

Dor: [۲۰,۱۰۰۱,۱,۲۲۰۱۸۷۳۸,۱۴۰۰,۱۱,۲۲,۳,۳](https://doi.org/10.1001/1.22018738.1400.11.22.3.3)

تحلیل کرنش و مقدار کوتاه شدگی در تاقدیس کوه آسماری، استان خوزستان

بابک سامانی^{۱*}، عباس چرچی^۱، نرگس خطیب^۲

۱- عضو هیات علمی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین ساخت دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

b.samani@scu.ac.ir*

دریافت بهمن ۱۴۰۱، پذیرش فروردین ۱۴۰۲

چکیده

تنها بیرون زدگی سازند آسماری در فروافتادگی دزفول در تاقدیس آسماری قابل مشاهده می‌باشد. بمنظور برآورد پارامترهای کرنش و مقادیر کوتاه شدگی تعداد ۲۶ مقطع زمین شناسی در راستای عمود بر محور تاقدیس تهیه گردید. بر اساس اندازه گیریهای زاویه بین یالی، بخشهای شمالی و مرکزی تاقدیس زاویه بین یالی کمتری نسبت به بخشهای جنوبی نشان می‌دهد. تعیین مقادیر نسبت کرنش R نشان دهنده تغییر مقادیر کرنش بین ۱/۱۲ تا ۱/۵۲ می‌باشد. نقشه پهنه بندی مقادیر نسبت کرنش نشان دهنده مقادیر بیشتر کرنش در بخشهای شمالی و مرکزی تاقدیس می‌باشد. با استفاده از مقاطع زمین شناسی و اندازه گیری طول کف لایه چین خورده سازند آسماری (L_0) و طول مستقیم (L_1) مقادیر درصدی کوتاه شدگی در راستای هر مقطع محاسبه گردید. نتایج نشان دهنده وقوع ۱/۸ تا ۱۲ درصد کوتاه شدگی در بخشهای مختلف تاقدیس است. نقشه تغییرات مقادیر کوتاه شدگی حاکی از مقادیر بیشتر کوتاه شدگی در بخشهای شمالی و مرکزی تاقدیس نسبت به بخشهای جنوبی آن می‌باشد.

واژه های کلیدی: فروافتادگی دزفول، تاقدیس آسماری، کرنش، کوتاه شدگی، زاویه بین یالی چین

۱- مقدمه

مبحث تحلیل کرنش نهایی در مناطق دگرشکل شده طبیعی یکی از موضوعاتی است که در سالهای اخیر مورد توجه بسیاری از زمین شناسان ساختاری قرار گرفته است. با توجه به امکانات و داده‌های قابل برداشت در صحرا، مطالعات کرنش زمین شناسان را به تعیین مقادیر کمی کرنش تکتونیکی موثر در شکل‌گیری و تکامل ساختاری پدیده‌های مختلف رهنمود می‌سازد. مطالعات کرنش معمولاً در دو مقوله کرنش پیشرونده (Incremental Strain) و کرنش نهایی (Finite strain) مورد توجه محققین قرار می‌گیرد. در مطالعات کرنش پیشرونده تغییرات کمی مقادیر کرنش در هر لحظه از زمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. از این رو این گونه مطالعات بصورت عمومی در آزمایشگاه‌های زمین شناسی و در حین مدل‌سازی‌های تکتونیکی قابل اجرا می‌باشد. در مطالعات کرنش نهایی محصول نهایی دگرشکلی مورد بررسی قرار گرفته و مقادیر کمی کرنش در آخرین مرحله دگرشکلی مورد تحلیل قرار خواهد گرفت چرا که زمین شناسان همواره با آخرین محصول دگرشکلی در صحرا مواجه می‌شوند و از این رو تنها پرداختن به مقوله کرنش نهایی امکان‌پذیر می‌باشد. اندازه‌گیری کمی کرنش و تعیین مولفه‌های کوتاه شدگی یا طویل شدگی یکی از موضوعات کلیدی در مباحث زمین شناسان ساختاری می‌باشد. در انجام تحلیل‌های کمی کرنش یافتن عناصری که بتوان از آنها بعنوان نشانگر در اندازه‌گیری کرنش استفاده نمود بسیار حائز اهمیت است. تاکنون روشهای زیادی بوسیله محققین زمین شناسی ساختمانی جهت برآورد مقادیر کرنش در سنگهای دگرریخت شده ارائه شده است. روش‌هایی همچون روش Rf/Φ [۲۲]، روش Fry [۱۲]، روش بریدین، روش ولمن و روش تهیه مقاطع عرضی موازنه شده از متداول‌ترین روشهای مطالعات کرنش می‌باشند که توسط بسیاری از زمین شناسان ساختاری در جایگاه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. انجام مطالعات کرنش در سه بعد و فهم کامل ماهیت سه بعدی کرنش نیازمند انجام برداشتهای مناسب از صفحات مختلف بیضوی کرنش می‌باشد. معمولاً مطالعات دو بعدی کرنش می‌تواند به درک ویژگیهای بیضوی کرنش در سه بعد کمک نمایند. روشهای ریاضی مختلفی جهت درک ماهیت سه بعدی کرنش از طریق بررسیهای دو بعدی کرنش توسط محققین مختلف ارائه شده است [۲۳]. همچنین در سالهای اخیر استفاده از توابع تصویری مختلف جهت فهم ماهیت سه بعدی کرنش از مطالعات دو بعدی مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است [۲۳، ۳۳، ۱۶، ۱۳]. وجود دگرشکلی‌های متعدد و همچنین کمبود داده‌های زیرسطحی، محاسبات مربوط به مطالعات کرنش را دچار چالش خواهد نمود. با این وجود در بسیاری موارد می‌توان با استفاده از نشانگرهای مختلف و برخی ساختارهای سطحی، مقادیر کرنش را محاسبه نمود.

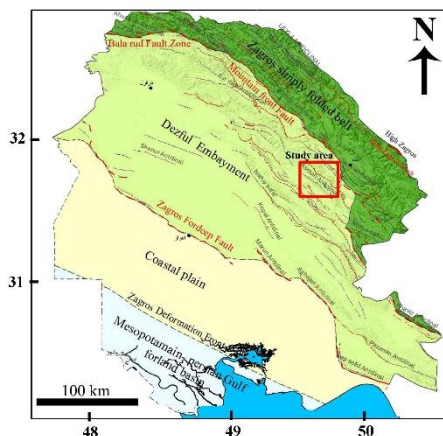
تاکنون مطالعات متعددی جهت برآورد میزان کوتاه‌شدگی در کوهزادهای مختلف، در سرتاسر جهان صورت پذیرفته است. در این مطالعات از روشهای مختلفی همچون استفاده از مقاطع عرضی موازنه شده، استفاده از نشانگرهای مختلف استرین در مقیاس میکروسکوپی همچون کانیهای دگرشکل شده کوارتز در پهنه‌های برشی و استفاده از نشانگرهای مزوسکوپی (متوسط مقیاس) همچون قله‌های دگرشکل شده کنگلومرا استفاده شده است. [۳۲] با استفاده از مقاطع عرضی متعادل شده در کمربند راندگی بین کراتونی مرکز استرالیا میزان ۵۰ تا ۷۰ درصد کوتاه شدگی برای این منطقه تعیین نمود. [۸] در مطالعات صورت

گرفته در کمربند چین-راندگی پیش بوم جنوب اورال مقدار کوتاه شدگی را معادل ۱۷ درصد محاسبه نمودند. [۹] در مطالعات صورت گرفته در ناحیه خارجی پیش بوم کوهزاد پیرنه میزان کوتاه شدگی را ۲۵ تا ۳۴ درصد تعیین نمودند. مطالعات صورت گرفته در پهنه زاگرس مرتفع و کمربند چین خورده-گسلی کردستان عراق میزان کوتاه شدگی در حدود ۱۱ تا ۱۵ درصد برآورد گردید [۱۱]. مطالعات انجام شده بر روی تاقدیس‌های بخیر و قره چوق در عراق میزان کوتاه شدگی را بترتیب ۲۶/۱ و ۱۸/۷ درصد نشان می‌دهد [۴]. در ناحیه زاگرس لرستان، میزان کوتاه شدگی در حدود ۲۵ درصد برآورد شده است [۷]. در ناحیه فروافتادگی دزفول و پهنه ایذه میزان کوتاه شدگی ۱۳ درصد برآورد گردید [۳۲]. در ناحیه کمربند زاگرس چین خورده ساده (در شمال بندرعباس) مقادیر کوتاه شدگی معادل ۲۲ درصد محاسبه شد [۲۱]. در کمربند چین خورده - رانده زاگرس کمینه کوتاه شدگی با استفاده از بررسی مقاطع عرضی موازنه شده بین ۱۶ تا ۳۰ درصد تعیین گردید [۳]. تعیین مقادیر کوتاه شدگی با استفاده از مقاطع عرضی موازنه شده دارای محدودیتهایی است که ممکن است مقادیر محاسبه کوتاه شدگی مقادیری واقعی نباشند [۱۱]. تهیه مقاطع عرضی موازنه شده مستلزم تهیه نیمرخ‌های زمین شناسی با دقت بالا بوده و با توجه به عدم وجود هماهنگی هندسی و تشابه ساختاری از سطح به عمق معمولاً تهیه مقاطع عرضی موازنه شده دچار چالش می‌شود [۱۱]. مقاطع عرضی موازنه شده توانایی محاسبه کرنش پیکری در لایه‌های دگرشکل شده را نداشته و از این رو می‌توان اذعان داشت که مقادیر کوتاه شدگی محاسبه شده از طریق ترسیم مقاطع موازنه شده همواره نشان دهنده مقادیر کمینه کوتاه شدگی می‌باشد [۱۱، ۲۰]. در این مطالعه به برآورد برخی پارامترهای استرین و محاسبه میزان کوتاه شدگی در تاقدیس کوه آسماری در استان خوزستان پرداخته شده است.

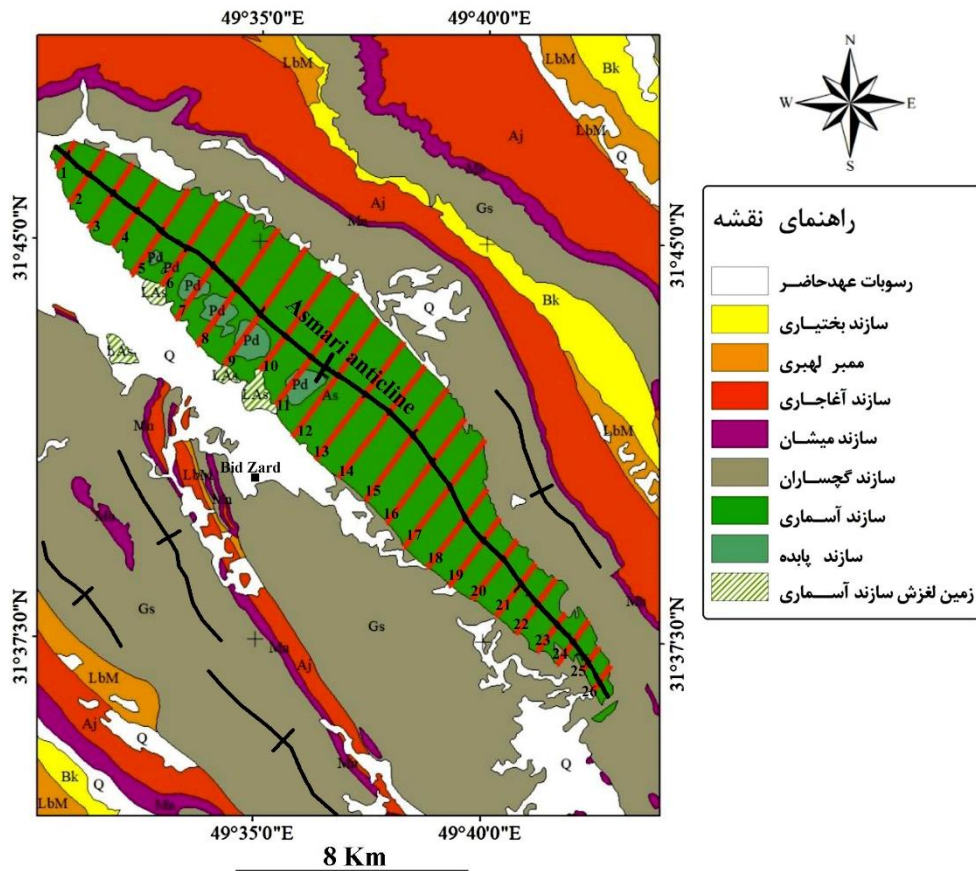
۱- جایگاه زمین ساختی گستره مورد مطالعه

کمربند چین و راندگی زاگرس با طول تقریبی ۱۸۰۰ کیلومتر بخشی از کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا است که در حاشیه شمال خاوری صفحه عربستان قرار گرفته است [۶، ۳۰]. رشته کوه‌های زاگرس از کوه‌های تاوروس در شمال خاور ترکیه تا تنگه هرمز در ایران توسعه یافته است [۱، ۱۰، ۱۵، ۱۷، ۳۰، ۳۲]. این کمربند کوهزایی شامل ۸ تا ۱۴ کیلومتر از رسوبات کامبرین تا عهد حاضر می‌باشد که بر روی پی سنگ کامبرین قرار گرفته‌اند. تکامل ساختاری و زمین ساختی کمربند کوهزایی زاگرس در نتیجه سه رخداد اصلی (آ) فروانش پوسته اقیانوسی دریای تیس جوان به زیر پوسته قاره‌ای ایران در طول کرتاسه پایینی، (ب) جاگیری و رورانش پوسته اقیانوسی تیس جوان بر روی حاشیه صفحه آفریقا-عربی و توسعه افیولیت‌های زاگرس در اواخر کرتاسه، (ج) برخورد قاره‌ای-قاره‌ای صفحه آفریقا-عربی با صفحه ایران در سنوزوئیک صورت گرفته است [۲]. در راستای شمال خاور به جنوب باختر، کمربند کوهزایی زاگرس شامل سه بخش اصلی: (۱) کمربند ماگمایی ارومیه دختر، (۲) کمربند دگرگونی سنندج-سیرجان و (۳) کمربند چین و راندگی زاگرس با راستاهای شمال باختر-جنوب خاور می‌باشد [۱]. کمربند چین و راندگی زاگرس یک زون ترافشارشی (transpression) است که در اثر برخورد بین صفحه سنگ کره ای آفریقا-عربی و خرد قاره ایران مرکزی با زاویه ای حدود ۲۵ درجه ایجاد شده است [۲۵]. این همگرایی در قسمت جنوب

خاور تقریباً عمودی بوده و در قسمت شمال باختر از تمایل بیشتری برخوردار می‌باشد [۳۱، ۳۲]. [۵] بر پایه انباشته‌های نمکی سری هرمز، کمربند چین و راندگی زاگرس را به دو بخش جنوب خاوری، یا «حوضه هرمز» و بخش شمال باختری، یا «حوضه اهواز» تقسیم می‌کند که مرز جدایی این دو، بر خطواره قطرکازرون منطبق است. محدوده مطالعاتی در پهنه ساختاری فروافتادگی دزفول واقع شده است. منطقه فروافتادگی دزفول یک جلوه ساختمانی در بخش جنوب باختری راندگی زاگرس می‌باشد که به دلیل پوشانده شدن سنگ آهک الیگوسن - میوسن آسماری توسط تبخیریه‌های میوسن گچساران، دارنده اکثر میادین نفتی ایران است. در ابتدا این نام معرف یک خاصیت توپوگرافیک می‌باشد، ولی به طور کلی تر به منطقه‌ای از حوضه زاگرس اطلاق می‌گردد که در آن سازند آسماری فاقد رخنمون بوده (به استثنای سازند آسماری در تاقدیس آسماری) و به وسیله ضخامت فزونی یافته نهشته‌های دوره ترشیری نسبت به نواحی فارس و لرستان مشخص می‌گردد [۲]. می‌توان فروافتادگی دزفول را هسته قطعه‌ای از ورقه عربی در نظر گرفت که تحت تاثیر برخورد با صفحه ایران به جنوب باختری ایران فشرده شده است [۲]. ساختارهای موجود در فروافتادگی دزفول به طور قابل ملاحظه‌ای چین خوردگی‌های ملایم‌تری را نسبت به ساختارهای بخش‌های شمالی و زاگرس چین خورده نشان می‌دهند [۲۸]. بر این اساس، با در نظر داشتن حرکت چپگرد خمش بالارود و حرکت راستگرد ناحیه گسل کازرون و طبیعت فشرده چینهای موجود در پس خمش پیشانی کوهستان، این واقعیت نمایان می‌گردد که این فروافتادگی نسبت به مناطق همجوار همزمان با کوهزایی پایدارتر بوده که می‌تواند به جابجایی‌های جانبی در امتداد گسل بالارود و منطقه گسل کازرون تعبیر شود و به همین علت می‌توان گاهی مشاهده کرد که ساختارهای مناطق بر روی لبه‌های فروافتادگی، رانده شده‌اند [۱۱، ۲۹]. منطقه مورد مطالعه در استان خوزستان و در ۲۷ کیلومتری جنوب خاور مسجدسلیمان با موقعیت عرض جغرافیایی ۱۲° ۳۰' ۳۱" تا ۲۹° ۵۰' ۳۱" شمالی و طول جغرافیایی ۳۷° ۳۰' ۴۹" تا ۵۷° ۵۰' ۴۹" خاوری قرار گرفته است. استان خوزستان از لحاظ تقسیمات ساختاری از جنوب باختر به شمال خاور شامل زیر پهنه‌های: پیش حوضه خلیج فارس - میانرودان (مزوپوتیمین)، دشت‌های ساحلی، فروافتادگی دزفول و کمربند چین خورده ساده زاگرس می‌باشد (شکل ۱). شکل ۲ نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. تاقدیس آسماری یک رخنمون بی همتای سازند آسماری در فروافتادگی دزفول را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه تقسیمات ساختاری استان خوزستان و موقعیت محدوده مورد مطالعه



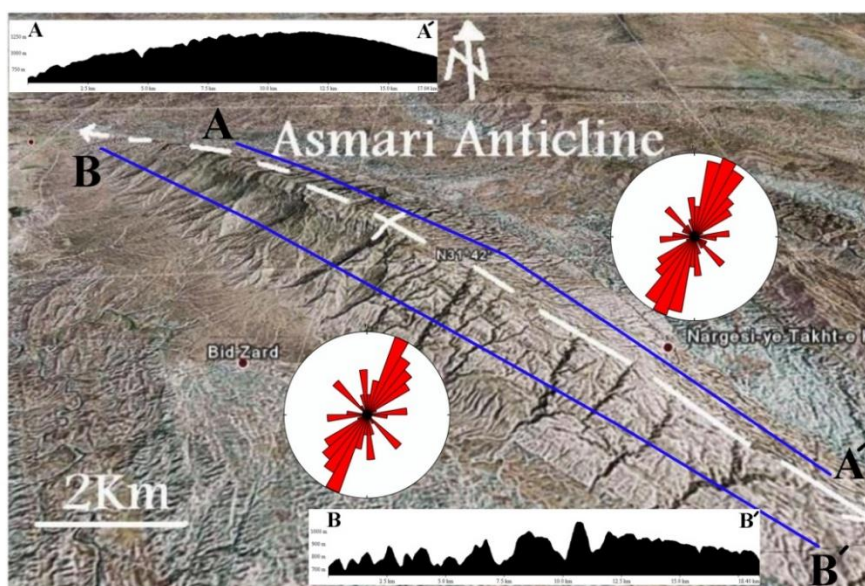
شکل ۲- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه. خطوط ۱ تا ۲۶ راستای مقاطع زمین شناسی را نشان می دهند.

۲- روش کار

در این تحقیق در راستای عمود بر محور تاقدیس آسماری تعداد ۲۶ نیمرخ زمین شناسی تهیه گردید. مشخصات سطح محوری و زاویه بین یالی چین در هر مقطع به دست آمد و با استفاده از تراز کردن سطح چین خورده و متعادل کردن نیمرخ‌های زمین شناسی مقادیر طولهای اولیه و ثانویه سطح چین خورده تعیین گردید. سپس با استفاده از مقادیر حاصل، پارامترهای مختلف کرنش و میزان کوتاه شدگی در طول تاقدیس اندازه گیری و در نهایت نقشه‌های پهنه بندی کرنش تکتونیکی و کوتاه شدگی در ناحیه تاقدیس کوه آسماری تهیه شد. همانگونه که پیش از این اشاره گردید اندازه گیری مقادیر کوتاه شدگی در پهنه‌های چین و گسله با استفاده از مقاطع عرضی موازنه شده با توجه به عدم محاسبه مقادیر کوتاه شدگی پیکری، حداقل مقادیر کوتاه شدگی را ارائه خواهد کرد. از این رو در این تحقیق نیز فرض بر این است که کوتاه شدگی پیکری در طول لایه چین خورده حداقل می‌باشد. همچنین در این پژوهش فرض می‌شود که مقاطع عرضی چین در نقاط مختلف به چین خوردگی جناغی نزدیک بوده و فرایندهای گسل خوردگی در کوتاه شدگی نقش چندانی ندارند.

۳- سبک چین خوردگی و ساختار تاقدیس آسماری

تاقدیس آسماری با ۳۰ کیلومتر طول و ۱۰ کیلومتر عرض و حداکثر ارتفاع چین در محل لولای چین برابر با ارتفاع ۱۳۹۱ متر تنها تاقدیس با بیرون زدگی سازند آسماری در منطقه فروافتادگی دزفول می‌باشد. ضخامت واقعی سازند آسماری ۳۵۰ متر و ضخامت موازی سطح محوری آن ۴۵۰ متر اندازه گیری گردیده است [۱۹]. سازند پابده قدیمی ترین رخنمون واحد سنگی در این تاقدیس می‌باشد. تحلیل شکستگیها بوسیله روش چشمی در هر دو یال تاقدیس آسماری نشان دهنده گسترش سه دسته شکستگی در جهات موازی محور چین، عمود بر محور چین و شکستگیهای مایل می‌باشد. مطالعات صحرایی و بررسی تصاویر ماهواره‌ای نشان دهنده گسترش و توسعه بیشتر شکستگیها و بویژه شکستگیهای عمود بر محور در یال جنوبی تاقدیس می‌باشد. شکل ۳ نمودار گل سرخی پراکندگی شکستگیها در یالهای تاقدیس را نشان می‌دهد. همچنین در این شکل دو مقطع توپوگرافی به موازات محور تاقدیس در راستای خطوط AA' و BB' جهت نمایش میزان توسعه شکستگیهای عمود بر محور تاقدیس و توسعه دره های عرضی ارائه شده است.



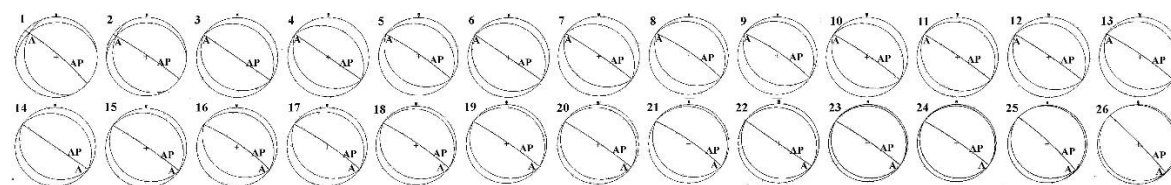
شکل ۳- نمودار گل سرخی پراکندگی شکستگیها در یالهای شمالی و جنوبی تاقدیس آسماری

عناصر سبک چین خوردگی شامل پارامترهایی همچون میزان استوانه‌ای بودن (Cylindricity)، تقارن (Asymmetry)، نسبت ابعادی (Aspect ratio)، تنگی (Tightness) و تیزی (Bluntness) می‌باشد. تاقدیس آسماری یک تاقدیس نامتقارن با تمایل به سمت جنوب باختری بوده و در یال جنوبی نسبت به یال شمالی دچار درهم ریختگی لایه‌بندی و چندین زمین لغزش شده است. اندازه گیری میانگین نسبت ابعادی چین (fold aspect ratio) یا نسبت دامنه به نصف طول موج در بخشهای مختلف چین نشان می‌دهد که تاقدیس آسماری با میزان $P=0.26$ یک چین پهن را تشکیل می‌دهد. پارامتر تیزی چین بر اساس نسبت شعاع انحنا در محل بستگی چین (Fold closure) به شعاع انحنا مماس بر یالهای چین در نقاط

عطف چین اندازه گیری می شود. بر اساس مطالعات انجام شده تاقدیس آسماری با دارا بودن مقدار $b=0,56$ جزء چین های نیمه مدور می باشد [۱۹]. اندازه گیری زاویه بین یالی در بخشهای مختلف تاقدیس آسماری نشان می دهد که یک چین با تنگی اندک بوده و در گروه چین های ملایم قرار می گیرد. همچنین مطالعات صورت گرفته بر اساس الگوی شیب ایزوگون ها نشان دهنده همگرایی ایزوگون ها و انحنای تقریباً برابر سطوح چین خورده و یکنواختی ضخامت حقیقی لایه چین خورده در تاقدیس آسماری می باشد (کلاس ۱B) [۱۹].

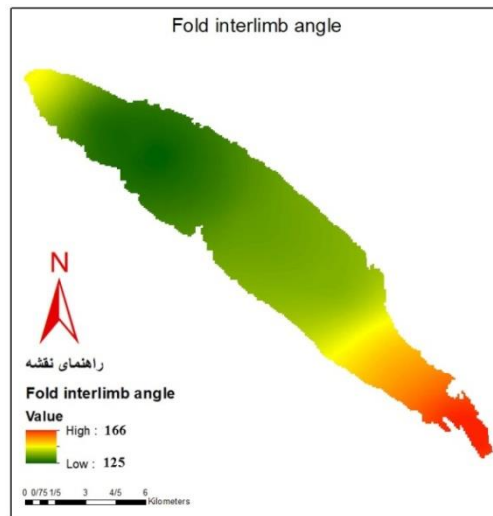
۴- تحلیل کرنش و مقادیر کوتاه شدگی در تاقدیس آسماری

در این پژوهش مقادیر زاویه برش (Ψ) و استرین برشی (γ) دو مؤلفه اصلی در محاسبه مقادیر نسبت کرنش می باشند. از این رو با استفاده از میزان رانش یا انحراف صفحه محوری از حالت قائم در مقاطع مختلف تاقدیس آسماری، به رهیافتی جهت تعیین زاویه برش اقدام گردید. مفهوم رانش برای جهتی که سطح محوری یک چین به آن سمت چرخش می نماید به کار برده می شود. همچنین مفهوم رانش برای بیان حرکت ساختارهای زمین ساختی که طی تکامل خود جهت حرکت را نشان می دهند به کار برده می شود. بر اساس عدم تقارن سطح محوری، و میزان انحراف زاویه صفحه محوری از حالت قائم یا خط میانی چین، مقادیر زاویه برشی و کرنش برشی ایجاد شده بر روی مقاطع مختلف تاقدیس آسماری تعیین گردید. زاویه برش (Ψ) عبارت است از تغییر زاویه بین دو خط که پیش از کرنش بر هم عمود بوده اند. تانژانت زاویه برش نیز مقادیر کرنش برشی را بدست خواهد داد ($\tan\Psi=\gamma$) [۲۳]. به منظور تعیین مشخصات هندسی سطح محوری تاقدیس از نقشه شیب استفاده گردید. با توجه به توسعه فراوان مناطق مثلثی در یالهای چین و با توجه به نزدیکی یا برابری مقادیر شیب توپوگرافی و لایه بندی در این مناطق، نقشه شیب در این مناطق می تواند معیار مناسبی از مقادیر شیب لایه بندی در یالهای چین باشد. بنابراین با قرائت چند شیب در امتداد خطوط مقطع میانگینی از شیب هر دو یال تاقدیس حاصل گردید. شکل ۴ تحلیل های استریوگرافی مشخصات صفحه محوری تاقدیس آسماری در امتداد مقاطع عمود بر محور تاقدیس را نشان می دهد.

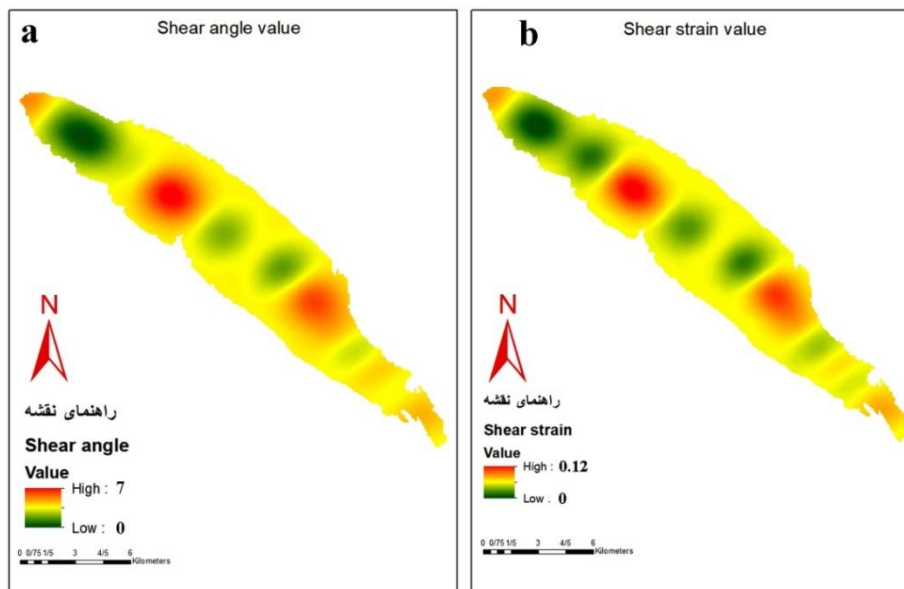


شکل ۴- تحلیل های استریوگرافی مشخصات صفحه محوری (AP) و محور (A) تاقدیس آسماری در امتداد مقاطع عمود بر محور

بر اساس تحلیل های صورت گرفته مقادیر زاویه بین یالی در بخشهای مختلف تاقدیس مقادیر متفاوتی را نمایش می دهد. به گونه ای که بخشهای شمالی و مرکزی تاقدیس نشان دهنده مقادیر کمتر و تنگ تر بودن چین نسبت به بخشهای جنوب شرقی تاقدیس می باشد (شکل ۵). بر اساس تحلیل های استریوگرافی، نقشه پهنه بندی مقادیر زاویه برشی و کرنش برشی در بخش های مختلف تاقدیس آسماری تهیه گردید (شکل ۶). بر این اساس میزان انحراف سطح محوری و مقادیر کرنش برشی در بخش های مختلف تاقدیس آسماری یکسان نبوده و مقادیر متفاوتی را نشان می دهد.



شکل ۵- پهنه بندی تاقدیس آسماری بر اساس زاویه بین یالی



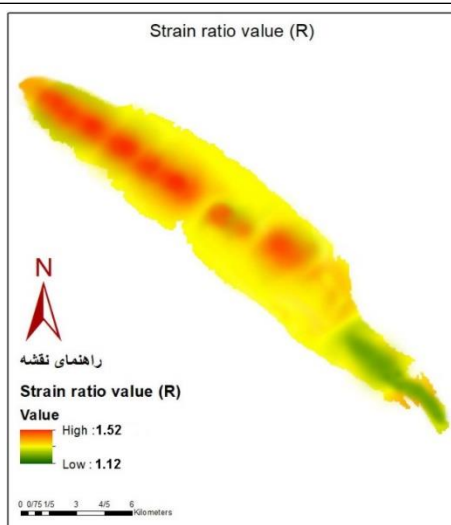
شکل ۶- نقشه پهنه بندی مقادیر زاویه برشی و کرنش برشی در بخش های مختلف تاقدیس آسماری

با استفاده از روابط ۱، [۱۴] و ۲، [۲۳] مقادیر مربع کشیدگی و میزان نسبت کرنش در بخش های مختلف تاقدیس آسماری محاسبه گردید.

$$(۱) \text{ or } \lambda_3 = \frac{1}{2} (\gamma^2 + 2 \pm \gamma(\gamma^2 + 4)^{1/2})$$

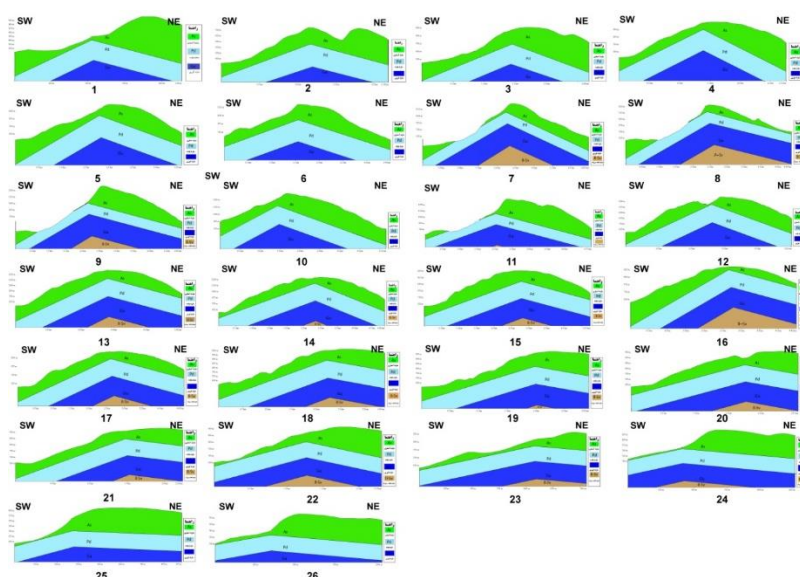
$$(۲) \text{ رابطه } R^2 = \lambda_1 / \lambda_3$$

شکل ۷ نقشه تغییرات مقادیر نسبت کرنش در بخش های مختلف تاقدیس آسماری را نشان می دهد.

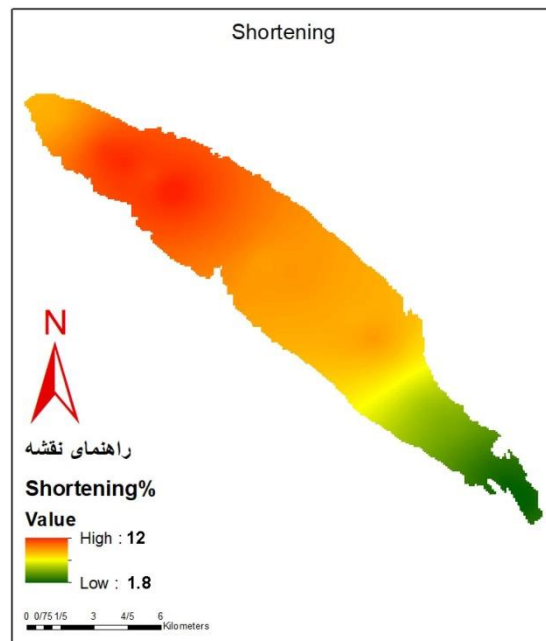


شکل ۷- تغییرات مقادیر نسبت کرنش در تاق‌دیس آسماری

تعیین مقادیر کوتاه شدگی در بخش‌های مختلف کمربندهای کوهزایی یکی از موضوعات مورد علاقه زمین‌شناسان ساختاری می‌باشد. تعیین مقادیر کوتاه شدگی می‌تواند بعنوان کلیدی جهت شناخت و فهم مکانیزم‌های عمل‌کننده در توسعه دگرشکلیها مورد استفاده قرار گیرد [۱۳، ۱۴، ۳۴]. در پهنه‌های دگرگونی استفاده از برخی نشانگرهای کرنش و به کارگیری روشهای مطالعات تاوایی جنبش شناختی (Kinematic vorticity) می‌تواند بعنوان ابزاری جهت برآورد مقادیر کوتاه شدگی در این پهنه‌ها مورد استفاده قرار گیرد [۱۸، ۲۴، ۲۶]. در پهنه‌های چین‌خورده استفاده از مقاطع عرضی موازنه شده یکی از متداول‌ترین روشها جهت تعیین مقادیر کوتاه شدگی می‌باشد [۲، ۳، ۷، ۱۱، ۲۰]. در این پژوهش با استفاده از تهیه ۲۶ مقطع ساختاری در تاق‌دیس آسماری و با استفاده از اندازه‌گیری مسافت کف لایه چین‌خورده سازند آسماری (L_0) و مسافت مستقیم (L_1) به تعیین مقادیر درصدی کوتاه شدگی در راستای هر مقطع اقدام گردید (شکل ۸). شکل ۹ نقشه پهنه بندی تاق‌دیس آسماری بر اساس مقادیر درصد کوتاه شدگی را نشان می‌دهد.



شکل ۸- مقاطع زمین‌شناسی در راستای خطوط ۱ تا ۲۶ (نمایش داده شده در شکل ۲). مقیاس افقی در مقاطع مختلف متفاوت می‌باشد.



شکل ۹- نقشه پهنه بندی تاقدیس آسماری بر اساس مقادیر درصد کوتاه شدگی

نتیجه گیری

براساس تحلیل های صورت گرفته مقادیر زاویه بین یالی در سرتاسر تاقدیس آسماری یکسان نبوده و در بخشهای شمالی و مرکزی زاویه بین یالی مقادیر کمتری نسبت به بخشهای جنوبی تاقدیس نشان می دهد. میزان انحراف سطح محوری بعنوان معیاری جهت محاسبه زاویه برش و کرنش برشی به کار گرفته شد. براین اساس مقادیر زاویه برش و کرنش برشی الگوی متفاوتی را در طول تاقدیس به نمایش می گذارد. تحلیل های کرنش و کوتاه شدگی در تاقدیس آسماری نشان دهنده مقادیر متفاوت نسبت کرنش و کوتاه شدگی در بخش های مختلف این تاقدیس می باشد. مقادیر نسبت کرنش بین $1/12$ تا $1/52$ و مقادیر درصدی کوتاه شدگی بین $1/8$ تا 12 درصد در طول تاقدیس آسماری می باشد. مقادیر نسبت کرنش و کوتاه شدگی در بخشهای شمالی و مرکزی تاقدیس مقادیر بیشتری را نسبت به بخشهای جنوبی نشان می دهد. عملکرد تنش های افقی و قائم در کمربندهای کوهزایی نقش مهمی را در توسعه و تکامل ساختارهای چین خورده ایفا می کند. چین خوردگی کمانشی (Buckling) و خمشی (Bending) به ترتیب دو مکانیزم اصلی در ارتباط با عملکرد تنش های افقی و قائم هستند. کوتاه شدگی پیکری به موازات لایه بندی، یکی از ویژگی های چین خوردگی حاصل از مکانیزم کمانش می باشد. در حالی که چین خوردگی های حاصل از مکانیزم خمش کوتاه شدگی پیکری کمتری را متحمل می شوند. مقادیر اندک کوتاه شدگی در تاقدیس آسماری را احتمالاً می توان در ارتباط با نوع مکانیزم چین خوردگی مرتبط دانست. بر این اساس می توان احتمال داد عملکرد نیروهای قائم در مقایسه با نیروهای افقی نقش بیشتری را در تکامل ساختاری و تشکیل این تاقدیس به عهده داشته اند. به گونه ای که می توان تنها بیرون زدگی سازند آسماری در پهنه فروافتادگی دزفول را در ارتباط با نقش بیشتر

نیروهای قائم و عملکرد مکانیزم چین خوردگی خمشی (Bending) دانست. هرچند مقادیر زاویه بین یالی، زاویه برش و کرنش برشی حاکی از عملکرد بیشتر نیروهای افقی در بخشهای شمالی تاقدیس نسبت به بخشهای جنوبی آن می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان مقاله از حمایت های مالی و معنوی صورت گرفته توسط معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN: SCU.EG۱۴۰۱,۳۴۱) در انجام این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند. همچنین از داوران این مقاله آقایان دکتر بهمن سلیمانی، دکتر شهریار صادقی و دکتر امیر پیروز کلاهی آذر تشکر می‌گردد.

منابع

- [۱] ALAVI, M., ۱۹۹۴, Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretation. *Tectonophysics*, ۲۲۹, ۲۱۱-۲۳۸.
- [۲] ALAVI, M., ۲۰۰۴, Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran, and its proforeland evolution. *American Journal of Science*, ۳۰۴, ۱-۲۰.
- [۳] ALAVI, M., ۲۰۰۷, Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of Science*, ۳۰۷, ۱۰۶۴-۱۰۹۵.
- [۴] AL-AZZAWI N. K. ۲۰۰۸, Local Shortening of Folds and Detachment Surface Depth with Examples from the Foreland Belt of Iraq. *Iraqi Journal of Earth Sciences*, ۸.
- [۵] BERBERIAN, M., ۱۹۹۵, Master 'blind' thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, *Tectonophysics*, ۲۴۱, ۱۹۳-۲۲۴.
- [۶] BERBERIAN, M., KING, G.C.P., ۱۹۸۱, Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, ۱۸, ۲۱۰-۲۶۵.
- [۷] BLANCE, E.J.P., ALLEN, M.B., INGER, S., HASSANI, H., ۲۰۰۳, Structural styles in the Zagros Simple Folded Zone, *Iran. J. Geol. Soc.*, ۱۶۰, ۴۰۱-۴۱۲. doi:۱۰,۱۱۴۴/۰۰۱۶-۷۶۴۹۰۲-۱۱۰.
- [۸] BROWN, D., ALVAREZ - MARRON, J., PEREZ - ESTAFIN, A., GOROZJANIN, Y., BARYSHEVA, V., and PUCHKOV, V., ۱۹۹۷, Geometric and kinematic evolution of the foreland thrust and fold belt in the southern Urals. *Tectonics*, ۱۶, ۵۵۱-۵۶۲, JUNE ۱۹۹۷.
- [۹] ESPURT, N., HIPPOLYTE, J.C., SAILLARD, M., BELLIER, O., ۲۰۱۲, Geometry and kinematic evolution of a long-living foreland structure inferred from field data and cross section balancing, the Sainte-Victoire System, Provence, France. *Tectonics*, ۳۱, TC۴۰۲۱, doi:۱۰,۱۰۲۹/۲۰۱۱TC۰۰۲۹۸۸.
- [۱۰] FALCON, N.L., ۱۹۶۹, Problems of the relationship between surface structures and deep displacements illustrated by the Zagros range. *Geological Society of London. Spec. Pub.* ۳, ۹-۲۲.
- [۱۱] FREHNER, M.D., and GRASEMANN, B., ۲۰۱۲, Mechanical versus kinematical shortening reconstructions of the Zagros High Folded Zone (Kurdistan region of Iraq), *Tectonics*, ۳۱, TC۳۰۰۲, doi:۱۰,۱۰۲۹/۲۰۱۱TC۰۰۳۰۱۰.
- [۱۲] FRY, N., ۱۹۷۹, Random point distribution and strain measurements in rocks. *Tectonophysics*, ۶۰, ۸۹-۱۰۵.
- [۱۳] FOSSEN, H., ۲۰۱۶, Structural Geology. Cambridge University Press.
- [۱۴] GHASSEMI, M. R., SCHMALHOLZ, S. M., GHASSEMI, A. R., ۲۰۱۰, Kinematics of constant arc length folding for different fold shapes. *Journal of Structural Geology*, ۳۲, ۷۵۵-۷۶۵.
- [۱۵] HAYNES, S.J., MCQUILLAN, H., ۱۹۷۴, Evolution of the Zagros suture zone, Southern Iran. *Geological Society of America*, ۸۵, ۷۳۹-۷۴۴.

- [۱۶] IMBER J, PERRY T, JONES R, WIGHTMAN RH ۲۰۱۲, Do cataclastic deformation bands form parallel to lines of no finite elongation (LNFE) or zero extension direction? *Journal of Structural Geology*, ۴۵:۱۵۸-۱۷۲.
- [۱۷] JAHANI, S., CALLOT, J.P., FRIZON de LAMOTTE, D., LETOUZEY, J., LETURMY, P., ۲۰۰۷, The Salt Diapirs of the eastern Fars province (Zagros, IRAN): a Brief outline of their past and present. In: LACOMBE, O., LAVÉ, J., ROURE, F., VERGÉS, J. (Eds.), Thrust Belt and Foreland Basin. Springer Berlin Heidelberg, ۲۸۹-۳۰۸.
- [۱۸] KESHAVARZ, S., FAGHIH, F., ۲۰۲۰, Heterogeneous sub-simple deformation in the Gol-e-Gohar shear zone (Zagros, SW Iran): insights from microstructural and crystal fabric analyses. *International Journal of Earth Sciences*, ۱۰۹, ۴۲۱-۴۳۸.
- [۱۹] KODABAKHSHNEZHAD, A., ARIAN, M., POURKERMANI, M., ۲۰۱۵, Folding mechanism in the Asmari anticline, Zagros, Iran, *Open Journal of Geology*, ۵, ۱۹۷-۲۰۸.
- [۲۰] MCQUARRIE, N., ۲۰۰۴, Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, *Iran. Journal of Structural Geology*, ۲۶, ۵۱۹-۵۳۵.
- [۲۱] MOLINARO, M., ZEYEN, H., LAURENCIN, X., ۲۰۰۵, Lithospheric structure beneath the southeastern Zagros Mountains, Iran: Recent slab break-off? *Terra Nova* ۱۷, ۱-۶. doi:۱۰.۱۱۱۱/j.۱۳۶۵-۳۱۲۱.۲۰۰۴.۰۰۵۷۵.x.
- [۲۲] RAMSAY, JG., ۱۹۶۷, Folding and fracturing of rocks. McGraw-Hill, New York.
- [۲۳] RAMSAY, JG, HUBER, MI., ۱۹۸۳, The techniques of modern structural geology, ۱: strain analysis. Academic Press, London.
- [۲۴] SAMANI, B., ۲۰۱۷, Deformation flow analysis and symmetry of Goushti shear zone, Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, Iran. *Geopersia*, ۷, ۱۱۷-۱۳۰.
- [۲۵] SARKARINEJAD, K., AZIZI, A., ۲۰۰۸, Slip partitioning and inclined dextral transpression along the Zagros Thrust System, Iran. *Journal of Structural Geology*, ۳۰: ۱۱۶-۱۳۶.
- [۲۶] SARKARINEJAD, K, SAMANI, B, FAGHIH, A, GRASEMANN, B, MORADIPOOR, M., ۲۰۱۰, Implications of strain and vorticity of flow analyses to interpret the kinematics of an oblique convergence event (Zagros Mountains, Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, ۳۸:۲۴-۴۳.
- [۲۷] SARKARINEJAD, K., KESHAVARZ, S., FAGHIH, A., SAMANI, B., ۲۰۱۷, Kinematic analysis of rock flow and deformation temperature of the Sirjan thrust sheet, Zagros Orogen, Iran. *Geological Magazine*, ۱۵۴, ۱۴۷-۱۶۵.
- [۲۸] SHERKATI, S., LETOUZEY, J., FRIZON DE LAMOTTE, D., ۲۰۰۶, Central Zagros fold-thrust belt (Iran): new insights from seismic data, field observation, and sandbox modeling. *Tectonics* ۲۵, TC۴۰۰۷. doi:۱۰.۱۰۲۹/۲۰۰۴TC۰۰۱۷۶۶.
- [۲۹] SHERKATI, S., MOLINARO, M., FRIZON DELAMOTTE, D., LETOUZEY, J., ۲۰۰۵, Detachment folding in the Central and Eastern Zagros fold-belt (Iran): salt mobility, multiple detachments and late basement control. *Journal of Structural Geology*, ۲۷, ۱۶۸۰-۱۶۹۶.
- [۳۰] STOCKLIN, J., ۱۹۶۸, Structural history and tectonics of Iran, a review, *A. A. P. G. Bull.*, ۵۲(۷), ۱۲۲۹-۱۲۵۸.
- [۳۱] TALEBIAN, M., JACKSON, J., ۲۰۰۴, A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran. *Geophysics*, ۱۵۶, ۵۰۶-۵۲۶.
- [۳۲] TEYSSIRE, C., ۱۹۸۵, A crustal thrust system in an intracratonic tectonic environment. *Journal of Structural Geology*, ۷, ۶۸۹-۷۰۰.
- [۳۳] VERNANT, P., CHERY, J., ۲۰۰۶, Mechanical modeling of oblique convergence in the Zagros, Iran. *Geophysics*. ۷۱, ۹۹۱-۱۰۰۲.
- [۳۴] VITALE, S, MAZZOLI, S., ۲۰۰۸, Heterogeneous shear zone evolution: the role of shear strain hardening/softening. *Journal of Structural Geology*. ۳۰:۱۳۸۳-۱۳۹۵.

Strain and shortening amount analysis in the Asmari anticline, Khuzestan province

Babak Samani^{۱*}, Abbas Charchi^۱, Narges Khatib^۲

^۱- Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

^۲- M.Sc. of Tectonics, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

b.samani@scu.ac.ir^{*}

Received: January ۲۰۲۳, Accepted: April ۲۰۲۳

Abstract

Asmari anticline shows the exclusive outcrop of the Asmari formation in the Dezful embayment. In order to estimate the strain parameters and shortening values, ۲۶ geological cross sections were prepared perpendicular to the anticline axis. The interlimb angles of the northern and central parts of the anticline are lower than the southern parts. The strain ratio (R) is between ۱,۱۲ - ۱,۵۲. The strain ratio zoning map shows the higher strain values in the northern and central parts of the Asmari anticline. The length of folded layer of Asmari formation (L_0) and the straight length (L_1) were measured in the geological cross sections and amount of shortening were calculated in each section. Results indicate that the shortening in the different parts of the Asmari anticline is ۱,۸% to ۱۲%. Shortening zonation map of the Asmari anticline shows higher shortening in the northern and central parts of the anticline than the southern parts.

Keywords: Dezful embayment, Asmari anticline, Strain, Shortening, fold interlimb angle