



# فصلنامه زمین ساخت

تابستان ۱۴۰۱، سال ششم، شماره ۲۲

doi 10.22077/JT.2023.6011.1150

## تحلیل شکستگی های کششی و برشی مزدوج در کنگلومرای منطقه سه چنگی (مرز شمال غربی پهنه های ساختاری لوت و سیستان)

شهریار کشتگر<sup>۱\*</sup>، محمود رضا هیهات<sup>۲</sup>، ساسان باقری<sup>۳</sup>، ابراهیم غلامی<sup>۲</sup>، سید ناصر رئیس السادات<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکترای تکنیک، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۳- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۴- استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

### چکیده:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۶

کنگلومرای دگرشکل شده منطقه سه چنگی در مرز خمیده شمال غربی پهنه سیستان با پهنه لوت بصورت یک سطح ناپیوستگی زاویه دار بر روی توالی شیل و ماسه سنگ تریاس رخنمون دارد. این کنگلومرا متحمل دگرشکلی شککنده شده و در آن شکستگی های نوع کششی و برشی مزدوج ایجاد شده است و هیچ نوع دگرشکلی شکل پذیر در زمینه و در قله های آن وجود ندارد. با مطالعه شکستگی های کششی در این کنگلومرا پارامترهای طولی کرنش  $\lambda=1.32$ ،  $\lambda'=0.75$  بدست آمده است. بر اساس تحلیل تنش شکستگی های برشی مزدوج به روش های «دووجهی راست» و «بهینه سازی چرخشی»، میل و روند محورهای اصلی تنش  $\sigma_1=23/190$ ،  $\sigma_2=43/77$  و  $\sigma_3=38/299$  و مقدار فاکتور شکل  $R(\Phi)=0.7$  و  $R'=1.23$  بدست آمده است و بیانگر این است که کنگلومرای سه چنگی، متحمل یک کشیدگی و تغییر حجم در راستای N70W شده است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل شکستگی های کششی و شکستگی های برشی مزدوج، بنظر می رسد که رژیم تکنونیک خمشی در منطقه سه چنگی که همزمان با کوهزادپالئوژن شرق ایران بوده است، باعث ایجاد این دگرشکلی های شککنده و نیز جهت یابی چین خوردگی های تداخلی منطقه شده است.

کلیدواژه ها: شکستگی برشی، کرنش، کنگلومرا، سه چنگی، شرق ایران.

\*ایمیل: shahriar.keshtgar@gmail.com

تلفن تماس: ۰۹۱۵۵۹۸۰۰۲۰



## Analysis of Extension and Conjugate Shear Fractures in the Sechengi Conglomerate (The northwestern border of Lut-Sistan terrains)

Shahriyar Keshtgar<sup>1\*</sup>, Mahmoud Reza Heyhat<sup>2</sup>, Sasan Bagheri<sup>3</sup>, Ebrahim Gholami<sup>2</sup>, Seyed Naser Raiiosadat<sup>4</sup>

1- Ph.D. student of tectonics, faculty of science, University of Birjand, Birjand, Iran.

2- Associate professor, Faculty of Science, Department of Geology, University of Birjand, Birjand, Iran.

3- Associate professor, Faculty of Science, Department of Geology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

4- Professor, Faculty of Science, Department of Geology, University of Birjand, Birjand, Iran.

### Abstract

The deformed Sechengi conglomerate is exposed with an angular unconformity on the Triassic sediments on the curved northwestern border of the Sistan and Lut terrains. The Sechengi conglomerate was undergone brittle deformation, consequently the extension and conjugate shear fractures occurred in its and no ductile deformation has been seen in matrix and pebbles of this conglomerate. According to extensional fractures, the value of strain longitudinal parameters was obtained as follows:  $e=0.15$ ,  $S=1.15$ ,  $\lambda=1.32$  and  $\lambda'=0.75$ . Also, the stress analysis of conjugate shear fractures in this conglomerate by the "right dihedral" and "rotational optimization" methods were calculated  $\sigma_1=23/190$ ,  $\sigma_2=43/77$ ,  $\sigma_3=38/299$  and  $R(\Phi)=0.7$ ,  $R'=1.23$ . These results indicate that the conglomerate has been experienced an elongation with some volume changes along the N70W direction. According to study of extension and conjugate shear fractures, it seems that the buckling tectonic regime in the Sechengi area which associated with the Paleogen eastern Iranian orogeny, caused the brittle deformations and orientation of re-fold structures in this area.

**Keyword:** Shear fracture, Strain, Conglomerate, Sechengi, Eastern Iran.

\*Email: shahriar.keshtgar@gmail.com

Tel: +989155980020

## ۱- مقدمه

آنالیز جنبشی ساختارها ابزار مهمی بمنظور پی بردن به تاریخچه دگرشکلی در مقیاس محلی و ناحیه ای است. شکستگی‌ها بعنوان یکی از ساختارهای شکننده که در مناطق سطحی ایجاد می‌شوند به انواع کششی (Open- ing mode)، برشی و کششی-برشی (هیبرید) طبقه بندی شده اند (Ramsay and Chester, 2004). شکستگی‌های هیبرید تحت تاثیر تنش‌های مرکب کششی-فشارشی و با زاویه حاده نسبت به راستای تنش فشارشی پیشینه، جهت یابی می‌نمایند (Ramsay and Chester, 2004). تحلیل شکستگی‌های برشی مزدوج اطلاعات ارزشمندی از وضعیت میدان تنش دیرین در اختیار قرار می‌دهد. کنگلومراها بخوبی می‌توانند بدلیل میزان ناهمگنی بافتی تغییرات دگرشکلی را در خود ثبت نمایند (Mitra, 1994) به همین دلیل غالباً بعنوان یک افق نشانه در توالیها برای مطالعات ساختاری و تحلیل تنش مورد توجه قرار دارند (Treagus and Treagus, 2002). نوع دگرشکلی در قلوه‌های کنگلومرا ممکن است از نوع شکل پذیر-نیمه شکل پذیر (در عمق توالی‌ها) یا از نوع شکننده (در شرایط سطحی) متغیر باشد. تا کنون روش‌های متفاوتی برای مطالعه قلوه‌های کنگلومراها پیشنهاد شده است که برای دگرشکلی‌های شکل پذیر عمدتاً روش  $Rf-\phi$  (Ramsay, 1967) و برای دگرشکلی‌های شکننده (مانند منطقه مورد مطالعه) روش‌های تحلیل تنش دیرین با استفاده از شکستگی‌های برشی قابل استفاده می‌باشد (Davis et al, 2000). با توجه به اینکه تا کنون مطالعات ساختاری منسجمی در منطقه سه چنگی انجام نشده است هدف اصلی این پژوهش، بررسی و معرفی نوع دگرشکلی، انواع شکستگی‌ها و محاسبه پارامترهای طولی کرنش در کنگلومرای دگرشکل شده منطقه می‌باشد.

## ۲- روش انجام تحقیق

این پژوهش بر اساس انجام مطالعات تصاویر ماهواره ای، نقشه‌های زمین‌شناسی، برداشتهای صحرایی ساختاری از وضعیت لایه بندی، تورق و شکستگی‌های کششی و برشی استوار است. توجه به این نکته مهم در مطالعه ساختاری کنگلومراها، که قلوه هایشان می‌بایست در توالی رسوبی مربوطه، بصورت برجا و در ماتریکس اصلی قرار داشته باشند، نیز مدنظر قرار

گرفته است.

در این تحقیق دو نوع برداشت‌های صحرایی انجام شده است: ۱- برداشت شکستگی‌های کششی، ۲- برداشت شکستگی‌های برشی مزدوج. در مرحله اول، بمنظور محاسبه پارامترهای طولی کرنش، ابتدا میزان بازشدگی کششی در هر یک از قلوه‌های کنگلومرا اندازه گیری شدند و سپس مجموع این طول‌های ثانویه در هر قلوه محاسبه شدند (L1) و از طول محور بزرگ قلوه‌های بیضوی شکل کسر گردیدند تا بطور تقریبی طول اولیه هر قلوه (L0) بدست آید (Mi-tra, 1994). با استفاده از فرمولهای استاندارد کرنش، پارامترهای طولی محاسبه شدند.

در مرحله دوم، با هدف تحلیل تنش موثر و نحوه ایجاد شکستگی‌های برشی مزدوج، مشخصات ساختاری صفحات برشی مزدوج در قلوه‌ها اندازه گیری شدند و داده‌های بدست آمده در جدول ورودی داده‌های نرم افزارهای 8 wintensor در بخش ورود داده‌های «صفحات برشی مزدوج» پردازش و مورد تحلیل قرار گرفتند.

## ۳- زمین‌شناسی منطقه

تکتونیک شرق ایران پیچیدگی‌های زیادی دارد و آن را متاثر از وجود باریکه‌هایی از اقیانوس نئوتتیس در بین بلوک‌های قاره ای افغان در شرق و لوت در غرب می‌دانند (McCall, 1997) که اوایل کرتاسه باز شده است (Camp and Griffis, 1982; Tirrul et al., 1983). تقسیم بندی‌های متفاوتی برای واحدهای ساختاری ایران توسط محققین مختلف ارائه شده است اما برای محدوده مورد مطالعه دو پهنه ساختاری سیستان و لوت عمومیت یافته است (شکل ۱).

زمیندرز سیستان (رشته کوه‌های شرق ایران) شامل توالی‌های توریدایتی کرتاسه-ائوسن متشکل از کمپلکس‌های «رتوک» و «نه»؛ افیولیت ملاژها و دگرگونی‌های فشار بالا (در بخش شمالی) است. مجموعه فوق بعنوان سرزمین پیش بوم (Foreland) در نظر گرفته می‌شود و منطقه پس بوم (Hinterland) در شمال مرز دندانان ای و خمیده بین لوت و سیستان وجود دارد (Bagheri and Damangol., 2020). از جمله مطالعات ساختاری انجام شده در این پهنه می‌توان به مطالعات انجام شده توسط (یعقوبی و باقری، ۱۳۹۹ و



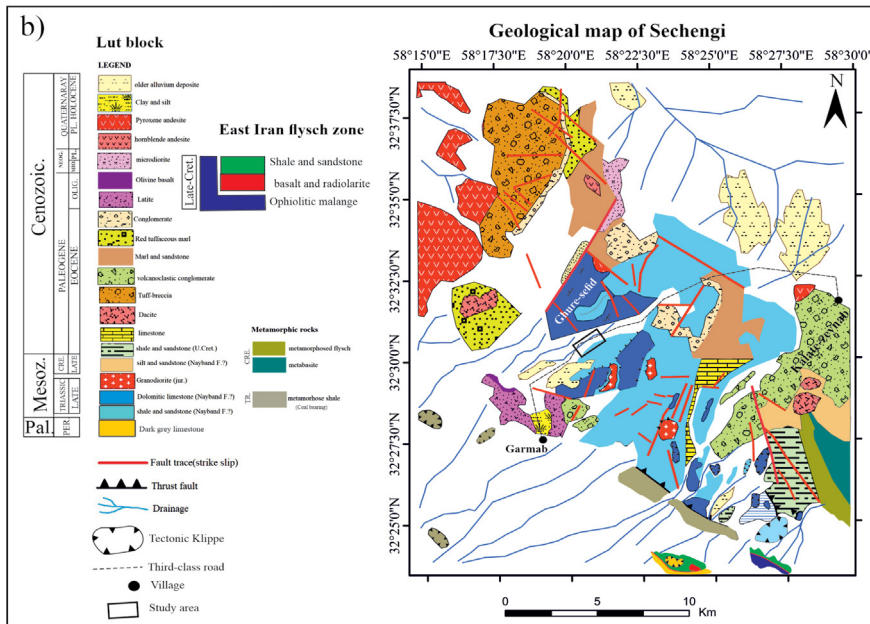
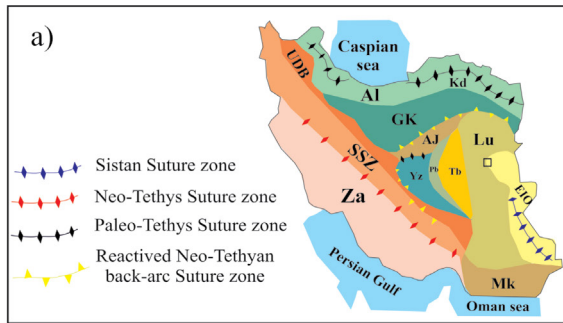
نیز (Jentzer et al, 2017) اشاره نمود.

پهنه ساختاری لوت عمدتاً توسط آتشفشانی‌های ترشیاری و رسوبات قاره‌ای پوشیده شده است. در کنار آن میتوان رخنمون‌هایی پراکنده از لایه‌های پالئوزویک و مزوزویک و یک هسته از سنگ‌های دگرگون شده را نام برد (Stocklin, 1972). مهمترین خصوصیات زمین‌شناسی لوت عبارتند از: ۱- پی سنگ کادومین (Guillou et al., 1981) و Rowshanravan, (2006)، ۲- رسوبات پالئوزویک (Berthiaux et al., 1991)، ولکانو کلاستیک‌های تریاس-ژوراسیک تریاس (Azimi and Saidy, 1975)، ۴- پلاتفرم کربناته کرتاسه-پالئوسن (Ohanian and Tatevosian, 1978)، ۵- پلاتفرم تخریبی ائوسن. این سرزمین در تریاس پایانی در حین بسته شدن اقیانوس پالئوتتیس به قاره اوراسیا افزوده شدند (Bagheri & Stampfli, 2008). در مورد زمان بسته شدن اقیانوس تا کنون توافق نظری وجود نداشته است بطوری که برخی زمان برخورد لوت و افغان را ائوسن میانی (Camp and Griffis, 1982; Tirrul et al., 1983) و برخی اواخر کرتاسه (Zarrinkoub et al., 2012; An- (giboust et. al., 2013, Bonet et al., 2018) باقری و دامنیگل (Bagheri and Damangol., 2020) کوهزاد پالئوژن شرق ایران را یک اوروکلاین ثانویه (Secondary orocline) معرفی نموده اند.

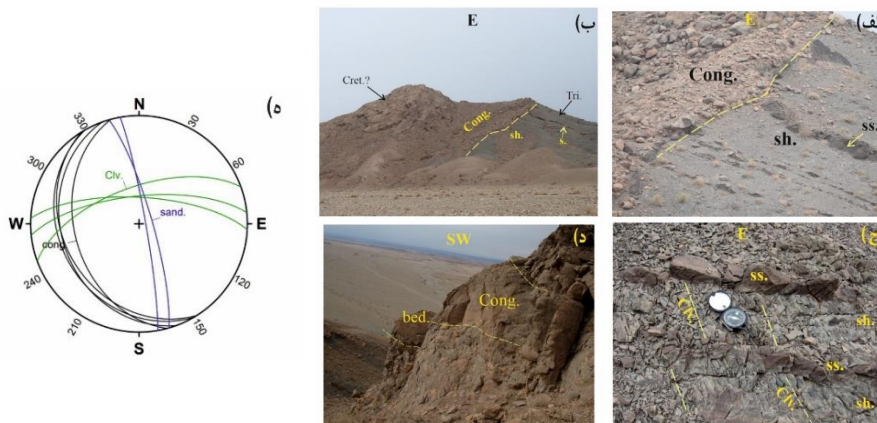
منطقه سه چنگی در غرب بیرجند و جنوب خوسف قرار دارد. در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سه چنگی (Azimi and Saidy, 1975) این محدوده شامل یک مقطع از پرمین تا عهد حاضر است اما در آن نبوده‌های چینه‌شناسی بزرگی وجود دارد (شکل ۱). واحدهای آتشفشانی ترشیر و نهشته‌های گراولی کواترنر بخش وسیعی از منطقه را پوشانده است. تنها رخنمون محدودی از مقطع پرمین و مزوزویک در جنوب شرقی منطقه رخنمون دارند. قدیمی‌ترین بروزدها آهک‌های تیره رنگ اولیتی اند که در کوه قوره سفید رخنمون دارند و معادل آهک جمال در طبس هستند. سنگ‌های پرمین قوره سفید که حدود ۳۵۰ متر ضخامت دارند با ناپیوستگی زاویه دار از شیل‌های تریاس جدا می‌شوند. در واقع خصوصیات این منطقه شامل یک مقطع نازک و ناکامل رسوبات مزوزویک، گدازه‌های وسیع آندزیتی-داسیتی ترشیر، و یک دگرشکلی آلپی است.

آهک‌های پرمین منطقه قوره سفید بطور پرشیب توسط یک گسل با امتداد NE دچار چرخش رو به بالا (Up-turned) شده اند. آهک‌های تریاس جنوب شرق این گسل بصورت دماغه یک چین تاق‌دیدی با پلانژ SW است که با گسل‌های متعدد با روندهای شمال غربی و شمال شرقی قطع شده اند. در فاصله ای دورتر در شمال شرقی نقشه کوه سرخ، سنگ‌های پرمین-تریاس بلوک لوت بشدت برش خورده و تاحدی دگرگون شده اند و توسط یک خط گسلی نامنظم و ناگهانی در مقابل کمر بند فلیش-ملانژ شرق ایران قرار گرفته و متصل شده است که در اینجا منجر به رخداد عمیق‌ترین فورانهای آتشفشانی رو به غرب درون بلوک لوت شده است. یک کنگلومرای قاعده ای با ناپیوستگی زاویه دار شیل و سیلتستون‌های تریاس را پوشانده است و خود قاعده ی یک کمپلکس آتشفشانی ضخیم با سن چینه‌شناسی پالئوژن می باشد که بطور وسیع بخش‌های مرکزی و شمالی لوت را پوشانده است.

کنگلومرای مورد مطالعه که بر روی نقشه زمین‌شناسی (Kuc) با سن کرتاسه معرفی شده است، در بالای سطح یک ناپیوستگی زاویه دار با توالی شیل-ماسه سنگ تریاس رخنمون دارد (شکل ۲-الف و ۲-ب). بر اساس مطالعات صحرایی، قلوه‌های این کنگلومرا متشکل از قلوه‌های آهکی نخودی رنگ است که در آنها فسیل‌های کرتاسه وجود دارد بنابراین بنظر می رسد که سن این کنگلومرا احتمالاً بعد از کرتاسه باشد. اندازه‌های قلوه‌ها بسیار متفاوت (از چند سانتیمتر تا چندمتر) است و قلوه‌های مرجانی آهکی خاکستری رنگ (با سن احتمالی ژوراسیک؟) نیز در این واحد قابل مشاهده است. بخش ماسه سنگ زیر سطح ناپیوستگی زاویه دار، دارای لایه بندی دانه تدریجی است که ریز شدگی به سمت بالای توالی و حالت عادی نشان می دهد. در زیر سطح ناپیوستگی یک تورق برشی نافذ در واحد شیل و ماسه سنگ تریاس قابل مشاهده است اما این تورق برشی در کنگلومراهای بالای سطح ناپیوستگی ادامه ندارد بنابراین بنظر می رسد زمان رخداد آن قبل از کرتاسه بالا-پالئوسن باشد (شکل ۲-ج). کنگلومرای سه چنگی دارای لایه بندی نیز می باشد (شکل ۲-د). ارتباط ساختاری لایه بندی‌ها و کلیواژ این سطح ناپیوستگی در استریوگرام ۲-ه ترسیم شده است.



شکل ۱: الف- موقعیت منطقه سه چنگی نسبت به پهنه های زمین ساختی ایران، با تغییرات اقتباس از (Bagheri et al., 2020); علایم: EIO: کوهزاد شرق ایران؛ Mk: مکران، Za: زاگرس، SSZ: سندانج-سیرجان، GK: کویر بزرگ، Yz: پهنه یزد، Pd: پهنه پشت بادام، Tb: پهنه طبس، Lu: پهنه لوت، AJ: انارک-جندق، UDB: کمر بند ارومیه-دختر، AI: پهنه البرز، Kd: پهنه کبه داغ. کادر روی نقشه: منطقه سه چنگی؛ ب- نقشه زمین شناسی سه چنگی که بر روی آن راندگی و پنجره های تکتونیکی حاصل از این پژوهش اضافه شده است. با تغییرات اقتباس از (Azimi and Saidy, 1975) کادر خط چین: محدوده مورد مطالعه.



شکل ۲: الف و ب- ناپیوستگی زاویه دار تریاس منطقه سه چنگی؛ ج- ارتباط لایه بندی ماسه سنگ با کلیواژ نافذ در توالی شیل و ماسه سنگ؛ د- لایه بندی در کنگلومرای بالای سطح ناپیوستگی؛ ه- استریوگرام وضعیت لایه بندی سطح زیرین و بالای ناپیوستگی با کلیواژ سطح زیرین ناپیوستگی. علایم: Cong: کنگلومرا، sh: شیل، SS: ماسه سنگ، clv: کلیواژ.



## ۴- تحلیل شکستگی‌ها

بمنظور محاسبه رخداد کرنش دو بعدی، بخصوص در زمانی که مشخص نیست قبلا کرنش در اثر برش ساده بوجود آمده یا برش محض، استفاده از نشانگرهای کرنش، کاربرد زیادی دارند (Marshak and Mitra, 2002). از طرفی پیدا کردن اجسامی که طول اولیه آنها مشخص باشد، نادر است بنابراین معمولا نسبتها و جهت گیری کشیدگی‌های اصلی را محاسبه می‌کنیم (Mar-shak and Mitra, 2002). برای این کار وجود اجسامی با ویژگی‌های زیر ضروری است:

۱- شکل کروی اولیه هم بعد (نظیر ائیدها و لکه‌های احیایی)؛ ۲- مقاطع عرضی اولیه مدور (نظیر اسکولیتوس)؛ ۳- شکل‌های اولیه غیرکروی تقریبا بیضوی شکل (نظیر اکثر قلوه‌های کنگلومرا)؛ ۴- ریخت‌های اولیه خطی (نظیر بلمنیت‌ها)؛ ۵- فسیل‌های با تقارن دوطرفه (نظیر براکیوپودها)؛ ۶- زوایای شناخته شده اولیه (نظیر زوایای فسیل گراپولیت‌ها و درزه‌های انقباضی). در این پژوهش سعی شده با استفاده از روش سوم، مقادیر پارامترهای طولی استرین بر اساس قلوه‌های کنگلومرای منطقه محاسبه شود. با توجه به اینکه مقاومت سنگ در مقابل کشش کمتر از فشارش است، اولین شکستگی که در سنگ ظاهر می‌شود، شکستگی کششی است که به تدریج باز می‌شوند و در صورتی که مولفه برش نداشته باشند (شکل ۳-الف و ۳-ب)، قطب آن محور  $\sigma_3$  را نشان می‌دهد (Twiss and Moores, 1992).

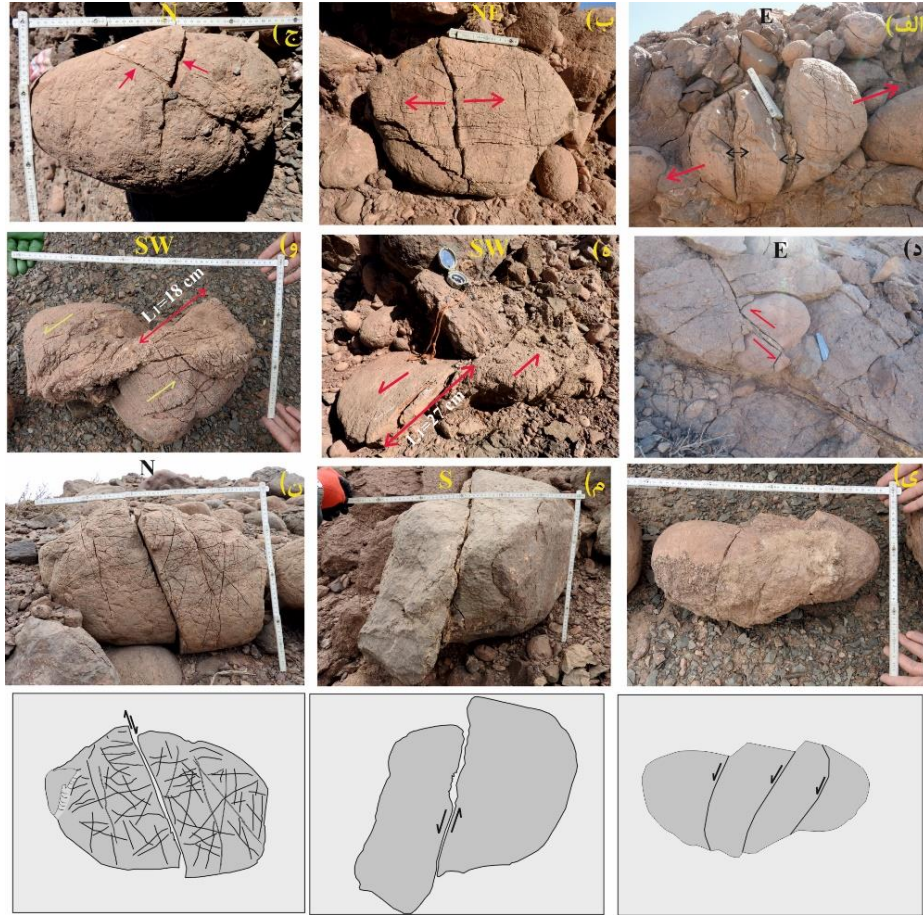
در منطقه سه چنگی شکستگی‌های برشی نیز در قلوه‌های کنگلومرا بخوبی ایجاد شده‌اند که متاثر از تنش برشی حداکثر، جابجایی‌های چپ بر (شکل‌های ۳-ج تا ۳-و) و راست بر (شکل ۳-ن) با مولفه‌های معکوس و نرمال ایجاد شده و بصورت تیپیک ساختارهای دومینویی در آنها قابل مشاهده است (شکل ۳-ی).

رده بندی و مراحل توسعه انواع شکستگی‌ها در کنگلومراها توسط (Futamura, 1989) ارائه شده است. با مقایسه انجام شده انواع شکستگی‌های کنگلومرای سه چنگی با این الگوها در شکل ۴، مشاهده می‌شود که در منطقه سه چنگی فقط شکستگی‌های نوع کششی و برشی در شرایط شکننده ایجاد شده است و دگرشکلی شکل پذیر بر روی زمینه و قلوه‌های کنگلومرا رخ

نداده است.

## ۴-۱- تحلیل شکستگی‌های کششی

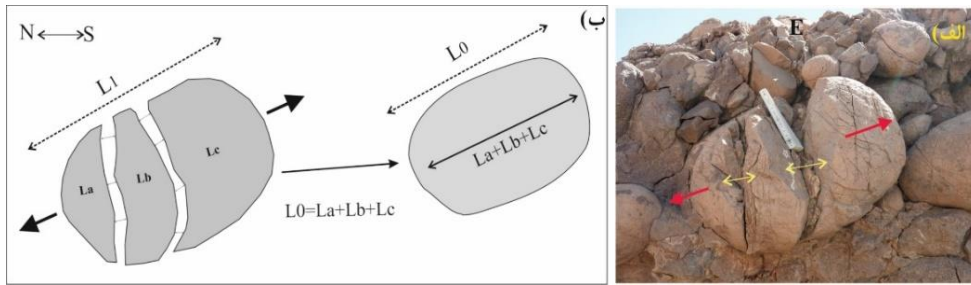
برای محاسبه پارامترهای طولی کرنش، ابتدا میزان بازشدگی هر کدام از شکستگی‌های کششی در هر یک از قلوه‌های کنگلومرا اندازه گیری شدند (شکل ۵) و سپس مجموع این طول‌های ثانویه در هر قلوه محاسبه شدند (L1) و از طول محور بزرگ قلوه‌های بیضوی شکل کسر گردیدند تا بطور تقریبی طول اولیه هر قلوه (L0) بدست آید (مشابه روش محاسبه میزان کشیدگی فسیل‌های دگرشکل شده). با استفاده از فرمولهای استاندارد کرنش (Mitra, 1994)، پارامترهای طولی محاسبه شدند (شکل ۵). بمنظور اندازه گیری میزان کرنش، به دست آوردن راستای کشیدگی ماکزیمم (راستای X) که همان راستای جابجایی و برش خوردگی است، اهمیت دارد و هدف، محاسبه میزان کرنش در صفحه‌ای است که بیشترین میزان کرنش را دارد (یعنی صفحه XZ از صفحات سه گانه بیضوی کرنش نهایی). شناسایی صفحه XZ در نمونه دگرشکل شده از طریق شناسایی راستای کشیدگی ماکزیمم یعنی راستای X و شناسایی یکی از صفحات سه گانه بیضوی کرنش نهایی انجام می‌شود. راستای کشیدگی ماکزیمم را می‌توان بر اساس ساختارهایی نظیر خش لغز در پهنه‌های گسلی یا جهت کشیدگی کانیا بدست آورد. در سنگ‌های دارای تورق، سطح تورق به موازات صفحه XY از صفحات بیضوی کرنش نهایی است. در سنگهای رسوبی مناطق پیش بوم (Foreland) صفحه لایه بندی موازی با صفحه XY کرنش نهایی در نظر گرفته می‌شود (Mitra, 1994). بنابراین با داشتن صفحه XY و راستای X، موقعیت صفحه XZ و YZ که عمود بر هم هستند، مشخص می‌شود. نسبت بیضویت بیضی کرنش نهایی در صفحه XZ بیشترین مقدار و در صفحه YZ کمترین مقدار را دارد و از رابطه  $Rxz > Rxy > Ryz$  تبعیت می‌کند (شکل ۶). بر اساس مطالعات صحرایی، کنگلومرای سه چنگی دارای لایه بندی است (شکل ۲-د) که در واقع همان صفحه XY کرنش می‌باشد. از طرفی چون قلوه‌های درون این کنگلومرا دچار دگرشکلی کششی شده‌اند، این راستا را می‌توان همان محور کشیدگی X کرنش دانست که در کنگلومرای سه چنگی جهت یابی N70W تا N55W دارد. محورها و صفحات اصلی کرنش بر روی استریوگرام قابل ترسیم شدند (شکل ۶-ب).



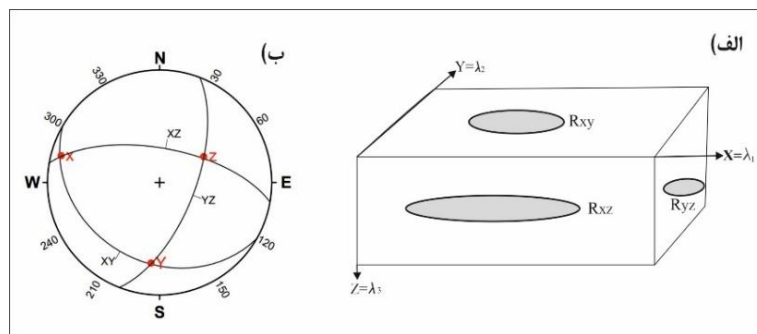
شکل ۳: انواع شکستگی‌ها در قلوه‌های کنگلومرای منطقه سه چنگی؛ الف و ب- شکستگی‌های کششی؛ ج) شکستگی برشی مزدوج؛ د) شکستگی برشی چپ بر؛ ه- برش راست بر در قلوه آهکی؛ و- برش چپ بر در قلوه مرجانی؛ ی- ساخت دومینویی در قلوه آهکی و تصویر شماتیک آن؛ م و ن- برشهای چپ بر و راست بر به همراه شبکه درزه‌های متأثر از برش؛ بمنظور عکسبرداری بهتر برخی قلوه‌ها از محل اصلی خود خارج شده‌اند.

Deformation sequence of Sechangi conglomerate					
Type	Deformation patterns of pebbles	Sechangi pebbles	Mode of Deformation	Relationship between matrix and fractures cutting pebbles	Stage
a			No Deformation	matrix is not cut by the fractures	Early
b			Extension fracture		
c			Extension fracture		
d			Shear fracture		
e			Ductile fracture		
f			Cataclastic flow		
g			Shear fracture	matrix is partly cut by the fractures	Late
h			Shear fracture	matrix is cut by the fractures	
			Extension fracture	All the structures of matrix and pebbles cut by the fractures	

شکل ۴- توالی دگرشکلی و انواع شکستگی‌های کنگلومرای سه چنگی در رده بندی (Futamura, 1989)



شکل ۵: الف- شکستگی های کششی کنگلومرای سه چنگی؛ ب- تصویر شماتیک از نحوه محاسبه پارامترهای طولی کرنش



شکل ۶: الف- موقعیت صفحات و محورهای اصلی کرنش و نحوه جهت یابی بیضی کرنش در سطوح اصلی؛ ب- استریوگرام محورها و صفحات اصلی کرنش برای شکستگی های برشی مزدوج کنگلومرای سه چنگی.

#### ۴-۲- تحلیل شکستگی های برشی مزدوج

شکستگی های برشی اصلی در قله های کنگلومرای سه چنگی دو راستای اصلی NE و NW دارند (شکل ۷-ا). به لحاظ جنبشی، این شکستگی های برشی دارای دو نوع حرکت مخالف یکدیگر هستند بطوری که انواع NW بیشتر جهت برش راست بر و انواع ENE بیشتر جهت برش چپ بر دارند. میزان شیب میانگین این صفحات برشی حدود ۷۵ درجه می باشد (شکل ۷).

همانطور که در استریوگرام شکل ۷-الف مشاهده می شود، در شکستگی های برشی مزدوج منطقه سه چنگی محور  $\sigma_2$  که محل تلاقی صفحات شکستگی برشی مزدوج است، بصورت قائم قرار گرفته است و نیمساز زاویه حاده بین این شکستگی ها جهت یابی محور  $\sigma_1$  و نیمساز زاویه منفرجه بین این شکستگی ها جهت یابی محور  $\sigma_3$  را نشان می دهد که نتیجه ای مشابه با شکل ۶-ب را تایید می نماید.

علاوه بر این، همانطور که در استریوگرام شکل ۲-ه نیز مشاهده می شود، کلیواژ نافذ شیل های سطح زیرین ناپیوستگی تقریباً با زاویه قائم نسبت به لایه بندی ماسه سنگ قرار دارد اما این کلیواژ در کنگلومرای بالای سطح ناپیوستگی وجود ندارد. با توجه به اینکه سطح برگواگی (تورق) همان سطح XY بیضوی استرین است و عمود بر راستای تنش فشارشی جهت یابی می شود، بر اساس این استریوگرام، راستای تنش فشارشی حدود N20E و راستای اتساع قله ها N70W بدست می آید که تطابق جالبی با شکل ۶-ب نشان می دهد. بر اساس محاسبات انجام شده (جدول ۱) میانگین کلی مقادیر بدست آمده عبارتست:

$$e = L - L_0 / L_0 = 38.2 - 33.02 / 33.02 = 0.15 \quad (1)$$

$$S = L / L_0 = (1 + e) = 1 + 0.15 = 1.15 \quad (2)$$

$$\lambda = S^2 = (1.15)^2 = 1.32 \quad (3)$$

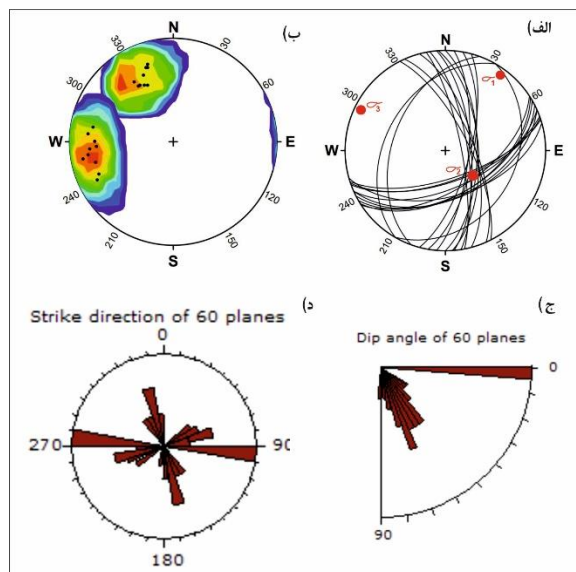
$$\lambda' = 1 / \lambda = 1 / 1.32 = 0.75 \quad (4)$$





جدول ۱: برداشت‌های ساختاری از شکستگی‌های برشی مزدوج، شکستگی‌های کششی و محاسبه پارامترهای طولی کرنش کنگلومرای منطقه سه چنگی

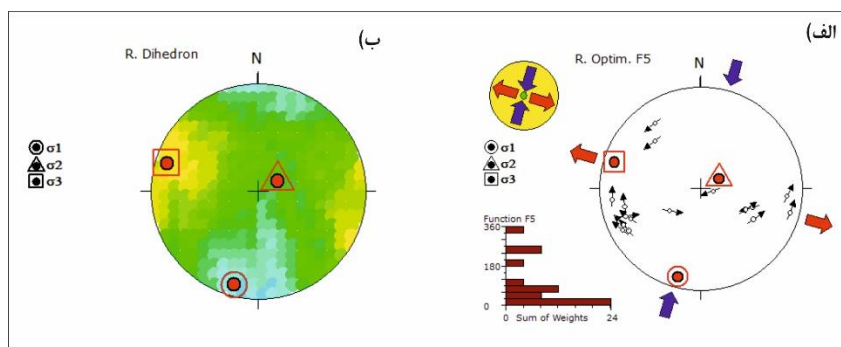
برداشت‌های شکستگی‌های برشی مزدوج				برداشت‌ها و محاسبات شکستگی‌های کششی						
مشخصات صفحه برشی اول	جابجایی صفحه برش اول (cm)	مشخصات صفحه برشی دوم	جابجایی سطح برش دوم (cm)	ابعاد قلوه ها (cm)	طول ثانویه قلوه L1	طول اولیه قلوه L0	e	S	$\lambda$	$\lambda'$
N60W/65NE	2.1	N70E/30NW	5	17*28	28	20.9	0.34	1.34	1.79	0.56
N70E/57SE	5		0	18*26	26	21	0.24	1.24	1.53	0.65
N30W/75NE	3.5	N-S/ 60W	0.5	32*22	32	28	0.14	1.14	1.31	0.77
N80W/75SW	0	N10W/70SW	0	15*18	18	18	0.00	1.00	1.00	1.00
N45E/30NW	0	N20W/55NE	0	11*22	22	22	0.00	1.00	1.00	1.00
N22W/60NE	3	N55E/45NW	0	28*40	40	37	0.08	1.08	1.17	0.86
N80E/65SE	1	N45W/52NE	0	18*32	32	31	0.03	1.03	1.07	0.94
N50W/72SW	0.4	N05E/ 63SE	0	11*18	18	17.6	0.02	1.02	1.05	0.96
N20W/78NE	0.2	N50E/60NW	0.3	31*15	31	30.5	0.02	1.02	1.03	0.97
N15W/85SW	11	N35E/70NW	0	43*22	43	32	0.34	1.34	1.81	0.55
N40W/60SW	1	N-S/85W	0.2	15*26	26	25	0.04	1.04	1.08	0.92
N42E/40SE	0.4	N30W/90	0.3	37*16	37	36.3	0.02	1.02	1.04	0.96
N5W/58SW	33			80*46	80	47	0.70	1.70	2.90	0.35
N50W/75NE	2	N25W/58NE	0	54*33	54	52	0.04	1.04	1.08	0.93
N10W/66NE	5			60*45	60	55	0.09	1.09	1.19	0.84
N15W/64NE	5.5	N40E/65NW	9	30*55	55	49.5	0.11	1.11	1.23	0.81
N80W/85SW	3.5			30*35	35	31.5	0.11	1.11	1.23	0.81
N65W/58NE	2	N74E/36NW	2.5	27*36	36	31.5	0.14	1.14	1.31	0.77
N35W/65NE	1.5	N-S/68W	0.4	22*12	22	20.1	0.09	1.09	1.20	0.83
N56E/20NW	0	N25W/45NE	0	39*32	39	39	0.00	1.00	1.00	1.00
N32W/68NE	0.4	N40E/55NW	0.2	47*35	47	46.4	0.01	1.01	1.03	0.97
N25W/55SW	0	N45E/620NW	0	33*22	33	33	0.00	1.00	1.00	1.00
N50W/70NE	7			50*48	50	43	0.16	1.16	1.35	0.74
N28E/46SE	3			34*22	34	31	0.10	1.10	1.20	0.83
N72E/56SE	2.4	N45W/52NE	0.6	18*32	32	29	0.10	1.10	1.22	0.82
N48W/48SW	8	N-S/82E	0.7	12*28	28	19.3	0.45	1.45	2.10	0.48
N50W/28SW	11			14*36	36	25	0.44	1.44	2.07	0.48
N54E/30SE	0.7	N32W/90	12	54*28	54	41.3	0.31	1.31	1.71	0.58
N38W/25NE	1.8	N50E/20NW	0	37*16	37	35.2	0.05	1.05	1.10	0.91
N10W/28SW	13			20*32	32	19	0.68	1.68	2.84	0.35
N30E/20NW	0.5	N16W/58NE	6	30*24	30	23.5	0.28	1.28	1.63	0.61
<b>Mean</b>	<b>4.26</b>		<b>2.90</b>		<b>38.23</b>	<b>33.02</b>	<b>0.15</b>	<b>1.15</b>	<b>1.32</b>	<b>0.75</b>



شکل ۷: الف- استریوگرام شکستگی‌های برشی مزدوج در قله‌های کنگلومرای منطقه سه چنگی و موقعیت محورهای اصلی تنش؛ ب- کنتور قطب صفحات برشی مزدوج؛ ج و د- رزیدیاگرام امتداد و شیب صفحات برشی مزدوج

را فراهم می‌نماید. در این تحقیق، داده‌های صحرایی مربوط به صفحات شکستگی برشی مزدوج برداشت شده منطقه سه چنگی (جدول ۱) با نرم افزار 8 wintensor (در بخش داده‌های صفحات برشی مزدوج) پردازش شدند. همانطور که در استریوگرام شکل ۸ مشاهده می‌شود، نتیجه بدست آمده، مشابه تحلیل شکستگی‌های کششی منطقه (شکل ۶-ب) است بطوری که محور  $\sigma_2$  که محل تلاقی صفحات شکستگی برشی مزدوج است، بصورت قائم قرار گرفته است.

بمنظور تحلیل دقیق تر میدان تنش موثر بر صفحات برشی مزدوج، روش دو وجهی راست (R.dihedron) و روش بهینه‌سازی چرخشی (R.optim). کاربرد مفیدی دارد. در این روش نرم افزاری، پارامتری بنام عملکرد مرکب (F5) اجازه انجام همزمان به حداقل رساندن زاویه عدم انطباق برای بخش لغزها، به حداکثر رساندن تنش برشی برای صفحات گسلی و شکستگی‌های برشی، و نیز به حداقل رساندن تنش نرمال برای شکستگی‌های کششی و همچنین به حداکثر رساندن تنش نرمال برای شکستگی‌های فشارشی و استیلولیت



شکل ۸: نتایج تحلیل تنش در نرم افزار 8 Wintensor برای شکستگی‌های برشی مزدوج کنگلومرای سه چنگی؛ الف- به روش R.optim. ب- به روش R.dihedron.

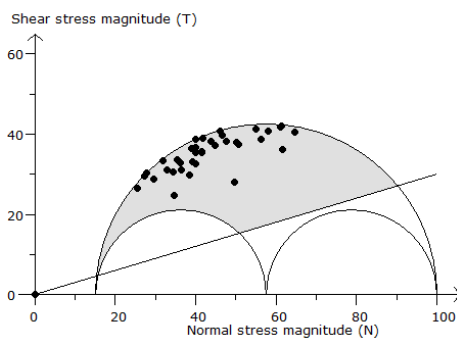
است تصور شود دگرشکلی‌های شکننده منطقه سه چنگی متأثر از همین سیستم گسلی بوده باشد، اما چنانچه به موقعیت جغرافیایی منطقه سه چنگی توجه شود، در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری نسبت به گسل نایبند و در فاصله حدود ۲۰۰ کیلومتری نسبت به گسل نهبندان قرار گرفته است بنابراین دگرشکلی‌های موجود نمی‌تواند حاصل تأثیر مستقیم این گسلها بوده باشد. از طرف دیگر چون یک ناپیوستگی زاویه‌ای بین رسوبات تریاس و کنگلومرای کرتاسه وجود دارد، بنابراین کنگلومرای سه چنگی بعد از ژوراسیک نهشته شده و فازهای دگرشکلی قبلی بر آن تأثیری نداشته‌اند و تنها رخدادهای جوان تر از کرتاسه-ائوسن می‌توانسته در این منطقه اثرگذار بوده باشد.

بر اساس نتایج بدست آمده، وجود چین خوردگی‌های مجدد بزرگ مقیاس در منطقه سه چنگی و مشابه آن در شرق ایران (نظیر مناطق ماهیرود و موسویه و...) حاکی از رخداد دو حادثه دگرشکلی است (کشتگر و همکاران، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸؛ یعقوبی و باقری، ۱۳۹۳) بطوری که فاز اول دگرشکلی منجر به تشکیل چینهای موازی با حاشیه لوت در شرق ایران و منطقه سه چنگی شده است (چین‌های نسل اول F1) در حالی که فاز دوم دگرشکلی با رخداد چین خوردگی گسترده با توزیع شعاعی نسبت به حاشیه لوت (چین‌های نسل اول F2) اهمیت داشته است (شکل ۱۰). این ساختارهای فراگیر را بخوبی می‌توان بر روی تصاویر ماهواره‌ای، در مرز خمیده شمالی پهنه‌های لوت-سیستان از منطقه آهنگران در شرق تا منطقه موسویه در بخش مرکزی و منطقه سه چنگی در غرب دنبال نمود. مطالعات این پژوهش نشان می‌دهد که شکستگی‌های مزدوج محدوده مورد مطالعه تأثیر همان فاز دوم دگرشکلی بوده است زیرا محورهای تنش بدست آمده آن با راستای محور تنش بوجود آورنده چینهای نسل دوم یکسان است (شکل‌های ۸ و ۱۰). در واقع وجود دو دسته گسل‌های امتدادلغز مزدوج راستگرد و چپگرد در جنوب شرقی منطقه سه چنگی (همانند سایر مناطق مشابه در شرق ایران)، می‌تواند شاهد دیگری بر صحت این مدعا باشد که منجر به بریده شدن قلوه‌های کنگلومرای مورد مطالعه شده است.

بر این اساس موقعیت روند/میل محورهای اصلی تنش عبارتست از:  $s_1=23/190$  و  $s_2=43/77$  و  $s_3=38/299$  و نیز مقدار نسبت تفاضلی تنش‌ها یا همان فاکتور شکل میدان  $R=0.7$  بدست آمده است. شاخص عددی شکل بیضوی تنش ( $R$ ) تابعی از موقعیت محورهای اصلی تنش و شکلی از بیضوی تنش است که بصورت زیر تعریف شده است (Delvaux, 1997):

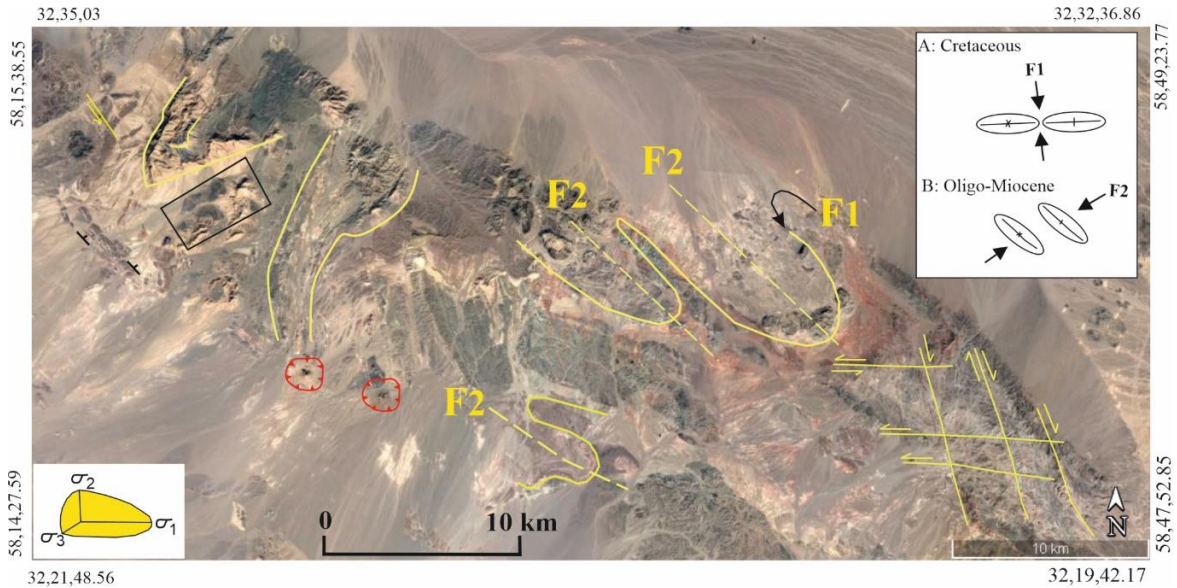
الف- اگر  $\sigma_1$  قائم باشد (رژیم تنش کششی):  $R = \sigma_1 - \sigma_2$  ؛ ب- اگر  $\sigma_2$  قائم باشد (رژیم تنش امتدادلغز):  $R = 2 - R'$  ؛ ج- اگر  $\sigma_3$  قائم باشد (رژیم تنش فشاری):  $R' = 2 + R$  خواهد بود. مقادیر عددی  $R=0.5$  برای کشش محض،  $R=1$  برای کشش امتدادلغز،  $R=1.5$  برای رژیم امتدادلغز محض،  $R=2$  برای رژیم فشاری محض، و مقدار  $R=2.5$  برای رژیم فشاری محض تعیین شده است (Delvaux, 1997).

این مقادیر برای محدوده سه چنگی  $R=1.23$  و  $R=0.7$  بدست آمده است که رژیم تکتونیکی امتدادلغز را تایید می‌نماید ( $R'=2-R$ ). بمنظور بررسی وضعیت قرارگیری محورهای تنش و بدست آوردن رژیم تنش حاکم و فاکتور شکل ( $R$ ) می‌توان از نمودار مور نیز استفاده نمود. بر این اساس وجود رژیم زمین‌ساختی غالب امتدادلغز بدست آمده است (شکل ۹).



شکل ۹: دایره مور سه بعدی صفحات شکستگی برشی منطقه سه چنگی که رژیم تکتونیکی امتدادلغز را نشان می‌دهد.

ارتباط انواع ساختارهای قابل مشاهده بر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه سه چنگی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به اینکه منطقه سه چنگی در ناحیه مرز شمال غربی پهنه‌های لوت-سیستان و بین دو سیستم گسل اصلی راستگرد شرق ایران (گسل نهبندان در شرق و گسل نایبند در غرب) واقع شده است، ممکن



شکل ۱۰: وضعیت ساختارهای ناحیه ای، تغییرات میدان تنش در منطقه سه چنگی، جهت بایی سطح محوری چینها از زمان کرتاسه (A) تا الیگومیوسن (B)؛ کادر سیاه: محدوده مورد مطالعه؛ F1: اثر محوری چین های نسل اول؛ F2: اثر محوری چین های نسل دوم؛ قرمز: بازمانده تکنونیک (epilK)

## ۵- نتیجه گیری

بر اساس اندازه گیری میزان بازشدگی کنشی قلوه های کنگلومرای منطقه سه چنگی، مقدار پارامترهای طولی کرنش  $\lambda=1.32$  و  $\lambda'=0.75$  بدست آمده است. با تحلیل تنش صفحات برشی مزدوج کنگلومرای سه چنگی، موقعیت میل و روند محورهای اصلی تنش  $\sigma_1=23/190$ ،  $\sigma_2=43/77$  و  $\sigma_3=38/299$  و مقدار مولفه شکل میدان  $R(\Phi)=0.7$  و مقدار فاکتور شکل میدان  $2-R=1.2$  می باشد. نتایج حاصل از محاسبات شکستگی های کنشی کنگلومرای سه چنگی مشابه نتایج بدست آمده از تحلیل تنش شکستگی های برشی مزدوج این کنگلومرا، رخداد یک دگرشکلی شکننده را اثبات می نماید بطوری که وقوع یک کشیدگی و تغییر حجم در راستای  $N70W$  (در جهت بیشترین کشیدگی یعنی محور X کرنش) را در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد. یافته های این پژوهش، عامل دگرشکلی شکننده در کنگلومرای سه چنگی را وقوع یک رژیم تکتونیک خمشی متأثر از فاز دوم دگرشکلی کوهزاد پالئوژن شرق ایران در منطقه سه چنگی پیشنهاد می دهد که دو دسته گسل های مزدوج راستگرد و چپگرد منطقه را نیز بوجود آورده است زیرا راستای تنش های بدست آمده با راستای تنش های بوجود آورنده نسل دوم چین خوردگی ها یکسان است.

## سپاسگزاری

این پژوهش بخشی از رساله دکتری نویسنده مسوول به شماره ۱۷۹۱۲ است و با دانشگاه بیرجند انجام شده است. لازم است از آقای عماد رجحانی دانشجوی دکتری تکنونیک دانشگاه فردوسی مشهد بابت همکاری و همراهی در مطالعه صحرائی این پژوهش، صمیمانه قدردانی نمایم.

## منابع

کشتگر، ش.، باقری، س.، بومری، م.، (۱۳۹۴)، تاریخچه تکتونیک کمپلکس ماهیرود (چشمه استاد) بر پایه داده های ساختاری جدید، شرق ایران، فصلنامه زمین ساخت، سال اول، شماره ۴، ۶۳-۷۵.

کشتگر، ش.، باقری، س.، بومری، م.، (۱۳۹۸). جایگاه تکتونیک کمپلکس ولکانو- پلوتونیک ماهیرود: نگرشی متفاوت بر تاریخچه ژئودینامیکی شرق ایران، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و نهم، شماره ۱۱۳، ۱۴۴-۱۳۱.

کشتگر، ش.، خطیب، م.م.، محمدی نیا، ع.، (۱۳۹۹). بازسازی میدان تنش دیرین ائوسن-الیگوسن منطقه حرمک- قرقروک؛ سیستم گسل های امتدادلغز شرق ایران، فصلنامه زمین ساخت، سال چهارم، شماره ۱۴.

یعقوبی، م.؛ باقری، س.، (۱۳۹۳). سازوکار کوتاه شدگی نسبی در قوس ساختاری ائوسن شمال غرب بیرجند، شرق ایران. فصلنامه علوم زمین، تابستان ۱۳۹۹، سال بیست و نهم، شماره ۱۱۶، ۲۸۶-۲۷۷.

Angiboust, S., Agard, P., De Hoog, J. C. M., Omrani, J., & Plunder, A., 2013. Insights on deep, accretionary subduction processes from the Sistan ophiolitic



- Marshak, S., Mitra, G., 2002. Basic methods of structural geology; Prentice-Hall.
- McCall, G. J. H., 1997. The geotectonic history of the Makran and adjacent areas of southern Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 15, 6, 517-531.
- Mitra, G., 1994. Strain variation in thrust sheets across the sevier fold-and-thrust belt (Idaho-Utah-Wyoming): implications for section restoration and wedge taper evolution. *Journal of Structural Geology* 16(4), 585-602.
- Ohanian, T. & Tatevosian, S., 1978. "Birjand" Quadrangle map, Scale: 1/100000, Geological survey of Iran, Tehran.
- Ramsey, J.M., & Chester, F.M., 2004. Hybrid fracture and the transition from extension fracture to shear fracture, *Nature*, 428, 63-66.
- Ramsay, J. G. and Huber, M. I., 1987. The techniques of modern structural geology, 2: Folds and Fractures. Academic Press.
- Ramsay, J. G., *Folding and Fracturing of Rocks*. 1967. New York: McGraw-Hill.
- Rowshanravan, J., 2006. "Mousaviyeh" Quadrangle map, Scale: 1/100000, Geological survey of Iran, Tehran.
- Stocklin, J., 1972. Iran Central, septentrional et orientale, *Luxique stratigraphique International III*. Fascicule 9b, Iran, center national de la Recherche scientifique, Paris, 1-283.
- Tirrul R, Bell L.R. Griffis R.J. & Camp, V.E. 1983. The Sistan Suture Zone of eastern Iran. *Geological Society of American Bulletin*, 94, 134-150.
- Treagus, S.H., & Treagus, J., E. 2002. Study of Strain and rheology of conglomerates, 24, 1541-1567.
- Twiss, R. J. & Moores; E. M., 1992. *Structural Geology*; W. H. Freeman and Company, 415 pp.
- Vahdati Daneshmand, F., Kholghi, M., 1987. "Khusf" Quadrangle map, Scale: 1/100000, Geological survey of Iran, Tehran.
- Zarrinkoub, M.H., Pang, K.N., Chung, S.L., Khatib, M.M., Mohammadi, S.S., Chiu, H.Y. & Lee, H.Y. 2012. Zircon U-Pb age and geochemical constraints on the origin of the Birjand ophiolite, Sistan suture zone, eastern Iran. *Lithos*, 154, 392-40.
- "mélange" Eastern Iran, *Lithos*, 156, 139-158.
- Azimi, M.A. & Saïdy, A., 1975. She-Changi Quadrangle map, Scale: 1/100000, sheet 7655, Geological survey of Iran, Tehran.
- Bagheri, S. & Stampfli G. M., 2008. The Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam metamorphic complexes in central Iran: New geological data, relationships and tectonic implications, *Tectonophysics*, 451, 123-155.
- Bagheri, S. & Damangol, S.H., 2020. The eastern Iranian Orocline. *Earth –Science Review*, 210, 1-43.
- Barthiaux, A., Christmann, P. & Fauvelet, E., 1981. "Qayen" Quadrangle map, Scale: 1/100000, Geological survey of Iran, Tehran.
- Bonnet, G.a, Agard, P.A,B, Angiboust, Sc, Monié, P.d, Jentzer, Ma, Omrani, J.e, Whitechurch, H.f, Fournier, M.a., 2018. Tectonic slicing and mixing processes along the subduction interface: the Sistan example (Eastern Iran), *Lithos*, 17.
- Camp, V.E. & Griffis, R.J., 1982. character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran. *lithos*, 15, 221- 239.
- Davis G.H., Bump A.P., García P.E. & Ahlgren S.G., 2000. Conjugate Riedel deformation band shear zones, *Journal of Structural Geology*, 22, 2, 169-190.
- K., Miroshnichenko, A., Ruzhich, V. & Sankov, V., 1997. paleostress reconstructions and geodynamics of the Baikal region, central Asia, Part 2. *Tectonophysics*, 282, 1-4, 1- 38.
- Fossen, H., 2010. *Structural Geology*. Cambridge University Press, p 463.
- Futamura, K., 1989. Polyphase deformation on pebbles of Fudesute conglomerate in the southern part of the Suzuka Mountain Range, central Japan, *Earth Science; Chikyu Kagaku*, 43, 4, 189-199.
- Guillou, Y., Maurizot, P., Vaslet, D., De la Villeon, H., 1981. "Ahangaran" Quadrangle map, Scale: 1/100000, Geological survey of Iran, Tehran.
- Jentzer, M., Fournier, M., Agard, P., Omrani, J. & Khatib, M. M. & Whitechurch, H. 2017. Neogene to Present paleostress field in Eastern Iran (Sistan belt) and implications for regional geodynamics. *Tectonics*, 36(2), 321-339.

