

تشخیص وضعیت هیدروژئوشیمیایی و روند شوری در سفره آب زیرزمینی دشت خوی به روشهای آماری و هیدرووشیمیایی

لیدا جلالی^{۱*}، اصغر اصغری مقدم^۲

۱- کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، گروه زمین شناسی دانشگاه تبریز

Moghaddam@tabrizu.ac.ir

۲- استاد گروه زمین شناسی دانشگاه تبریز

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۲

تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۹

چکیده

کیفیت آب زیرزمینی به دلیل تغییر در شرایط مختلف از جمله شرایط آب و هوایی، مدت زمان ماندگاری آب در آبخوان، جنس سازندهای زمین شناسی مسیر و غیره تغییر می کند. یکی از روشهای متداول و مهم برای انجام بررسی های هیدروژئوشیمیایی، روشهای آماری چند متغیره است. این تحقیق سعی بر آن داشت تا این روش را بررسی و در مطالعه هیدرووشیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت خوی استفاده کند. در این بررسی سعی شده تا با استفاده از نرم افزار PHREEQC به ارزیابی شاخص اشباع شدگی کانی های موجود در سازندهای زمین شناسی دشت خوی پرداخته شود. ۳۶ نمونه آب زیرزمینی از چاهها جمع آوری شده که نمونه برداری و تجزیه و تحلیل شیمیایی آنها با روشهای استاندارد صورت گرفته است. در کل سه عامل اصلی مؤثر بر هیدرووشیمی منطقه مورد شناسایی قرار گرفت. عامل های اول و دوم تأثیر سازندهای زمین شناسی و روند تکاملی جریان آب زیرزمینی را نشان می دهند و عامل سوم متأثر از فعالیت های انسانی است که نتیجه فعالیت های کشاورزی است. با توجه به عامل اول، انحلال کانی های کربناته و تبخیری در هیدرووشیمی آب زیرزمینی نقش اصلی دارند، همچنین هوازدگی کانی ها مقادیر یون های اصلی از جمله کلسیم و منیزیم را کنترل می کند. محاسبه شاخص اشباع کانی های اصلی آب زیرزمینی نیز تعامل آب و سنگ را نشان داده و با توجه به بیشتر بودن شاخص اشباع کانی های دولومیت، کلسیت، انیدریت، فلوریت و ژیس، نسبت به دیگر کانی ها، تأثیر سازندهای میوسن و پلیوسن با محتوای کنگلومرای قرمز، ماسه، آهک، مارن و قطعات آتشفشانی و آندزیتی اتوسن بین آنها، بر آب زیرزمینی مشخص می شود.

کلید واژه

آب زیرزمینی، تجزیه و تحلیل فاکتوری، دشت خوی، شاخص اشباع، مدل هیدروژئوشیمیایی

سر آغاز

کیفیت آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می دهد مشکل است، به همین دلیل هیدروژئوشیمیست ها از روش تحلیل عاملی استفاده می کنند. تحلیل عاملی، روش آماری چند متغیره ای است که هدف آن ساده کردن مجموعه های پیچیده و مختلفی است که بین متغیرهای مشاهده ای وجود دارد. به همین علت هیدروژئوشیمیست ها برای تشخیص سهم هر یک از عوامل و شرایط مؤثر بر ترکیب آب زیرزمینی از روش تحلیل عاملی، یا روش تحلیل خوشه ای استفاده می کنند (Usunoff, et al., 1989; Evans, et al., 1996; Jeong, et al., 2001). محققان مختلفی از روشهای آماری چند متغیره در بررسی کیفی، تحلیل کیفیت و مطالعه هیدرووشیمی آبهای زیرزمینی در مناطق مختلف کره زمین استفاده کرده اند (Beatriz, et al., 1999; Usunoff and Guzman, 1989; Liu et al., 2003; Reghunath, et al.,

با توجه به تغییرات کیفی آبهای زیرزمینی که می تواند در اثر فعالیت های طبیعی و انسانی صورت گیرد، بررسی و مطالعه این منابع به منظور حفظ کیفیت آنها ضروری است. مناسب بودن آب برای مصارف مختلف شرب، کشاورزی و صنعت با توجه به کیفیت آب تعیین می شوند. کیفیت آب زیرزمینی به دلیل تغییر در شرایط مختلف از جمله شرایط آب و هوایی، مدت زمان ماندگاری آب در آبخوان، جنس سازندهای زمین شناسی مسیر و غیره تغییر می کند. در این بررسی سعی بر آن شده که کیفیت آب زیرزمینی آبخوان موجود در دشت خوی را از لحاظ املاح محلول، مورد ارزیابی قرار داده و عوامل مؤثر و کنترل کننده در افزایش این املاح را مورد شناسایی قرار دهیم. تشخیص مجموعه ای از شرایط هیدروژئولوژیکی و فرایندهای هیدروژئوشیمیایی که در آبخوان

خشک و سرد محسوب می‌شود و متوسط بارندگی در کل حوضه مطالعاتی به طور میانگین ۳۴۴ میلی‌متر است. میانگین تبخیر ماهانه در تشت از ایستگاه خوی ۱۴۳۴ میلی‌متر بدست آمده است.

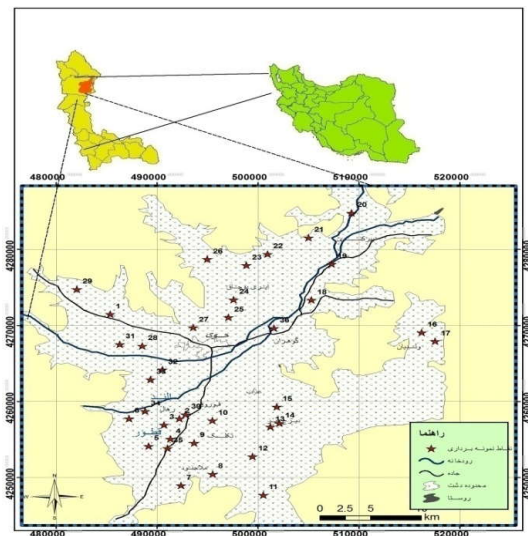
بررسی نحوه توزیع بارش‌های ماهانه نشان می‌دهد که در این دشت اردیبهشت پر باران‌ترین ماه سال و کمترین مقدار بارندگی سالانه به مرداد تعلق دارد. از نظر تقسیمات واحدهای زمین‌ساختی ایران، منطقه خوی جزء زون خوی-مهاباد بوده و در این زون با توجه به واحدهای چینه شناسی و محیط تشکیل آنها فعالیت‌های ماگمایی (آتشفشانی-نفوذی) زیاد است. بنابراین رخساره‌های متامورفیک نیز در آن فراوان یافت می‌شود. بدین دلیل رخساره‌های منطقه شامل رخساره‌های رسوبی، آذرین، دگرگونی و آبرفت‌های عهد حاضر است. به طور کلی رسوبات آبرفتی دشت خوی حاصل فعالیت رودخانه‌های آند و قطور است. رسوبات این دوره به دلیل منفصل بودن دانه‌ها و گسترش زیاد در سطح دشت و نواحی بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها از نظر هیدروژئولوژی دارای اهمیت فراوان هستند. جنس غالب از ذرات شن و ماسه و رس تشکیل شده است. بخشی از این تراس‌ها قدیمی هستند و ذرات با خمیری از رس به هم متصل شده‌اند و از نفوذپذیری آنها کاسته شده است. تراس‌های جدید که از دانه‌های شن و ماسه تشکیل شده و در مسیر رودخانه واقع شده‌اند از دانه‌های منفصل ایجاد شده که دارای نفوذپذیری بسیار خوب هستند. با توجه به اطلاعات حاصل از مطالعات ژئوفیزیک، لوگ حفاری چاهها و اطلاعات زمین‌شناسی، آبخوان اصلی در محدوده مطالعاتی در رسوبات آبرفتی جدید (دوران چهارم) تشکیل شده است. حداقل ضخامت آبرفت در نواحی حاشیه‌ای دشت کمتر از ۵۰ متر و حداکثر ضخامت رسوبات منفصل در این محدوده بیش از ۲۰۰ متر است. سنگ کف در تمام دشت از نوع مارن و کنگلومراست که در ناحیه شمالی میزان مارن و در ناحیه جنوبی میزان کنگلومرا بیشتر است. در بخش غربی دشت آبرفت در جهت جریان و عمق یکنواخت نبوده و لایه‌های رسی و سیلتی دانه‌ریز به وجود آمده باعث جدا شدن سفره آب‌زیرزمینی شده که منجر به تشکیل سفره‌های نیمه محصور در دشت گردیده است، در صورتی که در بخش شمالی و شمال غربی دشت وضعیت آبرفت و عمق تقریباً یکنواخت بوده و لایه‌های ریزدانه که سبب تفکیک سفره آب‌زیرزمینی شده باشد وجود ندارند. نقشه زمین‌شناسی دشت مورد مطالعه در شکل شماره (۲) به نمایش گذاشته شده است.

(2002). در ایران، با بررسی کیفیت آب شرب بندرعباس، آلودگی آب شرب شهر دامغان به نترات و همچنین بررسی کیفیت آب‌زیرزمینی زاهدان در این زمینه مطالعه شده است (نوشادی و همکاران، ۱۳۸۸؛ مهدوی نیا و نیک روش، ۱۳۸۱؛ خزاعی، ۱۳۸۰). کاربرد تکنیک‌های آماری چند متغیره به ما این امکان را می‌دهد تا منابعی را که ممکن است سیستم‌های آبی را تحت تأثیر قرار دهد، شناسایی کرده و ابزاری مناسب برای مدیریت صحیح منابع آب پیشنهاد کنیم (Wang, et al., 2010). برای انجام تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار آماری SPSS V.16 استفاده شده است.

محاسبه شاخص اشباع^۱ کانی‌های مختلف به منظور توصیف تکامل شیمیایی آب‌های زیرزمینی صورت می‌گیرد. با استفاده از روش محاسبه شاخص اشباع می‌توان به پیش‌بینی واکنش‌های کانی‌شناسی زیرسطحی با آب زیرزمینی، بدون جمع‌آوری نمونه‌های خاک و سنگ و تجزیه و تحلیل‌های پتروگرافی پرداخت (Hounslow, 1995). برای محاسبه شاخص اشباع از مدل هیدروشیمیایی نرم افزار PHREEQC استفاده شده است.

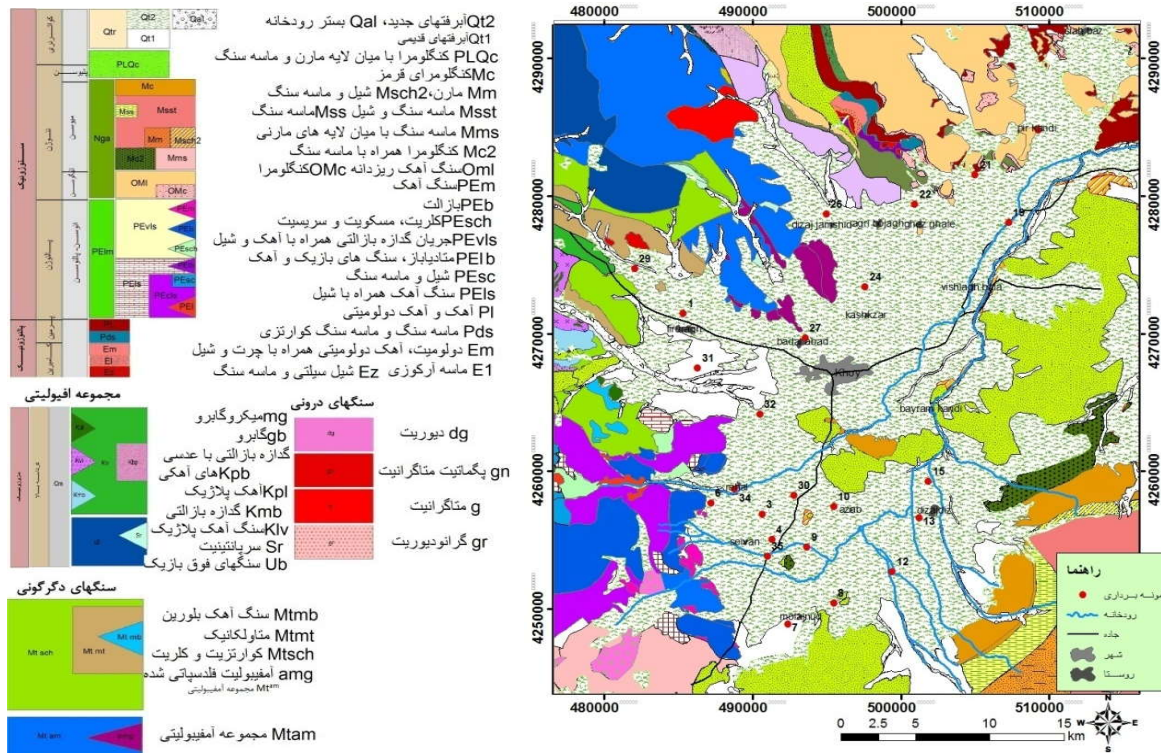
منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل دشت خوی بوده که بخشی از حوضه آبریز دریای خزر است. دشت خوی در شمال غرب کشور، در شمال استان آذربایجان غربی بین محدوده جغرافیایی (UTM) $X=475000$ تا $X=520000$ طول شرقی و $Y=4240000$ تا $Y=4290000$ عرض شمالی گسترده شده است (شکل شماره ۱).



شکل شماره (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

اقلیم این منطقه در طبقه‌بندی‌های مختلف اقلیمی (با تلفیق نتایج حاصل از شاخص دوماتین و منحنی‌های آمیروترمیک) نیمه



شکل شماره (۲): نقشه زمین‌شناسی و موقعیت نقاط نمونه برداری

روشهای استاندارد، در آزمایشگاه آبشناسی دانشگاه تبریز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. یون‌ها و مشخصه‌های اندازه‌گیری شده شامل کلسیم، منیزیم، کلرید، کربنات، بیکربنات، سدیم، پتاسیم، سولفات، اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC) و عناصر فرعی از جمله نیترات و فلوراید است. جدول شماره (۱) خصوصیات آماری داده‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد.

مواد و روشها
هیدرووشیمی

در این بررسی علاوه بر جمع‌آوری اطلاعات اولیه از شناسایی منابع آب، مطالعات زمین‌شناسی منطقه و شناسایی منابع آلوده‌کننده احتمالی، برای تکمیل مطالعات، کیفیت فیزیکی و شیمیایی آبها، از ۳۶ نمونه در مهر ۱۳۸۹ برداشت صورت گرفته است که موقعیت آنها در شکل شماره (۲) نشان داده شده است. این نمونه‌ها طبق

جدول شماره (۱): خصوصیات آماری داده‌های هیدرووشیمیایی

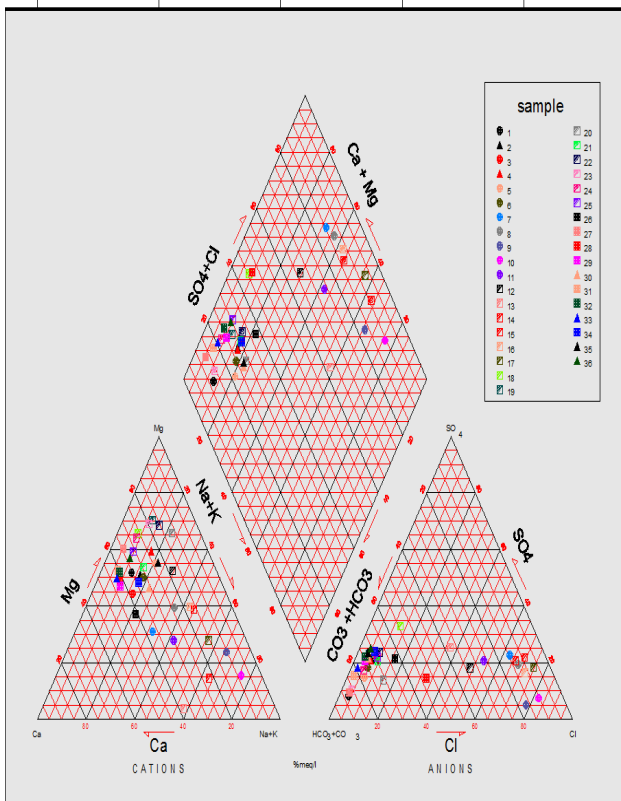
مشخصه‌ها	کمترین	بیشترین	میان	انحراف از معیار	استاندارد جهانی WHO
کلسیم	۳۳/۶	۲۷۲	۹۱/۷۸	۵۴/۴۱	۷۵
منیزیم	۱/۹۲	۲۳۰/۴	۶۴/۵۱	۵۲/۳۰	۵۰
سدیم	۱۴/۸۱	۹۰۶/۷۴	۱۵۷/۵۶	۲۱۶/۹۹	۲۰۰
پتاسیم	۰/۷۵	۲۶/۱۳	۵/۲۹	۵/۵۹	۲۰
بیکربنات	۲۱۴/۷۲	۱۸۳۰	۵۱۹/۴۵	۳۷۹/۷۳	۲۵۰
کلر	۴	۱۵۸۴/۵۱	۲۱۶/۶۳	۳۸۵/۵۱	۲۵۰
سولفات	۳۹/۱	۷۰۸/۰۴	۱۵۱/۱۲	۱۵۱/۶۲	۲۵۰
فلوراید	۰/۲۴	۳/۵۹	۰/۷۴	۰/۵۶	۲
نیترات	۰/۴۴	۶/۷۸	۳/۰	۱/۴۷	۱۰
اسیدیته	۶/۳۴	۷/۹۱	۷/۳۷	۰/۴۱	۶/۵-۸/۵
هدایت الکتریکی	۵۲۰	۶۰۰۰	۱۵۰۷/۹	۱۲۷۵/۰۲	۳۰۰
کل مواد جامد	۳۳۸	۳۹۰۰	۹۸۰/۱۵	۸۲۸/۷۷	۵۰۰

(غیر از اسیدیته و هدایت الکتریکی (μmoh/cm)، همه مشخصه‌ها بر حسب (mg/l) هستند.)

ناحیه شش دیاگرام پایپر قرار گرفته‌اند. این دو نمونه مربوط به بخش جنوب غربی دشت هستند که از یک منطقه با سختی موقت منشاء گرفته‌اند. اکثر نمونه‌های برداشت شده از قسمت‌های غربی دشت (منطقه تغذیه) در ناحیه پنج قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده آبهای شیرین با سختی موقت هستند. در ناحیه هفت نمودار که نشان‌دهنده آبهای شور است پنج نمونه قرار گرفته است. نمونه‌های ۹، ۱۰، ۱۳، ۱۴ و ۱۷ مربوط به قسمت مرکزی دشت هستند که به ترکیب آب دریا متمایل می‌شوند.

سایر نمونه‌ها در ناحیه نه نمودار قرار می‌گیرند که مربوط به قسمت مرکزی و جنوبی دشت هستند، در این ناحیه هیچ آنیون و کاتیونی غالب نیست و اختلاط آبها صورت گرفته است. ناگفته نماند که نمونه‌های ۲، ۴، ۳۰، ۳۳، ۳۵ و ۳۶ مربوط به سفره محبوس دشت و در قسمت غربی قرار دارند.

نمودارهای هم‌مقدار آنیون‌ها، کاتیون‌ها و هدایت الکتریکی نشان می‌دهد که بیشترین مقدار EC، کلسیم، سدیم، سولفات، کلر، پتاسیم و منیزیم مربوط به نمونه‌های شرق و شمال شرقی دشت هستند و کمترین مقدار این آنیون و کاتیون‌ها مربوط به نمونه‌های غربی دشت هستند.

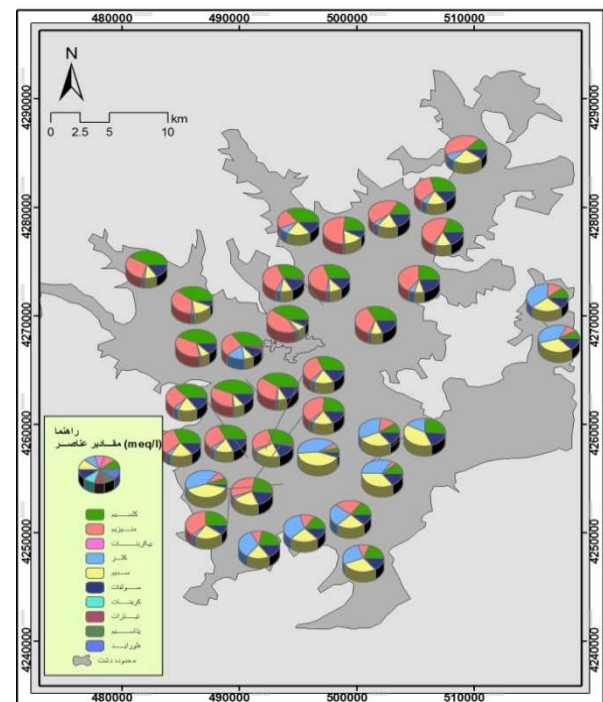


شکل شماره (۴): نمودار پایپر نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده

روش ترسیمی

توانایی نشان دادن نتایج تجزیه شیمیایی روی یک نقشه یا نمودار و تعیین روند تغییرات شیمیایی، دو مزیت مهم این روش به شمار می‌روند. یکی از نمودارهایی که برای بررسی جداگانه ترکیب شیمیایی نمونه‌ها استفاده می‌شود نمودار دایره‌ای است که برای نمونه‌های انتخابی در نظر گرفته شده است (Fetter and Associates, 1999).

شکل شماره (۳) نمودار دایره‌ای را برای چند نمونه نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در نمونه‌های شمالی دشت میزان بیکربنات و کلسیم و منیزیم بیشتر است، در حالی که سدیم و کلر در نمونه‌های جنوبی و شرقی، یون‌های غالب هستند. تغییرات کلی TDS نمونه‌ها مطابق با توالی چپوتارو^۲ با گذشت زمان ماندگاری آب، در جهت مسیر جریان آب روند صعودی نشان می‌دهد (Freez and cherry, 1979).



شکل شماره (۳): نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل یون‌های موجود در نمونه‌های آبریز مینی

بحث و نتایج

نمودار پایپر

شکل شماره (۴) نمودار پایپر نمونه‌های برداشتی از آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. از مجموع نمونه‌ها دو نمونه (۷ و ۸) در

یون‌های کلر و سدیم

تقریباً تغییرات این دو یون از روند عمومی جریان آب زیرزمینی که در امتداد رودخانه قطور است تبعیت می‌کند. با توجه به نقشه هم‌ارزش کلر و سدیم (شکل شماره ۵)، حداقل مقدار دو یون کلر و سدیم در منطقه تغذیه است. مقادیر کلر و سدیم همبستگی خوبی را با هدایت الکتریکی نشان می‌دهند (شکل شماره ۶). بیشترین مقدار این دو یون در شرق دشت مشاهده شده است.

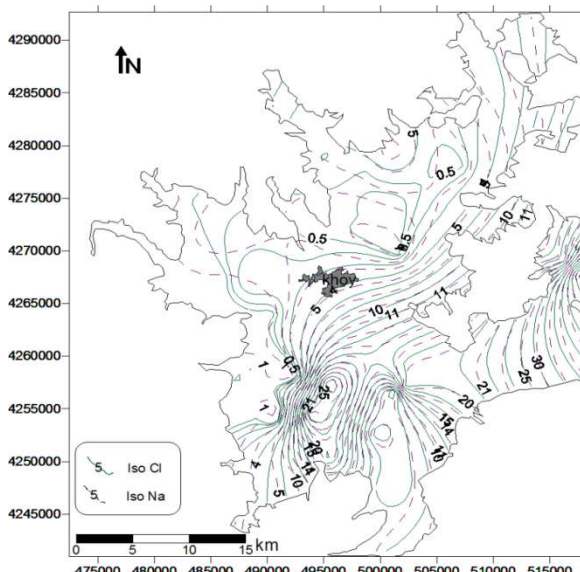
مقادیر این دو یون در دو قسمت دشت، آنومالی نشان می‌دهند. در جنوب شرقی دشت خوی (مخروط افکنه قطورچای)، مقدار کلر و سدیم کم است و مقدار آن مانند هدایت الکتریکی به تدریج به سمت حاشیه افزایش نشان می‌دهد. روند این افزایش در جنوب شرق و جنوب به علت شرایط تبخیری حاصل از عمق کم سطح آب، نفوذپذیری کم، آبرفت و سنگ کف مارنی بیشتر و محسوس‌تر است. اصولاً نفوذپذیری کم زمان مجاورت آب‌زیرزمینی را با مواد اطراف زیاد کرده و در نتیجه آب‌زیرزمینی با داشتن فرصت بیشتر برای انحلال، شورتر خواهد شد (اصغری مقدم و قندی، ۱۳۸۴).

در قسمت مرکزی و جنوب غربی میزان کلر و سدیم به دلیل نفوذپذیری کم و مجاورت با تشکیلات شورکننده افزایش می‌یابد. در قسمت جنوبی به علت مجاورت با تشکیلات مارنی حاوی املاح شورکننده زیرزمینی دارای مقادیر زیادی کلر و سدیم است. اگر نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها کمتر از ۰/۸ باشد، هوازگی در سنگ‌ها در ایجاد ترکیب نمونه مورد نظر مؤثر بوده است. با توجه به اینکه در این نمونه‌ها این نسبت کمتر از ۰/۸ است، می‌توان چنین استنباط کرد که هوازگی سنگ‌ها در ایجاد ترکیب نمونه‌های مورد نظر نقش داشته است (Freez and cherry, 1979).

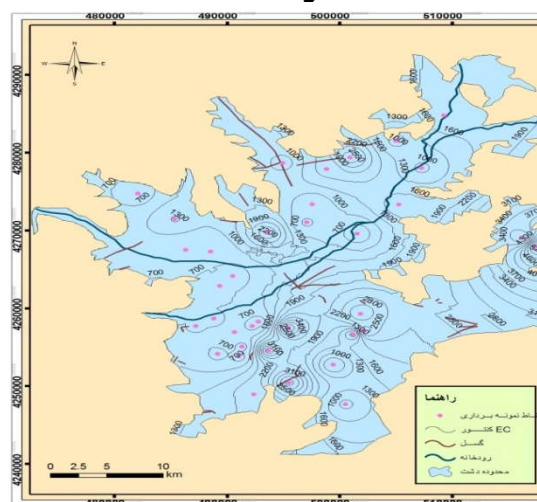
در قسمت جنوبی دشت فاصله بین خطوط کلر و سدیم کم است و به سمت قسمت‌های شرق و شمال شرق روند تغییرات کاهش می‌یابد. یون کلر در آب‌زیرزمینی از انحلال هالیت در رسوبات دانه‌ریز منشأ می‌گیرد. در نمونه‌های آب‌زیرزمینی مقدار کلر تابعی از یون سدیم است.

انحلال هالیت در آب، غلظتی مساوی از کلر و سدیم آزاد می‌کند (Hem, 1989)، همانطور که در شکل شماره (۷) مشاهده می‌شود، نسبت یک به یک غلظت کلر در مقابل سدیم که از انحلال هالیت پیش‌بینی می‌شود دیده نمی‌شود و نمونه‌ها در اطراف خط $[Cl] = (Na - 1.63) / 0.85$ دیده می‌شوند که نشان می‌دهد مقداری از یون سدیم با آنیون‌های دیگر جدا از کلر همبسته است.

سدیم اضافی مستقل از سدیم کل است و نشان‌دهنده این است که در مناطق تغذیه مقداری سدیم از تبادل یونی در کانی‌های رسی موجود در زمینه رسوبات منشأ می‌گیرد.



شکل شماره (۵): تغییرات یون‌های کلر و سدیم

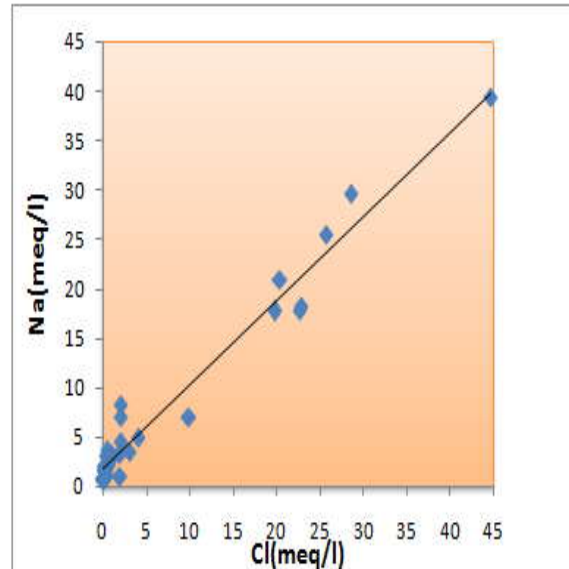
در منطقه

شکل شماره (۶): روند تغییرات هدایت الکتریکی در

دشت مورد مطالعه

جدول شماره (۲): ماتریس عامل‌ها

مشخصه‌ها	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم
کلسیم	۰/۷۳	-۰/۴۳	-۰/۱۶
منیزیم	۰/۶۸	-۰/۶۲	-۰/۲۳
سدیم	۰/۸۵	۰/۴۸	۰/۰۳
پتاسیم	۰/۷۹	۰/۳۷	۰/۱۴
بیکربنات	۰/۴۰	-۰/۸۳	-۰/۲۳
کلر	۰/۸۲	۰/۵۳	۰/۰۲
سولفات	۰/۹۰	۰/۱۶	۰/۰۷
فلوراید	۰/۶	-۰/۴۳	۰/۲۸
نیترات	۰/۰۳	-۰/۲۹	۰/۹۳
اسیدیته	-۰/۴۰	۰/۸۰	-۰/۱۰
هدایت الکتریکی	۰/۹۷	۰/۱۹	-۰/۰۴
کل مواد جامد	۰/۹۷	۰/۱۹	-۰/۰۴



شکل شماره (۷): نمودار ترکیبی سدیم در مقابل کلر

جدول شماره (۳): نتایج تجزیه به عوامل (پس از چرخش واریانس)

مشخصه‌ها	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم
کلسیم	۰/۴	۰/۷	-۰/۰۳
منیزیم	۰/۲۷	۰/۹۱	۰/۰۷
سدیم	۰/۹۷	۰/۰۰	-۰/۰۳
پتاسیم	۰/۸۸	۰/۰۵	۰/۰۹
بیکربنات	-۰/۰۸	۰/۹۵	-۰/۰۴
کلر	۰/۹۸	-۰/۰۵	-۰/۰۶
سولفات	۰/۸۷	۰/۲۹	۰/۰۷
فلوراید	۰/۳۳	۰/۶۱	۰/۳۹
نیترات	-۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۹۷
اسیدیته	۰/۰۴	-۰/۸۵	-۰/۲۸
هدایت الکتریکی	۰/۹۴	۰/۳۳	-۰/۰۴
کل مواد جامد	۰/۹۴	۰/۳۳	-۰/۰۴
درصد واریانس	۵۳/۳	۲۴/۳۲	۹/۳۰
واریانس تجمعی	۵۳/۳	۷۷/۶۲	۸۶/۹۳

تجزیه و تحلیل فاکتوری

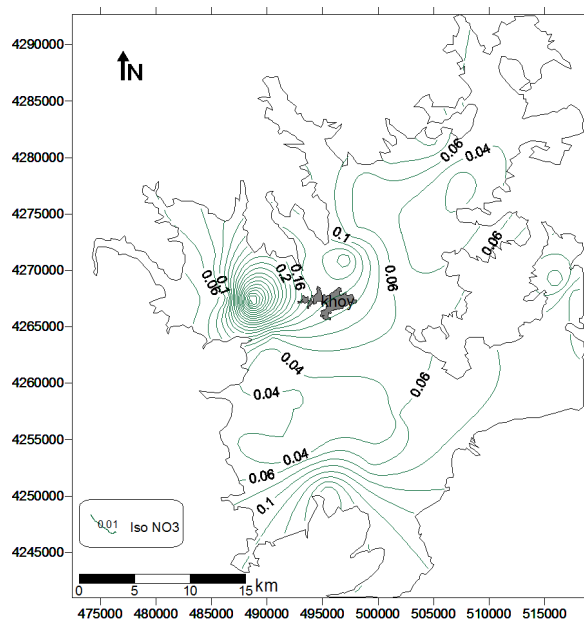
اولین مرحله در این روش استاندارد کردن مشخصه‌هاست که برای تمام آنها صورت گرفت. این کار به منظور غلبه بر مشکل متفاوت بودن واحدهای متغیرهاست. مرحله بعدی، به دست آوردن عوامل از مشخصه‌های مورد استفاده است. این عوامل ترکیب خطی ساده از مشخصه‌ها هستند بدین منظور ابتدا مقادیر ویژه، واریانس، درصد واریانس و واریانس تجمعی برای بررسی دقیق متغیرها و انتخاب مناسب عوامل مؤثر بر سیستم محاسبه می‌شوند. در این مطالعه سه عامل اول ۸۷ درصد از تغییرات کل را شامل می‌شود. افزون بر این عموماً در این روش مقادیر ویژه بالاتر از ۱ را به عنوان عوامل مؤثر بر سیستم در نظر می‌گیرند (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۸۷). بنابراین سه عامل اول به عنوان عوامل اصلی مؤثر بر سیستم انتخاب می‌شود.

از میان عوامل حاصله اولین فاکتور بیشترین واریانس را شامل می‌شود و به ترتیب عوامل بعدی مقادیر کمتری از واریانس را نشان می‌دهند. ضرایب بالای (۱ تا -۱) مشخصه‌های به دست آمده که تشکیل دهنده هر یک از عوامل هستند نشان‌دهنده تأثیر بالای آن متغیر (مثبت یا منفی) است. ماتریس عامل‌ها در جدول شماره (۲) ارائه شده است.

همچنین می‌توان از چرخش عامل‌ها برای تفسیر ساده‌تر عوامل مؤثر ماتریس عامل‌های حاصل استفاده کرد، که به این وسیله ماتریس عامل‌ها به یک ساختار ساده اورتوگنال تبدیل می‌شوند. از میان چرخش‌های مختلف چرخش واریماکس انتخاب شد. از میان ضرایب هر عامل، ضرائب بالای ۰/۶ که به صورت برجسته در جدول شماره (۳) نشان داده شده‌اند، نشانگر مشخصه‌های مؤثر در آن عامل هستند.

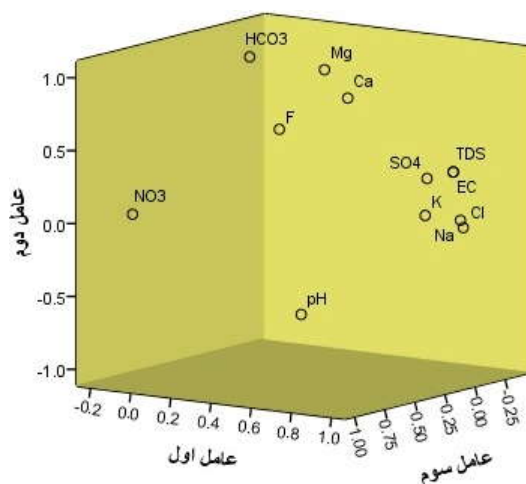
از بین عوامل، عامل اول ۵۳/۳ درصد واریانس کل داده‌ها را شامل می‌شود که مؤثرترین عامل بر تغییر کیفیت آب است. عامل دوم ۲۴/۳ درصد و عامل سوم ۹/۳ درصد از واریانس کل داده‌ها را شامل می‌شود. شکل شماره (۸) مشخصه‌های مؤثر در هر عامل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل شماره (۸) نشان داده شده است، مشخصه‌های مؤثر در فاکتور اول شامل یون‌های سدیم، پتاسیم، کلر، سولفات و نیز هدایت الکتریکی و مواد جامد محلول است. مشخصه‌های مؤثر در عامل دوم عبارتند از کلسیم، منیزیم، بیکربنات، فلوراید و اسیدیته که تأثیر آن منفی است. عامل سوم نیز شامل یون نیترات است.

با توجه به مشخصه‌های موجود در هر عامل و منشاء آنها، عامل اول و دوم را که مبین تأثیر سازندهای زمین‌شناسی منطقه بر هیدروشیمی دشت است، زمین زاد می‌نامیم و عامل سوم که حاصل تأثیر فعالیت‌های انسانی، یا فعالیت‌های کشاورزی است، انسان زاد نامیده می‌شود.



شکل شماره (۹): نقشه تغییرات نیترات در دشت مورد مطالعه

شکل شماره (۸): نمودار ضرایب چرخش عامل‌ها



شکل شماره (۸): نمودار ضرایب چرخش عامل‌ها

مشخصه‌های موجود در شاخص اول نشان‌دهنده تأثیر سازندهای تبخیری و نمکی در آب زیرزمینی، انحلال کانی‌های موجود در آبن سازندها (روند کلی آب زیرزمینی) و افزایش تبخیر سطحی هستند (غیومیان و همکاران، ۱۳۸۴).

با توجه به نقشه زمین‌شناسی (شکل شماره ۲) در بخش‌های مرکزی و شرقی دشت برونزد سازندهای میوسن (M^c , M^m , M^{sh2}) و پلیوسن (PLQ^c) قابل مشاهده است. عامل اول را با توجه به

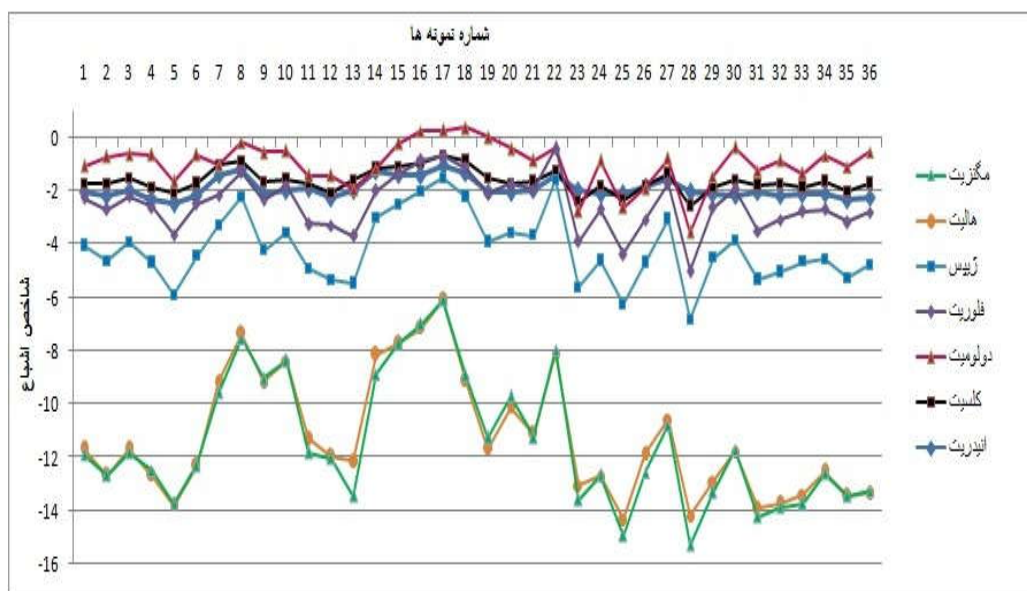
مدل هیدروژئوشیمیایی

اندیس اشباع

محاسبات تعادلی کانی‌ها برای آب زیرزمینی، در پیش‌بینی حضور کانی‌های واکنشی و برآورد میزان واکنش این کانی‌ها دارای اهمیت هستند (Deutsch, 1997). چنانچه شاخص اشباع برای یک کانی بیشتر از صفر باشد، این کانی در آب فوق اشباع بوده و ممکن است در آب رسوب کند ولی اگر شاخص اشباع کمتر از صفر باشد، آب نسبت به این کانی تحت اشباع بوده و می‌تواند بیشتر از آن نیز انحلال یابد (Rajmohan and Elango, 2004). از این‌رو شاخص اشباع کانی‌ها از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$SI = \log(IAP/K_s) \quad (1)$$

در این رابطه IAP، محصول پویایی یونی و K_s ، ثابت انحلال‌پذیری کانی مورد نظر است. میزان شاخص اشباع کانی‌ها بسته به نوع مواد محلول، اسیدیته، دما و کل مواد جامد محلول متغیر است. در این مطالعه برای تعیین تعادل شیمیایی بین کانی‌های اصلی موجود در سازندهای زمین‌شناسی و آب‌زیرزمینی، از جمله انیدریت، کلسیت، دولومیت، ژیبس، هالیت، مگنیزیت و فلوریت، به محاسبه شاخص اشباع این کانی‌ها برای نمونه‌های آب زیرزمینی، پرداخته شده است. شکل شماره (۱۰) مقادیر شاخص اشباع را برای کانی‌های ذکر شده نشان می‌دهد.



شکل شماره (۱۰): مقادیر شاخص اشباع کانی‌های اصلی برای نمونه‌های آبی

عامل به دلیل حضور منیزیم و کلسیم در محیطی با شرایط pH پایین است. در بخش مرکزی و شرقی دشت (منطقه ولدیان) مقادیر شاخص اشباع کانی‌ها نسبت به بقیه نمونه‌های برداشته شده، بیشتر است. دلیل افزایش شاخص اشباع را می‌توان به سازندهای میوسن و پلیوسن حاوی ماسه، مارن، آهک و قطعات آتشفشانی و آندزیتی ائوسن و همچنین اندازه رسوبات موجود در این بخش‌ها ربط داد.

نتیجه‌گیری

بر اساس تجزیه و تحلیل شیمیایی ۳۶ نمونه آبی از منابع آب زیرزمینی دشت خوی در مهرماه ۱۳۸۹، مشاهده شد که درپاره‌ای از این منابع، بخصوص در بخش‌های مرکزی و شرقی دشت املاحی از جمله سدیم، کلر، سولفات و بیکربنات بیشتر از حد استاندارد تعیین شده هستند و می‌توان این آب‌ها را جزء آب‌های شور دسته بندی نمود.

تقریباً روند تغییرات شاخص اشباع کانی‌ها مشابه همدیگر می‌باشد، و این کانی‌ها غیر از دولومیت در تمام نمونه‌ها تحت اشباع هستند که به صورت محلول در آب زیرزمینی باقی مانده و می‌توانند بیشتر از این نیز در آب انحلال یابند.

مقادیر شاخص اشباع کانی‌ها از غرب به شرق به دلیل تکامل هیدروشیمیایی آب زیرزمینی و قرارگیری سنگ‌های حاوی این کانی‌ها در مسیر آب، روند افزایشی نشان می‌دهد. کمترین مقادیر شاخص اشباع، مربوط به نمونه‌های غربی دشت بوده که در آبرفت‌های عهد حاضر قرار گرفته‌اند و نیز آب‌زیرزمینی این بخش، به دلیل تغذیه از ارتفاعات و رودخانه‌های قطور و الوند، نسبت به کاتیون‌ها و آنیون‌ها رقیق است. شاخص اشباع برای کانی دولومیت بیشتر از بقیه کانی‌هاست، و نزدیک به اشباع و اشباع است. این

هیدروشیمی آب زیرزمینی دشت، زمین‌شناسی و روند کلی آب زیرزمینی تشخیص داده شده، با محاسبه شاخص‌های اشباع کانی‌های اصلی و تأثیرگذار، میزان انحلال کانی‌های موجود در سازندهای زمین‌شناسی دشت مشخص شد. با توجه به بیشتر بودن شاخص اشباع کانی‌های دولومیت، کلسیت، انیدرت، فلوریت و ژپس، نسبت به دیگر کانی‌ها، تأثیر سازندهای میوسن و پلیوسن با محتوای کنگلومرای قرمز، ماسه، آهک، مارن و قطعات آتشفشانی و آندزیتی اتوسن بین آنها، بر آب زیرزمینی مشخص می‌شود.

یادداشت‌ها

1-Saturation Index

2- Chebotarev sequence

با استفاده از روشهای آماری چند متغیره، سه عامل اصلی مؤثر بر هیدروشیمی آب زیرزمینی دشت خوی مشخص شد. از بین سه عامل تعیین شده، اولین و مؤثرترین عامل نشان‌دهنده تأثیر سازندهای زمین‌شناسی و انحلال کانی‌های موجود در این سازندها در هیدروشیمی منطقه است. این عامل به علت تأثیر هدایت الکتریکی در آن، مؤثرترین عامل در شوری آب نیز محسوب می‌شود.

عامل دوم نیز با توجه به یون‌های موجود در آن، متأثر از تعامل آب-سنگ در محیط بوده که هوازگی کانی‌های کلسیم و منیزیم‌دار اصلی تری دلیل برای افزایش مشخصه‌های این عامل است. سومین عامل مؤثر که نسبت به دو عامل گفته شده تأثیر کمتری بر هیدروشیمی آب دارد، فعالیت‌های انسانی که در رأس آنها استفاده از کودهای شیمیایی و فضولات حیوانی در کشاورزی است، بر آن تأثیرگذار هستند. با توجه به این‌که عوامل اصلی مؤثر در

منابع مورد استفاده

اصغری مقدم، ا.، قندی، ا. ۱۳۸۴. بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت تسوج، نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.

اصغری مقدم، ا.، ندیری، ع.، فیجانی، ا. ۱۳۸۷. بررسی عوامل مؤثر بر هیدروژئوشیمی دشت‌های بازرگان و پلدشت با استفاده از روشهای آماری چند متغیره، دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اهواز.

خزاعی، ا. ۱۳۸۰. تأثیر گسترش شهری بر کیفیت آب زیرزمینی زاهدان، مجله آب و فاضلاب، ۳۱: ۳۷ تا ۳۹.

غیومیان، ج. و همکاران. ۱۳۸۴. کاربرد تجزیه و تحلیل‌های چند متغیره در تحلیل هیدروژئوشیمی دشت سرچاهان، هرمزگان، نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.

مهدوی نیا، م و نیک روش، ش. ۱۳۸۱. بررسی میزان آلودگی شبکه توزیع آب شهر دامغان به نیترات، مجله آب و فاضلاب، ۴۳: ۶۰ تا ۶۱.

نوشادی، م.، آذربیکان، ع و نوحه‌گر، ا. ۱۳۸۸. بررسی کیفیت آب شرب بندرعباس با استفاده از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی، مجله پژوهش آب ایران، سال سوم، شماره پنجم، صفحه ۷۹ تا ۸۲.

Beatriz, A.H., et al. 1999. A case study of hydro chemical characteristics of an alluvium aquifer influenced by human activities. Air, water and Soil pollution Bulletin 112, 365-487.

Deutsch, W.J. 1997. Groundwater geochemistry: fundamentals and application to contamination. CRC, Boca Raton. Florida.

Evans, C.D., et al. 1996. Use of factor analysis to investigate processes controlling the chemical composition of four streams in the Adirondack Mountains. New York. Journal of Hydrology. 185: 297-316.

Fetter, C.W., J.R., Associates. 1999. Contaminant hydrogeology, second edition, Prentice Hall, Inc.

Freeze, R.A., J.A., Cherry. 1979. Ground Water, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 691P.

- Hem, J. 1989. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, U. S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254. p 263.
- Hounslow, A.W. 1995. Water quality data analysis and interpretation, Lewis publishers, CKC press, LLC:378 pp.
- Jeong, J., J.C., Gore, B.S., Peterson .2001. Mutual information analysis of the EEG in patients with Alzheimer's disease. Clin Neurophysiol. 112 pp. 827-835
- Lan Wang, L., et al .2010. Analysis and evaluation of the source of heavy metals in water of the River Changjiang. Environ Monit Assess. DOI 10.1007/s10661-010-1388-5
- Liu, C.W., K.H., Lin, Y.M., Kuo .2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan, The Science of Total Environment, V.313, pp.77-89.
- Rajmohan, N., L., Elango .2004. Identification and evolution of hydrogeochemical processes in the groundwater environment in an area of the PLe and Cheryyar River Basins, Southern India. Environment Geology. 46, p47-61.
- Reghunath, R., T.R.S., Murthy, B.R., Raghvan. 2002. The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India, Water Research, Vol. 36, pp. 2437- 2442.
- Usunoff, E.J., A., Guzman .1989. Multivariate analysis in hydrochemistry: an example of the use of factor and correspondence analyses. Groundwater. 27(1): 27-34.
- Usunoff, E.J., A., Guzman .1989. Multivariate analysis in hydrochemistry: An example of the use factor and correspondence analysis. Groundwater, 27, 27-34.