تاریخ چاپ: بهار ۱۳۹۰

تکتونیک فعال مرتبط با گسل جوان اصلی زاگرس در محدودهٔ سد رودبار لرستان

رضا علی‌پور، محسن پورکرمانی: دانشگاه شهید بهشتی
مهدی زارع : پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی

چکیده

ساختگاه سد رودبار لرستان در ۱۰۰ کیلومتری جنوب الیگودرز در کمربند زاگرس مرتفع واقع شده است. در ۱/۶ کیلومتری جنوب این سد یک قطعه از گسل جوان اصلی زاگرس (MRF) به نام گسل سراوند- بزنوید (SBF) رخنمون دارد. در این پژوهش برای بررسی نقش گسل سراوند – بزنوید در منطقه پژوهش، ابتدا به روش استخراج اتوماتیک و بر پایهٔ الگوریتم STA، خطواره‌های منطقه از عکس‌های ماهواره‌ای و مدل سایهٔ ارتفاعی استخراج شده است، سپس برای بررسی دقیق ساختارها، با استفاده از مشاهدات صحرایی و نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه به سه زون گسل اسلام‌آباد، محور سد و گسل جوان اصلی تقسیم گردید. در زون گسل اسلام‌آباد، مهم‌ترین ساختار گسل معکوس اسلام‌آباد است که ۱۵ کیلومتر طول دارد. این گسل از نوع شکستگی‌های نوع P درمنطقه است. در زون (MRF) مهم‌ترین ساختار گسل (SBF) است که در منطقهٔ پژوهش سازوکار این گسل امتدادلغز با مؤلفهٔ معکوس است. این گسل در ارتفاعات شمالی‌تر منطقه باعث جابه‌جایی راست‌گرد ۵۰۰ تا۱۰۰۰ متری در روند آبراهه‌ها شده است. در زون‌محور سد مهم‌ترین و اصلی‌ترین ساختار گسل F1 است. سازوکار این گسل امتدادلغز راست‌گرد است، و ۱۵۰ متر طول دارد. سن‌یابی ترمولومینوسانس، صفحهٔ گسلی برجسته، جهت‌گیری آن و گرومارک روی سطح گسل نشان دهندهٔ جوان بودن این گسل است. جابه‌جایی زیاد در طول گسل‌های امتدادلغز در منطقه، چون گسل F1 با دو مدل زون برشی و مدل پلکانی[1] بررسی شده است، که به علت شیب زیاد گسل‌های منطقه مدل پلکانی مناسب‌تر است. با این حال، مهم‌ترین گسل موجود در منطقه گسل (SBF) است که با یک آرایش پلکانی نسبت به گسل لرزه‌زای درود قرار گرفته است و پتانسیل لازم جهت حرکت در آینده را دارد.

مقدمه

کمربند چین و راندگی زاگرس در جنوب غرب ایران با روند شمال باختر- جنوب خاور در نتیجهٔ برخورد نئوژن بین صفحات عربی و اوراسیاست. همگرایی بین صفحات عربی و اوراسیا با میزان حدوداً ۳۵ تا ۴۰ میلی‌متر در سال است [۱۳]. این همگرایی به صورت کوتاه‌شدگی و به صورت چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی معکوس در پوستهٔ قاره‌ای ایران است. بخشی از این همگرایی صرف فرورانش پوستهٔ اقیانوسی عمان به زیر

واژه‌های کلیدی: گسل جوان اصلی زاگرس، گسل سراوند – بزنوید، سد رودبار لرستان، امتدادلغز، گرومارک
دریافت ۸۹/۶/۱۳ پذیرش ۸۹/۱۰/۱۲

۱.En echelon

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

پوستهٔ قاره‌ای مکران در جنوب ایران می‌گردد. البته اندازه‌گیری‌های (GPS) نشان می‌دهد که بلوک‌های عربی و اوراسیا با میزان ۲۱ میلی‌متر در سال و با شیب ۵۰ درجه به سوی جنوب خاور به هم نزدیک می‌شوند. به همین علت یک کوتاه‌شدگی با روند شمال، شمال خاور وحدود ۱۰میلی‌متر در سال به وجود می‌آید که نسبت به کمربند چین و راندگی اصلی زاگرس مایل است [۷]. منطقهٔ پژوهش در زیر پهنهٔ راندگی یا زاگرس مرتفع واقع شده است. شواهدی از دو فاز چین‌خوردگی در زاگرس مرتفع وجود دارد که فاز اول در اواخر کرتاسه و فاز دوم از اواخر میوسن تا کنون بوده که شدت آن پلیوسن بیش‌ترین مقدار بوده است. این دو فاز چین‌خوردگی، چین‌هایی با دامنه و طول موج متفاوت ایجاد کرده‌اند که طول موج چند صد متر تا بیش از ۱۰ کیلومتر و طول چند کیلومتر تا ده‌ها و حتی صدها کیلو متر دارند [۱۶].

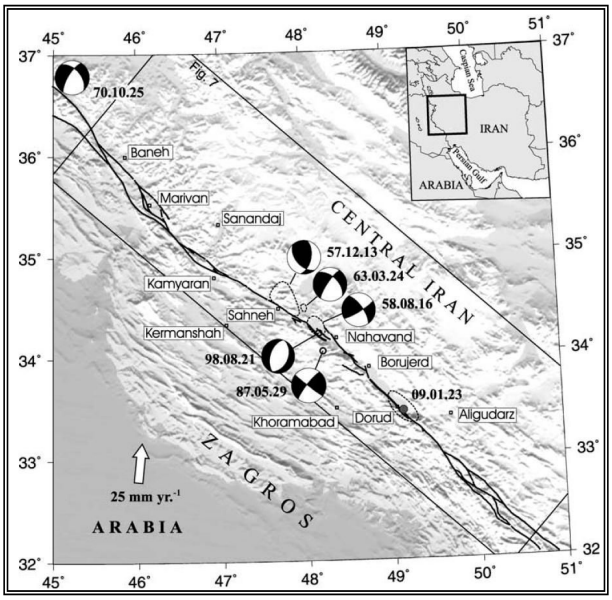
همچنین مرحله اصلی چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی معکوس مربوط به آن، در کمربند زاگرس مرتفع در زمان میوسن و در یک رژیم فشارشی با روند شمال، شمال خاوری بوده است. مهم‌ترین تغییر شکل‌های چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی در کمربند زاگرس مرتفع به وسیله فشارش با روند شمال، شمال خاور در میوسن بوده است و به سمت جنوب در زاگرس چین خورده، چین‌خوردگی‌ها به علت فشارش با روند شمالی جنوبی از زمان میوسن تا عهد حاضر بوده است[۱۷].

ساختگاه سد رودبار لرستان نزدیک به دو ساختار بزرگ شناخته شده قرار دارد که یکی گسل اصلی معکوس زاگرس (MZRF) که در ۱۰ کیلومتری شمال خاور ساختگاه است و دیگری یک قطعه ازگسل جوان اصلی زاگرس (MRF) به نام گسل سراوند بزنوید (SBF) است، که در فاصله ۱/۶ کیلومتری جنوب ساختگاه سد قرار دارد. (MZRF) که مرز شمالی کمربند زاگرس مرتفع است، براساس اندازه‌گیری‌های (GPS) و اسناد لرزه-شناسی فعالیت لرزه‌ای مهمی ندارد[۹]. گسل جوان اصلی (MRF) عمل‌کرد راستالغز راست‌گرد دارد و از چندین قطعهٔ گسلی تشکیل شده است که از مرز ایران و ترکیه در ۳۷ درجهٔ شمالی شروع، و به سمت جنوب با بیش از ۸۰۰ کیلومتر ادامه دارد (شکل۱).

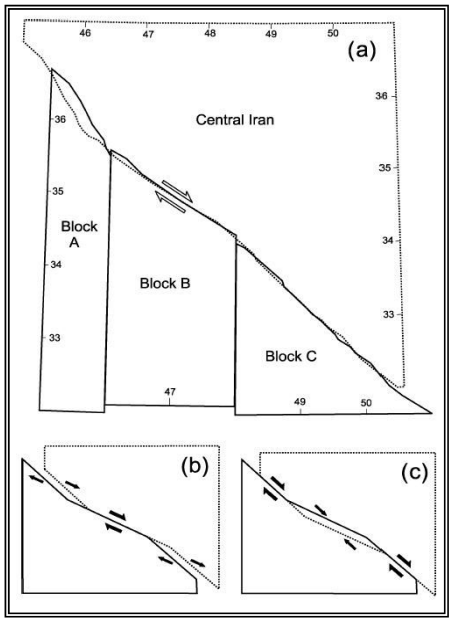
در امتداد این گسل (پاره‌های درود، نهاوند، گارون، صحنه و دینور)، گسل اصلی معکوس زاگرس دچار یک جدایش[۱] راست‌گرد شده است[۱۲]. بررسی آبراهه‌ها و بازسازی آن‌ها میزان جابه‌جایی راستالغز راست‌گرد در راستای گسل جوان اصلی زاگرس را ۵۰ تا ۷۰ کیلومتر نشان می‌دهد و با فرض این که بیش‌ترین جنبش در امتداد این گسل ۳ تا ۵ میلیون سال پیش شروع شده باشد، آهنگ لغزش افقی در امتداد این گسل ۱۰ تا ۱۷ میلی-متر در سال برآورد می‌شود. همچنین امتداد گسل جوان اصلی زاگرس متغییر است، چنان‌که از ۳۳۰ درجه نزدیک مریوان در شمال غرب شروع شده و در بخش مرکزی و نزدیک صحنه امتداد آن ۳۰۰ درجه می‌شود و در بخش‌های جنوبی و نزدیک درود امتداد آن به ۳۱۵ درجه می‌رسد. بنا بر این ممکن است، بردار لغزش به موازات قسمت میانی یا به موازات قسمت‌های شمال غربی و جنوب شرقی باشد، که در شکل ۲ نشان داده شده است [۱۰].

۱.Offset

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]



شکل۱. پاره‌های مختلف گسل جوان اصلی زاگرس[۱۰]



شکل ۲. a- روندهای مختلف گسل جوان اصلی
b- بردار حرکت به موازات قسمت میانی
c- بردار حرکت به موازات قسمت‌هایNW و SE [۱۰]

سد روبار لرستان در ۱۰۰ کیلومتری جنوب الیگودرز بر روی رودخانهٔ آب‌رودبار در مختصات جغرافیایی ″۱۹ ′۵۴ °۳۲ شمالی و″۰۵ ′۴۱ °۴۹ شرقی به منظور استفاده از پتانسیل مناسب نیروی آب در تولید انرژی برقابی در حال احداث است (شکل ۳).

در این پژوهش ابتدا با استفاده از بررسی تصاویر ماهواره‌ای، نقشهٔ کلی خطواره‌های تهیه و روندهای کلی خطواره‌ها تشخیص داده شد. سپس با توجه به اهمیت گسل جوان اصلی زاگرس در منطقه، با استفاده از ترکیب باندی و تلفیق عکس‌های ماهواره‌ای جابه‌جایی موجود در روند آبراهه‌ها به‌وسیلهٔ این گسل تشخیص داده شد.

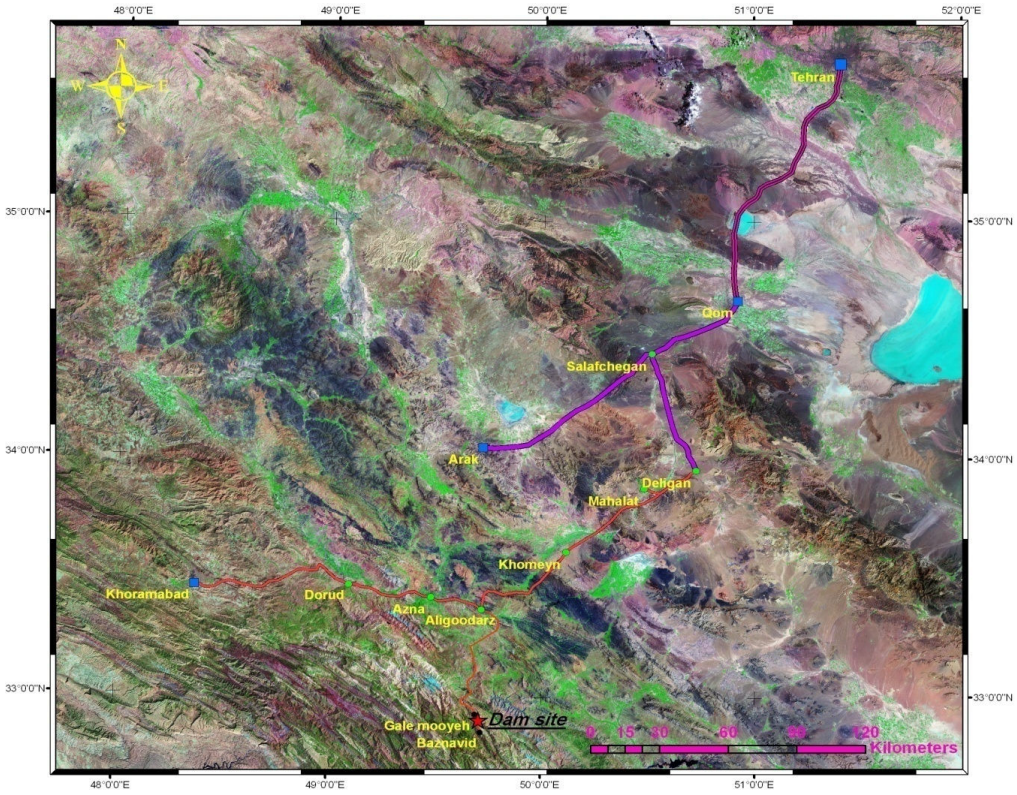
همچنین با تقسیم‌بندی منطقه به سه زون ساختاری، ساختارهای موجود در هر زون شناسایی و بررسی شد و در نهایت مدل‌های جابه‌جایی برای شکستگی‌های منطقه پیشنهاد شده است.

توپوگرافی منطقه، یک اختلاف ارتفاع طبیعی بین سد و نیروگاه ایجاد کرده است که این اختلاف ارتفاع ۳۰۰ متر و به علت چرخش طبیعی رودخانه آب‌رودبار است که پس از یک چرخش U شکل که از این پس رودخانه الکن نامیده می‌شود، به محل نیروگاه می‌رسد (شکل۴).

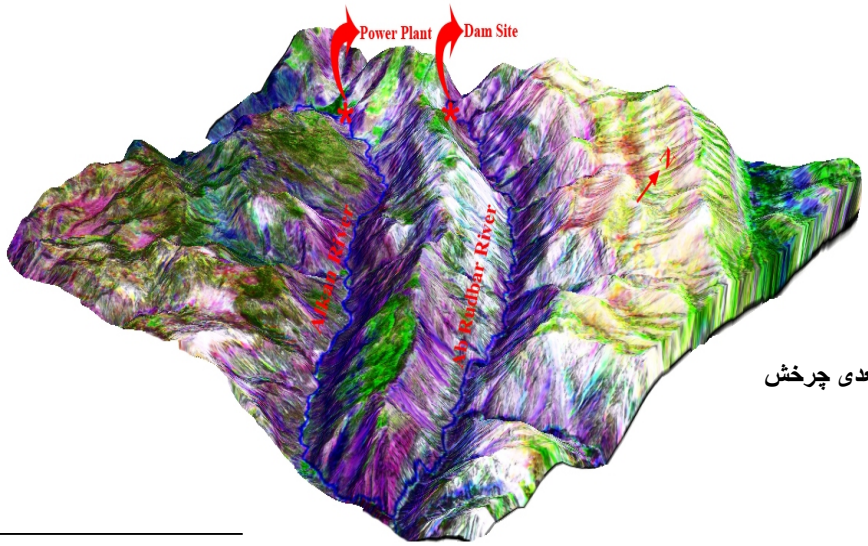
از آن‌جا که سدها نقش بسیار مهمی در تنظیم و استفادهٔ بهینه از منابع آب و تولید انرژی دارند، حفظ پایداری سد و مخزن آن، از عواملی است که باید بررسی شود. بنا بر این وضعیت ساختاری و تحلیل ساختارهای موجود، از قبیل گسل‌ها و درزها، نقش مهمی در پایداری سدها دارند. حرکات گسل‌ها و تکان‌های لرزه‌ای ممکن است باعث تغییر شکل و خرابی ساختاری در پی سد و همچنین ساختارهای وابسته شود؛ برای مثال سد،

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

شی کانگ[1] در طی زلزله چی‌چی در سال۱۹۹۹ در تایوان، به علت فعالیت گسل فعال در پی سد تخریب شد. ازآن‌جا که منطقهٔ پژوهش در زاگرس مرتفع قرار دارد، و نیز با وجود (MRF)، تحلیل ساختارها و تأثیر لرزه-خیزی این گسل بر ساختارهای موجود در محل سد، ضرورت انجام این پژوهش محرز می‌شود.



شکل ۳. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ پژوهش



شکل ۴. الگوی سه‌بعدی چرخش رودخانهٔ آب‌رودبار

۱.Shih-kang

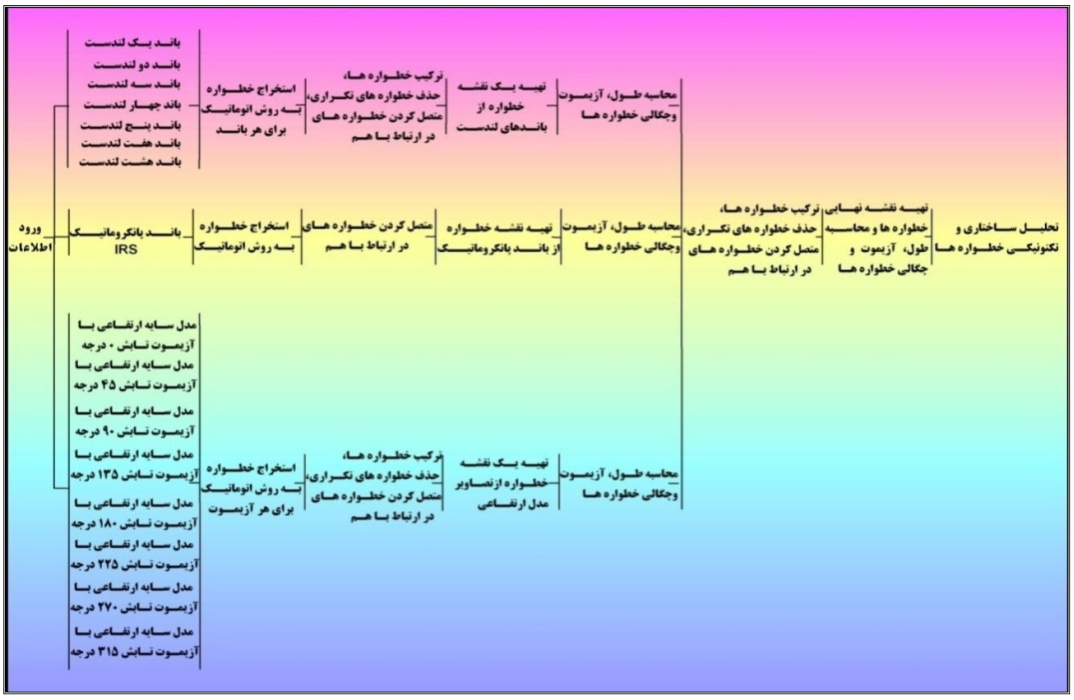
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

تحلیل ساختاری منطقه

الف) تفسیر تصاویر ماهواره‌ای

برای استخراج شکستگی‌های منطقه، به‌خصوص شکستگی‌های مرتبط با (MRF)، از روش استخراج اتوماتیک استفاده شده است. دراین پژوهش، از تصاویر دو ماهوارهٔ لندست۷ و ماهوارهٔ IRS و همچنین از الگوی سایه ارتفاعی (DEM) استفاده شده است. در مدل سایه ارتفاعی، نور مصنوعی از یک منبع نقطه‌ای با زاویه‌ای از سطح افق (Inclination) و زاویه‌ای با جهت شمال (آزیموت) بر سطح تابیده می‌شود و سایه‌ای از اطلاعات ارتفاعی سطح زمین تهیه می‌کند [۶].

در این پژوهش، هشت مدل سایهٔ رقومی برای استخراج خطواره‌ها با زاویه تابش ۳۰ درجه از سطح افق و آزیموت‌های ۰،۴۵،۹۰،۱۳۵،۱۸۰،۲۳۵،۲۷۰ و ۳۱۵ درجه استفاده گردید. شکل (۵) الگوریتم نحوهٔ تهیهٔ نقشهٔ کلی خطواره‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۵. الگوریتم نحوهٔ تهیهٔ نقشهٔ کلی خطواره‌ها

برطبق الگوریتم بالا پس از استخراج خطواره‌ها، سه نقشه تهیه شد که این نقشه‌ها در محیط GIS با هم ترکیب شدند و نقشهٔ نهایی به دست آمد. سپس ناحیه زون گسلی جوان زاگرس به سه زیرناحیه تقسیم شد. با ترسیم آزیموت طول خطواره‌ها ، برای سه زیرناحیه، نتایج زیر به دست آمد که در شکل ۶(a) دیده می‌شود.

۱) در زیر ناحیهٔ یک، خطواره‌ها دارای یک جهت‌گیری اصلی در N40W و جهت‌گیری‌های فرعی N-S و N35E هستند.

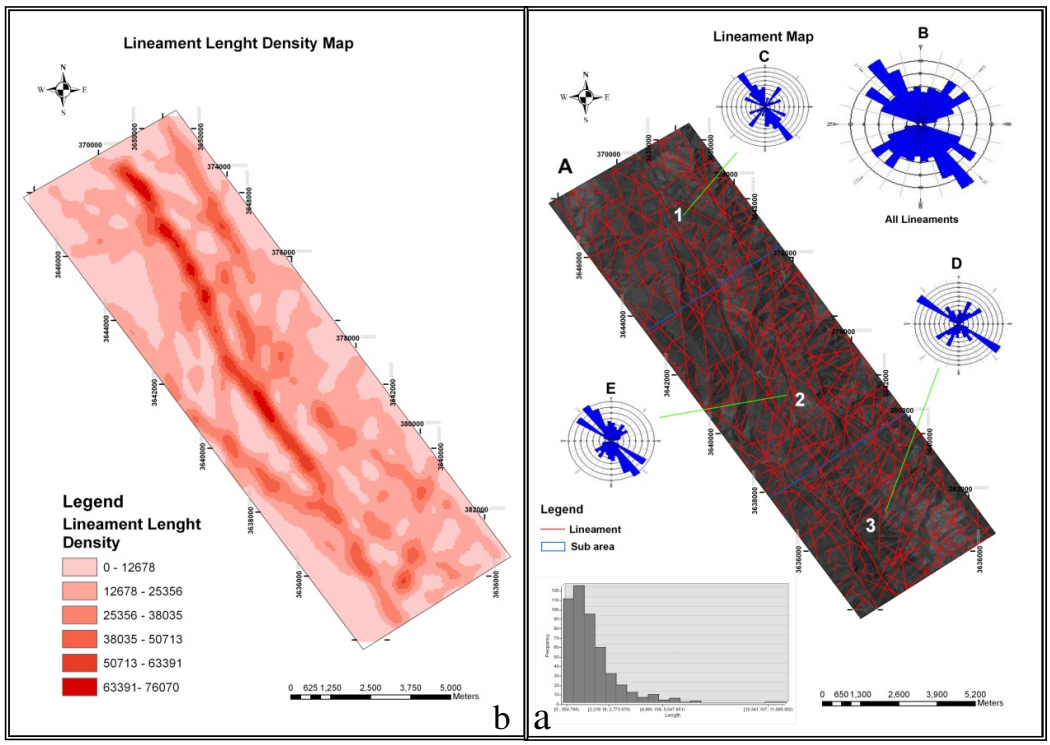
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

۲) در زیر ناحیهٔ دو، خطواره‌ها دارای دو جهت‌گیری اصلی N35W و N55W و جهت‌گیری فرعی N35E هستند.

۳) در زیر ناحیهٔ سه، خطواره‌ها دارای جهت‌گیری اصلی N55W و جهت‌گیری‌های فرعی N25E و (N55E) هستند.

۴) جهت‌گیری کلی خطواره‌ها در منطقهٔ پژوهش که دیاگرام گل سرخی آن نشان داده شده است، دارای امتدادهای N35W و N55W است که جهت‌گیری‌های N35E و N50E نیز چشم‌گیرند.

پس از تهیهٔ نقشهٔ نهایی خطواره‌ها، نقشهٔ چگالی خطواره‌ها و نقشهٔ چگالی طولی خطواره‌ها (طول آن در میزان محاسبهٔ چگالی اعمال می‌شود) نیز تهیه شد. با توجه به نقشهٔ چگالی خطواره‌ها، بیشینهٔ چگالی، الگویی نسبتاً خطی با روندهای شمال باختر- جنوب خاور نشان می‌دهد و همچنین در نقشهٔ چگالی طولی خطواره‌ها شکل۶(b)، بیشینهٔ چگالی نسبی در امتداد گسل جوان اصلی زاگرس و گسل اسلام آباد چشم‌گیر است.



شکل ۶. نقشهٔ نهایی خطواره‌ها (a)، نقشهٔ چگالی طولی خطواره‌ها (b)

ب) آنالیز داده‌های صحرایی

در این پژوهش بر طبق بررسی‌های صحرایی و نقشهٔ زمین‌شناسی (شکل ۷) ، منطقه به سه زون تقسیم‌بندی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

شده است که از شمال خاور به جنوب باختر عبارتند از: زون محور سد[۱]، گسل جوان اصلی[۲] و زون گسل اسلام‌آباد[۳]. شکل ۸ تقسیم‌بندی منطقه به سه زون و گسل‌های مرتبط با آن را نشان می‌دهد.

در زون گسل اسلام‌آباد، مهم‌ترین ساختار، گسل اسلام آباد است. طول این گسل ۱۵ کیلومتر است که در شکل ۹(a) نشان داده شده است. شیب این گسل زیاد و به سمت جنوب باختر است. گسل‌های این‌زون، غالباً گسل‌های معکوس هستند که روند زاگرسی دارند و گاهی به‌وسیلهٔ گسل‌های امتدادلغز با روند شمال خاور- جنوب باختر قطع شده‌اند. موقعیت بعضی از صفحات گسلی برداشت شده برای گسل‌های این زون بدین صورت است (شکل۹): موقعیت صفحهٔ گسلی برداشت شده از گسل F91، برابر با N79W-88SW، موقعیت صفحهٔ گسلی برداشت شده از گسل، F77 برابر با N56E-86SE، موقعیت صفحهٔ گسلی برداشت شده از گسل F96، برابر با N15E-85SE، موقعیت صفحهٔ گسلی برداشت شده از گسل F87 برابر با N62W-65NE، موقعیت صفحهٔ گسلی برداشت شده از گسل F80 برابر با N45W-76NE است.

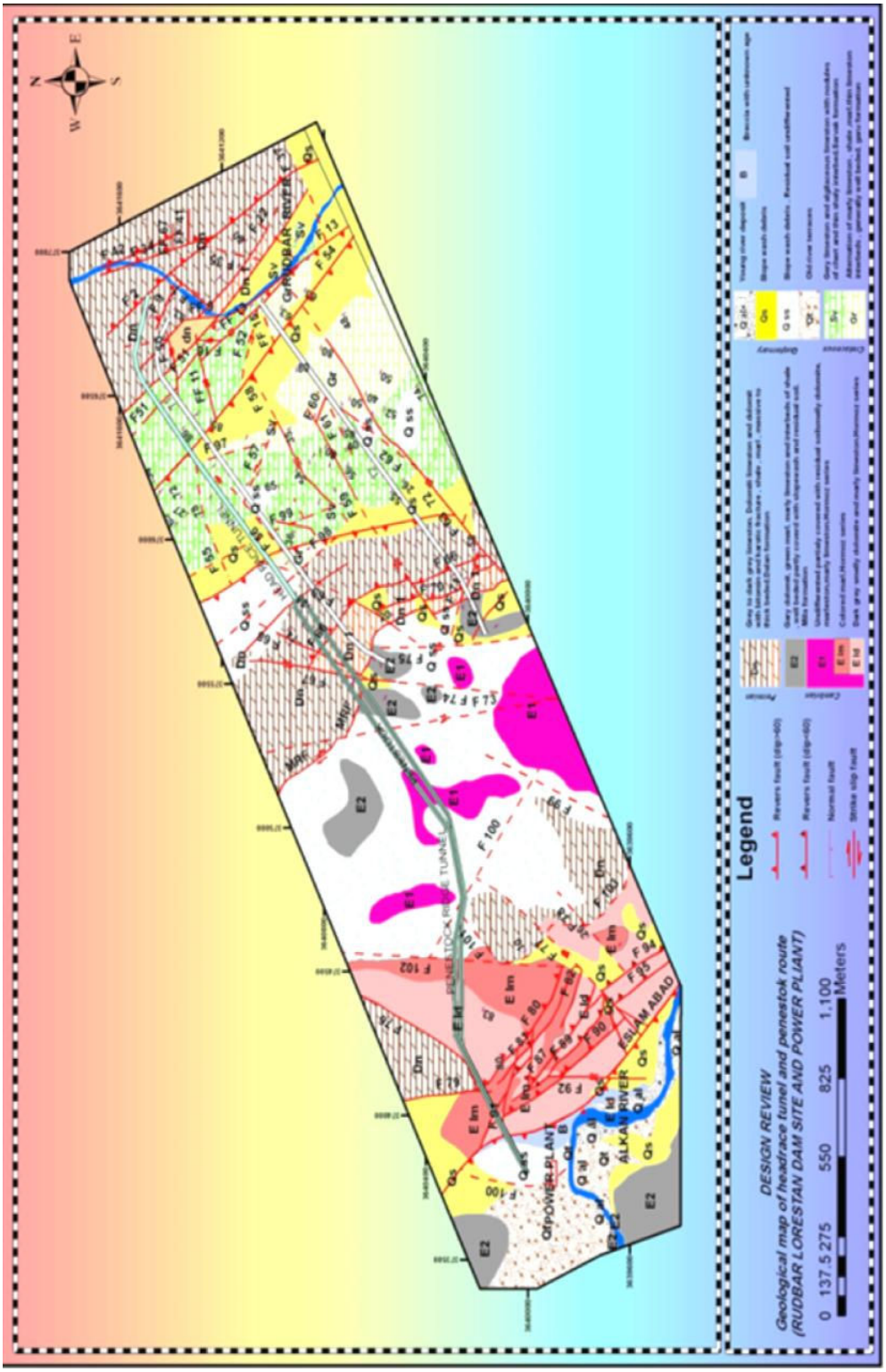
روند گسل‌های موجود در زون گسل اسلام آباد در دیاگرام گل‌سرخی در شکل ۱۰(a) نشان داده شده است. همچنین درزه‌های موجود در این زون در چند قسمت برداشت و دیاگرام گل‌سرخی آن‌ها درشکل ۱۰(b) نشان داده شده است. با توجه به دیاگرام گل‌سرخی و نقشهٔ زمین‌شناسی، روند غالب گسل‌های منطقه N40W تا N50W و غالباً از نوع معکوس است و روند غالب درزه‌های موجود در این زون N15W تا N35W است که با زاویه‌ای حدوداً ۳۰ تا ۳۵ درجه نسبت به روند گسل‌های منطقه قرار گرفته‌اند.

در زون گسل جوان اصلی (MRF) مهم‌ترین ساختار گسل سراوند- بزنوید است. این گسل یکی از پاره‌های گسل جوان اصلی زاگرس است، که با یک آرایش پلکانی[۴] نسبت به گسل لرزه‌زای درود قرار گرفته است و به‌عنوان نزدیک‌ترین گسل اصلی به ساختگاه سد و نیروگاه رودبار لرستان شناخته می‌شود. طول این گسل حدوداً ۱۰۰ کیلومتراست و ریک‌های برداشت شده از صفحه این گسل، حرکت امتدادلغز راست‌گرد با مؤلفهٔ معکوس را نشان می‌دهد. موقعیت صفحهٔ گسلی برداشت شده ازاین گسل N32W- 74SW است.

با این حال، گسل‌های معکوس و امتدادلغز متعددی در این زون وجود دارند که صفحات گسلی برداشت شده تعدادی از آن‌ها بدین ترتیب است که موقعیت صفحهٔ گسلی برداشت شده از گسل F67 برابر با N15E-70NW، موقعیت صفحهٔ گسلی برداشت شده از گسل F68 برابربا N10E-85NW و همچنین گسل F59 باعث جابه‌جایی حدوداً ۲۰ متری SBF شده است، که صفحهٔ آن قابل تشخیص نیست (شکل۱۱).

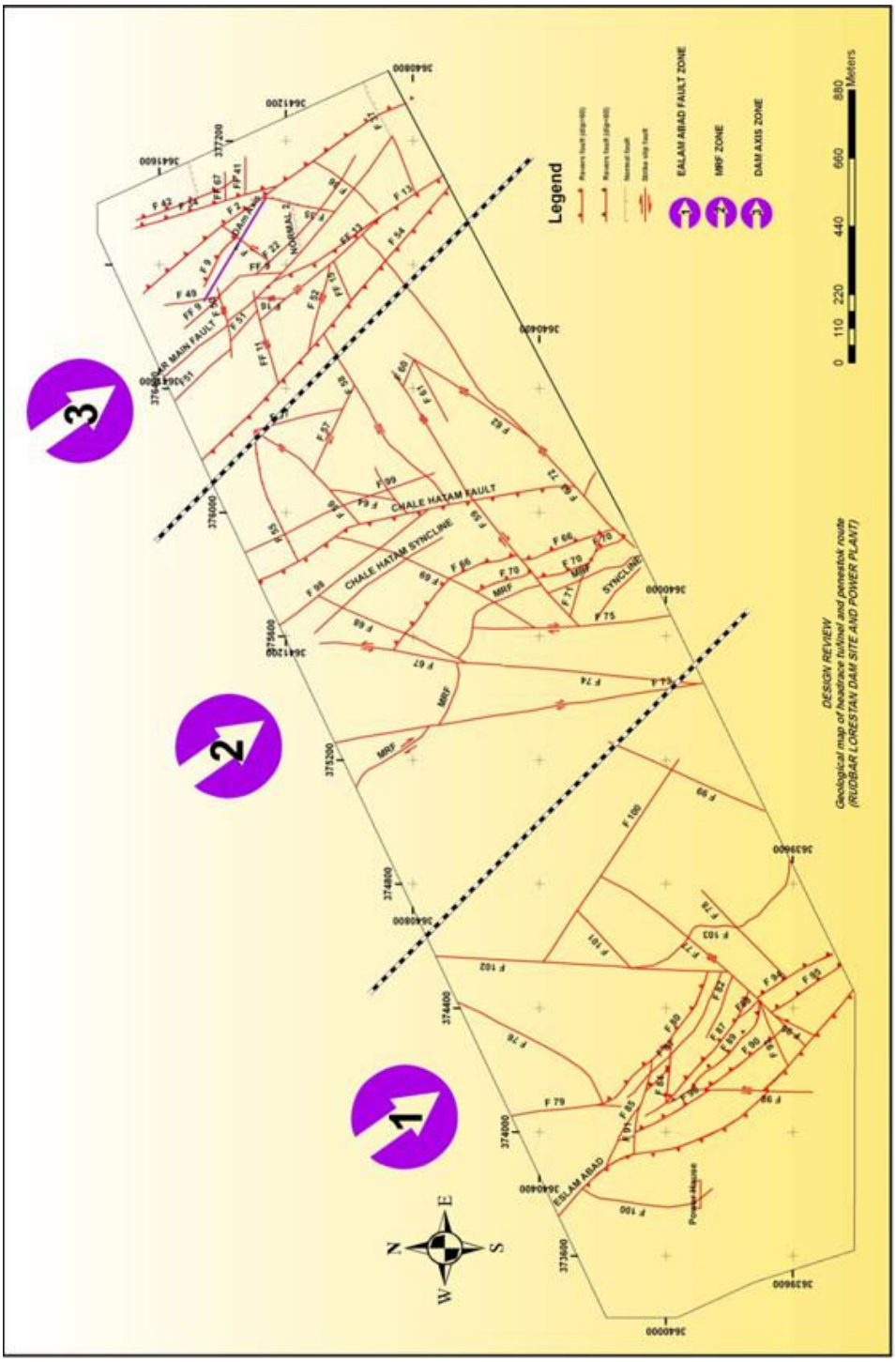
۱.Dam Axis Zone ۲. MRF Zone ۳.Esalamabad Fault Zone ۴.En echelon

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]



شکل ۷. نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ پژوهش

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]



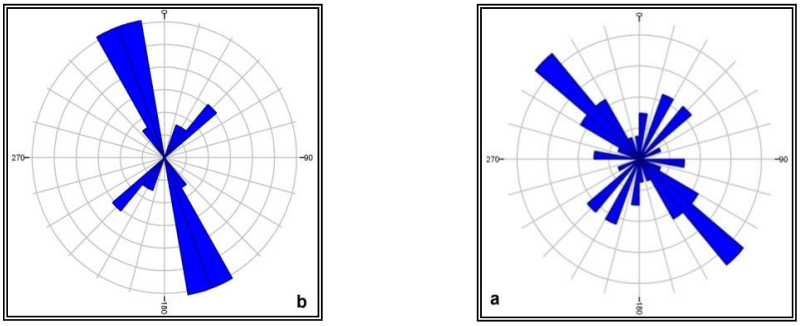
شکل ۸. تقسیم‌بندی منطقه به سه زون

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]



شکل ۹. پرتگاه گسلی، اسلام‌آباد(a)، صفحهٔ گسل F91 (b)، صفحهٔ گسل F77 (b)، صفحهٔ گسلF96 (c)، صفحهٔ گسل F87 (e) و صفحهٔ گسل F80 (f)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]



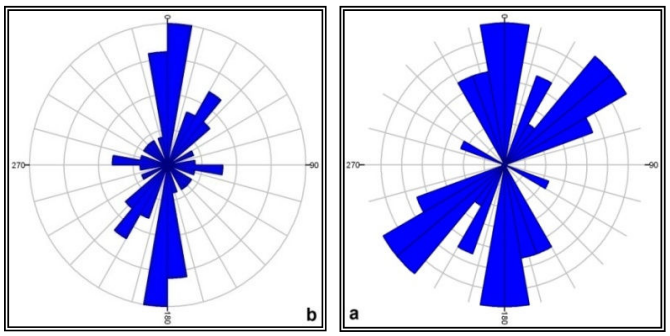
شکل ۱۰. دیاگرام‌گل‌سرخی‌گسل‌ها(a)و درزه‌های(b) زون‌گسل‌اسلام‌آباد



شکل ۱۱. صفحهٔ گسلی SBF (a)، صفحهٔ گسلیF67 (b)، صفحهٔ گسلی F68 (c)، گسل F59 (d)

به طور کلی روند گسل‌های موجود در زون اصلی گسل جوان (MRF)، در دیاگرام گل‌سرخی شکل ۱۲(a) نشان داده شده است. همچنین روند درزه‌های برداشت شده در این زون، در دیاگرام گل‌سرخی شکل ۱۲(b) نشان داده شده است. با توجه به برداشت‌ها و نقشه‌های زمین‌شناسی و همچنین دیاگرام گل‌سرخی، روند غالب گسل‌های منطقهٔ شمالی- جنوبی، N30E تا N40E و N30W است، که غالباً از نوع معکوس و امتداد لغز هستند. روند غالب درزه‌های برداشت شده در این زون، دردو جهت N5E و N35E غالب است که زاویه‌ای حدوداً ۳۰ درجه نسبت به روند گسل‌های منطقه دارند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]



شکل ۱۲. دیاگرام گل‌سرخی گسل‌ها(a) و درزه‌های (b) زونSBF

در زون محور سد، مهم‌ترین و اصلی‌ترین ساختار، گسل F1 است. این گسل در تکیه‌گاه سمت چپ سد با روند NNE-SSW، پی سد را می‌برد. سازوکار این گسل امتدادلغز راست‌گرد است و طول آن گسل حدود ۱۵۰ متر است؛ ولی با این حال، این گسل دارای جابه‌جایی زیاد حدود ۷ متر در بالادست و حدوداً ۲متر در پایین‌دست محور است (شکل۱۳).



شکل ۱۳. صفحهٔ گسلی F1 (a)، جابه‌جایی ۲ متری در جنوب گسل F1 (b)، گرومارک حدوداً یک متری روی سطح گسل F1 (c) و استیلولیت روی سطح گسلF1 (d)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

این گسل در منطقه، یک آیینه لغزش برجسته دارد که امتداد آن N25W و شیب آن تقریباً قائم است. همچنین استیلولیت برداشت شده روی این گسل، حرکت امتدادلغز را برای آن تأیید می‌کند. شکستگی‌های متعددی با روندهای مختلف در زون محور سد وجود دارد که با توجه به جای‌گیری محور سد در این زون تحلیل رفتار و نحوهٔ حرکت این شکستگی‌ها اهمیت خاصی دارد. از دیگر گسل‌های مهم در این زون، می‌توان گسل رودبار را نام برد که در جنوب ساختگاه سد، مرز بین سازند دالان با سن پرمین در شمال خاور و سازند سروک با سن کرتاسه در جنوب باختر را تشکیل می‌دهد. طول گسل رودبار حدوداً پنج کیلومتر است و در منطقهٔ پژوهش، به‌وسیله گسل‌های جوان‌تر بریده شده است. همچنین سطح این گسل بسیار نامنظم است و بنا بر این صفحهٔ گسلی آن قابل برداشت نیست. شکل ۱۴(a) رخنمون این گسل را نشان می‌دهد.

از دیگر گسل‌های مهم در این زون، گسل F2 است که یک گسل معکوس است و در بالا دست محور سد، مرز بین دو بخش سازند دالان (Dn1 و Dn2) را تشکیل می‌دهد. در تکیه‌گاه سمت راست سد، سطح این گسل صاف است، ولی در تکیه‌گاه سمت چپ دارای پهنه خرد شده است. موقعیت صفحهٔ گسلی برداشت شده از این گسل N40W-65NE است. شکل ۱۴(b)، صفحهٔ گسلی این گسل را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴. گسل رودبار(a)، گسل F2 در تکیه‌گاه راست(b) وتکیه‌گاه چپ(c)

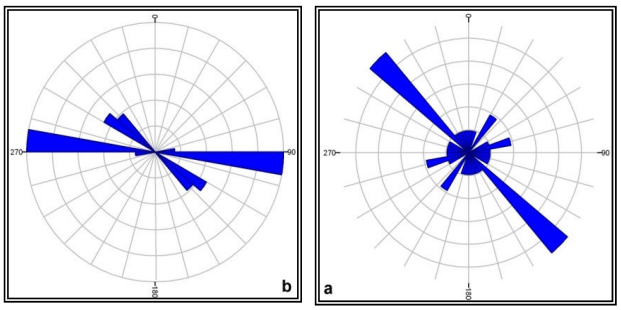
به طورکلی روند گسل‌ها و درزه‌های موجود در زون محور سد به ترتیب در دیاگرام‌های گل‌سرخی شکل ۱۵ (a) و (b)، نشان داده شده است. بیش‌ترگسل‌های منطقه در این زون، روند N35W تا N45W دارند هرچند که روندهای فرعی NE-SW نیز مشاهده می‌شود و روند غالب درزه‌ها در این زون N40W تاN50W است.

ج) تلفیق اطلاعات صحرایی با داده‌های ماهواره‌ای

دیاگرام گل سرخی به دست آمده از نقشهٔ نهایی خطواره‌ها در منطقه، سه روند را نشان می‌دهد. روند N35W که در نقشهٔ نهایی خطواره‌ها دیده می‌شود، مربوط به گسل سراوند- بزنوید (SBF) و شکستگی‌های با

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

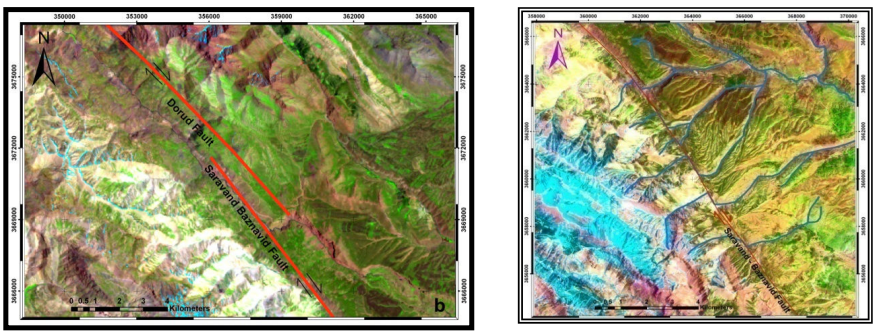
امتداد مشابه و همراه این گسل است. روند N55W مربوط به شکستگی‌های P در منطقهٔ پژوهش مانند گسل اسلام‌آباد است که در این امتداد جهت‌گیری کرده‌اند. نوع سوم روندهای مشاهده شده در دیاگرام گل‌سرخی، روندهای N35E تا N50E است که با توجه به مشاهدات صحرایی و برداشت صفحات گسلی، این روندها اغلب گسل‌های امتداد لغز راست‌گرد یا چپ‌گرد هستند، که در بین قطعات گسل‌های معکوس یا تراستی قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۵. دیاگرام‌گل‌سرخی‌گسل‌ها(a) و درزه‌های(b) زون محور سد

SBF از نوع شکستگی‌های ریدل در برش زاگرس است که در مراحل اولیهٔ دگرریختی تشکیل می‌شوند و باعث ایجاد برش‌های نوع دوم می‌شوند. گسل اسلام‌آباد که از نوع شکستگی‌های نوع دوم P است و به نظر می‌رسد که یک شاخهٔ جانبی ازSBF باشد. همچنین بر اساس سن‌یابی به روش ترمولومینوسانس از دو نمونهٔ برداشت شده از سطح گسل اسلام‌آباد، سن آخرین فعالیت گسل بر طبق دو نمونه۸۰۰±۱۳۸۰۰= S6 و ۹۵۰±۱۴۰۰۰= S7 را نشان می‌دهد [۹].

SBF یک گسل جوان و فعال است و به‌عنوان یک گسل کواترنری شناخته می‌شود؛ زیرا این گسل در ارتفاعات شمالی‌تر منطقهٔ پژوهش، یک جابه‌جایی ۵۰۰ تا۱۰۰۰ متری راست‌گرد را در روند آبراهه‌ها ایجاد کرده است (شکل ۱۶ a). همچنین براساس سن یابی انجام شده به روش ترمولومینوسانس از دو نمونه برداشت شده از سطح SBF، سن آخرین فعالیت گسل بر طبق دو نمونه ۴۰۰±۳۶۰۰= S8 و ۱۴۰۰±۱۷۶۰۰= S9 را نشان می‌دهد [۹]. گسل سراوند- بزنوید با یک آرایش پلکانی نسبت به گسل لرزه‌زای دورود قرار گرفته است (شکل ۱۶ b). گسل دورود در طی زمین‌لرزه ۲۳ ژانویه ۱۹۰۹ سیلاخور با بزرگای سطحی ۷/۴ گسیخته شده است.



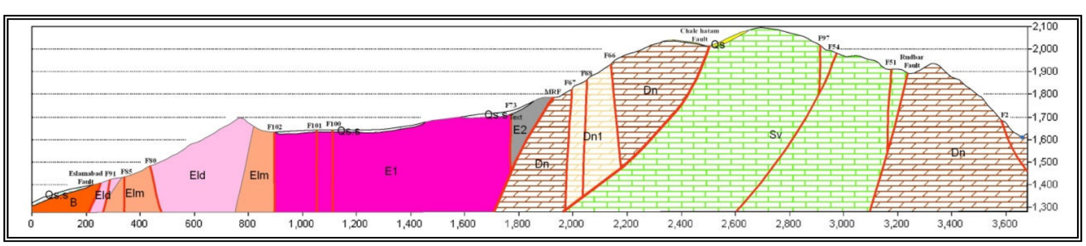
شکل ۱۶. جابه‌جایی راست‌گرد در آبراهه‌ها به‌وسیله SBF (a)، الگوی پلکانی SBF نسبت به گسل درود(b)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

نوع سوم روندهای مشاهده شده در نقشهٔ کلی خطواره‌ها که از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده است، مربوط به گسل‌های امتدادلغز است که از بارزترین این گسل‌ها، گسلF1 است؛ زیرا در تکیه‌گاه چپ سد قرار گرفته است. بر اساس سن‌یابی به روش ترمولومینوسانس از پنج نمونه برداشت شده از سطح گسل F1، سن آخرین فعالیت گسل برطبق این پنج نمونه ۷۰۰±۶۱۰۰=S1، ۶۵۰±۶۵۰۰=S2، ۱۰۰±۱۲۵۰۰=S3، ۱۵۰±۱۳۶۰۰=S4 و ۷۵۰±۶۸۰۰=S5 به‌دست آمده است[۹]. این گسل همچنین تماس‌های تکتونیکی با دیگر شکستگی‌ها در محور سد دارد که در این میان، در سمت شمال یک تماس بین گسل F1 و گسل F30 وجود دارد. سطح گسل F1 یک سطح ناهموار و شیاردار است، به‌طوری که طول گرومارک[۱] مشاهده شده روی صفحه این گسل حدوداً یک متراست.

بحث

ایجاد گسلش و چین خوردگی در زاگرس، به علت همگرایی بین صفحات عربی و اوراسیا با میزان ۳۵ تا ۴۰ میلی‌متر در سال است [۱۲]. البته اندازه‌گیری‌های GPS نشان می‌دهد که بلوک عربی واوراسیا با میزان ۲۱ میلی‌متر در سال به هم نزدیک می‌شوند [۷]. روندهای N۱۳۵-۱۴۵ در زاگرس، به علت وجود شواهد لرزه‌ای، خش لغزش‌های فراوان و جابه‌جا کردن روندهای زاگرسی جدید، دارای سازوکار راستالغز راست‌گرد هستند و در واقع، شکستگی‌های ریدل (R) حاصل از سیستم برش‌زاگرس هستند و سبب شده‌اند که شکستگی‌های مرتبهٔ دوم R´،R، P و T که جوان‌تر هستند، تشکیل شود [۸]. مهم‌ترین و نزدیک‌ترین ساختار فعال و لرزه‌زا به سد، یک قطعه از گسل جوان اصلی زاگرس به نام گسل سراوند- بزنوید (SBF) است، که تحت عناوین بختیاری و قالی‌کوه نیز از آن‌ها یاد شده است. ساختگاه سد رودبار لرستان، در دره‌ای تنگ و با دیواره‌های پرشیب از جنس آهک‌های دولومیتی سازند دالان با سن پرمین قرار گرفته است. همچنین مهم‌ترین ساختار در ساختگاه سد، گسل F1 است که در تکیه‌گاه چپ قرار دارد و محور سد را قطع می‌کند. با ملاحظهٔ برش زمین‌شناسی منطقهٔ پژوهش در شکل ۱۷، مشخص می‌شود که SBF از منطقهٔ بین ساختگاه سد و نیروگاه عبور می‌کند و شکستگی‌هایی با روندهای مختلف در منطقه ایجاد کرده است.

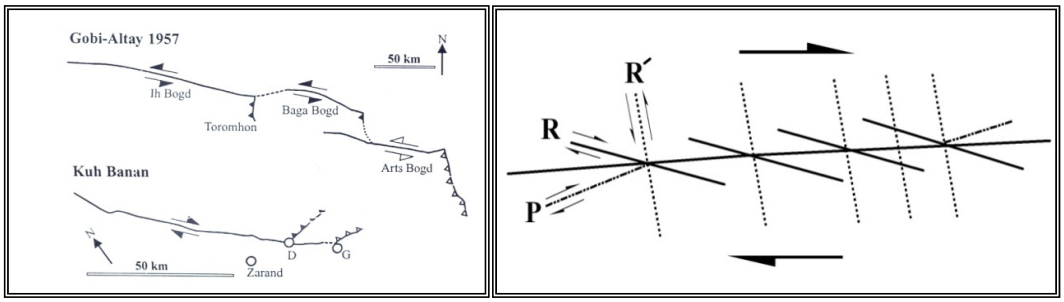


شکل ۱۷. برش زمین شناسی در امتداد تونل و لوله‌های آب‌بر

۱.Groove mark

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

به هر حال، وجود SBF و شکستگی‌های مرتبط با آن از قبیل گسل اسلام‌آباد، در محدودهٔ سد رودبار لرستان از اهمیت خاصی برخورداراست و اثرات لرزه‌ای ناشی از یک زلزله احتمالی در آینده و القای آن در طول گسل‌های دیگر، می‌تواند باعث آسیب سازه‌ای بر ساختگاه سد، نیروگاه، تونل‌ها و لوله‌های آب شود. برای نمونه، قرارگیری گسل اسلام‌آباد نسبت به SBF، طوری است که حرکت در طول SBF می‌تواند مسبب حرکت در گسل اسلام‌آباد شود. مثلا در زلزله گب-آلتای[۱] در سال ۱۹۵۷ با بزرگی Mw=8 در مغولستان، طبق شکل ۱۸ حرکت امتدادلغز چپ‌گرد در طول گسل‌های اینبگد[۲] و بگابگد[۳] باعث القای حرکت در گسل معکوس ترومهن[۴] شده است. به‌عبارت دیگر، با این که گسل ترومهن در انتهای گسل امتدادلغز قرار ندارد، ولی مقداری از حرکت را در خود جذب کرد و در طی زلزله به حرکت در آمد. همچنین یک مثال دیگر در مورد حرکت گسل امتدادلغز باعث حرکت گسل معکوس شده، گسل کوهبنان است که مسبب زلزلهٔ ۲۰۰۵ در داهویه که از شاخه‌های این گسل است شده و شبیه زلزله گب-آلتای بوده که در شکل ۱۹ نشان داده شده است. حرکت در گسل کوهبنان باعث القای حرکت درگسل داهویه شده است [۱۵].



شکل ۱۸. تشکیل شکستگی‌های R و ´R

شکل ۱۹. مقایسه بین گسل مسبب زلزلهGobi-Altay و گسل کوهبنان[۱۵]

در منطقهٔ پژوهش، همچنین حرکت در گسل‌های امتدادلغز و Tear که در بین قطعات تراستی و معکوس جای گرفته‌اند، بسیار حائز اهمیت است. برای نمونه، جابه‌جایی گسلF1 که در تکیه‌گاه سمت چپ سد واقع شده و با شواهد سن‌یابی ترمولومینوسانس، آیینه گسلی برجسته و جابه‌جایی زیاد در طول آن حائز اهمیت است.

هر چند که این گسل و گسل‌هایی از این نوع به تنهایی خطرساز نیستند، ولی حرکت در طول گسل‌های بزرگ می‌تواند باعث جابه‌جایی زیاد آن‌ها گردد. جابه‌جایی زیاد در طول گسل F1 که جابه‌جایی ۶ متری در شمال و ۲متری در جنوب خود دارد و پی سد را می‌برد، به‌وسیلهٔ الگوی زون برشی و الگوی پلکانی (En echelon) بررسی شده که این دو الگو در شکل ۲۰ نشان داده شده است.

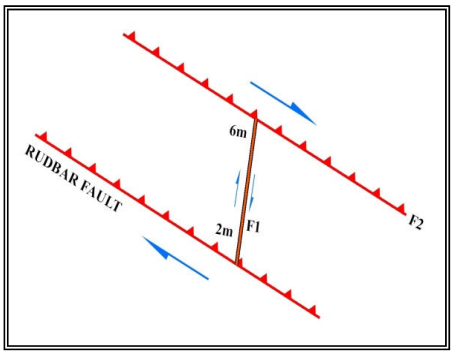
در مدل زون برشی یک گسل راستالغز، حرکت را از یک زون برشی به زون برشی دیگر منتقل می‌کند و بنا بر این با این که طول زیادی ندارد، ولی می‌تواند جابه‌جایی زیادی داشته باشد. در کمربندهای چین خورده مثل زاگرس نمونه‌های زیادی از این نوع گسل‌ها به چشم می‌خورد. در شکل ۲۱ الگوی حرکتی گسل F1 که بین

۱.Gob-Altai ۲.In Bogd ۳.Boga Bogd ۴.Toromhon

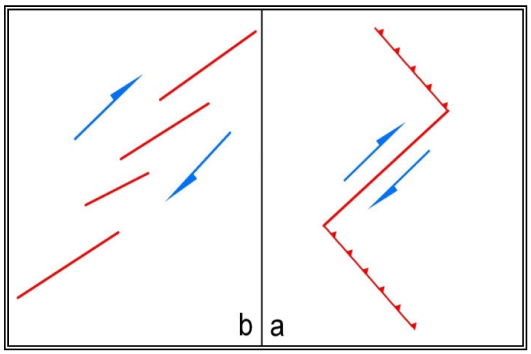
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

گسل‌های F2 وF30 در شمال و گسل رودبار در جنوب که در یک زون برشی قرار گرفته، ارائه شده است و می‌تواند جابه‌جایی زیاد در طول خود داشته باشد که در شمال گسل ۶ متر، و در جنوب آن ۲ متر جابه‌جایی مشاهده می‌شود. درالگوی پلکانی طبق شکل ۲۰، گسل‌ها با یک آرایش پلکانی نسبت به یکدیگر قرار می‌گیرند و بنابر این گسلی با طول کم، می‌تواند جابه‌جایی زیادی داشته باشد. در منطقهٔ پژوهش، از روی نقشه زمین‌شناسی این الگو قابل بررسی است و در شکل ۲۲ نشان داده شده است که گسل‌های راستالغز به صورت الگوی پلکانی نسبت به هم قرار گرفته‌اند.

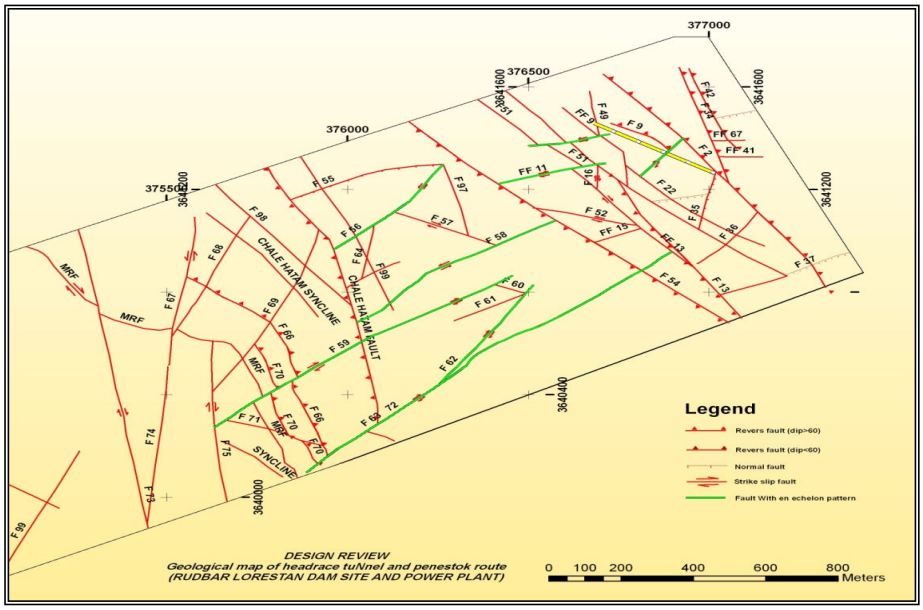
به طور کلی با توجه به شیب زیاد گسل‌های معکوس منطقه، به نظر می‌رسد الگوی پلکانی برای جابه‌جایی در طول گسل‌های امتدادلغزی که به صورت Tear بین گسل‌های معکوس قرار گرفته‌اند، مناسب‌تر باشد و طبق شکل ۲۲، گسل‌های F62، F72، F59، F63، FF11 و F1 می‌توانند طبق الگوی پلکانی در یک زلزله احتمالی حرکت کنند و باعث آسیب سازه‌ای در مسیر خود شوند.



شکل ۲۱. الگوی زون برشی برای جابه‌جایی زیاد F1



شکل ۲۰. الگوی زون برشی(a) و الگوی پلکانی(b)



شکل ۲۱. الگوی پلکانی در گسل‌های امتدادلغز منطقهٔ پژوهش

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

نتیجه گیری

روند اصلی به دست آمده از نقشهٔ نهایی خطواره‌ها، به‌طور کلی در زاگرس به علت وجود شواهد لرزه‌ای، خش لغزش‌های فراوان و جابه‌جا کردن روندهای زاگرسی جدید، دارای سازوکار راستالغز راستگرد هستنند و در واقع، شکستگی‌های ریدل(R)، حاصل از سیستم برش زاگرسند و سبب شده‌اند که شکستگی‌های مرتبهٔ دوم R، R´، P و T که جوان‌تر هستند، تشکیل شود [۸].

مهم‌ترین گسل منطقه ،گسل SBF است که ازشکستگی‌های ریدل حاصل از برخورد زاگرس است و با یک آرایش پلکانی نسبت به گسل لرزه زای دورود قرار گرفته و باعث جابه جایی ۵۰۰ تا ۱۰۰۰متری راستگرد در روند آبراهه‌ها شده است. عوامل ذکر شده و سن‌یابی ترمولومینوسانس، نشان‌گر جوان بودن این گسل است.

سن‌یابی ترمولومینوسانس، خش‌لغزش‌های فراوان، روند و صفحات گسلی بارز، نشان از جوان بودن اغلب گسل‌های منطقه دارد که در طی یک زلزله احتمالی می‌توانند به حرکت در آیند.

نحوهٔ قرارگیری گسل اسلام‌آباد نسبت به SBF طوری است که می‌تواند مقداری از حرکت احتمالی در SBF را به خود جذب کرده و برای سازه‌های در مسیر خود خطرساز شود.

در طول گسل‌های امتدادلغز منطقه که بین قطعات رانده و معکوس جای گرفته‌اند، طبق دو الگوی زون برشی و الگوی پلکانی جابه‌جایی می‌تواند زیاد باشد؛ مثل گسلF1 که با طول کم، جابه‌جایی زیادی را متحمل شده است و می‌تواند برای ساختگاه سد خطرناک باشد. همچنین ماسه‌ها و رس‌های قهوه‌ای رنگ مشاهده شده روی سطح گسل F1، اگر منشا آبرفتی داشته باشد، می‌تواند سند دیگری بر فعالیت جدید این گسل باشد. با توجه به شیب زیاد گسل‌های معکوس در منطقه به نظر می‌رسد که الگوی پلکانی، الگوی مناسب‌تری برای حرکت گسل‌های امتداد لغز موجود در منطقه باشد.

با این حال، مهم‌ترین مسئلهٔ موجود در محدودهٔ سد، حرکت احتمالی SBF است که می‌تواند حرکت را به گسل‌های کوچک دیگر القا کند و باعث حرکت مجدد آن‌ها گردد. زیرا این گسل‌ها نقاط ضعفی هستند که احتمال فعال شدن دوباره آن‌ها بیش‌تراست.

منابع

۱- آقانباتی، ع، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳).

۲- پورکرمانی، م.، آرین، م.، زمین‌شناسی ساختمانی کاربردی (۱۳۸۵).

۳- ذاکر شبستری، ح، نفوذ پذیری ورفتار هیدرو مکانیکی پی سد رودبار لرستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۸۵).

۴- فرهودی، ق.، رهنماراد، ج.، طیبی، م.، استخراج خطواره‌های البرز باختری به کمک داده‌های اس آر تی ام نود متر و سیستم اطلاعات جغرافیایی (۱۳۸۶).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

5. A. G. Sylveter, Strike-slip faults, GSA Bulletin, 100 (1988).

6. A. Masoud and K. Koike, Tectonic architecture through Landsat-7 ETM+/SRTM DEM-derived lineaments and relationship to the hydrogeologic setting in Siwa region, NW Egypt, African EarthSciences, 45 (2006) 467.

7. C. Authemayou, O. Bellier, D. Chardon, Z. Malekzade and M. Abbassi, Role of the Kazerun fault system in active deformationof the Zagros fold-and-thrust belt (Iran), Geoscience, 337 (2005) 539.

8. F. Tavakoli, A. Walpersdorf, C. Authemayou, H. R. Nankali, D. Hatzfeld, M. Tatar, Y. Djamour F. Nilforoushan and N. Cotte, Distribution of the right-lateral strike–slip motion from the Main Recent Fault to the Kazerun Fault System (Zagros, Iran): Evidence from present-day GPS velocities, Earth and Planetary Science Letters, 275 (2008) 342.

9. Ghodsniroo consulting engineers, Tectonic and seismotectonic report on Rudbar Lorestan dam site and power plant (2005).

10. J. S. Tchalenko and J. Braud, Seismicity and structure of the Zagros (Iran): The main recent fault between 33o and 35o. Philos. Trans. R. Soc. London, 227 (1974).

11. K. Koike, S. Nagano, and K. Kawaba, Constraction and analysis of interpreted fracture plans through combination of satellite image derived lineaments and digital elevation model date, Computer and geosciences, 24 (1998) 573.

12. M. Berberian and G. C. King, Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran, Canadian Journal of Earth Sciences, 18 (1981) 210.

13. M. Berberian, Master blind thrust faults hidden under the zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, Tectonophysics, 241 (1995) 193.

14. M. Talebian and J. Jackson, Offset on the Main Recent Fault of NW Iran an implication for the late Cenozoic tectonics of the Arabian-Eurasia collision zone, Geophys, 150 (2002) 422.

15. M. Talebian, J. Biggs, M. Bolourchi, A. Copley, A. Ghassemi, M. Ghorashi, J. Hollingsworth, J. Jackson, E. Nissen, B. Oveisi, B. Parsons and K. Priestley, The Dahuiyeh (Zarand) earthguake of 2005 February in central Iran: reactivation of an intramountain reverse fault, Geophys, 164 (2006) 137.

16. N. J. Price, J. W. Cosgrove, Analysis of geological structures, Cambridge University Press, Cambridge, 502 (1990).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

17. P. Navabpour, J. Angelier and E. Barrier, Cenozoic post-collisional brittle tectonic history and stress reorientation in the High Zagros Belt (Iran, Fars Province), Tectonophysics, 432 (2007) 101.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]