

# سازوکار کوتاه‌شدگی نسبی در قوس ساختاری ائوسن شمال غرب بیرجند، شرق ایران

محبوبه یعقوبی<sup>۱</sup> و ساسان باقری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۲

## چکیده

در شرق ایران، نهشته‌های کربناته ائوسن شمال غرب بیرجند در درون یک قوس ساختاری با تحدیبی به سوی شمال غرب گسترش یافته است. این نهشته‌ها به شکل یک برگه نازک رانده شده بر روی یک بستر خمیری از شیل‌های کرتاسه فوقانی لغزیده و چین خورده است. مطالعه کمی و سازوکار دگرشکلی این برگه رانده امکان بررسی منشأ قوس ساختاری مذکور را فراهم ساخته است. به منظور نیل به چنین هدفی، شش پیمایش ساختاری به ترتیب چهار پیمایش به شکل شعاعی نسبت به قوس و دو پیمایش در عرض قوس صورت پذیرفته است. در این پیمایش‌ها چین‌های میان تا بزرگ مقیاس و همچنین گسل‌ها و رانده‌گی‌ها در حد امکان اندازه‌گیری شده و سپس توسط نرم‌افزار Move به حالت قبل از دگرشکلی موازنه گردیده‌اند. میزان کوتاه‌شدگی به ترتیب در برش‌های شعاعی از شرق به غرب %۴۰-۳۰ در برش A، %۳۵-۲۵ در برش B، %۴۵-۳۵ در برش C و %۲۵-۱۵ در برش D و در برش‌های عرضی از جنوب به شمال به میزان %۵۳-۵۵ در برش E و %۳۵-۲۵ در برش F بوده است. مقایسه کوتاه‌شدگی‌ها نشان می‌دهد که در دو انتهای شرقی و غربی قوس، و همچنین در راستای خط خمش در پروفیل E بیشترین مقدار بوده است. چنین الگوی کوتاه‌شدگی به نوعی خمش (Buckling) در شمال غرب بیرجند نسبت داده می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** ساختار قوسی شکل بیرجند، اروکلاین، چین‌های شعاعی و موازی، خمش، برگه رانده.

\* نویسنده مسئول: محبوبه یعقوبی

E-mail: mahbob1371yaghoobi@gmail.com

## ۱- پیش‌نویس

دگرشکلی‌ها در مقیاس‌های متفاوت از میکروسکوپی تا ماکروسکوپی ظاهر می‌شوند که یکی از جلوه‌های ظهور دگرشکلی‌ها در مقیاس‌های قاره‌ای، قوس‌های ساختاری می‌باشند. بررسی این ساختارهای عظیم اطلاعات مفیدی جهت بازسازی تکامل تکتونیکی و سرگذشت زمین‌شناسی قاره‌ها در اختیار ما می‌گذارد (Johnston and Weil, 2013). برای فهم بهتر سازوکار ایجاد ساختارهای تکتونیکی و نحوه تکامل آن‌ها همواره سعی شده در آزمایشات بازسازی دگرشکلی عوامل زمان و مکان ساده و کوچک شوند. همچنین در این راستا به طور موازی مطالعه نشانگرهای سطحی مربوط به ساختارهای مدفون شده، درک نوع رژیم زمین‌ساختی منطقه و تنش دیرین شواهدی حائز اهمیت هستند. از آنجایی که بازسازی دگرشکلی در شناسایی و درک سازوکار ایجاد آن کمک شایانی می‌کند، می‌توان کمبودها و محدودیت‌های مطالعاتی را جبران کرد (Ellis et al., 2006; Koyi and Maillot, 2007). همچنین مدل‌های بازسازی شده، ابزاری برای بررسی و کنترل فرایندهای دگرشکلی در مقیاس منطقه‌ای را فراهم می‌کند (Hubbert, 1937; Mitra et al., 2000).

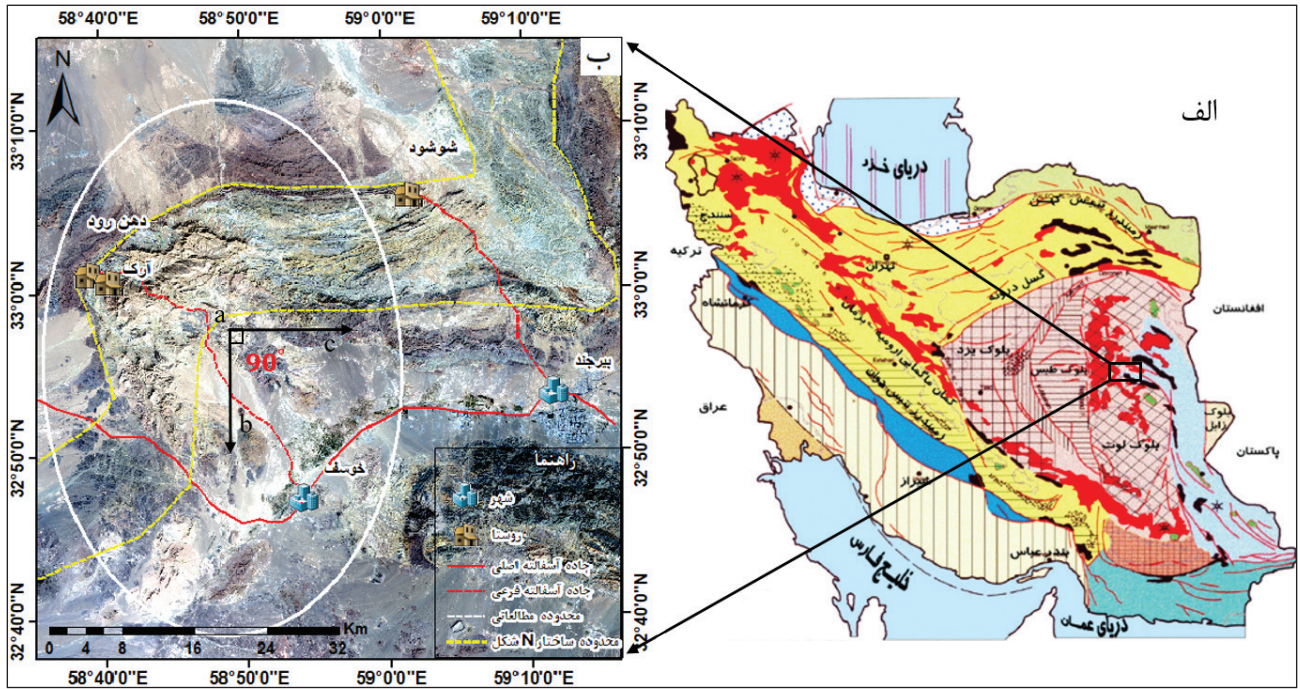
ساختار پیچ و خم خورده N شکل شمال بیرجند در مرز میان دو واحد ساختاری مهم ایران یعنی بلوک لوت در شمال و پهنه جوش خورده سیستان در جنوب واقع شده است. برای نیل به منشأ دگرشکلی مذکور که به وضوح بر روی عکس‌های ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی قابل مشاهده می‌باشد، بررسی ماهیت و منشأ قوس ساختاری شمال غرب بیرجند ضروری است. قوس ساختاری بیرجند در واقع یک خمش عظیم نعل اسب‌شکلی است که تحدیبی به سمت شمال غرب دارد. این ساختار خمیده مجموعه‌ای از سنگ‌های کربناته به سن ائوسن را در برمی‌گیرد که از شمال به یک بخش خارج قوس شامل سنگ‌های قاره‌ای قرمز رنگ ائوسن فوقانی- الیگوسن و از جنوب به منتهی‌الیه خمیده فیولیت بیرجند در کوه‌های باقران محدود می‌گردد (شکل ۱). از آنجایی که در پیشینه تحقیق مرتبط با قوس ساختاری شمال غرب بیرجند پژوهش مستقیمی صورت نگرفته است و بیشتر تحلیل‌های هندسی- جنبشی بر روی پراکنده‌گی اثر سطح محوری چین‌ها انجام شده است (هیئات، ۱۳۷۶؛ خطیب، ۱۳۷۷؛ غلامی و همکاران، ۱۳۸۸؛ موسوی، ۱۳۹۰). لذا در این تحقیق به بررسی پیرامون ماهیت دگرشکلی ساختار قوسی شکل شمال غرب بیرجند پرداخته شده است. در این ارتباط، آیا می‌توان پاسخی برای تفاوت آشکار در روند ساختارهای موجود در دو پهنه ذکر شده پیدا نمود؟

## ۲- روش مطالعه

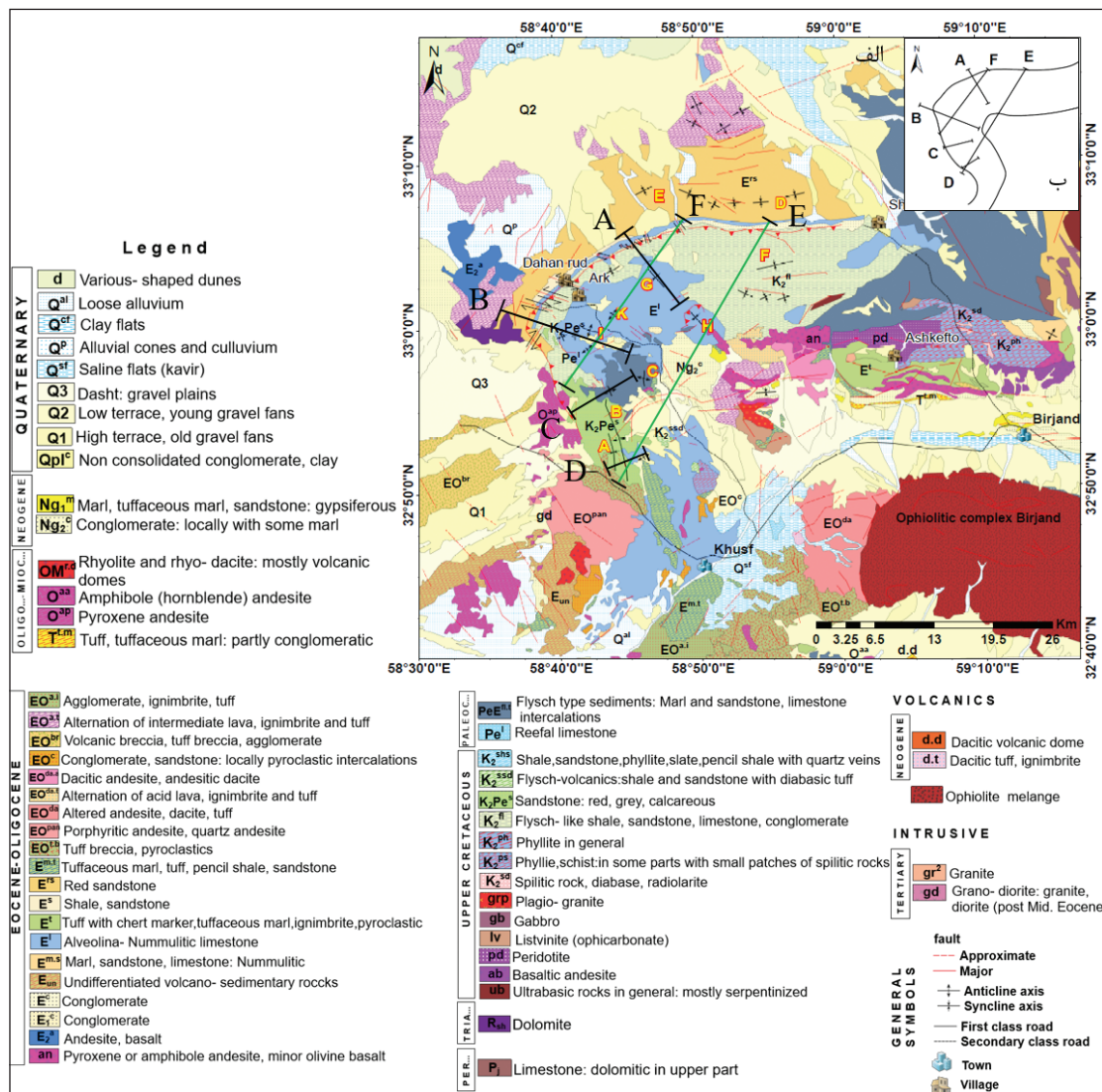
به منظور مطالعه ساختارهای دگرشکلی در قوس شمال غرب بیرجند مقدار، سازوکار و مقایسه دگرشکلی در جهات مختلف قوس مد نظر قرار گرفته است. در این راستا ۶ برش زمین‌شناسی در راستاهای مختلف انتخاب شده است به گونه‌ای که کل قوس را پوشش دهد (شکل ۲). ۴ پیمایش زمین‌شناسی با تکیه بر برداشت‌های ساختاری در ۴ راستای طولی (شعاعی) قوس انتخاب شده که هدف محاسبه میزان کوتاه‌شدگی در راستای عمود بر مرز دو واحد ساختاری بلوک لوت و پهنه جوش خورده سیستان بوده است (Vahdati Daneshmand et al., 1991). همچنین دو مسیر پیمایش در راستای عرضی قوس انتخاب شده تا میزان خمش و فشردگی قوس بررسی گردد. داده‌های ساختاری جمع‌آوری شده شامل چین‌های میان تا بزرگ مقیاس از یک سو و گسل‌های مختلف خصوصاً با تکیه بر رانده‌گی‌ها می‌باشد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های ساختاری جمع‌آوری شده ابتدا برش‌های زمین‌شناسی ترسیم و سپس برش‌های ترسیم شده به وضعیت قبل از دگرشکلی موازنه شد که در این مسیر از نرم‌افزارهای Move، Illustrator، Stereonet استفاده شده است. در این راستا چین‌ها باز شده و به حالت افقی برگشته‌اند. در حالی که در ارتباط با گسل‌های رانده حتی‌المقدور تلاش شد تا با استفاده از سازوکار گسل‌ها و لایه‌های کلیدی آنها به وضعیت قبل از جابه‌جایی باز گردانده شود. طبیعتاً در این بازسازی معیارهای استاندارد برای موازنه‌سازی برش‌های زمین‌شناسی رعایت گردیده است (Dahlstrom, 1969; Marshak and Woodward, 1988). همچنین دو رابطه زیر به ترتیب، نحوه محاسبه مقدار کوتاه‌شدگی و درصد آن را در یک برش زمین‌شناسی نشان می‌دهند:

$$\Delta L = L_{\text{initial}} - L_{\text{final}}; \quad \Delta L = (L_{\text{initial}} - L_{\text{final}}) / L_{\text{initial}} \times 100 \text{ (Pluij and Marshak, 2004)}$$

در این رابطه  $\Delta L$  مقدار کوتاه‌شدگی،  $L_{\text{initial}}$  طول نهایی مقطع و  $L_{\text{final}}$  طول اولیه می‌باشد. از آنجایی که به طور طبیعی خطاهای معمولی در محاسبه میزان جابه‌جایی بر روی گسل‌های رانده وجود دارد، فرض ما بر آن است که صرفاً با مقایسه نسبی میزان کوتاه‌شدگی در طول همه برش‌های زمین‌شناسی می‌توان به یک نتیجه‌گیری منطقی دست یافت. به عبارت دیگر نسبت خطا در طول همه برش‌ها یکسان و قابل صرف نظر می‌باشد. همچنین از آنجایی که سنگ‌های قبل از میوسن دچار چین دگرشکلی شده‌اند و سنگ‌های جوان‌تر از آن الگوی دگرشکلی متفاوتی دارند، سنگ‌های نوژن در این بازسازی دخالت داده نشده‌اند.



شکل ۱- الف) موقعیت قوس ساختاری بیرجند؛ ب) تصویر ماهواره‌ای قوس شمال غرب ساختار N شکل و راه‌های دسترسی به منطقه.



شکل ۲ الف) نقشه زمین‌شناسی ساده‌شده از قوس ساختاری شمال غرب بیرجند برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی بیرجند و قائن (Berthiaux et al., 1991). ب) نمایش شماتیک برش‌های زمین‌شناسی. (Vahdati Daneshmand et al., 1991) که حروف زرد رنگ در آن چین‌های شعاعی و موازی را نشان می‌دهد؛



### ۳- زمین شناسی عمومی منطقه

در حاشیه شرقی بلوک لوت در منطقه بیرجند، جایی در محل تماس پهنه جوش خورده سیستان و بلوک لوت، برش های تکنونیک از پهنه جوش خورده به شکل قوس های ساختاری با تحدیبی به سمت شمال شرق وارد بلوک لوت شده و به حالت متناوبی باهم قرار گرفته اند (شکل ۳).

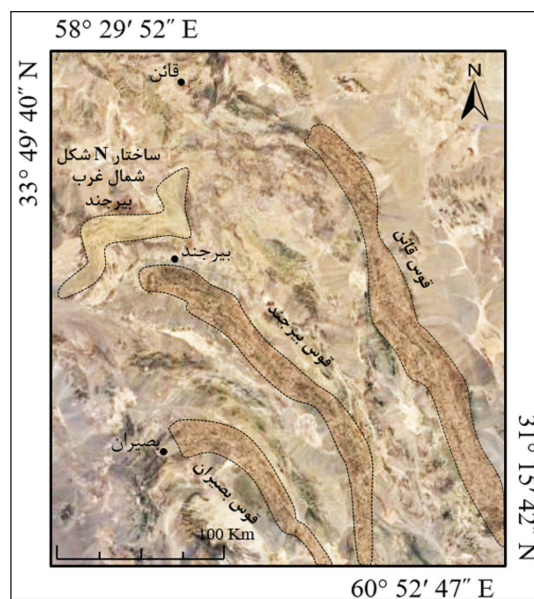
قوس ساختاری بیرجند یکی از این پهنه های ساختاری است که منتهی الیه شمال غربی آن به کوه های باقران ختم می شود. در حاشیه شمال تا غرب این قوس، ساختار عظیم خمیده ای، شکل N گرفته است (غلامی، ۱۳۹۳). این ساختار قوسی شکل دارای سنگ شناسی شامل: سنگ های رسوبی پالئوزوئیک و مزوزوئیک از جمله توالی های شیل و سنگ آهک نازک لایه، مارن، کنگلومرا و دولومیت و همچنین ماسه سنگ قرمز و آهک آلئولین و نومولیت دار متعلق به اتوسن هستند. همچنین می توان به رخنمونی از سنگ های آذرین و آتشفشانی اتوسن،

الگوسن و نئوژن و واحدهایی از مجموعه افیولیتی کرتاسه در منطقه اشاره کرد (Vahdati Daneshmand et al., 1991; Berthiaux et al., 1991). بر اساس مشاهدات صورت گرفته در قسمت میانی ساختار N شکل، سازند شبه فلیشی احتمالاً یک سکانس کامل را نشان می دهد که ته نشست آن در پالئوسن شروع شده و در اتوسن تحتانی ادامه یافته است (Vahdati Daneshmand et al., 1991).

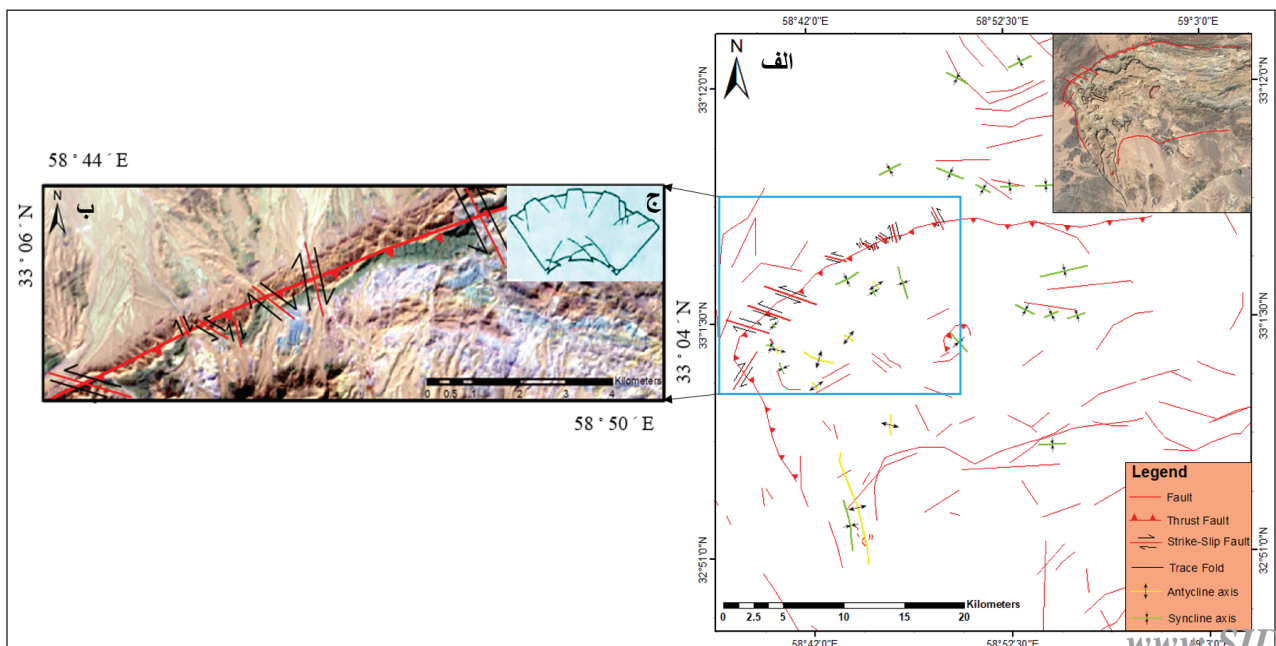
### ۴- تحلیل هندسی - جنبشی ساختارها

#### ۴-۱. گسل ها

گسل های معکوس و رانده در حدود نیمی از گسل های منطقه را در بر می گیرند که در دو امتداد NW و NE گسترش دارند. همچنین گسل های راستالغز در منطقه عمدتاً از نوع راستالغز راست بر و یا چپ بر هستند که عمدتاً شامل امتداد NE و NW می باشند (شکل ۴).



شکل ۳- موقعیت کنونی برخی از تراشه های افیولیتی در شمال پهنه جوش خورده سیستان.



شکل ۴- الف) نقشه گسل های منطقه مطالعاتی؛ ب) نمایی از گسل های برشی مزدوج در پیشانی قوس بر روی تصاویر ماهواره ای؛ ج) نمایش الگوی چین خوردگی از نوع Buckling.

۴-۲. چین‌ها

در منطقه شمال غرب تا غرب بیرجند چین خوردگی هم در مقیاس بزرگ و کیلومتری و هم در مقیاس کوچک قابل مشاهده است؛ با این حال سطح محوری اکثر این چین‌ها که اغلب ناوشکل هستند دارای شیبی به سمت جنوب- جنوب شرق و امتداد شمال غرب می‌باشند.

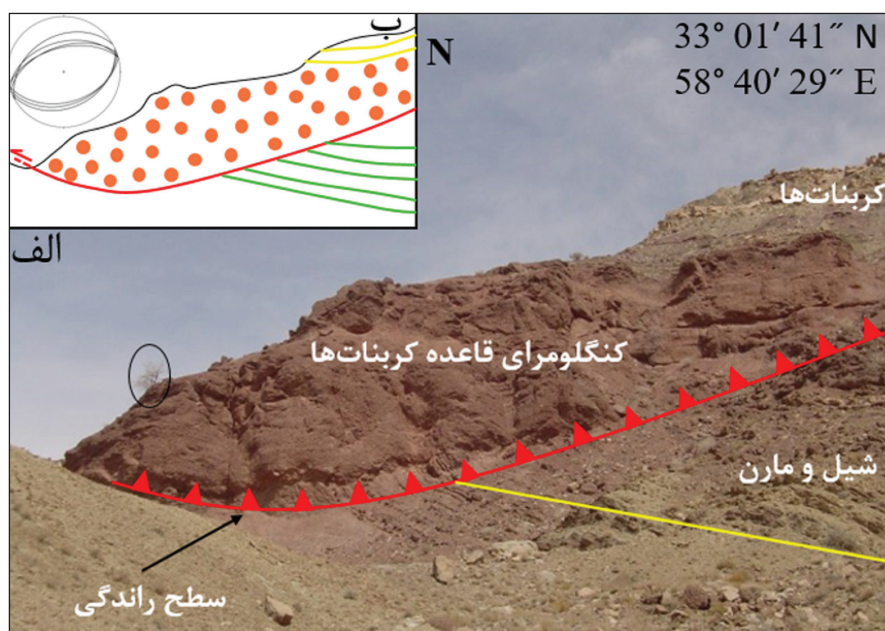
– چین خوردگی در ارتباط با گسلش: مطالعه تصاویر ماهواره‌ای شمال غرب بیرجند نشان‌دهنده یک مرز تک‌تونیکی با روند شرقی- غربی است که نهشته‌های کربناته را از سایر نهشته‌های قرمز رنگ جدا می‌سازد. وضعیت نهشته‌های مذکور به حالت عادی تا برگشته چندین بار تکرار می‌شود که به دلیل حضور چین‌های خوابیده با

محور افقی در امتداد این مرز و سطح محوری برگشته به سمت شمال تا شمال غرب است (شکل ۵).

از طرف دیگر مطالعه سطح ناپیوستگی در زیر کربنات‌های ائوسن در برخی مناطق به وضوح حکایت از سطح جدایشی مرتبط با راندگی دارد؛ برای مثال سطح ناپیوسته آهک‌های ائوسن و شیل و مارن‌های کرتاسه زیرین که با یک کنگلومرای قرمز قاعده‌ای مشخص می‌شود در بسیاری از مناطق بریده شده و علی‌رغم حضور کنگلومرا، این سطح کاملاً ویژگی یک سطح راندگی را دارد و سبب شده نهشته‌های کربناته بر روی نهشته‌های فلیش گونه کرتاسه به راحتی بلغزد (شکل ۶).



شکل ۵- نمایی از چین خوابیده در جبهه دگرشکلی، روستای آرک با سطح محوری برگشته به سمت شمال تا شمال غرب.



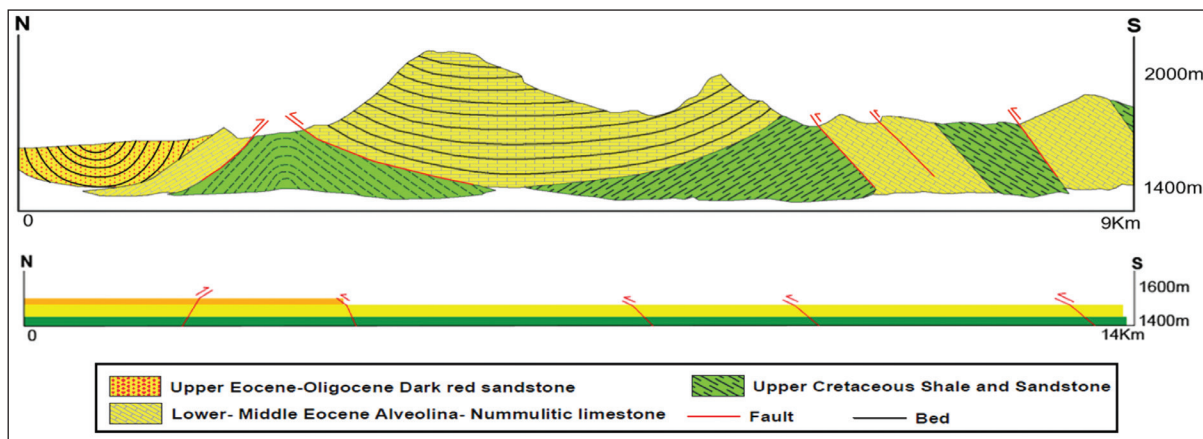
شکل ۶- الف) نمایی از اختلاف بارز شیب و امتداد شیل و مارن‌ها با کربنات‌های بالای راندگی؛ ب) نمایی شماتیک از رسوبات به همراه راندگی.



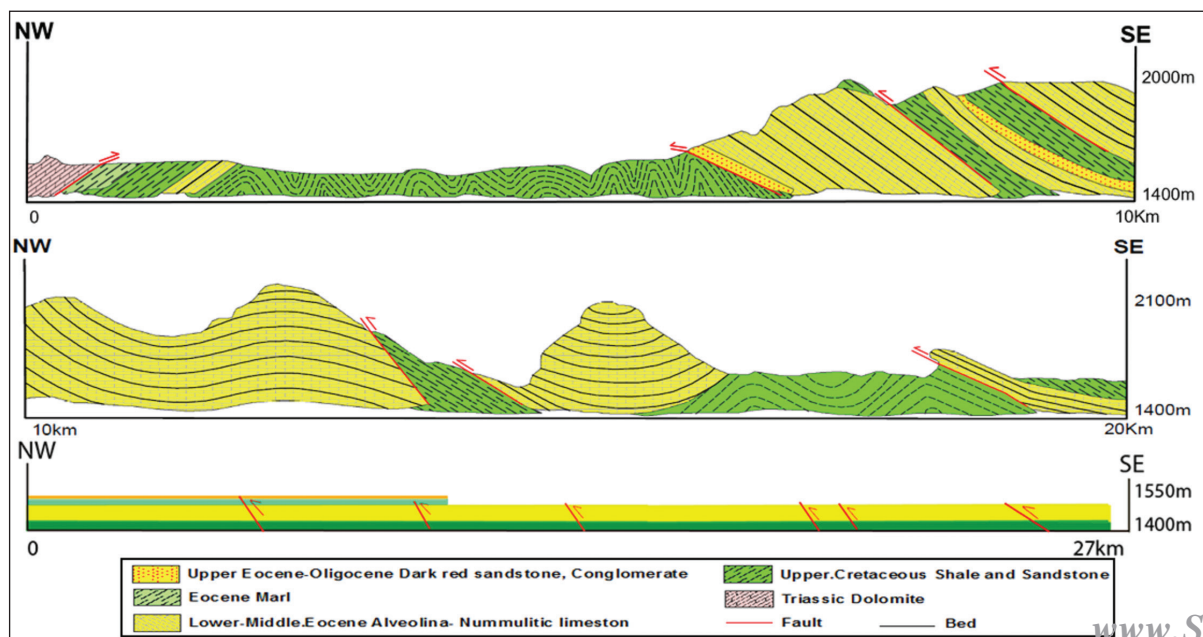
۵- بحث

بررسی دگرشکلی در سنگ‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی امر پیچیده‌ای است؛ زیرا با توجه به اختلافات سنگ‌شناسی، زمان نسبی عملکرد فاز دگرشکلی، شدت و ماهیت کرنش و مقیاس مشاهدات صورت گرفته، دگرشکلی ممکن است به صورت‌های مختلفی ظهور پیدا کند (Passchier and Trouw, 2005). شناسایی ماهیت دگرشکلی بخش شمال غرب- غرب ساختار N شکل و ارتباط آن با دگرشکلی‌های قوس ساختاری بیرجند در درک و تفسیر سازوکارهای دگرشکلی و بازسازی تحولات تکتونیکی این بخش از بلوک لوت اهمیت فراوانی دارد. قوس بیرجند متشکل از نهشته‌های کربناته با سن انوسن به شکل برگه‌های تراستی است که توسط مرز جدایشی شاخصی از نهشته‌های فلیشی کرتاسه جدا می‌گردد و همچنین به صورت یک برگه نازک کربناته است که امکان لغزش و چین خوردگی بر روی یک فرودپواره خمیری کرتاسه فوقانی را داشته است و این پوشش کربناته به خوبی در قوس ساختاری شمال غرب بیرجند گسترده شده و از این رو امکان محاسبه و مطالعه‌ی کوتاه‌شدگی و منشأ قوس را فراهم کرده است. مدل‌های جنبشی بر پایه مدل‌های هندسی پایه گذاری شده‌اند که آنها نیز به نوبه خود حاصل توصیف شکل‌های چین در مقطع عرضی هستند (Ghassemi et al., 2010). Move یک برنامه گرافیک رقومی و سه بعدی رایانه حرفه‌ای است که در این تحقیق برای بازگرداندن پروفیل‌های زمین‌شناسی به حالت قبل از دگرشکلی استفاده گردیده است. یکی از شروط اصلی برای تهیه برش

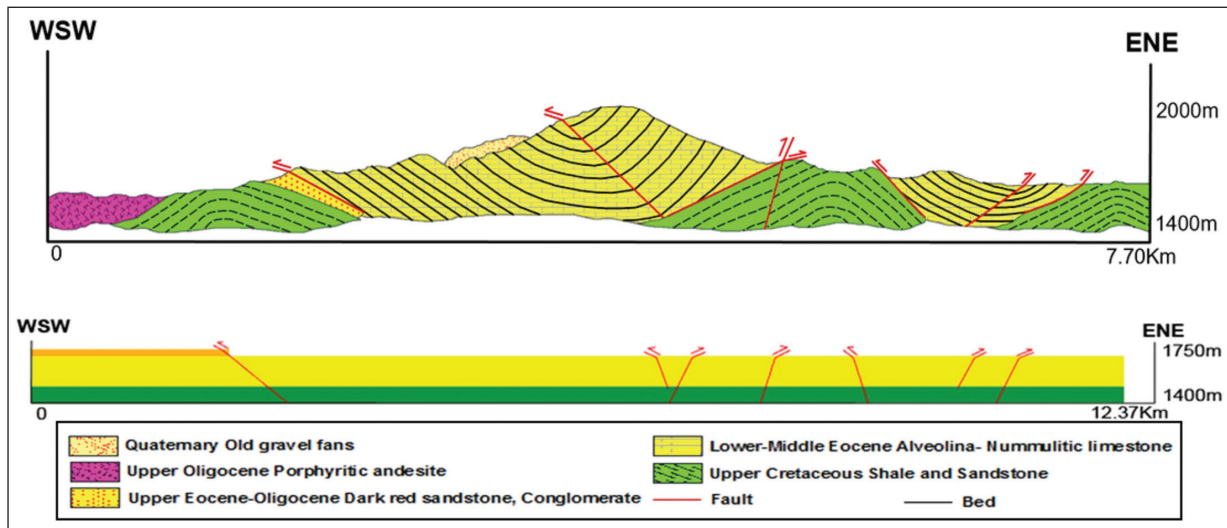
ساختاری موازنه شده، قابلیت مقطع برای حذف اثر دگرریختی از آن است. به طوری که پس از بازگرداندن مقطع به حالت دگرریخت نشده، هندسه گسل‌ها قاعده‌مند بوده، مساحت لایه‌ها حفظ شوند و طول لایه‌ها از الگوی قابل قبولی تبعیت نمایند. محاسبه کوتاه‌شدگی با انجام ۶ پیمایش ساختاری که ۴ پیمایش در برش‌های شعاعی و ۲ پیمایش در عرض قوس صورت گرفته، انجام شده است. پروفیل‌های ترسیم‌شده در برش‌های شعاعی مقدار کوتاه‌شدگی را در حدود ۲۵ تا ۳۵ درصد بیان کرده‌است (شکل‌های ۷ تا ۱۰)، در صورتی که دو پیمایشی که در راستای خط خمش قوس و یا در عرض قوس انجام شده مقدار کوتاه‌شدگی را در حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد نشان می‌دهد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲ و جدول ۱). همچنین به دلیل اینکه سن نهشته‌های کربناته بیرجند عمدتاً انوسن زیرین تا میانی تعیین شده است و سن ماگماتیسیم پس از دگرشکلی حدود انوسن فوقانی- الیگوسن (Pang et al., 2012) ذکر شده است. بنابراین اگر تصور شود دگرشکلی حداکثر در طول این دوره (۱۲/۸ میلیون سال) رخ داده باشد، نرخ کوتاه‌شدگی به طور متوسط حداقل ۱/۱۳ و ۰/۵ میلی‌متر در سال و به ترتیب در دو راستا بوده است؛ راستای خط خمش (NE) که در حال فشردگی بوده و منطقه تاج قوس (NW) که در حال کشش بوده است (جدول ۲). بنابراین مقدار کوتاه‌شدگی در راستای خط خمش قوس بیشترین مقدار را نشان می‌دهد.



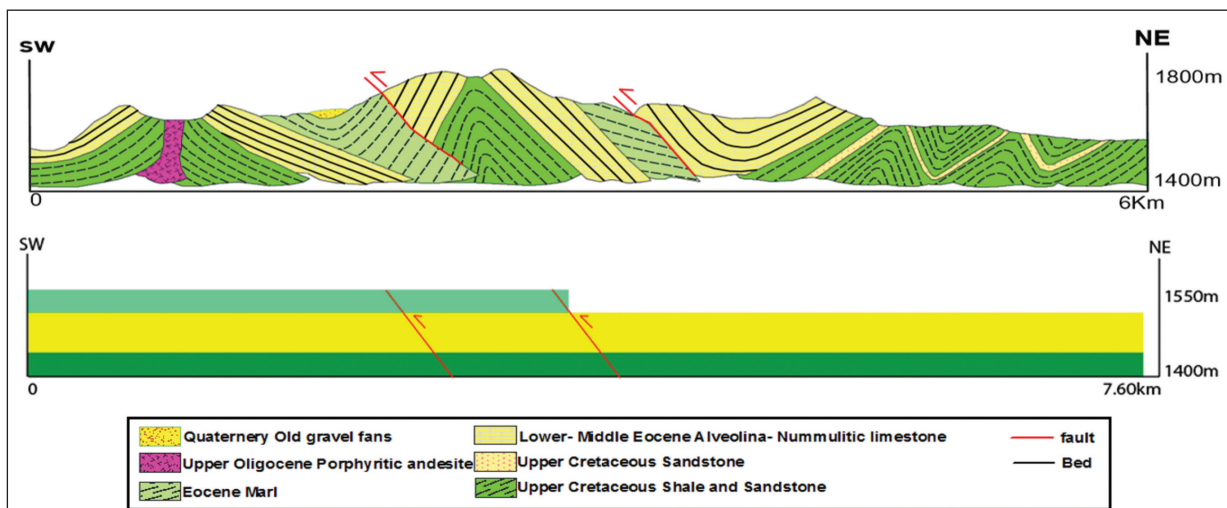
شکل ۷- برش ساختاری A قبل از بازگرداندن لایه‌ها به حالت قبل از دگرشکلی به همراه برش بازسازی شده ۱۰۰٪.



شکل ۸- برش ساختاری B قبل از بازگرداندن لایه‌ها به حالت قبل از دگرشکلی به همراه برش بازسازی شده ۱۰۰٪.



شکل ۹- برش ساختاری C قبل از بازگرداندن لایه‌ها به حالت قبل از دگرشکلی به همراه برش بازسازی شده ۱۰۰٪.

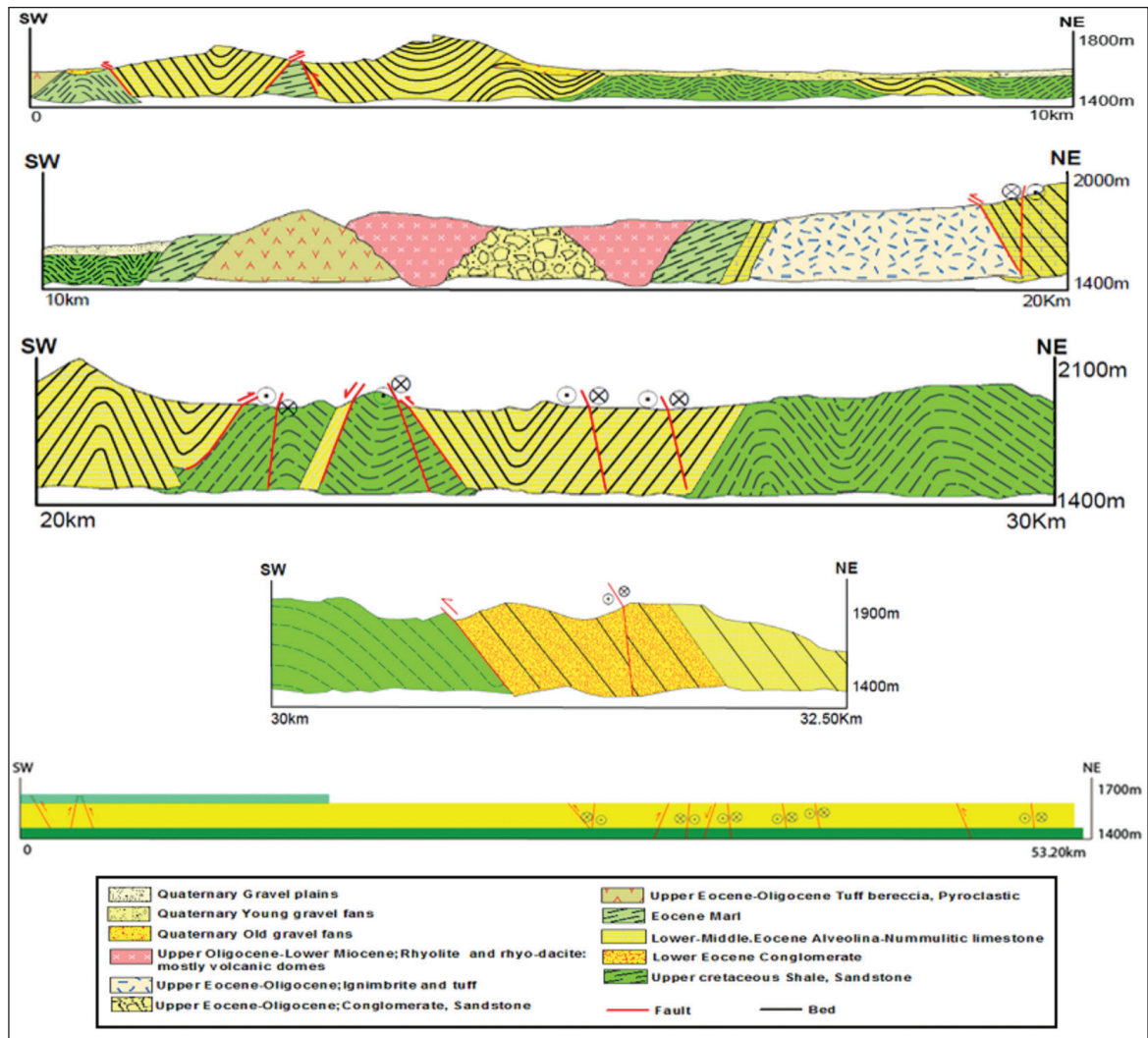


شکل ۱۰- برش ساختاری D قبل از بازگرداندن لایه‌ها به حالت قبل از دگرشکلی به همراه برش بازسازی شده ۱۰۰٪.

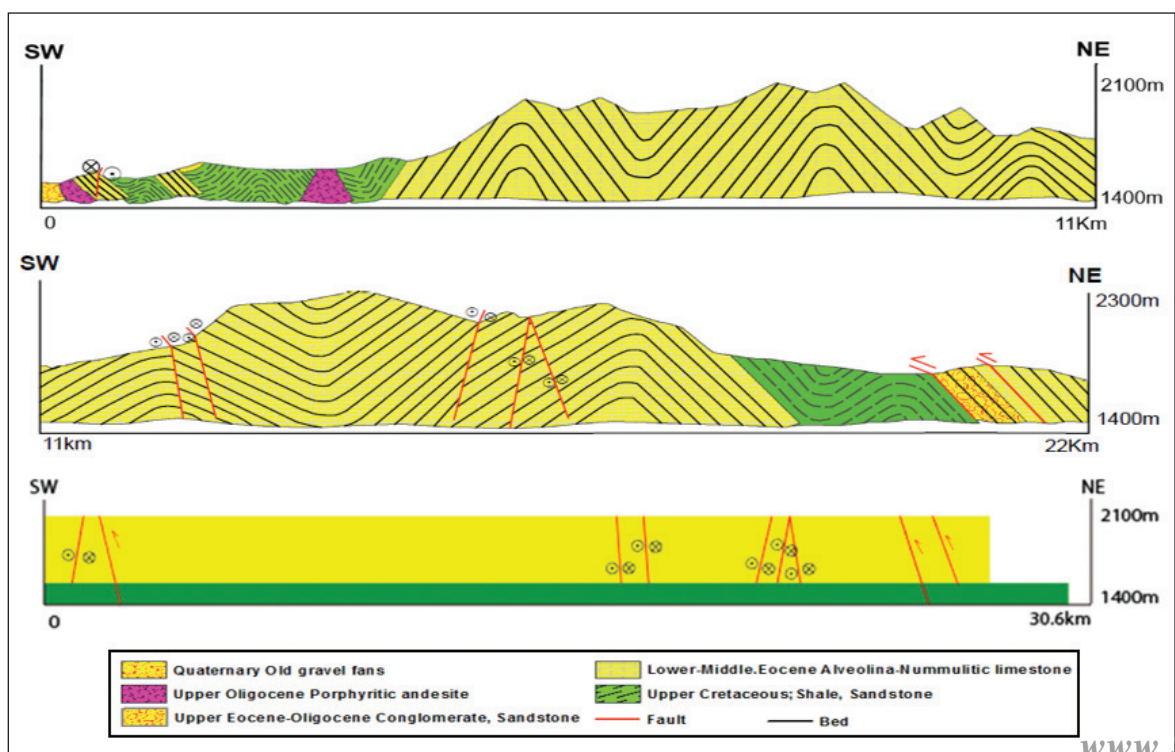
جدول ۱- ویژگی‌های پروفیل‌های زمین‌شناسی و مقادیر کوتاه‌شدگی.

ردیف	نام برش زمین‌شناسی	امتداد برش زمین‌شناسی	طول بعد از دگرشکلی Km	طول قبل از دگرشکلی Km	درصد کوتاه‌شدگی
۱	A	N25W	۹	۱۴	۳۰-۴۰٪
۲	B	N45W	۲۰	۲۷	۲۵-۳۵٪
۳	C	S65W	۷/۷۰	۱۲/۳۷	۳۵-۴۵٪
۴	D	S75W	۶	۷/۶۰	۱۵-۲۵٪
۵	E	N45E	۳۲/۵	۵۳/۲۰	۳۵-۵۵٪
۶	F	N55E	۲۲	۳۰/۶۰	۲۵-۳۵٪





شکل ۱۱- برش ساختاری E قبل از بازگرداندن لایه‌ها به حالت قبل از دگرشکلی به همراه برش بازسازی شده ۱۰۰٪.



شکل ۱۲- برش ساختاری F قبل از بازگرداندن لایه‌ها به حالت قبل از دگرشکلی به همراه برش بازسازی شده ۱۰۰٪.

جدول ۲- راستای برش‌های زمین‌شناسی و مقدار کوتاه‌شدگی.

ردیف	نام برش زمین‌شناسی	امتداد برش زمین‌شناسی	مقدار کوتاه‌شدگی (میلی‌متر در سال)
۱	A	NW	۰/۳۹
۲	B	NW	۰/۵۴
۳	E	NE	۱/۶
۴	F	NE	۰/۶۷

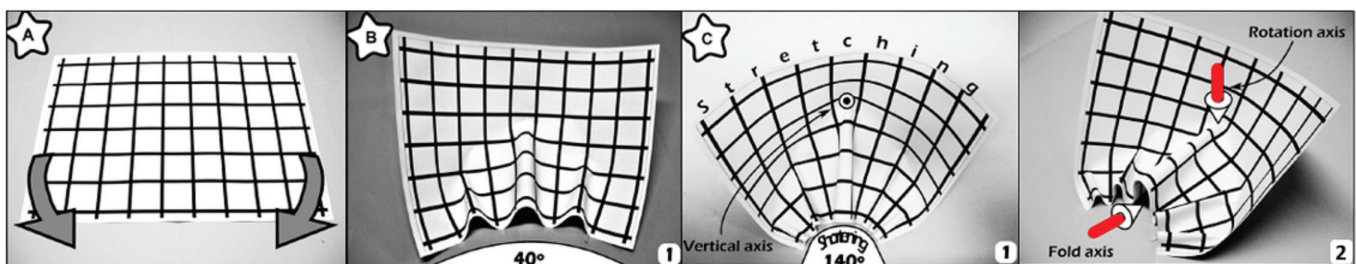
چنین الگوی کوتاه‌شدگی را خمشی از نوع Buckling در شمال غرب می‌دانیم یکی از ساختارهای مرتبط با این خمش، وجود شکستگی‌های مزدوج است که در پیشانی قوس دیده می‌شود (به شکل‌های ۴-ب و ج رجوع شود).

در حاشیه شمال شرقی بلوک لوت قوس‌های ساختاری با تحدیبی به سمت شمال شرق وجود دارد که حرکتی رو به شمال داشته‌اند. هر یک از این قوس‌ها به صورت مستقل اما در ارتباط با یکدیگر توسط گسل‌های جداکننده خود در مسیری منحنی شکل حول یک محور قائم چرخش در خلاف جهت عقربه‌های ساعت دارند و به صورت تیغه‌هایی به درون بلوک لوت وارد شده‌اند (خطیب، ۱۳۷۷). بنابراین با جابه‌جایی وسیع و مکرر بین دو پهنه جوش خورده سیستان و بلوک لوت همراه بوده‌اند. به سبب فشردگی پهنه جوش خورده سیستان به نظر می‌رسد که خمش (Buckling) به وقوع پیوسته باشد. بنابراین نهشته‌های کربناته در نتیجه خمش در ابتدا چین‌های موازی و تراست‌شدگی را سبب می‌شود و با تداوم کوتاه‌شدگی در راستای شمالی-جنوبی همراه است. در مرحله بعد در دگرشکلی پیشرونده لایه‌ها دچار خمش و قوس شروع به تشکیل شدن می‌کند که در اینجا چین‌های شعاعی ظاهر می‌شوند. پس از آن که قوس به نهایت خمش و کوتاه‌شدگی رسید امکان فشردگی دیگر وجود ندارد و قوس در محل پیشانی خود به وسیله‌ی گسل‌های مزدوج بریده می‌شود. راستا و جهت حرکت رانندگی‌های مرز نهشته‌های کربناته و پهنه شوشود و چین‌های برگشته به سمت شمال تا شمال غرب نکته فوق را تأیید می‌کند (شکل ۱۴).

از سازوکارهای دگرشکلی در منطقه بیرجند می‌توان به چین‌خوردگی‌ها اشاره کرد که قوس ساختاری بیرجند علاوه بر چین‌خوردگی‌های در ارتباط با گسلش در بردارنده دو راستای متفاوت چین‌خوردگی است: یکی موازی با رخنمون‌هایی از تراست‌های اصلی و با راستایی شبیه یک نعل اسبی که تقریباً به سمت جنوب شرق دارد و اغلب سیلندری و در مواردی غیرسیلندری می‌باشند و گروه دوم توزیعی شعاع‌گونه در درون قوس دارند و راستای متوسط سطح محوری گروه دوم تقریباً شمال غربی است و اکثراً مخروطی هستند (برای چین‌های موازی (A, B, C, D, E, F) و شعاعی (G, H, I, K) به شکل ۲ رجوع شود).

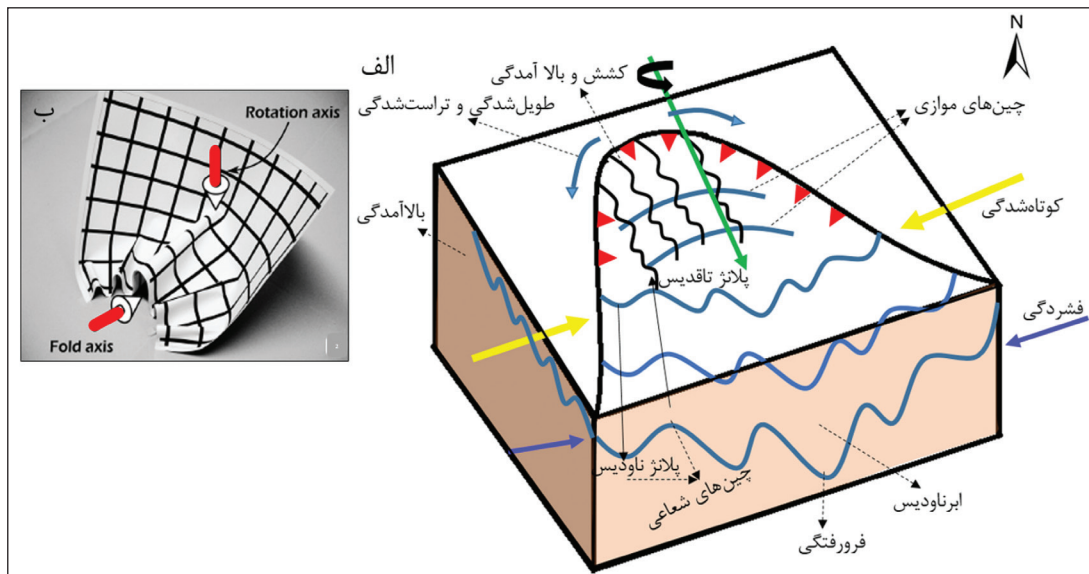
مدل Pastor-Galán et al. (2012) (شکل ۱۳) را می‌توان همانند منطقه بیرجند در نظر گرفت به گونه‌ای که افیولیت باقران را هسته و قوس بیرجند به عنوان منطقه کوتاه شده و پهنه شوشود را منطقه تحت کشش در این مدل دانست. مرز میان قوس بیرجند و پهنه شوشود یا به عبارتی مرز درون قوس و بیرون قوس در برخی نقاط به صورت تراستی و در برخی به صورت چین‌های با دامنه بلند ظاهر می‌شود.

چین‌های موازی که قدیمی‌تر از چین‌های شعاعی هستند در درون و هسته قوس طول موج‌های بلندتر و دامنه کوتاه‌تری دارند، در صورتی که همین چین‌ها در مرز بیرونی قوس دامنه بلندتری دارند. با توجه به وجود کشش و بالا آمدگی در بیرون قوس و کوتاه‌شدگی در درون آن چین‌های مخروطی در منطقه تشکیل شده‌اند که اکثر چین‌های شعاعی را شامل می‌شوند. این چین‌های مخروطی در زمانی که محور چرخش یال‌ها با لایه‌ها موازی نباشد، شکل می‌گیرند. همچنین با توجه به این که ما



شکل ۱۳- نمایش کارتنی از دگرشکلی کاغذ که از قسمت جنوب دچار کوتاه‌شدگی و از قسمت شمال دچار کشش شده است. در شکل B در نتیجه کوتاه‌شدگی تعدادی چین مخروطی تشکیل شده و قسمت کششی از سطح جدا شده و به سمت بالا حرکت می‌کند، چنین حرکتی با جابجایی رانندگی‌ها به سمت شمال هماهنگ است. در شکل C هر چه میزان کوتاه‌شدگی و کشش بیشتر شود چین‌های مخروطی با محورهای تقریباً افقی بیشتری تشکیل می‌شود. دو محور چرخش یکی افقی در جنوب که موازی با محور چین‌های مخروطی است و دیگری عمودی در شمال بر روی شکل C2 نمایش داده شده است که منطبق با محوری است که لایه در راستای آن دچار کشش و چرخش گشته است (Pastor-Galán et al., 2012).





شکل ۱۴- الف) مدل بلوک دیاگرام توصیفی از توزیع دگرشکلی در پلاتفرم کرناته شمال غرب بیرجند؛ ب) نمایش کارتی دگرشکلی.

## ۶- نتیجه گیری

درجه تعیین شده است. این ساختار در اثر کشیدگی از محور خمش شکستگی‌های مزدوجی را در پیشانی خود دارد. همچنین تداوم دگرشکلی پیشرونده ساختار منظم چروک‌خورده شمال بیرجند را بهم ریخته و پیچیده‌تر ساخته است. دو راستای چین‌خوردگی متفاوت به شکل شعاعی و موازی در قوس بیرجند شناسایی شده‌اند که توزیع چین‌های شعاعی و موازی نشان می‌دهد که در شمال غرب قوس بیرجند در بیرون قوس کشش و در درون آن کوتاه‌شدگی وجود دارد. ساختار خمشی شمال بیرجند بخشی از یک ساختار عظیم قوسی شکل بین بلوک لوت و پهنه جوش خورده سیستان است که احتمالاً در پی حرکت فراری رو به غرب بلوک افغان در حادثه برخورد هند و آسیا در ائوسن ایجاد شده است.

نهشته‌های کرناته در شمال غرب بیرجند به صورت ساختار قوسی با پهنای ۱۲ کیلومتر و طول متوسط ۹۰ کیلومتر قرار دارند که در لبه شمالی قوس در برخی نقاط و احتمالاً در لبه جنوبی آن به تراست ختم می‌گردند. مقدار کوتاه‌شدگی با توجه به پروفیل‌های ترسیم‌شده، در راستای خط خمش حدود ۳۵ تا ۴۵ درصد و در محل منطقه تاج ۲۵ تا ۳۵ درصد محاسبه شده است که این مقدار به ترتیب  $1/13$  و  $0/5$  میلی‌متر در سال بوده است. بنابراین الگوی کوتاه‌شدگی در نهشته‌های کرناته نشان می‌دهد که مقدار کوتاه‌شدگی در دو انتهای شرقی و غربی قوس بیشتر بوده است. الگوی کوتاه‌شدگی در نهشته‌های کرناته به خمش نسبت داده شده و ابر ساختار ناوشکل شمال غرب بیرجند تحت تأثیر تنش‌هایی دچار خمین خمش شده است که زاویه خمش در آن حدود ۹۰

## کتابکاری

- خطیب، م. م.، ۱۳۷۷- هندسه پایانه گسل‌های امتداد لغز (با نگاهی ویژه بر گسل‌های خاور ایران)، رساله دوره دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۲۴ ص.، [www.sid.ir/FileServer/JF/21413890406](http://www.sid.ir/FileServer/JF/21413890406).
- غلامی، ا.، نوگل‌سادات، م. ع. ا.، خطیب، م. م. و یساقی، ع.، ۱۳۸۸- شواهد ساختاری از تأثیر گسل‌های شمالی- جنوبی در توسعه دگرریختی‌های جنوب‌خاوری بیرجند، پهنه سیستان، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۱، ص. ۱۳ تا ۱۸، [www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx](http://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx).
- غلامی، ن.، ۱۳۹۳- بررسی تغییرات دگرشکلی در راستای شمالی- جنوبی محور شمال بیرجند: گامی به سوی منشأ ساختار قوسی شکل بیرجند، شرق ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۳ ص.، <http://www.usb.ac.ir/lib>.
- موسوی، م.، ۱۳۹۰- تفکیک فازهای تنش دیرین به روش برگشتی از صفحه‌های گسلی در منطقه جنوب بیرجند، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال چهارم، شماره ۱۳، ص. ۲۷ تا ۳۸، <http://ijcm.ir/>.
- هیئات، م. ر.، ۱۳۷۶- تحلیل ساختاری کوه‌های شمال بیرجند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۱۷ ص.، [esrj.sbu.ac.ir/article/view/9836](http://esrj.sbu.ac.ir/article/view/9836).

## References

- Berthiaux, A., Christman, P., Fauvelet, E., Hatrival, J. N., Vaslet, D. and Vahdati, A., 1991- Geological Map of Qayen, Scale: 1:250,000, Geological Survey of Iran, Tehran, [https://www.researchgate.net/figure/Geological-map-of-the-site-Geological-Survey-of-Iran-100-000-sheet-map-of-Shiraz\\_fig12\\_271993938](https://www.researchgate.net/figure/Geological-map-of-the-site-Geological-Survey-of-Iran-100-000-sheet-map-of-Shiraz_fig12_271993938).
- Dahlstrom, C., 1969- Balanced cross sections. Canadian Journal of Earth Science, 6, 743–758, <https://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/e69-069>.
- Ellis, E. C., Wang, H. and Xiao, H. S., 2006- Measuring long- term ecological changes in densely populated landscapes using current and historical high resolution imagery. Remote Sense Environ, Vol. 100, pp. 457- 473, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.002>.
- Ghassemi, M. R., Schmalholz, S. M. and Ghassemi, A. R., 2010- Kinematics of constant arc length folding for different fold shapes, Journal of Structural Geology, Vol 32, 755 -765, DOI: 10.1016/j.jsg.2010.05.002.
- Hubert, M. K., 1937- Theory of scale models as applied to the study of geological structures, Bull. Geol. Soc. Am, Vol. 48, pp. 1459- 1520, <https://doi.org/10.1130/GSAB-48-1459>.
- Johnston, S. T. and Weil, A. B., 2013- Gutiérrez-Alonso. G., Oroclines: Thick and thin, pp. 643-663, DOI: <https://doi.org/10.1130/B30765.1>.
- Koyi, H. A. and Maillot, B., 2007- Tectonic thickening of hanging- Wall units over a ramp. Journal of Structural Geology, Vol. 29, pp. 924- 932, DOI: 10.1016/j.jsg.2007.02.014.
- Marshak, S. and Woodward, N., 1988- Introduction to cross-section balancing. In Marshak, S., and Mitra, G., eds. Basic methods of structural geology, Part II. Prentice Hall: Upper Saddle River, 303–332, [https://www.researchgate.net/profile/John\\_Suppe/publication/281193105\\_Balanced\\_Geological\\_Cross-Sections\\_An\\_Essential\\_Technique\\_in\\_Geological\\_Research\\_and\\_Exploration](https://www.researchgate.net/profile/John_Suppe/publication/281193105_Balanced_Geological_Cross-Sections_An_Essential_Technique_in_Geological_Research_and_Exploration).
- Mitra, P., Murthy, C. A. and Pal, S. K., 2000- Data condensation in large databases by incremental learning with support vector machines, In: Proc. Internat. Conf. Pattern Recognition (ICPR2000), Barcelona, Spain. Pp. 712- 715, [http://cse.iitkgp.ac.in/~pabitra/paper/icpr00\\_svm.pdf](http://cse.iitkgp.ac.in/~pabitra/paper/icpr00_svm.pdf).
- Pang, K. N., Chung, S. L., Zarrinkoub, M. H., Mohammadi, S. S., Yang, H. M., Chu, C. H., Lee, H. Y. and Lo, C. H., 2012- Age, geochemical characteristics and petrogenesis of Late Cenozoic intraplate alkali basalts in the Lut–Sistan region, eastern Iran, Chemical Geology, Vol. 306-307, pp. 40-53, [www.academia.edu/1838879](http://www.academia.edu/1838879).
- Passchier, C. W. and Trouw, R. A. J., 2005- Microtectonics. Springer Verlag, Second edition, 366p, <https://www.springer.com/gp/book/9783540640035>.
- Pastor-Galán, D., Gutiérrez-Alonso, G., Mulchrone, K. F. and Huerta, P., 2012- Conical folding in the core of an orocline. A geometric analysis from the Cantabrian Arc (Variscan Belt of NW Iberia), pp. 210-223, <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2012.02.010>.
- Pluijm, B. A. V. and Marshak, S., 2004- Earth structure an introduction to Structural Geology and Tectonics. W. W. Norton and Company New York. London, pp. 656- 683, <https://ben.earth.lsa.umich.edu/ES/>.
- Vahdati Daneshmand, F., Ohanian, T., Tatevosian, S., Shah beig, A., Salehi Rad, R., Vasigh, H., Soheili, M., Movahhed avall, H., Emami, M. H. and Navai, I., 1991- Geological Map of Birjand, Scale: 1:250,000, Geological Survey of Iran, Tehran, <http://www.gsi.ir/fa/map>.



# Proportional shortening mechanism in the Eocene Northwestern structural arc of Birjand, Eastern Iran

M. Yaghobi<sup>1\*</sup> and S. Bagheri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M. Sc, Department of Geology, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Geology, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

Received: 2018 April 28

Accepted: 2019 April 29

## Abstract

In Eastern Iran, the Eocene platform deposits of northwest of Birjand, are a suitable case; because a thin thrust sheet of Eocene carbonate have had the possibility to slide and fold upon an upper cretaceous plastic footwall. Moreover, this carbonate sheet entirely covered the structural arc, conduct us to recognize the origin of the bending. Achieving to this goal, we passed the structural arc along the six cross sections; four sections along radial trends and two transversal sections parallel to the inflection line. In these measurements, folds and thrust faults were defined as far as possible. The cross sections have been restored by the "Move Software". The amount of shortening along the radial sections were measured respectively from the east to the west are the 30-40% along A, 25-35% along B, 35-45% along C, and 15-25% along D; and along the transversal section are respectively from the south to the north about the 35-55% along E and 25-35% along F. The shortening amount in the platform carbonate at two-facing ends of the structural arc as well as the one along the inflection line are the greatest. The pattern of shortening in the arc seems to follow a buckle folding mechanism.

**Keywords:** Birjand arc-shaped structure; Orocline; Parallel and Radial folds; Buckling; Thrust sheet.

.For Persian Version see pages 277 to 286

\*Corresponding author: M. Yaghobi; E-mail: mahbob1371yaghobi@gmail.com