

# دگرشکلی‌های ساختمانی گستره معدن دونا

سعید حکیمی آسیابار\*

استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران تاریخ

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۲۸

## چکیده

محدوده معدن دونا قسمتی از پهنه زمین‌شناسی البرز مرکزی است. تاقدیس دونا قسمتی از یک ساختار فراجسته زمین‌ساختی است که در حد فاصل گسل‌های رانده کندوان و آزادکوه جای گرفته است. در این تحقیق ۳ گروه از گسل‌های اصلی شناسایی شده‌اند. گروه اول این گسل‌ها هم‌راستای محور چین‌های مهم و دارای راستای خاوری-باختری و شیب حدود ۴۰ تا ۵۰ درجه و زاویه ریک بیش از ۷۰ درجه و گروه دوم گسل‌ها دارای امتداد NE-SW با سازوکار معکوس و زاویه ریک کمتر از ۶۵ درجه هستند. گروه سوم گسل‌ها نیز که اولین گروه گسل‌ها را قطع می‌کنند، راستای تقریبی N35W، شیب بیش از ۷۵ درجه و زاویه ریک بیش از ۷۰ درجه دارند. هدف از این نوشتار بررسی ساختار معدن دونا و بررسی سازوکار سومین گروه گسل‌هاست که در البرز عمومیت ندارند و تجزیه و تحلیل در مورد آن‌ها ارائه نشده است. برخی از این گسل‌ها خش‌لغزهای بارزی نداشتند و سازوکار این گسل‌ها با استفاده از تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰، تهیه برش‌های ساختمانی و به کارگیری شبکه اشمیت و روش‌های ترمیمی به دست آمد. تغییر نوع حرکات زمین‌ساختی از نوع زمین‌ساخت برخوردی به حرکات راستالغز چپ‌بر در ساختار فراجسته دونا سبب ایجاد گسل‌های معکوس جوان با راستای شمال باختری-جنوب خاوری شده است.

**کلیدواژه‌ها:** معدن سرب دونا، دگرشکلی‌های ساختمانی، گسل کندوان، البرز، ایران.

\*نویسنده مسئول: سعید حکیمی آسیابار

E-mail: saeid.h.asiabar@gmail.com

## ۱- پیش‌نوشتار

مرکزی با صفحه توران در دامنه شمالی البرز قرار گرفته است و این مسیر برخورد توسط توالی ضخیمی از واحدهای سنگی جوان تر از ژوراسیک پوشیده شده است. در نقشه‌های زمین‌شناسی مجموعه‌ای از گسل‌های رانده دورشونده (Divergent) مشخص شده‌اند (Vahdati Daneshmand, 1991) و (Stocklin, 1974) اولین برش‌های ساختمانی البرز را ترسیم کرد که این برش‌ها بعدها توسط زمین‌شناسان تکمیل شد (Huber and Eftekhari-nezhad, 1978a and b; Sengör, 1990) و یک الگوی ساختمانی فشارشی متمایل به جنوب ارایه شد. (Alavi, 1996) البرز را به عنوان یک رشته دارای الگوی زمین‌ساختی نازک‌لایه معرفی کرده است. برخی از محققین (Axen et al., 2001b and c) معتقدند که تعدادی از این گسل‌ها دارای جدایش عادی با راستای عمومی خاوری-باختری هستند و برخی از محققین نیز البرز را به عنوان یک کمربند فشارشی راست‌بر در نظر می‌گیرند که قسمتی از جابه‌جایی در طول این کمربند در طول گسل‌های راستالغز انجام شده است (Berberian, 1983; Berberian and Berberian, 1981; Jackson et al., 2002; Allen et al., 2003; Sengör and Natal'in, 1996). گروه دیگری از محققین معتقدند که پس از میوسن نوع حرکات در حاشیه شمالی رشته‌کوه البرز به صورت فشارشی چپ‌بر عمل کرده است (Guest, 2004; Guest et al., 2006; Allen et al., 2003).

## ۲- زمین‌شناسی عمومی

بر اساس تقسیم‌بندی (Alavi, 1991) محدوده مورد مطالعه در پهنه ساختمانی البرز مرکزی قرار دارد. در یک تقسیم‌بندی جدید البرز مرکزی به چندین پهنه شامل پهنه البرز شمالی، پهنه دارای الگوی گسلی زمین‌ساختی نازک‌لایه، پهنه طالقان و پهنه البرز جنوبی تفکیک شده است (Guest et al., 2006). گستره مورد مطالعه در حاشیه شمالی پهنه دارای الگوی گسلی زمین‌ساختی نازک‌لایه است (شکل ۱). واحدهای سنگی پالئوزویک، مزوزویک و کواترن در گستره مورد مطالعه برونزد دارند. واحدهای سنگی پالئوزویک گستره مورد مطالعه شامل سنگ‌آهک‌های معادل سازند درود و سنگ‌آهک‌های دولومیتی تیره رنگ سازند روته به همراه لایه‌هایی از سنگ‌های آندزیت و آندزیت بازالتیک است که در زیر شیل‌های خاکستری تیره رنگ هم‌اژ سازند نسن قرار گرفته‌اند. واحدهای سنگی مزوزویک از سازند الیکا شروع می‌شوند. این سازند در زیر نهشته‌های شیلی، ماسه‌سنگی و کنگلومرایی با نام

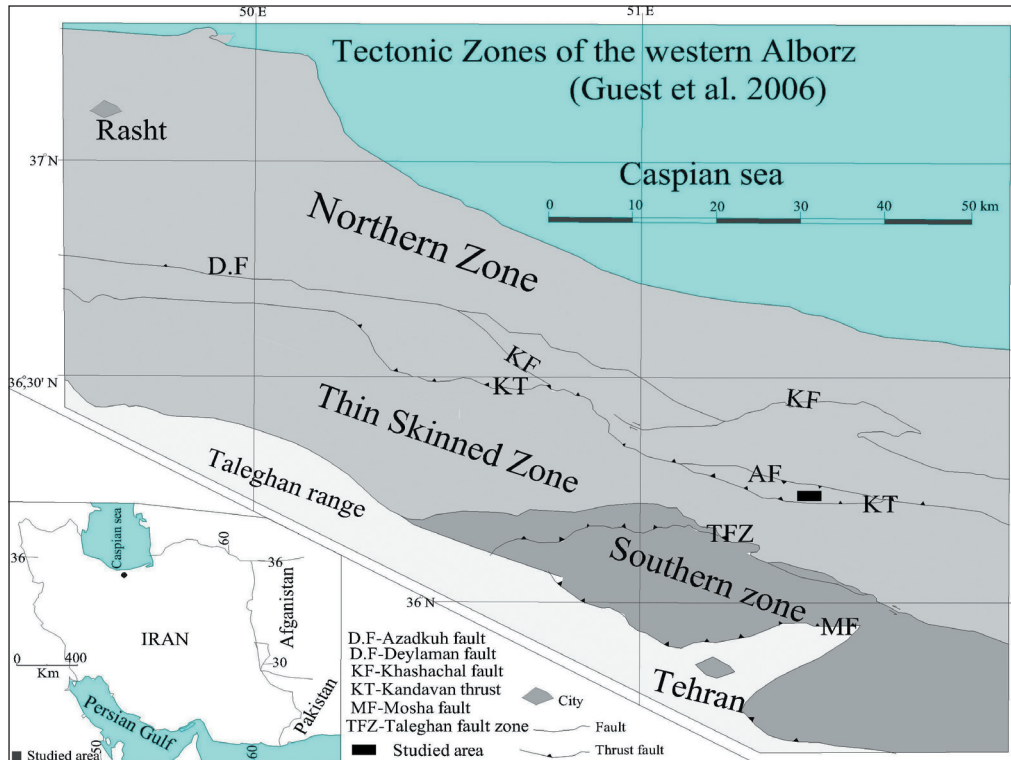
معدن سرب دونا در فاصله ۴۲ کیلومتری شمال خاوری گچسر و در ۹۲ کیلومتری جنوب شهر چالوس قرار دارد. دسترسی به این منطقه از طریق جاده چالوس-کرج و پل زنگوله امکان‌پذیر است که در ۷ کیلومتری شمال تونل کندوان قرار دارد. در شکل ۱ موقعیت معدن سرب دونا ارائه شده است. در فاصله ۱۱ کیلومتری مسیر پل زنگوله به پوش، یک دوراهی وجود دارد که شاخه جنوبی آن به روستای الیکا و پس از طی ۴ کیلومتر به روستای کلان‌نگاه و معدن دونا راه می‌یابد. توپوگرافی محدوده معدن بسیار خشن است. از لحاظ جغرافیایی محدوده معدن در حد فاصل ۲۰' ۵۱° تا ۳۰' ۵۱° طول جغرافیایی خاوری و ۱۰' ۳۶° تا ۲۵' ۳۶° عرض جغرافیایی شمالی و با وسعتی در حدود ۳۰ کیلومتر مربع در پهنه ساختمانی البرز مرکزی قرار گرفته است و یکی از پیچیده‌ترین مناطق زمین‌ساختی البرز مرکزی به شمار می‌آید (Berberian and Yeats, 2017; Moghimi et al., 2015; Hakimi and Bagheriyan, 2017).

## ۲- مطالعات پیشین

وجود کانی‌سازی‌های فلزی سبب شده است که این منطقه به لحاظ زمین‌شناسی مانند سایر مناطق پهنه البرز مرکزی جزو مناطق مستعد برای اکتشاف و شناسایی کانسارهای فلزی به ویژه سرب محسوب شود. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی بر روی مسائل اکتشافی و زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی این منطقه توسط محققین مختلف صورت گرفته است (Holzer and Momenzadeh, 1973). افزون بر مطالعات انجام شده فوق، ویژگی‌های زمین‌شناسی اقتصادی و زیست‌محیطی این منطقه در طی سالیان اخیر در غالب رساله‌های کارشناسی ارشد مورد توجه قرار گرفته است (سامانی‌راد، ۱۳۷۹؛ صباحی ۱۳۸۴). این منطقه دارای توالی ضخیمی از واحدهای سنگی فانروزویک است که در یک حوضه دارای معکوس شدگی حرکات زمین‌ساختی بر جای مانده‌اند (Zanchi et al., 2006; Hakimi Asiabar et al., 2011; Hakimi Asiabar, 2010; Ehteshami- Moinabadi et al., 2012; Ehteshami- Moinabadi, 2016). در این گستره واحدهای سنگی چین‌خورده و گسلیده پالئوزویک و مزوزویک توسط واحدهای آذرین و آذرآواری جوان‌تر از کرتاسه پوشیده شده‌اند. حرکات زمین‌ساختی فشارشی شمالی-جنوبی سبب ایجاد چین‌هایی با راستای خاوری-باختری در این واحدهای سنگی شده است (Alavi, 1991 and 1996; Berberian and Yeats, 1999). تصور می‌شود که خط برخوردی صفحه ایران

زمین‌ساختی بین کوهستانی به‌طور ناپیوسته و دگرشیب بر روی واحدهای سنگی پالئوژن نهشته شده‌اند. ته‌نشست‌های دوران کواترنری نیز در برخی نواحی قابل مشاهده است.

سازند شمشک قرار دارد. واحدهای سنگی مزوزویک به‌طور ناپیوسته و دگرشیب در زیر واحدهای آذرآواری و آذرین پالئوژن قرار دارند. واحدهای سنگی نئوژن نیز شامل مجموعه‌ای از رسوبات منطقه کم‌عمق است که در حوضه‌های بالا آمده

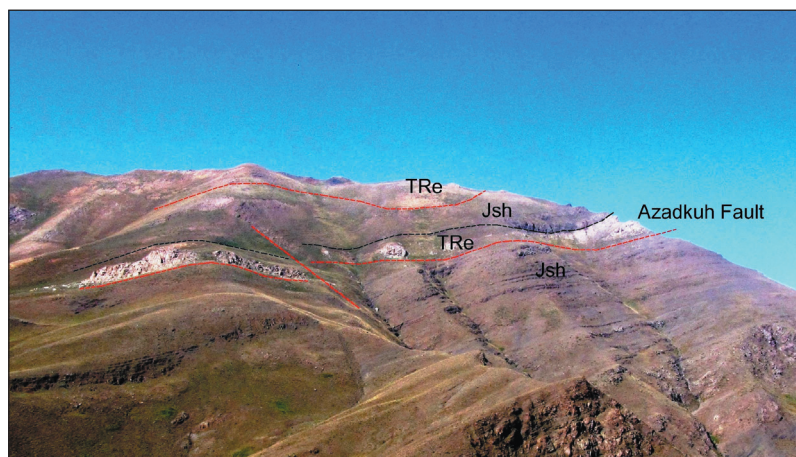


شکل ۱- تقسیمات زیرپهنه‌های البرز مرکزی (Guest et al., 2006). جایگاه گستره مورد مطالعه به‌صورت چهار گوش نشان داده شده است.

#### ۴- زمین‌شناسی ساختمانی و اشکال ساختاری گستره معدن دونا

خود جابه‌جا شده‌اند و همبری آنها گسلی است. با توجه به جابه‌جایی‌های ترسیم شده (Guest et al., 2006)، دو گسل رانده مهم کندوان و گسل آزادکوه از مهم‌ترین گسل‌های محدوده معدن دونا محسوب می‌شوند. منطقه مورد نظر در حدفاصل گسل‌های مذکور (شکل ۲) قرار گرفته و جزئی از یک ساختار فراجسته (Pop-up structure) زمین‌ساختی است که توسط این دو گسل ایجاد شده است (McClay and Buchanan, 1992).

پهنه البرز مرکزی از نظر اقتصادی اهمیت زیادی دارد، چون معادن متعدد ذغال‌سنگ و معدن سرب دونا در این بخش واقع هستند. این محدوده از لحاظ زمین‌ساختی سرزمینی فعال (Berberian and Yeats, 2017; Babaey et al., 2017; Moghimi et al., 2015; Hakimi Asiabar and Bagheriyan, 2017) است و بسیاری از واحدهای سنگی به‌صورت مجموعه‌هایی از بلوک‌های گسلی از جایگاه اصلی



شکل ۲- برونزد گسل آزادکوه و راندگی سازند الیکا (TRe) بر روی سازند شمشک (Jsh) در حاشیه شمالی معدن دونا (سوی دید به جنوب است).



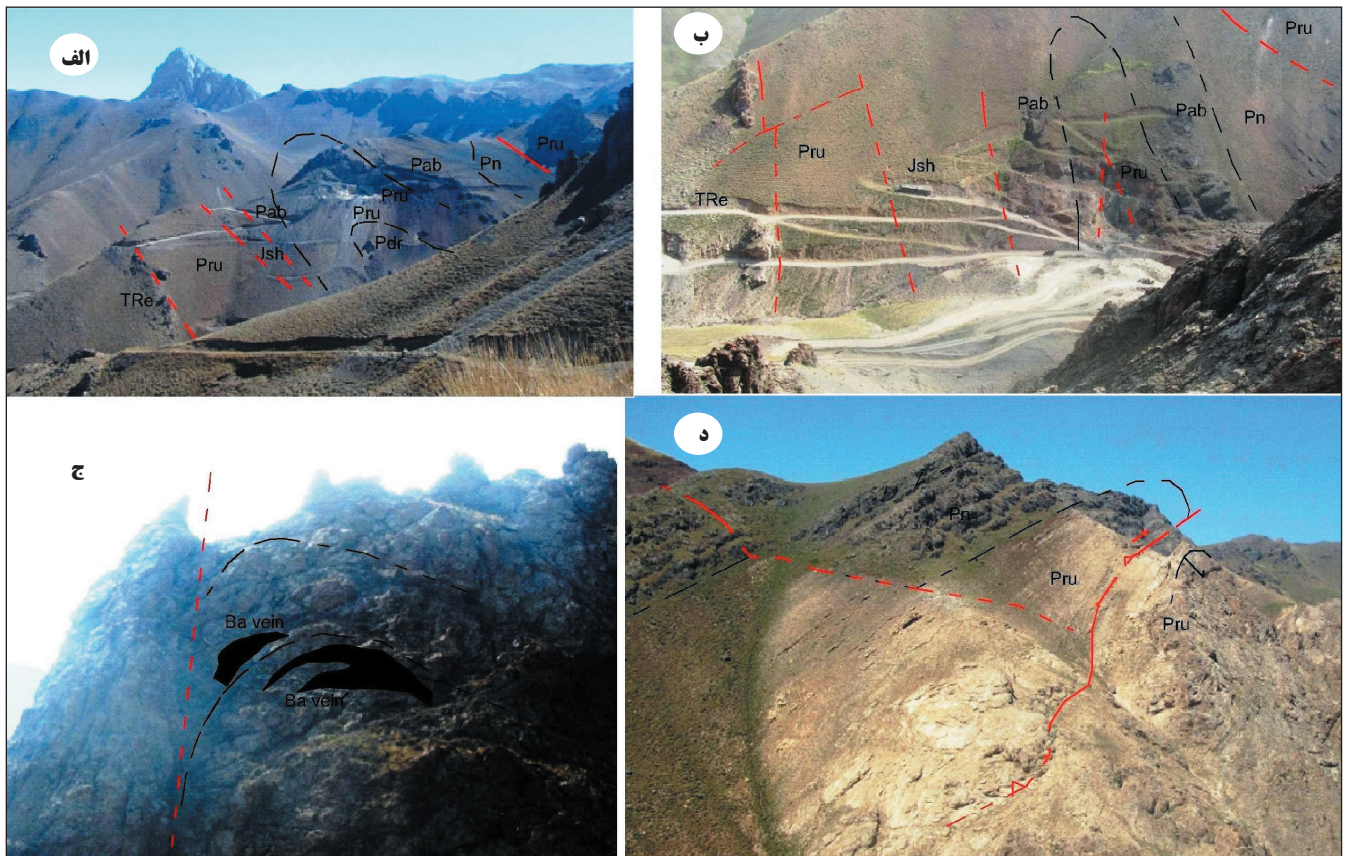
دگرشکلی معدن دونا، نیمرخ‌های عرضی (شکل ۵) توسط نرم‌افزار اتو کد ترسیم شد. این نیمرخ‌های عرضی بیانگر وضعیت تاقدیس دونا هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود تاقدیس دونا یک تاقدیس فشرده است که در برخی از مقاطع حالت برگشته دارد و یال برگشته آن نیز توسط گسل‌های رانده متعددی قطع شده است.

ساختار اصلی معدن دونا به صورت چین خوردگی بزرگ‌مقیاس (شکل ۳-الف) و از نوع نامتقارن تا برگشته و از نوع فشرده است (شکل ۵)، ولی با توجه به مقاطع ترسیم شده (شکل ۵) از سمت باختر به خاور بر فشرده‌گی تاقدیس دونا افزوده و به چین همشیب (شکل ۳-ب) با یال‌های موازی تبدیل می‌شود. شیب یال جنوبی این تاقدیس که یال عادی بوده، متغیر است و از ۳۰ تا ۴۵ درجه تغییر می‌کند. جهت تمایل تاقدیس مذکور به سوی شمال است و یال شمالی این تاقدیس نیز توسط دو گسل معکوس اصلی که با یکدیگر تقریباً موازی و دارای شیب حدود ۵۵ درجه به سوی جنوب هستند، قطع شده است. چین خوردگی ایجاد شده در قسمت مرکزی محدوده معدن دونا (شکل ۳-ج) به صورت نامتقارن است. در این قسمت، رگه‌های باریت و سرب، از خمیدگی محور چین تبعیت می‌کنند. در قسمت باختری محدوده معدن دونا، هسته تاقدیس (شکل ۳-د) توسط گسل معکوس (مقاطع شکل ۵) قطع شده است. برش‌های ساختاری شکل ۵ توسط نرم‌افزار اتو کد و روش کینک ترسیم شده است.

گسل آزادکوه خارج از محدوده نقشه ۱:۱۰۰۰ و در شمال آن قرار دارد. فاصله گسل آزادکوه از مرز شمالی نقشه کمتر از ۳۰۰ متر است. گسل آزادکوه سبب راندگی واحدهای سنگی تریاس بر روی سازند شمشک شده است (شکل ۲). طول گسل آزادکوه بیش از ۳۰ کیلومتر، جهت شیب گسل مذکور به سوی جنوب و جهت تمایل آن به سوی شمال است. گسل کندوان در حاشیه مرز جنوبی منطقه معدن قرار دارد. گسل کندوان یک گسل رانده با راستای خاوری-باختری است. در اثر عملکرد این گسل، رسوبات دوران پالئوزوئیک بر روی سنگ‌های سازندهای جوان رانده شده‌اند. شیب گسل کندوان به سوی شمال و تمایل آن به سوی جنوب و طول آن بیش از ۱۰۰ کیلومتر است. گسل کندوان در فاصله کمتر از یک کیلومتری مرز جنوبی منطقه معدن دونا قرار دارد.

#### ۴-۱. چین خوردگی‌ها

معدن سرب و روی دونا در هسته یک تاقدیس جای گرفته است که می‌توان آن را تاقدیس دونا نامید. هسته تاقدیس دونا شامل سازندهای درود و روته است. چین مذکور به صورت یک تاقدیس با راستای خاوری-باختری است (شکل‌های ۳ و ۴) که طول محور این تاقدیس در حدود ۶ کیلومتر است. زاویه میل قسمت خاوری محور این تاقدیس در حدود ۱۵ درجه به سوی خاور است. به منظور بررسی وضعیت



شکل ۳-الف) نمایی از چین خوردگی بزرگ‌مقیاس در خاوری‌ترین قسمت معدن دونا (سوی دید به سمت خاور) در واحدهای سنگی سازندهای شمشک (Jsh)، الیکا (TRe)، درود (Pd)، روته (Pru) و سنن (Pn)؛ ب) چین خوردگی بزرگ‌مقیاس در قسمت مرکزی (سوی دید به سمت خاور) معدن دونا؛ ج) رگه‌های باریت شکل گرفته در لولای چین خوردگی (سوی دید به سمت باختر)؛ د) چین خوردگی بزرگ‌مقیاس در باختری‌ترین قسمت معدن دونا (سوی دید به سمت باختر). خطوط قرمز بیانگر مسیر گسل و خطوط تیره نشان‌دهنده نحوه تغییر شکل هستند.

معکوس موجود در گستره معدن دونا را می‌توان به ۳ گروه اصلی تقسیم کرد. این گسل‌ها در نقشه ۱:۱۰۰۰ زمین‌شناسی ترسیم شده‌اند و شامل مجموعه‌های زیر هستند. **گسل‌های رانده دارای راستای تقریبی خاوری-باختری:** ساختار کلی معدن دونا به صورت یک تاقدیس برگشته است که توسط گسل‌های رانده دارای سازوکار

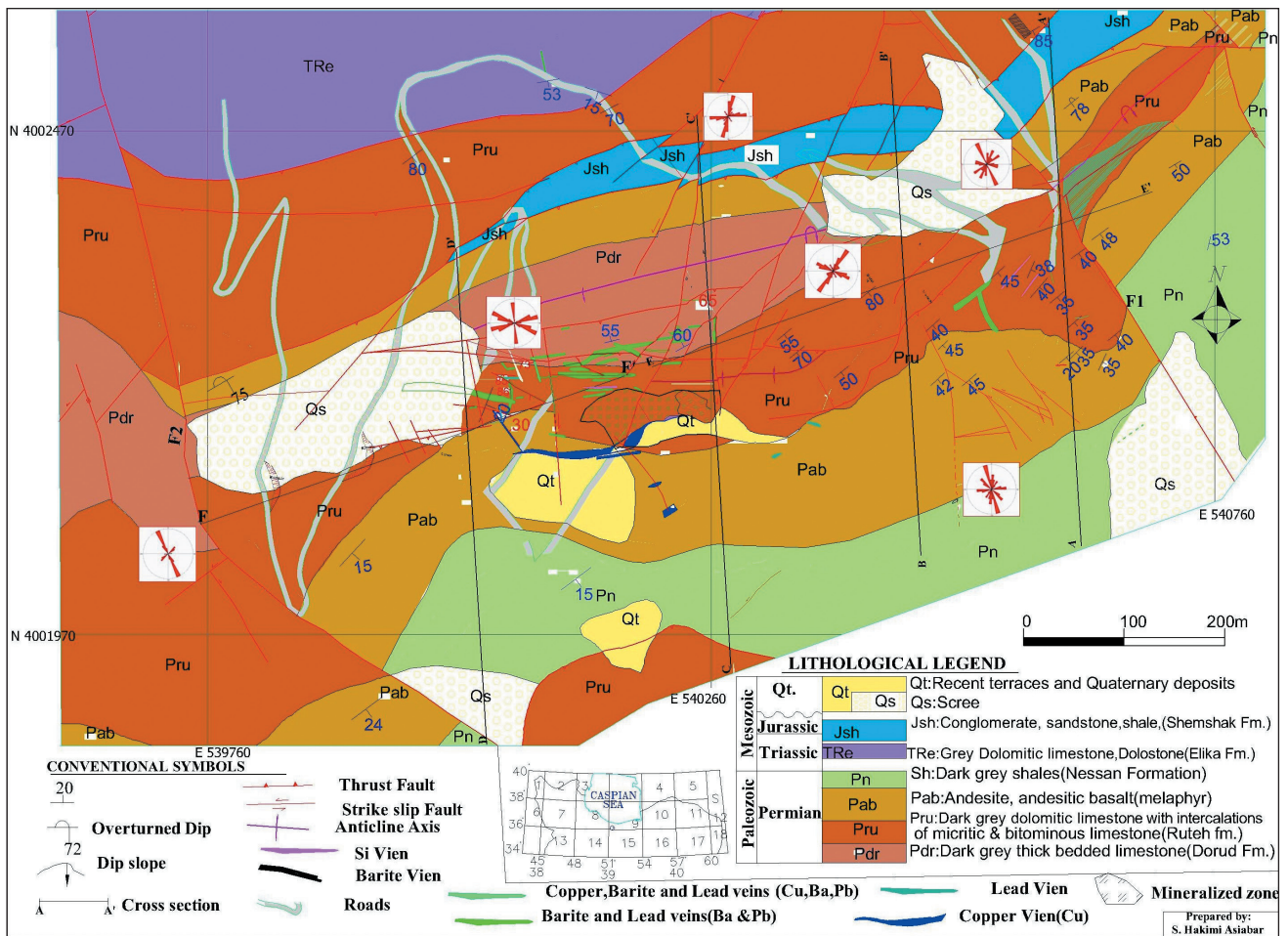
#### ۴-۲. گسل‌های اصلی

نمودار گل سرخی مربوط به راستای گسل‌ها در شکل ۱۴ ارائه شده است. این نمودارهای گل سرخی مربوط به حدود ۶۴ گسل هستند که ۱۲ سطح گسلی خشن لغز مناسبی دارند. بر اساس نمودارهای گل سرخی و سطوح گسلی دارای خشن لغز، گسل‌های

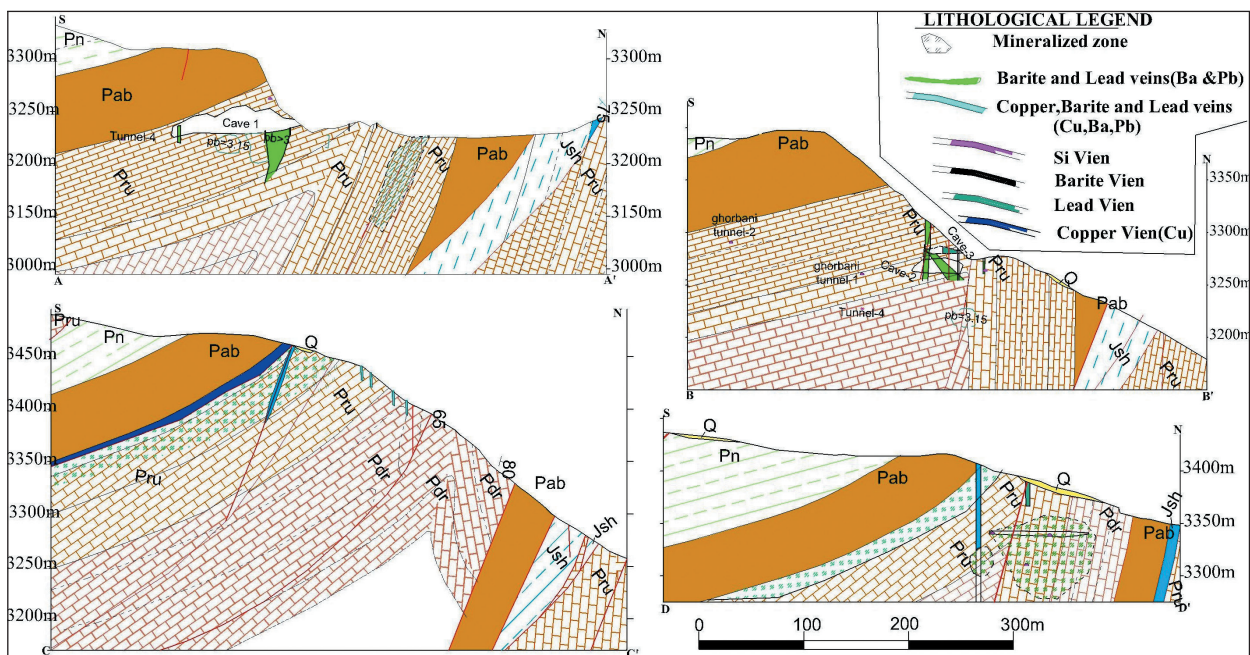


راست بر هستند. در یال برگشته تاقدیس دونا، چندین گسل پوششی دارای حرکت معکوس به موازات محور تاقدیس دونا دیده می‌شود (شکل‌های ۳- الف و ب و ۴).

معکوس با مؤلفه راست‌الغزی راست بر در چندین قسمت قطع شده است. گروه اصلی این گسل‌ها دارای امتداد خاوری- باختری و از نوع معکوس با مؤلفه راست‌الغزی



شکل ۴- نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ معدن دونا.

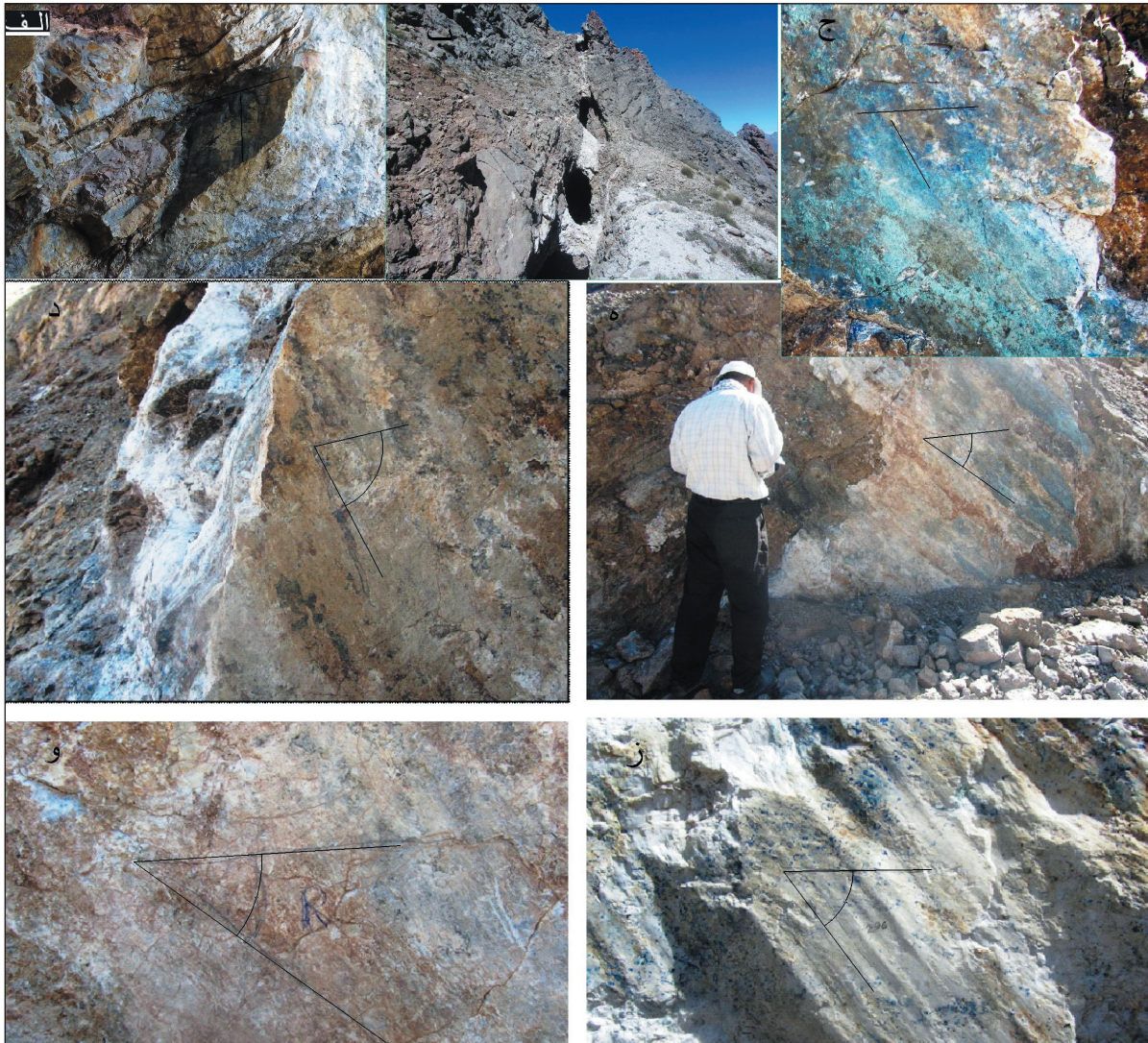


شکل ۵- برش‌های ساختمانی واحدهای سنگی (سازندهای شمشک (Jsh)، الیکا (TRE)، درود (Pdr)، روت (Pru) و سن (Pn) و واحد آندزیتی بازالتی (Pab) در تاقدیس دونا.



ب و ۶). عملکرد این گسل‌ها در برش‌های ساختاری و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ قابل مشاهده است. این گسل‌ها به موازات محور چین و دارای سازوکار معکوس با مؤلفه جزیی راست‌الغزی راست‌بر هستند و جهت راندگی بیشتر این گسل‌ها به سوی شمال و شیب بیشتر این گسل‌ها نیز فراتر از ۴۰ درجه و زاویه خش‌لغزها بیشتر از ۷۰ درجه هستند.

گسل‌های مذکور مسیر ثابتی ندارند و دارای خمش‌هایی در مسیر خود هستند، ولی در حالت کلی می‌توان راستای تقریبی خاوری-باختری را برای آنها در نظر گرفت. عملکرد این گسل‌ها سبب شده است که به ترتیب از جنوب به شمال، سازند درود بر روی سازند شمشک و سازند شمشک نیز بر روی سازند درود رانده شود (شکل‌های ۵-الف و



شکل ۶- نمونه‌هایی از گسل‌های دارای مؤلفه راست‌الغزی راست‌بر؛ الف) نمونه‌ای از گسل‌های رانده دارای راستای خاوری-باختری (سوی دید به شمال)؛ ب) نمونه‌ای از گسل‌های معکوس دارای راستای خاوری-باختری (سوی دید به باختر)؛ ج، د، ه و و) نمونه‌هایی از گسل معکوس.

عنوان گسل F1 و گسل F2 نام‌گذاری شده‌اند. معدن دونا توسط این گسل‌ها به ۳ بلوک خاوری، میانی و باختری تقسیم شده است. بیشترین فعالیت معدنکاری در قسمت مرکزی انجام شده است. با توجه به اینکه این گسل‌ها در تاقدیس دونا جابه‌جایی‌های کلی ایجاد کرده‌اند، مکانیسم این گسل‌ها از نظر وضعیت ماده معدنی و اکتشاف دارای اهمیت به‌سزایی است. در پهنه برشی مشاهده شده در داخل تونل و روی زمین، مجموعه‌ای از گسله‌های کوچک و بزرگ با یکدیگر برخورد کرده‌اند. با توجه به اینکه در روی زمین قسمت اعظم مسیر این گسل‌ها بر مسیر آبراهه‌ها منطبق است، خش‌لغزهای واقع بر سطوح این گسله‌ها توسط پوشش رسوبی خاکی و فعالیت‌های معدنکاری و انفجار دارای بروزند مناسبی نیست، بنابراین تصمیم گرفته شد که پس از تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰، ترسیم برش‌های ساختاری

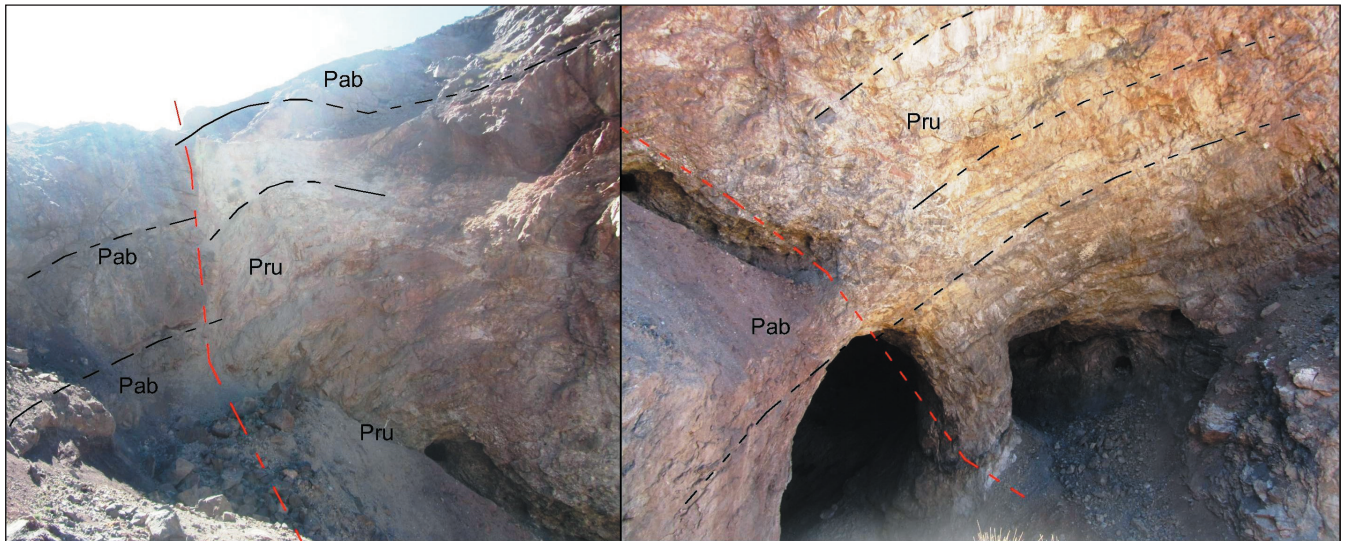
— **گسل‌های معکوس دارای راستای تقریبی شمال خاوری-جنوب باختری:** این گسل‌ها از نظر میزان جابه‌جایی نسبت به گسل‌های گروه اول (دارای راستای خاوری-باختری) در درجه دوم اهمیت قرار دارند. امتداد این گسل‌ها شمال خاوری-جنوب باختری است و دارای شیب بیش از ۶۰ درجه و زاویه خش‌لغزها کمتر از ۶۵ درجه هستند. ۷ نمونه از این گسل‌ها دارای خش‌لغز قابل اندازه‌گیری بودند. نمونه‌هایی از این گسل‌ها به همراه خش‌لغزهای ایجاد شده بر سطح آنها در قسمت خاوری و مرکزی معدن (شکل ۶) قابل مشاهده هستند. نمودار گلسرخی و وضعیت این گسل‌ها در نقشه ۱:۱۰۰۰ (شکل ۴) قابل مشاهده است.

— **گسل‌های دارای راستای تقریبی شمال باختری-جنوب خاوری:** گسل‌هایی تاقدیس دونا را با راستای شمال باختر-جنوب خاور قطع کرده‌اند که مهم‌ترین آنها تحت

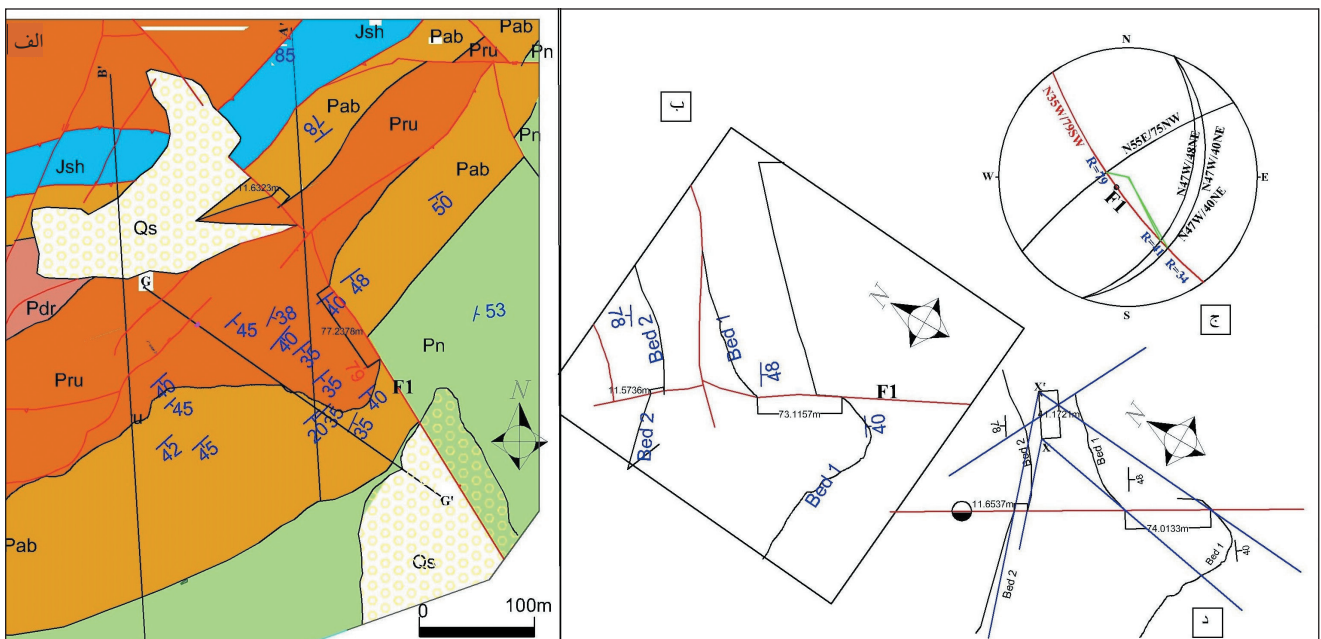


دیده می‌شود. برای تحلیل حرکت در مسیر این گسل ابتدا وضعیت فضایی گسل و لایه‌بندی‌ها در دو طرف گسل در شبکه اشمیت (شکل ۸) به تصویر کشیده شده و زاویه ریک با لایه‌بندی‌ها بر روی گسل مشخص شده (شکل ۸-ج) است. نقطه X مفروض ناشی از تلاقی دو یال تاقدیس واقع در قسمت شمال خاور گسل به نقطه X' مفروض ناشی از تلاقی دو یال تاقدیس (شکل ۸-د) واقع در قسمت جنوب باختر گسل منتقل شده است، بنابراین گسل F1 گسلی با زاویه ریک حدود ۸۷ درجه است و جابه‌جایی قائم آن معادل ۴۱ متر (شکل ۸-د) است. ترسیمات و اندازه‌گیری جابه‌جایی با نرم‌افزار اتوکد انجام شده است.

و تهیه نقشه تونل‌ها نسبت به مطالعه سازوکار این گسل‌ها با استفاده از شبکه اشمیت و روش ترسیمی (Ragan, 1973) اقدام شود. یکی از این گسل‌ها که در حاشیه خاوری معدن دونا دیده می‌شود، گسل F1 نامگذاری شده است (شکل ۴). گسل F1 دارای وضعیت فضایی N35W/79SW است (شکل ۷). وضعیت فضایی گسل F1 با استفاده از نقشه توپوگرافی و قانون V و همچنین با مشاهدات سطحی در طول برونزدها به دست آمده و پهنای محدوده برش گسلی آن در حدود ۲۵ متر است. همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود، در مسیر این گسل جابه‌جایی ظاهری راست‌الغز چپ‌بر و جابه‌جایی ظاهری راست‌بر به ترتیب در یال جنوبی و شمالی تاقدیس دونا



شکل ۷- برونزدهایی از گسل F1 واقع در حاشیه رودخانه خاوری معدن دونا و راندگی سازند روته (Pr) بر روی واحد بازالت آندزیتیک (Pab). سوی دید در قسمت چپ شکل به سمت جنوب خاوری و در قسمت راست شکل به سوی جنوب باختری است.

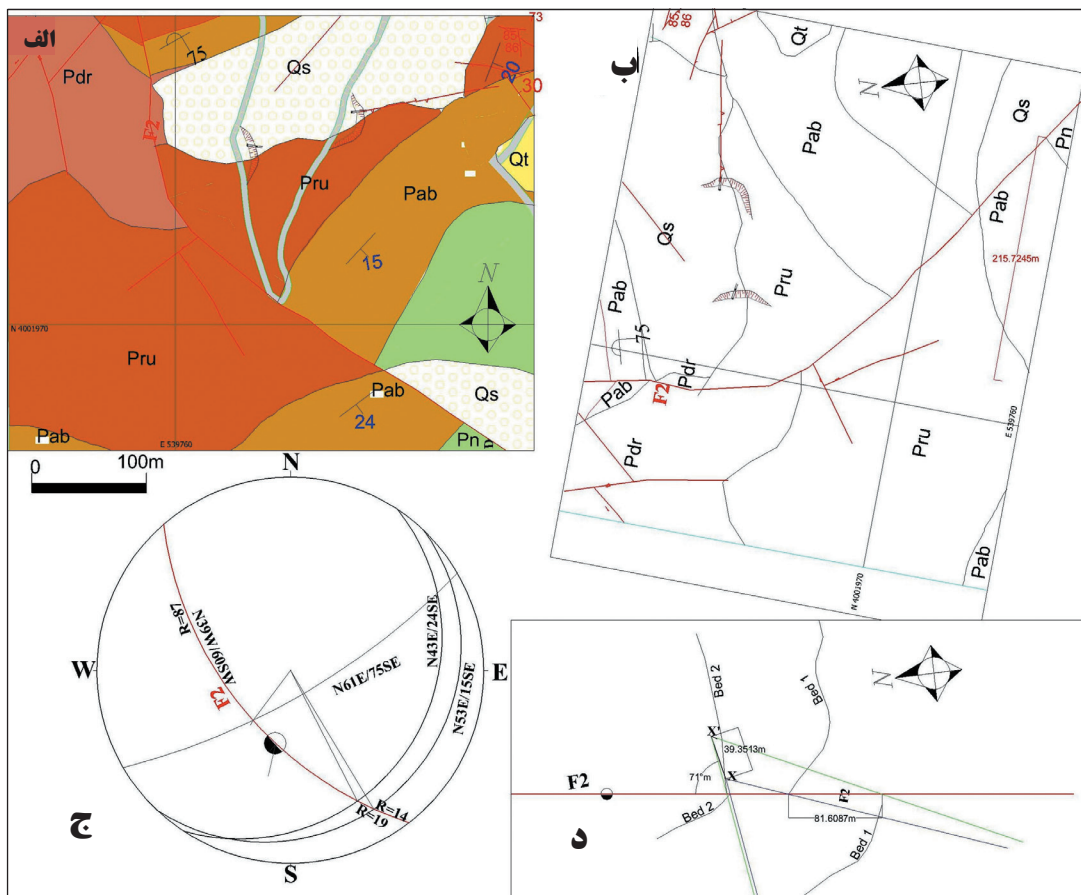


شکل ۸- تحلیل فضایی گسل F1 با استفاده از نقشه زمین‌شناسی شکل ۴ و شبکه اشمیت و روش ترسیمی (روش مطالعه اقتباس شده از Ragan, 1973).



تصویر کشیده شده و زاویه ریک از لایه بندی ها بر روی گسل مشخص شده است (شکل ۹-ج). نقطه X مفروض ناشی از تلاقی دو یال تاقدیس واقع در قسمت شمال خاور گسل به نقطه X' مفروض ناشی از تلاقی دو یال تاقدیس (شکل ۹-د) واقع در قسمت جنوب باختر گسل منتقل شده است. بنابراین گسل F2 گسلی با زاویه ریک حدود ۷۱ درجه و جابه جایی قائم آن معادل ۳۹ متر (شکل ۹-د) است. جابه جایی قائم توسط نرم افزار اتوکد اندازه گیری شده است.

گسل F2 در حاشیه باختری معدن دونا قرار دارد و مسیر گسل با مسیر رودخانه انطباق دارد. گسل F2 دارای وضعیت فضایی N39W/60SW است. همان طور که در شکل ۹ دیده می شود، در مسیر این گسل جابه جایی ظاهری متفاوتی در روی زمین به صورت راستالغز چپ بر و راستالغز راست بر به ترتیب در یال جنوبی و شمالی تاقدیس دونا دیده می شود. برای تحلیل حرکت در مسیر این گسل ابتدا وضعیت فضایی گسل و لایه بندی ها در دو طرف گسل در شبکه اشمیت (شکل ۹) به



شکل ۹- تحلیل فضایی گسل F2 با استفاده از نقشه زمین شناسی شکل ۴ و شبکه اشمیت و روش ترسیم (روش مطالعه اقباس شده از Ragan, 1973).

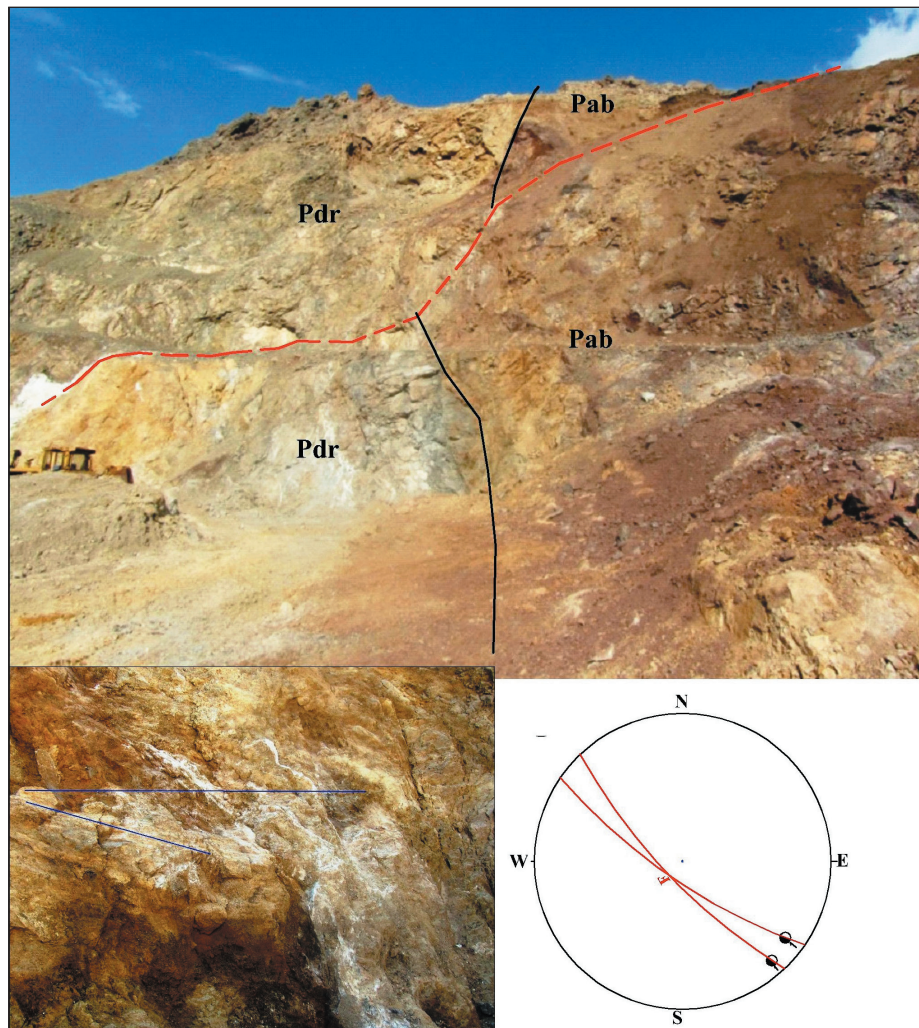
مشاهده می شود، تاقدیس دونا یک تاقدیس فشرده است که در برخی از مقاطع حالت برگشته دارد و یال برگشته آن نیز توسط گسل های رانده متعددی قطع شده است. میزان برگشتگی لایه ها در تاقدیس دونا در مقاطع مختلف متفاوت بوده و این اختلاف میزان فشرده گی و برگشتگی لایه ها به دلیل وجود گسل های پارگی (Tear faults) در حد واسط این مقاطع است که تاقدیس دونا (دارای راستای خاوری- باختری) را قطع کرده اند و دارای راستای شمالی- جنوبی هستند. در مورد گسل های مهم گستره مورد مطالعه نیز با توجه به اینکه در برخی از گسل ها، برونزد سطوح گسلی خش لغزهای واضحی داشت، سازوکار گسل ها و مسیر جابه جایی توده های سنگی به راحتی قابل اندازه گیری بود و به همین دلیل از انجام محاسبات به روش ترسیم خودداری شد. مسیر جابه جایی رگه های دارای کانه زایی توسط خط لغزها تعیین می شود، ولی میزان جابه جایی را جهت انجام معدنکاری ارائه نمی کند. ترسیم برش های ساختاری (شکل ۵) نیز کمک شایانی به اندازه گیری میزان جابه جایی قائم و جابه جایی شیبی رگه های دارای کانه زایی و واحدهای سنگی می کند. با توجه به جابه جایی شیبی رگه ها و زاویه ریک خش لغزها می توان جابه جایی کلی (net Slip) را به دست آورد که در معدنکاری اهمیت فراوانی دارد.

#### ۴-۳. گسل های راستالغز

طول این گسل ها کمتر از ۲۰۰ متر است و این گسل ها دارای جدایش افقی کمتر از ۵۰ متر هستند (شکل ۴). شیب این گسل ها بیش از ۸۰ درجه است؛ دارای زاویه ریک کمتر از ۱۰ درجه هستند و به دو گروه تقسیم می شوند. گروه اول، گسل های دارای جهت شمال خاور- جنوب باختر هستند که بیشتر جابه جایی راستالغز چپ بر دارند و گروه دوم گسل های دارای جهت شمال باختر- جنوب خاور هستند که بیشتر جابه جایی راستالغز راست بر دارند (شکل ۱۰).

#### ۵- بحث

اشکال ساختاری ایجاد شده در محدوده معدنی دونا و سرزمین های همجوار، متأثر از حرکات زمین ساختی متعدد در مزوزویک و سنوزویک است و آثار این کوهزادها به صورت ایجاد ناپوستگی زاویه دار در حد فاصل سازند شمشک و سازند الیکا، واحدهای سنگی کرتاسه فوقانی و سازندهای پالئوژن و حدفاصل واحدهای سنگی ائوسن و سازندهای نوژن و حتی رسوبات کواترنری مشخص است. وضعیت دگرشکلی معدن دونا در نیمرخ های عرضی (شکل ۵) ارائه شده است. نیمرخ های عرضی مذکور بیانگر وضعیت تاقدیس دونا هستند. همان طور که



شکل ۱۰- نمونه‌ای از گسل‌های راستا لغز دارای امتداد N30W واقع در قسمت باختری معدن دونا (جهت دید به سوی خاور) به همراه خشک‌لغزها (سوی دید به شمال خاور) و استریوگرام مربوط به گسل راستا لغز.

مشاهده می‌شود، در اطراف گسل‌های F1 و F2 بیشتر گسل‌ها دارای راستای شمال باختری- جنوب خاوری هستند و در سایر قسمت‌های محدوده بیشتر گسل‌های اصلی از راستای تاقدیس دونا پیروی می‌کنند.

دگرشکلی‌های ایجاد شده در حوضه‌های فرونشستی که معکوس‌شدگی حرکت در گسل‌های آنها ایجاد شده، معمولاً به گونه‌ای است که راستای چین‌ها و گسل‌های اصلی به موازات گسل‌ها و حوضه فرونشستی اولیه است. گروه گسل‌های دارای راستای خاوری- باختری و گسل‌های دارای راستای شمال خاوری- جنوب باختری تقریباً از راستای تاقدیس دونا تبعیت می‌کنند و دارای بیشترین فراوانی هستند. میزان جابه‌جایی این گسل‌ها نیز بیشتر از سایر گسل‌هاست. سازوکار این گسل‌ها حاکی از یک عملکرد فشارشی راست‌بر است. با توجه به وضعیت رگه‌ها در نقشه زمین‌شناسی (شکل ۴) و برش‌های ساختمانی (شکل ۵) می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین کانه‌زایی در راستای گسل‌های امتداد لغز و گسل‌های معکوس دارای راستای خاوری- باختری انجام شده است. سومین گروه از گسل‌ها راستای شمال باختری- جنوب خاوری دارند، با راستای ساختارهای اصلی منطقه هم‌جهت نیستند و تاقدیس دونا و گسل‌های معکوس دارای راستای خاوری- باختری را حدوداً با یک زاویه ۶۰ درجه قطع کرده و سبب جابه‌جایی قائم محور چین نیز شده‌اند، بنابراین از سایر گسل‌های معکوس جوان‌تر و حاکی از چرخش توده‌های سنگی نسبت به مسیر تنش اصلی و یا تغییر جهت تنش در طول زمان هستند. این گسل‌ها کمترین فراوانی

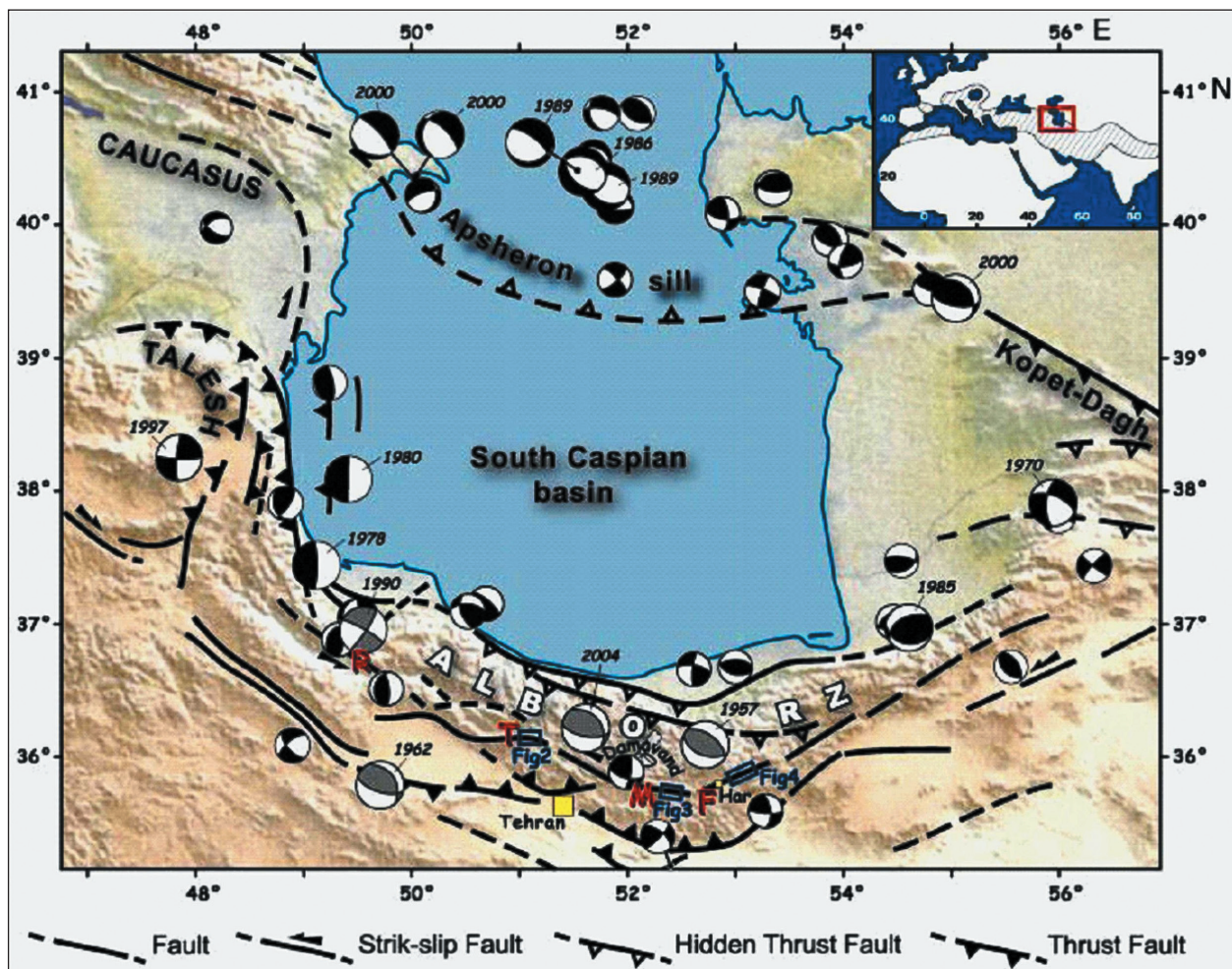
مقاطع زمین‌شناسی گویای وضعیت رگه‌ها در زیر زمین، ارتباط کانه‌زایی و زمین‌ساخت و عوامل محدود کننده کانه‌زایی هستند. قسمت اعظم کانه‌زایی در سنگ‌های آهکی و سنگ‌های آهکی دولومیتی شده پرمین و در پهنه گسل‌های دارای راستای خاوری- باختری انجام شده و فوقانی‌ترین قسمت‌های دارای کانه‌زایی به واحد آندزیت بازالتی محدود شده است. به عبارت دیگر ساختار تاقدیسی و ترکیب سنگ‌شناسی و راستای گسل‌ها از عوامل کنترل کننده کانه‌زایی در معدن دونا هستند. در یال برگشته تاقدیس دونا، چندین گسل رانده هم‌راستای محور تاقدیس دونا دیده می‌شود (شکل‌های ۳ و ۴) که شیب این راندگی‌ها به سوی جنوب و جهت راندگی این گسل‌ها به سوی شمال است. عملکرد این گسل‌ها در مقاطع زمین‌شناسی و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ قابل مشاهده است. برخی از گسل‌های رانده، همانند گسل کندوان از قدیمی‌ترین گسل‌های البرز محسوب می‌شوند که در هنگام رسوب‌گذاری سازند شمشک به صورت گسل‌های نرمال ایجاد شده و بر فرایند رسوب‌گذاری در مزوزویک نیز تأثیر داشته‌اند و سپس در اثر حرکات زمین‌ساختی فشارشی جوان، معکوس‌شدگی حرکت در طول آنها انجام شده است و این گسل‌ها با راستای چین‌های اصلی منطقه تقریباً موازی هستند (Guest, 2004; Guest et al., 2006; Allen et al., 2003).

نمودارهای گل‌سرخ مربوط به راستای گسل‌ها در شکل ۴ متعلق به حدود ۶۴ گسل هستند که بر روی ۱۲ عدد سطح گسلی خشک‌لغز یافت شد. همان‌طور که



پلیوسن به بعد هستند. این تغییرات چرخش‌هایی را در ساختارهای داخلی ایجاد می‌کنند که سبب ایجاد گسل‌های جوان و چرخش در ساختارها می‌شود. میزان جابه‌جایی افقی چپ‌بر در طول گسل فیروزکوه حدود ۳۵ متر (Nazari et al., 2014); Guest et al., 2006); برخی از محققین (Babaey et al., 2017) اندازه‌گیری شده است. Zanchi et al., 2006) با ترسیم مقاطع ساختاری دقیق و اندازه‌گیری‌های ساختارها و تحلیل‌های ساختاری به این نتیجه رسیده‌اند که معکوس‌شدگی‌های تکتونیکی البرز به‌صورت مورب در گسل‌های پرشیب دارای حرکت عادی انجام شده و در سنوزویک در اثر بال‌آمدگی سریع کوهستان، ساختار گلواره مثبت در البرز ایجاد شده و پس از میوسن جهت نیروها از شمالی-جنوبی به شمال-جنوب خاور (Zanchi et al., 2006) تغییر یافته است. در ساختار گلواره مثبت نیز گسل‌های پرشیب ایجاد می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، معدن دونا قسمتی از یک ساختار فراجسته رومبوندی شکل است که توسط گسل‌های معکوس دارای خمیدگی ایجاد شده است. ساختارهای فراجسته رومبوندی معمولاً نامتقارن هستند. الگوهای تکتونیک تجربی (McClay and Bonora, 2000) حاکی از آن است که اگر در یک ساختار فراجسته رومبوندی یا سینوسی شکل که بر روی یک پی‌سنگ سخت قرار دارد، حرکات راست‌الغز انجام گیرد، در آن گسل‌های رانده (McClay and Bonora, 2000) با شیب زیاد (همانند گسل ۶ در شکل ۱۲) ایجاد می‌شوند.

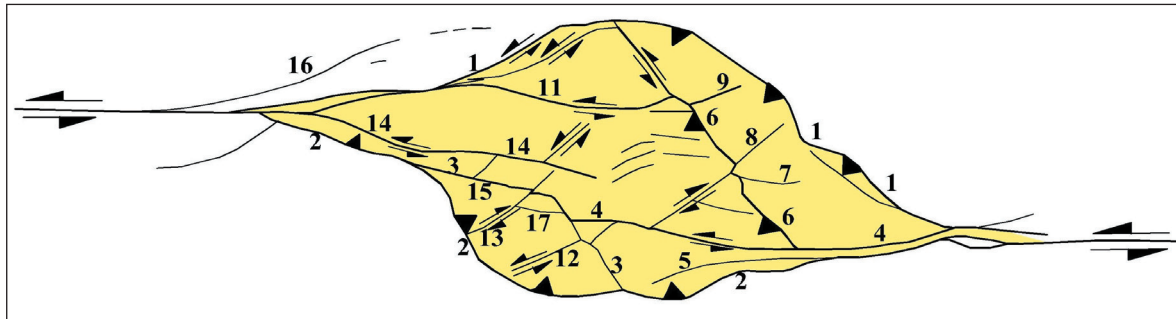
را دارند و جابه‌جایی‌های کمتر از ۵۰ متر را در محور چین ایجاد کرده‌اند. گسل‌های محصورکننده ساختار فراجسته دونا جزو گسل‌های فرعی البرز مرکزی هستند. در دگرریختی‌های پیش‌رونده احتمال چرخش در سامانه‌های گسلی فرعی وجود دارد. این گروه از گسل‌ها احتمالاً به دلیل چرخش در یک ساختار فراجسته ایجاد شده و تاقدیس دونا را قطع کرده‌اند و احتمالاً به همین دلیل سازوکار متفاوتی نشان می‌دهند. یکی دیگر از عوامل ایجاد چرخش ساختارها، تغییر سبک حرکات زمین‌ساختی در طول زمان است. برخی از محققین معتقدند که در سرزمین البرز معکوس‌شدگی حرکات زمین‌ساختی تا الیگوسن ادامه داشته است (Zanchi et al., 2006; Hakimi Asiabar et al., 2011; Hakimi Asiabar, 2010); (Ehteshami-Moinabadi et al., 2012; Ehteshami-Moinabadi, 2016) ولی حرکات زمین‌ساخت جوان در البرز تغییر یافته است (Ritz et al., 2006; Allen et al., 2003); و برخی معتقدند که در البرز یک سری حرکات فشارشی چپ‌بر در حال انجام است (Allen et al., 2003; Axen et al., 2001a; Guest et al., 2006 and 2007) و مطالعات لرزه‌زمین‌ساخت (Ashtari et al., 2005; McKenzie, 1972) (شکل ۱۱) و شواهد سطحی (Nazari et al., 2014) اعم از جابجایی چپ‌بر مسیر رودخانه‌ها و مخروط‌افکنه‌ها نیز تغییر جهت تنش‌های اصلی و حرکات مذکور را در کوه‌های البرز تأیید کرده است. به نظر برخی از محققین (Ritz et al., 2006) این حرکات در طول گسل‌های البرز نشانه‌ای از شروع چرخش حوضه خزر جنوبی از زمان



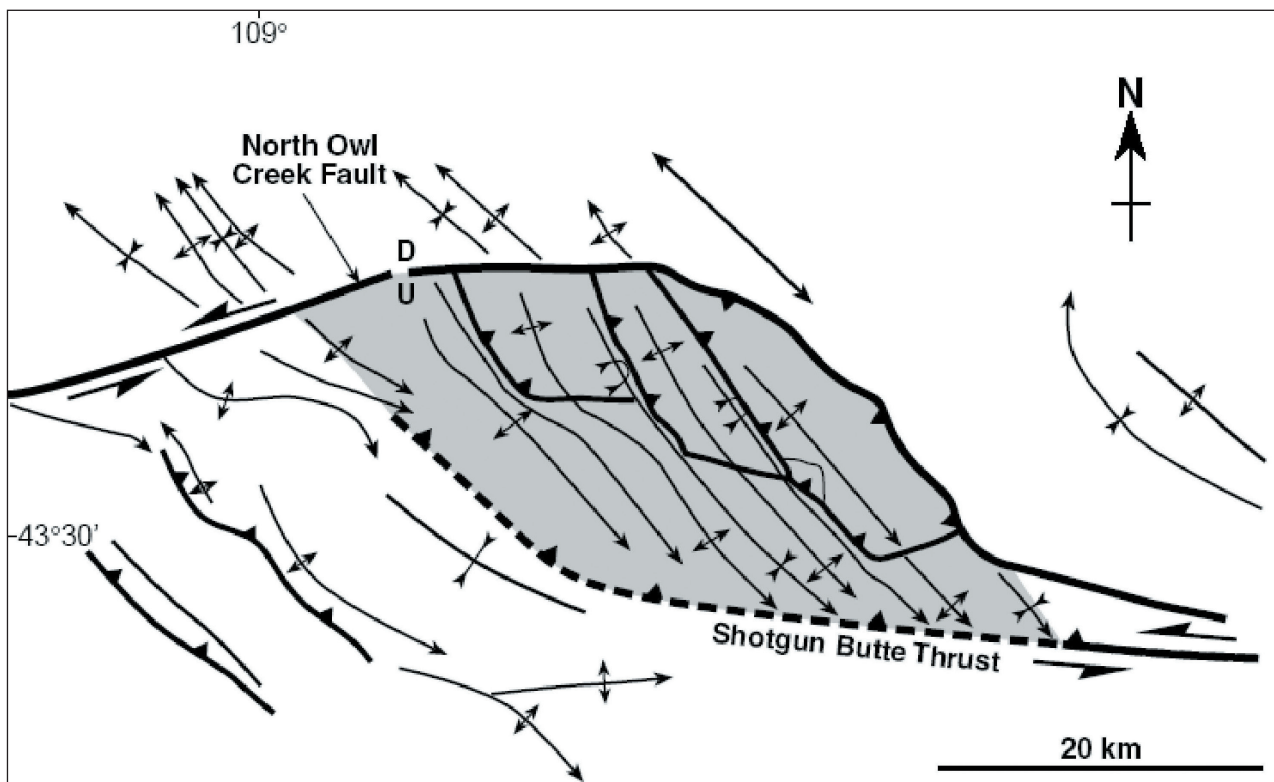
شکل ۱۱- مکانیسم کانونی زمین‌لرزه‌های البرز (Ashtari et al., 2005; McKenzie, 1972).

جابه‌جایی راستالغز چپ‌بر قرار گرفته و در آن گسل‌های رانده ایجاد شده است (McClay and Bonora, 2000).

در قسمت باختری شیلی (در شکل ۱۳) در ناحیه آتاکاما واقع در خاور اقیانوس آرام نمونه‌ای از ساختار فراجسته رومبوندری دیده می‌شود که تحت تأثیر



شکل ۱۲- الگوی گسلی در یک ساختار فراجسته رومبوندری یا سینوسی شکل که تحت تأثیر حرکات راستالغز چپ‌گرد قرار گیرد (McClay and Bonora, 2000).



شکل ۱۳- نمونه‌ای از ساختار فراجسته‌ای رومبوندری در باختر شیلی (McClay and Bonora, 2000).

## ۶- نتیجه‌گیری

- در این تحقیق ۳ گروه گسل‌های اصلی معرفی شدند که گروه اول این گسل‌ها به موازات محور چین‌های بزرگ مقیاس و دارای راستای خاوری- باختری هستند. شیب بیشتر این گسل‌ها نیز فراتر از ۴۰ درجه و زاویه خش‌لغزهای این گسل‌ها بیشتر از ۷۰ درجه است. این گسل‌ها سازوکار معکوس با مؤلفه جزیی راستالغز راست‌بر دارند. گروه دوم گسل‌ها دارای امتداد NE-SW، شیب بیش از ۶۰ درجه، زاویه ریگ

بررسی وضعیت ساختارهای زمین‌شناسی ما را به نتایج زیر نزدیک می‌کند:  
- ساختار اصلی معدن دونا به صورت یک تاقدیس برگشته با راستای خاوری- باختری است. چین‌خوردگی بزرگ مقیاس که در محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود، از نوع فشرده بوده و یال برگشته آن نیز توسط گسل‌های معکوس با مؤلفه جزیی راستالغز راست‌بر قطع شده است.



قسمت‌های دارای کانه‌زایی به واحد آندزیت بازالتی محدود شده است، به عبارت دیگر، ساختار تاقدیسی و ترکیب سنگ‌شناسی در معدن دونا از عوامل اولیه کنترل کننده کانه‌زایی هستند که توسط گسل‌ها تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. در تاقدیس دونا بیشترین کانه‌زایی در حوالی محور چین و راستای گسل‌های معکوس دارای راستای خاوری-باختری و گسل‌های راستالغزی ایجاد شده است که نسبت به محور چین مورب هستند.

- ساختار فراجسته دونا تحت تأثیر جابه‌جایی راستالغز چپ‌بر ناشی از حرکات تکتونیکی جوان در البرز قرار گرفته و به همین علت در آن گسل‌های رانده جوان با راستای شمال باختری-جنوب خاوری ایجاد شده است.

کمتر از ۶۵ درجه و سازوکار معکوس با مؤلفه راستالغز راست‌بر هستند. گروه سوم گسل‌ها جهت تقریبی N30W تا N40W، شیب بیش از ۶۰ درجه و زاویه ریک بیش از ۷۰ درجه دارند و گسل‌های معکوس مورب‌لغز راست‌بر موازی با راستای چین‌ها را قطع می‌کنند. این گسل‌ها جوان‌تر از سایر گسل‌ها و دارای کمترین فراوانی هستند و به علت تغییر شکل پیش‌رونده و تغییر نوع حرکات تکتونیکی از نوع تکتونیک برخوردی به حرکات راستالغز چپ‌بر در گستره مورد مطالعه در ساختار فراجسته دونا ایجاد شده‌اند.

- قسمت اعظم کانه‌زایی در سنگ‌های آهکی و سنگ‌های آهکی دولومیتی شده پرمین و در گسل‌های دارای راستای خاوری-باختری انجام شده و فوقانی‌ترین

## کتابنکاری

سامانی‌راد، ش.، ۱۳۷۹- زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و تعیین ژنر معدن سرب دونا در البرز مرکزی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال.  
صباحی، ف.، ۱۳۸۴- نحوه تشکیل کانسار دونا و اثرات زیست‌محیطی معدنکاری آن بر رودخانه‌های الیکا، دونا و چالوس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین.

## References

- Alavi, M., 1991- Sedimentary and Structural Characteristics of the Paleo-Tethys Remnants in Northeastern Iran, *Geol. soc.of Amer. Bull.*, V. 103, P.983-992.
- Alavi, M., 1996- Tectonostratigraphic synthesis and structural style- of the Alborz Mountain system in Northern Iran, *Journal of Geodynamics*, V. 21, P. 1-33.
- Allen, M., Ghassemi, M. R., Shahrabi, M. and Qorashi, M., 2003- Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran. *Journal of Structural Geology*, V. 25, no. 5, p. 659-672.
- Ashtari, M., Hatzfeld, D. and Kamalian, M., 2005- Microseismicity in the region of Tehran: Tectonophysics, 395, p. 193-208.
- Axen, G. A., Lam, P. S., Grove, M., Stockli, D. F. and Hassanzadeh, J., 2001a- Geological Society of America, *Geology*, 29 (6), 559-562.
- Axen, G. J., Lam, P. J., Grove, M., Stockli, D. F. and Hassanzadeh, J., 2001b- Exhumation of the west-central Alborz Mountains, Iran, Caspian subsidence, and collision-related tectonics. *Geology*, V. 29, no. 6, p. 559-562.
- Axen, G. J., Stockli, D. F., Lam, P., Guest, B. and Hassanzadeh, J., 2001c- Implications of preliminary (U-Th/He) cooling ages from the central Alborz Mountains, Iran. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, V. 33, no. 7, p. 257.
- Babaey, S., Dehbozorgi, M. and Hakimi Asiabar, S., 2017- Assessment of active tectonics by using morphometric indices in Central Alborz, *Quarterly Quantitative Geomorphological researches*, 6th year, no. 1, p. 40- 56.
- Berberian, F. and Berberian, M., 1981- Tectono-plutonic episodes in Iran, in Gupta, H. K., & Delany, F. M., eds., *Zagros-Hindu Kush-Himalaya geodynamic evolution*. Geodynamics Series, Washington, D. C. . American Geophysical Union, p. 5-32.
- Berberian, M. and Yeats, R. S., 1999- Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau. *Bull. Seismol.Soc. Am.*, Vol. 89, 120-139.
- Berberian, M. and Yeats, R. S., 2017- Tehran: An earthquake time bomb, *Geological Society of America, seattle, Washington, USA* (accepted in 2016).
- Berberian, M., 1983- The southern Caspian: A compressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust. *Canadian Journal of Earth Sciences*, V. 20, p. 163-183.
- Ehteshami- Moinabadi, M., 2016- Possible Basement Transverse Faults in the Western Alborz, Northern Iran. *Journal of Sciences*, Islamic republic of Iran, 27. 329- 342.
- Ehteshami- Moinabadi, M., Yassaghi, A. and Amini, A., 2012- Mesozoic basin inversion in Central Alborz, evidence from the evolution of Taleqan-Gajereh-Lar paleograbens. *Geopersia*, V. 2, P. 43-63.
- Guest, B., 2004- The thermal, sedimentological and structural evolution of the central Alborz mountains of northern Iran: Implications for the Arabia-Eurasia continent- continent collision and collisional processes in general [Ph. D. thesis]. Los Angeles, California, USA, University of California-Los Angeles, 292 p.
- Guest, B., Axen, G. J., Lam, P. S. and Hassanzadeh, J., 2006- Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountain, northern Iran, by combined conjugate strike slip and thin-skinned deformation. *Geosphere*, 2. 35-52.

- Guest, B., Guest, A. and Axen, G., 2007- Late Tertiary tectonic evolution of northern Iran: A case for simple crustal folding, *Global and Planetary Change* 58, 435–453
- Hakimi Asiabar, S. and Bagheriyan, S., 2017- Exhumation of the Deylaman fault trend and its effects on the deformation style of the western Alborz belt in Iran, *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* pp. 1-13, <https://doi.org/10.1007/s00531-017-1507-4>.
- Hakimi Asiabar, S., 2010- Collision tectonics of western Alborz mountain, Ph. D. thesis (In Persian), Shahid Beheshti university, 280 p.
- Hakimi Asiabar, S., Pourkermani, M., Shahriari, S., Ghorbani, M. and Ghasemi, M. R., 2011- Geological zones of western Alborz Mountains. *Journal of Sciences Islamic Azad University* 21.113-124.
- Holzer, H. F. and Momenzadeh, M., 1973- Note on the geology of Elikah and Duna lead mines, central Alborz, northern Iran. *Geol.Sury. Iran*, 21. 27–36.
- Huber, H. and Eftekhari-nezhad, J., 1978a- Geological map of Iran, sheet no. 1, northwest Iran. Tehran, National Iranian Oil Company, scale 1:1, 000, 000.
- Huber, H. and Eftekhari-nezhad, J., 1978b- Geological map of Iran, sheet no. 2, north-central Iran: Tehran, National Iranian Oil Company, scale 1:1, 000, 000.
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M. and Berberian, M., 2002- Active tectonics of the South Caspian Basin. *Geophysical Journal International*, V. 148, p. 214–245.
- McClay, K. and Bonora, M., 2000- Analog models of restraining stopovers in strike-slip fault systems: *AAPG Bulletin* 85 (2), p 233-260.
- McClay, K. R. and Buchanan, P. G., 1992- Thrust faults in inverted extensional basins. In: McClay; *Thrust Tectonics*. University of London, Chapman and Hall Pub. p. 93-104.
- McKenzie, D. P., 1972- Active tectonics of the Mediterranean region: *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, p. 109–185.
- Moghimi, M., Arian, M. and Sorbi, A., 2015- Fault Movement Potential of Marzanabad Area, North Alborz, Iran, *Open Journal of Geology*, 5, 126- 135.
- Nazari, H., Ritz, J. F., Walker, R. T., Salamati, R., Rizza, M. and Patnaik, R., 2014- Palaeoseismic evidence for a medieval earthquake, and preliminary estimate of late Pleistocene slip-rate, on the Firouzkuh strike-slip fault in the Central Alborz region of Iran, *Journal of Asian Earth Sciences* 82, 124-135.
- Ragan, D. M., 1973- *Structural geology : an introduction to geometrical techniques*, New York. Wiley, 208 p.
- Ritz, J. F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A., Solaymani, S. and Vernant, P., 2006- Active transtension inside central Alborz: A new insight into northern Iran–southern Caspian geodynamics: *Geology*, 34 (12); 477–480; doi: 10.1130/G22319.1
- Sengör, A. M. C., 1990- A new model for the late Paleozoic- Mesozoic tectonic evolution of Iran and implications for Oman, in Searle, M. P., Ries, A. C., eds., *The geology and tectonics of the Oman region*. London, Geological Society [London], p. 797–831.
- Sengör, A. M. C. and Natal'in, B. A., 1996- Paleotectonics of Asia: Fragments of a synthesis, in Yin, A., Harrison, M., eds., *The tectonic evolution of Asia*. Cambridge, Cambridge University Press, p. 486–640.
- Stocklin, J., 1974- Northern Iran: Alborz Mountains, in Spencer, A. M., ed., *Mesozoic-Cenozoic orogenic belts; data for orogenic studies; Alpine-Himalayan orogens*. Geological Society [London] Special Publication 4, p. 213–234.
- Vahdati Daneshmand, F., 1991- Amol: Geological quadrangle map of Iran. Tehran, Geological Survey of Iran, scale 1:250, 000.
- Zanchi, A., Berra, F., Mattei, M., Ghassemi, M. R. and Sabouri, J., 2006- Inversion tectonics in central Alborz, Iran. *Journal of Structural Geology*, V. 28, P. 2023.



## Structural deformations of Duna mine

S. Hakimi-Asiabar<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Lahijan Branch, Lahijan, Iran

Received: 2017 February 18

Accepted: 2017 December 19

### Abstract

The area of Duna mine is a part of central Alborz. The Duna anticline is a part of pop up structure and located between Kandavan and Azadkuh thrust faults. In this research three sets of major faults are recognized. The first category of faults with W-E trend, dip 40-50, Rake angle more than 70, are parallel to the major fold axes and second category of faults have NE-SW trend with reverse movement and rake angle less than 65. The third category which truncate the first sets, have nearly N30W to N40W direction with dip more than 75 and rake angle more than 70. The aim of this paper is investigation on the structure of Duna mine and investigations on the mechanism of third category of faults which are not popular in Alborz range and did not discussed before. Some of these faults do not have visible slickensides and the mechanism of these faults held on the basis of preparing geologic map on the scale of 1:1000, structural cross sections and implementing Schmidt net with construction methods. The change of tectonic movements from collision into sinistral, on the pop-up structure created this set of young reverse faults with NW-SE trend.

**Keywords:** Duna lead mine, Structural deformations, Kandavan fault, Alborz, Iran

For Persian Version see pages 235 to 246

\*Corresponding author: S. Hakimi-Asiabar; E-mail: saeid.h.asiabar@gmail.com