

ارزیابی عوامل مؤثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت جیرفت با استفاده از روش‌های آماری و هیدروشیمیایی

محمد فاریابی^{۱*}، نصراله کلاتری^۲ و احمد نکارستانی^۱

^۱ شرکت سهامی آب منطقه‌ای، کرمان، ایران.

^۲ گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۵/۲۱

چکیده

دشت جیرفت در فاصله ۲۳۰ کیلومتری جنوب شهرستان کرمان و در جنوب خاوری ایران قرار گرفته است و شامل دو آبخوان است: یک آبخوان تحت فشار و یک آبخوان آزاد، اما آبخوان تحت فشار به سمت حواشی دشت محدود شده و به آبخوان آزاد تبدیل می‌شود. آب نفوذ یافته از مخروط افکنه‌های بخش شمالی نقش بسیار مهمی در تغذیه آبخوان دارد، اما نقش رودخانه هلیل رود نیز قابل ملاحظه است. به دلیل این که آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع جهت مصارف کشاورزی، شرب و صنعت در این منطقه است، بنابراین ارزیابی کیفی آن اهمیت ویژه‌ای دارد. هدف از این تحقیق ارزیابی کیفی آب زیرزمینی در دشت جیرفت است و شامل بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف و تعیین عوامل مؤثر بر آن است. در این مطالعه برای ارزیابی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی از تلفیقی از روش‌های آماری مانند تجزیه خوشه‌ای و ضرایب همبستگی و روش‌های هیدروشیمیایی مانند نسبت‌های یونی و نمودارهای ترکیبی استفاده شده است. نمونه‌های آب زیرزمینی با استفاده از روش تجزیه خوشه‌ای گروه‌بندی شده و نمونه‌های مشابه شناسایی شدند. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، نمونه‌های آب زیرزمینی در چهار گروه قرار می‌گیرند (آبخوان از لحاظ کیفی به چهار زون تقسیم شده است) که هر گروه دارای ترکیب شیمیایی متفاوتی است. در این نوشتار، از نسبت‌های یونی مانند $(\text{Na}+\text{K}-\text{Cl})/(\text{Na}+\text{K}-\text{Cl}+\text{Ca}) \cdot \text{Mg}/(\text{Ca}+\text{Mg}) \cdot \text{Ca}/(\text{Ca}+\text{SO}_4) \cdot \text{Na}/(\text{Na}+\text{Cl}) \cdot \text{HCO}_3/(\text{sum anions})$ و $\text{Cl}/(\text{sum anions})$ برای تعیین عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی استفاده شده است. بر اساس نتایج حاصل، فرایندهایی مانند انحلال ژئیس، هالیت، سولفات‌های سدیم‌دار، هوازدگی پلاژیوکلازهای غنی از سدیم و تبادل یونی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

کلیدواژه‌ها: آب زیرزمینی، کیفیت شیمیایی، تجزیه خوشه‌ای، نسبت‌های یونی، دشت جیرفت.

E-mail: faryabi753@yahoo.com

*نویسنده مسئول: محمد فاریابی

۱- مقدمه

درونی و انزوای بیرونی تعریف کرد به این مفهوم که نمونه‌های موجود در یک گروه خیلی شبیه به یکدیگر هستند و در مقابل، نمونه‌های خوشه‌های متفاوت به طور کامل از هم مجزا هستند. یکی از راه‌های تعیین میزان ارتباط و همبستگی بین دو متغیر، استفاده از ضریب همبستگی (R^2) است. به طوری که مقادیر $R^2 = 0$ بیانگر عدم ارتباط، $R^2 > 0$ نشان‌دهنده ارتباط مستقیم و $R^2 < 0$ نشان‌دهنده ارتباط معکوس پارامترهای مورد نظر است. هر چه میزان این ضریب به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده میزان همبستگی و ارتباط بیشتر متغیرها است (فاریابی و همکاران، ۱۳۸۵).

۱-۲. نسبت‌های یونی و نمودارهای ترکیبی

نسبت‌های یونی، معرف‌های مناسبی برای بررسی شیمی منابع آب زیرزمینی هستند و استفاده از آنها روش مناسبی برای تعیین منشأ املاح است. در پیدایش ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، این نسبت‌ها متأثر از ترکیب شیمیایی کانی‌های محلول در آب بوده و مقدار کانی انحلال یافته در درجه بعدی اهمیت قرار دارد (Howard et al., 1996). نسبت‌های یونی توسط پژوهشگران مختلفی برای بررسی هیدروشیمی آب زیرزمینی به کار گرفته شده است. Richter and Kreitler (1986) نشان دادند که نسبت‌های Br/Cl و Na/Cl برای تفکیک شوری طبیعی ناشی از انحلال طبیعی هالیت، از آب‌های شور ژرف مفید هستند. Gogel (1981) در یک بررسی به این نتیجه رسید که در شوری حاصل از انحلال هالیت، نسبت Na/Cl بین ۰/۶۵ تا ۰/۶۷ متغیر است و بر اساس مطالعات Wood & Jones (1990) نسبت‌های Cl/SO_4 و $\text{Br} \cdot \text{Na}/\text{K}$ در آب‌های متأثر از تبخیر کمتر از آب‌های شور ژرف هستند. یکی از روش‌های تفسیر فرایندهای مؤثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی، تعیین رابطه بین پارامترهای حاصل از تجزیه نمونه‌های آب از طریق رسم (پلات کردن) آنها

بیشتر روش‌های به کار رفته در مطالعات کیفی آب زیرزمینی به صورت روش‌های گرافیکی هستند که نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های آب را توسط نمودارهای مختلفی مانند نمودارهای پایپر، استیف، شولر و ... ارائه می‌کنند. یکی از محدودیت‌های این روش‌های گرافیکی (نمودارها) تعداد نمونه و متغیر است. از طرفی هیچ یک از روش‌های گرافیکی قدرت تمایز بین گروه‌ها و آزمایش میزان شباهت در بین آنها را ندارند (کلاتری و همکاران، ۱۳۸۵). در حالی که در روش‌های آماری محدودیتی از این لحاظ وجود ندارد و کاربرد این روش‌ها در مطالعات آب‌های زیرزمینی روز به روز گسترده‌تر می‌شود. محدودیتی که اغلب روش‌های آماری نسبت به روش‌های گرافیکی دارند، این است که اطلاعاتی راجع به ترکیب شیمیایی نمونه‌ها ارائه نمی‌کنند و نتایج آنها (روش‌های آماری) را نمی‌توان به سرعت در تفسیر روند و فرایندهای مربوط به مسائل هیدروشیمیایی به کار برد. اما ترکیب روش‌های آماری و گرافیکی باعث می‌شود که مزایای هر روش باقی بماند و محدودیت‌های هر روش کمتر شود (Guler et al., 2002).

۱-۱. تجزیه خوشه‌ای و ضرایب همبستگی

روش‌های آماری چند متغیره مانند تجزیه خوشه‌ای می‌تواند ابزار قدرتمندی برای تحلیل داده‌های هیدروشیمیایی باشند. این روش‌ها می‌توانند برای بررسی داده‌های کیفیت آب مورد استفاده قرار گیرند و تعیین کنند که آیا می‌توان نمونه‌ها را به گروه‌های متمایزی که از لحاظ زمین‌شناسی و آماری معنی‌دار باشند، تقسیم‌بندی کرد (Guler et al., 2002). محققان زیادی از جمله Williams (1982), Derher (2003), Farnham et al. (2000), Guler et al. (2002) از تجزیه خوشه برای رده‌بندی داده‌های هیدروشیمی استفاده کرده‌اند. خوشه (گروه) را می‌توان با مفهوم بیوستگی

تخلیه از آبخوان توسط ۷۸۲ حلقه چاه ژرف، ۱۵۲۳ حلقه چاه نیمه ژرف، ۱۶۰ رشته قنات و ۱۹۹ دهنه چشمه صورت می‌گیرد (اداره آبیاری شهرستان جیرفت، ۱۳۷۹).

۳- مواد و روش‌ها

برای بررسی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت جیرفت ۴۰ نمونه آب از چاه‌های منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری شد که موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۲ ارائه شده است. سپس نمونه‌ها برای اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی به آزمایشگاه منتقل شدند. در این نوشتار، از روش‌های آماری مانند تجزیه خوشه‌ای و ضرایب همبستگی و روش‌های هیدروشیمیایی مانند نسبت‌های یونی، نمودارهای ترکیبی و شاخص‌های اشباع برای تحلیل کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی استفاده شده است.

۴- بحث

برای سنجش میزان تشابه نمونه‌ها و در واقع گروه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی از روش تجزیه خوشه‌ای و روش فاصله اقلیدسی آنها (فاصله خط مستقیم بین دو نقطه با C- بعد در فضا که با C- متغیر تعریف می‌شود) استفاده شده است. فرضیات روش تجزیه خوشه‌ای شامل واریانس همسانی و توزیع نرمال متغیرهاست، به همین منظور قبل از انجام تجزیه، داده‌ها را استاندارد می‌کنند ولی چون در برخی موارد باعث تفسیرهای نادرست می‌شود (Alther, 1979)، در این جا از این عمل خودداری شده است. تجزیه خوشه‌ای اغلب به روش‌های زیر صورت می‌گیرد (فارابی، ۱۳۸۵):

Q-mode hierarchical cluster analysis (HCA)

K-means clustering (KMC)

Fuzzy k-means clustering (FKM)

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 به صورت خودکار صورت می‌گیرد، در صورتی که در روش‌های KCM و FKM تعداد خوشه‌ها باید از قبل مشخص شود. از مزایای دیگر روش HCA این است که در این روش یک نمونه به تنهایی می‌تواند تشکیل یک خوشه را بدهد.

نمونه‌های آب زیرزمینی با استفاده از متد HCA و روش اتصال وارد (Guler et al., 2002) گروه‌بندی شدند. پارامترهای مورد استفاده برای تقسیم‌بندی گروه‌ها، یون‌های اصلی و مجموع املاح است (کلیه پارامترها بر حسب میلی‌گرم در لیتر هستند). در شکل ۳ دندروگرام نمونه‌های آب زیرزمینی ارائه شده است، با توجه به شکل دندروگرام، تراکم گروه‌ها و ترکیب شیمیایی، نمونه‌های آب زیرزمینی به چهار گروه تقسیم شده‌اند. در واقع با توجه به نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای، آبخوان از لحاظ کیفی به چهار منطقه یا زون تقسیم‌بندی شده است. البته لازم به یادآوری است که تعیین تعداد گروه‌ها به صورت قراردادی است و با توجه به مقیاس مطالعات می‌توان با جابه‌جا کردن خط تقسیم تعداد خوشه‌ها (گروه‌ها) را کم و یا زیاد کرد. در جدول ۱ میانگین هر یک از متغیرها در هر گروه (زون) مشخص شده است. با توجه به این جدول، غلظت یون‌های محلول در آب زیرزمینی از گروه اول به سمت گروه چهارم افزایش می‌یابد. شکل ۴ محدوده تقریبی گروه‌های مختلف آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه در این شکل، روند تکامل آنیونی است که به خوبی در دشت جیرفت دیده می‌شود. در گروه اول و دوم نوع آب به صورت بی‌کربناتی - سدیک است. در گروه سوم نوع سولفاتی - سدیک دیده می‌شود و سرانجام در گروه چهارم نوع آب به صورت کلرور - سدیک است

بر روی نمودارهای دومتغیره‌ای است که به نمودارهای ترکیبی معروفند. با توجه به نحوه آرایش نمونه‌ها در این نمودارها می‌توان فرایندهای مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی را تعیین کرد، برای مثال آرایش مثالی نمونه‌ها در این نمودارها نشان‌دهنده آمیختگی آب‌هایی با منشأهای متفاوت است (Mazore, 2004).

Timms et al.(2000); Horward & Mullings (1996); Stober & Bucher (1999); Stossel (1997); Marie & Vengosh(2001) شناخت فرایندهای ژئوشیمیایی مؤثر بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف دنیا استفاده نموده‌اند.

۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دشت جیرفت بخشی از حوضه باختری جازموریان است که بین طول‌های جغرافیایی ۳۰° ۵۷' و ۵۸° ۵۸' عرض‌های جغرافیایی ۱۵° ۲۸' و ۴۵° ۲۹' شمالی، در جنوب خاوری ایران قرار گرفته است. وسعت دشت جیرفت ۱۴۰۵ کیلومتر مربع است و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۵۰۰-۴۰۰ متر متغیر است. شیب کلی این حوضه از سمت شمال به سمت جنوب و میانگین بارندگی سالانه آن ۱۷۰ میلی‌متر است. در دشت جیرفت چندین رودخانه دائمی و فصلی جریان دارند که مهم‌ترین آنها رودخانه هلیل رود است.

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه رسوبی ساختاری ایران مرکزی است. تأثیر نیروهای زمین‌ساختی به صورت نیروهای کششی و فشارشی، شکستگی‌ها و گسل‌های فراوانی را در این منطقه ایجاد کرده است که از مهم‌ترین آنها به گسل‌های سبزه‌واران، جیرفت، دوساری، کهنوج و دلفارد می‌توان اشاره کرد. این گسل‌ها سبب شده‌اند که حوضه آبریز دشت جیرفت به صورت یک دره فروافتاده در آید. رسوبات آبرفتی این دره پس از فرسایش کوه‌های اطراف، توسط رودخانه‌های هلیل رود و شور از طریق مسیل‌هایی به داخل دشت هدایت و رسوبگذاری شده‌اند.

حاشیه شمال و خاور دشت جیرفت توسط سنگ‌های آذرین (گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت)، رسوبات آبرفتی و مخروط‌افکنه‌های کواترنری مشخص می‌شود. در حاشیه باختری، مخروط‌افکنه‌های جوان دوره کواترنری و سنگ‌هایی از قبیل ماسه‌سنگ و کنگلومرای نئوژن دیده می‌شود. حاشیه جنوبی دشت نیز توسط رسوبات ماسه‌ای و کنگلومرای سست نئوژن مشخص می‌شود (شکل ۱). قدیمی‌ترین واحدهای سنگ‌شناسی منطقه را شیست‌های سرسیتی همراه با تناوبی از فیلیت و آمفیولیت به سن احتمالی پرمین تشکیل می‌دهند.

دشت جیرفت از رسوبات کواترنری تشکیل شده است و شامل دو آبخوان آزاد و تحت فشار است، البته سفره تحت فشار به سمت حواشی دشت محدود شده و به سفره آزاد تبدیل می‌شود. ستبرای متوسط لایه آبدار در بخش‌های خاوری بین ۵۰ تا ۱۰۰ متر متغیر است، در حالی که بخش باختری دشت در حد فاصل بین ارتفاعات حاشیه دشت و گسل سبزه‌واران از نظر آب زیرزمینی چندان حائز اهمیت نیست (ستبرای لایه آبدار در این بخش به طور تقریبی ۳۰ متر است). هر چه از قسمت شمالی به طرف مرکز دشت نزدیک می‌شویم، آبرفت‌ها ریزدانه‌تر شده و از قطعات سنگی بزرگ، قلوه‌سنگ و شن به ماسه، رس و سیلت تبدیل می‌شوند.

جهت کلی جریان آب زیرزمینی از شمال باختری به سمت جنوب خاوری دشت است و متوسط ژرفای برخورد به آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه ۲۱ متر است. مخروط‌افکنه‌های جوان در حاشیه خاوری دشت که از قطعات سنگی با جورشدگی ضعیف به وجود آمده‌اند، یکی از منابع مهم تغذیه‌کننده آبخوان هستند. به طور کلی منابع تغذیه‌کننده دشت شامل نزولات جوی، نفوذ از بستر رودخانه هلیل رود، مسیل‌ها، کانال‌های آبیاری، زهکشی و آب برگشتی کشاورزی است.

است. در این نمودار نمونه‌هایی که نزدیک به مقدار صفر و روی محور X قرار می‌گیرند، تحت تأثیر تبادل یونی واقع نشده‌اند. افزون بر این، اگر انحلال کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژپس به طور سازگار روی دهد و تبادل یونی صورت نگیرد، در آن صورت مقدار $\text{Ca} + \text{Mg} - \text{HCO}_3 - \text{SO}_4$ نیز نزدیک به صفر خواهد شد و آب‌هایی که تبادل یونی را متحمل شده‌اند، در طول خط با شیب ۱- قرار می‌گیرند (Marie et al., 2001). بیشتر نمونه‌های آب زیرزمینی در شکل ۶- الف در محدوده کمتر از (۰ و ۰) واقع شده‌اند که این حالت بیانگر وقوع فرایند تبادل یونی است. در شکل ۶- ب نمودار دو متغیره Na/Cl در برابر EC برای نمونه‌های آب زیرزمینی ارائه شده است. نمونه‌هایی که در بالای خط $\text{Na/Cl} = 1$ واقع شده‌اند، منشأ دوگانه دارند. با توجه به این شکل، در بیشتر نمونه‌های آب زیرزمینی رخداد فرایند تبادل یونی دیده می‌شود. در شکل ۶- ج نمودار دو متغیره $\text{Ca} + \text{Mg}$ در برابر $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4$ نمایش داده شده است. خط ۱:۱ نشان‌دهنده فرایند انحلال کلسیت، دولومیت و ژپس است. بیشتر نمونه‌های آب زیرزمینی در اطراف این خط و در محدوده تبادل یونی قرار گرفته‌اند که این امر نشانگر انحلال کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژپس در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه است. با توجه به جدول ۵ آب زیرزمینی نسبت به این کانی‌ها حالت تحت‌اشباع دارد که این امر نیز گویای انحلال کانی‌های یاد شده در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه است.

ه) دیگر فرایندها

بر اساس نسبت یونی $(\text{Ca} + \text{Mg}) / \text{SO}_4$ در گروه چهارم فرایند ددولومیتیزاسیون رخ داده است. در صورت حاکم بودن این فرایند، باید کلسیت حالت اشباع، فوق اشباع و کانی‌های ژپس و دولومیت به حالت تحت اشباع باشد (غیومیان و همکاران، ۱۳۸۴). بررسی شاخص اشباع کانی‌های بالا در آب زیرزمینی دشت جیرفت (جدول ۵) نشان می‌دهد که وضعیت متفاوتی در منطقه مورد مطالعه حاکم است. بر اساس این جدول، آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نسبت به کانی‌های یاد شده حالت تحت اشباع دارد، در نتیجه وقوع فرایند ددولومیتیزاسیون دور از ذهن به نظر می‌رسد.

بر اساس نسبت یونی $\text{Cl} / \text{Sum Anions}$ همه نمونه‌های آب زیرزمینی تحت تأثیر هوازگی سنگ‌ها قرار گرفته‌اند، به عبارت دیگر واکنش متقابل بین آب زیرزمینی و مواد تشکیل‌دهنده آبخوان بیشترین تأثیر را بر کیفیت آب زیرزمینی گذاشته است. برای بررسی این موضوع از نمودارهای گیبس استفاده شده است (شکل ۷)، که این نمودارها نیز این موضوع را تأیید می‌کنند.

۵- نتیجه‌گیری

استفاده از روش‌های آماری روش مناسبی برای تحلیل نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های آب زیرزمینی است، اما نباید جایگزین روش‌های اصلی تحلیل کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی شود، بلکه باید به عنوان یک ابزار کمکی به کار گرفته شود. تلفیق روش‌های آماری و هیدروشیمیایی، باعث حفظ مزایا و کاهش محدودیت‌های آنها می‌شود.

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای، آبخوان از لحاظ کیفی به چهار گروه، منطقه یا زون تقسیم‌بندی شده است. غلظت یون‌های محلول در آب زیرزمینی از گروه اول به سمت گروه چهارم افزایش می‌یابد. در گروه اول و دوم نوع آب به صورت بی‌کربناتی-سدیک است. در گروه سوم نوع سولفات-سدیک دیده می‌شود و سرانجام در گروه چهارم نوع آب به صورت کلروره-سدیک است که نشان‌دهنده سری تکامل آنیونی چبوتار و از سمت شمال به سمت جنوب منطقه مورد مطالعه و در جهت جریان آب زیرزمینی است.

با توجه به روش‌های هیدروشیمیایی مورد استفاده در این نوشتار، مهم‌ترین

که نشان‌دهنده سری تکامل آنیونی چبوتار و از سمت شمال به سمت جنوب در جهت جریان آب زیرزمینی است.

برای بررسی منشأ مواد محلول در آب زیرزمینی و واکنش‌های موجود در آبخوان، از نسبت‌های یونی استفاده شده و این نسبت‌ها بر اساس منابعی مانند Hounslow (1995) تفسیر شده‌اند. نسبت‌های یونی مختلفی برای نمونه‌های آب زیرزمینی محاسبه شده است (جدول ۲) و در جدول ۳ نتایج اولیه حاصل از تحلیل این نسبت‌های یونی ارائه شده است. بر اساس این جداول، عوامل مؤثر بر وضعیت کیفی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه عبارتند از:

الف) انحلال کانی‌های سولفات

با توجه به نسبت یونی $\text{HCO}_3 / \text{Sum Anions}$ ، فرایند انحلال ژپس یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی در گروه‌های دوم، سوم و چهارم است. از طرفی میزان همبستگی زیاد ($R^2 = 0.71$) بین یون‌های کلسیم و سولفات (جدول ۴) و رابطه خطی بین این یون‌ها و مجموع املاح در نمودارهای ترکیبی (شکل ۵) نیز این موضوع را تأیید می‌کند.

با توجه به ضریب همبستگی بالای بین یون‌های سدیم و سولفات ($R^2 = 0.89$) انحلال سولفات‌های سدیم‌دار نیز بر کیفیت آب زیرزمینی تأثیر گذاشته است. در شکل ۵ نمودار ترکیبی یون سدیم در برابر یون سولفات نشان داده شده است. رابطه خطی این یون‌ها نیز گویای این موضوع است. از جمله این کانی‌های احتمالی، با توجه به وضعیت منطقه مورد مطالعه، می‌توان به تاردیت (Na_2SO_4) و میرابیلیت ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) اشاره کرد.

ب) هوازگی پلاژیوکلازها

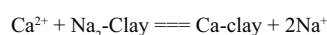
بر اساس نتایج حاصل از نسبت یونی $(\text{Na} + \text{K} - \text{Cl}) / (\text{Na} + \text{K} - \text{Cl} + \text{Ca})$ ، هوازگی پلاژیوکلازها در تمام گروه‌ها و در نتیجه در کل منطقه مورد مطالعه تأثیر زیادی گذاشته است و با توجه به نسبت یونی $\text{Na} / (\text{Na} + \text{Cl})$ این پلاژیوکلاز از نوع غنی از سدیم (احتمالاً آلبیت) است. وضعیت سنگ‌شناختی منطقه (حضور سنگ‌های آذرین و دگرگونی) نیز گویای این مطلب است.

ج) انحلال هالیت

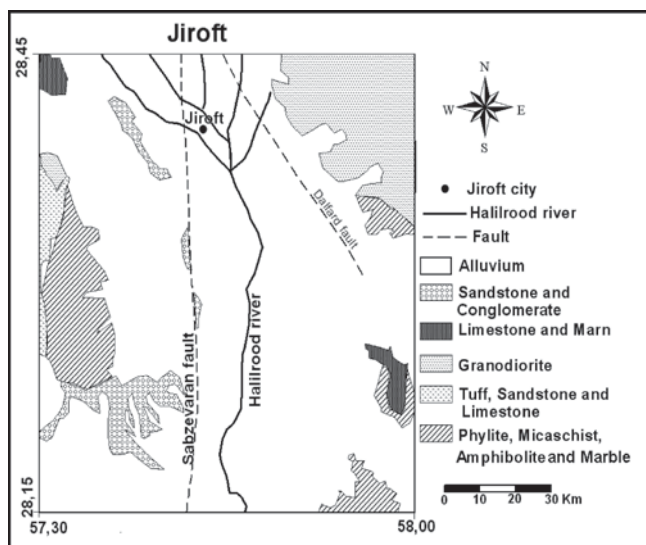
در جدول ۴ ماتریس ضرایب همبستگی پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. با توجه به این جدول، همبستگی بالای میان یون‌های کلر و سدیم ($R^2 = 0.96$) نشان‌دهنده انحلال هالیت در منطقه مورد مطالعه است. رابطه خطی بین این یون‌ها در نمودار ترکیبی کلر و سدیم و رابطه خطی بین این دو یون و مجموع املاح شکل ۵ نیز دلیل دیگری برای وقوع این فرایند است.

د) تبادل یونی

جدول ۳ نشان‌دهنده تأثیر مهم فرایند تبادل یونی بر وضعیت کیفی آب زیرزمینی است. این فرایند در جایی رخ می‌دهد که کانی‌های رسی غنی از سدیم مانند مونت‌موریلونیت بر اساس معادله زیر با کلسیم و منیزیم آب زیرزمینی واکنش داده و باعث ورود سدیم به آب زیرزمینی می‌شوند (Drever, 1985):



نیود برابری غلظت‌های کلر و سدیم نیز نشان‌دهنده وجود منشأهای متفاوت برای این دو یون است. نسبت یونی $\text{Na} / (\text{Na} + \text{Cl})$ نیز نشان‌دهنده منشأ دیگری افزون بر انحلال هالیت، برای یون سدیم است، که تبادل یونی را می‌توان به عنوان منشأ مهمی برای یون سدیم در نظر گرفت. برای نمایش فرایندهای تبادل یونی در آبخوان، سه نمودار ترکیبی با استفاده از توابع بین تشکیل‌دهنده‌های شیمیایی متأثر از فرایند تبادل یونی تهیه شده است (شکل ۶). رخداد فرایند تبادل یونی در شکل ۶- الف در نمودار Na - Cl در برابر $\text{Ca} + \text{Mg} - \text{HCO}_3 - \text{SO}_4$ نشان داده شده



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

عامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، واکنش بین آب و مواد سازنده آبخوان است. اصلی‌ترین فرایندهای حاکم بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی انحلال کانی‌های سولفاتی ژینس و انیدریت و کانی‌های هاستند. منشأ یون سدیم در آب زیرزمینی را افزون بر انحلال هالیت، به فرایندهای دیگری مانند تبادل یونی و هوازدگی پلاژیوکلازهای غنی از سدیم مانند آلپیت می‌توان نسبت داد. انحلال سولفات‌های سدیم‌دار نیز کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار داده است.

جدول ۱- میانگین ترکیب شیمیایی گروه‌های مختلف آب زیرزمینی دشت جیرفت (برحسب میلی‌گرم در لیتر)

نام گروه	Ca	Mg	Na	HCO ₃	SO ₄	Cl	TDS
گروه اول	۳۸/۳۸	۱۶/۶۲	۶۲/۰۷	۱۸۲/۱	۵۴/۶۸	۵۰/۴۵	۳۵۸/۸
گروه دوم	۵۷/۹۳	۲۲/۹۸	۹۹/۴۸	۱۸۵/۸	۱۳۸/۹	۸۴/۴۴	۵۵۶/۵
گروه سوم	۷۹/۹۷	۳۱/۰۴	۱۷۸/۹	۱۹۸	۲۸۶/۹	۱۸۵/۶	۹۴۹/۸
گروه چهارم	۱۶۲/۳	۲۵/۵۲	۶۱۸/۴	۱۳۴/۲	۷۲/۰۵	۷۱۶/۱	۱۹۱۷

جدول ۲- میانگین نسبت‌های یونی در گروه‌های چهارگانه نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

گروه	$\frac{Na+K-Cl}{Na+K-Cl+Ca}$	$\frac{Na}{Na+Cl}$	$\frac{Mg}{Ca+Mg}$	$\frac{Ca}{Ca+SO_4}$	$\frac{Ca+Mg}{SO_4}$	$\frac{Cl}{Sum_Anions}$	$\frac{HCO_3}{Sum_Anions}$
گروه اول	۰/۴ (cv=۰/۱۷)	۰/۶۵ (cv=۰/۰۵)	۰/۳۵ (cv=۰/۰۹)	۰/۶۳ (cv=۰/۰۸)	۲/۵۹ (cv=۱/۱)	۰/۲۶ (cv=۰/۰۳)	۰/۵۴ (cv=۰/۰۷)
گروه دوم	۰/۴۰ (cv=۰/۲۲)	۰/۶۴ (cv=۰/۰۷)	۰/۴ (cv=۰/۱۸)	۰/۵ (cv=۰/۱۱)	۱/۶۵ (cv=۰/۶۵)	۰/۲۹ (cv=۰/۰۵)	۰/۳۷ (cv=۰/۰۸)
گروه سوم	۰/۴۲ (cv=۰/۲۶)	۰/۶۱ (cv=۰/۰۶)	۰/۳۹ (cv=۰/۱۰)	۰/۴۰ (cv=۰/۰۸)	۱/۱ (cv=۰/۶۵)	۰/۳۶ (cv=۰/۰۶)	۰/۲۲ (cv=۰/۰۴)
گروه چهارم	۰/۶ (cv=۰/۲۱)	۰/۶۴ (cv=۰/۰۳)	۰/۲۱ (cv=۰/۱۰)	۰/۲۹ (cv=۰/۱۰)	۰/۵۰ (cv=۰/۲۷)	۰/۴۰ (cv=۰/۰۳)	۰/۵۹ (cv=۰/۰۱)

CV=ضریب تغییرات

جدول ۳- نتایج حاصل از تحلیل نسبت‌های یونی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت جیرفت

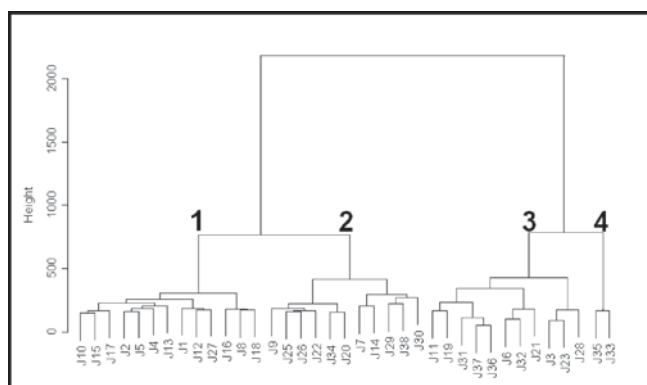
Ionic Ratio	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
$(Na+K-Cl)/(Na+K-Cl+Ca)$	>0.2 and <0.8 ► Plagioclase weathering possible			
$Na/(Na+Cl)$	>0.5 ► Sodium source other than Halite – Albite or Ion Exchange			
$Mg/(Ca+Mg)$	<0.5 ► Granitic weathering			
$Ca/(Ca+SO_4)$	>0.5 ► Calcium source other than Gypsum	= 0.5 ► Gypsum dissolution	<0.5 ► Calcium removal, Ion Exchange or Calcite precipitation	
$(Ca+Mg)/SO_4$	>0.8 ► Dedolomitization unlikely			>0.2 and <0.8 ► Dedolomitization
$Cl/Sum\ Anions$	<0.8 ► Rock weathering			
$HCO_3/Sum\ Anions$	<0.8 and sulphate low ► Evaporates or brine	<0.8 and sulphate high ► Gypsum dissolution		
TDS	<500 ► Silicate weathering	>500 ► Carbonate weathering or brine		

جدول ۴- ماتریس ضرایب همبستگی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

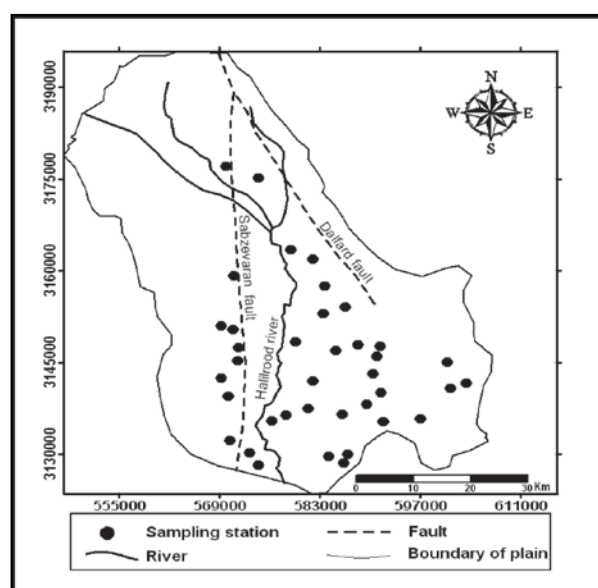
	TDS	pH	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na
TDS	۱							
pH	-۰/۲۲	۱						
HCO ₃	-۰/۱۴	-۰/۱۴	۱					
Cl	۰/۹۷	-۰/۱۶	-۰/۲	۱				
SO ₄	۰/۹۶	-۰/۲	-۰/۲۵	۰/۹	۱			
Ca	۰/۷۱	-۰/۶	-۰/۱۷	۰/۶۶	۰/۷۲	۱		
Mg	۰/۲۸	-۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۴	۱	
Na	۰/۹۵	۰/۰۰۲	-۰/۱۸	۰/۹۶	۰/۸۹	۰/۴۸	۰/۱۴	۱

جدول ۵- متوسط شاخص اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژپس گروه‌های مختلف آب زیرزمینی

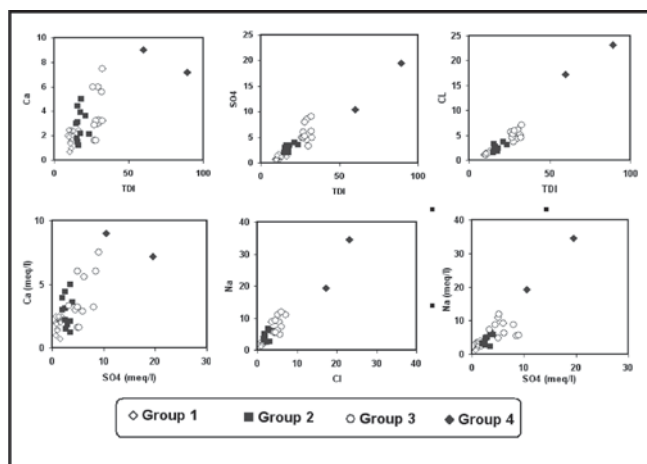
نام گروه	شاخص اشباع کلسیت	شاخص اشباع دولومیت	شاخص اشباع ژپس
گروه اول	-۰/۶۱	-۱/۲۳	-۲/۱
گروه دوم	-۰/۴۸	-۱/۰۱	-۱/۶
گروه سوم	-۰/۳۸	-۰/۸۱۲	-۱/۲۳
گروه چهارم	-۰/۴۱	-۱/۲۶	-۰/۷۸



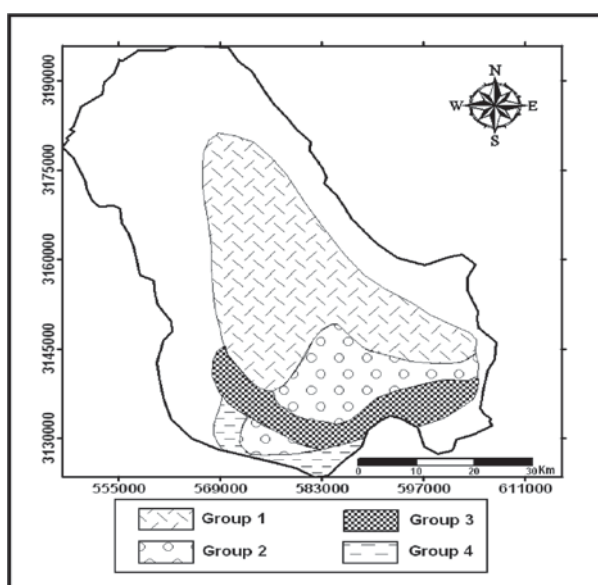
شکل ۳- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه.



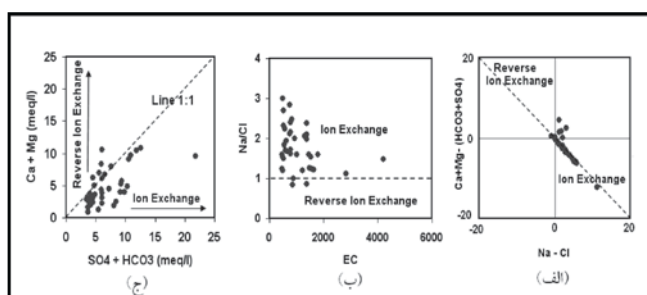
شکل ۲- ایستگاه‌های نمونه‌برداری از آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه.



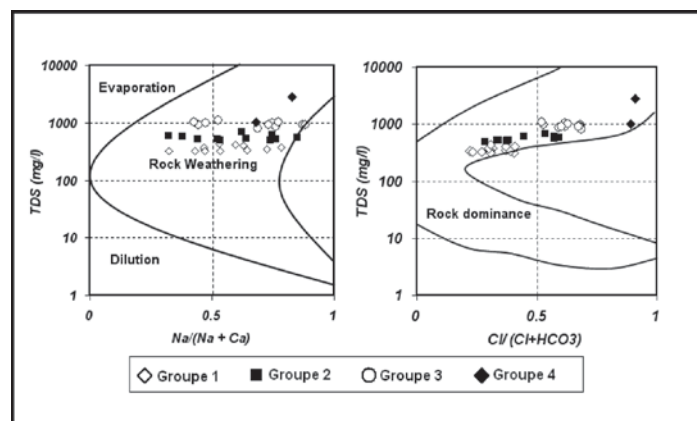
شکل ۵- نمودارهای ترکیبی نمونه‌های آب زیرزمینی (غلظت‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر).



شکل ۴- پراکنندگی گروه‌های مختلف آب زیرزمینی در دشت جیرفت.



شکل ۶- نمودارهای مرتبط با تبادل یونی در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۷- نمودارهای گیبس نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه.

کتابنگاری

- اداره آبیاری شهرستان جیرفت، ۱۳۷۹- گزارش ادامه مطالعات دشت جیرفت، ۱۵۷ صفحه.
- غیومیان، ج.، حسینی پور، ح. و قاسمی، ا.، ۱۳۸۴- به کارگیری نسبت‌های یونی به منظور بررسی منشأ املاح در منابع آب زیرزمینی دشت سرچاهان، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی ایران، صفحات ۹۸۳-۹۷۰.
- کلانتری، ن.، رحیمی، م.ح. و چرچی، ع.، ۱۳۸۵- استفاده از دیاگرام‌های ترکیبی، تحلیل عاملی و نمایه‌های اشباع در ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت‌های زویرچری و خران، مجله زمین شناسی مهندسی، شماره دوم، صفحات ۱۱۴-۹۵.
- فاریابی، م.، ۱۳۸۵- ارزیابی کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت باغملک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۲۱۹ صفحه.
- فاریابی، م.، کلانتری، ن.، چیت‌سازان، م. و رحیمی، م.ح.، ۱۳۸۵- کاربرد روش‌های آماری در تحلیل کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی، مطالعه موردی: دشت باغملک، چکیده مقالات بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، صفحه ۲۳.
- فاریابی، م.، کلانتری، ن. و رحیمی، م.ح.، ۱۳۸۵- بررسی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی دشت باغملک با استفاده از دیاگرام‌های ترکیبی، شاخص‌های اشباع و نسبت‌های یونی، چکیده مقالات دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، صفحه ۲۴.

References

- Alther, G. A., 1979- A simplified statistical sequence applied to routine water quality analysis: a case history, *Ground Water*, 17: 556-561.
- Derever, J. I., 1988- *Geochemistry of Natural Waters*, 3rd edition, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall Company, 367p.
- Farnham, I., Stetzenbach, K., Singh, A. & Johannesson, K., 2000- Deciphering groundwater flow systems in Oasis Valley, Nevada, using trace element geochemistry, multivariate statistics, and geographical information system, *Mathematical Geology*, 32: 943-968.
- Gogel, T., 1981- Discharge of salt water from Permian rocks to major stream-aquifer system in Central Kansas: *Kansas, Water Resources Investigation*, 81: 43-65.
- Guler, C., Thyne, G. D., McCray, J. E. & Turner, A. K., 2002- Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data, *Hydrogeology journal*, 10: 455-474.
- Howard, F. W. Ken. & Mullings, E., 1996- Hydrochemical analysis of groundwater flow and saline intrusion in the Clarendon basin, Jamaica, *Ground water*, 34: 801-810.
- Hounslow, A. W., 1995- *Water Quality Data, Analysis and interpretation*, Oklahoma State University Stillwater, Oklahoma, Lewis Publishers, 397 p.
- Jankowski, J., Shekarforoush, S. & Acworth, R. I., 1998- Reverse ion exchange in a deeply weathered porphyritic dacite fractured aquifer system, Yass, New South Wales, Australia, In Arehord G. B. & Hulston. R. (eds.) *Proceeding of 9th International Symposium on Water Rock Interaction*, Taupo, New Zealand, Rotterdam : Balkema, 243-246.
- Marie, A. & Vengosh, A., 2001- Sources of salinity in ground water from Jericho area, Jordan Valley, *Ground Water*, 39: 240-248.
- Mazore, E., 2004 - *Chemical and isotopic groundwater hydrogeology*, 3rd edition, John Wiley and sons Company, p450.
- Richter, B.C. & Kreitler, C. W., 1986- *Geochemistry of salt-spring and shallow subsurface brines in the Rolling Plains of Texas: Groundwater*, 24:735- 742.
- Stober, I. & Bucher, K., 1999- Deep groundwater in the crystalline basement of the Black Forest region, *Applied Geochemistry*, 14: 237-254.
- Stossel, R. K., 1997- Delineating the chemical composition of the salinity source for saline groundwater: An example from east-central Canadian Parish, Luisiana, *Ground Water*, 35: 409-417.
- Timms, W., Acworth, R. I., Jankowski, J. & Lawson, S., 2000- Groundwater quality trends related to aquitard salt storage at selected sites in the Lower Murumbidgee alluvium, Australia, *Groundwater*, 25: 655-660.
- Williams, R., 1982- Statistical identification of hydraulic connections between the surface of a mountain and internal mineralized zones, *Ground Water*, 20:466-478
- Wood, W. W. & Jones, B. F., 1990- Origin of solutes in saline lakes and springs on the southern High Plains of Texas at Austin, *Bureau of Economic Geology*, 13:193- 208.