فصلنامه زمین‌ساخت

بهـــار ۱۴۰۱، ســـال ششـــم، شـــماره ۲۱

10.22077/JT.2023.4283.1110

آشکارسازی اثر شکستگی‌های ناحیه‌ای در میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه بر اساس روش فراوانی نسبی شکستگی‌ها، فروبار دزفول جنوبی، ایران

اسماعیل مهربان[۱]، علی فقیه[۲]*، محمد سراج[۳]، سعید زارعی[۴]، سید محمود حسینی[۵]، معصومه سلیمانی[۶]

۱- کارشناسی ارشد تکتونیک، بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

۲- استاد بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

۳- دکتری تکتونیک، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب

۴- استادیار گروه ژئوفیزیک، دانشکده علوم و فناوری نانو و زیستی، دانشگاه خلیج فارس

۵- کارشناسی ارشد تکتونیک، شهرداری شیراز

۶- دکتری تکتونیک، بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۳۰

چکیده:

تحلیل هندسی شکستگی‌های موجود در مخازن آهکی حاوی منابع هیدروکربنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شناخت موقعیت و نحوه گسترش شکستگی‌ها در اینگونه مخازن، می‌تواند نقش موثری در ارائه طرح‌های توسعه میدان، تعیین محل‌های مناسب جهت حفاری‌های جدید، کاهش هزینه‌های پی‌جویی و ... داشته باشد. این پژوهش به منظور ارزیابی روش فراوانی نسبی شکستگی‌ها برای شناسایی شکستگی‌های ناحیه‌ای در میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه انجام شده است. داده‌های مورد نیاز ازطریق تحلیل نقشه‌های خطوط تراز زیرسطحی در میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه استخراج شده است. سپس صحت نقشه شکستگی‌های تهیه شده بر اساس این روش با داده‌های مربوط پارامترهای مخزنی در میادین مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت. داده های هرزروی گل، گرادیان حرارتی، ضخامت روباره، مقدار کل کربن آلی و میزان تولید نتایج بدست آمده از روش فراوانی نسبی شکستگی‌ها در کوهانه واقع در مرکز میدان را تأیید می‌نماید. مقایسه نتایج حاصل با نقشه گسل‌های پی‌سنگی محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که عملکرد این شکستگی‌های ناحیه‌ای باعث ایجاد انحناء و در نتیجه تمرکز شکستگی‌ها در برخی از بخش‌های میدان بی بی حکیمه شده است. این شکستگیهای ناحیه‌ای به عنوان معبری برای انتقال حرارت از عمق به سطح عمل کرده که خود منجر به افزایش شدید گرادیان حرارتی و افزایش تولید ناحیه‌ای در چاه‌های بخش‌های مرکزی میدان مورد مطالعه شده است.

واژه‌های کلیدی: شکستگی، فراوانی نسبی، هرزروی گل، گرادیان حرارتی، گسل پی‌سنگی

*ایمیل: afaghih@shirazu.ac

تلفن تماس: ۰۹۱۷۳۰۰۳۶۳۱

Detection of regional fractures effect in the Bibihakimeh oilfield based on the relative frequency of fractures method, Southern Dezful Embayment, Iran

Esmaeil Mehraban[1], Ali Faghih[2]*, Mohammad Seraj[3], Saeed Zarei [4], Seyed Mahmoud Hosseini[5], Masoumeh Soleimani[6]

1. M.Sc. in Tectonics, Department of Earth Sciences, School of Science, Shiraz University
2. Professor, Department of Earth Sciences, School of Science, Shiraz University
3. Ph.D. in Tectonics, National Iranian South Oil Company
4. Assistant Professor, Department of Geophysics, Faculty of Nano and Bio Science and Technology, Persian Gulf University
5. M.Sc. in Tectonics, Shiraz Municipality
6. Ph.D. in Tectonics, Department of Earth Sciences, School of Science, Shiraz University

Abstract

Geometric analysis of fractures in calcareous reservoirs containing hydrocarbon resources is of particular importance. Knowing the location and distribution of fractures in such reservoirs can play an effective role in providing field development plans, determining suitable sites for new drilling and reducing exploration costs. This study was carried out to evaluate the relative frequency of fractures method to identify regional fractures in the Bibihakimeh oilfield. The required data have been extracted by analyzing the underground countor maps in the Bibihakimeh oilfield. Then, the accuracy of the fracture map prepared based on this method was evaluated with the relevant data of reservoir parameters in the studied oilfields. Data on mud loss, thermal gradient, overburden thickness, total organic carbon and production index confirm results obtained from the relative frequency of fractures in the center of the oilfield. Comparison of the results with the map of basement faults in the study area shows that the performance of these regional fractures has caused curvature development and fractures concentration in some parts of the Bibihakimeh oilfield. These regional fractures act as a conduit for heat transfer from the depth to the surface, which in turn has led to a sharp increase in thermal gradient and production in wells in the central parts of the studied oilfield.

Keywords: fracture, relative frequency, mud loss, thermal gradient, basement fault

*Email: afaghih@shirazu.ac.ir
Tel: +989173003631

مقدمه

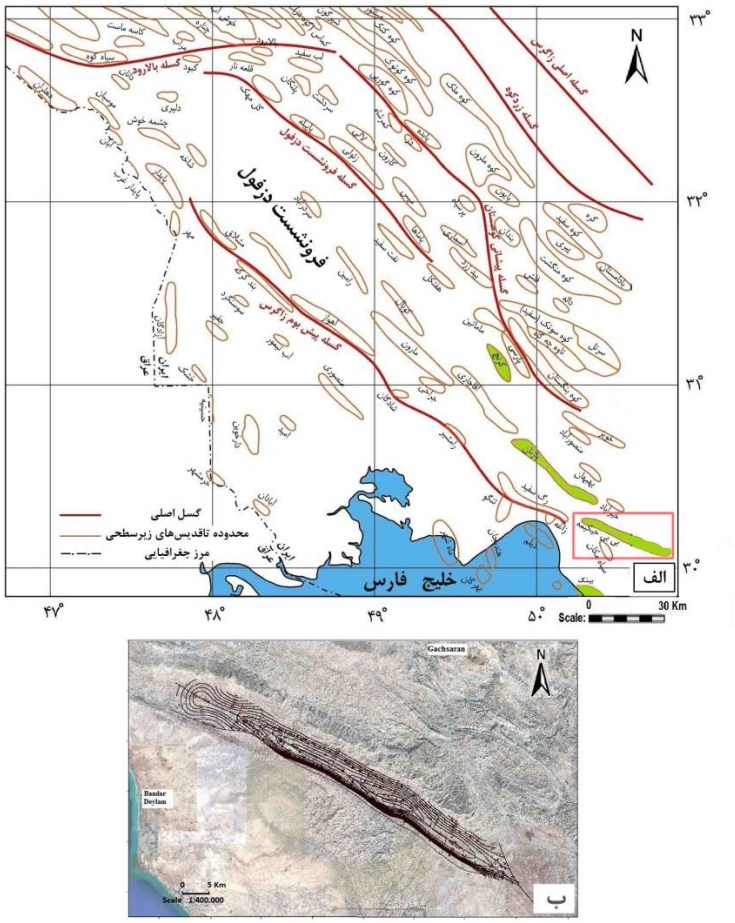
تخلخل و تراوایی مورد نیاز برای مهاجرت سیالات در مخازن هیدروکربوری متاثر از عوامل مختلف زمین‌شناختی از جمله گسل‌ها و شکستگی‌ها است. این ساختارها در شرایط خاص ممکن است تأثیرات مثبت یا منفی بر عملکرد مخزن هیدروکربوری داشته باشند (Fossen, 2016). بسیاری از مخازن هیدروکربوری دنیا عمدتاً در سنگ‌های با شکستگی زیاد تشکیل شده‌اند. عدم توجه به حضور و تأثیر شکستگی‌های طبیعی در مخازن هیدروکربوری در گذشته باعث بروز مشکلاتی جبران ناپذیر در حین انجام عملیات‌های حفاری و توسعه میادین نفتی درنقاط مختلف دنیا گردیده است. لیکن در سال‌های اخیر، مطالعه شکستگی‌ها در سازندهای زمین‌شناسی نفت‌دار رو به افزایش است؛ زیرا شکستگی‌ها یکی از مهمترین عوامل موثر در جریان سیال در مخازن هیدروکربوری می‌باشند (Bourne et al., 2000). غالباً در مخازن هیدروکربوری، شکستگی‌ها نسبت به تخلخل اولیه سنگ، در تخلیه؛ بازیافت ثانویه؛ بازیافت نهایی و بالاخره میزان تولید نقش بسیار بیشتری دارند (مطیعی، ۱۳۷۴). فرایندهای مختلفی نظیرتدفین رسوبات، تکتونیک، دیاپیریسم و فرسایش در شکل گیری شکستگی‌ها نقش دارند (Price and Cosgrove, 1990).

سنگ‌های کربناته (آهک و دولومیت) رایج‌ترین سنگ‌های مخزن منابع هیدروکربوری دنیا محسوب می‌شوند، به‌گونه‌ای که عمده این ذخایر در منطقه خاورمیانه در این نوع سنگ‌ها تجمع یافته است. با توجه ویژگی شکنندگی بسیار زیاد در سنگ‌های کربناته ، ارزیابی نحوه توسعه و گسترش شکستگی‌ها از معیارهای مهم مورد استفاده در طراحی و اجرای طرح‌های اکتشافی و توسعه‌ای این نوع مخازن کربناته محسوب می گردد (مطیعی، ۱۳۷۴). از دیدگاه جایگاه زمین‌شناختی مخازن هیدروکربنی موجود در حوضه رسوبی-ساختاری زاگرس، مثال بارزی از مخازن مرتبط با کمربندهای چین-راندگی در دنیا می‌باشند (صیرفیان، ۱۳۸۶). سنگ مخزن این مخازن عمدتاً آهکی است و تخلخل، تراوایی و کیفیت مخزن متاثر از شکستگی‌های موجود در آنها است. سازند آسماری به عنوان یکی ازگسترده‌ترین سازندهای نفت‌دار در بسیاری از مخازن نفتی جنوب‌باختری ایران دارای تولید هیدروکربن بسیار بالایی است. آنچه مسلم است تمام میزان تولید هیدروکربن در این سازند آهکی نمی‌تواند بواسطه تراوایی حاصل از تخلخل و تراوایی اولیه تأمین گردد و شکستگی‌های ایجاد شده در این سازند نقش مهمی در افزایش تخلخل و تراوایی و در نتیجه افزایش تولید دارند. میزان بالای هرزروی گل در حین حفاری در لایه‌های این سازند، ارتباط فشاری چاه‌های موجود در فواصل نزدیک در یک میدان و وجود زون‌های با تولید بالا در اعماق مختلف و عدم رویت این شواهد در چاه‌های مجاور از جمله شواهد تایید کننده نقش شکستگی‌ها در ایجاد این شرایط در مخازن هیدروکربوری است (آقانباتی، ۱۳۷۴). لذا شناخت ارتباط شکستگی‌ها با ساختارهای بوجود آورنده و تأثیرگذار بر آنها در مخازن هیدروکربوری به منظور افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها بسیار ضروری است. این ضرورت در بهبود و پیشرفت روش‌های اکتشاف مواد هیدروکربوری نیز کاملاً مشهود است. بطور کلی مطالعات متعددی در خصوص شکستگی‌ها در مخازن هیدروکربنی ایران انجام شده است. از جمله این مطالعات می‌توان به یزدانی و همکاران (۱۳۸۵)، آرین و محمدیان (۱۳۸۹)، رمضانی و همکاران (۱۳۹۱)، علی‌پور و همکاران (۱۳۹۱)، جمشیدی و همکاران (۱۳۹۵)، شمس‌قهفرخی و همکاران (۱۳۹۵)، عبادی و همکاران (۱۳۹۵) علی‌پور (۱۳۹۶) و محمدی اصل و همکاران (۱۳۹۶) اشاره کرد. در این راستا در این پژوهش به منظور شناسایی مناطق با تراکم بالای شکستگی و تعیین ارتباط آنها با شکستگی‌های ناحیه‌ای و پارامترهای مخزنی، میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه واقع در فروبار دزفول جنوبی مورد مطالعه و بررسی قرارگرفته است.

محدوده مورد مطالعه

میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه درناحیه فروبار دزفول جنوبی و در استان کهگیلویه‌وبویراحمد قراردارد. این میدان نفتی در شهرستان گچساران و در چهارگوش ′۱۲ °۵۰ تا ′۵۳ °۵۰ طول‌های خاوری و ′۱۶ °۳۰ تا ′۵۴ °۲۹ عرض‌های شمالی قرار دارد. با حفاری چاه اکتشافی BH-1 در سال ۱۹۶۱ این میدان کشف و بهره‌برداری از آن در همان سال آغاز شد (ابطحی، ۱۳۸۷). میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه از یک تاقدیس نامتقارن زیرسطحی با طول ۷۰ و عرض

۷ کیلومتر تشکیل شده است و در فاصله ۲۵۰ کیلومتری جنوب‌خاوری اهواز قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱. الف) موقعیت میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه در فروبار دزفول جنوبی (برگرفته از فکوری، ۱۳۸۳) و ب) نمایش وضعیت میدان بی‌بی‌حکیمه بر اساس خطوط تراز زیرسطحی رأس سازند آسماری.

مخازن این میدان شامل آسماری، بنگستان و خامی است. لایه‌های پابده و گورپی به ضخامت تقریبی ۴۰۰ متر تفکیک‌کننده سازندهای تولیدی آسماری و بنگستان هستند. افق مخزنی آسماری در این میدان دارای طول ۷۵ و عرض ۵ کیلومتر است. بر پایه ویژگی‌های پتروفیزیکی و سنگ‌شناختی این افق مخزنی به چهار زون مختلف تقسیم شده است. افق بنگستان موجود در این میدان نفتی دارای طول ۷۲ و عرض ۴/۵ کیلومتر است. این افق مخزنی نیز بواسطه ویژگی‌های پتروفیزیکی و سنگ‌شناختی به ۹ زون مختلف تقسیم شده است. سامانه نفتی خامی میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه از سازندهای فهلیان، گدوان و داریان تشکیل شده است. سازندهای بختیاری، آغاجاری و میشان رخنمون‌های سطحی این میدان می‌باشد (مطیعی، ۱۳۷۴).

چندین انحنای بارز محوری در طول تاقدیس زیرسطحی بی‌بی‌حکیمه قابل مشاهده است. بیشترین مقدار این انحناها در کوهانه اصلی تاقدیس و در بخش جنوب‌خاوری تا مرکزی میدان نفتی دیده می‌شود. عوامل مختلف زمین‌ساختی و زمین‌شناختی در ایجاد این انحنای طولی ممکن است نقش داشته باشد (مداحی، ۱۳۸۸).

روش کار

در این پژوهش به منظور مشخص کردن نواحی با تراکم شکستگی بالا در افق مخزنی آسماری میدان بی‌بی‌حکیمه از روش تعیین میزان فراوانی نسبی شکستگی‌ها استفاده شده است. سپس برای درک بهتر و دقیق‌تری از نحوه گسترش شکستگی‌های موجود در مخزن و شناخت ارتباط آنها با شکستگی‌های ناحیه‌ای، نتایج حاصل از این روش با پارامتر مخزنی میدان مذکور، مورد مقایسه قرار گرفت.

بر اساس پارامترهای موثر در ایجاد و توسعه شکستگی‌ها نظیر سنگ‌شناسی، اعوجاج محور ساختاری، شعاع انحنای تاقدیس، ضخامت طبقه، موقعیت چینه‌شناسی طبقه، تاریخچه ساختاری و میدان تنش امروزی و دوباره سیمان‌شدگی رابطه زیر را برای تعیین فراوانی نسبی شکستگی‌ها معرفی شده است:

$$RFF=[(R\times Br)+(S\times Bs)]\times(1-C)\times L$$ (رابطه ۱)

که درآن L سنگ‌شناسی، C سیمان‌شدگی، S اعوجاج ساختاری، Bs فاصله چاه تا اثر سطح محوری، R شعاع انحنای ساختاری ساختاری و Br پارامتر چینه‌شناختی می‌باشد. بسیاری از محققین زمین‌شناسی ساختاری مابین فاصله‌بندی شکستگی‌ها و نوع سنگ ارتباطات خاصی در نظر گرفته‌اند. به عنوان مثال در شرایطی یکسان وجود درصد بالایی از ذرات و دانه‌های شکننده در سنگ‌ها باعث کاهش فاصله بین شکستگی‌ها می‌شود در حالی در سنگ‌هایی که دارای ذرات شکل‌پذیر بیشتری هستند فاصله بین شکستگی‌ها بیشتر است (Nelson, 2001). علاوه بر فاصله‌بندی شکستگی‌ها و میزان بازشدگی آنها، فرایند سیمانی شدن و زمان وقوع آن از عوامل مهم دیگر در شناخت تأثیر شکستگی‌ها در ایجاد تخلخل و تراوایی مخازن است. رابطه زیر را برای محاسبه عامل سیمان‌شدگی معرفی شده است (Handin et al., 1963):

$$C=[(Dx-Dh)/(DL-Dh)]\times 0.9$$ (رابطه ۲)

که در آن C، Dx، Dh و DL به ترتیب عامل سیمان‌شدگی، عمق نقطه مورد نظر، عمق مرتفع‌ترین نقطه در تاقدیس و عمق سطح تماس آب و نفت می باشند.

شعاع انحناء موجود در اثر سطح محوری یک تاقدیس زیرزمینی بر روی نقشه (سطح افقی) را می‌توان با رسم مماس‌هایی بدست آورد. سپس فاکتور اعوجاج را می‌توان بر حسب طول شعاع انحناء بصورت کمی درآورد. فاکتور Bs همراه با فاکتور S محاسبه می‌گردد. انتخاب اثر سطح محوری در روی نقشه خطوط تراز زیرسطحی (سطح افقی) به عنوان سطح خنثی نسبت به یال‌های شمالی و جنوبی از فرض‌های اساسی در این روش کمی‌سازی است. در هر کدام از برش عرضی ساختاری ترسیم شده عمود بر محور تاقدیس می‌توان شعاع‌های انحنای متفاوتی با رسم دوایری مماس بر قوس چین بدست آورد. شایان ذکر است در یک چین و در برش دوبعدی مراکز انحناء و شعاع‌های متفاوتی قابل ترسیم است ولی برای این هدف شعاع بهترین دایره منطبق بر کمان چین را باید انتخاب کرد.

شکستگی‌های کششی باز در یک لایه چین‌خورده در بالای سطح خنثی شکل می‌گیرند. این شکستگی با فاصله از این سطح رابطه مستقیم دارند. شکستگی‌های تراکمی در زیر سطح خنثی تشکیل می‌شوند. بر اساس موارد فوق فاکتور Br نشان‌دهنده فاصله نقطه مورد بررسی از این سطح است و عمق این سطح براساس رابطه زیر بدست می‌آید:

$$a=(Dt+Db)/2$$ (رابطه ۳)

در این رابطه a، Dt و Db نشان‌دهنده اعماق مربوط به سطح خنثی، رأس مخزن (رأس سازند آسماری) و قاعده مخزن (قاعده سازند آسماری) می‌باشد. این مقادیر عمق باید بر حسب فوت یا متر نسبت به سطح دریا محاسبه گردد. تعیین مقدار Br برای یک ساختار تاقدیس‌گون، در دو حالت امکان‌پذیر است. به این ترتیب که مقدار Br در اعماق بیشتر از عمق سطح خنثی (Dx>a) برابر صفر است و مقدار Br در اعماق کمتر از این سطح (Dx<a) بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

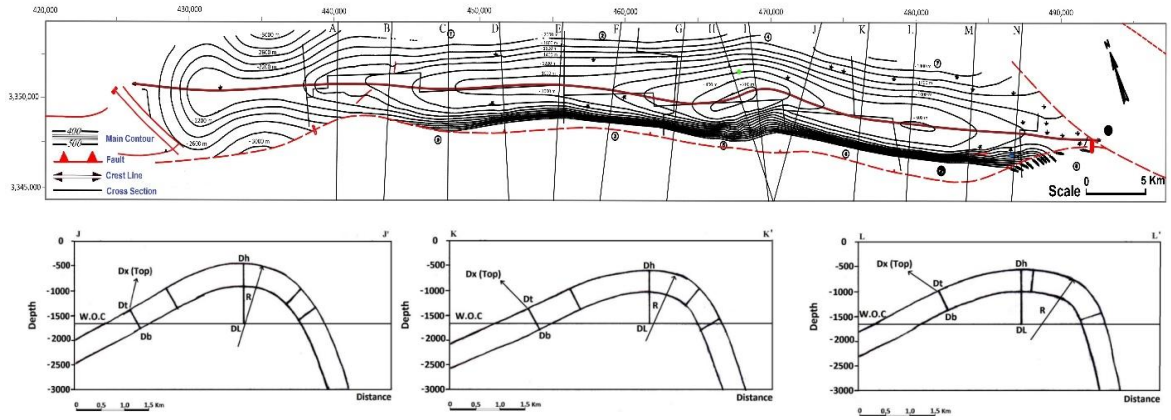
$$Br=[(a - Dx)/(Db - a)]\times 4$$ (رابطه ۴)

با رسم برش‌های متعدد ساختاری عمود بر محور تاقدیس زیرسطحی، پارامترهای موجود در رابطه فوق در یک عمق معین برای یک افق مخزنی محاسبه و مقادیر بدست آمده بصورت خطوط کنتوری هم ارزش ارائه می‌گردد. بر این اساس برای تاقدیس زیرسطحی بی‌بی‌حکیمه، تعدادی مقطع عرضی تقریباً عمود بر روند ساختار در افق مخزنی آسماری و گذرا از چاه‌های حفاری شده در میدان ترسیم گردید.

نتایج و بحث

پس از رسم مقاطع عرضی و محاسبه مقدار پارامترهای لازم در هر برش ساختاری، نقشه کنتوری فراوانی نسبی شکستگی‌ها برای افق آسماری در میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه ترسیم گردید (شکل ۲).

در این بخش نتایج حاصل از این نقشه با نقشه‌های نشان‌دهنده تغییرات ضخامت روباره، هرزروی گل، گرادیان حرارتی، نرخ تولید نفت و مقدار کل مواد



شکل ۲. موقعیت مقاطع عرضی رسم شده بر روی نقشه خطوط تراز زیرسطحی رأس سازند آسماری در میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه.

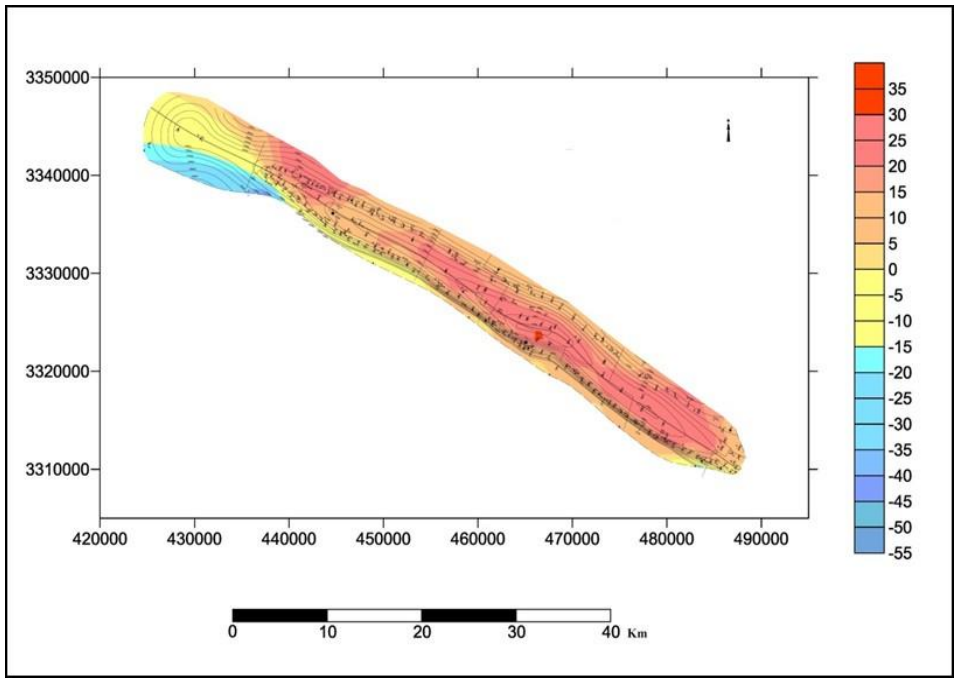
آلی در میدان نفتی مورد مطالعه مورد مقایسه قرار گرفته است. مکان‌های با بیشینه تراکم شکستگی و محل های احتمالی گسل را می توان براساس داده‌های هرزروی گل حفاری مشخص نمود. همراه با نتایج حاصل از سایر روش‌های تحلیلی شکستگی‌ها، نتایج بدست آمده از تفسیر این داده‌ها به عنوان یک روش تکمیل کننده مطالعات زیرسطحی بسیار مفید است. به بیان دیگر، میزان خلل و فرج سنگ مخزن با منشاء رسوبی یا تکتونیکی با مقدار هرزروی گل حفاری ارتباط مستقیمی دارد. میزان فرازش یا برخاستگی تاقدیس در مناطق با فعالیت‌های تکتونیکی بالا، بیشتر است و در نتیجه از مقدار ضخامت روباره کاسته می‌شود. بنابراین، با کاهش فشار از روی تاقدیس و مقاومت برشی در سنگ کاهش یافته و شکستگی‌های بیشتر در تاقدیس ایجاد می‌شود. با افزایش ضخامت روباره، فشار لیتوستاتیک نیز بیشتر خواهد شد و شکستگی دیرتر در لایه‌ها ایجاد می‌شود. تاقدیس بی‌بی‌حکیمه در یک نمای کلی، تاقدیسی نامتقارن با سطح محوری خمیده است که بطور کلی یال جنوب‌باختری دارای شیب بیشتری نسبت به یال شمال‌خاوری آن است. از مشخصه‌های بارز مخزنی و ساختاری تاقدیس بی‌بی‌حکیمه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کوهانه مرکزی دارای گستردگی و فرازش بیشتری نسبت به کوهانه جنوب‌خاوری آن است (شکل ۲).
- در ناحیه کوهانه مرکزی در روند انحناء محور تاقدیس تغییر ناگهانی ایجاد شده است (شکل ۲).
- در قسمت جنوب‌باختری تاقدیس بی‌بی‌حکیمه، گسل وجود دارد (شکل ۲).
- میانگین سطح تراز آب و نفت (W.O.C) و سطح تراز گاز و نفت (G.O.C) در این تاقدیس به ترتیب در عمق ۱۶۹۰- متری و ۱۶۰۰- متری قرار دارد. بر اساس اختلاف موجود بین این دو سطح تراز، ۹ بخش مختلف در میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه شناسایی شده است (گزارش شماره ۱۲۷۳ شرکت نفت، ۱۳۹۴).

مناطق با بیشترین اعوجاج در محور ساختاری و انحناء محوری میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه، مناطق مستعد توسعه و گسترش شکستگی‌های کششی شناخته می‌شوند(شکل ۳). این شواهد در نقشه های منحنی میزان فراوانی نسبی شکستگی‌ها در افق آسماری قابل مشاهده است. در این بخش حداکثر توسعه شکستگی قابل مشاهده است.

عوامل متعددی در ایجاد انحنای طولی چین‌خوردگی‌ها نقش دارند. رشد و گسترش تاقدیس‌های مجزا و چگونگی اتصال آنها یکی از این عوامل مهم است. این عامل می‌تواند در ایجاد انحنای طولی تاقدیس و دو کوهانه شدن آن نقشی مهم داشته باشد. هم‌چنین فعالیت گسل‌های پی‌سنگی و زون برشی حاصل از آنها می‌تواند در ایجاد انحنای طولی تاقدیس نقش مؤثری داشته باشند. تغییر روند و آهنگ‌های لغزش متفاوت در میزان راندگی و هم‌چنین تأثیر چین‌های مجاور از جمله سایر عوامل موثر در ایجاد اعوجاج محور ساختاری تاقدیس‌ها هستند (مداحی و همکاران، ۱۳۸۸).

در کوهانه‌های تاقدیس بویژه در کوهانه مرکزی با بیشترین اعوجاج و انحناء محوری این ویژگی‌ها به وضوح قابل مشاهده است. در تمام بخش‌های تاقدیس

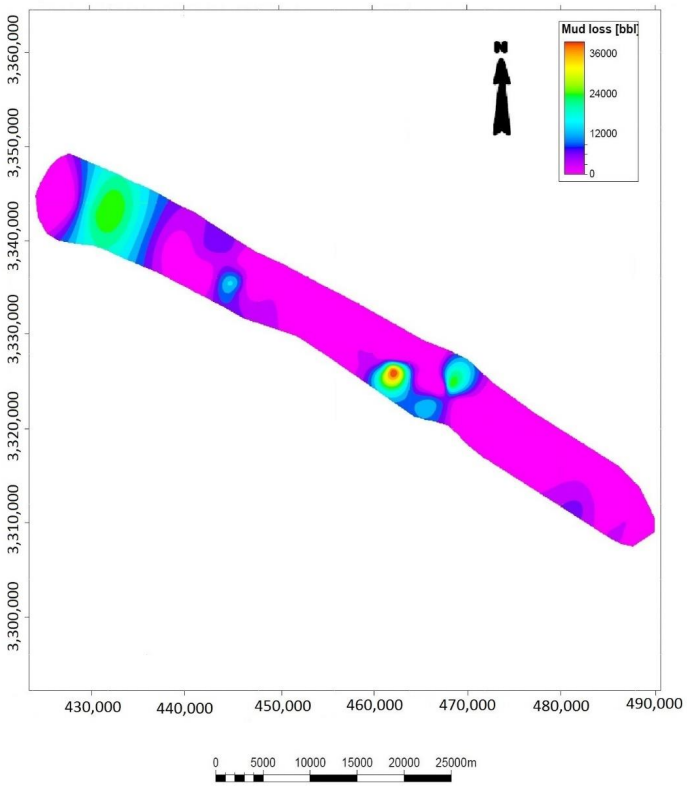


شکل ۳. موقعیت خطوط تراز زیرسطحی افق آسماری در نقشه منحنی میزان فراوانی نسبی شکستگی در تاقدیس زیرسطحی بی‌بی‌حکیمه.

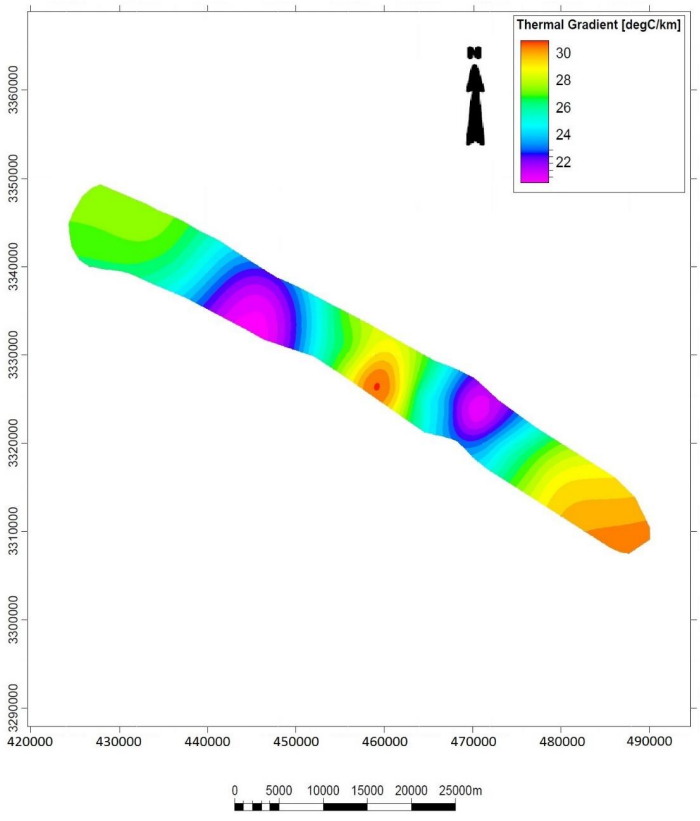
شکستگی وجود دارد با این تفاوت که حداکثر آن در قسمت مرکز و جنوب‌خاوری و حداقل آن در شمال‌باختری تاقدیس وجود دارد (شکل ۳). میزان چین‌خوردگی کمتر و روباره رسوبی بیشتر که باعث کاهش تأثیر عوامل هندسی چین‌خوردگی شده‌اند می‌تواند در کاهش میزان شکستگی در این ناحیه موثر باشد. بر اساس شواهد موجود در نقشه هرزروی گل در چاه‌های حفاری شده در میدان بی‌بی‌حکیمه (شکل ۳) ، بیشینه مقدار هرزروی گل حفاری در دو بخش شمال باختری و به میزان بیشتر، در کوهانه مرکزی تاقدیس قابل مشاهده است(شکل۴). با توجه به توسعه و تاثیر فاز کششی در بخش‌های بالایی سازند آسماری و در نتیجه گسترش شکستگی‌ها، افزایش قابل ملاحظه‌ای در میزان هرزروی گل حفاری در بخش مرکزی تاقدیس ایجاد شده است. همپوشانی نقشه‌های منحنی میزان فراوانی نسبی شکستگی‌ها و میزان هرزروی گل حفاری این مطلب را تایید می کند. سازگاری تقریباً قابل قبولی در ناحیه بین کوهانه مرکزی و ناحیه شمال‌خاوری در این دو منحنی قابل مشاهده است.

در طول تاقدیس بی‌بی‌حکیمه چند ناحیه با ویژگی‌های متفاوت با سایر بخش‌های تاقدیس در منحنی‌های میزان نقشه گرادیان حرارتی دیده می‌شود. در سه ناحیه تاقدیس گرادیان حرارتی نسبت به سایر بخش‌های تاقدیس افزایش قابل ملاحظه‌ای دارد (شکل۵). این ویژگی در منحنی میزان فراوانی نسبی شکستگی‌ها نیز قابل مشاهده است که نشان‌دهنده بیشترین مقدار این شکستگی‌ها در کوهانه‌ها است، بویژه در کوهانه مرکزی که این موضوع می تواند بدلیل عمق کمتر نسبت به سطح زمین و کم بودن میزان وزن روباره باشد که اعوجاج و شکستگی بیشتری را در این ناحیه ایجاد کرده است. افزایش در میزان شکستگی باعث انتقال حرارت از عمق به سطح شده و گرادیان حرارتی آن ناحیه را افزایش می‌دهد. در بخش شمال‌باختری تاقدیس گرادیان حرارتی متوسطی نسبت به دو قسمت دیگر قابل مشاهده است که با منحنی فراوانی نسبی شکستگی‌ها سازگاری مناسبی نشان می‌دهد.

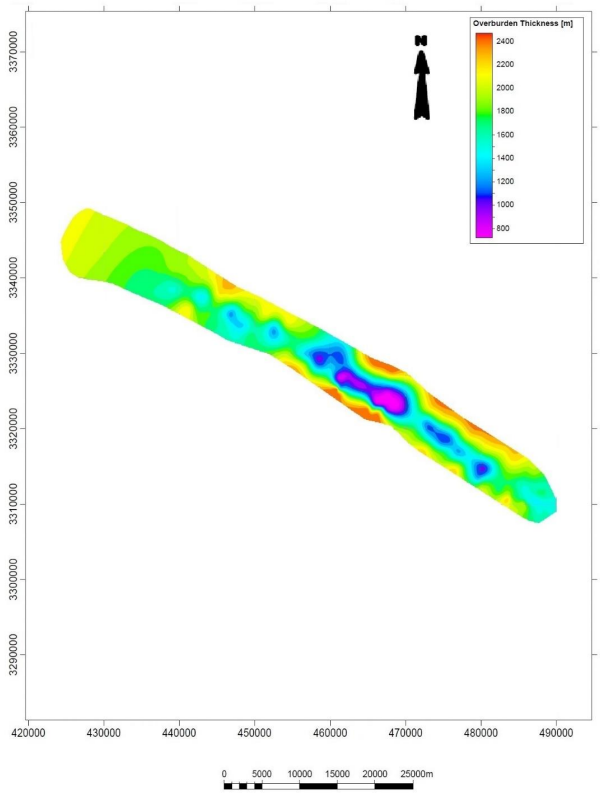
نتایج حاصل از مقایسه نقشه منحنی تغیرات ضخامت روباره (شکل۶) و نقشه فراوانی نسبی شکستگی در تاقدیس بی‌بی‌حکیمه حاکی از آن است که بیشترین میزان شکستگی در کوهانه‌های تاقدیس بویژه کوهانه مرکزی وجود دارد چرا که در این مناطق کمترین میزان ضخامت روباره وجود دارد . این کوهانه تاقدیس در عمق کمتر واقع شده و دارای چین‌خوردگی قوی‌تری است. به همین دلیل دارای بیشترین انحنای محوری و اعوجاج در محور ساختاری است و در نتیجه توسعه شکستگی در این ناحیه بیشتر است.



شکل ۴. نقشه منحنی میزان هرزروی گل حفاری تاقدیس زیرسطحی بی‌بی‌حکیمه.



شکل ۵. نقشه منحنی میزان گرادیان حرارتی تاقدیس زیرسطحی بی‌بی‌حکیمه.



شکل ۶. نقشه منحنی ضخامت روباره تاقدیس زیرسطحی بی‌بی‌حکیمه.

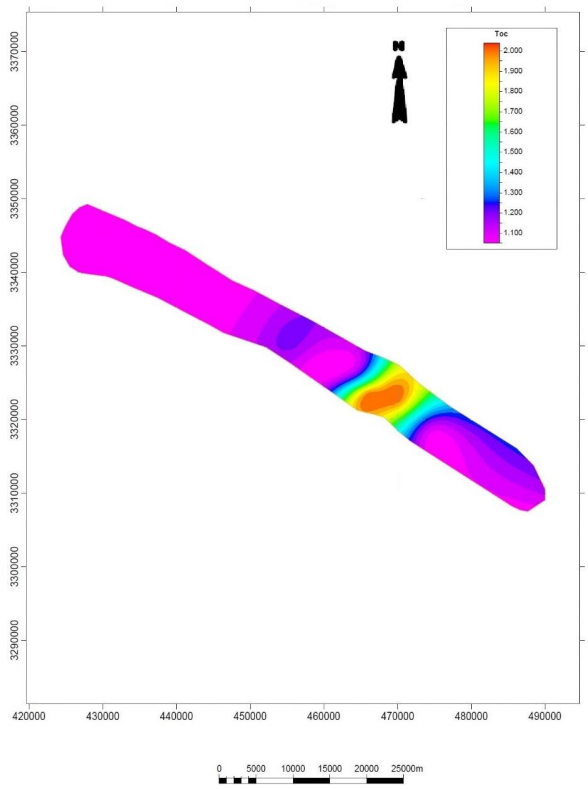
نقشه منحنی مقدار کل کربن آلی (شکل ۷)، ارزیابی بیشترین مقدار کربن آلی در سنگ منشاء در محل کوهانه میانی تاقدیس بی‌بی‌حکیمه بوده که دقیقاً با اطلاعات بدست آمده از منحنی میزان فراوانی نسبی شکستگی آن ناحیه همخوانی دارد و بیانگر این موضوع است که مهاجرت مواد هیدروکربنی به سمت رأس تاقدیس، بخوبی صورت پذیرفته است. همچنین در دو ناحیه جنوب‌خاوری و میانی تاقدیس نیز به مقدار کمتری کربن آلی برآورد گردیده که باز هم با سازگاری خوبی را مقدار فراوانی نسبی شکستگی‌ها در آن نواحی نشان می‌دهد.

با همپوشانی نقشه منحنی میزان فراوانی نسبی شکستگی با نقشه میزان تولید نفت (شکل ۸) در میدان بی‌بی‌حکیمه، الگوی مشابهی در این دو نقشه دیده می‌شود. نرخ زیاد تولید در ناحیه مرکزی با توجه به قرارگیری رأس تاقدیس در این ناحیه امری بدیهی است. وجود نرخ بیشتر تولید در ناحیه نزدیک به شمال باختری، با توجه به اینکه تاقدیس در آن نواحی بیشترین عمق را دارد، اندکی دور از انتظار است. این موضوع را می‌توان به تعداد چاه‌های حفاری شده و گستردگی آنها و از همه مهمتر وجود خطواره‌های اصلی یا همان گسل‌های پی‌سنگی که ایجاد شکستگی‌های بیشتر در این ناحیه مربوط دانست (شکل ۹).

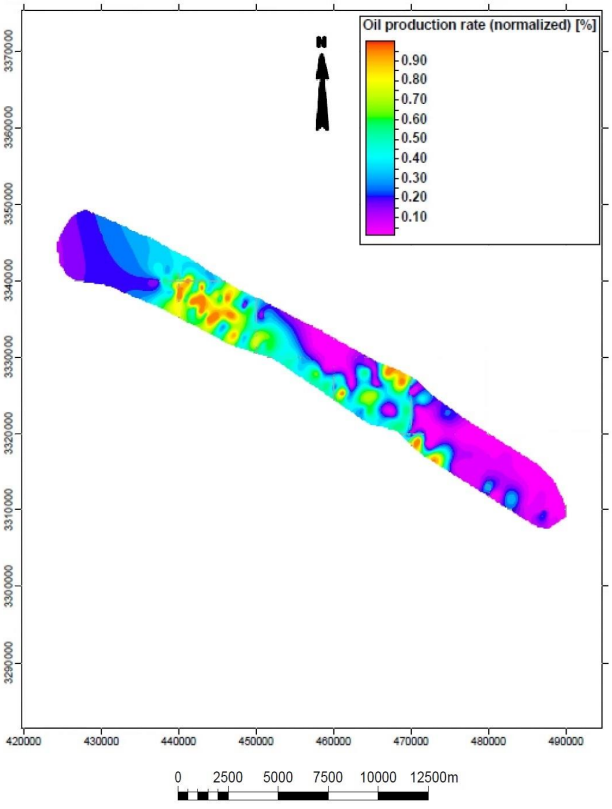
نتیجه‌گیری

بر اساس برش‌های عرضی ترسیم شده بر روی نقشه خطوط تراز زیرسطحی در افق آسماری در یک عمق مشخص و با توجه به مقادیر بدست آمده از رابطه فراوانی شکستگی‌ها و نقشه حاصله، مشخص گردید اکثر مناطقی از تاقدیس که متأثر از عملکرد همزمان انحناء مرتبط با چین‌خوردگی و انحناء ناشی از اعوجاج محور ساختاری می‌باشند، دارای تراکم شکستگی بالایی هستند که عمدتاً شامل شکستگی‌های کششی می‌باشند.

این روش در مناطقی که بیشتر تحت تأثیر چین‌خوردگی هستند تا گسلش، نتایج بهتری ارائه می‌نماید. تحت تأثیر و قطع‌شدگی توسط گسل‌ها خطوط تراز زیرسطحی نسبت به هم جابجایی نشان می‌دهند و معمولاً فراوانی نسبی شکستگی‌ها به خوبی نشان داده نمی‌شود. مقایسه نتایج بدست آمده از روش فراوانی نسبی شکستگی‌ها با داده‌های موجود



شکل۷. نقشه منحنی میزان کل کربن آلی تاقدیس زیرسطحی بی‌بی‌حکیمه.



شکل ۸. نقشه منحنی میزان تولید تاقدیس زیرسطحی بی‌بی‌حکیمه.

شکل۹. موقعیت خطواره‌های اصلی در فروبار دزفول جنوبی (Seraj et al., 2020).

در نقشه‌های هرزروی گل، گرادیان حرارتی، ضخامت روباره، مقدار کل کربن آلی و میزان تولید نفت و همچنین بررسی خطواره‌های اصلی در منطقه و تحلیل داده‌های موجود، بیانگر این است که شکستگی‌ها در تمامی قسمت‌ها وجود دارد و تراکم شکستگی با افزایش عمق در مجموع از یک روند کاهشی پیروی می‌کند و بالاترین تراکم شکستگی‌ها در دو کوهانه آن بخصوص در کوهانه نزدیک به مرکز تاقدیس وجود دارد که دارای بیشترین میزان خمش عرضی و طولی است. با توجه به اینکه وزن روباره رسوبی یکی از موثرترین عوامل در ایجاد شکستگی و کاهش مقاومت برشی در سنگ است، نقشه منحنی ضخامت روباره تاقدیس بی‌بی‌حکیمه، از این نظر با نتایج حاصل از روش فراوانی نسبی شکستگی‌ها تطابق قابل ملاحظه‌ای دارد و نشان از فراوانی شکستگی‌ها در نواحی نزدیک به سطح بویژه در کوهانه‌ها دارد.

قدردانی

این پژوهش با حمایت مادی و معنوی معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه شیراز و معاونت تحصیلات تکمیلی شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب انجام شده است. از نظرات ارزشمند داوران محترم مجله نیز سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

آرین، م.، محمدیان، ر.، ۱۳۸۹. تحلیل شکستگی‌های مخزن آسماری میدان نفتی مارون (زاگرس). نشریه علوم زمین، سال ۲۰، شماره ۷۸، ۸۷-۹۶.

آقانباتی، ع.، ۱۳۸۹. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. چاپ سوم، ۵۸۶ صفحه.

ابطحی، ت.، ۱۳۸۷. طرح توسعه میدان بی‌بی‌حکیمه. ماهنامه اکتشاف و تولید، ۵۵، ۱۳-۱۶.

جمشیدی، ب.، مجتهدزاده، س.ح.، قربانی، ا.، ۱۳۹۵. توصیف شکستگی‌ها و تخلخل ثانویه در یکی از چاه های میدان پازنان با استفاده از نمودار تصویری FMI . همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

رمضانی، ع.، علوی، س.ا.، حاجی علی بیگی، ح.، ۱۳۹۱. تحلیل شکستگی‌ها در تاقدیس لالی، جنوب باختر ایران. نشریه زمین‌شناسی ایران، دوره ۶، شماره ۲۳، ۱۹-۳۵.

شمس‌قهفرخی، م.، امانلو، س.، فروزنده‌مقدم، م.، میرزاحسینی، ح.، ۱۳۹۵. مطالعه شکستگی‌ها در مخزن آسماری میدان گچساران؛ بیک‌زاده و همکاران؛ کنفرانس بین‌المللی پژوهش در مهندسی، علوم و تکنولوژی. ۱-۱۱.

صیرفیان، ع.، ۱۳۸۶. زمین‌شناسی نفت. انتشارات سمر، ۳۷۴ ص.

عبادی، ن. ، یارم طاقلو سهرابی، م.، رحیمی، ت.، ورناصری، ن.، ۱۳۹۴. عملکرد و توسعه شکستگی‌ها در مخزن آسماری یکی از میدان جنوب غربی (میدان بی بی حکیمه). کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی.

علی‌پور، ر.، ۱۳۹۶. مطالعه شکستگی‌های سازند

آسـماری در تاقدیـس نفتـی کوپـال (فروافتادگـی دزفـول، جنـوب باختـر ایـران) نشـریه علـوم زمیـن، سـال ۲۷، شـماره ۱۰۵ ، صفحـه ۷۱-۸۰.

علی‌پـور، ر.، علـوی، س. ا.، قاسـمی، م.، مختـاری، م.، گلال‌زاده، ع.، ۱۳۹۱. تحلیـل شکسـتگی‌های سـنگ مخـزن آسـماری در میـدان نفتـی پازنـان (جنـوب باختـر ایـران). نشـریه علـوم (دانشـگاه خوارزمـی)، شـماره ۱۲، جلـد ۲، ۴۸۳-۵۰۰.

محمـدی اصـل، س.، فرضی‌پـور صائیـن، ع.، شـفیعی، ق.، ۱۳۹۶. تحلیـل هندسـی شکسـتگی هـای سـازند آسـماری تاقدیـس دارا، بـه عنـوان الگویـی بـرای مخـازن هیدروکربنـی زیـر سـطحی آسـماری. نشـریه زمین‌شناسـی نفـت ایـران، سـال ۷، شـماره ۱۳، ۱-۱۹.

مداحـی، ح.، علـوی، ا.، عبداللهـی فـرد، ا.، امیـری بختیـار، ح.، و طالبـی، ح.، ۱۳۸۸. تحلیـل و بررسـی عوامـل مؤثـر بـر ایجـاد انحنـای طولـی در تاقدیـس زیرسـطحی بی‌بی‌حکیمـه (فروافتادگـی دزفـول، جنـوب باختـری ایـران). فصلنامـه زمیـن شناسـی ایـران، ۱۵، ۳-۱۴.

مطیعـی، ه.، زمیـن شناسـی نفـت زاگـرس۱. جلـد اول، انتشـارات سـازمان زمیـن شناسـی کشـور، ۵۸۹ صفحـه.

یزدانـی، م.، علـوی، س. ا.، سـراج، م.، ۱۳۸۵. تحلیـل سـاختاری و شکسـتگی‌های میـدان نفتـی پارسـی. نشـریه زمین‌شناسـی ایـران، دوره ۲، شـماره ۵، ۴۳-۵۶.

Bourne, S. J., Bauckmann, F., Rijkels, L., Stephenson, B. J., Weber, A., Willemse, E. J. M., 2000. Predective modelling of naturally fractured reservoirs using geomechanism and flow simulation. 9th Abu Dhabi Intern Petroleom Exhibition and Conference (Abu Dhabi, UAE) 10 PP.

Fossen, H., 2016. Structural Geology (2nd ed.). Cambridge University Press.

Handin, J., Friedman, M., Feather, J. N. 1963. Experimental deformation of rocks under confining pressure: pore pressure Tests. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 717- 755.

Nelson, R.A., 2001. Geologic analysis of naturally fractured reservoirs (2nd ed.). Gulf publishing, Houston, Texas, Contr. In petrol. Geology and Eng., 332 PP.

Price, N. J., Cosgrove, J. W., 1990. Analysis of geological structures, Cambridge.

Seraj., M., Faghih, A., Motamedi, H., Soleimany, B., 2020. Major Tectonic Lineaments Influencing the Oilfields of the Zagros Fold-Thrust Belt, SW Iran: Insights from Integration of Surface and Subsurface Data. Journal of Earth Science, 596-610.