

بررسی تاثیر گسل شمال تبریز بر ویژگی‌های کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی مجاور در شرق تبریز

حسین رجب پور^۱، عبدالرضا واعظی هیر^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی گروه علوم زمین دانشگاه تبریز

۲. دانشیار گروه علوم زمین دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۱۱

چکیده

بر اساس نتایج این مطالعه، گسل شمال تبریز به‌عنوان ساختار تکتونیکی برجسته در شمال غرب ایران تاثیر زیادی بر شرایط هیدروژئولوژیک آبخوان محلی منطقه داشته است. بر اساس بررسی‌های هیدرواستراتیگرافی لاگ چاه‌های منطقه، از تجمع توف‌های تراوا، آبخوان غیر محبوس تشکیل شده و در کل منطقه به صورت مستقیم بر روی مارن قرمز رنگ میوسن (سنگ کف)، قرار گرفته است. سنگ کف بخش شمالی آبخوان در تراز بالاتر از سنگ کف بخش جنوبی قرار گرفته و می‌تواند دلیلی بر وجود حرکت شیب‌لغز معکوس گسل در این منطقه باشد که در اثر آن، بخش شمالی (فرادیواره) بر روی بخش جنوبی (فرودیواره) لغزیده است. اختلاف تراز سنگ کف در فاصله‌ای نسبتاً کم (کمتر از ۲۰۰ متر)، می‌تواند نشانه‌ای بر شیب نزدیک به قائم برای گسل باشد. مجموع عمق چاه‌های بخش جنوبی، چهار برابر بخش شمالی و مجموع آبدهی سالانه چاه‌های بخش جنوبی در حدود هشت برابر بخش شمالی است. همچنین، اختلاف بین تراز سطح آب زیرزمینی طرفین گسل در برخی مقاطع در فاصله‌ای حدود ۲۰۰ متر به بیش از هشت متر بالغ می‌شود. نتایج ارزیابی تغییرات کلر و EC، نشانه وجود تغییرات شدید کیفی آب زیرزمینی در عرض زون گسلی است. نتایج حاصله می‌تواند نشانه‌ای بر رفتار مانع وار گسل در مقابل جریان از عرض آن در این منطقه باشد. بررسی سختی کل و غلظت یون‌های موجود در آب‌های منطقه نشان می‌دهد که اکثر نمونه‌های بخش شمالی جهت مصارف شرب مناسب نمی‌باشند ولی نمونه‌های بخش جنوبی جهت شرب مناسب می‌باشند. در حالی که تمامی نمونه‌های بخش شمالی دارای ضریب لائزلیه منفی (خورنده) می‌باشد. تمامی نمونه‌های بخش جنوبی دارای ضریب لائزلیه مثبت خیلی نزدیک به صفر است و حاکی از متعادل بودن این آب‌ها می‌باشد. این با واقعیت منطقه نیز تطابق کامل دارد چرا که اکثر صنایع موجود در منطقه در بخش جنوبی گسل متمرکز شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: هیدروژئولوژی زون گسلی، آب زیرزمینی، گسل شمال تبریز، ساختار آبخوان.

مقدمه^۱

تغییر دهند. گسل‌ها همچنین می‌توانند بر نحوه توزیع منابع طبیعی همچون آب‌های زیرزمینی تأثیرگذار باشند (Rawling and Goodwin 2003).

فرآیندهای تکتونیکی مخصوصاً گسل‌ها و شکستگی‌ها، در ابعاد کمی و کیفی فرآیندهای هیدروژئولوژیکی نقش

گسل‌ها در پوسته‌ی زمین در مقیاس‌های مختلفی تشکیل می‌شوند. عملکرد گسل‌ها، ترتیب قرارگیری واحدهای سنگی را برهم‌زده و مسائل پیچیده‌ای را به وجود می‌آورد. گسل‌ها می‌توانند توپوگرافی سطح زمین را

* نویسنده مرتبط: vaezihir@yahoo.com

صحرائی حاکی از رفتار مجرای پهنه خردشده در مقابل جریان آب زیرزمینی و به موازات سطح گسل می‌باشد در حالی که هسته گسل (به‌ویژه گسل‌های معکوس) به‌عنوان پهنه‌ای با کمترین میزان تراوایی، همانند سدی نفوذناپذیر در مقابل جریان آب زیرزمینی عمود بر سطح گسل رفتار می‌نمایند (Chester and Logan 1986; Caine et al., 1996).

گسل‌ها بسته به نوع‌شان تأثیرات متفاوتی بر شرایط هیدروژئولوژیک آبخوان‌ها دارند. گسل‌هایی که ساز و کار کششی داشته باشند، قابلیت بیشتری نیز جهت هدایت آب دارند و برعکس، گسل‌های دارای ساز و کار فشارشی، مسیرهای مناسبی برای جریان و انتقال آب‌های زیرزمینی نیستند. گسل‌های نرمال در اثر کشش ایجاد شده‌اند، در نتیجه این امکان وجود دارد که به میزان چند سانتی‌متر بازشدگی نشان دهند. هر چند این بازشدگی‌ها به مرور زمان ممکن است در اثر کلسیت ثانویه و یا پرش گسلی پر شوند. گسل‌های معکوس و گسل‌های امتدادلغز در اثر نیروهای فشارشی ایجاد شده‌اند و می‌توانند به صورت نفوذناپذیر عمل نمایند (Goldscheider, 2008).

در مطالعات هیدروژئولوژیک پهنه‌های گسلی، شکل پروفیل بار هیدرولیکی که ممکن است حالت پله‌ای یا انحنای را در شیب هیدرولیکی نشان دهد می‌تواند جهت استنباط جهت و میزان جریان آب زیرزمینی و ارائه‌ی شاخصی از رفتار هیدروژئولوژیک پهنه گسلی به صورت مانع یا مجرای بکار رود (Haneberg, 1995; Bense and person, 2008; Anderson and Bakker, 2006). هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی در کنار مشاهدات بار هیدرولیکی می‌تواند مسیر جریان آب زیرزمینی را در پهنه گسلی مشخص کند (Bethke and Johnson, 2008; Leray et al., 2012).

با توجه به مطالب فوق، مطالعه و بررسی فرآیندها و ساختارهای تکنیکی در مطالعات هیدروژئولوژیک از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف اصلی این مطالعه، تعیین ویژگی‌ها و رفتار هیدروژئولوژیک گسل شمالی تبریز، تغییرات کیفیت و کمیت آب زیرزمینی در دو سوی آن، تاثیر حضور گسل بر منابع آب زیرزمینی مجاور آن و در نهایت تأثیر آن بر پراکنش و تمرکز فعالیت‌های انسانی وابسته به منابع آبی متاثر و همجوار آن است.

اساسی و مهمی را ایفا می‌کنند. درز و شکاف‌های ایجاد شده در زمین بر اثر گسلش، موجب نفوذ بهتر آب‌های روان و یا آب‌های جوی ناشی از بارش و در نتیجه غنی شدن منابع آب زیرزمینی می‌شوند. گسل‌ها گاهی موجب تغییر مسیر رودها، ایجاد آبراهه‌ها (مثلاً گسلش یک سفره آبدار محبوس سبب برداشته شدن فشار و حرکت آب به سمت سطح و جاری شدن آن می‌شود)، پدید آمدن چشمه‌های مختلف و ایجاد اشکال هیدروژئولوژیکی گوناگونی می‌شوند (White, 1988, Milanovic 1988).

زون‌های گسلی در پوسته‌ی کم‌عمق (کمتر از یک کیلومتر)، به صورت شبکه‌بندی زمین، فرآیندهای زمین‌شناسی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Bense et al., 2013). گسل‌ها، الگوی جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌ها را متأثر می‌نمایند (Burbey, 2008; Folch and Mas-Pla, 2008) و تراوایی سنگ‌ها را که عامل مهمی در جابجایی آب‌های زیرزمینی است، تحت تأثیر قرار می‌دهند (Geraud et al., 2006).

اثر ویژه‌ی گسل‌ها بر جریان آب زیرزمینی در محیط‌های زمین‌شناسی گوناگون، پیچیده و متنوع است و اغلب با وجود اهمیت فهم چگونگی جریان سیال در پیرامون زون‌های گسلی در اعماق کم پوسته‌ی زمین، به‌خوبی درک نشده است (Mayer et al., 2007; Bense et al., 2013).

نخستین منطقه از زون‌های گسلی، شامل هسته‌ی گسل می‌شود که به‌وسیله‌ی زون خردشده (Damage Zone) احاطه شده است. هسته‌ی گسل، به‌عنوان پهنه شدیدترین تنش، در مرکز پهنه گسلی حضور دارد و با بیشترین جابجایی در پهنه گسل همراه است. پهنه خرد شده، شامل ساختارهای ثانویه از قبیل شکستگی‌ها، گسل‌های فرعی کشیده شده درون فرودبواره و فرادبواره می‌شود که باقیمانده‌ی واکنش درون پهنه گسلی هستند. پروتولیت، به مواد زمین‌شناسی تغییر شکل نیافته‌ی پیرامون پهنه گسلی اطلاق می‌شود (Bense et al., 2013).

آزمایش‌های صحرائی و آزمایشگاهی متعدد نشان داده است که پهنه خرد شده، دارای تراوایی بیشتری از هسته گسل و پروتولیت است و تراوایی در هر زون شدیداً آنیزوتروپ می‌باشد (Forster and Evans, 1991). همچنین، برخی آزمایش‌های

آبخوان از روی لاگ زمین‌شناسی ۵۱ حلقه چاه محفوره فعال در آن، مورد بررسی و تفسیر قرار گرفتند. شکل ۲، موقعیت و پراکندگی این چاه‌ها در منطقه را نشان می‌دهد. اطلاعات حاصله، جهت انطباق واحدهای زمین‌شناسی و شناسایی ساختار آبخوان بکار گرفته شدند. همچنین، در فروردین ماه سال ۱۳۹۳، تراز سطح آب‌زیرزمینی در چاه‌های یاد شده برای رسم الگوی بار هیدرولیکی در طرفین گسل اندازه‌گیری شده و به صورت هم‌زمان، نمونه‌های آب زیرزمینی از این چاه‌ها برای آنالیز آزمایشگاهی جمع‌آوری شدند. مقادیر هدایت الکتریکی نمونه‌های آب (EC) و pH در صحرا و هم‌زمان با نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند. نتایج آنالیزهای صحرایی و آزمایشگاهی برای تهیه نمودارهای مناسب جهت آشکارسازی تاثیر گسل بر آبخوان مجاور بکار گرفته شد. در نهایت رفتار هیدروژئولوژیک گسل در مقابل جریان آب‌زیرزمینی محلی، تغییرات کیفی آب‌زیرزمینی در دو سوی آن و تاثیر آن بر پراکندگی و عمق و میزان آبدی سالانه چاه‌ها و صنایع وابسته به آب آنها در منطقه حاصل و تحلیل شد.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

وضعیت زمین‌شناسی امروز ایران عمدتاً حاصل حرکات صفحات عربی و اوراسیا در اواخر دوره کرتاسه و اوایل دوره پالئوژن می‌باشد (Djamour et al., 2011). منطقه شمال غرب ایران، بخشی از سیستم تکتونیکی پیچیده‌ای است که حاصل تداخل صفحات عربی، آناتولی و اوراسیا می‌باشد و دربرگیرنده سیستم پیچیده‌ای از گسل‌ها است (Sengore et al., 2005; Jackson, 1992). بخشی از گسل شمال تبریز در منطقه مورد مطالعه واقع شده است که متعلق به سیستم گسلی با مقیاس ناحیه‌ای بوده و سیستم گسلی آناتولی در ترکیه را به رشته کوه‌های البرز در ایران متصل می‌کند. گسل یاد شده، محل تلاقی حرکات رو به شمال صفحه عربی و حرکات رو به غرب صفحه آناتولی نسبت به صفحه اوراسیا می‌باشد (Moradi et al., 2011). گسل شمال تبریز، ساختار تکتونیکی برجسته‌ای در شمال غرب ایران محسوب می‌شود که با مکانیزم امتدادلغز راستگرد در مجاورت و شمال شهر تبریز واقع شده است

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران و در مجاورت کلانشهر تبریز واقع شده است (شکل ۱). این منطقه در شرق تبریز قرار گرفته و با میانگین بارش سالانه ۲۹۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۱ درجه سلسیوس، بر اساس اقلیم نمای آمبرژه (Emberger, 1955) دارای اقلیم سرد خشک می‌باشد. این منطقه فاقد رودخانه و جریان‌های سطحی دائمی یا فصلی بوده و آبخوان محلی آن، تنها منبع تامین آب می‌باشد.

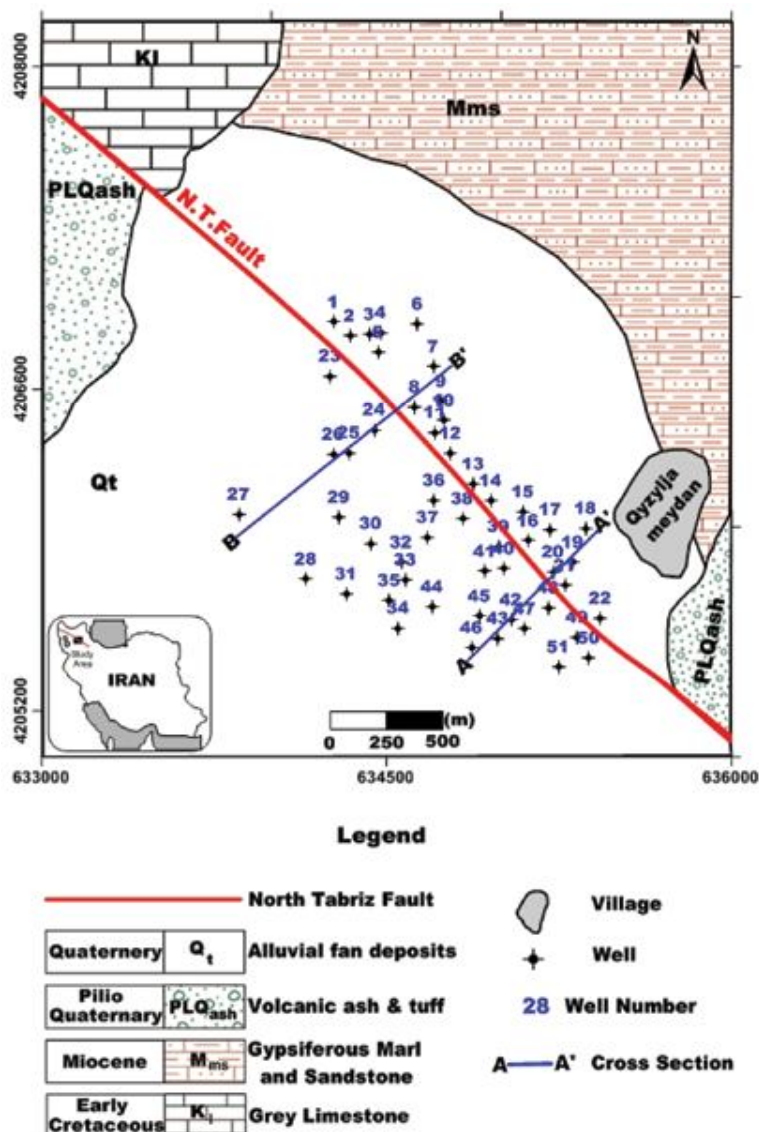


شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و گسل شمال تبریز در استان آذربایجان شرقی و ایران

روش مطالعه

برای بررسی تاثیر زون گسلی بر ویژگی‌های آبخوان و رفتار هیدروژئولوژیک این زون‌ها، شواهد صحرایی ساختاری و هیدروژئولوژیک مورد نیاز است. شواهد ساختاری شامل بررسی جابجایی سنگ کف آبخوان و لایه‌های آبدار و نیز تغییرات ضخامت پهنه اشباع در طرفین پهنه گسلی می‌باشد. شواهد هیدروژئولوژیک، بررسی الگو و تغییرات بار هیدرولیکی و نیز تغییرات احتمالی در خصوصیات هیدروشیمیایی آب زیرزمینی در طرفین پهنه گسلی را شامل می‌شود. بدین منظور و جهت بررسی تاثیر گسل شمال تبریز بر آبخوان محلی مجاور آن در این منطقه، ساختار زمین‌شناسی و ویژگی‌های هیدرواستراتیگرافی لایه‌های

(شکل ۱). این گسل با امتداد شمال غرب-جنوب شرق با طولی بالغ بر ۱۵۰ کیلومتر از شهر صوفیان در شمال غرب تا شهر بستان آباد در جنوب شرق امتداد یافته و شیب صفحه آن نزدیک به قائم می‌باشد (Vafaci et al., 2011).



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و خطواره گسل شمال تبریز

شکل‌گیری وضعیت زمین‌شناسی و سیمای مورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه نقش اساسی داشته‌اند.

بحث

موقعیت، عمق و آبدهی چاهها

همان‌گونه که در شکل ۲ نمایان است، چاه‌های منطقه اکثراً در مجاورت گسل و به موازات راستای آن پراکنده

زمین‌شناسی منطقه متشکل از واحدهای زیر است: مارن‌های قرمز رنگ ژیبس‌دار میوسن با میان لایه‌های ماسه سنگی در شمال و شرق منطقه، آهک‌های نازک لایه کرتاسه در شمال غرب، توف‌های دریاچه‌ای متعلق به ولکانیزم سهند در جنوب شرق و رسوبات آبرفتی عهد حاضر در بخش مرکزی و جنوبی منطقه. پدیده‌های زمین‌شناسی نظیر آتشفشان سهند و حرکات گسل شمال تبریز، در

بخش جنوبی گسل (فرودیواره) واقع شده‌اند که عمیق‌ترین آنها ۱۲۰ متر عمق دارد و میانگین عمق چاه‌ها در این بخش ۸۵/۰۳ متر می‌باشد (جدول ۱). عمق کم چاه‌ها در بخش شمالی می‌تواند به حرکات شیب لغز گسل شمال تبریز نسبت داده شوند.

شده‌اند. کلیه چاه‌ها تا برخورد به سنگ کف آبخوان (مارن قرمز میوسن) حفاری شده‌اند. از ۵۱ حلقه چاه حفر شده، ۲۲ حلقه در بخش شمالی گسل (فرادیواره) واقع‌اند که عمیق‌ترین آنها ۳۷ متر عمق دارد و میانگین عمق چاه‌های این بخش ۲۹/۳۱ متر می‌باشد. ۲۹ حلقه چاه باقیمانده در

جدول ۱. حداکثر، حداقل و میانگین عوامل کمی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه (فروردین ماه ۱۳۹۳)

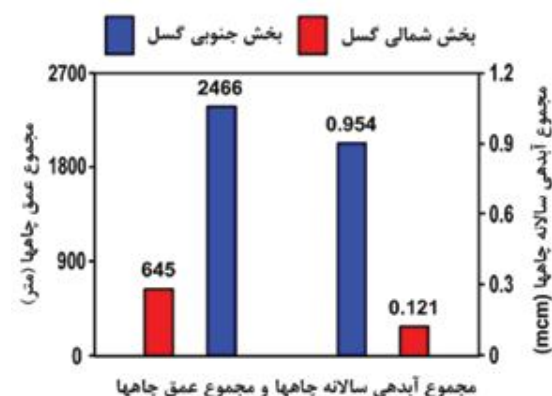
بخش جنوبی گسل			بخش شمالی گسل			پارامترها
میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	
۸۵/۳	۴۸	۱۲۰	۲۹/۳۱	۲۰	۳۷	عمق چاه (متر)
۱۸۳۰/۰۷	۱۸۲۵/۲۷	۱۸۳۲/۵۷	۱۸۳۵/۸۷	۱۸۳۲/۹۳	۱۸۳۸/۸۳	تراز آب زیرزمینی (متر)
۳۲۸۹۶	۱۳۰۰۰	۱۰۲۰۰۰	۵۵۰۰	۱۸۰۰	۷۴۰۰	آبدهی سالانه (متر مکعب بر سال)

ساختار آبخوان

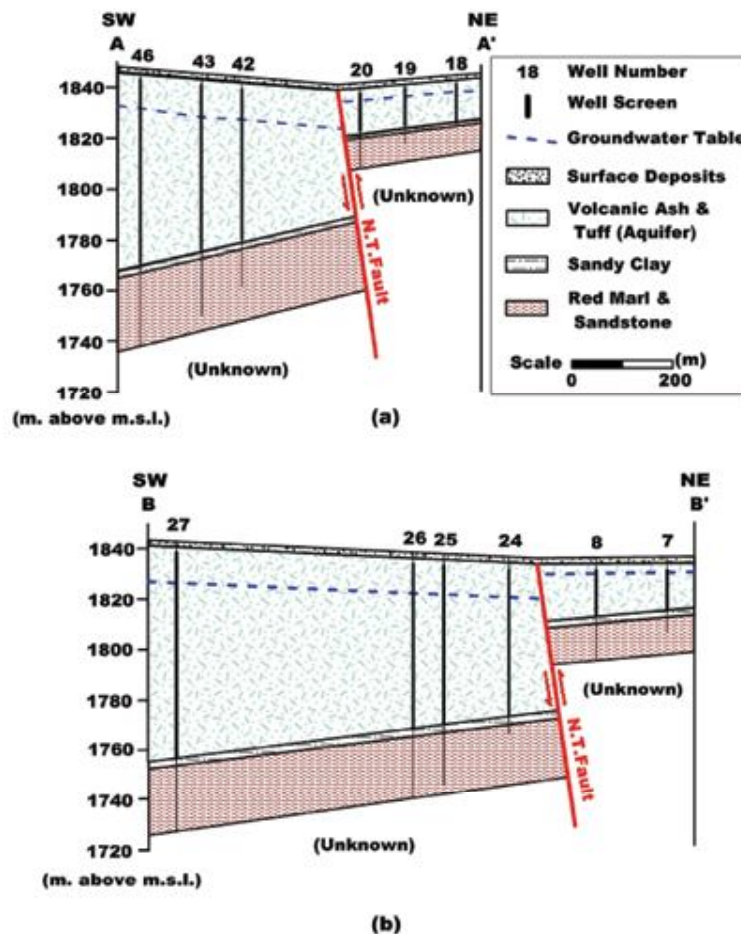
بررسی لاگ چاه‌های منطقه نشان‌دهنده تغییرات وسیع در ویژگی‌های هیدرواستراتیگرافی آبخوان می‌باشد. در تمامی چاه‌های واقع در هر دو بخش شمالی و جنوبی گسل، پس از لایه‌های توف آبدار، لایه‌ای به ضخامت حدود دو متر از جنس رس ماسه‌دار سیاه رنگ وجود دارد که درست بر روی سنگ کف مارنی واقع شده‌است. همان‌گونه که در مقاطع عرضی رسم شده در شکل ۴ قابل رویت است، سنگ کف آبخوان در هر دو بخش جنوبی و شمالی دارای شیب به سمت جنوب غرب است که می‌تواند دلیل افزایش ضخامت اشباع آبخوان در بخش جنوبی باشد.

همان‌گونه که در مقاطع عرضی رسم شده قابل مشاهده است، سنگ کف بخش شمالی آبخوان در تراز بالاتر از سنگ کف بخش جنوبی قرار گرفته و ضخامت اشباع بخش شمالی بسیار کمتر از بخش جنوبی است. این می‌تواند نشان‌دهنده حرکت شیب لغز معکوس گسل شمال تبریز در این منطقه باشد که در اثر آن، بخش شمالی (فرادیواره) بر روی بخش جنوبی (فرودیواره) لغزیده است. تغییر قابل توجه تراز سنگ کف آبخوان در فاصله‌ای نسبتاً کم (کمتر از ۲۰۰ متر)، می‌تواند نشانه‌ای بر شیب نزدیک به قائم برای گسل در این منطقه باشد. مطالعه ویژگی‌های هیدرواستراتیگرافی لاگ چاه‌ها نشان‌دهنده غیر محبوس بودن لایه آبدار منطقه می‌باشد که از تجمع توف‌های تراوا تشکیل یافته است و در کل منطقه به صورت مستقیم بر روی مارن میوسن قرمز رنگ قرار گرفته است.

مجموع عمق چاه‌های منطقه برای بخش جنوبی و شمالی گسل به ترتیب ۲۴۶۶ و ۶۴۵ متر می‌باشد که نشان‌دهنده تفاوت فاحش و چهار برابری مجموع عمق چاه‌های بخش جنوبی نسبت به بخش شمالی گسل است (شکل ۳). مجموع آبدهی سالانه چاه‌های واقع در بخش جنوبی ۰/۹۵۴ میلیون متر مکعب و برای چاه‌های بخش شمالی ۰/۱۲۱ میلیون متر مکعب می‌باشد. مجموع آبدهی سالانه چاه‌های بخش جنوبی در حدود هشت برابر مجموع آبدهی چاه‌های بخش شمالی است. با توجه به اینکه تمامی چاه‌های منطقه شامل چاه‌های واقع در بخش شمالی و جنوبی، در مجاورت گسل و تا شعاع ۵۰۰ متری آن تمرکز یافته‌اند نشان‌دهنده تغییرات زیاد در خصوصیات هیدروژئولوژیک طرفین گسل و در فاصله‌ای نسبتاً کم می‌باشد.

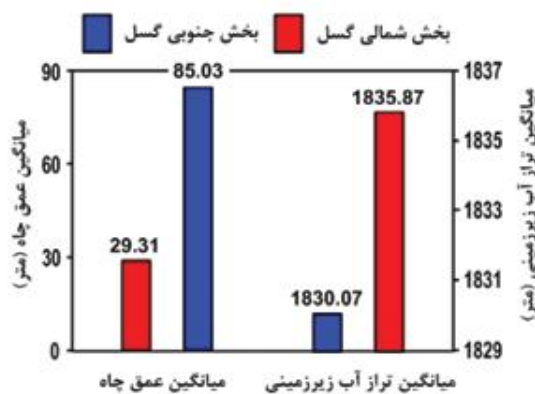


شکل ۳. مجموع آبدهی سالانه (میلیون متر مکعب) و مجموع عمق چاه‌ها برای بخش‌های شمالی و جنوبی گسل



شکل ۴. مقاطع عرضی از واحدهای زمین‌شناسی منطقه (در مسیرهای AA' و BB' شکل ۲)

زیرزمینی در طرفین گسل موید آن است.



شکل ۵. میانگین تراز سطح آب زیرزمینی و عمق چاه‌ها برای بخش‌های شمالی و جنوبی گسل

منحنی‌های هم‌میزان تراز سطح آب زیرزمینی در فروردین ماه ۱۳۹۳ برای طرفین گسل به صورت جداگانه رسم شد که الگوی حاصله نشان داد، در هر دو بخش شمالی و جنوبی

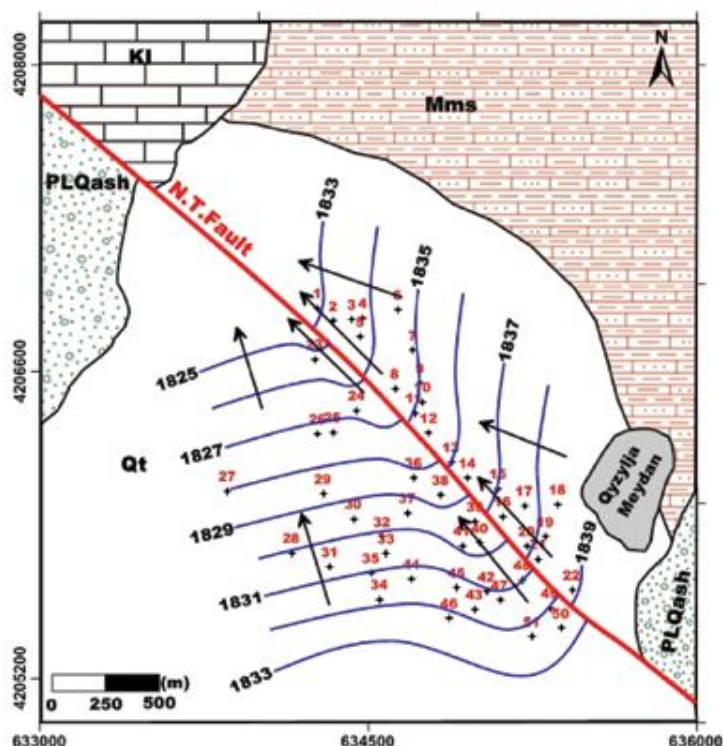
تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان در طرفین گسل

تراز سطح آب زیرزمینی در کلیه چاه‌های منطقه، در فروردین ماه سال ۱۳۹۳ و در شرایط استاتیک اندازه‌گیری شد. سپس میانگین تراز سطح آب زیرزمینی برای طرفین گسل و با استفاده از آمار چاه‌های واقع در آن بخش محاسبه شد. شکل ۵، اختلاف بین میانگین تراز سطح آب زیرزمینی در بخش‌های شمالی و جنوبی گسل را به همراه تفاوت میانگین عمق چاه‌های این بخش‌ها نشان می‌دهد که اختلاف آشکار بین تراز سطح آب زیرزمینی طرفین گسل را نمایان می‌سازد. میانگین این اختلاف ۵/۸۰ متر می‌باشد که این اختلاف در برخی مقاطع به بیش از هشت متر نیز بالغ می‌شود (مقطع BB' شکل ۴). نتایج حاصله می‌تواند نشانه‌ای بر رفتار مانع وار گسل در مقابل جریان از عرض آن در این منطقه باشد که اختلاف فاحش تراز سطح آب

حسین رجب پور و همکاران

گسل، در حالتی نزدیک به عمود به روند گسل قرار دارد و روند کلی گرادیان هیدرولیکی و خطوط جریان آب زیرزمینی در هر دو بخش، از جنوب شرق به شمال غرب و در امتداد

و به موازات روند گسل می‌باشند (شکل ۶). این، می‌تواند نشانه‌ای بر رفتار مانع وار گسل در مقابل جریان آب زیرزمینی افقی از عرض گسل در این منطقه باشد.



شکل ۶. منحنی‌های هم میزان تراز سطح آب زیرزمینی که به صورت جداگانه برای بخش‌های جنوبی و شمالی گسل و با در نظر گرفتن حضور و موقعیت گسل رسم شده‌اند.

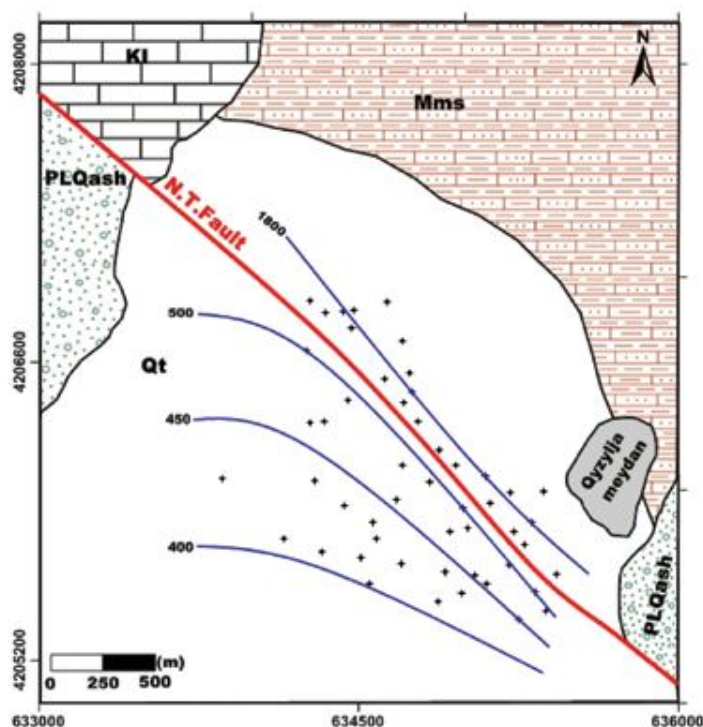
هیدروشیمی و کیفیت آب زیرزمینی

و میانگین مقدار آن $454 \mu\text{S/cm}$ می‌باشد. در شکل ۷، منحنی‌های هم ارزش مقادیر هدایت الکتریکی نمونه‌های آب زیرزمینی برای بخش‌های شمالی و جنوبی گسل به صورت مجزا و با استفاده از داده‌های همان بخش رسم شده‌است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود منحنی‌های هم ارزش، به موازات امتداد گسل قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده شیب زیاد تغییرات کیفی آب زیرزمینی در عرض پهنه گسلی می‌باشد.

ارزیابی هیدروشیمی و کیفیت آب زیرزمینی در طرفین پهنه‌های گسلی در مطالعات هیدروژئولوژی این پهنه‌ها ضروری و تعیین‌کننده رفتار گسل می‌باشد. براساس نتایج آنالیز نمونه‌ها (جدول ۲)، نمونه‌های آب زیرزمینی بخش شمالی گسل دارای مقادیر هدایت الکتریکی از $1805 \mu\text{S/cm}$ تا $1840 \mu\text{S/cm}$ و با میانگین مقدار $1816 \mu\text{S/cm}$ می‌باشند درحالی‌که مقادیر هدایت الکتریکی نمونه‌های بخش جنوبی از $403 \mu\text{S/cm}$ تا $517 \mu\text{S/cm}$ در تغییر بوده

جدول ۲. حداکثر، حداقل و میانگین عوامل کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه (فروردین ماه ۱۳۹۳)

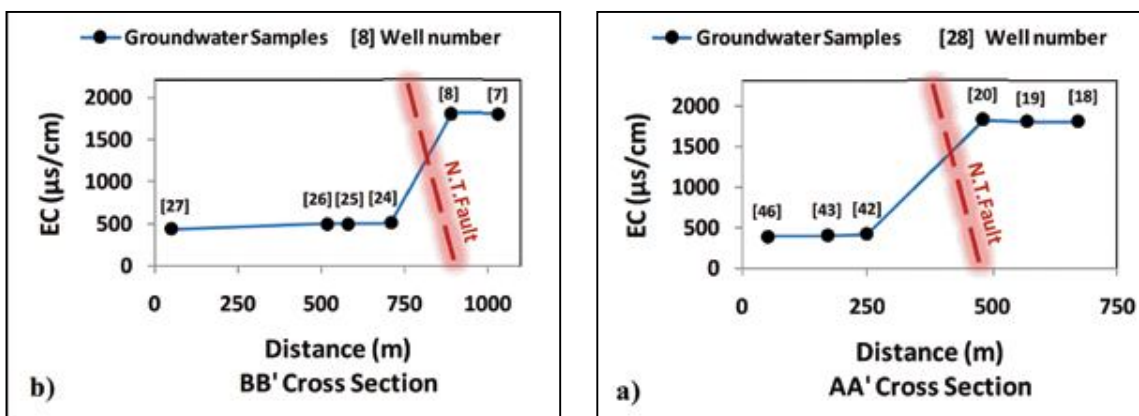
پارامترها	بخش شمالی گسل			بخش جنوبی گسل		
	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین
PH	۷/۳	۷/۱	۷/۲۶	۸/۲	۷/۹	۸/۰۲
EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	۱۸۴۰	۱۸۰۵	۱۸۱۶	۵۱۷	۴۰۳	۴۵۴
TDS (mg/l)	۱۳۴۳	۱۳۱۸	۱۳۲۶	۳۷۷	۲۹۴	۳۳۲
Ca ⁺⁺ (meq/l)	۸/۱۶	۸/۳۲	۸/۲۳	۲/۱	۲/۶۹	۲/۳۷
Mg ⁺⁺ (meq/l)	۲/۹۵	۳/۰۱	۲/۹۸	۰/۷	۱/۰۶	۰/۸۷
Na ⁺ (meq/l)	۶/۶۱	۶/۷۶	۶/۶۶	۱/۳	۱/۶۲	۱/۴۵
K ⁺ (meq/l)	۰/۲	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۱	۰/۱۴	۰/۱۲
Hco ₃ ⁻ (meq/l)	۵/۰۲	۵/۱۵	۵/۰۷	۲/۲	۲/۸۲	۲/۴۸
Co ₃ ⁻ (meq/l)	۰	۰	۰	۰/۴	۰/۵۱	۰/۴۶
Cl ⁻ (meq/l)	۵/۳۵	۵/۴۵	۵/۳۸	۰/۶	۰/۷۷	۰/۶۸
So ₄ ⁻ (meq/l)	۷/۵۸	۷/۷۶	۷/۶۴	۰/۹	۱/۷	۱/۲۸
TH (mg/l)	۵۶۸	۵۵۶	۵۶۰	۱۸۷	۱۴۰	۱۶۲



شکل ۷. منحنی‌های هم‌ارزش مقادیر هدایت الکتریکی آب‌زیرزمینی برای بخش‌های طرفین گسل (با لحاظ نمودن رفتار هیدروژئولوژیک گسل)

زیاد تغییرات کیفی آب‌زیرزمینی در عرض پهنه گسلی در این شکل نیز کاملاً مشهود است. نتایج حاصل از مقایسه شکل‌های ۷ و ۸ می‌تواند دلیل دیگری بر رفتار مانع وار پهنه گسلی در مقابل جریان آب‌زیرزمینی از عرض گسل باشد.

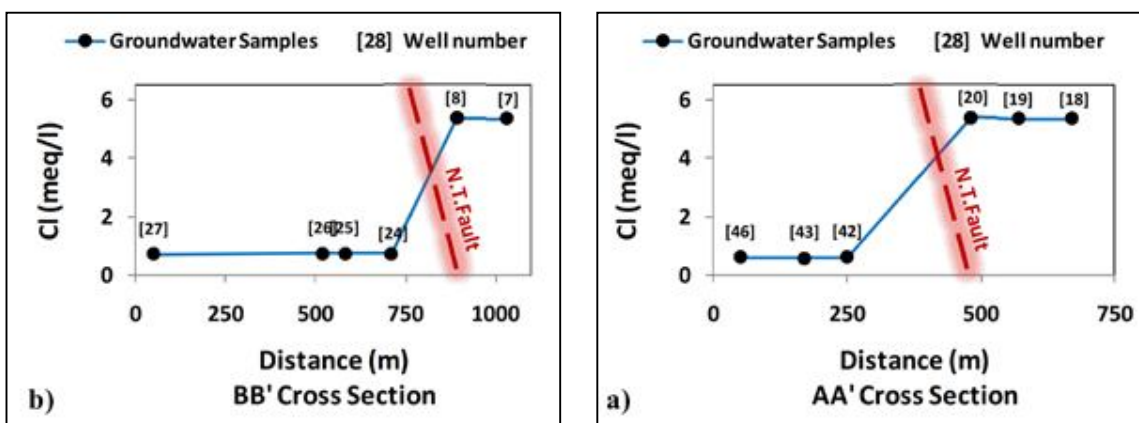
همچنین نمودار تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی ویژه نمونه‌های آب‌زیرزمینی در راستای مقاطع زمین‌شناسی AA' و BB' و با استفاده از داده‌های نمونه‌های مربوط به چاه‌های واقع در مسیر این مقاطع، در شکل ۸ رسم شده‌اند. شیب



شکل ۸. نمودار تغییرات مقادیر EC آب زیرزمینی در عرض گسل و در راستای مقاطع زمین‌شناسی AA' و BB'

مقاطع، رسم و در شکل ۹ ارائه شده است. شیب زیاد تغییرات کیفی آب زیرزمینی در عرض پهنه گسلی کاملاً آشکار است. نتایج حاصل از بررسی تغییرات مقادیر کلر در منطقه، نتایج حاصل از تغییرات مقادیر EC ارائه شده در شکل‌های ۷ و ۸ را مورد تأیید قرار داده و می‌تواند دلیل دیگری بر رفتار مانع وارزون گسلی در مقابل جریان آب زیرزمینی از عرض گسل باشد.

جهت حصول اطمینان از نتایج تغییرات کیفی آب زیرزمینی در منطقه، تغییرات مقادیر کلر (به‌عنوان عنصر Conservative) نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج آنالیز مقادیر کلر نمونه‌ها به صورت نمودار تغییرات مقادیر و در راستای مقاطع زمین‌شناسی AA' و BB' و با استفاده از داده‌های نمونه‌های مربوط به چاه‌های واقع در مسیر این



شکل ۹. نمودار تغییرات مقادیر کلر آب زیرزمینی در عرض گسل و در راستای مقاطع زمین‌شناسی AA' و BB'

جنوبی گسل مشهود می‌باشد که این می‌تواند به حضور واحدهای مارن ژئیس دار و ماسه سنگ میوسن در ارتفاعات بخش شمالی منطقه مورد مطالعه نسبت داده شود.

کیفیت آب برای مصارف مختلف

در این مطالعه به منظور بررسی تاثیر گسل شمال تبریز بر تغییرات مکانی کیفیت آب جهت مصارف شرب،

غلظت یون‌های محلول در آب زیرزمینی، معمولاً توسط لیتولوژی، ماهیت واکنش‌های هیدروژئوشیمیایی و یا به‌وسیله قابلیت انحلال کانی‌هایی که در مسیر جریان آب زیرزمینی قرار گرفته‌اند کنترل می‌شود. بر اساس نتایج حاصله از آنالیزهای کیفی ارائه شده در جدول ۲، مقادیر مازاد غلظت یون‌های محلول در آب زیرزمینی نمونه‌های بخش شمالی گسل نسبت به نمونه‌های بخش

نتایج حاصل از آنالیز فاکتورهای هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه با استانداردهای کیفیت آب شرب ارائه شده در کشور (استاندارد ۱۰۵۳ ایران) مقایسه شد.

جدول ۳. مقایسه غلظت برخی از یون‌های نمونه‌های آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه با استاندارد ملی برای مصارف شرب

پارامترها	مقدار مطلوب	بخش شمالی گسل		بخش جنوبی گسل	
		حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
PH	۷-۸/۵	۷/۱	۷/۳	۷/۹	۷/۹
TDS (mg/l)	۵۰۰	۱۳۱۸	۱۳۴۳	۲۹۴	۲۹۴
Ca ⁺⁺ (mg/l)	۷۵	۱۶۳/۲	۱۶۷/۱	۴۲	۴۲
Mg ⁺⁺ (mg/l)	۵۰	۳۵/۴	۳۶/۱	۸/۴	۸/۴
Na ⁺ (mg/l)	-	۱۵۲	۱۵۵/۵	۲۹/۹	۲۹/۹
Cl ⁻ (mg/l)	۲۰۰	۱۸۹/۹	۱۹۳/۴	۲۱/۳	۲۱/۳
So ₄ ⁻⁻ (mg/l)	۲۰۰	۳۶۳/۸	۳۷۲/۵	۴۳/۲	۴۳/۲
TH (mg/l)	۱۰۰	۵۵۶	۵۶۸	۱۴۰	۱۴۰

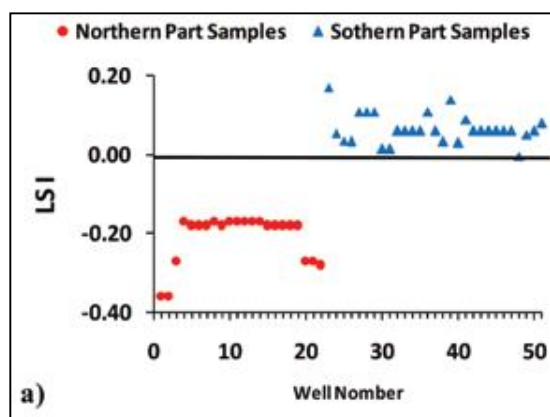
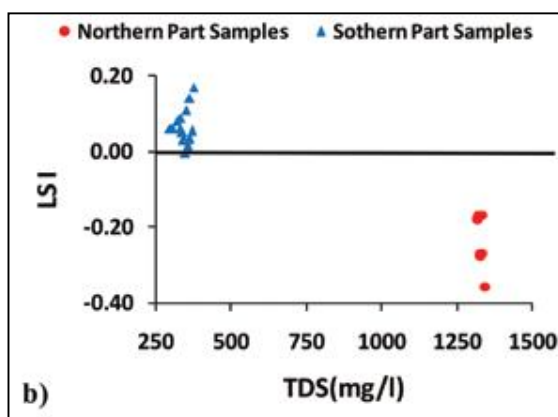
شمالی گسل دارای ضریب لانژلیه منفی است و میانگین مقدار ضریب لانژلیه برای نمونه‌های بخش شمالی گسل ۰/۲۱- می‌باشد که حاکی از خورنده بودن این آب‌ها می‌باشد. این در حالی است که تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی بخش جنوبی گسل دارای ضریب لانژلیه مثبت است و میانگین مقدار ضریب لانژلیه برای نمونه‌های این بخش گسل ۰/۰۷ می‌باشد که مقداری خیلی نزدیک به صفر است و حاکی از متعادل بودن این آب‌ها می‌باشد. تغییرات ضریب لانژلیه برای آب‌های زیرزمینی بر اساس شماره چاه و نیز مقدار TDS در شکل ۱۰ ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل ۱۰ a مشخص است نمونه‌های آب زیرزمینی متعلق به چاه شماره ۱ تا ۲۲ که مربوط به بخش شمالی گسل می‌باشند دارای ضریب منفی، و نمونه‌های متعلق به چاه شماره ۲۳ تا ۵۱ دارای ضریب مثبت نزدیک به خط صفر می‌باشند. شکل ۱۰ b، نشان‌دهنده تاثیر مقدار TDS بر مقادیر ضریب لانژلیه می‌باشد. نمونه‌های مربوط به بخش شمالی که دارای TDS بیشتری نسبت به بخش جنوبی هستند خاصیت خوردگی نشان می‌دهند در حالی که نمونه‌های بخش جنوبی حالت متعادل با کمی گرایش به پوسته‌گذاری را نشان می‌دهند. این با واقعیت منطقه نیز تطابق کامل دارد چرا که اکثر صنایع موجود در منطقه در بخش جنوبی گسل متمرکز شده‌اند و صنایعی هم که از دیر باز در بخش شمالی گسل

بررسی غلظت یون‌های موجود در ترکیب آب‌های منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که غلظت یون‌های موجود در اکثر نمونه‌های بخش شمالی گسل زیادتر از مقدار مطلوب می‌باشد (به‌استثنای منیزیم و کلر) و سختی کل نمونه‌های این بخش نیز، بالاتر از حداکثر مجاز می‌باشد. لذا آب‌های زیرزمینی بخش شمالی گسل برای مصارف شرب مناسب نمی‌باشند. نمونه‌های بخش جنوبی گسل دارای غلظت یونی در محدوده مقدار مطلوب است، لذا جهت مصارف شرب مناسب می‌باشند. لازم به ذکر است آب شرب تنها روستای واقع در منطقه مورد مطالعه (روستای قزلجه میدان) از منابع آب زیرزمینی واقع در بخش جنوبی گسل تامین می‌شود. به‌منظور تعیین کیفیت آب جهت مصارف صنعتی، ضریب لانژلیه (I_s) نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بر اساس رابطه $I_s = pH_m - pH_s$ محاسبه شد. در این رابطه، pH_m ، pH واقعی آب زیرزمینی و pH_s ، pH آب زیرزمینی در حالت اشباع از کربنات کلسیم می‌باشد. در این رابطه، چنانچه ضریب لانژلیه عددی مثبت (بزرگ‌تر از صفر) باشد آب تمایل به پوسته‌گذاری دارد. در شرایطی که ضریب لانژلیه عددی منفی (کوچک‌تر از صفر) باشد آب خورنده است و در حالتی آب متعادل خواهد بود که ضریب مذکور صفر باشد. با توجه به نتایج بررسی به‌عمل آمده که در جدول ۴ ارائه شده است تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی بخش

قرار گرفته‌اند آب مورد نیاز خود را از چاه‌های بخش جنوبی تامین می‌نمایند. آب چاه‌های واقع در بخش شمالی گسل، اغلب برای آبیاری فضای سبز یا مصارف بهداشتی صنایع موجود کاربرد دارد.

جدول ۴. پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از نظر قابلیت استفاده در مصارف صنعتی

پارامترها	بخش شمالی گسل			بخش جنوبی گسل		
	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل
PHm	۷/۳	۷/۲۶	۷/۱	۸/۲	۷/۲۶	۸/۰۲
TDS (mg/l)	۱۳۴۲	۱۳۲۶	۱۳۱۸	۳۷۷	۱۳۲۶	۳۳۲
PHs	۷/۴	۷/۴	۷/۴	۸/۲	۷/۴	۸/۱
LSI	-۰/۳۶	-۰/۱۷	-۰/۱۷	۰/۱۷	-۰/۲۱	۰/۰۷



شکل ۱۰. نمودار تغییرات ضریب لانه‌نویسی نمونه‌های آب‌زیرزمینی منطقه مورد مطالعه (a) بر اساس شماره چاه و (b) نسبت به میزان TDS

نتیجه‌گیری

فاصله‌ای نسبتاً کم (کمتر از ۲۰۰ متر)، می‌تواند نشانه‌ای بر شیب نزدیک به قائم برای گسل در این منطقه باشد. مطالعه تغییرات تراز سطح آب‌زیرزمینی در منطقه، حاکی از وجود اختلاف آشکار بین تراز سطح آب‌زیرزمینی طرفین گسل است. میانگین این اختلاف ۵/۸۰ متر می‌باشد که این اختلاف در برخی مقاطع به بیش از هشت متر نیز بالغ می‌شود. همچنین، بر اساس منحنی‌های هم‌میزان تراز سطح آب‌زیرزمینی حاصله برای فروردین ماه ۱۳۹۳، الگوی آنها در هر دو بخش شمالی و جنوبی گسل، در حالتی نزدیک به عمود به روند گسل قرار داشته و روند کلی گرادیان هیدرولیکی و خطوط جریان آب‌زیرزمینی در هر دو بخش، از جنوب شرق به شمال غرب و در امتداد و به موازات روند گسل می‌باشند. نتایج حاصله می‌تواند نشانه‌ای بر رفتار مانع وار گسل در مقابل جریان از عرض آن در این منطقه باشد.

طبق نتایج حاصل از این مطالعه، در منطقه مورد مطالعه، چاه‌های منطقه اکثراً در مجاورت گسل و به موازات راستای آن پراکنده شده‌اند. از ۵۱ حلقه چاه حفر شده، ۲۲ حلقه در بخش شمالی گسل (فرادیواره) واقع‌اند که میانگین عمق چاه‌های این بخش ۲۹/۳۱ متر می‌باشد. ۲۹ حلقه چاه باقیمانده در بخش جنوبی گسل (فرودیواره) واقع شده‌اند که میانگین عمق چاه‌ها در این بخش ۸۵/۰۳ متر می‌باشد. عمق کم چاه‌ها در بخش شمالی می‌تواند به حرکات شیب‌لغز گسل شمال تبریز نسبت داده شوند. مقایسه مجموع عمق چاه‌های منطقه نشان‌دهنده تفاوت فاحش و چهار برابری مجموع عمق چاه‌های بخش جنوبی نسبت به بخش شمالی گسل است. مجموع آبدهی سالانه چاه‌های واقع در بخش جنوبی در حدود هشت برابر مجموع آبدهی چاه‌های بخش شمالی است. تغییر شایان توجه تراز سنگ کف آبخوان در

قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از آقای مهندس جعفر ادراکی، کارشناس ارشد شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی به دلیل همکاری صمیمانه ایشان در مطالعات صحرایی قدردانی کنند.

منابع

- Anderson, E. and Bakker, M., 2008. Groundwater flow through anisotropic fault zones in multi-aquifer systems. *Water Resource Research*, 44, W11433.
- Bense, VF., Gleeson, T., Loveless, SE., Bour, O. and Scibek, J., 2013. Fault zone hydrogeology. *Earth Science Reviews*, 127, 171-192.
- Bethke, CM. and Johnson, TM., 2008. Groundwater age and groundwater age dating. *Annual Review Earth and Planetary Science Letters*, 36, 121-152.
- Burbey, T., 2008. The influence of geologic structures on deformation due to ground water withdrawal. *Ground Water*, 46, 202-211.
- Caine, JS., Evans, JP. and Forster, CB., 1996. Fault zone architecture and permeability structure. *Geology*, 24, 1025-1028.
- Chester, FM. and Logan, JM., 1986. Implications for mechanical properties of brittle faults from observations of the Punchbowl fault zone, California. *Pure Applied Geophysics*, 124, 80-106.
- Djamour, Y., Vernant, P., Nankali, HR. and Tavakoli, F., 2011. NW Iran-eastern Turkey present-day kinematics: Results from the Iranian permanent GPS network. *Earth and Planetary Science Letters*, 307, 27-34.
- Emberger, L., 1955. Une classification biogéographie que des climats. *Recueil des Travaux Laboratoire Botanique Faculté des Sciences*, 7, 3-43.

طبق نتایج حاصل از ارزیابی هیدروشیمی و کیفیت آب‌زیرزمینی در طرفین زون گسل شمال تبریز در این منطقه، منحنی‌های هم‌ارزش هدایت الکتریکی به موازات امتداد گسل قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده شیب زیاد تغییرات کیفی آب زیرزمینی و همچنین شیب زیاد تغییرات کیفی آب زیرزمینی در عرض پهنه گسلی است و می‌تواند دلیل دیگری بر رفتار مانع وار پهنه گسلی در مقابل جریان آب‌زیرزمینی از عرض گسل باشد. بر اساس نتایج حاصله از آنالیزهای هیدروشیمیایی نمونه‌ها، مقادیر مازاد غلظت یون‌های محلول در آب‌زیرزمینی نمونه‌های بخش شمالی گسل نسبت به نمونه‌های بخش جنوبی آن به دلیل حضور واحدهای مارن ژپیس دار و ماسه سنگ میوسن در ارتفاعات بخش شمالی منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

بررسی غلظت یون‌های موجود در ترکیب آب‌های منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد آب‌های زیرزمینی بخش شمالی گسل برای مصارف شرب مناسب نمی‌باشند در حالی که نمونه‌های بخش جنوبی گسل دارای غلظت یونی در محدوده مقدار مطلوب بوده و برای مصارف شرب مناسب هستند. تمامی نمونه‌های آب‌زیرزمینی بخش شمالی گسل دارای ضریب لانژلیه منفی است که حاکی از خورنده بودن این آب‌ها می‌باشد. این در حالی است که تمامی نمونه‌های آب‌زیرزمینی بخش جنوبی گسل دارای ضریب لانژلیه مثبت بوده و میانگین مقدار ضریب لانژلیه برای نمونه‌های این بخش گسل ۰/۰۷ می‌باشد که مقداری خیلی نزدیک به صفر بوده و حاکی از متعادل بودن این آب‌ها و مناسب بودن آنها برای مصارف صنعتی می‌باشد. این با واقعیت منطقه نیز تطابق کامل دارد چرا که اکثر صنایع موجود در منطقه در بخش جنوبی گسل متمرکز شده‌اند و صنایعی هم که از دیر باز در بخش شمالی گسل قرار گرفته‌اند آب مورد نیاز خود را از چاه‌های بخش جنوبی تامین می‌نمایند. این مسئله تاثیر شگرف پدیده‌های زمین‌شناختی نظیر گسل شمال تبریز را در پراکنش و تمرکز صنایع و همچنین تاثیر این پدیده‌ها بر کمیت و کیفیت منابع آب‌زیرزمینی مورد نیازشان نشان می‌دهد.

- Folch, A. and Mas-Pla, J., 2008. Hydrogeological interactions between fault zones and alluvial aquifers in regional flow systems. *Hydrological Process*, 22, 3476-3487.
- Forster, CB. and Evans, JP., 1991. Hydrogeology of thrust faults and crystalline thrust sheets: results of combined field and modeling studies. *Geophysics Research Letters*, 18, 979-982.
- Geraud, Y., Diraison, M. and Orellana, N., 2006. Fault zone geometry of a mature active normal fault: a potential high permeability channel (Pirgaki fault, Corinth rift, Greece). *Tectonophysics*, 246, 61-76.
- Goldscheider, N., 2008. Methods in karst hydrogeology, *International Contributions to Hydrogeology*, 279.
- Haneberg, WC., 1995. Steady state groundwater flow across idealized faults. *Water Resource. Research*, 31 (7), 1815-1820.
- Jackson, J., 1992. Partitioning of strike-slip and convergent motion between Eurasia and Arabia in Eastern Turkey and the Caucasus. *Journal of Geophysics Research*, 97, 471-12479.
- Leray, S., de Dreuzy, JR., Bour, O., Labasque, T. and Aquilina, L., 2012. Contribution of age data to the characterization of complex aquifers. *Journal of Hydrology*, 464-465, 54-68.
- Mayer, A., May, W., Lukkarila, C. and Diehl, J., 2007. Estimation of fault-zone conductance by calibration of a regional groundwater flow model: Desert Hot Springs, California. *Hydrogeology Journal*, 15, 1093-1106.
- Milanovic, PT., 1988. *Karst Hydrogeology*. Water Resources Publication.
- Moradi, AS., Hatzfeld, D. and Tatar, M., 2011. Microseismicity and seismotectonics of the North Tabriz fault (Iran). *Tectonophysics*, 506, 22-30.
- Rawling, G. and Goodwin, L., 2003. Cataclasis and particulate flow in faulted, poorly lithified sediments. *Journal of Structural Geology*, 25, 317-331.
- Sengor, AMC., Tuysuz, O., Imren, C., Saking, M., Eyidogan, H., Gorur, N., Le Pichon, X. and Rangin, C., 2005. The North Anatolian Fault: A new look. *Earth Science Reviews*, 33.
- Vafaei, J., Taghikhany, T. and Tehrani-zadeh, M., 2011. Near field effect on horizontal equal-hazard spectrum of Tabriz city in north-west of Iran. *International Journal of Civil Engineering*, 9, 49-56.
- White, WB., 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. Oxford University Press: New York.464.

