

تحلیل کرنش و کوتاه شدگی در افق آسماری، میدان نفتی کوپال، استان خوزستان

بابک سامانی^{۱*}، مینا پروین^۲، عباس چرچی^۳، محمدحسین حیدری فرد^۴

۱- دانشیار، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

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

۳- استادیار، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۴- استادیار، شرکت ملی مناطق نفت خیر جنوب، اهواز، ایران

b.samani@scu.ac.ir *

دریافت اردیبهشت ۱۴۰۳، پذیرش تیر ۱۴۰۳

چکیده:

میدان نفتی کوپال یکی از میدان های نفتی مهم در حوضه زاگرس است، که در بخش خاوری منطقه ساختاری فروافتادگی دزفول، در مجاورت میدان نفتی آغاچاری و میدان نفتی مارون قرار دارد. با استفاده از مقاطع لرزه ای تفسیر شده و بررسی سیمای چین خورده افق آسماری، برخی ویژگیهای عناصر چین، همچون مقادیر زاویه بین یالی و خصوصیات سطح محوری تعیین گردید. براساس میزان انحراف سطح محوری از سطح قائم و تعیین مقادیر زاویه برش و کرنش برشی، مقادیر مربع کشیدگی حداقل و حداکثر و نسبت کرنش (R) در بخش های مختلف تاقدیس محاسبه گردید. با استفاده از توابع تصویری مقادیر نسبت ابعادی چین در بخش های مختلف تاقدیس تعیین گردید. براساس نتایج، مقادیر کرنش برشی از ۰/۰۱ تا ۰/۰۹ در بخش های مختلف تاقدیس متغییر است. همچنین نتایج نشان دهنده دامنه تغییرات نسبت کرنش در محدوده ۱/۲۵ تا ۱/۳۸ و مقادیر کوتاه شدگی بین ۵ تا ۱۷ درصد در بخش های مختلف تاقدیس می باشد.

واژه های کلیدی: فروافتادگی دزفول، میدان نفتی کوپال، نسبت ابعادی چین، نسبت کرنش، کوتاه شدگی

۱- مقدمه:

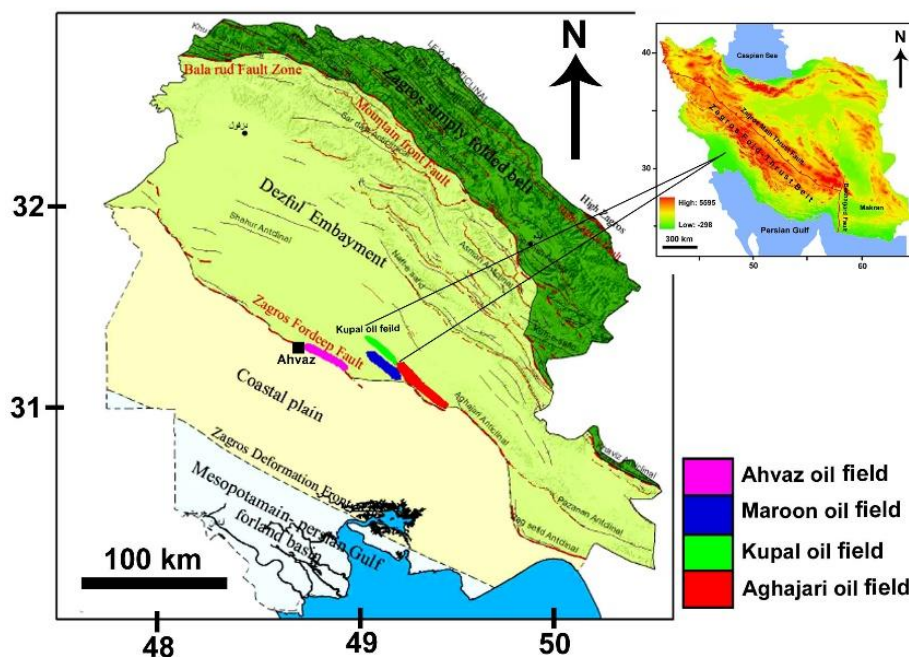
ارزیابی کمی کرنش و تعیین پارامترهای مختلف کرنش در مناطق دگرشکل شده طبیعی یکی از موضوعات با اهمیت جهت فهم ماهیت کرنش در بخش‌های مختلف پوسته زمین می‌باشد. با استفاده از داده‌های قابل برداشت در صحرا و به کارگیری برخی از روش‌های ارائه شده توسط محققین زمین شناس، تحلیل کمی کرنش در مناطق دگرشکل شده امکان پذیر خواهد بود. به طور کلی سه رویکرد کاملاً متفاوت برای ارزیابی کرنش وجود دارد [۱۸]. نخستین و رایج ترین شیوه، اندازه گیری بیضوی های کرنش با به کارگیری نشانگرهای کرنش در یک پهنه دگرشکل شده است. دومین روش برآورد کل کوتاه شدگی و طولی شدگی با استفاده از بررسی هندسی چین‌ها و گسل‌ها می‌باشد. سومین روش که از برخی جهات ساده ترین و سریع ترین روش نیز است بر این فرض استوار است که کرنش در مقیاس بزرگ عموماً همگن بوده و نظم هندسی تمام عناصر در سراسر ناحیه بازتابی از جهت و اندازه نسبی محورهای کرنش است. از آنجا که زمین شناسان همواره با آخرین محصولات دگرشکلی در پوسته زمین مواجه هستند از این رو قادر به انجام تحلیل‌های کرنش نهایی (Finite strain) در سیماهای ساختاری یا سنگ‌های دگرشکل شده خواهند بود [۱۸، ۱۹، ۲۱]. در مطالعات کرنش نهایی محصول نهایی دگرشکلی مورد بررسی قرار گرفته و مقادیر کمی کرنش در آخرین مرحله دگرشکلی مورد تحلیل قرار خواهد گرفت. در صورتیکه زمین شناسان نیاز داشته باشند تا تغییرات مقادیر کرنش پیشرونده (Incremental Strain) در هر لحظه از زمان در بخش‌های مختلف یک ساختار را مورد بررسی قرار دهند استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی و عددی امری اجتناب ناپذیر خواهد بود [۱۸]. در انجام تحلیل‌های عددی کرنش، یافتن عناصری که بتوان از آنها بعنوان نشانگر در اندازه گیری کرنش استفاده نمود بسیار حائز اهمیت است. تاکنون روشهای متعددی بوسیله محققین مختلف جهت برآورد مقادیر کرنش در سنگهای دگرریخت شده ارائه شده است. 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 [۱۸]. در مطالعات تحلیل کرنش، استفاده از توابع ریاضی امری متداول جهت برآورد مقادیر عددی کرنش می‌باشد. از آنجا که استفاده از برخی روابط و توابع ریاضی بسیار دشوار و نیازمند مهارت ریاضی و صرف زمان زیادی می‌باشد در دهه‌های اخیر استفاده از توابع تصویری (Nomograms) به عنوان روشی سریع و ساده در تحلیل‌های کرنش مورد استفاده بسیاری از محققین زمین شناسی قرار گرفته است [۱۸، ۲۲، ۱۳، ۱۱]. نمایش معادلات ریاضی به صورت نمودارهای تصویری را نمودگرام یا توابع تصویری می‌نامند. این توابع تصویری امروزه مورد استفاده بسیاری از محققین قرار می‌گیرد و به آنها کمک می‌کند تا بدون استفاده از توابع پیچیده ریاضی با استفاده از برخی پارامترهای معلوم پارامترهای مجهول دیگری را از روی توابع تصویری تعیین نمایند. تاکنون مطالعات متعددی جهت برآورد مقادیر کرنش و میزان کوتاه‌شدگی در کوهزادهای مختلف، در سرتاسر جهان صورت پذیرفته است. در این مطالعات از روشهای مختلفی همچون استفاده از مقاطع عرضی موازنه شده و به کارگیری نشانگرهای مختلف کرنش در مقیاس میکروسکوپی و مزوسکوپی استفاده شده است [۴، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۶، ۱۷، ۲۷]. [۲۷] با استفاده از مقاطع عرضی متعادل شده در کمربند راندگی بین کراتونی مرکز استرالیا میزان ۵۰ تا ۷۰ درصد کوتاه‌شدگی برای این منطقه تعیین نمود. [۸] در مطالعات صورت گرفته در کمربند چین-راندگی پیش بوم جنوب اورال مقدار کوتاه‌شدگی را معادل ۱۷ درصد محاسبه نمودند. [۹] در مطالعات صورت گرفته در ناحیه خارجی پیش بوم کوهزاد پیرنه میزان کوتاه‌شدگی را ۲۵ تا ۳۴ درصد تعیین نمودند. مطالعات صورت گرفته در پهنه زاگرس مرتفع و کمربند چین خورده-گسلی کردستان عراق میزان کوتاه‌شدگی در حدود ۱۱ تا ۱۵ درصد برآورد گردید [۱۰]. مطالعات انجام شده بر روی تاقدیس‌های بخیر و قره چوق در عراق میزان کوتاه‌شدگی را بترتیب ۲۶/۱ و ۱۸/۷ درصد نشان می‌دهد [۴]. در ناحیه زاگرس لرستان، میزان کوتاه‌شدگی در حدود ۲۵ درصد برآورد شده است [۷]. در ناحیه

فروافتادگی دزفول و پهنه ایزه میزان کوتاه‌شدگی ۱۳ درصد برآورد گردید [۲۷]. در ناحیه کمربند زاگرس چین‌خورده ساده (در شمال بندرعباس) مقادیر کوتاه‌شدگی معادل ۲۲ درصد محاسبه شد [۱۷]. در کمربند چین‌خورده - رانده زاگرس کمینه کوتاه‌شدگی با استفاده از بررسی مقاطع عرضی موازنه شده بین ۱۶ تا ۳۰ درصد تعیین گردید [۳]. تعیین مقادیر کوتاه‌شدگی با استفاده از مقاطع عرضی موازنه شده دارای محدودیتهایی است که ممکن است مقادیر محاسبه کوتاه‌شدگی مقادیری واقعی نباشند [۱۰]. تهیه مقاطع عرضی موازنه شده مستلزم تهیه نیمرخ‌های زمین‌شناسی 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 [۱۰]. مقاطع عرضی موازنه شده توانایی محاسبه کرنش پیکری در لایه‌های دگرشکل شده را نداشته و از این رو می‌توان اذعان داشت که مقادیر کوتاه‌شدگی محاسبه شده از طریق ترسیم مقاطع موازنه شده همواره نشان دهنده مقادیر کمینه کوتاه‌شدگی می‌باشد [۱۰، ۱۶]. در این مطالعه با استفاده از مقاطع لرزه‌ای عمود بر محور تاقدیس میدان نفتی کوپال به تحلیل سبک چین‌خوردگی و تحلیل مقادیر کرنش و کوتاه‌شدگی در بخش‌های مختلف افق آسماری در این ساختار تاقدیسی پرداخته شده است. با توجه به هزینه بر و زمان بر بودن روشهای ژئوفیزیکی جهت تشخیص مناطق با تخلخل شکستگی بالا و از آنجا که مناطق با کرنش و مقادیر کوتاه‌شدگی بالا عموماً دارای تراکم درزه و شکستگی بیشتری هستند از این رو استفاده از ویژگیهای ساختاری میادین تاقدیسی جهت تشخیص مناطق با کرنش بالا می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد.

۲- زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه

زاگرس یک منطقه دگرشکل شده خطی است [۱، ۲، ۵، ۶] که در راستای شمال خاور به جنوب باختر شامل سه بخش اصلی: کمربند ماگمایی ارومیه دختر، کمربند دگرگونی سنندج- سیرجان، و کمربند چین و رانده زاگرس با روند عمومی شمال باختر- جنوب خاور می‌باشد [۱، ۲]. ستون چینه‌شناسی زاگرس حدوداً شامل ۱۲ کیلومتر واحدهای سنگی فانروزوئیک بوده که بر روی پی سنگ پرکامبرین قرار گرفته است [۱، ۲۴، ۲۵، ۲۶]. این واحدهای سنگی تاریخچه پیچیده زمین‌ساختی این منطقه را در خود حفظ کرده و معرف تمام مراحل تکامل یک حوضه از فلات قاره غیرفعال تا کافت و در نهایت مراحل مختلف تغییر شکل در ارتباط با فرارانش افیولیت‌ها و برخورد قاره‌ای است [۲۴، ۲۵]. تکامل ساختاری و زمین‌ساختی کمربند کوهزایی زاگرس در نتیجه سه رخداد اصلی (آ) فرورانش پوسته اقیانوسی دریای تیتس جوان به زیر پوسته قاره‌ای ایران در طول کرتاسه پایینی، (ب) جاگیری و رورانش پوسته اقیانوسی تیتس 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]. کمربند چین و راندگی زاگرس یک زون ترافشارشی (transpression) است که در اثر برخورد بین صفحه سنگ کراهی آفریقا-عربی و خرد قاره ایران مرکزی با زاویه‌ای حدود ۲۵ درجه ایجاد شده است [۲۰]. این همگرایی در قسمت جنوب خاور تقریباً عمودی بوده و در قسمت شمال باختر از تمایل بیشتری برخوردار می‌باشد [۲۶، ۲۷]. بر پایه انباشته‌های نمکی سری هرمز، کمربند چین و راندگی زاگرس به دو بخش جنوب خاوری، یا «حوضه هرمز» و بخش شمال باختری، یا «حوضه اهواز» تقسیم می‌شود که مرز جدایی این دو، بر خطواره قطر-کازرون منطبق است [۵]. 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 لیگوسن- 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، ۱۵]. 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 خوردگی - های ملایم‌تری را نسبت به ساختارهای بخش‌های شمالی و زاگرس چین خورده نشان می‌دهند [۲۳]. این منطقه حداقل دارای ۴۵ میدان نفتی تاقدیسی با بیش از ۳۶۰ میلیارد بشکه نفت درجا، معادل هشت درصد ذخایر نفت جهان است [۴]. سامانه لایه‌بندی در این میدان‌های تاقدیسی دارای شکستگی‌های فراوان بوده که موجب افزایش کیفیت مخزنی شده است [۴، ۲۴]. اصلی‌ترین مخازن در این بخش شامل کربنات‌های الیگومیوسن آسماری و آهک‌های کرتاسه میانی گروه بنگستان و ژوراسیک-کرتاسه گروه خامی هستند [۲۴، ۲۵]. 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. میدان نفتی کوپال با موقعیت جغرافیایی $31^{\circ}10'$ تا $31^{\circ}32'$ عرض شمالی و $49^{\circ}8'$ تا $49^{\circ}27'$ طول خاوری در ۷۰ کیلومتری جنوب خاوری شهر اهواز در مجاورت میدان نفتی آغاجاری، و میدان نفتی مارون قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه تقسیمات ساختاری استان خوزستان و موقعیت میدان نفتی کوپال

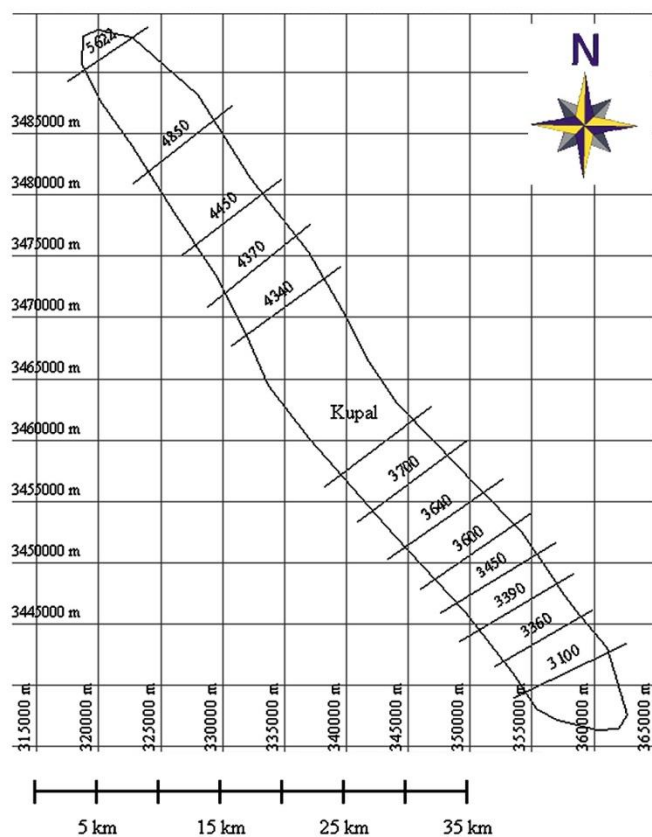
۳- روش کار

در این تحقیق با استفاده از ۱۳ مقطع عرضی لرزه‌ای تفسیر شده به بررسی برخی از پارامترهای سبک چین خوردگی در میدان نفتی تاقدیسی کوپال پرداخته شده است. در مقاطع مختلف مشخصات زاویه بین یالی و هندسه سطح محوری با استفاده از تحلیل‌های هندسی و استریوگرافی تعیین گردید. با به کارگیری مقادیر زاویه بین یالی و با استفاده از توابع تصویری، نسبت ابعادی ساختار تاقدیسی کوپال در بخش‌های مختلف محاسبه گردید. با استفاده از مقادیر زاویه انحراف سطح محوری از سطح قائم مقادیر زاویه برشی، کرنش برشی، پارامترهای مربع کشیدگی حداکثر و حداقل و نسبت کرنش در طول ساختار میدان تعیین گردید. همچنین با استفاده از تابع دوتایی کوتاه‌شدگی -نسبت کرنش، مقادیر کوتاه‌شدگی در طول مقاطع مختلف لرزه‌ای برآورد شد. در این پژوهش فرض بر این است که کوتاه‌شدگی عموماً در ارتباط با فرآیندهای

چین خوردگی بوده و فرآیندهای گسلش نقش اندکی در کوتاه‌شدگی منطقه‌ای داشته و مقادیر کوتاه‌شدگی پیش از چین خوردگی و کوتاه‌شدگی پیکری ناچیز است.

۴- سبک چین خوردگی تاقدیس کوپال

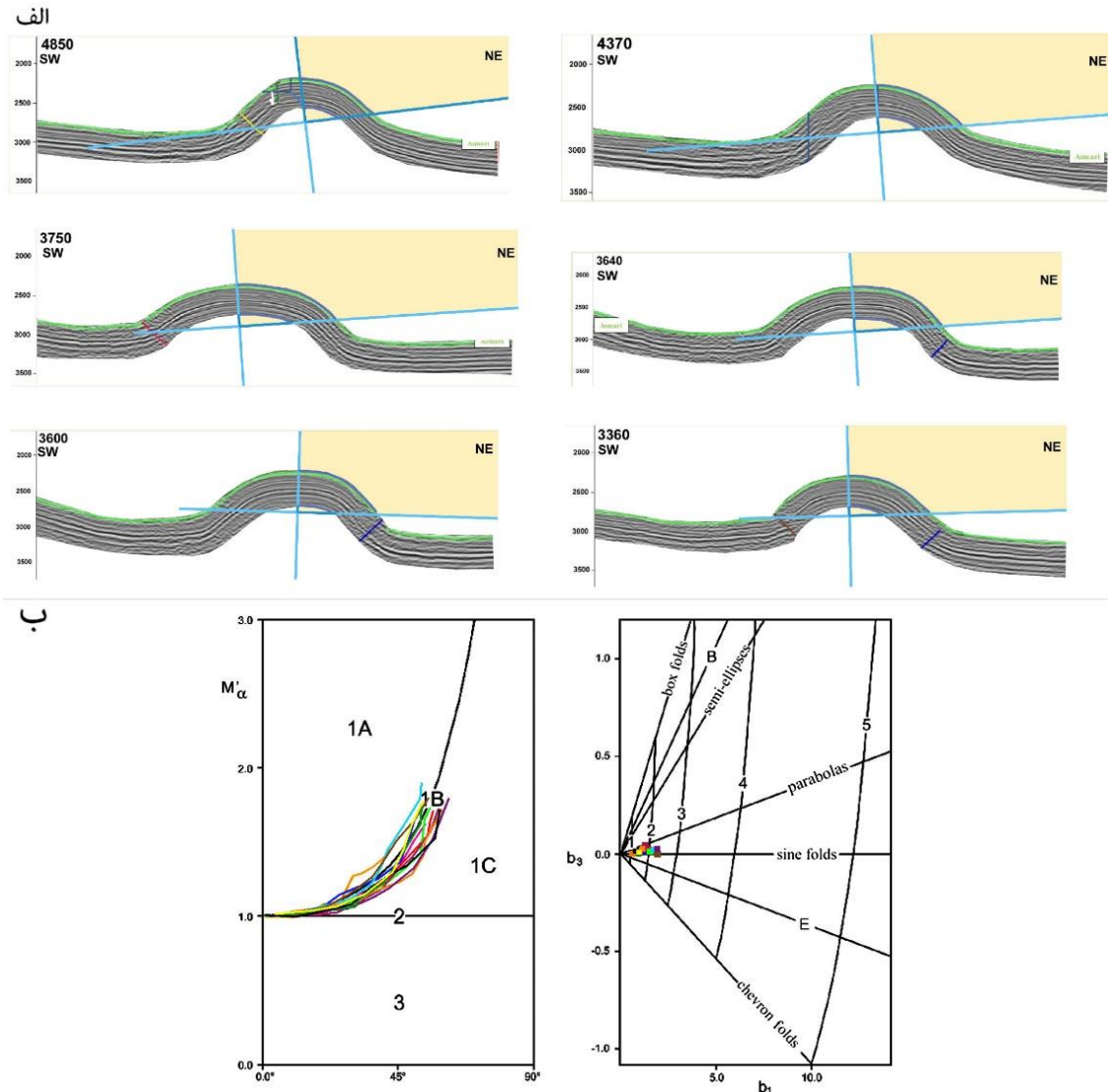
میدان نفتی کوپال یک تاقدیس زیر سطحی با طول تقریبی ۸۰ و عرض ۱۰ کیلومتر بوده که حداکثر ارتفاع چین در محل لولا دارای ارتفاع ۲۲۰۰- متر از سطح دریا می‌باشد. ضخامت واقعی سازند آسماری در این میدان در حدود ۴۵۰ متر اندازه‌گیری شده است [۱۵]. در تحلیل ساختاری و هندسی یک چین تعیین پارامترهایی همچون میزان استوانه‌ای بودن (Cylindricity)، تقارن (Asymmetry)، نسبت ابعادی (Aspect ratio)، تنگی (Tightness) و تیزی (Bluntness) بسیار با اهمیت می‌باشد [۲۸]. به گونه‌ای که با بررسی و تعیین پارامترهای فوق سبک چین خوردگی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. با استفاده از مقاطع لرزه‌ای به تفسیر هندسی و تعیین برخی عناصر سبک چین خوردگی در ساختمان این تاقدیس زیر سطحی پرداخته شده است. در این پژوهش از سیزده مقطع لرزه‌ای عرضی جهت بررسی‌های هندسی و تحلیل‌های کرنش در میدان نفتی کوپال استفاده شده است. شکل ۲ موقعیت و راستای مقاطع لرزه‌ای تهیه شده از میدان نفتی کوپال را نشان می‌دهد.



شکل ۲- موقعیت میدان کوپال به همراه موقعیت راستا و شماره مقاطع لرزه‌ای

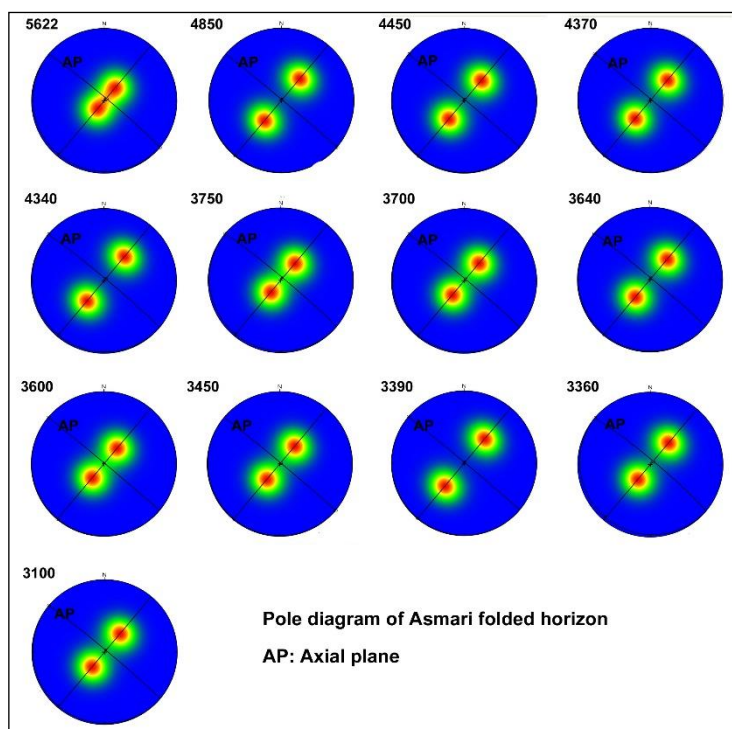
تاقدیس کوپال یک تاقدیس نامتقارن بوده که در بخش‌های مختلف دارای تمایل اندکی به سمت جنوب باختری و شمال خاوری می‌باشد. تحلیل‌ها بر اساس مقدار سطح انحناهای سطوح چین خورده در حد فاصل نقاط لولا و عطف چین نشان می‌دهد که تاقدیس کوپال با توجه به انحناهای تقریباً برابر سطوح چین خورده افق آسماری در گروه چین‌های کلاس 1B قرار داشته و بر اساس طبقه بندی فوریه در محدوده چین‌های سینوسی تا پارابولیک قرار می‌گیرد. جهت نمایش چند نمونه از تحلیل‌های صورت گرفته، نتایج حاصل در راستای مقاطع لرزه‌ای ۴۸۵۰، ۳۷۵۰، ۳۶۰۰، ۴۳۷۰، ۳۶۴۰ و ۳۳۶۰ توسط نرم

افزار Sta Tect ارائه شده است (شکل ۳ الف). همچنین شکل ۳ ب نتایج تحلیل‌های صورت گرفته برای تمام مقاطع لرزه‌ای در طول تاقدیس زیرسطحی میدان کوپال را نشان 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 اندازه‌گیری می‌شود [۲۸]. بر اساس مطالعات انجام شده تاقدیس کوپال با دارا بودن مقدار $b=0.45$ تا $b=0.7$ جزء چین‌های نیمه مدور می‌باشد.

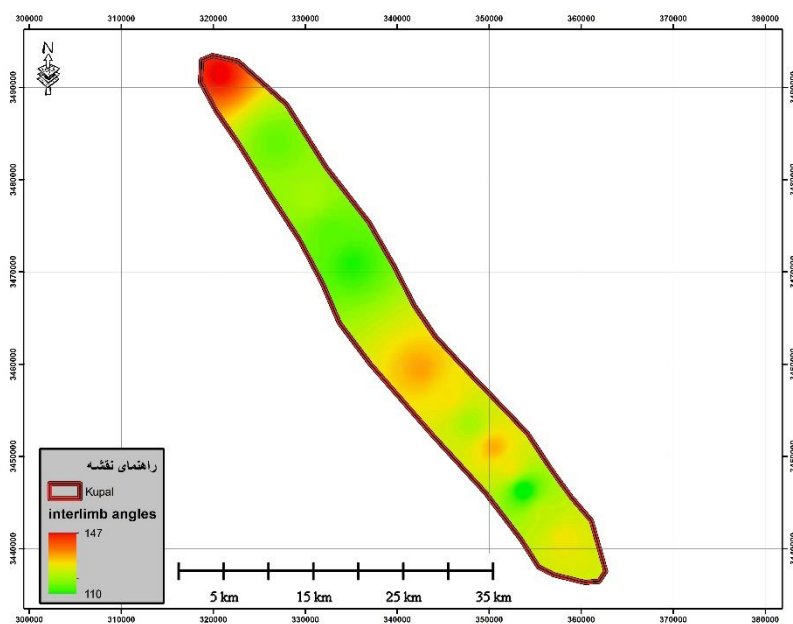


شکل ۳- الف) نمایش تحلیل سطح انحناهای سطوح چین خورده سطوح فوقانی و تحتانی افق آسماری برای چهار مقطع لرزه‌ای. ب) تحلیل رمزی و فوریه در مقاطع لرزه‌ای عمود بر محور تاقدیس کوپال با استفاده از نرم افزار sta tect

با استفاده از مقاطع لرزه‌ای و تعیین خطوط مماس بر سطح چین خورده در افق آسماری مقادیر زاویه بین یالی و موقعیت سطح محوری چین حاصل گردید. شکل ۴ تحلیل استریوگرافی افق چین خورده آسماری در مقاطع مختلف را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری زاویه بین یالی در بخشهای مختلف افق چین خورده آسماری نشان می‌دهد که یک چین با تنگی اندک بوده می‌دهد که دماغه‌های چین‌های ملایم تا باز قرار می‌گیرد. پهنه بندی تاقدیس کوپال بر اساس زاویه بین یالی نشان می‌دهد که دماغه‌های چین دارای بیشترین مقادیر زاویه بین یالی بوده و نیمه شمالی تاقدیس نسبت به بخش‌های جنوبی از زاویه بین یالی کمتری برخوردار است (شکل ۵).



شکل ۴- تحلیل استریوگرافی افق چین خورده آسماری در مقاطع مختلف. داده‌های موجود در شبکه نتیجه میانگین شیب یالهای شمالی و جنوبی افق آسماری در امتداد هر مقطع لرزه‌ای می‌باشد.



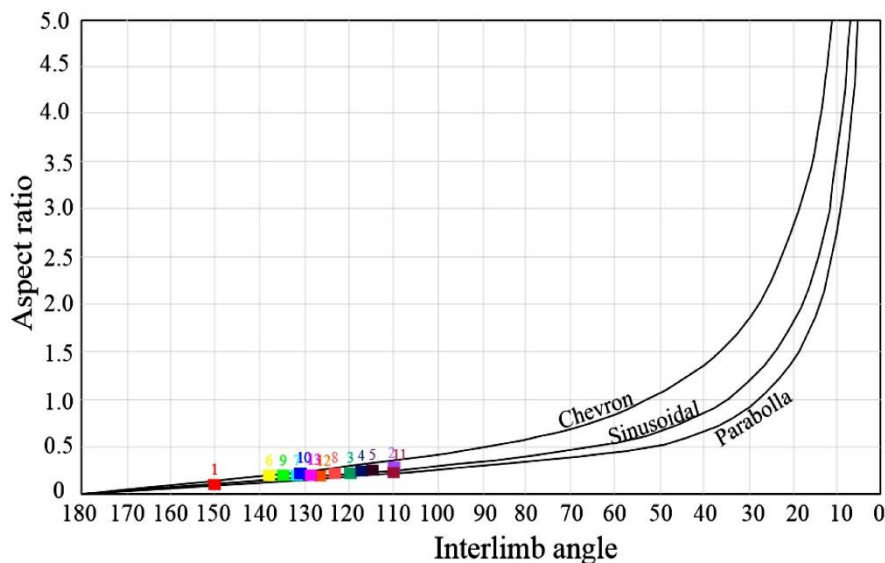
شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی تاقدیس میدان نفتی کوپال بر اساس زاویه بین یالی

بررسی هندسی اشکال مختلف سطوح چین خورده، سبب تعریف برخی روابط ریاضی بین پارامترهای زاویه بین یالی و نسبت ابعادی چین‌ها گشته است [۱۲]. به عنوان مثال در چین‌های جناغی رابطه ریاضی بین زاویه بین یالی و نسبت ابعادی چین به صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$i = 2 \arctan 1/2p$$

در این رابطه i زاویه بین یالی و p نسبت ابعادی چین (نسبت دامنه به نصف طول موج) می‌باشد. با استفاده از تحلیل ریاضی زاویه بین یالی و نسبت ابعادی چین خوردگیهای متفاوت، توابع تصویری مختلفی جهت تعیین مقادیر نسبت ابعادی چین

برای چین های جناغی، سینوسی و پارابولیک ارائه گردیده است. با استفاده از مقادیر زاویه بین یالی و با به کارگیری تابع تصویری زاویه بین یالی-نسبت ابعادی چین (شکل ۶)، مقادیر نسبت ابعادی تاقدیس کوپال در محدوده ۰/۱۵ تا ۰/۳۸ تعیین گردید. بر این اساس هندسه کلی تاقدیس کوپال در گروه چین های وسیع تا پهن قرار می گیرد.

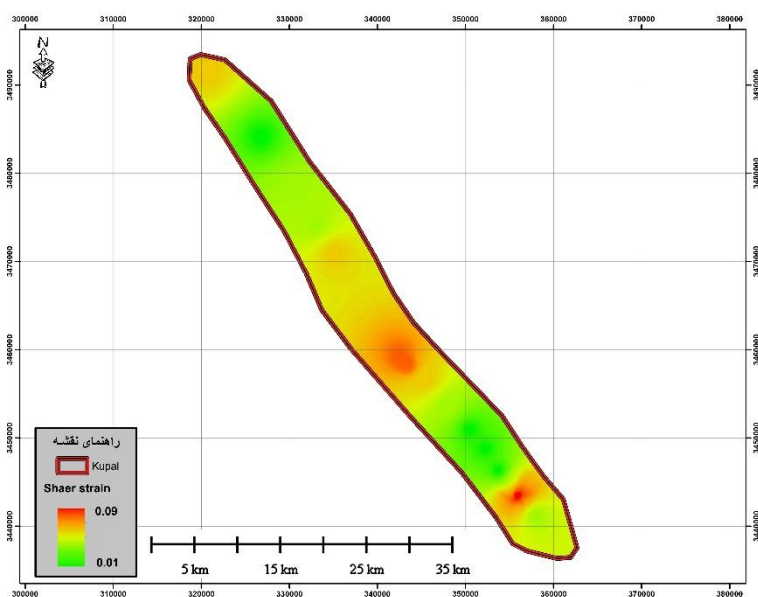


شکل ۶- تعیین مقادیر نسبت ابعادی تاقدیس کوپال با استفاده از مقادیر زوایای بین یالی با استفاده از تابع تصویری (Ghasemi et al., 2010)

۵- بحث

۵-۱- تحلیل کرنش و کوتاه شدگی در افق آسماری، تاقدیس کوپال

تعیین مقادیر کوتاه شدگی در بخش های مختلف کمربندهای کوهزایی یکی از موضوعات مورد علاقه زمین شناسان ساختاری می باشد. تعیین مقادیر کوتاه شدگی می تواند بعنوان کلیدی جهت شناخت و فهم مکانیزم های عمل کننده در توسعه دگرشکلی ها مورد استفاده قرار گیرد [۱۱، ۱۲، ۲۹]. در پهنه های دگرگونی استفاده از برخی نشانگرهای کرنش و به کارگیری روشهای مطالعات تاوایی جنبش شناختی (Kinematic vorticity) می تواند بعنوان ابزاری جهت برآورد مقادیر کوتاه شدگی در این پهنه ها مورد استفاده قرار گیرد [۱۴، ۱۹، ۲۱، ۲۲]. در پهنه های چین خورده استفاده از مقاطع عرضی موازنه شده یکی از روش های متداول جهت تعیین مقادیر کوتاه شدگی می باشد [۲، ۳، ۷، ۱۰، ۱۶]. در این پژوهش با استفاده از میزان رانش یا انحراف صفحه محوری از حالت قائم در مقاطع مختلف تاقدیس کوپال، به رهیافتی جهت تعیین زاویه برش (Ψ) و کرنش برشی (γ) 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. براساس 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 کوپال 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 ($\tan \Psi = \gamma$) [۱۸]. براساس تحلیل های استریوگرافی، نقشه پهنه بندی کرنش برشی در بخش های مختلف تاقدیس کوپال تهیه گردید (شکل ۷)، (جدول ۱). براین اساس میزان انحراف سطح محوری و مقادیر کرنش برشی در بخش های مختلف تاقدیس کوپال یکسان نبوده و مقادیر متفاوتی را نشان می دهد.



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی مقادیر کرنش برشی در بخش‌های مختلف تاکدیس کوپال

با استفاده از مقادیر کرنش برشی و با به کارگیری رابطه (۱) [۱۲] مقادیر حداکثر و حداقل مربع کشیدگی در راستای مقاطع مختلف محاسبه و بوسیله رابطه (۲) [۱۸] مقادیر نسبت کرنش در طول تاکدیس کوپال تعیین گردید.

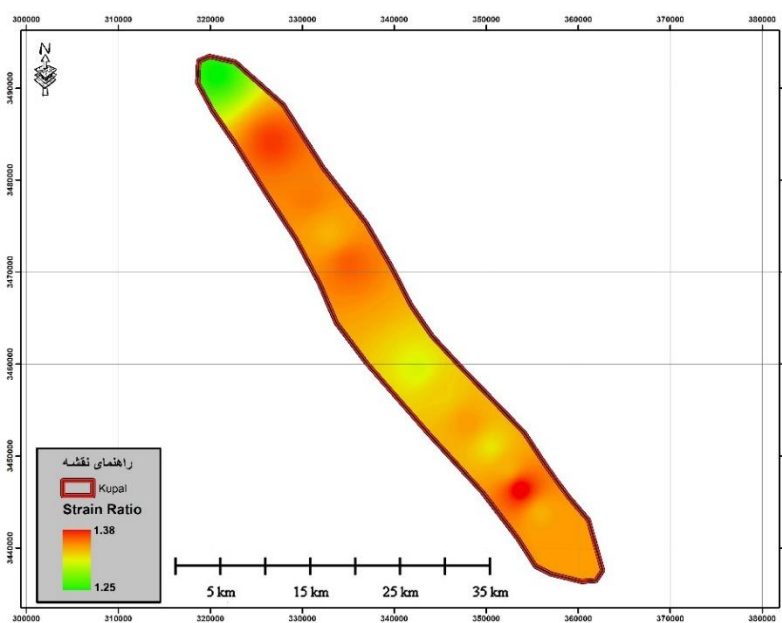
$$(۱) \lambda_1 \text{ or } \lambda_3 = 1/2 (\gamma^2 + 2 \pm \gamma(\gamma^2 + 4)^{1/2})$$

$$(۲) R^2 = \lambda_1 / \lambda_3$$

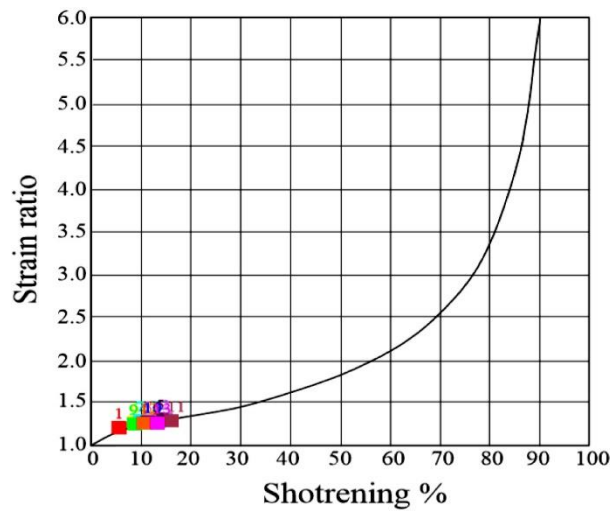
جهت تعیین مقادیر کوتاه شدگی با استفاده از رابطه (۳) می‌توان از مقادیر نسبت کرنش نیز بهره جست [۱۲].

$$(۳) e = (1/R^{0.5}) - 1$$

شکل (۸) نقشه پهنه‌بندی مقادیر نسبت کرنش در طول ساختار تاکدیس میدانی کوپال و جدول (۱) مقادیر عددی نسبت کرنش را نشان می‌دهد. همچنین با به کارگیری نمودار تصویری حاصل از رابطه (۳) مقادیر درصدی کوتاه‌شدگی در طول میدان تعیین گردید (شکل ۹)، (جدول ۱).

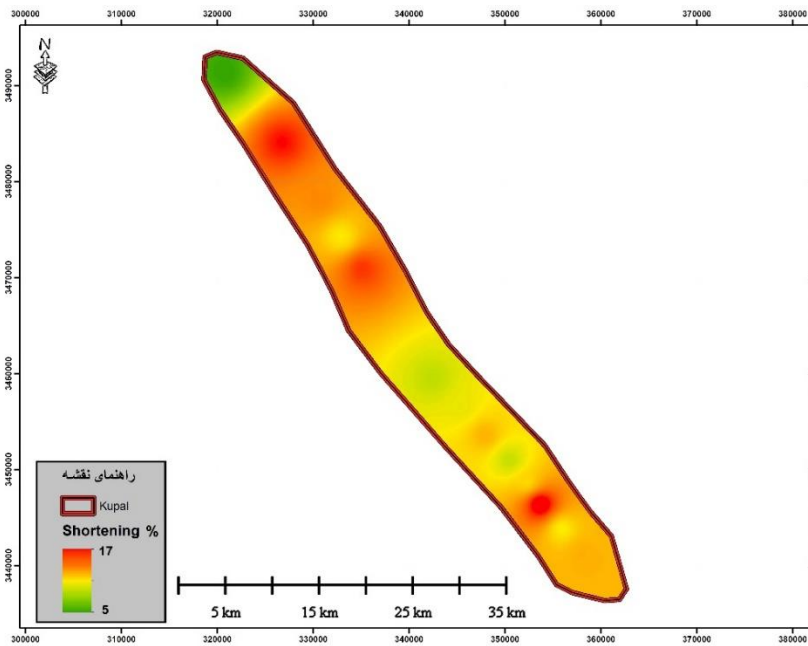


شکل ۸- نقشه پهنه بندی مقادیر نسبت کرنش در طول ساختار تاکدیس میدانی نفتی کوپال



شکل ۹- به کارگیری تابع تصویری نسبت کرنش- درصد کوتاه شدگی جهت تعیین مقادیر درصد کوتاه شدگی در مقاطع مختلف تاقدیس کوپال

نهایتاً بر اساس مقادیر تعیین شده درصد کوتاه شدگی، نقشه پهنه‌بندی درصد کوتاه شدگی در بخش‌های مختلف تاقدیس کوپال در افق آسماری تهیه گردید (شکل ۱۰)، (جدول ۱).



شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی مقادیر درصد کوتاه شدگی در افق آسماری میدان نفتی کوپال

جدول ۱- مقادیر عددی کرنش برشی، نسبت کرنش و درصد کوتاه شدگی در امتداد مقاطع لرزه‌ای مختلف

Seismic profile	Shear strain	Strain ratio	Shortening (%)
5622	0.03	1.25	5
4850	0.06	1.35	15
4450	0.01	1.33	13
4370	0.02	1.30	10
4340	0.03	1.26	6
3750	0.08	1.26	6
3700	0.07	1.29	9
3640	0.08	1.29	9
3600	0.05	1.28	7
3450	0.03	1.30	10
3390	0.09	1.38	17
3360	0.04	1.29	9
3100	0.03	1.30	10

۶- نتیجه گیری

از آنجا که در مطالعات سنگ مخزن میداین نفتی تعیین مناطق با کرنش بالا و تشخیص مناطق با تراکم شکستگی های بالا از اهمیت زیادی برخوردار می باشد و با توجه به هزینه بالا و زمان بر بودن انجام برخی روش های تخصصی همچون استفاده از نمودارهای تصویرگر لذا استفاده از ویژگیهای هندسی چین های زیرسطحی می تواند به تشخیصی کم هزینه و سریع از مناطق مستعد با تراکم شکستگی بالا منتهی گردد. تعیین مقادیر کوتاه شدگی به وسیله تهیه مقاطع عرضی زمین شناسی موازنه شده دارای محدودیتهایی می باشد. تهیه مقاطع عرضی موازنه شده مستلزم تهیه نیمرخ های 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 مشکل می شود. مقاطع عرضی موازنه شده توانایی محاسبه کرنش پیکری در لایه های دگرشکل شده را نداشته و از این رو می توان گفت که مقادیر کوتاه شدگی محاسبه شده از طریق ترسیم مقاطع موازنه شده همواره نشان دهنده مقادیر کمینه کوتاه شدگی می باشد. در این مطالعه با استفاده از مقاطع لرزه ای عمود بر محور تاقدیس میدان نفتی کوپال تغییرات مقادیر کرنش برشی، نسبت کرنش و مقادیر درصدی کوتاه شدگی در طول این تاقدیس مورد بررسی قرار گرفت. براساس تحلیل های صورت گرفته مقادیر زاویه بین یالی در سرتاسر تاقدیس کوپال یکسان نبوده و در دماغه های تاقدیس مقادیر زاویه بین یالی دارای بیشترین مقادیر بوده و در بخش های شمالی چین، مقادیر کمتری را نشان می دهد. میزان انحراف سطح محوری بعنوان معیاری جهت محاسبه زاویه برش و کرنش برشی به کار گرفته شد. براین اساس مقادیر کرنش برشی الگوی متفاوتی را در طول تاقدیس به نمایش می گذارند. تحلیل های کرنش و کوتاه شدگی در تاقدیس کوپال نشان دهنده مقادیر متفاوت نسبت کرنش و کوتاه شدگی در بخش های مختلف این تاقدیس می باشد. مقادیر نسبت کرنش بین ۱/۲۵ تا ۱/۳۸ و مقادیر درصدی کوتاه شدگی بین ۵ تا ۱۷ درصد در طول تاقدیس کوپال می باشد. بر اساس نقشه های پهنه بندی، بخش های شمال باختری تاقدیس مقادیر بالاتری از نسبت کرنش و کوتاه شدگی را به نمایش می گذارد.

قدردانی

بدین وسیله از حمایت های صورت گرفته توسط معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN: SCU.EG1401.341) و بخش پژوهشی شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب در انجام این پژوهش کمال تشکر و قدردانی به عمل می آید. همچنین از داوران مقاله آقای دکتر بهزاد زمانی قره چمنی (دانشیار دانشگاه تبریز)، خانم دکتر سعیده کشاورز (استادیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان) تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

- [1] ALAVI, M., 1994, Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretation. *Tectonophysics*, **229**, 211–238.
- [2] ALAVI, M., 2004, Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran, and its proforeland evolution. *American Journal of Science* **304**, 1–20.
- [3] ALAVI, M., 2007, Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American journal of science*, vol. **307**, 1064-1095.
- [4] AL-AZZAWI N. K. 2008, Local Shortening of Folds and Detachment Surface Depth with Examples from the Foreland Belt of Iraq. *Iraqi Journal of Earth Sciences- Vol. 8. No. 1- May*
- [5] BERBERIAN, M., 1995, Master 'blind' thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, *Tectonophysics*, **241**, 193–224.

- [6] BERBERIAN, M., KING, G.C.P., 1981, Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* **18**, 210–265.
- [7] BLANCE, E.J.P., ALLEN, M.B., INGER, S., HASSANI, H., 2003, Structural styles in the Zagros Simple Folded Zone, Iran. *J. Geol. Soc.* **160**, 401–412. doi:10.1144/0016-764902-110.
- [8] BROWN, D., ALVAREZ - MARRON, J., PEREZ - ESTAFIN, A., GOROZJANIN, Y., BARYSHEVA, V., PUCHKOV, V., 1997, Geometric and kinematic evolution of the foreland thrust and fold belt in the southern Urals. *Tectonics*, VOL. **16**, NO. 3, PAGES 551-562, JUNE 1997.
- [9] ESPURT, N., HIPPOLYTE, J.C., SAILLARD, M., BELLIER, O., 2012, 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*, VOL. **31**, TC4021, doi:10.1029/2011TC002988.
- [10] FREHNER, M.D., GRASEMANN, B., 2012, Mechanical versus kinematical shortening reconstructions of the Zagros High Folded Zone (Kurdistan region of Iraq), *Tectonics*, **31**, TC3002, doi:10.1029/2011TC003010.
- [11] FOSSEN, H., 2016, *Structural Geology*. Cambridge University Press.
- [12] GHASSEMI, M. R., SCHMALHOLZ, S. M., GHASSEMI, A. R., 2010, Kinematics of constant arc length folding for different fold shapes. *Journal of Structural Geology* . **32** (2010) 755e765.
- [13] IMBER J, PERRY T, JONES R, WIGHTMAN RH 2012, Do cataclastic deformation bands form parallel to lines of no finite elongation (LNFE) or zero extension direction? *Journal of Structural Geology*. 45:158–172.
- [14] KESHAVARZ, S., FAGHIH, F., 2020, 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*. **109**, 421–438.
- [15] KODABAKHSHNEZHAD, A., ARIAN, M., POURKERMANI, M., 2015, Folding mechanism in the Asmari anticline, Zagros, Iran, *Open Journal of Geology*, **5**, 197-208.
- [16] MCQUARRIE, N., 2004, Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology* **26**, 519–535.
- [17] MOLINARO, M., ZEYEN, H., LAURENCIN, X., 2005, Lithospheric structure beneath the southeastern Zagros Mountains, Iran: Recent slab break-off? *Terra Nova* **17**, 1–6. doi:10.1111/j.1365-3121.2004.00575.x.
- [18] RAMSAY, JG, HUBER, MI., 1983, *The techniques of modern structural geology, 1: strain analysis*. Academic Press, London.
- [19] SAMANI, B., 2017, Deformation flow analysis and symmetry of Goushti shear zone, Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, Iran. *Geopersia*. **7**, 117-130.
- [20] SARKARINEJAD, K., AZIZI, A., 2008, Slip partitioning and inclined dextral transpression along the Zagros Thrust System, Iran. *Journal of Structural Geology*, **30**: 116–136.
- [21] SARKARINEJAD, K, SAMANI, B, FAGHIH, A, GRASEMANN, B, MORADIPOOR, M., 2010, 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*, **38**:34-43.
- [22] SARKARINEJAD, K., KESHAVARZ, S., FAGHIH, A., SAMANI, B., 2017, Kinematic analysis of rock flow and deformation temperature of the Sirjan thrust sheet, Zagros Orogen, Iran. *Geological Magazine*. **154**, 147–165.
- [23] SHERKATI, S., LETOUZEY, J., FRIZON DE LAMOTTE, D., 2006. Central Zagros fold-thrust belt (Iran): new insights from seismic data, field observation, and sandbox modeling. *Tectonics* 25, TC4007. doi:10.1029/2004TC001766.
- [24] SHERKATI, S., MOLINARO, M., FRIZON DELAMOTTE, D., LETOUZEY, J., 2005, Detachment folding in the Central and Eastern Zagros fold-belt (Iran): salt mobility, multiple detachments and late basement control. *Journal of Structural Geology*. **27**,1680–1696.
- [25] STOCKLIN, J., 1968, Structural history and tectonics of Iran, a review, *A. A. P. G. Bull.*, **52**(7), PP. 1229-1258.

- [26] TALEBIAN, M., JACKSON, J., 2004, A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran. *Geophysics*. **156**, 506–526.
- [27] TEYSSIRE, C., 1985, A crustal thrust system in an intracratonic tectonic environment. *Journal of Structural Geology*. Vol **7**. No 6, pp. 689 to 700.
- [28] TWISS, R.G., MOORES, E.M., 2007, *Structural geology*, Freeman and Company, New York.
- [29] VERNANT, P., CHERY, J., 2006, Mechanical modeling of oblique convergence in the Zagros, Iran. *Geophysics*. **165**, 991–1002.

Strain and shortening analyses in the Asmari horizon, Kupal oil field, Khuzestan province

Babak Samani^{1*}, Mina Parvin¹, Abbas Charchi¹, Mohammad Hossein Heidarifard²

1- Associate professor, Faculty of Earth science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2- M.Sc., Faculty of Earth science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3- Assistant professor, Faculty of Earth science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

4- Assistant professor, National Iranian South Oil Company, Ahvaz, Iran

*b.samani@scu.ac.ir

Received: May 2024, Accepted: July 2024

Abstract

Kupal Oil Field is one of the important oil fields in the Zagros Basin, located in the eastern part of the Dezful embayment, adjacent to Aghajari Oil Field and Marun Oil Field. Some characteristics of the fold elements, such as the fold interval angle and fold axial surface, were determined in the Asmari folded horizon using the interpreted seismic profiles. Based on the deviation of the axial surface from the vertical surface and determination of shear angle and shear strain, minimum and maximum quadratic stretch and strain ratio (R) values were calculated in different parts of the anticline. With application of graphical functions the amounts of fold aspect ratio were determined along the anticline. Base on the results, the amounts of shear strain varies from 0.01 to 0.09 in deferent parts of anticline. Also results show the amounts of strain ratio in range of 1.25 to 1.38 and shortening about 5% to 17% in different parts of the kupal anticline oil field.

Key words: Dezful embayment, Kupal oil field, Fold aspect ratio, Strain ratio, Shortening