



ساختار نفوذپذیری و ویژگی‌های هیدروژئولوژیک بخش جنوبی گسل انار در آبخوان آبرفتی دشت انار،

ایران مرکزی

علی کار دوست پاریزی^۱، مجید شاه پسند زاده^{۲*}، سعیده کشاورز^۳، احمد عباس نژاد^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی، گروه زمین شناسی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

^۲ دانشیار گروه علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

^۳ استادیار گروه علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

^۴ دانشیار گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

چکیده

گسل‌ها با رفتارهای مختلف مجرا (کانال)، مانع (سد) یا تلفیقی از این دو (مجرا-مانع) بر روی منابع آب زیرزمینی تاثیر می‌گذارند. مجاری گسلی می‌توانند میزان آب زیرزمینی قابل دسترس را محدود یا افزایش دهند و یا سبب تغییر کیفیت آب زیرزمینی شوند. موانع گسلی نیز می‌توانند تغذیه آبخوان دشت را تسریع یا محدود کنند. دشت انار در شمال محدوده مطالعاتی دشت رفسنجان و در حوزه آبریز کویر درانجیر-دشت ساغند واقع شده و با میانگین بارندگی ۷۵ میلی‌متر در سال از جمله دشت‌های ممنوعه و بحرانی کشور به لحاظ توسعه بهره برداری از منابع آب می‌باشد. به منظور حفاظت از منابع آب زیرزمینی موجود، درک درستی از چگونگی تاثیر گسل‌ها بر روی جریان آب‌های زیرزمینی ضروری است. گسل راست‌الغز راست‌انار با طولی حدود ۲۰۰ کیلومتر نقش مهمی در تغذیه آبخوان دشت انار دارد. در این پژوهش با تعیین ضرایب هیدرولیکی رسوبات آبرفتی در پهنه گسلی و مقایسه آن با ضرایب هیدرولیکی رسوبات آبرفتی آبخوان دشت انار ساختار نفوذپذیری و ویژگی هیدروژئولوژیک بخش جنوبی گسل انار در مناطق مختلف بررسی شده است. بنابر این پژوهش، نحوه رفتار هیدروژئولوژیک گسل انار توسط درصد نسیب ساختارها در هسته گسل و پهنه آسیب دیده و تغییرپذیری ذاتی در مقیاس دانه ای و نفوذپذیری شکستگی‌ها کنترل می‌شود. ضریب هدایت هیدرولیکی پهنه گسلی با بررسی مقاطع نازک تهیه شده از رسوبات آبرفتی پهنه گسلی انار حدود $3/3 \times 10^{-6}$ متر در ثانیه برآورد گردیده است. همچنین، ضریب هدایت هیدرولیکی رسوبات آبخوان نیز از طریق بررسی لوگ‌های زمین شناسی چاه‌های پیزومتر حفر شده در جنوب و جنوب باختر دشت حدود $6/7 \times 10^{-5}$ متر بر ثانیه و در خاور دشت حدود $2/7 \times 10^{-6}$ متر بر ثانیه محاسبه شده است. با توجه به مقایسه نتایج به دست آمده، بخش جنوبی گسل انار نقش مانع-مجرا را در تغذیه آبخوان قسمت‌های جنوبی دشت انار و نقش مانع را در قسمت‌های میانی دشت ایفا می‌کند.

کلیدواژه‌ها: رفتار هیدروژئولوژیک، هدایت هیدرولیکی، گسل انار، ایران مرکزی.

۱- مقدمه

مدل رفتار مانع-مجرای برگرفته شده از مشاهدات هیدروژئولوژیک را توضیح دهند (Loveless et al., 2013). هسته گسل و منطقه آسیب دیده واحدهای ساختاری و هیدروژئولوژیک متمایزی هستند که منعکس کننده خواص مواد و شرایط تغییر شکل در یک پهنه گسلی هستند (Caine et al., 1996).

پژوهش‌های بسیار اندکی در زمینه تعیین ساختار هیدروژئولوژیک گسل‌ها (e.g. Caine et al., 1996; Mitchel.Faulkner, 2012) به‌ویژه

گسل‌ها نه تنها به عنوان مهم‌ترین مسیرهای انتقال سیالات در سیستم‌های گرمابی، ظهور چشمه‌های آب گرم، و تشکیل کانسارهای فلزات سنگین مانند طلا، روی و سرب از آب‌های عمیق مطرح هستند، بلکه می‌توانند به عنوان مانع (سد یا دیواره) یا مجرا (کانال یا زهکش) یا ترکیبی از این دو جریان آب‌های زیرزمینی تحت تاثیر قرار دهند. بررسی‌های ساختاری و هیدرولیکی رسوبات آبرفتی واقع در پهنه های گسلی می‌تواند



های دشت انار حدود $11/47 \pm 0$ میلی‌متر در سال برآورد گردیده است (Foroutan et al., 2012).

۲-۲ هیدروژئولوژی

سازند قرمز بالایی به‌عنوان یکی از عوامل اصلی افزایش مقدار املاح محلول و شور شدن آب‌های زیرزمینی دشت انار محسوب می‌شود. در قسمت شمالی دشت انار کفه نمکی انار قرار دارد که از لحاظ توپوگرافی پست‌ترین منطقه در طول گسل انار است (شکل ۱). به همین دلیل کیفیت منابع آب زیرزمینی متأثر از سازند های تبخیری و آهکی منطقه و همچنین به دلیل عدم تغذیه مناسب، نسبتاً پایین است. در قسمت جنوبی دشت انار، به دلیل تغذیه آبخوان از ارتفاعات جنوبی، آب زیرزمینی کیفیت مطلوب‌تری نسبت به شمال دشت دارد، هر چند که قسمت جنوب خاور و خاور دشت نیز به دلیل نزدیکی به کفه نمکی و همچنین تغذیه بسیار کم، دارای آب با کیفیت نامطلوب است. شیب آب زیر زمینی در قسمت جنوبی گسل از سمت جنوب باختر به سمت شمال خاور و در قسمت های میانی گسل و شمال شهر انار (منطقه شمش) از قسمت شمال باختر به سمت جنوب خاور است. دشت انار با میانگین بارندگی ۷۵ میلی‌متر در سال در قسمت شمالی محدوده مطالعاتی رفسنجان و در حوزه آبریز کویر درانجیر-دشت ساغند قرار گرفته و از جمله دشت‌های ممنوعه و بحرانی به لحاظ توسعه بهره برداری از منابع آب می‌باشد.

۲-۳- گسل انار

گسل راستالغز راست‌بر انار با روند شمالی-جنوبی و طولی حدود ۲۰۰ کیلومتر یکی از گسل‌های فعال ایران مرکزی است که در قسمت میانی، روند آن کمی به سمت شمال خاور-جنوب باختر تغییر می‌کند (شکل ۱).

در رسوبات سست آبرفتی انجام شده است (e.g Rawling et al., 2001; Rawling, Goodwin, 2003; Loveless et al., 2013) مثال با بررسی ساختار و فرایندهای دگرشکلی پهنه‌های گسلی در رسوبات سست خلیج کورنت یونان، (Loveless et al., 2013) رفتار هیدرولوژیکی مجرا-مانع گسل ها را توضیح داده است. نادری و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی نفوذپذیری پهنه گسلی کوهبنان مشخص کردند که این پهنه گسلی در بعضی از رخنمون‌ها به عنوان سد، مجرا یا ترکیبی از این دو رفتار عمل می‌کند.

در این پژوهش برای اولین بار، با بررسی ساختار و فرایندهای دگرشکلی حاکم در بخش جنوبی گسل انار، قابلیت هدایت هیدرولیکی رسوبات آبرفتی واقع در پهنه گسلی محاسبه شده و با قابلیت هدایت هیدرولیکی رسوبات آبخوان دشت انار مقایسه گردیده است. بر این اساس، ساختار نفوذپذیری و ویژگی هیدروژئولوژیک بخش‌های مختلف گسل انار تجزیه و تحلیل شده است.

۲- جایگاه زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی دشت انار

۲-۱- زمین‌شناسی

دشت انار به طور عمده توسط رسوبات آبرفتی هولوسن پوشیده شده است؛ در زیر این نهشته‌ها، آبرفت‌های پلیستوسن-پلیوسن قرار دارند که سازند قرمز بالایی را می‌پوشانند. در این ناحیه، سازند قرمز بالایی (میوسن) از مارن‌های گچی، ماسه سنگ و کنگلومرای قرمز با میان‌طبقاتی از سنگ آهک تشکیل شده است (Seradic et al., 1972). در قسمت جنوبی دشت انار، رسوبات آبرفتی بیشتر از رسوبات گراول، ماسه و سیلت تشکیل شده است؛ در قسمت شمال شهر انار و شمال دشت انار رسوبات تبخیری و کربناته و در بعضی مناطق تراورتن با ضخامت‌های متفاوت تشکیل شده است. متوسط نرخ رسوب‌گذاری در آبرفت-



عملکرد پهنه گسلی انار به عنوان مجرا، مانع و یا سیستم ترکیبی مانع-مجرا توسط درصد نسبی ساختارهای هسته گسل و پهنه آسیب دیده و تغییرپذیری ذاتی در مقیاس دانه‌ای و نفوذپذیری شکستگی‌ها کنترل شده است. پهنه آسیب دیده گسل انار از گسل‌های فرعی هم‌سو و غیر هم‌سو که دانه بندی رسوبات را قطع کرده‌اند، تشکیل شده است.

۳- محاسبه هدایت هیدرولیکی

جهت تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی آبخوان‌های آبرفتی از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد. در این پژوهش با توجه به در دسترس بودن ۱۱ لوگ حفاری چاه‌های پیرومتر در نقاط مختلف دشت از طریق محاسبه میانگین این ضریب در لایه‌های آبخوان محاسبه گردیده است. در این روش، محدوده جنس رسوبات دشت که از لوگ‌های حفاری بدست آمده و ضریب میانگین هدایت هیدرولیکی از طریق نمودار (Freeze and Cherry (1979 محاسبه و ضریب هدایت هیدرولیکی افقی دشت توسط معادله زیر برای هر کدام از لوگ‌ها محاسبه شد:

$$k = \frac{(k_1 z_1)(k_2 z_2) \dots (k_n z_n)}{Z} \quad (1)$$

k ضریب هدایت هیدرولیکی کل، k_1 ضریب هدایت هیدرولیکی لایه مورد نظر، z_1 ستبرای لایه مورد نظر و Z جمع ستبرای کل لایه هاست.

با توجه به جنس درشت‌تر رسوبات و هم‌چنین ضخامت آبخوان در باختر و جنوب باختری دشت، ضریب هدایت هیدرولیکی رسوبات آبرفتی دشت انار بیشتر از خاور و شمال خاوری دشت با رسوباتی ریز دانه است. به همین دلیل قسمت‌های مختلف دشت با توجه به جنس، نوع رسوبات و ضخامت آبخوان، ضریب هدایت هیدرولیکی متفاوتی دارد، به طوری که ضریب هدایت هیدرولیکی رسوبات آبرفتی دشت انار در باختر و جنوب باختری دشت حدود 10^{-5} تا 10^{-6} متر بر ثانیه محاسبه گردیده است.

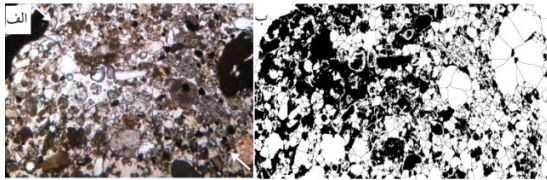


شکل ۱- محدوده گسل انار در تصویر ماهواره ای Google Earth.

این گسل سبب ایجاد افراز گسلی مشخصی با ارتفاعی حدود ۲۵ متر در شمال شهر انار شده است (شکل ۲). بر اساس مطالعات دیرینه لرزه‌شناسی بر روی گسل انار، سن رسوبات آبرفتی پهنه گسلی حدود ۲۴۰ تا ۴۸۰ هزار سال پیش و نرخ لغزش گسل انار حدود ۰/۸ تا ۱ میلی‌متر در سال برآورد گردیده است (Le Dortz et al., 2009; Fourtan et al., 2012).



شکل ۲: افراز گسلی انار با ارتفاعی حدود ۲۵ متر در ۱۰ کیلومتری شمال شهر انار.



شکل ۴: نمونه ای از تصویر میکروسکوپی رسوبات پهنه گسلی انار با (نور پلاریزان، بزرگ‌نمایی ۴، شکل الف) و تصویر بدست آمده از همان نمونه با استفاده از نرم افزار ImageJ (شکل ب).

بر این اساس، با استفاده از محاسبه تخلخل و اندازه ذرات و با کمک از نرم افزار ImageJ متوسط ضریب هدایت هیدرولیکی پهنه گسلی انار حدود 3×10^{-6} متر در ثانیه برآورد گردیده است.

۴- بحث و نتیجه گیری

کیفیت و کمیت آب در چاه‌های بهره برداری در باختر گسل انار تفاوت معناداری با خاور گسل دارد، به طوری که میانگین آبدهی چاه‌های بهره برداری در باختر گسل انار در حدود ۳۰ لیتر در ثانیه و میانگین آبدهی چاه‌های بهره برداری خاور گسل در حدود ۱۵ لیتر در ثانیه اندازه گیری شده است. به علاوه، میانگین قابلیت هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت انار در چاه‌های بهره برداری باختر گسل انار در حدود ۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰ میکرومhos بر سانتی‌متر ولی در چاه‌های خاور گسل انار در حدود ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ میکرومhos بر سانتی‌متر اندازه گیری شده است (شکل ۵). شایان ذکر است جهت تأمین آب مورد نیاز منطقه، مادر چاه اکثر قنوات قدیمی دشت انار در سمت باختر گسل قرار دارد و به دلیل عدم یا کمبود آب در سمت خاور گسل، این رشته قنات‌ها گسل انار را به سمت خاور قطع کرده اند (شکل ۵). به علاوه، بر اساس اطلاعات چاه‌های پیژومتر موجود، سطح ایستابی آب زیرزمینی در باختر گسل انار کمتر از خاور گسل است، به طوری که سطح ایستابی در پیژومترهای مجاور هم، بر اساس اندازه گیری سطح آب توسط شرکت آب منطقه ای یزد در باختر گسل حدود ۹ متر بالاتر از سمت خاور گسل است. با توجه به کمبود داده های سطح پیژومتریک دشت و همچنین پراکنش نامناسب چاه‌های پیژومتر تهیه نقشه ایزو پتانسیل با دقت کافی مشکل بود. به همین دلیل از

جهت تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی بخش جنوبی پهنه گسلی انار از روش کوزنی کارمن با اندازه گیری تخلخل ذرات رسوب در هسته و پهنه آسیب دیده گسل استفاده شده است. برای این منظور از رسوبات پهنه گسلی انار در ترانشه ای در فاصله ۳۵ کیلومتری شمال شهر انار تعداد ۷ نمونه جهت‌دار پس از تثبیت توسط رزین پلی استر برداشته شد (شکل ۳)، سپس نسبت به تهیه مقطع نازک از این نمونه‌ها اقدام شد. با عکس‌برداری، بررسی و اندازه گیری قطر و تخلخل رسوبات با استفاده از نرم افزار ImageJ در ۱۰ مقطع نازک تهیه شده از رسوبات آبرفتی پهنه گسلی (شکل ۴) و با استفاده از معادله‌های زیر، ضریب هدایت هیدرولیکی بخش جنوبی گسلی انار محاسبه شده است: (e.g. Freeze and Cherry, 1979; Van den Berg *et al.*, 2003).

$$k = \left[\frac{n^3}{(1-n)^2} \right] \left(\frac{d_{50}^2}{180} \right) \quad (2)$$

k دارسی، n تخلخل ذرات و d_{50} متوسط اندازه دانه هاست.

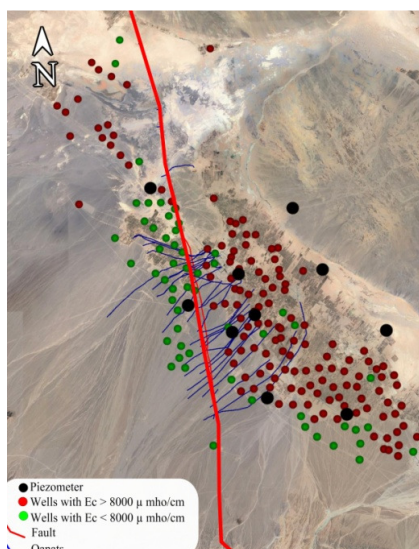
K یا ضریب هدایت هیدرولیکی از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$K = k \frac{\rho g}{\mu} \quad (3)$$

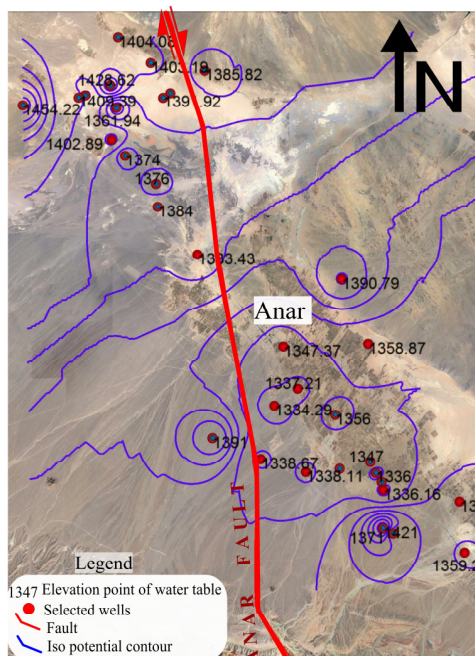
که ρ چگالی سیال (آب زیرزمینی)، g شتاب جاذبه و μ لزجیت سیال (آب زیرزمینی) در دمای ۱۰ درجه سانتی گراد است.



شکل ۳: محل نمونه برداری از هسته و پهنه آسیب دیده گسل انار در ترانشه واقع در ۳۵ کیلومتری شمال شهر انار.



شکل ۵: تصویر ماهواره ای قسمت جنوبی گسل انار و موقعیت چاه‌های بهره‌برداری، چاه‌های پیزومتر مورد مطالعه و قنوات حفر شده در دشت انار.



شکل ۶: نقشه ایزوپتانسیل منابع آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی انار در قسمت جنوبی گسل انار.

داده‌های سطح آب چاه‌های بهره‌برداری که توسط کارکنان اداره منابع آب برداشت شده بود، نیز استفاده شد و نقشه ایزو پتانسیل آبخوان آبرفتی انار تهیه گردید. همان‌طور که در نقشه مذکور مشاهده می‌شود ارتفاع سطح برخورد به آب در دو طرف گسل اختلاف معناداری دارند (شکل ۶).

بر اساس این پژوهش، با بررسی لوگ حفاری چاه‌های پیزومتر موجود، ضریب هدایت هیدرولیکی رسوبات دشت انار حدود $6/7 \times 10^{-6}$ متر بر ثانیه در جنوب و جنوب باختر دشت و حدود $2/7 \times 10^{-6}$ متر بر ثانیه در خاور دشت محاسبه شده است. ضریب هدایت هیدرولیکی پهنه گسلی با بررسی مقاطع نازک تهیه شده از رسوبات آبرفتی پهنه گسلی انار حدود $3/3 \times 10^{-6}$ متر بر ثانیه برآورد گردیده است. با توجه به موارد فوق و مقایسه ضریب هدایت هیدرولیکی رسوبات آبخوان دشت انار با این رسوبات در پهنه گسلی، پیشنهاد می‌شود بخش جنوبی گسل انار نقش مانع-مجرا و بخش میانی گسل نقش مانع را در تغذیه آبخوان دشت انار ایفا می‌کند. همچنین، با توجه افت سالیانه سطح آب زیرزمینی در دشت انار و کاهش مداوم کیفیت منابع آب زیرزمینی به دلیل برداشت‌های بی‌رویه این منابع در سال‌های گذشته، لحاظ نقش گسل انار در تغذیه آبخوان جهت حفاظت از منابع آب زیرزمینی و همچنین تأمین آب مورد نیاز منطقه در سیاست‌گذاری استحصال آب‌های زیرزمینی استان کرمان بسیار مهم است.



ع-سپاس‌گزاری:

این مقاله بخشی از پایان‌نامه نویسنده اول را در دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته تشکیل می‌دهد. از شرکت آب منطقه‌ای کرمان بالاخص اداره منابع آب شهرستان انار به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های مورد نیاز و حامد زند مقدم از دانشگاه شهید باهنر به دلیل همکاری در مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

کتاب‌نگاری

نادری، ط.، پورکرمانی، م.، شفیع‌ی بافتی، ا.، امینی زاده، م. ر. و بوذری، س. (۱۳۹۶). بررسی نفوذپذیری ساختارهای همراه با پهنه‌های گسلی (گسل کوهبنان، شمال کرمان، ایران مرکزی)، مجله علوم زمین، ۲۶، ۱۰۴، ۲۶۷-۲۸۰.

References

- Caine, S. J., Evans, J. P. & Forster, C. B. (1996). Fault zone architecture and permeability structure. *Geology*, 24, 1025-1028.
- Foroutan, M., Sebrier, M., Nazari, H., Meyer, B., Fattahi, M. & Rashidi, A. (2012). New evidence for large earthquakes on the Central Iran plateau: palaeoseismology of the Anar fault. *Geophysical Journal International*, 189, 6-18.
- Freeze, R. A & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Loveless, S. E. (2013). The hydrogeological structure of fault zones in poorly lithified sediment, Gulf of Corinth rift zone sediments of the Gulf of Corinth, Greece. PhD Dissertation, University of East Anglia, 236.
- Le Dortz, K., Meyer, B., Sebrier, M., Nazari, H., Braucher, R., Fattahi, M., Benedetti, L., Foroutan, M., Siame, L., Bourles, D., Talebian, M., Bateman, M. D., & Ghorashi, M. (2009). Holocene right-slip rate determined by cosmogenic and OSL dating on the Anar fault, Central Iran. *Geophysical Journal International*, 179, 700-710.
- Mitchell, T. M. & Faulkner, D.R. (2012). Towards quantifying the matrix permeability of fault damage zones in low porosity rocks, *Earth and Planetary Science Letters*, 339-340, 24-31.
- Rawling, G.C. & Goodwin, L.B. (2003). Cataclasis and particulate flow in faulted, poorly lithified sediments. *Journal of Structural Geology*, 25, 317-331.
- Rawling, G.C., Goodwin, L.B. & Wilson, J.L. (2001). Internal architecture, permeability structure, and hydrologic significance of contrasting fault-zonetypes. *Geology*, 29, 43-46.
- Seradic, A., et al. 1972. Geological map of Anar (Scale 1:100,000).