فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال نهم، شماره ۳۲، پاییز ۱۳۹٤

ارزیابی هیدروژئوشیمی منابع آب دشت گنبدکاووس و تحلیل تغییرات مکانی آن با استفاده از GIS

محمددردی محمودی[۱]، جمیل روزرخ[۲]، حامد جهانی‌مقدم[۳] و علیرضا مرادیان‌هره‌دشت[٤]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت و محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز

٤- دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۲٤ تاریخ تصویب: ۹٤/٤/۳۱

چکیده

کیفیت و کمیت آب در مصارف مختلف از جمله شرب، کشاورزی، صنعت و بهداشت مهم می باشد، از این رو بررسی کیفیت آن از نظر هیدروژئوشیمیایی ضروری به نظر می رسد. در این پژوهش از داده های مربوط به ۳۸ نمونه‌ی شهرستان گنبد و حومه آن استفاده شد. داده های هیدروشیمیایی حاصل با استفاده از دیاگرام های گرافیکی (دیاگرام پایپر، ویلکوکس و شولر) و تحلیل آماری چندمتغیره (تحلیل مولفه های اصلی و خوشه بندی) به همراه نرم افزار Arc GIS تفسیر شد. بر اساس دیاگرام پایپر بیشتر نمونه ها در بخش ۵ (ناحیه اختلاط) و بخش ۳ (سولفات-کلر و سدیم- پتاسیم) قرار داشتند. از نظر دیاگرام ویلکوکس (ارزیابی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی) نمونه وابسته به بخش غربی دشت گنبد کاووس کیفیت متوسط و بد را نشان دادند. بیشتر مناطق غربی دشت گنبد کاووس از نظر دیاگرام شولر (ارزیابی کیفیت آب برای شرب) دارای کیفیت نامناسب و کاملا نامطبوع بودند. تحلیل خوشه بندی منجر به استخراج ٤ خوشه شد، دو خوشه اول بیشتر در بخش شرقی دشت گنبد قرار داشته و نسبت به خوشه های ۳ و ٤ کیفیت مناسب تری را دارا می باشند. خوشه های ۳ و ٤ در قسمت های میانی غربی دشت پایین ترین کیفیت را دارا بودند. با توجه به مشکلات مشاهده شده بخصوص در بخش غربی دشت، ضرورت مطالعه‌ای مفصل جهت مدیریت بهتر کیفیت و کمیت منابع آب در روستاهای بخش غربی دشت گنبد کاووس توصیه می شود.

واژگان کلیدی: آب زیرزمینی، کیفیت آب، GIS، روش های گرافیکی، تحلیل آماری چند متغیره، هیدروشیمی.

مقدمه

در مقیاس جهانی، در مناطق روستایی و شهری حدود یک سوم جمعیت به آب‌های زیرزمینی جهت شرب وابسته هستند (Hetzel ,2008). افزایش فعالیت‌های کشاورزی در چند سال اخیر سبب شده که آب‌زیرزمینی منبع اصلی تأمین کننده آب برای مصارف کشاورزی، صنعت و مصرف عموم باشد و شدیداً مورد بهره‌برداری قرار بگیرد (Nadiri et al 2013). در مناطق خشک و نیمه‌خشک وابستگی به آب‌های زیرزمینی جهت تأمین آب شرب بسیار بالا (بین ٦۰-۱۰۰ درصد) است و معمولاً این مناطق دارای باران‌های کم و بدون نظم هستند (Baum ,2007). ازاین‌رو با توجه به قرارگیری ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک، توجه و برنامه‌ریزی برای حفاظت کمی و کیفی منابع آب ضروری است (صداقت، ۱۳۷۵). متغیرهای مختلفی بر روی کیفیت آب زیرزمینی می‌توانند اثر داشته باشند که ازجمله آن‌ها می‌توان ترکیب شیمیایی آب باران، ترکیب شیمیایی کانی‌های سازنده حوضه آبریز، مواد سازنده آبخوان و فعالیت‌های بشری را نام برد (Lefebvre et al. 2008). برای شناسایی تأثیر فاکتورهای مختلف بر روی کیفیت آب زیرزمینی روش‌های مختلفی وجود دارد که روش‌های گرافیکی و آنالیزهای آماری چندمتغیره از

جمله آن‌ها می‌باشند و در این پژوهش از آن‌ها استفاده شده است. روش‌های گرافیکی به‌طور رایج برای بررسی و تفسیر فرایندهای هیدروژئوشیمیایی مورداستفاده قرار گرفته‌اند. (Schwartz & Zhang 2003).

دیاگرام پایپر برای بررسی تیپ آب‌های زیرزمینی استفاده‌شده است (اصغری مقدم و فیجانی ۱۳۸۸). دیاگرام ویلکوکس وضعیت کیفیت استعمال آب زیرزمینی جهت استفاده برای آبیاری را نشان می‌دهد (Wilcox ,1955). همچنین دیاگرام شولر به‌عنوان یکی از دیاگرام‌های گرافیکی، چگونگی کیفیت آب زیرزمینی را جهت شرب انسان مطالعه می‌کند. روش‌های گرافیکی متداول مذبور محدودیت‌هایی دارند که ازجمله آن‌ها می‌توان به عدم استفاده از متغیرهای فیزیکی همانند pH و دما و دیگر عناصر شیمیایی همانند آرسنیک و ... اشاره کرد (Voudouris, Lambrakis et al. 1997).

ازاین‌رو روش تحلیل‌های آماری چندمتغیره به‌عنوان روشی مکمل برای روش‌های گرافیکی در مبحث آب‌های زیرزمینی و محیط زیست به‌طور فراوان استفاده‌شده است (Bengraïne & Marhaba 2003). یکی از روش‌های آنالیز آماری چندمتغیره تحلیل مؤلفه‌های اصلی PCA است که برای ساده‌سازی تعداد مؤلفه‌ها بدون حذف داده‌های با معنی به‌طور ویژه برای تحلیل داده‌های هیدروشیمیایی مورد استفاده قرارگرفته است (Lambrakis, Antonakos et al. 2004).

مسافری و همکاران از روش تحلیل آماری چند متغیره برای ساده‌سازی و سازمان‌دهی داده‌های یون‌های اصلی و فلزات سنگین جهت کاهش تعداد متغیرها استفاده کردند (مسافری و همکاران ۱۳۹۳). روش تحلیل خوشه‌بندی سلسله مرتبه‌ای در علوم زمین‌شناسی، محیط‌زیست و برای داده‌های هیدروشیمیایی به‌طور گسترده مورداستفاده قرارگرفته است (Davis John, 1986).

سلله و همکاران در سال ۲۰۱۳، از تحلیل آماری چندمتغیره و مخصوصاً نمره عاملی برای ساده‌سازی داده‌ها و تصحیح تفسیر فرایندهای حاکم استفاده کردند (Schwientek et al. 2013). روش‌های تحلیل آماری چند متغیره مزایایی نسبت به روش‌های گرافیکی دارند که ازجمله آن‌ها می‌توان به استفاده از داده‌های شیمیایی و فیزیکی در تحلیل‌ها، یافتن رابطه بین متغیرها و نمونه‌ها، عدم محدودیت تعداد نمونه‌ها و شلوغی محیط کار و شناسایی فرایندهای پنهان بیشتر را یاد کرد (Matalas & Reiher 1967). دشت گنبدکاووس در استان گلستان و شمال شرق ایران واقع شده و به علت کمبود منابع آب سطحی، توجه و مدیریت منابع آب زیرزمینی از اهمیت خاصی برخوردار است. اهداف این پژوهش عبارت‌اند از: بررسی متغیرهای مهم در کیفیت آب‌های زیرزمینی (نیترات، هدایت الکتریکی و pH) و تفسیر رخداد آنها، ارزیابی وضعیت کیفی آب از نظر کشاورزی و شرب، استفاده از روش پایپر برای استخراج فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر کیفیت منابع آب منطقه مورد مطالعه، استفاده از روش تحلیل عاملی برای استخراج عوامل مؤثر بر کیفیت آب و خوشه‌بندی سلسله مرتبه‌ای برای طبقه‌بندی نمونه‌های مشابه در یک گروه و درون-یابی نمونه‌ها در محیط GIS جهت تفسیر دقیق‌تر فرایندها و توزیع نمونه‌ها از جمله اهداف این پژوهش می باشد.

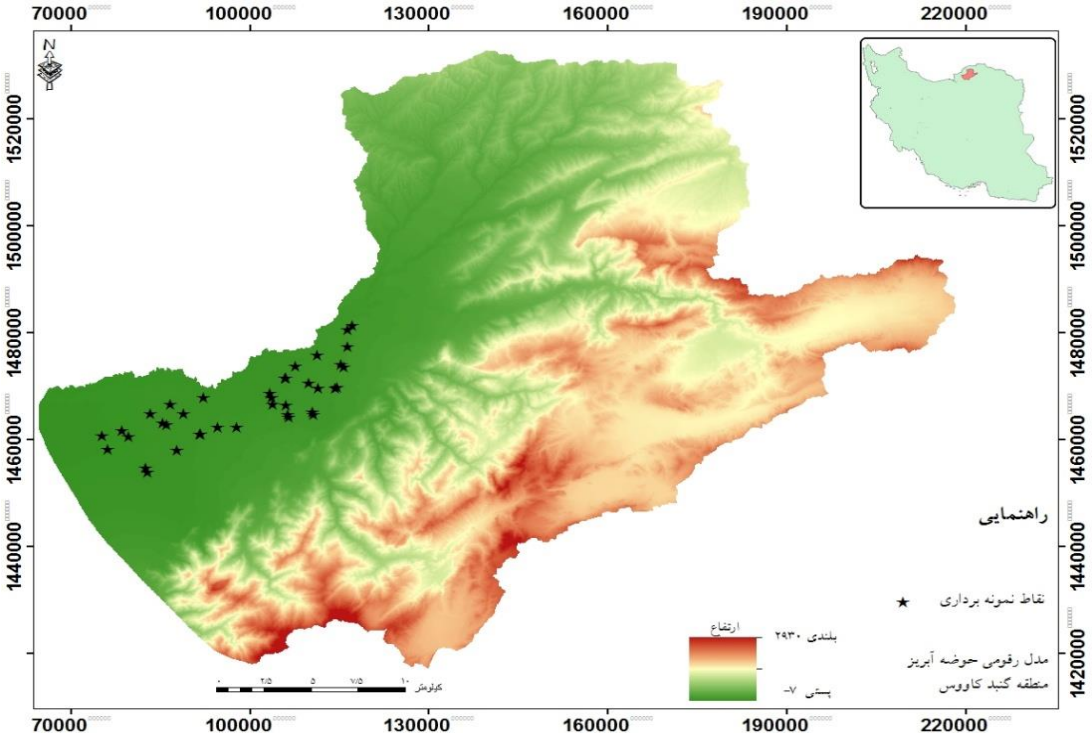
مواد و روش‌ها

منطقه گنبد گاووس در استان گلستان واقع شده و بخشی از حوضه آبریز گرگانرود است (شکل ۱). حداکثر ارتفاع در این ناحیه ۲۹۳۰ متر در بخش جنوب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه بوده و به سمت غرب و شمال غربی به‌تدریج از ارتفاع آن کاسته شده و پست‌ترین نقطه دارای ارتفاع ۷ متر پایین تر از سطح آزاد دریا می‌باشد. منطقه گنبد کاووس از دیدگاه تقسیمات زمین‌شناسی، در بخش جنوبی کپه داغ قرار دارد و سازندهای زمین‌شناسی موجود در این بخش مربوط به زمان های پالئوزوییک و مزوزوئیک بوده که در شکل ۲ نشان داده شده اند. به علت تأثیر سازندهای زمین‌شناسی موجود در حوضه آبریز بر کیفیت آب‌زیرزمینی، نقشه زمین‌شناسی نیز برای حوضه آبریز تهیه گردیده است.

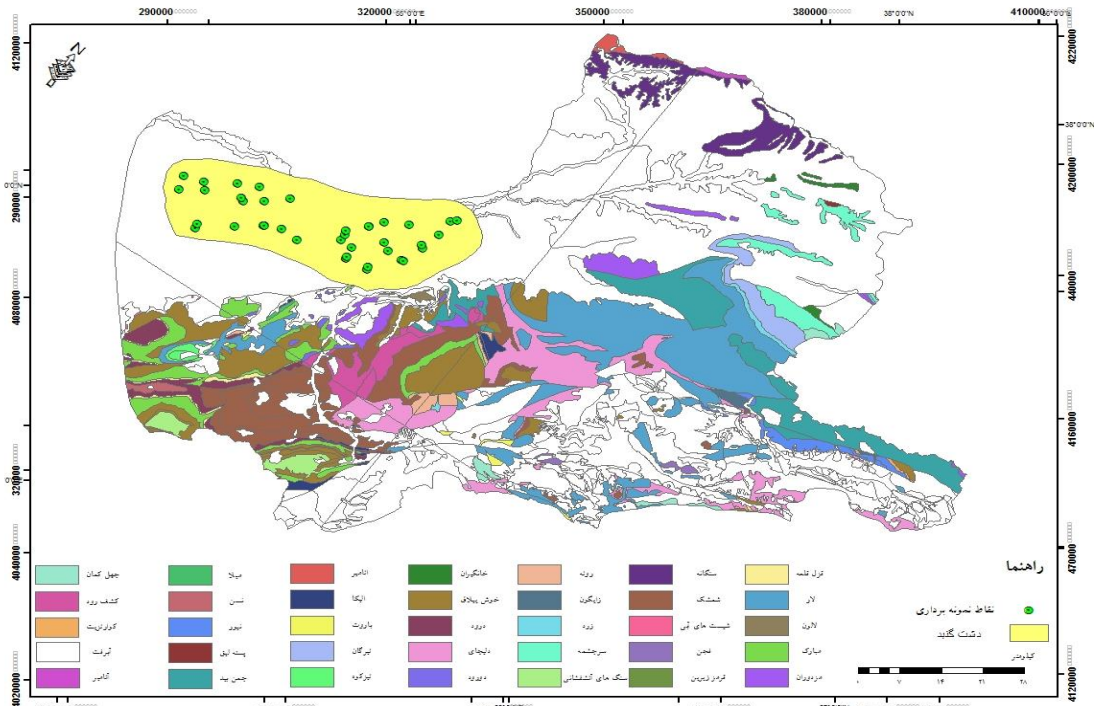
طبق شکل ۲ بیشتر مساحت مناطق شمالی منطقه مورد مطالعه را آبرفت‌های عهد حاضر پوشانیده و بیشتر بخش های جنوبی که به ارتفاعات ختم می شوند را سازندهای زمین شناسی مختلف مربوط به پالئوزوئیک و مزوزوئیک پوشش داده‌اند.

نمونه‌برداری از منابع آب

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان اخذ شده است. نمونه‌برداری از چاه‌های عمیق، نیمه عمیق، چشمه و قنات شهرستان گنبد و حومه آن صورت گرفته است. محل نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است. در این پژوهش داده‌های مربوط به ۳۸ نمونه بررسی می شود. این داده‌ها شامل سختی کل(TH)، کل جامدات محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC) ، pH، دما، درصد سدیم، غلظت سدیم، پتاسیم، ، سولفات و نیترات می‌باشند.



شکل ۱- موقعیت شهرستان گنبد کاووس بر روی نقشه ایران و حوضه آبریز آن



شکل ۲- نقشه سازندهای حوضه آبریز دشت گنبد کاووس

روش ها

در این پژوهش از روش های گرافیکی و آنالیز آماری چند متغیره استفاده شده است. روش‌های گرافیکی شامل دیاگرام پایپر، شولر و ویلکوکس می باشد. علاوه بر این، از روش‌های آماری جهت بررسی بهتر و یافتن روابط دقیق‌تر متغیرهای کیفی و تعیین مقادیر حداکثر، حداقل، میانه و میانگین استفاده شد. روش‌های آنالیزآماری چندمتغیره استفادشده شامل تحلیل عاملی و تحلیل خوشه بندی است. در روش تحلیل عاملی (FA)، از روش تحلیل مولفه های اصلی، روش چرخش واریماکس با استخراج مولفه های با بار عاملی بیشتر از ۱ استفاده شد. در روش خوشه بندی از روش وارد به عنوان روش خوشه بندی و فاصله اقلیدسی به عنوان بازه‌استفاده شده است. تحلیل همبستگی پیرسون نیز در کنار این روش ها استفاده شده است.

بحث ونتایج

خصوصیات آماری داده‌های هیدروشیمی استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است. داده های هیدروشیمیایی مربوط به متغیرهایی همانند کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم؛ بیکربنات، سولفات، کلراید، کل جامدات محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، pH، نیترات، دما، سختی کل و SAR می باشند. مقدار EC بین ۷۰۰ الی ۷۷۲۰ میکروزیمنس در تغیر است (جدول ۱).

غرب دشت به طور کاملا مشخص از نظر هدایت الکتریکی بالا بوده که ناشی از مسیر طولانی تر آب های زیرزمینی و انحلال مواد زمین شناسی در طی مسیر مهمترین دلایل برای توجیه آن می توانند باشند، زیرا بخش‌های غربی در مقایسه با بخش‌های شرقی در قسمت پایین دست زیر حوضه آبریز قرار دارند (شکل ۳).

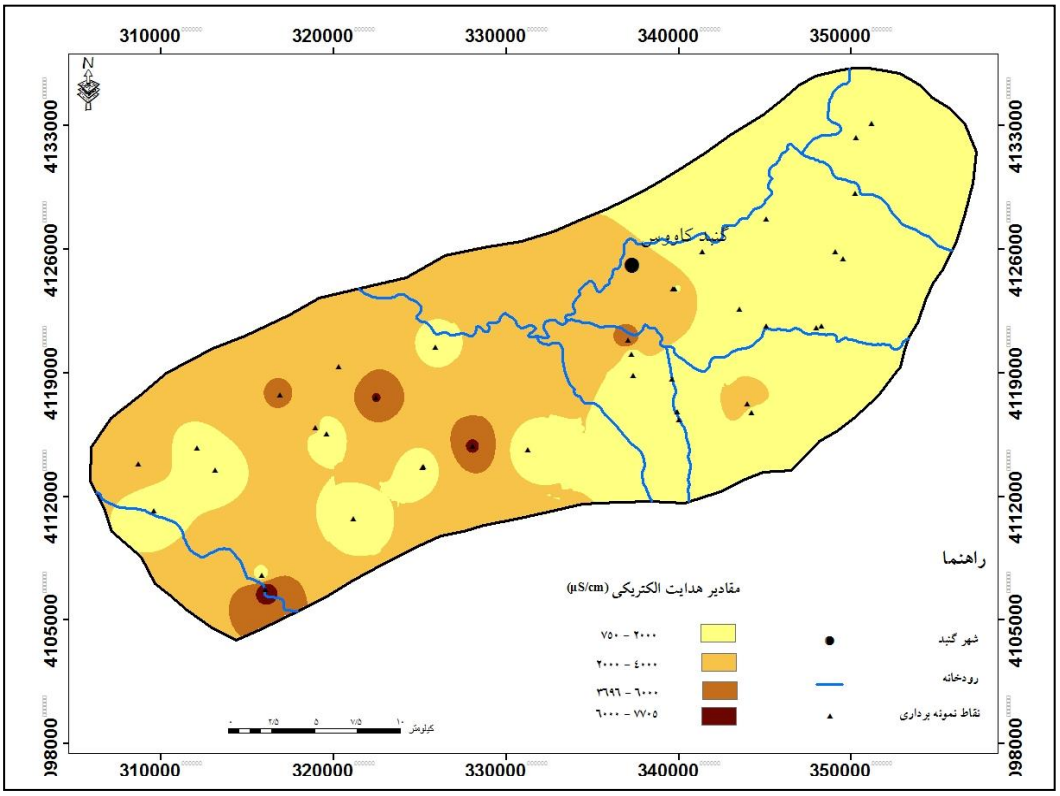
مقدار حداکثر این متغیر برای دشت گنبد در مقایسه با مطالعه گالیپ سچکین (۲۰۱۰) در یکی از دشت های سواحلی مدیترانه در ترکیه که ۳۳۱۸ µS/cm بوده، تقریبا دو برابر بوده است (Seckin, Yilmaz et al. 2010). یکی از مهم‌ترین متغیرهای مورد بررسی در آب‌های زیرزمینی نیترات است. حداقل غلظت نیترات برای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه گنبدکاووس در محدوده غیر قابل اندازه‌گیری بوده و حداکثر غلظت آن ۲۷/۹۶ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد و در مقایسه با حداکثر مقدار مشاهده شده (۵۲٤ mg/l) در بررسی کپگلی و همکاران (۲۰۱۵) در حوضه آبریز Kandi واقع در غرب آفریقا خیلی پایین بود (Kpegli, Alassane et al. 2015).

حداکثر غلظت نیترات برای دشت مورد مطالعه کمتر از مقدار مجاز تعیین‌شده مجاز توسط WHO (یعنی ۵۰ میلی گرم بر لیتر) بوده است (WHO 2008).

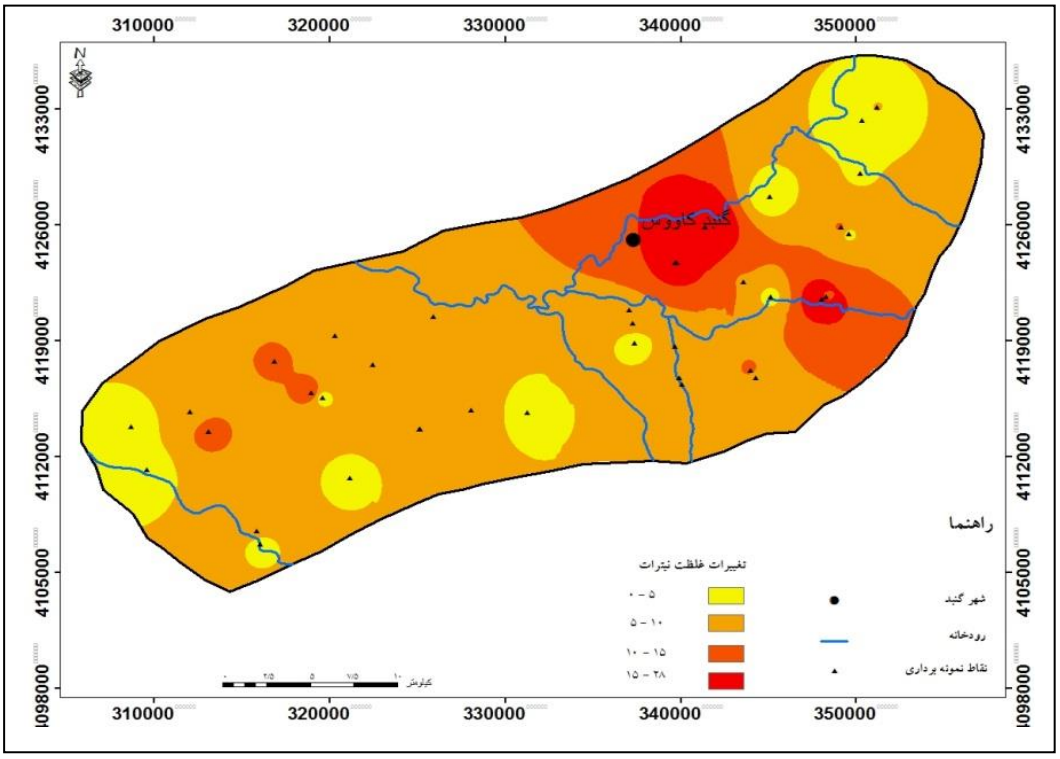
در شکل ٤ توزیع غلظت نیترات نشان داده شده که حداکثر غلظت در نمونه‌ها مربوط به شهر گنبد و نمونه‌های نزدیک به آن مشاهده می‌شود که اثر آلودگی ناشی از فعالیت‌های بشری را به وضوح نشان می‌دهد. مقدار pH در محدوده ٦/۹۸ الی ۸/٥٦ بوده و میانگین آن ۷/۸ است که در حد استاندارد pH برای آب‌های زیرزمینی قرار دارد. حداکثر مقدار pH در بخش‌های جنوبی و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه قرار دارند (شکل ۵). مقدار سختی در این منطقه بسیار بالا بوده و معادل ۲۲۳۳ میلی‌گرم کربنات کلسیم می‌باشد.

دیاگرام پایپر

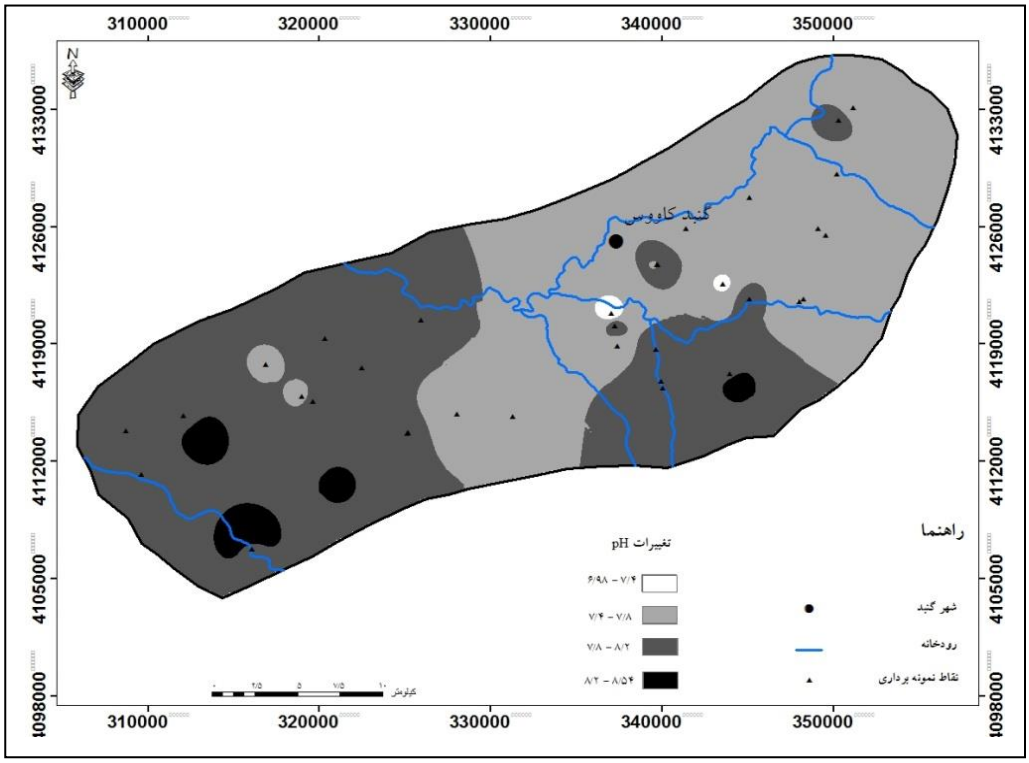
دیاگرام پایپر برای تعیین تیپ هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی به کار می‌رود(Piper 1944). بر اساس این دیاگرام آب‌های زیرزمینی به پنج تیپ تقسیم‌بندی شده که در قسمت راهنمایی شکل ٦ این تیپ‌ها نشان داده‌شده‌اند. برای آب‌های زیرزمینی منطقه گنبدکاووس، سه نمونه در بخش ۱ (سولفات- کلر و منیزیم- کلسیم (سختی دائم))، هفت نمونه در بخش ۲ (بیکربنات- کربنات و کلسیم- منیزیم (سختی موقت))، پانزده نمونه در بخش ۳ (سولفات-کلر و سدیم-پتاسیم (شور)) و سیزده نمونه در بخش ۵ (ناحیه اختلاط) قرار دارند (شکل ٦). برای آب‌های زیرزمینی این پژوهش هیچ نمونه‌ای در بخش ٤ با تیپ کربنات-بیکربنات و سدیم-پتاسیم (کربنات قلیایی) قرار ندارد.



شکل ۳- توزیع هدایت الکتریکی در دشت گنبدکاووس



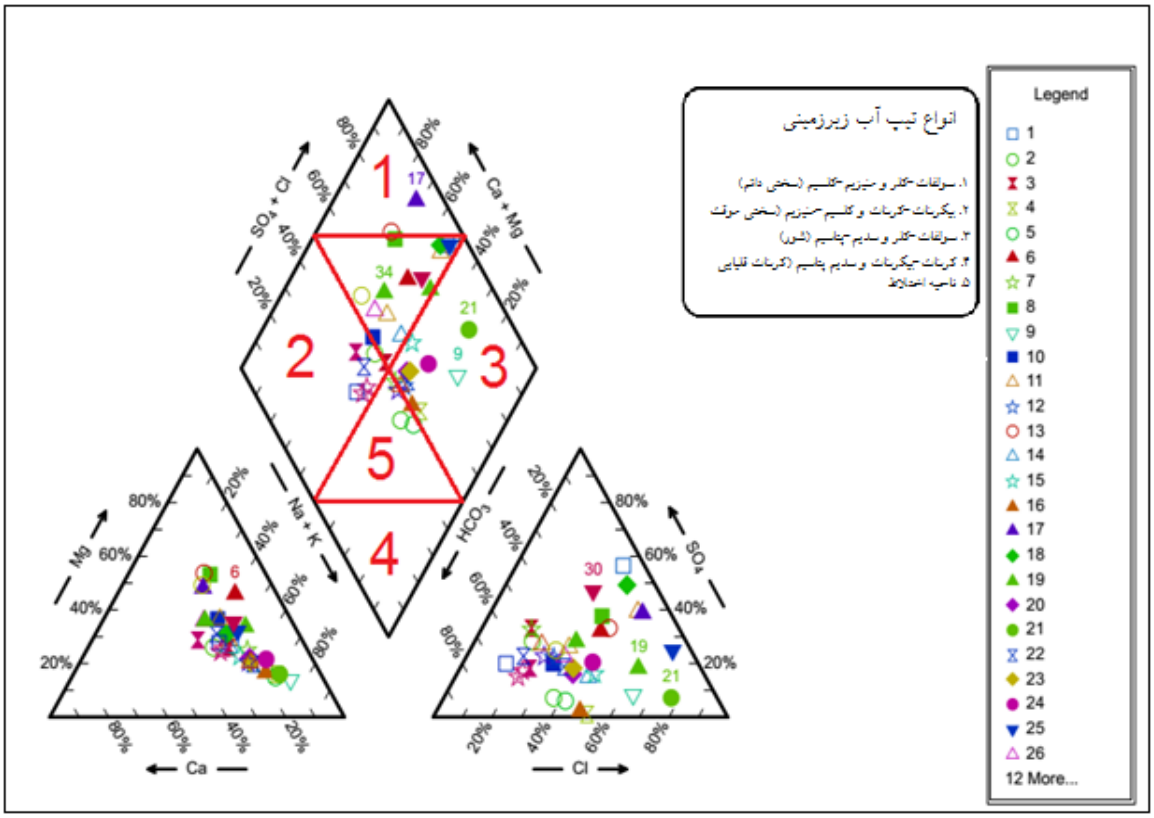
شکل ٤- توزیع نیترات در دشت گنبدکاووس



شکل ۵- توزیع pH در دشت گنبدکاووس

جدول ۱- خصوصیات آماری داده‌های هیدروشیمیایی دشت گنبدکاووس

متغیر	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
Ca^{2+}	mg/L	38/07	400/8	94/55	91/37
Mg^{2+}	mg/L	21/87	303/8	81/55	83/93
Na^{+}	mg/L	62/76	919/6	232/11	204/83
K^{+}	mg/L	1/17	14/47	3/24	3/23
HCO_3^{-}	mg/L	225/80	482	341/7	64/47
SO_4^{2-}	mg/L	5/76	2298	316/4	484/38
Cl^{-}	mg/L	42/54	1454	330/4	365/76
TDS	mg/L	476	4786	1275/8	1100
EC	µS/cm	750	7720	2035/4	1775/44
pH	-	6/98	8/56	7/8	0/33
NO_3^{-}	mg/L	0/00	27/96	7/88	6/18
Temp	°C	17	23/8	20/4	1/69
TH	mg/L	188/76	2233/3	567	557/8
SAR	-	1/65	9/58	4	2/13



شکل ٦- دیاگرام پایپر برای نمونه‌های دشت گنبدکاووس

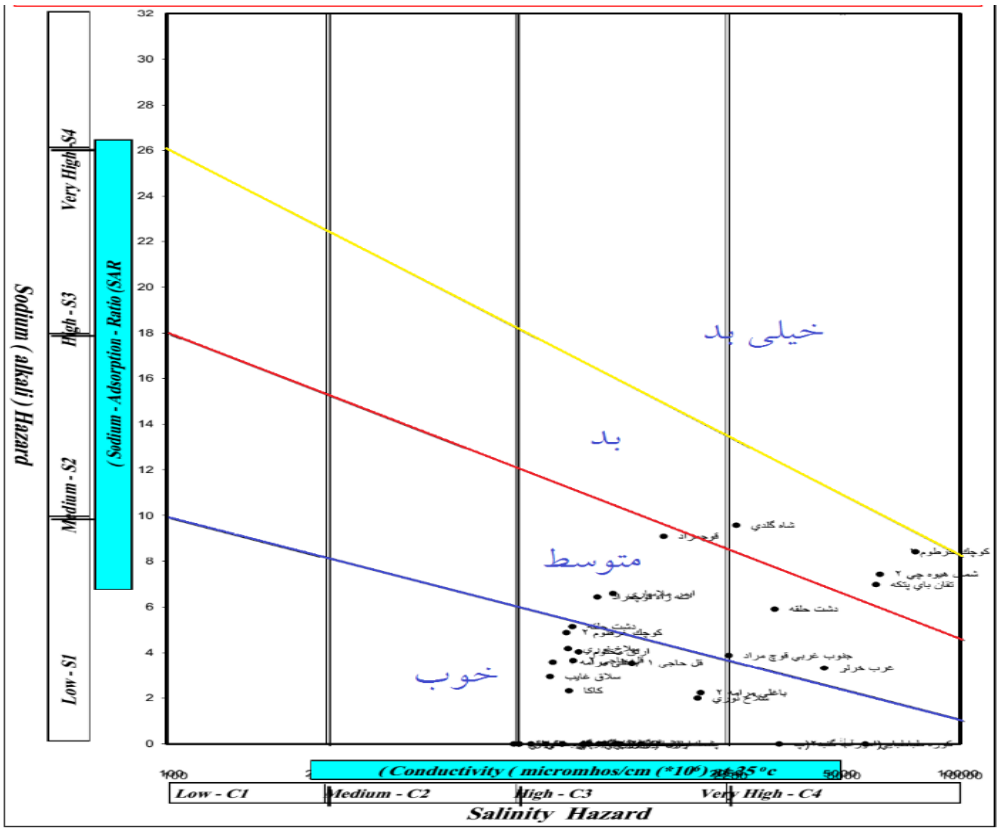
ارزیابی کیفیت آب جهت مصارف کشاورزی

ازجمله مصارف آب زیرزمینی استفاده از آن در حیطه کشاورزی است. یکی از راه‌های ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از دیاگرام ویلکوکس است (Wilcox 1955). متغیرهای مورداستفاده در این دیاگرام هدایت الکتریکی و خطر جذب سدیم می‌باشند. چهار نوع کیفیت بر اساس این متغیرها تعریف شده که در (شکل ۷) می‌توان آن را دید. خوشبختانه هیچ نمونه‌ای در ناحیه خیلی بد قرار ندارد، چهار نمونه در بخش بد، شش نمونه در بخش متوسط و ۲۸ نمونه نیز در بخش خوب قرار دارند. با توجه به نقشه درون‌یابی شده این دیاگرام مشاهده می‌شود که قسمت‌های شرقی که در حقیقت در بالادست حوضه آبریز قرار دارند. نمایانگر کیفیت خوب (رنگ سبز) هستند و در بخش‌های غربی شهرستان گنبدکاووس به‌تدریج از کیفیت آب کاسته شده و در برخی مناطق دارای کیفیت متوسط (رنگ زرد) و در مناطق دیگر هم‌جوار کیفیت بد (رنگ قرمز) را دارا هستند.

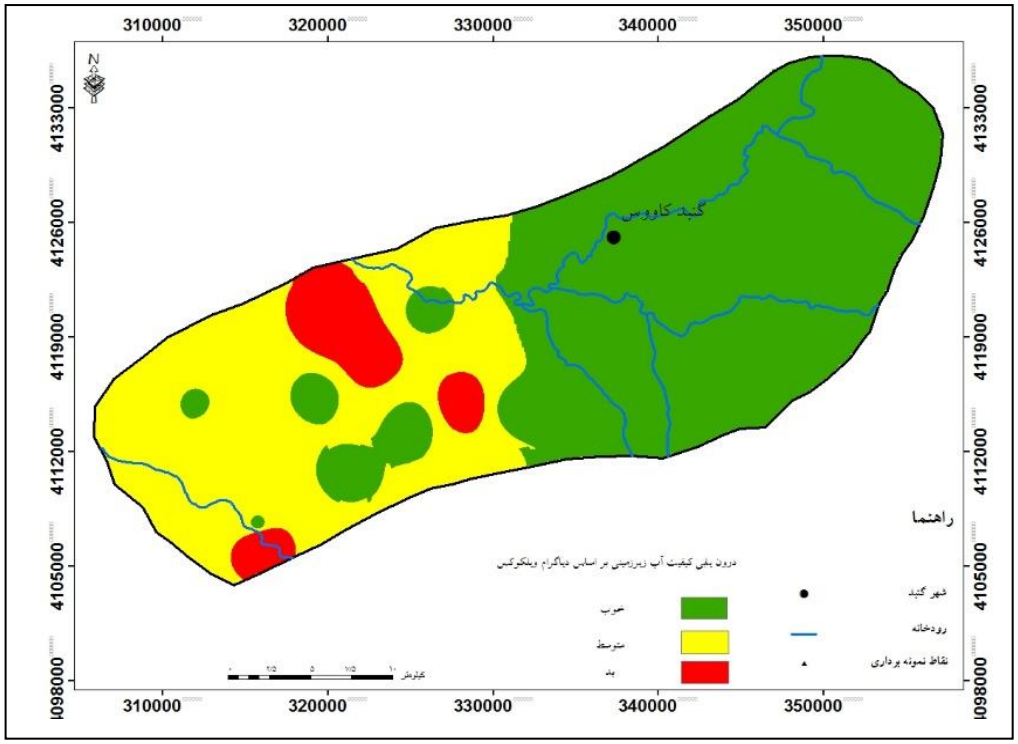
در این شکل نمونه‌ای به نام دشت حلقه که کیفیت متوسط را نشان داده، در نقشه درون‌یابی به علت اینکه تمامی نمونه‌های مجاور دارای کیفیت خوب بودند، خود این نمونه نیز کیفیت نمونه‌های مجاور را نشان داده است. (شکل ۸).

دیاگرام شولر

دیاگرام شولر جهت ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی جهت مصارف شرب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در (شکل ۹) دیاگرام شولر و نمونه‌های رسم شده بر روی آن دیده می‌شوند. در این شکل آب‌های زیرزمینی بر اساس کیفیت به شش کلاس تقسیم شده‌اند:



شکل ۷- دیاگرام ویلکوکس نمونه‌های آب زیرزمینی دشت گنبدکاووس



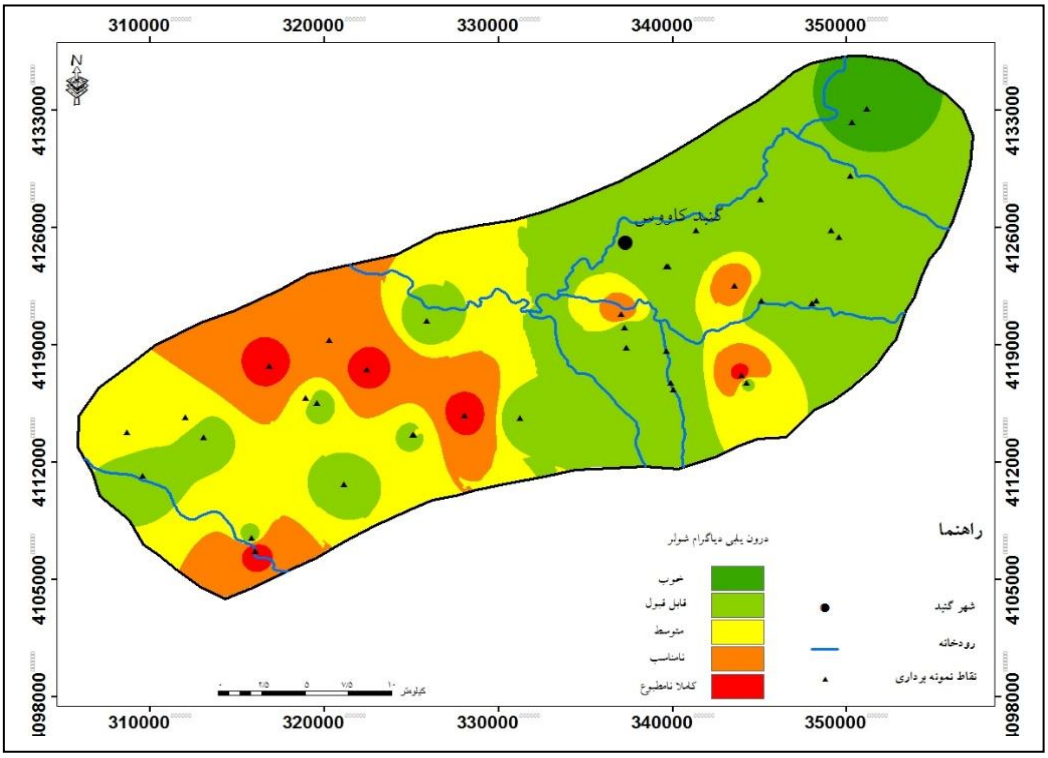
شکل ۸- درون یابی دیاگرام ویلکوکس

۱.خوب ۲. قابل قبول ۳. متوسط ٤. نامناسب ٥. کاملاً نامطبوع و ٦. غیرقابل‌شرب.

بر اساس این دیاگرام، هیچ نمونه‌ای در بخش غیرقابل شرب قرار نگرفته و پنج نمونه در بخش کاملاً نامطبوع، دو نمونه در بخش نامناسب، پنج نمونه در بخش متوسط، ۲۳ نمونه در بخش قابل قبول و ۳ نمونه در بخش خوب قرار دارند (شکل ۹). بهترین کیفیت مربوط به نمونه‌های شمال شرق بوده و روی هم رفته بخش شرقی دشت (بالادست حوضه آبریز) نسبت به بخش‌های غربی دشت (پایین دست حوضه آبریز) کیفیت مناسب‌تری را دارا می‌باشند (شکل ۱۰). کیفیت نامناسب‌تر نمونه‌های بخش غربی ممکن است ناشی از انحلال مواد در طی حرکت از بالادست حوضه به سمت پایین دست حوضه و کاهش بارش باشد. برای ارتقاء کیفیت زندگی مردم منطقه، به علت تأثیر مستقیم کیفیت آب شرب بر زندگی آن‌ها، پایش و بررسی علل افت کیفیت آب جهت مصرف شرب در این ناحیه ضروری به نظر می‌رسد.

تحلیل‌های آماری چندمتغیره

همبستگی متغیرهای هیدروشیمیایی مورداستفاده در این پژوهش در جدول ۲ ارائه شده است. مقادیری که پر رنگ شده‌اند نشان‌دهنده همبستگی بالای این جفت متغیرها با همدیگر می‌باشند. طبق این جدول همبستگی خوبی بین کلسیم با منیزیم، سدیم، سولفات، کلراید، EC و سختی کل (TH) مشاهده می‌گردد. متغیرهایی که کلسیم همبستگی داشتند با منیزیم نیز همبستگی دارند. EC با کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات و کلراید همبستگی داشته، ازاین رو می‌توان گفت که عناصر یاد شده مهم‌ترین نقش را در افت کیفیت آب منطقه داشته‌باشند. رابطه pH با بیشتر متغیرها عکس بوده که نشان‌دهنده انحلال آن‌ها در pH های پایین و اسیدی است. pH بیشتر اثر معکوس را بر روی منیزیم داشته است. دما با بیشتر متغیرها همبستگی اندکی داشته است، درحالی که سختی کل (TH) با بیشتر متغیرها همبستگی بالا و مثبت را از خود نشان می‌دهد. نسبت جذب سدیم (SAR) نیز بیشترین همبستگی را با سدیم



شکل ۹- درون‌یابی کیفیت نمونه‌های آب زیرزمینی جهت مصارف شرب (دیاگرام شولر)

نشان داده که ناشی از سرشت مشابه این دو متغیر است. در کل جدول همبستگی اطلاعات خیلی دقیقی از وضعیت فرایندهای هیدروژئوشیمی حاکم بر منابع منطقه موردمطالعه را ارائه نمی‌دهد ازاین‌رو از روش‌های تحلیل آماری چند متغیره استفاده می‌شود.

یکی از روش‌های معمول خوشه‌بندی در علوم زمین‌شناسی و زیست‌محیطی استفاده از تحلیل سلسله مرتبه است که منجر به طبقه‌بندی نمونه‌های مشابه در یک گروه می‌شود (Davis John, 1986). خوشه‌بندی نمونه‌های آب‌های زیرزمینی دشت گنبدکاووس منجر به استخراج چهار خوشه شد کیفیت آب‌های زیرزمینی از خوشه اول تا خوشه چهارم کاهش پیدا می‌کند و موقعیت نمونه‌های وابسته به هر خوشه در نشان داده‌شده است. خوشه اول و خوشه دوم ازنظر متغیرهای اختلاف چندانی باهم نداشت. عمومی مشابه هم بودند و حتی EC و TDS آن‌ها نیز (میانگین EC خوشه اول ۱۱۷۸ و خوشه دوم ۱۱۳۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) و تنها تمایز مهم آن‌ها این بود که متوسط نیترات برای خوشه اول mg/l ۵/۸ و برای خوشه دوم mg/l ۸/۳۳ بود. برای خوشه سوم میانگین هدایت الکتریکی برابر ۳٤۲۵ و برای خوشه چهارم ٤٦٥٥ است. دیگر تفاوت عمده خوشه سوم و چهارم در مقدار میانگین نیترات است که برای خوشه سوم mg/l ۷/۹۸ و برای خوشه چهارم mg/l ۱۰/۰۳ می‌باشد. پراکنش نمونه‌های وابسته به هر خوشه در نشان داده شده و طبق آن بیشتر نمونه‌های مربوط به خوشه چهارم در میانه بخش غربی دشت قرار دارند و در پیرامون آن نمونه‌های وابسته به خوشه سوم قرار دارند. در علاوه بر نمایش پراکنش نمونه‌های وابسته به هر خوشه، کیفیت نسبی آن‌ها نیز نسبت به همدیگر نشان داده‌شده است.

جدول۲- ماتریس همبستگی داده‌های هیدروشیمیایی

متغیرها	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	EC	pH	NO_3^-	Temp	TH	SAR
Ca^{2+}	1											
Mg^{2+}	0/92	1										
Na^+	0/9	0/8										
K^+	0/16	0/13	1									
HCO_3^-	0/22	0/25	0/26	1								
SO_4^{2-}	0/96	0/89	0/05	0/27	1							
Cl^-	0/87	0/86	0/17	0/11	0/77	1						
EC	0/97	0/94	0/14	0/24	0/93	0/94	1					
pH	-0/24	-0/31	-0/14	-0/01	-0/14	-0/29	-0/25	1				
NO_3^-	0/08	0/12	0/5	0/27	0/02	0/03	0/05	-0/22	1			
Temp	-0/33	-0/34	-0/17	-0/1	-0/34	-0/16	-0/26	0/18	-0/16	1		
TH	0/97	0/98	0/15	0/25	0/94	0/88	0/97	-0/29	0/11	-0/34	1	
SAR	0/45	0/32	-0/03	0/12	0/42	0/65	0/57	0/14	-0/19	0/12	0/38	1

جدول۳- خروجی تحلیل مولفه‌های اصلی

متغیرها	مولفه‌ها		
	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم
کلسیم	۰/۹۵	۰/۱	-۰/۲
منیزیم	۰/۹	۰/۱۱	-۰/۲۹
سدیم	۰/۹۷	۰/۰۵	۰/۱۲
پتاسیم	۰/۰۵	**۰/۷۹**	-۰/۱۲
بیکربنات	۰/۲	**۰/٦٦**	۰/۱٦
سولفات	۰/۹۲	۰/۰۵	-۰/۱۵
کلراید	۰/۹٤	۰/۰۵	-۰/۰۳
TDS	۰/۹۸	۰/۰۹	-۰/۱
EC	۰/۹۹	۰/۰۹	-۰/۰۹
pH	-۰/۱۷	-۰/۰٦	**۰/٦۷**
نیترات	-۰/۰۵	**۰/۷۷**	-۰/۳
دما	-۰/۲	-۰/۱	۰/٦
سختی کل	۰/۹٤	۰/۱۱	-۰/۲٦
SAR	۰/٦۵	-۰/۰۳	**۰/۵۹**
مقادیر ویژه	۸/۰۳۱	۱/۹۳۱	۱/۲۱۵
درصد واریانس	۵۵/۸۵۰	۱۲/٤۹	۱۱/٤۸
درصد تجمعی	۵۵/۸۵	٦۸/۳٤	۷۹/۸۳

*** مقادیری که زیر آنها خط کشیده شده بیانگر تاثیر آن متغیر در مولفه مربوطه می باشد.**

تحلیل مولفه‌های اصلی

متغیرهای مختلفی بر کیفیت آب زیرزمینی می‌توانند تاثیر بگذارند که برخی از آنها زمین زاد (آتشفشان، رودخانه، چشمه‌های آب گرم و غیره) و برخی دیگر بشرزاد (فعالیت‌های کشاورزی، کارخانه ها و ...) می‌باشند. تحلیل عاملی یکی از پرکاربردترین روشها جهت ساده‌سازی داده-های بدون حذف اطلاعات مهم و معنی‌دار می‌باشد (Gangopadhyay, Das Gupta et al 2001). اعمال این روش بر روی داده‌های این پژوهش منجر به استخراج سه مولفه شد که بار عاملی آنها بیش از ۱ بوده است و در جدول ۳ مقادیر ویژه این سه مولفه ارائه شده است. روی هم رفته این روش با داده های استفاده شده در این پژوهش تقریبا ۷۹/۸۳ درصد از تغییرات رخ داده در سیستم آب زیرزمینی منطقه را توضیح داده‌اند. اولین مولفه بیشترین تغییرات در درون سیستم آب زیرزمینی منطقه را توضح داده (۵۵/۸۵ درصد تغییرات) و بیش از دو برابر مجموع دو مولفه دیگر بر سیستم آب زیرزمینی منطقه تاثیر داشته است. کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات، کلراید، TDS، EC، TH و SAR بر روی مولفه اول تاثیر گذار بوده‌اند. این مولفه ناشی از سازندهای منطقه بوده و مهمترین نقش را در تعیین کیفیت آب زیرزمینی منطقه بازی می‌کنند. مولفه دوم با متغیرهایی همانند پتاسیم، بیکربنات و نیترات مشخص شده

است. در مولفه دوم با توجه به بار عاملی بالا برای این سه متغیر فوق، میتوان گفت که این مولفه ناشی از تاثیر ترکیبی عوامل طبیعی (بیکربنات و پتاسیم) و بشری (نیترات ناشی از ورود فاضلاب‌ها، فعالیت‌های کشاورزی، دامداری و به ویژه مرغداری‌های حومه شهر گنبدکاووس) می‌باشند. در مولفه سوم pH و SAR قرار دارند و علت آن ممکن است این باشد که pH یک متغیر فیزیکی بوده و SAR متغیری است که از طریق یک سری محاسبات ریاضیاتی به دست آمده و وابسته به یک متغیر شیمیایی ویژه نیست.

نتیجه‌گیری

نیترات در نمونه‌های وابسته به خود شهر گنبدکاووس (نمونه امور آب گنبد ۱ و ۲) و نمونه قوینلی در بخش شرقی منطقه مورد مطالعه بالاست. از نظر دیاگرام پایپر، بیشتر نمونه‌ها در بخش ۳ و ۵ این دیاگرام قرار دارند. ازنظر مصرف آب برای اهداف کشاورزی، بیشتر نمونه‌ها کیفیت خوبی را نشان دادند که مربوط به بالا دست دشت است. ازنظر دیاگرام شولر که کیفیت آب را برای مصرف شرب انسان بررسی می‌کند، نمونه‌هایی باکیفیت نامناسب و کاملاً نامطبوع همان نمونه‌هایی هستند که در جهت مصرف کشاورزی هم بد تشخیص داده شدند. تحلیل مؤلفه‌های اصلی سبب شناسایی سه مؤلفه شد که اولین مؤلفه آن با توضیح بیش از دو برابر مجموعه تغییرات توضیح داده شده توسط مؤلفه‌های دوم و سوم، ناشی از سازندهای زمین‌شناسی منطقه است. مؤلفه دوم تأثیر عوامل طبیعی (کربنات و پتاسیم) و انسان‌زاد نیترات ناشی از فعالیت کشاورزی و ورود فاضلاب‌ها) را نشان داد. مؤلفه سوم شامل pH و SAR بوده که اولی یک متغیر فیزیکی بوده و دومی هم ناشی از تأثیر چند متغیر است که در غالب یک متغیر نمایان شده است. خوشه‌بندی منجر به ظهور چهار خوشه شد. کیفیت نمونه‌ها از خوشه اول به سمت خوشه چهارم افت پیدا کرده است. خوشه‌های سوم و چهارم که نامناسب‌ترین کیفیت را در منطقه گنبدکاووس داشتند در بخش میانه غربی منطقه‌ی مورد مطالعه واقع شده‌اند. روی‌هم‌رفته بخش غربی و مخصوصاً قسمت‌های میانی آن از نظر کیفی بسیار نامناسب تشخیص داده شده است. درنهایت مطالعه و پایش کیفیت منابع آب در بازه‌های مختلف زمانی برای درک بهتر فرایندهای مؤثر بر کیفیت آب منطقه گنبدکاووس و به‌خصوص غرب منطقه‌ی مورد مطالعه جهت استفاده از آبی با کیفیت مناسب و پیشرفت منطقه پیشنهاد می‌گردد.

منابع

- **اصغری مقدم، ا.، فیجانی، ا.، (۱۳۸۸)، "** هیدروژئولوژی بازالتهای منطقه باکو، شمال غربی ایران"، نشریه هیدروژئولوژی، دوره چهارم، شماره هفدهم، ص ۹۵۹-۹٤۹.

-صداقت، م.، (۱۳۷۵)، "زمین و منابع آب(آبهای زیرزمینی)"، انتشارات دانشگاه پیام نور، ص ۲۲۹-۲۰۵.

-مسافری، م.، پوراکبر، م.، شاکرخطیبی، م.، فاتحی فر، ا.، بلواسی، م.، (۱۳۹۳)، "مدل سازی کیفیت آبهای زیرزمینی جهت شرب در مناطق روستایی شمال غرب ایران با استفاده از GIS ، نشریه مهندسی و علوم بهداشت محیط، شماره دوازدهم، ص۹۹.

-Andre, L., M. Franceschi, P. Pouchan and O. Atteia (2005). Using geochemical data and modelling to enhance the understanding of groundwater flow in a regional deep aquifer, Aquitaine Basin, south-west of France. Journal of Hydrology.

-Baum, I. (2007). Donor Activity in Transboundary Water Cooperation in Africa: Results of a G8-initiated Survey 2004-2007, gtz.

-Bengraïne, K. and T. F. Marhaba (2003). "Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality." Journal of Hazardous Materials 100(1): 179-195.

Chae, G.-T., K. Kim, S.-T. Yun, K.-H. Kim, S.-O. Kim, B.-Y. Choi, H-.S. Kim and C. W. Rhee (2004). "Hydrogeochemistry of alluvial groundwaters in an agricultural area: an implication for groundwater contamination susceptibility." Chemosphere 55(3): 369-378.

-Cloutier, V., R. Lefebvre, R. Therrien and M. M. Savard (2008" .(Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a

multicomponent statistical analysis in hydrogeological environmental research." Water Research 38(7): 1862-1872.
-Matalas, N. C. and B. J. Reiher (1967). "Some comments on the use of factor analyses ".Water resources research 3(1): 213-223.
-Nadiri, A. A., A. A. Moghaddam, F. T. Tsai and E. Fijani (2013). "Hydrogeochemical analysis for Tasuj plain aquifer, Iran." Journal of Earth System Science 122(4): 1091-1105.
Piper, A. M. (1944). "A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses." Transactions, American Geophysical Union 25: 914-928.
-Schwartz, F. W. and H. Zhang (2003). Fundamentals of ground water, Wiley New York.
-Seckin, G., T. Yilmaz, B. Sari and C. B. Ersu (2010). "Groundwater hydrochemistry at the Mediterranean coastal plains—The case of Silifke, Turkey." Desalination 253(1): 164-169.
-Selle, B., M. Schwientek and G. Lischeid (2013). "Understanding processes governing water quality in catchments using principal component scores." Journal of Hydrology 486: 31-38.
-Voudouris ,K., N. Lambrakis, G. Papatheothorou and P. Daskalaki (1997). "An application of factor analysis for the study of the hydrogeological conditions in Plio-Pleistocene aquifers of NW Achaia (NW Peloponnesus, Greece)." Mathematical Geology 29(1): 43-59.
-WHO .(۲۰۰۸) World Health Organization, Guidelines for Drinking-Water Quality.
-Wilcox, L. (1955). "Classification and use of irrigation waters".
sedimentary rock aquifer system." Journal of Hydrology 353(3): 294-313.
-Dalton, M. G. and S. B. Upchurch (1978). "Interpretation of hydrochemical facies by factor analysis." Groundwater 16(4): 228-233.
-Davis John, C. (1986). Statistics and data analysis in geology, John wiley ans sons. New York.
-Dragon, K. (2006). "Application of factor analysis to study contamination of a semi-confined aquifer (Wielkopolska Buried Valley aquifer, Poland)." Journal of hydrology 331(1): 272-279.
-Gangopadhyay, S., A. Das Gupta and M. Nachabe (2001). "Evaluation of ground water monitoring network by principal component analysis." Groundwater 39(2): 181-19۱
-Güler, C., G. D. Thyne, J. E. McCray and K. A. Turner (2002). "Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data." Hydrogeology journal 10(4): 455-474.
-Hetzel, F. (2008). Groundwater and Climate Change: Challenges and Possibilies, BGR.
-Hounslow, A. (1995). Water quality data: analysis and interpretation, CRC press.
-Jackson, J. E. "A user's guide to principal components. (1991)." John Willey &Sons, New York.
-Kpegli, K. A. R., A. Alassane, R. Trabelsi ,K. Zouari, M. Boukari, D. Mama, F. L. Dovonon, Y. V. Yoxi and L. E. Toro-Espitia (2015). "Geochemical processes in Kandi Basin, Benin, West Africa: A combined hydrochemistry and stable isotopes approach." Quaternary International 369: 99-109.
-Lambrakis, N ,.A. Antonakos and G. Panagopoulos (2004). "The use of

Investigation of Hydrogeochemitry of Water Resources of Gonbad Kavoos Plain and Analysis of Spatial Variation using GIS

Mohammad Dordi Mahmoudi[1], Jamil Rozrokh[2], Hamed Jahani Moghaddam[3], Alireza Moradian Haredasht[4]

Abstract

Water is one the most important resource used by human in the daily life. Iran due to locating in the arid and semi-arid area has a limited water resource. Quality and quantity of water is important in various consumption among drinking, agricultural, industry and sanitation, therefor studying its quality seems essential from a hydrogeochemical viewpoint. In this study data of 38 samples of Gonbad Kavoos and its surrounding has used. The obtained hydrochemical data using graphical diagrams (Piper, Wilcox and scholler diagram) and multivariate statistical analysis (Principal components analysis and clustering analysis) interpreted along the Arc GIS software. Based on Piper diagram most of samples fallen in section 5 (mixing zone) and section 3 (sulfate-chloride and sodium-potassium (saline)). From Wilcox viewpoint (assessment of water quality for agriculture) samples related with west part of Gonbad Kavoos showed the moderate and bad quality. Most of samples related with western part of Gonbad Kavoos from scholler diagram viewpoint (investigation of water quality for drinking) were with inappropriate and completely unpleasant. Clustering analysis led to extraction of two cluster, two first cluster mainly located in eastern part of Gonbad plain with better quality rather than cluster 3 and 4. Cluster 3 and 4 in western part of plain having the worst quality. With regarding observed problems especially in western part of plain, it is recommended a detailed study to improving the management of quality and quantity of water resources in the villages located west part of Gonbad Kavoos.

Keywords: Groundwater, Water Quality, GIS, Graphical Methods, Multivariate statistical analysis, Hydrochemistry