

محاسبه کرنش سه بعدی در پهنه برشی معدن قلعه زری (جنوب بیرجند)

راهله غضبانی^(۱،*)، محمدمهدی خطیب^۲، محمدحسین زرین کوب^۳

۱- کارشناسی ارشد زمین شناسی، گرایش تکتونیک، دانشگاه بیرجند

۲- دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند

۳- استادیار زمین شناسی دانشگاه بیرجند

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۱۰/۱۸

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۸۹/۲/۲۵

چکیده

کانی‌سازی در معدن مس قلعه‌زری بصورت رگه‌ای و داخل شکستگی‌های حاصل از فعالیت پهنه برشی راست‌گرد با امتداد N135 صورت گرفته است. جهت‌گیری عمده شکستگی‌ها به ترتیب در سه راستای مهم NW-SE، NE-SW و ESE-WNW می‌باشد که مطابق با امتداد غالب گسل‌ها در منطقه و به ترتیب در راستای شکستگی‌های ریدل همسو با پهنه برشی، ناهمسو با پهنه برشی و شکستگی‌های کششی هستند. رگه‌ها، در دو نسل می‌باشند و از هندسه پهنه‌های بُرشی تبعیت می‌کنند. با افزایش کرنش برشی، نسل اول رگه‌ها چرخش راست‌گرد حاصل کرده و سپس رگه‌های نسل دوم تشکیل شده‌اند، لذا می‌توان نوع دگرشکلی غیر هم محور را برای منطقه در نظر گرفت. میانگین مقادیر نسبت‌های کرنش، موقعیت بیضوی کرنش در نمودار فلین، ناحیه کرنش انقباضی را نشان می‌دهد. ترسیم لگاریتمی رمزی با استفاده از نسبت لگاریتمی صفحات اصلی کرنش، نیز بیضوی دوکی شکل را برای کرنش منطقه تأیید می‌کند و با توجه به رابطه بین سه پارامتر ν ، K-value و k که بیضی کرنش را تشریح می‌کنند، می‌توان شکل بیضوی کرنش در محدوده مورد مطالعه را، دوکی شکل عمومی، در نظر گرفت. به روش دایره موهر، مقدار کرنش حجمی، ۰.۵۹ بدست آمده است.

واژه‌های کلیدی: رگه معدنی، پهنه بُرشی، شکستگی‌های ریدل، کرنش حجمی، بیضوی کرنش.

مقدمه

معدن مس قلعه زری بین طول‌های جغرافیایی $58^{\circ} 1' - 59^{\circ} 1'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $31^{\circ} 46' - 31^{\circ} 49'$ شمالی، تقریباً در ۱۸۰ کیلومتری جنوب بیرجند واقع شده است. این منطقه در شرق پهنه لوت-زیرپهنه ماگماتیسیم مرکزی و تحت تأثیر گسل‌های اصلی راست‌بر نهبندان در شرق و نایبند در غرب قرار گرفته است. فعالیت این گسل‌ها موجب پدیده برش، ایجاد فضاهای کششی و سرانجام نفوذ ماگما شده بطوریکه سنگ‌های آذرین دوره پالئوژن، سنگ میزبان منطقه مطالعاتی را تشکیل می‌دهند. کانی-سازی در این معدن بصورت رگه‌ای و داخل شکستگی‌های حاصل از فعالیت پهنه برشی راست‌گرد با امتداد N135 صورت گرفته است (خطیب، ۱۳۷۸).

منطقه قلعه‌زری توسط یک توالی گسترده از توف-ها و لاواهای ترشیری پیشین پوشیده شده است. سنگ میزبان قلعه‌زری از نوع آندزیت و به سن پالئوژن می‌باشد (اشتوکلین و همکاران، ۱۳۵۲). توالی سنگ شناختی منطقه قلعه‌زری شامل تشکیلات ژوراسیک، سنگهای آهکی مایستریشتین و آندزیت های ترشیری می‌باشد. سنگ میزبان معدن قلعه‌زری از نوع آندزیت و لاواهای آندزیتی، آندزیت پورفیر، آندزیت پیروکسن دار و بازالت‌های آندزیتی است (حسن-نژاد، ۱۳۷۲). همچنین به توفهای آندزیتی، توفهای داسیتی، ریوداسیت و میکروگرانیت در منطقه اشاره نموده است. وی این کانسار را از نوع گرمابی پلی‌متال و در محدوده مزو تا اپی‌ترمال دانسته که تحت شرایط کنترل کننده‌های ساختمانی نهشته شده است. در محدوده کانسار قلعه‌زری بطور محدود رخنمونهای کوچکی از نفوذیه‌های ریزدانه با ترکیب عمدتاً گرانیت تا

گرانودیوریت گزارش شده است. به لحاظ زمانی، واحدهای رسوبی به ژوراسیک، سنگهای آذرین آتشفشانی به پالئوژن و نفوذیه‌های منطقه به اولیگومیوسن نسبت داده می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد سنگ میزبان اصلی رگه‌های کانه‌دار کانسار قلعه‌زری بیشتر آندزیتی می‌باشد (حسن-نژاد، ۱۳۸۴). توده‌های نفوذی نیمه عمیق و سنگ‌های آتشفشانی غنی از پتاسیم و کالک آلکالن هستند و در منطقه فرورانش تشکیل شده-اند (محمدی، ۱۳۸۴).

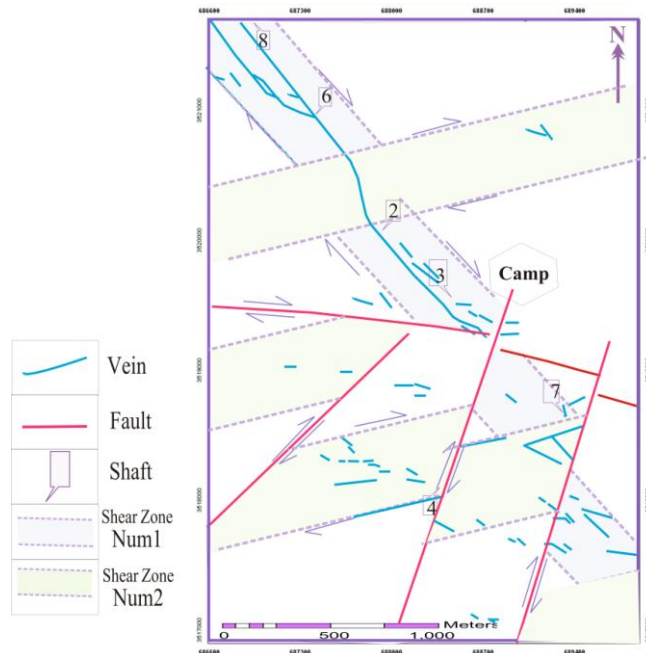
این معدن دارای ساختار رگه‌ای با اشکال هندسی رومبوئدری می‌باشد و ذخایر معدنی آن از ساختار هندسی فضاهای باز بوجود آمده در پهنه برشی شکننده راست‌گرد پیروی می‌کنند. در این مقاله، ابتدا به تحلیل جنبشی و هندسی مجموع عناصر ساختاری برداشت شده پرداخته می‌شود این منطقه دارای شکستگی‌های فراوان می‌باشد (بطوریکه نزدیک به ۸۰۰ مورد شکستگی برداشت شده از سطح و عمق برای تحلیل هندسی بکار رفته است). سپس با استفاده از مجموع تحلیل‌های صورت گرفته در مورد پهنه برشی و عناصر ساختاری متفاوت؛ سعی در ارائه یک مدل زمین ساختی و هندسی جامع، شده است. سپس مقادیر آماری کرنش‌های طولی و برشی نهایی، مؤلفه‌های آماری و توصیفی بیضوی کرنش نهایی در نمودارهای کرنش فلین و لگاریتمی شکستگی‌ها، برای نقاط مختلف برداشت شده در منطقه بدست آمده است.

تحلیل داده‌های ساختاری و الگوی زمین ساختی منطقه

از مهم‌ترین عناصر ساختاری در این منطقه باید به گسل‌ها، درزه‌ها، رگه‌ها و دایک‌ها اشاره نمود که در پهنه فشارشی-برشی راست‌گرد قرار دارند.

۲۵۰ متر می باشد. زمان تشکیل گسل های حاشیه این پهنه پس از گسل های شمال غرب-جنوب شرق است، در نسل دوم و در درجه دوم اهمیت قرار دارند. کانی سازی در منطقه، در درون این پهنه های برشی صورت گرفته است (شکل ۱).

عرض پهنه برشی متغیر و حدود ۳۰۰ متر است و بیشترین مقدار ماده معدنی از این منطقه استخراج شده است. گسل های حاشیه این پهنه در نسل اول شکستگی ها ایجاد شده اند. عناصر ساختاری درون این پهنه تأیید کننده چرخش راستگرد این نسل هستند. در بخش جنوب غربی منطقه پهنه برشی دیگری با راستای ENE و راست بر دارای عرض



شکل ۱- نقشه تکتونیکی قلعه زری و موقعیت پهنه های برشی روی آن. گسل های منطبق بر رگه یا پهنه برشی در این شکل نشان داده نشده است.

درجه، گسل های مرتبه چهارم هستند و سازوکار امتداد لغز چپ بر با مؤلفه معکوس دارند. در این منطقه درزه ها بصورت سیستماتیک و فراوان دیده می شوند و در امتداد بسیاری از آنها کانی سازی صورت گرفته است. از یک نمودار گل سرخی، برای تفسیر کل شکستگی های موجود در منطقه استفاده شده است (شکل ۲ الف). دسته اول که فراوانی بیشتری دارند، شامل دو روند غالب N120 و N150 و دسته دوم که از لحاظ فراوانی در درجه دوم از اهمیت هستند روند غالب N30 دارند. و دسته سوم روند غالب شرقی-غربی دارند و دسته چهارم که از اهمیت کمتری برخوردارند و

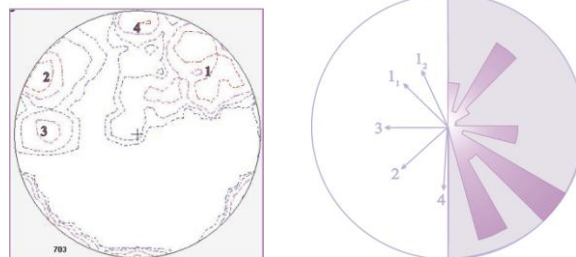
اغلب گسل های مهم منطقه همسو با پهنه برشی ۱ و در راستای شمال غرب-جنوب شرق هستند. بطوریکه گسل های با آزیموت ۳۱۰-۳۲۰ درجه، دسته اول از نظر اهمیت و فراوانی هستند و گسل های با روند ENE با مکانیسم معکوس و مؤلفه راستگرد دارند، گسل های مرتبه دوم می باشند که در اثر پیشرفت دگرشکی و رشد گسل های امتداد لغز راستگرد با امتداد شمال غرب-جنوب شرق بوجود آمده اند. گسل های مرتبه سوم گسل های شمال شرق-جنوب غرب با آزیموت N30 درجه و سازوکار امتداد لغز راست بر با مؤلفه معکوس می باشند. گسل های با آزیموت 105-95

درزه‌های برشی در این امتداد گسترش بیشتری دارند و روند غالب کانی‌زایی منطقه را تشکیل می‌دهند. دسته اول را می‌توان بترتیب جزء شکستگی‌های ریدل R, P و دسته دوم را جزء شکستگی‌های ریدل R' دسته‌بندی نمود.

در شکل ۲ ب کنتور دیاگرام مربوط به کل درزه‌های منطقه مشاهده می‌گردد. در این دیاگرام، چهار نقطه تمرکز، نشان‌دهنده چهار دسته درزه موجود در منطقه است.

فاقد کانه‌زایی هستند روند شمالی-جنوبی دارند و بیشتر در شمال منطقه دیده می‌شوند. درزه‌های دسته اول و دوم، مربوط به درزه‌های برشی یا مایل پهنه جابجایی اصلی هستند. درزه‌های دسته سوم از نوع کششی اند و درزه‌های دسته چهارم فشارشی می‌باشند.

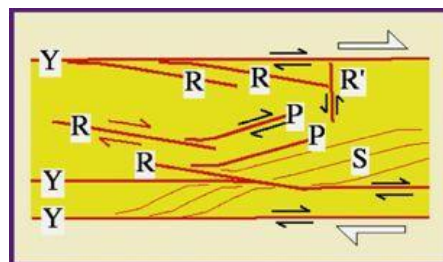
همانطور که در شکل ۲ الف مشاهده می‌شود، زاویه امتداد درزه‌های برشی نسبت به درزه‌های کششی حدوداً ۳۰ درجه است. و تراکم درزه‌های دسته اول بیش از دسته دوم می‌باشد. لذا می‌توان گفت



شکل ۲- الف. نمودار گل سرخی و ب. کنتور دیاگرام کل شکستگی‌های منطقه

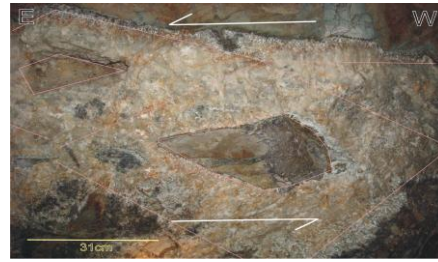
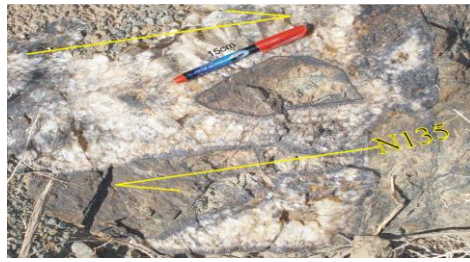
ایجاد شده‌اند. تعداد کمی از فضاها باز نیز بشکل Open-gash و زیگموئیدال‌هایی هستند که از گسترش برش راستگرد بوجود آمده‌اند. بدلیل اینکه رشد بلورها از دیواره به سمت مرکز است حفره میانی که هنوز فرصت کانی‌زایی پیدا نکرده، بشکل لوزی است (شکل ۴) که در اثر پیشرفت دگرشکلی گاهی وجوه آن بصورت زیگموئیدال در می‌آید (شکل ۵) و بنابر نوع عملکرد پهنه برشی حرکت راست‌بر یا چپ‌بر نشان می‌دهند.

از آنجائی که رگه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، در فضاها باز جایگزین شده‌اند لذا جهت تحلیل ساختار هندسی رگه‌ها، به بررسی فضاها باز موجود، پرداخته می‌شود. اکثریت این فضاها در اثر حرکت شکستگی‌های ریدل R, P و R' تحت تأثیر برش راستگرد ایجاد شده‌اند (شکل ۳) (پسچر و ترو، ۱۹۹۶) و روند شمال‌باختر-جنوب‌خاور دارند. دسته دوم از چرخش راستگرد بلوکهای رومبوئداری حاصل از این شکستگی‌ها

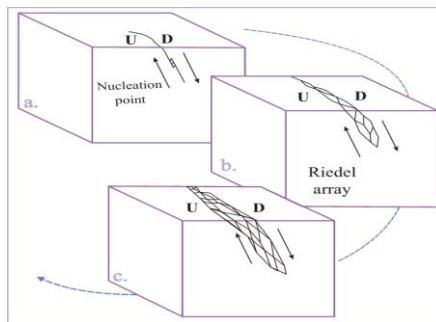


شکل ۳- طرح قیاسی نشان‌دهنده هندسه ویژه و سوی برش معمول‌ترین انواع برش‌های ریدل در یک پهنه برشی

(پسچر و ترو، ۱۹۹۶)



شکل ۴- تقاطع رگه‌های 'P & R' با زاویه ۹۰ درجه بین آنها شکل ۵ - بازشدگی شکستگی‌های برشی بشکل رومبوئدتری



شکل ۶- تصویر شماتیک از نحوه پیشرفت شکستگیهای میزبان رگه در معدن قلعه‌زری. a. نقطه آغاز تشکیل پهنه برشی در محل چاه اصلی (شماره ۳) b. ادامه فعالیت پهنه برشی و تشکیل شکستگیهای ریدل. c. توسعه شکستگیها با تبعیت از مدل ریدل

بنابراین نوع دگرشکلی رخ داده غیر هم‌محور می‌باشد. با توجه به مشاهده آثار چرخش در هر دو نسل از رگه‌ها در پهنه برشی می‌توان نوع دگرشکلی رخ داده در این منطقه را نا هم محور دانست.

محاسبه مقدار کرنش و حجم فضای باز متناسب

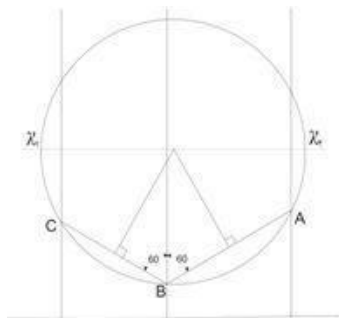
جهت تحلیل کرنش نهایی سه بعدی بر روی شکستگیهای محدوده مورد مطالعه از روش دایره موهر استفاده شده است و دلیل آن تقاطع بازشدگیها با یکدیگر بوده است. لذا موقعیت جغرافیایی و هندسی صفحات رگه‌های متقاطع در سطح و عمق برداشت شد و اندازه گیری ضخامت و طول رگه‌ها در سطح و عمق (درون تونل‌ها)،

محدوده چاه ۳، بخش مرکزی و نقطه آغاز فعالیت پهنه برشی اصلی شمال غرب-جنوب شرق منطقه است. و این محدوده قدیمی‌ترین کانی‌زایی را در درجه حرارت بالاتری نشان می‌دهد. شروع پیدایش فعالیت پهنه برشی شمال غرب-جنوب شرق، حوالی چاه ۳ بوده است (شکل ۶).

شکستگی‌ها و رگه‌ها در این منطقه در دو نسل مشاهده می‌گردند، در اثر کرنش‌های وارده ابتدا رگه‌های نسل اول ایجاد شده‌است که با افزایش کرنش‌های برشی دچار چرخش شده‌اند و رشد آنها متوقف گردیده‌است و نسل دوم رگه‌ها و شکستگی‌ها شروع به رشد نموده‌اند که در این رگه‌ها نیز آثار چرخش مشاهده می‌شود. به عقیده (مور و توس، ۱۹۹۲) مشاهده آثار چرخش در این رگه‌ها دلیل بر چرخش عناصر خطی نسبت به محوره‌های اصلی بیضوی کرنش نهایی است،

می‌باشد. با استفاده از فرمول‌های محاسبه کرنش (رامسی و هوپر، ۱۹۸۳)، میزان بازشدگی محاسبه می‌گردد.

در شکل ۷ الف، تقاطع رگه‌ها (شکستگی‌ها) برای نمونه ۱، مشاهده می‌شود. شکل ۷ ب نحوه ترسیم دایره مور و محاسبه λ'_1 و λ'_3 را برای مورد نمونه نشان می‌دهد.



شکل ۷ ب- تعیین نسبت کرنش R به روش دایره مور

R_{XZ} : نسبت کرنش حداکثر به حداقل برابر است

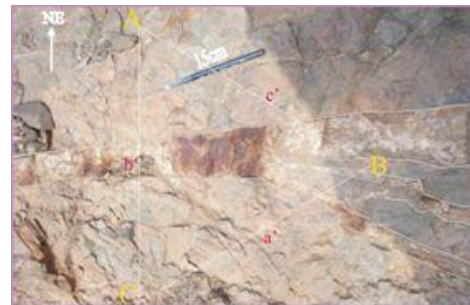
$$\frac{S_X}{S_Z} = \frac{1 + e_X}{1 + e_Z} \quad \text{با}$$

مقادیر بدست آمده در نمودار فلین رسم می‌گردد. نمودار کرنش فلین روشی مناسب برای نمایش کرنش‌های سه بعدی با تغییر حجم و یا بدون تغییر حجم می‌باشد که بوسیله فلین (۱۹۷۸) عنوان گردید. پارامتر K، شیب خط اتصال بیضوی کرنش به مبدأ مختصات است:

$$k = \frac{R_{XY}}{R_{YZ}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در نمودار کرنش لگاریتمی نسبت‌های $\text{Log}R_{XY}$ و $\text{Log}R_{YZ}$ به ترتیب در محورهای Y و X قرار می‌گیرند. در اینجا جهت تعیین موقعیت عمومی بیضوی کرنش و فاصله آن از مبدأ مختصات به ترتیب از مقدار K و D استفاده می‌شود (شکل های ۸ و ۹). رابطه محاسباتی هر یک در زیر آورده شده است (رامسی، ۱۹۶۷)

برای محدوده مورد مطالعه صورت گرفت. نسبت کرنش (λ'_1 به λ'_3) با استفاده از روش نمودار موهر برای ۳۵ مورد تقاطع شکستگی اندازه‌گیری شده است (راجن، ۱۹۸۵). برای محاسبه مقدار کرنش حجمی، لازم است نسبت کرنش (R) را طبق معادلات ۱ در صفحات اصلی کرنش محاسبه نماییم. بطوریکه محور کنونی X در منطقه شرقی-غربی، محور Z شمالی-جنوبی و محور Y قائم



شکل ۷ الف- تقاطع رگه‌ها در نمونه ۱

جهت محاسبه نسبت کرنش به روش مور از روابط ذیل استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned} R_{YZ} &= R \cdot \cos\alpha \\ R_{XZ} &= R \cdot \cos\beta \\ R_{XY} &= R \cdot \cos\gamma \end{aligned} \quad \text{روابط (۱)}$$

α, β, γ بترتیب زاویه قطب صفحه و محورهای X, Y, Z هستند.

کرنش برشی (ψ) برای معرفی تغییرات زاویه‌ای روی داده بر دو جهت عمود بر هم اولیه بکار می‌رود و برابر است با:

$$\gamma = \text{tg}\psi \quad \text{رابطه (۲)}$$

جهت تعیین میزان کرنش نهایی برشی حداکثر از رابطه زیر بهره گرفته شده است:

$$\gamma = \sqrt{R_{XZ}} - \frac{1}{\sqrt{R_{XZ}}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

parameter شکل بیضوی کرنش را در مقادیر لگاریتمی، بر اساس طول نیم محوره‌های بیضوی کرنش توضیح می‌دهد و اولین بار توسط هوسک (۱۹۶۸) ارائه گردیده است و از رابطه ذیل بدست می‌آید:

$$\nu = \frac{2e_2 - e_1 - e_3}{e_1 - e_3} \quad \text{رابطه (۷)}$$

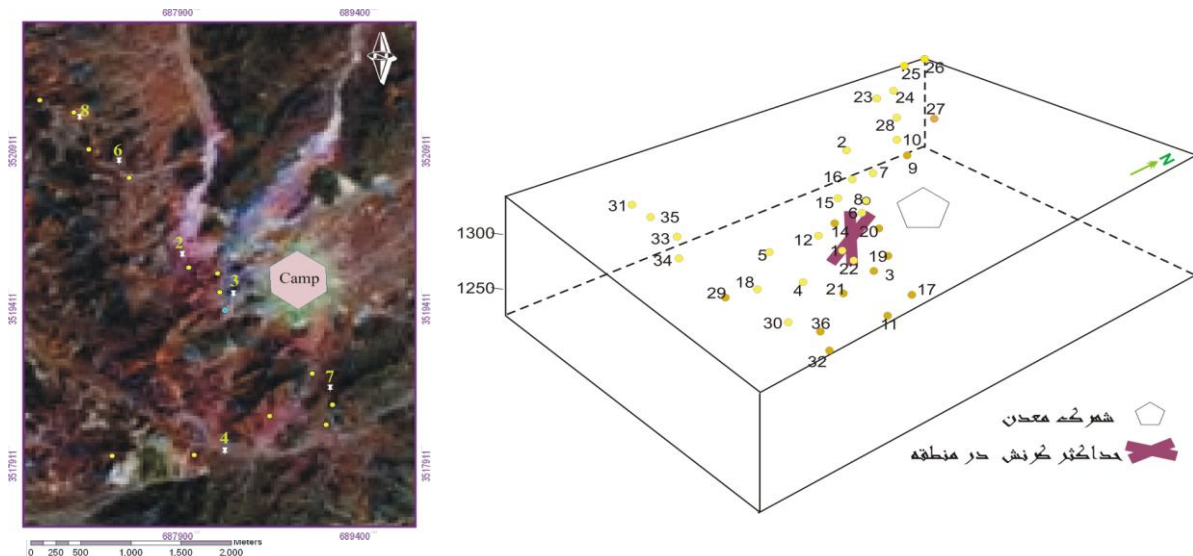
$$K = \frac{\ln|R_{xy} - 1|}{\ln|R_{yz} - 1|} \quad \text{رابطه (۵)}$$

رابطه (۶) $D = ((R_{YZ} - 1)^2 + (R_{XY} - 1)^2)^{1/2}$
 LnR_{XY}: لگاریتم طبیعی نسبت کرنش بروی صفحات X به Y و LnR_{YZ}: لگاریتم طبیعی نسبت کرنش بروی صفحات Y به Z همچنین Lode's

جدول ۱- مقادیر آماری بیضوی کرنش نهایی شکستگی

Nom.	γ	ψ	R	R _{XY}	R _{YZ}	K	LnR _{XY}	LnR _{YZ}	ν	K-value	D
۱	۰,۱۲	۶,۸۴	۱,۳۵	۱,۲۷	۰,۳۷	۴,۱	-۱,۲۳	-۰,۵	-۰,۱۶	۳,۱	۰,۷
۲	۰,۰۷	۴	۱,۱۶	۱,۱۳	۱,۱۲	۵,۱۸	-۱,۹	-۰,۶۶	-۰,۲۱	۷,۸۶	۱,۱۵
۳	۰,۰۴	۲,۳	۱,۱	۰,۹۵	۰,۴۷	۴,۵۸	-۲,۳	-۰,۷۶	-۰,۱۵	۹	۱,۸۸
۴	۰,۰۹	۵,۱۴	۱,۲۶	۱,۰۷	۰,۵۸	۲,۵۶	-۱,۸۸	-۱,۱۷	-۰,۰۸	۲,۷	۱,۱
۵	۰,۰۹	۵,۱۴	۱,۲۳	۰,۹۷	۰,۶	۲,۵۷	-۱,۳۶	-۱,۴۴	-۰,۰۸	۲,۹	۰,۴
۶	۰,۱۳	۷,۴	۱,۳	۰,۹۷	۰,۸۶	۱,۱۶	-۲,۵۶	-۲,۲	-۰,۰۷	۱,۴	۰,۰۳
۷	۰,۱	۵,۷	۱,۲۵	۱,۱۸	۰,۳	۵,۸۹	-۱,۶	-۰,۳۸	-۰,۲۲	۶,۴	۱,۱۵
۸	۰,۲	۱۰,۷	۱,۵۷	۱,۳۶	۰,۷۹	۲,۱۶	-۱,۰۲	-۰,۹۹	-۰,۰۷	۱,۰۳	۰,۰۸
۹	۰,۰۸	۴,۵۷	۱,۲	۰,۹۵	۰,۷	۱,۳	-۳,۰۷	-۱,۲۶	-۰,۰۷	۲,۴	۰,۰۵۶
۱۰	۰,۰۷	۴	۱,۱۸	۰,۰۸۳	۰,۸	۱	-۲,۱۳	-۲,۰۸	-۰,۰۵	۰,۰۷	۰,۰۳
۱۱	۰,۰۴	۲,۳	۱,۱	۰,۹۴	۰,۶۷	۱,۵۷	-۱,۸۷	-۱,۳	۰,۱۵	۲	۰,۱۵
۱۲	۰,۰۷	۳,۷۵	۱,۱۸	۰,۸۵	۰,۶۳	۱,۳	-۱,۹	-۱	-۰,۱۴	۱,۹	۰,۱۲
۱۴	۰,۱۲	۶,۸	۱,۳۲	۰,۹۶	۰,۸۸	۱,۱۵	-۲,۱	-۲	-۰,۰۱	۱,۱۹	۰,۰۴
۱۵	۰,۱	۵,۷	۱,۲۹	۱,۰۴	۰,۸	۱,۵۲	-۲,۴	-۱,۵۲	-۰,۳۴	۱,۸۴	۰,۰۸
۱۶	۰,۱	۶,۳	۱,۲۸	۱,۱	۰,۶۵	۱,۷۸	-۲,۵	-۱,۰۷	-۰,۲۱	۲,۳۳	۰,۱۲
۱۷	۰,۰۶	۳,۴	۱,۲۵	۰,۹۵	۰,۹۵	۱,۱	-۲,۲۵	-۱,۷۱	-۰,۰۳	۱,۵۳	۰,۰۵
۱۸	۰,۰۵	۲,۸۶	۱,۱۳	۰,۷۶۵	۰,۸۱	۰,۷۹	-۱,۴۷	-۱,۷۲۵	-۰,۳۴	۰,۹	۰,۰۶۳
۱۹	۰,۰۹	۵,۱۴	۱,۲۲	۰,۹۸	۰,۷	۱,۵	-۲,۴	-۱,۳	-۰,۲۶	۲,۲۶	۰,۱
۲۰	۰,۱۶	۹	۱,۴۸	۱,۲	۰,۸۴	۱,۵	-۲,۳۵	-۱,۶۲۳	-۰,۱۶	۱,۳	۰,۰۶
۲۱	۰,۰۹	۵,۱۴	۱,۲۲	۱,۱	۰,۴۶	۳	-۲,۴۴	-۰,۷	-۰,۰۷	۴,۳	۰,۵
۲۲	۰,۰۴	۲,۳	۱,۱	۰,۹۸	۰,۴۸	۲,۱	-۳,۱	-۰,۶۸	-۰,۲۷	۵	۰,۳
۲۳	۰,۰۶	۳,۴۳	۱,۱۳	۰,۶۳	۰,۸۷	۰,۷۶	-۱,۱	-۱,۸۶	-۰,۰۱۴	۰,۷	۰,۲
۲۴	۰,۰۳	۱,۷	۱,۱	۰,۹۵	۰,۵۵	۱,۷	-۳	-۰,۸	-۰,۲	۳,۸	۰,۱۹

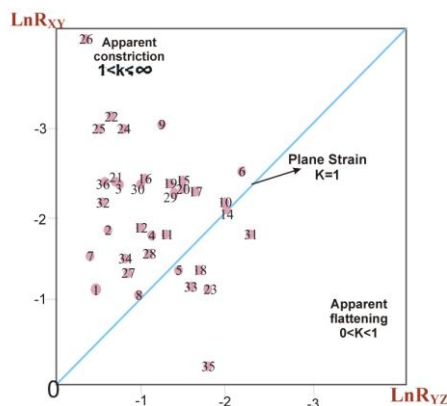
۲۵	۰,۰۶	۳,۴۳	۱,۱۴	۱,۱	۰,۳۵	۳,۸	-۳,۰۵	-۰,۴۵	-۰,۰۷	۷,۸	۰,۸
۲۶	۰,۰۱	۰,۵۷	۱,۰۳	۱	۰,۲	۴,۴	-۴,۲	-۰,۲۸	-۰,۰۴	۱۶,۶	۱
۲۷	۰,۰۷	۴	۱,۴	۱,۲۷	۰,۵۷	۲,۴	-۱,۳۵	-۰,۸۶	-۰,۰۵	۱,۶۷	۰,۲۳
۲۸	۰,۰۵	۲,۸۶	۱,۱۴	۰,۹	۰,۴۸	۱۰	-۱,۶	-۱,۱	-۰,۰۹	۱۶,۳	۲
۲۹	۰,۰۲	۱,۱۴	۱,۱	۰,۷۳	۰,۷	۱,۳	-۲,۳	-۱,۴	-۰,۰۷	۲,۹	۰,۴
۳۰	۰,۰۵	۲,۸۶	۱,۱۲	۰,۹	۰,۶۵	۱,۳۸	-۲,۳۳	-۱,۰۶	-۰,۲۷	۲,۱۹	۰,۱
۳۱	۰,۰۵	۲,۸۶	۱,۱۴	۰,۶۳	۰,۹	۰,۸	-۱,۸۴	-۲,۳	-۰,۲	۱,۸	۰,۲
۳۲	۰,۰۷	۴	۱,۱۹	۱,۱	۰,۴	۳	-۲,۳	-۰,۵۶	-۰,۲۳	۴,۵۷	۰,۵
۳۳	۰,۰۳	۱,۷	۱,۰۷	۰,۶۸	۰,۸	۰,۸۴	-۱,۱۷	-۱,۷	-۰,۱۷	۰,۷۳	۰,۲
۳۴	۰,۰۴	۲,۳	۱,۱۳	۰,۸۳	۰,۴۴	۷,۷	-۱,۵	-۰,۸	-۰,۲۳	۱۳,۳۸	۲
۳۵	۰,۰۷	۴	۱,۱۸	۰,۱۵	۱,۱۶	۰,۱	-۰,۱۷	-۱,۷۶	-۰,۱	۰,۹	۲,۴
۳۶	۰,۰۴	۲,۳	۱,۱	۱	۰,۴	۳	-۲,۴	-۰,۶	۰,۰۷	۶,۴	۰,۸۵
میانگین	۰,۰۷	۴,۱۶	۱,۲	۰,۹۳	۰,۶۶	۲,۵۴	-۲,۰۶	-۱,۱۹	-۰,۱۵	۴,۰۳	۰,۵۹



شکل ۸ - در سمت چپ نقاط سطحی و محل چاه‌ها بر روی تصویر ماهواره‌ای مشخص شده و در شکل سمت راست، موقعیت کلیه نقاط برداشت شده جهت بررسی کرنش حجمی در تصویر سه‌بعدی منطقه مطالعاتی نشان داده شده. علامت ضربدر در شکل سمت راست بیانگر منطقه دارای حداکثر کرنش می‌باشد.

کرنش، نیز بیضوی دوکی شکل را برای کرنش منطقه تأیید می‌کند. میانگین تغییرات زاویه‌ای (ψ) ۵ درجه و راست‌بر می‌باشد که با عملکرد پهنه برشی در منطقه هم‌خوانی دارد (شکل ۱۰ ا.ب).

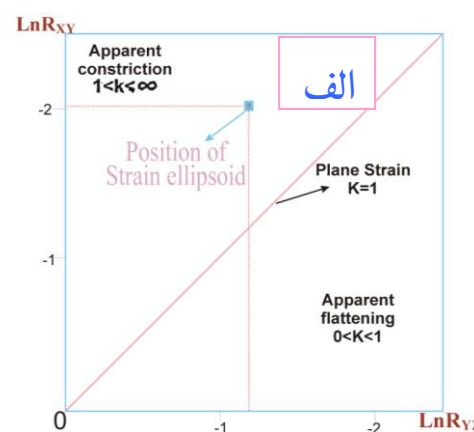
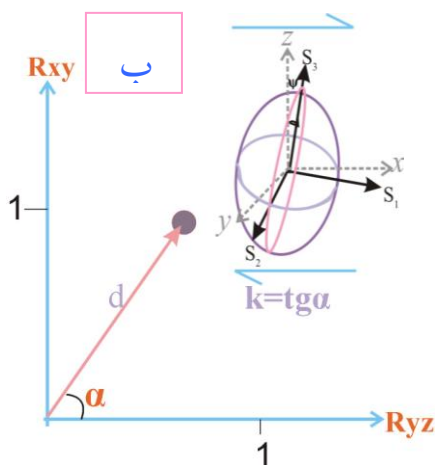
با توجه به میانگین مقادیر نسبت‌های کرنش بدست آمده (جدول ۱)، موقعیت بیضوی کرنش ناحیه در نمودار فلین، نشان دهنده کرنش محصور شده، است (شکل ۱۰ الف). ترسیم لگاریتمی رمزی با استفاده از نسبت لگاریتمی صفحات اصلی



شکل ۹- نمایش کرنش نهایی کل نقاط، بر روی یک نمودار لگاریتمی

value و k که بیضی کرنش را تشریح می‌کنند (رامسی و هوپر، ۱۹۸۳)، می‌توان شکل بیضوی کرنش در محدوده مورد مطالعه را دوکی‌شکل عمومی در نظر گرفت.

بیشترین مقدار کرنش انقباضی در مرکز پهنه برشی حاکم بر منطقه، یعنی نزدیک به چاه ۳ رخ داده است و بسمت اطراف کم می‌شود. با توجه به رابطه بین سه پارامتر کاربردی مشترک k ، D ، K



شکل ۱۰- الف. تحلیل سه بعدی کرنش نهایی شکستگیها در محدوده مورد مطالعه بر روی نمودار لگاریتمی. ب. نمودار فلین با استفاده از نسبت‌های سطوح اصلی کرنش و طرح کلی بیضوی کرنش منطقه.

نتیجه‌گیری

۳۳۰-۳۱۰ (درجه)، به عنوان پهنه‌های جابه‌جایی اصلی (PDZ) عمل نموده‌اند. عمده شکستگی‌ها به ترتیب در سه راستای مهم ۳۳۰-۳۰۰ درجه، ۰۵۰-۰۳۰ درجه و نیز ۹۵-۱۰۵ درجه رخ داده‌اند. جهت‌گیری غالب NW-SE، منطبق بر

معدن قلعه‌زری تحت تأثیر سیستم برشی - فشارشی راست‌بر با آزمون N135 قرار گرفته است. در حوالی چاه شماره ۳، بیشترین بازشدگی رخ داده است. در این سیستم برشی - فشارشی راست‌گرد، گسل‌های با راستای NW-SE (آزمون

میانگین مؤلفه‌های آماری و توصیفی بیضوی کرنش نهایی شکستگی‌ها در نمودار فلین، نشان‌دهنده کرنش محصور شونده است. با توجه به رابطه بین سه پارامتر کاربردی مشترک θ ، K -value و k که بیضی کرنش را تشریح می‌کنند، می‌توان شکل کلی بیضوی واتنش در محدوده مورد مطالعه را، دوکی‌شکل عمومی، در نظر گرفت. مقدار کرنش حجمی برای منطقه مطالعاتی، ۰٫۵۹ محاسبه شده است.

شکستگی‌های ریدل همسو با پهنه برشی اصلی Y ، P ، R ، و نیز گسل‌های امتدادلغز راست‌بر می‌باشد. شکستگی‌های $NE-SW$ در درجه دوم اهمیت هستند و منطبق بر شکستگی‌های ریدل ناهمسو با پهنه برشی اصل R' و نیز گسل‌های امتدادلغز چپ‌بر می‌باشد. دسته سوم شکستگی‌ها، با جهت شرقی-غربی از نوع کششی هستند. در این منطقه فرآیندهای تکتونیک در دو نسل و بصورت غیرهم‌محور عمل کرده است.

منابع

- Flinn, D., 1978. Construction and computation of three-dimensional progressive deformations. *Journal of Geology Society of London*, v.135, p.291-305.
- Hossack, J.R., 1968. Pebble deformation in the Bygdin area (southern Norway). *Tectonophysics*, v.5, p.315-339.
- Moore, M.E., and Twiss, R.J., 1992. *Structural Geology*. New York: Freeman and Company.
- Passchier, C.W., and Trouw, R.A.J., 1996. *Microtectonics*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 289 p.
- Ragan, D.M., 1985. *Structural Geology, An introduction to Geometrical Techniques*. Cambridge university press, New York, 624 p.
- Ramsay, J.G., 1967. *Folding and Fracturing of Rocks*. New York: Mc Graw-Hill, 568 p.
- Ramsay, J.G., 1980. Shear zone geometries: a review., *Journal of Structural Geology* v.2, p. 83-100.
- Ramsay, J.G., and Huber, M.I., 1983. *The Techniques of Modern Structural Geology*, v.1: Strain Analysis, Academic Press, London.

- اشتوکلین، ی.، افتخارنژاد، ج.، و هوشمندزاده، ع.، ۱۳۵۲. بررسی مقدماتی زمین‌شناسی در لوت مرکزی، شرق ایران، گزارش شماره ۲۲، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- حسن‌نژاد، ع.ا.، ۱۳۷۲. مطالعات ژئوشیمیایی و سیالات درگیر در معدن مس قلعه‌زری، استان خراسان، ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شیراز.
- حسن‌نژاد، ع.ا.، ۱۳۸۴. فلززایی معدن مس، طلا و نقره قلعه‌زری در لوت شرقی ایران، پایان‌نامه دکترا، رشته زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شیراز.
- خطیب، م.م.، ۱۳۷۸. ارتباط دگرشکلی برشی و رگه‌های معدنی در قلعه‌زری، مجموعه مقالات همایش شناخت توانمندی‌های معدنی شرق کشور، بیرجند.
- محمدی، ف.، ۱۳۸۴. دماسنجی، پتروگرافی و ژئوشیمی زون‌های آلتراسیون معدن مس-طلای قلعه زری (خراسان جنوبی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.