



ساختار تکتونیکی بادبزنی شکل روُشک در جنوب شرق قاین: منشأ و اهمیت تکتونیکی

عماد رجحانی^۱، فرزین قائمی^{۲*}، ساسان باقری^۳

۱- دانشجوی دکتری تکتونیک، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- استادیار، دانشکده علوم پایه، گروه زمین شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۶

چکیده

واحد توریدایتی کرتاسه بالایی - پالئوسن کمپلکس رتوک در نزدیکی مرز شمالی پهنه جوشخورده سیستان با بلوک لوت در شرق ایران، ساختمانی قوس شکل با تحدب به سمت NW می‌سازد. این قوس در ۲۰ کیلومتری جنوب شرق شهر قاین قرار دارد که ما به آن «ساختار بادبزنی شکل روُشک» می‌گوییم. اجزاء آن عبارتند از: گسل‌های رانده در شمال غرب و غرب، که تابع راستای عمومی قوس می‌باشند؛ و گسل‌های امتدادلغز راست‌بر در شمال و چپ‌بر در جنوب. همچنین دو گروه چینهای موازی با دیواره خارجی قوس که بسته و سیلندری می‌باشند، و چین‌های شعاعی که زاویه تندی با دیواره قوس می‌سازند، اغلب مخروطی شکل بوده و با روند و تمایل محور به سمت NW شکل بادبزنی به ساختار روُشک داده‌اند. این چین‌ها حاکی از کوتاه‌شدگی در هسته قوس روُشک می‌باشند؛ در حالیکه بخش خارجی قوس با گسل‌های مزدوج نرمال (ناشی از کشش تکتونیکی) مشخص می‌شود. چین‌خوردگی موازی محصول مهاجرت تکتونیکی واحد توریدایتی کرتاسه فوقانی - پالئوسن به سمت SE بر روی یک سطح راندگی با شیب به سمت NW است که بتدریج با خمش قوس حول محور قائم در پالئوژن با چین‌های مخروطی جایگزین می‌شوند. قوس روُشک اثر یک چین مخروطی با تمایل به سمت NW می‌باشد، که در نمای نقشه مشابه مقطع عرضی چین‌های بادبزنی دیده می‌شود. منشأ این چین‌خوردگی احتمالاً مرتبط با نوعی کماتش بزرگ مقیاس در مرز دو پهنه زمینساختی فوق‌الذکر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پهنه جوش خورده سیستان، قوس ساختاری، کرنش مماسی، بلوک لوت



Ravoshk fan-shaped structure in the southeast of Qayen: origin and tectonic implication

Rojhani .E¹; Ghaemi .F^{2*} ; Bagheri .S³

1-Ph.D. Student of Tectonics and Structural geology, Department of Geology, faculty of Science, Ferdowsi University

2-Associate professor, Department of Geology, faculty of Science, Ferdowsi University

3- Assistant professor, Department of Geology, faculty of Science, University of Sistan and Baluchistan

Abstract

Near the northern boundary of the Sistan Suture Zone to the Lut block, the Upper Cretaceous-Paleocene turbiditic unit of the Ratuk complex constructs a curved-shape structure, with an NW-trending convexity. This curved structure is located 20 kilometers to Qayen, we call it the "Ravoshk fan-shaped structure". This structure contains different structures: thrust faults in the north and north-west, following the general outer-arc strike of the Ravoshk structure; and the dextral strike-slip fault in the north and the sinistral strike-slip fault in the southeast of structure. Generally, two groups of folds gave a fan-shaped appearance to the Ravoshk structure. The first group contains close, cylindrical fold parallel to the outer-arc, while the second group composed of radial folds, which are approximately conical and have an NW-trending vertex. This later group reveals that a shortening event happened at the core of the structure. However, the outer part of the fan is remarked by conjugate normal faults, related to a tangential longitudinal strain. Parallel folds are formed as a result of the perpendicular-layer shortening and displacement of the upper Cretaceous-Paleocene turbiditic unit on an NW-dipping thrust surface. This followed by a vertical axis curving caused by layer-parallel shortening during the late Paleogene when the conical folding developed. Ravoshk structure is the trace of an NW-plunged, large conical fold which in map view is similar to the cross-section of a fan-shaped fold. The origin of this folding is probably related to a large-scale buckling at the boundary of the two mentioned tectonic terranes.

Keywords: Sistan Suture Zone, structural curvature, tangential strain, Lut block

مقدمه

زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ قاین (Berthiaux et al., 1991) و ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قاین و روم (Berthiaux et al., 1981; Shahidi, 2000) قرار می‌گیرد.

پهنه جوشخورده سیستان در شرق ایران محصول همگرایی دو بلوک قاره‌ای لوت در غرب و بلوک افغان در شرق، طی بسته شدن اقیانوس سیستان است (Tirrul et al., 1983). در بخشی از شمال پهنه جوشخورده در منطقه قاین، امتداد لایه‌ها و روند ساختارها در واحد توربیدیتی به سن کرتاسه فوقانی، در نمای نقشه شکل کلی یک قوس بادبزنی شکل را تداعی می‌کند که تحدب آن به سمت شمال غرب است (شکل ۱). ابعاد مشخصات کلی این ساختار نظیر طول قوس، دامنه و طول موج آن به ترتیب ۱۵، ۷ و ۵ کیلومتر می‌باشند. برای توصیف بهتر می‌توان گفت اثر سطح محوری این قوس در راستای شمال غرب-جنوب شرق قرار می‌گیرد. با توجه به شکل هندسی و قرابت این ساختار با روستای رُوشک قائن، ما در اینجا آن را «ساختار بادبزنی شکل رُوشک» نامیده‌ایم. این پژوهش سعی در معرفی، بررسی منشأ و تحول این قوس ساختاری دارد. درک تحول و بازسازی مدل ساختاری این محدوده از شرق ایران از مهمترین اهداف این پژوهش می‌باشد. این امر به توسعه دیدگاه ما نسبت به ماهیت مرز دو پهنه و تحولات ساختاری و تکتونیکی منطقه شرق ایران کمک می‌کند.

روش تحقیق

به منظور شناخت ساختار و نحوه تکامل تکتونیکی ساختار بادبزنی شکل رُوشک، طی عملیات صحرایی مشخصات هندسی لایه‌بندی‌ها و عوارض ساختاری نظیر گسل‌ها، چین‌ها و تورق اندازه‌گیری و ثبت گردیده است.

بطور معمول ساختارهای خمشی^۱ در پوسته زمین در محیط‌های با تکتونیک همگرا در مقیاس کمربندهای کوهزایی (Ries and Shackleton, 1976) و ورقه‌های تراستی مشاهده و تعریف می‌شوند. این قوس‌ها در لبه دو صفحه قاره‌ای همگرا می‌توانند ناشی از عوامل مختلف باشند. هندسه لبه سرزمین پسرکانه^۲ که مورد هجوم تکتونیکی واقع شده، یا هندسه سطح گسست راندگی^۳ یا حتی شکل حوضه رسوبی پیش از دگرشکلی، از حیث تغییرات جانبی ضخامت حوضه از عوامل موثر در تشکیل ساختارهای خمشی مذکور می‌باشند (Macedo and Marshak, 1999; Maffione et al., 2009). همچنین در مواردی در کمربندهای برخوردی، قوس‌ها می‌توانند محصول خمیدگی کمربندهای چین‌خورده-رانده در امتداد خود، یا چرخش حول محور قائم صفحات تراستی (Carey, 1955; Marshak, 2004, 1988; Weil et al., 2013) باشند و یا در ارتباط با سیستم‌های برشی امتداد-لغز تشکیل شوند (Martinez Catalan, 2011).

منطقه مورد مطالعه در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب شرق شهر قاین، در مجاورت جنوبی روستای رُوشک، قرار دارد. این ساختار به طور تقریبی بر روی مرز جدا کننده دو پهنه تکتونواستراتیگرافی بلوک لوت در شمال غرب و پهنه جوشخورده سیستان در جنوب شرق (Stocklin, 1968; Tirrul et al., 1983) واقع است و مابین عرض‌های جغرافیایی $33^{\circ}28'N$ تا $33^{\circ}38'N$ و طول‌های جغرافیایی $59^{\circ}13'E$ تا $59^{\circ}24'E$ قرار دارد. همچنین، محدود مورد بحث در چهارگوش

^۱ detachment

^۱ Buckle structures

^۲ Hinterland



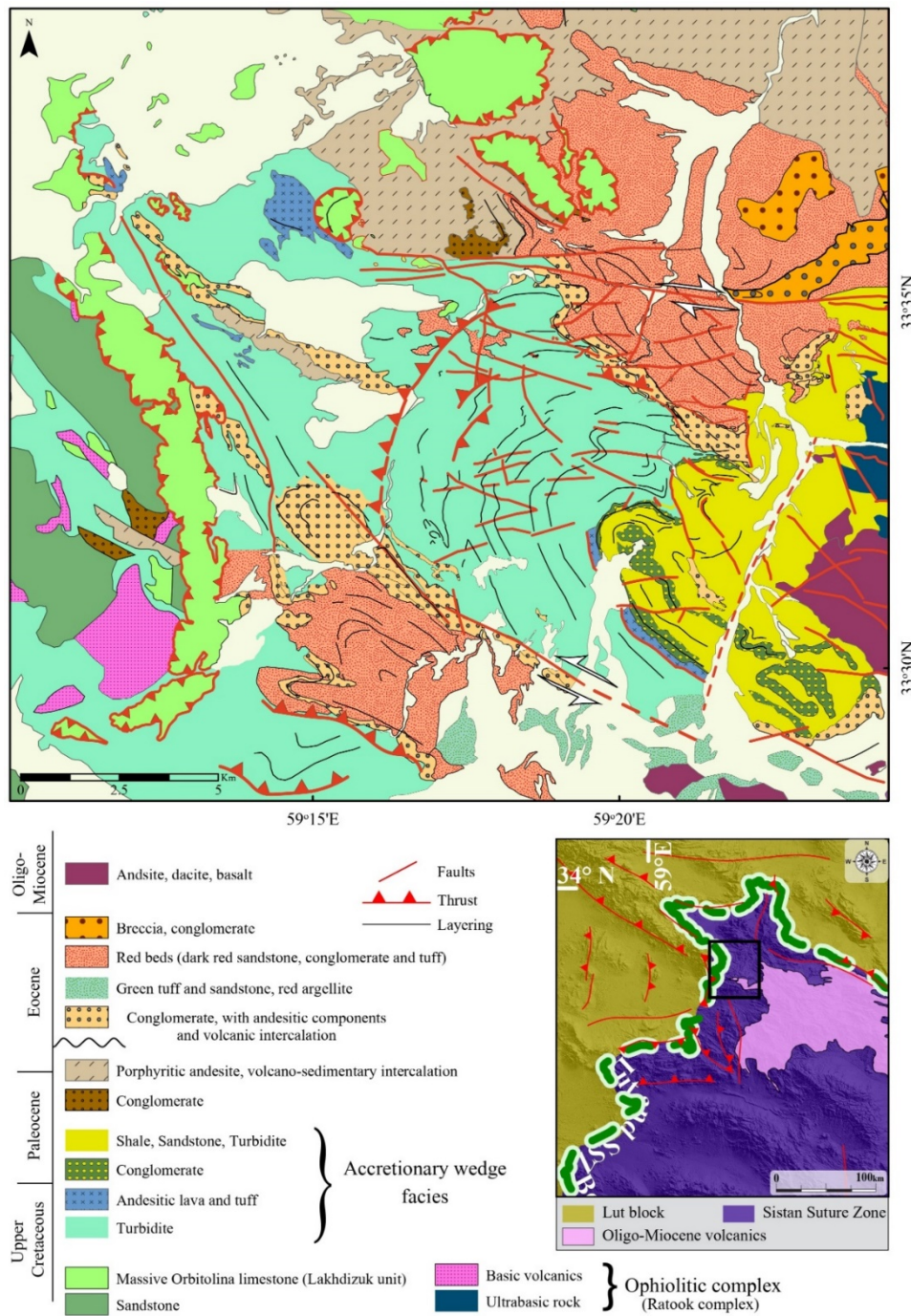
به منظور تحلیل و نمایش تصویری این اطلاعات، ترسیم استریوگراف و تحلیل ساختاری با استفاده از نرم افزار Stereonet 10 صورت گرفته است. با در نظر گرفتن این نکته که قطر کوچک بیضی واتنش عمود بر محور چین‌ها و امتداد سطح راندگی است، بیضی واتنش برای نقاطی از ساختار بادبزنی شکل که برداشت‌های ساختمانی صورت گرفته بود، ترسیم شد.

سپس با استفاده از اطلاعات هندسی ساختمان‌های منطقه و با کمک تصاویر ماهواره‌ای، نقشه ساختاری منطقه تهیه و با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.4 و Adobe Illustrator CC 2018 تهیه و ترسیم شده است. در نهایت مجموعه داده‌های کسب شده طبقه‌بندی و از دیدگاه جنبش‌شناختی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. سرانجام برای درک تحول تکتونیکی مدل تکامل ساختاری این قوس بادبزنی شکل ارائه شده است.

زمین‌شناسی عمومی

از نظر چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای سنگ‌شناسی متعلق به دو پهنه جوشخورده سیستان و بلوک لوت با سن کرتاسه زیرین تا عهد حاضر می‌باشد. واحدهای کرتاسه زیرین دربرگیرنده کمپلکس افیولیتی رتوک متعلق به پهنه جوشخورده سیستان و واحد آهک توده‌ای اوریتولین دار متعلق به فلات قاره‌ای لبه شرقی لوت می‌باشد.

این واحد روی مجموعه‌ی متنوعی از رسوبات تخریبی، آذرآواری و کربناته به سن کرتاسه بالایی-پالئوسن رانده شده است. مجموعه مذکور از حیث ویژگی‌های سنگ‌شناسی، ساختاری و موقعیت تکتونیکی ممکن است با مجموعه واحدهای گوه افزایشی قابل مقایسه باشد که انتظار می‌رود در لبه شرقی بلوک لوت انباشته شده باشند. این واحدها به ترتیب سن، از قدیم به جدید، شامل توریدایت و توف کرتاسه فوقانی، و سپس جریان‌های آندزیتی، کنگلومرا، شیل و ماسه‌سنگ پالئوسن-ائوسن می‌باشند. در ادامه گفتنی است که توریدایت کرتاسه-پالئوسن در اغلب نقاط به صورت ناپیوستگی زاویه‌دار توسط واحدهای تخریبی جوان‌تر متعلق به ائوسن پوشیده شده‌اند (Berthiaux et al., 1981; Shahidi, 2000). اگرچه در بعضی نقاط این توریدایت با یک صفحه راندگی روی کنگلومرای قرمز ائوسن قرار گرفته است. در ستون چینه‌شناسی منطقه قاین واحد مذکور با کنگلومرا و آندزیت پورفیری پالئوسن-ائوسن تعقیب می‌شود (Berthiaux et al., 1981). جوان‌ترین واحد سنگ‌شناختی منطقه مورد مطالعه مربوط به آتشفشانی‌ها و آذرآواری‌های اولیگوسن و میوسن است که حجم زیادی از قلمرو شمالی پهنه جوشخورده را اشغال کرده‌اند و در جنوب شرق نقشه زمین‌شناسی منطقه قابل مشاهده می‌باشند (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه زمین شناسی ساختار بادبزنی شکل روشک و نمایش موقعیت آن بر روی نقشه کلی مرز شمالی پهنه جوشخورده سیستان و بلوک لوت، برگرفته از ورقه زمین شناسی قاین (Berthiaux et al., 1981).



ویژگی‌های هندسی ساختار روشک

می‌دهد. ساختمان‌هایی که در کلیت این قوس ساختاری مشارکت دارند عبارتند از: چین‌های موازی و شعاعی، شکستگی‌های کششی مزدوج و گسل‌های نرمال، رانده و امتدادلغز، که در ادامه به شرح آن‌ها می‌پردازیم.

لازم به ذکر است که در اینجا منظور از چین‌های موازی چین‌هایی است که امتداد سطح محوری آن‌ها موازی با صفحات راندگی و بطور کلی موازی با انحنا ساختار بادبزنی شکل است. به همین ترتیب چین‌های شعاعی به آن دسته از چین‌ها گفته می‌شود که تداوم سطح محوری آن‌ها با ساختار مذکور موازی نبوده، بلکه آن را قطع می‌کنند (شکل ۲).

(۱) چین‌های موازی

یکی از شاخص‌ترین ویژگی‌های ساختاری واحد توریدایتی کرتاسه بالایی-پالئوسن در جنوب روستای روشک، چین خوردگی موازی با انحنا کلی ساختار بادبزنی شکل روشک است. از مجموعه چین‌های شناسایی شده در این گروه، مشخصات هندسی شش چین برداشت و استریوگراف آن‌ها ترسیم شده است (جدول ۱). بررسی اطلاعات ساختاری نشان می‌دهد سطوح محوری این چین‌ها در نقاط مختلف قوس روشک، وضعیت هندسی متفاوتی نسبت به یکدیگر دارند.

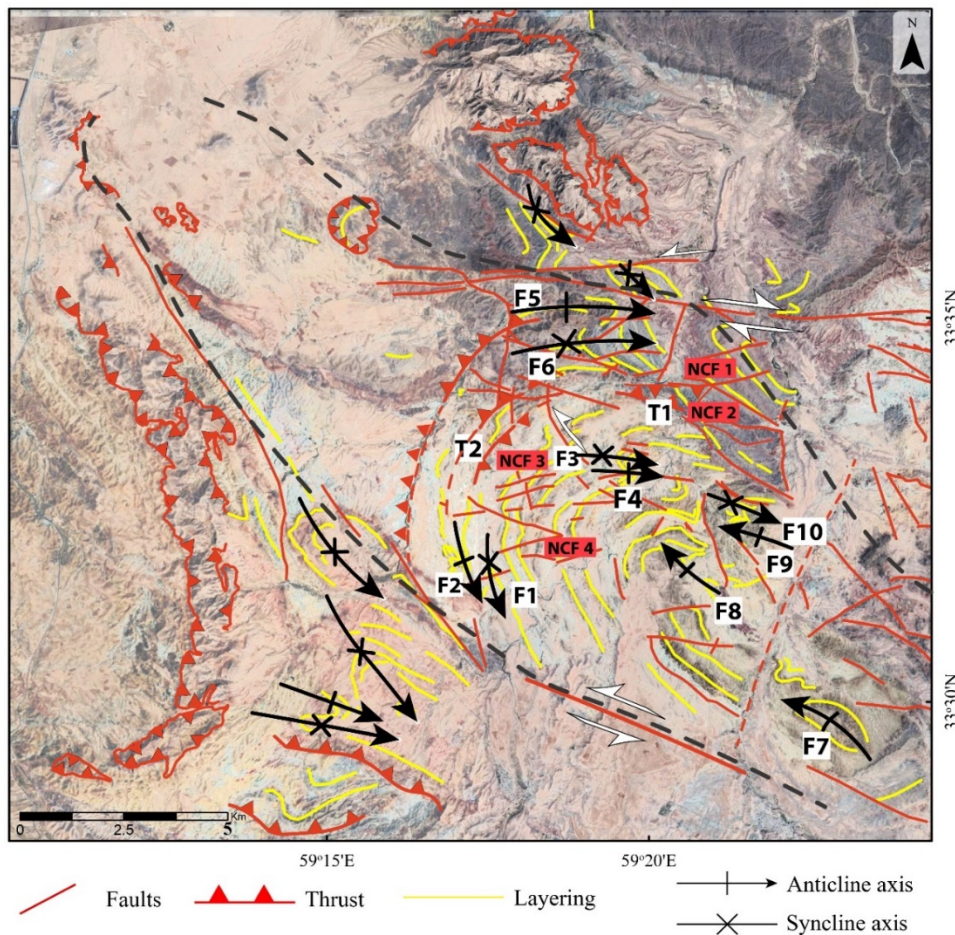
چین‌های F1 و F2 در جنوب در واحد توریدایتی کرتاسه-ائوسن و در نزدیکی مرز دگرشیب این واحد با کنگلومرا و ماسه‌سنگ ائوسن، به صورت یک زوج طاق‌دیس و ناودیس با امتداد سطح محوری شمالی-جنوبی و میل محور چین به سمت جنوب مشاهده می‌شوند (شکل ۲). با توجه به زاویه بین یالی در حدود ۴۵ تا ۵۰ درجه

ساختار بادبزنی شکل روشک بر روی تصاویر ماهواره‌ای یک ساختار بارز و متمایز می‌باشد که می‌توان آن را در درجه اول با ابعاد و ویژگی‌های هندسی و سپس بر مبنای ویژگی‌های ساختمانی توصیف و بررسی کرد. این قوس نوعی خمش ساختاری است که مشخصات کلی آن از قبیل طول موج، دامنه و طول قوس به ترتیب ۷، ۵ و ۱۵ کیلومتر می‌باشد. راستای اثر سطح محوری این ساختار کمان مانند در امتداد شمال غرب-جنوب شرق است.

ویژگی‌های ساختمانی ساختار روشک

ساختار مذکور خود در بردارنده تنوع قابل ملاحظه‌ای از انواع ساختمان‌های زمین‌شناسی با مکانیزم‌های مختلف کششی، فشارشی و امتدادلغز می‌باشد. بررسی این ساختارهای تکنونیک مستلزم مطالعه و تفکیک آن‌ها بر پایه سن نسبی و مکانیزم عملکرد می‌باشد. یکی از بارزترین ویژگی‌های ساختاری منطقه راندگی در مقیاس قابل ملاحظه‌ای است که در اغلب نقاط پهنه مدنظر مشاهده می‌شود. این راندگی‌ها در پایه واحد آهک نومولیتی متعلق کرتاسه پایینی نشان دهنده نابرجا بودن این واحد می‌باشد (Berthiaux et al., 1981). آهک مذکور تحت نام واحد لاخلدیزوک شناخته می‌شود که غالباً به شکل سفره‌های رانده هلالی شکل و کلیپ ظهور دارند. فرودپواره این سفره‌های رانده و کلیپ‌ها در جوان‌ترین حالت کنگلومرا و ماسه‌سنگ قرمز ائوسن می‌باشد (شکل ۱). از این رو می‌توان آخرین حد فعالیت این فاز کوتاه‌شدگی در این منطقه را سن ائوسن در نظر گرفت. واحد توریدایتی کرتاسه بالایی-پالئوسن نیز مجموعه‌ای از ساختارهای مرتبط با تکنونیک فشارشی و کششی را در خود بروز

می توان این طاقدیس و نادیس را از جمله چین های بسته در طبقه بندی (Fleuty, 1964) در نظر گرفت (جدول ۱).



شکل ۲: علائم ساختاری مشخص شده بر روی تصویر ماهواره ای ساختار روشک. اثر سطح محوری چین های موازی (F1 تا F6) و شعاعی (F7 تا F10)، گسل های عادی مزدوج (NCF 1 تا NCF 4)، راندگی های ثبت و برداشت شده (T1، T2) و اثر سطوح لایه بندی بر سطح زمین نمایش داده شده اند.

نهایتاً چین F5 در مقایسه با چین های قبلی با فاصله بیشتری نسبت به هسته ساختار بادبزنی شکل، و در نزدیکی حد شمال غربی آن قرار دارد (شکل ۲). این طاقدیس لایه های توریدایت کرتاسه-پالئوسن، کنگلومرا و ماسه سنگ قرمز ائوسن و ناپیوستگی بین آنها را دگرشکل کرده است. مشخصات هندسی ثبت شده از واحدهای جوان متعلق به ائوسن نشان می دهد که سطح محوری این طاقدیس امتدادی تقریباً شرقی-غربی داشته و میل محور آن به سمت

مقارن با دو چین ذکر شده و در یال شمالی ساختار بادبزنی، مشخصات ساختمانی یک زوج ناودیس و طاقدیس با نام های F3 و F4 اندازگیری و ثبت شده اند. امتداد سطح محوری این چین ها یک راستای تقریباً شمال غرب-جنوب شرق تا شرق-غرب دارد و میل محور آنها به سمت جنوب شرق می باشد. ناودیس F3 و طاقدیس F4 با زاویه بین یالی به ترتیب حدود ۱۰۷ و ۹۶ درجه در گروه چین های باز قرار می گیرند.

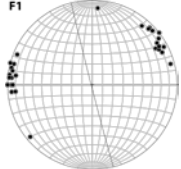
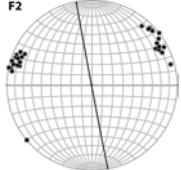
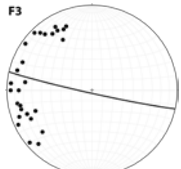
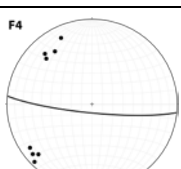
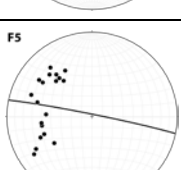
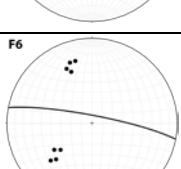


شکل امتدادی شمالی جنوبی دارند. حال آنکه روند سطح محوری در چین‌هایی که به یال مقابل در شمال ساختار نزدیک هستند (چین‌های F3 و F4) و همچنین چین‌های واقع در شمال غرب ساختار روشک، روندی تقریباً شرقی-غربی دارد (شکل ۲). این تغییر روند سطح محوری چین‌ها در ارتباط با شکل کلی ساختار بادبزنی شکل قرار دارد و از آن تبعیت می‌کند.

غرب است. این طاق‌دیس با زاویه بین یالی بیش از ۱۲۰ درجه یک چین ملایم تلقی می‌شود (جدول ۱).

از مجموع بررسی‌های فوق در خصوص چین‌های موازی می‌توان نوعی ارتباط معنی‌دار بین موقعیت چین‌ها در ساختار بادبزنی شکل و مشخصات هندسی آن‌ها استنباط نمود. به بیان دیگر، سطوح محوری در چین‌های واقع در ضلع جنوبی (چین‌های F1 و F2) و شرقی ساختار بادبزنی

جدول ۱. اطلاعات هندسی چین‌های موازی (سیلندری) F6 تا F1

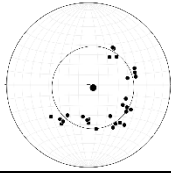
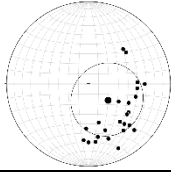
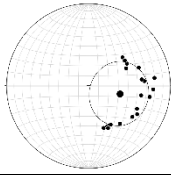
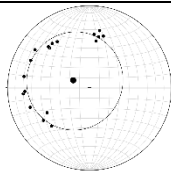
چین	مشخصات محور چین (امتداد و میل)	مشخصات سطح محوری (امتداد و شیب)	زاویه بین یالی	استریوگراف (سطح محوری و قطب یال‌ها)
F1	۱۷۰/۱, ۷۷/۱	۱۶۵/۶, ۸۹/۰ W	۴۵/۰°	
F2	۱۷۰/۱, ۷۵/۳	۱۶۹/۳, ۸۹/۵ W	۴۹/۱°	
F3	۱۱۱/۴, ۷۲/۲	۱۰۲/۵, ۸۷/۲ S	۱۰۶/۹°	
F4	۱۰۸/۵, ۶۸/۸	۰۹۶/۸, ۸۰/۶ S	۹۶/۴°	
F5	۰۹۴/۴, ۴۹/۹	۲۸۱/۴, ۸۷/۵ N	۱۲۴/۷°	
F6	۰۹۴/۸, ۳۷/۴	۲۸۰/۷, ۸۲/۳ N	۹۶/۴°	

شرقی ترین چین ثبت شده در این منطقه، چین F7، نشان می‌دهد که امتداد سطح محوری این چین شمال غرب-جنوب شرق (جدول ۲) و میل به سمت شمال غرب می‌باشد. چین F8 نیز از جمله چین‌های شعاعی بوده که با مرور اطلاعات مربوط به استریوگراف آن می‌توان تمایل محور چین به سمت شمال غرب را در مورد آن نیز دریافت. همچنین چین‌های F9 و F10 بعنوان یک زوج طاق‌دیس و ناودیس نسبت به چین‌های F7 و F8 و با مشخصات مشابه در موقعیت شمالی تر هسته ساختار قوس شکل قرار گرفته‌اند (شکل ۲). محور ناودیس F10 به سمت جنوب شرق متمایل است. در مجموع سبک چین خوردگی در چین‌های شعاعی از نوع چین خوردگی مخروطی می‌باشد که محور کلی آن‌ها به سمت شمال غرب میل دارد.

۲) چین‌های شعاعی

بر روی نقشه زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای شواهد و آثار نوعی چین خوردگی در توریدایت پالئوسن دیده می‌شود که در درونی ترین بخش ساختار بادبزنی شکل در جنوب شرق واقع شده‌اند (شکل ۲). این چین خوردگی در نگاه اول با چین خوردگی موازی فوق الذکر از این منظر تفاوت دارد که جهت یافتگی این چین‌ها در نمای نقشه با انحنای ساختار بادبزنی شکل روشک موازی نبوده بلکه آن را قطع می‌کند. امتداد محور این چین‌ها شمال غرب - جنوب شرق و تمایل محور چین در آن‌ها به سمت شمال غرب می‌باشد. استریوگراف ترسیم شده برای جنوب

جدول ۲: اطلاعات هندسی چین‌های شعاعی (مخروطی) F7 و F10 هسته ساختار روشک.

چین	مشخصات محور چین (امتداد و میل)	زاویه نیم‌راسی ^۵	استریوگراف (دایره کوچک و قطب یال‌ها)
F7	۱۱۹/۴، ۸۴/۶	۴۱/۵°	
F8	۱۲۹/۷، ۶۴/۷	۴۹/۵°	
F9	۱۰۴/۱، ۵۷/۳	۳۰/۹°	
F10	۲۹۵/۴، ۷۲/۱	۴۹/۵°	



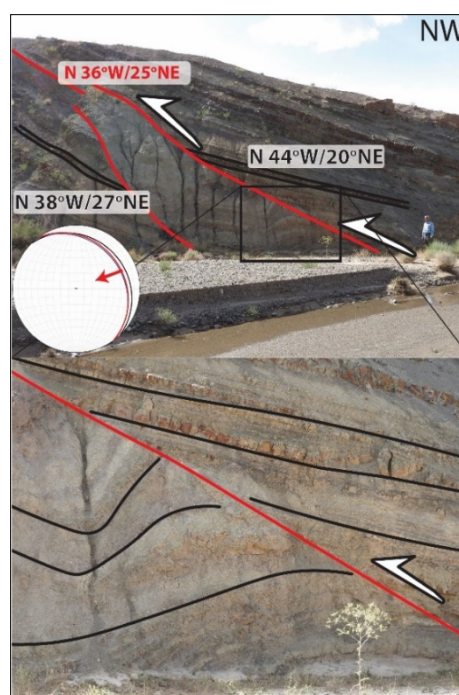
۳) راندگی

بروز گسلش راندگی در منطقه روشک بر روی نقشه زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای قابل مشاهده است. مشاهدات و برداشت‌های صحرایی از سه رخنمون مرتبط با گسلش راندگی در منطقه روشک با نقاط T1، T2 بر روی نقشه ساختاری مشخص شده‌اند. در خصوص این راندگی‌ها، نوعی تغییر معنادار در هندسه صفحه در موقعیت‌های متفاوت مشاهده می‌شود.

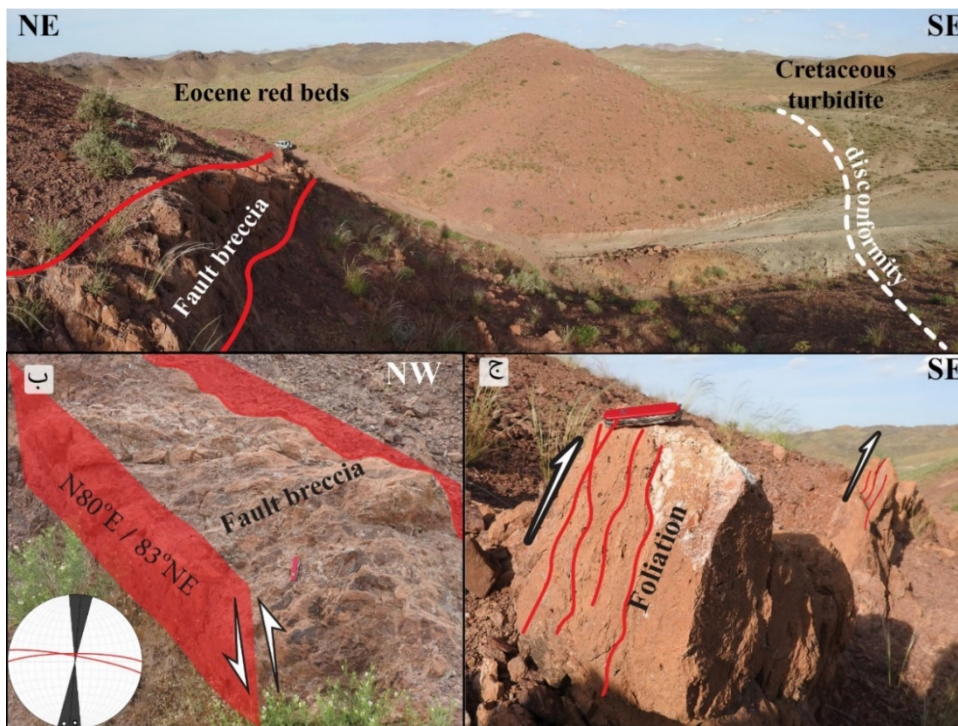
وضعیت هندسی صفحات راندگی در ایستگاه T1 با امتداد شمال غرب-جنوب شرق مشخص می‌شود (شکل ۳). در حالیکه، تراست‌های برداشت شده در محدوده ایستگاه T2 امتداد شمال شرق-جنوب غرب با شیب به سمت جنوب شرق موجب جابه‌جایی واحدهای تخریبی ائوسن به سمت شمال غرب شده‌اند (شکل ۵). بطور کلی در مورد گسلش راندگی در منطقه روشک، نکته حائز اهمیت این است که امتداد صفحات این گسل‌های رانده از شکل و انحنای کلی ساختار بادبزنی شکل تبعیت می‌کند (شکل ۲).

برش گسلی

در ایستگاه T1 در نزدیکی مرز توریدایت کرتاسه-پالئوسن با کنگلومرا و ماسه‌سنگ قرمز ائوسن، منطبق با سطح گسلش رانده با امتداد تقریباً شرقی-غربی یک نوار از سنگ‌های برش گسلی تا کاتا کلاسیت مشهود است (شکل ۴، الف، ب). ضخامت این لایه بین ۳۰ سانتیمتر تا چند متر متغیر است. خلل و فرج موجود در کاتا کلاسیت مذکور توسط انحلال و تبلور بلورهای کلسیت پر شده است. همچنین تا حدودی آثار دولومیت‌شدگی و آغشتگی به اکسید آهن مشهود است. تورق برشی اندازگیری شده در این نوار کاتا کلاسیت همراستا با سطح گسل و مبین جابجایی معکوس قابل توجه در سطح آن می‌باشد (شکل ۴، ج).

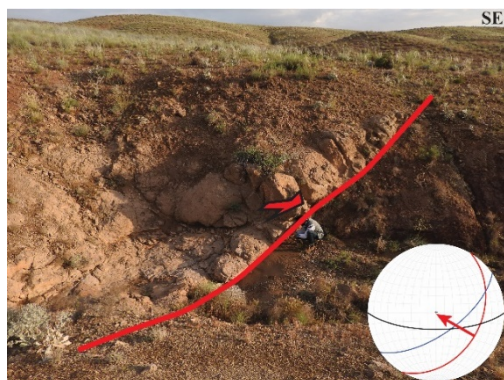


شکل ۳. نمای گسلش راندگی با جهت جابه‌جایی به سمت جنوب غرب در واحدهای تخریبی متعلق به ائوسن واقع در ایستگاه T1 در شمال ساختار بادبزنی شکل



شکل ۴. الف) مرز ناپیوسته توریدایت کرتاسه با تخریبی‌های ائوسن و نمایش موقعیت گسل رانده T1 (ب) راندگی T1 و برش گسلی آن، ج) نمایش تورق برشی در نوار کاناکلاسیت واقع در محل راندگی T1، انحلال و رسوبگذاری کلسیت در تخلخل موجود در کاناکلاسیت‌ها مشهود است.

شکستگی‌ها در دو ایستگاه NCF 1 و NCF 2 تکامل یافته‌تر و همراه با جابه‌جایی شیب‌لغز نرمال می‌باشند (شکل ۶).

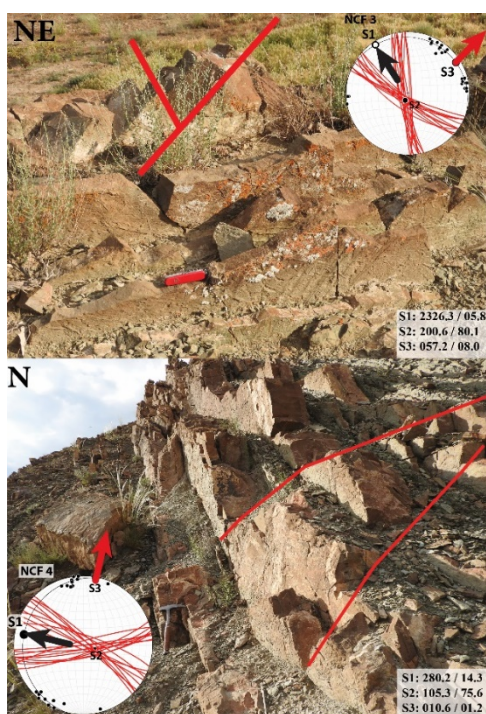


شکل ۵. گسلش راندگی T2 با جابه‌جایی توریدایت کرتاسه بر روی تخریبی‌های ائوسن به سمت شمال غرب.

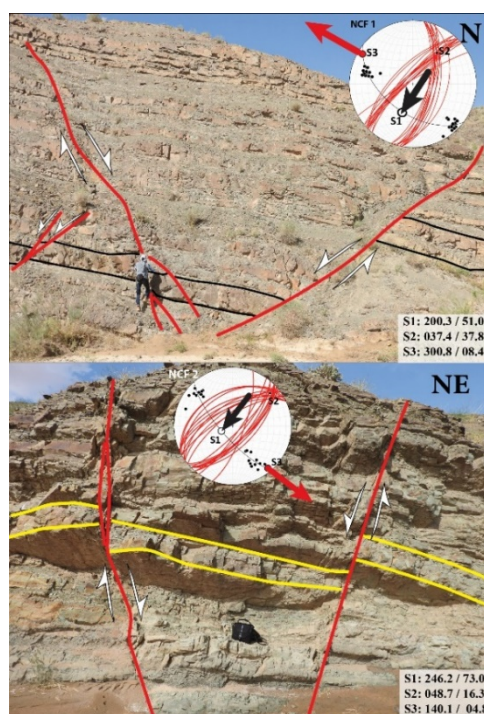
این در حالی است که تراست‌های معادل این راندگی در پیشانی قوس روشک، در ایستگاه T2 امتداد کاملاً متفاوتی را نشان می‌دهند (شکل ۲). جهت شیب صفحه راندگی‌ها در این بخش از قوس روشک به دو سوی شمال غرب و گاهی جنوب شرق است که این مقدار با امتداد گسل‌های پیشتر ذکر شده، حدود ۵۰ درجه اختلاف دارد. این تفاوت جهت شیب و امتداد صفحات راندگی از روی عکس‌های ماهواره‌ای در تمام مسیر قوس قابل رهگیری است و حاکی از تبعیت هندسه راندگی‌ها از شکل کلی ساختار بادبزنی شکل روشک می‌باشد.

۴) شکستگی‌های مزدوج کششی

از جمله ساختارهای کلیدی موجود در منطقه، شکستگی‌های کششی مزدوج می‌باشند که در بخش‌های دور از مرکز قوس مشاهده می‌شوند (شکل ۲). این



شکل ۷: گسل‌های نرمال مزدوج NCF 1 و NCF 2 در توالی شیل و ماسه‌سنگ سبز و قهوه‌ای در شمال و حاشیه بیرونی قوس روشک.



شکل ۶: گسل‌های نرمال مزدوج NCF 1 و NCF 2 در توالی شیل و ماسه‌سنگ سبز و قهوه‌ای در شمال و حاشیه بیرونی قوس روشک.

۵) گسلش امتدادلغز

گسلش امتدادلغز در دو مسیر تقریباً موازی در شمال و جنوب ساختار بادبزن شکل روشک ساختارهای پیش‌تر ذکر شده را دچار دگرشکلی و جابه‌جایی کرده‌اند. این دو سیستم برش ساختار بادبزن شکل را احاطه کرده‌اند. در حد شمالی ساختار، برش‌های امتدادلغز راست‌بر با امتداد تقریباً شرق-غرب واحدهای تخریبی ائوسن را جابه‌جا کرده‌اند. جابه‌جایی امتدادی راست‌بر واحدهای ائوسن میانی و فوقانی در مرز شمالی نشان دهنده مکانیزم راست‌بر در گسلش امتدادلغز شمال ساختار روشک می‌باشد. در مقابل واحدهای توریدایتی کرتاسه بالایی و تخریبی ائوسن میانی در جنوب ساختار قوس‌شکل توسط گسلش امتدادلغز چپ‌بر جابه‌جا شده‌اند (شکل ۲ و ۸). انقطاع و جابه‌جایی چین‌های موجود در واحدهای تخریبی ائوسن در شمال ساختار روشک نشان‌دهنده جوان‌تر بودن مکانیزم این

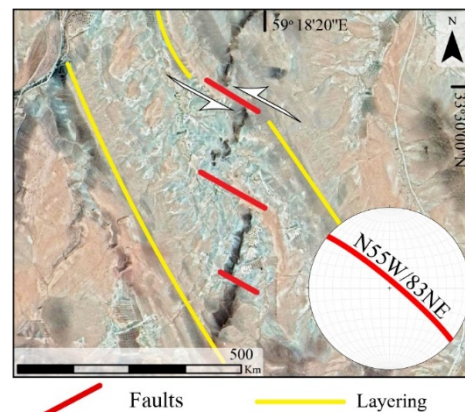
ترسیم استریوگراف‌های مربوط به شکستگی‌های ثبت شده در چهار ایستگاه صورت گرفته است. در دو ایستگاه NCF 1 و NCF 2 که در شمال منطقه واقع می‌باشند، محور طولی‌شدگی در راستای شمال غرب-جنوب شرق به دست آمده است. در حالیکه این راستا در خصوص ایستگاه NFC3 که در حوالی شمال غرب (نزدیک به سطح محوری) ساختار بادبزن شکل، کاملاً متفاوت بوده و روند شمال شرق-جنوب غربی دارد. همچنین این گردش روند محور طولی‌شدگی در مورد ایستگاه NFC 4 واقع در جنوب ساختار مذکور، با روند تقریباً شمالی-جنوبی برقرار است (شکل ۷).

در کمان خارجی ساختارهایی نظیر شکستگی‌های کششی و گسلش رانده بروز کرده‌اند. بررسی نحوه توزیع شکستگی‌های کششی بر روی نقشه ساختاری در ارتباط با آرایش گسل‌های رانده، ارتباط هندسی و چرایی هماهنگی این دو پدیده ساختاری را مشخص می‌کند. بگونه‌ای که با چرخش امتداد محور کوتاه شدگی و جابجایی در راندگی‌های فوق الذکر، محور کشش و محور بیشترین طولیل شدگی در واحدهای سنگی این مناطق نیز، منطبق بر انحنا کلی قوس ساختاری روشک، دچار تغییر روند شده و وضعیت عمود بین این دو محور همواره برقرار مانده است. این شرایط حاکم بر وضعیت هندسی شکستگی‌ها و الگوی توزیع آن‌ها در ارتباط با سایر ساختارهای بررسی شده در منطقه، نشان دهنده تغییر وضعیت محورهای اصلی تنش در امتداد مسیر قوس مانند ساختار روشک می‌باشد. براساس هر یک از ساختارهای یاد شده، می‌توان به محورهای اصلی کوتاه شدگی و طولیل شدگی در هر بخش از منطقه در واحدهای پیش از اولیگوسن، دست یافت و بر این مبنا بیضی استرین مربوط به هر ساختار را ترسیم نمود (شکل ۹).

الگوی توزیع بیضی‌های استرین و محورهای اصلی دگرشکلی در هسته داخلی و بخش خارجی ساختار روشک، تفاوت بارز و حائز اهمیتی را در جهت‌یابی این محورهای دگرشکلی آشکار می‌کند. بگونه‌ای که در بخش داخلی ساختار بادبزن شکل که بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی با واحد توریدایتی و کنگلومرای متعلق به پالئوسن مشخص شده است، محورهای اصلی کوتاه شدگی و طولیل شدگی به ترتیب در راستای شمال شرق-جنوب غرب و شمال غرب-جنوب شرق قرار گرفته‌اند. جهت‌یابی این محورها در بخش‌های شمال غربی و شمالی ساختار روشک بگونه‌ای قرار گرفته که بیضی استرین وضعیت برعکس آنچه برای هسته ساختار ذکر شد نشان می‌دهد (شکل ۹). بدین معنی که در این قسمت از ساختار بادبزن

گسلش نسبت به چین خوردگی‌ها و راندگی‌های پیشتر ذکر شده است.

عملکرد این دو سیستم برشی متقارن موجب جابه‌جایی قوس روشک نسبت به واحدهای مجاور شمال شرقی و جنوب غربی خود به سمت شمال غرب شده است.



شکل ۸. استریوگراف و تصویر گوگل ارث گسل امتدادلفز چپ‌بر روی دایک آندزیتی انوسن در جنوب ساختار روشک

بحث و تحلیل جنبش شناختی

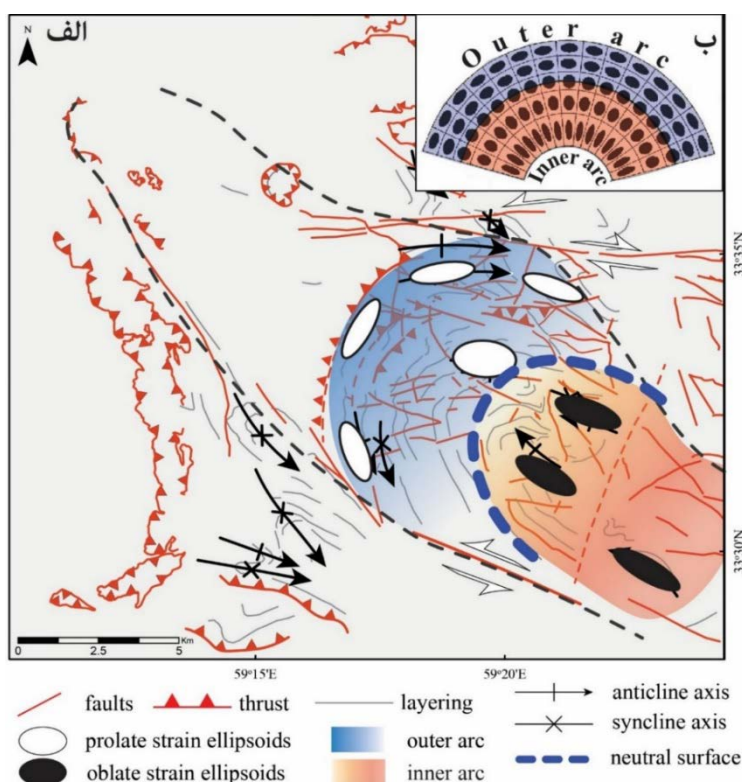
بروز هماهنگ ساختارهای متنوع در موقعیت‌های خاصی از قوس روشک سوالات زیادی را ایجاد می‌کند که با تحلیل جنبش‌شناختی این ساختارها می‌توان به ارتباط فی مابین پی برد. مجموعه ساختارهای چین‌های موازی و چین‌های مخروطی شعاعی، در کنار گسل‌های رانده و شکستگی‌ها و گسل‌های نرمال و گسل‌های امتدادلفز در ساختار روشک با این دیدگاه مورد بحث می‌باشند. این قوس را می‌توان از نظر الگوی دگرشکلی به دو بخش کمان داخلی و کمان خارجی تقسیم کرد. دگرشکلی در کمان داخلی یا هسته قوس، با ساختارهایی نظیر چینخوردگی مخروطی با میل محور چین به سمت شمال غرب همراه است (شکل ۹).



بروز دگرشکلی‌های متنوع و در عین حال هماهنگ، در اجزاء هندسی یک ساختار کلی را داریم. در این شرایط در هسته چین‌ها محور طویل بیضی استرین راستایی منطبق با راستای محور چین دارد. همینطور در لایه‌های بیرونی چین، نوعی کشش مماس با سطح لایه‌ها و عمود بر محور اصلی چین حاکم است. بطور کلی می‌توان گفت، ساختارهای خمیده در شعاع خود به دو بخش قابل تقسیم هستند که در بخش درونی‌تر بیضی استرین فشرده^۷ و در قشای بیرونی بیضی استرین کشیده^۸ قرار دارد (Ramsay and Huber, 1983; Schwerdtner et al., 1988, p. 458).

شکل و در محور آن، محورهای کوتاه شدگی و طویل شدگی به ترتیب امتداد شمال غرب-جنوب شرق و شمال شرق-جنوب غرب دارند. این چرخش و اختلاف جهت آشکار در محورهای اصلی استرین در ارتباط با ماهیت کمانشی این ساختار مرتبط است.

با نگاهی دقیق‌تر به ارتباط جنبش‌شناختی ساختارهای مذکور اعم از گسل‌های نرمال، رانده و چین‌ها، به عنوان اجزاء یک سیستم ساختاری، ساختار بادبزنی شکل روشک در قالب یک کمانش تکنونیک قابل توضیح است. به بیان دقیق‌تر در شرایط «استرین کششی مماسی محض» انتظار



شکل ۹. الف) نقشه شماتیک ساختار روشک همراه با نمایش بیضی‌های استرین. ب) مدل توزیع بیضی‌های استرین در چین‌خوردگی‌ها و خمش‌های ساختاری (برگرفته از Ramsay and Huber, 1987)

8 Prolate strain ellipsoids

6 buckling

7 Oblate strain ellipsoids

شدگی اولیه در راستای شمال غرب-جنوب شرق رخ داده است (شکل ۱۰، الف).

همزمان با این فرآیند پیشرونده دگرشکلی، گوه افزایشی کرتاسه-پالئوسن هول محور عمودی و در طول خود دچار خمش شده است. این خمش را می‌توان با دگرشکلی مرتبط با اروکلاین شرق ایران (Bagheri and Damani Gol, 2020) مرتبط دانست. اعمال تنش در راستای شمال شرق جنوب غرب که عامل پدیدآورنده چین‌های مخروطی در هسته ساختار بادبزنی بوده است. تداوم این فشردگی با فرار مجموعه واحدهای شرکت کننده در قوس به سمت شمال غرب جبران می‌گردد و گسل‌های امتدادلغز در دو سوی ساختار روشک ناشی از این جابه‌جایی بوده‌اند. توامان با این فشردگی و کوتاه‌شدگی در هسته قوس روشک، در کمان خارجی استرین از الگویی کاملاً متفاوت ولی هماهنگ با هسته پیروی می‌کند. در این بخش، تنش کششی موازی با روند عمومی ساختارهای از پیش موجود، نظیر چین‌های موازی و راندگی‌ها، شکستگی‌های مزدوج کششی را ایجاد کرده است (شکل ۱۰، ج).

مدل تکامل تکتونیکی ساختار بادبزنی شکل

قوس روشک در واقع محصول نفوذ تکتونیکی^۹ واحد توریدایت کرتاسه-پالئوسن پهنه جوشخورده سیستان به درون بلوک لوت می‌باشد. بطور کلی در حین این نفوذ و جابه‌جایی چین‌های موازی همراستا امتداد مرز تماس دو پهنه شکل گرفته‌اند. در مراحل پایانی، دگرشکلی پیشرونده به خمش کلی ساختار و تشکیل چین‌های مخروطی شعاعی در هسته ساختار فوق منجر می‌شود.

در مدل‌های تکامل تکتونیکی خمش‌های مرتبط با کمربندهای کوهزایی این خمش‌ها معمولاً محصول کوتاه شدگی عمود بر امتداد مهاجرات واحدها (موازی با محور کمربند چین‌خورده) بیان می‌شوند.

با بازسازی ساختاری واحدهای دگرشکل شده می‌توان به مدلی برای توضیح نحوه تکامل ساختار بادبزنی شکل روشک دست یافت. عمده ساختارهای یاد شده در واحد توریدایتی کرتاسه بالایی-پالئوسن رخ داده‌اند. این واحد سنگ‌شناسی با توجه به رخساره آن و بر مبنای آنچه در نقشه‌های زمین‌شناسی ذکر شده، متعلق به حوضه رسوبی اقیانوس سیستان می‌باشد. این مجموعه با عنوان گوه افزایشی به لبه بلوک قاره‌ای لوت افزوده شده ساختارهایی نظیر راندگی و چین‌خوردگی موازی با محور راندگی و لبه قاره در آن‌ها شکل گرفته است. چین‌خوردگی موازی و راندگی‌ها از این رو به عنوان اولین دگرشکلی این رخداد قلمداد می‌شوند که توسط تنش‌های مراحل بعدی دچار دگرشکلی شده و شکل کلی قوس روشک را ایجاد کرده‌اند. از طرفی چین‌خوردگی موازی واحدهای مربوط به ائوسن میانی (کنگلوئرا و ماسه سنگ قرمز ائوسن) را دگر شکل کرده است. این می‌تواند نشان دهد که کوتاه

⁹ tectonic injection



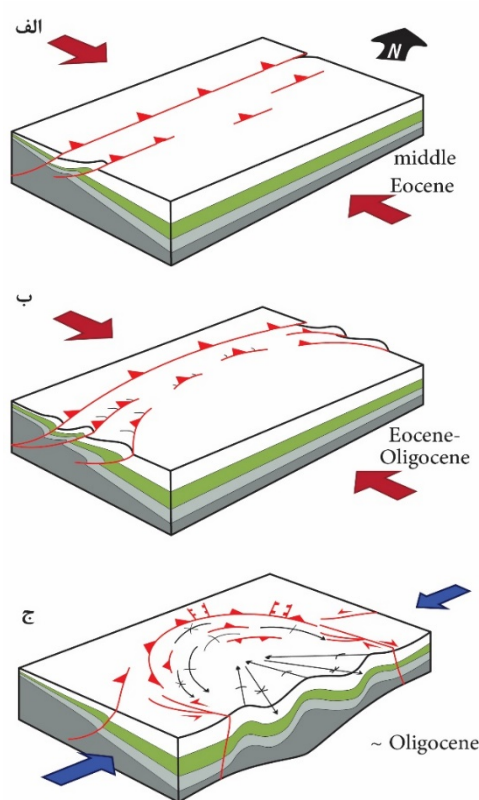
قائم در این کمربند چین خورده رخ داده است. تشکیل چین‌های مخروطی که به صورت شعاعی در ساختار قوس قرار گرفته‌اند به مراحل متأخر دگرشکلی پیشرونده مربوط می‌باشد (شکل ۱۰، ج).

- همزمان با کوتاه شدگی و چینخوردگی مخروطی در کمان داخلی و در اثر بروز خمش در ساختار خطی اولیه، در بخش بیرونی قوس، تنش کششی مماسی موجب بروز شکستگی‌های مزدوج شده است.

ساختار بادبزی روشک می‌تواند جزئی از یک خمش بزرگ مقیاس‌تر در ابعاد بلوک قاره‌ای لوت و پهنه شرق باشد. این قوس تنها یک نمونه در شرق ایران است که تا کنون با این نگرش مورد مطالعه و بررسی قرار نگرفته است. شناسایی، بررسی و مطالعه ساختارهای قوس شکل احتمالی بیشتر در شرق ایران به منظور دستیابی به فهم درست از تحول تکتونیکی این پهنه از ایران ضروری به نظر می‌رسد. همچنین این مطالعات می‌تواند به تکامل و توسعه ایده‌های مرتبط با ساختارهای خمشی در کمربندهای کوهزایی مفید و موثر باشد.

این مقاله در ارتباط با طرح پژوهشی ۴۸۳۱۵ دانشگاه

فردوسی مشهد تهیه شده است.



شکل ۱۰: مدل تکامل تکتونیکی ساختار قوس روشک. الف) کوتاه‌شدگی شمال-غرب-جنوب شرق و تشکیل رانده‌گی‌ها و چین‌های موازی؛ ب) تداوم دگرشکلی پیشرونده و آغاز خمش کمربند چین خورده؛ ج) اعمال تنش شمال شرق-جنوب غرب و تشکیل چین‌های مخروطی (شعاعی) در کمان داخلی، گسل‌های شمال در کمان خارجی و گسل‌های امتداد لغز.

نتایج:

- محصول کوتاه شدگی شمال غرب-جنوب شرق (در موقعیت امروزی) در ائوسن فوقانی تا اولیگوسن مهاجرت واحد توریدایت کرتاسه-پالئوسن به سمت شمال غرب بر روی لبه لوت می‌باشد. که یک کمربند تقریباً خطی از چین‌ها و رانده‌گی‌ها می‌سازد (شکل ۱۰، ب).
- واحد توریدایتی یک دگرشکلی پیشرونده را متحمل شده است. به مرور خمش هول محور



- Ramsay, J.G., Huber, M.I., 1988. The techniques of modern structural geology. Volume 2: Folds and fractures. Academic Press, London, London. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(88\)90041-7](https://doi.org/10.1016/0191-8141(88)90041-7)
- Ries, A.C., Shackleton, F.R.S., 1976. Patterns of strain variation in arcuate fold belts. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 283, 281–288.
- Schwerdtner, W.M., Stott, G.M., Sutcliffe, R.H., 1983. Strain patterns of crescentic granitoid plutons in the Archean greenstone terrain of Ontario. *Journal of Structural Geology* 5, 419–430. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(83\)90028-7](https://doi.org/10.1016/0191-8141(83)90028-7)
- Shahidi, A., 2000. 1: 100000 Geological Map of Rum. Iran's Geological Survey and Mineral Explorations Publications, Me'radj Blvd, Tehran, Iran.
- Stocklin, J., 1968. Structural History and Tectonics of Iran, American Association of Petroleum Geologists Bulletin. Geological Survey of Iran. <https://doi.org/10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D>
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J., Camp, V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin* 94, 134–150. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1983\)94<134:TSSZOE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1983)94<134:TSSZOE>2.0.CO;2)
- Weil, A.B., Gutiérrez-Alonso, G., Johnston, S.T., Pastor-Galán, D., 2013. Kinematic constraints on buckling a lithospheric-scale orocline along the northern margin of Gondwana: A geologic synthesis. *Tectonophysics* 582, 25–49. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.10.006>
- Bagheri, S., Damani Gol, S., 2020. The Eastern Iranian Orocline. *Earth-Science Reviews* 123. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103322>
- Berthiaux, A., Fauvelet, E., Christmann, P., Eftekhar-Nezhad, J., Alavi-Naini, M., Behruzi, A., 1991. Qayen geological quadrangle map. Geological Survey of Iran.
- Berthiaux, A., Fauvelet, E., Christmann, P., Eftekhar-Nezhad, J., Alavi-Naini, M., Behruzi, A., 1981. 1: 100000 Geological Map of Qayen. Iran's Geological Survey and Mineral Explorations Publications, Me'radj Blvd, Tehran, Iran.
- Carey, S.W., 1955. The orocline concept in geotectonics-Part I. *Papers and proceedings of the Royal Society of Tasmania* 89, 255–288.
- Fleuty, M.J., 1964. The description of folds. *Proceedings of the Geologists' Association* 75, 461–492. [https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(64\)80023-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(64)80023-7)
- Macedo, J., Marshak, S., 1999. Controls on the geometry of fold-thrust belt salients. *Bulletin of the Geological Society of America* 111, 1808–1822. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1999\)111<1808:COTGOF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1999)111<1808:COTGOF>2.3.CO;2)
- Maffione, M., Faccenna, C., Speranza, F., Faccenna, C., Dragoni, M., 2009. Tectonics and kinematics of curved mountain belts: examples from The Alps and Andes. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA.
- Marshak, S., 2004. Salients, Recesses, Arcs, Oroclines, and Syntaxes — A Review of Ideas Concerning the Formation of Map-view Curves in Fold-thrust Belts. *AAPG Memoir* 82, 131–156.
- Marshak, S., 1988. Kinematics of orocline and arc formation in thin-skinned orogens. *Tectonics* 7, 73–86. <https://doi.org/10.1029/TC007i001p00073>
- Martinez Catalan, J.R., 2011. Are the oroclines of the Variscan belt related to late Variscan strike-slip tectonics? *Terra Nova* 23, 241–247. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2011.01005.x>