

تحلیل هندسی چین و مقادیر کمی واتنش با استفاده از مقاطع لرزه ای تراز شده (مطالعه موردی میدان نفتی کوپال)

بابک سامانی^{۱*}، یعقوب جلیلی شاه منصوری^۲، نگار ملایی^۳

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

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

۳-کارشناس ارشد نکتونیک، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

b.samani@scu.ac.ir*

دریافت اردیبهشت ۱۴۰۴، پذیرش شهریور ۱۴۰۴

چکیده

در این پژوهش با استفاده از مقاطع لرزه‌ای تفسیر شده، به بررسی ماهیت هندسی چین و مقادیر کمی واتنش در افق کربناته آسماری در میدان نفتی کوپال پرداخته شده است. بدین منظور تعداد سیزده مقطع لرزه‌ای از میدان نفتی کوپال مورد ارزیابی قرار گرفت. با استخراج افق کربناته آسماری از هر مقطع لرزه‌ای، داده‌های اولیه جهت بررسی هندسی سبک چین و تحلیل‌های واتنش آماده گردید. بررسی عناصر سبک چین در افق آسماری میدان نفتی کوپال نشان دهنده یک چین نامتقارن با زاویه بین یالی ۱۱۰ تا ۱۴۷ درجه (چین ملایم تا باز) و نسبت ابعادی ۰/۱۵ تا ۰/۳۸ (چین وسیع تا پهن) و نسبت تیزی ۰/۴۵ تا ۰/۷ (چین نیمه مدور) می باشد. به منظور تعیین مقادیر کوتاه شدگی و مقادیر نسبی واتنش با به کارگیری هوش مصنوعی، هر یک از مقاطع لرزه‌ای تراز شد و مقادیر طول اولیه افق آسماری تعیین گردید. نتایج نشان دهنده مقادیر کوتاه شدگی متفاوت در بخش‌های مختلف تاقدیس می باشد. مقادیر کوتاه شدگی در محدوده ۲/۶۷ تا ۸/۶۵ درصد و مقادیر نسبت واتنش در محدوده ۱/۰۵ تا ۱/۱۹ محاسبه گردید.

واژه های کلیدی: مقطع لرزه ای، مقطع تراز شده، نسبت ابعادی چین، نسبت واتنش، درصد کوتاه شدگی

۱- مقدمه

مطالعه هندسه چین ها و بررسی عناصر سبک چین به زمین شناسان در فهم فرایندهای زمین شناسی و تاریخچه زمین ساختی مناطق دگرشکل شده کمک می کند. از آنجا که خصوصیات هندسی چین ها مستقیماً تحت تاثیر جهت گیری و مقادیر تنشهای موجود در پوسته زمین قرار می گیرد با بررسی و شناخت دقیق هندسه چین ها می توان به اطلاعات ارزشمندی از وضعیت تنش و واتنش در مناطق مختلف دست یافت. مطالعه ریخت ساختاری چین ها به ویژه در مناطق کوهستانی جوان می تواند در شناخت خصوصیات زمین ساخت پویا بسیار کارگشا باشد. شکل هندسی و ویژگیهای ساختاری چین ها به گونه ای است که ممکن است مواد معدنی مختلف به شکل ذخایر عظیمی در این ساختارها تجمع یابند [۴، ۱۰]. بسیاری از ساختارهای مرتبط با چین خوردگیها همچون درزها و شکستگی ها در تجمع و هدایت سیالهایی همچون آب، نفت و گاز نقش بسزایی بازی می کنند. معمولاً شکستگی ها و گسل های مرتبط با چین خوردگیها در بخش هایی با تمرکز واتنش بالاتر تشکیل می شوند. با توجه به عدم شناخت مستقیم وضعیت شکستگی ها در بسیاری از مطالعات زیرسطحی و یا هزینه بر بودن بسیاری از روش های ژئوفیزیکی، استفاده از راهکارهایی که بتوان مناطق با سطوح واتنش متفاوت را تعیین نمود بسیار مفید خواهد بود. بررسی و تعیین مقادیر کمی واتنش یکی از مباحث مهم جهت فهم چگونگی الگوی واتنش در قسمت های مختلف و دگرشکل شده پوسته زمین می باشد. به کارگیری روش های مختلف در تعیین مقادیر واتنش، زمین شناسان را قادر می سازد تا به تعیین مقادیر کمی واتنش در نواحی دگرشکل شده بپردازند. استفاده از داده های قابل برداشت در صحرا و داده های استخراج شده از نقشه ها و مقاطع لرزه ای، اولین گام در به کارگیری روش های تعیین مقادیر کمی واتنش می باشد. در مناطق دگرشکل شده محصول نهایی دگرشکلی مورد بررسی قرار گرفته و مقادیر کمی واتنش در آخرین مرحله از دگرشکلی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در صورتیکه نیاز باشد تا تغییرات مقادیر واتنش در هر لحظه از زمان در بخش های مختلف یک ساختار مورد بررسی قرار گیرد استفاده از مدل سازیهای آزمایشگاهی و عددی امری اجتناب ناپذیر بوده و تحلیل های واتنش پیشرونده صورت می پذیرد. فرایند تحلیل های عددی واتنش، بر پایه یافتن عناصری است که بتوان از آنها بعنوان نشانگر در اندازه-گیریهای واتنش استفاده نمود. روشهای متفاوتی بوسیله محققین مختلف جهت برآورد مقادیر کمی واتنش در سنگهای دگرریخت شده ارائه شده است [۹، ۱۷، ۳۱، ۱۹، ۲۱]. تهیه و استفاده از مقاطع عرضی موازنه شده در بسیاری از مناطق چین خورده یکی از متداول ترین روشهای مطالعات واتنش می باشد که توسط بسیاری از زمین شناسان ساختاری مورد استفاده قرار گرفته است [۱۲، ۳۰، ۲۷، ۱۶، ۷، ۱۱، ۸]. در تحلیل های واتنش، جهت تعیین مقادیر کمی واتنش استفاده از توابع ریاضی امری متداول می باشد. از آنجا که استفاده از برخی روابط و توابع ریاضی بسیار دشوار و نیازمند مهارت ریاضی و صرف زمان زیادی می باشد در دهه های اخیر استفاده از برخی توابع تصویری به عنوان روشی سریع و ساده در تحلیل های واتنش مورد استفاده بسیاری از محققین زمین شناسی قرار گرفته است [۲۴، ۴۲، ۱۳، ۲۲، ۳۵، ۳۸، ۱۸، ۲۱، ۳۲]. در بسیاری موارد می توان با استفاده از نشانگرهای مختلف مانند قلوه سنگ ها، الیت ها و فسیل های دگرشکل شده، الگوی جهت یابی محور C کانی کوآرتز و برخی ساختارهای سطحی و زیرسطحی، مقادیر عددی واتنش را محاسبه نمود. تاکنون مطالعات متعددی جهت برآورد

بابک سامانی، یعقوب جلیلی شاه منصوری، نگار ملایی

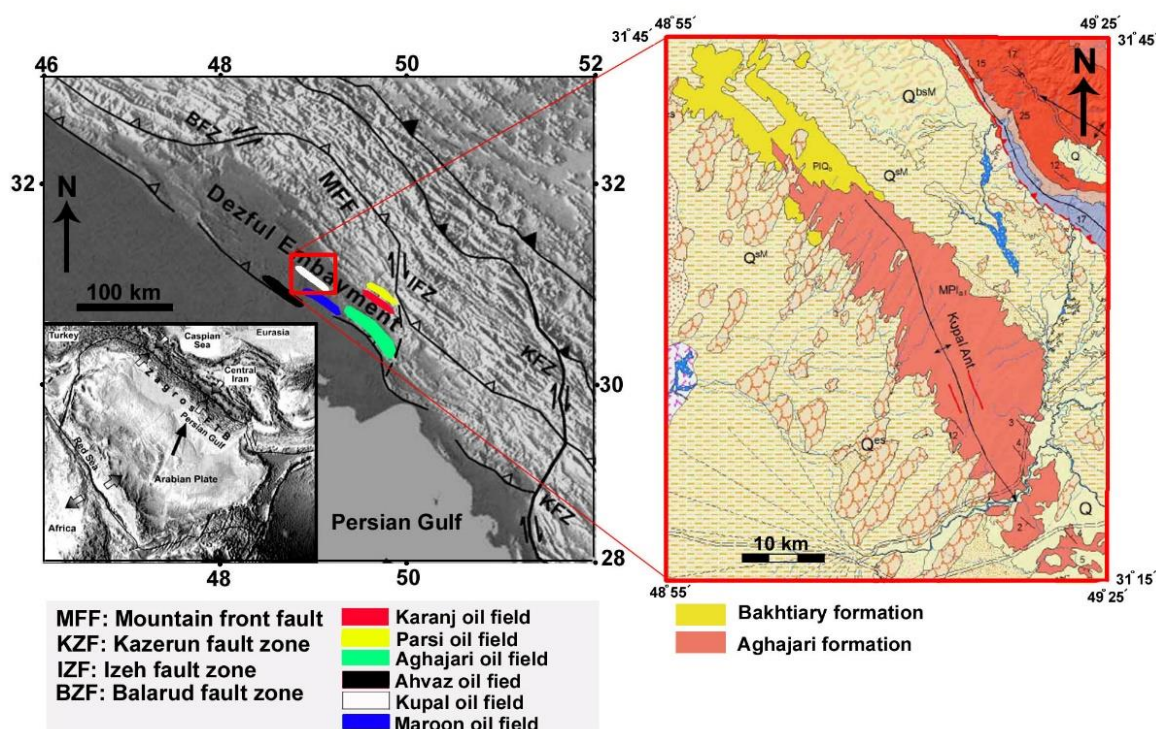
مقادیر کمی واتنش در بخش‌های مختلف پوسته زمین صورت پذیرفته است. در این مطالعات از روش‌های مختلفی همچون استفاده از کانیه‌های دگرشکل شده کوارتز در پهنه‌های برشی و استفاده از نشانگرهایی همچون قلوه‌های دگرشکل شده کنگلومرا، فسیل‌های دگرشکل شده [۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۴۷، ۴۸، ۴۹، ۵۰] و نیز به کارگیری مقاطع عرضی موازنه شده استفاده شده است [۴۸، ۴۹، ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۴]. با توجه به اهمیت درک ویژگی‌های هندسه چین در میدان نفتی کوپال و شناخت الگوی واتش و کوتاه شدگی به عنوان عواملی تاثیرگذار در میزان استحصال مواد هیدروکربنی در این مطالعه ویژگی‌های هندسی و عناصر سبک چین در افق آسماری میدان نفتی کوپال مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با استفاده از مقاطع لرزه‌ای تفسیر شده، مقاطع موازنه شده از افق آسماری در بخش‌های مختلف تاق‌دیس میدان نفتی کوپال تهیه گردید. با برآورد مقادیر طول اولیه و نهایی افق چین خورده، مقادیر پارامترهای واتنش و کوتاه شدگی در بخش‌های مختلف تاق‌دیس مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- زمین ساخت و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

کمر بند کوهستانی زاگرس بخشی از کوهزاد آلپ-همالیا بوده که در حاشیه شمال شرقی صفحه سنگ‌کره‌ای آفریقا-عربی قرار گرفته است [۴۶، ۴۷، ۴۸، ۴۹]. کمر بند کوهزایی زاگرس در نتیجه بسته شدن اقیانوس نئوتتیس، فروانش پوسته اقیانوسی به زیر خرده قاره ایران مرکزی و برخورد قاره-قاره از زمان کرتاسه پسین تا ترشیری شکل گرفته است [۴۴، ۴۵، ۴۶]. زاگرس یک منطقه دگرشکل شده خطی است [۴۴، ۴۵، ۴۶] که در راستای شمال شرق به جنوب غرب شامل سه بخش اصلی: کمر بند ماگمایی ارومیه دختر، کمر بند دگرگونی سنندج- سیرجان، و کمر بند چین و رانده زاگرس با روند عمومی شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد [۲۹، ۲۷]. ستون چینه شناسی زاگرس حدوداً شامل ۱۲ کیلومتر واحدهای سنگی فانروزوئیک بوده که بر روی پی سنگ پرکامبرین قرار گرفته است [۷، ۱۰، ۱۵، ۱۴]. 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 فرانش افیولیت‌ها و برخورد قاره‌ای است [۴۶، ۴۷، ۴۸]. کمر بند چین و راندگی زاگرس یک زون ترافشارشی است که در اثر برخورد بین صفحه سنگ کره‌ای آفریقا-عربی و خرد قاره ایران مرکزی با زاویه‌ای حدود ۲۵ تا ۴۵ درجه ایجاد شده است [۴۷، ۳۷، ۳۳]. این همگرایی در قسمت جنوب خاور دارای زاویه بزرگتری بوده و در قسمت شمال باختر از مقدار زاویه همگرایی کاسته می‌شود [۴۷، ۴۸]. [۵] بر پایه انباشته‌های نمکی سری هرمز، کمر بند 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 قطر-کازرون منطبق است. منطقه مطالعاتی در پهنه ساختاری فروافتادگی دزفول واقع شده است. فروافتادگی دزفول (Dezful Embayment) یک منطقه ساختمانی در جنوب غربی کمر بند چین و راندگی زاگرس می‌باشد [۴۰]. در این منطقه سازند آهکی آسماری (مخزن اصلی نفت) فاقد رخنمون بوده و با افزایش ضخامت رسوبات ترشیری نسبت به ناحیه فارس و لرستان مشخص می‌شود [۴۰]. این منطقه با وسعت شصت هزار کیلومتر مربع در حدود ۸٪ از ذخایر هیدروکربنی

تحلیل هندسی چین و مقادی ر کمی واتنش با استفاده از مقاطع لرزه ای...

کل دنیا را شامل می شود [۸]. منطقه ساختمانی فروافتادگی دزفول حدود ۲۲ میدان نفتی از جمله میادین اهواز، مارون، کوپال، آغاجاری، کرنج، پارسی و زیلایی را در بر می گیرد. شواهد زمین شناسی حاکی از آن است که این فروافتادگی بصورت یک واحد ساختاری مجزا بین سه پدیده مهم ساختاری قرار گرفته است. این فروافتادگی از شمال بوسیله منطقه گسلی و چپگرد بالارود (BFZ)، از شرق و شمال شرق بوسیله گسل اصلی پیشانی کوهستان (MFF) و از جنوب شرق بوسیله منطقه گسلی و راستگرد کازرون (KFZ) احاطه شده است (شکل ۱). فروافتادگی دزفول نسبت به هر کدام از این عوامل ساختاری دارای فروافتادگی بین ۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر بوده و تقریباً از وسط بوسیله منطقه گسلی ایذه (IFZ)، با راستای شمالی-جنوبی به دو ناحیه شمالی و جنوبی تقسیم شده است. عناصر ساختاری فوق مرتبط با فرایند تکوین پوسته و نتیجه عملکرد گسله های پی سنگی می باشند [۴۰]. میدان نفتی کوپال در فاصله ۷۰ کیلومتری شمال شرقی اهواز یک میدان نفتی تاقدیسی بوده و در سطح زمین شامل بیرون زدگی واحدهای ماسه سنگی آغاجاری و کنگلومرای بختیاری می باشد. (شکل ۱).



شکل ۱- جایگاه زمین ساختی فرو افتادگی دزفول و نقشه زمین شناسی میدان نفتی کوپال.

۳- روش کار

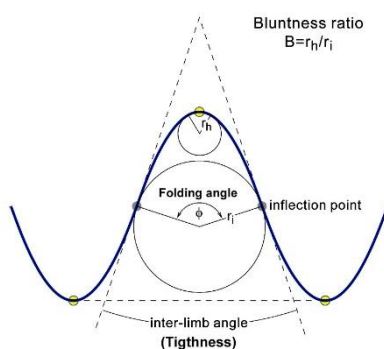
در این پژوهش با به کارگیری مقاطع لرزه ای تفسیر شده عرضی و با استفاده از اندازه گیری های هندسی و تحلیل های استریوگرافی عناصر سبک چین در افق آسماری میدان نفتی کوپال مورد بررسی قرار گرفته است. در هر مقطع لرزه ای با استفاده از الگوی خطوط هم شیب و هندسه کمائی سطوح چین خورده و به کارگیری نرم افزار StaTect، تحلیل زمیری و

بابک سامانی، یعقوب جلیلی شاه منصوری، نگار ملایی

فوریه در افق چین خورده آسماری صورت پذیرفت. به منظور محاسبه پارامترهای واتنش و مقادیر درصد کوتاه شدگی با استفاده از هوش مصنوعی به تهیه مقاطع لرزه ای موازنه شده از افق آسماری در بخش های مختلف تاقدیس میدان نفتی کوپال اقدام گردید. با محاسبه طول مقطع، پیش از چین خوردگی و بعد از چین خوردگی اطلاعات اولیه جهت تحلیل های واتنش حاصل گردید. روش مورد استفاده در این پژوهش قابلیت اندازه گیری مقادیر کوتاه شدگی پیش از چین خوردگی و کوتاه شدگی پیکری سنگ در حین چین خوردگی را نداشته از این رو مقادیر کوتاه شدگی و نسبت واتنش محاسبه شده در این مطالعه مقادیر کمینه این پارامترها را ارائه خواهند نمود. نهایتاً نمودارها و نقشه های پهنه بندی مکانی پارامترهای واتنش در طول میدان نفتی کوپال ترسیم و مورد تحلیل قرار گرفت.

۴-تحلیل عناصر سبک چین

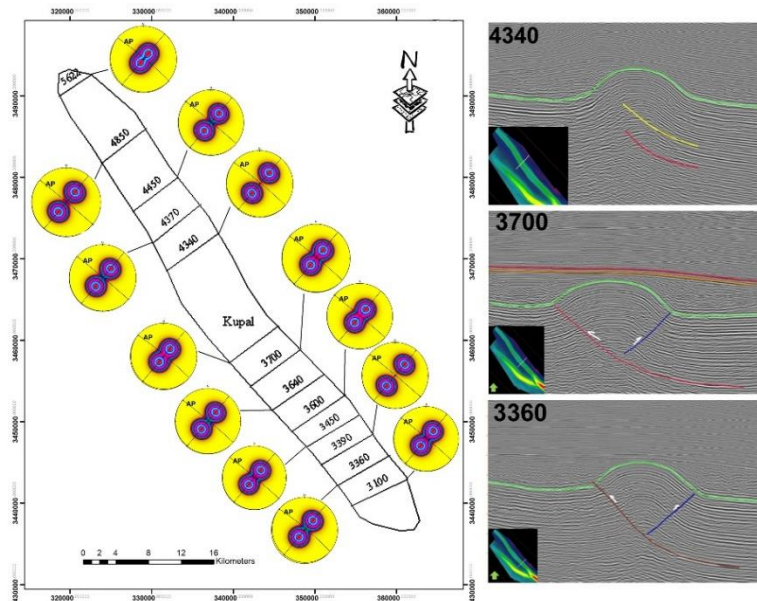
سبک چین مجموعه ای از شاخص ها را در بر می گیرد که شکل چین را توصیف می کنند. محققین مختلف شاخص های خاصی را توصیف کرده اند که در تشریح هندسی و فهم چگونگی توسعه چین ها بسیار مفید است [۱۸، ۱۹، ۴۹، ۳۲]. زاویه چین خوردگی (Folding angle)، زاویه بین یالی یا تنگی (Interlimb angle or Tightness)، درجه استوانه ای بودن (Cylindricity)، تقارن (Symmetry)، تیزی (Bluntness) و نسبت ابعادی (Aspect ratio) مهمترین شاخص های سبک چین برای سطوح چین خورده می باشند. زاویه چین خوردگی، زاویه بین خطوط عمود بر مماسهایی است که از نقاط عطف می گذرند (زاویه $\emptyset$) و زاویه بین یالی یا تنگی چین، زاویه بین خطوط مماس بر نقاط عطف چین می باشد (زاویه i) (شکل ۲). زاویه چین خوردگی و زاویه بین یالی مکمل یکدیگر هستند ($i=180-\emptyset$). درجه استوانه ای بودن چین میزان نزدیکی یک چین به حالت استوانه ای را نشان داده و معمولاً بوسیله تحلیل های استریوگرافیکی قابل بحث می باشد. درجه تقارن چین بوسیله زاویه انحراف بین نیمساز زاویه چین خوردگی و سطح میانی تعیین می شود [۱۸، ۴۹]. این زاویه برای چین های متقارن برابر با ۹۰ درجه و برای چین های نامتقارن مقداری غیر از ۹۰ درجه می باشد. تیزی چین، نسبت شعاع انحنا در محل بستگی چین (rh) به شعاع انحنا بر مماس های چین در نقطه عطف (ri) و نسبت ابعادی چین، نسبت دامنه به نصف طول موج چین می باشد (شکل ۲).



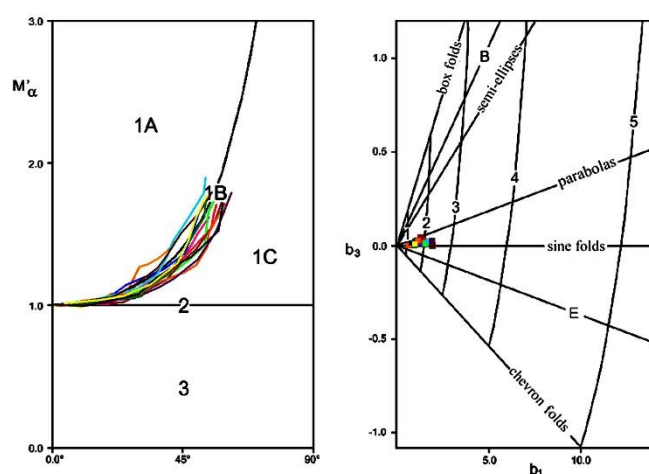
شکل ۲- نمایش عناصر زاویه چین خوردگی، زاویه بین یالی و تیزی چین [۱۸].

تحلیل هندسی چین و مقادی ر کمی واتنش با استفاده از مقاطع لرزه ای...

بررسی هندسه سطح محوری بوسیله تحلیل استریوگرافی شیب لایه ها در مقاطع مختلف نشان می دهد که تاقدیس کوپال در امتداد محور خود هندسه یکسانی نداشته و در گروه تاقدیس های نامتقارن قرار می گیرد (شکل ۳). تاقدیس کوپال در بخش های مختلف دارای تمایل اندکی به سمت جنوب باختری و شمال خاوری می باشد. تحلیل ها بر اساس مقدار سطح انحنا ی سطوح چین خورده در حد فاصل نقاط لولا و عطف چین نشان می دهد که تاقدیس کوپال با توجه به انحنا ی تقریباً برابر سطوح چین خورده افق آسماری در گروه چین های کلاس 1B قرار داشته و بر اساس طبقه بندی فوریه در محدوده چین های سینوسی تا پارابولیک قرار می گیرد (شکل ۴).



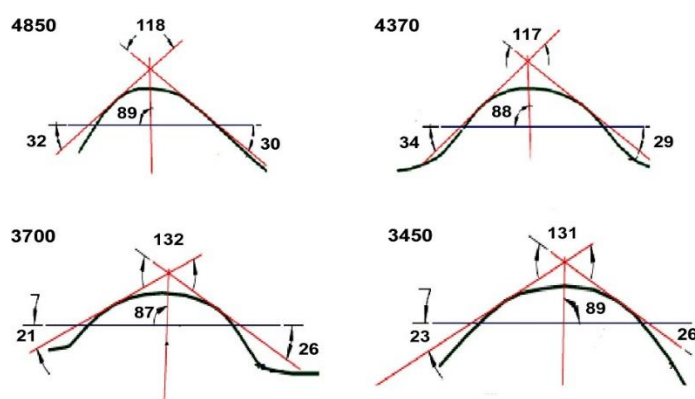
شکل ۳- راستای مقاطع لرزه ای، مقاطع لرزه ای ۴۳۴۰، ۳۷۰۰ و ۳۳۶۰ به همراه استریوگرام های هندسه سطح چین در امتداد عمود بر محور تاقدیس.



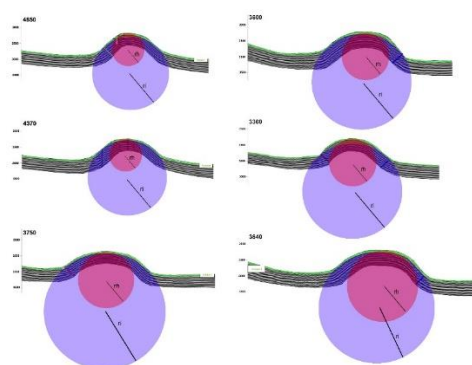
شکل ۴- تحلیل رمزی و فوریه در مقاطع لرزه ای عمود بر محور تاقدیس کوپال [۲۶].

بابک سامانی، یعقوب جلیلی شاه منصوری، نگار ملایی

بررسی های صورت گرفته بر روی مقاطع لرزه ای جهت تعیین زاویه چین خوردگی و زاویه بین یالی نشان می دهد که مقادیر زاویه چین خوردگی بین ۷۰ تا ۳۳ درجه و زاویه بین یالی در محدوده ۱۱۰ تا ۱۴۷ درجه قرار می گیرد. اندازه گیری های صورت گرفته برای مقاطع ۴۸۵۰، ۴۳۷۰، ۳۷۰۰ و ۳۴۵۰ در شکل ۵ نمایش داده شده است. بر اساس مقادیر زاویه بین یالی تاقدیس کوپال در محدوده چین های ملایم تا باز قرار دارد. به منظور بررسی پارامتر تیزی چین، نسبت شعاع انحنا در محل بستگی چین (rh) به شعاع انحنا بر مماس های چین در نقطه عطف (ri) اندازه گیری گردید. شکل ۶ اندازه گیری پارامتر تیزی چین برای شش مقطع لرزه ای را نشان می دهد. مقادیر پارامتر تیزی در محدوده ۰/۴۵ تا ۰/۷ تعیین گردید. بر اساس مقادیر بدست آمده برای پارامتر تیزی چین این ساختار تاقدیسی در محدوده چین های تقریباً مدور (Subrounded) قرار می گیرد.



شکل ۵- تعیین مقادیر زاویه بین یالی در افق چین خورده آسماری

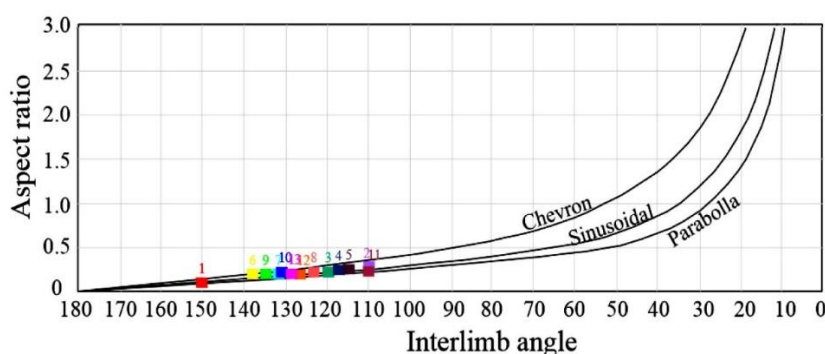


شکل ۶- تعیین مقادیر پارامتر تیزی چین در افق چین خورده آسماری

با استفاده از شکل هندسی سطوح چین خورده و انجام تحلیل های ریاضی می توان برای چین خوردگیهای مختلف بین برخی عناصر سبک چین ایجاد ارتباط نمود. به عنوان مثال در چین های جناغی بین زاویه بین یالی و نسبت ابعادی چین رابطه زیر حاکم می باشد [۱۹].

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

در این رابطه i زاویه بین یالی و p نسبت ابعادی چین (نسبت دامنه به نصف طول موج) می باشد. با استفاده از تحلیل ریاضی زاویه بین یالی و نسبت ابعادی چین خوردگیهای مختلف، توابع تصویری جهت تعیین مقادیر نسبت ابعادی چین برای چین های جناغی، سینوسی و پارابولیک ارائه گردیده است [۱۹]. با استفاده از مقادیر زاویه بین یالی و با به کارگیری تابع تصویری زاویه بین یالی-نسبت ابعادی چین (شکل ۷)، مقادیر نسبت ابعادی ناقدیس کوپال در محدوده ۰/۱۵ تا ۰/۳۸ تعیین گردید. بر این اساس هندسه کلی ناقدیس کوپال در گروه چین های وسیع تا پهن قرار می گیرد.

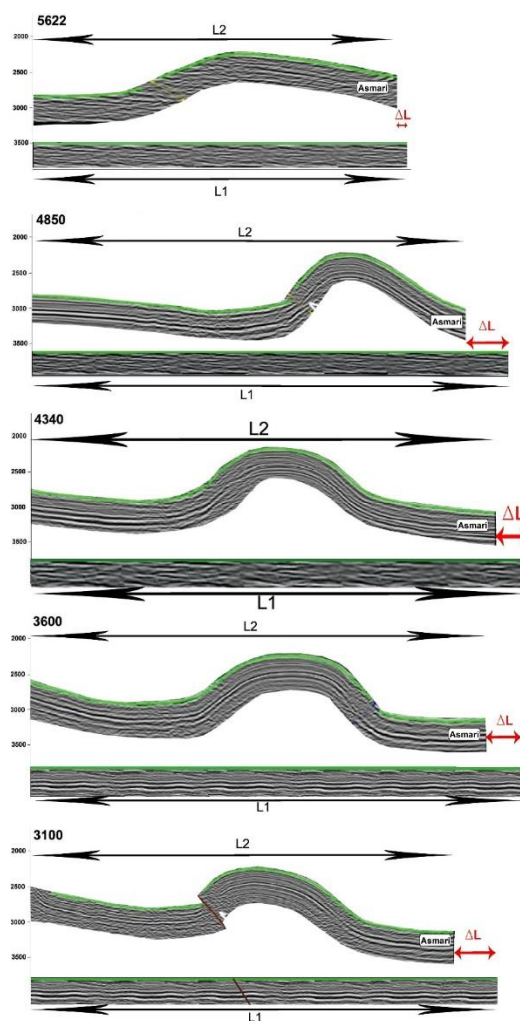


شکل ۷- تعیین مقادیر نسبت ابعادی ناقدیس کوپال با استفاده از مقادیر زوایای بین یالی با استفاده از تابع تصویری [۱۹].

۵-مقاطع عرضی موازنه شده

مقاطع عرضی موازنه شده یکی از ابزارهای مهم در تحلیل های ساختاری جهت بازسازی هندسی وضعیت اولیه لایه ها پیش از دگرشکلی می باشند [۵۰، ۲۰، ۱۸]. در تهیه مقاطع عرضی موازنه شده حفظ ضخامت لایه ها و همبستگی و پیوستگی ساختارها بسیار مهم می باشد. مقاطع عرضی موازنه شده علاوه بر ایجاد یک درک مناسب از چگونگی تکامل ساختاری، در انجام تحلیل های واتنش و طراحی مدل های زمین شناسی سه بعدی کاربرد بسیاری دارند [۵۰، ۴۵]. با استفاده از مقاطع موازنه شده امکان ارزیابی میزان کوتاه شدگی در کمربندهای چین و رانده شده فراهم گردیده و این اطلاعات در بازسازی تکامل زمانی و ژئودینامیکی گذشته پوسته زمین و سیستم های غالب زمین ساختی مورد استفاده قرار می گیرند. در ترسیم مقاطع عرضی موازنه شده استفاده از داده های سطحی، نقشه های زمین شناسی، مقاطع زمین شناسی و داده های لرزه ای ضروری است [۵۰، ۲۶]. تعیین مقادیر کوتاه شدگی با استفاده از مقاطع عرضی موازنه شده دارای محدودیت هایی است که ممکن است مقادیر محاسبه کوتاه شدگی مقادیری واقعی نباشند [۱۶، ۲۵]. 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 چالش می شود [۱۶، ۲۵]. در این پژوهش با استفاده از مقاطع لرزه ای تفسیر شده به تهیه مقاطع لرزه ای موازنه شده اقدام گردید. به منظور برآورد مقادیر پارامترهای واتنش و کوتاه شدگی تعداد سیزده مقطع لرزه ای مورد

بابک سامانی، یعقوب جلیلی شاه منصوری، نگار ملایی
 استفاده قرار گرفت. با توجه به عدم دسترسی به داده‌های سه بعدی و داده‌های درون چاهی جهت تدقیق ویژگیهای هندسی و ساختاری سطوح فوقانی و تحتانی افق آسماری، فرض بر صحت و قابل اعتماد بودن نیمرخ‌های دو بعدی صورت پذیرفت. از هر مقطع لرزه‌ای بخش افق آسماری تفکیک گردید و با استفاده از نرم افزار AutoCAD و با به کارگیری هوش مصنوعی مقاطع لرزه‌ای موازنه شده در افق آسماری تهیه گردید (شکل ۸). در ابتدا با ارائه یک عنصر خطی ساده و چین خورده و درخواست موازنه، به مدل آموزش داده شد. با مقایسه نتیجه و تکرار روند موازنه سازی عناصر خطی، و حصول اطمینان از آموزش مناسب مدل، مقاطع لرزه‌ای موازنه شده برای لایه چین خورده در افق آسماری حاصل گردید. با توجه به دقت بالای مقاطع لرزه‌ای و آشکار شدن جزئیات ساختاری می‌توان دقت بالایی برای مقاطع لرزه‌ای موازنه شده نسبت به مقاطع عرضی موازنه شده حاصل از نیمرخ‌های زمین شناسی متصور شد. با تهیه مقاطع لرزه‌ای موازنه شده اندازه گیری طول مقطع در افق آسماری، قبل از چین خوردگی و دگرشکلی امکان پذیر بوده و با در دست بودن طول مقطع در حالت بعد از دگرشکلی، محاسبه پارامترهای واتنش و کوتاه شدگی امکان پذیر خواهد بود.



شکل ۸- تهیه مقاطع لرزه‌ای موازنه شده در طول مقاطع لرزه‌ای ۵۶۲۲، ۴۸۵۰، ۴۳۴۰، ۳۶۰۰ و ۳۱۰۰

۶- بحث

فرآیندهای چین خوردگی، گسل خوردگی و کوتاه شدگی همگن به موازات لایه بندی سه مکانیزم متداول برای ایجاد وانتش و کوتاه شدگی در کمربندهای کوهزایی می باشند [۱۱]. در کمربندهای چین خورده استفاده از مقاطع عرضی موازنه شده یکی از روش های متداول جهت تعیین مقادیر کوتاه شدگی می باشد [۱، ۲، ۷، ۲۷، ۱۶]. تاکنون مطالعات متعددی جهت برآورد میزان کوتاه شدگی در کوهزادهای مختلف، در سرتاسر جهان صورت پذیرفته است. [۱۱] با استفاده از مقاطع عرضی متعادل شده در کمر بند راندگی بین کراتونی مرکز استرالیا میزان ۵۰ تا ۷۰ درصد کوتاه شدگی برای این منطقه تعیین نمود. [۸] در مطالعات صورت گرفته در کمر بند چین-راندگی پیش بوم جنوب اورال مقدار کوتاه شدگی را معادل ۱۷ درصد محاسبه نمودند. [۱۲] 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 کمر بند چین خورده-گسلی کردستان عراق میزان کوتاه شدگی در حدود ۱۱ تا ۱۵ درصد برآورد گردید [۱۶]. مطالعات انجام شده بر روی تاق دیس های بخیر و قره چوق در عراق میزان کوتاه شدگی را بترتیب ۲۶/۱ و ۱۸/۷ درصد نشان می دهد [۳]. در ناحیه زاگرس لرستان، میزان کوتاه شدگی در حدود ۲۵ درصد برآورد شده است [۷]. در ناحیه فروافتادگی دزفول و پهنه ایزه میزان کوتاه شدگی ۱۳ درصد برآورد گردید [۴۱]. در ناحیه کمر بند زاگرس چین خورده ساده (در شمال بندرعباس) مقادیر کوتاه شدگی معادل ۲۲ درصد محاسبه شد [۳۰]. در کمر بند چین خورده - رانده زاگرس کمینه کوتاه شدگی با استفاده از بررسی مقاطع عرضی موازنه شده بین ۱۶ تا ۳۰ درصد تعیین گردید [۲]. بر اساس ویژگیهای ریخت زمین ساختاری بزرگ مقیاس و استفاده از مقاطع زمین شناسی موازنه شده میزان کوتاه شدگی افقی در عرض کمر بند چین- راندگی زاگرس چندان زیاد نبوده و در نواحی فارس و لرستان میزان کوتاه شدگی افقی در حدود ۶۷ و ۵۷ کیلومتر می باشد و بخش اعظم کوتاه شدگی افقی در نتیجه لغزش ها و خزش های غیر لرزه ای بر روی سطوح گسلی جبران می شود [۲۷]. در مدل سازی مکانیکی چین خوردگی ها، میزان و توسعه نسبت ابعادی چین و کوتاه شدگی افقی کلی با مقدار ویسکوزیته لایه ها در ارتباط می باشد. مقدار ویسکوزیته کمتر باعث کوتاه شدگی و ضخیم شدگی بیشتر لایه و مقدار نسبت ویسکوزیته بیشتر باعث کوتاه شدگی و ضخیم شدگی کمتر لایه می شود [۳۹]. از این رو مدل های چین خوردگی چند لایه ای با توجه به تفاوت رفتاری لایه های مختلف پیچیدگی های بیشتری داشته و مقادیر متفاوت نسبت وانتش و کوتاه شدگی را برای هر لایه می توان انتظار داشت. از این جهت در این مطالعه به بررسی نسبت وانتش و مقادیر کوتاه شدگی افق آسماری در تاق دیس میدان نفتی کوپال پرداخته شده است. همچنین به دلیل تفاوت در ماهیت ویژگی های ساختاری و عدم وجود شباهت ساختاری در بخش های مختلف یک منطقه دگر شکل شده، مقاطع موازنه شده در بخش های مختلف، مقادیر کوتاه شدگی یکسانی را نشان نخواهند داد و احتمالاً میانگینی از نتایج بدست آمده می تواند بعنوان معیاری از میزان کل کوتاه شدگی مورد توجه قرار گیرد. اندازه گیری پارامترهای مختلف وانتش و محاسبه مقادیر کوتاه شدگی بر اساس مقاطع لرزه ای موازنه شده مقادیر متفاوتی از وانتش و کوتاه شدگی را در بخش های مختلف افق آسماری در تاق دیس میدان نفتی کوپال ارائه می دهد. پس از موازنه شدن مقاطع لرزه ای، برخی از پارامترهای وانتش همچون کشیدگی (S)

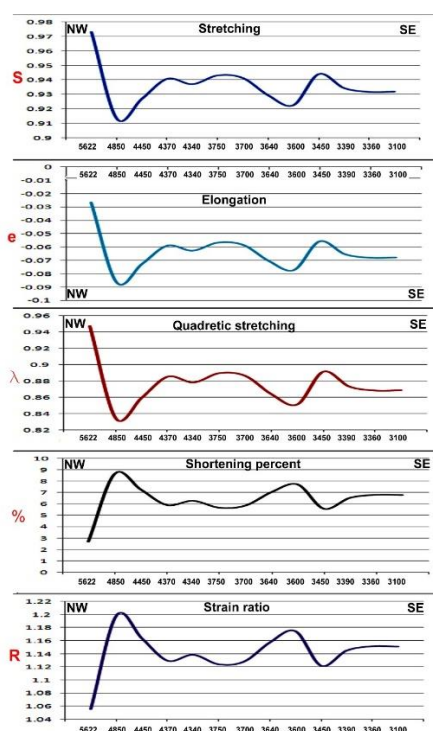
بابک سامانی، یعقوب جلیلی شاه منصوری، نگار ملایی

($L2/L1$)، طولیل شدگی ($e = \Delta L/L1$)، مربع کشیدگی ($\lambda = s^2$)، درصد کوتاه شدگی و نسبت واتنش ($R = 1/(1-e)^2$) در امتداد مقاطع مختلف محاسبه گردید (جدول ۱).

جدول ۱- مقادیر پارامترهای واتنش در امتداد مقاطع لرزه ای موازنه شده در میدان نفتی کوپال

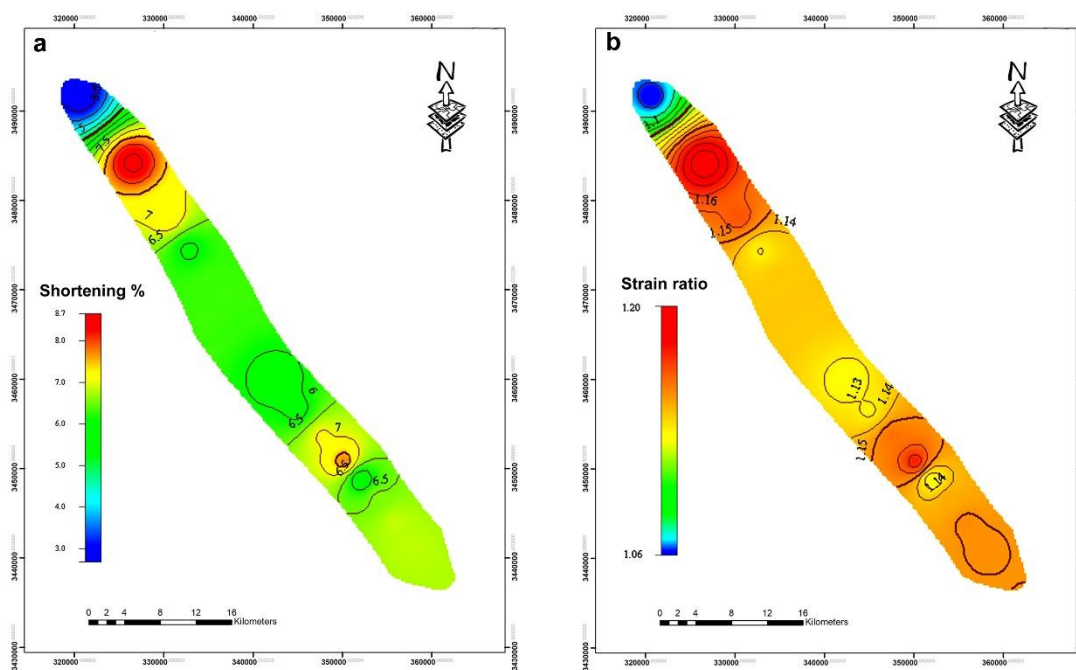
Profile no	L1	L2	Stretching (s)	Elongation (e)	λ	Shortening	R (Strain ratio)
5622	11.95	11.63	0.973	-0.026	0.947	2.677	1.055
4850	15.25	13.93	0.9134	-0.086	0.834	8.655	1.198
4450	14.39	13.34	0.927	-0.072	0.859	7.296	1.163
4370	14.54	13.68	0.940	-0.059	0.885	5.914	1.129
4340	15.9	14.9	0.937	-0.062	0.878	6.289	1.138
3750	14.61	13.78	0.943	-0.056	0.889	5.681	1.124
3700	14.84	13.97	0.941	-0.058	0.886	5.862	1.128
3640	17.72	16.47	0.929	-0.070	0.863	7.054	1.157
3600	15.77	14.55	0.922	-0.077	0.8512	7.736	1.174
3450	14.13	13.34	0.944	-0.055	0.891	5.590	1.121
3390	15.11	14.12	0.934	-0.065	0.873	6.551	1.145
3360	14.67	13.67	0.931	-0.068	0.868	6.816	1.151
3100	14.56	13.57	0.932	-0.067	0.868	6.799	1.151

شکل ۹ نمودارهای مرتبط با تغییرات پارامترهای واتنش را نشان می‌دهد. همچنین به منظور درک بهتر از تغییرات مکانی مقادیر درصد کوتاه شدگی و نسبت واتنش نقشه پهنه بندی این پارامترها در امتداد تاقدیس میدان نفتی کوپال ترسیم گردید (شکل ۱۰).



شکل ۹- نمودار تغییرات مقادیر پارامترهای واتنش در امتداد تاقدیس میدان نفتی کوپال

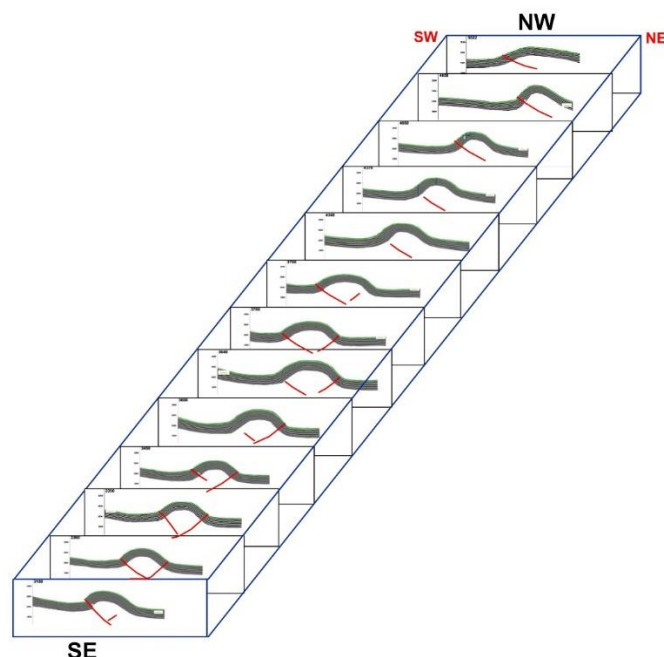
نتایج نشان می دهد که مقادیر کوتاه شدگی و نسبت واتنش در بخش های مختلف تاقدیس میدان نفتی کوپال یکسان نبوده و مقادیر متفاوتی را نشان می دهد. مطالعات صورت گرفته در تاقدیس میدان نفتی کوپال حاکی از آن است که این میدان دارای پیچیدگی های ساختاری فراوانی بوده و یک مدل جنبشی مشخص را نمی توان جهت تکامل آن در نظر گرفت.



شکل ۱۰- نمودار تغییرات مقادیر پارامترهای واتنش در امتداد تاقدیس میدان نفتی کوپال

مکانیزم های جدایش گسلی، توسعه گسلی، گسلش راندگی-پس راندگی از مهمترین مکانیزم های پیشنهاد شده برای تکامل ساختاری این تاقدیس می باشند [۲۸].

بررسی ماهیت گسلش بر روی مقاطع لرزه ای عرضی، نشان دهنده وجود دو سیستم گسلش راندگی در یال جنوبی (پیش راندگی) و یال شمالی (پس راندگی) در شکل گیری تاقدیس میدان نفتی کوپال می باشد. تظاهر این گسل ها و هندسه آنها در همه مقاطع لرزه ای یکسان نبوده و تاثیرگذاری گسل بر افق آسماری در مقاطع مختلف متفاوت می باشد (شکل ۱۱). احتمالاً عملکرد مکانیزم های مختلف چین خوردگی و تفاوت های جانبی در رفتار مکانیکی افق آسماری را بتوان به عنوان مهمترین عوامل در مقادیر متفاوت کوتاه شدگی و واتنش در بخش های مختلف تاقدیس به شمار آورد. به عنوان مثال مکانیزم چین خوردگی کمانش (Buckling) به واسطه اعمال کوتاه شدگی پیش از چین خوردگی، کوتاه شدگی بیشتری را نسبت به مکانیزم های خمش (Bending) یا انتشار گسلی (Fault propagation fold) در چین خوردگی ها به وجود خواهد آورد [۲۷، ۴۰]. همچنین گسل های تکامل دهنده چین می توانند بخش زیادی از کوتاه شدگی پیکری را به صورت لغزش بر روی خود مستهلک نمایند [۲۷].



شکل ۱۱- نمایش هندسه متفاوت گسل خوردگی و تاثیر متفاوت گسلش در تکامل ساختاری در تاکدیس میدان نفتی کوپال

۷- نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از مقاطع لرزه‌ای عمود بر محور تاکدیس میدان نفتی کوپال، و ایجاد مقاطع لرزه‌ای موازنه شده پارامترهای سبک چین، نسبت واتنش و مقادیر درصدی کوتاه شدگی در افق آسماری در طول این تاکدیس مورد بررسی قرار گرفت. بررسی الگوی هندسی چین نشان می‌دهد که تاکدیس کوپال در امتداد محور خود هندسه یکسانی نداشته و بر اساس هندسه سطح محوری در گروه تاکدیس‌های نامتقارن قرار می‌گیرد. مقادیر زاویه بین یالی (۱۱۰ تا ۱۴۷ درجه) نشان می‌دهد که تاکدیس کوپال در محدوده چین‌های ملایم (Gentle) تا باز (Open) قرار دارد. طبق مقادیر بدست آمده برای پارامتر تیزی چین (۰/۴۵ تا ۰/۷) ساختار تاکدیس در محدوده چین‌های تقریباً مدور (Subrounded) قرار می‌گیرد. مقادیر نسبت ابعادی تاکدیس کوپال در محدوده ۰/۱۵ تا ۰/۳۸ تعیین گردید. بر این اساس هندسه کلی تاکدیس کوپال در گروه چین‌های وسیع (Broad) تا پهن (wide) قرار می‌گیرد. با توجه به مقادیر انحناى سطوح چین خورده در حد فاصل نقاط لولا و عطف چین، تاکدیس کوپال طبق تقسیم بندی فوریه در محدوده چین‌های سینوسی تا پارابولیک قرار داشته و با توجه به انحناى تقریباً برابر سطوح چین خورده و یکنواختی ضخامت حقیقی لایه چین خورده در گروه چین‌های کلاس 1B قرار می‌گیرد. به منظور اندازه گیری کمی مقادیر کوتاه شدگی و نسبت واتنش مقاطع لرزه‌ای موازنه شده تهیه گردید. بوسیله تعیین مقادیر طول اولیه و پیش از چین خوردگی مقادیر کوتاه شدگی در محدوده ۲/۶۷ تا ۸/۶۵ درصد و مقادیر نسبت واتنش در محدوده ۱/۰۵ تا ۱/۱۹ محاسبه گردید. احتمالاً مقادیر متفاوت کوتاه شدگی و نسبت واتنش در بخش‌های مختلف تاکدیس

میدان نفتی کوپال در ارتباط با تفاوتهای جانبی در رفتار مکانیکی افق آسماری و عملکرد مکانیزمهای متفاوت چین خوردگی می باشد.

قدردانی

بدین وسیله از حمایت های صورت گرفته توسط معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN: SCU.EG1402.341) کمال تشکر و قدردانی به عمل می آید. همچنین از داوران مقاله آقای دکتر بهمن سلیمانی (استاد دانشگاه شهید چمران اهواز) و خانم دکتر سعیده کشاورز (استادیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان) تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

- [1] ALAVI, M., 2004, Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran, and its proforeland evolution. American Journal of Science **304**, 1–20.
- [2] ALAVI, M., 2007, Structures of the zagros fold-thrust belt in Iran. American journal of science **307**, 1064-1095.
- [3] 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
- [4] ALIPOUR, M., ALIZADEH, B., MIRZAI, S. 2022, Petroleum system analysis of the Paleozoic series in the Fars Platform of Iran. Journal of Petroleum Sciences and Engineering, **208**, 109557.
- [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] BORDENAVE, M.L., HEGRE, J.A. 2005, The influence of tectonics on the entrapment of oil in the Dezful Embayment, Zagros Foldbelt, Iran. Journal of Petroleum Geology, **28**(4), 339–368.
- [9] BREDDIN, H. 1956, Die tektonische Deformation der Fossilien im Rheinischen Schiefergebirge. Zeitschrift Deutsche Geologische Gesellschaft, **106**, 227–305.
- [10] BURTON, Z.F.M., DAFOV, L.N. 2023, Salt Diapir-driven recycling of gas hydrate. Geochem. Geophys. Geosyst., **24**, e2022GC010704.
- [11] DIXON, J.M., LIU, S. 1992, Centrifuge modelling of the propagation of thrust faults. In: McClay, K.R. (Ed.), Thrust Tectonics, Chapman & Hall, London, 53–69.
- [12] ESPURT, N., HIPPOLYTE, J.C., SILLARD, 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.
- [13] FAGHIH A., DEHGHAN M., SOBHANI S.S., 2023, Study of deformation pattern and kinematic characteristics in the Gelmandeh metamorphic complex, Saghand region, Central Iran. Advanced Applied Geology, **12**(4), 617-634.
- [14] FALCON, N.L., 1974, Problems of the relationship between surface structures and deep displacements illustrated by the Zagros range. Geological Society of London. Spec. Pub. **3**, 9–22.
- [15] FERGUSSON, C., NUTMAN, A., MOHAJJEL, M., BENNETT, V.C., 2016, The Sanandaj–Sirjan Zone in the Neo-Tethyan suture, western Iran: Zircon U–Pb evidence of late Palaeozoic

- rifting of northern Gondwana and mid-Jurassic orogenesis. *Gondwana Research*, **58**, 216–238.
- [16] FREHNER, M.D., GRASSEMANN, B., 2012, Mechanical versus kinematical shortening reconstructions of the Zagros High Folded Zone (Kurdistan region of Iraq). *Tectonics*, VOL. **31**, TC3002, doi:10.1029/2011TC003010.
- [17] FRY, N., 1979, Random point distribution and strain measurements in rocks. *Tectonophysics*, **60**: 89-105.
- [18] FOSSEN, H., 2016, *Structural Geology*. Cambridge University Press.
- [19] 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), 755–765.
- [20] GROSHOONG, R.H., 2006, *3-D Structural Geology. A Practical Guide to Quantitative Surface and Subsurface Map Interpretation*. Cambridge University Press, 400 pp.
- [21] IMBER, J., PERRY, T., JONES, R., WIGHTMAN, R. H., 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.
- [22] KESHAVERZ, 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. DOI: 10.1007/s00531-019-01812-9.
- [23] KESHAVERZ, S., FAGHIH, A., SHAHPASANDZADEH, M., ZAREI, S., 2018, Steady state deformation in the shear zones of the Sanandaj–Sirjan metamorphic belt, Neyriz region. *Journal of Tectonics*, **2** (5), 97–109.
- [24] KESHAVERZ, S., FAGHIH, A., ASADI, S., SOLEIMANI, M., ZAREI, S., 2024, PT conditions of deformation of the Gol-e-Gohar shear zone, SW Iran: Insights from analysis of quartz c-axis fabrics, recrystallization mechanisms and syndeformational fluid inclusions. *Journal of Asian Earth Sciences*, **262**, 106010.
- [25] LOPEZ-MIR, B., 2019, Cross section construction and balancing: example from the Spanish Pyrenees. *Development in Structural Geology and Tectonics*, **5**, 3–23.
- [26] MARSHAK, S., MITRA, G., 1988, *Basic methods of structural geology*. 464 pp.
- [27] MCQUARRIE, N., 2004, Crustal scale geometry of the Zagros fold–thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology*, **26**, 519–535.
- [28] MEHDIPOOR, Z., MAHMODIAN, M., KOCHKEZADEH, M., 2012, Interpretation of 3D seismic data of Asmari reservoir of Maroun and Kupal oil field. *Iranian Oil Company Reports*, 1–180.
- [29] MOHAJ-JEL, M., FERGUSON, C. L., 2000, Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj–Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Structural Geology*, **22**, 1125–1139.
- [30] 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.
- [31] PARTABIAN, A., FAGHIH, A., 2021, Doming along the Zagros transpression zone, SW Iran: Insights from microstructural analysis of heterogeneous deformation. *Arabian Journal of Geosciences*, **14**, 1–19.
- [32] RAMSAY, J.G., HUBBER, M.I., 1983, *The techniques of modern structural geology*, 1: Strain analysis. Academic Press, London.
- [33] SADEGHI, S., YASSAGHI, A., 2016, Spatial evolution of Zagros collision zone in Kurdistan, NW Iran: Constraints on Arabia–Eurasia oblique convergence. *Solid Earth*, **7**, 659–672, doi:10.5194/se-7-659-2016.
- [34] SAEDI, G., SOLEIMANI, B., SAMANI, B., ARZANI, A., 2022, The interaction between faults and in-situ stress on the kinematic and subsurface natural fractures of Aghajari oilfield in southwest Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **208**, 109567.

- [35] SAMANI, B., 2017, Deformation flow analysis and symmetry of Goushti shear zone, Sanandaj–Sirjan metamorphic belt, Iran. *Geopersia*, **7**, 117–130.
- [36] SAMANI, B., 2013, Quartz c-axis evidence for deformation characteristics in the Sanandaj–Sirjan metamorphic belt, Iran. *Journal of African Earth Sciences*, **81**, 28–34.
- [37] SARKARINEJAD, K., AZIZI, A., 2008, Slip partitioning and inclined dextral transpression along the Zagros Thrust System, Iran. *Journal of Structural Geology*, **30**, 116–136.
- [38] 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.
- [39] SCHMALHOLZ, S.M., 2006, Scaled amplification equation: a key to the folding history of buckled viscous single-layers. *Tectonophysics*, **419**, 41–53.
- [40] SEPEHR, M., COSGROVE, J., MOINEI, M., 2006, The impact of cover rock rheology on the style of folding in the Zagros fold-thrust belt. *Tectonophysics*, **427**(1–4), 265–281.
- [41] 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.
- [42] SOLEIMANI, M., FAGHIH, A., BAGHERPOUR, B., ADIBINEJAD, M., SOBHANI, S.S., 2023, Deformation microthermometry in the Toutak gneiss dome based on petrofabric characteristics of quartz crystal, Sanandaj–Sirjan metamorphic belt, Iran. *Advanced Applied Geology*.
- [43] SOLEIMANI, M., FAGHIH, A., KUSKY, T., 2021, Mesozoic compressional to extensional tectonics in the Central East Iranian Microcontinent: Evidence from the Boneh Shurow metamorphic core complex. *Journal of the Geological Society*, **178**(6), jgs2020-123.
- [44] STOCKLIN, J., 1968, Structural history and tectonics of Iran, a review. *A. A. P. G. Bulletin*, **52**(7), 1229–1258.
- [45] SUPPE, J., 1983, Geometry and kinematics of fault-bend folding. *American Journal of Science*, **283**(7), 684–721.
- [46] TAKIN, M., 1972, Iranian geology and continental drift in the Middle East. *Nature*, **235**, 147–150.
- [47] TALEBIAN, M., JACKSON, J., 2004, A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran. *Geophysics*, **156**, 506–526.
- [48] TEYSSIER, C., 1985, A crustal thrust system in an intracratonic tectonic environment. *Journal of Structural Geology*, **7**(6), 689–700.
- [49] TWISS, R.G., MOORES, E.M., 2007, *Structural geology*, Freeman and Company, New York.
- [50] WOODWARD, N., 1989, *Balanced Geological Cross-Sections: An Essential Technique in Geological Research and Exploration*.

Geometrical analysis of folds and quantitative strain values using balanced seismic profiles (Case study of Kupal oil field)

Babak Samani^{1*}, Yaghoub Jalili Shahmansouri², Negar Mollaei³

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

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

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

*b.samani@scu.ac.ir

Received: May 2025, Accepted: August 2025

Abstract

In this study, using interpreted seismic profiles, the geometric nature of folding and quantitative strain values in the Asmari carbonate horizon in the Kupal oil field have been investigated. For this purpose, thirteen seismic profiles from the Kupal oil field were evaluated. By extracting the Asmari carbonate horizon from each seismic profile, initial data were prepared for the geometric analysis of fold style elements and strain. Examination of fold style elements in the Asmari horizon of the Kupal oil field indicates an asymmetric fold with an interlimb angle of 110 to 147 degrees (gentle to open fold), an aspect ratio of 0.15 to 0.38 (broad to wide fold), and a bluntness ratio of 0.45 to 0.7 (sub rounded fold). To determine the values of shortening and relative strain using artificial intelligence, each seismic profile was balanced and the initial length of the Asmari horizon was determined. The results show different shortening values in different parts of the anticline. The shortening values were calculated in the range of 2.67 to 8.65 percent and the strain ratio values in the range of 1.05 to 1.19.

Key words: Seismic profile, Balanced cross section, Fold aspect ratio, Strain ratio, Shortening percentage.