

بررسی منشأ املاح آبخوان سرچاهان در استان هرمزگان با استفاده از نسبت‌های یونی

حسین حسینی‌پور^۱، مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان
 جعفر غیومیان، استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
 احمدرضا قاسمی، کارشناس ارشد مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری
 سعید چوپانی، مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۰۷/۱۳

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۰۲/۱۱

چکیده

شناسایی عوامل مؤثر بر کیفیت آب‌زیرزمینی به‌منظور بررسی منشأ املاح مورد توجه محققین آب‌شناسی قرار دارد. در این تحقیق هیدروشیمی و منشأ املاح آب‌زیرزمینی دشت سرچاهان با استفاده از نسبت‌های یونی و تفاوت غلظت یون‌های هم‌منشأ مورد بررسی قرار گرفت. در یک مرحله در زمستان ۱۳۷۷، ۴۹ نمونه از آبخوان و سه نمونه از آب سطحی دشت سرچاهان تهیه شد. سپس یون‌هایی با منشأ کانی‌شناسی مشترک و به‌عبارت دیگر یون‌های هم‌زاد شناسایی شدند و عدم توازن بین آن‌ها به‌عنوان نشانه‌ای از عوامل و فرآیندهای فرعی تأثیرگذار بر کیفیت آبخوان سرچاهان مورد توجه قرار گرفتند. بررسی روابط بین یون‌های هم‌زاد به‌کمک تفاضل‌های یونی SO_4^- و Cl-Na امکان شناسایی مناطق متأثر از انحلال ترکیباتی نظیر سولفات‌های سدیم‌دار و کلرورهای کلسیم و منیزیم‌دار را در آبخوان سرچاهان فراهم آورد. به‌طورکلی بررسی نسبت‌های یونی و تفاضل یون‌های هم‌زاد نشان می‌دهد که انحلال‌هالیت و نمک‌های سولفات‌ه آبرفت می‌تواند عامل اصلی شوری آب زیرزمینی دشت سرچاهان باشد. در مقابل، رودخانه پرعاب‌دین موجب بهبود کیفیت شیمیایی آبخوان سرچاهان می‌شود ولی رودخانه شور به‌دلیل زهکش کردن آب زیرزمینی در افزایش شوری این آبخوان بی‌تأثیر است. همچنین، فرآیندهای نرم‌شدگی طبیعی^۲ و نرم‌شدگی معکوس نیز بر کیفیت این آبخوان مؤثر هستند و با افزایش شوری به‌سمت نواحی پایین دست احتمال وقوع نرم‌شدگی معکوس افزایش می‌یابد. در آبخوان سرچاهان امکان ددولومیتی‌شدن^۳ منتفی است. به‌علاوه، گنبد‌های نمکی نیز فاقد اثر مشخصی بر شوری آب‌زیرزمینی هستند.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، کیفیت، گنبد نمکی، شوری، یون‌های هم‌زاد

مقدمه

شناخت منشأ املاح آب زیرزمینی و عوامل مؤثر بر تغییرات آن هم‌واره یکی از مسائل مهم در مدیریت منابع آب زیرزمینی به‌شمار می‌رود. تاکنون محققین زیادی در این زمینه به مطالعه پرداخته‌اند که از جمله می‌توان به Jalali (۲۰۰۴)، van der Weijden و Pacheco (۲۰۰۳)، Sasamoto و همکاران (۲۰۰۴)، Montoroi و همکاران (۲۰۰۲) و نیز Gascoyne (۲۰۰۴) اشاره کرد. هرچند، در آبخوان‌های آبرفتی روند کلی ارائه شده به‌وسیله Chebotarev (۱۹۵۵) حاکم است، با وجود این، هر آبخوان آبرفتی از وضعیت هیدروژئوشیمیایی خاص حوزه آبخیز خود متأثر است. با شناخت عوامل مؤثر و تعیین سهم آن‌ها در املاح آب زیرزمینی و تغییرات مکانی آن، امکان مدیریت کیفیت آبخوان برای بهره‌برداری بهینه از منابع آب و جلوگیری از افزایش املاح وجود خواهد داشت. غلظت آنیون‌ها و

^۱ hossainipour@yahoo.com

^۲ Natural softening

^۳ Dedolomitization

کاتیون‌های اصلی، هدایت‌الکتریکی، باقی‌مانده خشک و pH از جمله مواردی است که به‌طور معمول در بررسی کیفیت آبخوان‌ها مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند. از بین این عوامل، هدایت الکتریکی به‌عنوان معرف کیفیت آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این، غلظت یون‌های اصلی آب و روابط نسبی بین آن‌ها معرف مناسبی برای منشأ املاح بوده، می‌تواند در ارتباط با سنگ‌شناسی منطقه مطرح شود.

Gogel (۱۹۸۱)، 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. Richter و Kreitler (۱۹۸۶) نشان دادند که نسبت‌های Br/Cl و Na/Cl برای تفکیک شوری طبیعی (انحلال هالیت) از آب‌های شور عمیق مفید هستند. در بررسی دیگری Morton و Land (۱۹۸۷) متوجه شدند که در آب‌های شور حاصل از گنبد‌های نمکی، که TDS بالایی دارند (بیش‌تر از ۱۰۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، نسبت Br/Cl و غلظت K و Ca پایین است. همچنین، براساس مطالعات Wood و Jones (۱۹۹۰) نسبت‌های Cl/Br، Na/K و Cl/SO₄ در آب‌های متأثر از تبخیر کم‌تر از آب‌های شور عمیق هستند. در مطالعه دیگری به‌وسیله دایره منابع آب اوکلاهما^۱ (۱۹۷۵) مقدار ۰/۶۲ برای نسبت وزنی Na/Cl به‌عنوان معرف شوری انحلال هالیت ارائه شد. همچنین، مشخص شده است که در آب‌های شور حاصل از انحلال هالیت نسبت به آب‌های شور قدیمی نسبت‌های مولی (Ca+Mg)/SO₄ و Na/Cl به مقدار واحد نزدیک‌تر هستند (Richter و Kreitler، ۱۹۹۳).

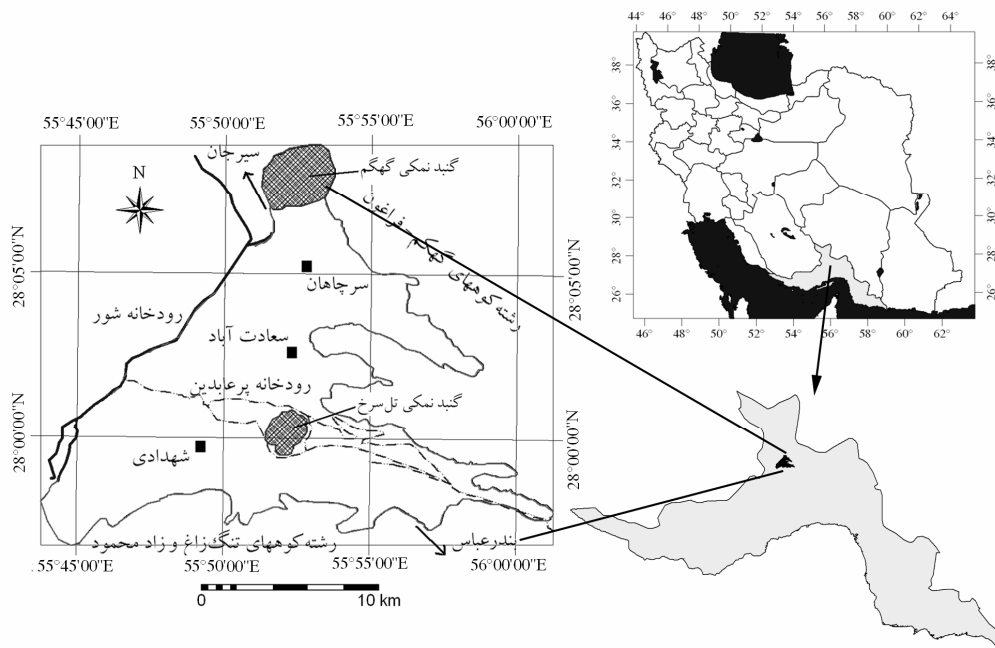
آبخوان سرچاهان از نظر کیفیت آب زیرزمینی دارای ویژگی‌های منحصر به‌فردی است که می‌توان به مقادیر و تغییرات زیاد هدایت الکتریکی، وجود گنبد‌های نمکی و نیز سازندهای تبخیری در منطقه اشاره کرد. این سازندها دارای سهم زیادی در افزایش املاح آبخوان سرچاهان هستند. علاوه بر این، کیفیت آب زیرزمینی منطقه تحت تأثیر رودخانه‌های جاری در محدوده و تبخیر زیاد نیز قرار دارد. در این تحقیق سعی شده تا تأثیر هر یک از عوامل فوق بر آب زیرزمینی آبخوان سرچاهان با تأکید بر سنگ‌شناسی مورد بررسی قرار گیرد. به‌این منظور نسبت‌های یونی مورد توجه قرار گرفته‌اند و از آن‌ها به‌عنوان وسیله‌ای به‌منظور تعیین نوع فرآیند املاح‌ساز و گستره تحت‌تأثیر آن استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: آبخوان سرچاهان در شمال استان هرمزگان واقع شده است. این آبخوان در ۱۲۰ کیلومتری شمال بندرعباس و در ۲۵ کیلومتری جنوب شهرستان حاجی آباد، در مسیر جاده اصلی سیرجان- بندرعباس قرار دارد. محدوده مورد مطالعه بین مختصات جغرافیایی ۵۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲ دقیقه طول شرقی و ۲۷ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی واقع است (شکل ۱). ارتفاع منطقه مورد مطالعه از سطح دریا ۶۵۰ متر، متوسط بارندگی سالانه ۲۱۴ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت ۲۴/۳۳ درجه سانتی‌گراد و متوسط تبخیر سالانه آن ۲۳۰۰ میلی‌متر است.

زمین‌شناسی: ستون چینه‌شناسی نواحی اطراف آبخوان سرچاهان شامل سازندهایی به سن پالئوزوئیک تا عهد حاضر است. این محدوده در جنوب منطقه تراستی زاگرس واقع شده است و سازندهای زمین‌شناسی آن چین‌خورده هستند. علاوه بر این، گسل‌های منطقه به خصوص در نواحی شمال‌شرقی موجب رخ‌نمون سازندهای قدیمی شده‌اند. وضعیت زمین‌شناسی منطقه در شکل ۲ ارائه شده است. سری هرمز قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. سنگ‌های این سری به‌صورت گنبد نمکی گهگم در شمال و گنبد نمکی تل‌سرخ در مرکز دشت سرچاهان رخ‌نمون دارند. تفاوت سنگ‌شناسی مهم بین دو گنبد نمکی مذکور شامل نبود لایه‌های نمکی و گچی در تل‌سرخ و مشاهده مارن‌های حاوی اکسید آهن و سنگ‌های آتشفشانی در گنبد نمکی گهگم است. به‌عبارت دیگر در گنبد نمکی تل‌سرخ برخلاف نام آن اثری از نمک مشاهده نمی‌شود و این گنبد نمکی به‌سبب فراوانی شیل‌های قرمز رنگ به‌صورت سرخ رنگ دیده می‌شود ولی در مقابل وجود نمک و گچ در گنبد نمکی گهگم کاملاً مشهود است.

¹ Oklahoma Water Resource Board



شکل ۱- موقعیت آبخوان سرچاهان در استان هرمزگان و کشور ایران

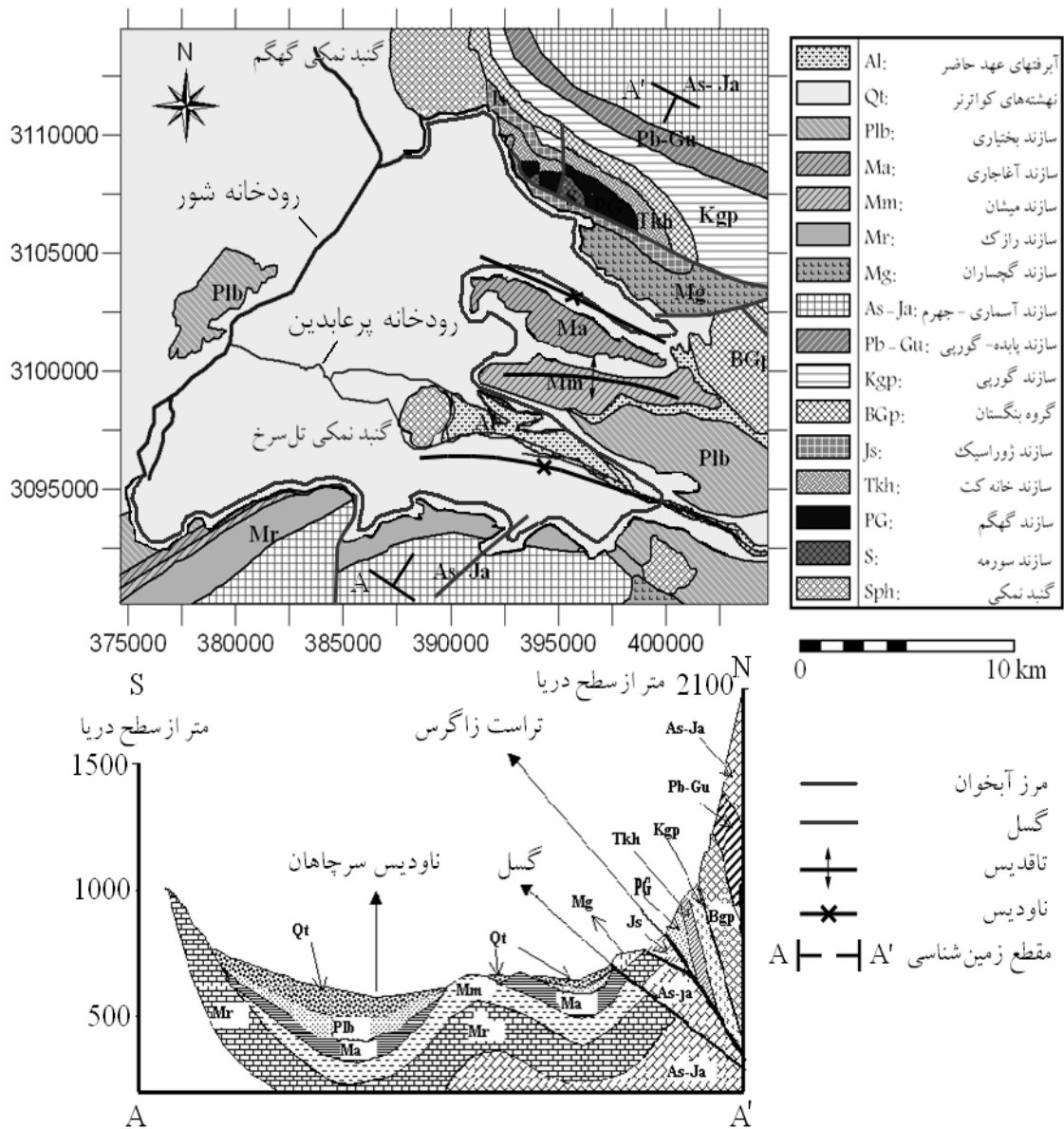
سازند گچساران از جمله مهم‌ترین طبقات تبخیری محدوده مورد بررسی است. این طبقات در شمال شرق دشت رخنمون دارند و آب زیرزمینی آن را تحت تأثیر قرار داده‌اند. همچنین در جنوب منطقه، وجود مرز تماس طولانی بین سازند ماسه‌سنگی- مارنی رازک و آبخوان سرچاهان، بر اهمیت سازند مذکور در افزایش املاح این آبخوان افزوده است. رسوبات مجاور این سازند شامل آبرفت‌های مخروط افکنه‌ای جوانی هستند که در بعضی محل‌ها به دلیل تماس با آهک کارستی آسماری- جهرم معابر مناسبی برای تغذیه آبخوان دشت هستند. در این نواحی وجود دو گسل (شکل ۲) این ارتباط را تسهیل نموده است. از دیگر سازندهای مارنی منطقه، که به دلیل موقعیت و وسعت از اهمیت برخوردار است، می‌توان به سازند میشان اشاره کرد که رخنمون آن در شرق دشت مشاهده می‌شود.

در اطراف آبخوان سرچاهان رخنمون‌های آهکی نیز وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها مربوط به سازند آسماری- جهرم است. سازند مذکور به دلیل داشتن حفره‌های کارستی، بخش مهمی از ذخایر آب‌زیرزمینی سازندهای سخت منطقه را تشکیل می‌دهد. با وجود این، نبود مرز تماس مستقیم بین این طبقات و دشت، میزان تأثیر ذخایر آن‌را بر آبخوان سرچاهان کاهش داده است. طبقات آهکی دیگری نیز در این محدوده گسترش دارند که می‌توان به دولومیت‌های ضخیم‌لایه خانه‌کت و آهک‌های برشی گروه بنگستان اشاره کرد که نقش زیادی در تغذیه آبخوان دشت ندارند (Choopani, 2000). زیرا رخنمون‌های نسبتاً محدود سازندهای فوق به‌وسیله سازندهای تخریبی دانه‌ریز از آبخوان سرچاهان جدا شده‌اند. به‌علاوه شیب آن‌ها نیز در خلاف جهت دشت قرار دارد و جابه‌جایی‌های ناشی از گسل‌های معکوس شمال دشت نیز بر این انفصال افزوده است (مقطع زمین‌شناسی AA' در شکل ۲).

روش تحقیق

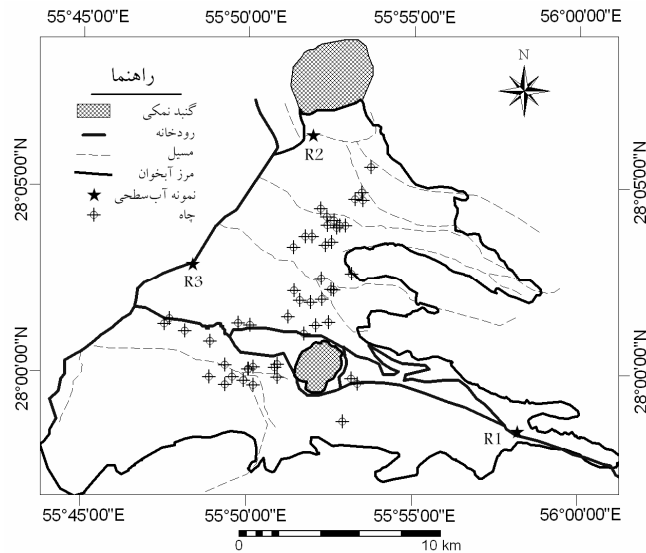
پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی تغییرات کمی دارند و برای پایش کیفیت شیمیایی در چاه‌های بیش از ۹۰ متر عمق انجام نمونه‌برداری با فاصله چند سال کفایت می‌کند (Harter, 2003). در این تحقیق روابط نسبی بین عوامل کیفیت آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد که نسبت به غلظت یون‌های اصلی از ثبات بیش‌تری برخوردار است. در زمستان ۱۳۷۷، از چاه‌های کشاورزی آبخوان سرچاهان ۴۹ نمونه و از آب سطحی دشت سرچاهان سه نمونه تهیه شد.

موقعیت این نمونه‌برداری‌ها در شکل ۳ مشخص شده است. عوامل ناپایدار کیفیت شامل هدایت الکتریکی و pH اندازه‌گیری شدند. برای جلوگیری از افزایش خطا (ناشی از فاصله زمانی بین نمونه‌برداری و آنالیز) سعی شد تا نمونه‌ها در آسرع وقت به آزمایشگاه منتقل شوند. در آزمایشگاه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی هر یک از نمونه‌ها به‌وسیله روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت یون‌های کلر، سولفات و بی‌کربنات از روش حجم‌سنجی^۱، برای یون‌های سدیم و پتاسیم از روش نورسنجی شعله^۲ و برای یون‌های کلسیم و منیزیم از روش کمپلکسومتری^۳ استفاده شد (تقوایی‌پور، ۱۳۷۹). نتایج تحلیل‌های شیمیایی نمونه‌های برداشت‌شده از آبخوان سرچاهان در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۲- زمین‌شناسی و مقطع زمین‌شناسی (A-A') محدوده آبخوان سرچاهان در استان هرمزگان

¹ Volumetry
² Flame Photometry
³ Complexometry

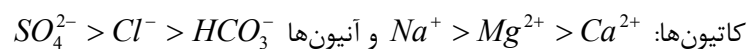
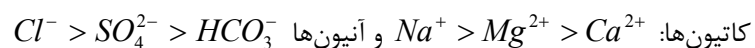


شکل ۳- نقشه چاه‌ها و رودخانه‌های نمونه‌برداری شده از محدوده آبخوان سرچاهان (زمستان ۱۳۷۷)

براساس شاخص تعادل بار یونی تمام نمونه‌ها دارای خطای کم‌تر از پنج درصد بودند و به همین علت کلیه نمونه‌ها برای تحلیل کیفیت مورد استفاده قرار گرفتند. با استفاده از نمودار مثلثی تیپ و رخساره آب زیرزمینی دشت تعیین شد. همچنین، با استفاده از نسبت‌های یونی محاسبه شده به وسیله نرم‌افزار WATEVAL (Hounslow, ۱۹۹۵)، اطلاعات کیفیت به منظور شناسایی منشأ املاح آبخوان سرچاهان مورد بررسی قرار گرفت. به علاوه با استفاده از تفاضل بین یون‌های هم‌زاد (یون‌هایی که دارای منشأ کانی‌شناسی مشترک هستند)، اثر عوامل فرعی در کیفیت آب زیرزمینی دشت مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور تفاضل غلظت یون‌های هم‌زاد شامل سدیم-کلر، سولفات-کلسیم-منیزیم و کربنات-بیکربنات-کلسیم-منیزیم به کمک روش زمین‌آماری^۱ کریجینگ^۲ برای دشت ترسیم شد. براساس تلفیق دو نقشه اخیر محدوده عوامل فرعی مؤثر بر هیدروشیمی آبخوان مشخص شده است.

نتایج و بحث

در آبخوان سرچاهان، آب زیرزمینی از نظر فراوانی نسبی یون‌ها به‌طور کامل در دو گروه قرار می‌گیرد، که به قرار زیر هستند:



به‌منظور بررسی تیپ آب زیرزمینی و نحوه تغییر آن، نمودار مثلثی نمونه‌های آب آبخوان سرچاهان تهیه شد (شکل ۴). براساس این نمودار، تیپ آب زیرزمینی شامل انواعی از کلروره-سولفات تا سولفات-کلروره است که از بین آن‌ها آب‌های کلروره-سولفات از توسعه بیش‌تری برخوردار هستند. تیپ سولفات-کلروره در نواحی بالادست (شرق دشت سرچاهان) گسترش دارد و به سمت پایین دست در غرب دشت کلروره-سولفات می‌شود. رخساره غالب آب زیرزمینی نیز از نوع سدیک است. غلظت‌های بالای کلرور و سولفات در آبخوان سرچاهان حاکی از گسترش انواع کانی‌های کلروره و سولفات و انحلال آن‌ها است. به این ترتیب نمک‌های کلروره سدیم‌دار و سولفات منیزیم و کلسیم‌دار به‌عنوان کنترل‌کننده‌های کیفیت آبخوان سرچاهان مطرح می‌شوند.

^۱ Geostatistic

^۲ Kriging

جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیایی نمونه برداری از آبخوان و آب سطحی دشت سرچاهان (زمستان ۱۳۷۷)

ردیف	UTM (X)	UTM (Y)	pH	meqL ⁻¹							EC μsm ⁻¹	
				CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺		K ⁺
۱	۳۸۹۳۲۰	۳۱۰۰۲۶۸	۷/۶	۰/۸	۲/۷	۱۵/۱	۲۲	۶/۵	۱۰/۵	۲۴	۰	۴۰۰۰
۲	۳۹۰۴۵۸	۳۰۹۷۵۲۴	۷/۷	۰/۶	۳/۲	۱۱/۲	۲۵	۵	۹	۲۶	۰	۴۰۰۰
۳	۳۹۰۷۵۱	۳۰۹۷۲۶۴	۷/۶	۰/۲	۳/۸	۹/۵	۲۱/۲	۴/۵	۷	۲۳	۰	۳۴۰۰
۴	۳۹۰۰۱۳	۳۰۹۵۴۰۵	۷/۸	۰/۳	۳/۷	۱۳/۲	۲۴/۴	۷/۵	۹	۲۵	۰	۴۱۲۰
۵	۳۸۸۶۹۵	۳۱۰۰۱۰۸	۷/۶	۰/۵	۲/۵	۸/۵	۲۲	۴/۵	۶	۲۳	۰	۳۳۱۰
۶	۳۸۷۳۲۳	۳۱۰۰۵۶۴	۷/۷	۰/۶	۳/۲	۱۱/۳	۲۴	۵	۹	۲۵	۰	۳۹۰۰
۷	۳۸۸۱۱۸	۳۰۹۹۷۲۵	۷/۶	۰/۸	۳/۱	۱۲/۳	۳۶	۱۰	۱۵	۲۷	۰	۵۲۲۰
۸	۳۸۵۴۵۱	۳۱۰۰۱۵۶	۷/۶	۱	۳/۸	۱۷/۴	۴۰/۲	۱۱	۱۷	۳۴	۰	۶۲۰۰
۹	۳۸۴۸۷۹	۳۱۰۰۲۵۵	۷/۸	۰/۸	۳/۲	۱۴/۲	۳۸	۸	۱۲	۳۶	۰	۵۶۰۰
۱۰	۳۸۳۴۷۷	۳۰۹۹۳۶۳	۸/۱	۱	۳/۹	۸/۸	۳۴	۸	۱۱/۵	۲۸	۰	۴۷۵۰
۱۱	۳۸۲۲۳۶	۳۰۹۹۸۵۵	۷/۷	۰/۲	۳/۲	۱۲/۲	۲۸	۸	۱۱/۵	۲۴	۰	۳۴۶۰
۱۲	۳۸۱۴۵۶	۳۱۰۰۴۷۲	۸/۲	۱	۲/۴	۹	۲۷	۷	۹	۲۳	۰	۳۹۰۰
۱۳	۳۸۱۲۰۸	۳۱۰۰۲۱۶	۸/۱	۰/۵	۳/۱	۹/۷	۲۶	۷/۵	۹	۲۳	۰/۴	۳۹۴۰
۱۴	۳۸۵۳۸۱	۳۰۹۷۹۹۶	۸/۳	۰/۸	۲/۲	۶	۲۵	۴	۸	۲۲	۰/۴	۳۴۸۰
۱۵	۳۸۵۳۴۹	۳۰۹۷۹۹۷	۸/۳	۰/۷	۲/۴	۹/۵	۲۲	۳/۵	۸	۲۳	۰	۳۴۰۰
۱۶	۳۹۰۶۵۴	۳۱۰۰۶۳۶۸	۸/۴	۱/۲	۲/۴	۱۳	۳۱	۱۰	۱۱	۲۶	۰	۴۶۰۰
۱۷	۳۹۱۰۳۰	۳۱۰۰۶۳۰۹	۸/۲	۰/۸	۸/۲	۹/۵	۲۳/۵	۵/۵	۹	۲۳	۰	۳۷۳۰
۱۸	۳۹۱۴۳۸	۳۱۰۷۹۴۹	۷/۹	۲	۱/۶	۸/۵	۱۹/۵	۴	۶	۲۲	۰	۳۲۲۰
۱۹	۳۹۰۹۸۴	۳۱۰۶۶۹۷	۸/۳	۲	۱/۶	۱۲	۲۵	۷	۱۱	۲۴	۰	۴۲۰۰
۲۰	۳۹۰۱۸۳	۳۱۰۰۵۰۸۰	۷/۸	۱	۱/۸	۷/۵	۲۰/۵	۴	۵	۲۰	۰	۳۰۰۰
۲۱	۳۸۹۴۸۸	۳۱۰۴۲۵۶	۷/۹	۰/۸	۲/۴	۱۰	۲۲	۴/۵	۸	۲۳	۰	۳۵۰۰
۲۲	۳۸۸۹۴۶	۳۱۰۵۹۲۳	۷/۶	۱/۴	۰/۵	۱۹	۳۸	۱۰	۱۶	۳۳	۰	۲۹۲۰
۲۳	۳۸۹۲۷۰	۳۱۰۵۵۱۳	۷/۹	۱	۳/۲	۲۹	۲۳/۱	۹/۵	۱۵	۳۲	۰	۵۶۰۰
۲۴	۳۸۹۲۹۹	۳۱۰۵۱۰۶	۷/۹	۰/۸	۲/۸	۲۵	۳۱/۲	۹/۵	۱۵	۳۸	۰	۵۹۱۰
۲۵	۳۸۹۶۲۸	۳۱۰۵۳۲۵	۷/۶	۰/۷	۱/۶	۲۴	۲۴/۸	۸/۲	۱۱/۳	۳۲	۰	۵۱۵۰
۲۶	۳۸۸۱۹۶	۳۱۰۴۵۴۵	۷/۸	۰/۶	۱/۸	۲۵	۲۶/۸	۶	۱۲	۳۶	۰	۵۴۰۰
۲۷	۳۸۸۵۲۴	۳۱۰۴۵۴۲	۸/۶	۰	۲/۲	۷/۱	۴۵/۵	۵	۷/۳	۴۲	۰	۵۴۰۰
۲۸	۳۸۷۶۰۱	۳۱۰۳۹۹۶	۸/۳	۰/۷	۱/۶	۳۱	۲۸/۲	۱۳	۱۹	۲۹/۸	۰	۶۳۰۰
۲۹	۳۸۹۷۴۰	۳۱۰۴۹۵۵	۷/۶	۰/۸	۲/۲	۲۲	۱۵/۵	۶/۵	۹	۲۵	۰	۴۱۲۰
۳۰	۳۸۹۸۸۸	۳۱۰۵۰۸۳	۷/۷	۰/۵	۳/۴	۲۵	۱۱/۸	۶/۵	۹	۲۵/۵	۰	۴۱۰۰
۳۱	۳۸۹۵۸۱	۳۱۰۱۸۷۳	۷/۶	۰/۶	۲/۴	۲۲/۵	۶/۸	۵	۱۰	۱۷	۰	۳۲۶۰
۳۲	۳۸۸۹۷۹	۳۱۰۲۴۵۰	۸/۴	۰/۸	۲/۴	۲۹/۲	۲۷/۸	۹	۱۶	۳۶	۰	۶۱۰۰
۳۳	۳۸۹۰۰۲	۳۱۰۱۴۱۶	۸/۲	۰/۴	۳/۱	۲۸	۲۵/۵	۱۰	۱۳	۳۴	۰	۵۶۸۰
۳۴	۳۹۰۴۷۳	۳۱۰۲۶۷۶	۷/۶	۰/۵	۲/۵	۲۴/۴	۷/۲	۵	۷	۲۲/۸	۰	۳۴۳۰
۳۵	۳۸۹۱۹۱	۳۱۰۴۱۱۰	۸/۲	۱	۲/۸	۲۹	۱۹	۸/۵	۱۲	۳۱	۰	۵۲۰۰
۳۶	۳۸۹۴۶۶	۳۱۰۱۸۹۱	۸/۲	۰/۴	۲/۱	۲۸	۱۹	۸/۵	۱۲	۳۱	۰	۵۲۰۰

۰/۸	۲	۲۷/۶	۹/۲	۶	۱۰	۲۴/۲	۰	۷/۸	۴۰۰۰	۳۱۰۱۲۷۴	۳۸۸۴۴۴	۳۷
۱/۳	۳/۲	۲۹/۵	۲۰	۹	۱۲	۳۲	۰	۸/۲	۵۳۲۰	۳۱۰۱۸۳۵	۳۸۷۶۳۰	۳۸
۰	۰/۸	۲۶	۲۵/۵	۷/۵	۱۱/۵	۳۲	۰	۸/۴	۵۲۸۰	۳۱۰۱۳۷۱	۳۸۷۹۰۵	۳۹
۰	۱	۹	۳۴/۵	۶	۸	۲۸	۰	۷/۸	۴۱۸۰	۳۰۹۷۶۱۶	۳۸۵۱۳۰	۴۰
۰/۸	۲/۷	۱۰/۱	۳۳	۶/۵	۱۰	۳۰	۰	۷/۹	۴۶۰۰	۳۰۹۷۶۱۶	۳۸۴۵۷۵	۴۱
۰	۲/۱	۷/۳	۴۳/۲	۵	۱۲	۳۶	۰	۸/۳	۵۳۰۰	۳۰۹۷۶۲۷	۳۸۳۴۱۱	۴۲
۰/۴	۳/۲	۳۲/۵	۳۹	۱۲/۵	۲۲	۴۱	۰	۸/۸	۷۵۰۰	۳۰۹۸۰۷۷	۳۸۶۶۷۷	۴۳
۰/۷	۳/۴	۳۴/۳	۴۶	۱۱/۵	۲۵	۴۸	۰	۸/۹	۸۵۵۰	۳۰۹۷۲۰۱	۳۸۵۶۰۴	۴۴
۰	۱	۸/۵	۲۰	۳	۵/۵	۲۱	۰	۸/۷	۲۹۵۰	۳۰۹۸۲۲۳	۳۸۴۱۹۳	۴۵
۰	۱/۲	۸/۱	۱۹/۸	۳	۵	۲۱	۰	۸/۷	۲۹۰۰	۳۰۹۸۲۲۳	۳۸۶۸۰۹	۴۶
۰	۱/۷	۷/۶	۲۹/۸	۴	۱۰	۲۴/۳	۰	۸/۴	۳۸۵۰	۳۰۹۸۱۰۵	۳۸۵۶۱۲	۴۷
۰	۲/۲	۷/۸	۴۳	۵	۱۲/۵	۳۵/۴	۰	۸/۵	۵۳۰۰	۳۰۹۸۱۹۳	۳۸۴۲۰۳	۴۸
۰	۱/۵	۳/۲	۲۹	۳/۵	۹	۱۲/۱	۰	۸/۸	۳۴۴۰	۳۰۹۷۵۷۷	۳۸۶۸۰۳	۴۹
۱/۶	۲/۴	۹/۲	۲۸/۵	۴	۶	۳۰/۹	۰	۷/۷	۴۱۷۰	۳۰۹۴۸۴۹	۳۹۸۶۷۹/۹	R1
۲	۸/۴	۹۸/۴	۸۶	۴۹	۷۴	۸۴	۵	۸/۷	۱۹۰۲۰	۳۱۰۹۴۷۱	۳۸۸۶۰۲/۴	R2
۴/۲	۱۱/۷	۱۱۴/۶	۱۴۷	۵۵/۲	۷۸	۱۴۵/۵	۴/۵	۸/۹	۲۹۸۸۹	۳۱۰۳۱۵۷	۳۸۲۶۲۸/۷	R3

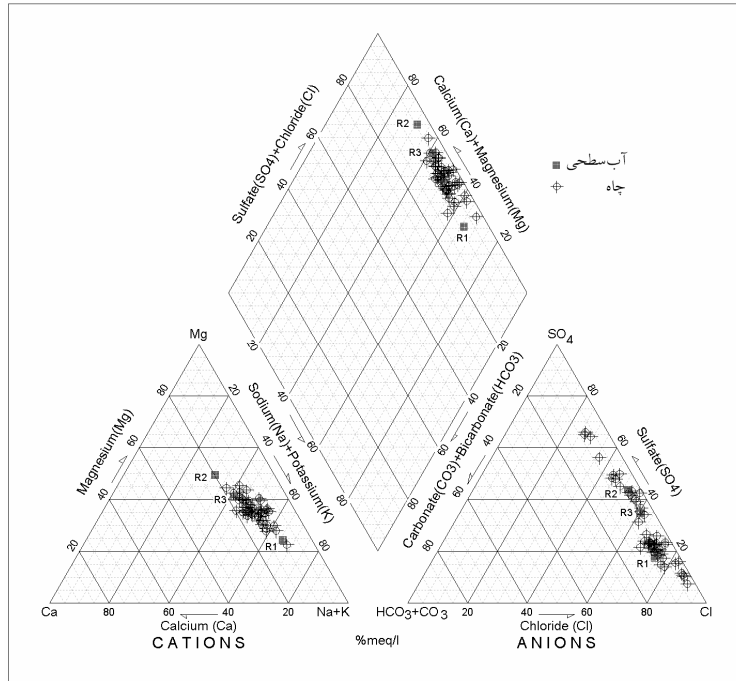
گسترش آب زیرزمینی سولفات- کلروره دشت با جبهه شرقی تغذیه آبخوان انطباق دارد. محدوده آب‌های سولفات‌ها در حدفاصل گنبد‌های نمکی تل‌سرخ و گهگم قرار دارد. این محدوده بیش‌تر از آن‌که تحت‌تأثیر گنبد‌های مذکور باشد با سازندهای شرقی حوضه شامل آجاجاری، میشان و گچساران ارتباط دارد. بیش‌تر قسمت‌های این محدوده منطبق بر محور تاقدیسی است که در زیر آبخوان سرچاهان قرار دارد. به‌نظر می‌رسد که این تاقدیس باعث بالا آمدگی سازند تخییری گچساران شده است و به‌علت فرسایش این سازند، میزان املاح سولفات‌ها در آبرفت‌های این قسمت از دشت افزایش یافته است. علاوه‌بر سازند گچساران، سازند آجاجاری به‌علت وجود طبقات مارن ژئوپس‌دار از منابع محدود یون سولفات محسوب می‌شود. در جنوب آبخوان سرچاهان اگرچه رخنمون بزرگی از آهک آسماری - جهرم وجود دارد ولی حایل شدن سازند نفوذناپذیر رازک، باعث محدود شدن اثر تغذیه‌کنندگی آن‌ها شده است. به‌طور کلی، آبخوان سرچاهان از طریق مسیل‌های بزرگ حاشیة شرقی تغذیه می‌شود.

در آبخوان سرچاهان متوسط بی‌کربنات با متوسط یون‌های کلر و سولفات قابل مقایسه نیست. اگرچه، سازند آسماری- جهرم دارای رخنمون‌های وسیعی در جنوب و شمال‌شرق آبخوان است ولی به‌دلیل تماس بسیار محدود آن با زمین‌های آبرفتی، آب بی‌کربنات‌های آبخوان سرچاهان وارد نمی‌شود. ویژگی دیگر این آبخوان وجود کربنات در غلظت‌های قابل توجه است که تا ۴/۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر نیز اندازه‌گیری شده است. pH عامل مهم کنترل‌کننده غلظت گونه‌های^۱ کربنات از جمله یون کربنات است. از شرایط خنثی به‌سمت قلیائیت بیش‌تر از غلظت یون بی‌کربنات کاسته شده، بر غلظت یون کربنات افزوده می‌شود. در آبخوان سرچاهان نیز غلظت یون کربنات متأثر از افزایش خاصیت بازی، دارای مقادیر قابل توجهی است.

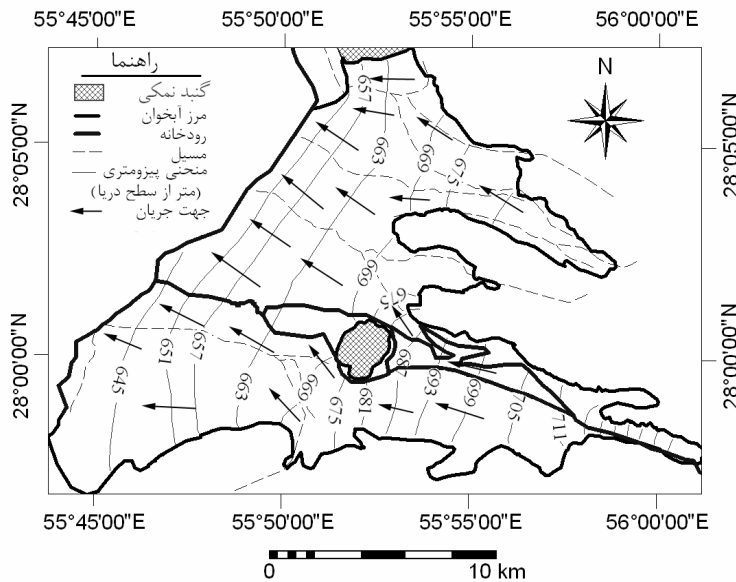
روند خطی که در شکل ۴ دیده می‌شود نشان‌دهنده اثر انحلال و رسوب‌گذاری بر تغییرات کیفیت آبخوان سرچاهان است. از سوی دیگری با توجه به‌این که نمونه‌های آب سطحی منطقه عضوهای انتهایی روند خطی مذکور را تشکیل می‌دهند (نمونه R1 در جنوب‌شرق و نمونه R2 در شمال دشت سرچاهان) به احتمال زیاد آب زیرزمینی منطقه حاصل اختلاط آب‌هایی است که از جنوب و شمال مرز شرقی دشت وارد آبخوان سرچاهان می‌شوند. به‌این ترتیب قرارگیری نمونه آب رودخانه شور (R3) در داخل روند خطی نمونه‌ها، بیان‌گر آن است که از شمال به جنوب بر اثر

¹ Species

ورود زهکش آبخوان سرچاهان به این رودخانه ترکیب شیمیایی آن به ترکیب شیمیایی آب های تغذیه کننده آبخوان در جنوب شرقی منطقه نزدیک می شود. در شکل ۵ زهکش شدن آبخوان سرچاهان به وسیله رودخانه شور به خوبی مشاهده می شود.



شکل ۴- نمودار مثلی آب های زیرزمینی آبخوان سرچاهان (زمستان ۱۳۷۷)



شکل ۵- نقشه سطح پیزومتری آبخوان سرچاهان

به طور کلی، Hanor (۱۹۸۳) سه منبع را برای شوری معرفی نموده است. این منابع شامل آب های باقی مانده در محیط رسوب گذاری تبخیری ها، آب های شور حاصل از فرآیند اسمز معکوس و شوری حاصل از طبقات تبخیری و گنبد های نمکی هستند که از بین آن ها طبقات تبخیری اهمیت بیش تری دارند (Land, ۱۹۸۷). با توجه به زمین شناسی منطقه، از بین عوامل فوق مورد آخر در رابطه با شوری آبخوان سرچاهان قابل توجه است.

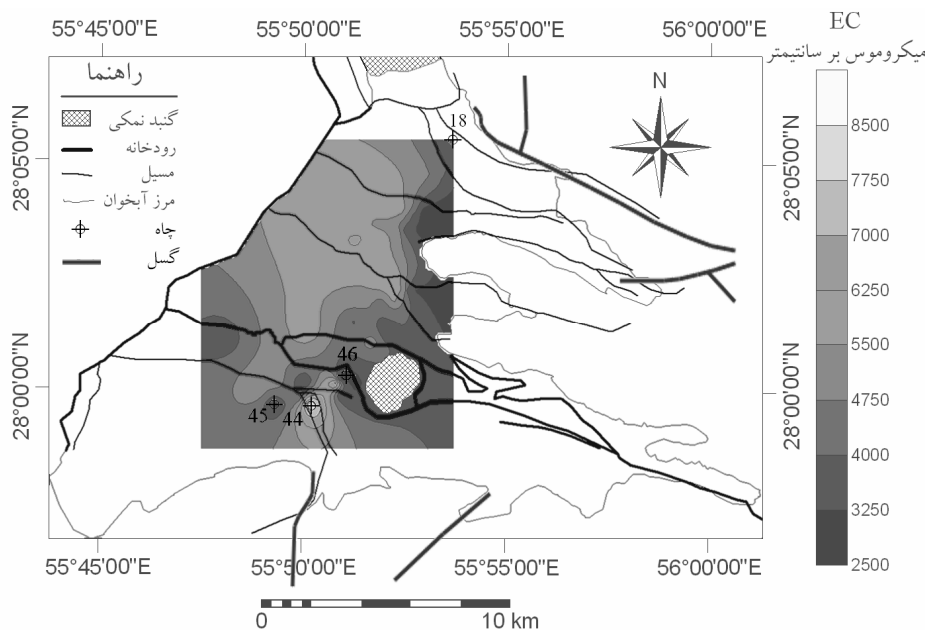
شکل ۶ نقشه هم‌هدایت الکتریکی آبخوان سرچاهان را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، از شرق به غرب آبخوان سرچاهان هدایت الکتریکی بین ۲۹۰۰ تا ۸۵۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر است. کم‌ترین هدایت الکتریکی به‌میزان ۲۹۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در غرب گنبد نمکی تل‌سرخ (چاه ۴۶) و بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی به فاصله کمی از محل مذکور به‌میزان ۸۵۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر (چاه ۴۴) اندازه‌گیری شده است. این محل درست در پای رسوبات مخروط افکنه‌ای جوان سازند آسماری-چهرم قرار دارد و در جنوب آن گسلی عرض سازندهای رازک و آسماری-چهرم را قطع نموده است. لذا، مشاهده هدایت‌الکتریکی فوق‌دور از انتظار بود. دلیل این موضوع را می‌توان به عدم تغذیه آبخوان از رسوبات مخروط افکنه‌ای جوان جنوبی و وجود یک عامل شورکننده مانند املاح یک گنبد نمکی مدفون نسبت داد. در غرب محلی که دارای بیشینه هدایت‌الکتریکی است، دوباره هدایت‌الکتریکی به ۲۹۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر (چاه ۴۵) می‌رسد. مطابق شکل ۶، گنبد نمکی تل‌سرخ نه‌تنها دارای اثر محسوسی بر کاهش کیفیت آبخوان نیست بلکه آثار بهبود کیفیت در غرب آن مشهود است و کم‌ترین میزان املاح در مجاورت این گنبد مشاهده شده است. احتمالاً بهبود کیفیت آب در این نواحی نتیجه عدم تولید املاح به‌وسیله گنبد نمکی تل‌سرخ و تغذیه آب‌زیرزمینی از طریق رودخانه پرعابدین خواهد بود. به‌طور معمول در طول دوره مرطوب سال هدایت الکتریکی این رودخانه بین ۱۴۸۰ تا ۱۶۳۰ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر است و بیشینه آن به میزان ۳۸۹۰ میکروموس بر سانتی‌متر در تیرماه ۱۳۷۷ مشاهده شده است. در شکل ۶ اثر این رودخانه بر بهبود کیفیت آبخوان به‌خوبی نمایان است. با وجود این، شاخه دیگری از این رودخانه، که از شمال گنبد نمکی تل‌سرخ عبور می‌کند، دارای تأثیری مشابه با شاخه جنوبی نیست که این موضوع احتمالاً به هدایت‌الکتریکی بیش‌تر آن مربوط می‌شود.

در شرق و شمال‌شرق آبخوان هدایت الکتریکی کم‌تر از ۳۵۰۰ میکروموس است. در این نواحی رخنمون سازندهای کنگلومرای بختیاری، میشان، آجاجاری و گچساران واقع شده است. علاوه براین، در شمال‌شرق آبخوان رخنمون‌هایی از طبقات آهکی نیز دیده می‌شود (گروه بنگستان، دولومیت خانه‌کت و سازند گهگم). با توجه به شرایط ساختمانی منطقه که در شکل ۲ آرایه شد، به‌نظر نمی‌رسد که این سازندها نقش زیادی در تغذیه آبخوان سرچاهان داشته باشند. علاوه براین، سازندهای مذکور دارای گسترش چندانی در منطقه نیستند. در نزدیکی رخنمون این سازندها، که در ضمن نزدیک‌ترین نمونه‌برداری نسبت به گنبد نمکی گهگم نیز هست، هدایت الکتریکی به‌میزان ۳۲۲۰ میکروموس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است (چاه ۱۸). محل مذکور نزدیک‌ترین نقطه نمونه‌برداری شده نسبت به گنبد نمکی گهگم بود. این مشاهده نشان می‌دهد که گنبد نمکی گهگم بر افزایش هدایت الکتریکی آبخوان تأثیر مشخصی ندارد و به‌عبارت دیگر انتظار می‌رود که املاح ناشی از این گنبد نمکی به‌علت عدم قرارگیری آن در مسیر جریان آب‌زیرزمینی نواحی بسیار محدودی را تحت تأثیر قرار دهد.

نهشته‌های آبرفتی مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده کیفیت آبخوان سرچاهان هستند. املاح آب زیرزمینی به‌طور عمده در تماس با آبرفت‌ها افزایش می‌یابد. اثر آبرفت را می‌توان به‌نوعی بیان‌گر اثر غیر مستقیم سازندهای اطراف آبخوان سرچاهان در نظر گرفت. گروه فارس شامل سازندهای گچساران، میشان و آجاجاری از جمله سازندهایی هستند که به‌خصوص در محل ورود جریان‌های فصلی و دائمی به شرق آبخوان گسترش دارند. مواد حاصل از فرسایش و هوازدگی این سازندها کیفیت آبرفت دشت را به‌گونه‌ای تغییر داده است که باعث افت زیاد کیفیت آب زیرزمینی در حرکت به‌سمت خروجی می‌شود. به‌منظور بررسی ترکیب مواد املاح‌ساز موجود در آبرفت‌های منطقه که با زمین‌شناسی نواحی بالادستی در ارتباط هستند و فراهم آوردن برآوردی از اثر سازندهای مجاور آبخوان بر کیفیت آب زیرزمینی می‌توان از روابط بین عوامل کیفیت به‌ویژه نسبت‌های یونی استفاده نمود.

بررسی منشأ املاح: نسبت‌های یونی معرف‌های مناسبی برای بررسی هیدروشیمی آب‌زیرزمینی هستند و استفاده از آن‌ها روش مفیدی برای تعیین منشأ املاح به‌شمار می‌رود. این نسبت‌ها متأثر از ترکیب شیمیایی کانی‌های محلول در آب هستند و مقدار کانی انحلال یافته در درجه بعدی اهمیت قرار دارد. آنچه باعث پیچیدگی بیش‌تر و انحراف نسبت‌های یونی از مقادیر نظری آن‌ها می‌شود، وجود چند منبع متفاوت برای یک یون و یا تغییرات و برهم‌کنش‌های شیمیایی است که در اثر حضور ترکیبات و یون‌های مختلف رخ می‌دهد. در این حالت بررسی نسبت‌های یونی به

صورت متقابل می‌تواند کمک مؤثری در فهم منشأ و تحول شیمیایی آب زیرزمینی باشد.



شکل ۶ - نقشه هم‌هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی آبخوان سرچاهان (زمستان ۱۳۷۷)

نسبت‌های یونی: در این تحقیق، از نسبت‌های یونی محاسبه شده به‌وسیله نرم‌افزار (Hounslow) Wateval (۱۹۹۵)، به‌منظور بررسی منشأ املاح و تحول کیفیت آبخوان سرچاهان استفاده شد. به‌کمک این نرم‌افزار و براساس نسبت‌های یونی مورد استفاده در آن، منشأ سنگی^۱ املاح برای هر یک از نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس نتایج به‌دست آمده به‌صورت جدول ۲ خلاصه شده است. مطابق این جدول علاوه بر انحلال هالیت، می‌توان فرآیندهای هوازدگی آلبیت و تبادل یونی^۲ شامل نرم‌شدگی طبیعی و معکوس را نیز به‌عنوان عوامل کنترل‌کننده غلظت یون‌های کلر و سدیم در نظر گرفت. باوجود این، به‌علت عدم گسترش سنگ‌های آذرین در منطقه، هوازدگی آلبیت از اهمیت کم‌تری برخوردار است. بر این اساس و با توجه به اقلیم خشک منطقه در بیش از ۵۰ درصد از مشاهدات علاوه‌بر نرم‌شدگی طبیعی، انحلال سولفات‌های سدیم‌دار نیز به‌عنوان توضیح مقادیر بیش‌تر سدیم نسبت به کلر آبخوان مطرح می‌شود. لذا، می‌توان در این ارتباط به کانی سولفات سدیم‌داری نظیر تناردیت Na_2SO_4 اشاره کرد.

در آبخوان سرچاهان منیزیم دارای غلظت‌های بیش‌تری نسبت به کلسیم است. به‌طورکلی علاوه بر فرآیندهای نرم‌شدگی طبیعی و معکوس، فرضیات زیر را می‌توان برای توضیح نسبت بین غلظت‌های کلسیم و منیزیم در نظر گرفت.

وجود کانی‌های فرومگنیزین: اهمیت این کانی‌ها در ارتباط با افزایش غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم و سولفات است. اگرچه به‌علت نبود اطلاعات غلظت سیلیس منشأ دیگری در ارتباط با هوازدگی دولومیت قابل طرح است ولی تحلیل نسبت‌های یونی به‌کمک نرم‌افزار Wateval حاکی از تأثیر کانی‌های فرومگنیزین بر کیفیت آبخوان سرچاهان است. کانی‌های فرومگنیزین به گنبد‌های نمکی تل‌سرخ و گهگم محدود بوده، در سنگ‌های آتشفشانی بازالتی این گنبد‌ها مشاهده می‌شوند (Choopani, ۲۰۰۰). در شرایط فعلی با توجه به گسترش محدود سنگ‌های فرومگنیزین دار، این عامل نمی‌تواند دلیل عمده غلظت بالای منیزیم در آبخوان سرچاهان باشد. مگر آن‌که قسمت قابل توجهی از آبرفت‌های منطقه شامل مواد فرسایش‌یافته گنبد‌های نمکی تل‌سرخ، سرچاهان و گنبد‌های نمکی دیگری باشد که احتمالاً باقی‌مانده آن‌ها در زیر دشت قرار دارند.

¹ Source rock

² Ionic exchange

کانی‌های سولفات منیزیم: تاکنون در سنگ‌شناسی منطقه به وجود کانی‌های سولفات منیزیم اشاره نشده است. به نظر می‌رسد که در این محدوده انواع سولفات‌های منیزیم همراه با سولفات‌های کلسیم وجود داشته باشند. کیزریت ($MgSO_4 \cdot H_2O$) از جمله کانی‌هایی است که می‌تواند در نواحی خشک تشکیل شود. لازم به ذکر است که بای‌بوردی (۱۳۶۵)، بر وجود کانی‌های کلروره و سولفات سدیم و منیزیم در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک (مشابه با اقلیم حاکم در محدوده مورد بررسی) تأکید نموده است (جدول ۲).

جدول ۲- تحلیل نسبت‌های یونی منابع آب انتخابی آبخوان سرچاهان

نسبت یونی	مقدار معرف	متوسط	حداقل	حداکثر	درصد فراوانی	تحلیل منشاء
Na/(Na+Cl)	>0.5	0.56	0.5	0.76	56/4	Albite or iron exchange
Na/(Na+Cl)	0.5 < 0.5 and TDS >	0.46	0.41	0.5	43/6	Reverse softening, sea water
Ca/(Ca+SO ₄)	<0.5	0.31	0.17	0.45	94/5	Ca removal, ion exchange or calcite precipitation
Ca/(Ca+SO ₄)	=0.5	0.49	0.46	0.52	5/5	Gypsum dissolution
HCO ₃ /sum anions	<0.8	0.05	0.01	0.11	100/0	Sea water, brine or evaporates
(Ca+Mg)/SO ₄	>0.8 and <1.2	1/0.1	0.8	1/2	25/5	Dedolomitization likely
(Ca+Mg)/SO ₄	<0.8 and >1.2	1/41	0.5	3/9	74/5	Dedolomitization unlikely
Mg/(Mg+Ca)	>0.5	0.61	0.52	0.72	100/0	Ferromagnesian minerals, Dolomite dissolution, calcite precipitation
(Na+KCl)/(Na+K-Cl+Ca)	<0.8 and >0.2	0.51	0.24	0.75	43/6	Plagioclase weathering possible
(Na+KCl)/(Na+K-Cl+Ca)	>0.8 and <0.2	0.49	0.11	0.86	56/4	Plagioclase weathering unlikely
Cl/sum anions	TDS > 500 and >0.8	0.83	0.81	0.86	8/3	Sea water, brine or evaporates
Cl/sum anions	<0.8	0.56	0.21	0.78	91/7	Rock weathering
TDS calculated (mg/L)	>500	3238/6	1768	17131	100	Carbonate Weathering, brine, evaporates or Sea Water

جدول ۳- بررسی آماری شاخص اشباع شدگی کانی‌های مختلف در آبخوان سرچاهان

شاخص آماری	آراگونیت	کلسیت	دولومیت	ژپس	انیدریت	هالیت	سولفات منیزیم	تناریدیت
حداقل	-1/54	-1/4	-2/47	-1/75	-1/97	-4/1	-5/91	-6/75
حداکثر	2/08	2/22	4/67	0/22	0	-1/98	-4/26	-4/07
متوسط	1/03	1/17	2/62	-0/92	-1/14	-3/31	-5/35	-5/86

فرآیند ددولومیتی شدن: این فرآیند نتیجه وجود کانی‌های فرومگنیزین و سولفات‌های منیزیم و به‌طور معمول انحلال برگشت‌ناپذیر ژپس در محیط است. این فرآیند با کاهش pH، رسوب‌گذاری کلسیت در حفرات انحلالی ژپس و افزایش غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم و سولفات همراه است (Sauders و Toran، ۱۹۹۴). وجود غلظت‌های نسبتاً زیاد سولفات، کلسیم و منیزیم در آب زیرزمینی دشت می‌تواند حاکی از آن باشد که فرآیند ددولومیتی شدن از

عوامل خارج شدن کلسیم از حالت محلول است. به این صورت که منیزیم از دولومیت خارج شده و با وارد شدن کلسیم، کلسیت متبلور می‌شود. جدول ۲ نشان می‌دهد که تأثیر این فرآیند در حدود ۲۵ درصد از منابع آب دشت محتمل است. این فرآیند از سه واکنش انحلال ژپس، دولومیت و رسوب‌گذاری کلسیت تشکیل شده است (Hanshaw و Back, ۱۹۷۹). در صورت حاکم بودن این فرآیند در آبخوان سرچاهان، کلسیت به حالت اشباع و فوق اشباع و کانی‌های ژپس و دولومیت به صورت تحت اشباع خواهند بود. بررسی شاخص اشباع کانی‌های فوق در آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که وضعیت متفاوتی در محدوده حاکم است. براساس جدول ۳ بیش‌تر منابع آب دشت از نظر کلسیت و دولومیت به حالت فوق اشباع بوده، شرایط تحت‌اشباع دولومیت فقط در دو مورد مشاهده شده است. لذا، فرآیند دولومیتی شدن در کنترل ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی دشت نمی‌تواند مؤثر باشد.

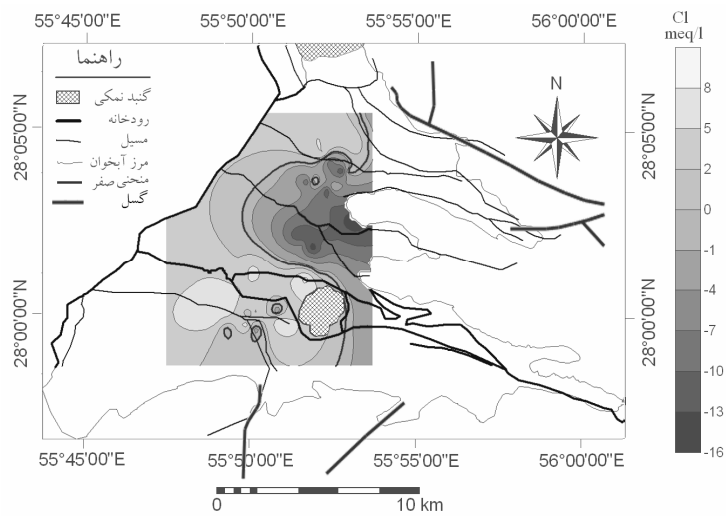
با توجه به ترکیب یونی آب زیرزمینی دشت و نیز با توجه به این مطلب که در مناطق خشک و نیمه‌خشک انواع نمک‌های کلروره و سولفات در خاک وجود دارد، می‌توان چنین فرض کرد که املاح آبخوان سرچاهان از منشأ انحلال‌هالیت و سولفات‌هایی مانند ژپس و احتمالاً کیززیت و به‌میزان بسیار کم تناردیت است. به‌طور کلی، در هر نقطه از دشت میزان تأثیر منابع مذکور، تعیین‌کننده آنیون غالب آب زیرزمینی است. به‌همین علت توسعه آب‌های سولفات در شرق دشت حاکی از گسترش مواد تبخیری سولفات به خصوص از منشأ سازند گچساران و مواد فرسایش یافته آن است.

شاخص‌های تفاضل یون‌های هم‌زاد: در این تحقیق، شاخص تفاضل یون‌های هم‌زاد به‌عنوان معیاری از عدم توازن بین غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های هم‌منشأ در نظر گرفته می‌شود و برای بررسی هم‌زمان توزیع مکانی فرضیات موجود در مورد منابع املاح مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌طور کلی، انحلال‌هالیت و کانی‌های سولفات ژپس و انیدریت به‌عنوان مهم‌ترین منابع املاح آبخوان سرچاهان در نظر گرفته می‌شوند. با توجه به کانی‌های مذکور و با در نظر گرفتن منشأ مشترک برای یون کلر با سدیم و یون سولفات با کلسیم و منیزیم، تفاضل‌های $Cl-Na$ و $SO_4-(Ca+Mg)$ به‌ترتیب به‌عنوان معیاری از منابع اضافی یون‌های سولفات و کلروره معرفی می‌شوند. در تفاضل یونی اول منظور از $(Ca+Mg)$ شامل انواع غیر کربناته می‌شود و به‌همین علت به‌میزان مجموع غلظت یون‌های کربنات و بی‌کربنات از مجموع فوق در هر نمونه کسر می‌شود. شکل‌های ۶ و ۷ توزیع مکانی معیارهای فوق را در محدوده مورد بررسی نشان می‌دهند. مناطق با غلظت بیش‌تر یون سدیم نسبت به کلر با منابع دارای یون سولفات بیش‌تر نسبت به مجموع کلسیم و منیزیم مطابقت بسیار خوبی را نشان می‌دهند.

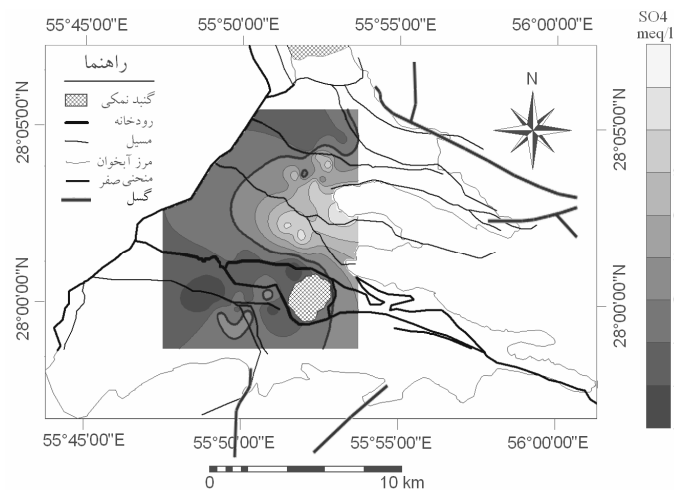
اصولاً اختلافات جزئی که در نقشه‌های فوق دیده می‌شود ناشی از خطای تحلیل شیمیایی نمونه‌ها است. گسترده‌ترین ناحیه فزونی یون سدیم در مقابل یون کلر و نیز یون سولفات در مقابل مجموع غلظت‌های غیر کربناته یون‌های کلسیم و منیزیم در شمال گنبد نمکی تل‌سرخ و مجاور رخنمون سازند آغاچاری مشاهده می‌شود. علاوه بر فرآیند نرم‌شدگی طبیعی، می‌توان با توجه به اقلیم تبخیری و گسترش طبقات تبخیری منبع دیگری متشکل از یون‌های سدیم و سولفات را در نظر گرفت. به‌عبارت دیگر در ابرفت این نواحی احتمال حضور کانی‌هایی وجود دارد که از انحلال آن‌ها سدیم و سولفات اضافی آب در ناحیه فوق تأمین می‌شود. در صورت صحت این فرض این کانی‌ها می‌توانند شامل تناردیت (Na_2SO_4) و میرابیلیت ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) باشند. بعد از حذف غلظت ناشی از خطای اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی با درون‌یابی تفاضلات یونی نمونه‌ها نقشه‌ای به‌دست می‌آید که منحنی هم‌ارزش صفر دو منطقه را مشخص می‌نماید. پیدایش این دو منطقه را می‌توان چنین توضیح داد که آبخوان در منطقه شرقی تحت‌تأثیر فرآیندهای نرم‌شدگی طبیعی و انحلال سولفات‌های سدیم‌دار قرار دارد ولی منطقه دیگر تحت‌تأثیر فرآیندهای نرم‌شدگی معکوس و انحلال کلروره‌های کلسیم و منیزیم‌دار است (شکل ۸).

لذا، علاوه بر روند کلی حاکم بر تغییرات کیفیت آب زیرزمینی (انحلال کانی‌های هالیت و سولفات‌های کلسیم و منیزیم)، فرآیندهای فرعی کنترل‌کننده غلظت یون‌های اصلی را نیز می‌بایستی مورد توجه قرار داد. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، علاوه بر تبادلات یونی، امکان گسترش سولفات‌های سدیم‌دار در نواحی بالادست دشت و کلروره‌های کلسیم و منیزیم‌دار در نواحی پایین دست وجود دارد. بر این اساس و با توجه شکل ۸ گسترش کانی‌های

سولفات سدیم در دشت سرچاهان بیش از هر چیزی با رخنمون‌های میشان، آغاچاری و محور تاقدیس زیر دشت در ارتباط است.



شکل ۶- نقشهٔ تفاضل غلظت سدیم از کلر بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر (زمستان ۱۳۷۷)

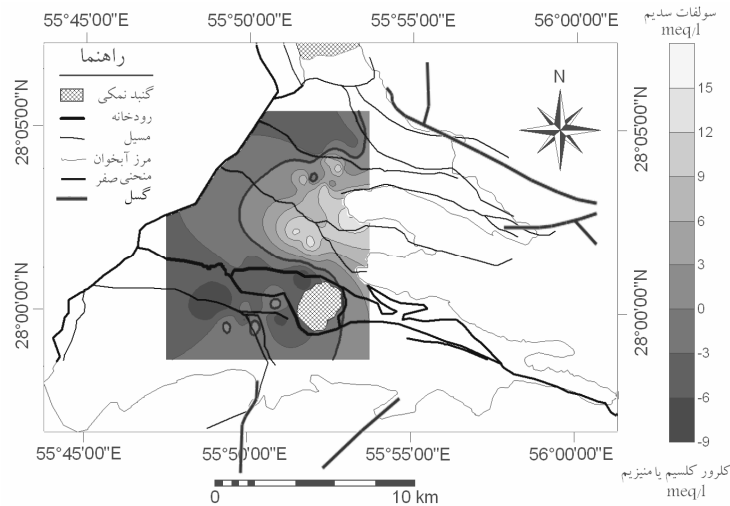


شکل ۷- نقشهٔ تفاضل مجموع غلظت‌های کلسیم و منیزیم از سولفات بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر (زمستان ۱۳۷۷)

در آبخوان دشت سرچاهان، آب‌هایی از نوع کلروره‌سدیک و سولفات منیزیک-کلسیک گسترش دارند. به‌علت اثر سازندهای گروه فارس که در قسمت‌های شرقی دشت رخنمون دارند، تیپ آب زیرزمینی دشت در این نواحی از نوع سولفات-کلروره است. از شرق به سمت غرب دشت، ترکیب شیمیایی آبخوان آبرفتی تغییرات زیادی دارد و تشکیل دهنده‌های شیمیایی تدریجاً به سمت پایین دست افزایش می‌یابند. قسمتی از این تغییرات تحت‌تأثیر تبادلات یونی شامل نرم‌شدگی طبیعی در شرق و نرم‌شدگی معکوس در غرب آبخوان روی می‌دهند.

به‌طور کلی، نسبت‌های یونی فرضیاتی را در مورد منشأ املاح مطرح نموده، نشانه‌هایی از عوامل مؤثر بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی ارائه می‌دهند. با استفاده از نسبت‌های یونی و با مد نظر قرار دادن وضعیت زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی منطقه می‌توان عوامل تأثیرگذار بر هیدروشیمی آب زیرزمینی را شناسایی نمود. براساس نسبت‌های یونی و زمین‌شناسی منطقه به احتمال قوی انحلال‌هالیت و نیز سولفات‌های مختلف شامل ژپس و کیزریت مهم‌ترین منابع املاح آبخوان سرچاهان هستند. با وجود این، احتمالاً مواد فرسایش‌یافته از منشأ گنبد‌های نمکی قدیمی نیز در آبرفت‌های منطقه وجود داشته باشد. این مواد بیش‌تر شامل فرومگن‌زین‌ها هستند و می‌توانند منشأ منیزیمی باشند که

دارای غلظت‌های قابل توجهی در آبخوان سرچاهان است. در عین حال در این آبخوان وقوع فرآیند دولومیتی شدن در افزایش غلظت منیزیم نسبت به کلسیم منتفی است. در این محدوده رودخانه پرعابدین موجب بهبود کیفیت آبخوان می‌شود ولی در مورد رودخانه شور وضعیت به عکس است و آب‌زیرزمینی دشت وارد این رودخانه می‌شود.



شکل ۸ - نقشه برآیند عوامل تفاضلی در محدوده مطالعاتی آبخوان سرچاهان (زمستان ۱۳۷۷)

علاوه بر نسبت‌های یونی، که توضیح دهنده عوامل اصلی مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی هستند، تفاضل یون‌های هم‌زاد نیز در بررسی عوامل فرعی حاکم بر کیفیت آب زیرزمینی دشت کمک شایانی نموده، به‌نوعی بیان‌گر محدوده تغییرات نسبت‌های یونی است. اقلیم خشک محدوده و وضعیت تفاضل یون‌های هم‌زاد می‌تواند نشان‌دهنده گسترش انواع دیگر تبخیری‌ها شامل سولفات‌های سدیم‌داری مانند تناردیت و کلورهای کلسیم و منیزیم‌دار در آبرفت دشت سرچاهان باشد.

منابع مورد استفاده

۱. بای‌بودی، م. ۱۳۶۵. اصول مهندسی زهکشی و به‌سازی خاک. انتشارات دانشگاه تهران، ۵۱۹ صفحه.
۲. تقوایی‌پور، ا. ۱۳۷۹. آنالیز آب. انتشارات دانشگاه اراک، ۳۲۳ صفحه.
3. Chebotarev, I.I. 1955. Metamorphism of natural waters in the crust of weathering, *Geochim, Cosmochim. Acta.*, 8:22-48.
4. Choopani, S. 2000. Groundwater Investigation in the Sarchahan Plain, Hormozgan, Iran, In the framework of the Sarchahn flood spreading evaluation. M.SC Thesis in Water Resources, ITC, The Netherland.
5. Gascoyne, M. 2004. Hydrogeochemistry, groundwater ages and sources of salts in a granitic batholith on the Canadian Shield, southeastern Manitoba. *Applied Geochemistry*, 19:519-560.
6. Gogel, T. 1981. Discharge of salt water from Permian rocks to major stream-aquifer system in Central Kansas: Kansas Geological Survey. The University of Kansas at Lawrence, Chemical quality series 9, 60 p.
7. Hanor, J.S. 1983. Fifty years of development of thought on the origin and evolution of subsurface sedimentary brines. In Boardman, S.J. (ed.), *Revolution in the earth sciences*, Dubuque, Kendall, pp. 99-111.
8. Hanshaw, B.B. and W. Back. 1979. Major geochemical processes in the evolution of carbonate aquifer systems. *Journal of Hydrology*, 43:87-312.
9. Harter, T. 2003. Groundwater sampling and monitoring, farm water quality planning series, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 7 p.
10. Hounslow, A.W. 1995. Water quality data analysis and interpretation, Oklahoma State University Stillwater, Oklahoma, Lewis Publishers, 397 p.
11. Jalali, M. 2004. Major ion chemistry of groundwaters in the Bahar area, Hamadan, western Iran. *Environmental Geology*, 47:763-772.

12. Land, L.S. 1987. The major ion chemistry of saline brines in sedimentary basins in Banaver, Am. Inst, Phys. Conf., 154:160-179.
13. Montoroi, J.P., O. Grunberger and S. Nasrib. 2002. Groundwater geochemistry of a small reservoir catchment in Central Tunisia. *Applied Geochemistry*, 17:1047-1060.
14. Morton, R.A. and L.S. Land. 1987. Regional variation in formation water chemistry, Frio Formation (Oligocene), Texas Gulf Coast. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 71(2):191-206.
15. Oklahoma water resources Board. 1975. Salt water detection in the Cimarron Terrace, Oklahoma: U. S. Environmental Protection Laboratory, Report EPA-660/3-74-033, 100 p.
16. Richter, B.C. and C.W. Kreitler. 1986. Geochemistry of salt-spring and shallow subsurface brines in the Rolling Plains of Texas: *Groundwater*, 24(6):735-742.
17. Richter, B.C. and C.W. Kreitler, 1993, Geochemical techniques for identifying sources of groundwater salinization. C.K. SMOLEY, 258 p.
18. Sasamoto, H., Y. Mikazu and C.A. Randolph. 2004. Hydrochemical characteristics and groundwater evolution modeling in sedimentary rocks of the Tono mine, Japan. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29:43-54.
19. Sauders, J.A. and L.E. Toran. 1994. Evidence for dedolomitization and mixing in paleozoic carbonates near Oak Ridge, Tennessee. *Ground Water*, 32(2):207-214.
20. Van der Weijden, C.H. and F.A.L. Pacheco. 2003. Hydrochemistry, weathering and weathering rates on Madeira island. *Journal of Hydrology*, 283:122-145.
21. Wood, W.W. and B.F. Jones. 1990. Origin of solutes in saline lakes and springs on the southern High Plains of Texas at Austin. *Bureau of Economic Geology*, pp. 193-208.

Investigating salt sources in Sarchahan aquifer in Hormozghan province using ion ratios

Hossein Hosseini Poor¹, Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Research Center, Hormozgan, Iran

Jafar Ghaioomeyan, Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Ahmad Reza Ghasemi, MSc, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Saeid Choopani, Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Research Center, Hormozgan, Iran

Received: 30 April 2009

Accepted: 04 October 2009

Abstract

Hydrologists have paid attention to identify the influential factors on underground water quality to examine the source of salts. In this research, hydrochemistry and the source of underground water salts in Sarchahan plain were examined using ion ratios and the difference between densities of ions of the same source. In a phase in 1998, 49 samples from the aquifer and 13 samples from the surface water of Sarchahan plain were provided. Then some ions with common mineralogy source namely twin ions were identified and the imbalance between them was considered as a sign of subsidiary factors and processes affecting Sarchahan aquifer quality. The examination of the relationship between twin ions with the help of ion differences of $Cl-Na$ and $So_4(ca+Mg)$ can provide the possibility of identifying the affected region from dissolution of compound such as Manesium in Sarchahan aquifer. Generally, the examination of ion ratios and the difference of twin ions show that the dissolution of Halite and Sulfate salts of alluvium can be the main factor of salinity of underground water in Sarchahan plain. Oppositely, Por Abedin river Causes improvement of Chemical quality of Sarchahan aquifer but Shoor River has no effect on Salinity increase of aquifer due to underground water drainage. Furthermore, natural softening processes and opposite softening affects the quality of this aquifer as well and by extending the salinity toward downstream areas the possibility of occurrence of opposite softening increases. The possibility of Dedolomitization in Sarchahan aquifer is out of question. Additionally, salt domes do not have a clear effect on salinity of underground water too.

Key words: Groundwater, Quality, Salinity, Salt dome, Twin ions

¹ hossainipour@yahoo.com