

# شواهد ساختاری ترفشارش قاره‌ای در گستره بیرک (جنوب خاور ایران)

احسان موسوی<sup>۱</sup>

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۸/۰۵

## چکیده

تعدادی از شواهد ساختاری ترفشارش قاره‌ای در منطقه بیرک مطالعه و با نتایج مدل‌سازی‌های تجربی مقایسه شده‌اند. این شواهد از این قرارند: محور چین‌ها آرایش پله‌ای و میل دوسویه دارند. جهت‌یافتگی میانگین محور چین‌ها و راستای رخ‌های شکستگی با جهت‌یافتگی عمومی گسل‌های مرزی زوایای کمتر از ۴۵ درجه می‌سازند. گسل‌های راستالغز آرایش همپوشان و قلمرو دارند. بُرش‌های همساز P فراوان‌تر از بُرش‌های همساز R هستند. صفحات رگه‌های کشتی تخت و گسل‌های عادی نسبت به محور چین‌ها با زاویه زیادی قرار گرفته‌اند و این وضعیت وجود مقداری از کشش موازی لولای چین را پیشنهاد می‌کند. گسل‌های جداکننده راست‌بر مایل موازی لایه‌بندی و ساختارهای مرتبط با آنها مثل چین‌های فرعی، دارای گرایش راست‌بر و گسل‌های تراکشنی و ترفشاری و نیم‌گل ساخت‌های بزرگ مقیاس دیگر عوارض ساختاری ترفشارش قاره‌ای هستند. به نظر می‌رسد جداشدگی مؤلفه راستالغز در یک دگرریختی ترفشارشی راستالغز چیره ناشی از بازپویایی گسل‌های پی‌سنگی با راستای شمالی-جنوبی در نئوژن پسین بوده است.

کلیدواژه‌ها: ترفشارش، سیستان، بیرک

\*نویسنده مسئول: احسان موسوی

E-mail: moosavi\_eh@yahoo.com

## ۱- مقدمه

کشتی ساده به‌عنوان عوارض شاخص ترفشارش مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده در جای ممکن با ساختارهای شکل گرفته در مدل‌سازی‌های ترفشارش قاره‌ای و نواحی همسایه مقایسه شده است.

واژه ترفشارش (Transpression) اولین بار توسط (Harland 1971) برای همگرایی مایل‌لغز میان دو بلوک قاره‌ای، یا حرکتی که به دو مؤلفه همگرا و راستالغز قابل تجزیه است، استفاده شد. اگر زاویه میان سوی همگرایی صفحات و مرز آنها بیش از ۲۰ درجه باشد، دگرریختی را نوع ترفشارش با مؤلفه برش ناب چیره (Pure shear dominated) و اگر کمتر از این مقدار باشد آن را دگرریختی با مؤلفه برش ساده چیره (Simple shear dominated) نامیده‌اند (Fossen et al., 1994).

## ۲- جایگاه جغرافیایی و زمین‌ساخت ناحیه‌ای

گستره مورد بررسی میان طول‌های جغرافیایی ۶۱°۲۶' - ۶۱°۶۱' خاوری و عرض‌های جغرافیایی ۲۸° - ۲۷°۴۵' درجه شمالی (شکل ۲- الف)، در بخش جنوب خاوری پهنه سیستان و ۶۵ کیلومتری جنوب شهر خاش جای دارد (شکل ۱). همانند بخش شمال باختری، روند عمومی ساختارهای زمین‌شناسی و پهنه دگرریختی در این بخش از پهنه سیستان نیز شمال باختری- جنوب خاوری است در حالی که در بخش مرکزی، روند عمومی پهنه دگرریختی شمالی - جنوبی است (نظری، ۱۳۷۷ و Berberian et al., 2000).

پهنه سیستان یا پهنه زمین‌درز سیستان (Tirru et al., 1983) در خاور ایران با شکل هندسی هلال دوگانه (Sigmoidal) بین بلوک‌های لوت و افغان قرار گرفته است (شکل ۱- الف). سامانی و اشتری (۱۳۷۱)، این پهنه را نه یک کوهزاد ناشی از بسته‌شدن یک حوضه اقیانوسی بالغ، بلکه یک پهنه برشی قلمداد کرده‌اند. شهریار و خطیب (۱۳۷۶)، پیچیدگی‌های زمین‌ساختی این پهنه ساختاری را با گرفتار شدن آن در یک پهنه ترفشارشی میان بلوک‌های افغان و لوت در ارتباط دانسته اما شواهد ساختاری همگرایی مایل را معرفی نکرده‌اند. نظری (۱۳۷۷)، پهنه یادشده را یک کوهزاد درون‌قاره‌ای دانسته و به وجود گل‌ساخت‌های مثبت و منفی در خم گسل‌های راستالغز اشاره کرده است. شهیدی (۱۳۸۱)، با ارائه شواهد زمین‌ساختی-چینه‌نگاری در ناحیه بیرجند، بسته شدن حوضه اقیانوسی درون‌قاره‌ای سیستان را در یک رژیم زمین‌ساختی ترفشارشی، منشأ تغییرات مهم رخساره‌های رسوبی در فواصل نه چندان دور از هم دانسته اما شواهد ساختاری ترفشارش را کمتر مورد توجه قرار داده است.

بخش جنوب خاوری پهنه سیستان میان بلوک‌های لوت و افغان و نیز پهنه ساختاری مکران محدود شده است که از سوی شمال خاور با گسل تلخ آب (با راستای عمومی N133)، از باختر با گسل دامن-زابلی (شهرابی، ۱۳۷۳) (با راستای عمومی N166) و از جنوب با گسل سرتنگ (با راستای عمومی N85) که ادامه خاوری گسل زابلی جنوبی است، مرزبندی می‌شود (SF و DZF، TF) در شکل ۱).

روی هم رفته پیدایش حوضه اقیانوسی سیستان به کافت میان بلوک‌های قاره‌ای افغان و لوت در سنومانین برمی‌گردد. این سن با توجه به کهن‌ترین سن دیرینه‌شناسی سنگ‌های افیولیتی و فلیشی پهنه سیستان و نیز سن ایزوتوپی K-Ar سنگ‌های افیولیتی این پهنه (Tirru et al., 1983) مشخص شده است. در کرتاسه بالایی در اثر نیروهای فشاری، بخشی از افیولیت‌ها روی لبه خاور بلوک لوت فرارنده شده‌اند (Berberian & King, 1981; Tirru et al., 1983). وجود کنگلومرای ریزدانه درون‌سازندی نومولیت‌دار در منطقه بیرک و چین‌رشد‌های (Growth folds) موجود در شمال باختر ایران‌شهر (قرشی و واعظی پور، ۱۳۶۵) نشانی از ادامه همگرایی در هنگام رسوبگذاری چندلایه‌ای‌های فلیشی ائوسن در بخش جنوب خاوری پهنه سیستان است. درون این فلیش‌ها، به‌طور محلی، درون‌لایه‌هایی از توف و گدازه نیز دیده می‌شود. چین‌خوردگی و گسلش رانندگی، بسته شدن و بالاآمدگی حوضه اقیانوسی سیستان و نفوذ گرانیتویدهای کمان

## ۲- روش بررسی

(Fossen et al. 1994)، تهیه نقشه زمین‌شناسی و ارائه شواهد و داده‌های ساختاری صحرائی، مدل‌سازی تجربی و مدل‌سازی عددی را به‌عنوان سه روش رایج برای بررسی دگرریختی‌های ترفشارشی برشمرده‌اند. با فرض ثابت بودن زاویه همگرایی صفحه‌ها، مایل بودن آن را می‌توان با کنترل عواملی همچون جهت‌یافتگی گسل‌های اصلی مرز پهنه دگرریختی، جهت‌یافتگی محور چین‌ها، مقدار کشش موازی لولای چین، سوی همگرایی صفحات و سوی کوتاه‌شدگی لحظه‌ای در صحرا ثابت کرد (Jamison, 1991; Tikoff & Peterson, 1998). در اینجا شواهد ساختاری صحرائی پروژه هندسه و آرایش چین‌های اصلی و فرعی، زاویه میان محور چین‌ها و رخ‌های شکستگی با گسل‌های مرز پهنه، آرایش و فراوانی انواع گسل‌ها و شکستگی‌های

(که میل چین‌ها به‌سوی N70-90 است)، به‌خوبی همخوانی دارد. جهت‌یافتگی میانگین محور چین‌ها و راستای رخ‌های شکستگی، با راستای عمومی گسل تلخ آب (شکل ۱) به‌ترتیب زوایای ۳ و ۵ درجه و با گسل دامن-زابلی زوایای ۱۹ و ۲۲ درجه می‌سازد. در مدل‌های آزمایشگاهی سازوکارهای راستالغز ناب، محور چین‌ها و راستای رخ‌های شکستگی با مرز پهنه دگرریختی زاویه ۴۵ درجه می‌سازند. زوایای کمتر از ۴۵ درجه و به‌طور معمول ۱۵ تا ۳۰ درجه، نشانه دگرریختی ترافشارشی‌اند (Keller et al., 1997).

## ۶- هندسه، آرایش و فراوانی گسل‌های راستالغز

محور چین‌ها و گسل‌های وارون پیشین بیشتر با دسته‌گسل‌های راستالغز راست‌بر با راستای عمومی شمال، شمال باختر و گاهی شمال خاور و دسته‌گسل‌های چپ‌بر با راستای عمومی خاور-شمال خاور بریده و جابه‌جا شده است (شکل ۲-الف). جابه‌جایی افقی دسته‌گسل‌های راست‌بر در مقایسه با دسته‌گسل‌های چپ‌بر بیشتر است و به بیش از یک کیلومتر نیز می‌رسد (باتوجه به مقیاس نقشه در شکل ۲-ب جابه‌جایی افقی واحدها را در اثر گسل‌های راستالغز مقایسه نمایید). همچنین درازای دسته‌گسل‌های راست‌بر بیش از گسل‌های چپ‌بر است و گاهی به بیش از ده کیلومتر می‌رسد. درازا و جابه‌جایی بیشتر گسل‌های راست‌بر نشان می‌دهد که این گسل‌ها گسل‌های آغازین بوده‌اند. آرایش همپوشان و چپ‌پله این گسل‌ها را در پایین و سمت راست شکل ۲-ب می‌توان دید.

گسل‌های راستالغز قلمرو (Domainal) دارند. در میانه شکل ۲-ب، قلمرو بزرگی از گسل‌های راست‌بر در سمت راست، قلمرویی از گسل‌های چپ‌بر را در سمت چپ مرزبندی می‌کنند. قلمروهای کوچک‌تری از گسل‌های راست‌بر نیز با گسل‌های چپ‌بر مرزبندی می‌شوند (برای مثال در بالا و سمت چپ شکل ۲-ب).

بیشتر گسل‌های راستالغز در راستای خود تغییر مسیر می‌دهند و شکل هلال دوگانه به خود می‌گیرند. تعدادی از گسل‌های راستالغز یادشده در پایانه‌های خود مؤلفه وارون دارند (شکل ۲-الف). گاهی شبیه (Scissor faults)، سوی شیب آنها در طول راستا تغییر می‌کند. در مدل‌سازی‌های تجربی، شکل‌گیری گسل‌های قیچی و فراوانی قلمروهای راست‌بر با آرایش چپ‌پله (شکل ۷)، شاخص‌های سوی برش در ترافشارش قاره‌ای با مؤلفه راست‌بر چپ‌بر هستند (Schreurs & Colletta, 2002).

همه گسل‌های راست‌بر با گسل‌های چپ‌بر هم‌یوغ نیستند، بلکه گسل‌های راست‌بر با راستای شمال‌خاور-شمال با گسل‌های چپ‌بر با راستای شمال‌خاور-خاور به‌ترتیب جفت‌های هم‌یوغ R و R' هستند (شکل‌های ۲-ب و ۸). نمونه‌هایی از این گسل‌ها در پایین و سمت چپ شکل ۲-ب دیده می‌شود. زاویه میان این دسته‌گسل‌ها بسته به مقاومت چندلایه‌ای‌های فلیشی متفاوت است (McCall et al., 1994). نمودار گل‌سرخ‌گی گسل‌های موجود در شکل ۸، نشان‌دهنده فراوان‌تر بودن شکستگی‌های برشی P نسبت به شکستگی‌های برشی R است. Keller et al. (1997)، با مدل‌سازی آزمایشگاهی پهنه‌های گسلی ترافشارشی به این نتیجه رسیدند که در پهنه‌های گسلی ترافشارشی در مقیاسه با پهنه‌های گسلی برش ساده، فراوانی برش‌های همساز P بیشتر از برش‌های همساز R است. بنابراین با توجه به شواهد موجود، سامانه راستالغز موجود در گستره مورد بررسی تنها نتیجه یک دگرریختی برش ساده راست‌بر در راستای تقریبی شمالی-جنوبی (شکستگی‌های ۷) نیست بلکه یک مؤلفه فشارش در راستای خاور-باختری نیز در شکل‌گیری آن نقش داشته است.

## ۷- چین‌های فرعی و ساختارهای همراه

در گستره مورد بررسی، دگرریختی در قلمروهای راست‌بر، با شکل‌گیری گسل‌ها و چین‌های فرعی میان‌مقیاس بروز پیدا می‌کند. جهت‌یافتگی محور چین‌های

ماگمایی زاهدان-سراوان در بازه زمانی ائوسن پایانی-اولیگوسن آغازین روی داده است (Berberian & King, 1981; Tirrul et al., 1983; McCall, 1997; Berberian et al., 2000; Sadeghian et al., 2005). سن ایزوتوپی گرانیتوئیدهای زاهدان، اولیگوسن آغازین است (Camp & Griffis, 1982). همچنین قله‌سنگ‌هایی از گرانیتوئیدهای مشابه آنها در بخش جنوب خاوری پهنه سیستان (منطقه نره نو) در کنگلومراهای اولیگوسن - میوسن وجود دارد (Eftekhari-Nezhad et al., 1987). برخورد بلوک‌های لوت و افغان در ائوسن پسین-اولیگوسن همچنین باعث خشکی‌زایی در پهنه سیستان شده است و سوی همگرایی میان دو بلوک از این زمان تا به امروز همچنان شمال‌خاوری-جنوب‌باختری است (Berberian et al., 2000). گسلش راستالغز، جابه‌جاشدگی و بودین‌شدگی شدید و ایجاد گسل‌ها و چین‌های دکولمانی در سنگ‌نهشته‌های فلیشی پهنه سیستان در اثر تغییر دگرریختی نیمه‌شکل‌پذیر نافذ به برش شکنای متمرکز در سطوح گسل‌ها و پس از چین‌خوردگی شدید ائوسن پسین-اولیگوسن آغازین رخ داده است (McCall et al., 1994). سنگ‌نهشته‌های میوسن با شدت کمتری نسبت به سنگ‌نهشته‌های ائوسن چین‌خورده‌اند (Tirrul et al., 1983)، از سوی دیگر، نرخ جابه‌جایی افقی در گسل‌های راستالغز راست‌بر با راستای شمال-جنوب، در نوژن پایانی بسیار بیشتر از پالئوژن بوده است (Walker & Jackson, 2004).

## ۴- واحدهای سنگی در گستره مورد بررسی

نقشه زمین‌شناسی گستره مورد بررسی در شکل ۲-الف نشان داده شده است. تناوبی از شیل‌های کمی فلیشی شده و سنگ‌آهک‌های کمی بازبلورین شده با سن تریاس بالایی-ژوراسیک زیرین، که در هسته تاقدیس کوه بیرک معرفی شده‌اند (موسوی، ۱۳۸۴)، کهن‌ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته در گستره مورد بررسی هستند. سنگ‌های کربناتی و گاه دولومیتی شده کرتاسه زیرین با ناپیوستگی، روی سنگ‌های تریاس بالایی-ژوراسیک زیرین جای دارند. واحدهای سنگی وابسته به سنگ‌های افیولیتی که بیشتر شامل دونیت‌های سرپانتینی شده هستند، با همبری گسل‌خورده روی واحد پیشین جای دارند. سنگ‌نهشته‌های فلیشی پالئوسن-ائوسن میانی به‌گونه‌ای ساده شده به سه واحد بیشتر شیلی در بخش زیرین، سیلت‌سنگی در بخش میانی و ماسه‌سنگی در بالاترین بخش تقسیم شده‌اند. این چندلایه‌ای‌ها با ناپیوستگی بر روی واحدهای سنگی پیش از خود و با دگرشیبی در زیر کنگلومراهای مخروط افکنه‌ای پلیوسن-کواترنر و یا آبرفت‌های کواترنر قرار دارند.

## ۵- هندسه و آرایش چین‌خوردگی‌ها و رخ‌های شکستگی

روی هم رفته در چندلایه‌ای‌های فلیشی که در آنها نسبت لایه‌های مقاوم ماسه‌سنگی بیشتر است، چین‌ها جناغی‌اند (شکل‌های ۴ و ۵) اما در چندلایه‌ای‌هایی که در آنها میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی کم‌تعدادترند، شکل چین‌ها به استوانه‌ای نزدیک است. اثر سطح محوری چین‌ها در گستره مورد بررسی، شمال باختر-جنوب خاور و محور چین‌خوردگی‌ها با آرایش همپوشان راست‌پله و با میل دوسویه است (شکل‌های ۲-ج و د). این آرایش می‌تواند نتیجه‌ای از تنش برشی ساده یا ترافشارش راستالغز (Schreurs & Colletta, 2002; Tikoff & Peterson, 1998) باشد. محور عمومی چین‌خوردگی‌ها میل ۱۲ درجه و سوی میلی به‌سوی ۱۳۵ درجه دارد (شکل ۶-الف).

استریوگرام قطب رخ‌های شکستگی و صفحات لایه‌بندی نشان می‌دهد که هر دو پرشیب‌اند و بنابراین، چین‌های موجود در طبقات ائوسن بیشتر از نوع متقارن و تنگ (Tight) هستند (شکل‌های ۶-الف و ب). این نتایج با نتایج به‌دست آمده در ناحیه سراوان (McCall et al., 1994)، بجز نوار پیرامون ۲۷ درجه شمالی و مرز پاکستان

می‌یابد. همچنین، گسل‌های عادی با زاویه زیادی نسبت به محور چین‌ها و لایه‌بندی عمومی در اثر این کشش ایجاد می‌شوند. با توجه به وجود چنین گسل‌هایی در گستره مورد بررسی (شکل‌های ۲-الف و ۱۱) و وضعیت شکستگی‌های کششی ساده نسبت به محور چین‌ها (شکل‌های ۶-الف و د)، رژیم ایجاد کننده آن ترافشارشی با مؤلفه راست‌بر چیره است.

#### ۹- نیم‌گل ساخت‌ها (Half flower structures)

نیم‌گل ساخت‌ها از عوارض ساختاری پهنه‌های ترافشارشی راستالغزاند. این ساختارها هم در مدل‌سازی‌های آزمایشگاهی (Schreurs & Colletta, 2002) و هم در کمربندهای کوهزایی ترافشارشی راستالغز (Goscombe et al., 2003) ایجاد شده‌اند. این ساختارها از یک سو با یک گسل راستالغز و از سوی دیگر با یک گسل وارون (برش A-B در شکل ۲-ج) یا راستالغز با مؤلفه راندگی، محدود شده‌اند. نیم‌گل ساخت‌ها در گستره مورد بررسی (موسوی، ۱۳۸۴) و در ناحیه بیرجند (نظری، ۱۳۷۷) در برش‌های ساختاری نقشه‌های زمین‌شناسی یک صد هزارم نمایش داده شده‌اند.

#### ۱۰- بحث و نتیجه‌گیری

اگرچه آرایش پهنه‌ای گسل‌های راستالغز و نیم‌گل ساخت‌ها در دگرریختی‌های راستالغز ناب نیز ایجاد می‌شوند اما برخی عوارض ساختاری موجود در گستره مورد بررسی، بویژه گسل‌های قیچی، چین‌های فرعی با میل محوری متوسط تا زیاد و گسل‌های مرتبط با آنها، چین‌های با محور خطی خمیده، فراوانی بیشتر شکستگی‌های P در سامانه راستالغز راست بر، زاویه میان محور چین خوردگی‌ها و گسل‌های مرز پهنه دگرریختی به میزان کمتر از ۴۵ درجه و نزدیکی راستای محور سوی کشش لحظه‌ای و محور چین خوردگی‌ها، شاخص‌های یک دگرریختی ترافشارشی با مؤلفه راست‌بر چیره هستند. این ساختارها در مدل‌سازی‌های تجربی دگرریختی‌های ترافشارشی با مؤلفه راست‌بر چیره نیز ایجاد و تجربه شده و با آنها قابل مقایسه‌اند.

در این نوع دگرریختی جداشدگی مؤلفه‌های کرنش (Strain partitioning) به دو مؤلفه موازی و عمود بر مرزهای پهنه دگرریختی رایج است. وجود مرزهای گسلی پیشین، باز پویایی گسل‌ها (Fault reactivation) و دگرریختی پیش رونده، می‌تواند باعث جداشدگی مؤلفه‌های کرنش در رژیم‌های ترافشارشی شود (Jones & Tanner, 1995). به احتمال زیاد بازپویایی گسل‌های پی‌سنگی مرزی با راستای شمالی-جنوبی از جمله گسل‌های نه‌باختری (نوی، ۱۳۵۵) و گسل زاهدان و گسل‌های دیگر در جداشدگی مؤلفه راستالغز کرنش ترافشارشی در پهنه سیستم و بویژه بخش‌های مرکزی این پهنه نقش بیشتری داشته است. زمانی که جداشدگی مؤلفه‌های کرنش ترافشارشی رخ می‌دهد به‌طور معمول چین‌های میان‌مقیاس جدیدی در قلمروهای مختلف ایجاد می‌شود که هندسه و سازوکار جنبشی آنها نسبت به محور چین‌های پیش از این پدیده متفاوت است. هر یک از مؤلفه‌های جداشده در قلمروهای خود، چین‌های جوان‌تری را ایجاد می‌کنند که ممکن است چین‌های پیشین را تحت تأثیر قرار دهند (Tavarnelli et al., 2004). با توجه به تمایل زیاد بردار همگرایی عربی-اوراسیایی نسبت به گسل‌های پی‌سنگی نه‌باختری و زاهدان (Walker & Jackson, 2004) و ویژگی فاکتالی سامانه گسلی نه‌شهریاری و خطیب، (۱۳۷۶)، انتظار می‌رود با نزدیک شدن به بخش‌های مرکزی پهنه سیستم، جداشدگی مؤلفه‌های کرنش، بیشتر رخ دهد. توازی گسل‌های راست‌بر و راندگی‌های پویا با راستای شمالی-جنوبی، چین خوردگی‌های جوان با محور شمالی-جنوبی و بالا آمدگی جوان این پهنه نسبت به بلوک‌های همسایه خود را در بخش مرکزی و نواحی زاهدان (Walker & Jackson, 2004) می‌توان از عوارض نوزمین‌ساختی ناشی از جداشدگی مؤلفه‌های کرنش در یک ترافشارش قاره‌ای (پس از برخورد) به شمار

فرعی با چین خوردگی‌های اصلی متفاوت و زاویه میل آنها بیشتر است. نمونه‌های شاخصی از این ساختارها در ده کیلومتری شمال روستای قادرآباد (بخش میانی شکل ۲-د و شکل ۵) و نیز (شکل ۲-ج) دیده می‌شود. نمودار بلوکی چین‌های موجود در بخش میانی (شکل ۲-د) و گسل‌های مرتبط با آن در شکل ۹ نشان داده شده است. گسل‌های راست‌بر در مرز میان واحدهای فلیشی کم‌مقاومت‌تر با واحدهای مقاوم‌تر، یک گسل جداکننده راست‌بر مایل موازی لایه‌بندی (Inclined dextral layer parallel detachment fault) را می‌سازند. یک گسل راندگی مایل (Oblique thrust) از گسل جداکننده راست‌بر منتشر شده است. بر روی گسل راندگی مایل لغز، یک چین فرعی نامتقارن با سوی میل محوری متفاوتی نسبت به چین خوردگی‌های اصلی و زاویه میل محوری بیشتر از آن ایجاد شده است. برای مثال سوی میل و زاویه میل محور چین موجود در شکل ۵، ۲۸/۱۲۱ است. گرایش این چین‌کشان‌ها (Drag folds) سوی برش راست‌بر را نشان می‌دهد (شکل ۹). گسل‌های جداکننده راست‌بر و چین‌های فرعی مرتبط با آنها در دیگر مناطق بخش جنوب خاوری پهنه سیستم از جمله بلندی‌های جنوب خاور و خاور شهر خاش نیز گسترش دارند. این ساختارها مقیاسی در اندازه رخنمون دارند. فرایند ایجاد آنها شبیه ایجاد راندگی‌های جداکننده و چین‌های پیشروی گسل در کمربندهای چین و راندگی است (Tavarnelli et al., 2004). تفاوت‌هایی وجود دارد از جمله این که در اینجا سطح جداشدگی، بخش تخت (Flat) یک گسل راندگی نیست، بلکه یک گسل راستالغز مایل موازی لایه‌بندی است و بخش هم‌ارز سطح کژ (Ramp) گسل راندگی نیز در اینجا یک راندگی مایل لغز یا در حقیقت یک گسل ترافشارشی است. ایجاد گسل‌های تراکششی (Transtensional faults) در یال پستی چین، تفاوت دیگری است که در اینجا دیده می‌شود (شکل‌های ۵، ۹ و ۱۱). (Jones et al., 2004) عوارض ساختاری شاخص قلمروهای ترافشارشی با مؤلفه راستالغز چیره را نشان داده‌اند (شکل ۱۰). این عوارض با عوارض ساختاری شمال روستای قادرآباد، که شرح آن گذشت، به خوبی قابل مقایسه‌اند.

سو و مقدار میل خطوارگی‌های تقاطعی نسبت به محور عمومی چین خوردگی‌ها کمی تفاوت دارد (شکل‌های ۶-الف و ج). خطوارگی‌های تقاطعی، وجود چین‌هایی با زاویه میل محوری زیاد و محور خمیده (curvilinear folds) را پیشنهاد می‌کند. چنین عوارضی که در ناحیه سراوان، چین‌های قایق‌مانند نام گرفته است (McCall et al., 1994)، عوارض رایج قلمروهای برش ناب (شکل ۱۰) در پهنه‌های با دگرریختی ترافشارشی هستند (Tavarnelli et al., 2004; Jones et al., 2004).

#### ۸- سوی کشیدگی آنی (Infinitesimal Stretching Direction)

در پهنه‌های گسلی موجود در گستره مورد مطالعه، شکستگی‌های کششی از دیگر ساختارهای فرعی رایج‌اند. این شکستگی‌ها بیشتر با سیلیس و گاه کلسیت پر شده‌اند. این ساختارهای صفحه‌ای با رخ‌های شکستی زاویه زیادی می‌سازند. در بیشتر موارد، شکستگی‌ها شکل هلال دوگانه دارند. اگر چه همه رگه‌ها خط میانی ندارند اما این شکستگی‌ها سامانه دارند و در بیشتر آنها رشد فیبرها عمود بر دیواره رگه‌ها انجام شده است. بنابراین، قطب صفحه شکستگی‌های تخت نماینده سوی کشش آنی (به احتمال جوان‌تر) است. استریوگرام قطب این شکستگی‌ها در شکل ۶-د نشان داده شده است. به طوری که دیده می‌شود صفحات شکستگی‌های کششی تخت با زاویه زیادی نسبت به محور چین خوردگی‌ها قرار گرفته‌اند و شیب میانگینی برابر ۴۴ درجه دارند (شکل‌های ۶-الف و د). این وضعیت نشان می‌دهد که مقادیری از کشش موازی لولای چین (Hinge parallel extension)‌ها وجود دارد. در دگرریختی ترافشارشی (James & Watkinson, 1994) و بویژه در شبیه‌سازی‌های آزمایشگاهی چین‌های ترافشارشی (Richard et al., 1991; Tikoff & Peterson, 1998)، مقدار کشش موازی با لولای چین‌ها با افزایش نسبت کرنش برش ساده به کرنش برش ناب افزایش

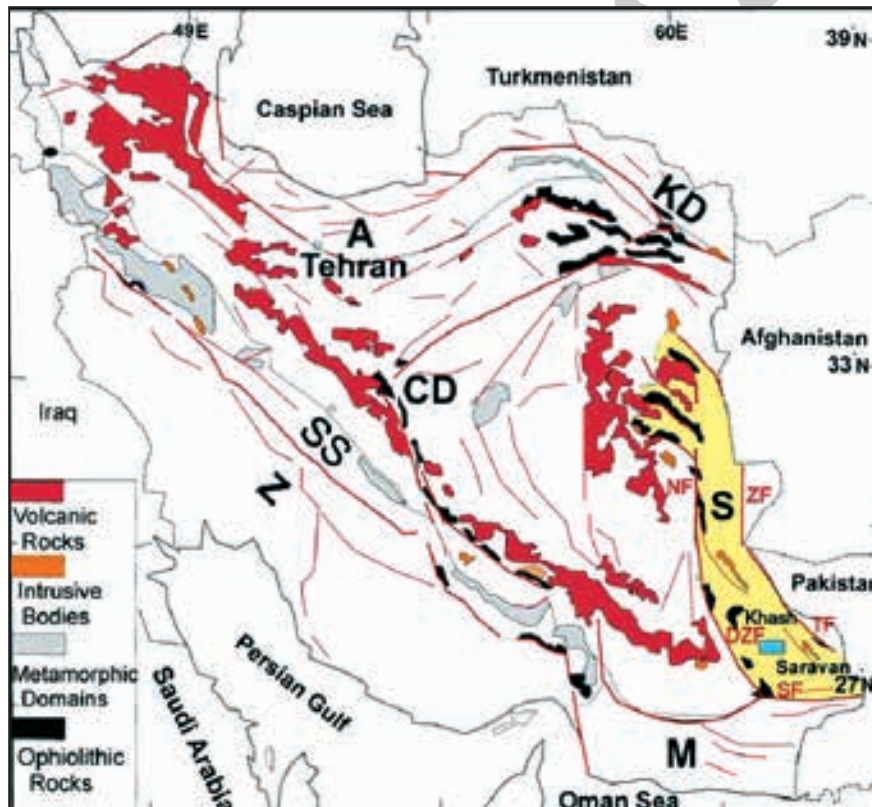
با بازپویایی گسل‌های پی‌سنگی راستای شمالی- جنوبی در ترشیری پسین در ارتباط بوده است (شکل ۹). این تغییر نیازمند یک سازمان‌یافتگی دوباره در سوی محورهای تنش نئوژن پسین نسبت به ترشیری آغازین است، هرچند ممکن است مطابق نظر Berberian et al. (2000)، سوی بردار همگرایی بلوک‌های لوت و افغان در نئوژن پسین همچنان شمال خاوری مانده باشد.

### سپاسگزاری

از اعضای محترم طرح سیستم برای فراهم کردن امکانات صحرائی و از آقایان دکتر محمد محجل و دکتر محمدرضا قاسمی به‌خاطر بازنگری این پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

آورد. بررسی دقیق جداشدگی مؤلفه‌های کرنش ترافشارشی در پهنه سیستم، نیازمند یک زیرپهنه‌بندی ساختاری و مقایسه ساخت‌های خطی و صفحه‌ای در هر یک از زیرپهنه‌ها خواهد بود.

چنانچه گفته شد، میزان جابه‌جایی افقی گسل‌های راستالغز در نئوژن پسین بیش از ائوسن- اولیگوسن بوده است و رخ‌های شکستگی، گسل‌های راندگی و محور چین‌های بزرگ مقیاس بسته ائوسن- اولیگوسن در اثر گسل خوردگی راستالغز نئوژن پسین، چرخیده، بریده و جابه‌جا شده‌اند و جهت‌یافتگی چین‌های فرعی ایجاد شده با چین‌های اصلی پیشین متفاوت است. از این‌رو، به نظر می‌رسد دگرریختی ترافشارشی فشارش چیره، همزمان با بسته‌شدن پهنه سیستم در ترشیری آغازین وجود داشته اما جداشدگی مؤلفه راستالغز در یک دگرریختی ترافشارش راست‌بر چیره،



شکل ۱- گستره مورد بررسی در نقشه پهنه‌بندی ساختاری ایران با مستطیل آبی رنگ در پهنه سیستم (بخش زرد رنگ) و جنوب شهر خاش نشان داده شده است. M: مکران، Z: زاگرس، SS: سندج- سیرجان، A: البرز، KD: کپه داغ، CD: ایران مرکزی، TF: گسل تلخ آب، DZF: گسل دامن- زابلی، SF: گسل سرتنگ، NF: گسل نه باختری و ZF: گسل زاهدان.

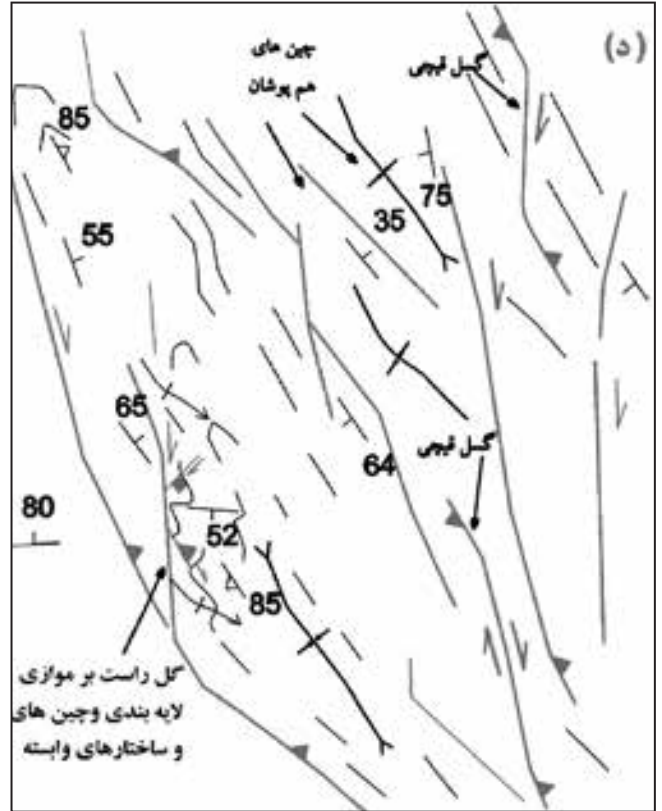




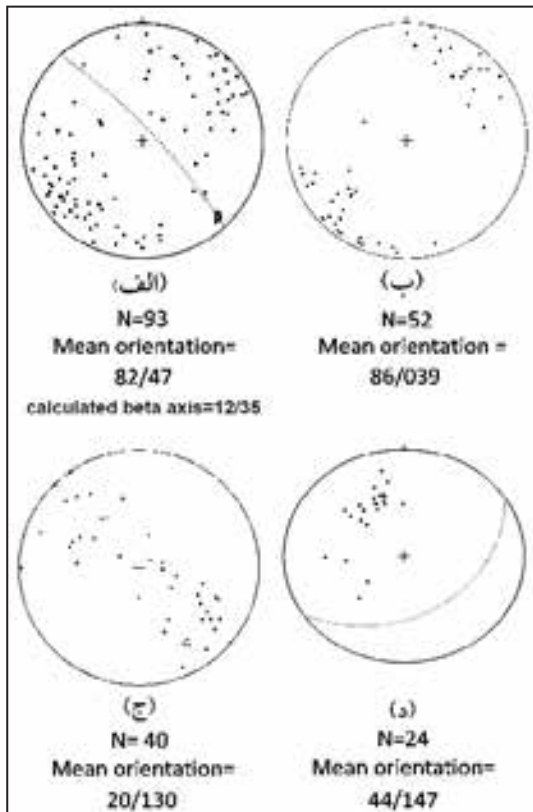
شکل ۳- چین‌های با زاویه میل محوری زیاد در فلیش‌های سیلت سنگی شمال بیرک، دید به سوی شمال باختر.



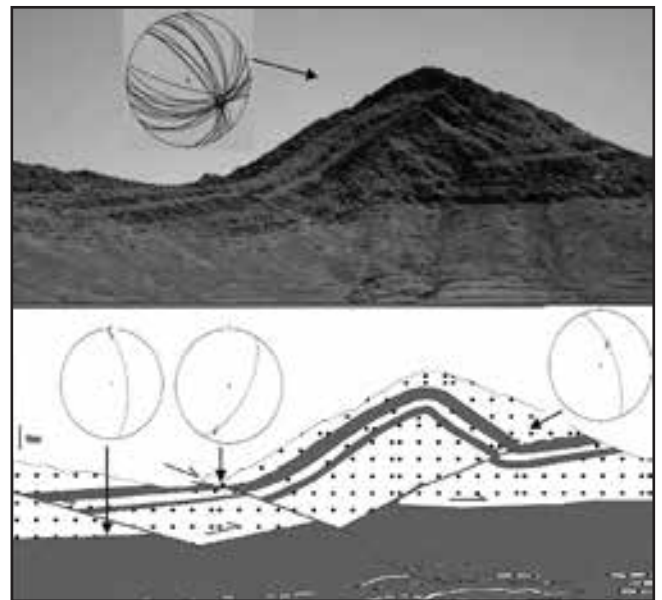
شکل ۴- چین خوردگی جناعی در فلیش‌های ماسه‌سنگی شمال بیرک، دید به سوی شمال باختر.



شکل ۵- گسل‌های فیچی، چین‌های هم‌پوشان و گسل راست بر موازی لایه‌بندی و چین و گسل‌های زاینده آن در شمال روستای قادرآباد



شکل ۶- نمایش عناصر ساختاری خطی و صفحه‌ای استفاده شده در شمال باختر کوه بیرک روی نیمکره پایینی شبکه هم‌مساحت. الف) قطب سطوح لایه‌بندی. ب) قطب سطوح رخ‌های شکستگی. ج) خطوارگی‌های تقاطعی د) قطب شکستگی‌های کششی تخت.



شکل ۷- یکی از چین‌های فرعی با گرایش راست بر در شمال روستای قادرآباد و گسل‌های مرتبط با آن، دید به سوی جنوب خاور. طرح رسم شده چین و هر یک از گسل‌ها و استریوگرام آنها نشان داده شده است.



## کتابنگاری

- سامانی، ب.، اشتری، م.، ۱۳۷۱- تکوین زمین‌شناسی ناحیه سیستان و بلوچستان، فصلنامه علوم زمین، شماره ۴، ص ۲۶-۱۴.
- شهرابی، م.، ۱۳۷۳- شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش ...آباد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۱ص.
- شهریاری، س.، خطیب، م.، ۱۳۷۶- تحلیل فرکتالی سیستم گسله نهندان، فصلنامه علوم زمین، شماره ۲۳-۲۴، ص ۳۹-۳۲.
- شهیدی، ع.، ۱۳۸۱- بررسی چینه‌شناختی و تکتونواستراتیگرافی سنگ‌نهشته‌های منطقه بیرجند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۱۶۷.
- قرشی، م.، واعظی پو، ج.، ۱۳۶۵- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کارواندر، شماره ۸۱۴۵، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- موسوی، ا.، ۱۳۸۴- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بیرک ۱، شماره ۸۲۱۵، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۹ص.
- نظری، ح.، ۱۳۷۷- زمین‌شناسی ساختمانی گسله قلعه سرخ- نوزاد خاور بیرجند (سریشه)، فصلنامه علوم زمین، شماره ۲۹-۳۰، ص ۸۵-۷۴.

## References

- Berberian, M., Jackson, J. A., Qorashi, M., Talebian, M., Khatib, M. & Peristly, K., 2000-The 1994 Sefidabeh earthquakes in eastern Iran: blind thrusting and bedding- plane slip on a growing anticline, and active tectonics the Sistan suture zone, *Geophys. J. Int.*, 142: 283-299.
- Berberian, M. & King, G. C., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18: 210-265.
- Camp, V. E. & Griffis. R. J., 1982- Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, Eastern Iran, *Lithos*, 15, 3: 221-239.
- Eftekharneshad, J., Lloyd. B., Squire, A., Odinga, M., McCormic, C. & Griffiths, P., 1987- Geological map of Nareh-Now quadrangle-Scale 1:250000, No. M-12, GSI.
- Fossen, H., Tikoff, B. & Teyssier, C., 1994- Strain modeling of transpressional and transtensional deformation, *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 74: 134-145.
- Goscombe, B., Hand, M., Gray, D. & Mawby, J., 2003- The metamorphic architecture of a transpressional orogen; the Kaoko Belt. Namibia, *Journal of Petrology*, 44, 4: 125-138.
- Harland, W. B., 1971- Tectonic transpression in Caledonian Spitzbergen, *Geological Magazine*, 108: 27-42.
- James, A. I. & Watkinson, J., 1994- Initiation of folding and boudinage in wrench shear and transpression, *Journal of Structural Geology*, 16, 6, 883-893.
- Jamison, W. R., 1991- Kinematics of compressional fold development in convergent wrench terranes, *Tectonophysics*, 190: 209-232.
- Jones, R. R., Holdworth, R. E., Clegg, P., McCaffrey, K. & Tavernelli, E., 2004- Inclined Transpression, *Journal of Structural Geology*, 26: 1531-1548.
- Jones, R. R. & Tanner, P. G., 1995- Strain partitioning in transpression zones, *Journal of Structural Geology*, 17: 793-802.
- Keller, J. V. A., Hall, S. H. & McClay, K. R., 1997- Shear fracture pattern and microstructural evolution in transpressional fault zones from field and laboratory studies, *Journal of Structural Geology*, 19, 9: 1531-1548.
- 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
- McCall, G. J. H., Eftekharneshad, J., Kidd, R. G. W., Haligan, R., Kousha, N., Lloyd, B., McCormic, C., Malett, C. W., Morgan, K. H., Nuun, G. A. G., Deighton, I., Rosario, P. C., Doepel, M. G., Forte, W. S., Jones, D. R., Spencer, L. k., Odinga, M., Squire, A., Porter, D. J., Stanistreet, I. G. & Redfern, P., 1994- Explanatory text of the Saravan quadrangle map scale 1:250000, No: M-13, GSI, 246p.
- Richard, P., Mocquet, B. & Cobbold, P., 1991- Experiment on simultaneous faulting and folding above a basement wrench fault, *Tectonophysics*, 188:133-141
- Schreurs, W. P. & Colletta, B., 2002- Analogue modelling of Continental Transpression, *Journal of the virtual Explorer*, 6: 67-78.
- Sadeghian, M., Bouchez, L. J., Nedelec, A., Siqueira, R. & Valizadeh, M. V., 2005- The granite pluton of Zahedan (SE Iran): a petrological and magnetic fabric study of a syntectonic sill emplaced in transtensional setting, *Journal of Asian Earth Science*, 25: 301-327.
- Tavernelli, E., Holdworth, R. E., Clegg, P., Jones, R. R. & McCaffrey, K. J. W., 2004- The anatomy and evolution of a transpressional imbricate zone: sothern Upland, Scotland, *Journal of Structural Geology*, 26: 134-136.
- Tikoff, B. & Peterson, K., 1998- Physical experiments of transpressional folding, *Journal of Structural Geology*, 20, 6: 661-672.
- Tirrul, R., Griffis, R. J., Bell, I. R. & Camp, V. E., 1983- The sistan suture zone of eastern Iran, *Geological society of American bulletin*, 94: 134-150.
- Walker, R. & Jackson, J., 2004- Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, *Tectonics*, 23: TC5010, doi: 10.1029/2003TC001529.