

الگوی چین خوردگی و نقش آن در جایگاه ماده معدنی در معادن انجیره- و جین، تیران، باختر اصفهان

علی ناکینی^۱، محمد محجل^۲ و علی یارمحمدی^۳

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

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

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۶/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۲۲

چکیده

معادن انجیره- و جین تیران در ۶۰ کیلومتری باختر اصفهان واقع شده‌اند. واحدهای سنگی در این معادن، سن کرتاسه پایینی (بارمین بالایی- آلبین) دارند. این سنگ‌ها در سه معدن با فاصله کم از هم به صورت تاقدیس با روند شمال باختر- جنوب خاور به نام‌های وجین پایین، وجین بالا و انجیره- چکاب قرار دارند که میل محور آنها به سوی جنوب خاور است. چین خوردگی واحدهای سنگی در هر سه معدن از الگوی یکسانی پیروی می‌کند که این امر ارتباط ساختاری سه معدن را به خوبی نشان می‌دهد. در بخش جنوب باختر هر سه معدن، تاقدیس‌های فرادیواره‌ای تشکیل شده‌اند که واحدهای کهن تر در آن پروزد یافته‌اند. در ترانسه‌های انجیره و چکاب که در موقعیت یال برگشته تاقدیس ایجاد شده است واحدهای کهن رخنمون دارند. در ترانسه وجین بالا، شیب لایه‌ها در یال جنوبی زیاد و در برخی از نقاط برگشته است. برداشت ساختاری از این سه معدن روشن ساخت که الگوی چین خوردگی در هر سه معدن از مدل (Break thrust fold) پیروی می‌کند. به طوری که همه آنها در ساختمان تاقدیسی با یال جنوبی با شیب زیاد یا برگشته قرار دارند. این تاقدیس با محوری با میل 15° به سوی $N150^{\circ}$ است. با توجه به چگونگی چین خوردگی در این مدل، با پیشرفت چین خوردگی گسل وارون در یال برگشته به وجود می‌آید که در این منطقه در سوی جنوب باختر هر سه معدن، این موضوع مشاهده می‌شود. این سه معدن توسط گسل‌های خاوری- باختری از یکدیگر جدا شده و از همدیگر فاصله پیدا کرده‌اند. در این مطالعه افزون بر ارائه الگوی چین خوردگی، ارتباط گسل‌ها و شکستگی‌های موجود در هر سه معدن با استفاده از داده‌های صحرایی و ماهواره‌ای بررسی و برای هر سه معدن معرفی شده است. روند چیره شکستگی‌ها شمال باختر- جنوب خاور موازی صفحه محوری چین‌هاست و امتداد آنها با روند چین خوردگی در منطقه همخوانی دارد. مطالعه ساختاری در این سه معدن مشخص ساخت که ماده معدنی در سه موقعیت: (۱) موازی لایه‌بندی در موقعیت چینه‌شناسی اولیه، (۲) تمرکز در امتداد گسل وارون در یال برگشته تاقدیس و (۳) تمرکز در سامانه گسستگی در منطقه قرار دارد.

کلیدواژه‌ها: تاقدیس میل‌دار برگشته، گسل وارون، تیران، اصفهان.

*نویسنده مسئول: محمد محجل

E-mail: Mohajjel@modares.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

منطقه مورد مطالعه در ۶۰ کیلومتری باختر اصفهان و در سوی شمال باختری شهر تیران جای دارد و از دید تقسیم‌بندی زمین‌ساختی، در پهنه سنندج- سیرجان قرار گرفته است (Stocklin, 1968) (شکل ۱). در این منطقه نشانه‌های معدنی سرب و روی به صورت پراکنده دیده می‌شوند که جزیی از کمربند فلززایی سرب و روی ملایر- اصفهان (Momenzadeh, 1976) معرفی شده‌اند. بیشتر معادن سرب و روی با میزبان سنگ کربناتی در کشور در ارتباط با ساختارهای زمین‌شناسی (مانند چین خوردگی و گسل‌ها) هستند (قربانی، ۱۳۸۱؛ مهدوی و رحیمی، ۱۳۸۹؛ ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۹؛ محمدی نیایی، ۱۳۸۶؛ ناکینی و همکاران، ۱۳۹۲ الف و ب؛ Ghazban et al., 1994). تحلیل و شناخت ساختار می‌تواند راهنمای بسیار مناسبی در اکتشافات این گونه معادن باشد. معادن منطقه تیران یکی از مهم‌ترین معادن سرب و روی در کمربند سرب و روی ملایر- اصفهان به شمار می‌رود (Momenzadeh, 1976). در این منطقه نشانه‌های معدنی متروکه (معدن خانه سورمه، کپه مطلی، سفید خال) در شمال منطقه تیران نیز دیده می‌شود که با مشخص شدن ساختار این منطقه و شناخت الگوی چین خوردگی و سازوکار گسل‌ها می‌توان برای اکتشافات و استخراج آنها نیز برنامه‌ریزی کرد. معادن انجیره- و جین (انجیره- چکاب، وجین بالا و وجین پایین) از دید الگوی چین خوردگی و سازوکار گسل‌ها و همچنین واحدهای چینه‌شناسی، با یکدیگر در ارتباط هستند. این معادن از جمله معادن فعال سرب و روی منطقه تیران به شمار می‌روند. بیشتر مطالعات صورت گرفته در این معادن بررسی نوع کانه‌زایی، کانی‌شناسی و ژنز کانسار بوده است (ادراکی، ۱۳۷۱؛ طاهریان، ۱۳۷۲). به جز نقشه‌های معدنی (Taraz, 1968)

مطالعه زمین‌شناسی ساختاری در این معادن تاکنون صورت نگرفته است. شواهد پهنه گسلش راست‌گرد در این منطقه، وجود چرخش بلوک‌های سنگی را نشان می‌دهد که از مدل چرخش بلوک‌ها (Rotated tectonic blocks) و مدل دسته کارت (card-deck model) پیروی می‌کند. سامانه گسلش راست‌الغز و چرخش بلوک‌ها در بخش‌های میانی پهنه سنندج- سیرجان معرفی شده است (Nadimi & Konon, 2012). هدف از این پژوهش معرفی الگوی چین خوردگی، سازوکار گسل‌ها و هندسه درزه‌ها و ارتباط آنها با چین خوردگی و جایگاه ماده معدنی در این سه معدن (انجیره- چکاب، وجین بالا و وجین پایین) است که می‌تواند برای اکتشاف و مدل‌سازی ماده معدنی مشابه در منطقه راهنمای مناسبی باشد.

۲- چینه‌شناسی

واحدهای سنگی رخنمون یافته منطقه تیران به نام‌های k3 تا k5 به سن کرتاسه پایین (بارمین بالایی- آلبین) معرفی شده‌اند. واحد K3 از آهک ستبرلا به خاکستری‌رنگ همراه با سنگواره آمونیت شناخته می‌شود. واحد k4 تناوبی از آهک و شیل با ستبراهای متفاوت همراه با سنگواره اریپتولین است. واحد k5 شبیه به واحد k4 است که با توجه به ستبرای کمتر آهک و همچنین دارا بودن سنگواره آمونیت این واحد را از واحد k5 جدا می‌کند (Zahedi, 1975؛ شکل ۱).

واحدهای چینه‌شناسی سه معدن انجیره- چکاب، وجین بالا و وجین پایین به ۵ واحد تقسیم شده است (Taraz, 1968). کامل‌ترین توالی چینه‌شناسی را می‌توان در معدن انجیره- چکاب دید که عبارتند از: واحد K1 شامل لایه‌های دو تا سه متری از

۲-۳. معدن وجین بالا

در معدن وجین بالا واحدهای K1 رخنمون دارد. در بخش‌های شمالی و جنوبی واحدهای K2 و K3 نیز رخنمون یافته‌اند (شکل ۶-الف). مهم‌ترین ساختار در این معدن، چین‌هایی است که در واحد K1 دیده می‌شوند. ویژگی ساختاری این معدن بسیار شبیه به معدن انجیره-چکاب است. واحد K1 در بخش جنوبی با شیب زیاد و درون ترانشه‌ها به‌صورت برگشته و در سوی یال شمالی با شیب کم دیده می‌شود. در سوی جنوب این معدن تاقدیس فرادواره‌ای میل‌دار از واحد K1 قرار دارد (شکل ۶-ب). در ترانشه وجین بالا همانند ترانشه‌های انجیره و چکاب مرز میان واحد K1 و K2 خرد شده و سیلیسی است. نشانه‌هایی در ترانشه وجود دارند که به حرکت وارون واحدهای K1 روی واحدهای جوان‌تر اشاره دارند مانند ساختار عدسی شکل واحدهای آهکی-شیلی. در سوی شمال باختری این معدن واحد K3 توسط گسل خاوری-باختری با شیب 60° در کنار واحدهای K1 قرار گرفته است که این موضوع در شمال باختری معدن انجیره-چکاب نیز به خوبی دیده می‌شود. همچنین در سوی شمال خاوری نیز واحد K3 توسط گسل عادی در کنار واحد K1 قرار گرفته است. شکل ۸ برش زمین‌شناسی BB' از معدن وجین بالا را نشان می‌دهد.

۳-۳. معدن وجین پایین

معدن وجین پایین نیز همانند دو معدن بررسی شده، از دید واحدهای سنگی و همچنین ساختارهای مشاهده شده بسیار شبیه به هم است. واحدهای رخنمون یافته بیشتر شامل واحدهای K1 است و در بخش شمالی معدن واحدهای K2 و K3 نیز رخنمون دارند که چین‌خوردگی‌هایی در آنها دیده می‌شود. در سوی جنوب باختر، تاقدیسی فرادواره‌ای از واحدهای K1 دیده می‌شود که یال جنوبی آن همانند معدن‌های دیگر، با شیب تند و یال شمالی آن با شیب ملایم برنزد دارد. سطح محوری این تاقدیس با مشخصات $67^{\circ}/0^{\circ}42^{\circ}$ و میل محور آن 18° به سوی جنوب خاور است. در این بخش ترانشه‌ای برای استخراج ماده معدنی حفاری نشده است. در بخش شمالی این معدن، ناودیس با زاویه بین یالی زیاد از واحدهای K1 وجود دارد که درون همین ناودیس چین‌هایی در مقیاس کوچک‌تر ایجاد شده است. در بخش بالایی معدن دو ناودیس با زاویه بین یالی باز و یک تاقدیس با زاویه بین یالی بسته در واحدهای K2 و K3 دیده می‌شود (شکل ۹). شکل ۱۰ استریوگرام چین‌خوردگی‌های معدن وجین پایین را نشان می‌دهد که موقعیت آنها روی تصویر ماهواره‌ای در شکل ۹-الف مشخص شده است. همچنین برش زمین‌شناسی CC' از این معدن ارائه شده است (شکل ۱۱).

۴-۳. گسل‌ها و شکستگی‌ها

بیشتر کانه‌زایی‌ها در مناطق با شکستگی بالا و به‌ویژه در محل برخورد این شکستگی‌ها رخ می‌دهد (Sabins, 1999). یکی از کنترل‌کننده‌های کانه‌زایی در معادن سرب و روی با میزبان کربناتی، گسل‌ها و شکستگی‌هاست (Hitzman & Beaty, 1996; Hitzman, 1999; Leach et al., 2005). شناخت روند و تمرکز شکستگی‌ها و گسل‌ها که در تجمع بخشی از مواد معدنی در معادن انجیره-وجین تأثیر گذاشته است از اهمیت زیادی برخوردار است. برای شناسایی بهتر شکستگی‌ها و گسل‌ها، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (geoeye) که دقت مکانی بالایی دارند و همچنین استفاده از داده‌های صحرایی، نمودار گل سرخی شکستگی‌ها و گسل‌های معدن انجیره-وجین برای هر سه معدن، بر پایه فراوانی (frequency) توسط نرم‌افزار Arc GIS رسم شد. هدف از تهیه نقشه نمودار گل سرخی، شناخت روندهای اصلی شکستگی‌ها و ارتباط آن با روند کانه‌زایی است.

از دید فراوانی، سه روند کلی برای گسل‌ها و شکستگی‌ها در این منطقه معرفی می‌شود: روند شمال باختری-جنوب خاوری که چیره‌ترین روند را در هر سه معدن نشان می‌دهد. این روند با روند چین‌خوردگی منطقه همخوانی دارد. روند شمال خاوری-جنوب باختری که از دید فراوانی در گروه دوم قرار می‌گیرند و

سنگ آهک‌های خاکستری با میان‌لایه‌های شیلی که کمترین ستبرای این واحد 230 متر است و با میان‌لایه‌هایی از مارن رخنمون دارد و سن آبتین-آلبین به این واحد داده شده است. این واحد بیشترین رخنمون را در منطقه دارد و بهترین برونزد آن در معدن انجیره-چکاب، بخش شمالی وجین بالا و وجین پایین دیده می‌شود. واحد K2 شامل 35 تا 40 متر سنگ آهک‌های متوسط لایه رسی و ماسه‌ای در سطح هوازده، به رنگ سرخ خرمایی است که با میان‌لایه‌هایی از شیل رخنمون دارد. این واحد در ترانشه‌های انجیره-چکاب و وجین بالا به شدت خرد شده و سیلیسی است. واحد K3 شامل 40 تا 50 متر آهک خاکستری مقاوم با میان‌لایه‌هایی از مارن و همچنین دارای گرهک‌های چرتی در بخش بالایی است که به رنگ تیره دارای اکسید آهن و بافت دانه شکری دیده می‌شود. بخش بالایی این واحد دارای سنگواره فراوان اربیتولین است. واحد K4 شامل 21 متر از آهک‌های سیلتی و مارنی با لایه‌هایی در حد سانتی‌متر است که رنگ چیره این واحد آبی تیره بوده و در رخنمون به راحتی قابل تشخیص است. واحد K5 که مناطق بلند از منطقه را تشکیل می‌دهد، شامل لایه‌هایی از آهک‌های مارنی به رنگ خرمایی-زرد با ستبرای 50 متر است.

۳-۳ ساختار

برای بررسی ساختارهای منطقه، چندین پیمایش عمود بر روند ساختارها صورت گرفته و ویژگی‌های چین‌ها و گسل‌های رخنمون یافته در این برش‌ها برداشت شده‌اند. ابتدا ساختارهای هر سه معدن به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس الگوی چین‌خوردگی مرتبط با این ساختارها معرفی می‌شود. افزون بر این با استفاده از تصویر ماهواره‌ای (geoeye)، نقشه ساختاری گسل‌ها و شکستگی‌ها و ارتباط روند آنها با چین‌خوردگی منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. در پایان ارتباط کانه‌زایی با ساختار در هر سه معدن نشان داده شده است.

۳-۱-۱. معدن انجیره-چکاب

کامل‌ترین توالی چینه‌شناسی از میان سه معدن را می‌توان در معدن انجیره-چکاب دید. در نمای ماهواره‌ای از این معدن (برگرفته از google earth) افزون بر تفکیک واحدهای سنگی، موقعیت کلی گسل‌ها و محور چین‌ها نیز دیده می‌شود (شکل ۳-الف). واحدهای سنگی در سوی جنوب معدن دارای شیب زیاد به سوی جنوب باختر است و در برخی نقاط به‌صورت قائم و درون ترانشه‌های انجیره و چکاب برگشته بودن واحدهای K1 را به سوی شمال خاور می‌توان دید. در سوی شمالی معدن، واحدها شیب کم به سوی شمال خاور و در برخی نقاط به‌صورت افقی رخنمون دارند. در سوی جنوب خاوری معدن، تاقدیسی با مشخصات سطح محوری $68^{\circ}/0^{\circ}34^{\circ}$ (Dip/Dip Direction) که میل 15° تا 20° به سوی جنوب خاور دارد دیده می‌شود (شکل ۴-ب). در بخش جنوب باختری، تاقدیس فرادواره‌ای در میان ترانشه انجیره و چکاب (شکل ۳-د) از واحدهای K1 با مشخصات سطح محوری $62^{\circ}/0^{\circ}30^{\circ}$ و میل 15° به سوی جنوب خاور دیده می‌شود (شکل ۴-الف). واحد (K1) یال برگشته تاقدیس را در ترانشه‌های انجیره و چکاب نشان می‌دهد. در هر دو ترانشه مرز میان واحد K1 و K2 به شدت به هم ریخته و سیلیسی است که می‌توان از آن به عنوان یک پهنه خرد شده گسلی نام برد (شکل ۳-ب). از شواهد ریزساختاری که می‌توان در این ترانشه‌ها برای شناخت کینماتیک چین‌خوردگی معرفی کرد، ریزچین‌هایی از واحدهای شیلی-آهکی خرد شده است که روند سطح محوری آنها هم‌روند با روند چین‌خوردگی منطقه است (شکل‌های ۳-ج و ۴-د). افزون بر این می‌توان به شواهد دیگری همچون ساختارهای عدسی شکل و شواهد حاشیه کرنش در پیرامون کانی‌های اسفالریت و پیریت اشاره کرد. در بخش شمال معدن، جوان‌ترین واحدها به‌صورت ناودیس با مشخصات سطح محوری $60^{\circ}/0^{\circ}10^{\circ}$ و میل 10° به سوی جنوب خاور دیده می‌شود (شکل ۴-ج). شکل ۵ برش زمین‌شناسی AA' از معدن انجیره-چکاب را نشان می‌دهد.

روند شمالی - جنوبی که فراوانی این روند بیشتر در معدن انجیره - چکاب دیده می‌شود (شکل ۱۲).

۴- الگوی چین خوردگی

آیا چین‌های موجود در منطقه مورد مطالعه به وسیله راندگی‌ها ایجاد شده‌اند یا اینکه چین‌ها ابتدا تشکیل شده‌اند و سپس یال‌های آنها توسط راندگی‌ها قطع شده است؟ برای چین‌هایی که با گسل‌های راندگی در پهنه‌های چین خورده - رانده وجود دارند به‌طور شاخص ۵ مدل رایج ارائه شده است که عبارتند از: ۱) چین خوردگی خمشی گسلی (Fault-Bend Folding)؛ ۲) چین خوردگی جدایشی (Detachment Folding) (MacClay, 2003)؛ ۳) چین خوردگی انتشار گسلی (Fault-Propagation Folding)؛ ۴) چین خوردگی خمیده (Buckle Folding)؛ ۵) چین خوردگی کینک باندی خمشی لغزشی (Ramsay & Huber, 1987; Flexural-Slip Kink-Band Folding).

خمیدگی در سطح یک گسل، موجب چین خوردن لایه‌هایی می‌شود که در طی جابه‌جایی از روی خمیدگی می‌گذرند و چین‌هایی ایجاد می‌کند که به نام چین‌های خم گسل معرفی شده‌اند. در چین‌های جدایشی لایه‌های بالای یک گسل جدایشی، ممکن است به‌صورت مستقل از سنگ زیرین خود تغییر شکل دهد. چین‌هایی که به این ترتیب ایجاد می‌شوند، چین‌های جدایشی خوانده می‌شوند که می‌تواند در پایان گسل وارون در یال آن به وجود آید. در چین‌های انتشار گسل یک توده سنگ دارای لایه‌بندی افقی به دلیل فشار ناحیه‌ای، در حال کوتاه‌شدگی است. در آغاز فشارش، دو انتهای توده به آرامی به سوی یکدیگر حرکت می‌کنند. اگر در این مرحله، تفاوت تنش در توده سنگ کمتر از مقاومت گسیختگی برشی سنگ باشد، لایه چین می‌خورد. این چین خوردگی ممکن است تنها موجب خمشی آرام لایه‌های کناری شود. وقتی ادامه چین خوردگی نتواند جابه‌جایی درونی سنگ مورد بررسی را در خود جای دهد، مقدار تفاوت تنش افزایش می‌یابد و در پایان گسلش آغاز می‌شود. افزایش تنش که موجب گسلش می‌شود، ممکن است نمایشگر تغییر در نرخ کرنش ناحیه‌ای یا قفل‌شدگی چین باشد. منظور از "قفل شدن" این است که تغییر در هندسه لایه‌ها - که ناشی از شکل‌گیری چین است - به تدریج تداوم چین خوردگی را سخت‌تر می‌کند. چین‌هایی که در طی تغییر شکل خمیرسان پیش از گسلش، گسترش می‌یابند، چین‌های پیش‌درآمد گسل خوانده شده‌اند (Pluijm & Marshak, 2004). باید توجه داشت وضعیت نامتقارن این چین‌ها، سوی برش روی گسل را به دست می‌دهد. ارتباط فضایی چین‌های پیش‌درآمد گسل و گسل‌های مرتبط با آن متغیر است. در برخی موارد، گسل یک چین را در امتداد لولایش قطع می‌کند. در موارد دیگر، گسل دامنه بین دو تاقدیس و ناودیس کناری را قطع می‌کند. نمونه‌هایی از چین پیش‌درآمد گسل که لولای ناودیس را قطع می‌کند، چین‌های انتشار گسل نامیده می‌شوند (شکل ۱۳).

هندسه چین‌هایی موجود در کمرنده‌های چین - رانده را می‌توان با استفاده از نمودارهای چین‌های در ارتباط با گسل‌های راندگی معرفی شده توسط Jamison (1987) بررسی کرد. در تحلیل چین‌های منطقه معدنی انجیره - تیران از این نمودارها استفاده شد. متغیرهای هندسی به کار رفته، زاویه میان پهلوها (g) و برداشت‌های شیب پهلو پستی (ab) تاقدیس‌های فرادواره‌ای است. همان‌گونه که در شکل ۱۴ دیده می‌شود، داده‌های مورد نظر در محدوده چین‌های چین خوردگی پیشروی گسلی انتقالی (Transported fault-propagation fold)، چین خوردگی پیشروی گسلی (Fault-propagation fold) و چین خوردگی جدایشی (Detachment fold) قرار نگرفته‌اند. در نتیجه هندسه چین خوردگی منطقه تیران را نمی‌توان با این نمودارها تفسیر کرد.

بر پایه شواهد ساختاری به دست آمده از هندسه چین‌ها و سه برش زمین‌شناسی

که پیش‌تر در سه معدن ارائه شد، یال جنوبی تاقدیس‌ها دارای شیب زیاد و حتی برگشتگی است. این چین‌ها از چین‌های ایجاد شده توسط گسل‌ها، به وسیله زوایای زیاد قطع‌شدگی لایه‌بندی (بیشتر ۹۰ درجه) تشخیص داده می‌شوند (McClay, 2003). گسل‌های وارون در یال‌های برگشته قرار دارند که لایه‌بندی را در

آنها بریده و جابه‌جا کرده‌اند (شکل‌های ۶- الف و ۹- ب)

مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که چین‌های با یال جنوبی با شیب زیاد دارای منطقه لولایی گوشه‌ای نیستند و هندسه چین‌های در ارتباط با گسل (Fault-Bend Folding و Folding Fault - Propagation) را ندارند. ستون چینه‌سنگی موجود، حضور سطح گسست برای جدایش را دور از انتظار می‌کند و از سویی وجود تمایل آشکار به سوی جنوب باختر در چین‌های منطقه با این الگو (Detachment Folding) موافقت ندارد. با توجه به شواهد موجود مدل Break thrust fold (Willis, 1893; Pluijm & Marshak, 2004) (شکل ۱۳) بیشترین نزدیکی منطقی را با الگوی چین خوردگی و به وجود آمدن گسل وارون در یال برگشته در ساختارهای منطقه تیران دارد.

۵- نتیجه‌گیری

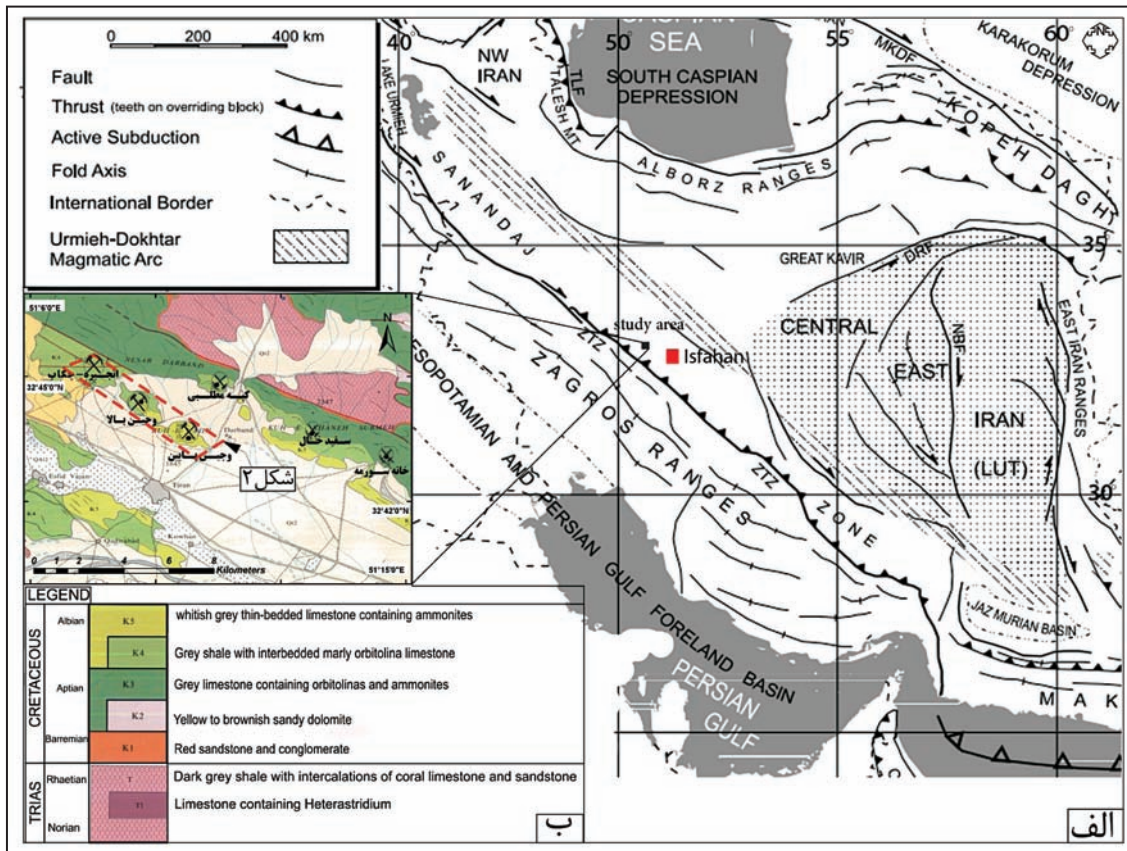
روند کلی ساختار در منطقه تیران، شمال باختری - جنوب خاوری است. واحدهای آهکی - شیلی کرتاسه زیرین در این منطقه، الگوی چین خوردگی مشابهی را در سه معدن به‌صورت تاقدیس با محور میل‌دار از جنوب خاور به سوی شمال باختر نشان می‌دهند که میل کم محور آنها به سوی جنوب خاور است. مشاهدات میدانی و برداشت‌های ساختاری مشخص ساخت که گسل وارون در امتداد یال جنوبی این تاقدیس‌ها به وجود آمده و واحد K1 در منطقه لولایی تاقدیس‌ها در فرادواره گسل برنزد یافته است.

لایه‌ها در بخش‌های جنوبی این سه معدن، دارای شیب زیاد و یا برگشتگی به سوی شمال خاور هستند. درون ترانشه‌های موجود در این سه معدن، شیب زیاد و برگشتگی به خوبی قابل مشاهده است. در بخش شمالی هر سه معدن، شیب لایه‌ها کم و به سوی شمال خاور بوده و در یال کم‌شیب، لایه‌ها با چین خوردگی ملایم و یا به‌صورت افقی هستند. تمایل (vergence) چین خوردگی در منطقه به سوی جنوب باختر است.

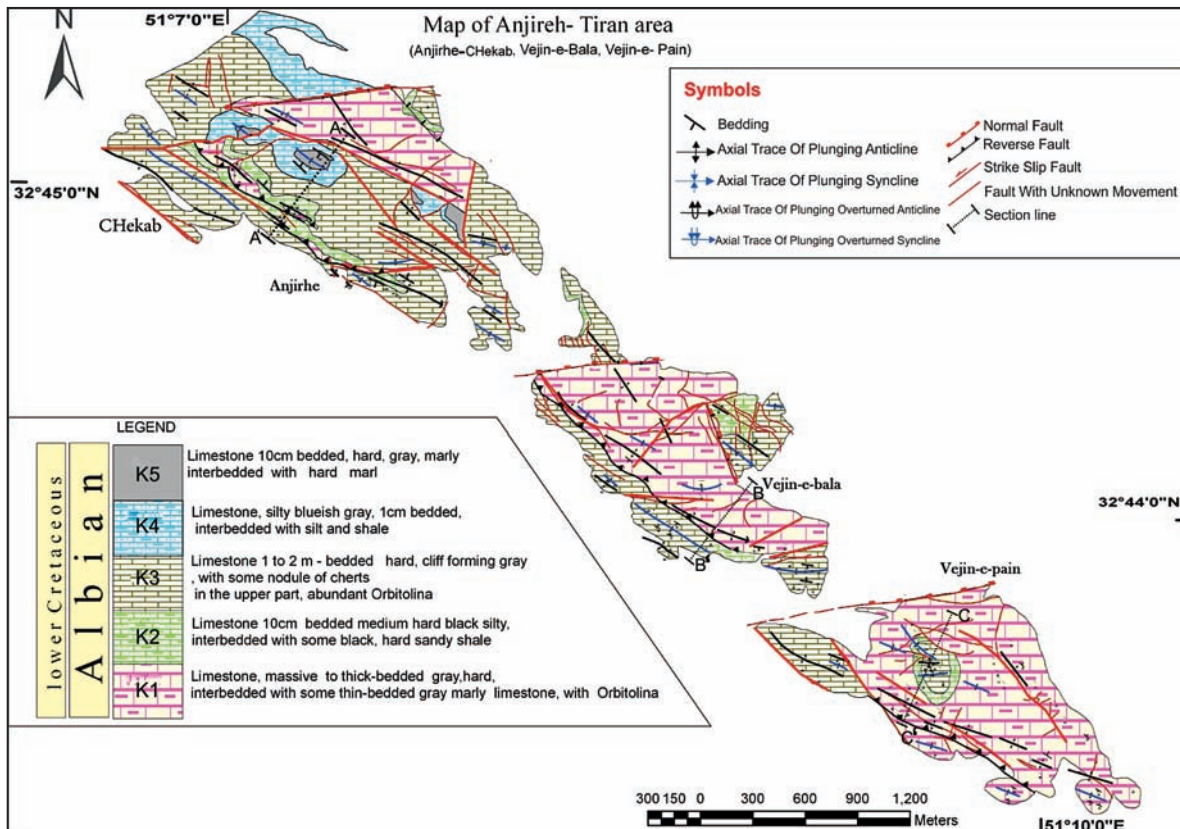
ماده معدنی (سرب و روی) به‌صورت تجمع یافته در منطقه تیران در بخش جنوب باختری هر سه معدن و در جایی که واحدهای K1 توسط گسلش وارون قطع شده‌اند، قرار دارد. ادامه این روند در هر سه معدن و مناطق کناری در ادامه آنها می‌تواند از دید اکتشاف ماده معدنی دارای اهمیت باشد (شکل ۱۵). افزون بر این ماده معدنی در معادن وجین پایین و وجین بالا با لایه‌بندی نیز کنترل می‌شود. در معدن وجین پایین، ماده معدنی در مرز میان واحدهای K1 با K2 است که با چین خوردگی‌های ریزمقیاس نیز دنبال می‌شود (شکل ۹- الف). این موضوع در سوی خاور وجین بالا نیز مشاهده می‌شود. روند دیگری از گسل‌ها که تجمع کانه‌زایی در آنها دیده می‌شود، روند شمال خاور - جنوب باختر است. تعیین الگوی ساختاری پدیده‌های زمین‌شناسی، ارتباط مواد معدنی و تعیین جابگاه آنها در ساختار را آسان می‌سازد.

سپاسگزاری

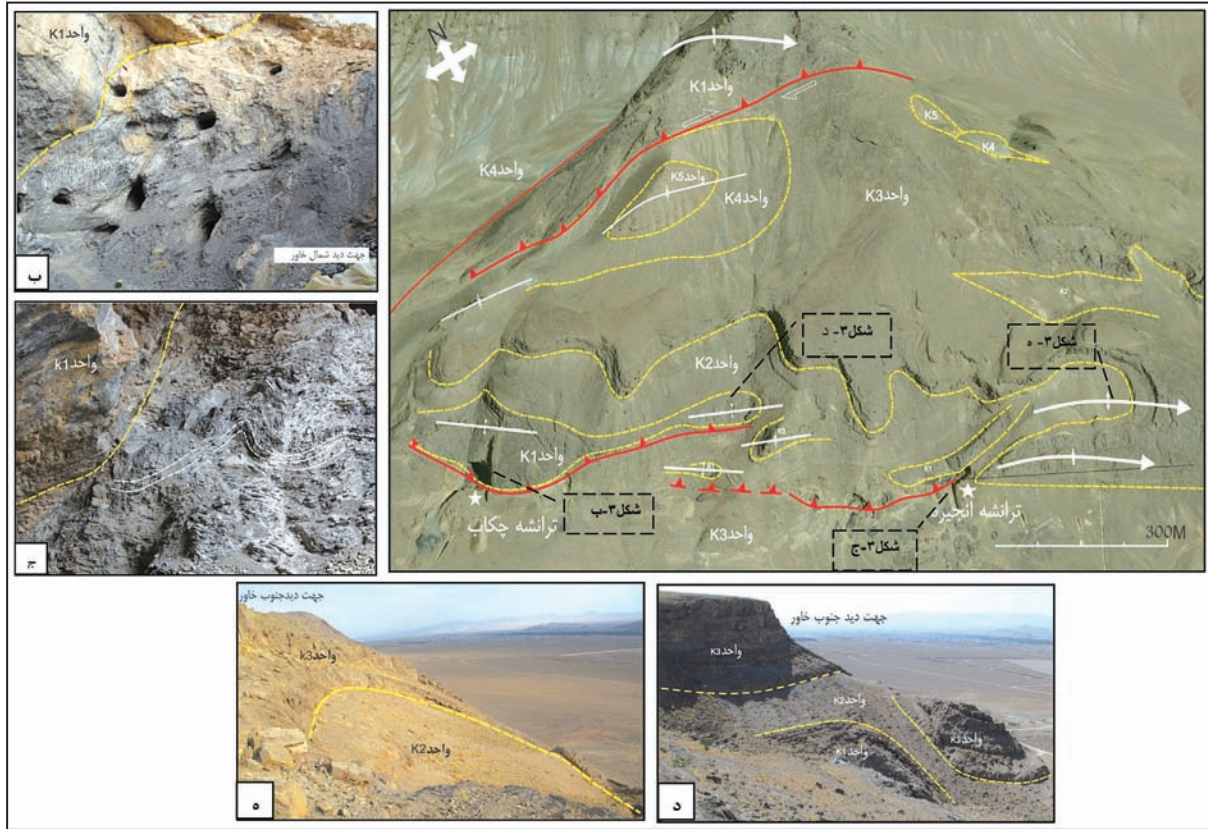
از دانشگاه تربیت مدرس به دلیل فراهم کردن امکان انجام برداشت صحرایی این پژوهش، از معاونت محترم معدن روی تیران در فراهم ساختن امکانات اسکان و نیز از سرکار خانم مهندس جابری برای در اختیار گذاشتن اطلاعات مورد نیاز و کمک‌های فنی و تدارکاتی صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.



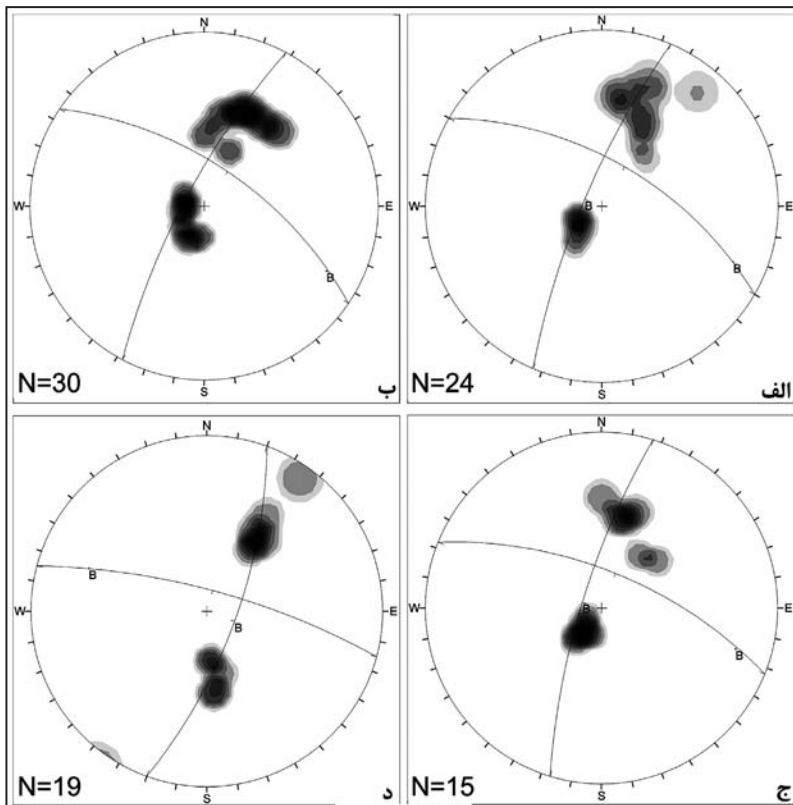
شکل ۱- الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه در پهنه سندج- سیرجان (بر گرفته و ساده شده از Berberian & King, 1981)؛ ب) نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ نجف آباد اصفهان (Zahedi, 1975) به همراه موقعیت معادن فعال (انجیره- چکاب، وجین بالا، وجین پایین) و متروکه (خانه سورمه، سفیدخال، کپه مطلبی) منطقه تیران.



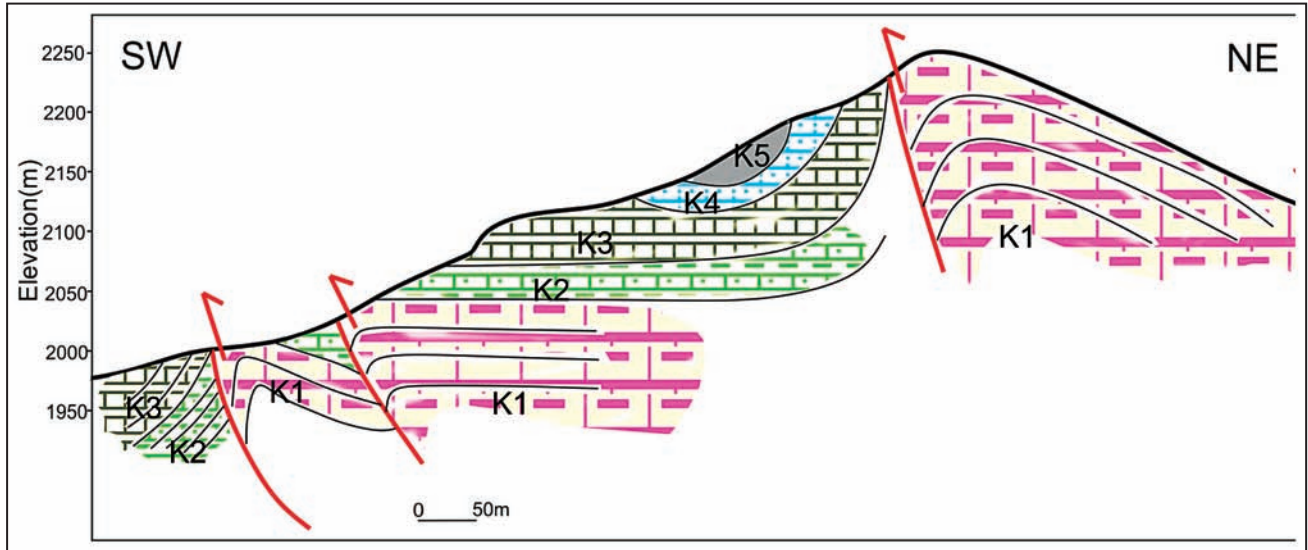
شکل ۲- نقشه زمین شناسی انجیره- تیران (انجیره- چکاب، وجین بالا، وجین پایین) اصلاح شده از نقشه (Taraz, 1968).



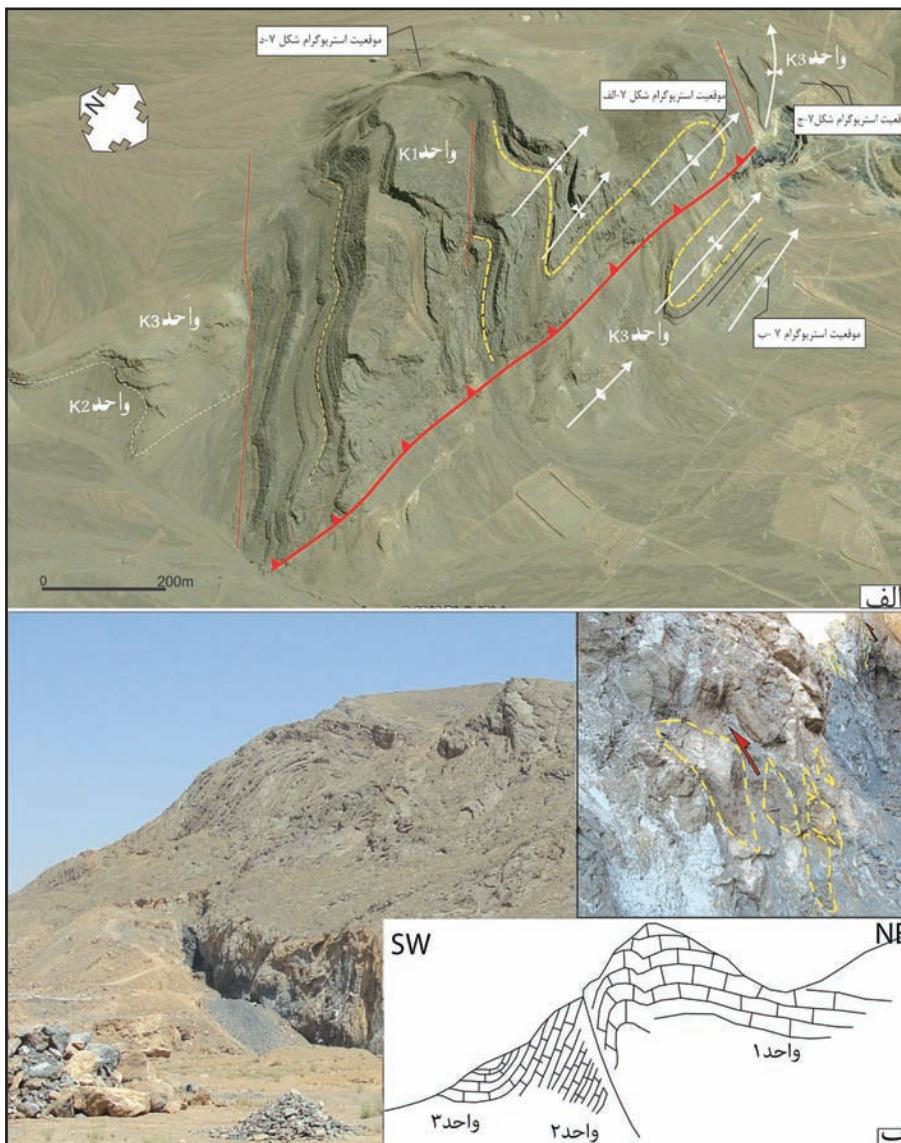
شکل ۳- الف) نمایی کلی (برگرفته از نرم افزار google earth) از واحدهای چینه شناسی و ساختارهای معدن انجیره- چکاب؛ ب) نمایی از ترانشه چکاب که پهنه به شدت به هم ریخته و سیلیسی شده با مرز واحد K1 را نشان می دهد که می توان به عنوان یک پهنه خرد شده در نظر گرفت. در این نقطه واحد K1 پال برگشته تاقدیس است؛ ج) نمایی از ریزچین هایی درون ترانشه چکاب که روند سطح محوری آنها هم روند با روند چین خوردگی منطقه است؛ د) چین خوردگی فرادواره ای از واحد K1؛ ه) دماغه (Nose) تاقدیس جنوب خاور معدن انجیره- چکاب. موقعیت تصاویر روی شکل الف مشخص شده است.



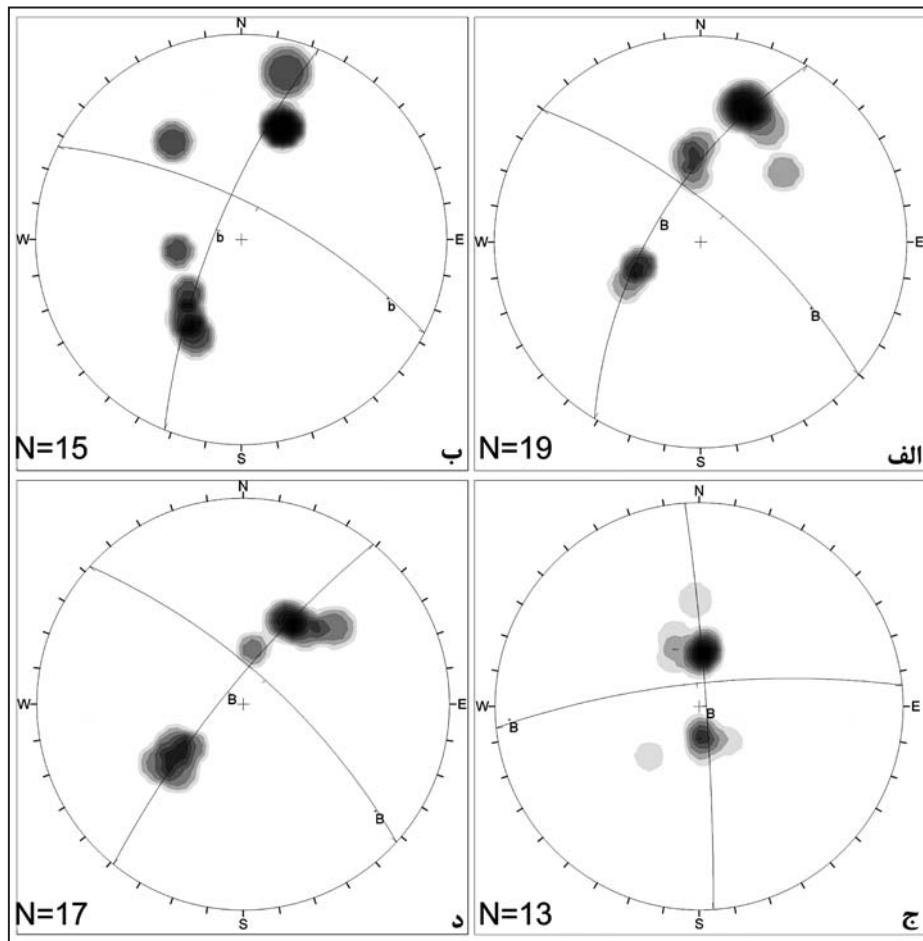
شکل ۴- نمودارهای π تهیه شده برای برخی از چین خوردگی های معدن انجیره- چکاب. الف) استریوگرام چین خوردگی شکل ۳- د؛ ب) استریوگرام چین خوردگی شکل ۳- ه؛ ج) استریوگرام چین خوردگی ناودیس سمت شمال چکاب؛ د) استریوگرام ریزچین خوردگی درون ترانشه انجیره شکل ۳- ج. N نشانگر تعداد برداشت لایه بندی است.



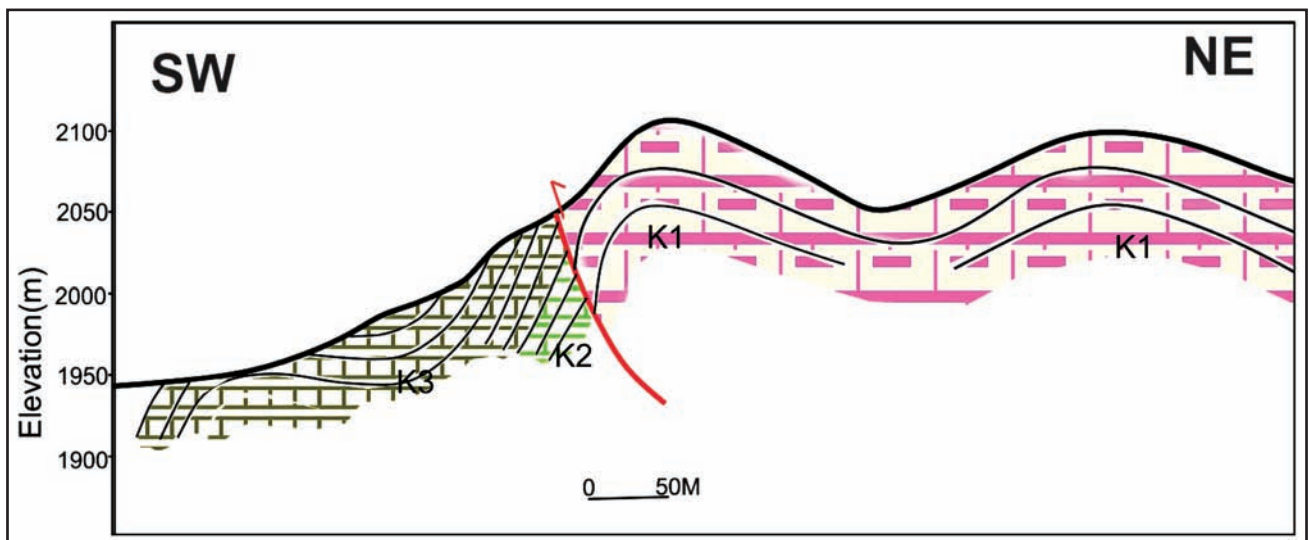
شکل ۵- برش زمین‌شناسی AA' از معدن انجیره-چکاب. واحد K1 به صورت تاقدیس‌های فرادیواره‌ای با تمایل به سوی جنوب باختر بروز یافته است.



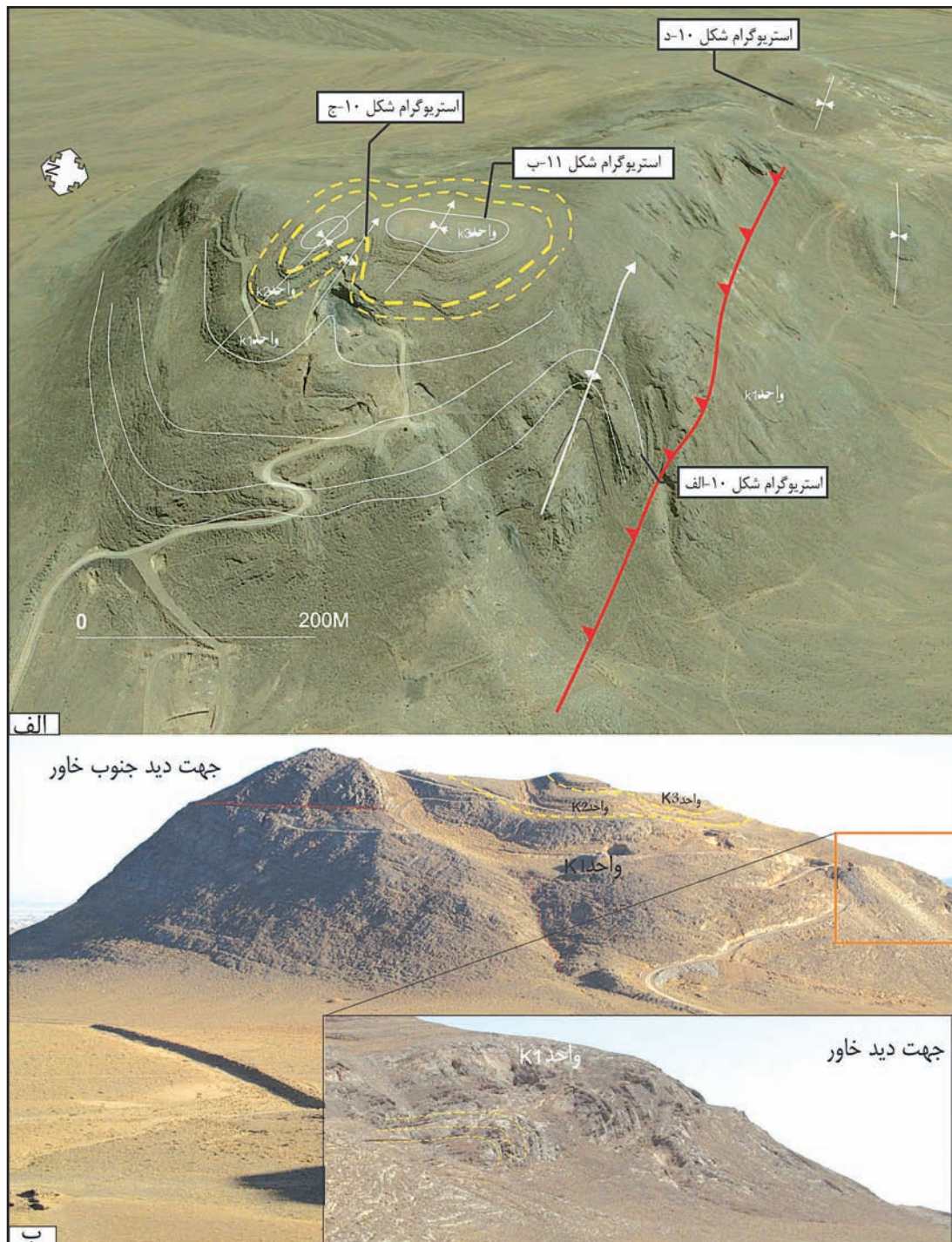
شکل ۶- الف) نمایی کلی (برگرفته از نرم‌افزار google earth) از واحدهای چین‌شده و ساختارهای معدن وجین‌بالا؛ ب) نمایی از تاقدیس فرادیواره‌ای از واحد K1 به همراه ساختارهای عدسی شکل درون ترانشه، که شواهدی از حرکت وارون در امتداد گسل راندگی به سوی جنوب باختر نشان می‌دهند.



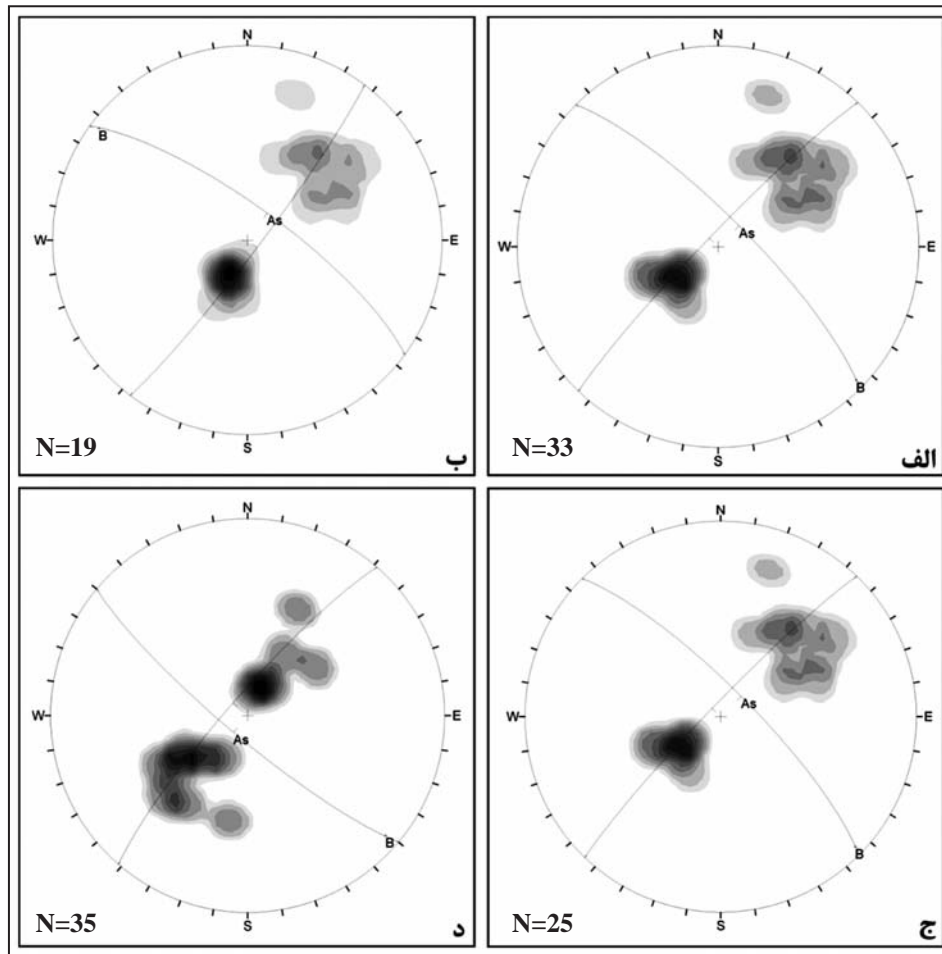
شکل ۷- نمودارهای π تهیه شده برخی از چین خوردگی‌های معدن و جین بالا. در شکل ۶- الف موقعیت هر استریوگرام مشخص شده است. الف) استریوگرام تاقدیس میل دار سوی جنوب خاوری؛ ب) استریوگرام تاقدیس جنوبی رخمون یافته از واحدهای K3؛ ج) استریوگرام ناودیس سوی خاور معدن؛ د) ناودیس سوی شمال خاوری و جین بالا.



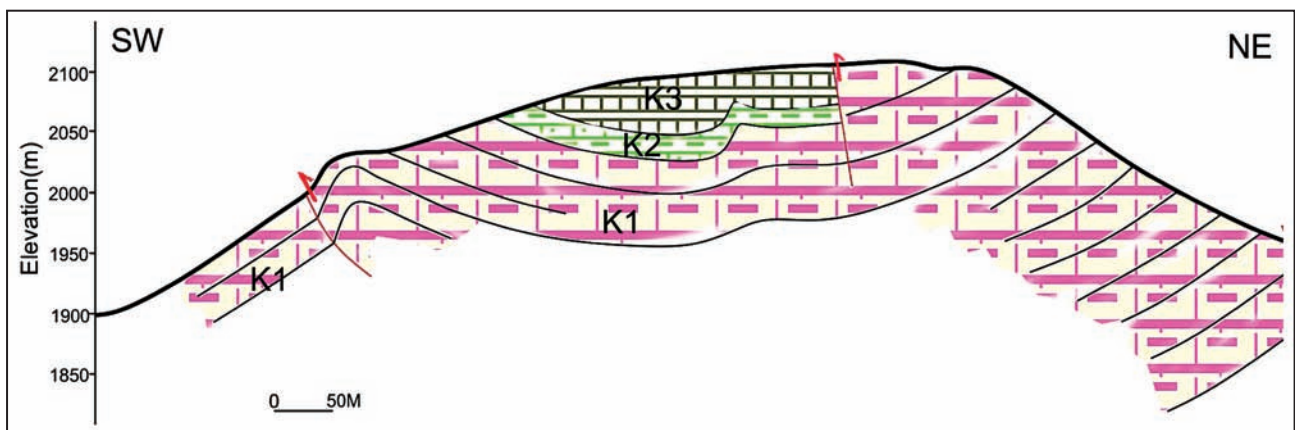
شکل ۸- برش زمین شناسی BB' از معدن و جین بالا.



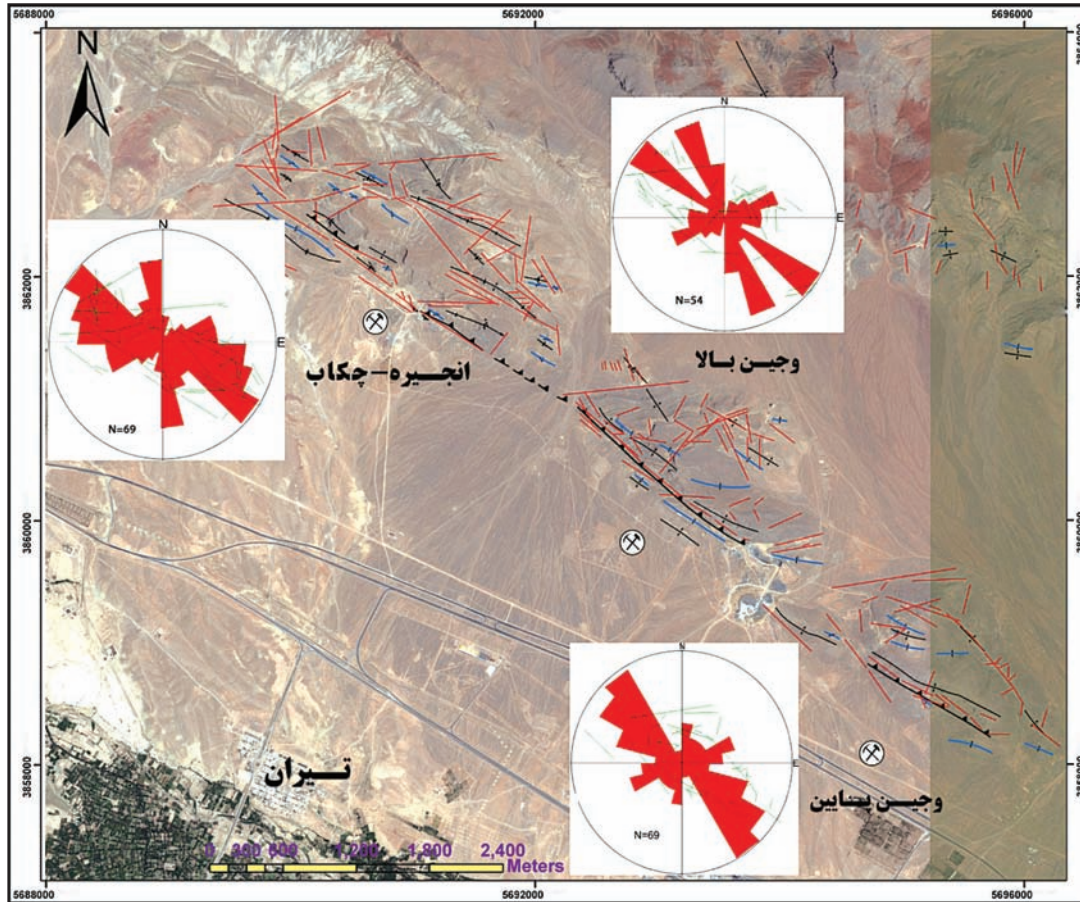
شکل ۹- الف) نمایی کلی (برگرفته از نرم‌افزار google earth) از واحدهای چینه‌شناسی و ساختارهای معدن وجین پایین. خطوط خط چین زرد رنگ مرز میان واحدهای سنگی است. تاقدیس فرادیواره‌ای و ناودیس فرودیواره مشخص شده است؛ ب) نمایی از سوی باختر معدن وجین پایین به همراه موقعیت تاقدیس فرادیواره‌ای. در بخش بالایی، معدن ناودیس با زاویه بین یالی باز در واحدهای K2 و K3 دیده می‌شود.



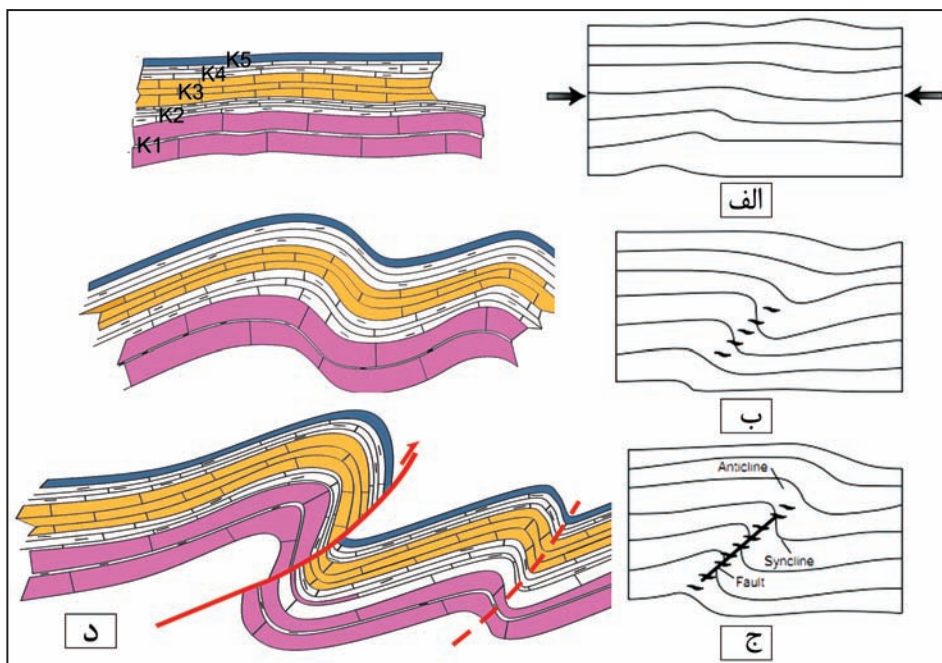
شکل ۱۰- نمودارهای π تهیه شده برای برخی از چین خوردگی‌های معدن و جین پایین. الف) استریوگرام تاقدیس فرادیواره‌ای سمت جنوب و جین پایین؛ ب) استریوگرام ناودیس واحدهای K2 و K3 بالای معدن؛ ج) استریوگرام تاقدیس واحدهای K2 و K3 معدن؛ د) ناودیس سوی جنوب خاوری و جین پایین. موقعیت هر استریوگرام روی شکل ۹- الف مشخص شده است.



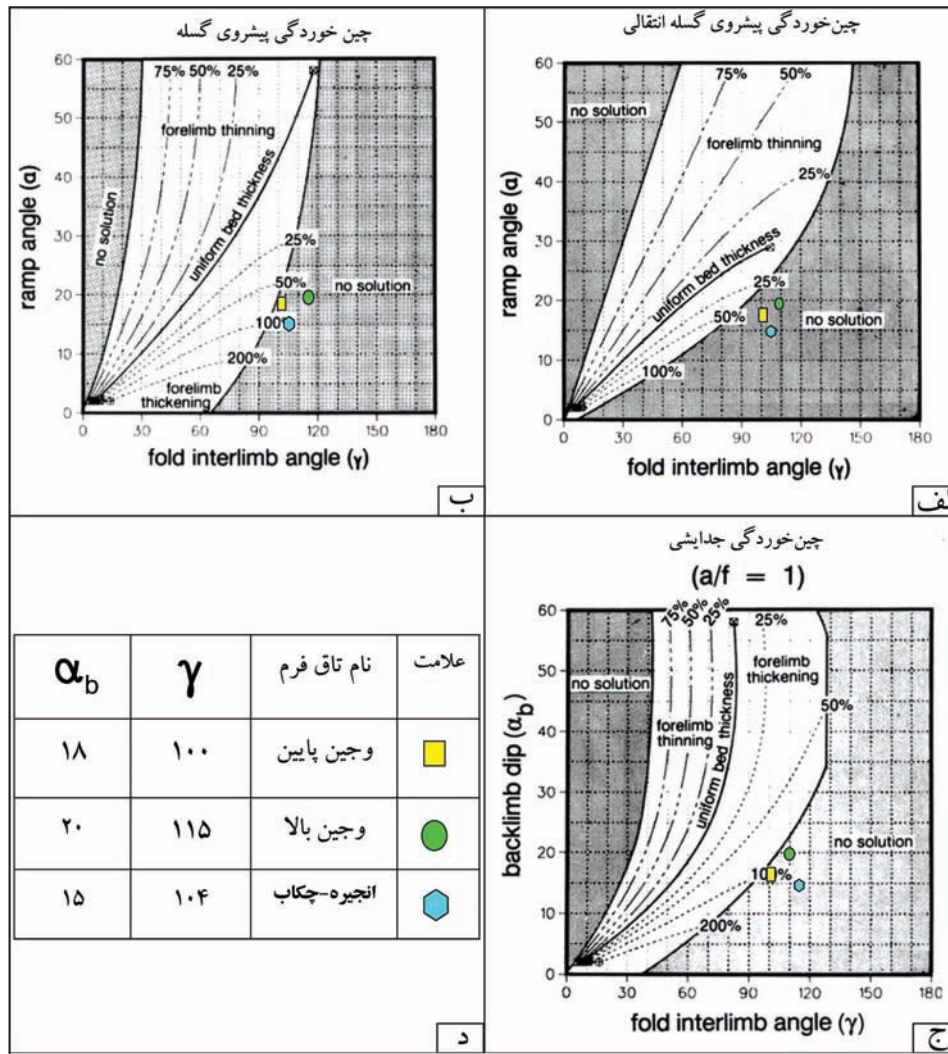
شکل ۱۱- برش زمین‌شناسی CC از معدن و جین پایین.



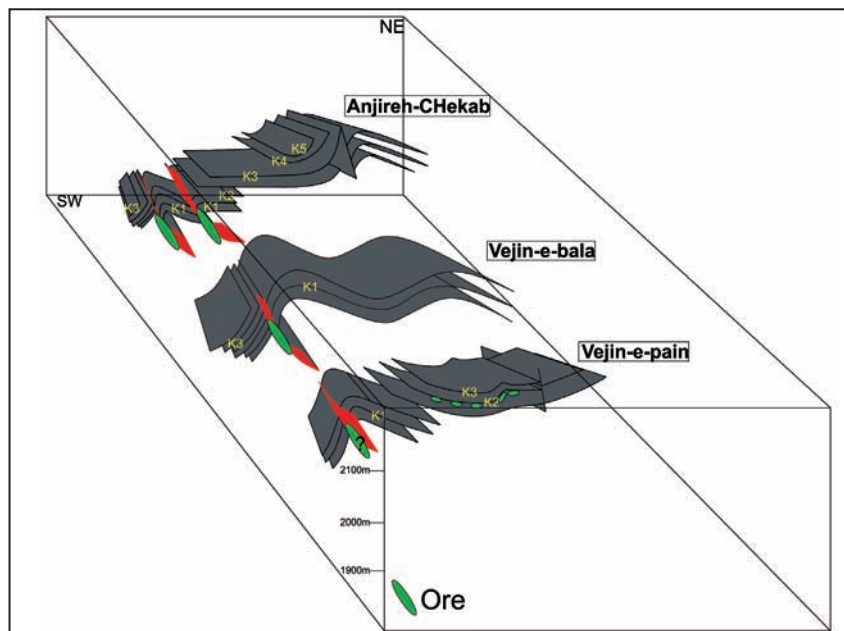
شکل ۱۲- نقشه مجموع شکستگی‌های منطقه با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای و برداشت‌های صحرایی به همراه نمودار گل‌سرخ امتداد شکستگی‌ها و گسل‌های معادن انجیره-وجین. سه روند کلی شمال‌باختری-جنوب‌خاوری، شمال‌خاوری-جنوب‌باختری و روند شمالی-جنوبی (تصویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار SAS planet و نقشه Bing (Virtual Earth) تهیه شده است).



شکل ۱۳- توسعه تدریجی یک چین‌پیش درآمد گسل در یک توالی از چینه‌ها. الف) ایجاد یک خمش کوچک در خلال کوتاه‌شدگی لایه‌ها و گسترش یک زوج تاقدیس و ناودیس؛ ب) گسترش شکاف‌های پوششی (En Echelon) در چین (Pluijm & Marshak, 2004)؛ ه) ایجاد چین‌خوردگی پیش از گسترش گسل رانده (Price & Cosgrove, 1990).



شکل ۱۴- الف، ب و ج) نمودارهای به کار رفته در تحلیل هندسه چین‌های مرتبط با راندگی (برگرفته از Jamison, 1987)؛ (د) نشانه‌ها و اندازه‌گیری‌های به کار رفته در معادن انجیره- تیران.



شکل ۱۵- نمای ساختاری نمایشی سه بعدی از موقعیت معادن انجیره- تیران و روندهای قرارگیری ماده معدنی در آنها.

کتابنگاری

- ابراهیمی، م. ح.، آفتابی، ع. و محمدی نیایی، ر.، ۱۳۸۹- ویژگی‌های ساختی، بافتی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی و الگوی تشکیل کانسار انگوران در مثلث کانسارهای نوع متصاعدی-رسوبی (Sedex)، سولفید توده‌ای (VMS) و دره می سی سی پی (MVT)، فصلنامه پترولوژی، سال اول، شماره سوم، دانشگاه اصفهان، ۱۱ص.
- ادراکی، م.، ۱۳۷۱- زمین‌شناسی، مینرالوژی و ژنز کانسار سرب و روی انجیره تیران، استان اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
- طاهریان، ع.، ۱۳۷۲- بررسی تیپ، ارتباطات کانی‌شناسی- ژئوشیمیایی و ژنز احتمالی معدن سرب و روی انجیره تیران (غرب نجف‌آباد)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.
- قربانی، م.، ۱۳۸۱- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۹۵ ص.
- محمدی نیایی، ر.، ۱۳۸۶- خاستگاه نهشته‌های ناسولفید روی در معادن سرب و روی ایران و کاربردهای اکتشافی آن، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین. ۷ص.
- مهدوی، ا. و رحیمی، ب.، ۱۳۸۹- 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. ۶ ص.
- ناکینی، ع.، محجل، م. و تدین، م.، ۱۳۹۲ الف- ساختار رورانده‌گی در معدن دره زنجیر (جنوب باختر یزد)، سی و دومین گردهمایی علوم زمین و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، تهران، ۷ ص.
- ناکینی، ع.، محجل، م.، راستاد، ا. و بویری کناری، م.، ۱۳۹۲ ب- 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، ۹ ص.

References

- Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Science, 18, 210-265. compression: Geological Society of London Special Publication 155, p. 233-245.
- Ghazban, F., McNutt, R. H. & Schwarcz, H. P., 1994- Genesis of Sediment-Hosted Zn-Pb-Ba Deposits in the Irankuh District, Esfahan Area, West-Central Iran. Economic Geology Vol. 89, pp. 1262-1278.
- Hitzman, M. W., 1999- Extensional faults that localized syndiagenetic Zn-Pb deposits and reactivation during Variscan
- Hitzman, M. W. & Beaty, D. W., 1996- The Irish Zn-Pb-(Ba) orefield, in Sangster, D.F., ed., Carbonate-hosted lead-zinc deposits: Society of Economic Geologists Special Publication 4, p. 112-143.
- Jamison, W. R., 1987- Geometric analysis of fold development in overthrust terranes. Journal of Structural Geology v.9, p.207-219.
- Leach, D. L., Sangster, D. F., Kelley, K. D., Large, R. R., Garven, G., Allen, C. R., Gutzmer, J. & Walters, S., 2005- Sediment-hosted lead-zinc deposits—A global perspective: Society of Economic Geologists”, Economic Geology One Hundredth
- McClay, K., 2003- Thrust tectonics and petroleum systems, American Association of Petroleum Geologists Memoir, in press.
- Momenzadeh, M., 1976- Stratabound lead-zinc ores in the lower Cretaceous and Jurassic sediments in the Malayar-Isfahan district (west central Iran). University. Heidelberg, 300 p.
- Nadimi, A. & Konon, A., 2012- Strike slip faulting in the central part of the Sanandaj-Sirjan Zone, Zagros Orogen, Iran. Journal of Structural Geology. Vol. 40, P2-16.
- Pluijm, B., Marshak, S., 2004- Earth structure an introduction to structural Geology and Tectonics. university of lionis and Michigan, 673p.
- Price, N. J. & Cosgrove, J. W., 1990- Analysis of geological structures: Cambridge University Press, Cambridge, England, 502 p.
- Ramsay, J. G. & Huber, M. I., 1987- The Techniques of Modern Structural Geology. Vol. 2: Folds And Fractures. London: Academic Press.
- Sabins, F. F., 1999- Remot sensing for mineral exploration, Ore Geology Reviews, 14: 157-183.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and Tectonics of Iran; a review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 52, 1229-1258.
- Taraz, H., 1968- Geological report and geology map of Anjere-Tiran area, scale:15000, 20p.
- Willis, B., 1893, Mechanics of Appalachian Structure, U.S.G.S. Annual Report 13 (1891-1892), part 2, 217-281, in G. Mitra, and G. Fisher, eds., Structural Geology of Fold and Thrust Belts, v. 5, Johns Hopkins Studies in Earth and Space Sciences, p. 191-206
- Zahedi, M., 1975- Geological Map of Najafabad. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Scale 1:100,000.

Folding Style and its Role in Location of Ore in Anjireh-Vejin Mines, Tiran, West of Isfahan

A. Nakini ¹, M. Mohajjel ^{2*} & A. Yarmohammadi ³

¹ M. Sc., Department of Geology, Faculty of Basic Science, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

² Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Science, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

³ Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Basic Science, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

Received: 2013 September 07

Accepted: 2014 August 13

Abstract

Anjireh-Vejin Mines of Tiran are located 60 km west of Isfahan. Exposed rocks in these mines are Early Cretaceous (Early Cretaceous (Early Cretaceous-Albian) in age. These rock units are exposed in NW-SE trending anticlines plunging shallowly to SE in three Vejin Paein, Vejin Bala and Anjireh-Chekab Mines. Folding in all three mines exhibits same style, indicating that the mines are closely structurally related. At the SW side of all the mines, anticlines formed above the hangingwall of a major reverse fault are breached and expose older Cretaceous units. In the trenches of Anjireh-Chekab mines, which cut the steeply-dipping and overturned limb of the anticlines, older rock units are observed. In the trench cutting the Vejin Bala mine, layers in the SW limb are of steeply-dipping to locally overturned attitudes. Structural evidence from these mines clearly indicated that all the three mines are situated in a unique anticline with overturned SW limb and a folding style that consistently characterize "break-thrust fold" model. This anticline plunges gently by 15° to N150°. In break-thrust model, as folding progressively advances, a major reverse fault is being generated along the overturned limb of the anticline, which is well observed along the SW part of the mines in the study area. The mines are separated by E-W trending faults producing the present geometry. In addition to presenting a fold style model, we explored the relation between faults and fractures in all the mines using field observations and satellite images. Fractures are dominantly oriented along NW-SE direction sub-parallel with the strike of the axial plane of the anticlines. Structural analysis revealed three types of ore concentrations: 1) parallel to the original stratigraphic layering, 2) along the reverse fault in the overturned limb of the anticline, and 3) in the fracture systems.

Keywords: Overturned plunging anticline, Reverse fault, Tiran, Isfahan.

For Persian Version see pages 231 to 242

*Corresponding author: M. Mohajjel; E-mail: mohajjel@modares.ac.ir