



Journal of Structural Geology and Applied Tectonics
(SGAT)

Journal homepage: <https://sgat.journals.pnu.ac.ir/>



Analysis of Folding Geometry and Structural Evolution of the Bangestan Anticline in Southwest Iran

Navid Dehbashi^{*1}

1- Department of Geology, Exploration Directorate, National Iranian Oil Company, Tehran, Iran.

Keywords

Bangestan Anticline,
Detachment Horizons,
Folding,
Mechanical
Stratigraphy,
Mountain Front Fault

Extended Abstract

Introduction

The Zagros Fold-Thrust Belt (ZFTB) represents one of the most prolific hydrocarbon provinces globally, characterized by complex interactions between basement tectonics and a thick sedimentary cover. Recent studies emphasizing the Wilson cycles of the Zagros (Fu *et al.*, 2024) and the precise timing of the initial collision between the Arabian and Eurasian plates provide a new geodynamic framework for understanding the deformation history of this region. Within the Dezful Embayment, a major structural depression in the SW Iran, the Bangestan Anticline stands out as a critical hydrocarbon-bearing structure. Despite extensive previous studies, the structural disharmony between surface exposures and deep-seated reservoirs remains a challenge for exploration and production. This study aims to reconstruct the structural geometry of the Bangestan Anticline by integrating field-based measurements with subsurface data from eight deep exploration and development wells.

The study area is located in the Khuzestan Province, situated at the transition zone between the Dezful Embayment and the Izeh Zone. The Dezful Embayment is characterized by a thick sedimentary succession (up to 14 km) where the Asmari Formation, the primary reservoir, often remains buried. Geophysical observations suggest that structural variations along the Zagros collision zone are controlled by thermo-mechanical modeling and basement-involved faulting. In the Bangestan area, the absence of the Hormuz Salt diapirism suggests a different detachment behavior compared to the Fars and Lorestan regions (Alavi, 2004). The mechanical stratigraphy is dominated by several detachment levels, including the Gachsaran, Kazhdumi, and Dashtak formations, which facilitate decollement and multi-story deformation.

Receive: 2026-05-05

Accepted: 2026-07-24

Published: 2026-08-23

*Corresponding Author: Navid Dehbashi; E-mail: naviddehbashi@gmail.com

How to cite this article: Dehbashi, N.(2026). Analysis of Folding Geometry and Structural Evolution of the Bangestan Anticline in Southwest Iran. *Structural Geology and Applied Tectonics*, 1(1): 39-57. DOI: [10.30473/SGAT.2026.77939.1007](https://doi.org/10.30473/SGAT.2026.77939.1007)



Copyright © 2026, by the author(s). Published by Payame Noor University, Tehran, Iran. This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Methodology

For the purposes of this study, we adopted a multidisciplinary approach that we broke down into four main phases: we started with subsurface analysis, during which we looked closely at the data coming from eight key wells—Bangestan-1, Parsi-1 and 8, and Karanj-4, 7, 9, 14, along with Khaviz-1 and by synthesizing the lithological logs, thickness variations, and drilling reports available for these wells, we were able to identify structural repetitions that pointed to thrusting activity; next came field mapping and remote sensing, where we used geological maps and satellite imagery to draw out stratigraphic boundaries as clearly as possible, while our field surveys across the anticline's limbs gave us direct measurements of dip and strike; then we moved on to structural modeling, for which we constructed four major cross-sections, running from AA' to DD', using the Kink Method, and we brought in professional software like ArcGIS and AutoCAD to make sure that our sections were geometrically accurate and correctly aligned with the topographic profiles; and finally, as the last step, we carried out integration, where we correlated the stratigraphic columns taken from the wells with the cross-sections we had built, which in turn allowed us to analyze shortening rates and also to take a closer look at the axial shift phenomenon that we had observed.

Results and Discussion

The Bangestan Anticline, with a length of approximately 75 km and a width ranging from 4 to 8 km, is characterized as an asymmetric, box-shaped fold that displays a sinusoidal axis (Mitra, 2002). Our findings reveal a pronounced transition in folding style along the strike direction; in the northwestern sector, the fold exhibits a broad, box-like geometry, whereas toward the southeast, it becomes notably tighter and more compressed as tectonic shortening intensifies. This progressive change appears to be closely governed by the proximity of detachment levels to the erosion surface, as well as by the overall magnitude of compressive stress.

Mechanical stratigraphy emerges as a decisive factor controlling the structure of the Bangestan Anticline, and our study identifies three key detachment horizons that play distinct roles: the Dashtak Formation of Triassic age acts as a deep seated detachment, effectively facilitating the decoupling of the lower Paleozoic-Triassic sequences from the overlying Jurassic-Cretaceous strata; the Kazhdumi Formation, a shaly unit of Cretaceous age, serves as a lubricating layer that permits the Bangestan Group comprising the Ilam and Sarvak formations to slide and deform independently of the deeper Khami Group; and the Gachsaran Formation, a highly plastic evaporitic unit dating to the Miocene, functions as an upper detachment that masks deep seated faults and gives rise to disharmonic folding within the overlying Aghajari and Bakhtiari deposits.

The influence of the Mountain Front Fault (MFF) on the southern limb of the anticline is particularly significant. Well data obtained from Bangestan-1 reveal stratal repetition, specifically involving the Surmeh and Dashtak formations, at a depth of 5002 meters, which confirms the presence of blind thrusts in the area. These thrusts are responsible for generating so-called "Rabbit-Ear" structures that are critically important for hydrocarbon entrapment, yet they simultaneously induce the phenomenon of "Axial Shift." Indeed, our results demonstrate that the subsurface crestal position of the Sarvak reservoir is offset by several hundred meters relative to its surface expression. This offset is clearly borne out in the Khaviz-1 and Sartal areas, where drilling operations encountered considerable structural complexities and repeated sections, all attributable to fault related thickening.

Conclusions

Based on the integrated analysis of structural, stratigraphic, and petrophysical data, the following conclusions are drawn: in terms of geometric classification, the Bangestan Anticline is recognized as a faulted detachment box fold that exhibits an asymmetrical geometry combined with a sinusoidal axis, reflecting the complex interplay of shortening and detachment processes; mechanical stratigraphy, and in particular the Kazhdumi and Dashtak detachments, emerges as the primary control on structural disharmony within the fold, giving rise to distinct stratigraphic repetitions in the subsurface that we have documented through well data correlation; a systematic southwestward axial shift is observed between the surface reservoir, represented by the Asmari Formation, and the deeper Sarvak reservoir, and this offset means that future drilling targets in the Parsi and Karanj fields will need to be recalibrated accordingly; fracture dynamics play a key role in reservoir quality, as conjugate and systematic fracture networks further intensified by steep limb dips provide the essential secondary permeability for fluid flow within these tight carbonate reservoirs; finally, the deep-seated gas potential of the Neyriz and Khami groups is confirmed by our findings, yet drilling risks remain appreciably high due to the structural complexity introduced by faulting associated with the Mountain Front Flexure (MFF), which must be carefully managed in any future exploration program..



تحلیل هندسه چین‌خوردگی و تکامل ساختمانی تاقدیس بنگستان در جنوب باختری ایران

نوید دهباشی*

۱- گروه زمین‌شناسی، مدیریت اکتشاف، شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران

کلیدواژه‌ها

تاقدیس بنگستان،
افق‌های جدایشی،
چین‌خوردگی،
چینه‌شناسی مکانیکی،
گسل پیشانی کوهستان

چکیده

تاقدیس بنگستان، واقع در زون گذار میان فروافتادگی دزفول و ناحیه ایزه، از پیچیده‌ترین ساختارهای تکتونیکی در حوضه زاگرس است که به دلیل نبود رخنمون سازند آسماری در بخش‌های فروافتاده، اهمیت اکتشافی بالایی دارد. این پژوهش با هدف تحلیل تکامل ساختمانی و هندسه چین‌خوردگی تاقدیس بنگستان، با بهره‌گیری از پیمایش‌های میدانی گسترده، تحلیل سیستم درزه‌های برشی و کششی، و ترسیم برش‌های ساختمانی به روش کینک انجام شده است. جهت افزایش دقت مدل‌سازی، داده‌های سطحی با اطلاعات حاصل از ۸ چاه اکتشافی و توسعه‌ای (نظیر چاه‌های عمیق بنگستان-۱ و خویز-۱) در محیط نرم‌افزاری ArcGIS و AutoDesk Map تلفیق گردید. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که این تاقدیس یک «چین جداشده گسل‌خورده» با هندسه نامتقارن و جعبه‌ای است که تکامل آن تحت کنترل مستقیم گسل پیشانی کوهستان (MFF) و افق‌های جدایشی میانی، به‌ویژه سازندهای دشتک و کژدمی قرار دارد. مدل‌سازی مقاطع عرضی، وجود جابه‌جایی محوری سیستماتیک را میان افق‌های سطحی آسماری و مخازن عمیق گروه بنگستان اثبات می‌کند؛ به‌طوری‌که با افزایش میزان کوتاه‌شدگی از شمال‌باختر به سمت جنوب‌خاور، پلان محوری به سمت جنوب‌باختر (پیش‌بوم) مهاجرت کرده است. همچنین، آرایه درزه‌های مزدوج در یال‌های تند، نقش کلیدی در افزایش تراوایی ثانویه مخازن کربناته ایفا می‌کند. نتایج نهایی با تأیید مدل تکتونیک وارونگی و شناسایی ساختارهای چین‌خورده خاص، نشان داد که هندسه سطحی لزوماً پیش‌بین‌کننده موقعیت تاج مخزن در اعماق نیست. این پدیده، که با تکرار چینه‌شناسی در حفاری‌های اخیر تأیید شده، ضرورت بازنگری در تعیین نقاط حفاری بر اساس جابه‌جایی‌های ساختمانی در اعماق را تبیین می‌نماید.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۰۱

ارجاع به این مقاله: دهباشی، ن. (۱۴۰۵). تحلیل هندسه چین‌خوردگی و تکامل ساختمانی تاقدیس بنگستان در جنوب باختری ایران. زمین‌شناسی ساختمانی و زمین‌ساخت کاربردی، ۱(۱): ۳۹-۵۷.

*نویسنده مسئول: نوید دهباشی

رایانامه:

naviddehbashi@gmail.com

شناسه دیجیتال مقاله: 10.30473/SGAT.2026.77939.1007



مقدمه

کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس، بی‌شک یکی از مهم‌ترین و پرتولیدترین مناطق هیدروکربنی در سراسر جهان به شمار می‌رود و به‌عنوان یک آزمایشگاه طبیعی کم‌نظیر، بستر مناسبی برای مطالعه برهم‌کنش شگفت‌انگیز میان تحرکات پی‌سنگ و تغییر شکل لایه‌های ضخیم رسوبی فراهم آورده است (Alavi, 2004; 2007). این کمربند کوهزایی که از جنوب‌شرقی ترکیه آغاز می‌شود و با گذر از شمال‌شرق عراق تا جنوب‌غرب ایران امتداد می‌یابد، حاصل بسته‌شدن اقیانوس نیوتتیس و برخورد نهایی دو صفحه بزرگ عربستان و اوراسیا است (Agard et al., 2011; Mouthereau et al., 2012). اگر بخواهیم تاریخچه تحول این منطقه را به‌درستی درک کنیم، باید آن را در قالب سه چرخه متوالی ویلسون ببینیم؛ چرخه‌هایی که از تتیس دیرینه و کهن آغاز شده و به تتیس نو ختم می‌شوند و هر یک به نوبه خود بر چینه‌شناسی تکتونیکی و معماری ساختاری این کوهزاد عظیم تأثیری عمیق برجای گذاشته‌اند (Fu et al., 2024). اما اینکه برخورد قاره‌ای میان عربستان و اوراسیا دقیقاً چه زمانی رخ داده، همواره یکی از بحث‌برانگیزترین موضوعات در میان زمین‌شناسان بوده است؛ تخمین‌ها از ائوسن پسین تا میوسن پیشین متغیر است و این تفاوت عمدتاً به موقعیت مکانی در امتداد کمربند کوهزایی بستگی دارد (Ballato et al., 2017; Koshnaw et al., 2017). پژوهش‌های نوین در زمینه دیرینه‌مغناطیس و چینه‌شناسی زمین‌ساختی نشان می‌دهد که این برخورد به یکباره و هم‌زمان رخ نداده، بلکه به‌گونه‌ای دیرزمان بوده و روند آن از شمال‌غرب به سمت جنوب‌شرق جوان‌تر شده است (McQuarrie & van Hinsbergen, 2013; Darin & Umhoefer, 2022). برای نمونه، شواهد به‌دست آمده از حوضه امران در زاگرس حاکی از آن است که برخورد در منطقه لرستان پیش از آغاز ائوسن، یعنی حدود ۵۶ میلیون سال پیش، آغاز شده است (Sarkarinejad & Goftari, 2019)، در حالی که داده‌های دیرینه‌مغناطیس از ایران مرکزی، برخورد را به مرز ائوسن و الیگوسن، یعنی حدود ۳۵ تا ۳۰ میلیون سال پیش، نسبت می‌دهند. این ناهم‌زمانی، پیامدهای بسیار مهمی برای درک چگونگی توزیع تغییر شکل، الگوهای رسوب‌گذاری و نیز تاریخچه تولید، مهاجرت و به دام افتادن هیدروکربن در سراسر کمربند زاگرس دارد (Allen & Armstrong, 2008; Lacombe et al., 2011).

در دل این چارچوب پیچیده زمین‌پویایی، فروافتادگی دزفول به‌عنوان یک فرورفتگی ساختاری عمده در جنوب‌غرب ایران خودنمایی می‌کند که با توالی رسوبی بسیار ضخیمی تا ۱۴ کیلومتر شناخته می‌شود (Alavi, 2007; Sherkati et al., 2006). برخلاف مناطق فارس و لرستان که گنبد‌های نمکی هرگز نقش پررنگی در تحولات ساختاری ایفا می‌کنند (Callot et al., 2012)، فروافتادگی دزفول رفتار جدایشی متفاوتی از خود نشان می‌دهد و تغییر شکل در اینجا عمدتاً توسط سطوح جدایشی میانی متعددی کنترل می‌شود که در درون پوشش رسوبی نهفته‌اند (Sherkati & Letouzey, 2004). چینه‌شناسی مکانیکی این منطقه تحت تسلط چندین افق جدایشی کلیدی است که هر یک نقشی تعیین‌کننده در سبک تغییر شکل دارند، سازند گچساران از میوسن با ترکیب تبخیری، سازند کژدمی از کرتاسه دارای شیل‌های نرم و لغزنده، و سازند دشتک از تریاس با تبخیری‌های عمیق‌تر (Sherkati et al., 2006; Farzipour Saein et al., 2009). این لایه‌ها با همکاری یکدیگر، زمینه‌ساز جدایش و تغییر شکل چندطبقه شده و تأثیر انکارناپذیری بر هندسه نهایی چین‌های منطقه می‌گذارند (Mitra, 2002; Tavani et al., 2011). جالب آن‌که با تغییر شرایط رسوبی و رخساره‌ها در امتداد کمربند، رفتار مکانیکی این افق‌ها نیز دستخوش تغییر می‌شود و در نتیجه، سبک چین‌خوردگی در نقاط مختلف تفاوت‌های چشمگیری پیدا می‌کند (Vergés et al., 2011; Sherkati et al., 2006).

از نظر تقسیمات کشوری، منطقه مورد مطالعه در استان خوزستان و در محدوده شهرستان اهواز قرار گرفته است؛ این منطقه درست در حد فاصل میان فروافتادگی دزفول و ناحیه ایزه و به طور ویژه دربرگیرنده تاقدیس بنگستان است. دسترسی به این منطقه از طریق جاده‌های فرعی‌ای ممکن است که از محور اصلی بهبهان-رامهرمز منشعب شده و به بخش‌های جنوبی تاقدیس بنگستان راه می‌یابند. در شکل ۱ نمای عمومی سازند آسماری در یال جنوبی این تاقدیس به تصویر کشیده است؛ تصویری که دید به سمت شمال‌خاوری گرفته شده و موقعیت جغرافیایی و شرایط زمین‌شناسی سطحی منطقه را به وضوح نشان می‌دهد.



شکل (۱): نمایی از سازند آسماری در یال جنوبی تاقدیس بنگستان، دید به سمت شمال‌خاوری

Fig (1): A view of the Asmari Formation in the southern flank of the Bangestan Anticline. View toward the northeast.

تاقدیس بنگستان که در این زون گذار حساس جای گرفته، به‌عنوان یک ساختار هیدروکربنی حیاتی مطرح است؛ ساختاری که در آن، رخنمون‌های سطحی با مخازن عمیق‌تر ناهماهنگی ساختاری قابل توجهی دارند (Nasseri *et al.*, 2016). این ناهماهنگی، ریشه در حضور سطوح جدایشی میانی دارد؛ همان لایه‌هایی که باعث جدایش ساختاری میان واحدهای سطحی مانند سازند آسماری و واحدهای عمیق‌تر نظیر گروه بنگستان شده‌اند (Tavani *et al.*, 2011). از آنجا که سازند آسماری در بخش‌های فروافتاده دزفول رخنمون ندارد، این منطقه به یکی از عظیم‌ترین مناطق نفتی جهان تبدیل شده است (Bordenave & Hegre, 2010). با این حال، پیچیدگی‌های ساختاری ناشی از سطوح جدایشی متعدد و گسل‌خوردگی‌های ناشی از فعالیت پی‌سنگ، همواره چالش‌های جدی را پیش روی اکتشاف و تولید قرار داده است. گسل پیشانی کوهستان (MFF) نیز تأثیر عمیقی بر یال جنوبی تاقدیس بنگستان گذاشته است؛ این گسل با ایجاد گسل‌های کور و ساختارهای موسوم به گوش خرگوشی، نه تنها نقش مهمی در به‌دام افتادن هیدروکربن ایفا می‌کند، بلکه به‌طور هم‌زمان باعث جابه‌جایی‌های محوری سیستماتیک میان مخازن سطحی و زیرسطحی می‌شود (Tavani *et al.*, 2011).

مشاهدات ژئوفیزیکی و مدل‌سازی‌های گرمایی-مکانیکی نشان می‌دهد که تغییرات ساختاری در امتداد پهنه برخوردی زاگرس، زائیده ترکیبی از تکتونیک پوست‌نازک و پوست‌کلفت است و تغییر شکل بین گسل‌های ریشه‌دار در پی‌سنگ و چین‌های جدایشی پوشش رسوبی، به‌نوعی تقسیم کار شده است (Blanc *et al.*, 2003). برهم‌کنش پیچیده میان ساختارهای باقیمانده از پی‌سنگ، چین‌شناسی مکانیکی و رژیم‌های تنش فشاری، موجب شده است که سبک چین‌خوردگی، الگوهای درزه‌ها و حتی هندسه مخزن در امتداد راستای تاقدیس دستخوش تغییرات بارزی شود (Tavani *et al.*, 2011). مدل‌های عددی نیز نشان می‌دهند که حضور گسل‌های ارثی پی‌سنگ و ضخامت لایه‌های نمکی، دو عامل اصلی در کنترل فرگشت

ساختاری کمربند زاگرس به شمار می‌روند (Nilforoushan et al., 2003). تحلیل‌های دیرینه‌تنش در این منطقه نیز گویای آن است که راستای تنش بیشینه فشاری (σ_1) با امتداد شمال‌غرب-جنوب شرق هماهنگی کامل دارد و همین تنش، زمینه را برای فعال شدن مجدد گسل‌های قدیمی پی‌سنگ فراهم کرده است (Lacombe et al., 2011; Taghavi et al., 2025). افزون بر این، بررسی‌های چین‌شناسی تکتونیکی اخیر حاکی از آن است که نوسانات سطح آب دریا در گذر زمان و نیز دوره‌های کوتاه‌مدت عدم‌رسوب‌گذاری، تأثیر غیرقابل‌چشم‌پوشی بر الگوی نهشت و تراکم لایه‌های پوشش رسوبی داشته‌اند و این موضوع به نوبه خود، بر هندسه نهایی چین‌ها اثر گذاشته است (Heydari, 2008).

با وجود پژوهش‌های گسترده‌ای که تاکنون در این منطقه انجام شده است، ناهماهنگی ساختاری میان رخنمون‌های سطحی و مخازن عمیق در تاقدیس بنگستان، همچنان به‌عنوان یک چالش اساسی و حل‌نشده در مسیر اکتشاف و تولید باقی مانده است. پژوهش حاضر با این هدف طراحی شده است که با تلفیق داده‌های میدانی و اطلاعات حاصل از هشت حلقه چاه عمیق اکتشافی و توسعه‌ای، هندسه ساختاری تاقدیس بنگستان را بازسازی کند. در این راستا، اهداف ویژه‌ای دنبال می‌شود که عبارتند از: (۱) تحلیل هندسه و سازوکار چین‌خوردگی، (۲) بررسی نقش چین‌شناسی مکانیکی و افق‌های جدایشی، به‌ویژه سازندهای گچساران، کژدمی و دشتک، (۳) شناسایی جابه‌جایی‌های محوری سیستماتیک میان مخازن سطحی (آسماری) و زیرسطحی (گروه بنگستان)، (۴) ارزیابی شبکه‌های شکستگی و تأثیر آن‌ها بر تراوایی ثانویه، (۵) تلفیق داده‌های سطحی و زیرسطحی برای ارائه یک مدل ساختاری معتبر و کاربردی که بتواند چراغ راه استراتژی‌های اکتشافی آتی در شمال فروافتادگی دزفول باشد.

روش‌شناسی

روش اجرای این پژوهش بر پایه یک رویکرد تلفیقی و چندرشته‌ای طراحی شده است که در آن داده‌های صحرایی با اطلاعات زیرسطحی حاصل از چاه‌های اکتشافی و توسعه‌ای ترکیب می‌شوند. این فرآیند در چهار گام متوالی و منسجم طراحی شد تا از دقت و قابلیت نتایج نهایی اطمینان حاصل شود.

کار با جمع‌آوری اطلاعات مربوط به هشت حلقه چاه کلیدی منطقه آغاز شد؛ چاه‌هایی که هر یک به نوبه خود بخشی از پازل بزرگ ساختاری این منطقه را تشکیل می‌دهند. داده‌های ضخامت، لیتولوژی و گزارش‌های حفاری مربوط به چاه‌های بنگستان-۱، خویز-۱، پارس-۱ و ۸، و کرنج-۴، ۷، ۹ و ۱۴ به دقت استخراج و دسته‌بندی گردید. در گام بعدی، گزارش‌های حفاری این چاه‌ها با دقت تمام بررسی تا هرگونه نشانه‌ای از تکرار چین‌شناسی ناشی از گسل‌خوردگی در اعماق شناسایی شود؛ به‌ویژه در چاه‌های بنگستان-۱ و خویز-۱ که پیش‌تر شواهدی از پیچیدگی‌های ساختاری در آن‌ها گزارش شده بود.

در ادامه، با بهره‌گیری از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه آغاچاری، هفتکل، بهبهان و کوه سفید و تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مناسب، مرزهای دقیق سازندها ترسیم و موقعیت پیمایش‌های صحرایی را مشخص شد. سپس، در یک پویش میدانی گسترده، در نقاط مختلف، در یال‌های شمالی و جنوبی تاقدیس، شیب و امتداد لایه‌ها اندازه‌گیری و ثبت شدند تا تصویری دقیق از وضعیت ساختاری سطحی به‌دست آید.

در مرحله بعدی با تکیه بر داده‌های گردآوری‌شده از سطح و اعماق، چهار برش ساختاری اصلی با نام‌های 'AA'، 'BB'، 'CC' و 'DD' ترسیم شدند. برای این کار، از روش کینک استفاده شد؛ روشی که با فرض ثابت ماندن ضخامت لایه‌ها و با کمک نیم‌ساز زوایای شیب اندازه‌گیری‌شده در سطح، این امکان به ما داده شد تا سطوح محوری را در عمق ردیابی کرده و هندسه مخازن کلیدی مانند سازندهای سروک و آسماری پیش‌بینی شوند. برای افزایش دقت کار، از نرم‌افزارهای AutoCAD و ArcGIS Pro استفاده گردید تا مقاطع با بالاترین دقت ممکن ترسیم و با پروفیل‌های توپوگرافی منطقه تطبیق شوند.

در آخرین مرحله، ستون‌های چین‌شناسی حاصل از چاه‌ها بر روی مقاطع ساختاری منطبق تا پل ارتباطی میان داده‌های سطحی و زیرسطحی برقرار شود. سپس، با استفاده از مقاطع نهایی، نرخ کوتاه‌شدگی در امتداد تاقدیس محاسبه و مدل تکتونیک وارونگی بر اساس جابه‌جایی‌های مشاهده‌شده در پلان‌های محوری مورد ارزیابی قرار داده شد.

نتایج

در این بخش با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، اطلاعات چاه‌های حفاری شده و همچنین برداشت‌های صحرایی به بررسی تاقدیس بنگستان و منطقه فروافتادگی دزفول پرداخته شده است. تاقدیس بنگستان در ۴۰ کیلومتری شمال شهرستان بهبهان و ۱۴۰ کیلومتری شمال خاور اهواز مرکزی واقع است. عمده‌ترین رخنمون‌های آن متعلق به گروه بنگستان است و در سه کوهان مرکزی فرسایش یافته آن سازندهای داریان و گدوان از گروه خامی رخنمون دارند.

طول این تاقدیس به طور متوسط ۷۵ کیلومتر و پهنای آن از ۴ تا ۸ کیلومتر متغیر است. سه کوهان فرسایش یافته به وسیله سه تنگه بنام‌های سروک، گرگانه و ماغر به دشت متصل می‌گردند. این تاقدیس، تاقدیسی نامتقارن، جعبه‌ای با محور سینوسی است (Mitra, 2002). میل شمال باختری آن تحت تأثیر گسل ایزه یکباره به سمت شمال چرخش کرده است. سازند کژدمی در زیر گروه بنگستان به صورت سطح لغزشی عمل کرده است.

در یال جنوبی این تاقدیس اثر این گسل‌ها در زیر چین‌خوردگی ناهماهنگ سازند گچساران مدفون می‌شود. در امتداد یال جنوبی تاقدیس بنگستان نمونه‌های خوبی از گسل‌خوردگی قاعده سازند گچساران و ناهمسازی‌های کوچک و محلی در ردیف رسوبات گروه فارس قابل رویت است. در سال ۱۹۷۷ حفاری چاه اکتشافی این تاقدیس به پایان رسید. هدف اصلی این چاه آزمایش رسوبات گروه دهرم بود که به علت برخورد با گسل و تکرار سورمه و دشتک امکان‌پذیر نگردید. بر اساس گزارشات در سازند نیریز این تاقدیس، مقداری گاز کشف شده است.

در برش‌های ساختاری (AA° - BB° - CC° - DD°) که در این تحقیق بر روی آن‌ها بررسی صورت گرفته و برش‌های آن‌ها تهیه شده است، این قضیه که بیشترین رخنمون سطحی مربوط به سازندهای گروه بنگستان است، کاملاً مشهود است. ضمناً سازندهای پایده - گورپی، آسماری و گچساران بعد از سازندهای ایلام و سروک دارای بیشترین رخنمون هستند.

از اطلاعات چاه‌های حفاری‌شده جهت تعیین ضخامت سازندهای موجود در منطقه مورد مطالعه این تحقیق استفاده شده و در نهایت مقایسه‌ای بین ضخامت‌های به دست آمده از این طریق با ضخامت سازندهای رخنمون یافته در نقشه‌های زمین‌شناسی و برش‌های ساختاری به عمل آمده است (جدول ۱).

اطلاعات به دست آمده از چاه‌های حفاری‌شده و برش‌های ساختاری نیز به طور مختصر در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

جدول (۱): مشخصات چاه‌های حفاری شده
Table (1): Specifications of the drilled wells

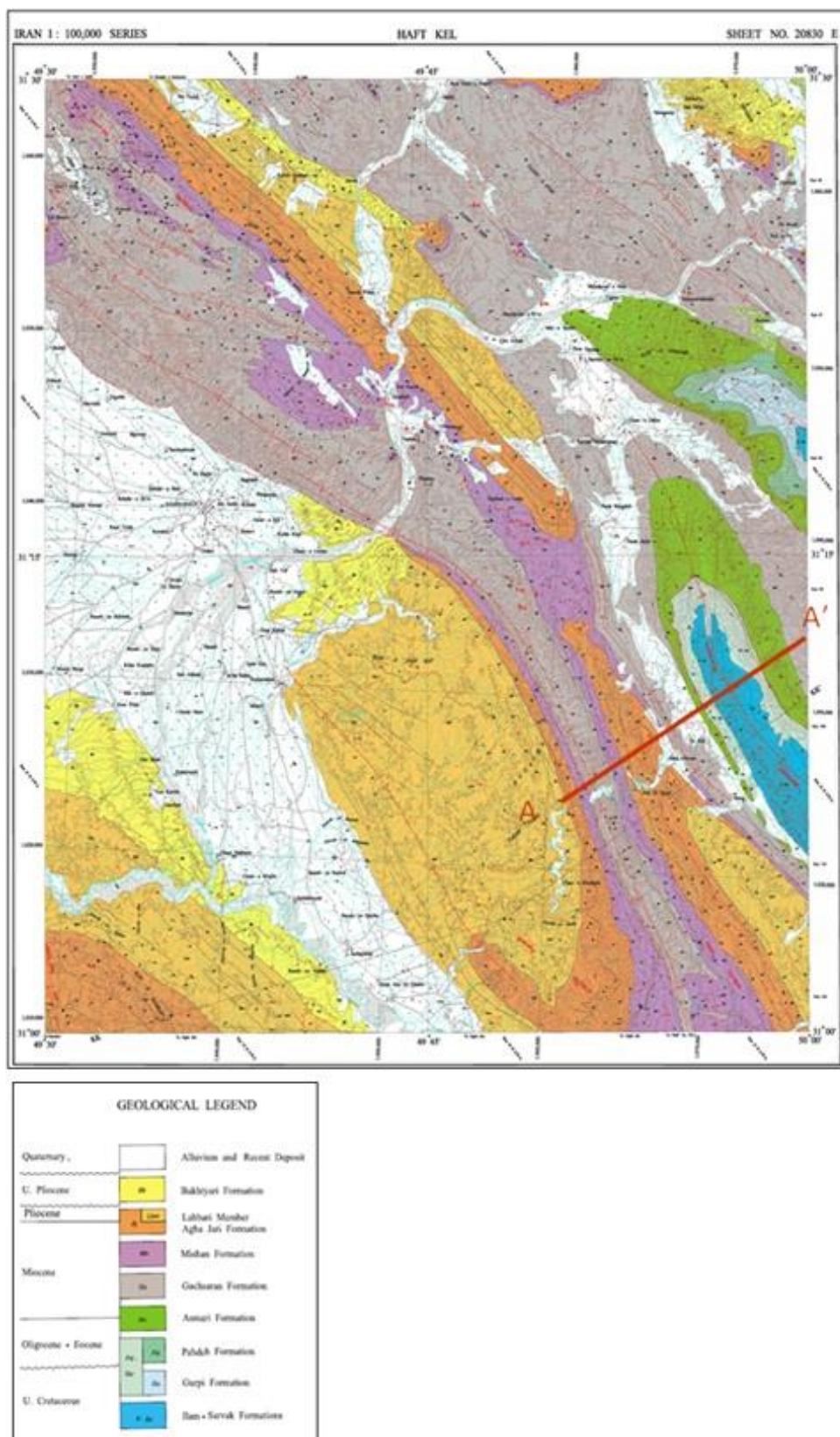
ردیف	نام و شماره چاه اکتشافی	ناحیه	عمق نهایی چاه	سازنده‌های مشاهده شده	توضیحات
۱	بنگستان-۱ (اکتشافی)	دزفول جنوبی	۵۰۰۲ متر	داریان (سطح زمین)- گدوان بالایی -بخش خلیج- گدوان پایینی - فهلپان- گرو- گوتنیا -نجمه - سرگلو- علن- موس-نیریز- دشتک	این چاه در نزدیکی خط محوری تاقدیس و جایی که سازند داریان بیرون‌زدگی دارد قرار داشته و هدف از حفاری چاه ارزیابی توان هیدروکربوری گروه‌های دهرم و خامی پایینی بوده است.
۲	پارسی -۱ (اکتشافی)	دزفول جنوبی	۳۰۸/۲۲ متر	میشان(سطح زمین)- گچساران- پوش سنگ- آسماری- پابده- گورپی- ایلام- لافان- سروک	این چاه بر روی ستیغ ساختار بر روی افق آسماری در بین ناودیس ساختار کرنج و کوه بنگستان حفاری شده است.
۳	پارسی -۸ (توصیفی)	دزفول جنوبی	۲۲۲۲ متر	آغاجاری- میشان - بخش های ۲، ۴، ۵، ۶، ۷ سازند گچساران- پوش سنگ- آسماری	موقعیت این چاه نزدیک مرکز میدان، روی بلندترین قسمت یال شمالی که به وسیله عملیات لرزه‌ای مشخص شده، واقع شده است. این چاه به عنوان چاه توصیفی روی یال شمال خاوری برای تعیین سطح آب و نفت حفر گردید.
۴	کرنج -۴ (توصیفی)	دزفول جنوبی	۳۳۵۴ متر	آغاجاری- میشان - بخش های ۲، ۴، ۵، ۶، ۷ سازند گچساران- پوش سنگ- آسماری	این چاه روی یال جنوب خاوری در شیب دماغه ساختار واقع شده است. هدف از آن تعیین و تشخیص محدوده ساختار آسماری و ارزیابی حجم ستون‌های نفتی سازند آسماری و تعیین سطح آب و نفت بوده است.
۵	کرنج -۷ (توسعه ای)	دزفول جنوبی	۳۱۴۰ متر	آغاجاری- میشان - بخش های ۲، ۴، ۵، ۶، ۷ سازند گچساران- پوش سنگ- آسماری	این چاه به عنوان چاه مشاهده ای آب و نفت حفر گردیده است.
۶	کرنج-۹ (توسعه ای)	دزفول جنوبی	۱۲۹۰۰ متر	آغاجاری(سطح زمین)- میشان - بخش‌های ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ سازند گچساران- پوش سنگ- آسماری(بالایی - میانی- پایینی) پابده- گورپی- ایلام- سروک	به منظور چاه توسعه‌ای روی یال شمال خاوری حفر گردیده است.
۷	کرنج-۱۴ (توصیفی)	دزفول جنوبی	۳۴۳۸ متر	آغاجاری- میشان - بخش های ۲، ۴، ۵، ۶، ۷ سازند گچساران- پوش سنگ- آسماری	این چاه در قسمت شمال خاوری میدان کرنج و در منطقه دزفول جنوبی قرار دارد. این چاه به منظور توصیف سازند آسماری و مشاهده سطح تماس آب و نفت حفر شده است.
۸	خویز- ۱ (اکتشافی)	ایزه	۳۴۵۵/۳۵ متر	پابده- گورپی- ایلام- سروک- کژدمی- داریان- گدوان-بخش آهکی خلیج- فهلپان- گرو، فهلپان- فهلپان (گسل و تکرار)	این چاه از شمال خاور به دهدشت، از جنوب باختر به میدان نفتی منصورآباد و از جنوب خاور به میدان نفتی گچساران محدود می‌شود. این چاه به منظور اکتشاف نفت و گاز از مخازن بنگستان، خامی تا سنگ‌های پرمین در ساختار خویز حفاری شده است.

جدول (۲): اطلاعات ضخامت سازنده به متر درچاه های حفاری شده و برش های زمین شناسی

Table (2): Thickness information of formations (in meters) from drilled wells and geological cross-sections

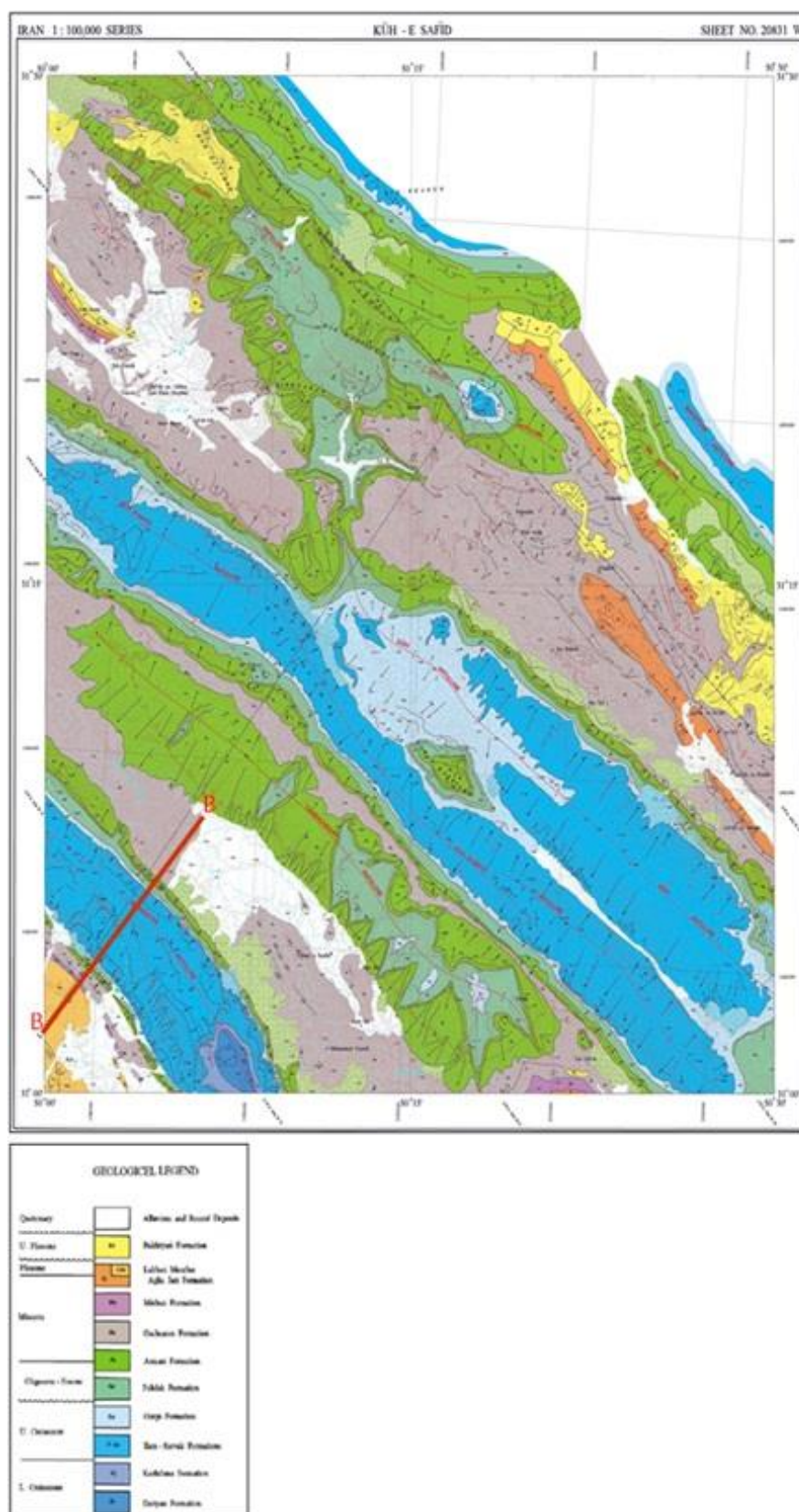
سازند	اطلاعات چاه ها حفاری شده							اطلاعات برش های ساختاری	
	Bangestan	karang	Parsi	Khaviz	Agahjari	Behbahan	Haftkel	Kuh-e-Sefid	
آغاچاری	—	—	—	—	۲۷۹۳	۲۹۱۱	۲۵۴۳ دقیق نیست	۱۷۷۰ دقیق نیست	
میشان	—	۶۴۲	۶۶۹	—	۵۰۳	۵۰۴	۳۷۶	۱۵۵	
گچساران	—	۱۷۴	۷۰۳	—	۵۶۱	۵۰۸	۹۹۴	۷۳۳	
آسماری	—	۱۳۰۴	۳۸۰	—	۳۲۰	۴۲۴	۳۸۱	۲۶۱	
پابده	—	—	۴۰۴	—	۳۱۵	۵۰۹	۳۳۶	۲۳۸	
چهرم	—	—	—	—	—	—	—	—	
گورپی	—	۶۶۸	۲۳۳	۱۴۲	۱۳۵	۳۴۵	۲۸۴	۱۹۹	
ایلام و سروک (گروه بنگستان)	—	۷۳۸ دقیق نیست	۱۲۳ دقیق نیست	۹۹۸	۸۷۶	۸۶۴	۹۳۵	۹۰۳	
کژدمی	—	—	—	۲۹۲	۲۴۳	۴۳۰	۲۸۵	۲۵۶	
داریان	—	—	—	۳۴	—	—	—	—	
گدوان	۱۱۸	—	—	۱۱۰	—	—	—	—	
فهلپان	۳۴۶	—	—	—	—	—	—	—	
گرو	۳۲۶	—	—	—	—	—	—	—	
هیث	—	—	—	—	—	—	—	—	
سورمه	—	—	—	—	—	—	—	—	
گوتنیا	۴۱۸	—	—	—	—	—	—	—	
نجمه	۲۵	—	—	—	—	—	—	—	
سرگلو	۱۴۲	—	—	—	—	—	—	—	
علن	۱۳۲	—	—	—	—	—	—	—	
موس	۱۹۹	—	—	—	—	—	—	—	
عدائیه	—	—	—	—	—	—	—	—	
نیریز	۳۹۷	—	—	—	—	—	—	—	
دشتک	—	—	—	—	—	—	—	—	

نقشه های زمین شناسی و موقعیت برش های ساختاری تهیه شده نیز در شکل های ۲ تا ۹ نمایش داده شده اند.



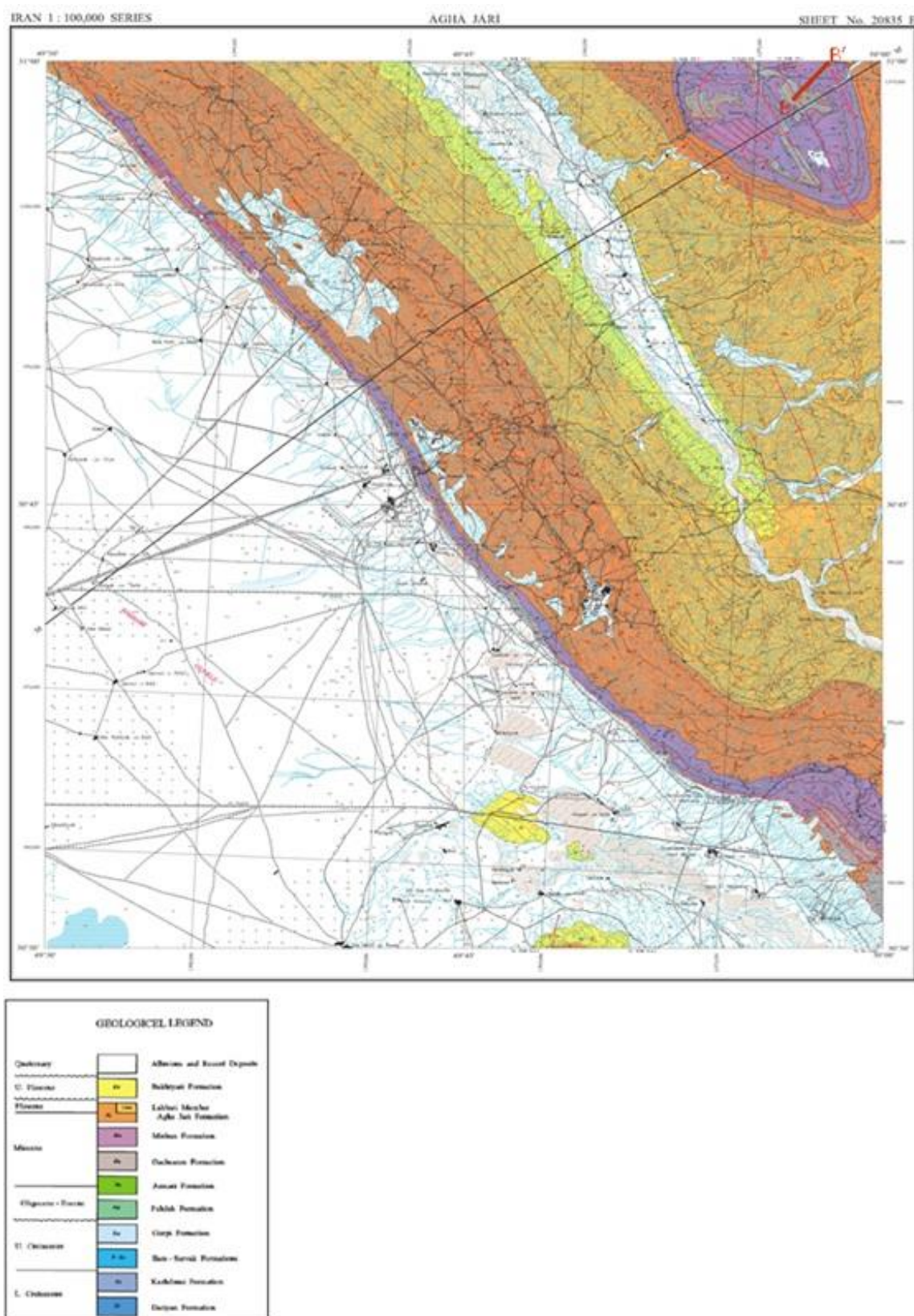
شکل (۲): نقشه زمین‌شناسی هفتکل و موقعیت برش زمین‌شناسی تهیه شده در آن (N.I.O.C., 1973)

Fig (2): Geological map of the Haftkel area and the location of the geological cross-section prepared therein (N.I.O.C., 1973)

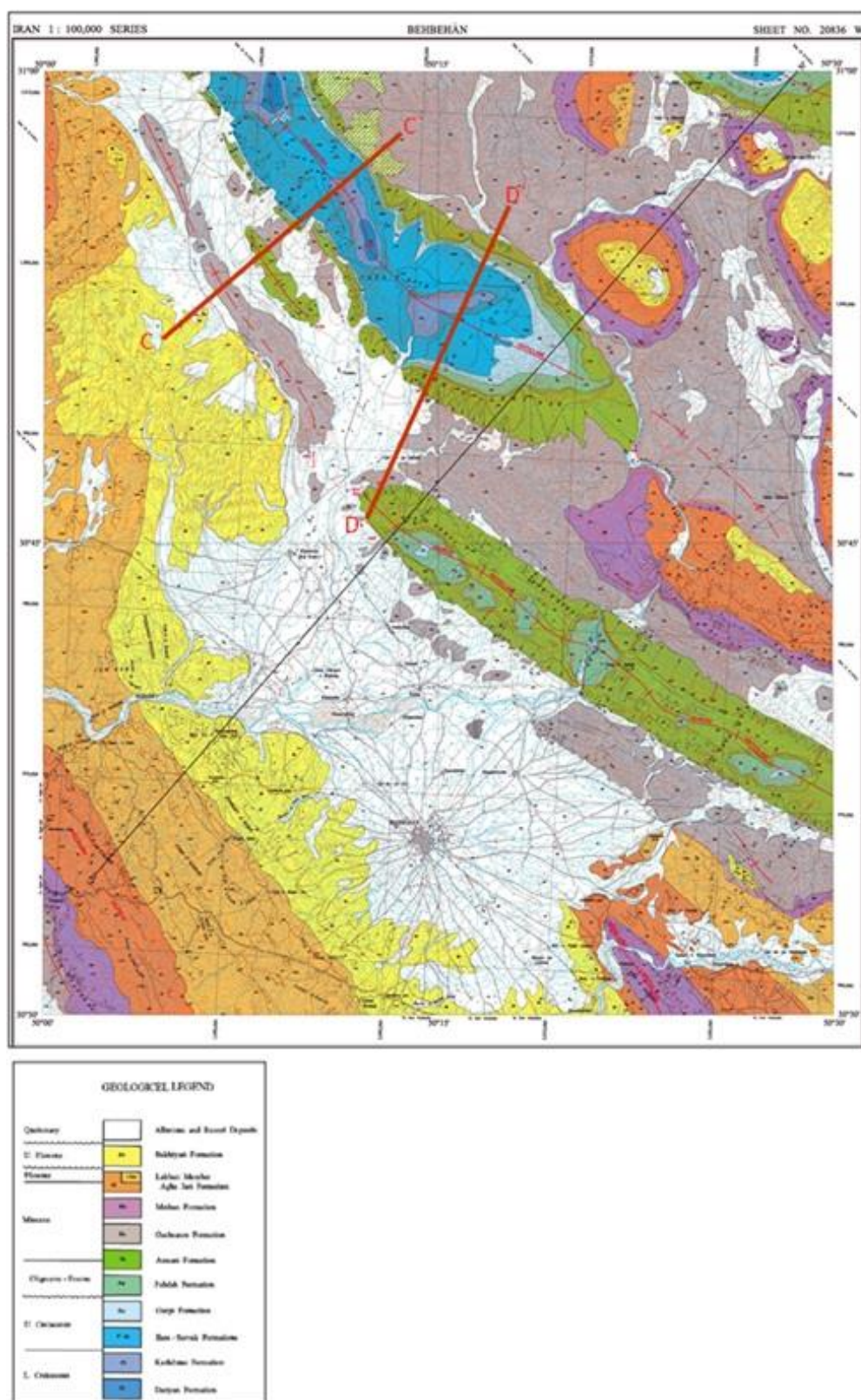


شکل (۳): نقشه زمین‌شناسی کوه سفید و موقعیت برش زمین‌شناسی تهیه شده در آن (N.I.O.C., 1976)

Fig (3): Geological map of the Kuh-e Sefid area and the location of the geological cross-section prepared therein. (N.I.O.C., 1976)

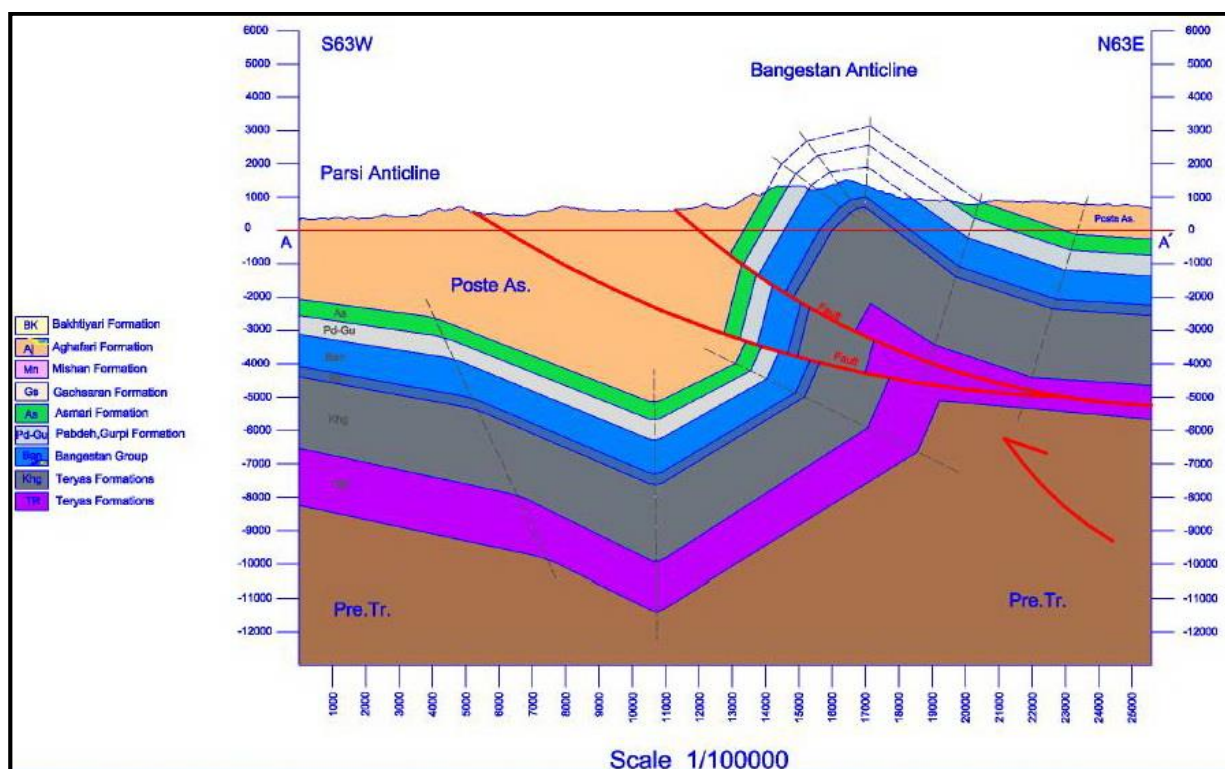


شکل (۴): نقشه زمین‌شناسی آغاجاری و موقعیت برش زمین‌شناسی تهیه شده در آن (N.I.O.C., 1971).
Fig (4): Geological map of the Aghajari area and the location of the prepared geological cross-section (N.I.O.C., 1971).

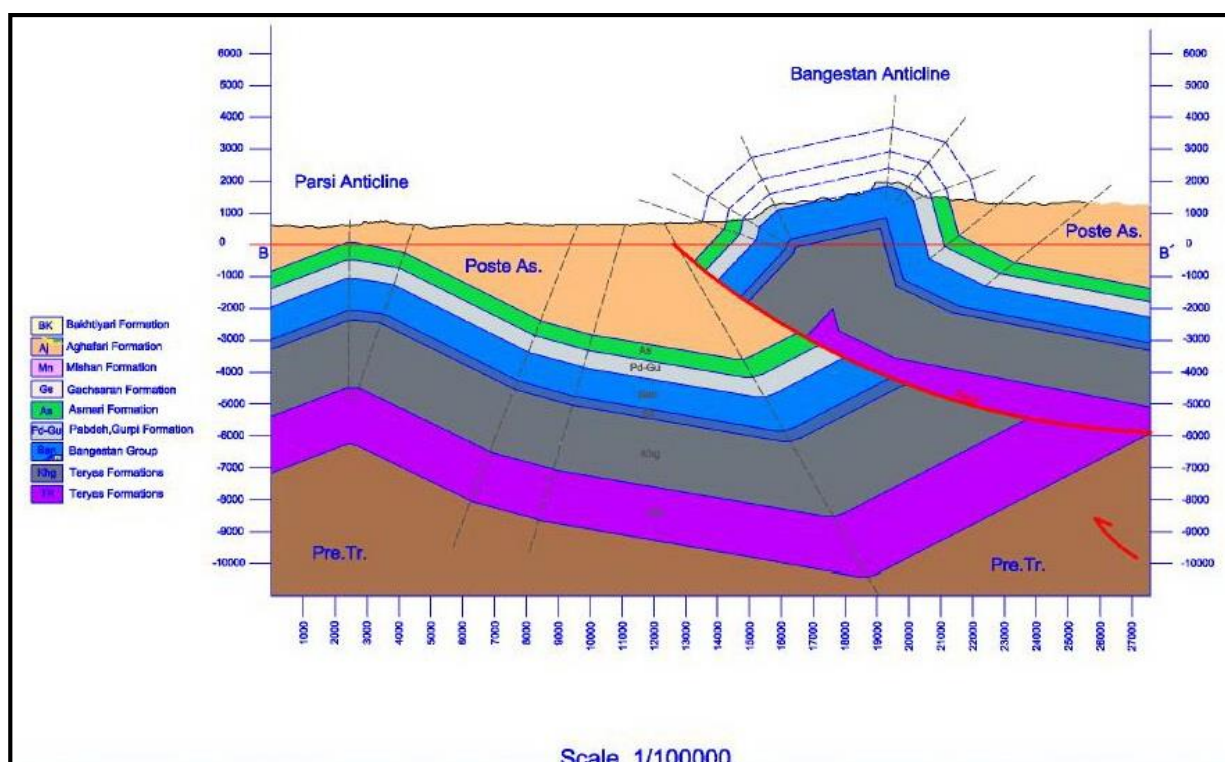


شکل (۵): نقشه زمین شناسی بهبهان و موقعیت برش های زمین شناسی تهیه شده در آن (N.I.O.C., 1975)

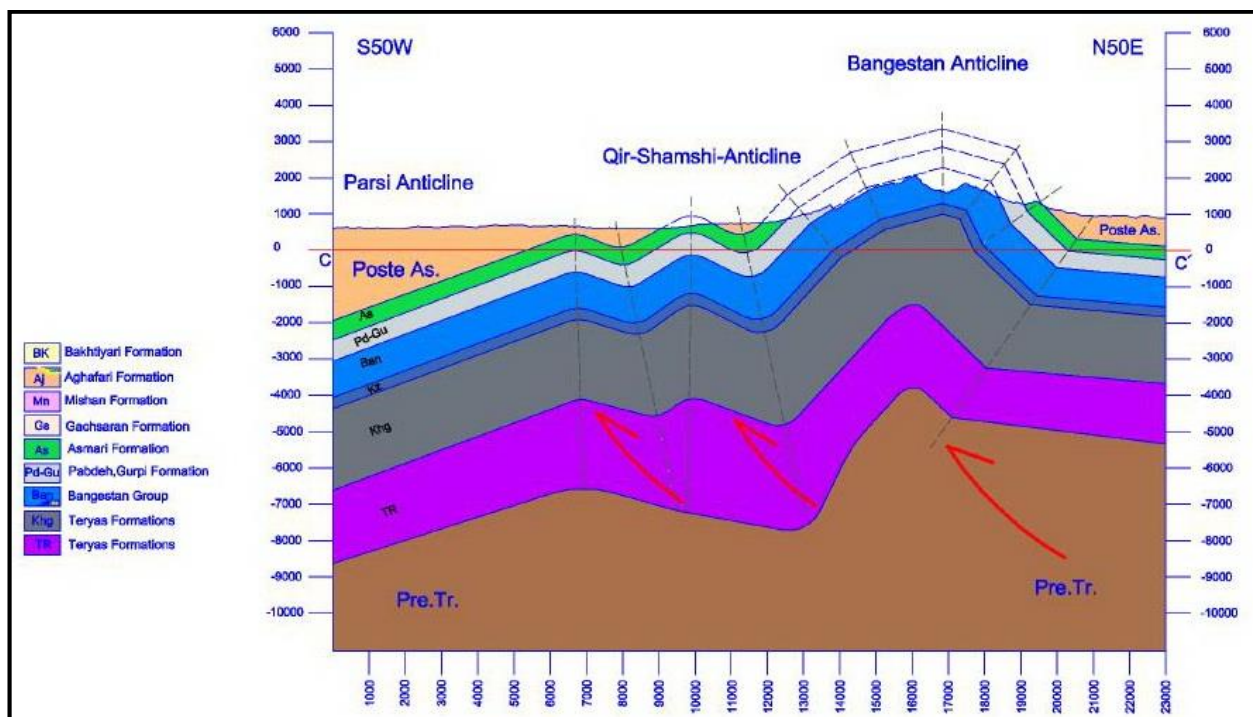
Fig (5): Geological map of the Behbahan area and the location of the prepared geological cross-sections (N.I.O.C., 1975).



شکل (۶): برش زمین‌شناسی AA'.
Fig (6): Geological cross-section A-A'.

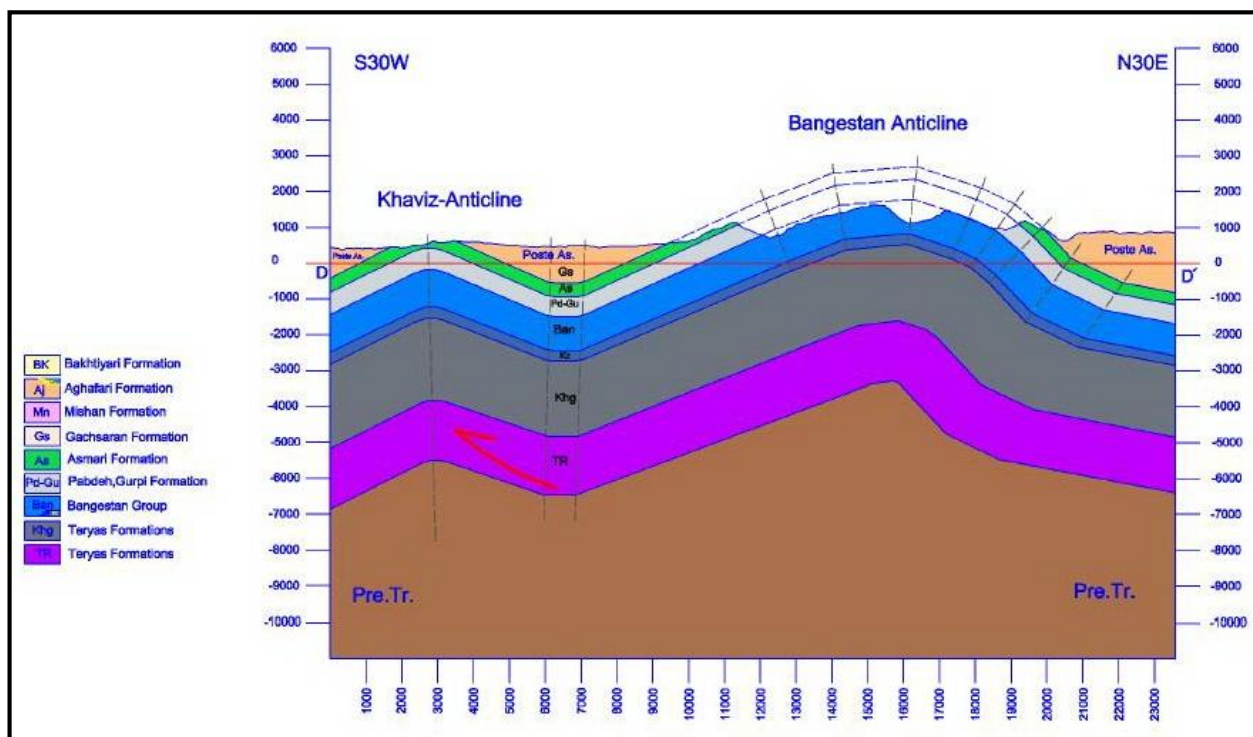


شکل (۷): برش زمین‌شناسی BB'.
Fig (7): Geological cross-section B-B'.



شکل (۸): برش زمین‌شناسی CC'.

Fig (8): Geological cross-section C-C'.



شکل (۹): برش زمین‌شناسی DD'.

Fig (9): Geological cross-section D-D'.

بحث

تکامل ساختاری تاقدیس بنگستان در ناحیه فروافتادگی دزفول، بازتابی از برهم‌کنش پیچیده بین واحدهای مختلف پوشش رسوبی جدا شده توسط افق‌های جایشی در زاگرس است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که هندسه این تاقدیس در امتداد راستای خود یکنواخت نیست؛ این پدیده را می‌توان به تغییرات در میزان جابه‌جایی گسل پیشانی کوهستان (MFF) و تغییر در ضخامت واحدهای جدایشی نسبت داد.

نقش چینه‌شناسی مکانیکی در جدایش ساختاری

یکی از نکات کلیدی در بحث هندسه تاقدیس بنگستان، نقش جدایش ساختاری ناشی از چینه‌شناسی مکانیکی منطقه است. وجود سازند گچساران به عنوان یک سطح جدایشی بالایی و سازند کژدمی به عنوان سطح جدایشی میانی، سبب تغییر الگوی چین خوردگی از سطح به عمق شده است. تحلیل داده‌های چاه‌های بنگستان و خاویز تأیید می‌کند که ضخیم‌شدگی ساختاری در توالی‌های کرتاسه، ناشی از جریان در این واحدهای شکل‌پذیر است. این گسستگی ساختاری توضیح می‌دهد که چرا نقشه‌های زمین‌شناسی سطحی همیشه پیش‌بینی‌کننده دقیق هندسه مخزن در اعماق نیستند. الگوهای مشاهده شده در مقاطع عرضی ما، با مدل‌های چین‌های جدا شده گسل خورده مطابقت نزدیکی دارد (Mitra, 2002).

تکامل هندسی و جابه‌جایی محوری

مهم‌ترین یافته این پژوهش از منظر اکتشاف هیدروکربوری، شناسایی انتقال یا جابه‌جایی محوری سیستماتیک بین سازندهای آسماری (شکل ۱۰) و گچساران در سطح خارجی یال و اوج ساختاری در اعماق سازند سروک است. مدل‌های ترسیم شده نشان می‌دهند که این جابه‌جایی تصادفی نیست، بلکه توسط شیب و جهت‌گیری گسل‌های فرعی کنترل می‌شود (شکل ۱۱).



شکل (۱۰): نمایی از سیستم درزه‌های سیستماتیک عمود بر هم در توالی‌های کربناته آسماری تاقدیس بنگستان. فرسایش انحلالی (کارستی شدن) در امتداد صفحات شکستگی‌های، منجر به توسعه شبکه شکستگی شده است. این شبکه درزه‌ها نقش حیاتی در ایجاد تراوایی ثانویه و هدایت سیالات در مخازن شکاف‌دار زاگرس ایفا می‌کنند، دید به سمت شمال خاوری.

Fig (10): A view of systematic orthogonal joint systems in the carbonate sequences of the Asmari Formation, Bangestan Anticline. Dissolution weathering (karstification) along fracture planes has led to the development of a fracture network. This joint network plays a crucial role in creating secondary permeability and fluid conduction in fractured reservoirs of the Zagros. View toward the northeast.

با افزایش میزان کوتاه‌شدگی، سطح محوری چین به سمت پیش‌بوم (جنوب باختری) مهاجرت می‌کند. این موضوع نشان‌دهنده آن است که بسیاری از چاه‌های قدیمی ممکن است بر روی تاج ظاهری حفاری شده باشند، نه تاج ساختاری واقعی در مخزن سروک.



شکل (۱۱): نمایی از گسل‌های نرمال در یال شمال خاوری در تاقدیس بنگستان، دید به سمت جنوب.

Fig (11): A view of normal faults in the northeastern flank of the Bangestan Anticline. View toward the south.

مفاهیم تکتونیک منطقه‌ای

از دیدگاه تکتونیک منطقه‌ای، تاقدیس بنگستان به عنوان یک پل ارتباطی بین زون ایذه با گسل خوردگی شدید و فروافتادگی دزفول عمل می‌کند. تکرار چینه‌شناسی مشاهده شده در عمق ۵۰۰۲ متری چاه بنگستان، شواهد تجربی برای نقش فعال پی‌سنگ در انتشار گسل‌ها به سمت پوشش رسوبی فراهم می‌کند. این مشاهدات، مدل تکتونیک وارونگی را تقویت می‌کند؛ جایی که گسل‌های قدیمی پی‌سنگ در طول کوهزایی زاگرس دوباره فعال شده و لایه‌های رویی را وادار به پذیرش هندسه‌های پیچیده و جدایشی کرده‌اند (Alavi, 2007).

نتیجه‌گیری

تلفیق مطالعات میدانی، تحلیل شبکه شکستگی‌ها و انطباق مقاطع ساختاری با داده‌های چاه‌های اکتشافی در تاقدیس بنگستان، تصویری جامع از سبک دگرشکلی و رفتار ساختاری این منطقه ارائه می‌دهد. بر اساس هندسه‌ی یال‌ها که در بخش‌هایی به حالت قائم و حتی برگشته می‌رسند، تاقدیس بنگستان از مدل چین‌های جداشده‌ی گسل‌خورده پیروی می‌کند؛ به‌گونه‌ای که تنگی هسته در مقاطع میانی و بازشدگی آن در یال جنوب‌خاوری، نشان‌دهنده‌ی تغییر سبک دگرشکلی و کاهش میزان کوتاه‌شدگی در طول محور تاقدیس است. در این میان، مشاهدات میدانی و داده‌های چاه بنگستان-۱ گویای نقش

کلیدی افق‌های جدایشی نظیر سازند کژدمی و گروه دشتک به‌عنوان سطوح لغزشی اصلی است که با ایجاد ناهماهنگی ساختاری شدید، سبب شده‌اند تا پیچیدگی‌های تکتونیکی و تکرار چین‌ش‌شناسی ناشی از گسل‌های راندگی محلی در اعماق، لزوماً در سازندهای سطحی همچون آسماری و میشان منعکس نشوند. از سوی دیگر، انطباق مقاطع عرضی با موقعیت چاه‌ها، وجود مهاجرت محوری به سمت جنوب‌باختر را اثبات می‌کند؛ یافته‌ای که بیانگر عدم‌انطباق تاج ساختاری در مخازن عمیق گروه بنگستان با تاج سطحی سازند آسماری است و در تعیین نقاط بهینه‌ی حفاری در میادین کرنج و پارسی از اهمیت حیاتی برخوردار است. بررسی شکستگی‌ها نیز نشان می‌دهد که سیستم‌های درزه‌ی مزدوج در یال‌های تند تاقدیس، حاکی از یک رژیم تکتونیکی فشاری شدید بوده و این شکستگی‌ها نه‌تنها در خردشدگی لایه‌ها نقش دارند، بلکه کانال‌های اصلی جریان هیدروکربن در مخازن فشرده کربناته منطقه به شمار می‌روند. افزون بر این، چرخش ناگهانی محور تاقدیس در شمال‌باختر و انقطاع‌های ساختاری مشاهده‌شده، تأثیر غیرمستقیم فعالیت گسل پیشانی کوهستان (MFF) و تغییرات در پی‌سنگ را تأیید می‌کند که به ایجاد ساختارهای چین‌خورده پیچیده در پوشش رسوبی انجامیده است. در نهایت، برخورد چاه اکتشافی با گسل و کشف گاز در سازند نیریز، پتانسیل بالای مخازن عمیق منطقه را فراتر از اهداف سنتی به اثبات می‌رساند، هرچند که پیچیدگی‌های ساختاری ناشی از گسل‌خوردگی، ریسک عملیاتی حفاری را به‌طور محسوسی افزایش داده است.

References

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., . . . Wortel, R. (2011). Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geological Magazine*, 148(5-6), 692-725. <https://doi.org/10.1017/S001675681100046X>
- Alavi, M. (2004). Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American journal of Science*, 304(1), 1-20. <http://dx.doi.org/10.2475/ajs.304.1.1>
- Alavi, M. (2007). Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American journal of Science*, 307(9), 1064-1095. <http://dx.doi.org/10.2475/09.2007.02>
- Allen, M. B., & Armstrong, H. A. (2008). Arabia-Eurasia collision and the forcing of mid-Cenozoic global cooling. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 265(1-2), 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.04.021>
- Ballato, P., Cifelli, F., Heidarzadeh, G., Ghassemi, M. R., Wickert, A. D., Hassanzadeh, J., . . . Zeilinger, G. (2017). Tectono-sedimentary evolution of the northern Iranian Plateau: Insights from middle-late Miocene foreland-basin deposits. *Basin Research*, 29(4), 417-446. <https://doi.org/10.1111/bre.12180>
- Blanc, E.-P., Allen, M. B., Inger, S., & Hassani, H. (2003). Structural styles in the Zagros simple folded zone, Iran. *Journal of the Geological Society*, 160(3), 401-412. <https://doi.org/10.1144/0016-764902-110>
- Bordenave, M., & Hegre, J. (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. <https://doi.org/10.1144/SP330.14>
- Callot, J.-P., Trocmé, V., Letouzey, J., Albouy, E., Jahani, S., & Sherkati, S. (2012). Pre-existing salt structures and the folding of the Zagros Mountains. <https://doi.org/10.1144/SP363.27>
- Darin, M. H., & Umhoefer, P. J. (2022). Diachronous initiation of Arabia-Eurasia collision from eastern Anatolia to the southeastern Zagros Mountains since middle Eocene time. *International Geology Review*, 64(18), 2653-2681. <https://doi.org/10.1080/00206814.2022.2048272>
- Farzipour-Saein, A., Yassaghi, A., Sherkati, S., & Koyi, H. (2009). Mechanical stratigraphy and folding style of the Lurestan region in the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Journal of the Geological Society*, 166(6), 1101-1115. <https://doi.org/10.1144/0016-76492008-162>
- Fu, X., Feng, Z., Zhang, F., Zhang, Z., Guo, J., Cao, Z., . . . Zhou, Y. (2024). Wilson cycles of the Zagros fold and thrust belt: A comprehensive review. *Journal of Asian Earth Sciences*, 262, 105993. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2023.105993>
- Heydari, E. (2008). Tectonics versus eustatic control on supersequences of the Zagros Mountains of Iran. *Tectonophysics*, 451(1-4), 56-70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.046>
- Koshnaw, R. I., Horton, B. K., Stockli, D. F., Barber, D. E., Tamar-Agha, M. Y., & Kendall, J. J. (2017). Neogene shortening and exhumation of the Zagros fold-thrust belt and foreland basin in the Kurdistan region of northern Iraq. *Tectonophysics*, 694, 332-355. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.11.016>

- Lacombe, O., Bellahsen, N., & Mouthereau, F. (2011). Fracture patterns in the Zagros Simply Folded Belt (Fars, Iran): constraints on early collisional tectonic history and role of basement faults. *Geological Magazine*, 148(5-6), 940-963. <https://doi.org/10.1017/S001675681100029X>
- McQuarrie, N., & van Hinsbergen, D. J. (2013). Retrodeforming the Arabia-Eurasia collision zone: Age of collision versus magnitude of continental subduction. *Geology*, 41(3), 315-318. <https://doi.org/10.1130/G33591.1>
- Mitra, S. (2002). Structural models of faulted detachment folds. *AAPG bulletin*, 86(9), 1673-1694. <https://doi.org/10.1306/61EEDD3C-173E-11D7-8645000102C1865D>
- Mouthereau, F., Lacombe, O., & Vergés, J. (2012). Building the Zagros collisional orogen: timing, strain distribution and the dynamics of Arabia/Eurasia plate convergence. *Tectonophysics*, 532, 27-60. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.01.022>
- N.I.O.C. (1971). geological maps Aghajar1:100,000 *Exploration Directorate*.
- N.I.O.C. (1973). geological maps of Haftke1:100,000. *Exploration Directorate*.
- N.I.O.C. (1975). geological maps of Behbahan1:100,000 *Exploration Directorate*.
- N.I.O.C. (1976). geological maps of, Kuh-e Sefid1:100,000. *Exploration Directorate*.
- Nasseri, A., Mohammadzadeh, M. J., & HashemTabatabaee, S. (2016). Evaluating Bangestan reservoirs and targeting productive zones in Dezful embayment of Iran. *Journal of Geophysics and Engineering*, 13(6), 994-1001. <https://doi.org/10.1088/1742-2132/13/6/994>
- Nilforoushan, F., Masson, F., Vernant, P., Vigny, C., Martinod, J., Abbassi, M., . . . Tavakoli, F. (2003). GPS network monitors the Arabia-Eurasia collision deformation in Iran. *Journal of Geodesy*, 77(7), 411-422. <https://doi.org/10.1007/s00190-003-0326-5>
- Sarkarinejad, K., & Goftari, F. (2019). Thick-skinned and thin-skinned tectonics of the Zagros orogen, Iran: constraints from structural, microstructural and kinematics analyses. *Journal of Asian Earth Sciences*, 170, 249-273. [10.1016/j.jseaes.2018.10.021](https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2018.10.021)
- Sherkati, S., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2004.01.007>
- 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(4). <https://doi.org/10.1029/2004TC001766>
- Taghavi, A., Hajialibeigi, H., Fard, I. A., & Mouthereau, F. (2025). Structural geometry and folding style in the North Dezful Embayment and Abadan Plain, Zagros Fold and Thrust Belt, SW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 290, 106575. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2025.106575>
- Tavani, S., Storti, F., Soleimany, B., Fallah, M., Munoz, J. A., & Gambini, R. (2011). Geometry, kinematics and fracture pattern of the Bangestan anticline, Zagros, SW Iran. *Geological Magazine*, 148(5-6), 964-979. <https://doi.org/10.1017/S0016756811000197>
- Vergés, J., Goodarzi, M., Emami, H., Karpuz, R., Efstathiou, J., & Gillespie, P. (2011). Multiple detachment folding in Pusht-e Kuh arc, Zagros: Role of mechanical stratigraphy. <https://doi.org/10.1306/13251333M942899>