

توان لرزه‌زایی محدوده رفسنجان - زرنند

علی سیستانی پور^۱، محسن پور کرمانی^۲ و مهرا آرین^۱

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه زمین‌شناسی، تهران، ایران

^۲ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، گروه زمین‌شناسی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۸/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۱/۲۳

چکیده

سامانه گسلی بافق- باغین از ۸ قطعه گسلی تشکیل شده است. در این سامانه گسلی هیچ داده لرزه‌ای تاریخی ثبت نشده است. زمین‌لرزه‌های دستگاهی منطقه با بزرگی کوچک تا متوسط ژرفای کانونی کم دارند. شاخص‌های ریخت سنجی (Morphometry) و وجود پرتگاه‌های گسلی در امتداد قطعه‌های گسلی نشان از فعال بودن آنها دارد. رو مرکز زمین‌لرزه‌های اخیر منطقه (۱۳۸۸-۱۳۸۴) در راستای شمال خاوری- جنوب باختری در عرض جنوب خاوری سامانه گسلی بافق- باغین قرار می‌گیرند. با بررسی‌های صحرائی و مطالعه تصاویر ماهواره‌ای منطقه، راستای تجمع رو مرکز زمین‌لرزه‌های اخیر منطبق بر راستای گسلی عرضی قرار می‌گیرد که می‌توان آن را گسل جدید رفسنجان- زرنند معرفی کرد. این گسل یکی از گسل‌های X منطقه است که در اثر عملکرد زون برشی ایجاد شده است.

کلیدواژه‌ها: توان لرزه‌زایی، سامانه گسلی بافق- باغین، سامانه گسلی رفسنجان- زرنند

*نویسنده مسئول: علی سیستانی پور

E-mail: a.sistanipour@srbiau.ac.ir

۱- مقدمه

است. پرتگاه‌های گسلی مرتفع در امتداد این قطعات گسلی نیز دلیلی بر فعال بودن آنهاست (شکل ۲).

فراوانی نسبی رو مرکز زمین‌لرزه‌های به وقوع پیوسته (به طور عرضی) در بخش جنوب خاوری کوهستان بافق- باغین به تمرکز تنش در پایانه جنوب خاوری خطواره‌های مغناطیسی F-557, F-559 و ادامه به سمت جنوب خاوری آنها تا خطواره F-556 نسبت داده می‌شود (شکل ۳). در واقع، بخش لرزه‌خیز منطقه مورد مطالعه، محل تلاقی خطواره‌های یاد شده در بالاست. زیرا بر اساس بررسی‌های (Talwani, 1999)، این گونه مناطق، مکان تمرکز و تنش و محل تجمع و تنش‌های زیاد هستند. بررسی ایشان نشان می‌دهد که نرخ تجمع و تنش در محل تلاقی مناطق گسلی در نواحی درون قاره‌ای، با مرزهای صفحات قابل مقایسه است.

بررسی تصاویر ماهواره‌ای لندست و مطالعات صحرائی (شکل‌های ۴، ۵ و ۶) نشان می‌دهند یک سامانه گسلی چپ لغز با راستای شمال خاوری- جنوب باختری وجود دارد که برای اولین بار در این نوشتار با عنوان سامانه گسلی عرضی رفسنجان- زرنند معرفی می‌شود. به احتمال زیاد زمین‌لرزه‌های اخیر محدوده میان رفسنجان و زرنند در اثر عملکرد این گسل است. مقایسه رو مرکز زمین‌لرزه‌های منطقه با تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که بیشتر رو مرکزهای زمین‌لرزه‌های اخیر منطقه (۱۳۸۸-۱۳۸۴)، با روند شمال خاوری- جنوب باختری منطبق بر سامانه گسلی رفسنجان- زرنند هستند (شکل ۴) که این می‌تواند نشان دهنده فعالیت اخیر این سامانه گسلی باشد. بخشی از این سامانه گسلی که راستای کوهستان بافق- باغین را به صورت عرضی قطع کرده است، گسلی با طول ۱۲ کیلومتر است. این گسل امتداد لغز چپ گرد دارای راستای ۶۵ درجه و شیب ۸۰ درجه به سمت جنوب خاوری است و باعث جابه‌جایی آشکاری در طبقات سنگی این ناحیه شده است. ویژگی‌های این گسل عرضی نشان می‌دهد که یکی از گسل‌های X (موجود در مناطق برشی) در منطقه است (شکل ۷).

احتمال می‌رود این گسل طویل عرضی، فراتر از عملکرد سامانه گسلی بافق- باغین باشد و بین سامانه گسلی راستالغز راست گرد بافق- باغین در جنوب باختری و گسل راستالغز راست گرد کوهستان در شمال خاوری و عملکرد این گسل‌ها گسترش پیدا کرده باشد.

منطقه مورد مطالعه در بخش جنوب خاوری حوزه ایران مرکزی واقع شده است. در آخرین تقسیم‌بندی ایران مرکزی توسط آقائباتی (۱۳۸۳) این منطقه در بلوک پشت‌بادام قرار می‌گیرد. وجود رسوبات چین‌خورده پلیوسن در ناحیه، نشان دهنده وجود تنش‌های فعال در اواخر نئوژن است که همراه با دیگر تنش‌های اواخر سنوزویک بیشترین تأثیر را بر ریخت‌شناسی فعلی منطقه داشته‌اند (وحدتی دانشمند و همکاران، ۱۳۷۴). سامانه گسلی بافق- باغین در امتداد کوهستان بافق- باغین به طول ۱۷۰ کیلومتر بین شهرهای بافق در استان یزد و باغین در استان کرمان در محدوده جغرافیایی ۴۵° ۵۶' تا ۳۰° ۵۵' خاوری و ۳۰° ۳۱' تا ۱۵° ۳۰' شمالی قرار گرفته است. همراه با چین‌خوردگی، شکستگی‌هایی پدید می‌آیند که هم سن یا جوان‌تر از چین‌ها هستند (Mobasher & Babaie, 2008). سامانه گسلی بافق- باغین به موازات گسل کوهستان در شمال خاوری و گسل رفسنجان در جنوب باختری امتداد یافته است. فعالیت معاصر این سامانه گسلی با روند شمال باختری- جنوب خاوری مانند بسیاری از ساختارهای عمده ایران، ساختاری کهن و ژرف بوده است.

۲- شرح

سامانه گسلی بافق- باغین در بخش‌های شمال خاوری، میانی و جنوب باختری کوهستان بافق- باغین امتداد یافته است. بر اساس مطالعه متغیرهای ساختمانی و وضعیت هندسی، این سامانه گسلی از ۸ قطعه گسلی تشکیل شده است (شکل ۱). در منطقه مورد مطالعه هیچ داده لرزه‌ای تاریخی ثبت نشده است. زمین‌لرزه‌های دستگاهی منطقه مورد بررسی قرار گرفتند. این زمین‌لرزه‌ها بیشتر در ژرفای حدود ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر متمرکز هستند و بزرگی کوچک تا متوسط دارند. بررسی لرزه‌خیزی منطقه نشان می‌دهد که تنها بخشی از قطعات $F_1, F_H, F_G, F_C, F_B, F_A$ دارای نگاشت‌های (رکورد) لرزه‌ای هستند. باید توجه داشت که به‌طور دقیق نمی‌توان این نگاشت‌ها را مرتبط به این قطعات دانست.

میزان فعالیت در قطعه‌های گسلی مختلف بر اساس اثرات ریخت‌زمین‌ساختی در سامانه گسلی بافق- باغین متفاوت است و فعال‌ترین قطعات شامل: F_1, F_G, F_B, F_A هستند. این قطعات با $S_{m, V_f} = 1-1/1$ کوچک‌تر از ۱ و رده زمین‌ساختی ۱، فعال معرفی می‌شوند و بیشتر همان قطعاتی هستند که در ارتباط با آنها زلزله ثبت شده

نشده است. زمین لرزه‌های دستگاهی منطقه، عموماً در ژرفای حدود ۱۵-۱۰ کیلومتر متمرکز بوده و دارای بزرگی ۴-۲ می‌باشند. به علت این که گسل بافق- باغین به قطعه‌های زیادی تقسیم شده است، تجمع تنش در گسل‌های فرعی از جمله گسل‌های ریدل، آنتی ریدل و X، در منطقه اتفاق افتاده است. تنش موجود در منطقه باعث ایجاد دو مؤلفه برشی و فشارشی شده است. مؤلفه برشی غالباً باعث حرکت راستالغز گسل‌ها و بخش اعظم مؤلفه فشارشی باعث ایجاد چین‌خوردگی‌ها و گسل‌های رانده در منطقه شده است. تنش برشی نسبت به تنش فشارشی با توجه به فعال بودن گسل‌های راستالغز اصلی و فرعی منطقه، غالب است. بخش جنوب خاوری منطقه محل تلاقی گسل‌ها می‌باشد. بر اساس بررسی‌های (Talwani, 1999)، این گونه مناطق، محل تجمع و تنش‌های زیاد هستند. بررسی ایشان نشان می‌دهد که نرخ تجمع و تنش در محل تلاقی مناطق گسلی در نواحی درون قاره‌ای، با مرزهای صفحات قابل مقایسه است. با توجه به روند چین‌های بزرگ و راستای گسل‌های موجود در منطقه (شکل ۸)، تنش بیشینه در راستای N20-35E، در نظر گرفته می‌شود، که با راستای مؤلفه فشارشی از سوی صفحه عربستان در بخش‌های مرکزی و خاوری ایران قابل توجیه است.

۴- نتیجه‌گیری

- سامانه گسلی بافق- باغین مانند بیشتر گسل‌های فعال به صورت قطعات جدا از هم شکل گرفته است. بر اساس متغیرهای ساختمانی این سامانه گسلی از ۸ قطعه گسلی تشکیل شده است.

- راستای قطعات گسلی منطقه با گسل‌های فرعی مجاورشان از روند و سازوکار شکستگی‌های Y، R، R'، P، T و X ناشی از اعمال برش ساده راست‌گرد همگرا پیروی می‌کند. این مسئله نشانگر حاکمیت سازوکار لغزشی- فشارشی در منطقه و حرکت راستالغز راست‌گرد سامانه گسلی بافق- باغین با مؤلفه فشارشی است.

- بررسی لرزه‌خیزی منطقه نشان می‌دهد که تنها بخشی از قطعات F_A ، F_B ، F_C ، F_D ، F_E و F_H دارای نگاهت‌های لرزه‌ای هستند. باید توجه داشت که به طور دقیق نمی‌توان این نگاهت‌ها را مرتبط به این قطعات دانست.

- میزان فعالیت در قطعات مختلف بر اساس اثرات ریخت‌زمین‌ساختی در این سامانه گسلی متفاوت بوده و فعال‌ترین قطعات شامل: F_A ، F_B ، F_C ، F_D ، F_E هستند. این قطعات با V_f ، $S_{mf} = 1-1/1$ کوچک‌تر از ۱ و رده زمین‌ساختی ۱، بیشتر همان قطعاتی هستند که در ارتباط با آنها زلزله ثبت شده است.

- بیشترین رو مرکز زمین‌لرزه‌های ثبت شده اخیر (۱۳۸۸-۱۳۸۴) با راستای شمال‌خاوری- جنوب باختری قرار دارد که به طور عرضی بخش جنوب خاوری سامانه گسلی بافق- باغین را قطع کرده است. با مقایسه رو مرکزهای این زمین‌لرزه‌ها با تصاویر ماهواره‌ای و گسل‌های منطقه مشخص شد که رومرکزها روی یکی از گسل‌های X منطقه قرار می‌گیرند. این گسل با سامانه گسلی بافق- باغین تلاقی یافته و سامانه راستالغز چپ‌گرد ایجاد کرده است به طوری که میان قطعات F_B - F_C و F_G - F_H را به صورت گسلی درآورده است.

- این سامانه گسلی راستالغز چپ‌گرد به علت منتهی شدن از شمال باختری به شهرستان زرنند و از جنوب باختری به شهرستان رفسنجان، برای اولین بار در این نوشتار با عنوان سامانه گسلی رفسنجان- زرنند معرفی می‌شود. احتمالاً، این سامانه گسلی از عملکرد سامانه گسلی راستالغز راست‌گرد بافق- باغین در جنوب باختری و گسل راستالغز راست‌گرد کوه‌بان در شمال خاوری تشکیل و گسترش پیدا کرده است و می‌تواند در آینده زلزله‌های شدیدتری را در محل تلاقی دو سامانه گسلی بافق- باغین و رفسنجان- زرنند که تمرکز رو مرکزهای زمین لرزه بیشتر است، در منطقه پدید آورد.

وجود رومرکزهای زمین‌لرزه در امتداد سامانه گسلی رفسنجان- زرنند در آبرفت‌ها، احتمال پنهان بودن این سامانه گسلی در امتدادهای شمال خاوری و جنوب باختری را می‌دهد. احتمال می‌رود در آینده زلزله‌های شدیدتری از عملکرد سامانه گسلی رفسنجان- زرنند در نواحی جنوب و جنوب خاوری زرنند و بخش‌هایی از شمال خاوری رفسنجان پدید آید.

بررسی نقشه مغناطیس‌هوایی رفسنجان نشان می‌دهد که دامنه شمال خاوری کوهستان بافق- باغین توسط خطواره مغناطیسی F-556 کنترل می‌شود که بر سامانه گسلی به سطح رسیده بافق- باغین منطبق است. اما در دامنه جنوب باختری کوهستان یاد شده سه خطواره مغناطیسی F-558، F-557 و F-559 به ترتیب از شمال باختری تا جنوب خاوری واقع شده‌اند (شکل ۳).

بیشینه توان لرزه‌زایی قطعات گسلی سامانه بافق- باغین و گسل عرضی سامانه گسلی رفسنجان- زرنند بر اساس بزرگی گشتاوری رابطه Wells & Coppersmith (1994) و نتایج در جدول ۱ محاسبه شده است.

$$M_w = 5/08 + 1/16 \log(L)$$

M_w : بزرگی گشتاوری بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌های محتمل

L: طول قطعه گسلی (کیلومتر)

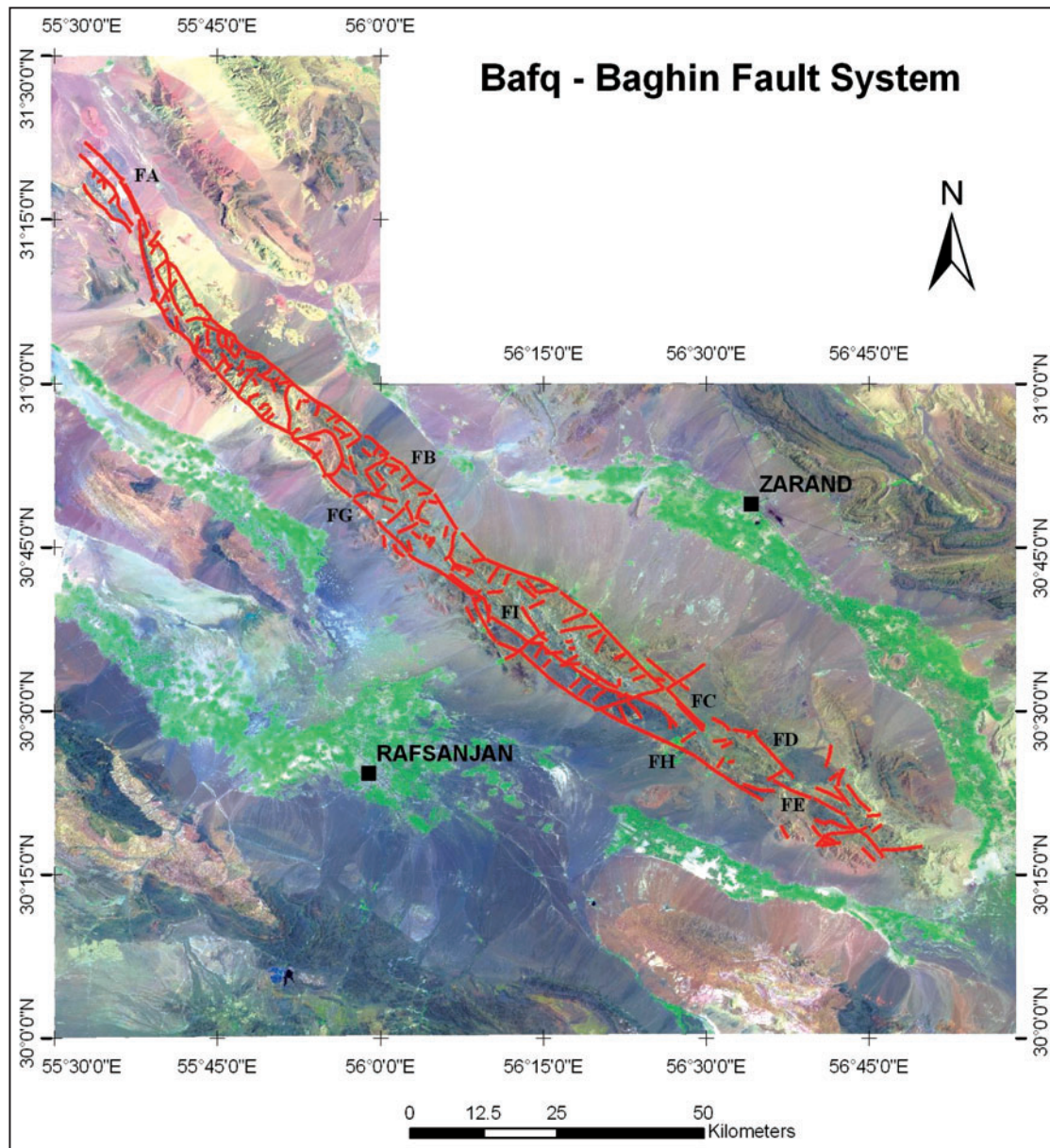
بیشترین توان لرزه‌زایی مربوط به قطعات گسلی F_G ، F_B است.

۳- بحث

سازوکار تمامی قطعات گسلی بافق- باغین راستالغز راست‌گرد با مؤلفه همگرایی می‌باشد. گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه با راستا و سازوکار شش دسته شکستگی مناطق برش ساده همگرا که توسط Riedel (1929) و Tchalenko (1970) معرفی شده‌اند، مطابقت می‌کند.

دسته اول، گسل‌های موازی راستای پهنه جابه‌جایی اصلی که برش‌های Y نامیده شده‌اند. دسته دوم، گسل‌های راستالغز برشی ریدل (Riedel) که با راستای پهنه جابه‌جایی اصلی زاویه‌ای حدود $\phi/2$ می‌سازند. دسته سوم، گسل‌های راستالغز مزدوج با گسل‌های ریدل یا برش‌های R' آنتی ریدل که تحت زاویه $90-\phi/2$ نسبت به راستای پهنه جابه‌جایی اصلی قرار می‌گیرد. دسته چهارم، گسل‌های راستالغز سینتیک دوم که تحت زاویه $\phi/2$ - با راستای پهنه جابه‌جایی اصلی قرار دارند و جهت حرکتشان با جهت برش اصلی، همسو است. این گسل‌ها را برش‌های P نامیده‌اند. دسته پنجم، شکستگی‌های کششی یا گسل‌های عادی که با راستای پهنه جابه‌جایی اصلی زاویه ۴۵ درجه می‌سازند. این دسته از شکستگی‌ها، شکستگی T نامیده شده‌اند. دسته ششم، شکستگی‌های برشی X که به صورت غیر همسو با دیواره منطقه برشی ظاهر شده و قرینه شکستگی‌های نوع R' می‌باشند.

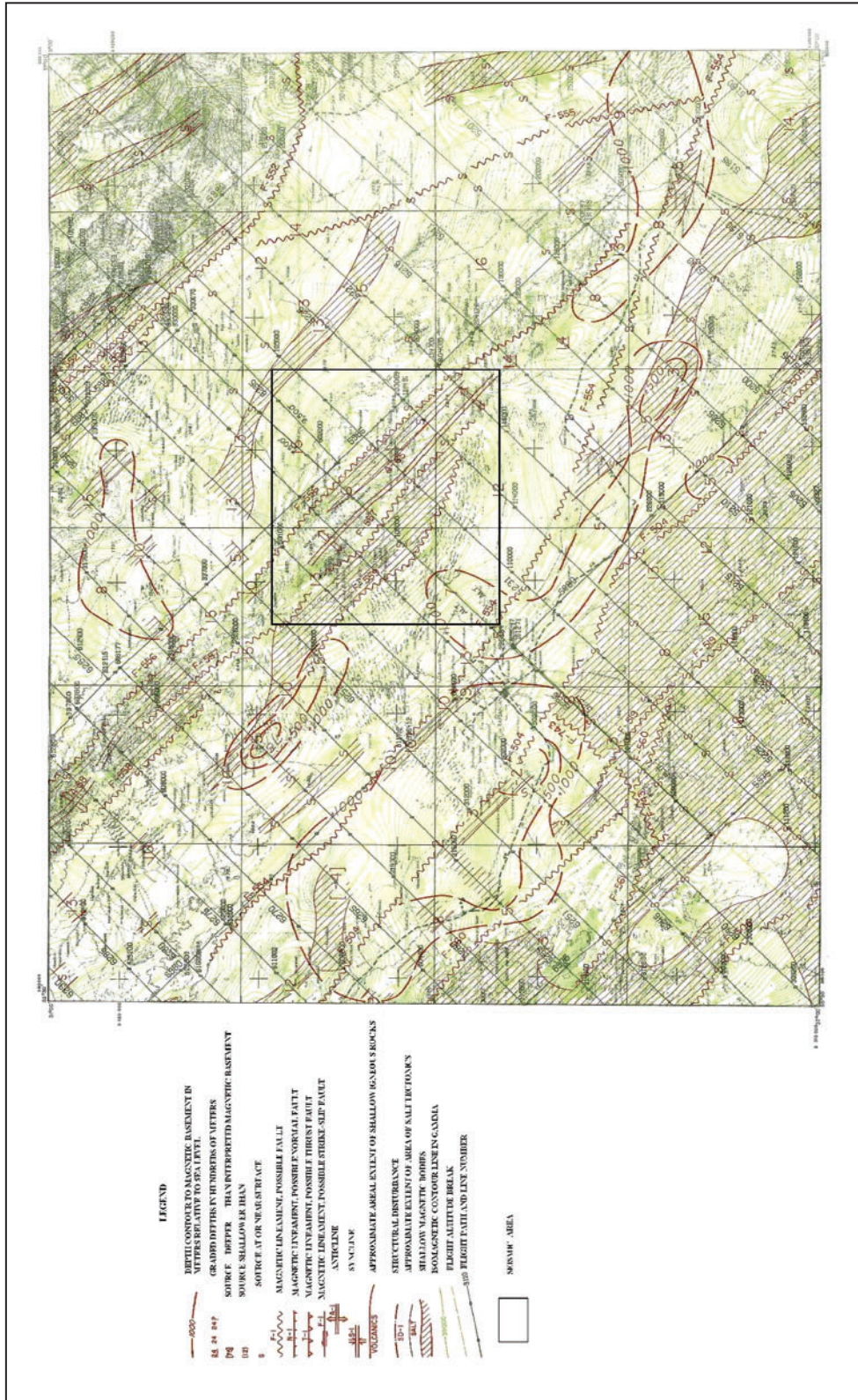
اکثر قطعات گسلی بافق- باغین دو طرف کوهستان بافق- باغین و در حد کوه و دشت قرار گرفته‌اند. در بخش جنوب خاوری کوهستان تعدادی از قطعات از مرکز کوهستان عبور کرده‌اند. بخش عمده قطعات گسلی از مخروط‌افکنه‌ها و آبرفت‌های حد کوه و دشت می‌گذرند و بخشی از قطعات از میان رخنمون‌های سنگی عبور می‌کنند. بررسی و مشاهده جابه‌جایی امتدادی در اثر گسل تنها از طریق جابه‌جایی در مسیر رودخانه‌ها، آبراهه‌ها، پشته‌های فشاری، مسیر دره‌ها و مخروط‌افکنه‌ها امکان‌پذیر است. در تمام رودخانه‌ها و آبراهه‌هایی که به طور تقریباً عمود به گسل برخورد می‌کنند و یا پشته‌های فشارشی که در مسیر گسل قرار گرفته و همچنین ریخت‌شناسی مخروط‌افکنه‌ها، یک جابه‌جایی راست‌گرد با مؤلفه شیبی مشاهده می‌شود. بیشترین جابه‌جایی در گسل‌های فرعی از جمله گسل‌های ریدل، آنتی‌ریدل و X در منطقه اتفاق افتاده است. در منطقه مورد مطالعه هیچ داده لرزه‌ای تاریخی ثبت



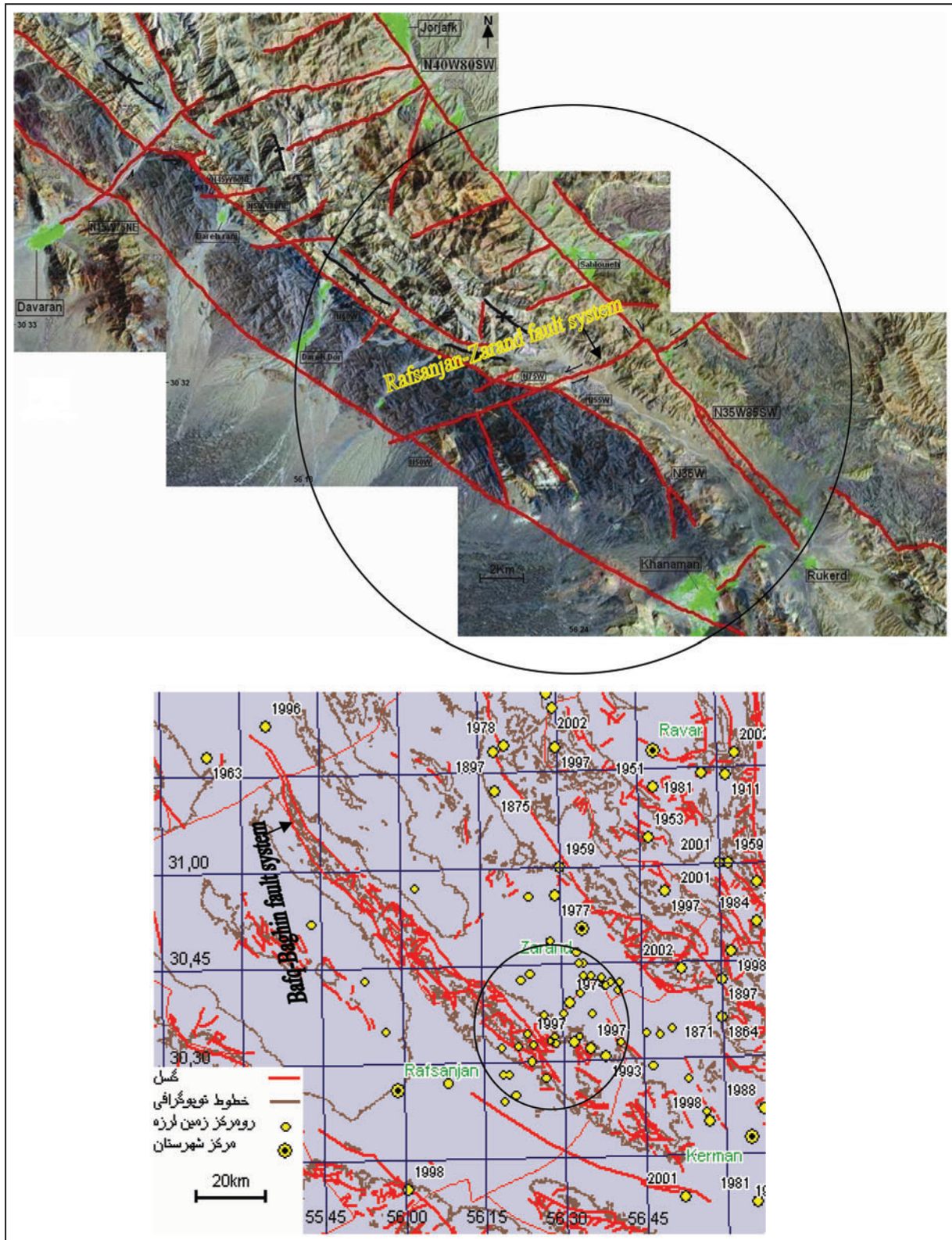
شکل ۱- قطعات گسلی سامانه بافق- باغین



شکل ۲- پرتگاه‌های گسلی در قطعات گسلی F_I , F_A , F_B



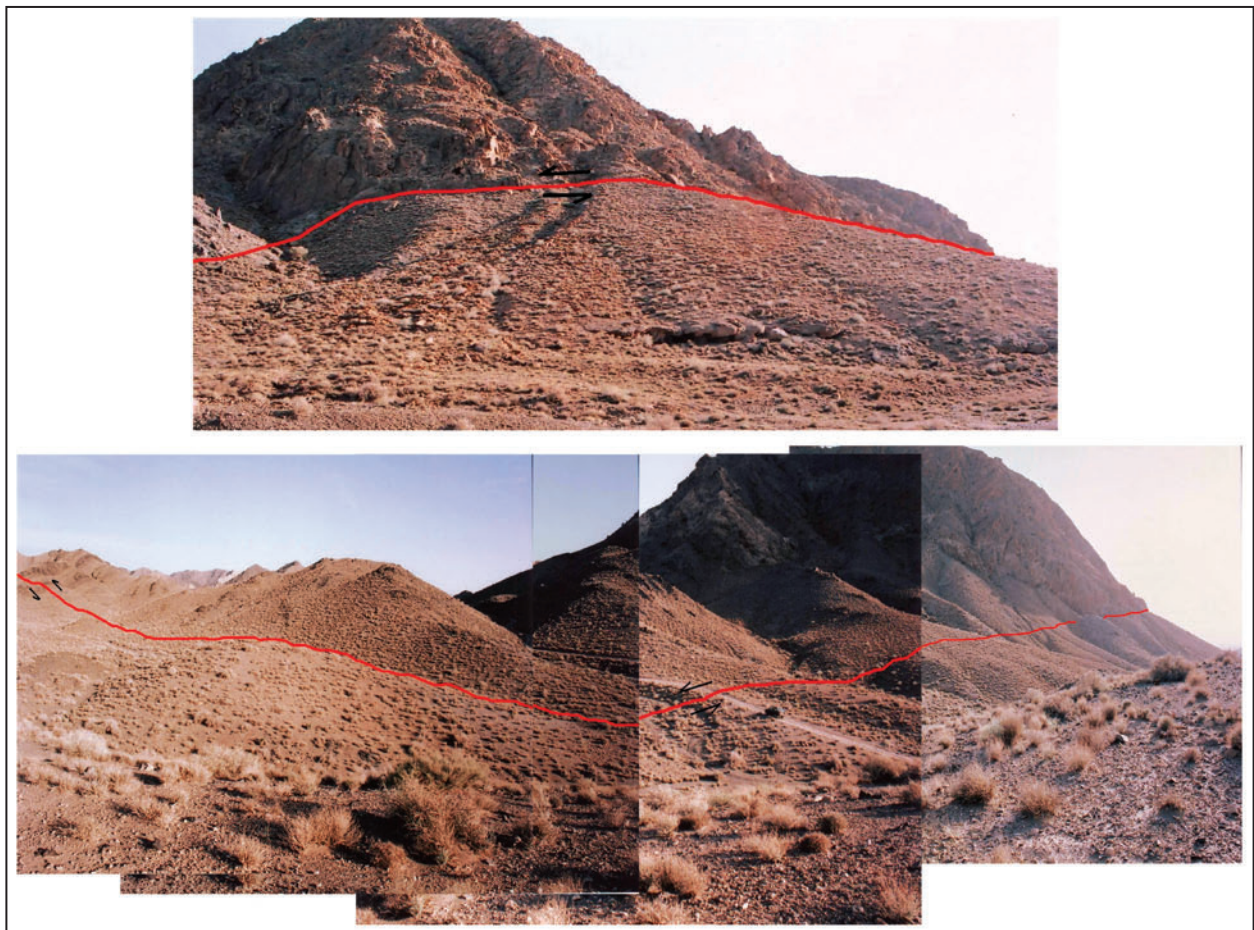
شکل ۳- خطوط و مناطق مورد مطالعه در نقشه مغناطیس هوایی (1978) Yousefi & Friedberg



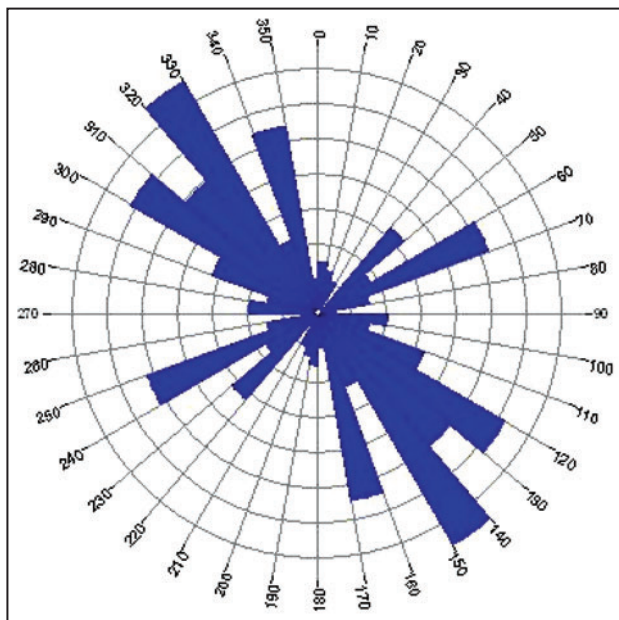
شکل ۴- مقایسه نقشه رو مرکز زمین لرزه‌های اخیر منطقه با تصویر ماهواره‌ای آن. بیشتر زمین لرزه‌های اخیر (۱۳۸۸-۱۳۸۴) در روندی شمال خاوری- جنوب باختری در عرض بخش جنوب خاوری سامانه گسلی بافق- باغین قرار گرفته‌اند (رومركز زمین لرزه‌های اخیر در تصویر به صورت دایره‌های زرد رنگ بدون تاریخ درج شده‌اند).



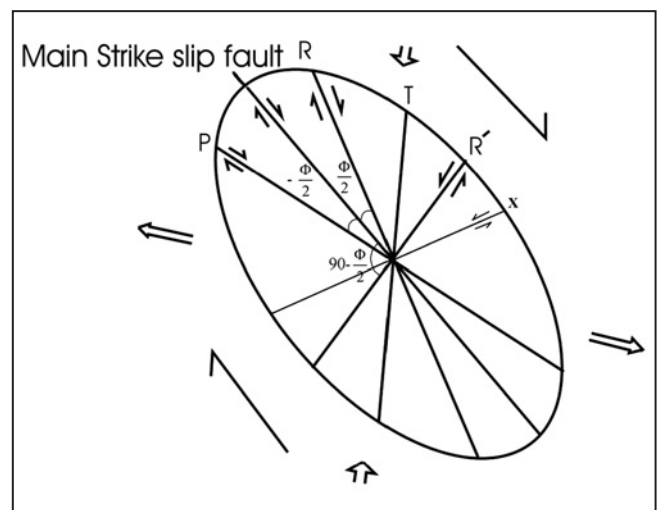
شکل ۵- تصویر سه‌بعدی جنوب خاوری منطقه مورد مطالعه با ترکیب RGB=741 سامانه گسلی رفسنجان- زرنند در آن نشان داده شده است.



شکل ۶- نماهایی از سامانه گسلی رفسنجان- زرنند (دید به سمت جنوب خاوری).



شکل ۸ - نمودار گل سرخی راستای گسل های منطقه.



شکل ۷- الگوی بیضوی واتنش منطقه در پهنه راستالغز راست گرد با مؤلفه فشارشی و شکستگی های قابل تشکیل در این پهنه شکننده.

جدول ۱- پیشینه توان لرزه زایی قطعات گسلی سامانه بافق- باغین و گسل عرضی سامانه رفسنجان- زرنند.

نام قطعه	طول قطعه (km)	Mw
F _A	18.5	6.55
F _B	108	7.43
F _C	11.5	6.30
F _D	15.5	6.46
F _E	21.5	6.62
F _G	122	7.49
F _H	32	6.82
F _I	42.5	6.97
Cross fault	12	6.33

کتابنگاری

آقاباتی، س.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
 وحدتی دانشمند، ف.، شیخ الاسلامی، م. و رفیعا، ر.، ۱۳۷۴- نقشه زمین شناسی ایران، سری ۱:۱۰۰۰۰۰، ورقه داوران (۷۲۵۱)، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Mobasher, K., Babaie, H. A., 2008- Kinematic significance of fold- and fault-related fracture systems in the Zagros mountains, southern Iran. *Tectonophysics* 451 (2008) 156-169.
- Riedel, W., 1929- "Zarmechanik geologischer Brucher scheinungen", *zentralbatt fur mineralogie, Geologie und paleontologie, AbhandlungB*, pp.354-368.
- Talwani, P., 1999- Fault Geometry and Earthquakes in Continental Interiors, *Tectonophysics*, 305, 371-379.
- Tchalenko, J. S., 1970- Similarities between shear zones of different magnitudes, *Geol.soc.Amer.Bull*, Vol.81, PP.1625-1640.
- Wells, D. L. & Coppersmith, K. J., 1994- New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and Surface displacement, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(4): 974-1002.
- Yousefi, E. & Friedberg, J. L., 1978- Aero magnetic map of Iran Rafsanjan (Quadrangle No.110), Geological survey of Iran.