بررسی نفوذپذیری ساختارهای همراه با پهنه‌های گسلی (گسل کوهبنان، شمال کرمان، ایران مرکزی)

طاهره نادری[۱*]، محسن پورکرمانی[۲]، امیر شفیعی بافتی[۳]، محمدرضا امینی‌زاده [۴] و سهیلا بوذری[۵]

[۱]دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
[۲]استاد ، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
[۳]استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زرند، کرمان، ایران
[۴]دکترا، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری، کرمان، ایران
[۵]استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۲/ ۱۰/ ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: ۰۱/ ۰۲/ ۱۳۹۵

چکیده

در این پژوهش به بررسی نفوذپذیری ساختارهای همراه با پهنه گسلی کوهبنان -یکی از لرزه‌خیزترین روندهای ساختاری در استان کرمان- پرداخته شده است. رفتار پهنه‌های گسلی به هر صورت که باشند (مجرا، سد و یا ترکیبی از مجرا و سد) در برابر آب‌های زیرزمینی به‌طور نسبی توسط ساختار هسته گسل، پهنه خرد شده و نفوذپذیری شکستگی‌ها و سنگ‌شناسی پهنه گسلی کنترل می‌شوند. در این مطالعه، از داده‌های کیفی و کمی به همراه اطلاعات حاصل از برداشت‌های صحرایی و مدل‌های عددی استفاده شده است و در پایان داده‌ها در جدول‌ها تنظیم و نمودارها رسم و تفسیر شده است. در اندازه‌گیری ساختارهای پهنه گسلی در ۲۳ رخنمون از گستره مورد مطالعه دیده شد که در ۱۲ رخنمون آن پهنه گسلی به‌صورت سد، در ۵ رخنمون به‌صورت مجرا و در ۶ رخنمون به‌صورت ترکیبی از سد و مجرا در برابر آب زیرزمینی رفتار کرده است. بر پایه میانگین اندازه‌گیری پهنه گسلی، ۳۸ متر آن پهنای هسته گسل و ۲۳ متر آن پهنای تخریب گسل در این گستره مطالعاتی است. بنابراین قطعه جنوبی پهنه گسلی کوهبنان به‌صورت ترکیبی از سد متراکم (با درصد سدشدگی بیشتر) و مجرا در برابر جریان سیال‌ها رفتار می‌کند؛ که در این صورت هسته گسل به خوبی و پهنه خرد شده نیز به مقدار کمی گسترش پیدا کرده است. بنابراین واتنش در هسته گسل متمرکز و در پهنه خرد شده پراکنده است و برای بررسی هندسه پهنه گسلی از سه اندیسFm، Fa و Fs استفاده شده است. برای قطعه جنوبی پهنه گسلی کوهبنان میانگین اندیس Fa، به مقدار۰/۴۷ و همچنین شاخص‌های Fm و Fs به ترتیب مقادیر ۰/۵۱ و ۰/۷۳ به دست آمده است. بنابراین با بررسی و اندازه‌گیرهای انجام شده، مقدار به نسبت پایین Fa و نیز مقدار زیاد Fs نشان‌دهنده این است که هندسه پهنه گسلی کوهبنان در این ناحیه یکسان نیست، و نیز ظهور چشمه‌های گسلی فراوان در این ناحیه متأثر از وضعیت پهنه گسلی کوهبنان است.

کلیدواژه‌ها: پهنه گسلی، هسته گسل، گسل کوهبنان، شاخص‌های هندسه پهنه گسلی، نفوذپذیری، سدشدگی، مجرا.

***نویسنده مسئول:** طاهره نادری
E-mail: ta_nadery@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

سامانه گسلی کوهبنان برای نخستین بار توسط Huckride et al. (1962) نقشه برداری شد. این گسل که در حاشیه جنوب خاوری خرده‌قاره ایر ن مرکزی جای گرفته؛ جنوبی‌ترین بخش زیربلوک راور- مزینو از بلوک طبس است و به عنوان یکی از گسل‌های فعال کواترنری در ایران مرکزی شناخته می‌شود. این گسل با روند شمال باختری- جنوب خاوری دارای انحنا به سوی جنوب خاوری است (آقانباتی، ۱۳۸۹). گسل کوهبنان یکی از لرزه‌خیزترین روندهای ساختاری در استان کرمان است. این سامانه گسلی از شمال باختر کرمان شروع می‌شود و با راستای شمال خاور به‌صورت تکه‌های جدا از هم در حاشیه دشت زرند و تا کوهبنان و از کوهبنان در یک مسیر کوهستانی تا انتهای دشت بهاباد به طول ۲۴۰ کیلومتر امتداد یافته است (Berberian, 2005). سامانه گسلی کوهبنان خود تشکیل یافته از چندین تکه گسلی است که به هنگام فعالیت لرزه‌ای مستقل از یکدیگر رفتار می‌کنند (رادفر و پورکرمانی، ۱۳۸۵). همه این تکه‌های گسلی در حال حاضر دارای سازوکار امتدادلغز راست‌بر با مؤلفه وارون هستند.

در سالیان اخیر مطالعات فراوانی روی پهنه‌های گسلی (Fault zones) در نقاط مختلف با هدف بررسی پهنه‌بندی ساختاری، تغییرات ساختاری، نفوذپذیری، هندسه اجزای تشکیل‌دهنده این پهنه‌ها و چگونگی تکامل ساختاری آنها انجام شده است (Caine et al., 1996). بر پایه پژوهش‌های Caine and Forster (1999)، جریان سیال‌ها در بخش‌های بالایی پوسته توسط هندسه پهنه‌های گسلی و نفوذپذیری این ساختارها کنترل می‌شود. در مطالعه و بررسی نقش عناصر ساختاری در پتانسیل آبخوان‌ها در خاور طبس ایران مرکزی که توسط Yazdani and Aryamanesh (2013) انجام شده است؛ به این نتیجه رسیدند که عناصر ساختاری و خطواره‌ها در پتانسیل گسترش آب‌های زیرزمینی مناطق مؤثر بوده‌اند.

با توجه به کمبود منابع آب در استان کرمان و خشکسالی‌های اخیر و محدود شدن دشت زرند در حاشیه شمالی توسط گسل کوهبنان؛ بررسی نقش این گسل در تراوش و توزیع مکانی و شناسایی دقیق آبخوان‌ها مسئله بنیادین این پژوهش است. تاکنون چنین مطالعاتی روی پهنه گسلی کوهبنان صورت نگرفته است.

در این مقاله با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده در امتداد گسل کوهبنان به وضعیت هندسه پهنه گسلی (در حد فاصل منطقه دهزوییه تا چترود) پرداخته شده و سپس ارتباط میان اجزای تشکیل‌دهنده پهنه گسلی و ساختارهای ایجاد شده و تأثیر آنها بر نفوذپذیری آب زیرزمینی بررسی شده است.

۲- جایگاه زمین‌شناسی و زمین‌ساختی ناحیه

این ناحیه از دید تقسیمات زمین‌شناسی ایران از واحد ساختمانی- رسوبی ایران مرکزی است. واحدهای چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی و توالی‌های رسوبی در ناحیه مورد مطالعه وابسته به دوره‌های مختلف زمین‌شناسی است. در بیشتر نقاط این گستره توالی سنگی سری دزو (اواخر نئوپروتروزوییک- کامبرین زیرین) با سنگ‌های دولومیتی و تبخیری روی ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های سازند هجدک (ژوراسیک) به رنگ خاکستری تا سبز روشن مشخص می‌شود (آقانباتی ، ۱۳۸۹). در بخشی از این ناحیه سازند هجدک روی رسوبات و بادبزن آبرفتی عهد حاضر رانده شده است.

۳- موقعیت جغرافیایی، راه‌های ارتباطی

گستره مورد مطالعاتی بخشی از سامانه گسلی کوهبنان در جنوب خاور ایران مرکزی، در شمال خاوری شهر کرمان و در نقشه زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰: ۱ زرند (وحدتی دانشمند، و قاسمی ، ۱۳۷۲) و در سمت خاور نقشه توپوگرافی ۱۰۰۰۰۰: ۱ رفسنجان قرار گرفته است. در حد فاصل چترود تا شمال دهزوییه، در حاشیه جاده اصلی در میان کوهستان و دشت با طولی حدود ۵۰ کیلومتر قرار دارد (شکل ۱). مختصات جغرافیایی محدوده مورد مطالعه N ۱۰۲۳۰۱۲، E ۵۶۵۰۳۹۷۸ و N ۳۰۹۹۵۷۳۰، E ۵۶۴۷۹۰۶۱۴۰ در ناحیه دهزوییه در شمال زرند تا N ۳۰۶۷۶۴۴۵ ، E ۵۶۹۱۹۱۵۹ و N ۳۰۶۵۵۴۵۸، E ۵۶۹۰۷۴۰۹ در شمال چترود است؛ شهر زرند نیز با مختصات جغرافیایی ´۳۲ °۵۶ طول خاوری ´۴۸ °۳۰ عرض شمالی با ارتفاع ۱۶۷۰ متر از سطح دریا در مجاور این محدوده مطالعاتی قرار گرفته است. شکل ۱ راه‌های دسترسی به گستره مورد مطالعه را نشان می دهد.

۴- پیشینه مطالعات

پژوهش‌های انجام شده در زمینه موضوع این پژوهش نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد ارتباط تنگاتنگی میان وضعیت منابع آب و ساختارهای زمین‌شناسی به‌ویژه گسل‌ها وجود دارد.

سازمان زمین‌شناسی فرانسه در سال ۲۰۱۴ به مطالعه و بررسی تأثیرگسل بر آب‌های زیرزمینی و مخازن پیرامون منطقه (Saint-Brice en Coglès Field) پرداخته است (Roques et al., 2014). Jeanne et al. (2014) پژوهشی بر خواص مکانیکی پهنه گسلی و وضعیت منطقه تخریب گسل در جنوب فرانسه انجام داده‌اند. Delta (2012) در جنوب آفریقا به مطالعه خطواره‌ها از جمله جهت‌گیری دایک‌ها و تجزیه و تحلیل دقیق بیشتر با تمرکز بر تفسیر گسل از عوامل مؤثر بر آب‌های زیرزمینی پرداخته است.

Al-Taj (2008) با مطالعه تأثیر ساختارها در آب‌های زیرزمینی منطقه اربد در شمال اردن، نشان داد که درزه‌ها و گسل‌ها به عنوان کانال‌های زهکشی جریان آب‌های زیرزمینی در منطقه رفتار می‌کنند. به باور Zaigham et al. (2003) شکستگی گسل در مسیرهای تخلیه آب‌های زیرزمینی از منطقه جده، مکه، طائف به دریای سرخ نقش دارد. تخلیه آب‌های زیرزمینی توسط چشمه‌ها در امتداد شکستگی‌های ساحل لبنان در دریای مدیترانه توسط Seaton and Burbey (2005) شناسایی شد.

Cervantes and Armienta (2004) تأثیر گسل را بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در واله دل مکزیک مطالعه کردند. مطالعه William and Lee (2013) روی اثر گسل وارون در هیدروژئولوژی استان بلوریج در خاور ایالات متحده نشان می‌دهد که منبع آب تا حد زیادی بستگی به گسل ناحیه دارد.

Aydin (2000) و Jourde et al. (2002) بیان داشتند که در مفهوم عملکرد ذخیره آب زیرزمینی، باید تأثیر پهنه گسلی مناطق در جریان سیال مشخص باشد؛ زیرا پهنه گسلی مناطق می‌تواند به عنوان مانع و یا عبوردهنده برای سیال رفتار کند. افزون بر موارد یاد شده، بررسی کلی اثر گسل‌ها بر وضعیت آب‌های زیرزمینی موضوع پژوهش‌های فراوانی توسط پژوهشگران در دیگر کشورها بوده است؛ مانند: Chuma et al. (2013), Kresic (2010), Williams and Lee (2013).

در ایران، صبا و اسکویی (۱۳۹۱)، در مطالعات خود بیان می دارند که گسل‌ها و محدوده‌های خُرد شده در حوضه‌های آبریز نواحی کوهستانی شمال تهران سبب تغذیه منابع آب زیرزمینی می‌شوند و محل‌های مناسبی برای ذخیره آب در میان درز و شکاف‌ها هستند. در این محل آبخوان حالت آبرفتی ندارد؛ بلکه در محل خردشدگی گسل، آب‌ها ذخیره شده و تشکیل منبع آب زیرزمینی داده‌اند.

بهرامی (۱۳۹۰) در پژوهش خود در ناحیه زاگرس به این نتیجه رسیدند که سوی درز و شکاف‌های آهکی ناشی از عوامل زمین‌ساختی نقش مهمی در رفتار هیدرولوژیکی چشمه‌ها و وضعیت آب‌های زیرزمینی حوضه دارند.

هاشمی (۱۳۸۹) به بررسی ارتباط میان گسل‌ها و شکستگی‌های بزرگ مقیاس و وضعیت فراوانی و کیفیت منابع آب زیر زمینی استان سمنان پرداخته است.

Khorsandi Aghai et al. (2008) در مطالعات خود تحت عنوان تعامل میان منابع آب و گسل دره لار در شمال خاور تهران نشان می دهد که گسل توانسته است ۶۰ درصد از آب رودخانه دره لار و ۵۷/۵ درصد از چشمه‌ها را تحت تأثیر خود قرار دهد. Rangzan et al. (2008) با استفاده از لایه‌های مختلف مانند ترکیب سنگی، هیدروشیمی، شکستگی و تحلیل‌های GIS، نقاط مناسب را برای حفر چاه‌های بهره‌برداری در محدوده تاقدیس پابده در پیرامون دشت لالی معرفی کردند. حفیظی و ولی (۱۳۷۸) ژئوفیزیک منطقه تهران را به منظور بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی در درز و شکاف‌ها با استفاده از روش‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی بررسی کرده‌اند.

امینی‌زاده بزنجانی (۱۳۹۲) تأثیر محیط رسوبی را بر ویژگی‌های نهشته‌های ریزدانه شهر کرمان مطالعه کرده است. رحیمیان و کمالی (۱۳۸۶) نیز مطالعات هیدروژئولوژیکی و مدل‌سازی دشت جیرفت توسط انجام داده‌اند.

در گستره مورد مطالعه، گزارشات اولیه توسط Huckride et al. (1962) به‌صورت گزارش‌ها و نقشه‌های زمین‌شناسی ناحیه کرمان تا ساغند انجام شده است. در این ناحیه، سه نقشه ژئوالکتریک و ۱۵۰ سونداژ، با مقاومت مخصوص ظاهری ۴۰۰، ۶۰۰ و ۱۰۰۰ متر با ژرفاهای ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۵۰ متر در دشت زرند توسط دفتر بررسی منابع آب شرکت سهامی آب منطقه ای کرمان (۱۳۷۱) تهیه شده است. بررسی‌های لرزه‌خیزی منطقه‌ای توسط شاه‌پسندزاده و حیدری (۱۳۷۵) و شاه‌پسندزاده و شفیعی بافتی (۱۳۸۴)، مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی توسط Walker et al. (2010) و Walker and Allen (2012) در بخشی از گسل کوهبنان و پژوهش‌های دیگر در مورد گسل کوهبنان از جمله پورکرمانی و همکاران (۱۳۸۸)، شفیعی بافتی و درخشانی (۱۳۸۰) و نادری و همکاران (۱۳۹۴) انجام شده است. آخرین گزارشات آبی دشت زرند نیز توسط شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان (۱۳۹۴) انجام شده است. این پژوهش اولین مطالعه در زمینه بررسی منابع آب زیرزمینی این ناحیه، بر پایه نقش گسل کوهبنان است.

۵- هدف و اهمیت مسئله

هدف اصلی از این پژوهش، بررسی وضعیت هندسه پهنه گسلی کوهبنان و تعیین میزان درصد ستبرای هسته گسل و پهنه خرد شده و تأثیر این ساختارها بر وضعیت رژیم هیدرولیکی گستره مورد مطالعه است و با توجه به جدید بودن این روش مطالعاتی و وضعیت خشکسالی‌های اخیر در استان کرمان، بررسی منابع آبی در این ناحیه بسیار ضروری و با اهمیت است.

۶- روش مطالعه

این پژوهش بر پایه مطالعات پیشینه پژوهش، به‌ویژه روش مطالعاتی Caine et al. (1996) و Caine and Forster (1999) و مطالعه تصاویر ماهواره‌ای و برداشت‌های صحرایی از گستره مورد مطالعه به طول حدود۵۰ کیلومتر در مسیر جنوبی گسل کوهبنان انجام شده است. ابتدا بر پایه ویژگی‌های آشکار ریخت‌زمین‌ساختی، گستره مورد مطالعه به ۱۵ تکه جداگانه تقسیم شد (جدول ۲)؛ سپس هندسه پهنه‌های گسلی در رخنمون‌های مطالعه شده اندازه‌گیری شد و برای مطالعه ویژگی‌های کمی و کیفی پهنه گسلی مانند ستبرای هسته گسل، پهنه خرد شده به‌طور دقیق با متر اندازه‌گیری و همزمان مطالعات سنگ‌شناسی آنها نیز انجام شد (جدول۳). در ادامه بر پایه این داده‌ها و با استفاده از مدل ریاضی و رسم نمودارها تحلیل کیفی و کمی منطقه انجام و در پایان الگویی از پهنه گسلی کوهبنان از دید مجرا، سد یا ترکیبی از هر دو در این گستره ارائه شد. همچنین ویژگی‌های ۲۸ چشمه و منبع آب در این ناحیه مطالعاتی و ارتباط آنها با وضعیت پهنه گسلی ناحیه مطالعه شد (شکل ۲).

۷– بحث

اگر در یک ناحیه به جای یک سطح منحصر به فرد، شماری سطوح مختلف گسل به موازات یکدیگر باشند؛ به آن پهنه گسلی (fault zone) گفته می‌شود. گسل‌های صفحه‌ای که در سنگ‌های با مقاومت کم به وجود می‌آیند؛ می‌توانند از مواد با اندازه کوچک در حد رس پر شده باشند. این نوع پهنه‌های گسلی، گوژ (gouge) نام دارند و از دید زمین‌شناسی مهندسی بسیار مهم هستند. به‌طور کلی، پهنه‌های گسلی از دید ساختاری به سه بخش: ۱) هسته گسل (Fault core)، ۲) پهنه خرد شده (Damage zone) و ۳) پروتولیت (Protolith) یا سنگ مادر تقسیم می شوند (شکل ۳). این پهنه‌ها ممکن است سبب تقویت جریان سیال‌ها و یا مانع از آن بشوند.

۱) هسته گسل، بخشی مرکزی از یک گسل است که نشان‌دهنده تغییر شکل شدید و بیشترین لغزش است (Caine et al., 1991). هسته گسل ممکن است شامل سطوح لغزش (Caine et al., 1991) یا ناحیه غنی از رس باشد (Anderson et al., 1983). در مطالعات Aydin (2000) بیان شده است که تغییرات ستبرای هسته گسل، شیب و امتداد، همراه با یک ساختار مشخص داخلی نقش مهمی در کنترل جریان سیال بازی می کند.

۲) پهنه خرد شده یا منطقه تخریب پهنه گسلی، شبکه‌ای از شکستگی‌های فرعی در محدود هسته گسل است و ممکن است نفوذپذیری پهنه گسلی را افزایش دهد. مرز میان پهنه خرد شده و هسته گسل ممکن است به‌صورت ناگهانی و به‌صورت یک سطح گسلی و یا به‌صورت تدریجی و همراه با یک پهنه باشد که در آن اندازه دانه‌های خرد شده به سوی هسته گسل کاهش می‌یابد. از پهنه خرد شده به سوی خارج پهنه گسلی به تدریج از میزان شکستگی‌ها و خردشدگی ذرات کاسته می‌شود تا به ناحیه‌ای با سنگ‌های سالم و غیر تغییر شکل یافته می‌رسد. هر کدام از بخش‌های مختلف یک پهنه گسلی به گونه‌ای در حرکت سیال‌ها نقش دارند. ویژگی‌های ساختارهای ایجاد شده توسط پهنه‌های گسلی در جدول ۱ آورده شده است.

با توجه به اندازه‌گیرهای انجام شده (جدول ۳)، در گستره مطالعاتی، در ۱۲ رخنمون از تکه‌های پهنه گسلی کوهبنان مقدار Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب به‌صورت زیر به دست آمده است:

– رخنمون یک از تکه گسلی دهزوییه، با مقدار۰/۴۲= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۵۸ درصد به ۴۲ درصد.

– رخنمون دو از تکه گسلی دهزوییه، با مقدار ۰/۴۴= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۵۶ درصد به ۴۴ درصد (شکل ۴).

– رخنمون سه از تکه گسلی دهزوییه، با مقدار ۰/۴۰= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۶۰ درصد به ۴۰ درصد (شکل ۵).

– رخنمون شماره ۲ تکه گسلی داهوییه ۲، با مقدار ۰/۲۳= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۷۷ درصد به ۲۳ درصد (شکل ۶).

– رخنمون تکه گسلی گزوییه، با مقدار ۰/۰۴۰= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۵۹ درصد به ۴۱ درصد (شکل ۷).

– تکه گسلی تیکدر، با مقدار ۰/۲۰= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۷۹ درصد به ۳۱ درصد (شکل ۸).

– رخنمون دوم تکه گسلی لنجان، با مقدار ۰/۳= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۷۰ درصد به ۳۱ درصد (شکل ۹).

– رخنمون سوم از تکه گسلی لنجان، با مقدار ۰/۳۷= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۶۲ درصد به ۳۸ درصد.

– رخنمون تکه گسلی باب تنگل، با مقدار ۰/۳۲= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۶۸ درصد به ۳۲ درصد.

– رخنمون تکه گسلی آب پنگوییه با مقدار ۰/۴۱= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۵۸ درصد به ۴۲ درصد.

– رخنمون تکه گسلی اکبرآباد، با مقدار ۰/۳۷= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۶۳ درصد به ۳۷ درصد.

– رخنمون تکه گسلی ده‌آقایی، با مقدار ۰/۲۸= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۷۲ درصد به ۲۸ درصد.

که پایین بودن مقدار اندیس Fa و ستبرای زیاد هسته گسل در این تکه‌های گسلی را نشان می‌دهد.

با توجه به اندازه‌گیرهای انجام شده (جدول ۳) در ۵ رخنمون از تکه‌های پهنه گسل کوهبنان مقدار Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب به‌صورت زیر به دست آمده است:

– تکه گسلی ده‌اصغر، با مقدار ۰/۹۳= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۰/۸ درصد به ۹۲ درصد (شکل ۱۰).

– رخنمون دوم تکه گسلی خانوک، با مقدار ۰/۸۵= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۳۰ درصد به ۷۰ درصد (شکل ۱۱).

– تکه گسلی سرباغ، با مقدار ۰/۷۳= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۲۷ درصد به ۷۳ درصد.

– رخنمون شماره ۲ تکه گسلی داهوییه۱، با مقدار ۰/۸۵= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۱۶ درصد به ۸۴ درصد.

– رخنمون سوم تکه گسلی خانوک، با مقدار ۰/۷۰= Fa و نسبت پهنای هسته گسل به پهنای تخریب ۳۰ درصد به ۷۰ درصد و ۱۵ درصد به ۸۵ درصد.

این رخنمون‌ها، بالا بودن مقدار اندیس Fa و ستبرای کم هسته گسل را نشان می‌دهند. در ۶ رخنمون دیگر ترکیبی از سد و مجرا در برابر آب زیر زمینی رفتار کرده‌اند.

همچنین مطالعاتی در امتداد گسل کوهبنان روی ترکیب سنگی پهنه گسلی صورت گرفت که این مطالعه سنگ شناسی در جدول ۲ آورده شده است.

۸– مدلی تئوری ارتباط گسل و جریان سیالات

مدل نظری که ارتباط میان اجزای تشکیل‌دهنده پهنه گسلی و ساختارهای ایجاد شده توسط آنها را نشان می‌دهد که روی جریان سیال‌ها تأثیر می‌گذارند؛ در شکل ۱۴ نشان داده شده است. این شکل از چهار ساختار مجرای متمرکز (Localize conduit)، مجرای پراکنده (Distributed conduit)، سد متمرکز (Localized Barrier) و ترکیبی از مجرا و سد (Combined conduit-barrier) تشکیل شده است (Caine and Forster,1999). این نمودار نشان می‌دهد که تغییر درصد میزان ستبرای هسته گسل و پهنه خرد شده و ساختارهای ایجاد شده توسط این پهنه‌ها، بر وضعیت رژیم هیدرولیکی ناحیه تأثیر می‌گذارد. همچنین در جدول ۱ ویژگی‌های هر کدام از این ساختارها به‌طور خلاصه بیان شده است. از این مدل می‌توان به عنوان چهارچوبی مناسب برای برآورد وضعیت هندسه پهنه‌های گسلی و رژیم هیدرولیکی در این مناطق استفاده کرد. همچنین می‌توان از اطلاعات صحرایی و زمین‌شناسی برداشت شده در مدل‌های ریاضی استفاده کرد که برای بررسی جریان سیال‌ها در پهنه‌های گسلی تهیه می‌شوند.

در گستره مورد مطالعه در ۲۳ رخنمون از ۱۵ تکه گسلی کوهبنان (جدول‌های ۲ و ۳)، ستبرای هسته گسل و پهنه خرد شده در سوی عمود بر امتداد گسل اندازه‌گیری شد و درصد هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده پهنه گسلی در همه رخنمون‌ها به دست آمد (شکل‌های ۱۶ و ۱۷). تصاویر صحرایی از این پهنه‌های گسلی در شکل‌های ۴ تا ۱۳) نشان داده شده است.

۹– شاخص‌های هندسه پهنه گسلی

برای بررسی هندسه پهنه گسلی و ساختارهای ایجاد شده توسط آنها، که در نفوذپذیری مؤثر هستند از سه شاخص Fa، Fm و Fs استفاده شده است (Caine et al., 1991). این سه اندیس با توجه به اجزای ساختاری تشکیل‌دهنده پهنه‌های گسلی و با استفاده از مدل تئوری ارائه شده در مورد ارتباط میان پهنه‌های گسلی و ساختارهای ایجاد شده توسط آنها به دست آمده‌اند (Caine and Forster, 1999).

۹– ۱. شاخص Fa (Fault zone architectural index)

این اندیس از تقسیم ستبرای پهنه خرد شده به مجموع ستبرای هسته گسل و پهنه خرد شده به دست می‌آید.

$$Fa=\frac{\text{پهنای منطقه تخریب}}{\text{پهنای منطقه تخریب+پهنای هسته گسل}}=\frac{\text{پهنای منطقه تخریب}}{\text{کل پهنای زون گسلی}}$$

مقدار اندیس Fa میان صفر و یک تغییر می‌کند و در حالت ایده‌آل، زمانی که Fa برابر صفر باشد پهنه خرد شده وجود ندارد که در این حالت نفوذپذیری پایین است و هسته گسل سبب می شود که پهنه گسلی به عنوان یک سد در برابر جریان سیال‌ها رفتار کند. در حالت ایده‌آل دیگر زمانی که Fa برابر با یک باشد هسته گسل وجود ندارد و حضور یک پهنه خرد شده با نفوذپذیری بالا سبب می‌شود که پهنه گسلی به‌صورت یک مجرا برای جریان سیال‌ها رفتار کند.

مقدار عددی شاخص Fa گستره مورد مطالعه میان کمینه ۰/۲۰ در رخنمون تکه گسلی تیکدر تا بیشینه ۰/۹۳در رخنمون تکه گسلی دهاصغر تغییر کرده است. این شاخص برای ۲۳ رخنمون از پهنه گسلی کوهبنان به دست آمده و در شکل ۱۹ آورده شده که مقدار این شاخص Fa به‌طور میانگین بر پایه فرمول بالا برابر با ۰/۴۷ به دست آمده است.

$$Fa=\frac{645}{1371}=0.47$$

۹– ۲. شاخص Fm (mean of Fa values for a single fault zone)

این اندیس میانگینی از Fa های اندازه‌گیری شده روی پهنه گسلی و نشان‌دهنده هندسه و نفوذپذیری کلی پهنه گسلی است و می‌توان آن را در امتداد خاصی از پهنه گسلی اندازه‌گیری کرد. برای پهنه گسلی کوهبنان با توجه به Fa های به دست آمده در ۲۳ رخنمون اندازه‌گیری شده، مقدار شاخص Fm برابر با ۰/۵ به دست آمد.

۹– ۳. شاخص Fs

مقدار این اندیس از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$Fs = (Fa)\max - (Fa)\min = ۰/۹۳ - ۰/۲۰ = ۰/۷۳ \quad Fs$$

این اندیس نشان‌دهنده گوناگونی در Fa های به دست آمده برای یک پهنه گسلی خاص است. مقدار این اندیس برای پهنه گسلی کوهبنان در گستره مطالعاتی برابر با ۰/۷۳ است. با رسم نموداری که در آن مقدار اندیس Fa در برابر ستبرای کل پهنه گسلی نشان داده می‌شود (شکل ۲۰)؛ می‌توان اطلاعاتی در مورد چگونگی توزیع واتنش در ناحیه گسلی در زمان گسلش، چگونگی لغزش رخ داده در پهنه گسلی، هندسه پهنه گسلی و ویژگی‌های نفوذپذیری مربوط به یک پهنه گسلی به دست آورد. همچنین با استفاده از این نمودار می‌توان وضعیت گروهی از پهنه‌های گسلی را در یک ناحیه و یا در نواحی مختلف با یکدیگر مقایسه کرد. مقدار Fs و Faهای به دست آمده برای ۲۳ رخنمون در برابر ستبرای پهنه گسلی در هر رخنمون محل قرارگیری آنها در یک محدوده را در (شکل ۲۰) نشان داده است.

۱۰– تحلیل مکانی چشمه‌ها و ارتباط آنها با گسلش ناحیه مطالعاتی

ویژگی‌های ۲۸ چشمه و منبع آب در این ناحیه مطالعاتی مطالعه شد که مهم‌ترین منبع آب در ناحیه است؛ همه آنها در فاصله‌ای کمتر از ۱۰۰ متر از پهنه گسلی کوهبنان قرار دارند وضعیت پهنه گسلی کوهبنان یکی از عوامل اصلی در ظهور این چشمه‌ها در این گستره است. موقعیت این چشمه‌های مطالعه شده در نقشه ماهواره‌ای گسل کوهبنان (شکل ۲)، تصاویر صحرایی آنها در شکل ۱۵ و مختصات UTM این چشمه‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است.

۱۱– نتیجه‌گیری

در ۱۲ رخنمون از تکه‌های پهنه گسل کوهبنان در گستره مطالعاتی، مقدار شاخص Fa پایین و پهنای هسته گسل نسبت به پهنای منطقه تخریب زیادتر است. بنابراین، این تکه‌های گسلی به‌صورت یک سد متراکم در برابر جریان آب زیرزمینی رفتار می‌کنند. در اینجا بر پایه (جدول ۱، هسته گسل به خوبی گسترش یافته که نشان‌دهنده این است که در زمان گسلش واتنش در هسته گسل متمرکز بوده و بیشترین لغزش در هسته گسل رخ داده است.

در پنج رخنمون از تکه‌های پهنه گسل کوهبنان بالا بودن مقدار اندیس Fa و هسته گسل با ستبرای کم و یا به‌صورت نوارهای ناپیوسته دیده می‌شود و در اینجا پهنه خرد شده به خوبی گسترش یافته است. بنابراین یک ناحیه با نفوذپذیری بالا ایجاد می‌شود و این تکه‌های گسلی به‌صورت یک مجرا در برابر جریان آب زیرزمینی رفتار می‌کنند؛که نشان‌دهنده توزیع واتنش در پهنه گسلی و لغزش پراکنده و رخ داده در صفحات جداگانه و در طول شکستگی‌هاست.

به‌طور کلی، با توجه به میانگین Faهای به دست آمده در ۲۳ رخنمون اندازه‌گیری شده مقدار این شاخص ۰/۴۷ به دست آمده است؛ که ۱۲ رخنمون پهنه گسلی به‌صورت سد، ۵ رخنمون به‌صورت مجرا و ۶ رخنمون به‌صورت ترکیبی از سد و مجرا در برابر آب زیرزمینی رفتار کرده‌اند (شکل‌های ۱۶ و ۱۷). از میانگین پهنه گسلی، ۲۳ متر آن پهنای تخریب و ۳۸ متر آن هسته گسل است (شکل ۱۸). بنابراین می‌توان گفت که این قطعه جنوبی از پهنه گسلی کوهبنان به‌صورت ترکیبی از سد متراکم (با درصد بیشتر سدشدگی) و مجرا در برابر جریان سیال‌ها رفتار می‌کند؛ که در این صورت بر پایه جدول ۱، واتنش در هسته گسل متمرکز و در پهنه خرد شده پراکنده است. هسته گسل به خوبی گسترش یافته و دارای قطعات کاتاکلاسیت است و پهنه خرد شده نیز به خوبی گسترش یافته و شامل سطوح لغزش و مجرا و شکستگی‌هاست که نشان می‌دهد نفوذپذیری گسل کوهبنان در گستره مطالعه شده تقریباً پایین است.

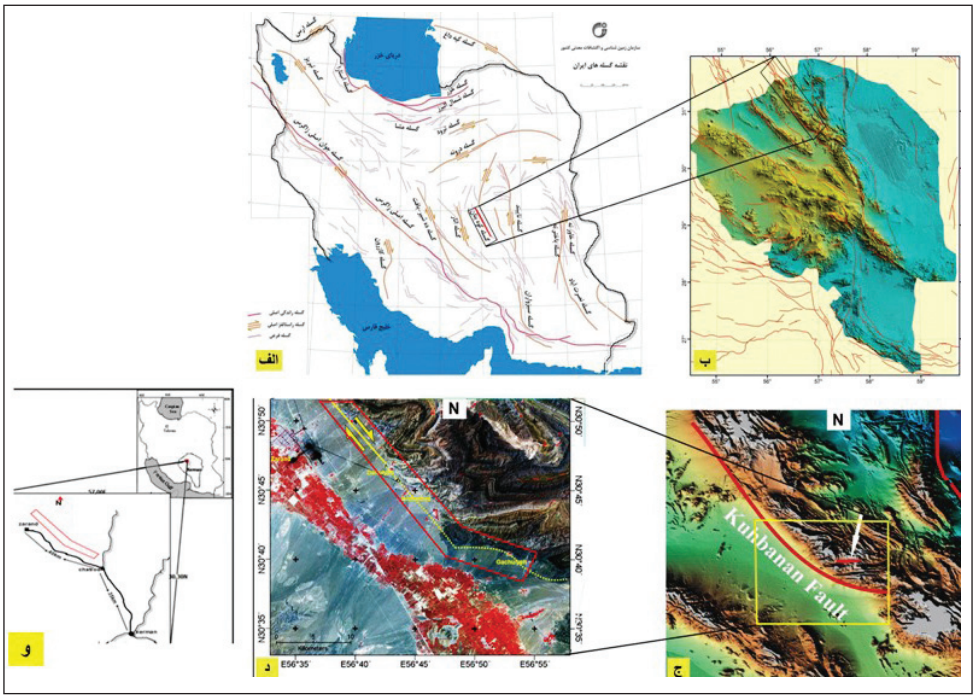
با توجه به مطالعات صحرایی انجام شده و نتایج داده‌های کمی می‌توان نتیجه گرفت که همه تکه‌های گسلی کوهبنان بر تغذیه آبخوان دشت زرند تأثیر ندارند و می‌توان به سازمان آب منطقه‌ای کرمان پیشنهاد کرد که کدام یک از تکه‌های گسلی کوهبنان مانند سد رفتار می‌کند و در کجاها باید برای مصارف کشاورزی و... چاه حفر کرد.

از سوی دیگر بالا بودن مقدار اندیس Fs= ۰/۷۳ و فاصله زیاد تغییر این اندیس میان مقدار عددی کمینه ۰/۲۰ تا بیشینه ۰/۹۳ در نمودار شکل ۲۰، نشان‌دهنده این است که هندسه پهنه گسلی کوهبنان در رخنمون های بررسی شده تقریباً یکسان نیست. این مطلب با مشاهدات صحرایی و برداشت‌های صورت گرفته تطابق دارد.

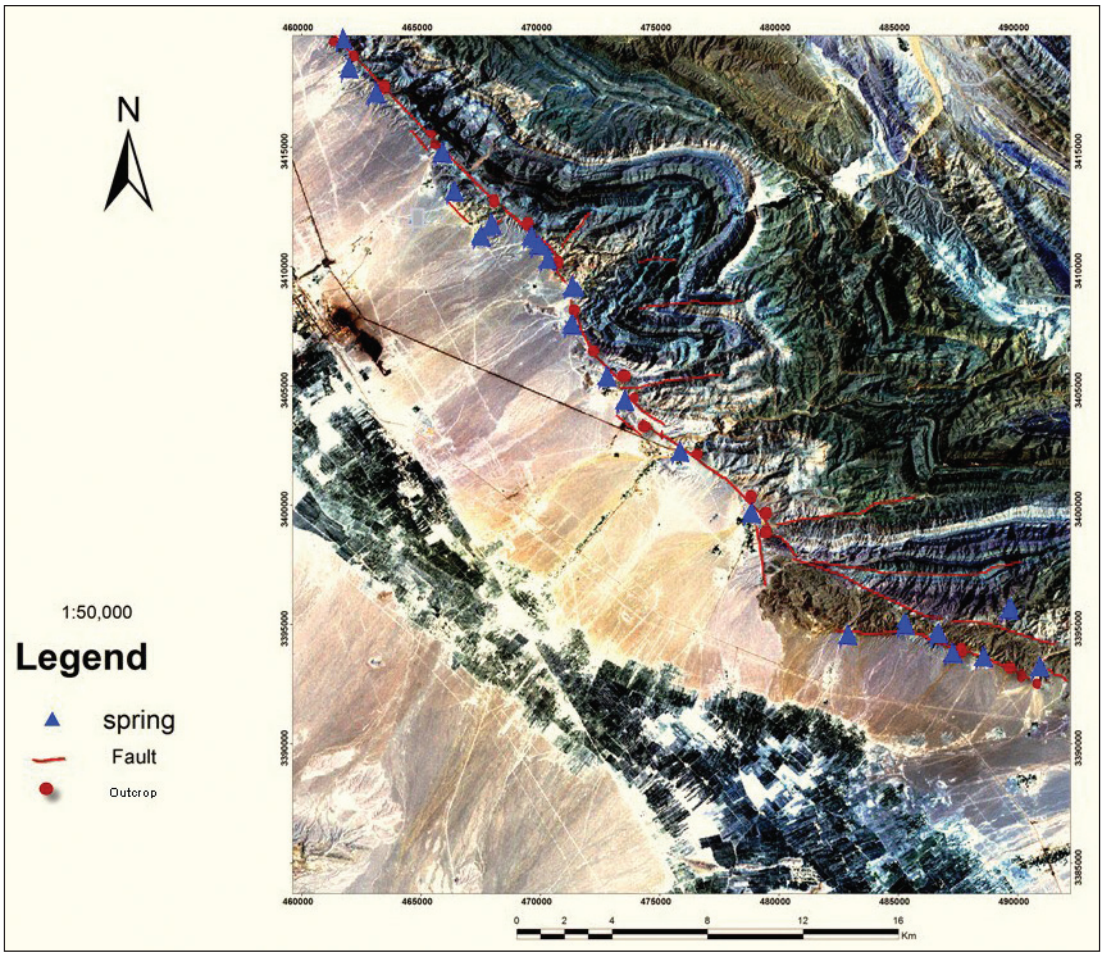
در این گستره مطالعاتی، تشکیل گوژهای گسلی در امتداد گسل سبب ایجاد سدهای زمین‌ساختی در برابر جریان آب زیرزمینی می‌شود که خود می‌تواند عامل بالا آمدن سطح سفره‌های آب زیرزمینی باشد و به‌صورت چشمه نمایان شود. در جاهای دیگر تشکیل برش‌ها با نفوذپذیری بالا در امتداد گسل به عنوان منبع تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و به دنبال آن ایجاد چشمه‌هاست.

با توجه به اینکه در محدوده مطالعه شده در استان کرمان، بیشتر سازندها از نوع شکنا بوده و تنش حاکم بر ناحیه بیشتر به‌صورت فشارشی است؛ بیشتر چشمه‌ها گسلی هستند.

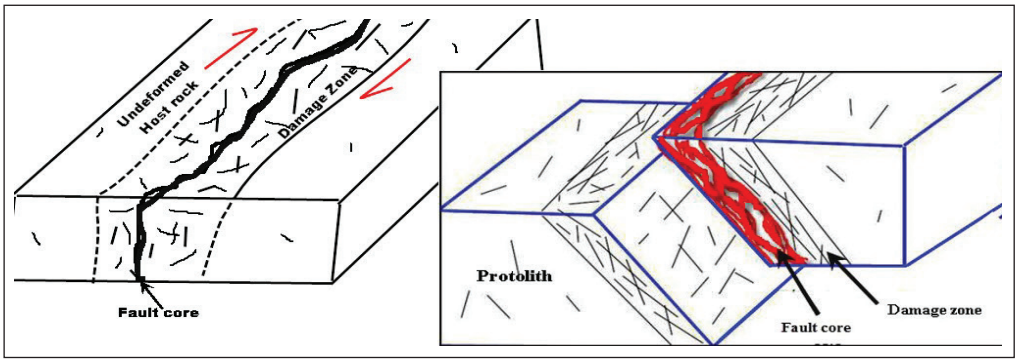
چشمه‌های گسلی فراوان در این ناحیه مطالعاتی که مهم‌ترین منبع آب در ناحیه است؛ همگی در فاصله ای کمتر از ۱۰۰ متر از پهنه گسلی کوهبنان قرار دارند و تعداد چشمه‌ها نشان از فراوانی شکستگی‌ها دارد. در مجموع ساختارهای ایجاد شده توسط این پهنه گسلی از عوامل اصلی ظهور چشمه‌ها در این گستره هستند.



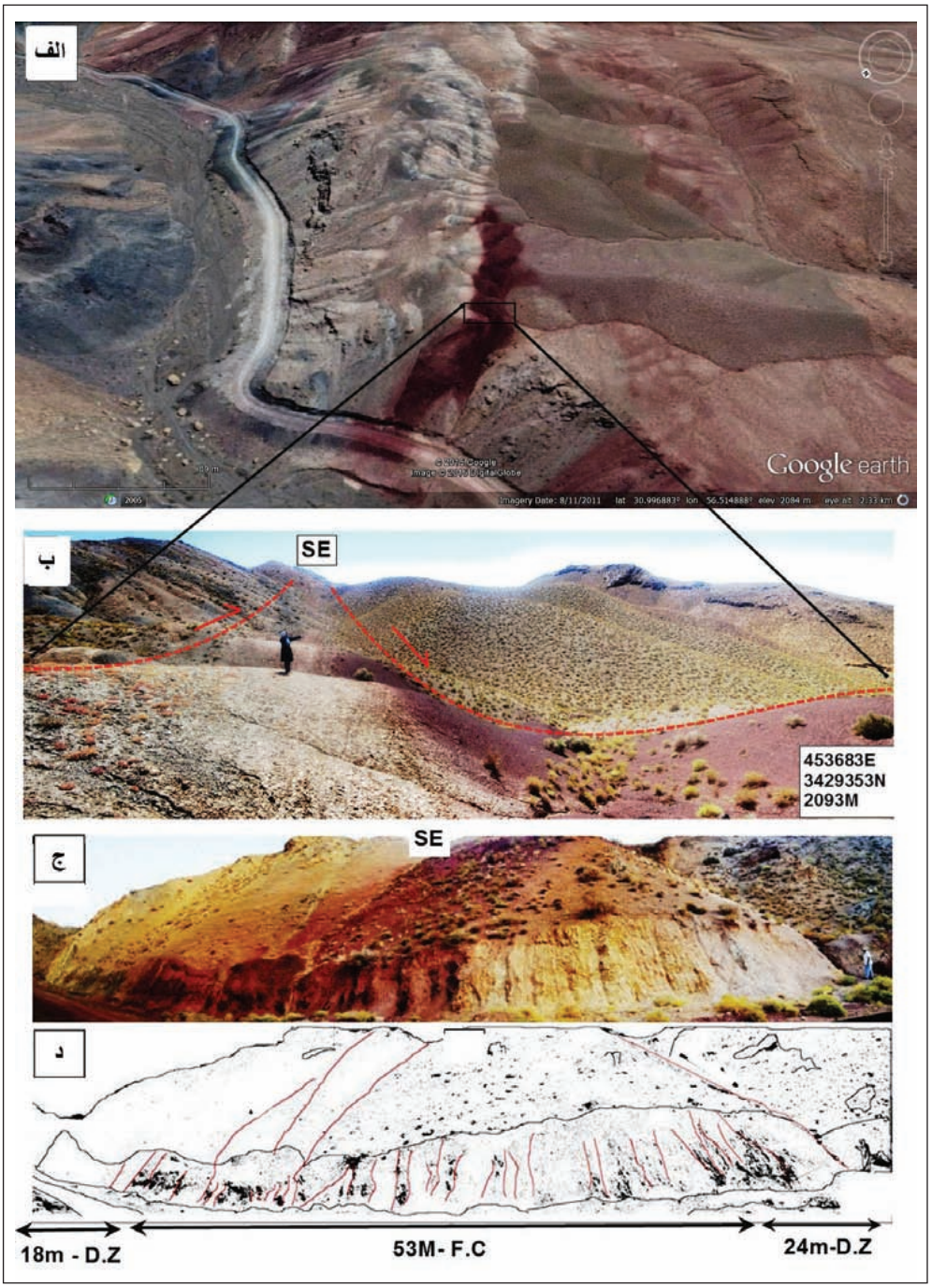
شکل ۱- الف) موقعیت گسل کوهبنان در نقشه گسل‌های ایران (آقانباتی، ۱۳۸۹)؛ ب) موقعیت گسل کوهبنان در نقشه گسل‌های کرمان؛ ج) گسل کوهبنان در تصویر ماهواره‌ای لندست؛ د) محدوده مطالعاتی با رنگ سرخ نمایش داده شده است؛ و) نقشه موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به گستره مورد مطالعه.



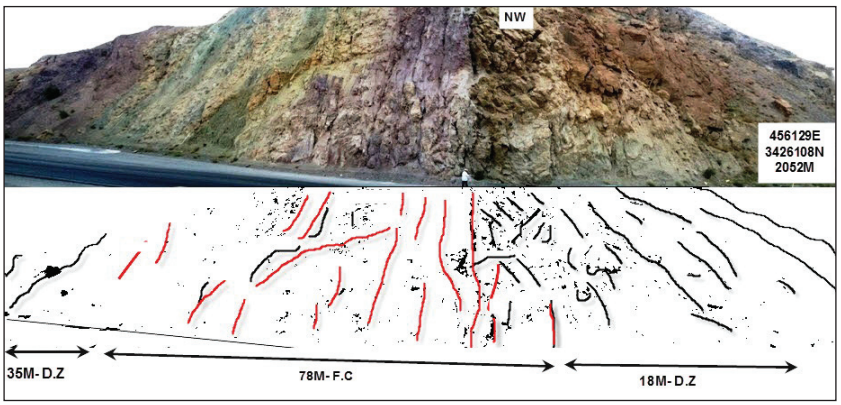
شکل ۲- تصویر ماهواره‌ای رقومی از تکه‌های گسلی گستره مطالعاتی و محل رخنمون‌های اندازه‌گیری شده با دایره‌های به رنگ سرخ و موقعیت مکانی چشمه‌ها با رنگ نشان داده شده است.



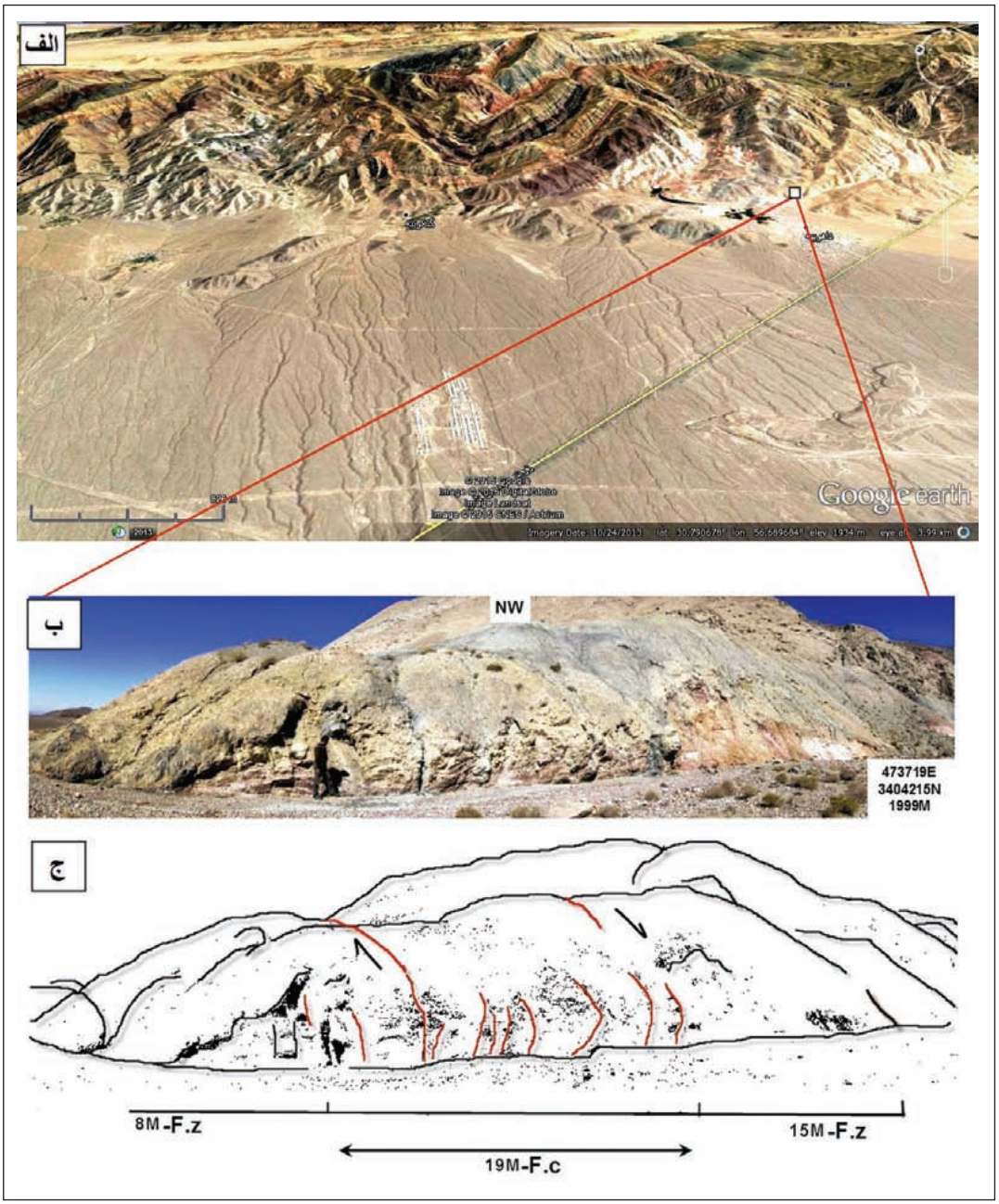
شکل ۳- دو مدل از بخش‌های مختلف یک پهنه گسلی (مقیاس رعایت نشده).



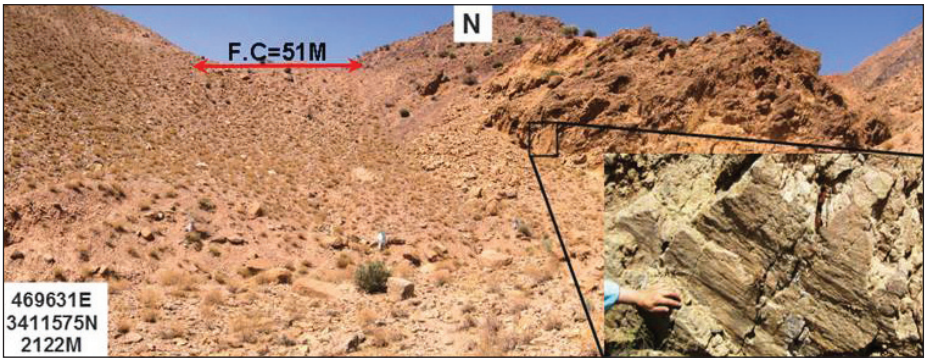
شکل ۴- رخنمون شماره ۲ تکه گسل دهزوییه در الف) تصویر Google earth؛ ب) عکس صحرایی؛ ج) مقطع پهنه گسلی؛ د) تصویر گویا شده این محل.



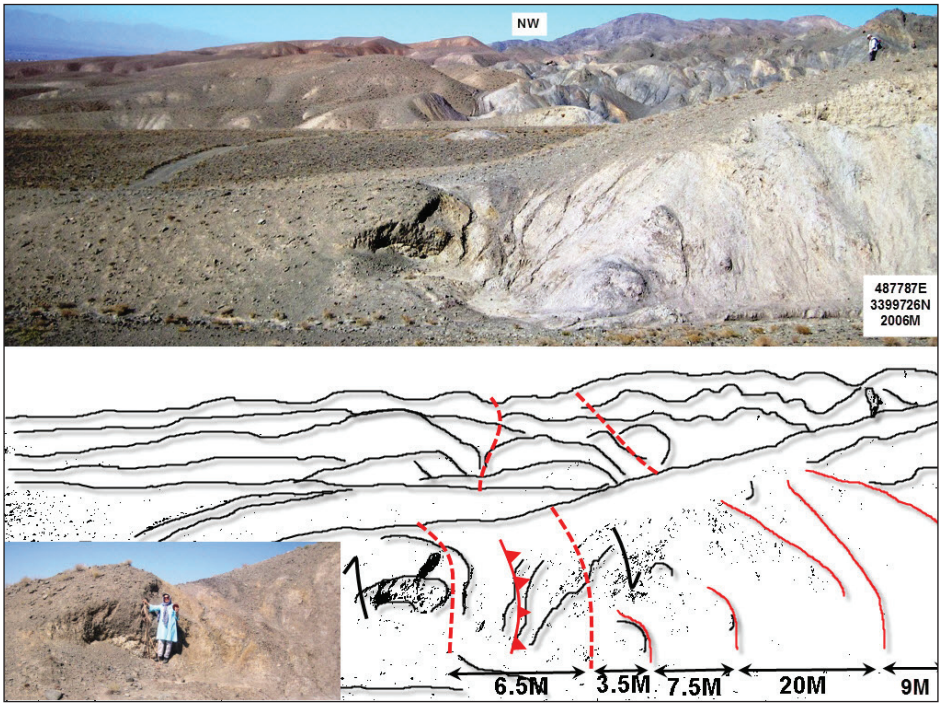
شکل ۵- نمایی از رخنمون شماره ۳ گسل دهزوئیه و تصویر گویا شده این پهنه گسلی.



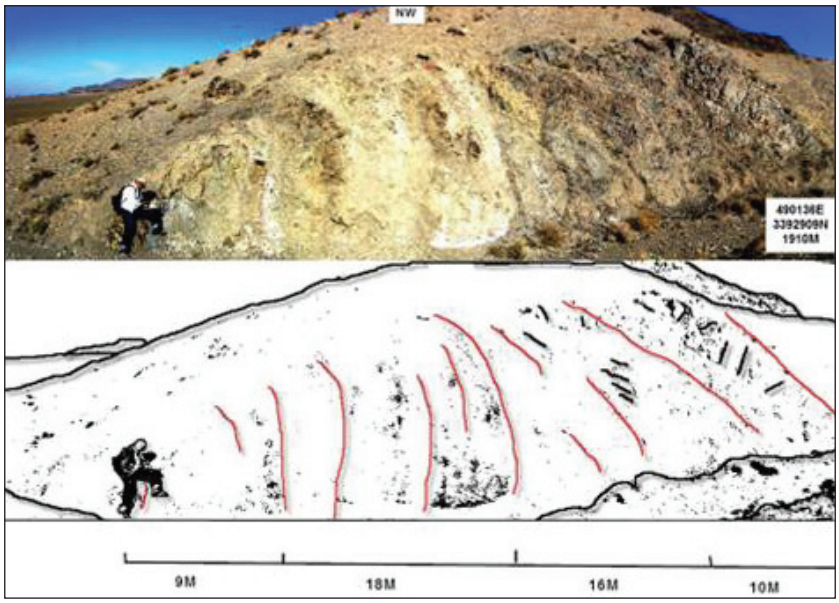
شکل ۶- رخنمون شماره ۱۴ تکه گسل داهوئیه ۲ در الف) تصویر Google earth؛ ب) عکس صحرایی و مقطع پهنه گسلیج) تصویر گویا شده این محل.



شکل ۷- نمای از هسته گسل در روستای گزوییه همراه با خش‌لغز سطح گسل در سنگ‌های آهکی این مکان.

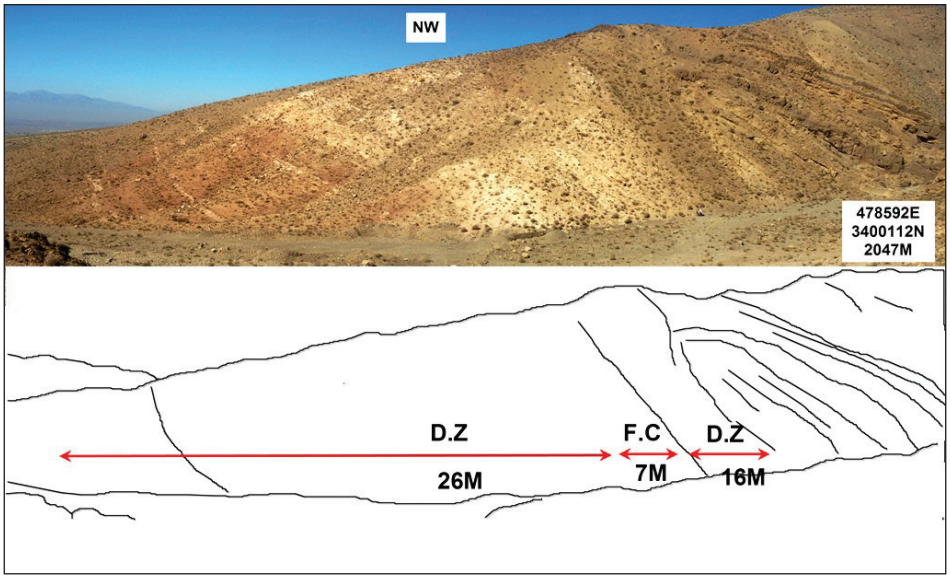


شکل ۸- نمایی از رخنمون شماره ۲۰ تکه گسل تیکدر همرا ه با تصویر گویا شده این پهنه گسلی .

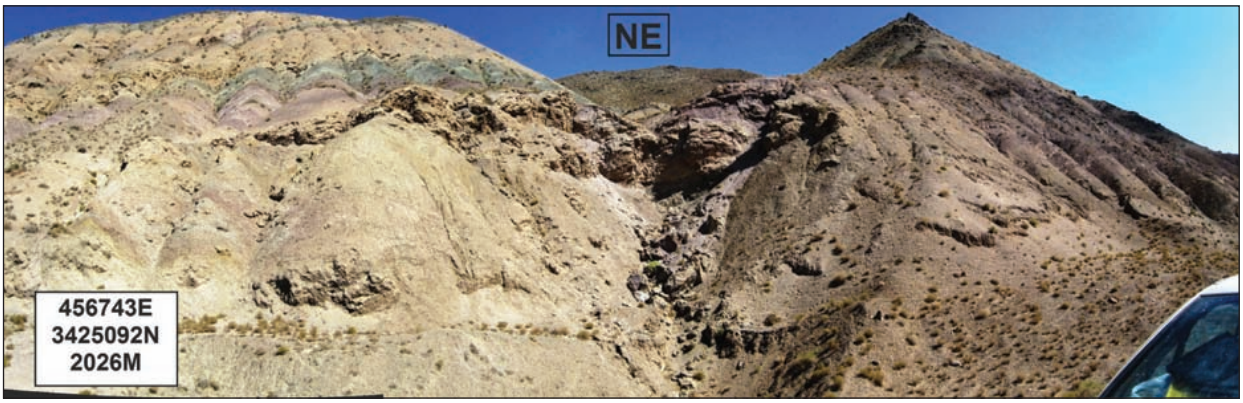


شکل ۹- نمای از رخنمون شماره ۲۱ تکه گسل لنجان همراه با تصویر گویا شده این محل.

شکل ۱۰- نمایی از رخنمون شماره ۱۶ تکه گسل دهاصغر همراه با گویا شده این پهنه گسلی.

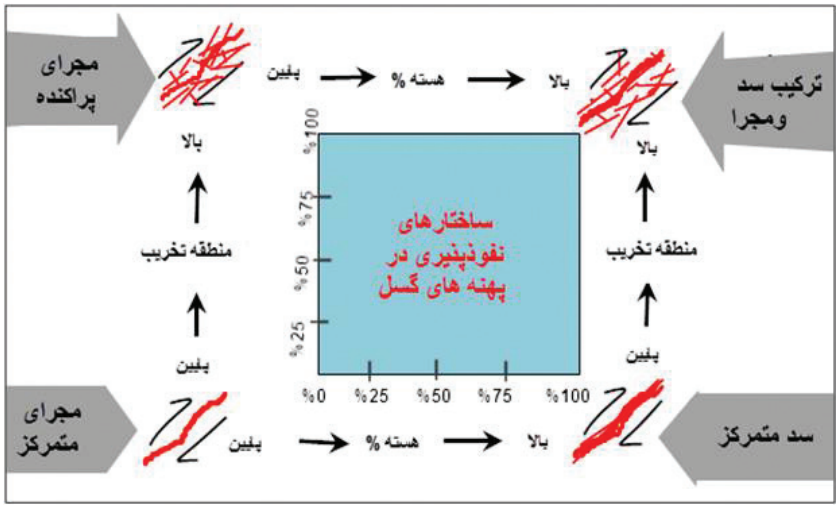


شکل ۱۱- نمای از رخنمون شماره ۱۸ تکه گسل خانوک همراه با تصویر گویا شده این محل.



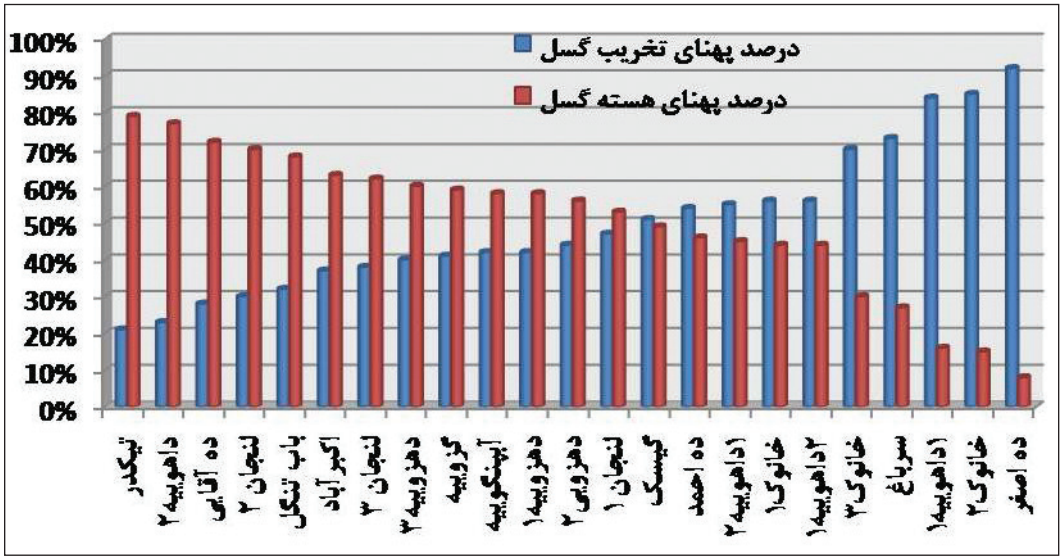
شکل ۱۲- نمای از امتداد گسل کوهبنان در بالای روستای دهآهنگر.

شکل ۱۳- نمای از امتداد گسل کوهبنان در روستای داهوییه که دقیقاً خانه سازی در هسته گسل ساخته شده است.

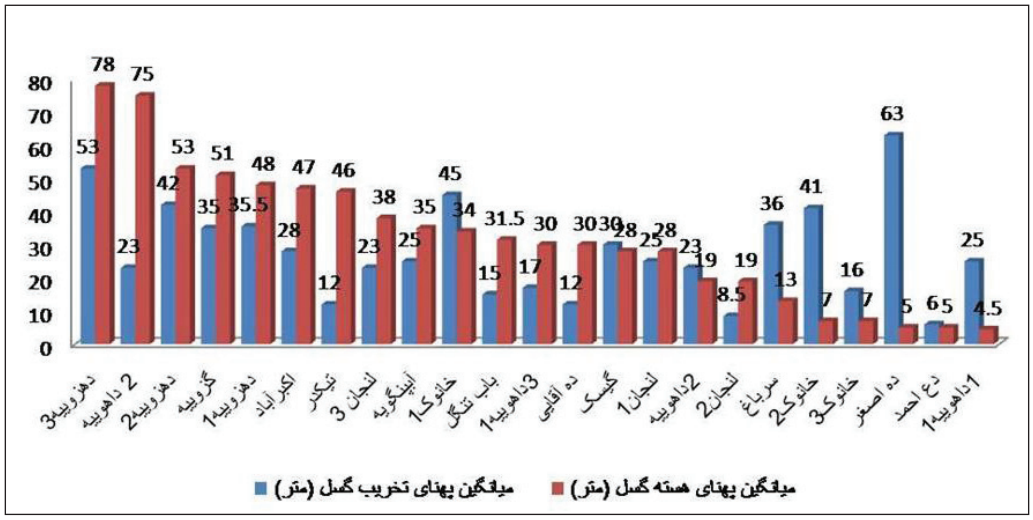


شکل ۱۴- مدل تئوری ارتباط میان پهنه‌های گسلی و جریان سیال‌های با کمی تغییرات (Caine et al., 1996).

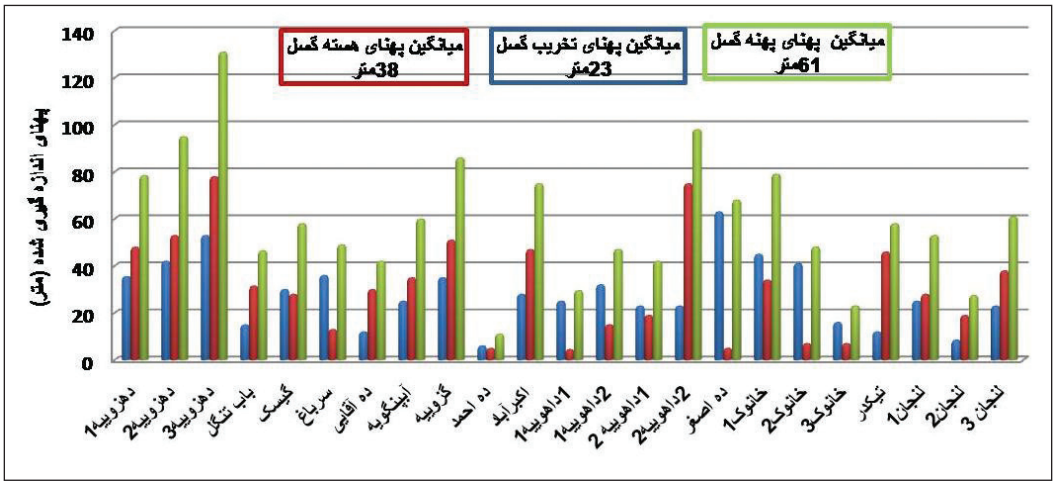
شکل ۱۵- چند مورد از چشمه‌های برداشت شده در گستره مطالعاتی.



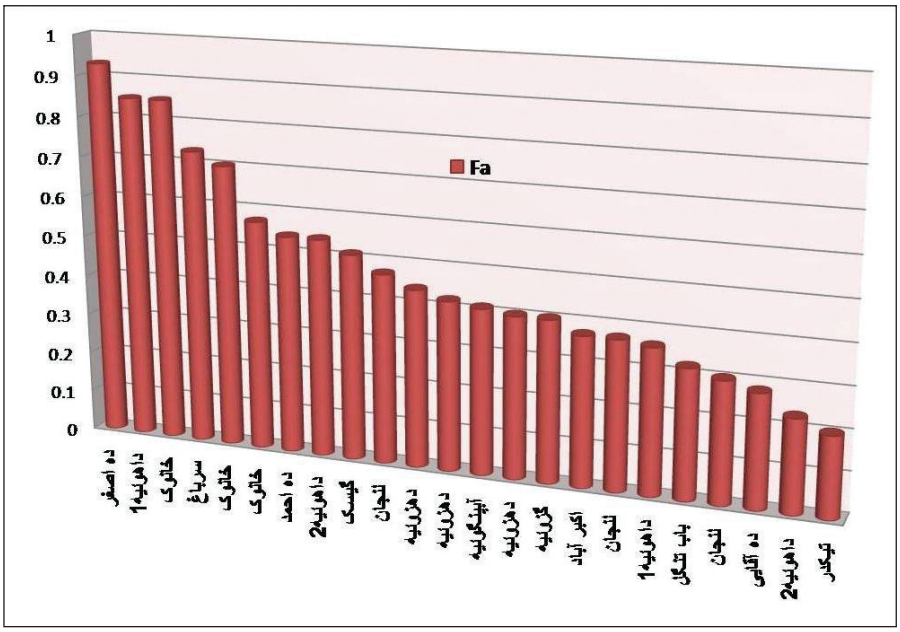
شکل ۱۶- مقدار درصد پهنای هسته گسل نسبت به پهنای تخریب در رخنمون‌های گستره مطالعاتی.



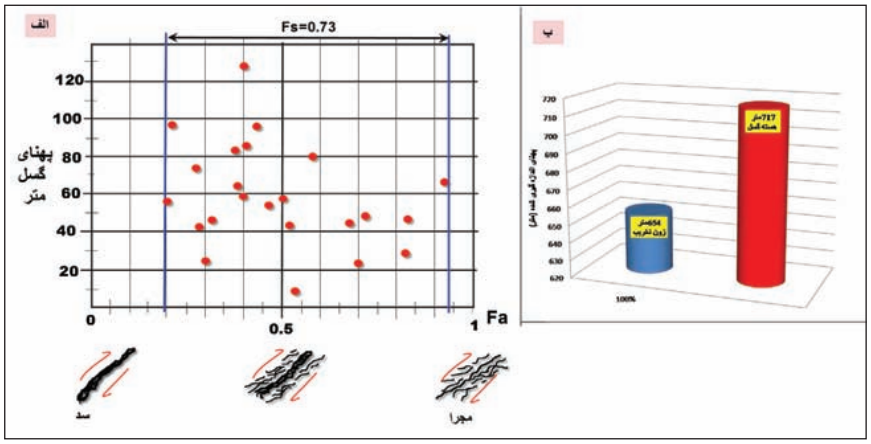
شکل ۱۷- مقدار اندازه‌گیری شده پهنای هسته گسل نسبت به پهنای تخریب در رخنمون‌های گستره مطالعاتی.



شکل ۱۸- مقداراندازه‌گیری شده پهنای هسته گسل و پهنای تخریب نسبت به کل پهنه گسلی در رخنمون‌های گستره مطالعاتی.



شکل ۱۹- مقدار Fa اندازه‌گیری شده در رخنمون پهنه‌های گستره مطالعاتی.



شکل ۲۰- الف) نمودار قرارگیری محل رخنمون‌ها در برابر ستبرای پهنه گسلی؛ ب) نمودار نسبت ستبرای هسته گسل در برابر ستبرای پهنه تخریب در محل رخنمون‌ها.

جدول ۱- ویژگی‌های ساختارهای ایجاد شده توسط پهنه‌های گسلی (Caine et al., 1996).

ساختار ایجاد شده	توزیع واتنش در پهنه گسلی	وضعیت لغزش	هسته گسل	پهنه خرد شده	نفوذپذیری ساختار
مجرای متراکم	در طول یک صفحه متمرکز است	لغزش متمرکز در طول یک صفحه یا صفحات ناپیوسته رخ داده است	وجود ندارد یا کمی گسترش یافته است	وجود ندارد یا کمی گسترش یافته است	شکستگی‌ها ناپیوسته هستند و نیمه موازی با دیواره‌ها قرار دارند
مجرای پخش شده	واتنش در پهنه گسلی پخش است	لغزش غیر متمرکز در طول شکستگی ها رخ داده است	وجود ندارد یا به‌صورت نازک و نوارهای ناپیوسته	به خوبی گسترش یافته است	حالتی هم‌ارز با تعادل متوسط ایجاد می‌شود
سد متراکم	واتنش در هسته گسل متمرکز است	لغزش متمرکز و با پهنه کاتاکلاسیت همخوانی دارد	به خوبی گسترش یافته است	وجود ندارد یا کمی گسترش یافته است	یک لایه نفوذناپذیر (هسته گسل) درون نفوذپذیر (پهنه خرد شده) قرار دارد
ترکیب مجرا و سد	واتنش در هسته گسل متمرکز و در پهنه خرد شده پراکنده است	تغیر شکل در پهنه کاتاکلاسیت متمرکز است	به خوبی گسترش یافته و دارای قطعات کاتاکلاسیت است	به خوبی گسترش یافته و شامل سطوح لغزش و مجرا و شکستگی‌هاست	لایه نفوذناپذیر (هسته گسل) میان دو لایه نفوذپذیر قرار دارد

جدول ۲- تکه‌های گسل مطالعه شده از سامانه گسل کوهبنان در گستره مورد مطالعه.

ردیف	نام تکه گسل	رخنمون	سازوکار	طول(km)
۱	دهزوییه	۱	امتدادلغز راست‌گرد با مؤلفه راندگی	۱/۴۵
		۲	امتدادلغز راست‌گرد	۳/۱۲
		۳	»	۱/۲
۲	باب‌نگل	۴	»	۵/۸۵
۳	گیسک	۵	»	۲/۷۷
	سرباغ	۶	»	۵/۳۸
۴	ده آقایی	۷	»	۲/۰۶
۵	آپنگوییه	۸	امتدادلغز راست‌گرد	۱/۰۱
۶	گزوییه	۹	»	۲/۸۱
۷	ده‌احمد	۱۰	»	۰/۸۳
۸	اکبرآباد	۱۱	»	۱/۹۶

ردیف	نام تکه گسل	رخنمون	سازوکار	طول(km)
۹	داهوییه۱	۱۲	امتدادلغز راست‌گرد با مؤلفه راندگی	
		۱۳	»	۱/۷۳
۱۰	داهوییه۲	۱۴	امتدادلغز راست‌گرد	
		۱۵	»	۳/۰۷
۱۱	ده‌اصغر	۱۶	امتدادلغز راست‌گرد	۱/۱۸
۱۲	خانوک	۱۷	امتدادلغز راست‌گرد با مؤلفه راندگی	
		۱۸	»	
		۱۹	»	۴/۱۴
۱۴	تیکدر	۲۰	امتدادلغز راست‌گرد با مؤلفه راندگی	۶/۳۱
۱۵	لنجان	۲۱	امتدادلغز راست‌گرد با مؤلفه راندگی	
		۲۲و ۲۳		۲/۱۶

جدول ۳- اندازه‌گیری عددی هندسه پهنه‌های گسلی در رخنمون‌های مطالعه شده.

تعداد اندازه‌گیری	رخنمون	میانگین پهنای هسته گسل (متر)	میانگین پهنای پهنه تخریب گسل (متر)	درصد پهنای هسته گسل	درصد پهنای پهنه تخریب گسل	میانگین پهنای پهنه گسل (متر)	Fa	سنگ‌شناسی پهنه تخریب گسل	سنگ‌شناسی هسته گسل
۱	دهزوییه	۴۸	۳۵/۵	%۵۸	%۴۲	۷۸/۵	۰/۴۲	آهک، شیل	گوژ و رس
۲		۵۳	۴۲	%۵۶	%۴۴	۹۵	۰/۴۴	»	»
۳		۷۸	۵۳	%۶۰	%۴۰	۱۳۱	۰/۴۰	آهک، شیل	»
۴	باب‌نگل	۳۱/۵	۱۵	%۶۸	%۳۲	۴۶/۵	۰/۳۲	» و ماسه	»
۵	گیسک	۲۸	۳۰	%۴۹	%۵۱	۵۸	۰/۵۱	»	»
۶	سرباغ	۱۳	۳۶	%۲۷	%۷۳	۴۹	۰/۷۳	آهک	»
۷	ده‌آقایی	۳۰	۱۲	%۷۲	%۲۸	۴۲	۰/۲۸	گچ، آهک	»
۸	آپنگوییه	۳۵	۲۵	%۵۸	%۴۲	۶۰	۰/۴۱	»	»
۹	گزوییه	۵۱	۳۵	%۵۹	%۴۱	۸۶	۰/۴۰	»	»
۱۰	ده‌احمد	۵	۶	%۴۶	%۵۴	۱۱	۰/۵۴	گچ، شیل	گچ، گوژ
۱۱	اکبرآباد	۴۷	۲۸	%۶۳	%۳۷	۷۵	۰/۳۷	شیل، آهک	گوژ و رس
۱۲	داهوییه۱	۴/۵	۲۵	%۱۶	%۸۴	۲۹/۵	۰/۸۵	آهک، شیل	»
۱۳		۱۵	۳۲	%۳۲	%۶۸	۴۷	۰/۶۸	»	»
۱۴	داهوییه۲	۱۹	۲۳	%۴۵	%۵۵	۴۲	۰/۵۴	گچ، شیل زغال‌دار	»
۱۵		۷۵	۲۳	%۷۷	%۲۳	۹۸	۰/۲۳	آهک، شیل	رس
۱۶	ده‌اصغر	۵	۶۳	%۸	%۹۲	۶۸	۰/۹۳	آهک	آهک
۱۷	خانوک	۳۴	۴۵	%۴۴	%۵۶	۷۹	۰/۵۷	رس گچ	رس و گچ
۱۸		۷	۴۱	%۱۵	%۸۵	۴۸	۰/۸۵	ماسه، رس	گوژ ، رس
۱۹		۷	۱۶	%۳۰	%۷۰	۲۳	۰/۷۰	آهک، کوارتز	آهک
۲۰	تیکدر	۴۶	۱۲	%۷۹	%۲۱	۵۸	۰/۲۰	شیل زغال‌دار	گوژ ، رس
۲۱	لنجان	۲۸	۲۵	%۵۳	%۴۷	۵۳	۰/۴۷	ماسه، شیل زغال‌دار	»
۲۲		۱۹	۸/۵	%۷۰	%۳۰	۲۷/۵	۰/۳۰	شیل زغال‌دار	»
۲۳		۳۸	۲۳	%۶۲	%۳۸	۶۱	۰/۳۷	ماسه، شیل زغال‌دار	»
جمع		۷۱۷ (متر)	۶۹۷ (متر)	%۵۲/۵	۴۷/۵	۱۳۷۱ (متر)	۰/۴۷	سنگ رسوبی	رس، گوژ

جدول ۴- مختصات UTM چشمه‌های مسیر مطالعاتی.

شماره	نام چشمه	x	Y	Z	شماره	نام چشمه	x	Y	Z
۱	ده‌آهنگر	۴۷۱۳۹۴	۳۴۰۹۰۱۶	۲۰۷۹	۱۵	اکبرآباد	۴۵۶۰۴۶	۳۴۲۵۴۶۴	۱۹۹۴
۲	گیسک	۴۷۱۲۷۸	۳۴۰۷۶۳۴	۲۰۳۵	۱۶	کتوییه	۴۶۱۹۸۱	۳۴۱۸۴۱۵	۲۰۳۳
۳	گزوییه	۴۷۲۸۰۰	۳۴۰۵۲۵۵	۲۰۲۸	۱۷	داهوییه	۴۶۹۶۳۴	۳۴۱۱۳۷۴	۲۰۸۸
۴	آپنگوییه	۴۷۳۵۰۱	۳۴۰۴۳۶۵	۱۹۸۶	۱۸	»	۴۶۷۸۰۶	۳۴۱۱۵۷۵	۲۱۲۲
۵	”	۴۷۵۸۷۵	۳۴۰۲۲۹۶	۱۹۸۵	۱۹	ده‌اصغر	۴۶۷۴۳۱	۳۴۱۱۲۹۱	۱۹۲۵
۶	ده‌آقایی	۴۷۸۷۹۸	۳۳۹۹۷۲۵	۲۰۰۹	۲۰	خانوک	۴۶۴۸۳۸	۳۴۱۲۱۱۲	۱۹۵۹
۷	”	۴۸۹۳۲۲	۳۳۹۵۱۵۸	۲۰۷۵	۲۱	تیکدر	۴۵۷۰۵۶	۳۴۲۴۴۳۹	۲۰۰۸
۸	باب‌تنگل	۴۸۸۵۳۰	۳۳۹۳۵۶۰	۱۹۴۰	۲۲	»	۴۶۰۲۴۱	۳۴۲۱۱۹۲	۱۹۸۳
۹	”	۴۸۷۳۶۶	۳۳۹۳۷۳۱	۱۸۹۰	۲۳	گورچوییه	۴۵۸۸۴۹	۳۴۲۲۱۹۶	۱۹۴۸
۱۰	”	۴۸۹۷۱۴	۳۳۹۵۷۹۴	۲۱۳۹	۲۴	»	۴۶۳۱۲۳	۳۴۱۷۱۸۱	۲۰۵۵
۱۱	سرباغ	۴۸۲۳۷۳	۳۳۹۳۶۲۸	۱۷۹۹	۲۵	کمونوییه	۴۶۵۸۲۴	۳۴۱۴۷۹۰	۲۰۸۰
۱۲	”	۴۸۶۶۳۶	۳۳۹۴۷۱۸	۱۹۰۵	۲۶	»	۴۶۹۸۱۱	۳۴۱۱۰۸۱	۲۰۵۶
۱۳	ده‌احمد	۴۸۵۲۶۶	۳۳۹۵۱۷۷	۲۰۰۲	۲۷	»	۴۷۰۲۶۴	۳۴۱۰۷۹۷	۲۰۶۹
۱۴	اکبرآباد	۴۹۰۹۰۹	۳۳۹۳۱۸۵	۱۹۹۱	۲۸	لنجان	۴۷۱۵۲۸	۳۴۰۹۰۷۲	۲۰۹۸

کتابنگاری

آقانباتی،س، ع.، ۱۳۸۹- زمین‌شناسی ایران، چاپ سوم، سازمان زمین‌شناسی واکتشافات معدنی کشور.

امینی‌زاده بزنجانی، م.، ۱۳۹۲- تاثیر محیط رسوبی بر خصوصیات مهندسی نهشته‌های ریزدانه شهر کرمان، رساله دکترا، دانشگاه فردوسی مشهد.

بهرامی، ش.، ۱۳۹۰- بررسی نقش ژئومورفولوژی در ویژگی آبهای زیرزمینی حوضه آبخیز کنگیر، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۶ و ۷ اردیبهشت (۱۳۹۰)، دانشگاه سمنان.

حفیظی،م. و ولی، ج.، ۱۳۷۸- بررسی منابع آب زیرزمینی در درز و شکاف‌ها به روش مقاومت ویژه و قطبش القایی با آرایه مربعی، فیزیک زمین و فضا، جلد ۲۵، شماره‌های ۱ و ۲، صفحه ۲۹.

دفتر بررسی منابع آب شرکت سهامی آب منطقه ای کرمان، ۱۳۷۱-گزارش مطالعات ژئوالکتریک دشت زرند.

رادفر، ش. و پورکرمانی، م.، ۱۳۸۵- تحلیل ریخت‌زمین‌ساختی گسل کوهبنان، فصلنامه علوم زمین، شماره ۵۷.
رحیمیان، م. و کمالی، غ.، ۱۳۸۶- مدل‌سازی منابع آب زیرزمینی دشت جیرفت، گزارش مطالعات آب منطقه ای کرمان.
شاه‌پسندزاده، م. و حیدری، م.، ۱۳۷۵- بررسی مقدماتی لرزه‌خیزی، لرزه‌زمین‌ساخت و خطر رویداد زمین‌لرزه- گسلش در پهنه استان کرمان، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
شاه‌پسندزاده، م. و شفیعی بافتی، ا.، ۱۳۸۴- بررسی میزان جابه‌جایی وآهنگ لغزش در بخش میانی پهنه گسلی کوهبنان، جنوب خاور ایران مرکزی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال هشتم، شماره دوم وسوم.
شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۹۴- مطالعات پایه منابع آب، دفتر مطالعات زرند، گزارش ادامه مطالعات دشت زرند .
شفیعی بافتی، ا. و درخشانی، ر.، ۱۳۸۰- بررسی‌های مورفوتکتونیکی گسل کوهبنان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرند.
پورکرمانی، م.، شفیعی بافتی، ا.، شاه‌پسندزاده، م. و ایرانمنش، ف.، ۱۳۸۸- ریخت‌زمین‌ساخت و ارزیابی فعالیت گسل کوهبنان از طریق محاسبه شاخص‌های زمین‌ریختی، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال اول، شماره ۳.
صبا، ن. و اسکویی، ب.، ۱۳۹۱- نیمرخی از گسل شمال تهران VLF ، مدل‌سازی داده های بسامد کم در منطقه شهران، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۸، شماره ۲، صص ۱۴۹ تا ۱۵۶.
نادری، ط.، شاه‌پسندزاده، م. و شفیعی بافتی، ا.، ۱۳۹۴- تحلیل ساختاری و ریخت‌زمین‌ساخت گسل کوهبنان در شمال چترود، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی واکتشافات معدنی کشور، بهار ۹۴، سال بیست و چهارم، شماره ۹۵، صص ۳ تا ۱۰.
وحدتی دانشمند، م. و قاسمی، ع.، ۱۳۷۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه زرند، ورقه زرند، شماره ۷۳۵۱، مقیاس ۱۰۰۰۰۰ :۱، سازمان زمین‌شناسی واکتشافات معدنی کشور.
هاشمی ، ن.، ۱۳۸۹- بررسی ارتباط بین گسل‌ها و شکستگی‌های بزرگ‌مقیاس و وضعیت فراوانی و کیفیت منابع آب زیرزمینی استان سمنان، مدیریت منابع آب ایران.

References

Al-Taj, M., 2008- Structural Control on Groundwater Distribution and Flow in Irbid Area, North Jordan, Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences, V. 1, P. 81- 88.

Anderson, L. J., Osborne, R. H. and Palmer, D. F., 1983- Cataclastic rocks of the San Gabriel fault—An expression of deformation at deeper crustal levels in the San Andreas fault zones: Tectonophysics, v. 98, p. 209–251.

Aydin, A., 2000- Fractures, faults, and hydrocarbon entrapment, migration and flow. Mar. Petrol. Geol. 17, 797e814.

Berberian, M., 2005- The 2003- Bam Urban Earthquake: a predictable seismotectonic pattern along the western margin of the rigid Lut block, southeast Iran.Earthquake Sprectra 21, S35eS99.

Caine, S. J. and Forster, C. B., 1999- Fault zone architecture and fluid flow: insight from field data and numerical modeling. In: Haneberg, W.c., Mozeley,.

Caine, S. J., Coates, D. R., Timoffeef, N. P., and Davis, W. D., 1991- Hydrogeology of the Northern Shawangunk Mountains: New York State Geological Survey Open-File Report 1g806, 72 p. and maps.

Caine, S. J., Evans, J. P., Forster, C. B., 1996- Fault zone architecture and permeability structure. Geology 24, 1025-1028. Caine, S. J. and Forster, C. B.,1999- Fault zone architecture and fluid flow: insight from field data and numerical modeling. In: Haneberg, W.c., Mozeley.

Cervantes, M. A. and Armienta, M. A., 2004- Influence of faulting on groundwater quality in Valle del Mezquital, Mexico. Geoffisica International, Vol. 43, No. 3, 477-493.

Chuma, C., Hlatywayo, D. J., Zulu, J., Muchingami, I., Mashingaidzeand, R. T. and Midz, V., 2013- Modelling the Subsurface Geology and Groundwater Occurrence of the Matsheumhlope Low Yielding Aquifer in Bulawayo Urban,Zimbabwe, Journal of Geography and Geology; Vol. 5, No. 3; 2013, ISSN 1916.

Delta, H., 2012- South Africa Evaluation of factors influencing transmissivity in fractured hard-rock aquifers of the Limpopo Province.

Huckeied, R., Kursten, M. and Vezlaff, H., 1962- geologie des gebietest zwischen Kerman and Saghand (Iran) Beih. Geol.Jb,Vol.51.197PP.

Issued draft March, 2009- Ground Water Hydrology and Geology,National Engineering Handbook.

Jeanne, P., Guglielmi, Y., Cappa, F., Rinaldi, A. P. and Rutqvist J., 2014- The effects of lateral property variations on fault-zone reactivation by fluid pressurization: Application to CO_2 pressurization effects within major and undetected fault zones, Journal of Structural Geology.

Jourde, H., Flodin, E. A., Aydin, A., Durlofsky, L. J. and Wen, X. H., 2002- Computing permeability of fault zones in eolian sandstone from outcrop measurements. AAPG Bull. 86 (7), 1187e1200.

Khorsandi Aghai, A., Miyata, T. and Ghoreishi, H., 2008- The interaction between water resources and faults: Case study of Lar valley in northeast Tehran, Internatio Journal of Geology Issue 3, Volume 2.

Kresic, N., 2010- Types and classification of springs. In: Kresic, N. and Stevanovic, Z. (eds.) Groundwater hydrology of springs, Elsevier, UK.

Rangzan, K., Charchi, A., Abshirini, E. and Dinger, J., 2008- Remte Sensing and GIS Approach for Water-well Site Selection, Southwest Iran.. Travaglia, (1988), Ground water exploration by satellite remote sensing on the Syrian Arab Republic. RSC services 76, FAO.

Roques, C., Bour, O., Aquilina, L., Dewandel, B., Leray, S., Schroetter, J. M., Longuevergne, L., Le Borgne, T., Hochreutener, R., Labasque, T., Lavenant, N., Vergnaud-Ayraud, V. and Mougin, B., 2014- Hydrological behavior of a deep sub-vertical fault in rystalline basement and relationships with surrounding reservoirs, Université Rennes, Journal of Hydrology 509 (2014) 42–54.

Seaton, W. J. and Burbey, T. J., 2005- Influence of Ancient Thrust Faults on the Hydrogeology of the Blue Ridge Province.

Walker, F. and Allen, M . B., 2012- Offset rivers, drainage spacing and the record of strike-slip faulting: The Kuh Banan Fault, Iran, Journal of Structural Geology.

Walker, R. T, Talebian, M., Saiffori, S., Alastair Sloan, R. and Rasheedi, A., 2010- Active faulting, earthquakes, and restraining bend development near Kerman city in southeastern Iran, Journal of Structural Geology.

Williams, N. H. and Lee, M., 2013- Ireland at risk – Possible implications for groundwater resources of climate change. Groundwater Section, Geological Survey of Ireland.

Yazdani, N. and Aryamanesh, M., 2013- Study of the Role of Structural Elements in Aquifers Potential Detection, Using RS and GIS, a Case Study East of Tabas Central Iran, International Bulletin of Water Resources and Development,

Zaigham, N. A., Aburizaiza, O. S., Nayyer, Z. A., Mehar, G. A., Siddiq, A. and Noor, S., 2003- Satellite Tech-Identification of Groundwater Offshore Springs in Red Sea along Jeddah-Rabigh Costal Belt: A Case of Fault-Zone-Aquifers in Crystalline Rocks of Arabian Shield.

Permeability study of structures associated with Kuh Banan fault zone (north of Kerman, Central Iran)

T. Naderi [1*], M. Pourkermani [2], A. Shafiei Bafti [3], M. Aminizadeh [4] & S. Bouzari[5]

[1]Ph.D. Student, Department of Geology, Islamic Azad University, North Tahran Branch, Tahran, Iran

[2]Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, North Tahran Branch ,Tahran, Iran

[3]Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Zarand Branch, Kerman, Iran

[4]Ph.D., Range & Watershed Management Organization, Kerman, Iran

[5]Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, North Tahran Branch ,Tahran, Iran

Received: 2016 January 02 Accepted: 2016 April 20

Abstract

In this study, the permeability of structures associated with Kuhbanan fault zone has been investigated. The Kuhbanan fault zone is one of the most seismically active structural trends in Kerman province. The behaviour of fault zones against groundwater flow (conduit, barrier, or a combination of both) is relatively controlled by fault core, damage zone, and permeability of fractures and rock units in the fault zone. In this research, qualitative and quantitative data, together with field observations and numerical models have been used. In order to measure the structures in the Kuhbanan fault zone, 23 outcrops were selected for model parameters. Results show that the fault zone acted as barrier in 12 outcrops, conduit in 4 outcrops and a combined barrier-conduit in 6 outcrops. In total, the 61-m-wide southern part of the Kuhbanan fault zone is composed of a fault core of 38 m and a damage zone of 23 m wide, respectively. Therefore, this segment of the Kuhbanan faul zone acts as a combination of conduit and strong barrier for fluid flow. The fault core is well developed but the damage zone is weakly developed , and therefore deformation has been largely localized within the fault core and distributed in the damage zone. To analyze the architecture of the fault zone three Fa, Fs, Fm indices were used. For the southern segment of the Kuhbanan fault zone, the Fa, Fs and Fm were measured as 0.47, 0.73 and 0.51, respectively. The relatively low Fa and high Fs indicate that the Kuhbanan fault zone in this area is not associated with uniform architecture. Also the numerous fault springs in the area are affected by this fault zone.

Keywords: Fault zone, Kuhbanan fault, Fault core, Fault zone architecture indicators, Permeability, Barrier, Conduit.

For Persian Version see pages 267 to 280

*Corresponding author: T. Naderi; E-mail: ta_nadery@yahoo.com

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional