

الگوی تکامل ساختاری منطقه جنوب نطنز شاهی از تقابل تراشش راست‌گرد بر راندگی‌های قدیمی تر در ایران مرکزی

فیروزه شواخی^۱، سعید معدنی پور^{۲*} و ابراهیم راستاد^۳

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۳ استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۹

چکیده

منطقه جنوب نطنز از نظر ساختاری در حاشیه باختری پهنه ساختاری ایران مرکزی، در پایانه جنوب باختری سامانه گسلی قم-زفره واقع است. تحلیل ساختاری منطقه جنوب نطنز، نشان‌دهنده آن است که گسل‌های راندگی اولیه با روند عمومی خاوری-باختری تا شمال باختری- جنوب خاوری همچون گسل فسخود واقع در حاشیه باختری ایران مرکزی به‌طور عمده مجموعه واحدهای رسوبی قدیمی پرمین-تریاس (سازندهای جمال، نایند و شتری) را بر روی واحدهای جوان‌تر رانده‌است. این مجموعه گسل‌های راندگی در ادامه توسط گسل‌های امتدادلغز با روندهای شمال باختر- جنوب خاور و شمال خاور- جنوب باختر قطع و جابجا شده‌اند. این مجموعه‌های امتدادلغز جوان‌تر از اونس، در ارتباط با فعالیت‌های راستالغز گسل قم- زفره بوده و رده‌های پایین‌تر منشعب شده از پهنه اصلی این گسل می‌باشند. تلفیق داده‌های ساختاری و شواهد زمان‌بندی تغییرشکل که از بررسی ناپوستگی‌های عمده مشاهده شده در منطقه جنوب نطنز به‌دست آمده، نشانگر آن است که این منطقه در بازه زمانی قبل از کرتاسه زیرین چین‌خوردگی ناحیه‌ای را پشت سر گذاشته است و در ادامه در بازه زمانی کرتاسه زیرین مطابق با سایر بخش‌های ایران مرکزی کشش ناحیه‌ای را متحمل شده‌است. راندگی‌های مشاهده شده در منطقه، در بازه زمانی پس از کرتاسه زیرین-میانی در منطقه اتفاق افتاده است. در نهایت تغییر شکل‌های جوان‌تر از الیگوسن مرتبط با رده‌های گسلی، گسل قم- زفره ساختارهای قدیمی تر را قطع و جابه‌جا نموده است.

کلیدواژه‌ها: گسل قم- زفره، گسل فسخود، حاشیه باختری ایران مرکزی، جنوب نطنز

*نویسنده مسئول: سعید معدنی پور

E-mail: madanipour.saeed@modares.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

منطقه مورد مطالعه واقع در پهنه ساختاری ایران مرکزی است که حد شمالی آن توسط ارتفاعات البرز، حد باختری آن توسط پهنه دگرگونی سندج- سیرجان محدود شده و حد خاوری آن با بلوک لوت چندان مشخص نیست (e.g., Stocklin, 1968). این پهنه همراه با پهنه آتشفشانی ارومیه- دختر با روند شمال باختری- جنوب خاوری، توسط گسل‌هایی با روند شمال- شمال باختری مانند سیستم‌های گسلی دهشیر، قم- زفره، بیدهند و جنوب ساوه با سازوکار امتدادلغز راست‌بر بریده و جابه‌جا شده است (Alavi, 1991) (شکل ۱). سامانه گسلی قم- زفره با مؤلفه غالب راستالغز راست‌بر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ساختارهای پهنه ایران مرکزی دارای تاریخچه پیچیده‌ای از فعالیت‌های جنبشی بوده است (Safaei et al., 2008; Jamali et al., 2011; Tabaei et al., 2016; Beygi et al., 2016; Morley et al., 2009) که با جابه‌جایی‌های خود در دگرشکلی نهشته‌های پهنه آتشفشانی ارومیه- دختر و نهشته‌های سنوزویک نقش اساسی داشته و با ادامه فعالیت خود آنها را بریده و به میزان زیادی جابه‌جا نموده است. این سامانه گسلی از چندین پاره گسلی تشکیل شده است که به‌صورت پله‌ای نسبت به هم واقع شده‌اند (پروهان و محجل، ۱۳۸۲). همان‌طور که اشاره شده، مطالعات قبلی انجام شده در پایانه جنوب خاوری سامانه گسلی قم- زفره (پروهان، ۱۳۸۱؛ بیگی، ۱۳۹۲)، که با کادراپی در شکل ۱- الف نمایش داده شده، هیچ ساختاری را معرفی نکرده‌اند در حالی که مجموعه‌ای از گسل‌های راندگی و امتدادلغز متأخر طی بررسی تصاویر ماهواره‌ای و برداشت‌های دقیق صحرایی در این محدوده دیده شده است. با بررسی و تحلیل ساختاری در تمام بخش‌های منطقه مورد مطالعه (شکل ۱- ب)، با وجود تفاوت سنی در واحدهای آن، شواهد تأثیر گسل‌های با مؤلفه شیب‌لغز و امتداد لغز شناسایی شد. در این پژوهش با مطالعات ساختاری دقیق انجام شده و تحلیل هندسی و جنبشی ساختارهای موجود در پایانه فشارشی جنوب باختری سامانه گسلی قم- زفره به بررسی روابط ساختاری پرداخته و با استفاده از این شواهد تاریخچه تکاملی منطقه بازسازی شده است.

۲- موقعیت زمین‌شناسی و چینه‌شناسی منطقه جنوب نطنز

ناحیه بررسی شده در منطقه جنوب نطنز در محدوده 45° الی 51° الی 45° الی 45° طول خاوری و بین 33° الی $30'$ عرض شمالی و در محدوده بخش جنوب خاوری نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ طرق (زاهدی و رحمتی، ۱۳۸۱)، بخش جنوب باختری نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ اردستان (رادفر، ۱۳۷۸) می‌باشد. این منطقه در گوشه جنوب خاوری نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ کاشان (زاهدی و عمیدی، ۱۳۷۰) و در گوشه شمال خاوری نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ اصفهان (زاهدی و صمدیان، ۱۹۸۷) واقع است. به منظور بررسی‌های دقیق ساختاری نقشه زمین‌شناسی- ساختاری منطقه از این نقشه‌ها تلفیق و تهیه شده است که در آن اطلاعات جزئی تر ساختاری منطقه ارائه شده است (شکل ۲).

۳- چینه‌شناسی منطقه جنوب نطنز

از نظر چینه‌شناسی واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه از قدیم به جدید عبارتند از: پرمین (سازند جمال) شامل آهک - دولومیت‌های زرد و خاکستری، تریاس سازند شتری و نایند است. ژوراسیک (لیاس) به سازند شمشک منتسب شده و حاوی شیل‌های زیتونی - خاکستری تیره با بین لایه‌های ماسه‌ای می‌باشد که در برخی مناطق حاوی لایه‌های آهکی و آمونیت‌دار می‌باشد. واحدهای کرتاسه زیرین از سه بخش لایه‌های ضخیم کنگلومرا قرمز رنگ که با لایه‌های ماسه سنگ تا ماسه‌سنگ کوارتزیتی دنبال شده و واحدهای کرتاسه بالایی که شامل آهک‌های مارنی پلاژیک مارن‌های آهکی با بین لایه‌هایی از آهک و آهک ماسه‌ای است. جهت ارائه شواهدی از تغییرات و توزیع این واحدهای چینه‌شناسی، در منطقه ۳ ستون چینه‌ای به ترتیب از باختر به خاور تهیه شده است که شامل ستون‌های طرق، چنگرزه و فسخود می‌باشد (شکل ۳). ستون‌های چینه‌شناسی سه منطقه متفاوت (طرق، چنگرزه، فسخود) از جنوب نطنز که در راستای آنها برش ساختاری نیز تهیه شده، در شکل ۳ نشان داده شده است. نهشته‌های بررسی شده نشان می‌دهند که

ساختارها بررسی شده است سپس با رسم مقاطع عرضی زمین شناسی و تحلیل این داده‌ها، مجموعه‌ای از گسل‌های راندگی و امتدادلغز متأخر در این محدوده دیده شده که در تلفیق با مشاهدات چینه شناسی در منطقه منجر به مدل تکامل ساختاری منطقه شده است. شواهد ساختاری برداشت شده از پهنه‌های گسلی شامل عمدتاً خش لغز، چین‌های کشیده و برگوارگی پهنه گسلی از نوع فابریک S-C بوده است.

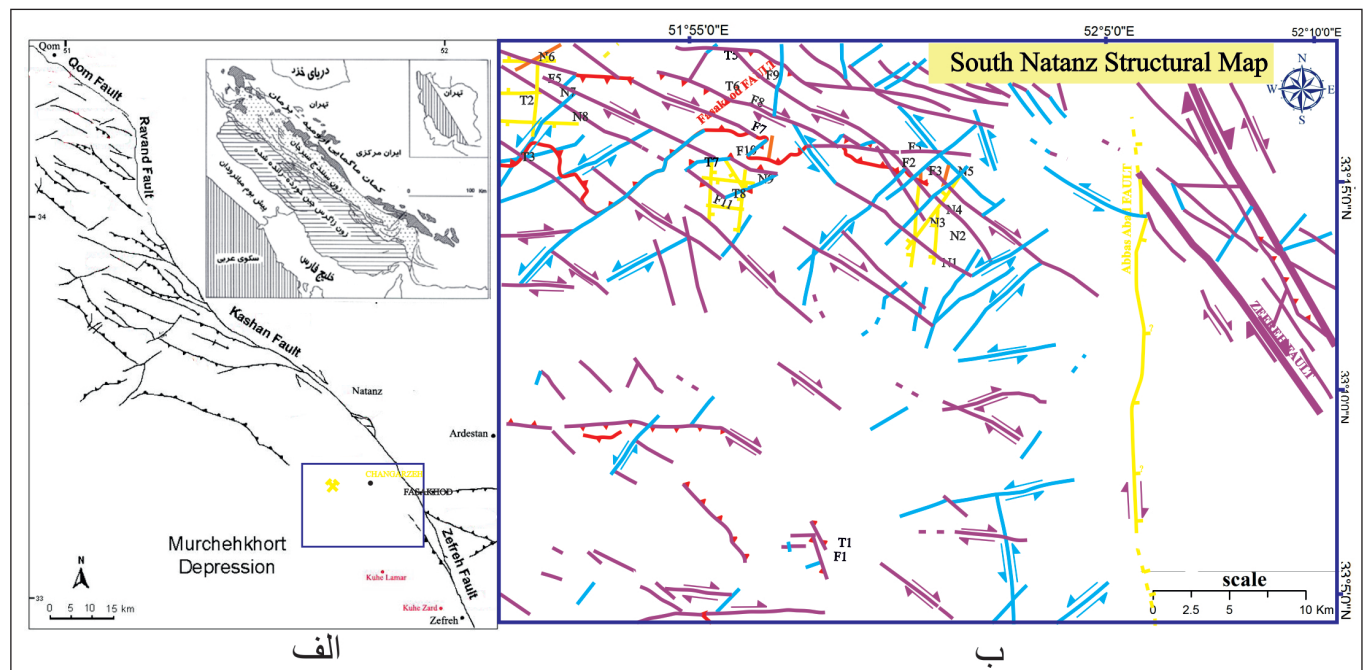
۴- ویژگی‌های هندسی و جنبشی ساختارهای منطقه جنوب نطنز ۴-۱. گسل فسخود

ساختارهای اصلی منطقه جنوب نطنز شامل مجموعه‌ای از گسل‌ها با مولفه غالب معکوس با روند عمده خاوری-باختری تا شمال خاوری-جنوب باختری که به‌طور عمده مجموعه واحدهای قدیمی پریمین-تریاس را بر روی واحدهای جوان‌تر رانده‌اند و به‌عنوان سامانه گسلی فسخود در این پژوهش معرفی شده‌است و سپس توسط مجموعه گسل‌های امتداد لغز با روندهایی همسو و مزدوج با گسل قم - زفره قطع و جابه‌جا شده‌اند می‌باشند (شکل ۴). خصوصیات هندسی و جنبشی یکی از گسل‌های سامانه گسلی فسخود، گسل T8 با مشخصات ۵۰/۱۸۰ و ریک خش لغزش ۵۰ درجه و با سازوکار معکوس با مولفه راست‌لغز راست بر می‌باشد که به موازات گسل امتدادلغز F11 می‌باشد.

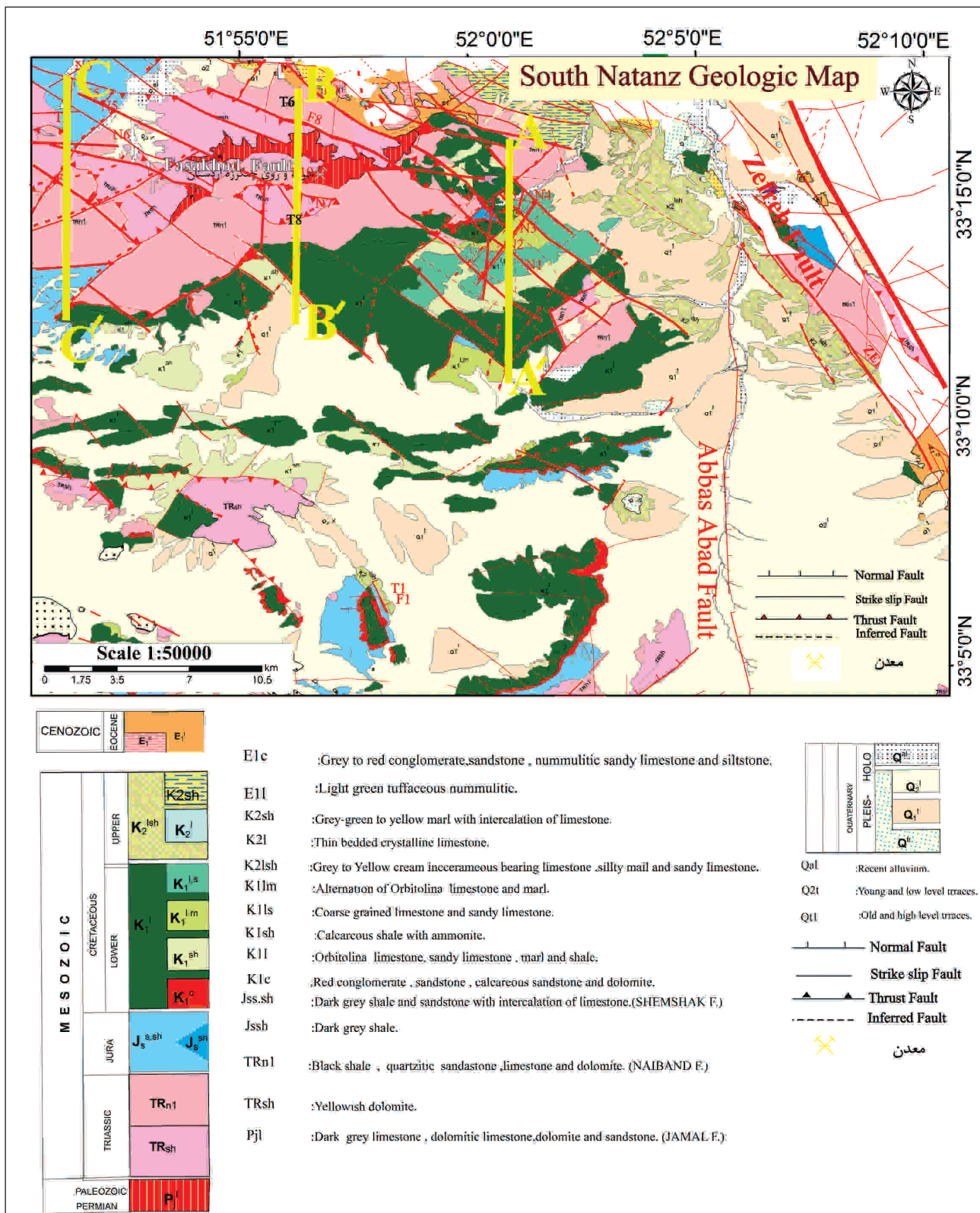
این نهشته‌ها غالباً رسوبی کربناتی هستند و تفاوت‌های موجود در نهشته‌ها حاکی از پسروی و پیشروی آب دریا است که طی فعالیت‌های تکتونیکي دچار چین خوردگی و گسل خوردگی شده‌اند که سبب متغیر شدن ضخامت نهشته‌ها شده است. در سه برش ساختاری در منطقه جنوب نطنز، در طی برداشت‌های انجام گرفته ۱۳ واحد سنگی بر اساس ویژگی‌های سنگ‌شناسی شناسایی گردیده و گستره زمانی واحدهای سنگی محدوده بررسی شده از پریمین تا کواترنر می‌باشد. بلوک جنوب خاوری گسل قم - زفره و ساختارهای موجود در آن از جمله مناطقی در راستای این گسل است که مورد مطالعه دقیق در این پژوهش قرار گرفته و ارتباط آن با سامانه گسلی قم - زفره شناسایی شده است.

۳- روش مطالعه

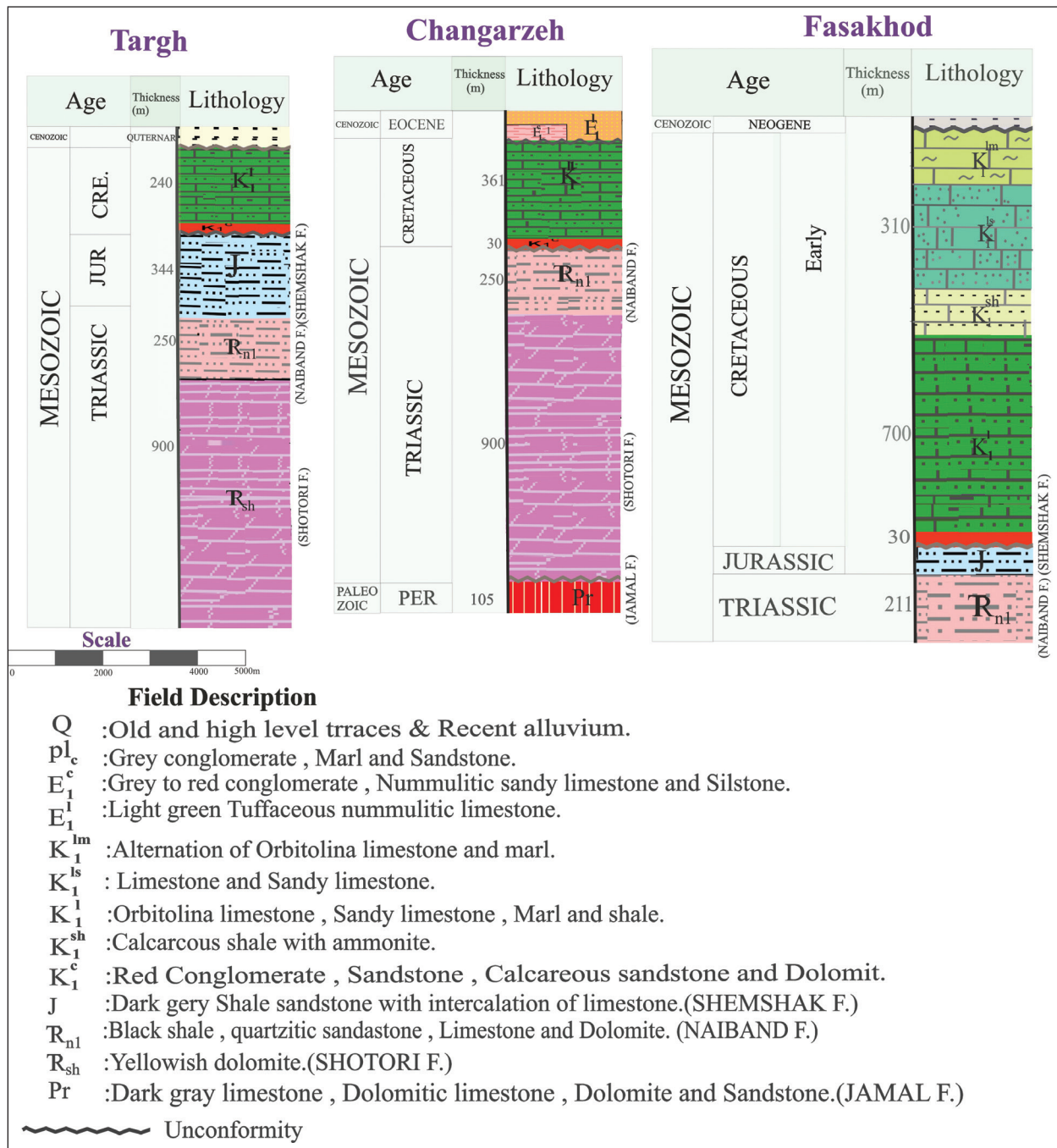
تهیه نقشه خطواره‌ها و ساختارهای منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست با کیفیت بالا و تبدیل آنها به نقشه پایه زمین شناسی در تلفیق با داده‌های صحرایی جامع روش اصلی مطالعه منطقه جنوب نطنز بوده است. سه برش ساختاری در منطقه جنوب نطنز به‌منظور تهیه مقطع عرضی عمود بر روند ساختاری منطقه انتخاب و ساختارهای اصلی شامل خطواره‌های گسلی منطقه تهیه و با استفاده از برداشت‌های دقیق ساختاری در طی بازدیدهای صحرایی خصوصیات هندسی و جنبشی این



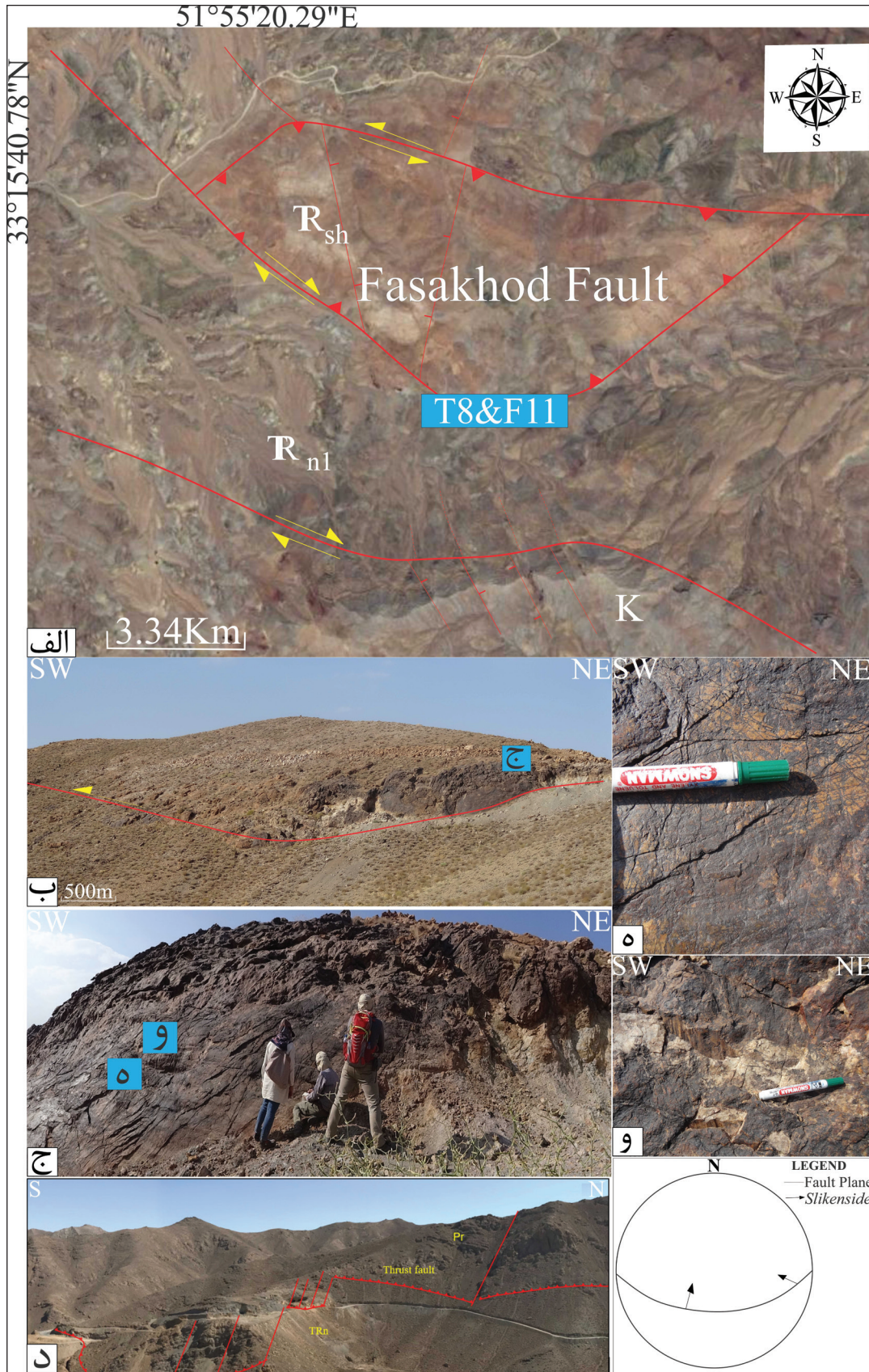
شکل ۱- الف) نقشه ساختاری محدوده گسل قم- زفره و ساختارهای همراه آن. منطقه مورد مطالعه که در پایانه جنوب خاوری گسل با کادراپی نمایش داده شده است، نقشه برگرفته از (Tabaei et al., 2016; Beygi et al., 2016; Porooohan et al., 2004). ب) موقعیت خطواره‌های عمدتاً گسلی موجود در منطقه براساس سازوکار گسل‌ها و داده‌های میدانی به‌دست‌آمده است. گسل‌های امتدادلغز چپ‌بر با رنگ آبی، امتدادلغز راست‌بر با رنگ بنفش، گسل‌های معکوس با رنگ قرمز و گسل‌های نرمال با رنگ زرد نمایش داده شده است.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه جنوب نطنز به همراه موقعیت برش های ساختمانی شامل برش ساختمانی فسخود (AA)، برش ساختمانی چنگرزه (BB)، برش ساختمانی طرق (CC). اصلاح شده از نقشه های زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰ (زاهدی و عمیدی، ۱۳۷۰، رادفر، ۱۳۷۸، زاهدی و رحمتی، ۱۳۸۱).



شکل ۳- ستون‌های چینه‌شناسی تهیه شده در سه منطقه متفاوت (طرق، چنگرزه، فسخود) از جنوب نطنز که در راستای آنها برش ساختاری نیز تهیه شده است.

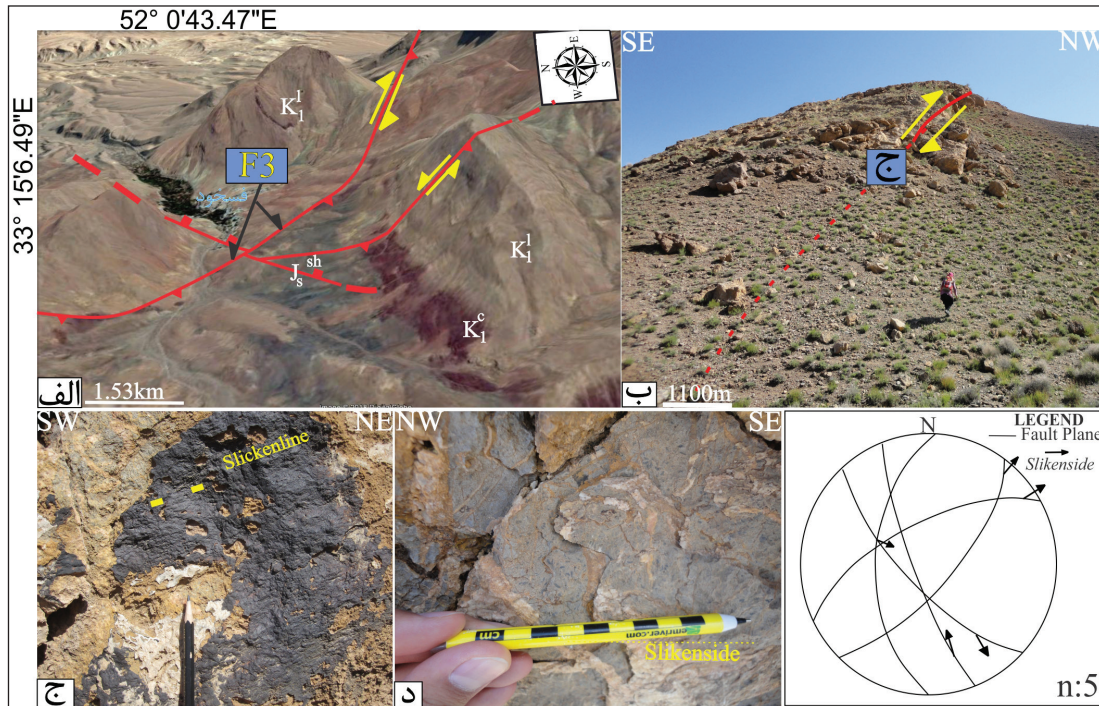


شکل ۴- الف) تصویر ماهواره‌ای از Google earth (ب) نمای دور از سطح گسل (ج) نمای نزدیک از موقعیت صفحه گسل. د) گسل‌های رانندگی و امتدادلغز قطع کننده آن در بخش خاوری منطقه چنگرزه که واحدهای کربناته پرمین بر روی واحدهای آواری نایبند رانده شده‌اند (جعفر کوپائی، ۱۳۹۸). ه) نمایی از موقعیت خشل لغز بر روی صفحه گسل. و) نمایی از موقعیت خشل لغز بر روی صفحه گسل و نمایش تحلیل کینماتیکی با توجه به برداشت‌های میدانی بر روی استریونت که سازوکار امتدادلغز راست بر با مؤلفه معکوس را نشان می‌دهند. ی) نمایش تحلیل کینماتیکی با توجه به برداشت‌های میدانی بر روی استریونت که سازوکار معکوس با مؤلفه راستالغز راست بر را نشان می‌دهند.

۲-۴. گسل‌های امتداد لغز منطقه جنوب نطنز

گسل F3: اندازه گیری صحرائی و تحلیل استریوگرافی گسل F3 که در مجاورت روستای فسخود در شکل ۵ نشان داده شده است. این گسل همسو با گسل قم - زفره می باشد. این گسل با مشخصات ۵۵/۱۶۰ و ریک ۲۰ درجه، راستای لغزش به سمت

شمال خاور با سازوکار راستالغز راست بر با مؤلفه شیبی معکوس، اندازه گیری شده است و به عنوان شاخه‌ای از سامانه گسلی قم - زفره می‌باشد. ساختارهای اصلی این منطقه شامل مجموعه گسل‌های امتداد لغز که سبب قطع و جابه‌جا واحدهای کرتاسه شده‌اند که موقعیت آن در شکل الف-۵ نشان داده شده است.



شکل ۵-الف) تصویر ماهواره‌ای Google earth از موقعیت گسل F3، ب) نمای دور از سطح گسل در واحدهای کرتاسه (فلش رو به پایین نشانگر بلوک نزدیک شونده و فلش رو به بالا نشانگر بلوک دور شونده است). ج) نمایی از موقعیت خش لغز بر روی صفحه گسل. د) موقعیت خش لغز بر روی سطح گسل. ی) نمایش تحلیل کینماتیکی با توجه به برداشت‌های میدانی بر روی استریونت که سازوکار امتداد لغز راست بر با مؤلفه نرمال را نشان می‌دهند.

روستای فسخود در شکل ۸ نشان داده شده است. گسل NI با موقعیت ۷۵/۲۵۸ و ریک ۱۴۳ درجه، جهت حرکت فرادایواره به سمت شمال باختر، با سازوکار نرمال و مؤلفه راستالغز راست بر اندازه گیری شده است سبب جابه‌جایی با مؤلفه غالب نرمال واحدهای کرتاسه شده است.

برداشت‌ها منجر به تهیه نقشه زمین شناسی ساختاری (شکل ۲) که موقعیت برش‌های ساختاری در سه منطقه جهت پیمایش، برش ساختاری فسخود (AA') (شکل ۹)، برش ساختاری چنگرزه (BB') (شکل ۱۰)، برش ساختاری طرق (CC') (شکل ۱۱)، متمرکز و داده‌ها در گسل‌های مختلف برداشت شده و اطلاعات هندسی و جنبشی آنها در سه برش ساختاری (شکل ۹ تا ۱۱) ارایه شده.

۵- شواهد چینه‌شناسی تغییر شکل منطقه

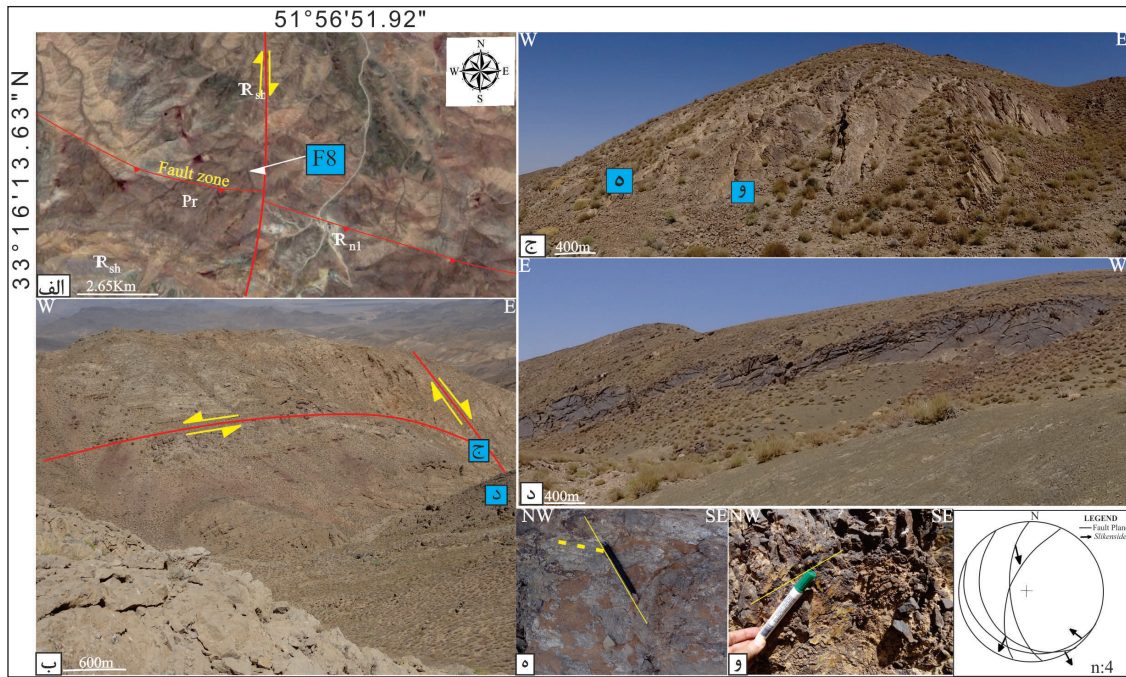
ناپیوستگی‌های موجود در یک منطقه معمولاً خبر از حوادث زمین‌ساختی بزرگ می‌دهند. در محدوده جنوب نطنز رخنمون واحدهای چینه‌شناسی از واحدهای پرمین تا رسوبات عهد حاضر می‌باشد. در این بین نحوه قرارگیری این واحدها نسبت به یکدیگر نشان‌دهنده ناپیوستگی‌هایی در توالی رسوبی می‌باشد. در ادامه هر یک از این ناپیوستگی‌ها به ترتیب توضیح داده شده‌اند.

گسل F8: اندازه گیری صحرائی و تحلیل استریوگرافی موقعیت گسل F8 در مجاورت معدن چنگرزه نشان می‌دهد این گسل ناهمسو با سامانه گسلی قم - زفره است. گسل F8 با مشخصات ۶۰/۲۹۰ و ریک ۳۰ درجه، جهت لغزش به سمت جنوب باختر با سازوکار راستالغز راست بر با مؤلفه شیبی نرمال است (شکل ۶). موقعیت آن در مقطع عرضی BB' شکل ۲ شامل مجموعه‌ای از گسل‌های امتداد لغز با روندهای همسو و مزدوج با گسل قم - زفره که سبب قطع و جابه‌جا واحدهای تریاس شده‌اند می‌باشد.

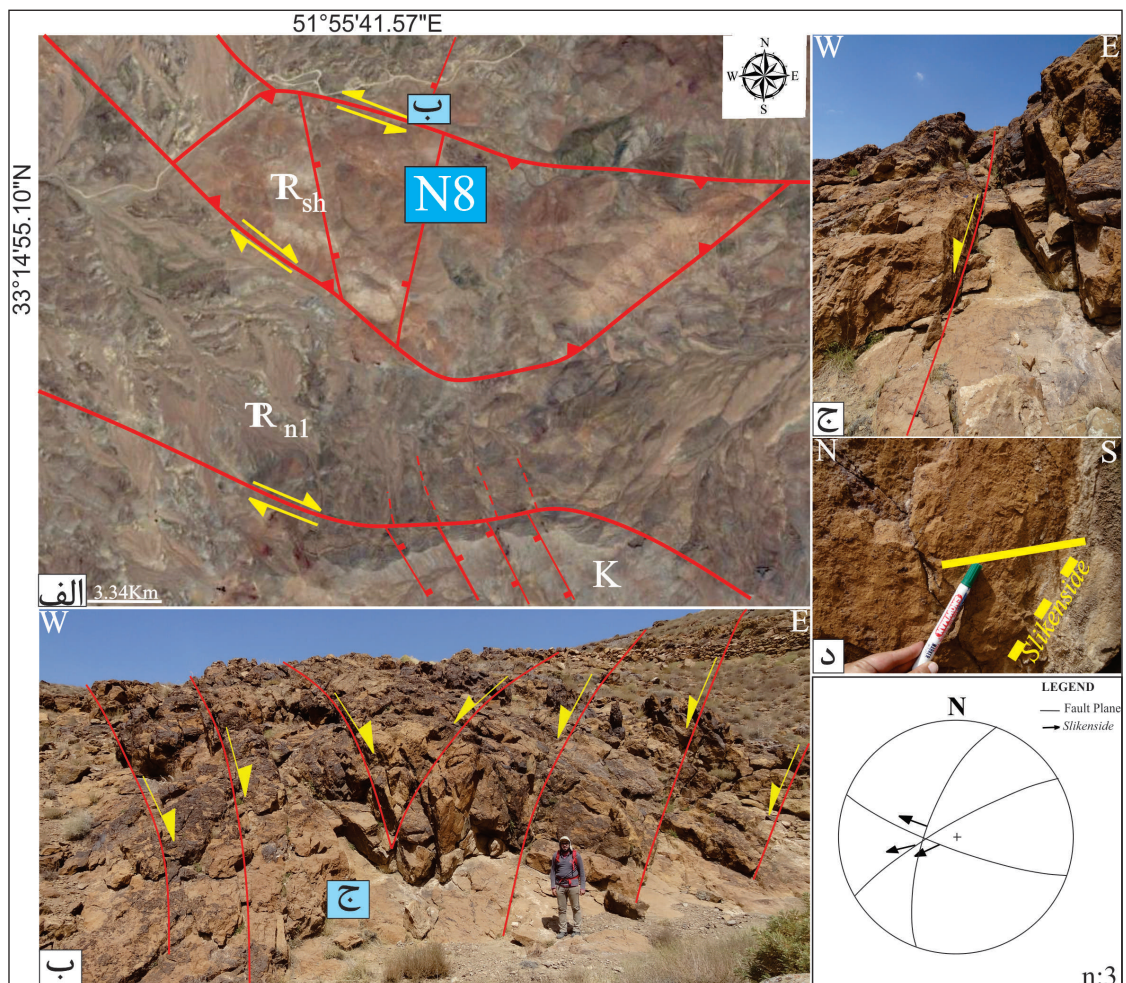
۳-۴. گسل‌های نرمال منطقه جنوب نطنز

در محدوده جنوب نطنز، در برش ساختاری چنگرزه و برش ساختاری فسخود شواهدی از این گسل‌های نرمال با مؤلفه امتداد لغز مشاهده شد که در منطقه مورد مطالعه اغلب به صورت وجود گسل‌هایی با سازوکار غالب نرمال با امتدادهای شمالی- جنوبی، شمال خاوری- جنوب باختری است. اندازه گیری صحرائی و تحلیل استریوگرافی موقعیت گسل N8 در مجاورت آزادراه اصفهان- نطنز (شکل ۷) نشان داده شده است. گسل N8 با موقعیت ۶۸/۲۹۰ و ریک ۵۹ درجه، جهت حرکت فرادایواره به سمت جنوب خاور، با سازوکار نرمال محض اندازه گیری شده است.

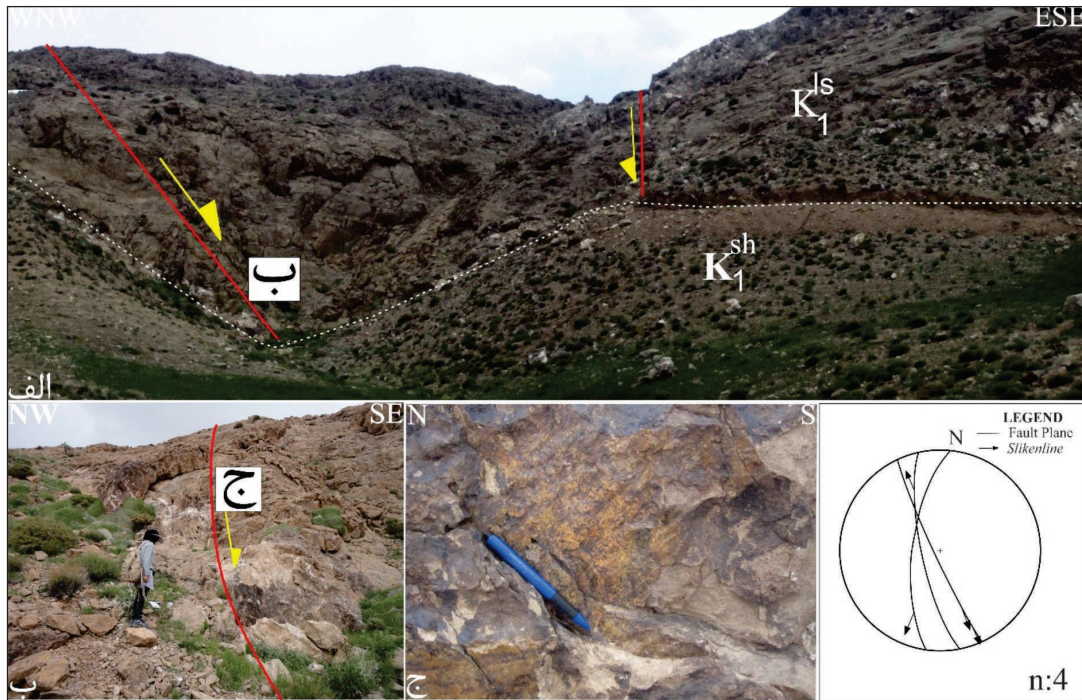
اندازه گیری صحرائی و تحلیل استریوگرافی موقعیت گسل NI در مجاورت



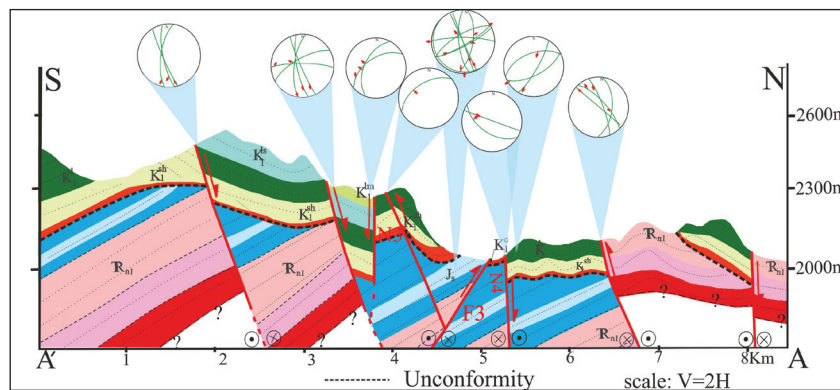
شکل ۶- الف) تصویر ماهواره‌ای از موقعیت گسل F8. ب) نمای دور از جابه‌جایی گسل. ج، د) نمایی از هندسه سطح گسل در جهت خاوری- باختری به موازات هم. ه) نمایی شمالی از موقعیت خش‌لغز روی صفحه گسل. و) نمای جنوبی از موقعیت خش‌لغز روی صفحه گسل. ی) نمایش تحلیل کینماتیکی با توجه به برداشت‌های میدانی بر روی استریونت که سازوکار امتدادلغز راست‌بر با مؤلفه نرمال را نشان می‌دهند.



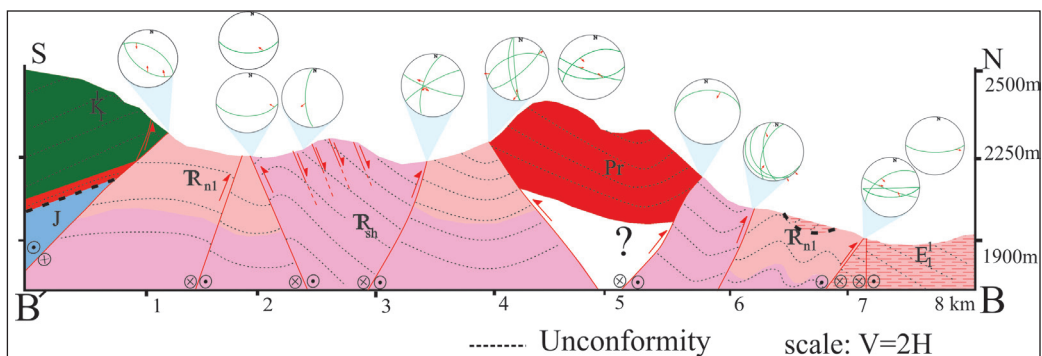
شکل ۷- الف) تصویر ماهواره‌ای از گسل N8. ب) نمایی از هندسه سطح گسل در واحدهای سازنده شتری به حالت گل‌سرخ منفی. ج) نمایی از سطح گسل. د) نمایی از موقعیت خش‌لغز بر روی صفحه گسل. ی) نمایش تحلیل کینماتیکی با توجه به برداشت‌های میدانی بر روی استریونت که سازوکار نرمال محض را نشان می‌دهند.



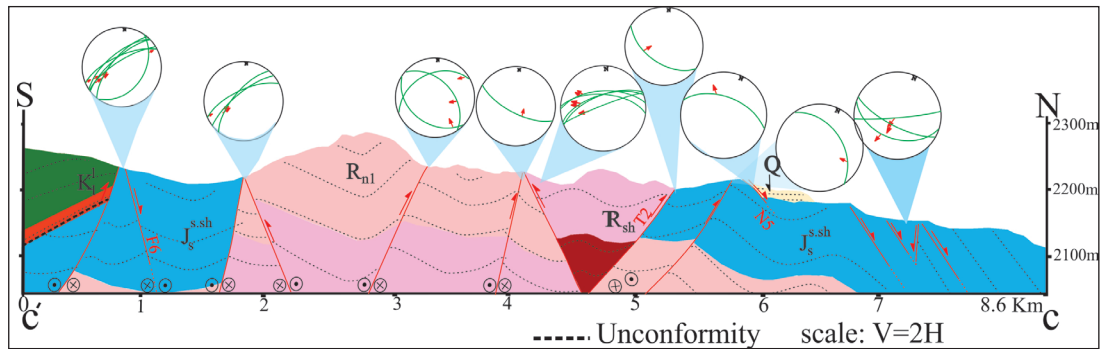
شکل ۸- الف) نمای دور از سطح گسل. ب) گسل رگه باریت را که به موازات لایه بندی جابه جا کرده است. ج) موقعیت خشن لغز بر روی سطح گسل. د) نمایش تحلیل کینماتیکی با توجه به برداشت های میدانی بر روی استریونت که سازوکار نرمال با مؤلفه راستالغز راست بر را نشان می دهند.



شکل ۹- برش ساختاری منطقه فسخود (AA')، موقعیت برش و راهنمای زمین شناسی در شکل ۲ نشان داده شده است. در این برش ساختاری چند نکته اصلی وجود دارد: مجموعه گسل راندگی (T)، واحدهای قدیمی را در سطح رخنمون می دهد، این سامانه راندگی در ادامه توسط مجموعه گسل های امتدادلغز (F) با مؤلفه نرمال و نرمال (N) با مؤلفه امتدادلغز قطع و جابه جا شده و ناپیوستگی مهم در این برش بین کرتاسه زیرین و واحدهای ژوراسیک است.



شکل ۱۰- برش ساختاری منطقه چنگرزه (BB')، موقعیت برش و راهنمای زمین شناسی در شکل ۲ نشان داده شده است. مجموعه گسل راندگی (T)، در این برش که به طور عمده تغییر شکل هایی را در واحدهای قدیمی پرمو-تریاس ایجاد نموده و این واحدها را بر روی واحدهای جوان تر رانده اند، این سامانه راندگی در ادامه توسط مجموعه گسل های امتدادلغز (F) با مؤلفه نرمال و نرمال (N) با مؤلفه امتدادلغز قطع و جابه جا شده اند و ناپیوستگی مهم در این برش، ناپیوستگی بین کرتاسه زیرین و واحدهای قدیمی مشاهده می شود.



شکل ۱۱- برش ساختاری منطقه طرق (CC')، موقعیت برش و راهنمای زمین شناسی در شکل ۲ نشان داده شده است. در این برش مجموعه گسلی چند نکته اصلی وجود دارد: مجموعه گسل راندگی (T)، در این برش به طور عمده تغییر شکل‌هایی را در واحدهای قدیمی ایجاد نموده‌اند و این واحدها را بر روی واحدهای جوان‌تر ژوراسیک و کرتاسه رانده‌اند، مجموعه گسل‌های امتدادلغز (F) با مولفه شمال و شمال (N) با مولفه امتدادلغز قطع و جابه‌جا شده‌اند و ناپوستگی مهم در این برش بین کرتاسه زیرین و واحدهای قدیمی مشاهده می‌شود.

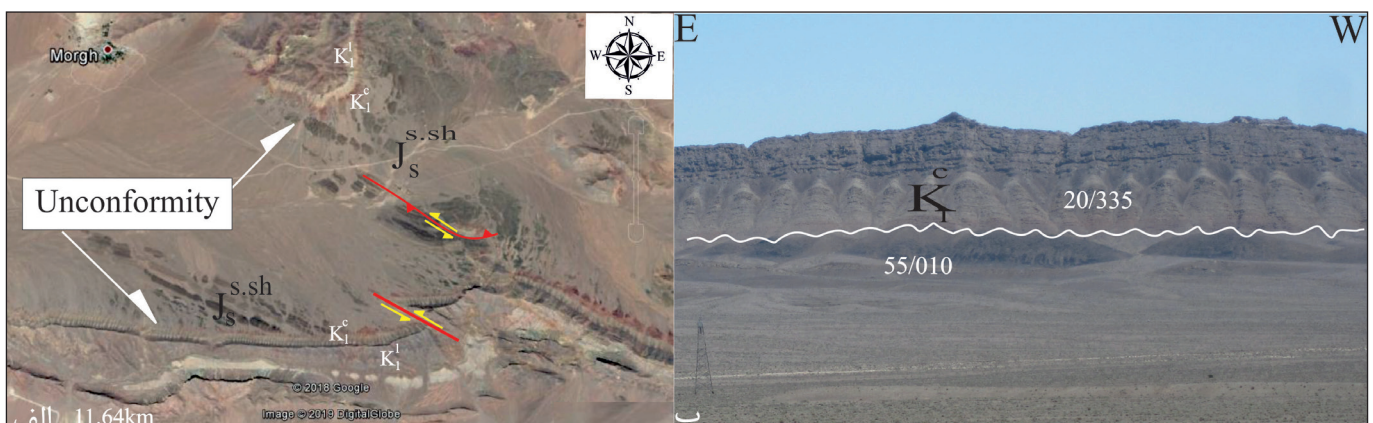
فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر ورقه قاره‌ای ایران مرکزی (آقانیاتی ۱۳۸۳)، دگرشکلی‌هایی که عمدتاً از نوع ساختارهای شکستگی و چین خوردگی‌ها به وجود آمده که به علت توده‌ای و مقاوم بودن اکثر واحدهای سنگی، کمتر قابل تشخیص می‌باشند، در حال می‌توان آنها را در سازندهای نازک تا متوسط لایه ملاحظه کرد (رادفر، ۱۳۷۸). بلافاصله بعد از فاز فشاری کرتاسه بالایی که ناپوستگی این واحدها و واحدهای ائوسن را ایجاد نموده، همانند سایر نقاط فلات - ایران متأثر از کشش ناحیه‌ای در زمان انتهای پالئوسن و ائوسن شده که در طی آن واحدهای ولکانیکی و ولکانی کلاسیک ائوسن و توده‌های نفوذی همراه تشکیل شده است (رادفر، ۱۳۷۸). تصویر صحرایی شکل ۱۳ موقعیت این ناپوستگی را نشان می‌دهد، این ناپوستگی در بخش ۲ نقشه ساختاری منطقه (شکل ۲) و بخش ۴ در برش ساختاری فسخود (شکل ۸) قابل مشاهده می‌باشد.

۱-۵. ناپوستگی کرتاسه زیرین

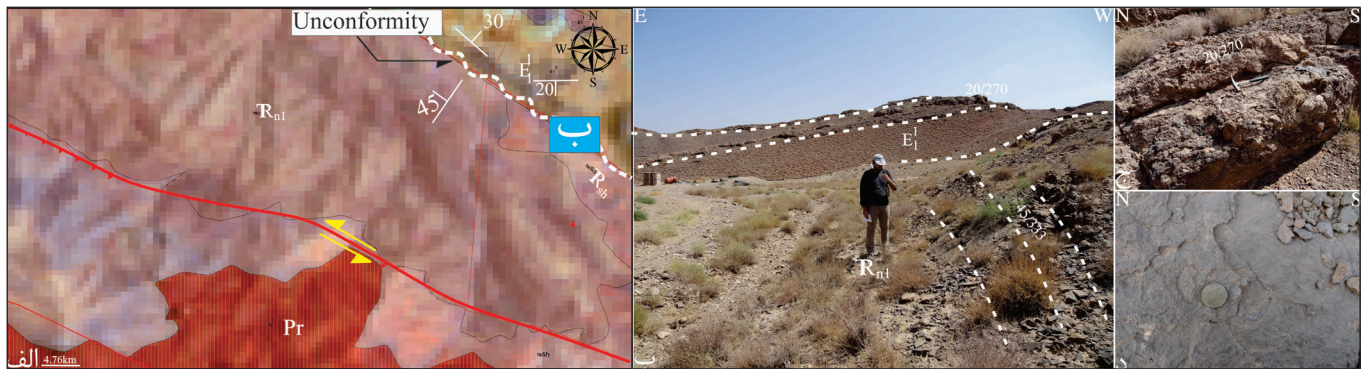
بعد از تشکیل رسوبات مربوط به پرمین یک فاز خشکی‌زایی موجب بالاآمدگی حوضه و ظهور ته‌نشست‌های تخریبی و آهن‌دار سرخ شیل می‌شود، مرز بین تریاس بالایی به ژوراسیک (سازند شمشک) تدریجی است. در حدفاصل ژوراسیک با کرتاسه، فاز کوهزایی موجب بالاآمدگی و چین خوردگی رسوبات ژوراسیک و قدیمی‌تر شده و متعاقب آن فاز فرسایشی ناشی از این حرکات زمین‌ساختی رسوبات سرخ آواری قاعده کرتاسه را به صورت دگرشیب بر روی لایه‌های قدیمی‌تر (سازند شمشک) با شیب متفاوت، قرار داده است (رادفر، ۱۳۷۸). تصویر صحرایی شکل ۱۲ موقعیت این ناپوستگی را نشان می‌دهد.

۲-۵. ناپوستگی کرتاسه بالایی- پالئوسن

در منطقه مورد مطالعه بر اثر عملکرد فاز زمین‌ساختی بسته شدن نئوتتیس، در اثر



شکل ۱۲- الف) تصویر ماهواره‌ای از Google earth از ناپوستگی بین واحدهای ژوراسیک سازند شمشک و کرتاسه. ب) ردیف‌های آواری پیش‌رونده و کرنات‌های اوریبتولین دار کرتاسه زیرین در روی نهشته‌های شیلی و ماسه سنگی گروه شمشک نشان می‌دهد که بین سنگ‌های ژوراسیک میانی و کرتاسه زیرین ارتباط دگرشیب دارند.



شکل ۱۳- الف) تصویر ماهواره‌ای از Google earth از ناپیوستگی بین سازند نایبند و واحدهای ائوسن (خط چین سفیدرنگ نشانگر مرز ناپیوستگی زاویه دار بین واحد ائوسن و تریاس است). ب) نمای از دگرشیبی یادشده بین سازند نایبند و واحدهای ائوسن. ج) نمایی از کنگلومرای ائوسن. د) نمونه دستی از فسیل براکیوپودا و نومولیت.

۶- الگوی کینماتیکی توزیع ساختارهای منطقه جنوب نطنز

توجه به شواهد مشاهده شده از زمان بندی تغییر شکل در منطقه و تلفیق آنها با داده‌های ساختاری مدل تکامل ساختاری منطقه بحث شده است.

۷-۱. الگوی جنبشی سامانه گسلی جنوب نطنز

در سامانه گسلی جنوب نطنز، ساختارهای مرتبط با گسل‌های امتدادلغز که با استفاده از مشاهدات میدانی، نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای قابل تشخیص است، گسل زفره را به عنوان شکستگی اصلی موجود در منطقه در نظر گرفته و در امتداد این گسل، شکستگی‌های فرعی با زوایای مختلف، به صورت همسو و ناهمسو با گسل زفره از برداشت‌های صحرائی حاصل شده است. شکل ۱۶ الگوی گسل‌های موجود در منطقه را نشان می‌دهد. در این الگو شکستگی‌های ریدل مرتبط با برش گسل امتدادلغز هستند که بر اساس موقعیت سطح گسل، موقعیت تنش‌های اصلی ایجاد می‌شوند و با زاویه متوسط ۱۵ درجه نسبت به دیواره گسل گسترش دارند و همسو با حرکت گسل زفره می‌باشد. شکستگی‌های آنتی ریدل که با زاویه متوسط ۷۵ درجه نسبت به دیواره گسل توسعه دارند ناهمسو با حرکت گسل زفره هستند. شکستگی‌های P، شکستگی برشی همسو با حرکت گسل و پس از تشکیل شکستگی نوع ریدل و با زاویه میانگین ۳۰ درجه ایجاد می‌شوند (Fossen, 2010; Storti et al., 2006). در دو طرف گسل زفره، گسل اصلی منطقه (PDZ) شکل ۱۵ گسل راندگی با رنگ قرمز و شکستگی‌های ریدل با رنگ بنفش و شکستگی‌های آنتی ریدل با رنگ آبی قرار گرفته‌اند.

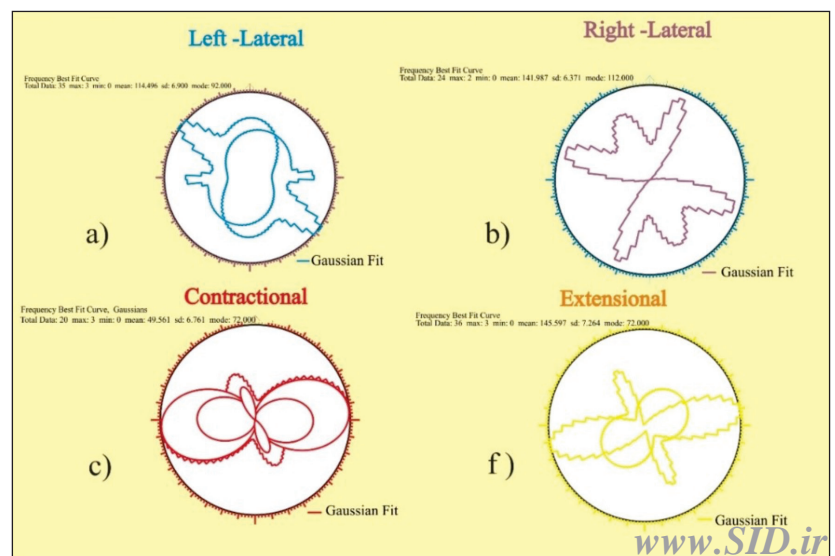
گسل‌های اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه که بر اساس سازوکار گسل‌ها تفکیک شده است. نشان‌دهنده آن است که گسل‌های راندگی با روند عمده خاوری-باختری، از مهم‌ترین ساختارهای منطقه هستند که تشکیل شده‌اند و عمده واحدهای رخنمون یافته در فرادپواره این گسل‌ها از نوع واحدهای قدیمی پالئوزویک می‌باشند.

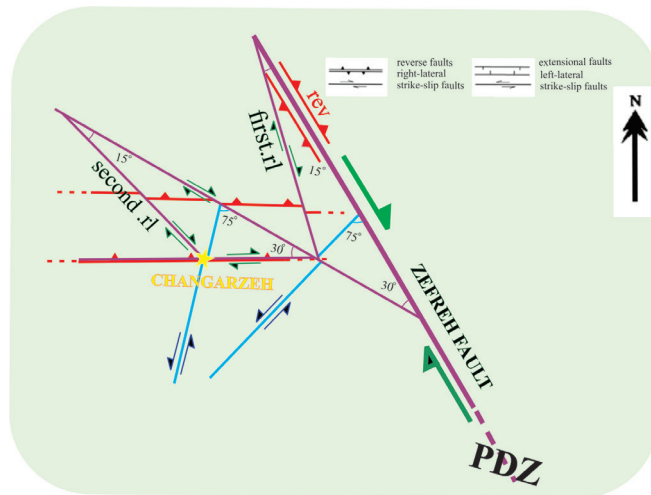
همانطور که ملاحظه می‌شود در شکل ۱۴، گسل‌های امتدادلغز راست‌بر، با رنگ بنفش با امتدادهای ۱۰۹ درجه و ۲۰۳ درجه و ۱۵۶ درجه و گسل‌های امتدادلغز چپ‌بر با رنگ آبی، با امتدادهای ۱۸۱ درجه و ۱۳۱ درجه و ۳۰ درجه، امتداد گسل‌های معکوس با رنگ قرمز، به صورت ۸۴ درجه و ۳۳۵ درجه و ۲۷۵ درجه، و امتداد گسل‌های نرمال با رنگ زرد، به صورت ۸۲ درجه و ۲۲۹ درجه و ۳۳۷ درجه با توجه به داده‌های برداشت‌شده در نظر گرفته شده است. بر اساس شواهد نمودار گلسرخ، بیشترین گسل‌های موجود در منطقه دارای آزمون بین ۸۰ تا ۲۳۰ می‌باشد. می‌توان بیان داشت که گسل‌های امتدادلغز و راندگی بیشترین فراوانی را دارا هستند.

۷- بحث

با توجه به شواهد مشاهده شده از هندسه و کینماتیک ساختارهای موجود در منطقه جنوب نطنز در این بخش این داده‌های ساختاری در تلفیق با مطالعات پیشین بر روی سامانه گسل قم-زفره منجر به ارایه مدل کینماتیک ساختاری شده است. همچنین با

شکل ۱۴- نمودار گل‌سرخ از ساختارهای گسلی تشکیل شده در رژیم ترا فشارشی در منطقه مورد مطالعه (فراوانی بر اساس آزمون). گسل‌های امتدادلغز چپ‌بر با رنگ آبی، امتدادلغز راست‌بر با رنگ بنفش، گسل‌های معکوس با رنگ قرمز و گسل‌های نرمال با رنگ زرد نمایش داده شده است.





شکل ۱۵- الگوی ساختارهای تشکیل شده در سیستم ترفشارشی پهنه برشی زفره به همراه گسل‌های فرعی تشکیل شده در آن.

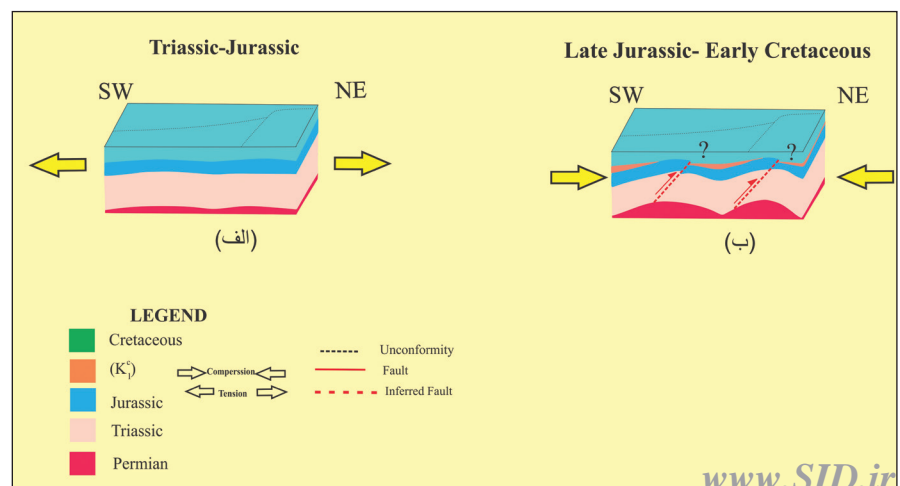
فسخود به‌طور عمده مجموعه‌ای از واحدهای رسوبی قدیمی پرمین-تریاس (سازندهای جمال-نابیند و شتری) را بر روی واحدهای جوان‌تر رانده است. این مجموعه گسل‌های راندگی در ادامه توسط گسل‌های امتدادلغز با روندهای شمال باختر- جنوب خاور و شمال خاور- جنوب باختر قطع و جابه‌جا شده‌اند. این مجموعه‌های امتدادلغز جوان‌تر، به‌ویژه جوان‌تر از ائوسن، در ارتباط با فعالیت‌های راستالغز گسل زفره بوده و رده‌های پایین‌تر منشعب شده از پهنه اصلی این گسل می‌باشند. ترفشارش راست‌بر در امتداد سامانه گسلی قم-زفره و تشکیل سیستم گسل‌های امتدادلغز جوان‌تر در منطقه جنوب نطنز، باعث قطع و جابه‌جایی چین‌خوردگی‌ها و راندگی‌های قدیمی‌تر شده است. با توجه به شواهد چینه‌شناسی و وضعیت زمان ناپیوستگی‌های مشاهده شده در منطقه جنوب نطنز، اثراتی از چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی احتمالی در بازه زمانی قبل از کرتاسه‌زیرین دیده می‌شود (شکل ۱۶) که طی آن، واحدهای پرمین-تریاس- ژوراسیک و قدیمی‌تر دچار چین‌خوردگی و کوتاه‌شدگی شده‌اند. در ادامه، این واحدهای چین‌خورده توسط واحدهای کرتاسه‌زیرین پوشیده شده‌اند. سایر بخش‌های ایران مرکزی و پهنه سندج سیرجان در محیط زمین‌ساختی کششی بوده‌اند (Mohajjel et al., 2003) (شکل ۱۷). فاز تغییرشکلی کرتاسه پایانی، ابتدا به‌صورت فشردگی بوده و در ادامه چین‌خوردگی و راندگی واحدهای قدیمی‌تر، واحدهای جوان‌تر از کرتاسه‌زیرین را دربر گرفته‌اند (شکل ۱۸).

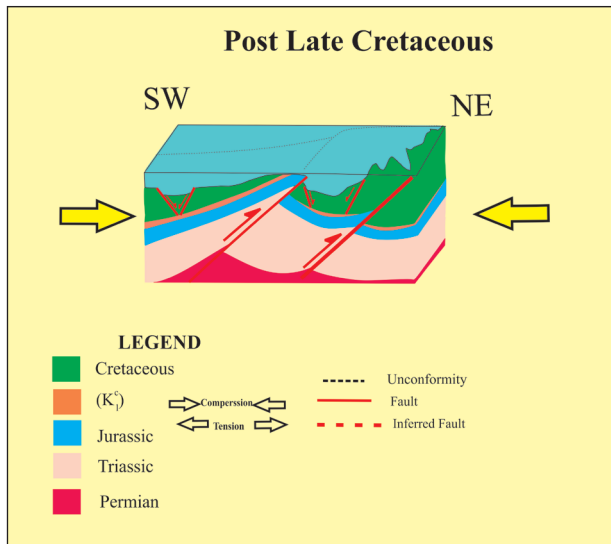
تحلیل ساختاری منطقه جنوب نطنز، نشان‌دهنده آن است که گسل‌های راندگی اولیه با روند عمومی خاوری-باختری تا شمال باختری- جنوب خاوری همچون گسل فسخود به‌طور عمده مجموعه واحدهای رسوبی قدیمی پرمین-تریاس (سازندهای جمال-نابیند و شتری) را بر روی واحدهای جوان‌تر رانده است. این مجموعه گسل‌های راندگی در ادامه توسط گسل‌های امتدادلغز با روندهای شمال باختر- جنوب خاور و شمال خاور- جنوب باختر قطع و جابه‌جا شده‌اند. این مجموعه‌های امتدادلغز جوان‌تر، به‌ویژه جوان‌تر از ائوسن، در ارتباط با فعالیت‌های راستالغز گسل زفره بوده و رده‌های پایین‌تر منشعب شده از پهنه اصلی این گسل می‌باشند. بر اساس روابط قطع شدگی بین گسل‌ها طبق مطالعات میدانی و تصاویر هوایی انجام گرفته این مجموعه گسل‌های راندگی و نرمال توسط گسل‌های امتدادلغز با روندهای شمال خاور- جنوب باختر و شمال باختر- جنوب خاور قطع و جابه‌جا شده‌اند که بیانگر جوان‌تر بودن گسل‌های امتدادلغز است. این مجموعه‌های امتدادلغز جوان‌تر در ارتباط با فعالیت‌های راستالغز گسل زفره بوده و رده‌های پایین‌تر منشعب شده از پهنه اصلی این گسل می‌باشند.

۲-۷. الگوی تکامل ساختاری منطقه جنوب نطنز

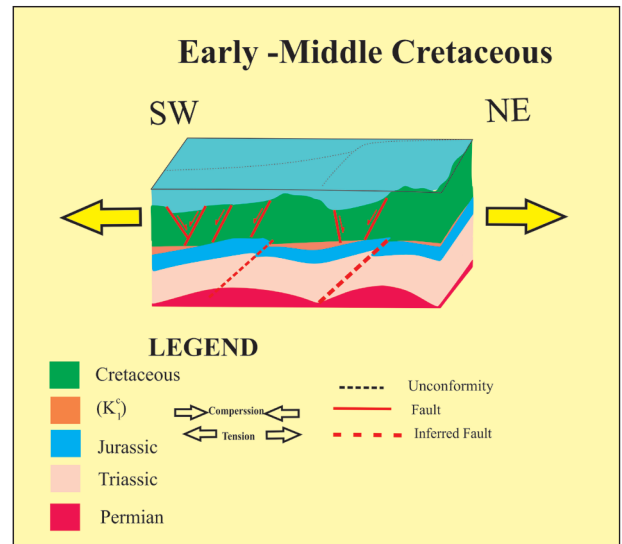
تحلیل ساختاری منطقه جنوب نطنز، نشان‌دهنده آن است که گسل‌های راندگی اولیه با روند عمومی خاوری- باختری تا شمال باختری- جنوب خاوری همچون گسل

شکل ۱۶- الگوی شماتیک از تکامل ساختاری منطقه جنوب نطنز و عملکرد گسل‌های راندگی و نرمال امتدادلغز در این منطقه. الف) ته‌نشست واحدهای ژوراسیک و قبل از ژوراسیک در منطقه جنوب نطنز. ب) چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی واحدهای ژوراسیک و پوشیده شدن چین‌خوردگی‌های قدیمی با ناپیوستگی توسط واحدهای کرتاسه‌زیرین.





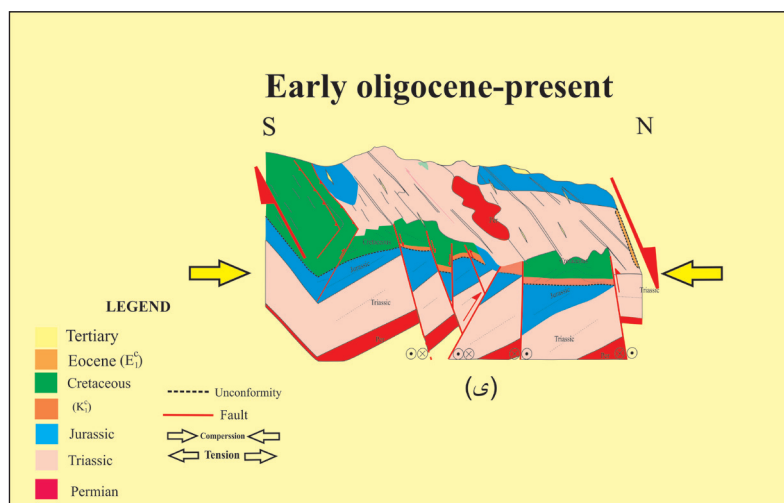
شکل ۱۸- الگوی شماتیک از تکامل ساختاری منطقه جنوب نطنز و عملکرد گسل‌های راندگی و نرمال امتدادلغز در این منطقه. کرتاسه آغازین- میانی در منطقه جنوب نطنز. چین خوردگی و تغییر شکل واحدهای کرتاسه پایانی.



شکل ۱۷- الگوی شماتیک از تکامل ساختاری منطقه جنوب نطنز و عملکرد گسل‌های راندگی و نرمال امتدادلغز در این منطقه. کرتاسه آغازین- میانی در منطقه جنوب نطنز.

توسط چین خوردگی‌ها و گسل‌های راندگی و در درجه بعد توسط گسل‌هایی با حرکت امتدادلغز که دارای امتدادهای شمالی-جنوبی، شمال خاوری- جنوب باختری و شمال باختری- جنوب خاوری هستند، دچار تغییر شکل شده است و در درجه سوم به صورت اقلیت گسل‌هایی با سازوکار غالب نرمال با امتدادهای شمال خاوری- جنوب باختری و شمال باختری- جنوب خاوری منطقه را تحت تأثیر قرارداده است (شکل ۱۹).

در طی ائوسن منطقه، متحمل کشش ناحیه‌ای شده است (رادفر، ۱۳۷۸) ولی شواهدی از این فاز تغییر شکلی در منطقه جنوب نطنز دیده نمی‌شود. به دنبال مشاهده شواهدی از راندگی واحدهای قدیمی‌تر از سنوزوییک بر روی واحدهای جوان سنوزوییک و حتی کواترنری می‌توان گفت تغییر شکل فشارشی منطقه، در بازه زمانی سنوزوییک پایانی تا پلیوسن همچنان ادامه دارد. این موضوع بیانگر این است که بر اساس سازوکار گسل‌ها، منطقه مورد مطالعه در درجه اول به‌طور عمده



شکل ۱۹- الگوی شماتیک از تکامل ساختاری منطقه جنوب نطنز و عملکرد گسل‌های راندگی و نرمال امتدادلغز در این منطقه. ترا فشارش راست‌بر در امتداد سامانه گسلی قم-زفره و تشکیل سیستم گسل‌های امتدادلغز جوان‌تر در منطقه جنوب نطنز و قطع و جابجایی چین خوردگی‌ها و راندگی‌های قدیمی‌تر.

۸- نتیجه گیری

گسل‌های امتدادلغز با مولفه‌های نرمال و معکوس قطع جابه‌جا شده است که هندسه، کینماتیک و روند قرارگیری این گسل‌های متاخر نشان از فعالیت آنها به عنوان رده‌های جوان‌تر منشعب از سامانه گسلی امتدادلغز راست‌گر قم- زفره دارد.

مجموعه شواهد ساختاری به‌دست آمده از منطقه جنوب نظنز همراه با شواهد چینه‌شناسی موجود نشان دهنده آن است که این منطقه در بازه زمانی پیش از کرتاسه متحمل تغییر شکل‌های فشارشی بوده که گسل‌های راندگی قدیمی را ایجاد نموده است. این سامانه گسلی در ادامه توسط مجموعه‌ای از

کتابنگاری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صفحه ۵۸۳.
- بیگی، س.، ۱۳۹۲- تحلیل هندسی گسل‌های بخش مرکزی کمر بند ماگمایی ارومیه- دختر و تعیین ارتباط بین کانی‌زایی و عناصر ساختاری، شمال خاور اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.
- پروهان، ن.، ۱۳۸۱- تحلیل دگرریختی گسل قم- زفره (محدوده کاشان- اردستان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- پروهان، ن. و مجمل، م.، ۱۳۸۲- هندسه و سینماتیک سامانه گسل قم- زفره و اهمیت آن در زمین‌ساخت ترفشارشی، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، شماره ۵۶، صفحه ۷۲-۸۳.
- جعفر کوپایی، م.، ۱۳۹۸- ژئوشیمی، ژئو و تپ کانی‌زایی سرب و روی (باریت) در کانسارهای فسخود و گردنه شیر در جنوب باختر اردستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- رادفر، ج.، ۱۳۷۸- نقشه ۱/۱۰۰۰۰ اردستان، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- زاهدی، م. و رحمتی، م.، ۱۳۸۱- نقشه ۱/۱۰۰۰۰ طرق، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- زاهدی، م. و عمیدی، س.، ۱۳۷۰- شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش کاشان، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور، شماره ۴۷، صفحه ۹۸.
- زاهدی، م.، صمدیان، م.، طاووسیان، ش. و عمیدی، م.، ۱۹۷۸- نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی اصفهان، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Alavi, M., 1991- Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. *Geol. Soc. Am. Bull.* V. 103, PP. 983-992. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1991\)103<0983:SASCOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1991)103<0983:SASCOT>2.3.CO;2).
- Beygi, S., Nadimi, A., Safaei, H., Nahodilova, R., Vrana, S., Pertoldova, J., Gadas, P., Skal, R., Jonasova, S. and Zak, K., 2016- Tectonic history of seismogenic fault structures in Central Iran. *Journal of Geosciences*, 61, 127-144. <http://dx.doi.org/10.3190/jgeosci.212>.
- Fossen, H., 2010- *Structural Geology*, 463 pp. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- Jamali, F., Hessami, Kh. and Ghorashi, M., 2011- Active tectonics and Strain partitioning along dextral fault System in Central Iran: Analysis of geomorphological observation and geophysical data in the Kashan region. *Journal of Asian Earth Sciences*, Special issue, V. 40, Issue 4, 3 March 2011, pp. 1015-1025; <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2010.05.013>.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L. and Sahandi, M.R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Asian Earth Sciences* 21, 397-412. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(02\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(02)00035-4).
- Morley, C. K., Kongwung, B., Julapour, A. A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Waples, D., Warren, J., Otterdoom, H., Srisuriyon, K. and Kazemi, H., 2009- Structural development of a major late Cenozoic basin and transpressional belt in central Iran: The Central Basin in the Qom-Saveh area. *Geosphere*, 5, 325-362. <https://doi.org/10.1130/GES00223.1>.
- Poroohan, N., Teimoornegad, K., Mohajjel, M., 2004- Geometry and Kinematics of Qom-Zefreh Fault System and its Significance in Transpression Tectonics, Proceedings of the 3rd IASME / WSEAS International Conference on GEOLOGY and SEISMOLOGY (GES'09). ISBN: 978-960-474-058-1
- Safaei, H., Taheri, A. and Vaziri Moghadam, H., 2008- Structural analysis and evolution of the Kashan fault (Qom-Zefreh Fault), Central Iran. *Journal of Applied Science* 8, 1426-1434. DOI: 10.3923/jas.2008.1426.1434.
- Stocklin, J., 1968- Structural History And Tectonics of Iran; a Review. *AAPG Bulletin*, 52, 7. 1229-1258. <https://doi.org/10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D>.
- Storti, F., Rossetti, F., Laifar, A. L. and Salvini, F., 2006- Consistent kinematic architecture in the damage zones of intraplate strike-slip fault systems in North Victoria Land, Antarctica and implications for fault zone evolution, *Journal of Structural Geology*, 28, 50-66. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2005.09.004>.

Tabaei, M., Mehdizadeh, R. and Esmaili, M., 2016- Stratigraphical evidences of the Qom–Zefreh Fault system activity, Central Iran. Journal of Tethys: Vol, 4, 018-026. ISSN: 2345–2471 ©2016.

Structural analysis of the South Natanz Region, evidence for interaction of the dextral transpression on earlier thrust faults in central Iran

F. Shavvakhi¹, S. Madanipour^{2*} and E. Rastad³

¹M.Sc., Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³ Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2019 December 11

Accepted: 2020 May 18

Abstract

South Natanz Area is structurally located in the western part of the Central Iranian structural zone and central part of the Orumieh-Dokhtar magmatic belt at southwestern termination of the Qom-Zefreh Fault. Our structural data represents older generation of E-W to NW-SE thrust faults as Fasakhod Fault that juxtaposes Permian- Triassic (Jamal, Nayband and Shotori Formations) over younger rock units. Most of the thrust faults have been cross cut with younger generation of strike-slip fault system. These mainly post Eocene strike slip fault systems are structurally linked to Qom-Zefreh Fault zone. On the other hand, they developed as strike slip orders of the Qom-Zefreh Fault system in central part of the Orumieh-Dokhtar magmatic belt. Integration of the structural data set with stratigraphic unconformities observed in the south Natanz represent regional folding of the area during pre Early Cretaceous time. Subsequently, it has experienced regional extension as observed in the other parts of the central Iran during Early Cretaceous time. Major thrust faulting of the area has been occurred during post Late Cretaceous time. The final post Oligocene strike slip faulting related to the activation of the Qom- Zefreh fault has overprinted and cross cut older structural features.

Keywords: Qom- Zefreh Fault, Fasakhod Fault, western Central Iranian, south Natanz

For Persian Version see pages 255 to 268

*Corresponding author: S. Madanipour; E-mail: madanipour.saeed@modares.ac.ir