

تحلیل ساختاری گستره کوه آهن بشرویه، خراسان جنوبی

مظفرالدین جمالی^۱، محمدرضا قاسمی^۲، محمد لطفی^۲ و علی سلگی^۳

دانشجوی دکترا، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، تهران، ایران

دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۰

چکیده

«کوه آهن» یک برجستگی منفرد و با ارتفاع زیاد در دشتی به نسبت مسطح در شمال بلوک طبرس و در نزدیکی محل برخورد دو گسل ناینبد و کلمرد واقع شده است و رخنمون‌های گسترده‌ای از رگه‌های اکسید آهن، همخوان با گسل‌ها و شکستگی‌های خاوری-باختری در گستره کوه آهن وجود دارد. این پژوهش تلاش کرده است با مطالعات ساختاری و دورسنجی گستره به شناخت سازوکار شکل‌گیری کوه آهن و شیوه جایگیری ماده معدنی در این کوه بپردازد و نقش شکستگی‌ها و گسل‌های اصلی گستره را در این فرایند آشکار سازد. در رویکرد دورسنجی با استفاده از داده‌های DEM و تصویر ماهواره Aster و فیلترگذاری در جهت‌های اصلی، جابه‌جایی و قطع شدگی ناگهانی واحدهای سنگ‌شناختی و تغییر الگوی آبراهه‌ها بررسی شد و شکستگی‌ها و گسل‌های گستره شناسایی و به نقشه تبدیل شدند. در برداشت‌های میدانی، سازوکار گسل‌ها به ویژه در محدوده معدن کوه آهن تعیین شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که گسل‌های دارای راستای شمالی-جنوبی (روند گسل ناینبد) و شمال خاوری-جنوب باختری (روند گسل کلمرد) بیشتر دارای سازوکار راستالغز راست‌بُز هستند و گسل‌های با روند خاوری-باختری، سازوکار راستالغز چپ‌بُز با مؤلفه معکوس دارند. مدل ساختاری این پژوهش پیشنهاد می‌کند جابه‌جایی راستالغز بر روی گسل‌های هم‌پیو، فضایی مناسب برای بالاروی (ascend) و تشکیل مواد معدنی گرمایی (hydrothermal mineral) در محدوده معدن فراهم آورده است.

کلیدواژه‌ها: کوه آهن، بلوک لوت، گسل ناینبد، گسل کلمرد، گسلش راستالغز، کانی‌سازی آهن

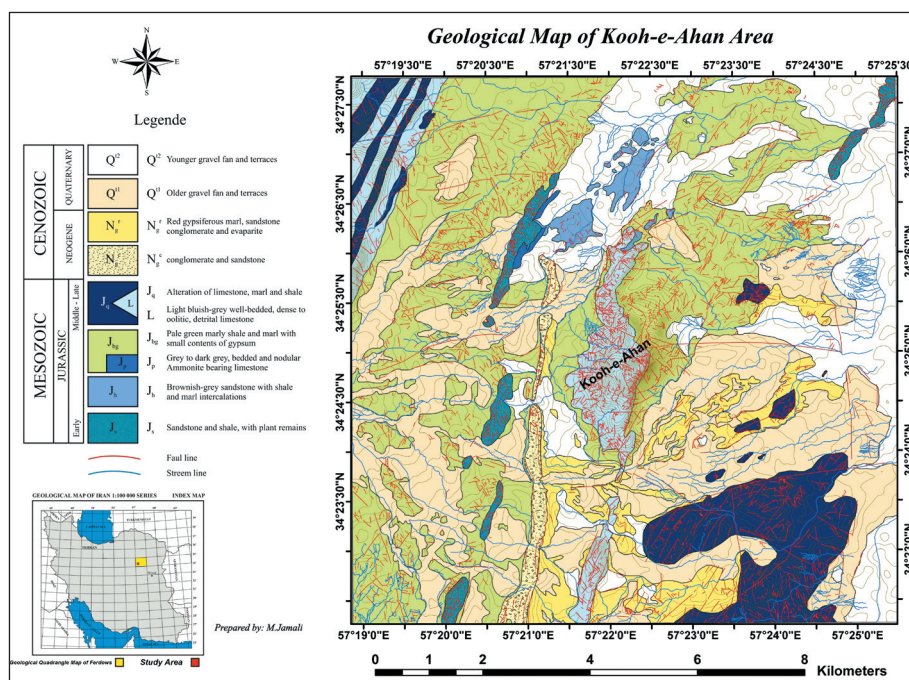
*نویسنده مسئول: محمدرضا قاسمی

E-mail: ghassemi.m.r@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

و ۱:۱۰۰۰۰۰: عشق‌آباد (Aghanabati et al., 1994)، کوه آهن با روند عمومی شمال شمال‌خاور- جنوب جنوب‌باختری به صورت یک برجستگی مهم در میان دشت قد برافراشته است (شکل ۱) که دامنه باختری آن شبیه در حدود ۸ درجه و دامنه خاوری آن شبیه در حدود ۲۴ درجه دارد. بیشینه بلندی قله کوه آهن در حدود ۱۰۵۹ متر است که از دشت خاور خود در حدود ۲۰۰ متر ارتفاع دارد.

کوه آهن با موقعیت تقریبی ۵۷ درجه و ۲۲ دقیقه ۲۰ ثانیه خاوری و ۳۴ درجه و ۲۴ دقیقه و ۴۵ ثانیه شمالی، در شهرستان بشرویه و در ۱۰ کیلومتری شمال روستای نیگنان از خراسان جنوبی قرار دارد و نام آن برگرفته از رخنمون‌های گسترده کانه‌زایی آهن و نیز آثار یک معدن متروکه که کهن در این کوه است. در نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ فردوس (Eftekhari-Nejad et al., 1977)



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی کوه آهن. تهیه شده بر پایه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ فردوس و ۱:۱۰۰۰۰۰ عشق‌آباد، تصاویر

ماهواره‌ای و برداشت‌های میدانی.

و گوتیت در سنگ‌های کربناته (نظرقزوینیان و همکاران، ۱۳۹۲) سازند قلعه‌دختر بسیار گسترده اما در سازند شیل و مارنی بغمشاه تنها به صورت آلودگی هماتی است.

نشانه‌های دگرسانی سیلیسی و کربناتی که از مشخصات بارز کانسارهای تیپ اکسید آهن با منشأ گرمایی است (Robb, 2005)، به فراوانی در معدن کوه آهن دیده می‌شود. دگرسانی سیلیسی ناشی از سرد شدن سیالات اشباع از سیلیس است و در فشارهای پایین و دماهای کمتر از 300°C (نوع کلسدونیک)، در بازه دمایی 190°C تا 100°C (نوع اپالی) و در دماهای پایین‌تر از 110°C (نوع سیلیسی حفره‌دار) (Robb, 2005) به صورت قشر نازکی از بلورهای کلسدونی بر دیواره شکستگی‌ها یافت می‌شود (شکل ۲).

گستره کوه آهن از دیدگاه زمین‌شناسی و ساختاری در شمالی‌ترین بخش بلوک طیس و در محل برخورد دو گسل نایبند و کلمرد قرار گرفته است. در این گستره واحدهای چینه‌ای اصلی رخنمون‌هایی از مارن، شیل و سنگ‌ماسه به سن ژوراسیک (سازند بغمشاه)، آهک لایه‌ای و آهک مارنی به سن ژوراسیک (سازند قلعه دختر) و مارن و ژپس به سن نئوژن هستند (شکل ۱). پدیده‌های ریخت‌زمین‌ساختی با اثر چین‌ها و گسل‌هایی با روند شمال شمال‌خاور- جنوب جنوب باختر، بادزن‌های آبرفتی، آبراهه‌های بریده شده و کچ شده و دق‌ها و کفه‌های رسی و نمکی شکل گرفته‌اند که با کوه‌ها و بلندی‌ها محصور شده‌اند.

آنچه در کوه آهن جلب نظر می‌کند این است که کانه‌زایی منطبق بر گسل‌ها و شکستگی‌ها و دارای روند خاوری- باختری است. کانه‌زایی هماتی



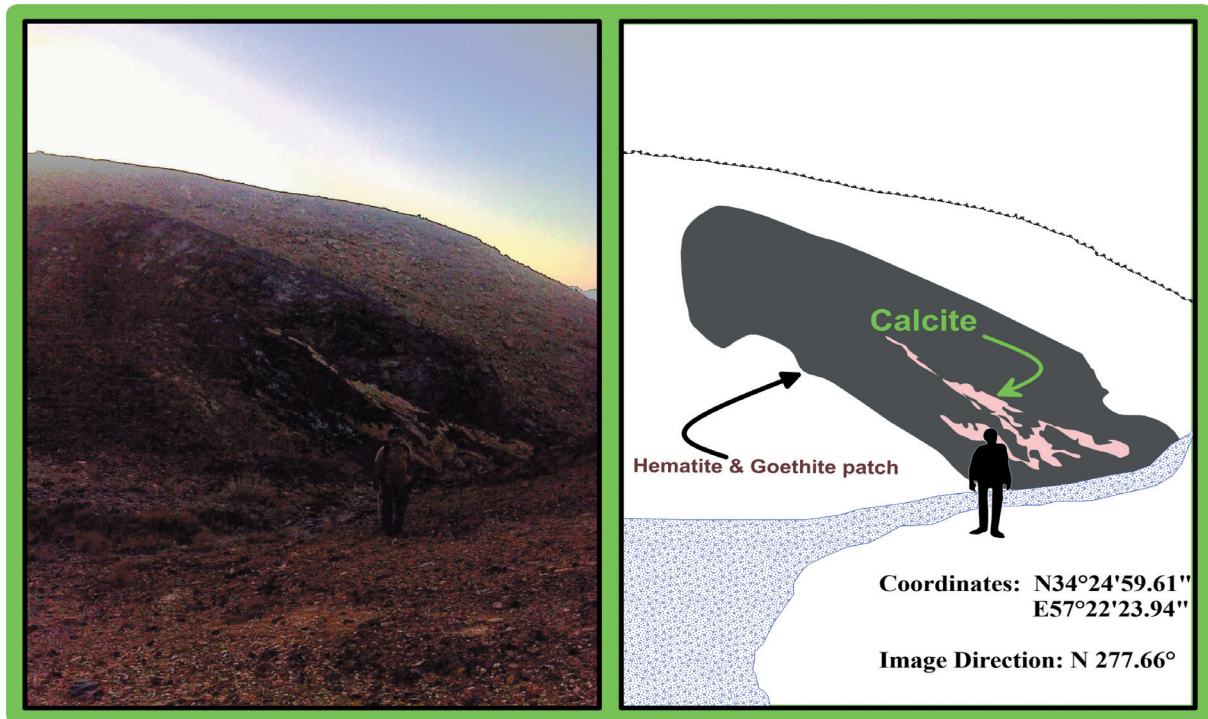
شکل ۲- دگرسانی سیلیسی در کوه آهن (سازند قلعه دختر).

به‌طور معمول در محل سامانه‌های گسلش راستالغز یافت می‌شوند. توسعه بیشتر شکستگی در طی فرایند کانی‌سازی از الگوی سامانه‌ای پیروی می‌کند. اعمال تنش‌های زمین‌ساختی سبب می‌شود که گسل‌های راستالغز با زاویه‌ای بین 30° تا 55° درجه نسبت به تنش اصلی بیشینه (σ_1) شکل بگیرند (Park, 1993). هنگامی که گسل‌ها و شکستگی‌های نردبانی و موازی به‌صورت مکانیکی اندرکنش پیدا می‌کنند، کرنش در راستای آنها ممکن است به‌صورت شکستگی‌های کششی پیونددهنده (gash fractures) جریان شود (Burg, 2016). از آنجا که این نوع شکستگی‌ها زاویه کوچکی با σ_1 دارند، باید از نظر هیدرولیکی رسانا باشند. در واقع کانسارهای با منشأ گرمایی است به‌طور معمول در چنین شکستگی‌هایی متمرکز می‌شوند. از سوی

دگرسانی کربناتی نیز شامل شکل‌گیری کانی‌های کربناته (کلسیت، دولومیت، مگنزیت و سیدریت) در طی دگرسانی در یک سنگ توسط محلول‌هایی با فشار جزئی بالای دی‌اکسید کربن در PH قلیایی بوده که تشکیل هر یک از انواع کانی‌های کربناته تابعی از ترکیب سنگ میزبان است (Robb, 2005). دگرسانی کربناتی به‌صورت رگچه‌های کلسیتی به شکل استوک‌ورک و بافت موزاییکی در زمینه مشاهده می‌شود که در چند مرحله در واحدهای آهکی و ماسه‌سنگی شکل گرفته‌اند. رگچه‌های مرحله پسین دارای اکسید آهن (هماتیت) و دولومیت هستند (شکل ۳). پیوند میان کانی‌سازی و شکستگی‌های پوسته از دیرباز مورد توجه کارشناسان اکتشاف مواد معدنی در سراسر دنیا بوده است. نهشته‌های معدنی گرمایی اپی‌زونال

تشکیل شکستگی‌ها و سامان‌داری گسترش فضایی و جهت آنها کلیدی برای اکتشاف مواد معدنی گرمابی و تعمیم مواد معدنی اکتشاف شده است.

دیگر، کانسارهای گرمابی و دگرسانی خود گواهی مستقیم برای رسانایی هیدرولیکی در گذشته زمین‌شناختی هستند (Berger et al., 2001). به این ترتیب شناخت شیوه



شکل ۳- دگرسانی کربناته در کوه آهن (سازند قلعه دختر).

مطالعه جمع‌آوری و بررسی شد. سپس با نرم‌افزار Envi 4.8 پردازش بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام گرفت. برای مشاهده و ترسیم خطواره‌های ساختمانی (گسل‌ها و درزه‌های بزرگ مقیاس) و پرهیز از بروز خطا (خطوط اثر محور چین‌ها، جاده‌ها، مرز زمین‌های کشاورزی و سازه‌های انسانی) از چهار روش کنترلی جداگانه به شرح زیر بهره گرفته شد:

- ۱) استفاده از تصاویر RGB.
- ۲) بهره‌گیری از نسبت بانندی.
- ۳) فیلترگذاری در ۸ جهت (Tarek, 2013) بر روی باند ۸ Grayscale تصاویر ماهواره Landsat 7 (شکل ۴).
- ۴) به کارگیری تصویر DEM ماهواره Aster و فیلترگذاری در ۸ جهت اصلی بر روی آن. سپس با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مختلف در نرم‌افزار ArcMap 10.2 نقشه گسل‌های اصلی برای مساحتی در حدود ۱۸۵۰ کیلومتر مربع تهیه شد (شکل ۵).

۲-۱. شکستگی‌ها و گسل‌های اصلی گستره

با توجه به نقشه ساختاری گستره مشخص می‌شود که عناصر ساختاری اصلی گستره از سه روند اصلی پیروی می‌کنند.

- ۱) روند شمال‌خاور- جنوب‌باختر که در بخش مرکزی تا باختری گستره دیده می‌شود. این روند مربوط به گسل کلمرد در باختر کوه آهن و گسل‌های راندگی موازی با آن است (شکل ۵). گسل کلمرد از جنوب خاور رباط پشت بادام تا جنوب عشق‌آباد در حدود ۲۰۰ کیلومتر درازا دارد و به عنوان مرز باختری زیر پهنه بلوک طبس در نظر گرفته می‌شود. راستای این گسل شمال‌خاوری و سازوکار آن راستالغز راست‌بُرد است. به همین دلیل از این پس این روند به عنوان روند کلمردی معرفی خواهد شد. این گسل در باختر برجستگی قدیمی کلمرد قرار دارد و آن را از گستره

مومنی طارمسری و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از فناوری سنجش از دور، پهنه‌های دگرسانی گستره ازبک‌کوه (۳۰ کیلومتری شمال باختر معدن کوه آهن) و پیوند آنها با سامانه گسلی کلمرد را مورد پژوهش قرار دادند و پیشنهاد کردند که انواع دگرسانی در این گستره، پیوند آشکاری با سه گسل اصلی گستره دارند. گسل‌های یاد شده دارای سازوکار راستالغز راست‌بُرد همانند گسل کلمرد هستند. دگرسانی هماتیته در این گستره از گسترش زیادی برخوردار است.

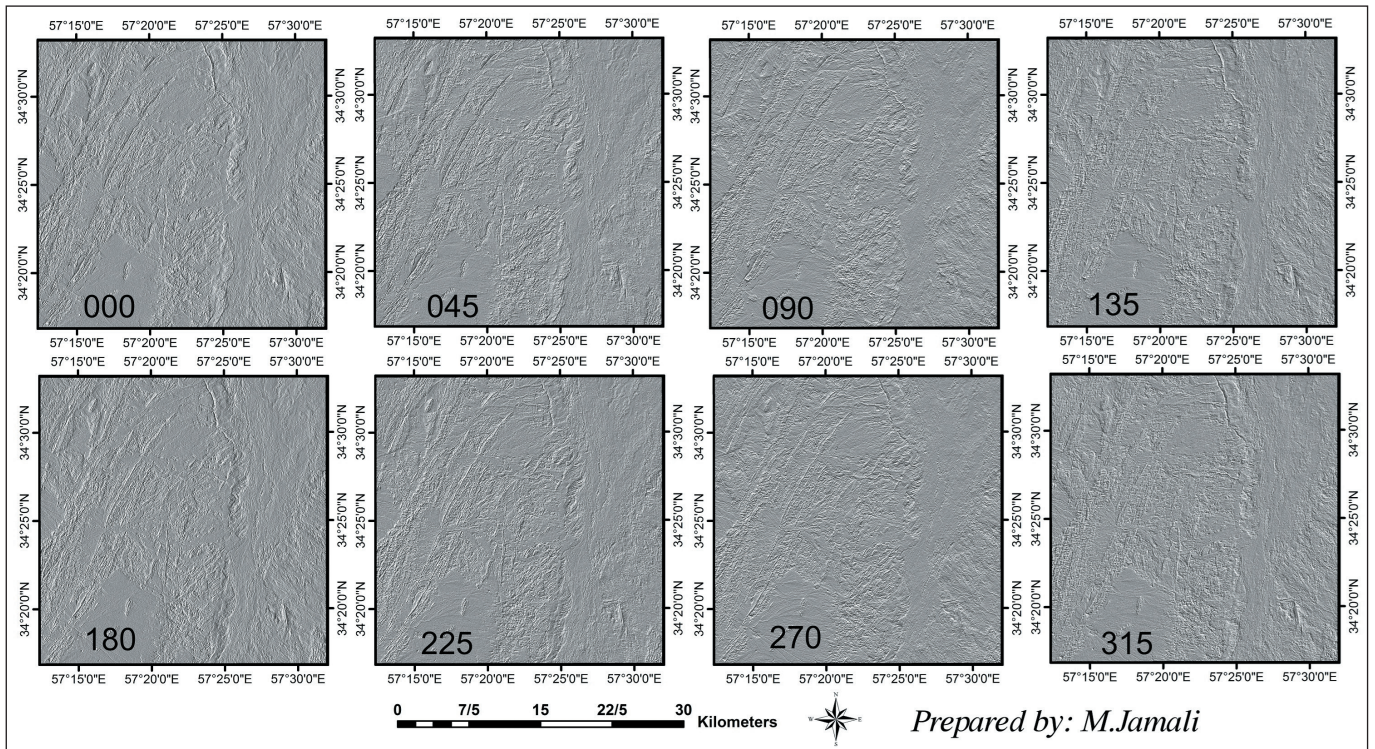
نظرفزوینیان و همکاران (۱۳۹۲) در محدوده اکتشافی نیگنان، که گستره کوه آهن را نیز دربر می‌گیرد، بررسی اکتشافی ژئوشیمیایی انجام داده‌اند. آنها به دگرسانی‌های کلسیتی و دولومیتی در این گستره اشاره کرده‌اند و بر این باورند که کانی‌سازی کنترل گسلی دارد و به صورت رگه‌ای و جانیشینی در سنگ میزبان کربناته شکل گرفته است. ساختار معدن به باور ایشان یک رگه با راستای خاوری- باختری و شیب ۶۴ درجه است. کانی‌سازی این محدوده معدنی در دو مرحله روی داده است. کانی‌سازی اولیه دربردارنده هماتیت، کالکوپیریت و پیریت به همراه باطله کلسیت و دولومیت و کانی‌سازی ثانویه دربردارنده گوتیت و هماتیت به همراه کلسیت است. بر پایه اکتشافات ژئوشیمیایی نظرفزوینیان و همکاران (۱۳۹۲)، کانی‌سازی این محدوده دربردارنده تا ۱۵٪ آهن، ۵۴ گرم در تن مس، ۶۷۸۹ گرم در تن سرب و ۹۳۷ گرم در تن روی است. کانی‌سازی آهن در این محدوده یک کانی‌سازی گرمابی است که بی‌هنجاری سرب و روی در آن وجود دارد.

۲-۲. تهیه نقشه گسل‌های اصلی

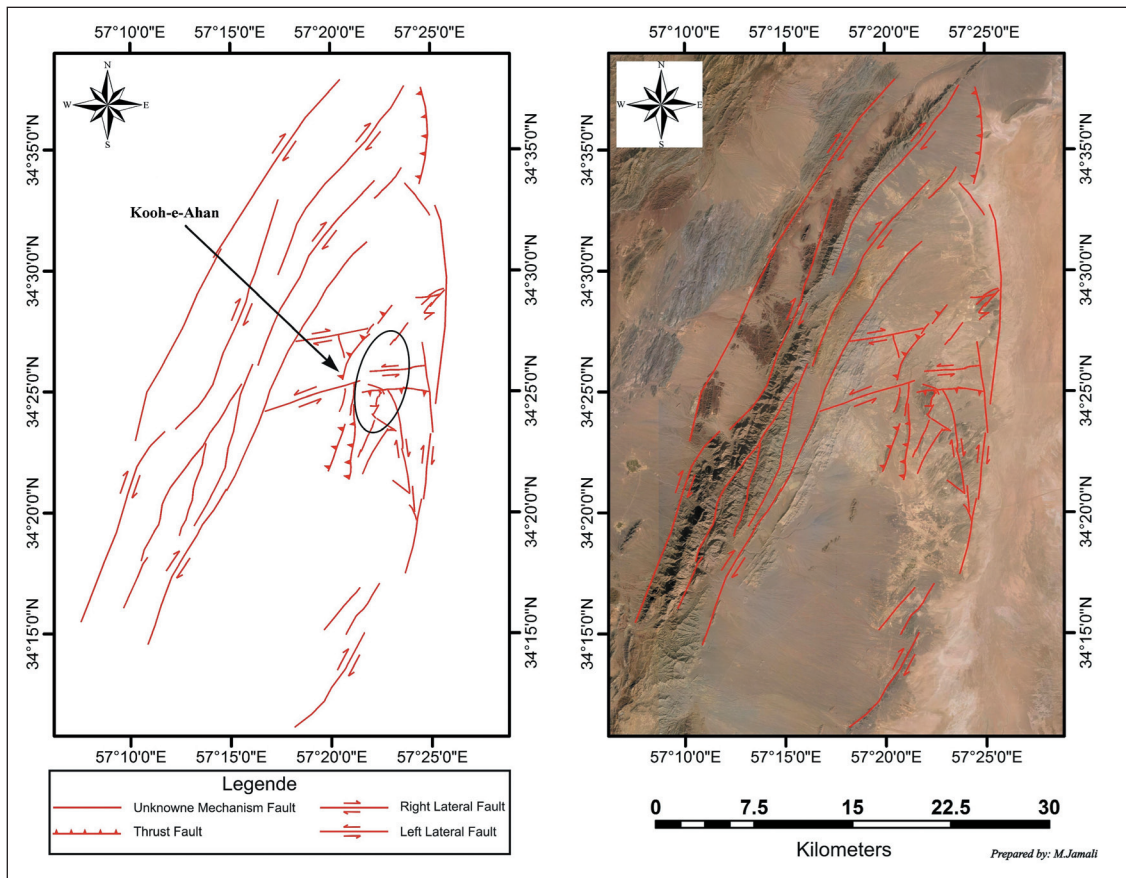
برای تهیه نقشه گسل‌های اصلی گستره، ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی موجود، تصاویر ماهواره‌ای Landsat سنجنده ETM و تصاویر DEM ماهواره Aster گستره مورد

است (Ruttner et al., 1968). گسل کلمرد حدود ۷۵ درجه شیب به سمت باختر دارد و به این ترتیب کمی به طرف خاور رورانده است (Aghanabati, 1977).

شیرگشت جدا می‌کند. در بخش شمالی این گسل (در گستره شیرگشت) آبرفت‌های مجاور آن دچار جابه‌جایی قائم شده‌اند که نشان‌دهنده حرکات عهد حاضر این گسل



شکل ۴- فیلتر گذاری جهت دار در ۸ جهت اصلی بر روی باند ۸ بانکروماتیک تصاویر ماهواره لندست ۷.



شکل ۵- نقشه ساختاری گسل‌های اصلی گستره بیضی، گستره کوه آهن را نشان می‌دهد.

باختر است؛ شکل ۶) و توالی ژوراسیک ایران مرکزی را بر حاشیه باختری بلوک لوت رانده‌اند. به این ترتیب بخشی از فرونشست مرکزی بلوک لوت نتیجه این راندگی است.

گسل‌های راندگی خاور گسل کلمرد بیشترین نقش را در فزایش کوه آهن و پیرامون آن داشته‌اند. این گسل‌ها و چین‌های مرتبط با آنها به سوی خاور گرایش دارند (شیب راندگی‌ها و سطح محوری چین‌ها به سوی باختر-شمال



شکل ۶- آ) چین‌های جناغی در واحد کربناته نازک‌لایه سازند قلعه‌دختر. نگاه به سوی شمال خاور؛ ب) یک چین با گرایش به سوی خاور در سازند قلعه‌دختر. جنوب باختر معدن کوه آهن. نگاه به سوی شمال خاور.

است. این شواهد نشان‌دهنده جنبش جوان گسل یادشده است. (Walker et al. (2009). بر پایه تعیین سن گدازه‌های بازالتی خارج شده از بخش جنوبی این گسل (۲/۲ تا ۲/۶ میلیون سال پیش) و جابه‌جایی این روانه‌ها، نرخ لغزش گسل نایبند را ۱/۴ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. مقدار جابه‌جایی زمین‌شناسی این گسل آشکار نیست. روند شمالی-جنوبی، این گسل آن را به گسل‌های کاتانگایی نسبت می‌دهد. بر پایه شواهد ریخت‌زمین‌ساختی موجود، شمالی‌ترین بخش این گسل، سبب فروافتادگی کویر بجنستان و کویر بشرویه شده و بخش میانی آن در شکل‌گیری کوه‌های شتری و فزایش بعدی آن نقش اساسی داشته است (نبوی، ۱۳۵۵). یکی از ویژگی‌های گسل نایبند هدایت گدازه‌های ماگمایی به سطح زمین است. در خاور طبس، این گدازه‌ها از نوع نیمه‌عمیق داسیتی هستند که به زمان پالئوژن نسبت داده شده‌اند ولی در جنوب کفه طبس و ناحیه راور، آتشفشان‌ها به سن کواترنری از نوع روانه‌های بازالتی هستند. بنا به باور (Milton (1976) رخمون گدازه‌های فلدسپاتوئیددار بازالتی-تفریتی به سن ۵۰۰۰۰ تا ۵۰۰ سال در انتهای جنوبی همین گسل قرار دارند. با توجه به فوران‌های بازالتی‌های آلکالن همراه با نودول پریدوتیت در نیمه جنوبی این گسل (Varet, 1970) این گسل را باید از دسته گسل‌های بسیار ژرف ایران به شمار آورد. ۳) روند خاوری-باختری که در بخش مرکزی محدوده مشاهده می‌شود و توسط چند گسل معکوس با مؤلفه چپ‌بُ مشخص می‌شود. مؤلفه معکوس این گسل‌ها سبب ایجاد برخاستگی در ناحیه‌ای شده است که در شکل ۵ به عنوان کوه آهن معرفی شد و کانی‌زایی اصلی هماتیت در پهنه خرد شده و بازشدگی‌های این گسل‌ها دیده شده است.

۳- ساختار کوه آهن

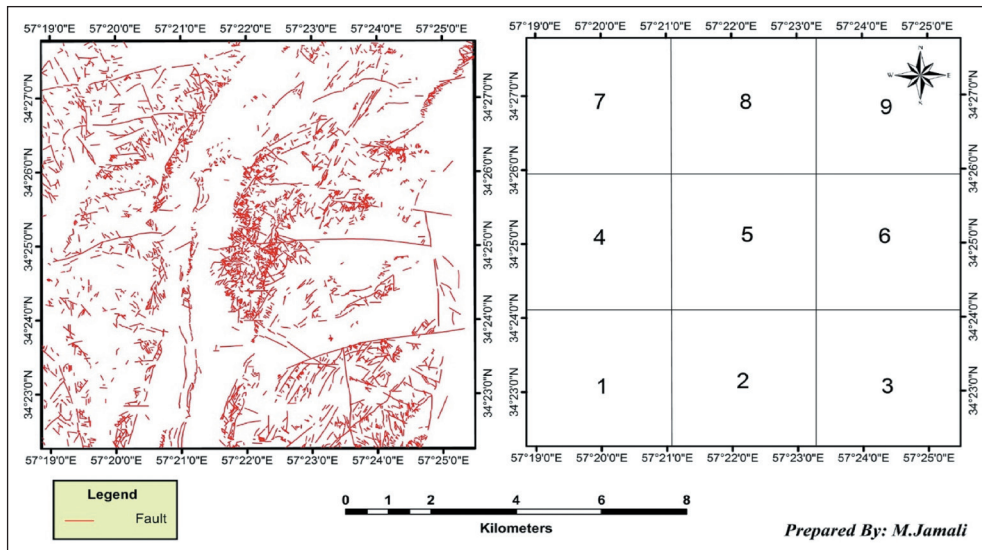
برای داشتن یک دید کلی از روندهای ساختاری در مقیاسی بزرگ‌تر، گسل‌های فرعی گستره نیز ترسیم شدند. به این منظور سعی شد با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا، گسل‌هایی با طول بیش از ۲۰ متر ترسیم شوند.

۲) روند شمالی-جنوبی که در بخش خاوری گستره و به صورت چند گسل راستالغز مشاهده می‌شود. این روند مربوط به گسل نایبند است که در کوه‌های شتری (جنوب کوه آهن) پایان می‌یابد. گسل نایبند به عنوان مرز خاوری بلوک طبس با بلوک لوت مؤلفه راستالغز راست‌بُ دارد. از این پس این روند به عنوان روند نایبندی معرفی خواهد شد. نام این گسل از دهکده‌ای گرفته شده است که در نزدیکی مرکز گسل قرار دارد. به باور نبوی (۱۳۵۵) این گسل به تقریب ۶۰۰ کیلومتر درازا دارد و از بشرویه تا بم و در راستای شمالی-جنوبی کشیده شده است. نبوی پیشنهاد می‌کند گسل نایبند در به وجود آمدن حوضه رسوبی کوه‌های شتری نقش اساسی داشته و چون در کوه‌های شتری کهن‌ترین رخمون سنگی مربوط به دونین است، بنابراین سن این گسل پیش از دونین بوده و حتی ممکن است به علت حرکات کوهزایی کاتانگایی و یا کهن‌تر از آن به وجود آمده باشد. در حالی که به باور (Berberian (1976a and b) بر اساس نقشه چهارگوش بشرویه، منشأ سامانه گسلی مهم حداقل مزوزوییک است. طبق نقشه زمین‌ساخت ایران (Stocklin and Nabavi, 1973)، شاخه اصلی گسل در رشته‌کوه‌های شتری، سنگ‌های آتشفشانی اسیدی سنوزوییک را قطع می‌کند.

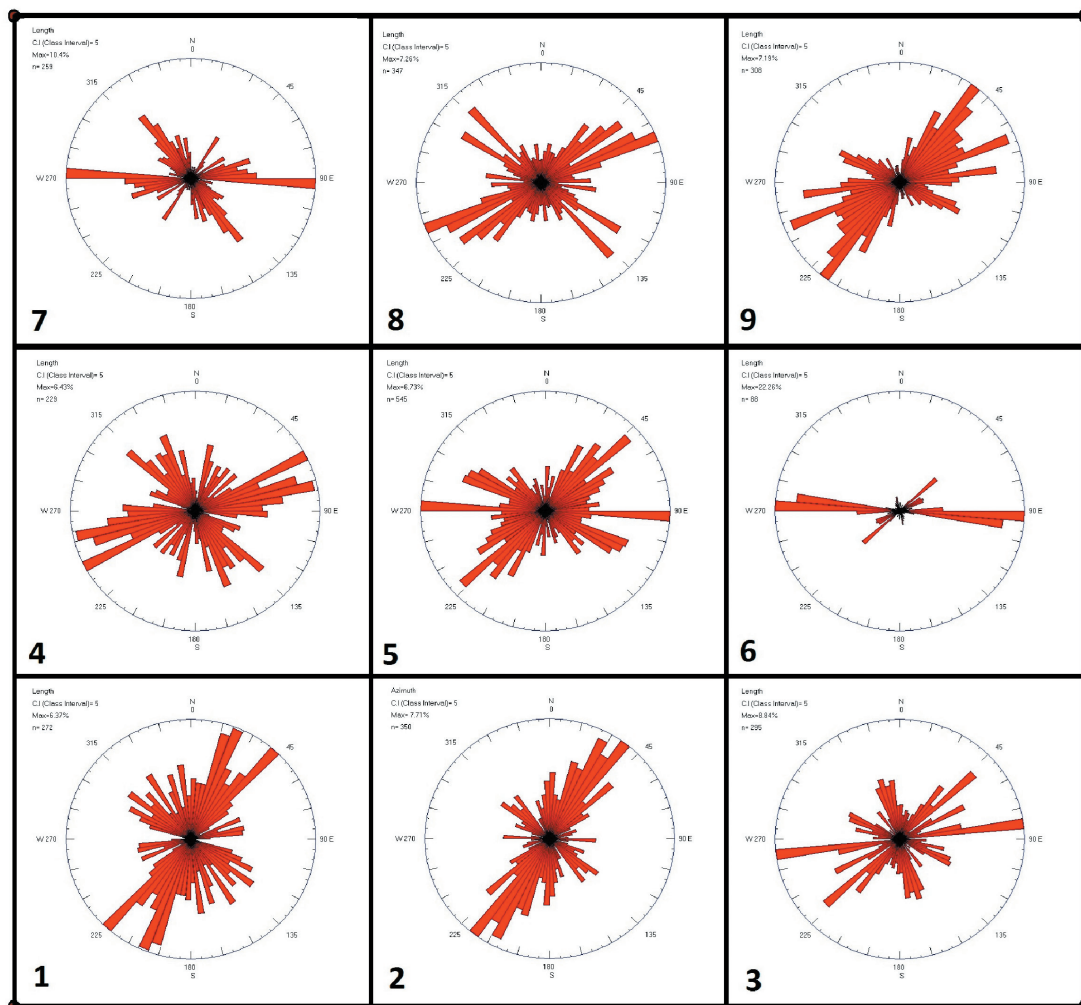
(Berberian (1976a and b) طول گسل نایبند را ۴۰۰ کیلومتر در نظر می‌گیرد و گسل باختر بم را گسلی جدا از آن توصیف می‌کند. فرونشست کویر لوت در خاور این گسل واقع شده و به باور نبوی (۱۳۵۵) فرونشست کویر بجنستان و بشرویه نیز ممکن است با این گسل در ارتباط باشد. سازوکار این گسل از دیرباز راستالغز راست‌بُ توصیف شده است (Mohajer-Ashjaei et al., 1975؛ نبوی، ۱۳۵۵). در چشمه آبگرم واقع در حدود ۳۵ کیلومتری حد جنوبی نقشه زمین‌شناسی کوه‌های شتری، گسل نایبند رسوبات پلائیو کواترنری را قطع می‌کند و آن را حدود ۲ متر به‌طور قائم جابه‌جا کرده است (Berberian, 1976a and b)، به نقل از (Stocklin et al., 1965). در گستره نایبند، گسل یادشده پادگانه‌های آبرفتی کواترنری را قطع می‌کند و در جنوب همین ناحیه دو مخروط آتشفشانی کواترنری در راستای این گسل قرار گرفته

هر گستره به صورت جداگانه ترسیم شد که منطقه ۵ همان منطقه کوه آهن است (شکل ۸).

در مرحله بعد به دلیل وسعت زیاد و برای مطالعه دقیق تر، گستره مورد مطالعه به ۹ بخش مساوی تقسیم (شکل ۷) و نمودار گلبرخی گسل ها بر پایه طول آنها برای



شکل ۷- تقسیم بندی گستره مورد مطالعه به ۹ بخش مساوی برای مطالعه دقیق تر و ترسیم نمودارهای گلبرخی.



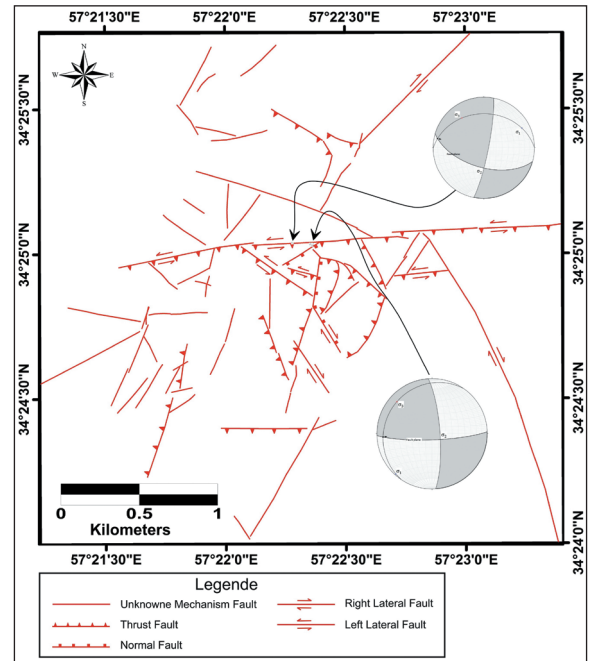
شکل ۸- نمودار گلبرخی راستای شکستگی های بخش های نه گانه گستره مورد مطالعه بر اساس طول آنها.

خاوری- باختری فراوانی متوسطی دارند و به نظر می‌رسد مربوط به گسل‌های راستالغز چپ‌بر با مؤلفه معکوس باشند. شبیه این گسل‌ها در شمال خاور بلوک لوت، گسل جنبای دشت بیاض است که با سازوکار چپ‌بر از چشمه‌های لرزه‌ای مهم این بخش از ایران است. این روند به همراه روند شمال خاوری، نقش اصلی را در شکل‌گیری ذخیره آهن کوه آهن بازی کرده است. مشاهدات میدانی و برداشت خط‌های خشن در محل پهنه گسلی معدن کوه آهن تأیید کننده سازوکار چپ‌بر این گسل‌ها با مؤلفه معکوس است (شکل‌های ۹ و ۱۰).

همان گونه که در شکل ۸ دیده می‌شود، راستای عمومی گسل‌هایی که از دورسنجی استخراج شده‌اند، از سه روند اصلی شمال خاوری، شمال باختری و خاوری پیروی می‌کنند. ساختارهای شمال خاوری، مطابق انتظار از روند گسل کلمرد پیروی می‌کنند. ساختارهای شمال باختری نیز به احتمال، گسل‌های راستالغز کهن هستند که هم‌زمان با راندگی واحدهای ژوراسیک به سوی جنوب خاور پدید آمده‌اند و در این صورت سازوکار آنها باید راست‌بر باشد. ساختارهای دارای راستای شمالی- جنوبی (روند نایبندی) کمترین فراوانی را دارند. اگر چه در بخش‌هایی از تصویر ماهواره‌ای به خوبی آشکار هستند. ساختارهای دارای راستای



شکل ۱۰- رخنمون یکی از گسل‌های خاوری- باختری دارای سازوکار چپ‌بر با مؤلفه معکوس. به ساختار ماه‌شکل بالای سر مقیاس انسانی که سازوکار چپ‌بر گسل را نشان می‌دهد توجه شود.

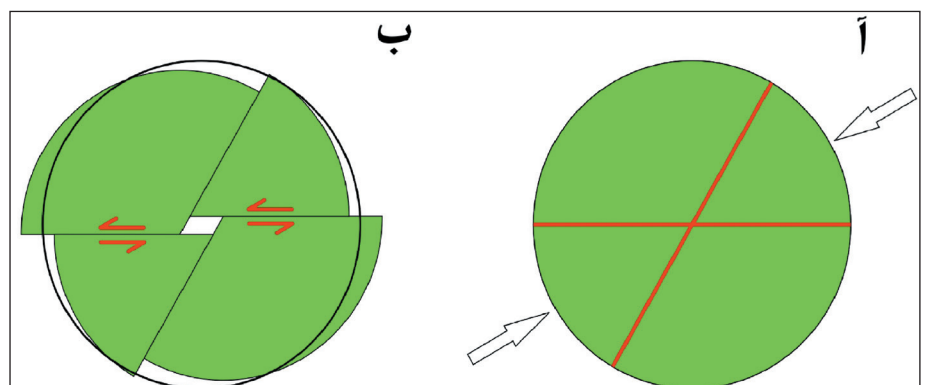


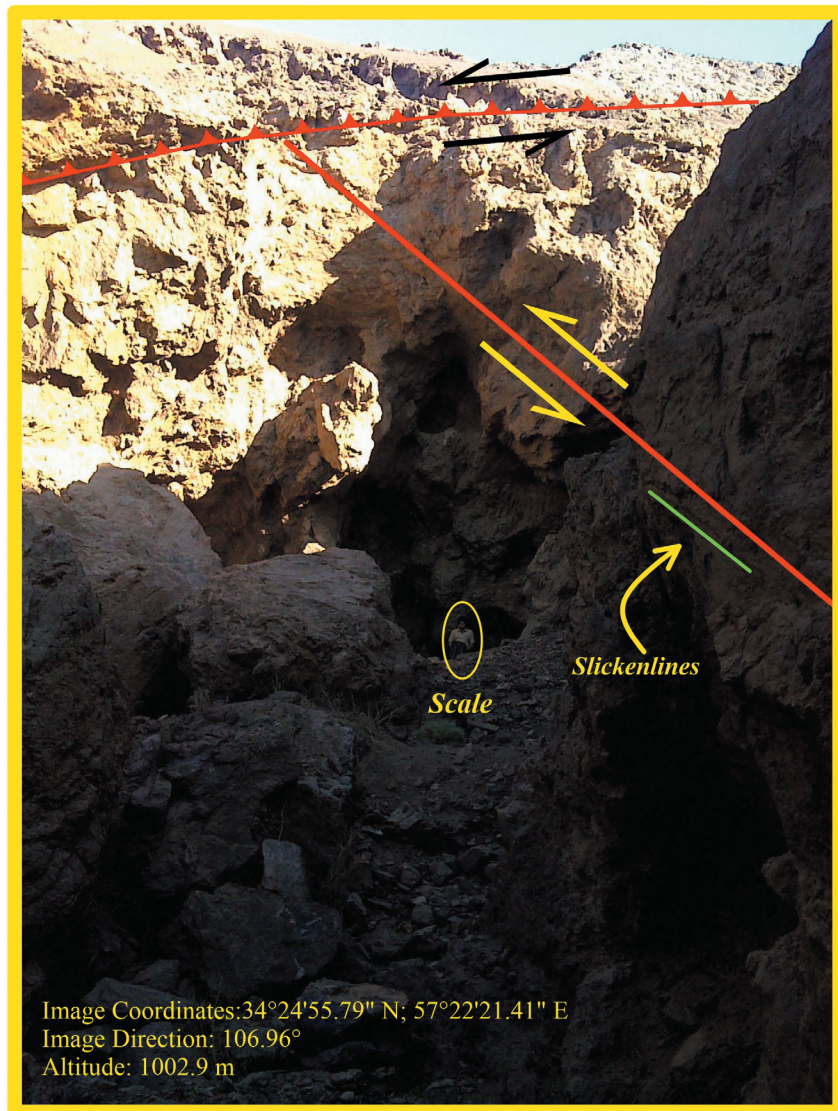
شکل ۹- سازوکار گسل اصلی خاوری- باختری کوه آهن بر اساس اطلاعات برداشت شده از سطح گسل.

خاوری مدلی پیشنهاد شده است که در آن تشکیل شکستگی‌های هم‌یوغ، بلوک‌هایی را پدید می‌آورد. این بلوک‌ها با جابه‌جایی در کنار یکدیگر فضایی خالی پدید می‌آورند که به دلیل پرشیب بودن شکستگی‌ها، مسیری مناسب در اختیار محلول‌های کانه‌دار قرار می‌دهند (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). جهت بیشینه کوتاه‌شدگی یادشده در بالا با تشکیل رگه‌هایی (شکستگی‌های کششی) تأیید می‌شود که راستای شمال خاوری دارند (شکل ۱۳). مجموعه شکستگی‌های استخراج شده از راه دورسنجی را می‌توان از دیدگاه یک سامانه شکستگی واحد نیز بررسی کرد که در میدان تنش فشارشی با راستای شمال خاوری شکل گرفته است (شکل ۱۴).

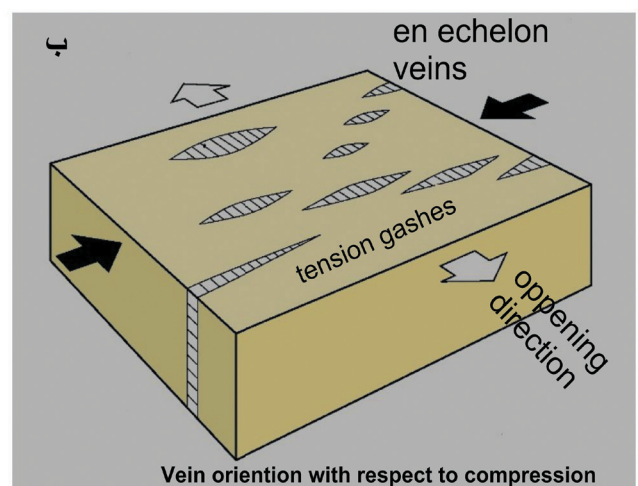
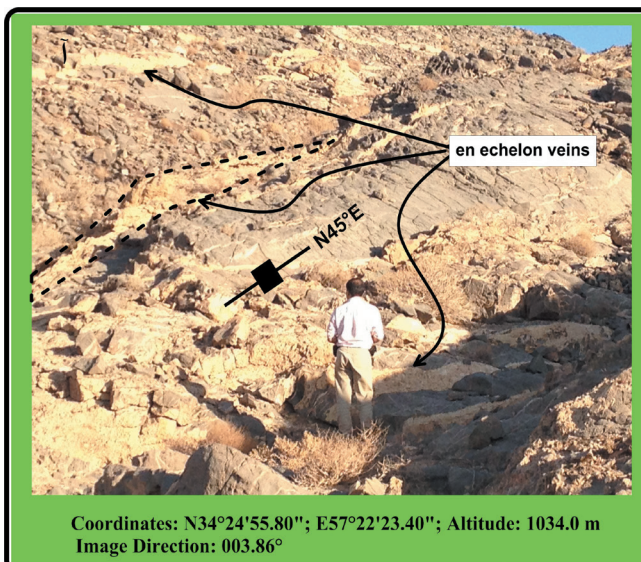
ادامه خاوری این پهنه گسلی در دشت خاور کوه آهن بر رسوبات کواترنری اثر گذاشته است و حکایت از جنب بودن این روند گسلی دارد. با وجود مؤلفه معکوس در راستای این گسل‌ها، عملکرد مؤلفه راستالغز آنها سبب شده است که برخی ساختارهای کششی در ارتباط با آنها پدید آید. این گونه ساختارها به صورت فروبوم‌های کوچکی در مناطق برخاسته دیده می‌شوند که بازشدگی آنها، راه را برای نفوذ محلول‌های دگرسان کننده در آهک‌های سازند بغمشاه هموار کرده است و این سنگ‌های آهکی نقش میزبان را برای کانی‌سازی آهن بازی کرده‌اند. برای تشکیل ساختار میزبان معدن آهن در محل برخورد شکستگی‌های خاوری- باختری و شمال

شکل ۱۱- مدل ساختاری برای شکل‌گیری فضای مناسب در مسیر کانه‌زایی معدن کوه آهن. شکل‌گیری شکستگی‌های هم‌یوغ در میدان کوتاه‌شدگی با راستای شمال خاوری (پیکان‌ها)؛ جابه‌جایی بلوک‌های پدید آمده در کنار یکدیگر و ایجاد فضای خالی در میانه آنها که به بالاروی و نهشته شدن مواد معدنی در معدن منجر شده است. دایره پیش از دگرریختی برای مشاهده مقدار کرنش ایجاد شده نمایش داده شده است.

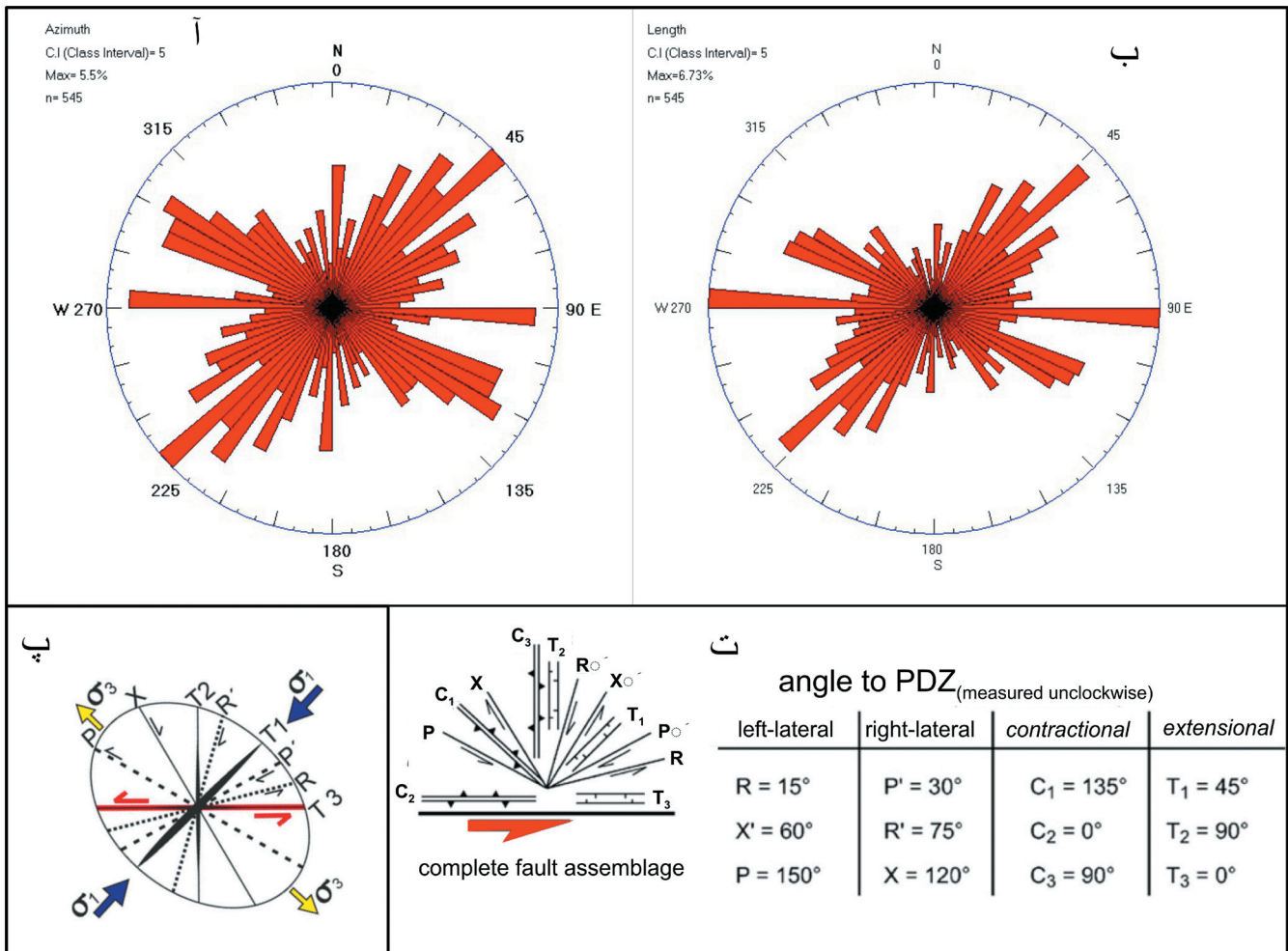




شکل ۱۲- نمونه‌ای از بازشدگی در محل برخورد گسل‌های هم‌یوغ.



شکل ۱۳- (آ) تصویری از بازشدگی‌های کششی با امتداد N45E و شیب تقریباً قائم که حالت پوششی دارند؛ (ب) ارتباط بازشدگی‌های کششی با راستای تنش‌های فشارشی (اقتباس از Burg, 2016).



شکل ۱۴- (آ) نمودار گلسرخی شکستگی‌های گستره کوه آهن بر مبنای راستای گسل‌ها؛ (ب) نمودار گلسرخی گستره کوه آهن بر مبنای طول گسل‌ها؛ (پ) بیضی کرنش نشان‌دهنده عناصر ساختاری مرتبط با محورهای اصلی تنش که با عناصر ساختاری کوه آهن تطابق دارد؛ (ت) ساختارهای احتمالی در یک پهنه گسلی راست‌بر (after Swanson, 1988).

۴- نتیجه‌گیری

میزبان کانی‌سازی شده است. شواهد ریخت‌شناسی اثر این گسل بر رسوبات جوان نشان می‌دهد که روند یاد شده، روندی فعال است. پهنه‌های برشی خرد شده و بازشدگی‌های ناشی از فعالیت این گسل و گسل‌های دیگر فضای مناسبی برای جایگیری محلول‌های گرمابی سرشار از آهن ایجاد کرده‌اند و کانی‌سازی هماتیت در امتداد پهنه خرد شده این گسل‌ها به ضخامت‌های مختلفی تشکیل شده است. در این پژوهش، مدلی ساختاری برای این کانی‌سازی ارائه شده است که پیشنهاد می‌کند حرکت بر روی گسل‌های هم‌بوغ، مسئول ایجاد فضای کانی‌سازی بوده است. به دلیل تفاوت‌های ژئوشیمیایی سازندهای بغمشاه و قلعه‌دختر، کانه‌زایی با عیار بالا بیشتر در سازند قلعه‌دختر روی داده و در سازند بغمشاه به صورت آغشتگی هماتیته است.

برجستگی کوه آهن نتیجه راندگی‌های دارای گرایش به سوی خاور- جنوب خاور است که سبب راندگی‌های فرعی سنگ‌های سازند قلعه‌دختر بر روی سازند بغمشاه و چین‌خوردگی‌های همراه با آن شده است. احتمال می‌رود راندگی یاد شده نتیجه یک رویداد به نسبت کهن باشد که برجستگی‌های ناحیه‌ای پیرامون شمال باختر بلوک لوت را نیز پدید آورده است. بررسی‌های دورسنجی این پژوهش چهار روند اصلی از شکستگی‌ها را در گستره آشکار ساخته است که به ترتیب فراوانی عبارتند از روندهای شمال خاوری- جنوب باختری، شمال باختری- جنوب خاوری، خاوری و شمالی. در این میان روندهای خاوری و شمال خاوری نقش مهمی در کانی‌سازی هماتیت در معدن کوه آهن بازی کرده‌اند. به ویژه گسل اصلی خاوری- باختری کوه آهن (گسل کوه آهن) پهنه‌ای را پدید آورده که

کتابنگاری

- مومنی طارمسری، م.، دهبزرگی، م.، قربانی، ع. و نوزعیم، ر.، ۱۳۹۶- ارتباط پهنه‌های دگرسانی با سامانه گسلی کلمرد در گستره ازبک کوه، ایران مرکزی. نشریه علوم دانشگاه خوارزمی، جلد ۴، شماره ۱. صص. ۱۱۳ تا ۱۲۲.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ ص.
- نظرفروینیان، ن.، ملک‌زاده‌شفارودی، آ. و کریم‌پور، م. ح.، ۱۳۹۲- کانی‌سازی و اکتشافات ژئوشیمیایی اندیس آهن نیگنان، شمال بشرویه، استان خراسان جنوبی. خلاصه مقالات پنجمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، ۲۰ و ۲۱ شهریور، دانشگاه فردوسی مشهد، صص. ۳۱ تا ۳۶.

References

- Aghanabati, A., 1977- Etude geologique de la region de Kalmard (W. Tabas). G.S.I. report No: 35, 230 p.
- Aghanabati, A., Ruttner, M., Nabavi, M.H., Hajian, J. and Alavi-Naini, M., 1994- Geological Sheet Map of Eshgh-Abad. Geological Survey of Iran.
- Berberian, M., 1976a- Contribution to the seismotectonics of Iran (part 2). Geology Survey of Iran, Rep, No. 39, 518 p, 5 maps, 259 figures.
- Berberian, M., 1976b- An explanatory note of the first seismotectonic map of Iran; a seismotectonic review of the country. In contribution to the seismotectonics of Iran, edited by M. Berberian, G.S.I.
- Berger, B. R., Wanty, R. B. and Tuttle, M. L., 2001- Scale versus detail in water-rock investigations 2: Field-scale models of fracture networks in mineral deposits. *Water-Rock Interaction*, 137- 141.
- Burg, J. P., 2016- Structural Geology and Tectonics . Free ebook.
- Eftekhar-Nejad, J., Ruttner, A., Valeh, N., Nabavi, M. H., Hajian, J., Alavi, M. and Haghypour, A., 1977- Geological Quadrangle Map of Ferdows. Geological Survey of Iran.
- Milton, D. J., 1976- Qal'eh Hassan Ali Maars, Central Iran. *Bull. Volcanol*, v. 40 (3), p. 201- 208.
- Mohajer-Ashjai, A., Behzadi, H. and Berberian, M., 1975- Reflections on the rigidity of the last Blok and recent crustal deformation in eastern Iran. *Tectonophysics*, pp.28, 281- 301.
- Park, R. G., 1993- Geological structures and moving plates. 2nd ed. Chapman & Hall, Glasgow, 337 p.
- Robb, L., 2005- Introduction to Ore-Forming Processes. Blackwell Science Ltd a Blackwell Publishing company.
- Ruttner, A., Nabavi M. H. and Hajian, J., 1968- Geology of the Shirgesht area (Tabas area, east Iran). G.S.I., Rep. 4, 133 p.
- Stocklin, J. and Nabavi, M. H., 1973- Tectonic map of Iran, G.S.I.
- Stocklin, J., Eftekhar-Nezhad, J. and Hushmand-Zadeh, A., 1965- Geology of the Shotori Range (Tabas area, East Iran), G.S.I., Rep. No.3, 69 p.
- Swanson, M. T., 1988- Pseudotachylyte-bearing strike-slip duplex structures in the Fort Foster Brittle Zone of southern most Maine. *J. Struct. Geol.* 10, 813- 828.
- Tarek, A. S., 2013- Analysis and Tectonic Implication of DEM-Derived Structural Lineaments, Sinai Peninsula, Egypt. *International Journal of Geosciences*, 2013, 4, 183- 201.
- Varet, J., 1970- Contribution à l'étude des roches volcaniques du bassin du Lout (Iran). *C. R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, p. 194-195.
- Walker, R. T., Gans, P., Allen, M. B., Jackson, J., Khatib, M., Marsh, N. and Zarrinkoub, M., 2009- Late Cenozoic volcanism and rates of active faulting in eastern Iran. *Geophys. J. Int.* 177, 783- 805.

The structural analysis of Boshruyeh Kooh-e-Ahan area, South Khorasan

M. Jamali¹, M. R. Ghassemi^{2*}, M. Lotfi² and A. Solgi³

¹Ph.D. Student, Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

²Associate Professor, Research Institute for Earth Science, GSI, Tehran, Iran

³Associate Professor, Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 2015 September 05

Accepted: 2016 January 10

Abstract

Kuh-e-Ahan is a high-standing single relief within a rather flat plain, which is located in the north of the Tabas block, near the intersection of the Nayband and Kalmard faults and there are great outcrops of Fe-oxide, along with eastern-western faults and fractures in Kooh-e-Ahan area. The present study uses structural and remote sensing methods to discover the mechanism for evolution of the Kuh-e-Ahan, and to understand style of mineralization in the mountain, emphasizing on the role of fractures and major faults. In our remote sensing approach, we used DEM data and Aster satellite images and their filtering in main directions to detect displacements and sudden offsets of lithologic units and changes in drainage patterns. In our field studies, we studied mechanism of the faults, emphasizing on the faults within the Kuh-e-Ahan mining district. The results show N-S faults (Nayband fault trend) and NE-SW faults (Kalmard trend) have a general right-lateral mechanism, and the E-W faults are left-lateral with a reverse component. Structural model developed in this study suggest that strike-slip displacement on conjugate fault provided the space required for ascend and development of hydrothermal mineral deposits within the mine district.

Keywords: Kuh-e-Ahan, Lut block, Nayband fault, Kalmard fault, Strike-slip faulting, iron mineralization

For Persian Version see pages 301 to 310

*Corresponding author: M. R. Ghassemi; E-mail: ghassemi.m.r@gmail.com