

بررسی ارتباط هیدرولیکی و اختلاط آب دریاچهی ارومیه با آبخوان ساحلی شبستر

صادق صابری مهر^{۱*}، اصغر اصغری مقدم^۲

چکیده

دشت ساحلی شبستر در استان آذربایجان شرقی، در شرق و شمال شرقی دریاچهی ارومیه واقع شده است. در چند سال اخیر به علت برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی از این دشت، تعداد زیادی از چاههای آبکشی منطقه شور شده است. به علت نزدیکی این سفره به دریاچهی نمکی ارومیه، دریاچه مزبور مهمترین عامل شور کننده این آبخوان ساحلی متصور می‌گردد. همچنین، نهشته‌های رسی و نمکی، که در قسمتهای انتهایی دشت واقع شده اند مظنون مهم دیگری برای آلوده کردن دشت به حساب می‌آید. از آنجاییکه جنس سنگ کف این آبخوان از نهشته‌های رسی و آهک‌رسی است، بالآمدگی آب شور عامل سومی است که به عنوان منبع آلاینده فرض می‌گردد. لاگ‌های حفاری بین این سفره و ساحل دریاچه ارومیه نشان می‌دهد که تا عمق ۷۰ متری جنس نهشته‌های از نوع نفوذناپذیر، و عمدتاً رسی، سیلتی و آهک‌رسی است. لذا به نظر می‌رسد که در این محدوده هرگونه پیوستگی هیدرولیکی بین این سفره و دریاچه ارومیه عملاً وجود نداشته است. جهت مشخص نمودن منشاء شوری دشت، عملیات نمونه برداری آب با توزیع مناسب در تابستان سال ۱۳۹۳ از آبخوان مزبور انجام گردید. با تحلیل نمونه‌ها مشخص گردید که ۳۶ درصد از گونه نمونه‌ها کلروره و در تقسیم‌بندی، در گروه آبهای لب شور قرار گرفته‌اند. نسبت وزنی Na/Cl و Cl/Br در شورابه‌های حاصله از آب دریا به ترتیب برابر ۳۰۰ و ۰/۵۵ است. با نشانه‌گذاری نمونه‌ها بر روی نمودارهای مربوطه، مشخص گردید که منبع اصلی شور کننده آبخوان دشت شبستر؛ آب دریاست. دریاچه ارومیه در اواخر پلیوسن با ترکیبی نزدیک به آب دریا تا تبریز و صوفیان گسترش داشته است. به نظر می‌رسد، شوری آبخوان، شورابه‌های حاصل از آب دریاچه ارومیه است که در قسمتهای انتهایی دشت زمانیکه دریاچه بیشترین وسعت خود را داشته ذخیره شده است. و اینک این شورابه‌ها به علت مخروط افتهایی موضعی، که در نتیجه چاه‌های آبکشی در دشت ایجاد شده‌اند به سمت مرکز آن و چاه‌های کشاورزی جریان می‌یابد. علاوه بر این، برای تعیین اختلاط آب دریا و آب شیرین نمایه اختلاط آب دریا (SMI) پیشنهاد شده است که این نمایه بر مبنای غلظت چهار یون کلر، سدیم، منیزیم و سولفات است. ۳۶ درصد از نمونه‌های این دشت دارای SMI بزرگتر از یک می‌باشند، و احتمال می‌رود که تحت تاثیر اختلاط آب دریاچهی ارومیه قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: دشت ساحلی شبستر، دریاچهی ارومیه، شور شدن آب زیرزمینی، پیوستگی هیدرولیکی، SMI

^۱ دانشجوی دکتری گروه هیدروژئولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تلفن: ۰۹۱۷۳۲۹۳۹۶۴ Email:sadegh.saberi.mehr@gmail.com

^۲ استاد گروه هیدروژئولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

مقدمه

شوری آب زیرزمینی یکی از گسترده‌ترین صورت‌های آلودگی آب زیرزمینی، به‌ویژه در مناطق ساحلی است، که به‌صورت افزایش مواد جامد محلول آبهای زیرزمینی، و یونهای از قبیل سدیم، منیزیم، کلر و سولفات نمایان می‌یابد.

منابع مستعد شور کننده آب زیرزمینی متنوع می‌باشد، که شامل آبهای کهن، انحلال نمک، نفوذ آب شور، شورابه‌های نفتی و پساب‌های کشاورزی، خانگی و صنعتی می‌باشد. در بین این منابع نفوذ آب شور دریاها و دریاچه‌ها به درون آبهای شیرین آبخوانهای ساحلی بسیار متداول است، که در بسیاری از موارد نهایتاً منجر به متروکه شدن چاه‌های کشاورزی گردیده است. برای دستیابی به اثر نفوذ آب شور به آبخوان ساحلی و جلوگیری از پیشرفت جبهه آب شور، آشکار نمودن منبع اصلی آلاینده‌ی آب شیرین و دانستن شرایط هیدرولیکی و هیدروشیمیایی آبخوان آلوده شده، بسیار ضروری است.

نمونه‌برداری و تحلیل هیدروشیمیایی یکی از ابزارهای بسیار مفید برای نیل به عامل اصلی شور کننده‌ی سفره‌های حاوی آب شیرین است، که توسط بسیاری از محققان مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش غالباً غلظت مطلق و نسبی برخی از یونهای خاص از قبیل کلر، سدیم و بروماید مدنظر قرار گرفته‌اند.

منطقه‌ی مورد مطالعه و منابع شوری

آبخوان شبستر یک آبخوان ساحلی است که در ۶۰ کیلومتری غرب شهرستان تبریز، و در ساحل دریاچه روبه افول ارومیه قرار گرفته است. در دهه‌ی اخیر و به‌علت تکیه بیش از اندازه به آب زیرزمینی - تنها منبع اصلی تأمین کننده آب کشاورزی در منطقه - چاه‌های کشاورزی زیادی در منطقه شور شده‌اند. به‌علت استقرار دریاچه‌ی نمکی ارومیه در غرب و در مجاورت دشت شبستر، از آن به‌عنوان مهمترین منبع شوری در منطقه یاد می‌گردد. علاوه بر دریاچه‌ی ارومیه نهشته‌های کولابی انتهایی آبخوان دشت شبستر، که ترکیباتی عمدتاً از سیلت و رس، نمک و ژئیس دارا می‌باشند یکی دیگر از دلایل شوری آب زیرزمینی متصور می‌گردد. جنس سنگ کف آبخوان دشت شبستر از نهشته‌های آهک‌رسی و رسی است؛ لذا، پدیده‌ی بالا آمدگی آب شور نیز عامل دیگری است که می‌تواند به‌علت آبکشی

بی‌رویه چاه‌های کشاورزی منطقه را شور کرده باشد. بنابراین تحقیق حاضر بر آن است تا بتواند مهمترین منبع شور کننده‌ی آب زیرزمینی این دشت را جستجو کند.

زمین‌شناسی منطقه دشت شبستر از جهت شمال به میکاشیست‌های پرکامبرین (سازند کهر)، آهک‌های خاکستری تا سفید، شیل‌های میکادار، دولومیت، چرت (سازند باروت)، مارن قرمز، دیاباز، آمفیبولیت، تراس‌های رودخانه‌ای و نهشته‌های کنگلومرایی محدود شده است. جزئیات سنگ‌شناسی این سازندها بوسیله جیمز و وایند و اشتوکلین (James and Wynd 1965, Stöcklin 1971) شرح داده شده است. همچنین، این آبخوان از طرف جنوب به پهنه‌های رسی و نمکی و از طرف غرب و شمال غرب به شورزارها و دریاچه‌ی ارومیه متصل شده است (شکل ۱).

مواد و روش‌ها

در تابستان ۱۳۹۳، ۳۰ نمونه آب از دشت شبستر از چاه‌های کشاورزی و چشمه‌های منطقه برداشته شده و بلافاصله در آزمایشگاه دانشگاه تبریز؛ یونهای اصلی و برخی از یونهای فرعی مورد تحلیل شیمیایی قرار گرفته شد. هدایت الکتریکی و pH نمونه‌ها بلافاصله پس از برداشت نمونه در عملیات میدانی انجام گردید. شکل ۲ موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده را نشان می‌دهد.

ابتدا تلاش شده است تا نمونه‌ها دسته‌بندی و بر اساس مقدار TDS و غلظت کلراید آنها گروه‌بندی گردد. یکی از بهترین روش‌های گروه‌بندی آب‌های شور روشی است که به‌وسیله فریز و چری در سال ۱۹۷۹ میلادی ارائه شده است (Freeze and Cherry 1979). در این روش نمونه‌ها براساس مواد جامد محلولشان به چهار گروه تقسیم می‌شوند:

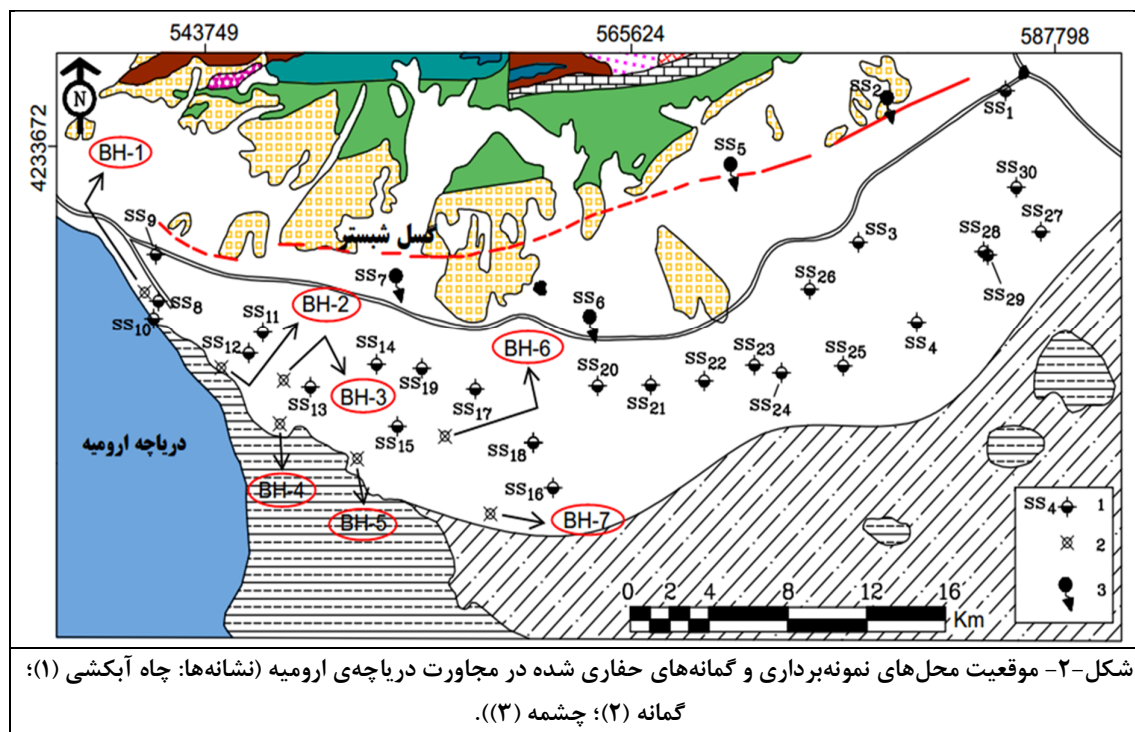
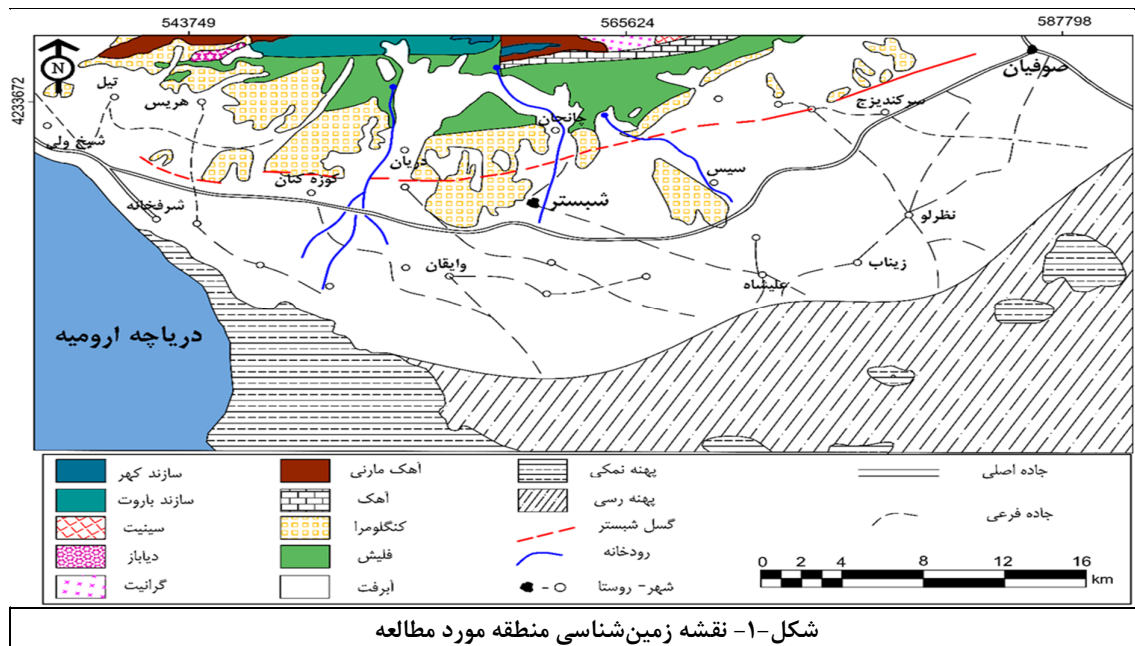
گروه اول: آبهای شیرین؛ که مواد جامد محلول آن کمتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر است.

گروه دوم: آبهای لب‌شور؛ که مواد جامد محلول آن بین ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر است.

گروه سوم: آبهای شور؛ که مواد جامد محلول آن بین ۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر است.

گروه چهارم: شورابه؛ که مواد جامد محلول آن بیشتر از ۱۰۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر است.

علاوه بر تقسیم‌بندی بالا روش دیگری بوسیله استویزند و استورمن ارائه شده است



گروه سوم: آب بسیار شور که مقدار کلراید آن به بیش از ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافته باشد. با توجه به تقسیم‌بندی‌های فوق‌الذکر همه نمونه‌های کلرویدی دشت شبستر در گروه نمونه‌های آب لب شور قرار گرفته‌اند. لذا، همان‌طور که قبلاً ذکر گردید، هدف اول این

(and Stuurman 1994; Stuyfzand) که این روش مبتنی بر مقدار کلراید محلول است: گروه اول: آب لب شور بطوریکه مقدار کلراید محلول آن بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد. گروه دوم: آب شور بصورتیکه مقدار کلراید آن بین ۱۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد.

نسبت‌های یونی برای پی بردن به منبع اصلی آلاینده، زمانیکه منابع مختلفی برای شور کردن آب زیرزمینی متصور می‌گردد استفاده می‌شود (Kreitler 1993).

همچنین، لئونارد و وارد در میان محققان اولین کسانی بودند، که از نسبت سدیم به کلراید برای تشخیص شورابه-های منبعث شده از انحلال نمکی از شورابه‌های نفتی به کار بردند (Kreitler 1993, Leonard and Ward 1962). در شورابه‌های که از انحلال نمک حاصل شده‌اند نسبت وزنی سدیم به کلراید بین ۰/۶۳ تا ۰/۶۵ تغییر می‌نماید در حالی که در شورابه‌های نفتی و منتهج از آب دریا این مقدار کمتر از ۰/۶۵ و به ترتیب برابر با ۰/۶ و ۰/۵۵ است (Kreitler 1993). قابل ذکر است که محققان زیادی از این نسبت برای تعیین منشأ آب‌های شور استفاده نموده‌اند (Zarei et al. 2013, Bagheri et al. 2014, Custodio 1987).

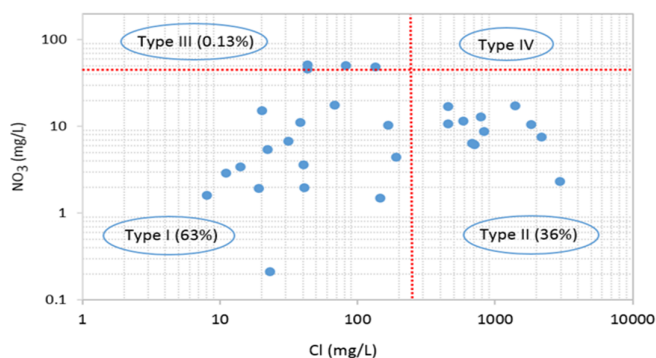
نسبت بروماید به کلراید می‌تواند روش هیدروشیمیایی مناسبی برای تشخیص اختلاط آب دریا و آب شیرین باشد. همان‌طور که قبلاً ذکر گردید کلر و بروماید ماهیت پایداری دارند (Fontes and Matray 1993) بر همین اساس، در این مطالعه نیز از نسبت بروماید به کلراید استفاده گردیده است. با پیاده کردن نمونه‌های شور بر روی نمودار ۵، این نمونه‌ها در امتداد و نزدیک خط آب دریا قرار گرفته‌اند، که نشان می‌دهد آب شور دریاچه، زمانیکه بیشترین وسعت خود را داشته و تا تبریز و صوفیان گسترش داشته (Kelts and Shahrabi 1986, Djamali et al. 2008, Hogan 2011) در بین نهشته‌های عمدتاً دانه ریز انتهایی دشت (immobile zone) به دام افتاده و در طی چند سال اخیر به دلیل مخروط افت‌هایی که در میانه-های دشت اتفاق می‌افتد به سمت چاه‌های کشاورزی جریان می‌یابد. علاوه بر این، اگر آب دریا به درون آب شیرین آبخوان نفوذ کرده باشد، آنگاه نسبت سدیم به کلراید آب‌های شور در امتداد خط مخلوط‌شدگی تغییر می‌نماید (Custodio 1987). در هر نمودار شکل ۵ نمونه‌های شور در امتداد و یا نزدیک خط مخلوط‌شدگی آب دریا قرار گرفته‌اند که به طور واضح اثر مخلوط‌شدگی یا اختلاط با آب دریا را منعکس می‌نماید. همچنین در زمان‌های گذشته ترکیب هیدروشیمیایی دریاچه ارومیه شبیه به آب دریا و از نوع سدیم-کلراید-سولفات بوده است.

مطالعه تعیین مهمترین منشأ آلاینده دشت شبستر به-وسیله‌ی روش‌های آماری و هیدروشیمیایی می‌باشد. با مقایسه داده‌های هیدروشیمیایی با معیارهای آب آشامیدنی (USEPA (United States Environmental Protection Agency) این نکته مشخص است که ۳۶ و ۰/۱۳ درصد از نمونه‌ها (گونه ۲ و ۳ در شکل ۳) به ترتیب از لحاظ مقدار کلراید و نیترات بیش از مقدار معیار می‌باشند؛ بنابراین، همان‌طور که مشخص است، تنها غلظت ۰/۱۳ درصد نمونه‌ها از لحاظ نیترات بیشتر از مقدار معیار است؛ در نتیجه، اثر فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب آبخوان تقریباً ناچیز می‌باشد.

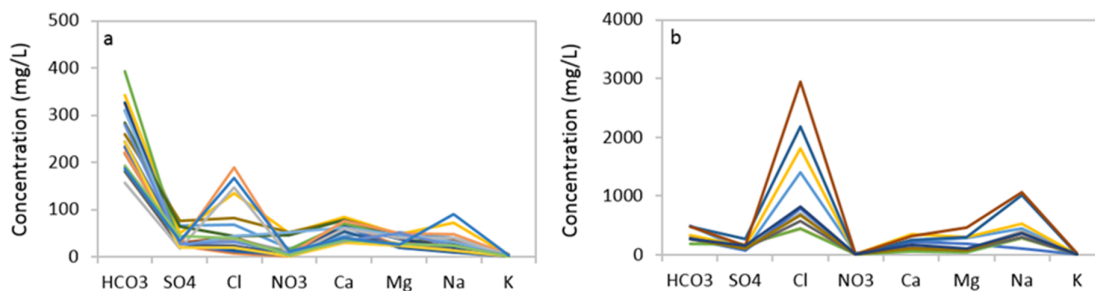
بحث و نتایج

با توجه به تحلیل شیمیایی نمونه‌ها؛ دو گونه آب کاملاً مشخص در منطقه مورد مطالعه وجود دارد که ۱۹ نمونه، داری گونه آب بی‌کربناته - کلسیک، و بقیه کلروره - سدیک می‌باشند (شکل ۴).

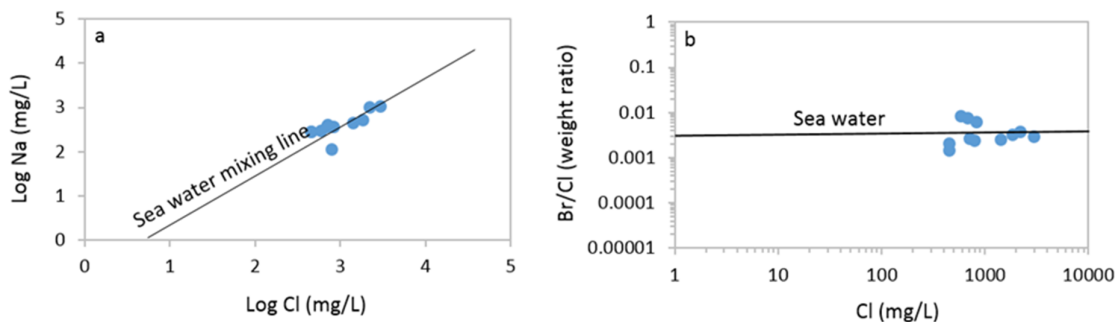
علاوه بر عناصر اصلی، یون بروماید نیز در همه نمونه-های آب مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. کلر و بروماید دو یون محلول در آب‌های طبیعی هستند که به جهت خصوصیات آبدوست بودنشان، و شعاع یونی کوچکی که دارند، ماهیت پایداری دارند. در دمای پایین هیچ‌کدام از این دو یون در واکنش‌های تبادل کاتیونی شرکت نکرده و به‌وسیله سطح نهشته‌ها جذب نمی‌شوند. این دو یون زمانی رسوب می‌کنند که تبخیر با حجم بسیار زیاد صورت گرفته باشد و هالیت شروع به نهشته شدن کرده باشد. بدین ترتیب، در آب‌های نه‌چندان شور خصوصیات فیزیکی مانند رقیق-شدگی، تبخیر، تعریق و اختلاط، که می‌توانند غلظت مطلق هر یون را تغییر دهند، نمی‌توانند نسبت کلر به بروماید را بطور قابل ملاحظه‌ای دگرگون کنند؛ لذا، از این نسبت به-عنوان یکی از بهترین نشانگرهای نفوذ آب شور دریا به درون آب‌های شیرین آبخوان‌های ساحلی استفاده می‌شود (Alcalá and Custodio 2008, Kharroubi et al. 2012, Fontes and Matray 1993). نسبت وزنی کلر به بروماید، زمانی که نفوذ آب شور دریا به آبخوان‌های شیرین ساحلی اتفاق افتاده است، عددی نزدیک به ۳۰۰ است، که همین نسبت زمانیکه منشأ اصلی آب شور از گنبدها و پهنه‌های نمکی است، عددی در حدود ۲۰۰۰ می‌باشد؛ لذا، از این



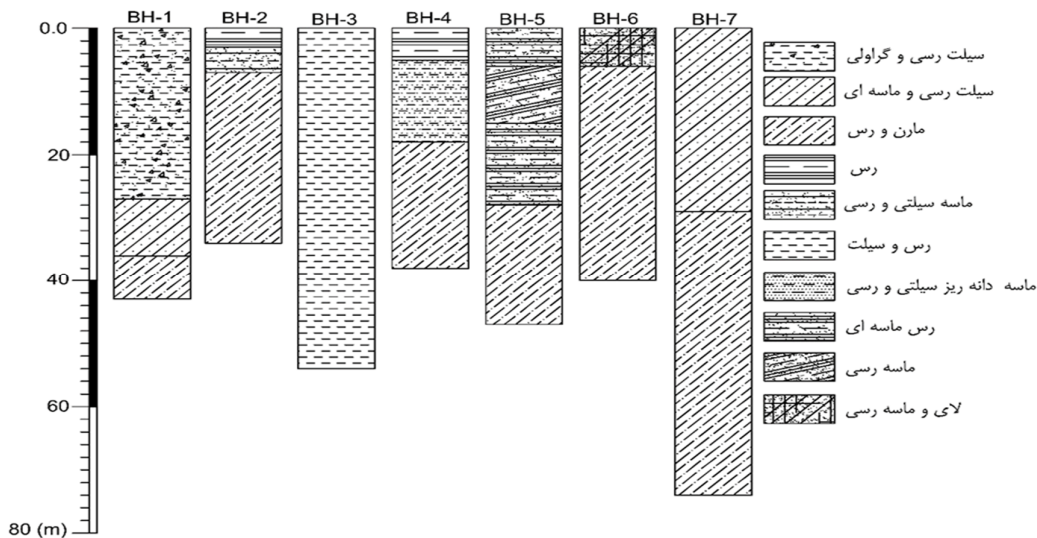
شکل-۳- گروه‌بندی نمونه‌ها بر اساس مقدار غلظت کلراید و نیترات



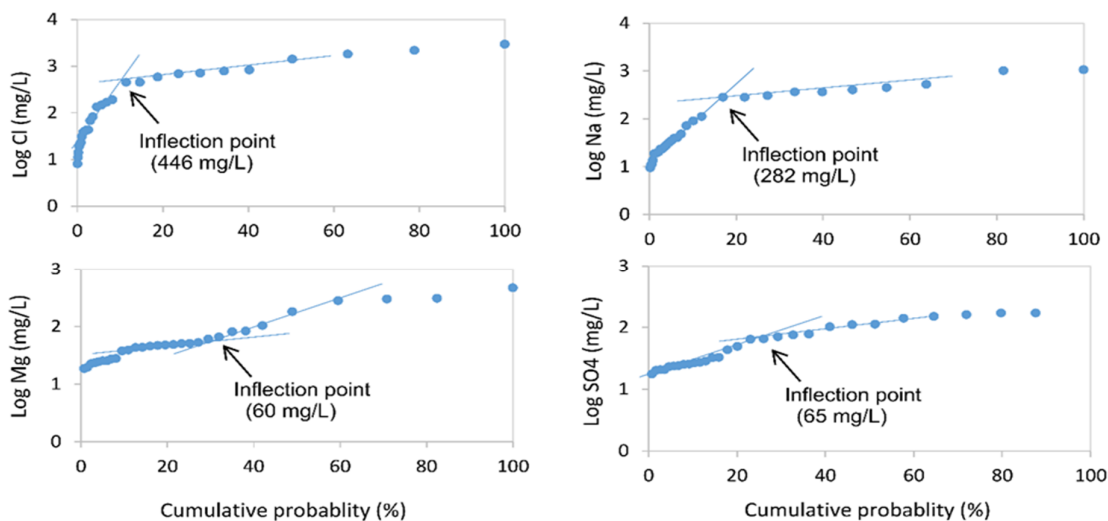
شکل-۴- غلظت عناصر اصلی در نمونه‌های مختلف آب منطقه



شکل-۵- مقدار غلظت سدیم و نسبت وزنی برم به کلر نمونه‌های شور در برابر غلظت کلراید



شکل-۶- لاگ گمانه‌های حفاری شده در مجاورت دریاچه ارومیه



شکل ۷- غلظت کلر، سدیم، منیزیم و سولفات در برابر احتمال تجمع‌ی نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه

نمایه اختلاط آب شیرین و آب دریا (Seawater Mixing Index (SMI):

برای نشان دادن اختلاط بین آب شور دریا و شیرین آبخوان دشت شبستر؛ از این نمایه نیز استفاده شده است. این نمایه یک روش بسیار مناسب برای تخمین کمی درجه نسبی مخلوط شدگی آب شور دریا و آب شیرین بحساب می‌آید که بر اساس غلظت چهار یون اصلی آب دریا یعنی کلر، سدیم، منیزیم و سولفات بنا شده است (Park et al. 2005):

$$SMI = a \times \frac{C_{Na}}{T_{Na}} + b \times \frac{C_{Mg}}{T_{Mg}} + c \times \frac{C_{Cl}}{T_{Cl}} + d \times \frac{C_{SO4}}{T_{SO4}} \quad (1)$$

a,b,c,d مقدار ثابتی هستند که سهم نسبی یون سدیم، منیزیم، کلر و سولفات را در آب دریا را نشان می‌دهد و بترتیب برابر با ۰/۳۱، ۰/۰۴، ۰/۵۷ و ۰/۰۸ می‌باشند. C غلظت محاسبه شده هر یون در نمونه‌ها بر حسب میلی‌گرم در لیتر می‌باشد و T نشانگر مقدار آستانه هر یون بحساب می‌آید که در شکل ۷ طبقه برآورد آن ارائه شده است. اگر SMI بزرگتر از یک باشد نشان‌دهنده این نکته است که آب شور مدنظر با آب دریا دچار میکسنگ و یا اختلاط شده است. مقدار SMI برای هر نمونه‌ها محاسبه و در جدول ۱ ارائه شده است. تنها مقدار SMI نمونه‌های گونه ۲ بزرگتر از یک می‌باشند که اختلاط را با آب دریا نشان می‌دهند.

(Eugster and Hardie 1978, Kelts and Shahrabi 1986).

آبخوان دشت شبستر در قسمتهای انتهایی به دو آبخوان محبوس و آزاد تقسیم شده است. آبخوان محبوس عمدتاً دارای کیفیت مطلوبی می‌باشد و لذا upconing (بالآمدگی آب شور) نمی‌تواند بعنوان منبع شوری قلمداد گردد چرا که در غیر اینصورت آنگاه بایستی آبخوان محبوس آلوده و شور می‌گردید.

برای مشخص نمودن پیوستگی هیدرولیکی بین آبخوان دشت شبستر و دریاچه ارومیه هفت گمانه بین این آبخوان و دریاچه حفر شده است که موقعیت و لاگ این گمانه‌ها به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۶ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود لاگ این گمانه‌ها از سطح زمین تا عمق ۷۰ متری عمدتاً از نهشته‌های نفوذناپذیر رسی، سیلتی و آهک‌رسی تشکیل شده است. چاه‌های کشاورزی که در سمت غربی آبخوان شبستر، و در کنار دریاچه ارومیه و در مجاورت همین گمانه‌ها حفاری شده‌اند عمدتاً کیفیت مطلوبی را دارند. بنابراین، به‌نظر می‌رسد، که مهمترین عامل، یعنی هدایت هیدرولیکی که وجود آن برای حرکت مستقیم و نفوذ آب شور از دریاچه به درون آب شیرین آبخوان الزامیست، عملاً در این محدوده وجود ندارد. بنابراین، آبهای شور با منشاء دریایی که در انتهای این دشت و در بین نهشته‌ها به دام افتاده بدلیل آبکشی بی‌رویه و مخروط‌افتهای منتهجه؛ به صورت موضعی به سمت چاه‌های کشاورزی و مرکز دشت جریان می‌یابد.

جدول-۱- محاسبه نمایه اختلاط آب دریاچه ارومیه و آب شیرین دشت شبستر
(غلظت یون ها بر حسب میلی گرم بر لیتر می باشد).

Sample No.	SO ₄	SMI _{SO4}	Cl	SMI _{Cl}	Na	SMI _{Na}	Mg	SMI _{Mg}	SMI _{Total}
Ss1	64.91	0.08	67.98	0.09	40.20	0.04	52.49	0.03	0.25
Ss2	22.99	0.03	8.00	0.01	19.02	0.02	24.30	0.02	0.08
Ss3	20.49	0.03	37.99	0.05	18.72	0.02	25.27	0.02	0.11
Ss4	48.94	0.06	133.96	0.17	71.41	0.08	48.54	0.03	0.34
Ss5	25.47	0.03	11.00	0.01	10.88	0.01	18.47	0.01	0.07
Ss6	24.95	0.03	19.99	0.03	11.17	0.01	42.77	0.03	0.10
Ss7	31.97	0.04	14.00	0.02	9.55	0.01	19.44	0.01	0.08
Ss11	28.48	0.04	40.99	0.05	34.90	0.04	27.22	0.02	0.14
Ss12	23.49	0.03	22.99	0.03	20.41	0.02	23.33	0.02	0.10
Ss13	74.89	0.09	81.97	0.10	25.31	0.03	46.66	0.03	0.26
Ss14	20.49	0.03	21.99	0.03	19.53	0.02	37.35	0.02	0.10
Ss15	63.91	0.08	42.99	0.05	28.08	0.03	43.18	0.03	0.19
Ss16	23.99	0.03	42.99	0.05	31.83	0.03	45.49	0.03	0.15
Ss19	26.98	0.03	189.94	0.24	48.34	0.05	50.54	0.03	0.36
Ss23	17.50	0.02	145.95	0.19	39.03	0.04	38.88	0.03	0.28
Ss24	20.00	0.02	18.99	0.02	13.52	0.01	22.36	0.01	0.08
Ss25	26.48	0.03	30.99	0.04	23.22	0.03	50.26	0.03	0.13
Ss26	42.95	0.05	39.99	0.05	23.48	0.03	27.66	0.02	0.15
Ss29	32.47	0.04	166.98	0.21	90.93	0.10	25.27	0.02	0.37
Ss8	69.90	0.09	1399.57	1.79	450.25	0.49	280.04	0.19	2.56
Ss9	169.71	0.21	449.86	0.57	283.89	0.31	60.26	0.04	1.14
Ss10	109.83	0.14	704.78	0.90	401.88	0.44	82.62	0.06	1.53
Ss17	139.77	0.17	1809.50	2.31	527.15	0.58	297.96	0.20	3.26
Ss18	77.39	0.10	784.76	1.00	111.65	0.12	180.76	0.12	1.34
Ss20	169.71	0.21	449.86	0.57	283.89	0.31	47.63	0.03	1.13
Ss21	269.62	0.33	2174.33	2.78	1019.87	1.12	305.98	0.20	4.44
Ss22	159.73	0.20	2949.09	3.77	1061.27	1.17	463.76	0.31	5.44
Ss27	102.34	0.13	579.82	0.74	303.71	0.33	65.12	0.04	1.24
Ss28	112.32	0.14	679.79	0.87	363.02	0.40	80.68	0.05	1.46
Ss30	149.75	0.18	824.74	1.05	363.02	0.40	103.03	0.07	1.71

نتیجه گیری

نسبت برم به کلراید و سدیم به کلراید نشان داد که انحلال پهنه های نمکی انتهایی دشت نمی تواند منشاء اصلی کلراید محلول در قسمت های مختلف آبخوان دشت شبستر باشد. با توجه به اینکه آبخوان آزاد نسبت به آبخوان محبوس دارای کیفیت بسیار مطلوبتری است بنابراین upconing نیز عامل اصلی آلودگی در دشت شبستر نمی باشد. لاگ گمانه های حفاری شده مابین این دشت و دریاچه ارومیه نشان می دهد که در قسمت های انتهایی دشت سنگ شناسی آبخوان عمدتاً از نهشته های نفوذناپذیر تشکیل شده است، که دلیلی است بر اینکه پیوستگی هیدرولیکی بین این آبخوان ساحلی و دریاچه شور ارومیه احتمالاً در هیچ بازه ی زمانی وجود نداشته است. دریاچه ارومیه در زمان پلیو-پلیستوسن بر روی

پهنه های رسی و نمکی فعلی جنوب دشت (شکل ۱)، تا تبریز و صوفیان گسترش داشته است. با کاهش حجم آب ورودی به دریاچه و shrinkage شدن آن، آب دریاچه با ترکیبی نزدیک به ترکیب آب دریا بین نهشته های انتهایی دشت به دام افتاده است. جهت جریان آب زیرزمینی در گذشته از بالادست و ارتفاعات شمالی به سمت قسمت های انتهایی دشت و دریاچه ی ارومیه بوده است. اما در طی چند سال گذشته، به دلیل آبکشی نامحدود آب زیرزمینی، شیب هیدرولیکی به صورت موضعی تغییر یافته و آب های شور قسمت های انتهایی دشت به سمت مرکز دشت و چاه های آبکشی جریان یافته اند.

منابع

- northwestern Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 54(1), 105-130.
- 15) Djamali, M., de Beaulieu, J.-L., Shah-hosseini, M., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Amini, A., Akhiani, H., Leroy, S.A., Stevens, L. and Lahijani, H. (2008) A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, NW Iran. *Quaternary Research* 69(3), 413-420.
- 16) Hogan, C.M. (2011) Lake Urmia. Eds. P. Saundry & CJ Cleveland. *Encyclopedia of Earth*. National Council for Science and the Environment. Washington DC.
- 17) Park, S.-C., Yun, S.-T., Chae, G.-T., Yoo, I.-S., Shin, K.-S., Heo, C.-H. and Lee, S.-K. (2005) Regional hydrochemical study on salinization of coastal aquifers, western coastal area of South Korea. *Journal of Hydrology* 313(3), 182-194.
- 1) James, G. and Wynd, J. (1965) Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. *AAPG bulletin* 49(12), 2182-2245.
- 2) Stöcklin, J. (1971) *Stratigraphic Lexicon of Iran: Central, North and East Iran*, Geological Survey of Iran.
- 3) Freeze, R.A. and Cherry, J. (1979) *Groundwater*, 604 pp, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- 4) Stuyfzand, P. and Stuurman, R.J. (1994) Recognition and genesis of various brackish to hypersaline groundwaters in The Netherlands, pp. 125-136, University of Cagliari Sardinia.
- 5) Alcalá, F.J. and Custodio, E. (2008) Using the Cl/Br ratio as a tracer to identify the origin of salinity in aquifers in Spain and Portugal. *Journal of Hydrology* 359(1), 189-207.
- 6) Kharroubi, A., Tlahigue, F., Agoubi, B., Azri, C. and Bouri, S. (2012) Hydrochemical and statistical studies of the groundwater salinization in Mediterranean arid zones: case of the Jerba coastal aquifer in southeast Tunisia. *Environmental Earth Sciences* 67(7), 2089-2100.
- 7) Fontes, J.C. and Matray, J. (1993) Geochemistry and origin of formation brines from the Paris Basin, France: 1. Brines associated with Triassic salts. *Chemical Geology* 109(1), 149-175.
- 8) Kreitler, C.W. (1993) *Geochemical techniques for identifying sources of ground-water salinization*, CRC press.
- 9) Leonard, A. and Ward, P. (1962) Use of Na/Cl ratios to distinguish oil-field from salt-spring brines in western Oklahoma. *Geol Survey Research* 1962, 126-127.
- 10) Zarei, M., Raeisi, E., Merkel, B.J. and Kummer, N.-A. (2013) Identifying sources of salinization using hydrochemical and isotopic techniques, Konarsiah, Iran. *Environmental Earth Sciences* 70(2), 587-604.
- 11) Bagheri, R., Nadri, A., Raeisi, E., Kazemi, G., Eggenkamp, H. and Montaseri, A. (2014) Origin of brine in the Kangan gasfield: isotopic and hydrogeochemical approaches. *Environmental Earth Sciences* 72(4), 1055-1072.
- 12) Custodio, E. (1987) Hydrogeochemistry and tracers. *Ground-water problems in coastal areas. Studies and reports in hydrology* (45), 213-269.
- 13) Eugster, H.P. and Hardie, L.A. (1978) *Lakes*, pp. 237-293, Springer.
- 14) Kelts, K. and Shahrabi, M. (1986) Holocene sedimentology of hypersaline Lake Urmia,