



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره ششم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

کاربرد آنالیزهای چندمتغیره و اندیس‌های اشباع در ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مرند

میرسجاد فخری^۱، *اصغر اصغری مقدم^۲ و مرتضی نجیب^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز، استاد هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز،

^۲ کارشناس آب‌های زیرزمینی، سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۱

چکیده

سابقه و هدف: آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین منابع ملی کشور محسوب می‌شود که شناخت و بهره‌برداری اصولی و بهینه از آن می‌تواند نقش اساسی در شکوفایی و رشد اقتصادی داشته باشد. مدیریت غیراصولی و برداشت بی‌رویه از این منابع خسارات جبران‌ناپذیری به محیط زیست و اقتصاد کشور وارد می‌سازد. دشت مرند یکی از دشت‌های حاصلخیز استان آذربایجان شرقی است که بیش از ۸۰ درصد آب مورد نیاز آن از آب زیرزمینی تأمین می‌شود. حفظ و حراست از کیفیت این منبع آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف این پژوهش بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت مرند با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره و اندیس‌های اشباع می‌باشد.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه در شمال غرب استان آذربایجان شرقی در ۶۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان تبریز واقع شده است. وسعت کل محدوده مطالعاتی مرند ۱۸۷۱ کیلومتر مربع است که ۵۸۹ کیلومتر مربع آن را پهنه‌های آبرفتی (دشت) تشکیل می‌دهد. تعداد ۴۸ نمونه از منابع آب زیرزمینی واقع در سه آبخوان مختلف، در مهرماه سال ۱۳۹۱ برداشت گردید. پارامترها و یون‌های اندازه‌گیری شده شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، کاتیون‌ها، آنیون‌های اصلی و نیترات می‌باشد که در آزمایشگاه آب‌شناسی دانشگاه تبریز تجزیه شیمیایی و اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند. در این پژوهش از روش‌های آنالیزهای چندمتغیره، اندیس‌های اشباع در ارزیابی پارامترهای کیفی استفاده شده است.

یافته‌ها: تحلیل خوشه‌ای، منابع آب را در سه گروه مجزا قرار می‌دهد. در گروه اول تیپ آب به صورت بی‌کربنات سدیک و در گروه‌های دوم و سوم کلروه سدیک است. تحلیل عاملی، نشان می‌دهد که ۷۵ درصد از تغییرات کیفی آب توسط سه عامل شامل تأثیر سازندهای تبخیری و نمکی، انحلال کانی‌ها و افزایش تبخیر سطحی کنترل می‌شود. به منظور شناسایی فرآیندهای ژئوشیمیایی حاکم بر سفره آبدار، اندیس‌های اشباع کلسیت، دولومیت و ژینس نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی به شدت تحت تأثیر تغذیه از رودخانه، رسوبات تشکیل‌دهنده سفره آبدار و تبخیر از سطح آب زیرزمینی می‌باشد.

* مسئول مکاتبه: moghaddam@tabrizu.ac.ir

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که تغییرات کیفی آب زیرزمینی تحت تأثیر سازندهای تبخیری و نمکی، انحلال کانی‌ها و رسوبات تشکیل‌دهنده سفره آبدار، واکنش بین آب و مواد آبخوان و تبخیر از سطح آب زیرزمینی می‌باشد. همچنین نتایج پژوهش نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی در مناطق شرق و جنوب‌شرقی دشت برای انجام فعالیت‌های کشاورزی، شرب و صنعت نسبت به مناطق شمال و شمال‌غرب مناسب‌تر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، آنالیز چندمتغیره، هیدورژئوشیمی، اندیس اشباع

مقدمه

ترکیب شیمیایی یون‌های محلول در آب متأثر از واکنش‌های مختلفی است که در تقابل بین آب و مواد آبخوان اتفاق می‌افتد. روش‌های مختلفی برای شناخت منشاء املاح در پژوهش‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از این روش‌ها استفاده از بررسی مقادیر نمایه‌های اشباع ترکیبات مختلف و ارتباط آن‌ها با یکدیگر است که برای شناسایی عوامل مؤثر بر هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار می‌گیرد (8). امروزه روش‌های متنوع آماری شامل روش‌های آماری توصیفی، آنالیز مولفه‌های اصلی و آنالیز خوشه‌ای برای رده‌بندی داده‌های هیدروشیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (8, 17). آنالیز خوشه‌ای به روش‌های متنوعی همچون Q-mode Hierarchical Cluster Analysis (HCA), Fuzzy Partitionning و K-mean Cluster (KMC) (FP) می‌باشد. از این روش‌ها در بررسی اطلاعات کیفی آب و تعیین امکان تقسیم‌بندی نمونه‌ها به گروه‌های متمایزی که از نظر زمین‌شناسی و آماری معنی‌دار باشند می‌توان استفاده نمود (13). روش تحلیل خوشه‌ای شامل چندین الگوریتم طبقه‌بندی شده متفاوت می‌باشد که هدف این الگوریتم‌ها اتصال متغیرها در داخل خوشه‌های بزرگ‌تر می‌باشد. یک نمونه از این خوشه، مجموعه سه‌تایی است که نتایج را در داخل سه خوشه به هم متصل می‌کند. رابطه بین پارامترها در داخل شاخه‌های سه‌تایی ظاهر می‌شود.

شباهت بین پارامترها نسبت عکس با فاصله بین آن‌ها در روی نمودار دارد (5). تحلیل عاملی روش آماری چندمتغیره‌ای است که هدف آن ساده کردن مجموعه‌های پیچیده و مختلفی است که بین متغیرهای مشاهده‌ای وجود دارد. تحلیل عاملی ارتباط بین واریانس - کوواریانس یک تعداد از متغیرهای کمی مشاهده‌ای است که بر حسب کمیت اصلی تصادفی اما غیرمشاهده‌ای، که عامل نامیده می‌شود، بیان می‌گردد. تعدادی از متغیرها که بیش‌ترین همبستگی را با یکدیگر دارند عامل اصلی نامیده می‌شوند و در بسیاری از اندازه‌گیری‌ها نمایان‌تر می‌شود (15). یکی از محدودیت‌های روش گرافیکی تعداد نمونه و متغیر است. از طرفی هیچ‌یک از روش‌های گرافیکی قدرت تمایز بین گروه‌ها و آزمایش میزان شباهت در بین نمونه‌ها را ندارند (6). بر خلاف روش‌های گرافیکی روش‌های آماری امکان استفاده از تمامی پارامترها را ارائه می‌دهند و کاربرد این روش‌ها در مطالعات آب‌های زیرزمینی روز به روز گسترده‌تر می‌شود. محدودیتی که روش‌های آماری نسبت به روش‌های گرافیکی دارند این است که اطلاعاتی راجع به ترکیب شیمیایی نمونه‌ها را ارائه نمی‌کنند و نمی‌توان نتایج آن‌ها را به سرعت در تفسیر روند و فرایندهای مربوط به مسایل هیدروشیمیایی به‌کار برد. اما ترکیب دو روش فوق باعث می‌شود که مزایای هر دو روش باقی بماند و محدودیت‌های هر روش کم‌تر شود (6).

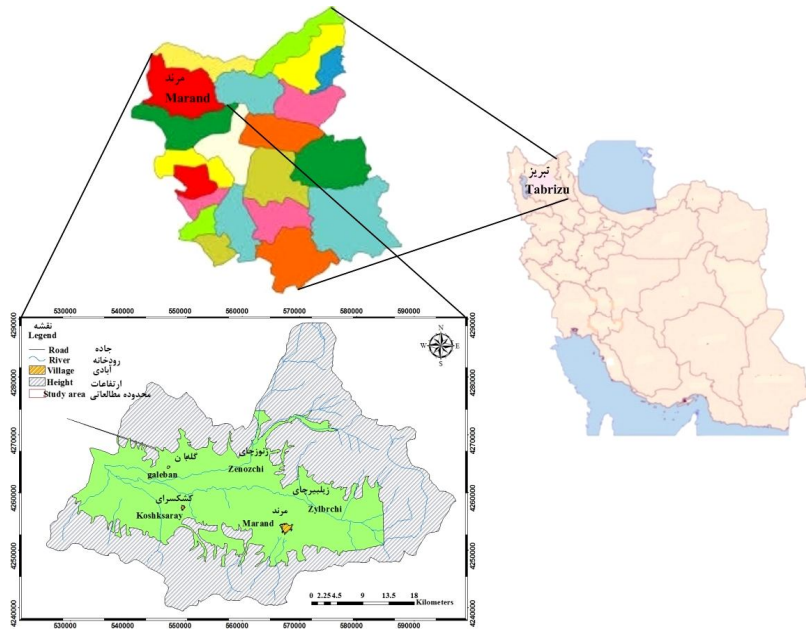
طبقه‌بندی دومارتن از نوع نیمه‌خشک و سرد زمستانی می‌باشد. رودخانه زیلیر چای بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه منطقه است که از دامنه‌های جنوبی کوه سلطان جهانگیر واقع در حد مشترک حوضه حاجی‌لرچای و زیلیرچای سرچشمه می‌گیرد و در جهت جنوب به شمال و به موازات خط تقسیم حوضه حرکت نموده و سپس به سمت غرب منحرف می‌گردد و در جهت شرق به غرب و به موازات زنوزچای به مسیر خود ادامه می‌دهد. رودخانه زنوزچای یکی دیگر از رودخانه‌های منطقه می‌باشد که از دامنه غربی رشته‌کوه‌های کیامکی سرچشمه می‌گیرد و در جهت شرقی - غربی حرکت و بعد از عبور از جنوب شهر زنوز و دریافت مسیل‌هایی، وارد دشت مرنند می‌شود.

زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی: مهم‌ترین سازندهای زمین‌شناسی که در محدوده مطالعاتی دیده می‌شوند عبارتند از: سازندهای سلطانیه، باروت، میلا، ائوسن، میوسن، پلیوسن و همچنین رسوبات آبرفتی کواترن که در بخش وسیعی از منطقه رخنمون دارند. در دامنه‌های شمالی کوه‌های میشو، سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی به سن پلیوسن به صورت گدازه، برش، توف، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و توف‌ماسه‌ای برونزد داشته و با دگرشیبی بر روی واحد مختلف میوسن جای گرفته است. در نواحی شمالی دشت مرنند و ارتفاعات اطراف یامچی، سنگ‌های آتشفشانی شامل گدازه و برش و گاهی توف به رنگ خاکستری تیره با ترکیب داسیتی - آندزیتی و پیروکلاست رخنمون دارند (شکل ۲).

دشت مرنند یکی از بزرگ‌ترین و سرسبزترین دشت‌های استان آذربایجان شرقی است که بیش‌ترین آب مصرفی آن از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت منابع آب زیرزمینی و شناسایی آن‌ها جهت حفظ و حراست از منابع آبی این دشت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در بعضی از بخش‌های این دشت هدایت الکتریکی آب به بیش از ۴۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر رسیده است. شوری بالا می‌تواند به دلیل انحلال رسوبات تبخیری، واکنش‌های آب و رسوب مانند پدیده تبادل کاتیونی، تبخیر از آب‌های زیرزمینی و آب‌های برگشتی کشاورزی باشد. هدف این پژوهش ابتدا به‌کارگیری روش‌های آماری چندمتغیره (تحلیل عاملی و آنالیز خوشه‌ای) جهت تعیین عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت مرنند و روش‌های گرافیکی (دیاگرام‌های پایپر، درو و پایپر) به منظور تعیین تیپ غالب و منشأ آب زیرزمینی مقایسه نتایج حاصل از روش‌های آماری با گرافیکی و در نهایت به‌کارگیری مدل‌های هیدروشیمیایی جهت تعیین اشباعیت آب نسبت به ترکیبات مختلفی می‌باشد.

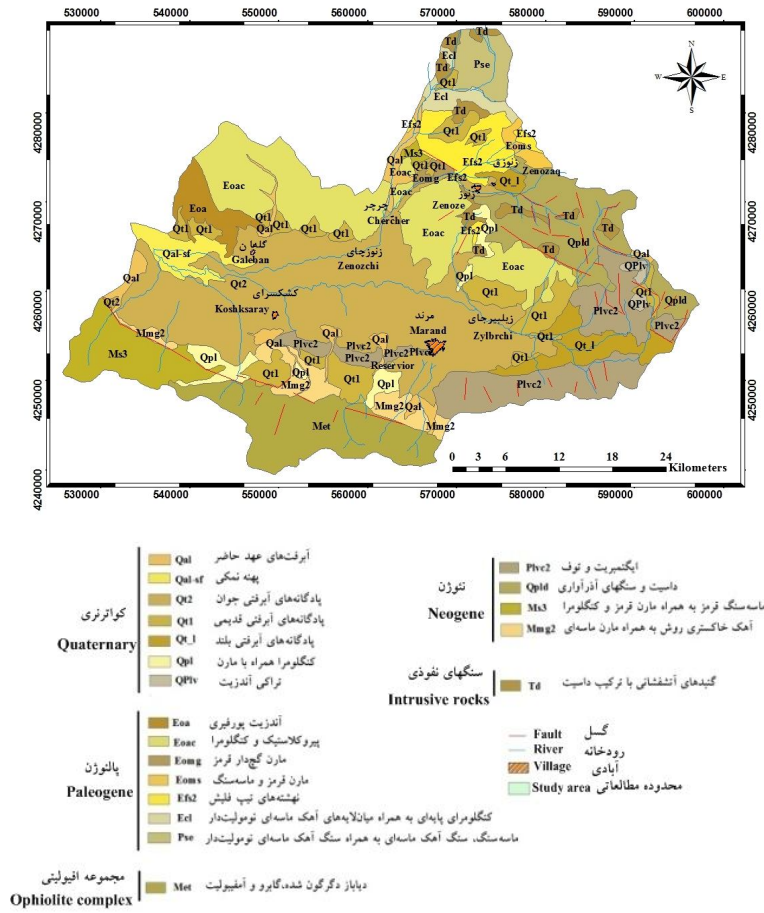
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: دشت مرنند با وسعت تقریبی ۸۲۶ کیلومتر مربع در شمال‌غرب ایران در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است. این دشت بین ارتفاعات محصور بوده و دارای شیب ملایمی در حدود ۲-۵ درصد از دامنه شمالی و جنوبی و شرق به طرف مرکز دشت و در نهایت قسمت غربی می‌باشد (شکل ۱). اقلیم حاکم بر منطقه براساس



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. The geographical location of the study area.

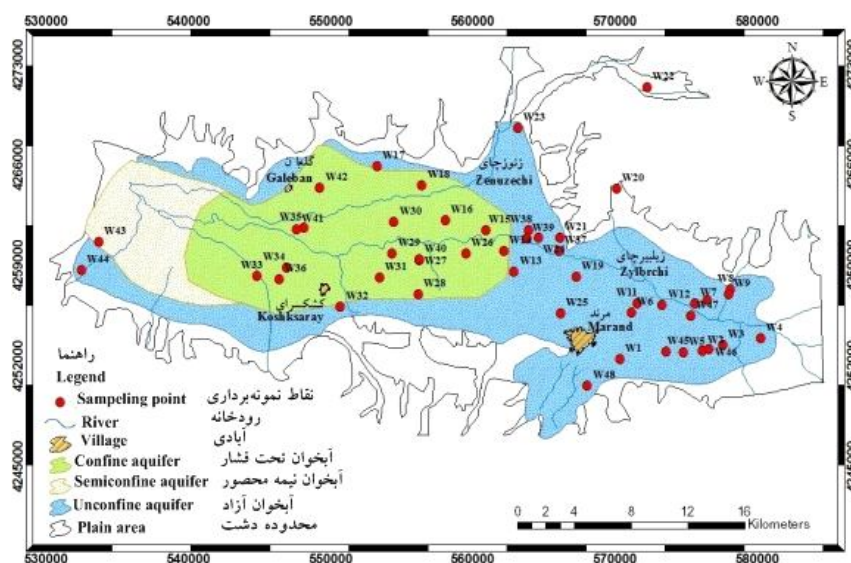


شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

Figure 2. Geological map of the study area.

سه نوع آبخوان آزاد، تحت فشار و نیمه تحت فشار می باشد (شکل ۳). آبخوان آزاد اکثراً از تراس های آبرفتی قدیمی، تراس های آبرفتی جدید، مخروط افکنه ها و رسوبات رودخانه ای تشکیل یافته و رس است. ضخامت آبخوان آزاد در قسمت های مختلف دشت متغیر است. در قسمت جنوبی دشت که از جنس کنگلومرای نیمه سخت با قلوه سنگ های پلئوپلیستوسن است، به علت وجود لایه های رس و مارن باید آن ها را جزء لایه های کم تراوا و نیمه تراوا منظور نمود. آبخوان تحت فشار به صورت رسوبات آبرفتی قدیمی توسط لایه های رسی و مارنی به ضخامت های متغیر ۱۰ تا ۳۰ متری از رسوبات آبرفتی بالاتر از خود جدا می شود و ضخامت آن در برخی مناطق دشت به ۱۷۰ متر نیز می رسد. این آبخوان در نواحی مرکزی و غربی دشت و حتی در بعضی مناطق رودخانه های زلیبیرچای و زوزچای گسترش دارد. آبخوان نیمه تحت فشار هم در بخش غربی دشت قرار می گیرد.

آبخوان دشت در رسوبات آبرفتی دوران چهارم تشکیل گردیده است. رسوبات آبرفتی ساختمان اصلی دشت را تشکیل می دهند و نواحی مختلف به صورت رسوبات آبرفتی قدیمی، مخروط افکنه، تراس های آبرفتی جدید و رسوبات رودخانه ای می باشد که ضخامتشان متغیر و در بررسی های ژئوفیزیکی و حفاری های اکتشافی ۲۰ تا ۳۰۰ متر تعیین شده است. ضخامت رسوبات آبرفتی به طور کلی از حاشیه به سمت مرکز دشت افزایش می یابد. مواد اصلی تشکیل دهنده رسوبات شن، ماسه و قشرهای ضخیم رسی بوده که در دامنه ها، کناره های دشت و مخروط افکنه ها، ذرات تشکیل دهنده آن ها بیش تر دانه درشت بوده و هر چه به مرکز دشت نزدیک تر می شویم، دانه ریزتر می گردد. جنس سنگ کف دشت مرند در قسمت های شمالی از جنس ولکانیک ها و رسوبات آذر آواری ائوسن، در شرق و جنوب شرقی از جنس کنگلومرای پلیوسن و در قسمت های غربی از جنس رسوبات تبخیری میوسن می باشد و شیب آن به طور کلی به سمت مرکز دشت می باشد. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیک و لاگ های زمین شناسی، دشت مرند دارای



شکل ۳- انواع آبخوان ها و موقعیت نقاط نمونه برداری.

Figure 3. Aquifers types and location of sampling points.

دانشگاه تبریز تجزیه شیمیایی و اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند. جدول ۱ خصوصیات آماری داده‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. در این مطالعه از روش آماری چندمتغیره و ضرایب همبستگی برای گروه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی و شناسایی عوامل حاکم بر تغییرات کیفیت آب زیرزمینی و روابط بین متغیرها استفاده گردید. در ادامه اندیس اشباع نمونه‌های آب نسبت به ترکیبات مختلفی محاسبه و تفسیر گردید.

جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها: به‌منظور بررسی تکامل آب زیرزمینی و تشخیص فرآیندهایی که آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، تعداد ۴۸ نمونه از منابع آب زیرزمینی واقع در سه آبخوان مختلف، در مهرماه سال ۱۳۹۱ برداشت گردید. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل ۳ نشان داده شده است. پارامترها و یون‌های اندازه‌گیری شده شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، کاتیون‌ها، آنیون‌های اصلی و نیترات می‌باشد که در آزمایشگاه آب‌شناسی

جدول ۱- خصوصیات آماری داده‌های هیدروشیمیایی (هدایت الکتریکی به (میکروموس بر سانتی‌متر) و پارامترها به (میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشند).

Table 1. The statistical properties of hydrochemical data (Electrical conductivity in $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ and parameters in $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

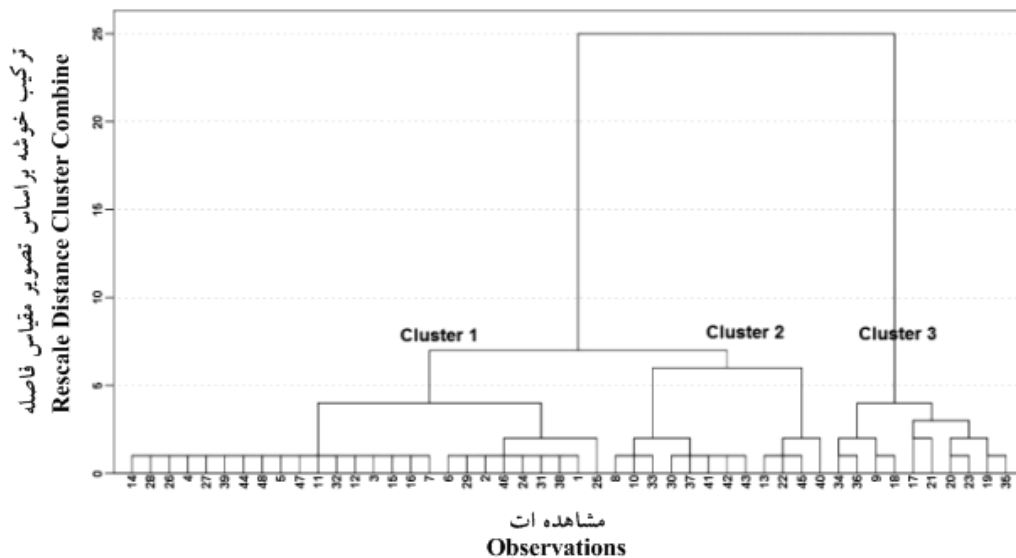
انحراف از معیار Standard deviation	میانه Middel	بیشینه Maximum	کمینه Minimum	پارامترها parameters
76.7	70.4	288	21	کلسیم Calcium
32.7	41.8	134.4	3.84	منیزیم Magnesium
164.6	168.5	659.56	38.4	سدیم Sodium
3.9	2.6	19.78	0.2	پتاسیم potassium
125.8	326.2	707.6	122	بی‌کربنات Bicarbonate
297.6	230.4	1134.5	19.5	کلراید Chloride
219.9	20.9	846.18	5.7	سولفات Sulfate
20.5	13.3	95.2	4.38	نیترات Nitrate
0.99	0.63	4.049	3.0	فلوئوراید Fluoride
1092.5	1121.5	4270	387	هدایت الکتریکی Electrical conductivity
699.2	717.8	2733	248	کل مواد جامد Total solids
0.48	7.4	8.1	8.9	اسیدیته Acidity

نتایج و بحث

یک نمونه به تنهایی می‌تواند تشکیل یک خوشه را بدهد.

نمونه‌های آب زیرزمینی با استفاده از متد HCA و روش اتصال وارد گروه‌بندی شدند (6) و برای اندازه‌گیری تفاوت بین گروه‌ها از روش فاصله اقلیدسی^۴ استفاده شد. مقدار آستانه در این پژوهش ۵ در نظر گرفته شد. یعنی نمونه‌هایی با فاصله یوندی کم‌تر از ۵ به‌صورت گروهی یک دسته تشکیل می‌دهند (شکل ۴) نمودار خوشه‌ای منابع آب دشت مرند را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود براساس نمودار خوشه‌ای، اکثر نمونه‌ها در خوشه یک قرار گرفته‌اند.

تحلیل خوشه‌ای: با استفاده از نرم‌افزار SPSS V21 آنالیز خوشه‌ای نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل خوشه‌ای به روش‌های متنوعی صورت می‌گیرد که شامل (HCA)^۱، (KMC)^۲ و (FKM)^۳ می‌باشند. در این مطالعه از روش HCA برای گروه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده شده است. از ویژگی‌های مهم این روش ارائه نمودار گرافیکی دندروگرام است. در روش HCA انتخاب تعداد خوشه‌ها به‌صورت خودکار صورت می‌گیرد، در صورتی که در روش‌های KMC و FKM تعداد خوشه‌ها باید از قبل مشخص شود. از مزایای دیگر روش HCA این است که در این روش



شکل ۴- نمودار تحلیل خوشه‌ای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت مرند.

Figure 4. Cluster analysis diagram of groundwater samples of Marand Plain.

- 1- Hierarchical cluster analysis
- 2- K-means clustering
- 3- Fuzzy k-means clustering
- 4- Distance Euclidean

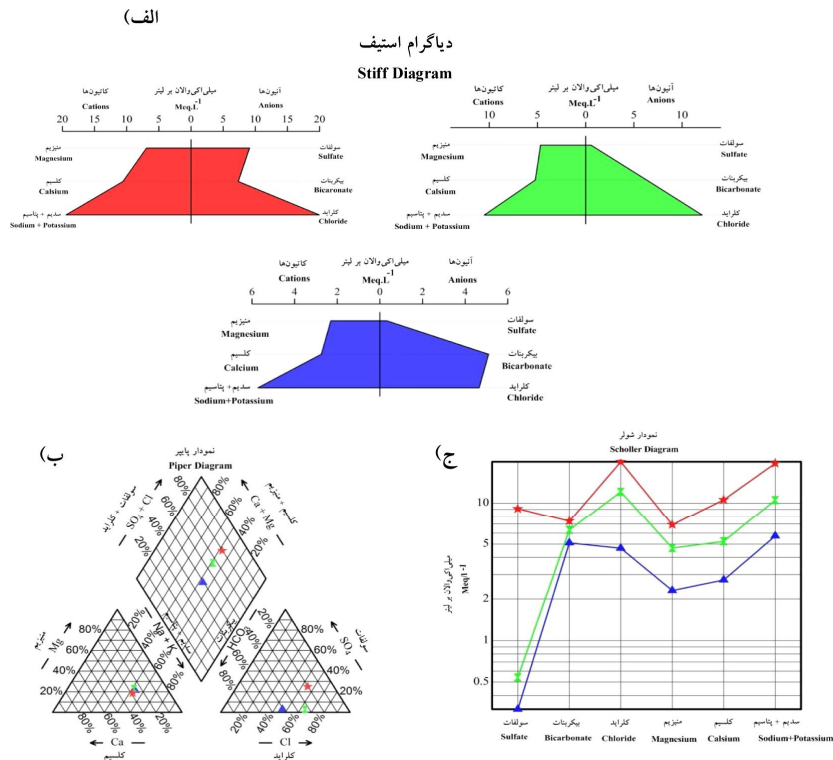
دوم غلظت مجموع املاح به‌طور متوسط ۱۲۳۶/۵۳ میلی‌گرم در لیتر است، که اغلب در مرکزی و شمال شرقی دشت دیده می‌شوند. با توجه به نمودار پایپر مشخص شده است که در این گروه سولفات ۰/۴٪، کلر ۶۳٪ و بی‌کربنات ۳۳٪ آنیون‌های اصلی و کلسیم ۲۶٪، منیزیم ۲۳٪، سدیم و پتاسیم ۶۳٪ کاتیون‌های اصلی را تشکیل می‌دهند و تیپ بیش‌تر نمونه‌ها کلروه- سدیک می‌باشد. در گروه سوم غلظت مجموع املاح محلول به‌طور متوسط ۲۰۷۴/۸ میلی‌گرم در لیتر است، اغلب در غربی و شمال‌غربی دشت قرار دارند. با توجه به نمودارهای پایپر و درو نمونه‌های آب زیرزمینی مشخص شده است که سولفات ۲۷٪، کلر، ۵۷٪ و بی‌کربنات ۱۶٪ آنیون‌های اصلی و کلسیم ۲۸٪، منیزیم ۱۸٪، سدیم و پتاسیم ۵۴٪ کاتیون‌های اصلی را تشکیل می‌دهند و تیپ بیش‌تر نمونه‌ها کلروره- سدیک است. در قسمت‌های شرق و جنوب شرقی دشت که غلظت مجموع املاح کم‌تر است (مناطق تغذیه) تیپ آب بی‌کربنات سدیک بوده و در قسمت‌های شمال، شمال‌غربی- شرقی و غربی دشت که غلظت مجموع املاح محلول بیش‌تر است تیپ آب کلروه- سدیک می‌باشد که این مسئله نشان‌دهنده سری تکامل آنیونی چیبوتارو از سمت شرق به غرب در جهت جریان آب زیرزمینی است.

ترکیب شیمیایی هر گروه با استفاده از میانگین ترکیب شیمیایی اعضاء آن محاسبه شده و در جدول ۲ نشان داده شده است. رخساره‌های هیدروشیمیایی جهت توصیف تفاوت‌ها در ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۴). جهت نشان دادن رخساره‌های هیدروشیمیایی عمدتاً از نمودارهای استیف، پایپر و شولر استفاده می‌شود. برای مقایسه ترکیب شیمیایی هر یک از گروه‌ها براساس میانگین ترکیب شیمیایی گروه‌ها (جدول ۲)، نمودارهای شولر، پایپر و استیف تهیه شده است (شکل ۵). در نمودارهای شولر و پایپر به ترتیب تغییرات غلظت و رخساره گروه‌ها مشخص شده است. با توجه به این نمودارها روند تغییرات نسبی غلظت یون‌ها و رخساره بین گروه‌ها مورد شناسایی قرار گرفته است. گروه یک دارای کیفیت مناسب‌تری است و غلظت مجموع املاح به‌طور متوسط ۶۱۵/۱۱ میلی‌گرم در لیتر است، اغلب در قسمت‌های جنوب و جنوب شرقی دشت و حاشیه رودخانه زلیبیرچای دیده می‌شود. با توجه به نمودار پایپر مربوط به نمونه‌های آب مشخص شده است که سولفات ۲٪، کلر ۴۷٪ و بی‌کربنات ۵۱٪ آنیون‌های اصلی و کلسیم ۲۴٪، منیزیم ۲۰٪، سدیم و پتاسیم ۵۶٪ کاتیون‌های اصلی را تشکیل می‌دهند و تیپ بیش‌تر نمونه‌ها بی‌کربنات سدیک است. در گروه

جدول ۲- میانگین ترکیب شیمیایی گروه‌های مختلف آب زیرزمینی دشت مرند (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر).

Tabl 2. The Average chemical composition of different groups of groundwater of Marand Plain (in mg.L⁻¹).

کل مواد جامد Total Dissolved Solids	کلراید Chloride	سولفات Sulfate	بیکربنات Bicarbonate	پتاسیم potassium	سدیم Sodium	منیزیم Magnesium	کلسیم Calcium	گروه Group
615.11	165.13	15.22	311.17	1.96	130.38	27.95	55.03	گروه اول First Group
1236.53	428.56	25.95	386.2	3.32	239.96	56.78	104.82	گروه دوم Second Group
2074.8	708.17	436.91	448.65	6.2	443.3	84.1	212.08	گروه سوم Third Group



شکل ۵- نمودارهای گروه‌های مختلف هیدروشیمیایی (الف) استیف، (ب) پایپر و (ج) شولر.

Figure 5. Different hydrochemical groups diagrams a) Stiff, b) Piper and c) Schoeller.

عموماً در این روش مقادیر ویژه بالاتر از ۱ را به‌عنوان عوامل مؤثر بر سیستم در نظر می‌گیرند (2). بنابراین سه عامل اول به‌عنوان عوامل اصلی مؤثر بر سیستم انتخاب می‌شود. از میان عوامل حاصله اولین فاکتور بیش‌ترین واریانس را شامل می‌شود و به‌ترتیب عوامل بعدی مقادیر کم‌تری از واریانس را نشان می‌دهند. ضرایب بالای (۱ تا ۱-) مشخصه‌های به‌دست آمده که تشکیل‌دهنده هر یک از عوامل هستند نشان‌دهنده تأثیر بالای آن متغیر (مثبت یا منفی) است. از چرخش عامل‌ها برای تفسیر ساده‌تر عوامل مؤثر ماتریس عامل‌های حاصله استفاده کرد، که به این وسیله ماتریس عامل‌ها به یک ساختار اورتوگنال تبدیل می‌شوند. از میان چرخش‌های مختلف چرخش واریماکس انتخاب شد. از میان ضرایب هر عامل، ضرایب بالای ۰/۶ که به‌صورت برجسته در جدول ۴ نشان داده شده‌اند، نشانگر پارامترهای مؤثر در آن عامل هستند.

تحلیل عاملی: براساس ماتریس همبستگی داده‌های هیدروژئوشیمی آبخوان مرند، به‌جز pH بقیه یون‌ها همبستگی مستقیم با هدایت الکتریکی دارند و پتاسیم و بی‌کربنات همبستگی مستقیم و ضعیفی را با هدایت الکتریکی از خود نشان می‌دهند (جدول ۳). بیش‌ترین همبستگی در بین یون‌ها مربوط به کلسیم- منیزیم، کلسیم- سولفات، کلسیم- کلر، منیزیم- کلر و سدیم- کلر که به‌ترتیب با مقادیر ۰/۷۶، ۰/۸۰، ۰/۷۳، ۰/۷۴ و ۰/۹۳ می‌شود و کم‌ترین همبستگی بین پتاسیم- بی‌کربنات با مقدار ۰/۱۲ می‌باشد.

مرحله بعدی، به‌دست آوردن عوامل از مشخصه‌های مورد استفاده است. این عوامل ترکیب خطی ساده از مشخصه‌ها هستند بدین منظور ابتدا مقادیر ویژه، واریانس، درصد واریانس و واریانس تجمعی برای بررسی دقیق متغیرها و انتخاب مناسب عوامل مؤثر بر سیستم محاسبه می‌شوند. در این مطالعه سه عامل اول ۷۵ درصد از تغییرات کل را شامل می‌شود. افزون بر این

جدول ۳- ماتریس همبستگی بین متغیرهای شیمیایی منابع آبی شهر مرند.

Table 3. Matrix of correlations between chemical parameters of water resources in Marand.

اسیدیته Acidity	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	نیترات Nitrate	فلوراید Fluoride	سولفات Sulfate	کلراید Chloride	بیکربنات Bicarbonate	پتاسیم potassium	سدیم Sodium	منیزیم Magnesium	کلسیم Calcium	پارامتر Parameter
1											کلسیم Calcium
										0.760	منیزیم Magnesium
								1	0.572	0.647	سدیم Sodium
							1	0.354	0.558	0.544	پتاسیم potassium
						1	0.012	0.505	0.479	0.405	بیکربنات Bicarbonate
					1	0.468	0.392	0.935	0.743	0.738	کلراید Chloride
				1	0.436	0.184	0.365	0.495	0.501	0.807	سولفات Sulfate
			1	-0.038	-0.022	-0.005	-0.040	-0.170	0.085	0.122	فلوراید Fluoride
		1	0.244	-0.188	-0.175	-0.043	-0.001	-0.200	-0.102	-0.204	نیترات Nitrate
	1	-0.180	-0.035	0.555	0.915	0.482	0.418	0.875	0.746	0.781	هدایت الکتریکی Electrical conductivity
	-0.742	0.153	0.070	-0.452	-0.630	-0.431	-0.649	-0.581	-0.0579	-0.692	اسیدیته Acidity

جدول ۴- ماتریس عامل‌ها بعد از چرخش عامل‌ها.

Table 4. Factors matrix after factors rotation.

فاکتور ۳	فاکتور ۲	فاکتور ۱	پارامتر
Third Factor	Second Factor	First Factor	Parametr
-0.011	0.768	0.512	کلسیم Calcium
0.108	0.616	0.580	منیزیم Magnesium
-0.235	0.374	0.807	سدیم Sodium
0.027	0.863	0.001	پتاسیم potassium
0.070	-0.092	0.824	بیکربنات Bicarbonate
-0.088	0.489	0.791	کلراید Chloride
-0.144	0.698	0.244	سولفات Sulfate
-0.734	-0.113	-0.089	نیترات Nitrate
-0.816	0.061	0.006	فلوراید Fluoride
-0.102	0.534	0.794	هدایت الکتریکی Electrical conductivity
-0.102	0.534	0.794	کل مواد جامد Total Dissolved Solids
0.087	-0.664	-0.476	اسیدیته Acidity
9.72	10.37	55.37	درصد واریانس Variance(%)
75.48	66.06	55.32	واریانس تجمعی cumulative variance

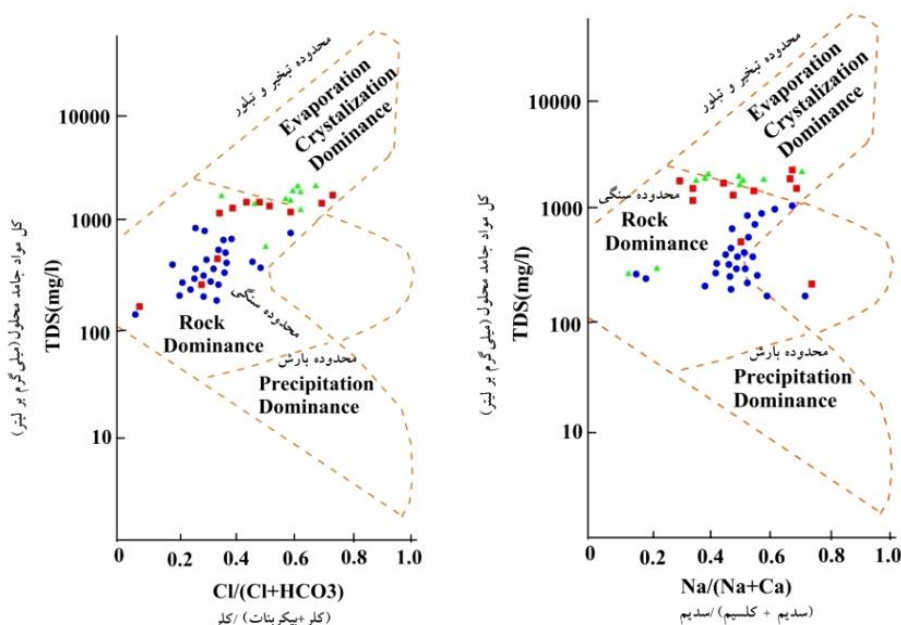
و ... در آب زیرزمینی، انحلال کانی‌های موجود در این سازندها (روند کلی آب زیرزمینی) و افزایش تبخیر سطحی هستند. با توجه به نقشه زمین‌شناسی (شکل ۲) در بخش‌های شمال، شمال‌شرقی و غربی دشت برونزد سازندهای (Qpl, Eoms, Eomg)، Ms3 و Qal-sf قابل مشاهده است. عامل اول را با

از بین عوامل، عامل اول ۵۵/۳۷ درصد از واریانس کل داده‌ها را شامل می‌شود که مؤثرترین عامل بر تغییر کیفیت آب است. عامل دوم ۱۰/۳۷ درصد و عامل سوم ۹/۴۲ درصد از واریانس کل داده‌ها را شامل می‌شود. مشخصه‌های مؤثر در فاکتور اول نشان‌دهنده تأثیر سازندهای تبخیری و نمکی (مانند هالیت، ژپس

فعالیت‌های انسانی و کشاورزی است، می‌توان گفت عامل سوم منشأ انسانی دارد و در راستای افزایش یون نیترات است. همچنین بار عاملی بالای فلوئوراید می‌تواند آبشویی کانی‌های فلوئوریدار مانند میکا و آپاتیت موجود در این سازندها را بیان می‌کند (16).

ارتباط متقابل بین آب و سنگ‌های دربرگیرنده: به‌منظور بررسی تأثیر لیتولوژی سنگ‌های دربرگیرنده بر کیفیت آب‌ها، تعیین مکانیسم حاکم بر جریان آب زیرزمینی و ترکیب یون‌های اصلی موجود در آب زیرزمینی از دیاگرام گیبس استفاده شد (14). براساس دیاگرام (شکل ۶) نمونه آب‌های زیرزمینی مرند عمدتاً در ناحیه‌ای از دیاگرام که پدیده سنگی (Rock Dominate) غالب است قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده تأثیر متقابل بین شیمی سنگ و شیمی آب‌های حاصل از بارش که به زیرزمین نفوذ کرده‌اند می‌باشد. از بین نمونه‌ها عمدتاً نمونه‌های گروه سوم در ناحیه‌ای از دیاگرام که تبخیر و تبلور فرآیند غالب می‌باشد قرار می‌گیرند.

توجه به مشخصه‌های موجود در آن، می‌توان عامل شوری دشت دانست. همچنین تغذیه از طریق آب‌های سطحی (رودخانه و ...) باعث افزایش بار عاملی بی‌کربنات در عامل اول شده است (7). عامل دوم نشان‌دهنده تعامل آب / سنگ است که این عامل در ارتباط با انحلال سنگ‌های حاوی ترکیبات کلسیم و منیزیم‌دار است. تأثیر منفی اسیدیته در این عامل بر این نکته اشاره دارد که سرعت هوازدگی اینگونه کانی‌ها در محیط‌های اسیدی بیش‌تر از محیط بازی است. از طرف دیگر عامل پتاسیم بالاترین بار عاملی را نشان می‌دهد که می‌تواند در ارتباط با کانی‌های پتاسیم‌دار (اورتوز، سیلویت) و همچنین فعالیت‌های کشاورزی باشد. افزایش بار عاملی سولفات به همراه کلسیم نشان‌دهنده تأثیر سازندهای سولفات کلسیم‌دار و ژیپس است. استفاده از کودهای شیمیایی نیترات‌دار در زمین‌های کشاورزی، ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی، فعالیت‌های دامداری از جمله فعالیت‌های انسانی است که در ایجاد آلودگی نیترات در آب زیرزمینی مؤثرند (9). از آن‌جایی که اصلی‌ترین عامل افزایش نیترات،

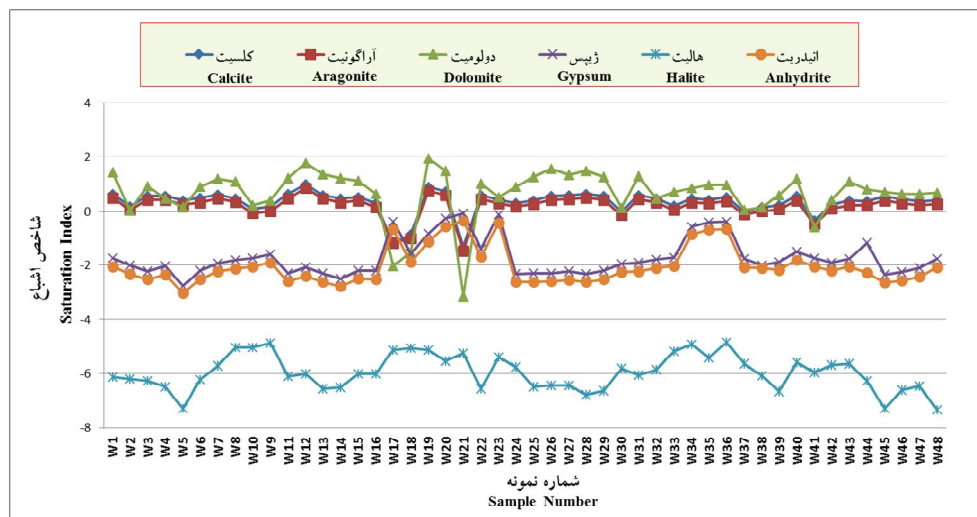


شکل ۶- نمودارهای گیبس نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه.

Figure 6. Gibbs charts groundwater samples in the study area.

فوق اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به کلسیت و دولومیت شده است. بالا بودن اندیس اشباع دولومیت نسبت به کلسیت نشان از انحلال بیش‌تر کانی‌های دولومیتی نسبت به کلسیتی در طول مسیر حرکت آب زیرزمینی دارد. در نتیجه، فرآیند مذکور را می‌توان به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر ترکیب آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه ذکر نمود. از آنجایی‌که آبرفت موجود در منطقه حاصل آوردهای رودخانه‌های زلیبیرچای و زنوزچای است و این نهشته‌های از سازندهای مختلف از جمله سازندهای آهکی منشاء می‌گیرند می‌توان استنباط نمود که بالا بودن نمایه‌های اشباع دولومیت نسبت به نمایه‌های اشباع کلسیت به‌علت کانی‌های دولومیت و کلسیت منیزیم‌دار، رخداد فرآیند ددولومیتیزاسیون (Dedolomitization) و رسوبگذاری کلسیت باشد (1).

نمایه‌های اشباع: برای شناسایی عوامل مؤثر بر هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی استفاده از مقادیر نمایه‌های اشباع کانی‌های مختلف و بررسی روابط بین نمایه‌های اشباع بسیار مفید است. بدین سبب نمایه‌های اشباع کلسیت، آراگونیت، دولومیت، انیدریت، ژپس و هالیت نمونه‌های آب زیرزمینی دشت مرند با استفاده از کد کامپیوتری PHREEQC.V3 محاسبه گردیده و در (شکل ۷) ارائه گردیده است (11). نتایج نشان می‌دهد که تمام نمونه‌های آنالیز شده نسبت به ژپس تحت اشباع می‌باشند و می‌توانند کماکان ژپس را در خود حل نمایند. به‌جز در چند نمونه، در بقیه نمونه‌های فوق، اشباع نسبت به کلسیت و دولومیت وجود دارد. افزایش غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم، کربنات و بیکربنات از منشاءهای غیر از انحلال کلسیت و دولومیت مانند انحلال سریع ژپس و انیدریت، باعث



شکل ۷- شاخص اشباع‌شدگی کانی‌های اصلی در نمونه‌های آب.

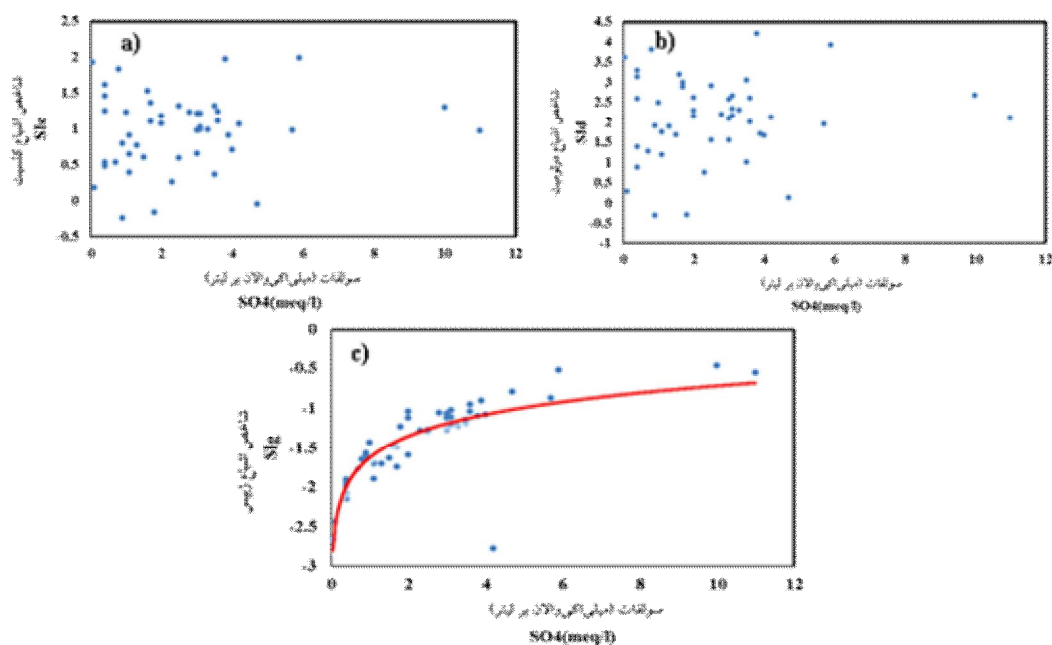
Figure 7. The main minerals saturation index in water samples.

تهیه گردید (شکل ۸). مقادیر نمایه اشباع کلسیت حول عدد ۱ در نوسان است که این امر می‌تواند به حالت فوق اشباعی ناشی از ددولومیتیزاسیون (Dedolomitization)، که در طی آن انیدریت و

با توجه به آن‌که انحلال ژپس در تکامل ژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت مرند مؤثر بوده است نمودارهای دومتغیره نمایه‌های اشباع کلسیت، دولومیت و ژپس در مقابل غلظت سولفات

برتری مقادیر نمایه اشباع دولومیت نسبت به مقادیر اشباع کلسیت نیز نقش داشته است. تنها نمونه‌ای که مقدار نمایه اشباع دولومیت آن نسبت به نمایه اشباع کلسیت کم‌تر است مربوط به روستای یامچی می‌باشد. دلیل این کاهش می‌تواند ناشی از عدم دسترسی و کم بودن کانی‌های دولومیتی در این منطقه از دشت باشد. علی صفارزاده (2005) در بررسی هیدروژئوشیمی و آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت شوش نتیجه گرفت که تمام نمونه‌های آنالیز شده نسبت به ژپس تحت اشباع ولی نسبت به کلسیت و دولومیت فوق اشباع هستند. و نتایج نشان از برتری اشباعیت دولومیت و کلسیت دارد و تنها نمونه‌ای که مقدار نمایه اشباع دولومیت آن نسبت به نمایه اشباع کلسیت کم‌تر است مربوط به روستای حبیب بن مظاهر می‌باشد. که علت آن را به کم بودن کانی‌های دولومیتی در منطقه مورد مطالعه نسبت دادند (12).

ژپس حل شده و باعث انحلال دولومیت و رسوب کلسیت می‌گردند. ما و همکاران (2011)، تغییرات پایداری کلسیت به‌واسطه مشارکت یون سولفات در ساختمان کانی و یا احتمالاً عدم صحت سنجش‌های آزمایشگاهی pH در آزمایشگاه به‌واسطه خروج گاز CO₂ در طی مراحل نمونه‌برداری و انتقال نمونه‌های آب به آزمایشگاه نسبت داده می‌شود. مقادیر نمایه اشباع دولومیت نمونه‌ها با افزایش سولفات حالت افزایش دارد. این امر احتمالاً به‌واسطه آزاد شدن کلسیم ناشی از انحلال ژپس، رسوب کلسیت، انحلال بیش‌تر دولومیت و افزایش غلظت منیزیم آب‌های زیرزمینی در ارتباط است. وقتی که آب‌های زیرزمینی نسبت به ژپس به حالت اشباع برسند، در آن صورت حاوی مقادیر منیزیم بیش از کلسیم می‌گردند. این می‌تواند باعث حالت فوق اشباعی بیش‌تر دولومیت نسبت به کلسیت در آبخوان دشت مرند شده باشد. به هر حال وجود کانی‌های دولومیتی در آبرفت نیز در



شکل ۸- نمودارهای اشباع (الف) کلسیت، (ب) دولومیت و (ج) ژپس بر حسب تابعی از سولفات.

Figure 8. Saturation diagrams a) Calcite, b) Dolomite and c) Gypsum function of sulfate

نتایج

سازندهای نمکی در آب زیرزمینی، انحلال کانی‌های موجود در این سازندها و افزایش تبخیر هستند. عامل دوم نشان‌دهنده تعامل آب / سنگ است که این عامل در ارتباط با انحلال سنگ‌های حاوی ترکیبات کلسیم و منیزیم است. پارامترهای موثر در فاکتور سوم شامل یون‌های نیترات و فلوئوراید می‌باشد که نشانگر فعالیت‌های کشاورزی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. با توجه به روش‌های هیدروشیمیایی مورد استفاده در این پژوهش، مهم‌ترین عامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، واکنش بین آب و مواد آبخوان است. محاسبه شاخص اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی دشت مرند نشان‌دهنده وضعیت اشباع و فوق اشباع نسبت به کلسیت و دولومیت و تحت اشباع نسبت به ژپس و هالیت می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای، آبخوان از لحاظ کیفی به ۳ گروه تقسیم‌بندی شده است. غلظت یون‌های محلول در آب زیرزمینی از گروه اول به سمت گروه سوم افزایش می‌یابد. در گروه اول تیپ آب بی‌کربنات سدیک و در گروه دوم و سوم کلروه سدیک می‌باشد. با توجه به این‌که آب زیرزمینی دشت مرند از رودخانه‌ها مخصوصاً رودخانه زلیبیرچای در جنوب شرقی و شمال شرقی دشت و رودخانه زوزچای از شمال دشت منشأ می‌گیرد، همچنین وجود واحدهای مارنی و تبخیری در این بخش از دشت باعث شده که تیپ آب کلروه- سدیک باشد. نتیجه تحلیل عاملی نشان می‌دهد که ۷۵ درصد تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت مرند توسط ۳ عامل کنترل می‌شود. عامل اول نشان‌دهنده تأثیر

منابع

1. Asghari Moghaddam, A., Fakhri, M.S., Shokri, S., and Najib M. 2013. Assessment of factors effecting the chemical quality of groundwater hydro chemical Marand plain using statistical models. The first Symposium on applied geochemistry of Iran, University of DAMEGHAN. 1: 1-9.
2. Asghari Moghaddam, A., Nadiri A., and Fijani, E. 2008. Investigation of effective factors on hydrogeochemistry of Bazargan and Poldasht plains using multi variate statistical methods. Proceeding of the 12th Symposium of Geological Society of Iran, University of Shahid Chameran, Iran. Pp: 1-9.
3. Bu, H., Tan, X., Li, S., and Zhang, Q. 2010. Water quality assessment of the Jinshui River (China) using multivariate statistical techniques. Environmental Earth Sciences. 60: 1631-1639.
4. Fetter, C.W., Jr Associates. 1999. Contaminant Hydrogeology, Second edition, Prentic Hall, Inc.
5. Gonzalez Vazquez, J.C., Grande, J.A., Barragan, F.J., Ocana, J.A., and Torre, D. 2005. Nitrate Accumulation and other Components of the Groundwater in Relation to Cropping System in and Aquifer in Southwestern Spain. J. Water Resour. Manage. 19: 1-22.
6. Guler, C., Thyne, G.D., McCray, J.E., and Turner, A.K. 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. Hydro. J. 10: 455-474.
7. Hounslow, A.W. 1995. Water Quality Data – Analysis and Interpretation. Geochem. J. 35: 1-12.
8. Jeong, C.H. 2001. Effect of Land Use and Urbanization on Hydrochemistry and Contamination of Groundwater from Taejon Area, Korea. J. Hydrol. 253: 194-210.
9. Lawrence, F.W., and Upchurch, S.B. 1982. Identification of water recharge areas using geochemical factor analysis. Groundwater. 20: 680-687.

10. Ma, R., Wang, Y., Sun, Z., Zheng, C., Ma, T., and Prommer, H. 2011. Geochemical evolution of groundwater in carbonate aquifers in Taiyuan, northern China. *Applied Geochemistry*. 26: 884-897.
11. Parkhurst, D.L., and Appelo, C.A.J. 1999. User's guide to PHREEQC (v.2) -A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport and inverse geochemical calculations. U.S. Geological Survey, 326p.
12. Safarzadeh, A. 2005. Assessment of hydrogeochemical and pollution groundwater shosh plain. M.Sc. thesis, University of Shahid Behesti, Iran. 226p.
13. Stossel, R.K. 1997. Delineating the chemical compositions of the salinity source for saline groundwater: An example from east-central Canadian Parish, Luisiana. *Ground Water*. 35: 409-417.
14. Subbarao, N. 2001. Geochemistry of groundwater in parts of Guntur district, Andhra Pradesh, Hndia. *Environmental Geology*. 41: 552-562.
15. Suk, H., and Lee, K. 1999. Characterization of Groundwater Hydrochemical System Through Multivariate Analysis: Clustering into Groundwater Zones. *Ground Water*. 37: 358-366.
16. Vasanthavigar, M., Srinivasamoorthy, K., Ganthi, R., Vijayaraghavan, K., and Sarma, V.S. 2012. Characterisation and quality assessment of groundwater with a special emphasis on irrigation utility: Thirumanimuttar sub-basin, Tamil Nadu, India. *Arabi. J. Geosci.* 5: 245-258.
17. Tlili-Zrelli, B., Azaza, F.H., Gueddari, M., and Bouhlila, R. 2012. Geochemistry and quality assessment of groundwater using graphical and multivariate statistical methods. A case study: Grombalia phreatic aquifer (Northeastern Tunisia). *Arabi. J. Geosci.* 6: 3545-3561.



Application of statistical methods and saturation indices in groundwater quality assessment of the Marand plain

M.S. Fakhri¹, *A. Asghari Moghaddam² and M. Najib³

¹M.Sc. Student of Hydrogeology, Dept. of Earth Sciences, University of Tabriz,

²Professor of Hydrogeology, Dept. of Earth Sciences, University of Tabriz,

³Groundwater Expert at East Azarbaijan Regional Water Authority

Received: 07/17/2014; Accepted: 04/21/2015

Abstract

Background and Objectives: Groundwater is one of the most important and worthiest resources of the country, which recognizing and optimal utilizing of these resources cause economics efflorescence. Inaccurate management and groundwater overdraft make irrecoverable damage to these resources, environment and economy of the country. Marand plain is one of the fertile plains of East Azerbaijan Province which 80 percent of its water demands is supplied by groundwater. Therefore, qualitative protection of groundwater resources of this Plain is vital. In this Study, Statistical Methods and Saturation Indices are used for assessment of quality parameters.

Materials and Methods: The study area is located in the north west of east Azarbaijan province, some 60 km far from the Tabriz city. The total Marand area is 1871 Km² which 589 Km² of this area covers the Marand plain aquifers. 48 water samples were collected from groundwater resources and analyzed and measured for major and some minor ions and species such as NO₃⁻, F⁻ and SiO₂ as well as pH and EC in University of Tabriz hydrology lab. Groundwater resources are separated by cluster analyzing in three distinct groups. In this research multivariate analysis methods were used for quality parameters evaluation.

Results: Cluster analyzing puts the water types in three individual groups. In first group the water type is bicarbonate sodic and in second and third groups it is chloro sodic type. The results of factor analysis indicated that three factors such as salty geologic formations dissolve of minerals and increasing of evaporation control about 75% of the total samples variance. To identify geochemical processes governing to the aquifer, saturation indices of calcite, dolomite and gypsum of the samples were evaluated. The results showed that chemical composition of groundwater is highly affected by river recharged water, aquifer skeletal materials and evaporation from the groundwater.

Conclusion: The results showed that the quality variations of groundwater is affected by salty evaporate formations, solution of minerals and aquifer materials, evaporation from the rivers waters which recharge to the aquifer, water and formation reactions and evaporation from the groundwater. Also, the results showed that the water quality for agricultural, drinking and industrial purposes in eastern and southeastern parts of the study area is more suitable than the north and northwestern parts of the plain.

Keywords: Groundwater, Multivariate analysis, Hydrogeochemistry, Saturation index

* Corresponding Author; Email: moghaddam@tabrizu.ac.ir

