

## چین خوردگی و گسلش در گستره معدنی ایرانکوه، جنوب اصفهان

علی ناکینی، محمد محجل\*، ابراهیم راستاد، مینا بویری؛  
دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، گروه زمین‌شناسی

پذیرش ۹۴/۹/۳

دریافت ۹۴/۴/۲۳

### چکیده

منطقه ایرانکوه در ۲۰ کیلومتری جنوب شهر اصفهان واقع شده است. شیل‌های سیاه همراه با سیلت و ماسه‌سنگ‌های به سن ژوراسیک زیرین قدیمی‌ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته‌اند که در دامنه شمالی ایرانکوه برون‌زد دارند. سنگ‌های آهکی - دولومیتی به همراه مقدار کمی شیل و مارن به سن کرتاسه‌زیرین به صورت دگرشیب و با حضور کنگلومرای قاعده‌ای روی سنگ‌های ژوراسیک زیرین قرار دارند. روند ساختاری چین‌خوردگی باخترشمال‌باختری - خاور جنوب‌خاوری است. در دامنه شمالی رشته‌کوه، ناودیس با سطح محوری تقریباً قائم با محوری دارای میل ۳۵° درجه و طاق‌دیس با محور دارای میل ۲۳° درجه به سمت باختر دیده می‌شوند که ادامه آن را می‌توان در دامنه جنوبی رشته‌کوه مشاهده کرد. با توجه به جنس متفاوت واحدهای سنگی، چین‌خوردگی‌های فرعی نیز درون این ناودیس و طاق‌دیس وجود دارند که با روند ساختاری منطقه مطابقت دارند. در معدن گوشفیل و تپه‌سرخ ۱، گسل معکوس گوشفیل - تپه‌سرخ با شیب ۷۵° درجه به سمت شمال‌خاور، واحد شیلی ژوراسیک‌زیرین را روی واحدهای کرتاسه‌زیرین قرار داده است. شواهد میدانی نشان می‌دهد که این گسل در ابتدا نرمال و دارای شیب به سمت جنوب باختر بوده است که در طول چین‌خوردگی نزدیک سطح زمین، چرخیده و شیب زیاد به سمت شمال خاور یافته است. گسل‌های با روند شمال‌باختر - جنوب خاور کنترل‌کننده کانه‌زایی در منطقه ایرانکوه هستند که گسل گوشفیل - تپه‌سرخ یکی از آنهاست.

**واژه‌های کلیدی:** چین‌خوردگی، گسلش، معکوس‌شدگی، ایرانکوه، اصفهان.

### مقدمه

کمربند معدنی ملایر - اصفهان [۱] که به‌عنوان یکی از گستره‌های معدنی سرب و روی ایران معرفی شده است، جزئی از پهنه سنندج - سیرجان [۲] محسوب می‌شود که دربرگیرنده بخش‌های عمده‌ای از استان‌های مرکزی، اصفهان و همدان است. این پهنه از نظر سرگذشت زمین‌شناسی، وضعیت رسوب‌گذاری و ساختاری شبیه پهنه ایران مرکزی است. منطقه ایرانکوه در جنوب شهر اصفهان واقع شده است (شکل ۱) که سنگ‌های آهکی - دولومیتی دوره کرتاسه زیرین بیش‌ترین رخنمون را در آن دارد. طول این رشته‌کوه ۲۰ کیلومتر و عرض آن ۴ کیلومتر و بلندترین ارتفاع آن از دشت ۹۰۰ متر است. در این منطقه معادن فعال گوشفیل، تپه‌سرخ (تپه سرخ ۱ و تپه سرخ ۲)، رومرمر (در سمت یال شمالی رشته‌کوه) و معدن کلاه‌دروازه (در سمت یال جنوبی رشته‌کوه) از لحاظ ذخیره ماده معدنی سرب و روی حائز اهمیت هستند (شکل ۱). معادن گودزدان و خانه‌گرگی (در سمت یال جنوبی) نیز از معادن متروکه در ایرانکوه هستند.

هدف از این پژوهش، بررسی چین خوردگی و تعیین سازوکار گسل‌های منطقه معدنی ایرانکوه و ارتباط ساختار با کانه‌زایی سرب و روی است.

ذخایر سرب و روی موجود در سنگ‌های رسوبی شامل ذخایر سرب و روی با میزبان آواری (SEDEX) سرب و روی با میزبان کربناته (MVT, Irish) و سرب با میزبان ماسه‌سنگی است که از این میان ذخایر سرب و روی با میزبان کربناته، اصلی‌ترین ذخایر سرب و روی در جهان هستند [۳]، ذخایر سرب و روی با میزبان کربناته از نظر جای‌گاه ساختاری عمدتاً در پهنه‌های سندج-سیرجان [۱]، [۴]، ایران مرکزی [۵] و البرز [۶]، [۷] قرار گرفته‌اند. شایان ذکر است که بیش‌ترین کانه‌زایی سرب و روی با میزبان کربناته، در کمربند ملایر- اصفهان رخ داده است [۱]. یکی از بزرگ‌ترین ذخایر سرب-روی (نقره) موجود در این کمربند، ذخایر حوزه معدنی ایرانکوه اصفهان است.

معادن سرب و روی با میزبان سنگ کربناته در کشور در ارتباط با ساختارهای زمین‌شناسی (مانند چین خوردگی و گسل‌ها) هستند [۸]-[۱۵]. تحقیقات پایه برای اکتشاف و هم‌چنین پی‌گیری ماده معدنی، شناخت سازوکار ساختارهای زمین‌شناسی از جمله چین خوردگی‌ها و گسل‌ها است. شناخت این ساختارها می‌تواند راهنمای مناسبی برای مناطقی باشد که کانه‌زایی در آن صورت گرفته است. هندسه، سیستم گسل‌ها و هم‌چنین شناخت سازوکار آن‌ها برای دنبال کردن ماده معدنی در این معادن اهمیت زیادی دارد. علاوه بر این شناخت ساختار در معادن با میزبان کربناته می‌تواند راهنمای مناسبی برای تعیین تیپ کانه‌زایی باشد.

### چینه‌شناسی

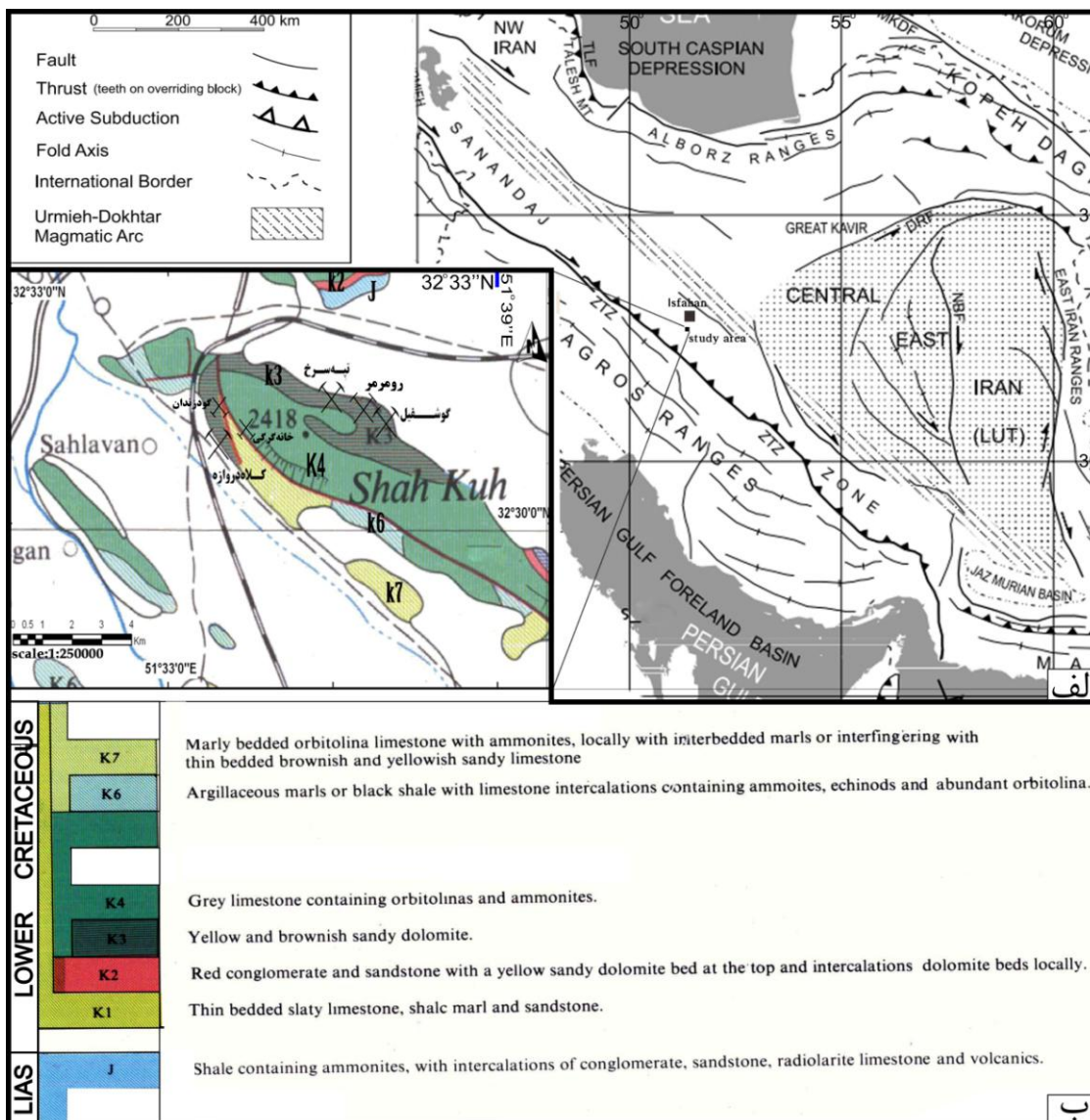
نهشته‌های کرتاسه در منطقه اصفهان به‌عنوان الگویی برای درک بهتر کرتاسه در مرکز ایران معرفی شده است [۱۶]. بارزترین سکنس کرتاسه ایران مرکزی، در منطقه اصفهان دیده می‌شود که تا ده‌ها کیلومتر دورتر از این شهر نیز با وسعت چشم‌گیری رخنمون یافته است. زمین‌شناسان مختلف سنگ‌های کرتاسه منطقه اصفهان را بررسی کرده‌اند [۱۶]، [۱۷]، [۱۸].

قدیمی‌ترین سنگ‌های این منطقه متعلق به ژوراسیک زیرین متشکل از شیل‌های سیاه همراه با سیلت و ماسه‌سنگ است و تنها در یال شمالی (به‌صورت پراکنده) این رشته‌کوه رخنمون دارند (شکل ۳ الف). این شیل و ماسه‌سنگ‌ها را می‌توان معادل سازند شمشک در نظر گرفت. رسوبات ژوراسیک میانی و بالائی "دوگر و مالم" در این رشته‌کوه دیده نشده است [۴]. سنگ‌های برون‌زد یافته در این رشته‌کوه، سنگ‌های کربناته کرتاسه است که به‌صورت دگرشیب روی سنگ‌های ژوراسیک زیرین قرار گرفته است. این سنگ‌ها از نظر سنی متعلق به بارمین تا آلبین پیشین هستند. ضخامت این سنگ‌ها حدود ۸۰۰ متر است که به‌صورت عمده از آهک و دولومیت همراه با مقدار کمی شیل و مارن تشکیل شده‌اند. با استناد به [۴]، توالی کرتاسه در منطقه ایرانکوه را می‌توان از قدیم به جدید، به این واحدهای سنگی تقسیم کرد )

شکل ۲):

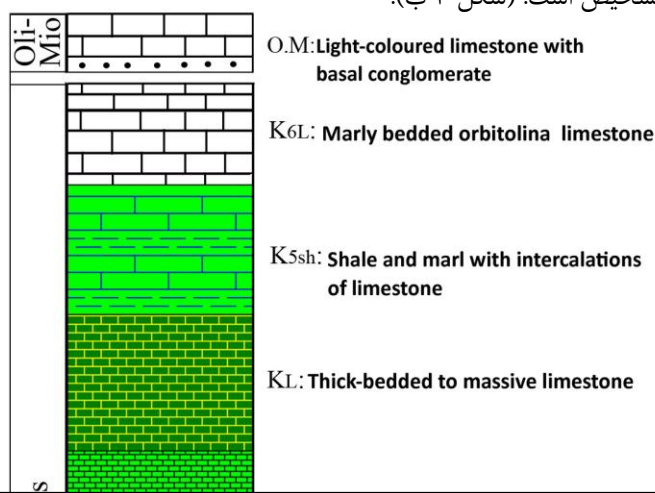
**الف) کنگلومرای قاعده و دولومیت ماسه‌ای:** شامل ردیفی از آواری‌های سُرخ‌رنگ است که به‌طور دگرشیب روی نهشته‌های تریاس بالایی- ژوراسیک میانی و یا توده‌های نفوذی (گرانیت کلاه‌قازی) کیمرین میانی قرار گرفته است. این آواری‌ها به‌خوبی قابل قیاس با نهشته‌های مشابه (بخش بالای سازند شوربجه، آواری‌های قاعده سازند تیزکوه) در بسیاری از نقاط ایران است [۱۷]، [۱۸]. این واحد در منطقه ایرانکوه با علامت اختصاری K1 مشخص می‌شود (شکل ۳ الف). این واحد در یال شمالی رشته ایرانکوه به‌طور پراکنده و ناچیز بیرون‌زدگی دارد و به‌سمت خاور ادامه می‌یابد.

**ب) آهک خاکستری مایل به زرد حاوی فسیل *Orbitolina*:** این آهک‌ها در یال شمالی رشته کوه و در مناطق بین تپه‌سرخ-گردنه و تپه‌سرخ-گوشفیل بیرون‌زدگی دارند. این آهک‌ها حدواسط بین کنگلومرای قاعده و دولومیت‌های قرمز با لایه‌بندی ضخیم (K3d) هستند، این واحد دارای فسیل اربیتولینا (K2l) است (شکل ۳ ب).



شکل ۱. الف) موقعیت منطقه بررسی شده در پهنه ساندج- سیرجان (برگرفته و ساده شده از [۱۹])، ب) نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ اصفهان [۱۷]، موقعیت معادن فعال و متروکه روی نقشه مشخص شده است

ج) دولومیت‌های قرمز تا قهوه‌ای (K3d) و آهک‌های خاکستری (K3l): این واحد از دولومیت‌های ضخیم‌لایه و لایه‌های آهکی که به صورت بین‌انگشتی در امتداد رشته‌کوه قرار گرفته‌اند (K3d)، تشکیل شده است. قسمت‌های آهکی این واحد از آهک‌های خاکستری تیره‌رنگ (K3l) تشکیل شده و دارای لایه‌بندی نازک تا متوسط و همراه با فسیل رودیست است. مجموعه دولومیتی K3d از لایه‌های زیرین (K2L) با فسیل‌های رودیست و لایه‌بندی متوسط تا ضخیم به سادگی قابل تشخیص است. (شکل ۳ ب).



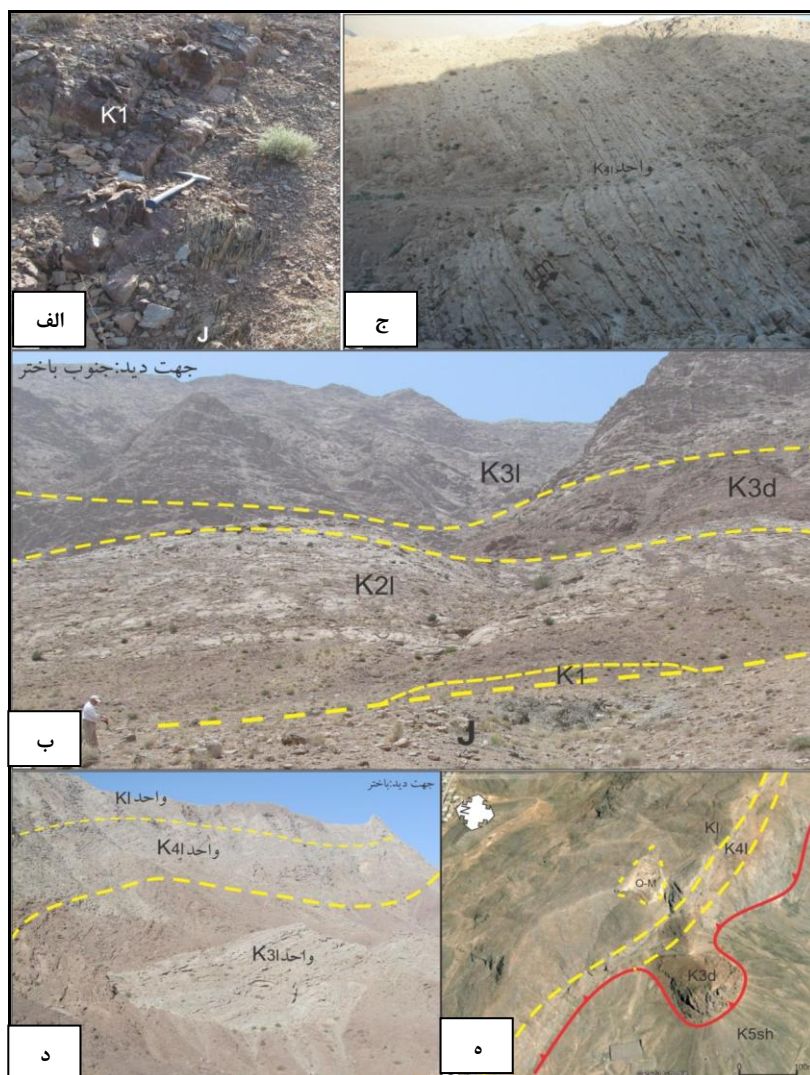
### شکل ۲. ستون چینه‌شناسی منطقه ایرانکوه [۴]

د) آهک‌های خاکستری اربیتولین‌دار با لایه‌بندی خوب: این واحد از آهک‌های خاکستری تیره دارای فسیل‌های اربیتولین و رودیست به‌همراه عدسی دولومیتی تشکیل شده که با علامت اختصاری K4L معرفی شده است. این واحد بیشتر در یال شمالی ایرانکوه و به مقدار کمتر در یال جنوبی رخنمون دارد (شکل ۳-ج).

ه) آهک‌های توده‌ای حاوی فسیل اربیتولین: این واحد حجم اصلی رشته‌کوه را تشکیل داده و از آهک‌های توده‌ای اربیتولین‌دار تشکیل شده است. این آهک‌ها واحد اصلی مورفولوژی رشته‌کوه‌های منطقه اصفهان و مخصوصاً رشته ایرانکوه را تشکیل داده است. در آهک‌های توده‌ای، عدسی‌هایی از کربنات‌های دولومیتی سیلیسی‌شده وجود دارد که حاوی باریت و گالن است. این واحد با علامت اختصاری KI مشخص شده است (شکل ۳-د).

و) سنگ‌های شیلی مارنی به همراه تناوبی از آهک: این واحد با لایه‌هایی به رنگ سبز تیره تا سیاه و شیل‌ها و آهک‌های حاوی آمونیت، اکینوئید و با داشتن مقدار زیادی اربیتولین (K5sh) معرفی شده است. وجود فسیل‌ها مخصوصاً اربیتولین علامتی است که این شیل‌ها را از شیل‌های ژوراسیک مشخص می‌سازد (شکل ۳-ه).

جوان‌ترین رسوبات در رشته‌کوه ایرانکوه آهک‌های ماسه‌ای به رنگ روشن با شروع لایه‌های کنگلومرا در زیر است که به‌صورت دگرشیب روی واحد KI در سمت باغکومه قرار گرفته است. این کنگلومرای قاعده‌ای که حدود ۱۵ متر ضخامت دارد حاوی قطعاتی از آهک اربیتولین‌دار است. این واحد با علامت اختصاری O.M مشخص شده است (شکل ۳-ه).



شکل ۳. نمایی از واحدهای سنگی مختلف در منطقه ایرانکوه، الف) واحد کنگلومرا (K1) روی شیل - ماسه سنگ ژوراسیک (J) در یال شمالی رشته کوه ایرانکوه (جهت دید باختر)، ب) شیل - ماسه سنگ ژوراسیک و واحدهای کرتاسه (K1, K2, K3d, K3l) در یال شمالی رشته کوه، سمت باختر معدن تپه سرخ، ج) واحد خوب لایه بندی K4l در محدوده رومرمر (جهت دید خاور)، د) واحدهای آهکی K1, K4l, K3l در منطقه تپه سرخ، ه) نمایی از واحد کنگلومرا و آهک های ماسه ای اولیگوسن - میوسن (O.M) روی تصویر ماهواره ای (برگرفته از Google Earth) در باختر ایرانکوه (منطقه باغکومه). واحدهای آهکی - دولومیتی (K3d) با گسلش معکوس روی واحد K5sh قرار گرفته است

### ساختار

برای بررسی ساختارهای منطقه، چندین پیمایش عمود بر روند ساختارها انجام گرفت و ویژگی های چین ها و گسل های رخنمون یافته در این برش ها برداشت شد. ساختارهای هر منطقه به صورت جداگانه بررسی شده است. در انتها ارتباط کانه زایی با ساختار کلی رشته کوه ایرانکوه نشان داده شده است.

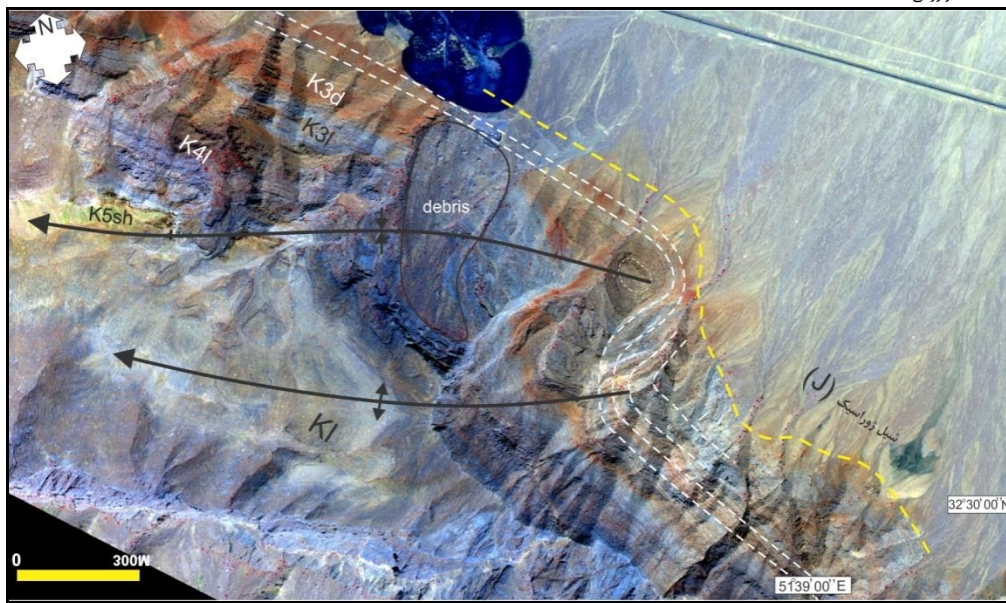
با توجه به نقشه زمین شناسی (شکل ۵) و همچنین تصویر ماهواره ای از نقاط مختلف منطقه چنین استنباط می شود که روند چین خوردگی منطقه ایرانکوه باختر شمال باختر - خاور جنوب خاور است. امتداد لایه های رسوبی در منطقه عموماً دارای جهت باختر شمال باختر - خاور جنوب خاور است و شیب لایه ها از چند درجه تا حالت قائم تغییر

می‌کند. به‌طور کلی می‌توان ایرانکوه را یک ناودیس در بخش شمالی و یک طاقدیس در بخش جنوبی آن دانست که روند عمومی آن‌ها دارای جهت باخترشمال‌باختر- خاور جنوب خاور است. هم‌چنین در یال شمالی در لایه‌های کم-مقاومت به‌طور موضعی، طاقدیس و ناودیس‌های فرعی کوچک‌تر وجود دارند. در لایه‌های مقاوم، شکستگی‌ها، گسل‌ها و درزه‌ها مشاهده می‌شوند. اثر سطح محوری چین‌خوردگی بزرگ مقیاس در منطقه از بخش شمالی ایرانکوه (منطقه سنگ‌بری) تا بخش جنوبی (معدن کلاه دروازه) ادامه دارد (شکل‌های ۴ و ۵). برای شناخت و ارتباط ساختارها با هم، نقشه زمین‌شناسی به‌همراه برش‌های ساختاری، از مناطق مختلف تهیه و رسم شده است (شکل ۶).

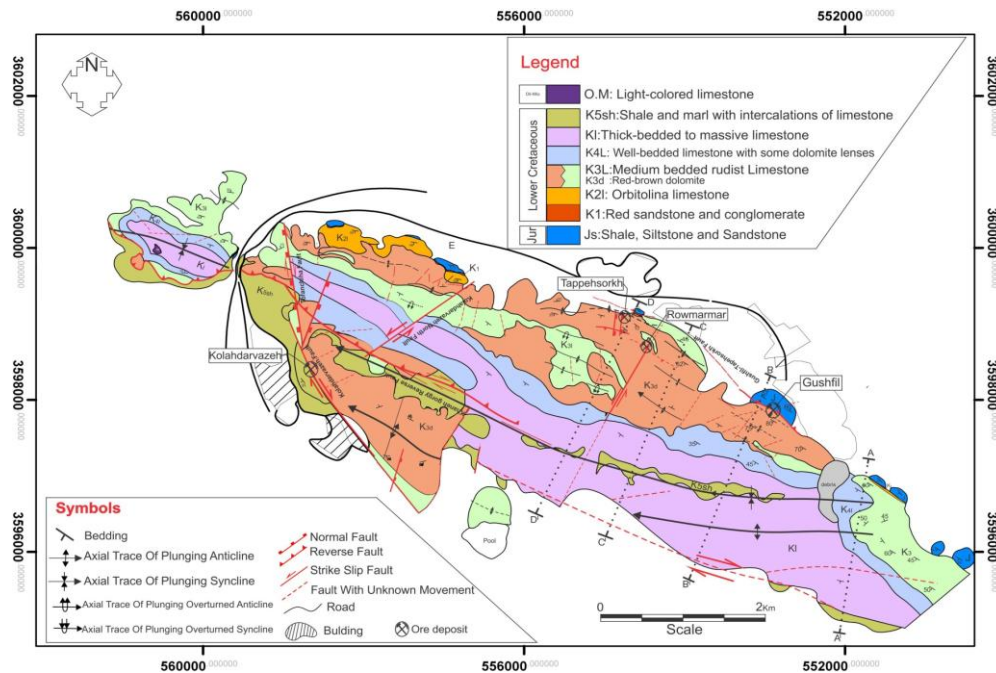
#### ۱. منطقه سنگ‌بری

چنان‌که روی تصویر ماهواره‌ای مشخص است (شکل ۴)، واحدهای شیلی ژوراسیک (J) به رنگ سبز زیتونی دریال شمالی برون‌زد دارند. واحدهای دولومیتی و آهکی کرتاسه را می‌توان به‌آسانی از یک‌دیگر تفکیک کرد. هم‌چنین واحد شیلی (K5sh) در قلّه کوه سبز کم‌رنگ دیده می‌شود. در بعضی از نقاط می‌توان قطعاتی از واحدهای آهکی به‌صورت بلوک‌های ریزشی در یال شمالی و هم‌چنین در یال جنوبی مشاهده کرد. چنان‌که دیده می‌شود طاقدیس و ناودیس میل‌داری که میل آن‌ها به‌سمت باختر است از واحدهای آهکی کرتاسه تشکیل یافته است. در ادامه به هندسه چین‌خوردگی آن‌ها پرداخته می‌شود.

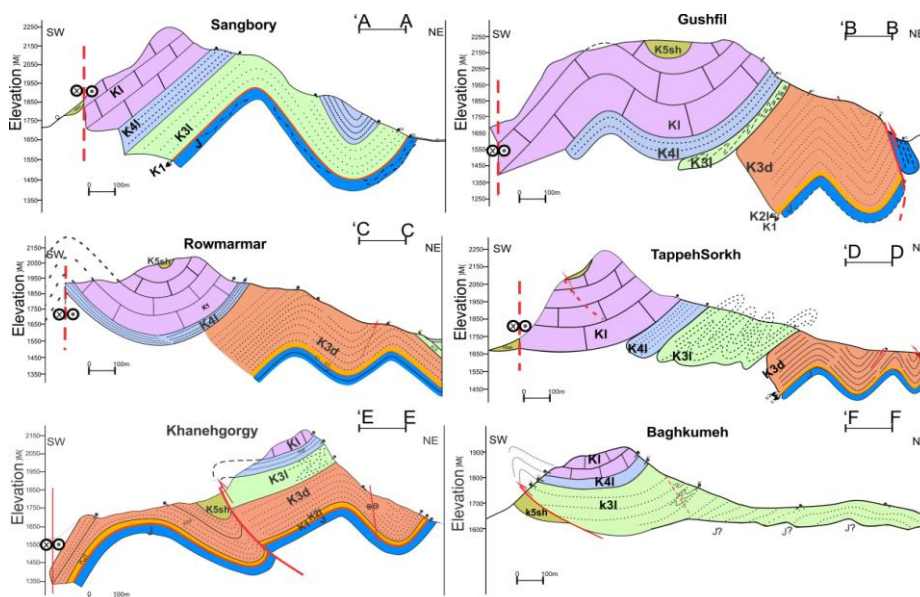
در این منطقه ناودیزی با روند سطح محوری خاوری- باختری و با شیب سطح محوری  $80^\circ$  درجه به‌سمت شمال و با میل  $35^\circ$  درجه به‌سمت باختر تشکیل شده است (شکل ۷ ب). جوان‌ترین واحد در طول محور این ناودیس که به‌سمت یال جنوبی ایرانکوه ادامه دارد، واحدهای شیلی با میان‌لایه‌های آهکی (K5sh) است که روی واحد KI قرار دارد. در این منطقه واحدهای K31 دولومیتی شده‌اند. واحدهای شیلی ژوراسیک (J) به‌صورت رخنمون‌های چند متری در یال این ناودیس برون‌زد دارند که شیب آن‌ها  $50^\circ$  الی  $60^\circ$  درجه به‌سمت جنوب- جنوب باختر است. هم‌چنین طاقدیزی با میل  $23^\circ$  درجه به‌سمت باختر و با مشخصات سطح محوری خاوری- باختری با شیب  $85^\circ$  درجه به‌سمت شمال دیده می‌شود (شکل ۷ الف). یکی از موضوعات مهم در منطقه ایرانکوه، رخنمون واحد شیلی ژوراسیک در یال شمالی است که در بعضی از نقاط رخنمون دارد و در نقاطی هم زیر پوشش آبرفت قرار گرفته است. در حالی‌که در یال جنوبی آثاری از این واحد دیده نمی‌شود. شناخت و جای‌گاه ساختاری این واحد در این منطقه از لحاظ ساختاری و اقتصادی اهمیت به‌سزایی دارد که در توضیح معدن گوشفیل به آن پرداخته شده است. واحدهای شیلی ژوراسیک در هسته طاقدیس در منطقه سنگ‌بری با شیب به‌سمت جنوب جنوب‌باختر رخنمون یافته‌اند که یکی از شواهد اثبات وجود رخنمون این واحد در سمت باختر رشته‌کوه ایرانکوه، در زیر واحدهای کرتاسه است.



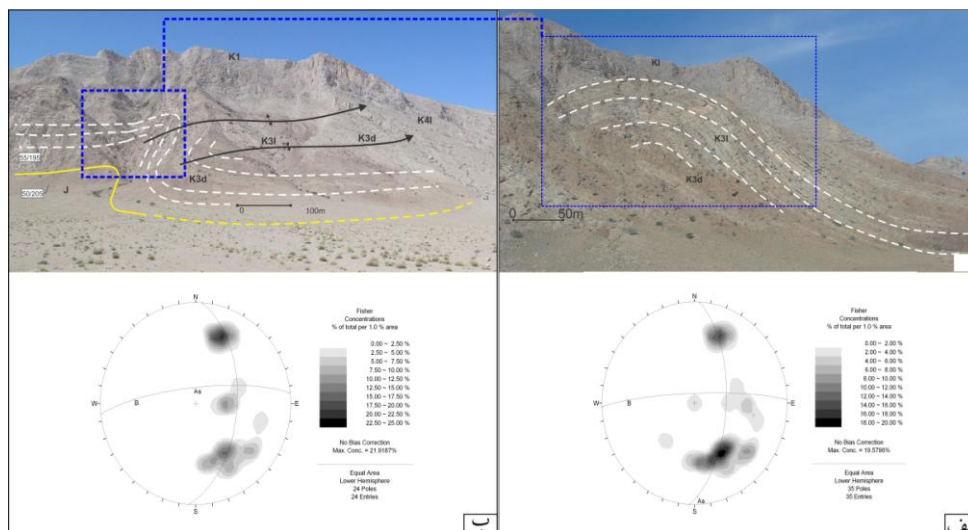
شکل ۴. تصویر ماهواره‌ای از منطقه سنگ‌بری (خاور معدن گوشفیل). واحدهای شیلی ژوراسیک به رنگ سبز زیتونی و واحدهای دولومیتی کرتاسه به رنگ قهوه‌ای در تصویر دیده می‌شود. واحدهای K5sh در بلندای رشته‌کوه ایرانکوه با رنگ سبز کم‌رنگ رخنمون دارند. خطوط خط‌چین زرد رنگ ناپیوستگی بین واحدهای ژوراسیک با کرتاسه و خطوط خط‌چین سفید اثر لایه‌بندی را نشان می‌دهد



شکل ۵. نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی ایرانکوه به همراه موقعیت معادن فعال و برش‌های ساختاری از نقاط مختلف منطقه [۴]، [۱۹]



شکل ۶. برش‌های ساختاری از نقاط مختلف رشته‌کوه ایرانکوه (موقعیت برش‌ها در شکل ۵ مشخص شده‌اند)

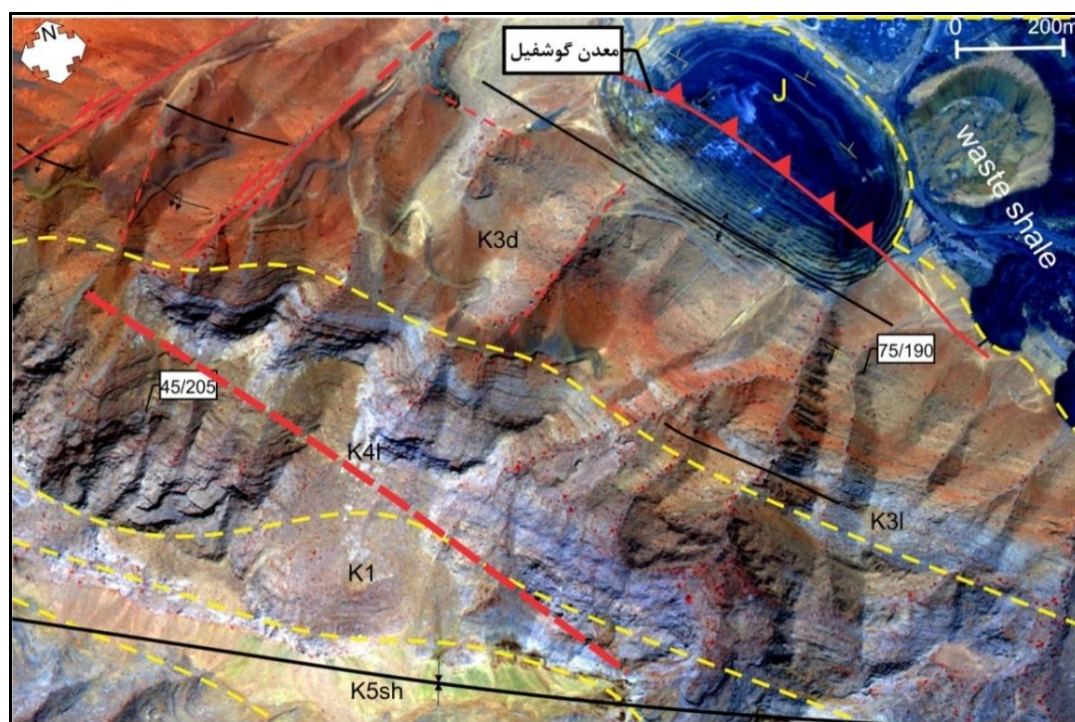


شکل ۷. الف) نمایی از طاق‌دیس منطقه سنگ‌بری در یال شمالی منطقه ایرانکوه (جهت دید باختر) به همراه نمودار  $\pi$  تهیه شده، سطح محوری (AS) و محور طاق‌دیس (B)، ب) نمایی از ناودیس و طاق‌دیس در منطقه سنگ‌بری (سمت خاور معدن گوشفیل) در یال شمالی منطقه ایرانکوه. واحد شیلی (J) در هسته طاق‌دیس و یال شمالی ناودیس با شیب به سمت جنوب جنوب باختر رخمون دارد (جهت دید جنوب باختر)

## ۲. معدن و گسل گوشفیل

معدن گوشفیل در سمت یال شمالی رشته‌کوه ایرانکوه واقع شده است (شکل ۸). استخراج مواد معدنی در این معدن ابتدا به صورت زیرزمینی و سپس روباز ادامه یافته است. امروزه استخراج ماده معدنی به صورت زیرزمینی و در ترازهای حفاری مختلف انجام می‌گیرد. واحد شیلی ژوراسیک (J) در این معدن رخمون بیش‌تری نسبت به دیگر نقاط یال شمالی ایرانکوه دارد. شیب این واحد در این معدن به سمت شمال خاور است که با گسلش معکوس روی واحدهای کرتاسه قرار گرفته است. شیب لایه‌های دولومیتی (K3d) در نزدیک معدن گوشفیل زیاد است به طوری که برخی از

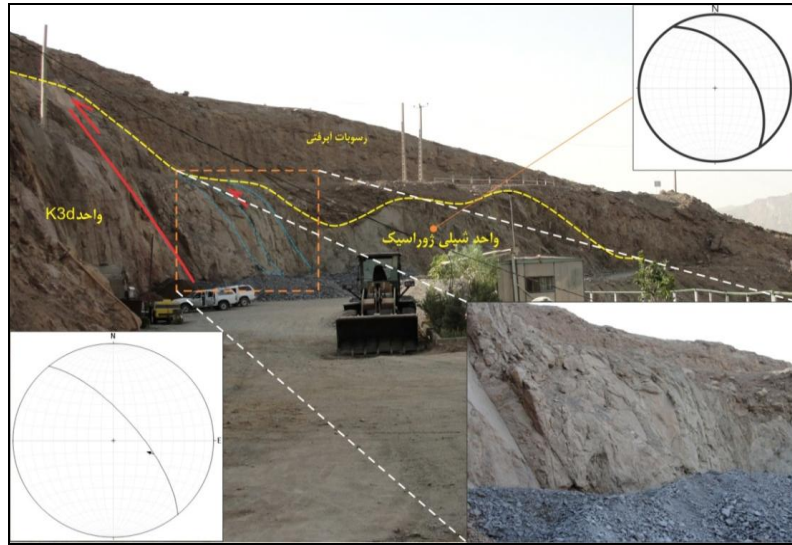
لایه‌ها با شیب‌های نزدیک به  $80^\circ$  درجه به سمت جنوب باختری اندازه‌گیری شده‌اند. به سمت جنوب از شیب واحدها کاسته می‌شود به طوری که شیب واحدهای (K4I) در ارتفاعات این محل  $30^\circ$ – $40^\circ$  درجه است. در این معدن واحد کنگلومرا-ماسه سنگ (K1) رخنمون ندارد. در واحدهای دولومیتی K3d چین‌خوردگی‌هایی در مقیاس کوچک‌تر نیز دیده می‌شود که هم‌روند با چین‌خوردگی اصلی منطقه هستند. در این منطقه، واحد آهکی (K3I) به دلیل نازک لایه بودن و در نتیجه اختلاف مقاومتی که با واحد دولومیتی (K3d) دارد، چین‌خوردگی بیش‌تری دارد.



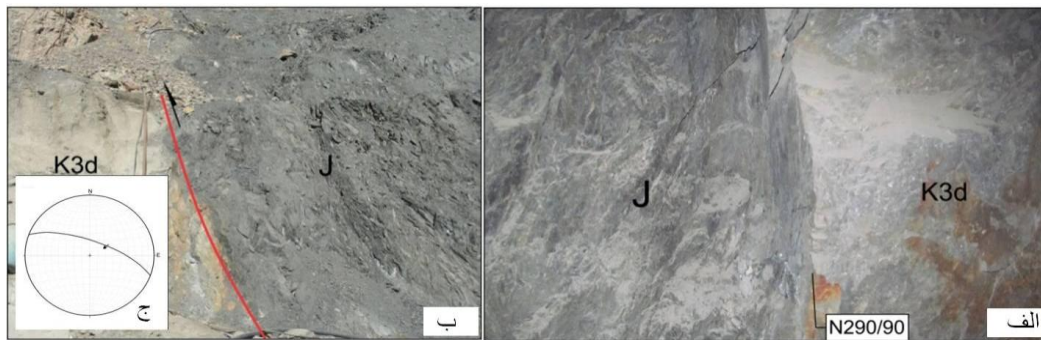
شکل ۸. تصویر ماهواره‌ای از موقعیت معدن گوشفیل و واحد شیلی ژوراسیک (با شیب به سمت شمال‌خاور) که با گسلش معکوس روی واحدهای کرتاسه قرار گرفته است. خطوط خط‌چین زرد رنگ مرز واحدها را نشان می‌دهد

از جمله گسل‌های معکوس منطقه، گسل گوشفیل است که می‌توان آن را گسل معدن گوشفیل نیز نام برد. این گسل واحدهای شیلی ژوراسیک را روی واحدهای کرتاسه رانده است. واحد شیلی با مشخصات لایه‌بندی  $60^\circ/055^\circ$  رخنمون دارند. این گسل پهنه‌ای از شکستگی‌ها است که می‌توان شواهد خردشدگی و گسلی نیز در واحدهای دولومیتی (K3d) مشاهده کرد. روند این گسل  $N60W$  و با شیب  $70^\circ$  درجه به سمت شمال‌خاور است. از جمله شواهد ساختاری که می‌توان به معکوس بودن گسل اشاره کرد شواهد S و C، حالت لنزی شکل از واحدهای دولومیتی و خش‌لغزهای روی صفحات گسلی در واحدهای دولومیتی کرتاسه است (شکل ۹).

با توجه به حفارهای انجام شده در مرز بین واحدهای دولومیتی و شیلی ژوراسیک که به صورت زیرزمینی است، شواهد معکوس بودن این گسل در آخرین تراز حفاری شده که عمق تقریبی ۳۰۰ متر از سطح را دارد، نیز دیده می‌شود (شکل ۹). روند گسل در ترازهای پایینی با مشخصات  $N290^\circ$  و شیب این گسل در ترازهای مختلف متفاوت می‌باشد به طوری که در بعضی از ترازها با شیب  $90^\circ$  درجه دیده می‌شود.



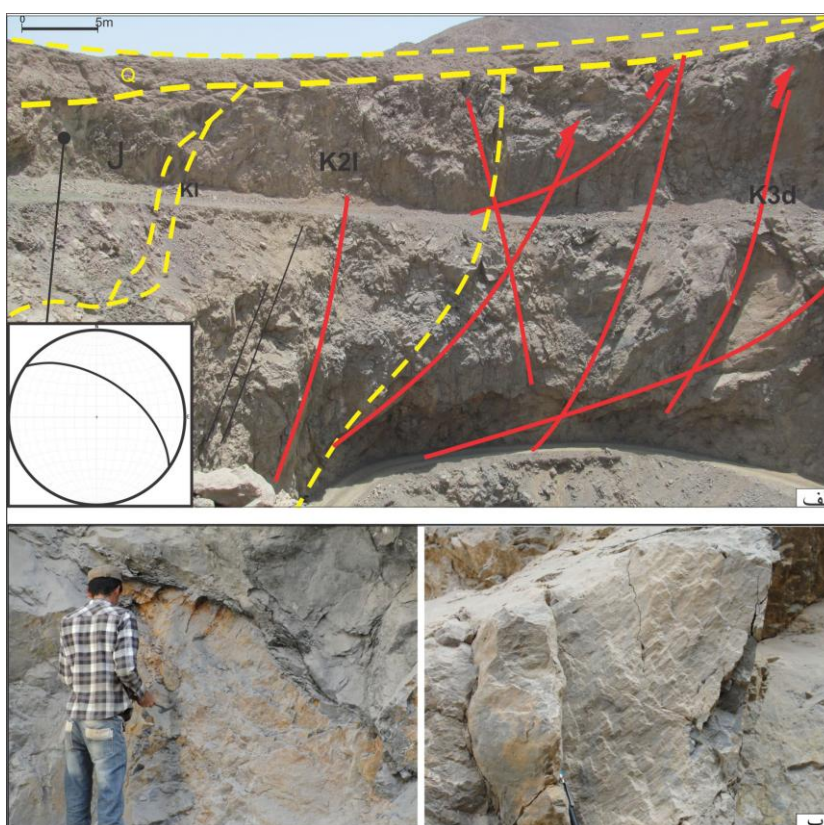
شکل ۹. نمایی از پهنه خردشده و گسلی بین واحد شیلی ژوراسیک و کرتاسه به همراه نمودار استریوگرام گسل و لایه‌های شیلی در معدن گوشفیل. گسل معکوس گوشفیل واحدهای شیلی ژوراسیک را روی واحدهای جوان کرتاسه رانده است (جهت دید به سمت شمال باختر)



شکل ۱۰. الف) صفحه گسل گوشفیل با شیب  $90^\circ$  درجه بین واحد دولومیتی (K3d) با شیل‌های ژوراسیک جهت دید شمال باختر، ب) نمایی از گسلش معکوس در داخل کاواک (Pit) معدن گوشفیل. جهت دید شمال باختر، ج) استریوگرام صفحه گسل

### ۳. معدن و گسل تپه سرخ

در فاصله ۲ کیلومتری باختر معدن گوشفیل محدوده تپه سرخ واقع شده است. این محدوده به دو نقطه مجزا به نام‌های منطقه تپه سرخ ۱ و تپه سرخ ۲، که از یکدیگر ۱۰۰ متر فاصله دارند، تقسیم شده است (شکل ۵). در تپه سرخ ۱ واحد شیلی ژوراسیک (به ضخامت ۸ متر)، واحد کنگلومرا-ماسه سنگی (K1) به ضخامت ۱ متر، واحد آهکی نخودی رنگ (K2I) به ضخامت ۵ متر و هم‌چنین واحدهای دولومیتی (K3d) به ضخامت ۵۰ متر رخمون دارند. واحد کنگلومرا-ماسه سنگی (K1) در طول یال شمالی در بعضی از نقاط رخمون دارد و در بعضی از نقاط مانند محدوده معدن گوشفیل رخمونی از آن دیده نمی‌شود. در محدوده تپه سرخ ۱ واحدهای آهکی-دولومیتی خردشدگی شدید را از خود نشان می‌دهند (شکل ۱۱). در بعضی از نقاط لایه‌های با شیب قائم نیز دیده می‌شوند. همانند محدوده گوشفیل، شواهد گسل معکوس در تپه سرخ ۱ نیز دیده می‌شود که واحدهای شیلی ژوراسیک با شیب به سمت شمال خاور، روی واحدهای جوانتر کرتاسه قرار گرفته‌اند. گسل‌های برداشت شده و هم‌چنین منحنی تراز آماری و دیاگرام گل‌سرخ‌گی گسل‌های اصلی در تپه سرخ ۱ روند غالب گسل‌ها را  $N60W$  نشان می‌دهد (شکل ۱۲).



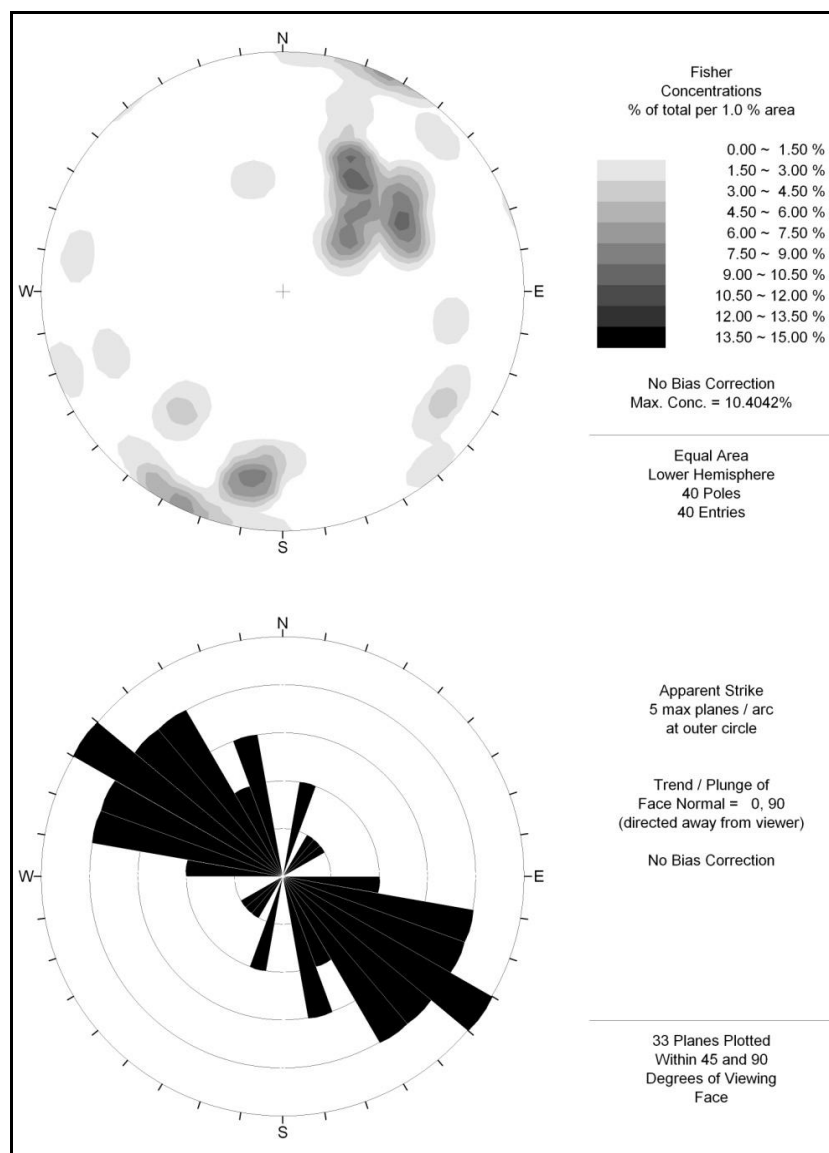
شکل ۱۱. الف) دیواره خاوری معدن تپه سرخ ۱ (جهت دید جنوب خاور). در این محدوده عمده گسل‌ها با شیب به سمت شمال خاور و با حرکت معکوس دیده می‌شوند، ب) پله‌های فیبری از جنس کلسیت و حالت لنزی شکل واحدهای شیلی-آهکی در داخل کاواک تپه سرخ ۱

تفاوت نوع چین‌خوردگی در واحدهای دولومیتی (K3d) در مقایسه با واحدهای آهکی (K3l) در سرتاسر رشته‌کوه ایرانکوه را می‌توان در محدوده تپه سرخ به خوبی دید. واحدهای دولومیتی در این محدوده بیش‌تر از نوع چین‌هایی با زاویه بین‌یالی بسته تا باز را به‌نمایش می‌گذارند (شکل ۱۳ الف). در حالی که واحدهای آهکی (K3l) چین‌هایی برگشته با تمایل به سمت شمال باختری دارند (شکل ۱۳ ب). چنان‌که دیده می‌شود واحدهای آهکی با ضخامت کم‌تر و لایه‌بندی خوب بین واحدهای دولومیتی ضخیم‌لایه است که باعث ریزچین‌خوردگی‌هایی در بین واحدهای ضخیم لایه دولومیتی شده است.

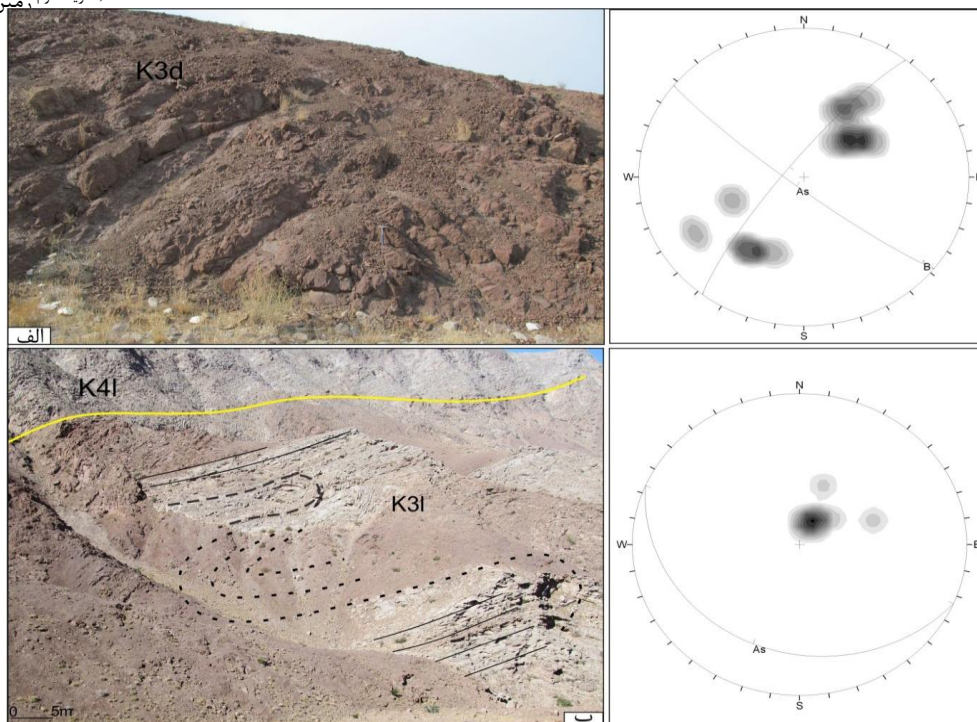
#### ۴. معدن و گسل کلاه دروازه

واحدهای شیلی ژوراسیک در یال جنوبی ایرانکوه رخنمون ندارند. چنان‌که در تصویر ماهواره‌ای دیده می‌شود (شکل ۱۴) واحدهای آهکی در این نقطه نیز دولومیتی شدن را از خود نشان می‌دهند. موقعیت معدن کلاه‌دروازه در بین واحدهای شیلی (K5sh) و دولومیتی (K3d) با گسل امتدادلغز کلاه‌دروازه قرار دارد (شکل ۱۶). به‌طور کلی چین‌خوردگی این منطقه ادامه طاق‌دیسی است که در سمت یال شمالی مشاهده می‌شود. طاق‌دیسی که با مشخصات سطح محوری  $۸۰^{\circ}/۲۰۲^{\circ}$  و با میل  $۲۰^{\circ}$  درجه به سمت شمال باختر رخنمون دارد. در این نقطه واحدهای آهکی-دولومیتی با گسل خانه‌گرگی روی واحد K5sh قرار گرفته است که در بخش گسل‌های منطقه ایرانکوه به آن پرداخته

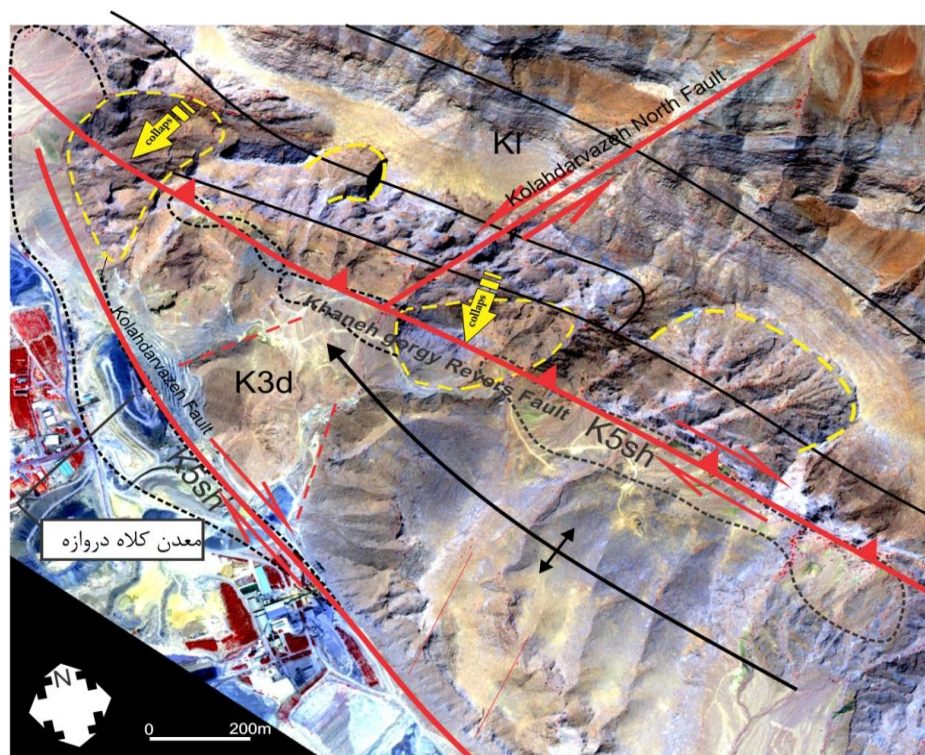
شده است. واحد K5sh در نزدیکی این گسل دچار چین خوردگی‌هایی شده است که سطح محوری آن‌ها هم‌رند با سطح محوری چین خوردگی طاق‌دیس است (شکل ۱۵ ج). در بعضی از نقاط به صورت پراکنده ریزش‌هایی از واحدهای آهکی روی واحدهای شیلی (K5sh) دیده می‌شود که می‌توان آن را در تصاویر ماهواره‌ای مشاهده کرد (شکل ۱۴).



شکل ۱۲. منحنی تراز آماری و دیاگرام گل سرخی گسل‌های محدوده تپه سرخ ۱ روند غالب N60W است



شکل ۱۳. نمایشی از چین‌خوردگی‌های محدوده تپه‌سرخ به همراه نمودارهای  $\pi$ ، الف) طاقدیس باختر معدن تپه‌سرخ ۲ (جهت دید باختر)، ب) چین‌های برگشته از واحد آهکی K3l سمت بالای تپه‌سرخ ۲ (جهت دید شمال باختر)



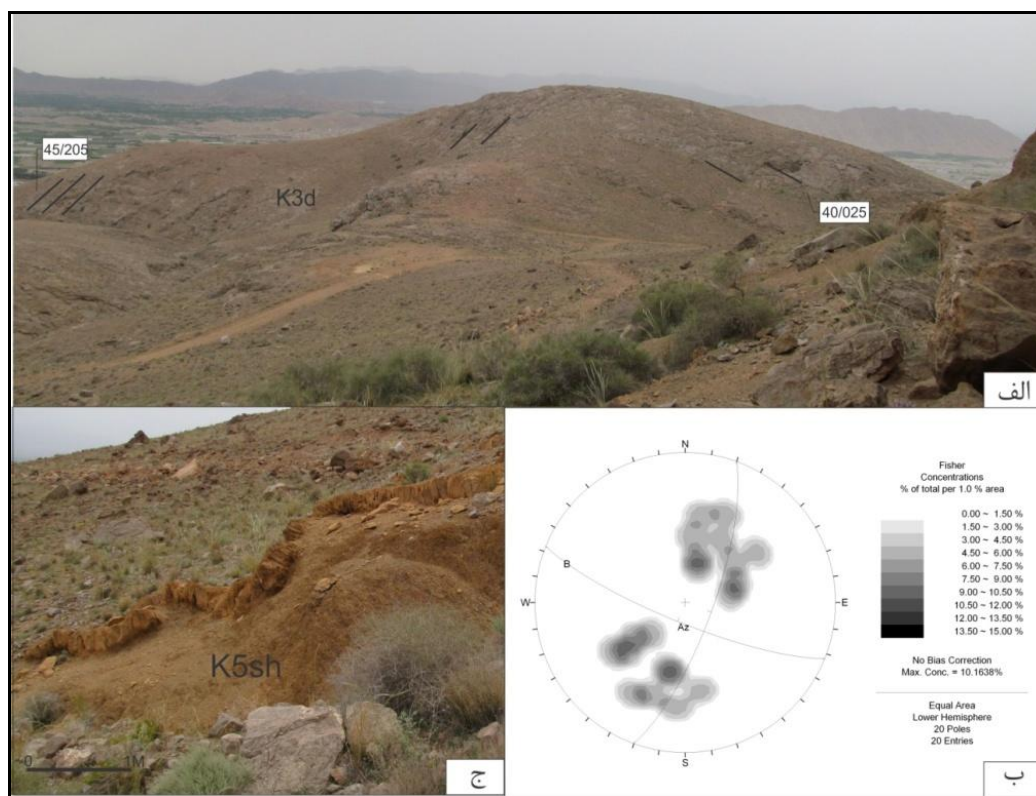
شکل ۱۴. تصویر ماهواره‌ای از موقعیت طاقدیس جنوب ایرانکوه و معدن کلاه‌دروازه به همراه گسل‌های خانه‌گرگی و کلاه‌دروازه

یکی از گسل‌های مهم منطقه ایرانکوه در سمت جنوب ایرانکوه، گسل کلاه‌دروازه طول تقریبی این گسل ۸ کیلومتر است که در بین واحد دولومیتی (K3d) با واحد شیلی (K5sh) قرار دارد [۶]. با توجه به تصاویر ماهواره‌ای، این گسل

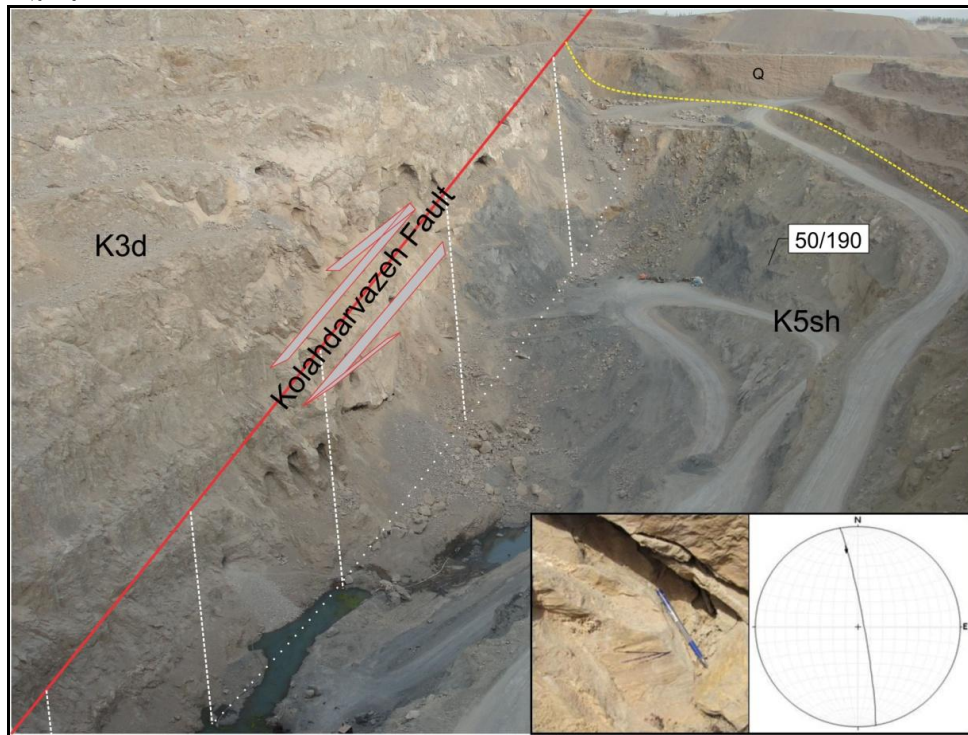
در یال جنوبی طاقدیس میل‌دار جنوب ایرانکوه دیده می‌شود (شکل ۱۶). شواهد سطح گسل نشان‌دهنده گسلی با مشخصات  $۸۵^{\circ}/۰۸^{\circ}$  و با ریک  $۲۰^{\circ}$  درجه به سمت شمال است.

### ۵. گسل معکوس خانه‌گرگی

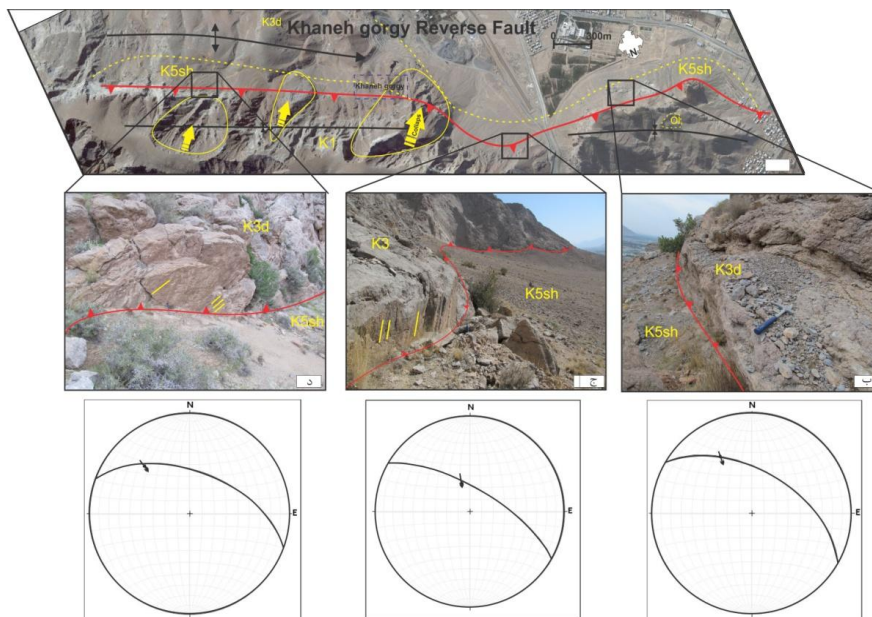
منطقه خانه‌گرگی در سمت جنوب ایرانکوه و در شمال معدن کلاه‌دروازه به صورت معدن متروکه واقع شده است. در سمت جنوب و جنوب باختر منطقه ایرانکوه واحدهای آهکی-دولومیتی با گسلش معکوس با مؤلفه امتدادلغز راست‌گرد روی واحد شیلی (K5sh) قرار گرفته‌اند. در شکل ۱۷ ب صفحه گسلی با موقعیت  $۵۵^{\circ}/۰۲۰^{\circ}$  در سمت باغکومه مشاهده می‌شود که واحدهای آهکی-دولومیتی کرتاسه روی واحدهای شیلی (K5sh) قرار گرفته‌اند. در شکل ۱۷ ج موقعیت صفحه گسلی با مشخصات  $۷۰^{\circ}/۰۳۰^{\circ}$  به همراه خش‌لغزهای روی آن و با ریک  $۷۰^{\circ}$  درجه به سمت شمال باختر و شکل ۱۷ د موقعیت گسلش معکوس در سمت خاور خانه‌گرگی با موقعیت  $۵۵^{\circ}/۰۲۰^{\circ}$  و با ریک  $۴۰^{\circ}$  درجه به سمت شمال باختر مشاهده می‌شود.



شکل ۱۵. الف) نمایی از طاقدیس جنوب ایرانکوه، ب) نمودار  $\pi$  طاقدیس میل‌دار (جهت دید باختر)، ج) ریزچین‌های واحد K5sh



شکل ۱۶. نمایی از معدن کلاه‌دروازه به همراه صفحه گسل کلاه دروازه و استریوگرام گسل (جهت دید جنوب خاور)



شکل ۱۷. الف) تصویر ماهواره‌ای (برگرفته از Google Earth) از گسل معکوس خانه‌گرگی، ب) موقعیت صفحه گسلی در باغکومه به همراه استریوگرام گسل (جهت دید باختر)، ج) موقعیت صفحه گسلی به همراه خش لغز در باختر خانه‌گرگی (جهت دید خاور)، د) موقعیت صفحه گسلی به همراه خش لغز در خاور خانه‌گرگی (جهت دید خاور) تصاویر استریوگرافیک موقعیت صفحه گسلی را در هر مورد نشان می‌دهد

### بحث و نتیجه‌گیری

روند کلی لایه‌بندی و چین خوردگی در منطقه ایرانکوه باخترشمال-باختر-خاور جنوب خاور است. چین خوردگی اصلی منطقه ایرانکوه به صورت ناودیس و طاق‌دیس میل‌دار است که از منطقه سنگ‌بری شروع شده و ادامه آن را می‌توان در یال جنوبی رشته‌کوه در سمت معدن کلاه‌دروازه مشاهده کرد. دو عامل ضخامت و ویسکوزیته لایه‌ها در زمان چین خوردگی باعث شده که نوع چین خوردگی در واحدهای سنگی متفاوت باشد [۲۱]. وجود ضخامت‌های متفاوتی از واحدها و همچنین اختلاف مقاومتی که در بین واحدهای کرتاسه وجود دارد، باعث شده است که در منطقه ایرانکوه، سبک چین خوردگی متفاوتی در بعضی از واحدها مانند واحد K31 مشاهده شود. به‌طور کلی می‌توان چین خوردگی‌های این منطقه را با توجه به رده‌بندی زوایای بین‌یالی [۲۲]، از نوع چین‌های بسته تا باز و با سطح محوری تقریباً قائم و با تمایل کمی به سمت جنوب باختر معرفی کرد. در یال شمالی رشته‌کوه، چین خوردگی‌هایی در مقیاس کوچک‌تر در واحدهای دولومیتی K3d و K31 دیده می‌شود. با توجه به این که واحدهای K31 از نظر ضخامت و همچنین لایه‌بندی نسبت به واحدهای دولومیتی K3d متفاوتند، این موضوع باعث چین خوردگی بیش‌تر واحدهای آهکی K31 (بیش‌تر از نوع چین‌های برگشته و با تمایل به سمت شمال خاوری) در یال شمالی شده است. این چین‌ها را می‌توان در مقیاس بزرگ‌تر به‌عنوان چین‌های فرعی نوع Z برای ناودیس به‌شمار آورد.

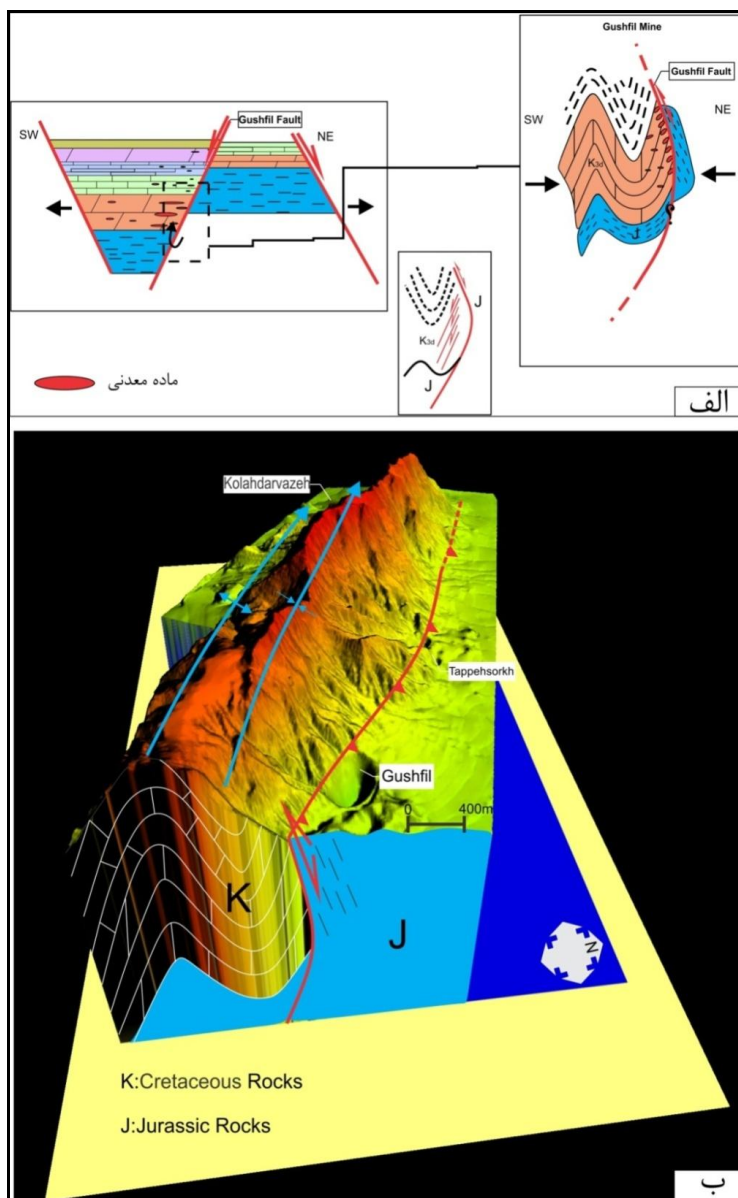
به‌طور کلی دو روند عمومی شمال‌باختر- جنوب‌خاور و شمال‌خاور- جنوب‌باختر را می‌توان برای گسل‌های منطقه ایرانکوه در نظر گرفت. گسل‌هایی با روند شمال باختر- جنوب‌خاور از لحاظ کانه‌زایی اهمیت به‌سزایی دارند که گسل گوشفیل-تپه‌سرخ و گسل کلاه‌دروازه از جمله گسل‌های اصلی با روند شمال‌باختر- جنوب‌خاور منطقه ایرانکوه هستند که کانه‌زایی سرب و روی را کنترل می‌کنند. گسل گوشفیل-تپه‌سرخ کنترل‌کننده کانه‌زایی بین واحدهای شیلی ژوراسیک با واحدهای کرتاسه زیرین در سمت یال شمالی رشته‌کوه ایرانکوه است. این گسل در معدن گوشفیل با روند N۶۰W و با شیب ۷۵° تا ۸۰° درجه به سمت شمال خاور و در ترازهای مختلف تونل‌های گوشفیل با سازوکار معکوس با کمی مؤلفه امتداد لغز دیده می‌شود. شیب این گسل در عمق‌های بیش‌تر حفاری شده به شیب قائم نیز نزدیک می‌شود. در فاصله ۲ کیلومتری از معدن گوشفیل شواهد پهنه‌ای از گسلش معکوس در تپه‌سرخ ۱ دیده می‌شود که هم‌روند با گسل گوشفیل است. واحدهای شیلی-ماسه‌سنگی ژوراسیک بین دو محدوده گوشفیل و تپه‌سرخ رخنمون ندارند. ادامه این گسل (با توجه به حفر ترانشه) در سمت خاور معدن گوشفیل به فاصله ۲۵۰ متری از دیواره خاوری معدن دیده می‌شود. در سمت سنگ‌بری شواهدی از این گسل مشاهده نمی‌شود. یکی دیگر از شواهد گسلش بین معادن گوشفیل و تپه‌سرخ، بررسی مغزه‌های حفاری قدیمی [۲۳] انجام شده این دو معدن است. با توجه به حفاری‌هایی که به صورت زاویه‌دار و به سمت جنوب- جنوب‌باختر صورت گرفته، ابتدا واحدهای آبرفتی و سپس واحدهای شیلی و در انتها واحدهای دولومیتی مشاهده شده است. گسل کلاه‌دروازه نیز در مرز بین واحد K3d و واحد شیلی K5sh وجود دارد که این گسل جنوب منطقه ایرانکوه کانه‌زایی را کنترل می‌کند.

یکی از ویژگی‌های گسل گوشفیل تغییر شیب این گسل از سطح به عمق است. چنان‌که در بخش‌های قبل بیان شد، شیب این گسل در سطح زمین ۷۵° درجه به سمت شمال خاور است. با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده در ترازهای تونل‌های گوشفیل، شیب این گسل تغییر کرده و در برخی از ترازها شیب به ۹۰° درجه نیز می‌رسد.

ارائه مدل کانه‌زایی مستلزم در نظر گرفتن مواردی مانند عوامل ساختاری (گسل‌ها)، جنس سنگ میزبان، بافت و ساخت و نوع رخساره‌های سولفیدی است. بنابه دلایل ساختاری زیر می‌توان این گسل را گسل مرز حوضه ته نشست کرتاسه دانست و رسوبات با سن کرتاسه در رشته کوه ایرانکوه را محصول رسوب‌گذاری در یک گرابن در ارتباط با حوضه به‌وجود آمده در تکتونیک کششی در نظر گرفت. شیب  $75^{\circ}$  در سطح و  $90^{\circ}$  در عمق برای گسل‌های معکوس غیرعادی به‌نظر می‌رسد. هم‌چنین به‌نظر می‌رسد در اعماق پایین شیب این گسل به‌سمت جنوب‌باختر تغییر یابد. چین‌خوردگی در منطقه بیش‌تر به‌صورت چین‌هایی با سطح محوری تقریباً قائم است و گسل معکوس نمی‌تواند در این منطقه در ارتباط با چین‌خوردگی به‌وجود آمده باشد. هم‌چنین راستاد (۱۹۸۱)، رجبی و همکاران (۲۰۱۲)، بویری کناری (۱۳۹۴) تحقیقاتی روی بافت و ساخت رسوبی و هم‌چنین ژنز معادن گوشفیل، تپه سرخ و کلاه‌دروازه انجام داده‌اند. با توجه به پژوهش‌های بویری‌کناری (۱۳۹۴)، دولومیت، سیلتستون و کریستال لیتیک توف، سنگ‌های میزبان کانه‌زایی در کانسار تپه‌سرخ هستند. در کانسارهای نوع ایریش گسل هم‌زمان با رسوب‌گذاری یکی از عوامل اصلی کنترل‌کننده کانه‌زایی است و کربنات‌ها، میزبان اصلی کانه‌زایی هستند. بافت جانیشینی و برشی، اصلی‌ترین بافت مشاهده شده در این ذخایر است و دگرسانی دولومیتی و به مقدار کم‌تر سیلیسی، از دگرسانی‌های اصلی این نوع ذخایر هستند [۲۵] و [۲۶]. کانسار تپه‌سرخ دارای همه ویژگی‌های تیپیک ذخایر نوع ایریش است و تفاوت اصلی آن با ذخایر تیپ ایریش در حضور میزبان سیلتستونی در این کانسار است. کانه‌زایی در ذخایر تیپ سدکس عمدتاً در مجاورت گسل هم‌زمان با رسوب‌گذاری رخ داده و سیلتستون، سنگ میزبان اصلی کانه‌زایی در این نوع ذخایر است [۳]، [۲۷]. ذخایر تیپ ایریش، زیرمجموعه‌ای از ذخایر تیپ سدکس هستند که در آن‌ها کانه‌زایی سولفیدی در سنگ‌های کربناته به‌وقوع پیوسته است [۲۷]. با توجه به شباهت بسیار زیاد ویژگی‌های زمین‌شناسی کانسار تپه‌سرخ با ویژگی‌های شاخص کانسارهای سرب و روی با میزبان آواری و کربناته در جهان، می‌توان نوع کانه‌زایی در کانسار تپه‌سرخ را از نوع سدکس در نظر گرفت. با توجه به مطالب گفته شده، این تیپ از معادن تحت کنترل گسل‌های نرمال هم‌زمان با رسوب‌گذاری هستند. زمان فعالیت گسل‌های هم‌زمان با رسوب‌گذاری کرتاسه زیرین است. در شکل ۱۸، مدل پیشنهادی تشکیل حوضه ایرانکوه و گسل گوشفیل به‌همراه مدل ارتفاعی رقمی رسم شده است.

### سپاس‌گزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه تربیت‌مدرس به‌دلیل فراهم آوردن امکانات برداشت صحرایی این پژوهش قدرانی می‌شود. از مسئولان محترم معدن باما در فراهم ساختن امکانات اسکان و نیز از آقای مهندس اسمعیلی برای در اختیار گذاشتن اطلاعات مورد نیاز و هم‌چنین مساعدت‌های فنی و تدارکاتی، صمیمانه سپاس‌گزاری می‌شود.



شکل ۱۸. الف) مدل تشکیل حوضه ایرانکوه و گسل گوشفیل، ب) مدل ارتفاعی رقومی و ساختار کلی از منطقه ایرانکوه

### منابع

1. Momenzadeh M., "Stratabound lead-zinc ores in the lower Cretaceous and Jurassic sediments in the Malayar-Isfahan district (west central Iran)" Diss., Univ., Heidelberg (1976).
2. Stocklin J., "Structural history and tectonics of Iran; a review", American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52 (1968) 1229-1258.
3. Leach D.L., Bradley D.C., Huston D., Pisarevsky S.A., Taylor R.D., Gardoll S.J., "Sediment-Hosted Lead-Zinc Deposits in Earth History", Econ. Geol., v. 105 (2010) 593-625.

4. Rastad E., "Geological, mineralogical and ore facies investigations on the lower cretaceous strataband Zn, Pb, (Ba, Cu) deposits on the Inrankuh mountain range", Isfahan west Central Iran, Ph.D. Thesis (1981).
5. Rajabi A., Rastad E., Canet C., "Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn-Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration", International Geology Review (2012).
6. Bazargani-Guilani K., Faramarzi M., Nekouvaght Tak M.A., "Multistage dolomitization in the cretaceous carbonates of the east Shahmirzad area, north Semnan, central Alborz, Iran", Carbonates Evaporites, v. 25 (2010) 177-191.
7. Bazargani-Guilani K., Faramarzi M., Nekouvaght Tak M.A., "Pb-Zn deposits in Cretaceous carbonate host rocks, northeast Shahmirzad, central Alborz, Iran", Aust. J. Earth Sci, v. 58 (2011) 297-307.
۸. قربانی منصور، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۱).
۹. مهدوی امیر، رحیمی بهنام، کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته در محور ملایر- اصفهان و ارتباط آن‌ها با ساختارهای گسلی- کاربرد روش آنالیز فرای، نخستین همایش زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۹).
۱۰. ابراهیمی محمدحسن، آفتابی علیجان، محمدنیایی رامین، ویژگی‌های ساختی، بافتی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی و الگوی تشکیل کانسار انگوران در مثلث کانسارهای نوع متصاعدی-رسوبی (Sedex)، سولفید توده‌ای (VMS) و دره می‌سی‌سی‌پی (MVT). فصلنامه پترولوژی، سال اول، شماره سوم، دانشگاه اصفهان (۱۳۸۹).
۱۱. محمدنیایی رامین، خاستگاه نهشته‌های ناسولفیده روی در معادن سرب و روی ایران و کاربردهای اکتشافی آن، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین (۱۳۸۶).
۱۲. ناکینی علی، محجل محمد، راستاد ابراهیم، بویری‌کناری، مینا، روند کانه‌زایی سرب و روی در منطقه ایرانکوه و ارتباط آن با روندهای ساختاری- کاربرد روش آنالیز فرای. هفدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و اولین نشست تخصصی بین‌المللی کوهزاد زاگرس، دانشگاه شهید بهشتی، تهران (۱۳۹۲).
۱۳. قاسمی محمود، مومن‌زاده مرتضی، یعقوب‌پور عبدالمجید، میرشکرایی امیرعباس، بررسی کانی‌شناسی کانسار روی-سرب مهدی‌آباد یزد- ایران مرکزی، فصل‌نامه علوم زمین، پاییز ۸۸، سال نوزدهم، شماره ۷۳ (۱۳۸۶) ۸۹-۹۸.
۱۴. ناکینی علی، محجل محمد، یارمحمدی علی، الگوی چین‌خوردگی و نقش آن در جای‌گاه ماده معدنی در معادن انجیره-وجین تیران، باختر اصفهان. مجله علوم زمین، سال ۲۴، شماره ۹۵ (۱۳۹۴) ۲۳۱-۲۴۲.
15. Ghazban F., McNuTr R.H., "Genesis of Sediment-Hosted Zn-Pb-Ba Deposits in the Irankuh District, Esfahan Area, West-Central Iran", Economic Geology, Vol. 89 (1994) 1262-1278.
16. Seyed-Emami K., Brhts A., Bozorgnia F., "Stratigraphy of the cretaceous rocks south east of Esfahan", geology survey of iran. rep. No20 (1971) 5-27.

17. Zahedi M., "Geological Map of Esfahan", Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (1976) Scale 1:250,000.
18. KHosrow Tehrani K., "Stratigraphie du cretace superieur et du Paleocene de la partie mediane de Iran (region comprise entre Esfahan-Djandagh et Yazd) ", C.R. Sc.Geol. FR., NO.4 (1977) 239-241.
19. Berberian M., King G.C.P., :Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran", Canadian Journal of Earth Science, v. 18 (1981) 210-265.
۲۰. ناکینی علی، تحلیل ساختاری مناطق ایرانکوه و تیران، جنوب و غرب اصفهان، پایان نامه زمین شناسی، کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۹۲).
21. Ramsay J.G., Huber M.I., "The Techniques of Modern Structural Geology", Strain Analysis, Academic Press London, v. 1(1983).
22. Fleuty M.J., "The description of folds. Proceedings of the Geologists Association", v. 75 (1964) 461-492.
۲۳. استادان رسول، مطالعه مغزه‌های حفاری تهیه شده معادن گوشفیل- تپه سرخ با مقیاس ۱:۵۰۰ (۱۳۷۰).
۲۴. بویری کناری مینا، راستاد ابراهیم، مجمل محمد، ناکینی علی، حق دوست معصومه، ساخت و بافت، کانی شناسی و نحوه تشکیل رخساره‌های سولفیدی در کانسار روی- سرب (نقره) تپه سرخ با سنگ میزبان آواری-کربناتی، جنوب اصفهان. فصلنامه علوم زمین، سال ۲۴، شماره ۹۶ (۱۳۹۴).
25. Wilkinson J.J., "Sediment-hosted zinc-lead mineralization: processes and perspectives", Treatise on Geochemistry 2nd edition (2014) 219-249.
26. Cook N.J., Ciobanu C.L., Pring A., Skinner W., Shimizue M., Danyushevsky L., Saini-Eidukat B., Melcher F., "Trace and minor elements in sphalerite: A LA-ICPMS study", Geochim, Cosmochim. Acta, v. 73 (2009) 4761-4791.
27. Goodfellow W.D., Lydon J.W., "Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits. In Goodfellow W.D., (ed.), Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods", Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, v. 5 (2007) 163-183.