



فصلنامه زمین ساخت

زمستان ۱۴۰۱، سال ششم، شماره ۲۴

doi 10.22077/JT.2024.7113.1170

تحلیل دگرریختی در تاقدیس پازنان بر اساس داده‌های زیر سطحی و ویژگی‌های هندسی

حانیه رزجی^۱، سید احمد علوی^{۲*}، مهدی توکلی یرکی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲- استاد، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۳- دکتری مدیریت اکتشاف، شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۴

چکیده:

تاقدیس پازنان یکی از مهترین مخازن گاز میعانی ایران است که با روند شمال‌باختر- جنوب خاور در بخش جنوب خاوری فروبار دزفول قرار دارد. تحلیل ساختاری و دگرریختی این تاقدیس بر اساس تفسیر داده‌های زیرسطحی موجود (شامل اطلاعات لرزه‌نگاری سه‌بعدی و داده چاههای حفاری شده)، بیانگر آن است که سبک چین خوردگی این تاقدیس در افق مخزنی آسماری و سازندهای قدیمی‌تر از آن از نوع چین خوردگی جدایشی نامتقارن گسل خورده (Faulted Asymmetric Detachment Fold) است. بر پایه تفسیر ساختاری راس افق‌های آسماری، سروک، فلهیان، گوتنیا و یک افق عمیق (احتمالاً راس کنگان) در برش‌های لرزه‌ای عرضی این تاقدیس، این تاقدیس به ۳ کوهان اصلی جنوب‌خاوری، مرکزی و شمال‌باختری قابل تفکیک است که با ساختارهای زین‌سان (Saddles) از یکدیگر جدا می‌شوند. تفسیر داده‌های لرزه‌ای و ستون چینه‌شناسی مشاهده شده، به وضوح نشان می‌دهد که از ستبرای سازندهای به ویژه کرتاسه‌ی پسین و پالئوسن در اثر برخاستگی بلندای قدیمی هندجان- ایزده کاسته شده است به طوری که سازندهای ایلام و گورپی نیز در محل بلندای نهشته نشده یا فرسایش یافته‌اند. تفسیر بازتابنده معادل راس افق آسماری در برش‌های زمانی (Time slices) مکعب لرزه‌ای پازنان نشان می‌دهد که با فرض اینکه تغییرات در بُعد مکانی (در طول محور تاقدیس پازنان) با تغییرات در بُعد زمانی (در طی زمان چین خوردگی تاقدیس) هم‌ارز باشد؛ رشد چین در کوهان‌های مرکزی و جنوب‌خاوری تاقدیس پازنان به صورت هم‌زمان ولی به طور مجزا بوده است ولی کوهان شمال‌باختری این تاقدیس پس از افزایش دگرریختی شروع به چین خوردگی کرده و در نهایت به کوهان مرکزی متصل شده است.

واژه‌های کلیدی: تاقدیس پازنان، بلندای دیرینه هندجان، فروبار دزفول، تحلیل ساختاری، سبک چین خوردگی.

Deformation analysis in the Pazanan Anticline based on subsurface data and geometric characteristics

Haniye Razaji¹, Seyed Ahmad Alavi^{2*}, Mehdi Tavakoli Yaraki³

1- Master's student, Department of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2- Professor, Department of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

3- Ph.D., Exploration Directorate, National Iranian Oil Company, Tehran, Iran.

Abstract

The Pazanan anticline is one of the most important condensate gas reservoirs in Iran, which is located in the southeastern part of the Dezful Embayment with a northwest-southeast trend. The structural analysis and deformation of this anticline based on the interpretation of existing subsurface data (including 3D-seismic data and drilled wells data) indicates that the folding style of this anticline in the Asmari reservoir and older formations is faulted asymmetric detachment folding. Based on the structural interpretation of the tops of the Asmari, Sarvak, Fahliyan, Gotnia formations and a deeper horizon (probably top of the Kangan) in the transversal seismic sections of the Pazanan anticline, it could be divided into 3 main culminations known as southeastern, central and northwestern, which are separated from each other by saddles. The interpretation of the observed seismic data and stratigraphic column clearly shows that the sedimentation thickness of formations, especially the Late Cretaceous and Paleocene, have been reduced due to the uplift of the Hendijan-Izeh Paleo-high, so that the Ilam and Gurpi formations have not been deposited or eroded in the Paleo-high area. The interpretation of the Asmari reflector in the seismic time slices, with assuming that the changes in the spatial dimension (along the axis of the Pazanan anticline) are equivalent to the changes in the time dimension (during the folding time of the anticline); shows folds growth in the central and southeastern culminations of the Pazanan anticline were simultaneously but separately, while the northwestern culmination of this anticline started to folding after increasing the deformation and finally connected to the central culmination.

Keywords: Pazanan Anticline, Handijan Paleo-High, Dezful Embayment, Structural analysis, Folding style.

*Email: a-alavi@sbu.ac.ir

Tel: +989123906608

۱- مقدمه

(1968; Alavi, 1994; Talbot and Alavi, 1996).

شواهد چینه‌شناسی زاگرس نشانگر آن است که این کمربند، بخشی از حاشیه شمال خاوری ورقه عربی است (شکل ۱) که در تمام طول مدت پالئوژئیک، سکوی قاره‌ای عربی و زاگرس بخشی از ابرقاره گندوانا بوده‌اند (Falcon, 1974). سپس در زمان پرموتریاس، کافت شدگی رخ داده و با گسترش اقیانوس نئوتتیس در طی ژوراسیک-کرتاسه پیشین، شرایط حاشیه قاره‌ای غیر فعال (Passive continental margin) در این گستره فراهم شده است (Berberian and King, 1981).

پژوهش‌های جدیدی که با استفاده از سامانه‌های مختصات یاب جهانی (GPS: Global Positioning Sys-) طی حدود دو دهه‌ی اخیر انجام شده‌اند، نرخ متوسط همگرایی حال حاضر بین ورقه‌های عربی و اوراسیا را حدود ۲۰ میلی متر در سال نشان می‌دهند (Sella, 2002; Hatzfeld, 2003; ArRajehi et al., 2010) به طوری که میزان همگرایی از سمت جنوب خاوری به سمت شمال باختری زاگرس کاهش می‌یابد (شکل ۱).

فروبار دزفول یک پهنه‌ی تکنورسوبی فرونشسته در سمت جنوب باختری کمربند چین-راندگی زاگرس با مساحت تقریبی ۶۰۰۰۰ کیلومتر مربع است که در برگیرنده‌ی بیشترین میداین نفتی ایران (حداقل ۵۰ میدان نفتی) است (مطیعی، ۱۳۷۴، Bordenave and Hegre, 2005; Bordenave, 2014). این بخش فرونشسته، یک حوضه‌ی پیش‌بوم (Foreland Basin) است که از سمت شمال خاوری بوسیله گسل پیشانی کوهستان (MFF)، از سمت خاور و جنوب خاوری توسط گسل کازرون (KFZ)، از سمت شمال باختری توسط قطعاتی از گسل بالارود (BFZ) و از سمت جنوب باختری توسط گسل پیش ژرفای زاگرس (ZFF) محصور شده است (شکل ۲، مطیعی، ۱۳۷۴). این گسل‌ها به همراه سه بلندای قدیمی هفتکل، هندیجان (که بخش شمال باختری تاقدیس پازنان را متأثر نموده است) و خارگ-میش نقش اساسی در رسوب‌گذاری و فرگشت زمین‌ساختی این فروبار داشته‌اند (مطیعی، ۱۳۸۲؛ علی‌پور، Sepehr and Cosgrove, 2004; Sherkaty and Letouzey, 2004).

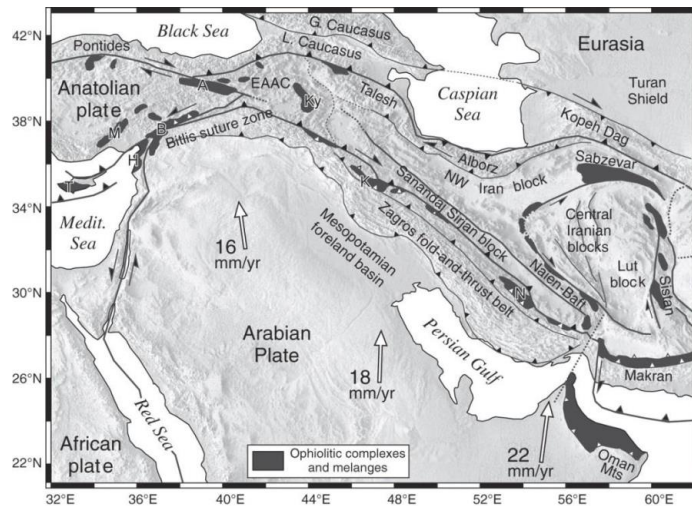
واژه بلندای قدیمی (Paleo-high) نخستین بار توسط

حدود ۸ درصد از منابع نفتی و ۱۵ درصد از منابع گازی جهان تنها در بخش ایرانی کمربند زاگرس و خلیج فارس جای دارند. میزان گاز موجود در بخش ایرانی کمربند زاگرس حدود ۶۰۰ تریلیون فوت مکعب (حدود ۱۰ درصد منابع گازی جهان) است (Bordenave and Hegre, 2010). اغلب مخازن نفتی کمربند زاگرس در تاقدیس‌های کشیده‌ای جای گرفته‌اند که غالباً در طی میوپلیوسن به وجود آمده‌اند و مخازن آنها شامل سازندهای آسماری، ایلام، سروک و گروه خامی هستند (مطیعی، ۱۳۷۶). اصلی‌ترین مخازن بزرگ نفتی ایران (به مانند اهواز، آغاچاری، مارون، کوپال، گچساران و بی‌بی‌حکیمه) در تاقدیس‌های جنوب فروبار دزفول قرار دارند.

این پژوهش با هدف دستیابی به شناخت بهتر و دقیق‌تر سازوکار چین‌خوردگی، ویژگی‌های هندسی، تغییرات ستبرای سازندها و همچنین نحوه توزیع دگرریختی در طول تاقدیس پازنان (سازند آسماری و بخش‌های قدیمی‌تر از آن) بر پایه تفسیر و تحلیل داده‌های زیرسطحی استوار است که در نهایت به افزایش بهره‌وری و بهبود دقت برنامه‌ریزی در فعالیت‌های حوزه اکتشاف و توسعه‌ی این میداین منجر خواهد شد.

۲- جایگاه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه

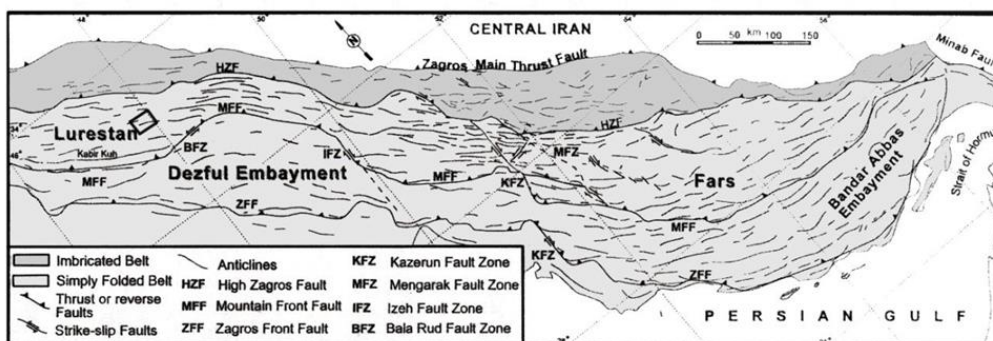
کمربند چین-راندگی زاگرس با روند شمال باختری-جنوب خاوری در بخش میانی رشته کوه‌های آلپ-همالیایا جای دارد و یکی از جوان‌ترین برخورد‌های قاره‌ای جهان به شمار می‌رود. این کوهزاد جوان و فعال متعلق به دوران سنوزوئیک، با طول حدود ۲۰۰۰ کیلومتر و عرض ۲۵۰ تا ۳۵۰ کیلومتر از کوه تاروس (Taurus) در ۳۰۰ کیلومتری جنوب خاوری گسل آناطولی خاوری ترکیه شروع و در سراسر شمال عراق و جنوب باختری ایران کشیده شده و تا تنگه‌ی هرمز ادامه دارد. در این محل، گسل میناب با روند شمالی-جنوبی، کمربند زاگرس را از پهنه مکران جدا می‌کند (Falcon, 1974; Berberian and King, 1981; Alavi, 1994; Hessami et al., 2001). این کمربند نتیجه‌ی همگرایی و بسته شدن اقیانوس نئوتتیس در سنوزوئیک پسین است که بین ورقه‌های عربی و اوراسیا وجود داشته است (Stocklin,



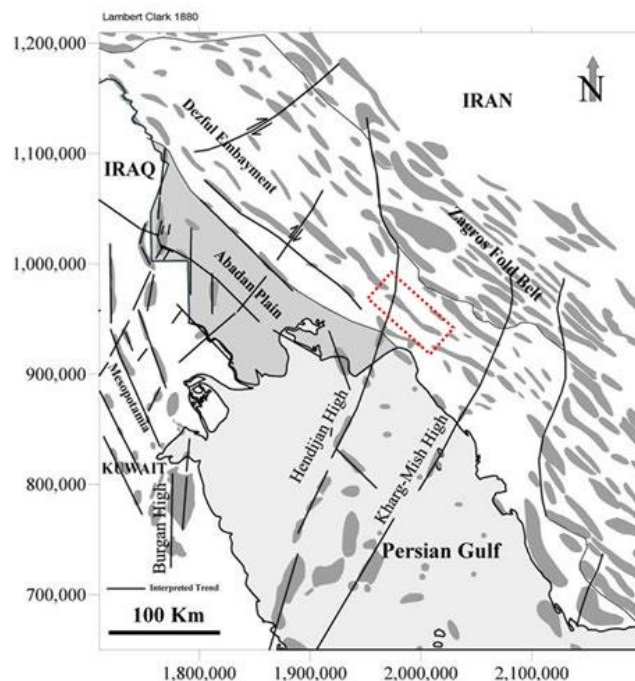
شکل ۱- نقشه زمین ساختی کمربند چین-راندگی زاگرس (Homke et al., 2009). داده‌های GPS میزان نرخ همگرایی کنونی و برخورد بین ورقه‌های عربی و بلوک ایران مرکزی را نمایش می‌دهند.

Edgell, 1992; Sherkati and Letouzey, 2004; Abdollahie Fard et al., 2006; (Aqrabi et al., 2010; Soleimany and Sabat, 2010). در این پژوهش به مطالعه‌ی تاقدیس پازنان در گستره‌ی عرض جغرافیایی ۴۹° ۵۰' تا ۵۰° ۲۵' خاوری و طول جغرافیایی ۳۰° ۱۵' تا ۳۰° ۴۰' شمالی پرداخته شده است. تاقدیس پازنان با روند شمال باختری-جنوب خاوری در ۱۵ کیلومتری جنوب باختری شهر بهبهان، ۱۵۰ کیلومتری جنوب خاوری شهر اهواز و ۲۵ کیلومتری شمال خلیج فارس قرار دارد. این میدان در بخش جنوبی فروبار دزفول قرار داشته و بیشینه ارتفاع آن از سطح آزاد دریا حدود ۶۰۰ متر بر روی سازند میشان است. میدان نفتی-گازی پازنان از شمال به میدان منصور آباد، از شمال باختری به میدان آغاچاری، از خاور به میداین بهبهان و گچساران، از جنوب خاوری به میدان

تی هارت (T'Hart, 1970) در گزارش‌ها و اسناد فنی شرکت ملی نفت ایران، برای روندهای ساختاری ناحیه‌ای در کمربند زاگرس که طی چندین دوره زمانی فعالیت داشته‌اند، به کار برده شده است. سه بلندای قدیمی با روند شمال خاوری-جنوب باختری و به موازات یکدیگر در کمربند زاگرس وجود دارند که عبارتند از بلندای هندیجان-ایذه، بلندای خارگ-میش و بلندای بورگان-آزادگان که از این بین، بلندای قدیمی هندیجان-ایذه بخش شمال باختری تاقدیس پازنان را متأثر کرده است (شکل ۳). ایجاد ساختارهای با روند تقریبی شمالی-جنوبی در عربستان را به دوران پالئوزوئیک نسبت داده‌اند که در آن زمان، به شکل گسل‌های عادی فعال بوده‌اند (Edgell, 1996). برخی از پژوهشگران معتقدند که این گسل‌های پی سنگی در طی مزوزوئیک به طور خاص در زمان تریاس و اواخر کرتاسه فعال شده‌اند و باعث بالاآمدگی بلوک‌های



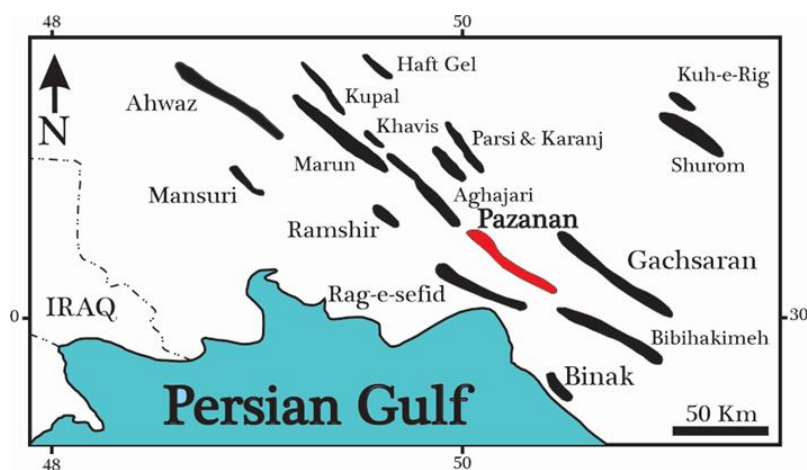
شکل ۲- نواحی زمین شناسی زاگرس و جایگاه فروافتادگی دزفول جنوبی (سلیمی، ۱۳۹۲، Sephr, 2001).



شکل ۳- موقعیت بلنداهای قدیمی هندوچان- ایزه، خارگ-میش و بورگان- آزادگان در گستره مورد مطالعه و مناطق مجاور آن (برگرفته از نیک روز، ۱۳۹۶؛ ۲۰۰۴؛ Sherhati and Letouzey, 2004). موقعیت تاقدیس پازنان با خط چین قرمز مشخص شده است.

گاز میعانی ایران است. این میدان تاقدیسی نامتقارن با گسلی بزرگ و معکوس در یال جنوبی است که احتمالاً تداوم گسل یال جنوبی میدان آغاچاری باشد.

بی‌بی حکیمه و از جنوب - جنوب باختری به میدان رگ سفید محدود می‌گردد (شکل ۴). طول و عرض تاقدیس پازنان بر روی افق آسماری به ترتیب ۶۰ و ۱۰ تا ۱۲ کیلومتر است و یکی از بزرگ‌ترین میداین



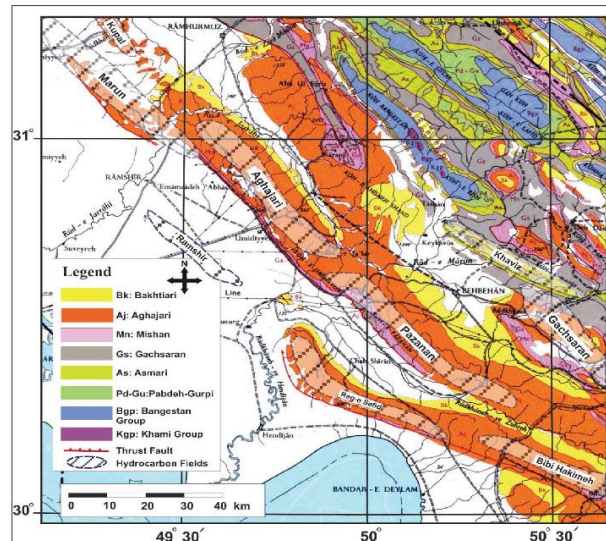
شکل ۴- محل قرارگیری تاقدیس پازنان در ناحیهی فروبار دزفول.

ژرفای زاگرس (ZFF) بریده شده و به سمت جنوب باختر جابجا شده‌اند (توکلی یرکی، ۱۳۹۷). بیشینهی رخنمون سطحی تاقدیس پازنان را سازند آغاچاری، قدیمی‌ترین رخنمون سطحی آن را سازند گچساران و مهم‌ترین سنگ مخزن این میدان را سازند آسماری

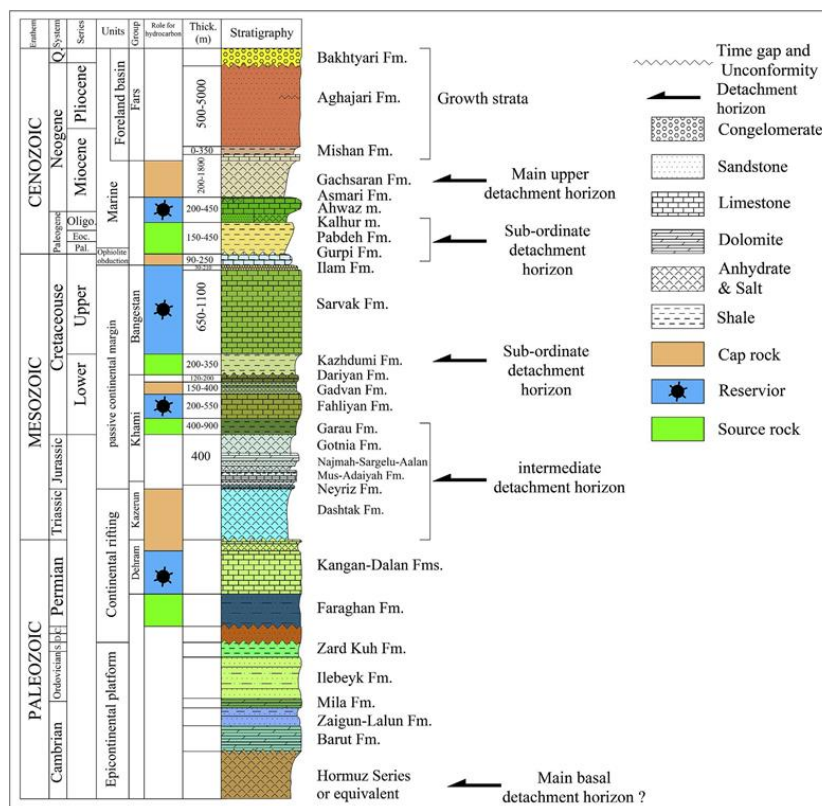
این تاقدیس در بخش فرادیواره‌ی گسل پیش ژرفای زاگرس (ZFF) قرار دارد و با توجه به محل آن از شدت دگرریختی و پیچیدگی بیشتری نسبت به بخش فرودیواره‌ی این گسل برخوردار است به طوری که سازندهای گچساران و میشان بوسیله راندگی گسل پیش

گزارش داخلی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران). ستون چینه نگاری گستره مورد مطالعه در شکل ۶ نشان داده شده است.

تشکیل می‌دهد. رخنمون‌های سطحی منطقه از جدید به قدیم عبارتند از سازندهای بختیاری (پلیوستوسن)، آغاجاری (میوسن بالایی-پلیوسن)، میشان (میوسن میانی-بالایی) و گچساران (میوسن میانی) (شکل ۵،



شکل ۵- نقشه‌ی زمین شناسی گستره مورد مطالعه (توکی و همکاران، ۱۳۹۹).



شکل ۶- ستون چینه‌شناسی فروبار دزفول بر اساس داده‌های سطحی و زیرسطحی. واحدهای مقاوم توسط افق‌های جدایشی (نامقاوم) اصلی و فرعی از هم جدا می‌شوند (Derikvand et al., 2018, اصلاح شده پس از Abdollahi Fard et al., 2006).

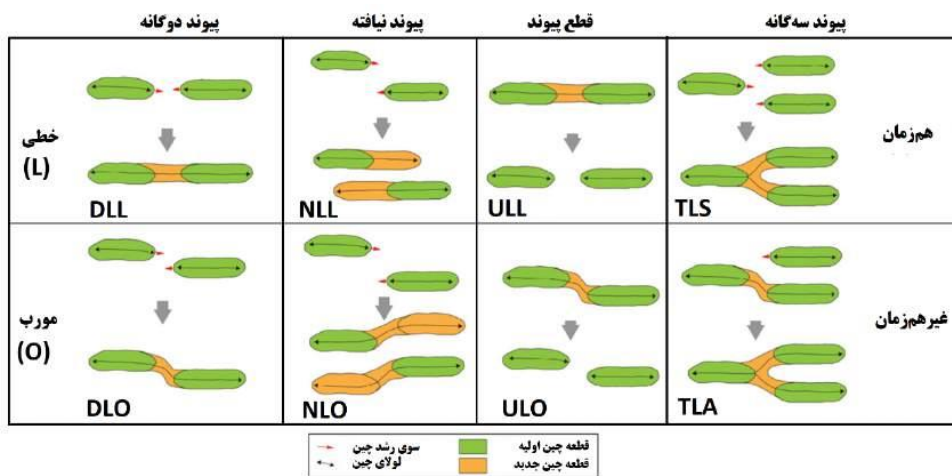
۳-روش پژوهش

لرزه‌های سه‌بعدی تاقدیس پازنان در نرم‌افزار نامبرده بارگذاری گردید و تعداد ۸ برش عرضی لرزه‌ای با فواصل یکسان ۸ کیلومتر از یک‌دیگر در طول تاقدیس انتخاب و نسبت به تفسیر ساختاری سرسازندهای آسماری، سروک، فهلیان، گوتیا و یک افق عمیق (احتمالاً راس کنگان) اقدام شد. سپس نقشه‌های زمانی راس سرسازندهای نامبرده تهیه شد و پس از ساخت مدل سرعتی مناسب از اطلاعات درون‌چاهی (VSP یا Check-shot) موجود در چاه‌های این تاقدیس، نسبت به تهیه نقشه‌های عمقی نهایی افق‌های یاد شده اقدام شد. بعد از آن، با ترسیم مقاطع ساختاری عمقی (منطبق بر برش‌های لرزه‌ای اولیه) در طول تاقدیس پازنان به بررسی و تحلیل ویژگی‌های هندسی و جنبشی چین در سازندهای نامبرده، تحلیل دگرریختی پیش‌رونده و سیر تحولات ساختاری ایجاد شده در سه کوهان جنوب‌خاوری، مرکزی و شمال‌باختری تاقدیس پازنان پرداخته شد و بر اساس نحوه‌ی اتصال این کوهان‌ها به یک‌دیگر و استفاده از مدل فرناندز و کاس (شکل ۷، Fernandez and Kaus, 2014)، برای رشد جانبی این کوهان‌ها در تاقدیس پازنان مدلی پیشنهاد گردید. همچنین، مقایسه تغییرات ستبرای سازندها به طور هم‌زمان بر اساس داده‌های ستون چینه‌شناسی چاه‌های حفاری شده و اطلاعات مکعب لرزه‌ای موجود مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت.

با توجه به این که در بسیاری از کمربندهای چین-راندگی، چین‌های مرتبط با گسل (Fault related folds) تله‌های هیدروکربنی را شکل می‌دهند، درک و شناخت هندسه دو بعدی (2D) و سه بعدی (3D) ساختارهای این چین‌های فرادیواره‌ای و چگونگی توسعه و رشد آن‌ها برای اکتشاف و بهره‌داری از منابع هیدروکربوری ضروری است (McClay, 2011).

در این پژوهش رفتار مکانیکی، ویژگی‌های هندسی و رشد چین‌ها در افق آسماری و سازندهای قدیمی‌تر از آن درگستره تاقدیس پازنان مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به پوشیده بودن سطح زمین با سازندهای گچساران، میشان، آجاجاری و آبرفت‌های عهدحاضر، نبود یا محدودیت برداشت و تحلیل اطلاعات ساختاری صحرایی و همچنین عملکرد جدایشی سازند گچساران در تاقدیس مورد نظر، به طور مستقیم نمی‌توان به مطالعه چین در سازندهای آسماری و قدیمی‌تر از آن پرداخت و از این رو، می‌بایست بر پایه داده‌های زیرسطحی موجود (لرزه‌ای و چاه‌های حفاری شده) و اطلاعات به دست آمده از آن‌ها برای درک چین خوردگی و رفتار مکانیکی این سازندها استفاده کرد.

بدین منظور، در ابتدا نسبت به بارگذاری داده‌های سرسازندهای زمین‌شناسی و اطلاعات سرعتی چاههای حفاری شده در نرم‌افزار پترل اقدام شد. سپس داده‌های



شکل ۷- حالت‌های مختلف رشد جانبی چین‌های جدایشی جداگانه در طول زمان. چین‌های اولیه می‌توانند آرایش خطی یا مورب نسبت به یکدیگر داشته باشند. علاوه بر این، رشد جانبی و پیوند سه چین اولیه مورب نیز پیشنهاد شده است (برگرفته از توکلی یرکی،

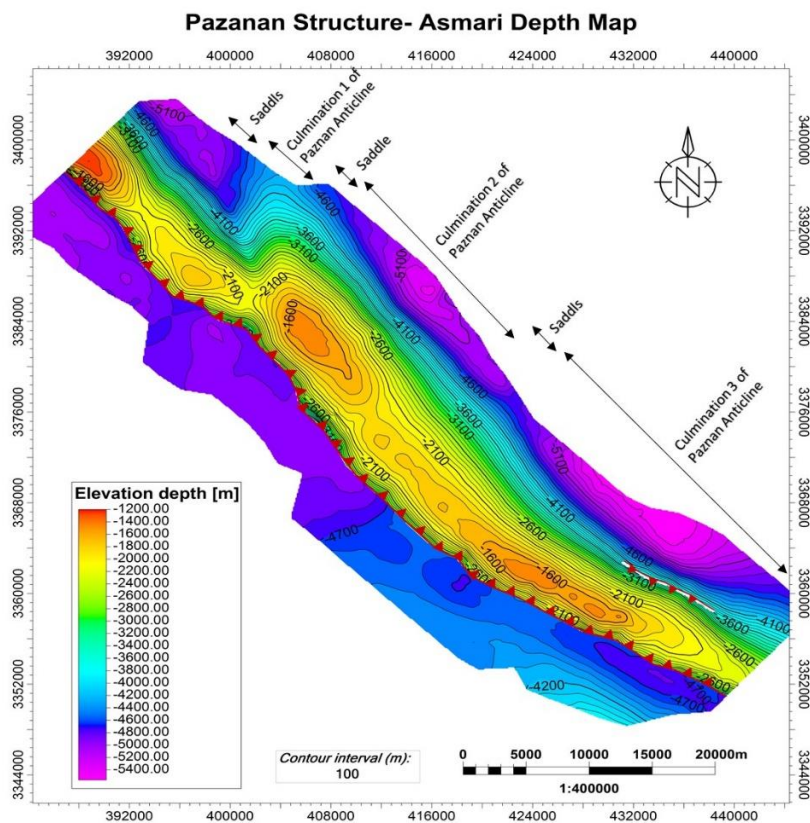
۴- داده ها و اطلاعات

۴-۱- ویژگی های ساختاری بر اساس نقشه عمقی سرسازند آسماری

نقشه های عمقی با استفاده از تلفیق داده های حاصل از نقشه های زمین شناسی سطحی، اطلاعات لرزه نگاری دو و سه بعدی (2D & 3D) و داده های چاه های حفاری شده (شامل سرسازندها و انواع نمودارهای درون چاهی) تهیه می شوند و سپس به طور مستمر با اطلاعات جدید برداشت شده در گذر زمان به روزرسانی و تکمیل می شوند. با توجه به این که سازند آسماری، یکی از مهم ترین مخازن نفتی ایران به شمار می رود

و کم ژرفترین سرسازند مورد مطالعه در این پژوهش است، نقشه عمقی راس این افق به عنوان نقشه پایه برای تحلیل دگرریختی تاقدیس پازنان مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۸).

محور چین افق آسماری در تاقدیس پازنان، در راستای خود دارای خمیدگی ها و تحدب های زیادی است. ساختمان پازنان در افق آسماری، یک تاقدیس نامتقارن و خمیده با سه کوهان (Culmination) شمال باختری (با روند N315)، مرکزی (با روند N324) و جنوب خاوری (با روند N310) است (شکل ۸).



شکل ۸- نقشه عمقی راس سازند آسماری در تاقدیس پازنان همراه با ۳ کوهان جنوب خاوری، مرکزی و شمال باختری آن.

قرار دارد.

۲. کوهان شماره ۲ (Culmination-2): قطعه ی مرکزی در تاقدیس پازنان است که بلندترین نقطه ی چین سرسازند آسماری در این تاقدیس نیز در این کوهان قرار دارد. یک خمیدگی اندک به سمت شمال خاور در محور چین افق آسماری در این کوهان قابل مشاهده است.

۳. کوهان شماره ۳ (Culmination-3): بزرگترین قطعه ی

۴-۱-۱- قطعه بندی ساختاری گستره مورد مطالعه

بر اساس نقشه ی عمقی راس افق آسماری (شکل ۸)، تاقدیس پازنان به ۳ قطعه ی اصلی قابل تقسیم است: ۱. کوهان شماره ۱ (Culmination-1): این کوهان به نسبت کوچک در انتهای شمال باختری تاقدیس پازنان قرار دارد و با یک ساختار زین سان (بدون تغییر روند محور) به تاقدیس آجاجاری متصل شده است. این کوهان در محدوده ی بلندای قدیمی هندیجان-ایذه

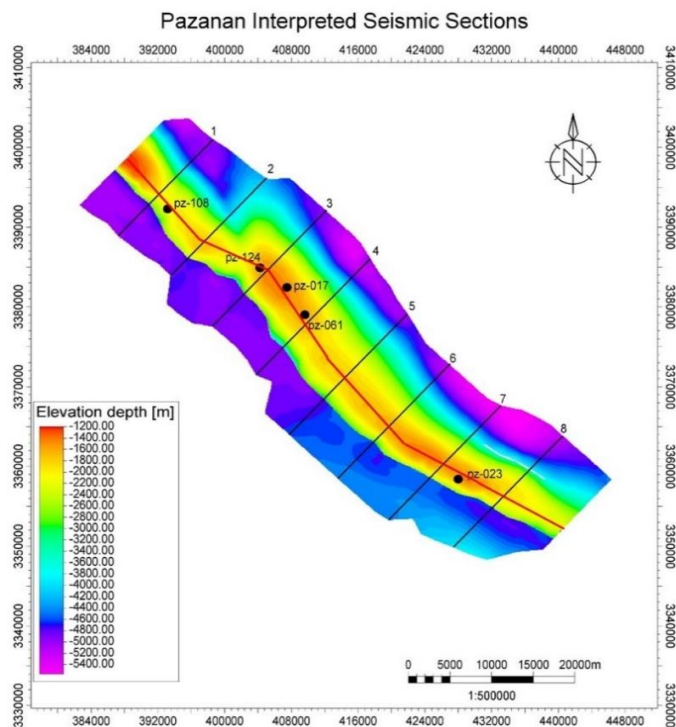
می‌گیرند (شکل ۹). لازم به ذکر است که در مناطقی از برش‌های لرزه‌ای که کیفیت بازتابنده‌ها افت شایانی پیدا کرده‌اند، با استفاده از روش تطابق بازتابنده‌ها (Jump correlation) سر سازند های مورد نظر ردیابی شده و تفسیر انجام شده است.

بر اساس برش‌های عرضی لرزه‌ای تفسیر شده، شیب ناحیه‌ای (Regional slope)، بیانگر شیب لایه‌ها پیش از چین خوردگی سازندها، در گستره تاقدیس پازنان حدود ۲ تا ۳٫۴ درجه به سمت شمال خاوری است. این میزان شیب از ترسیم خط فرضی که خط القعر دو ناودیس شمال خاوری و جنوب‌باختری ساختمان پازنان را در برش‌های لرزه‌ای مختلف به هم وصل می‌کند، محاسبه شده است.

تاقدیس پازنان است که محور چین افق آسماری آن یک خمیدگی آشکار به سمت جنوب باختر را نشان می‌دهد. این کوهان در انتهای جنوب خاوری تاقدیس پازنان قرار دارد.

۲-۴- ویژگی‌های ساختاری بر اساس مقاطع لرزه‌ای

در این پژوهش، تعداد ۵ افق شامل سرسازندهای آسماری، سروک، فهلیان، گوتنیا و قاعده‌ی سطح جدایشی (احتمالاً قاعده‌ی سازند دشتک یا راس سازند کنگان) بر روی ۸ برش عرضی لرزه‌ای (با فواصل یکسان ۸ کیلومتر از یکدیگر) و برش طولی تفسیر شده‌اند که در اینجا به طور مجزا مورد بررسی قرار



شکل ۹- موقعیت و شماره برش‌های عرضی لرزه‌ای (خطوط مشکی رنگ) و برش طولی لرزه‌ای (خط قرمز رنگ) در تاقدیس پازنان به همراه شماره جاه‌های دارای اطلاعات سرعتی درون‌چاهی بر روی نقشه عمقی راس افق آسماری.

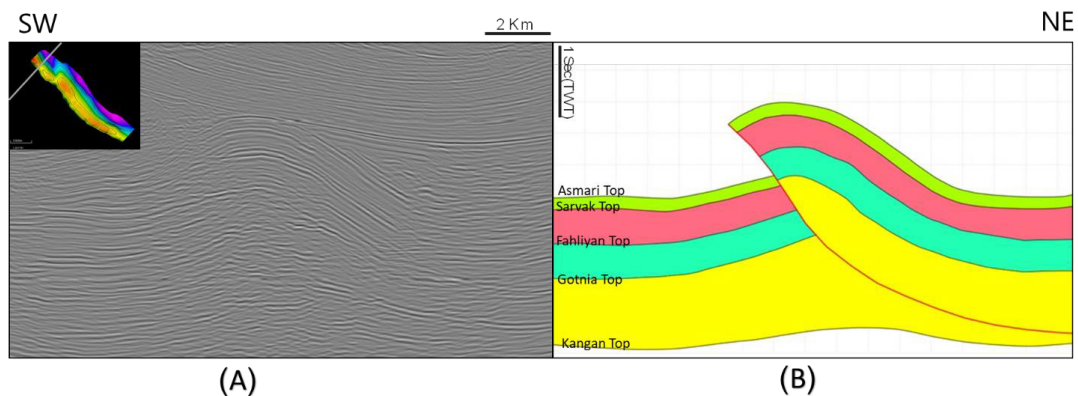
سروک، فهلیان و گوتنیا در برش لرزه‌ای تفسیر شده به ترتیب راس بخش‌های سبز، صورتی، آبی و زرد هستند و به صورت کلی رفتار مکانیکی مشابه با یکدیگر دارند و یک چین خوردگی هماهنگ (Harmonic folding) را نشان می‌دهند. با توجه به این که طول و شیب پیش‌ریال (سمت جنوب‌باختری) و پس‌ریال (سمت شمال خاوری) چین با یکدیگر متفاوت هستند و طول

برش لرزه‌ای شماره ۱

این برش لرزه‌ای در زین‌سان بین کوهان شمال‌باختری تاقدیس پازنان و بخش جنوب خاوری تاقدیس آغاچاری قرار دارد (شکل ۱۰). ژرف‌ترین افق لرزه‌ای تفسیر شده، قاعده‌ی سطح جدایشی (قاعده‌ی سازند دشتک یا راس سازند کنگان) است که در قسمت بالای آن یک چین جدایشی تشکیل شده است. سرسازندهای آسماری،

مقطع ۷,۳٪ اندازه‌گیری شده و یک چین باز (Open) تقریباً نامتقارن با لولای مدور است که جهت تمایل آن به سمت جنوب باختری بوده و توسط گسل پیش ژرفای زاگرس در پیش‌یال بریده شده است. گسل پیش ژرفای زاگرس که در تمام طول تاقدیس مشاهده می‌شود، دارای جهت شیب به سمت جنوب باختری می‌باشد. به نظر می‌رسد که افق کم‌قوام دشتک در این برش فعال بوده و به عنوان یک افق جدایشی عمل کرده است و سایر واحدها (شامل سازندهای آسماری، سروک، فهلیان و گوتنیا) دارای ستبرای یکنواخت در عرض چین هستند.

پس‌یال از طول پیش‌یال بیشتر و شیب آن کمتر است، پس این چین، یک چین نامتقارن (Asymmetric) به شمار می‌رود. ضمن این که شیب ناحیه‌ای (Regional Slope) واحدها در این برش تقریباً صفر است. در برش‌های لرزه‌ای شماره ۱ و ۲، واحدهای جوان‌تر از فهلیان تا راس آسماری کم‌ترین ستبرای نسبت به سایر برش‌ها نشان می‌دهند که با توجه به موقعیت این برش‌ها و محل عبور بلندای قدیمی هنديجان، دلیل این تغییر ستبرای می‌تواند به فعالیت زمین‌ساختی این بلندا در زمان رسوب‌گذاری سازندهای سروک و آسماری نسبت داده شود. میزان کوتاه‌شدگی سر سازند آسماری چین در این



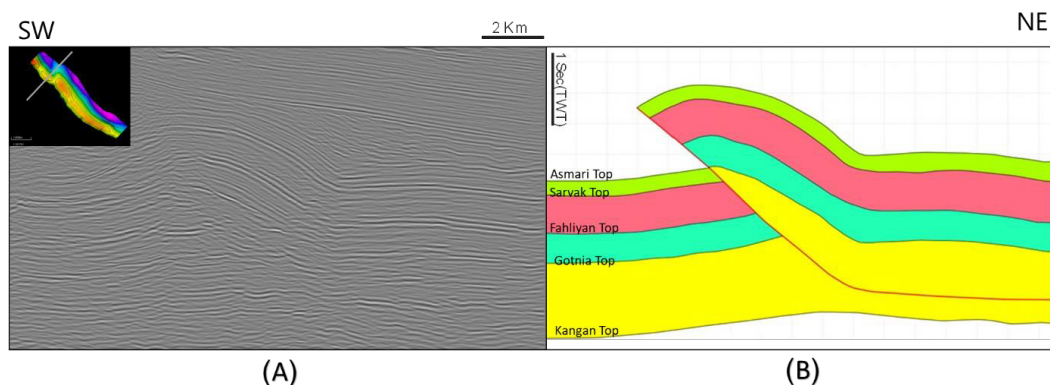
شکل ۱۰- (A) برش لرزه‌ای شماره ۱- در زین سان بین کوهان شمال باختری تاقدیس پازنان و بخش جنوب خاوری تاقدیس آغاچاری (B) تفسیر ساختاری برش شماره ۱-.

فشرده‌گی در گروه باز قرار دارد و لولای آن تقریباً مدور است. ستبرای سازندها (از راس آسماری تا راس گوتنیا) در طول برش تقریباً ثابت است. میزان دامنه چین در افق آسماری نسبت به برش شماره ۱- اندکی کاهش یافته است. در بخش فرودیواره‌ی گسل، یک ناودیس ملایم با طول موج چند کیلومتری مشاهده می‌شود که بیانگر قدیمی‌تر بودن فرایند چین‌خوردگی جدایشی نسبت به گسل خوردگی پیش‌یال چین است. در این برش نیز سازند دشتک به عنوان یک سطح جدایشی اصلی عمل نموده است. در این برش، میزان کوتاه‌شدگی در افق آسماری ۱۰,۶٪ است.

برش لرزه‌ای شماره ۲

این برش لرزه‌ای در انتهای جنوب خاوری کوهان شماره ۱- تاقدیس پازنان قرار دارد و میزان برخاستگی (Amplification) و زاویه‌ی بین یالی (Interlimb angle) آن با برش شماره ۱- تقریباً برابر است (شکل ۱۱). یک خمیدگی و حالت ناو شکل در یال شمال خاوری تاقدیس دیده می‌شود که در واقع دماغه شمال باختری کوهان مرکزی (کوهان شماره ۲- است. وجود دو کوهان (شماره‌های ۱ و ۲) در این برش سبب شده است که برخلاف سایر برش‌ها، تمایل چین در این برش به سمت جنوب باختری و پس‌یال بوده و شیب ناحیه‌ای (Regional Slope) واحدها نیز ۲,۲ درجه به سمت جنوب باختری باشد.

در این برش نیز چین خوردگی هماهنگ مشاهده می‌شود. چین افق آسماری در این برش، از نظر میزان



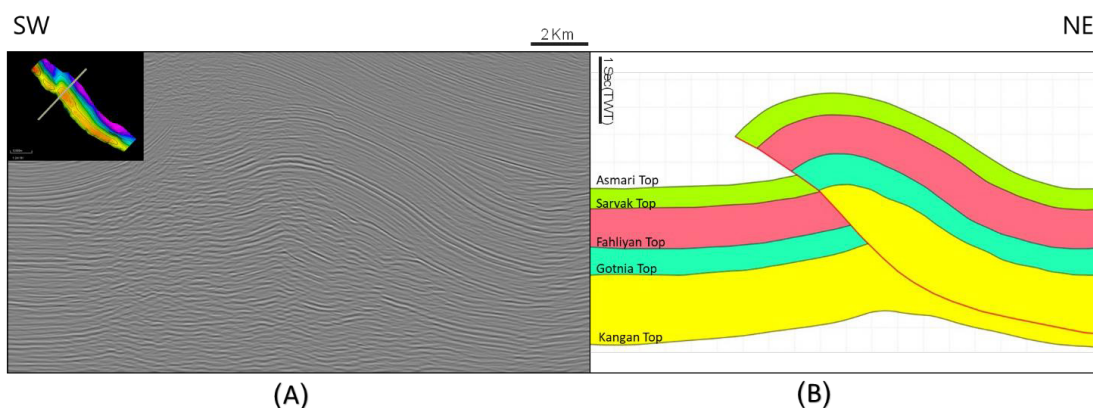
شکل ۱۱- (A) برش لرزه‌ای شماره ۲- در انتهای جنوب خاوری کوهان شماره ۱- تاقدیس پازنان (B) تفسیر ساختاری برش شماره ۲-.

بوده، تقریباً متقارن است و از نظر شاخص فشردگی، در گروه چین‌های باز قرار می‌گیرد و تمایل کمی به سمت جنوب باختری دارد. ستبرای واحدها در عرض مقطع در بالای افق جدایشی دشتک ثابت بوده و تغییر نکرده‌اند.

ناودیس موجود در فرودیواره‌ی گسل پیش‌ژرفای زاگرس نیز موید جدایشی بودن سبک چین‌خوردگی و متاخر بودن گسل‌خوردگی پیش‌یال چین نسبت به چین‌خوردگی جدایشی واحدهای سنگی است. مقدار کوتاه‌شدگی چین در افق آسماری در این برش حدود ۹،۱۰٪ اندازه‌گیری شده است. **برش لرزه‌ای**

برش لرزه‌ای شماره ۳-

این برش تقریباً بر روی قله کوهان مرکزی (کوهان شماره ۲-) و در نزدیکی بلندترین نقطه‌ی تاقدیس پازنان در افق آسماری قرار دارد و با توجه به محل قرارگیری آن، میزان برخاستگی چین در این برش بیشتر از دو برش قبلی است (شکل ۱۲). زاویه‌ی بین‌یالی و شیب پس‌یال در این برش نسبت به برش شماره ۲- کاهش یافته است. شیب ناحیه‌ای (Regional slope) واحدها در این مقطع حدود ۱،۰ درجه به سمت شمال خاوری اندازه گرفته شده است. چین افق آسماری در این مقطع دارای لولای مدور



شکل ۱۲- (A) برش لرزه‌ای شماره ۳- که تقریباً بر روی قله کوهان مرکزی تاقدیس پازنان قرار دارد (B) تفسیر ساختاری برش شماره ۳-.

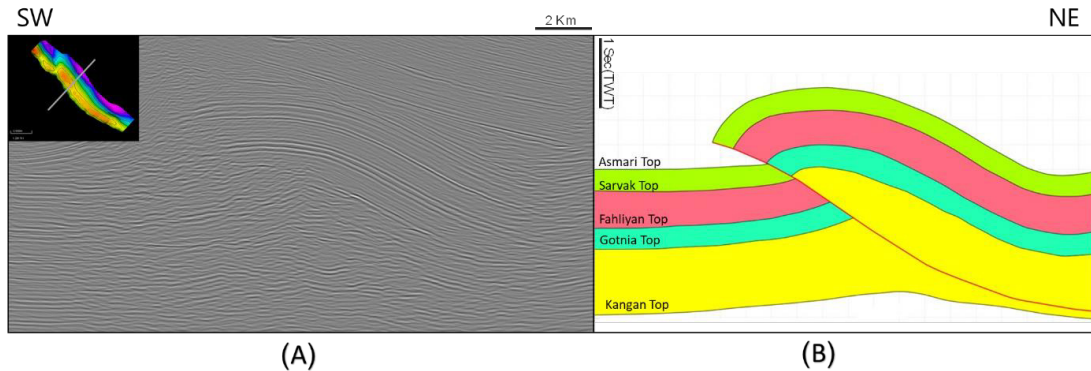
و میزان زاویه‌ی بین‌یالی آن کمتر از مقاطع دیگر بوده است و زاویه‌ی چین‌خوردگی اندازه گرفته شده آن بیشترین میزان در بین تمامی مقاطع بررسی شده می‌باشد. طول پس‌یال چین در این برش بیشتر از مقطع قبلی بوده و زاویه‌ی شیب ناحیه‌ای واحدها ۰،۸

شماره ۴-

این برش لرزه‌ای در جنوب خاوری کوهان مرکزی تاقدیس پازنان قرار گرفته است و با توجه به موقعیت آن، میزان برخاستگی کمتری از برش شماره ۳- نشان می‌دهد (شکل ۱۳). شیب پیش‌یال این مقطع بیشتر

به سمت جنوب باختری را نشان می‌دهد. ستبرای واحدهای آسماری و قدیمی‌تر از آن در عرض مقطع ثابت بوده و تغییر نکرده است. میزان کوتاه شدگی رخ داده در این مقطع ۱۱,۹٪ اندازه‌گیری شده است.

درجه به سمت شمال خاوری اندازه‌گیری شده است. منطقه لولای چین در قسمت بالای این برش نیمه‌مدور بوده و مانند مقاطع قبلی دایره‌ای و یا مدور نیست. این برش، یک چین هماهنگ، باز، نامتقارن و متمایل

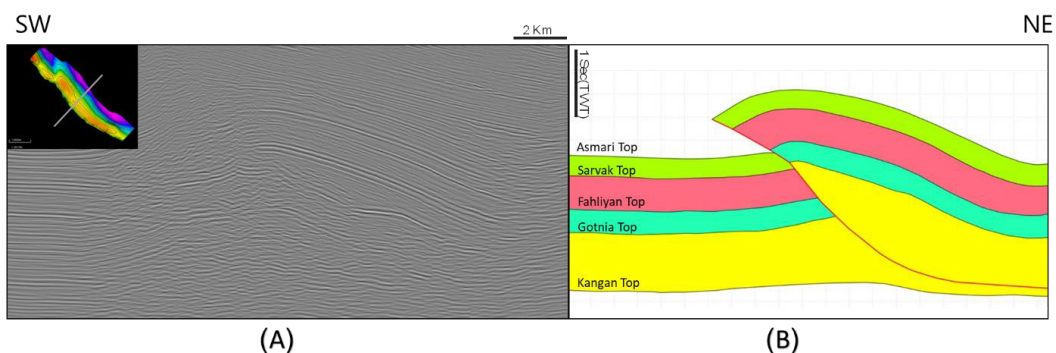


شکل ۱۳- (A) برش لرزه‌ای شماره ۴- که در انتهای جنوب خاوری کوهان مرکزی تاقدیس پازنان قرار دارد (B) تفسیر ساختاری برش شماره ۴-

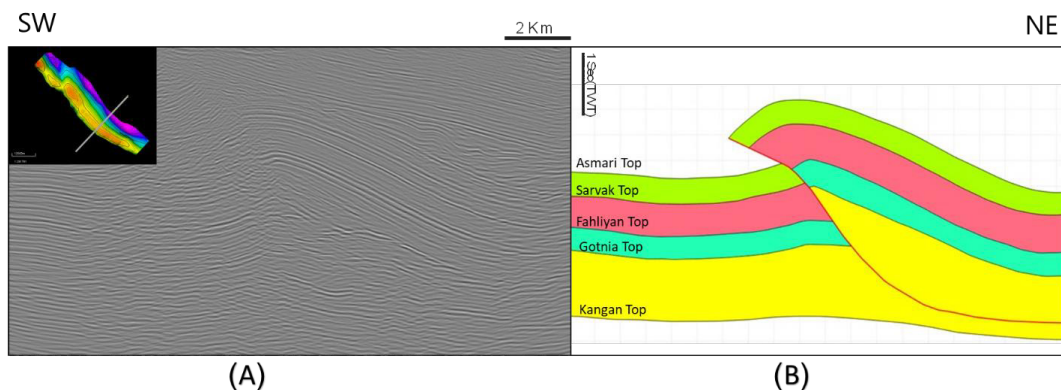
در برش‌های ۵ و ۶ به ترتیب برابر ۱,۱ و ۲,۴ درجه به سمت شمال خاوری است. شکل چین در این برش‌ها نامتقارن، در گروه باز شاخص هندسی فشرده‌گی، نیمه زاویه‌دار و متمایل به سمت جنوب باختری است و ستبرای سازندهای بررسی شده در عرض برش‌ها کمایش ثابت هستند (البته کمی تغییر در سرسازندهای فهلیان و گوتنیا در بخش میانی برش شماره ۵- دیده می‌شود که به نظر می‌رسد ناشی از عوامل غیرساختاری باشند. طول پس‌یال چین در برش شماره ۵- کوتاه‌تر از نظیر آن در برش شماره ۴- بوده و این کوتاه شدگی در برش شماره ۶- نیز ادامه دارد. افزون بر این، در هر دو برش شماره ۵ و ۶ تمایل چین به سمت جنوب باختری کمتر شده و میزان کوتاه شدگی رخ داده در آنها به ترتیب برابر ۱۰,۳٪ و ۹,۹٪ است.

برش‌های لرزه‌ای شماره ۵ و ۶

برش‌های لرزه‌ای شماره ۵ و ۶ به ترتیب در شمال باختری و میانه‌ی کوهان شماره ۳- (کوهان جنوب خاوری) تاقدیس پازنان قرار گرفته‌اند و به سمت مرکز کوهان، برخاستگی بیشتری نسبت به مقاطع قبل دیده می‌شود (شکل‌های ۱۴ و ۱۵). در برش شماره ۵-، زاویه‌ی بین یالی چین بیشترین میزان مشاهده شده در بین تمامی مقاطع گستره مورد مطالعه بوده است. شیب‌های پس‌یال و پیش‌یال چین در این برش، نسبت به برش لرزه‌ای شماره ۴- کاهش چشمگیری یافته و در برش شماره ۶ مجدداً افزایش یافته است. در برش شماره ۶-، میزان شاخص ملایم بودن با توجه به افزایش برخاستگی و کاهش زاویه بین یالی آن، کمتر از برش شماره ۵- است. میزان شیب ناحیه‌ای واحدها



شکل ۱۴- (A) برش لرزه‌ای شماره ۵- که در شمال باختری کوهان شماره ۳- تاقدیس پازنان قرار دارد (B) تفسیر ساختاری برش شماره ۵-

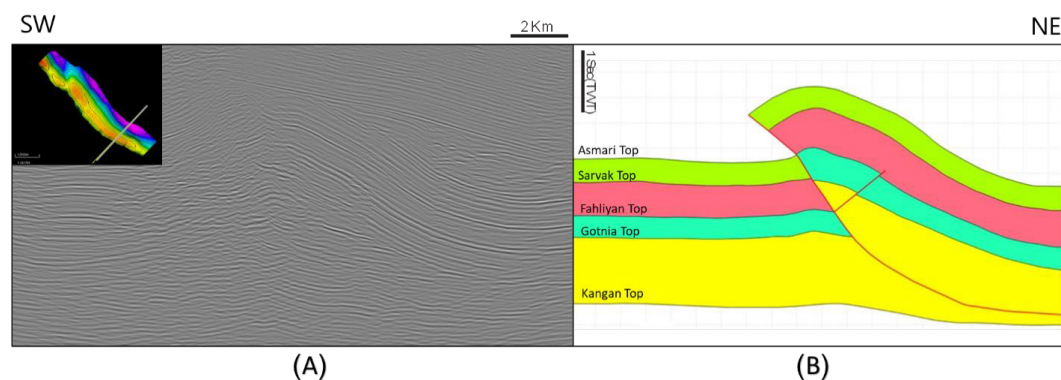


شکل ۱۵- (A) برش لوزه‌ای شماره ۶- که در میانه‌ی کوهان شماره ۳- تاقدیس پازنان قرار دارد (B) تفسیر ساختاری برش شماره ۶-.

این بخش، یک پس‌راندگی از گسل پیش ژرفای زاگرس به سمت پس‌یال، از بخش دشتک منشعب شده است که راس سازندهای گوتنیا و فهلیان را بریده و تا میانه‌ی بخش سروک ادامه یافته است. در این مقطع و در میان گسل‌های راندگی و پس‌راندگی، یک تغییر سبترای ملایم در بخش میان سرسازندهای فهلیان و گوتنیا مشاهده می‌شود که ناشی از فعالیت جدایشی افق گرو است در حالی که سبترای سایر واحدها بدون تغییر هستند. چین موجود در این برش، در گروه باز شاخص فشردگی چین قرار گرفته و نامتقارن، نیمه زاویه دار، هماهنگ و متمایل به سمت جنوب باختری بوده و میزان کوتاه شدگی آن ۹,۴٪ محاسبه شده است.

برش لوزه‌ای شماره ۷-

این برش در مرکز (نزدیک به قله) کوهان شماره ۳- تاقدیس پازنان قرار گرفته و به همین دلیل، میزان برخاستگی چین در آن، نسبت به برش‌های قبل افزایش یافته است (شکل ۱۶). چین موجود در این برش، پیچیده‌تر از مقطع قبل بوده و زاویه‌ی بین یالی آن کاهش و شیب پس‌یال آن افزایش یافته است. همچنین، دامنه‌ی چین در این مقطع نیز نسبت به مقطع قبل بیشتر شده است. بیشترین میزان شیب ناحیه‌ای واحدها در بین تمامی مقاطع در این برش دیده می‌شود که حدود ۳,۴ درجه اندازه‌گیری شده است. بر اساس تفسیر انجام شده، با افزایش دگرریختی در



شکل ۱۶- (A) برش لوزه‌ای شماره ۷- که در مرکز کوهان شماره ۳- تاقدیس پازنان قرار دارد (B) تفسیر ساختاری برش شماره ۷-.

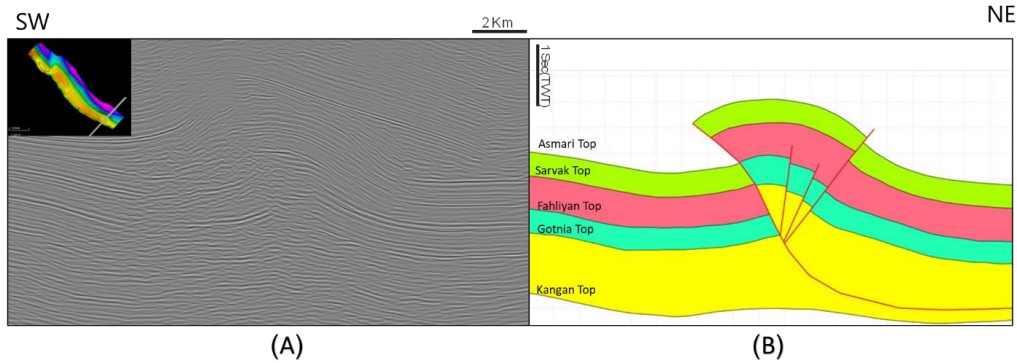
یک چین باز به شمار می‌رود (شکل ۱۷). لولای چین در این بخش مدور و اندکی نامتقارن است و کمی به سمت جنوب باختری تمایل دارد. شیب ناحیه‌ای واحدها در این مقطع ۲,۶ درجه به سمت شمال خاوری است. در این برش، میزان شدت دگرریختی بیشتر از برش قبل است زیرا علاوه بر گسل پس‌راندگی پیشین (در

برش لوزه‌ای شماره ۸-

این برش تقریباً در انتهای کوهان جنوب خاوری تاقدیس پازنان قرار دارد و با توجه به این که از مرکز این کوهان فاصله گرفته، میزان برخاستگی، شیب پیش و پس‌یال آن کاهش و زاویه‌ی بین یالی آن افزایش یافته است و در تقسیم بندی بر اساس شاخص فشردگی،

نیز (همانند برش قبل)، در اثر فعالیت سازند گرو به عنوان افق جدایشی، در بخش بین سرسازندهای فهلیان و گوتنیا یک تغییر ستبرای رخ داده است. میزان کوتاه شدگی در این مقطع ۸,۹٪ اندازه‌گیری شده است.

برش قبلی) که در اینجا بخش‌های آسماری تا گوتنیا را جا به جا کرده، دو گسل پس‌راندگی جدید (هم سو با پس‌راندگی اولیه) ایجاد شده‌اند که بخش‌های فهلیان و گوتنیا را جا به جا کرده‌اند. در این برش



شکل ۱۷- (A) برش لوزه‌ای شماره ۸- تقریباً در انتهای کوهان جنوب خاوری تاق‌دیس پازنان قرار دارد (B) تفسیر ساختاری برش شماره ۸-

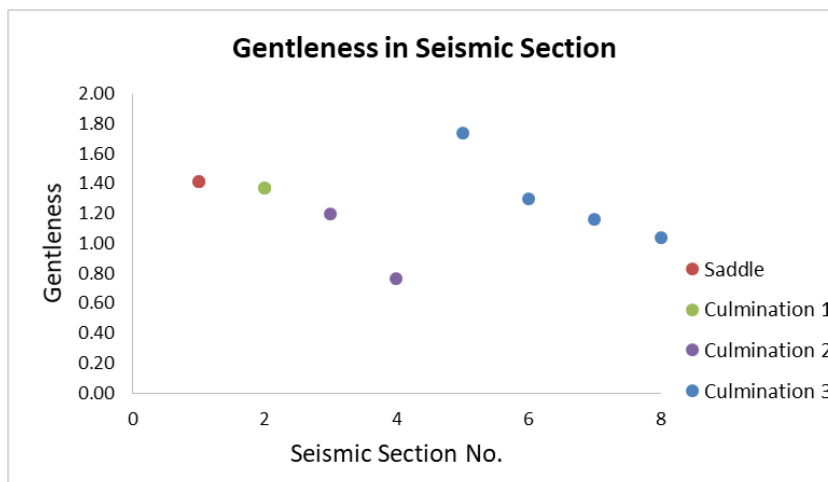
دگرریختی است بدین معنا که با افزایش زاویه‌ی چین خوردگی، زاویه‌ی بین یالی و میزان ملایم بودن چین کاهش پیدا کرده و در نتیجه میزان دگرریختی افزایش می‌یابد (شکل ۱۸). در شکل ۱۹، رابطه‌ی معکوس میان شاخص‌های زوایای چین خوردگی و بین یالی به خوبی نمایان است که با افزایش یکی از این شاخص‌ها، دیگری کاهش می‌یابد.

۳-۴ ویژگی‌های هندسی تاق‌دیس پازنان

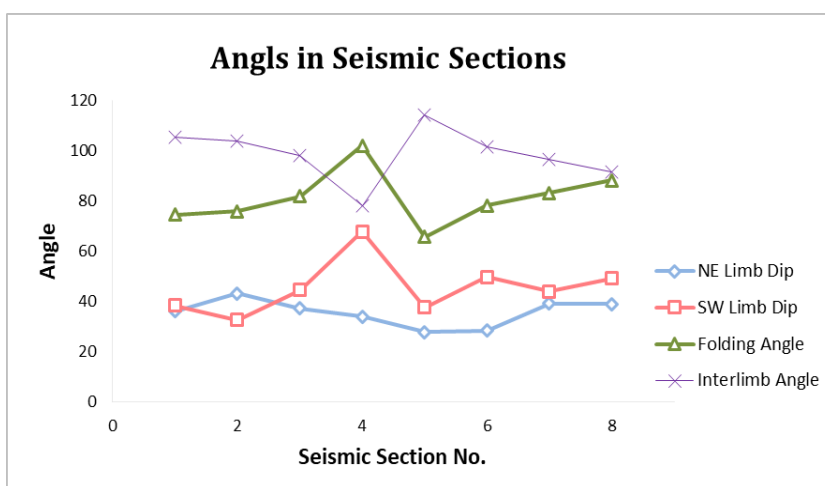
بر پایه مقاطع عمقی تهیه شده، شاخص‌های هندسی شیب پیش و پس‌یال‌ها، زاویه‌ی بین یالی، زاویه‌ی چین خوردگی، میزان ملایم بودن، برخاستگی و طول دامنه‌ی چین افق آسماری تاق‌دیس پازنان محاسبه و در جدول ۱ آورده شده‌اند. شاخص فشردگی، نمایانگر میزان چین خوردگی یا به بیان دیگر میزان

جدول ۱- قطعه‌بندی تاق‌دیس پازنان همراه با زوایای به دست آمده و شاخص فشردگی چین افق آسماری در برش‌های عرضی هر قطعه. مقادیر بیشینه و کمینه‌ی هر ستون با زیر خط و رنگ متمایز مشخص شده‌اند.

شماره برش عرضی	نام قطعه	شیب پس‌یال (یال NE)	شیب پیش‌یال (یال SW)	زاویه‌ی بین یالی (i)	زاویه‌ی چین خوردگی (Φ)	میزان ملایم بودن	نوع چین بر پایه فشردگی	میزان برخاستگی (متر)	طول دامنه
۱	زین سان بین ساختمان‌های آغاجاری و پازنان	۳۶,۱	۳۸,۵	۱۰۵,۴	۷۴,۶	۱,۴۱	باز (Open)	۳۰۱۸,۶	۱۸۱۰,۲
۲	کوهان شمال‌باختری	<u>۴۳,۲</u>	<u>۳۲,۸</u>	۱۰۴	۷۶	۱,۳۷		<u>۱۶۵۸</u>	۲۹۸۶,۸
۳	کوهان مرکزی	۳۷,۳	۴۴,۶	۹۸,۱	۸۱,۹	۱,۲۰		<u>۳۴۸۸</u>	<u>۲۲۸۱,۶</u>
۴		۳۴,۱	<u>۶۷,۹</u>	<u>۷۸</u>	<u>۱۰۲</u>	<u>۰,۷۶</u>		۳۴۲۷,۸	۲۰۲۰,۷
۵	کوهان جنوب‌خاوری	<u>۲۸</u>	۳۷,۸	<u>۱۱۴,۲</u>	<u>۶۵,۸</u>	<u>۱,۷۴</u>		۳۰۳۹,۴	۲۰۱۷,۳
۶		۲۸,۵	۴۹,۸	۱۰۱,۷	۷۸,۳	۱,۳۰		۳۱۶۶,۴	۱۸۰۴,۹
۷		۳۹,۲	۴۴	۹۶,۸	۸۳,۲	۱,۱۶		۳۳۷۱	۲۱۱۱,۴
۸		۳۹	۴۹,۳	۹۱,۷	۸۸,۳	۱,۰۴		<u>۲۹۳۱,۹</u>	۱۷۹۴,۷



شکل ۱۸- نمودار مقادیر شاخص ملایم بودن چین افق آسماری در برش‌های لرزه‌ای مورد بررسی در تاقدیس پازنان.



شکل ۱۹- نمودار تغییر زوایای چین خوردگی، بین یالی و شیب یال‌های شمال خاوری و جنوب باختری چین افق آسماری در برش‌های عرضی تاقدیس پازنان.

را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۲۰). در موقعیت بلندای هنديجان، فعالیت این بلندا با کاهش ستبرای بخش‌های میان سرسازندهای آسماری تا سروک (به میزان بیشتر) و سروک تا فهلیان (به میزان کمتر) قابل مشاهده و درک است. در این مقطع، سرسازندگوتیا در برخی نواحی به دلیل بریده شدن توسط گسل پیش ژرفای زاگرس در محل عبور خط طولی نمایش داده نشده است.

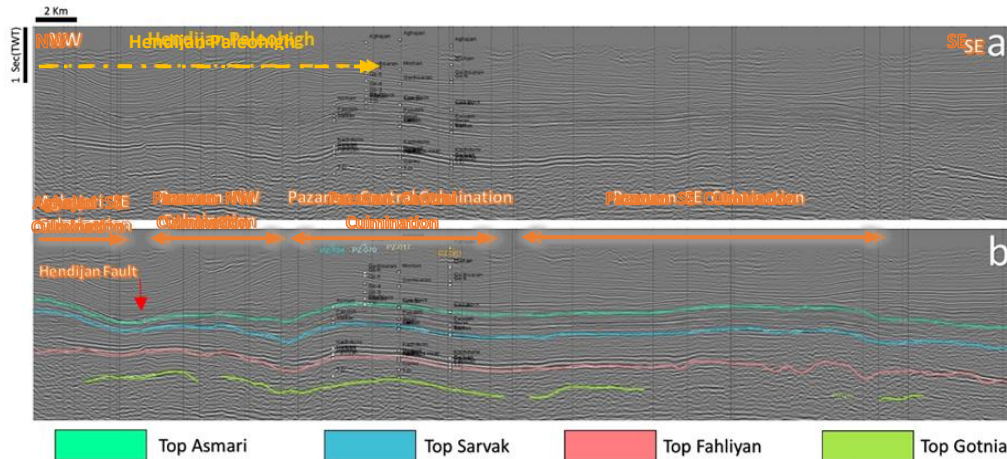
به غیر از محدوده‌ی بلندای هنديجان، ستبرای بخش‌های تفسیر شده در طول تاقدیس پازنان تغییر چشمگیری را نشان نمی‌دهند. به عبارت دیگر، با نزدیک شدن به محدوده‌ی بلندای هنديجان، کاهش آشکار ستبرای سازندها در هر دو تاقدیس آجاجاری و پازنان دیده می‌شود ولی در خارج از محدوده‌ی بلندا، واحدهای

۴-۴- برش‌های لرزه‌ای طولی

در گستره مورد مطالعه، برای مشاهده‌ی دقیق‌تر تغییرات صورت گرفته در محل بلندای هنديجان و طول تاقدیس پازنان، برش‌های لرزه‌ای طولی در امتداد محور تاقدیس نیز تهیه شده و مورد بررسی قرار گرفتند. در این بخش، یک برش لرزه‌ای طولی نمایش داده می‌شود که بصورت برش ترکیبی (Composite Seismic Line) تهیه شده و از محور چین افق آسماری هر ۳ کوهان تاقدیس پازنان و انتهای جنوب باختری تاقدیس آجاجاری عبور کرده است (خط قرمز در شکل ۹). در این مقطع که مورد تفسیر و بررسی قرار گرفته است، فعالیت گسل هنديجان مشاهده می‌شود که یک گسل پی سنگی تقریباً قائم بوده و تا بالای سرسازند آسماری عمل کرده است و سازندهای قدیمی‌تر از آن

در چاه‌های ۱۲۴PZ، ۷۰PZ، ۱۷PZ و ۶۱PZ- (به ترتیب از شمال‌باختر به سمت جنوب‌خاور برش) مشخص شده‌اند که تطابق خوبی با تفسیر انجام شده دارند.

رسوبی دارای تغییرات ستبرای قابل ملاحظه‌ای نیستند (شکل ۲۰). در این برش طولی برای تطابق و اطمینان از تفسیر درست سرسازندها، اطلاعات چینه‌شناسی و سرسازندها



شکل ۲۰- (a) برش لوزه‌ای طولی ترکیبی در راستای محور چین ناقدیس پازنان (خط قرمز در شکل ۹) به همراه محدوده‌ای بلندای قدیمی هنديجان (b) تفسیر سرسازندها و اطلاعات چاه‌های ۱۲۴PZ، ۷۰PZ، ۱۷PZ و ۶۱PZ- (به ترتیب از شمال‌باختر به سمت جنوب‌خاور) به همراه محدوده‌ی ۳ کوهان ناقدیس پازنان و کوهان جنوب خاوری ناقدیس آغاچاری.

چاه مشاهده نمی‌شود و سازند پابده (علاوه بر کاهش ستبرای) با ناپیوستگی بر روی سازند سروک قرار گرفته است و توالی گورپی، ایلام و لافان در این چاه وجود ندارد (شکل ۲۱).

چاه ۱۲۴PZ- در شمال‌باختری کوهان شماره ۲- ناقدیس پازنان و نزدیک به محور و لولای چین آسماری واقع گردیده و تا بخشی از سازند فهلیان حفاری شده است. ستون چینه‌نگاری این چاه از جدید به قدیم عبارتست از سازندهای آغاچاری، میشان، گچساران، آسماری، پابده، گورپی، سروک، کژدمی، داریان، گدوان و فهلیان (شکل ۲۱). با توجه به این که محل این چاه نسبت به چاه ۱۰۸PZ- از محور بلندای هنديجان فاصله بیشتری دارد، افزایش ستبرای چشمگیری در سازند پابده و افزایش ستبرای کمی در سازند آسماری رخ داده و سازند گورپی نیز در این ناحیه رسوبگذاری کرده ولی در این چاه سازند ایلام وجود ندارد (شکل ۲۱). لازم به ذکر است که در موقعیت چاه ۱۲۴PZ-، به دلیل عدم حفاری سازندهای قدیمی‌تر از سروک نمی‌توان در خصوص اثر عملکرد بلندای هنديجان بر روی این سازندها اظهارنظر نمود ولی در برش طولی لوزه‌ای نیز تغییر ستبرای خاصی در سازندهای قدیمی‌تر از سروک

۴-۵- ستون چینه‌نگاری چاه‌های ناقدیس پازنان

برای پی بردن به سازندهای نهشته‌شده در گستره مورد مطالعه و تغییرات ستبرای آنها در طول امتداد ناقدیس پازنان، داده چاه‌های مختلف موجود با استفاده از نرم‌افزار پترل (Petrel) در کنار هم قرار داده شده‌اند. چاه‌های حفاری شده در این ناقدیس که دارای اطلاعات سرعتی درون‌چاهی (چک‌شات یا VSP) هستند به ترتیب از شمال‌باختر به سمت جنوب خاور عبارتند از چاه‌های ۱۰۸PZ، ۱۲۴PZ، ۱۷PZ، ۶۱PZ و ۲۳PZ- که حداکثر تا بخشی از سازند گرو (تنها در چاه ۱۷PZ-) حفاری شده‌اند (شکل‌های ۹ و ۲۱).

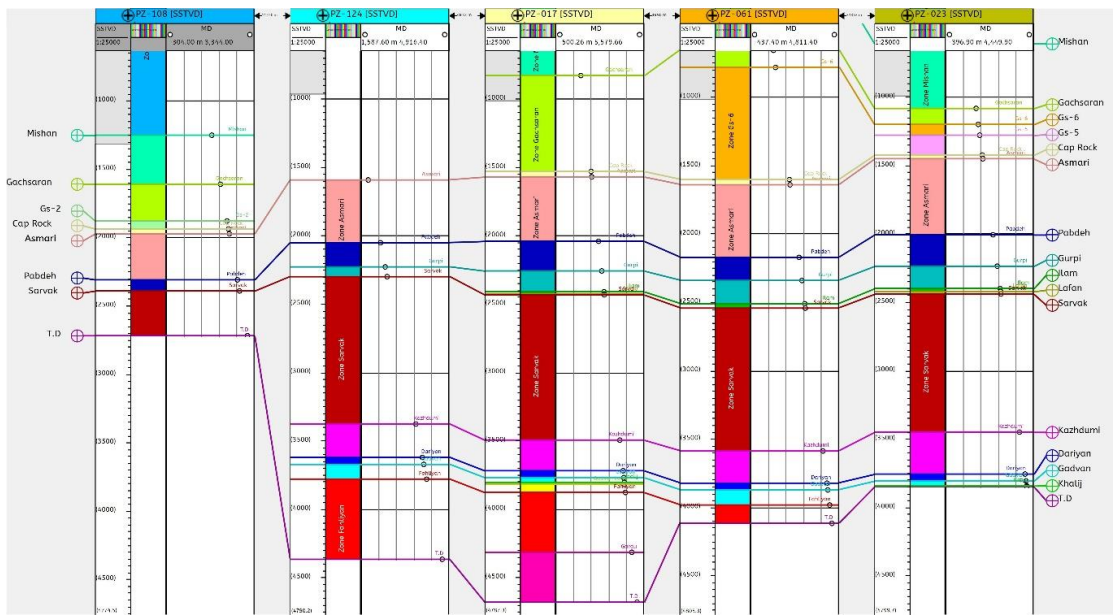
چاه ۱۰۸PZ- در زین‌سان بین دو ناقدیس پازنان و آغاچاری و در باختر بلندای هنديجان قرار گرفته است (شکل‌های ۹ و ۲۰). این چاه تا بخشی از سازند سروک حفاری شده و سازند آسماری آن در ژرفای بیشتری نسبت به چاه‌های دیگر قرار گرفته است که دلیل آن میزان چین‌خوردگی و برخاستگی کمتر چین افق آسماری در این زین‌سان است. با توجه به قرارگیری این چاه در محدوده‌ی بلندای قدیمی هنديجان و فعالیت زمین‌ساختی این بلندا، توالی عادی سازندها در این

چاه PZ-۶۱ در انتهای جنوب خاوری کوهان مرکزی تاقدیس پازنان قرار گرفته و تا بخشی از سازند فهلیان حفاری شده است. ترتیب سازندها در این چاه مشابه ستون چینه‌شناسی چاه PZ-۱۷ است ولی ستبرای سازندهای آسماری، گورپی، سروک، کژدمی و گدوان در این ستون افزایش یافته است (شکل ۲۱).

چاه PZ-۲۳ تقریباً در میانه‌ی کوهان جنوب خاوری تاقدیس پازنان قرار گرفته است و علاوه بر توالی سازندهای موجود در چاه PZ-۶۱، سازند لافان نیز در بین دو سازند سروک و ایلام مشاهده می‌شود. این چاه تا بخشی از سازند گدوان حفاری شده و در مقایسه با چاه PZ-۶۱، سازندهای آسماری، پابده، گورپی، کژدمی و کمی سروک آن افزایش ستبرای نشان می‌دهند (شکل ۲۱).

مشاهده نمی‌شود (شکل ۲۰).

چاه PZ-۱۷ در نزدیکی قله کوهان مرکزی تاقدیس پازنان و در جنوب خاوری چاه PZ-۱۲۴ حفار شده است. این چاه ژرف‌ترین چاه موجود در تاقدیس پازنان بوده و تا بخشی از سازند گرو حفاری شده است. ستون چینه‌نگاری این چاه به ترتیب از جدید به قدیم شامل سازندهای آغا‌جاری، میشان، گچساران، آسماری، پابده، گورپی، ایلام، سروک، کژدمی، داریان، گدوان، فهلیان و گرو است. در این چاه ستبرای سازند گورپی نسبت به چاه PZ-۱۲۴ حدود ۲ برابر شده و ستبرای سازند پابده نیز با افزایش همراه بوده است. همچنین سازند ایلام که در ستون چینه‌نگاری چاه PZ-۱۲۴ دیده نمی‌شد، در این چاه دارای ستبرای بسیار کمی دارد (شکل ۲۱).



شکل ۲۱- ستون چینه‌نگاری از راس سازند آسماری به پایین به ترتیب از شمال باختر به سمت جنوب خاور چاه‌های PZ-۱۲۴، PZ-۱۰۸، PZ-۶۱، PZ-۲۳ و PZ-۱۰۷.

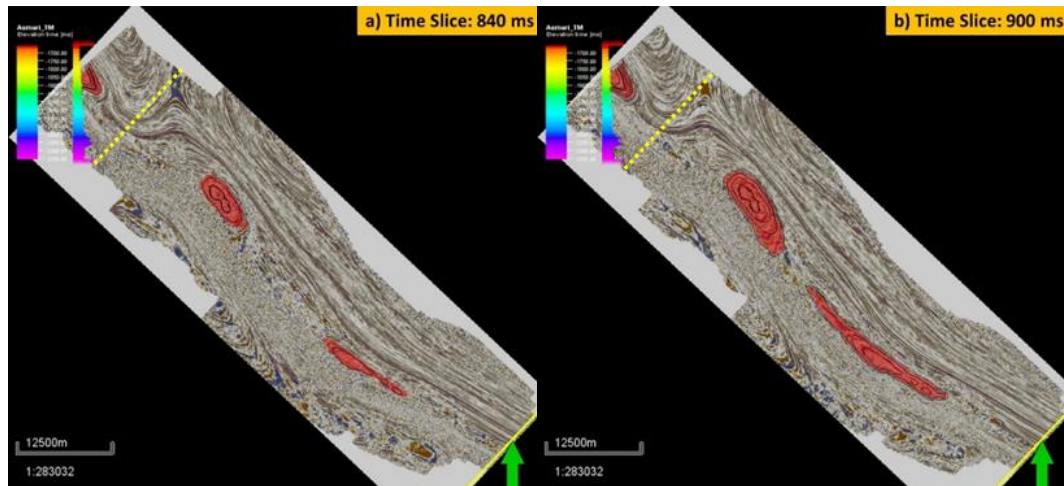
با هم‌پوشانی با نقشه‌ی زمانی سازند آسماری استفاده شده است. با فرض این که رشد زمانی و مکانی (در دو بعد جانبی و ارتفاعی) چین‌خوردگی در این کوهان‌ها هم‌ارز باشد، آن‌گاه برش زمانی 840 ms بیانگر آن است که در آغاز بررسی میزان بالا آمدگی منطقه لولای بخش‌های مختلف چین در طول محور آن بر اثر چین‌خوردگی، ابتدا چین‌های جدایشی در دو کوهان مرکزی و جنوب‌خاوری تاقدیس پازنان و همچنین کوهان جنوب خاوری تاقدیس آغا‌جاری به صورت

۴-۶- مدل میزان بالا آمدگی منطقه لولای بخش‌های مختلف چین در طول محور آن بر اثر چین‌خوردگی در کوهان‌های تاقدیس پازنان

برای بررسی نحوه شکل‌گیری کوهان‌های سه‌گانه تاقدیس پازنان و نشان دادن مراحل رشد هسته‌های اولیه و مجزای این کوهان‌ها که با افزایش میزان دگربرختی، توسعه یافته و به طور جانبی به یکدیگر متصل شده‌اند، از ۶ تصویر برش زمانی لرزه‌ای (Seis-mic time slice) با فواصل 60 ms از یک‌دیگر، همراه

با رشد جانبی به یکدیگر نزدیک شده‌اند و محورهای آنها با خمیده شدن، در یک راستا قرار گرفته‌اند (شکل ۲۲-ب).

هسته‌های اولیه مجزا تشکیل شده‌اند (شکل ۲۲-ا). سپس با افزایش میزان دگرریختی (در برش زمانی ۹۰۰ ms)، این چین‌ها با افزایش دامنه و میزان کوتاه شدگی در کوهان‌های نامبرده رشد مجزا داشته‌اند و



شکل ۲۲- برش‌های زمانی لرزه‌ای (a) ۸۴۰ میلی ثانیه، (b) ۹۰۰ میلی ثانیه از مکعب لرزه‌ای تاقدیس پازنان و کوهان جنوب خاوری تاقدیس آغاچاری به همراه هم‌پوشانی با نقشه زمانی افق آسماری (گسل هنديجان با خطوط متقاطع زرد رنگ مشخص شده است).

کوهان مرکزی کاملاً آشکار است که محور چین آسماری این کوهان (پیش از پیوند با کوهان شمال باختری)، در نتیجه عملکرد گسل پی‌سنگی هنديجان به شمال خمیدگی پیدا کرده است.

۵- بحث

میدان گاز میعانی پازنان، یک تاقدیس نامتقارن و موجی شکل است که در فرادیواره‌ی گسل پیش ژرفای زاگرس قرار دارد. در نقشه‌های عمقی تهیه شده، کوهان جنوب خاوری تاقدیس آغاچاری مشاهده می‌شود که با یک زین‌سان (Saddle) به کوهان شمال باختری تاقدیس پازنان متصل می‌شود. در گستره مورد مطالعه، بلندای قدیمی هنديجان از محدوده‌ی کوهان شمال باختری تاقدیس پازنان و کوهان جنوب خاوری تاقدیس آغاچاری عبور می‌کند (شکل ۲۰-ا). در میدان پازنان، محور چین افق‌های آسماری و سازندهای قدیمی‌تر از آن دارای خمیدگی بوده و تغییرات روند آن از N310 تا N324 در تغییر است (شکل ۸).

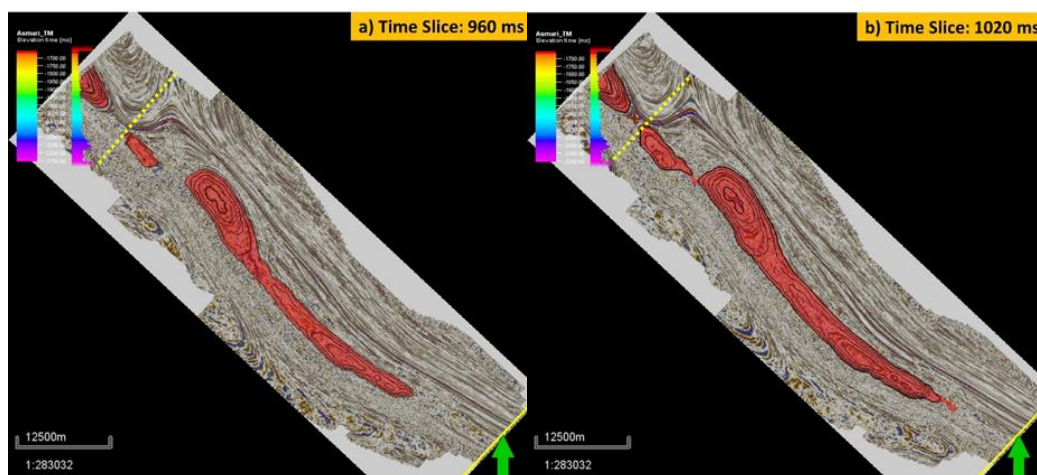
بر پایه تفاسیر برش‌های لرزه‌ای و ترسیم مقاطع ساختاری، چین تاقدیس پازنان از نوع هماهنگ (Asymmetric Harmonic Fold) و جدایشی نامتقارن (Detachment Fold) است که سازند دشتک در آن به

با افزایش میزان دگرریختی پیش‌رونده (در برش زمانی ۹۶۰ ms)، آغاز چین خوردگی در هسته مجزای کوهان شمال باختری تاقدیس پازنان آغاز شده و با رشد جانبی رخ داده در کوهان‌های مرکزی و جنوب خاوری، این دو کوهان به یکدیگر متصل شده‌اند که نوع پیوند (Linkage) آن‌ها مطابق مدل پیشنهادی فرناندز و کاس (۲۰۱۴) از نوع پیوند دو گانه خطی (DLL) است (شکل ۲۳-ا).

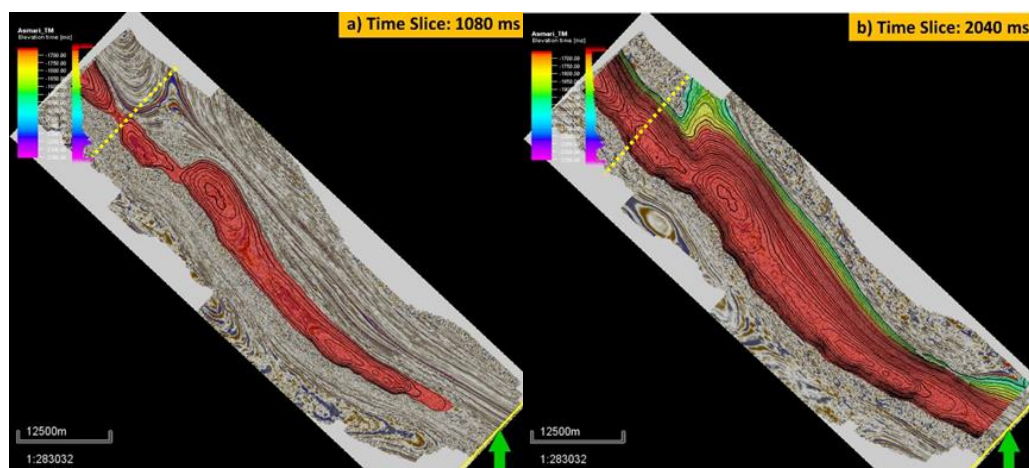
در برش زمانی ۱۰۲۰ ms (شکل ۲۳-ب)، با افزایش میزان دگرریختی پیش‌رونده، میزان چین خوردگی و رشد جانبی و ارتفاعی دو کوهان مرکزی و شمال باختری تاقدیس پازنان افزایش می‌یابد و این دو کوهان با پیوند از نوع دو گانه مورب (DLO) به یکدیگر متصل می‌شوند.

در برش زمانی ۱۰۸۰ ms (شکل ۲۴-ا)، رابطه‌ی میان کوهان‌های شمال باختری تاقدیس پازنان و جنوب خاوری تاقدیس آغاچاری نمایان است که با افزایش رشد چین خوردگی در این دو تاقدیس، اتصال میان آن‌ها از نوع پیوند دو گانه خطی (DLL) برقرار شده است.

در برش زمانی ۲۰۴۰ ms (شکل ۲۴-ب)، در شمال باختری



شکل ۲۳- برش‌های زمانی (a) ۹۶۰ میلی ثانیه، (b) ۱۰۲۰ میلی ثانیه، از مکتب لرزه‌ای تاقدیس پازنان و کوهان جنوب خاوری تاقدیس آغاچاری به همراه هم‌پوشانی با نقشه زمانی افق آسماری (گسل هندیمان با خطوط متقاطع زرد رنگ مشخص شده است).



شکل ۲۴- برش‌های زمانی (a) ۱۰۸۰ میلی ثانیه، (b) ۲۰۴۰ میلی ثانیه، از مکتب لرزه‌ای تاقدیس پازنان و کوهان جنوب خاوری تاقدیس آغاچاری به همراه هم‌پوشانی با نقشه زمانی افق آسماری (گسل هندیمان با خطوط متقاطع زرد رنگ مشخص شده است).

باختری تقسیم شده است که میزان دگرریختی در کوهان جنوب خاوری آن به دلیل وجود گسل‌های پس‌راندگی بیشتر از کوهان‌های دیگر است و کوهان مرکزی آن کم‌تر فزاترین کوهان این تاقدیس به شمار می‌رود (شکل ۸). مقادیر شاخص ملایم بودن بیان‌گر آن است که نواحی زین‌سان میان کوهان‌ها و ابتدا و انتهای کوهان‌ها به دلیل ازدیاد این شاخص، نسبت به بخش‌های میانی کوهان‌ها دگرریختی کمتری را متحمل شده‌اند (شکل ۱۸). نمودار مقایسه مقادیر شیب پیش‌یال و پس‌یال در سراسر تاقدیس نشانگر آن است که بطور عمومی میزان شیب یال شمال خاوری (پس‌یال) کمتر از شیب یال جنوب باختری (پیش‌یال) تاقدیس است. البته در برخی مقاطع، میزان شیب یال شمال خاوری به دلیل عملکرد گسل‌های پس‌راندگی

عنوان یک افق جدایشی میانی عمل کرده و گسل راندگی پیش ژرفای زاگرس در تمام طول تاقدیس، پیش‌یال چین را از میان سازند دشتک تا سرسازند آسماری قطع و جابه‌جا نموده و در فرودواره این گسل، ناودیس‌های ملایمی تشکیل شده است. چین افق آسماری در تمام برش‌های لرزه‌ای مورد مطالعه، در گروه باز (Open) شاخص فشردگی چین قرار می‌گیرد و بجز برش شماره ۲- که به علت حالت پلانژ، تاقدیس به سمت شمال خاوری تمایل دارد، سایر برش‌ها به سمت جنوب باختری متمایل هستند. تغییرات درصد کوتاه‌شدگی سرسازند آسماری در این تاقدیس از ۷٫۳ تا ۱۱٫۹ درصد اندازه‌گیری شده است (جدول ۱). تاقدیس پازنان بر اساس نقشه‌ی عمقی راس افق آسماری به ۳ کوهان جنوب خاوری، مرکزی و شمال



شدگی، کوهان شمال خاوری پازنان تشکیل شده است. پیوند کوهان مرکزی و کوهان جنوب خاوری تاقدیس که زودتر رخ داده است از نوع پیوند دوگانه خطی (DLL) و پیوند کوهان مرکزی و کوهان شمال باختری از نوع پیوند دوگانه مورب (DLO) است (شکل های ۲۲، ۲۳ و ۲۴).

۶- نتیجه گیری

تاقدیس پازنان یک چین جدایشی نامتقارن گسل خورده (Asymmetric Faulted Detachment Fold) است که پس از چین خوردگی بوسیله گسل پیش ژرفای زاگرس بریده شده است. این تاقدیس کشیده، از اتصال ۳ کوهان مجزای جنوب خاوری، میانی و شمال باختری با یکدیگر تشکیل شده است.

در محدوده‌ی بلندای هندیمان (که منطبق بر کوهان شمال باختری تاقدیس پازنان و کوهان جنوب خاوری تاقدیس آجاجاری است)، در اثر برخاستگی ناحیه‌ی بلندای و فعالیت گسل هندیمان در زمان رسوب گذاری سازندهای کرتاسه‌ی پسین و پالئوسن، ستبرای سازندهای آسماری، سروک و پابده کاهش یافته و سازندهای گورپی، ایلام و لافان یا نهشته نشده‌اند و یا فرسایش یافته و حذف شده‌اند. در حالی که در بقیه طول تاقدیس پازنان، این سازندها نهشته شده و بخش‌های میان سرسازندهای آسماری تا فهلیان تاقدیس، نسبت به محدوده‌ی بلندای هندیمان ستبرای بیشتری را دارا هستند.

در میانه و انتهای کوهان جنوب خاوری تاقدیس پازنان، در بخش لولای چین میان سرسازندهای فهلیان و گوتنیا، در اثر فعالیت جدایشی افق گرو، تغییر ستبرای چشمگیری رخ داده است و با توجه به گسل‌های پس‌راندگی موجود در این بخش، دگرریختی بیشتری از سایر نقاط تاقدیس پازنان رخ داده است.

به نظر می‌رسد که در تاقدیس پازنان، ابتدا کوهان‌های مرکزی و جنوب خاوری تشکیل شده‌اند و سپس با افزایش دگرریختی و کوتاه شدگی، کوهان شمال باختری تاقدیس تشکیل شده است. بنابراین، تاقدیس کشیده و طویل پازنان حاصل پیوند ۳ کوهانی است که ابتدا بطور جداگانه در هسته‌های کوچک تشکیل شده‌اند و سپس به یکدیگر اتصال یافته‌اند.

افزایش ناگهانی داشته است (شکل ۱۹). گسل هندیمان که کنترل کننده عملکرد بلندای قدیمی هندیمان است، از محدوده‌ی کوهان شمال باختری تاقدیس پازنان و کوهان جنوب خاوری تاقدیس آجاجاری عبور می‌کند. این گسل، یک گسل پی‌سنگی قائم است که سازند آسماری و سازندهای قدیمی‌تر از آن را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۲۰). با فاصله گرفتن از بلندای قدیمی هندیمان، برخی از سازندهای موجود در محدوده‌ی بلندای (از جمله سازندهای آسماری، پابده و سروک) افزایش ستبرای قابل توجهی پیدا کرده‌اند و سازندهای گورپی، ایلام و لافان که در محدوده‌ی بلندای دیده نمی‌شوند (که یا رسوب گذاری نکرده‌اند و یا در نتیجه فرسایش حاصل از عملکرد بلندای حذف شده‌اند) به تدریج با فاصله گرفتن از بلندای در ستون چینه‌نگاری چاه‌ها دیده می‌شوند (شکل ۲۱). بنابراین می‌توان چنین عنوان نمود که بلندای هندیمان در زمان کرتاسه‌ی پسین و پالئوسن دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی واضحی بوده که نتیجه آن کاهش ستبرای سازندهای موجود و یا عدم رسوب گذاری/فرسایش سازندهای گورپی، ایلام و لافان بوده است. فعالیت زمین‌ساختی بلندای در زمان رسوب گذاری سازندهای آسماری تا سروک چشمگیرتر و در زمان رسوب گذاری سازندهای سروک تا فهلیان کم‌تر بوده است (شکل ۲۱).

بجز محدوده‌ی بلندای، بطور کلی تغییر ستبرای چشمگیری میان سرسازندهای تفسیر شده در طول تاقدیس پازنان دیده نمی‌شود ولی در میانه و انتهای کوهان جنوب خاوری تاقدیس، به ناگاه ستبرای بین سازندهای فهلیان و گوتنیا در محل لولای چین افزایش می‌یابد که می‌تواند حاصل فعالیت افق گرو به عنوان یک سطح جدایشی فرعی باشد (شکل های ۱۶ و ۱۷).

در دگرریختی تاقدیس پازنان، با فرض این که رشد زمانی و مکانی چین خوردگی در کوهان‌ها (در سراسر تاقدیس) هم‌ارز باشد، رشد چین‌ها در هسته‌های مجزا رخ داده و سپس با افزایش دگرریختی پیش‌رونده، این چین‌های کوچک اولیه توسعه یافته و به یکدیگر پیوند خورده‌اند و تاقدیس طویل پازنان را شکل داده‌اند. با این فرض، ابتدا کوهان‌های مرکزی و جنوب خاوری تاقدیس پازنان و سپس با افزایش دگرریختی و کوتاه

Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229(3-4), 211-238.

Aqrawi, A.A., Goff, J.C., Horbury, A.D. and Sadooni, F.N., 2010. The petroleum geology of Iraq. Scientific Press.

ArRajehi, A., McClusky, S., Reilinger, R., Daoud, M., Alchalbi, A., Ergintav, S., Gomez, F., Sholan, J., Bou-Rabee, F., Ogubazghi, G. and Haileab, B., 2010. Geodetic constraints on present-day motion of the Arabian Plate: Implications for Red Sea and Gulf of Aden rifting. *Tectonics*, 29(3).

Berberian, M., King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian journal of earth sciences*, 18 (2), 210-265.

Bordenave, M. L., 2014, Petroleum systems and distribution of the oil and gas fields in the Iranian part of the Tethyan Region, In: Marlow, L., Kendall, C., and L. Yose, (Eds.), *Petroleum systems of the Tethyan region: AAPG Memoir 106*, 505-540.

Bordenave, M.L. and 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.

Bordenave, M.L., Hegre, J.A., 2010. Current Distribution of Oil and Gas Fields in the Zagros Fold Belt of Iran and Contiguous Offshore as the Result of the Petroleum Systems. Geological Society, London, Special Publications 330(1), 291-353.

Derikvand, B., Alavi, A., AbdollahieFard I., Hajjalibeigia H., 2018 Folding style of the Dezful Embayment of Zagros Belt: Signatures of detachment horizons, deep rooted faulting and syn-deformation deposition. *Marine and Petroleum Geology Volume 91*, March 2018. 501-518.

Edgell, H.S., 1992. Basement tectonics of Saudi

تشکر و قدردانی

از مدیر محترم اکتشاف، معاون محترم علوم زمین، مجری طرح دزفول جنوبی، رئیس و کارشناسان محترم اداره‌های ژئوفیزیک و پژوهش- فناوری مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران برای کمک‌های بی‌دریغ و حمایت‌های همه‌جانبه خود از جمله در اختیار قرار دادن داده‌های زیرسطحی لرزه‌ای و چاه، تجهیزات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری مورد نیاز، آموزش نرم‌افزار پترل و همچنین راهنمایی‌های ارزنده‌شان در طی مدت انجام این تحقیق، تشکر و قدردانی وافر می‌نمایم.

منابع

توکلی یرکی، م.، علوی، ا.، قاسمی، م.، عبداللهی فرد، ا.، ۱۳۹۷. تحلیل دگرریختی و بررسی سبک چین خوردگی در تاقدیس‌های مارون و کوپال بر پایه داده‌های لرزه‌ای بازتابی، جنوب فروبار دزفول، پژوهش‌های دانش زمین، سال نهم، شماره ۳۳، بهار، ص ۱۵۳-۱۷۷.

توکلی یرکی، م.، علوی، ا.، قاسمی، م.، عبداللهی فرد، ا.، ۱۳۹۹. نقش چینه‌نگاری مکانیکی در هندسه چین خوردگی، با استفاده از داده‌های زیرسطحی؛ مطالعه موردی: تاقدیس‌های آغاچاری و پازنان (جنوب فروبار دزفول)، مجله علوم زمین، سال بیست و نهم، شماره ۱۱۶، تابستان، ص ۲۱۳-۲۲۸.

علی پور، ر.، علوی، ا.، قاسمی، م.، مختاری، م. و گلال زاده، ع.، ۱۳۹۲. تحلیل شکستگی‌های سنگ مخزن آسماری میدان نفتی پازنان (جنوب باختر ایران). نشریه علوم دانشگاه خوارزمی، بهار، جلد ۱۲، شماره ۲، ص ۴۸۳-۵۰۰.

مطیعی، ه.، ۱۳۷۴. زمین‌شناسی نفت زاگرس. طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، جلد اول، ۱۰۰۹ ص. مطیعی، ه.، ۱۳۸۲. چینه‌شناسی زاگرس. طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ص ۵۸۴.

Abdollahie Fard, I., Braathen, A., Mokhtari, M. and Alavi, S.A., 2006. Interaction of the Zagros Fold-Thrust Belt and the Arabian-type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran. *Petroleum Geoscience*, 12(4), 347-362.

- framework of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Marine and Petroleum geology*, 21(7), 829-843.
- Sherkati, S. and Letouzey, J., 2004. Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran. *Marine and petroleum geology*, 21(5), 535-554.
- Soleimany, B. and Sabat, F., 2010. Style and age of deformation in the NW Persian Gulf. *Petroleum Geoscience*, 16(1), 31-39.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. *AAPG Bulletin*, 52(7), 1229-1258.
- Stocklin, J., 1974. Possible ancient continental margins in Iran. In: *The geology of continental margins*. Springer, Berlin, Heidelberg. 873-887.
- T'Hart, B., 1970. Tectonic framework and paleogeography of the agreement area. National Iranian Oil Company, Report 1179 (unpublished).
- Talbot, C.J. and Alavi, M., 1996. The past of a future syntaxis across the Zagros. *Geological Society, London, Special Publications*, 100(1), 89-109.
- Arabia as related to oil field structures. In *Basement Tectonics 9*. Springer, Dordrecht, 169-193.
- Edgell, H.S., 1996. Salt tectonism in the Persian Gulf basin. *Geological Society, London, Special Publications*, 100(1), 129-151.
- Falcon, N.L., 1974. South Iran: Zagros Mountains. Spencer, A.M, *Mesozoic-Cenozoic Orogenic belts Data for Orogenic studies*, Geological Society of London, Special Publication, 4 (1), 199-211.
- Fernandez, N. and Kaus, B.J., 2014. Fold interaction and wavelength selection in 3D models of multilayer detachment folding. *Tectonophysics*, 632, 199-217.
- Hatzfeld, D., Tatar, M., Priestley, K. and Ghafory-Ashtiany, M., 2003. Seismological constraints on the crustal structure beneath the Zagros Mountain belt (Iran). *Geophysical Journal International*, 155(2), 403-410.
- Hessami, K., Koyi, H.A. and Talbot, C.J., 2001. The significance of strike-slip faulting in the basement of the Zagros fold and thrust belt. *Journal of petroleum Geology*, 24(1), 5-28.
- Homke, S., Vergés, J., Serra-Kiel, J., Bernaola, G., Sharp, I., Garcés, M., Montero-Verdú, I., Karpuz, R. and Goodarzi, M.H., 2009. Late Cretaceous–Paleocene formation of the proto-Zagros foreland basin, Lorestan Province, SW Iran. *Geological Society of America Bulletin*, Vol.121 (7-8), 963-978.
- McClay, K., 2011. Introduction to thrust fault-related folding. In: McClay, K., Shaw, J.H., Suppe, J. (Eds.), *Thrust Fault-related Folding*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 94, 1-19.
- Sella, G.F., Dixon, T.H. and Mao, A., 2002. REVEL: A model for recent plate velocities from space geodesy. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107(B4).
- Sepehr, M. and Cosgrove, J.W., 2004. Structural