰۰۰۰۲
۱۰	معادن	۳/۷	۰/۰۰۰۴۳

۲-۲-داده‌ها و روش‌های آماری چندمتغیره مورد استفاده

جهت انجام این تحقیق ابتدا منابع آب موجود در حوضه (چاه، چشمه و قنات)، از شرکت مدیریت منابع ایران (دوره‌ی آماری ۸۷ - ۱۳۹۷) دریافت شد. سپس جهت بررسی اثرپذیری کیفیت آب زیرزمینی از سازندها و کاربری اراضی از تحلیل عاملی و جهت بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب در بخش شرب و کشاورزی از زمین‌آمار استفاده شده است. به دلیل تغیرات کاربری اراضی در حوضه‌ی مورد مطالعه نقشه‌ی دریافتی از طرح حبله‌رود به کمک گوگل ارث (تصاویر سال ۲۰۱۹) و بازدیدهای میدانی در بهار سال ۹۸ اصلاح شد.

به‌منظور شناخت مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار بر کیفیت آب از آنالیز مؤلفه‌های اصلی (تحلیل عاملی) استفاده شد. این روش مؤلفه‌ها را وزن‌دهی کرده و برای هر کدام یک مقدار ویژه بیان می‌کند (فینکلر و همکاران، ۲۰۱۶: ۵۸۱). این آنالیز به عنوان یک تکنیک برای مواردی از جمله کیفیت آب و فاکتورهای مؤثر در آن و نیز استخراج پارامترهای مهم در آلودگی استفاده می‌شود (سینگ[1] و همکاران، ۲۰۰۴: ۳۹۸۴). تحلیل عاملی دارای سه مرحله تهیه‌ی ماتریس همبستگی از تمام متغیرها (روش همبستگی پیرسون)، استخراج عامل‌های اصلی و تفسیر نتایج است (فینکلر و همکاران، ۲۰۱۶: ۵۸۱). هدف تحلیل عاملی ساده‌سازی مسئله و همچنین یافتن متغیرهای جدید (اجزای مؤلفه) برای آسان‌تر کردن فهم داده‌هاست (ژائو[2] و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۲۱۶). با توجه به اینکه نتایج حاصل از تحلیل عاملی در ابتدا پیچیده است، لذا به‌منظور تسهیل در تفسیر ساختار عاملی، محورهای عاملی با دوران واریماکس که یکی از روش‌های مرسوم و پرکاربرد است (کومار و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۴۸۳)، دوران یافته تا آنکه عامل‌ها به‌صورت مستقل درآیند. برای محدود نمودن تعداد عامل‌ها و تعیین عامل‌های اصلی از مقدار ویژه استفاده شده است. لازم به ذکر است در این تحلیل به‌منظور تناسب داده‌ها برای انجام تحلیل عاملی، آماره (KMO[3]) مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای بررسی سطح معناداری پارامترها در بین کاربری‌ها و نوع واحدهای زمین‌شناسی از آزمون دانکن استفاده شد.

در ادامه جهت پهنه‌بندی کیفیت آب برای مصارف شرب و کشاورزی از روش‌های زمین‌آمار در سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. ابتدا برای تعیین میزان ارتباط مکانی یک متغیر تصادفی در زمین‌آمار از نیم‌تغییرنما (نرم‌افزار GS+) استفاده شد. یک نیم‌تغییرنما، با استفاده از مقادیر معلوم مقادیر مجهول را برآورد می‌کند (استواری[4] و همکاران، ۲۰۱۵: ۴۹). استفاده از روش‌های زمین‌آمار (روش کریجینگ) مستلزم بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌ها است که توسط آنالیز واریوگرام این امر بررسی می‌شود و شرط استفاده از این آنالیز نرمال بودن داده‌ها است. در روش‌های زمین‌آمار در صورت نرمال نبودن داده لازم است نسبت به نرمال‌سازی آن از روش‌های معمول از جمله تبدیل لگاریتمی (بهترین روش نرمال‌سازی (یوآن و کی[5]، ۲۰۱۰))

1- Singh
2- Zhao
3- Kaiser Meyer. Olkin
4- Ostvari
5- Uyan and Cay

اقدام شود. در ادامه روش‌های زمین‌آمار روش عکس فاصله[1]، روش چندجمله‌ای جهانی[2]، روش چندجمله‌ای محلی[3]، روش توابع شعاعی[4] و روش کریجینگ[5] مورد بررسی قرار گرفت. برای ارزیابی روش‌های زمین‌آماری و انتخاب بهترین روش از نرم‌افزار ArcGIS که توانایی انجام تکنیک ارزیابی متقابل را دارد و معیار آماری ریشهٔ دوم میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده شد. لازم به ذکر است جهت پهنه‌بندی آب شرب از دیاگرام شولر و برای پهنه‌بندی کیفیت آب کشاورزی از دیاگرام ویلکوکس بهره گرفته شده است. جهت بررسی کیفیت آب کشاورزی در این بخش ابتدا دو متغیر EC و SAR پهنه‌بندی شدند و سپس از طریق دستور Union سیستم اطلاعات جغرافیایی ترکیب و در نهایت نقشه‌ی پهنه‌بندی کیفیت آب در ۴ طبقه به دست آمد (آب‌های خیلی خوب، خوب، متوسط و نامناسب). از طریق دیاگرام شولر نیز آب شرب طبقه‌بندی شد و سپس از طریق ArcGIS پهنه‌بندی این بخش صورت گرفته است.

۳- بحث و نتایج

آماره‌های توصیفی پارامترهای مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به هیستوگرام داده‌ها غیر از پارامتر pH بقیه پارامترها دارای چولگی منفی و مثبت بودند و لذا غیرنرمال هستند و جهت نرمال‌سازی آن‌ها از لگاریتم استفاده شد.

جدول (۳): نتایج آنالیز آماری پارامترهای مورد بررسی

Table (3): Results of statistical analysis of the parameters

پارامترها	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	انحراف معیار
TH	۴/۴	۷/۹۳	۶/۳۲	۶/۶۳	۰/۸۹
pH	۷/۴۱	۸/۱۷	۷/۸۶	۷/۸۷	۰/۱۳
TDS	۴/۴۸	۸/۹	۷/۲	۷/۵۷	۱/۰۶
EC	۵/۱۴	۹/۳۱	۷/۶۴	۷/۹۸	۱/۰۲
Cl	۱/۲۶	۸/۱۳	۵/۶۴	۶/۴۴	۱/۷۷
Na	۰/۴۷	۷/۴۸	۵/۱۷	۵/۷۴	۱/۵۲
Mg	۱/۵۳	۵/۷۲	۴/۰۱	۴/۳۴	۱/۰۲
Ca	۳/۱۷	۶/۵۴	۴/۷۹	۵/۰۷	۰/۸۶
SO_4	۲/۱۸	۷/۲۴	۵/۴۸	۶/۰۴	۱/۲۷

مقایسه‌ی میانگین‌ها به تفکیک کاربری‌ها و واحدهای زمین‌شناسی در جدول ۴ و ۵ نشان داده شده است. همانگونه که در جدول ۴ مشاهده می‌گردد، پارامترهای TH, Ca, Na, TDS, EC, Cl و SO_4 در کاربری‌های

1- Inverse Distance Weighting
2- Global Polynomial Interpolation
3- Local Polynomial Interpolation
4- Radial Basis Function
5- Kriging

مختلف اختلاف معنی‌دار دارند که نشان‌دهنده اثر کاربری‌های مختلف بر روی کیفیت آب است و با نتایج فینکلر و همکاران (۲۰۱۶)، نصرتی و همکاران (۲۰۱۸) و نگراجان[1] و همکاران (۲۰۱۰) همخوانی دارد. بالاترین میزان میانگین مربوط به مناطق صنعتی داخل حوضه‌ی آبریز حبله‌رود است که از دلایل آن رهاسازی مواد صنعتی و انتشار آلودگی به آب زیرزمینی می‌باشد که با نتایج فینکلر و همکاران (۲۰۱۶) و پسندیده‌فرد و همکاران (۲۰۱۹) در یک راستا می‌باشد.

جدول (۴): مقایسه‌ی میانگین پارامترهای کیفی آب در کاربری‌های مختلف

Table (4): Comparison of water quality parameters in different land uses

پارامتر / کاربری	TH	pH	TDS	EC	Cl	Na	Mg	Ca	SO_4
رودخانه	۱۸۷/۲۵	۷/۸۳	۲۲۶/۷۵	۳۷۶/۶۷	۱۰/۶۴	۶/۱۵	۱۷/۹۲	۴۵/۵۲	۳۵/۵۸
مراتع	۶۸۵/۸۶	۷/۸۷	۱۷۶۰/۴۹	۲۶۷۸/۲۷	۵۷۴/۹۳	۳۰۲/۹۹	۷۸/۴	۱۴۵/۲۸	۳۵۱/۴۷
کشاورزی	۷۴۰/۶۲	۷/۸۷	۲۰۰۶	۳۰۴۱/۵۵	۶۴۰/۸۳	۳۴۳/۰۴	۷۵/۱۸	۱۶۴/۵۳	۴۴۶/۳۵
مناطق مسکونی	۹۰۸/۰۶	۷/۸۸	۲۳۷۳/۲۵	۳۵۷۵/۱۳	۸۲۲/۹۱	۳۵۴/۴۴	۱۰۸/۱۴	۱۸۵/۳۶	۴۲۷/۳
زمین‌های شور	۱۳۹۸/۹۲	۷/۸۲	۴۰۷۵/۹۲	۶۰۷۶/۲۵	۱۵۳۶/۰۵	۷۷۲/۱۳	۱۷۰/۶۵	۲۸۳/۲	۷۱۵/۱۸
اراضی کم بازده	۱۷۱۱/۰۲	۷/۷۳	۴۴۹۰/۵	۶۷۱۲/۹۶	۱۷۹۸/۳۷	۸۱۲/۰۷	۱۴۸/۳۵	۴۰۹/۷۸	۷۳۶/۶۶
مناطق صنعتی	۲۰۳۵	۸/۰۷	۷۳۵۹/۶۷	۱۱۰۹۵/۵۶	۳۴۲۳/۸۶	۱۷۸۳/۶۵	۲۵۴/۲۷	۳۸۳/۱۶	۱۰۵۴/۳۵
میانگین کل	۱۰۹۵/۲۵	۷/۸۷	۳۱۸۴/۶۵	۴۷۹۳/۷۷	۱۲۵۸/۲۳	۶۲۴/۹۲	۱۲۱/۸۴	۲۳۰/۹۸	۵۳۸/۱۳
Sig.	۰/۰۳*	۰/۳	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۰*	۰/۰۴*	۰/۰۶	۰/۰۵*	۰/۰۵*

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد

همچنین در جدول ۵ مشاهده می‌گردد که پارامترهای TH, TDS, EC, Cl و SO_4 در واحدهای مختلف اختلاف معنی‌دار دارند که با نتایج عبادتی و سپهوندی (۲۰۱۵)، رحمتی و همکاران (۲۰۱۵)، اوساما و احمد (۲۰۱۸) و میروسلاو[2] و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی دارد. سنگ‌های تبخیری بالاترین میزان میانگین پارامترها را دارند و نشان‌دهنده اثر آن بر کاهش کیفیت آب زیرزمینی است. موارد فوق تأثیرپذیری کیفیت آب زیرزمینی را از هر دو مورد نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که روند تغییرات کیفیت آب اثرپذیری کیفیت آب را از زمین‌شناسی نشان می‌دهد و در مناطقی که فعالیت‌های صنعتی، اراضی کم‌بازده، زمین‌های شور، کشاورزی و مناطق مسکونی است، کیفیت آب به شدت کاهش پیدا کرده است که اثرات کاربری اراضی را نشان می‌دهد (پسندیده‌فرد و همکاران، ۲۰۱۹؛ سلاجقه و همکاران، ۲۰۱۱؛ هانگ[3] و همکاران، ۲۰۱۳).

1- Nagarajan
2- Miroslaw
3- Huang

جدول (۵): مقایسه‌ی میانگین پارامترهای کیفی آب در واحدهای زمین‌شناسی
Table (5): Comparison of water quality parameters in different geological units

پارامتر / واحد	TH	pH	TDS	EC	Cl	Na	Mg	Ca	SO_4
آهک و دولومیت	۱۷۸/۲۵	۷/۸۲	۲۲۶/۷۵	۳۷۶/۶۶	۱۰/۶۳	۶/۱۵	۱۷/۹۱	۴۵/۵۲	۳۵/۵۸
کنگلومرا و ماسه‌سنگ	۳۸۸/۹۶	۷/۸۶	۸۳۵/۴۵	۱۳۰۵/۱	۱۸۰/۵۷	۱۲۱/۱	۳۳/۴۸	۱۰۴/۳۵	۱۹۷/۱۶
آهک، آهک رسی، آهک مارنی، توف و مارن	۵۴۲/۹۵	۷/۷۹	۱۳۴۹/۲۵	۲۰۴۹/۷۵	۴۵۰/۸۸	۳/۷۷	۸/۸۷	۳۶/۳۷	۱۶/۳۳
مادستون، شیل، مارن، نهشته‌های آبرفتی	۷۷۰/۰۲	۷/۸۲	۱۵۶۲/۳۳	۲۳۷۲/۴۵	۳۴۳/۰۷	۲۰۰/۳۳	۶۸/۰۱	۱۹۶/۴	۵۶۹/۵۱
ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سنگ‌های تبخیری	۸۴۲/۸	۷/۸۷	۲۲۸۷/۹۴	۳۴۵۹/۴۸	۷۸۶/۶	۴۰۵/۵	۹۳/۴۵	۱۸۰/۶۴	۴۵۹/۸۸
میانگین کل	۵۴۶/۴	۷/۸۳	۱۲۵۲/۳۴	۱۹۱۲/۷	۳۵۴/۳۵	۱۴۷/۳۶	۴۴/۳۶	۱۱۲/۶۵	۲۵۵/۷
Sig.	۰/۰۱۱*	۰/۴	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۴*	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۴*

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد

جدول ۶ و ۷ میزان همبستگی بین پارامترها به تفکیک کاربری و واحدهای زمین‌شناسی را نشان می‌دهند. پارامتر EC در سطح ۵ درصد بیشترین همبستگی را با TDS نشان داد که با نتایج اوساما و احمد (۲۰۱۸) و بونانسی و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد. دلیل این همبستگی بالا، اثرگذاری افزایش میزان EC بر روی TDS می‌باشد. در حقیقت به دلیل فعالیت‌های کشاورزی و شوری خاک در این منطقه سبب همبستگی بالای EC, TDS و حتی Na شده است که با نتایج نصرتی و همکاران (۲۰۱۸) همخوانی دارد. همبستگی سایر پارامترها نشان‌دهنده اثرات هیدروشیمیایی منطقه می‌باشد، چرا که این پارامترها به طور مستقیم در کانی‌سازی آب نقش دارند (بونانسی و همکاران، ۲۰۱۵). پارامتر pH با هیچ‌کدام از پارامترهای دیگر همبستگی نداشت که با نتایج فینکلر و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد. این نتایج در بخش واحدهای زمین‌شناسی نیز صدق می‌کند. سایر پارامترهایی که با یکدیگر همبستگی بالایی دارند، در جدول بلد نمایش داده شده‌اند. وجود همبستگی بالا در بیشتر پارامترها نشان‌دهنده اثرات آن‌ها بر همدیگر و در نهایت کیفیت آب زیرزمینی است.

جدول (۶): ماتریس میزان همبستگی بین متغیرها در بین کاربری‌های مختلف

Table (6): Matrix of the correlation between variables in different land uses

	TH	pH	TDS	EC	Cl	Na	Mg	Ca	SO_4
TH	۱								
pH	۰/۳۰۳	۱							
TDS	۰/۹۷۵	۰/۴۹۷	۱						
EC	۰/۹۷۳	۰/۵۰۴	۱	۱					
Cl	۰/۹۵۱	۰/۵۵۷	۰/۹۹۴	۰/۹۹۵	۱				
Na	۰/۹۲۶	۰/۶۱۱	۰/۹۸۶	۰/۹۸۷	۰/۹۹۶	۱			
Mg	۰/۹۵۹	۰/۵۱۱	۰/۹۸۶	۰/۹۸۶	۰/۹۷۴	۰/۹۶۷	۱		
Ca	۰/۹۷۸	۰/۱۱۹	۰/۹۱۳	۰/۹۱۰	۰/۸۷۸	۰/۸۴۱	۰/۸۸	۱	
SO_4	۰/۹۸	۰/۴۲۲	۰/۹۸۴	۰/۹۸۳	۰/۹۶	۰/۹۴۹	۰/۹۷۸	۰/۹۳۱	۱

جدول (۷): ماتریس میزان همبستگی بین متغیرها در بین واحدهای مختلف زمین‌شناسی

Table (7): Matrix of the correlation between variables in different geological units

	TH	pH	TDS	EC	Cl	Na	Mg	Ca	SO_4
TH	۱								
pH	۰/۱۷۱	۱							
TDS	۰/۹۶۷	۰/۲۵۴	۱						
EC	۰/۹۶۷	۰/۲۶	۱	۱					
Cl	۰/۸۷۱	۰/۲۵۷	۰/۹۶۵	۰/۹۶۵	۱				
Na	۰/۸	۰/۶۹۴	۰/۸۲۵	۰/۸۲۷	۰/۷۶۹	۱			
Mg	۰/۸۱۳	۰/۶۰۷	۰/۷۸۴	۰/۷۸۶	۰/۶۸۳	۰/۹۷۵	۱		
Ca	۰/۸۰۵	۰/۴۸۶	۰/۷۰۱	۰/۷۰۳	۰/۵۲۳	۰/۸۶۳	۰/۹۳۸	۱	
SO_4	۰/۸۱۵	۰/۳۹۲	۰/۶۹۲	۰/۶۹۳	۰/۵۰۳	۰/۸۲۱	۰/۹۱۴	۰/۹۹۴	۱

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

با توجه به اینکه مقدار آماره KMO برابر ۰/۸۱۷ در بخش کاربری‌ها و ۰/۸۶۴ در بخش واحدهای زمین-شناسی است، پس داده‌ها برای انجام تحلیل عاملی مناسب‌اند. تحلیل عاملی بر اساس مشخصه‌های کیفیت آب نشان داد که ۸۸/۱۶ درصد تغییرات کیفیت آب در بین کاربری‌ها با یک عامل (TDS با بار وزنی ۰/۹۹) کنترل می‌شود (جدول ۸ و ۹) و با توجه به اینکه این عامل، مقدار ویژه بالای یک دارد، نیاز به چرخش واریماکس

هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۲۵، سال هفتم، زمستان ۱۳۹۹، صص ۳۷-۱۹
Hydrogeomorphology, Vol. 7, No. 25, Winter 2021, pp (19-37)

نیست. بنابراین این پارامتر، مهم‌ترین پارامتر اثرگذار بر کیفیت آب در بین کاربری‌های مختلف شناخته شد که با نتایج آدبولا[1] و همکاران (۲۰۱۳) و پسندیده‌فرد و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد.

جدول (۸): درصد واریانس و مقادیر ویژه برای ۹ متغیر کیفی در بین کاربری‌ها
Table (8): Percent of variance and eigen values for 9 qualitative variables in land uses

اجزاء	مقدار ویژه اولیه			استخراج مجموع مربعات بارها		
	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۷/۹۳۵	۸۸/۱۶۲	۸۸/۱۶۲	۷/۹۳۵	۸۸/۱۶۲	۸۸/۱۶۲
۲	۰/۹۸۴	۱۰/۹۳۳	۹۹/۰۹۵			
۳	۰/۰۴۶	۰/۵۱۴	۹۹/۶۰۹			
۴	۰/۰۲۵	۰/۲۷۴	۹۹/۸۸۳			
۵	۰/۰۱	۰/۱۱۵	۹۹/۹۹۸			
۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱۰۰			

جدول (۹): ماتریس عاملی دوران نیافته ۹ متغیر کیفی در بین کاربری‌ها
Table (9): Matrix of non-rotating factor 9 qualitative variables in land uses

متغیرها	اجزاء
	۱
TH	۰/۹۷۵
pH	۰/۵۰۲
TDS	۰/۹۹۸
EC	۰/۹۵۱
Cl	۰/۹۹۳
Na	۰/۹۸۴
Mg	۰/۹۸۸
Ca	۰/۹۱۲
SO_4	۰/۹۸۶

تحلیل عاملی بر اساس مشخصه‌های کیفیت آب نشان داد که ۹۱/۵۹ درصد تغییرات کیفیت آب در بین واحدهای زمین‌شناسی با دو عامل (عامل اول با بار وزنی (۰/۹۵) مربوط به پارامتر TDS و برای عامل دوم، بار وزنی (۰/۹۵) مربوط به پارامتر EC) کنترل می‌شود که درصد واریانس هر کدام از عامل‌های ۱ و ۲ به ترتیب

1- Adebola

۷۷/۲۹ و ۱۴/۳ درصد است (جدول ۱۰ و ۱۱). بنابراین این دو پارامتر، مهم‌ترین پارامتر اثرگذار بر کیفیت آب در بین واحدهای مختلف زمین‌شناسی شناخته شدند که نشان‌دهنده‌ی اثرات سازندها بر روی افزایش غلظت املاح محلول در آب است و با نتایج چیت‌سازان و همکاران، ۲۰۱۹؛ جعفریان و همکاران، ۲۰۱۸؛ رحمتی و همکاران (۲۰۱۵) و میروسلاو و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی دارد. از دلایل کاهش کیفیت آب زیرزمینی در جنوب حوضه افزایش میزان شوری می‌باشد که تأثیر واحدهای زمین‌شناسی مخرب کیفیت آب شامل نهشته‌های تبخیری مربوط به واحدهای قرمز زیرین و فوقانی، سازند قم و همچنین گنبدهای نمکی و گچی را نشان می‌دهد (عبادتی و همکاران، ۲۰۱۵ و نصری و همکاران، ۲۰۱۸).

جدول (۱۰): درصد واریانس و مقادیر ویژه برای ۹ متغیر کیفی در بین واحدهای زمین‌شناسی
Table (10): Percent of variance and eigen values for 9 qualitative variables in geological units

اجزاء	مقدار ویژه اولیه		استخراج مجموع مربعات بارها			
	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۶/۹۵۷	۷۷/۲۹۹	۷۷/۲۹۹	۶/۹۵۷	۷۷/۲۹۹	۷۷/۲۹۹
۲	۱/۲۸۷	۱۴/۳	۹۱/۵۹۹	۱/۲۸۷	۱۴/۳	۹۱/۵۹۹
۳	۰/۷۰۱	۷/۷۸۶	۹۹/۳۸۵			
۴	۰/۰۵۵	۰/۶۱۵	۱۰۰			

جدول (۱۱): ماتریس عاملی دوران یافته ۹ متغیر کیفی در بین واحدهای زمین‌شناسی
Table (11): Matrix of rotating factor 9 qualitative variables between geological units

متغیرها	اجزاء ۱	۲
TH	۰/۹۳۵	۰/۳۱۹
pH	-۰/۰۵۳	۰/۸۷۵
TDS	۰/۹۵۲	۰/۲۸۴
EC	۰/۲۸۹	۰/۹۵
Cl	۰/۹۲۵	۰/۱۷۵
Na	۰/۶۲۷	۰/۷۵۷
Mg	۰/۶۰۵	۰/۷۷۹
Ca	۰/۵۴۵	۰/۷۶۵
SO_4	۰/۵۶۴	۰/۷۰۷

جدول ۱۲ مقدار RMSE و مدل انتخابی جهت پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه شرط استفاده از روش کریجینگ وجود ساختار مکانی بین داده‌ها است برای سه پارامتر TDS, SAR و EC واریوگرام مورد بررسی قرار گرفت. همچنین جدول ۱۳ مشخصات مدل واریوگرام منتخب را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه میزان شعاع تأثیر در هر سه پارامتر بالا است، نشان از پیوستگی مکانی بالا می‌باشد.

جدول (۱۲): مقادیر RMSE پارامترهای مورد استفاده در بخش کیفیت آب

Table (12): RMSE values of parameters used in water quality

متغیرها	IDW	GPI	LPI	RBF	Kriging	CoKriging	روش انتخابی با توجه به RMSE کمتر
TDS (mg/l)	۱۰۴۷	۱۲۲۷	۱۰۵۷	۱۰۰۴	۱۰۰۰	۱۰۱۱	Kriging
TH (mg/l)	۴۰۲/۷	۴۵۲/۴	۴۰۵/۶	۳۹۸/۱	۳۹۸/۵	۴۰۱/۶	RBF
EC (mmhos/cm)	۱۵۶۴	۱۸۳۸	۱۵۸۶	۱۵۰۵	۱۴۹۷	۱۵۶۳	Kriging
SAR	۲/۹۲	۳/۲۸	۲/۹۷	۲/۸۷	۲/۷۸	---	Kriging

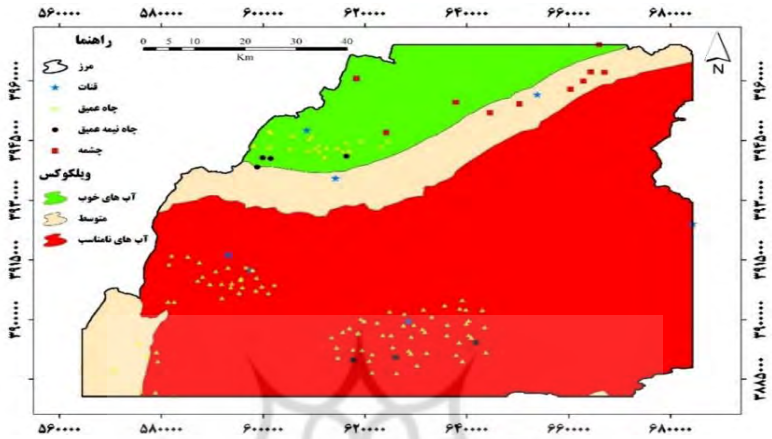
جدول (۱۳): مشخصات مدل واریوگرام انتخابی برای پارامترهای کیفی

Table (13): Variogram model specifications selected for qualitative parameters

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	شعاع تأثیر (متر)	$C/(C_0+C)$	R^2	RSS
TDS	کروی	۱۰۰۰	۲۶۸۳۰۰۰	۳۵۱۰۰	۰/۴۵	۰/۷۵	۱/۱۹
EC	نمایی	۱۰۰۰۰	۵۹۷۶۰۰۰	۳۴۸۰۰	۰/۴	۰/۸۵	۵/۸۱
SAR	نمایی	۱۱/۳۱	۲۲/۶۳	۶۷۳۰۰	۰/۳۱	۰/۷	۸۶/۴

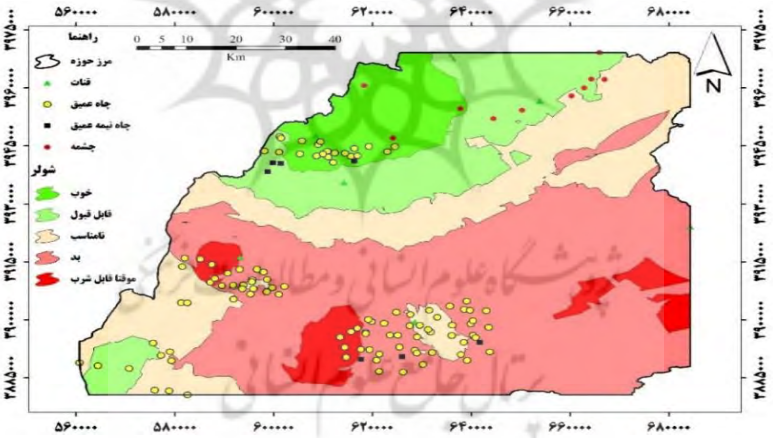
شکل ۴ پهنه‌بندی کیفیت آب در بخش کشاورزی را از طریق طبقه‌بندی ویلکوکس نشان می‌دهد. با توجه به شکل آب‌های رده خیلی خوب در منطقه وجود ندارد و به ترتیب از شمال حوضه به سمت جنوب حوضه از کیفیت آب کاسته شده است. شکل ۵ پهنه‌بندی کیفیت آب شرب را با بهره‌گیری از دیاگرام شولر نشان می‌دهد. در بخش شرب نیز روند کاهشی کیفیت آب از شمال به جنوب حوضه مشهود می‌باشد.

با توجه به پهنه‌بندی آب زیرزمینی روند کاهش کیفیت آب از سمت شمال و شمال غربی به سمت جنوب و جنوب شرقی در امتداد رودخانه حبله‌رود می‌باشد که با نتایج اوساما و احمد (۲۰۱۸)، عبادتی و سپهوندی (۲۰۱۵)، میروسلاو و همکاران (۲۰۱۲) و نگراجان و همکاران (۲۰۱۰) که کاهش کیفیت آب را به آب سطحی ارتباط داده‌اند همخوانی دارد. از طرف دیگر افت ایجاد شده در اثر برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی در دشت گرمسار نیز باعث تشدید آلودگی آب در پایین دست حوضه شده است که با نتایج عبادتی و سپه وندی (۲۰۱۵) و میروسلاو و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی دارد.



شکل (۴): پهنه‌بندی کیفیت آب کشاورزی منطقه‌ی مورد مطالعه (ویلکوکس)

Figure (4): Agricultural water quality zoning of the study area (Wilcox)



شکل (۵): پهنه‌بندی کیفیت آب شرب منطقه‌ی مورد مطالعه

Figure (5): Drinking water quality zoning of the study area

۴- نتیجه‌گیری

حوضه‌ی آبریز حبله‌رود (بخش مورد مطالعه) به دلیل وابستگی بالای مصارف مختلف شرب و کشاورزی به آب زیرزمینی جهت انجام این مطالعه انتخاب شد. در این تحقیق به منظور ارزیابی اثرات زمین‌شناسی و کاربری اراضی بر کیفیت آب زیرزمینی از تکنیک‌های آماری چندمتغیره و روش‌های زمین‌آمار در ArcGIS استفاده شد. تشخیص مجموعه‌ای از شرایط هیدروژئولوژیکی و فرآیندهای هیدروشیمیایی که در آبخوان، کیفیت آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند مشکل است و به همین جهت محققان جهت تشخیص سهم هر یک از عوامل و شرایط مؤثر بر ترکیب آب زیرزمینی از روش تحلیل عاملی استفاده می‌کنند. نتایج تحلیل عاملی بر اساس تجزیه

به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که می‌توان فاکتورهای مهم و مؤثر در کیفیت آب را شناسایی و استخراج نمود. نتایج نشان داد که پارامترهای TH, Ca, Na, TDS, EC, Cl و SO_4 در کاربری‌های مختلف و پارامترهای TH, TDS, EC, Cl و SO_4 در واحدهای مختلف زمین‌شناسی اختلاف معنی‌دار دارند که اثرپذیری کیفیت آب را از هر دو عامل زمین‌شناسی و کاربری اراضی نشان می‌دهد. با مقایسه میانگین کیفیت آب در بین کاربری‌ها و واحدهای مختلف زمین‌شناسی مشاهده شد که میانگین کلیه پارامترهای مورد بررسی در کاربری‌ها بیشتر از واحدهای زمین‌شناسی می‌باشد و این مورد اثرپذیری کیفیت آب را در وهله اول از کاربری‌های مختلف نشان می‌دهد. در این تحقیق دو پارامتر TDS و EC به عنوان مهمترین پارامترهای اثرگذار بر کیفیت آب شناسایی شدند که همبستگی بالایی با همدیگر داشتند. نتایج نشان داد که مناطقی که دارای آب‌های با رده موقتاً قابل شرب و رده بد هستند، اثرات نهشته‌های آبرفتی حاوی املاح گچ و نمک، کفه‌های گل و نمک، نهشته‌های مارنی و همچنین ژیپس را نشان می‌دهند که بیشتر در مناطق جنوبی حوضه تمرکز دارند. در این تحقیق مشخص گردید که برخی از پارمترهای کیفیت آب زیرزمینی متأثر از کاربری اراضی و برخی دیگر متأثر از سنگ‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه است؛ اما در حالت کلی می‌توان بیان کرد که در اولویت اول عامل کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی (دویک و همکاران، ۲۰۱۴؛ کلستینو و همکاران، ۲۰۱۸؛ فینکلر و همکاران، ۲۰۱۶) و در اولویت دوم عامل زمین‌شناسی (بوترا و همکاران، ۲۰۱۹؛ گوپتا و همکاران، ۲۰۱۷ و رحمتی و همکاران، ۲۰۱۵) بر کیفیت آب زیرزمینی بیشترین تأثیر معنی‌دار را اعمال می‌کنند. در بخش واحدهای زمین‌شناسی انحلال واحدهای آهکی و دولومیتی، فرآیندهای شیمیایی انحلال نمک و همچنین وجود واحدهای تبخیری عامل اصلی کنترل شیمی آب زیرزمینی منطقه هستند. نتایج نشان داد که تکنیک‌های آماری چندمتغیره و زمین‌آمار توانایی تشخیص عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی و پهنه‌بندی کیفیت آب جهت مصارف مختلف را دارا هستند و لذا جهت تحقیقات مشابه پیشنهاد می‌شوند. به طور کلی نتایج این تحقیق می‌تواند به مدیران منابع آب و کارشناسان محیط زیست در ارائه راهکارهای پیشنهادی در مدیریت کیفیت آب زیرزمینی به ویژه در مواقع بیش از حد برداشت آب که غلظت پارامترهای کیفی افزایش می‌یابد، کمک کند. با توجه به آنچه بیان شد پیشنهاداتی به شرح زیر ارائه می‌گردد: پایش آلودگی‌های بیولوژیک و سموم کودهای شیمیایی و فلزات سنگین، بررسی ارتباط دقیق رودخانه‌ها با آبخوان‌ها به لحاظ کیفی و بررسی اثرات پساب‌های صنعتی و تعیین نوع پساب‌ها و اثرات آن‌ها بر کیفیت آب.

تقدیر و تشکر

این مطالعه در قالب طرح تحقیقاتی مصوب و با حمایت معاونت پژوهشی مجتمع آموزش عالی شیروان انجام شده است که بدینوسیله از ایشان سپاسگزاری می‌گردد.

۵- منابع

Adebola, A.O., Seun, M.A., Oladele, O. (2013). Water Quality Assessment of River Ogun Using Multivariate Statistical Techniques. *Journal of Environmental Protection*. 4, 466-479.

Ahmadi, A., Toranjzar, H., Kazemi, A. (2019). Mapping Soil Salinity in Boulagh (Saveh) Saline Lands Using Geostatistical Methods. *Journal of Natural Environmental Hazards*. 8(19), 1-14.

Bonansea, M., Ledesma, C., Rodriguez, C., Pinotti, L. (2015). Water quality assessment using multivariate statistical techniques in Río Tercero Reservoir, Argentina. *Hydrology Research*. 46(3), 377-388.

Bouteraa, O., Mebarki, A., Bouaicha, F., Nouaceur, Z., Laignel, B. (2019). Groundwater quality assessment using multivariate analysis, geostatistical modeling, and water quality index (WQI): a case of study in the Boumerzoug-El Khroub valley of Northeast Algeria. *Acta Geochim*. https://doi.org/10.1007/s11631-019-00329-x.

Celestino, A.E.M., Cruz, D.A.M., Sanchez, E.M.O., Reyes, F.G., Soto, D.V. (2018). Groundwater Quality Assessment: An Improved Approach to K-Means Clustering, Principal Component Analysis and Spatial Analysis: A Case Study. *Water*. 10(437), 1-21.

Chitsazan, M., Eilbeigy, M., Tabari, M. (2019). Evaluation of Groundwater Nitrate Pollution Based on Main Components and Factor Analysis (Case Study: Karaj Plain Aquifer). *Eco Hydrology*. 5(4), 1119-1133.

Devic, G., Djordjevic, D., Sakan, S. (2014). Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in Serbia. *Science of the Total Environment*. 468, 933-942.

Ebadati, N., Sepavandi, S. (2015). Role of Geological Structures and Lithology in the Quantitative and Qualitative Changes of Eshtehard Aquifers. *Eco Hydrology*. 2(1), 117-128.

Finkler, N.R., Bortolin, T.A., Cocconi, J., Mendes, L.A., Schneider, V.E. (2016). Spatial and temporal assessment of water quality data using multivariate statistical techniques. *Ciência Natura*. 38(2), 577 – 587.

Gupta, V.S.S.R., Rao, R.S., Divya, K. (2017). Evaluation of groundwater quality using multivariate statistical techniques and GIS - A case study. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. 8(8), 1165–1176.

Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Fernandez, J.M., Fernandez, L. (2000). Temporal evaluation of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by Principal Component Analysis. *Water Resources*. 34(3), 807-816.

Huang, J., Zhan, J., Yan, H., Wu, F., Deng, X. (2013). Evaluation of the impacts of land use on water quality: a case study in the Chaohu lake basin. *Scientific World Journal*. 1-7.

Jafarian, H., Vaezihir, A., Pirkharrati, H. (2018). The Determination of the Influential Parameters in Hydrochemistry of Hard Rocks and Karstic Groundwater in the West of Urmia, Iran. *Hydrogeomorphology*. 4(15), 75-94.

Kumar, A., Kumar, K., Alam, A.K. (2019). Spatial distribution of physico-chemical parameters for groundwater quality evaluation in a part of Satluj River Basin, India. Water Supply. 19(5), 1480-1490.

Miroslaw, Z., Aleksander, A., Anna, W., Stanis, M. (2012). Spatiotemporal dynamics of spring and stream water chemistry in a high-mountain area. *Journal of Environmental Pollution*. 159, 1048-1057.

Muangthong, S. (2015). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Nampong River Basin, Thailand. *Journal of Industrial Technology*. 11(1), 25-37.

Nagarajan, R., Rakmohan, N., Mahendran, U., Senthamilkumar, S. (2010). Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Thanjavur city, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 171, 289-308.

Nosrati, K., Eslami, A., Sayadi, M. (2018). The analysis and classification of water quality using a multivariate static technique in the City of Mallard, Tehran. *Hydrogeomorphology*. 4(15), 171-190.

Ostvari, Y., Byegi, H., Davodian, A. (2015). Geostatistical processing Scaling and corrosion potential groundwater Lordegan plain. *Journal of Environmental Science and Technology*. 17(2), 45-61.

Pasandidehfard, Z., Tabrizi, A.R., Masaedi, A., Rezaei, H. (2019). Assessment of land-use Change Impacts on Water Quality Parameters in Sub-basins of Hableh Rood Watershed using Multivariate Statistics and Time Series Models (ARIMA). *Eco Hydrology*. 6(1), 29-39.

Rahmati, O., Mahmudi, N., Mosaedi, A., Hydari, F. (2015). Assessing the Effect of Landuse and Lithology on Spring Water Quality in Piranshahr Watershed. *Iranian Journal of Watershed Management Science*. 8(27), 19-26.

Salajegheh, A., Razavizadeh, S., Khorasani, N., Hamidifar, M., Salajegheh, S. (2011). Land use changes and its effects on water quality (case study: Karkheh watershed). *Environmental Studies*. 37(58), 22-26.

Singh, K.P., Malik, A., Mohan D., Sinha, S. (2004). Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) - A case study. Water Research. 38(18), 3980-3992.

Usama zafar, M., Ahmad, W. (2018). Water Quality Assessment and Apportionment of Northern Pakistan Using Multivariate Statistical Techniques– a Case Study. *International Journal of Hydrology*. 2(1), 1-6.

Uyan, M., Cay, T. (2010). Geostatistical methods for mapping groundwater nitrate concentrations. *3rd International conference on cartography and GIS*. June 12-20, Nessebar, Bulgaria.

Wu, J., Li, P., Wang, D., Ren X., Wei, M. (2019). Statistical and multivariate statistical techniques to trace the sources and affecting factors of groundwater pollution in a rapidly growing city on the Chinese Loess Plateau. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. DOI: 10.1080/10807039.2019.1594156.

Zhao, Y., Xia, X.H., Yang, Z.F., Wang, F. (2012). Assessment of water quality in Baiyangdian Lake using multivariate statistical techniques. *Journal of Procedia Environmental Sciences*. 13, 1213-1226.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی