Payame Noor University

Journal of Structural Geology and Applied Tectonics (SGAT)

***Journal homepage*: https://sgat.journals.pnu.ac.ir/**

GEOLOGICAL SOCIETY OF IRAN 1995

The Importance of Tectonic Processes Monitoring on Oil and Gas Drilling Operations: A Case Study of the Mansurabad Oil Field

Mohammad Reza Zakerzadeh*[1] | Ehsan Eghbalpour[1] | Mahdi Ghanavati[1] | Sina Samadi[2]

1- Department of Geology, National Iranian South Oil Company (NISOC), Ahvaz, Iran
2- Department of Earth Sciences, SR. C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Keywords

Correlation,
Drilling Operation,
Khaviz Anticline,
Mansurabad Oil Field,
MFF

Receive: 2026-05-21

Accepted: 2026-10-22

Published: 2026-11-01

Extended Abstract

Introduction

Drilling oil and gas wells in southwestern Iran, particularly within the Zagros Fold–Thrust Belt, faces numerous challenges due to geological and tectonic complexities. Intense structural variations, the presence of thrust faults, detachment horizons, evaporitic layers, and facies changes are among the most crucial factors that can affect the safety, cost, and success of drilling operations. To achieve the objectives of this research, a combination of field data, subsurface well information, drill cuttings, thin sections, petrophysical logs, and daily drilling reports was used. In addition, by examining the performance of the MFF and analyzing the structural geometry of the Khaviz and Mansurabad anticlines, the role of tectonic structures, especially, the disharmonic folding, in creating drilling complexities was evaluated. The results indicate that the thrusting of the Khaviz anticline over the subsurface structure of Mansurabad, along with the ductile behavior of the Gachsaran Formation, has caused significant variations in layer thickness, repetition of formations, displacement of stratigraphic horizons, and abnormal concentration of salt-bearing sequences. These conditions in some wells have led to considerable differences between the predicted and actual depths of the Asmari Formation and have caused problems such as wellbore instability, drilling fluid loss, and deviation of the drilling path. The results of this research demonstrate that a precise understanding of the tectonic and structural characteristics of the region, and their application in interpreting drilling data, is a key factor in the success of drilling operations and in reducing technical risks in the oil fields of the Zagros region.

*Corresponding Author: Mohammad Reza Zakerzadeh; E-mail: mrz223.geo@gmail.com

How to cite this article: Zakerzadeh, M. R., Eghbalpour, E., Ghanavati, M., & Samadi, Sina. (2025). The Importance of Tectonic Processes Monitoring on Oil and Gas Drilling Operations: A Case Study of the Mansurabad Oil Field. *Structural Geology and Applied Tectonics, 1*(2): 49-70. DOI: 10.30473/sgat.2026.78146.1010

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

To comprehensively evaluate the impact of tectonic structures and ongoing geomechanichal processes on drilling operation in the Mansurabad oil field, an integrated workflow combining surface and sub-surface datasets was implemented. The methodology is structured as follows:

1- Field survey and surface analysis: Detailed geological field investigations were conducted along the Khaviz anticline to evaluate its geometry, kinematics, and structural relationship with the regional Mountain Front Fault (MFF). Surface structural orientations, bedding dips, fracture networks, and fault planes were measured and mapped to establish a baseline structural model of the overthrust system.

2- Sub-surface data integration: Sub-surfacce geological and engineering data were gathered from two oil wells across the Mansurabad oil field. This dataset includes wireline petrophysical logs such as CDR-GR Log, used for precise stratigraphic correlation and identifying lithologies and formation repetation caused by thrust faulting.

3- Lithological and Petrographic Evaluation: Drilling cuttings collected at regular depth intervals during operations were analyzed macroscopically and microscopically. Thin sections from reservoir and non-reservior formations cuttings and cores were examined to determine lithofacies variations.

4- Drilling report analysis: Daily drilling reports were systematically audited and correlate specific operational hazards with geological aspects. Key drilling parameters including rate of penetration (ROP), Mud weight, fluid losses, weight on bit, and annulus pressure were analyzed chronically to pinpoint the exact tectonic horizon responsible for technical problems.

Results and Discussion

The structural and operational synthesis demonstrates that the structural evolution of the Mansurabad oil field is intensely governed by major tectonic activities. The active overthrusting of the prominent Khaviz anticline over the buried Mansurabad structure has generated severe asymmetric folding and localized fault propagation. The primary findings and their operational implications are discussed below:

Stratigraphic repetation and thickness anomalies; due to comprehensive tectonic stress, significant compressional shearing has occurred within the thick sedimentary sequence, indicating the disharmonic or incompitant folding. Sub-surface graphic well logs and stratigraphic correlation revealed major anomalies in formation thickness, particularly within the Gachsaran Formation, which acts as the regional cap rock. The ductile, incompetent salt and evaporite layers of the Gachsaran Formation have exhibited extreme tectonic thickening along the crestal zone thinning along the flanks of the structure. In some wells, this plastic mobility led to the repetition of specific evaporitic cycles, causing the actual depth of underlying target reservoir – the Asmari Formation- to deviate drastically from initial pre-drill seismic interpretation. Borehole stability and high fluid losses were strongly depened on the structural activities within two examined oil wells A and B, and caused many operational drilling promlems such as drill string stuck, complete mud losses, high well deviation, and side tracking the well.

Conclusions

The comprehensive investigation of the Mansurabad oil field underlines that sub-surface geological complexities within the Zagros Fold-Thrust Belt cannot be addressed purely through standard engineering practices. Tectonic monitoring and real-time geological correlation must be fully embedded into the operational workflow. Drilling operations in the Mansourabad oil field, due to its location within the most structurally complex segments of the Zagros Fold–Thrust Belt (Dezful Embayment), extend beyond a purely technical activity and require a risk-management approach grounded in detailed structural geological analysis. The case study of Wells “A” and “B” in the Mansurabad oil field, clearly demonstrates that tectonic uncertainties are the primary controlling factors affecting drilling safety, cost, and rate of penetration in this region. The key findings of this study, highlighting the importance of tectonic monitoring, can be summarized in three main aspects:

1. Dominance of Tectonic Mechanisms over Drilling Conditions:

The Gachsaran Formation, acting as a mobile detachment unit, plays a decisive role in drilling complexity. Tectonic processes (including the Khaviz thrust over Mansurabad and the formation of localized sub-basins) have led to abnormal migration and accumulation of evaporitic sequences. These conditions result in challenges such as stratigraphic repetition, anomalous thicknesses, unexpected pressures, salt creep, and wellbore deviation.

2. Critical Importance of Correlation in Drilling Trajectory Prediction:

In a structurally dynamic environment characterized by abrupt variations, conventional correlation methods for casing and liner points selection and reservoir targeting are insufficient. The wellsite geologist must go beyond simple stratigraphic line matching and instead anticipate subsurface layer movements and interpret facies variations. A lack of precise understanding of structural interference (such as the unintended penetration of the steep limb of the Khaviz anticline in Well "B") directly increases the risk of drill string or pipe stucking, fluid loss, well side tracking, and well flows.

3. Necessity of Integrated Monitoring for Risk Management:

Successful drilling of high-risk wells in this field depends on integrating surface data (field observations of the Mountain Front Fault—MFF) with subsurface data (cuttings analysis, petrophysical logs, and seismic interpretation). This multi-disciplinary monitoring enables real-time updates of geological models during drilling operations and supports bold yet precise decision-making in steering the drill bit.

The Mansurabad oil field study emphasizes that in the tectonically active regions of the Zagros, accurate interpretation of structural style and detachment horizons forms the cornerstone of successful drilling engineering. Without precise and continuous monitoring of tectonic influences, drilling operations will be accompanied by critical uncertainties. However, with a thorough understanding of these structural complexities, maximum hydrocarbon recovery can be achieved with minimal cost and operational risk.

نشریه زمین شناسی ساختاری و زمین ساخت کاربردی

https://sgat.journals.pnu.ac.ir

اهمیت پایش عملکرد فرآیندهای تکتونیکی در حفاری چاه‌های نفت و گاز؛ مطالعه موردی میدان نفتی منصورآباد

محمدرضا ذاکرزاده*[۱]، احسان اقبالپور[۱]، مهدی قنواتی[۱]، سینا صمدی[۲]

۱- گروه زمین شناسی، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، اهواز، ایران
۲- گروه علوم زمین، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

کلیدواژه‌ها

همخوانی،
عملیات حفاری،
تاقدیس خویز،
میدان نفتی منصورآباد،
گسل جبهه کوهستانی

چکیده

حفاری چاه‌های نفت و گاز در جنوب غرب ایران، به‌ویژه در کمربند چین‌خورده–رانده زاگرس، به دلیل پیچیدگی‌های تکتونیکی و چینه شناسی با چالش‌های متعددی همراه است. تغییرات شدید ساختاری، حضور گسل‌های رانده، سطوح جدایشی، لایه‌های تبخیری و تغییرات رخساره‌ها از مهم‌ترین عواملی هستند که می‌توانند بر ایمنی، هزینه و موفقیت عملیات حفاری تأثیر بگذارند. نقش فرآیندهای تکتونیکی در عملیات حفاری در میدان منصورآباد با استفاده از داده‌های میدانی، اطلاعات زیرسطحی چاه‌ها، خرده‌های حفاری، مقاطع نازک، نمودارهای پتروفیزیکی و گزارش‌های روزانه حفاری بررسی شده است. همچنین با بررسی عملکرد گسل جبهه کوهستانی و تحلیل هندسه ساختاری تاقدیس‌های خویز و منصورآباد، نقش ساختارهای تکتونیکی، به‌ویژه چین‌خوردگی‌های ناهماهنگ، در ایجاد پیچیدگی‌های حفاری مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که رانده شدن تاقدیس خویز بر روی ساختار زیرسطحی منصورآباد و همچنین رفتار شکل‌پذیر سازند گچساران، موجب تغییرات قابل توجهی در ضخامت لایه‌ها، تکرار سازندها، جابه‌جایی سطوح چینه‌ای و تمرکز غیرعادی توالی‌های نمک‌دار شده است. این شرایط در برخی چاه‌ها سبب اختلاف چشمگیری در عمق پیش‌بینی شده سازند آسماری و بروز مشکلاتی مانند ناپایداری دیواره چاه، هرزروی سیال حفاری و انحراف مسیر حفاری شده است. مطالعه چاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که پایش دقیق داده‌های زمین‌شناسی حین حفاری و انجام همخوانی مناسب میان سازندها، نقش بسیار مهمی در کاهش خطرات حفاری و مدیریت بهتر عملیات دارد. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که شناخت دقیق ویژگی‌های تکتونیکی و ساختاری منطقه و به‌کارگیری آنها در تفسیر داده‌های حفاری، عامل کلیدی در موفقیت عملیات حفاری و کاهش مخاطرات فنی محسوب می‌شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۳۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۱۰

*نویسنده مسئول:
محمدرضا ذاکرزاده

رایانامه:
mrz223.geo@gmail.com

ارجاع به این مقاله: ذاکرزاده، م. ر؛ اقبالپور، ا؛ قنواتی، م؛ و صمدی، س. (۱۴۰۵). اهمیت پایش عملکرد فرآیندهای تکتونیکی در حفاری چاه‌های نفت و گاز؛ مطالعه موردی میدان نفتی منصورآباد. *زمین شناسی ساختاری و زمین ساخت کاربردی*، ۱(۲): ۷۰-۴۹

شناسه دیجیتال مقاله: 10.30473/sgat.2026.78146.1010

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است.

ناشر: دانشگاه پیام نور

مقدمه

حوضه زاگرس در جنوب غرب ایران میزبان یکی از غنی‌ترین و پیچیده‌ترین مناطق حاوی نفت و گاز جهان از لحاظ زمین شناسی به شمار می‌رود. از اینرو، عملیات حفاری‌های پیشرفته و دقیق عمودی، انحرافی و افقی در این محدوده تنها یک عملکرد فنی نیست، بلکه عملیاتی دقیق و تلفیقی از مطالعات علمی، فنی و تجربی است. دقت و کارایی این مطالعات در عملیات حساس حفاری چاه‌های نفت و گاز، در محیطی با پیچیدگی‌ها و ابهامات فراوان زمین شناسی و زمین ساختی، مستقیماً می‌تواند تعیین کننده موفقیت حفاری و استخراج منابع هیدروکربنی با کمترین هزینه و خسارت بوده و منجر به حداکثر رسیدن نرخ تولید و بهینه‌سازی چرخه حیاتی تولید هیدروکربن در این منطقه گردد.

در جنوب غرب ایران درباره حفاری چاه‌های نفت و گاز از دو زاویه مهم می‌توان بحث کرد: ۱) شرایط پیچیده زمین شناسی و ۲) چالش‌های حفاری. این محدوده، به ویژه زاگرس و حاشیه خلیج فارس، از نظر زمین شناسی منطقه‌ای بسیار پیچیده و پر ابهام است. این ناحیه معمولاً شامل سازندهای رسوبی ضخیم، چین‌خوردگی‌های شدید، گسل‌های فعال، لایه‌های ستبر نمکی و در بسیاری از بخش‌ها، فشارهای تکتونیکی قابل ملاحظه است (نظیر میادین کوپال، مارون، زیلایی، لالی، پارسی، منصورآباد و .....). همین ویژگی‌ها باعث می‌شود حفاری در این مناطق هم از نظر فنی حساس باشد و هم از جنبه هزینه و ایمنی. از خصوصیات مهم زمین شناسی و عملیات حفاری در حوضه زاگرس می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) چالش‌های زمین شناسی:

چین‌خوردگی و گسل خوردگی‌های فراوان، بویژه در کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس.

توالی‌های عظیم و با ستبرای زیاد رسوبات که عمدتاً شامل رسوبات آهکی، مارن، شیل، ماسه سنگ و تبخیری‌ها بویژه نمک هستند.

وجود سازندهای تبخیری بخصوص سازند گچساران که تشکیل دهنده سطوح جدایش مهمی در منطقه می‌باشند.

رخنمون‌ها و توالی‌های زیرسطحی پیچیده و به‌هم ریخته به دلیل تکتونیک فعال و ناهمگونی نوع سنگ شناسی.

وجود فشارهای منفذی بالا تا بسیار بالای درون سازندی به دلیل فرآیندهای تکتونیکی تاثیرگذار (بویژه در سازند گچساران).

۲) چالش‌های اصلی حفاری نیز شامل موارد ذیل هستند:

ناپایداری دیواره چاه مخصوصاً در سازندهای سست و ناپایدار (سازندهایی مانند آغاجاری، پابده، گورپی و کژدمی و بخش ماسه سنگی اهواز که حاوی لایه‌های شیلی و مارنی سست و همچنین ماسه‌های بسیار سست بدون سیمان هستند).

هرزوری‌های شدید و کامل[1]در لایه‌های آهکی نازک و شکننده (بسیاری از لایه‌های کلیدی پوش سنگ)، در شکستگی‌ها، درزه‌ها و کارست‌ها (سازندهای آهکی و دولومیتی نظیر میشان، آسماری و جهرم).

گیر کردن رشته لوله‌های حفاری و انحراف مسیر حفاری به دلیل ناهمگنی سنگ شناسی لایه‌های حفاری شده و تنش‌های فعال موجود در منطقه.

فشارهای پیش‌بینی نشده، هم فشارهای بالا (بویژه در بخش ۴ سازند گچساران) و هم نواحی کم‌فشار (در سازند میشان، بخش ۷ سازند گچساران و قسمت‌هایی از سازند آسماری). این فشارها عمدتاً توسط فرآیندهای تکتونیکی ایجاد می‌شوند.

وجود نمک و تبخیری‌ها که می‌توانند باعث خزش[2]یا تغییر شکل دیواره چاه و یا مچالگی لوله‌های جداری[3]شوند (معروف-ترین مورد در دنیای حفاری در بخش سازند گچساران میدان نفتی مارون رخ می‌دهد).

آلودگی و کم‌بازده شدن سیال حفاری و دشواری کنترل پارامترهای آن بخصوص در فشارها و دماهای بالا و شوری زیاد.

[1]Complete Loss
[2]Creep
[3]Casing Collapse

پیچیدگی در تفسیر داده‌های لرزه‌نگاری و زیرسطحی به دلیل به‌هم ریختگی و آمیختگی ساختارها و سازندهای موجود، بویژه در میادینی که در مجاورت راندگی‌ها و گسل‌های بزرگ قرار گرفته‌اند (نظیر میادین نفتی نرگسی، منصورآباد، زیلایی، پارسی، بالارود و ....).

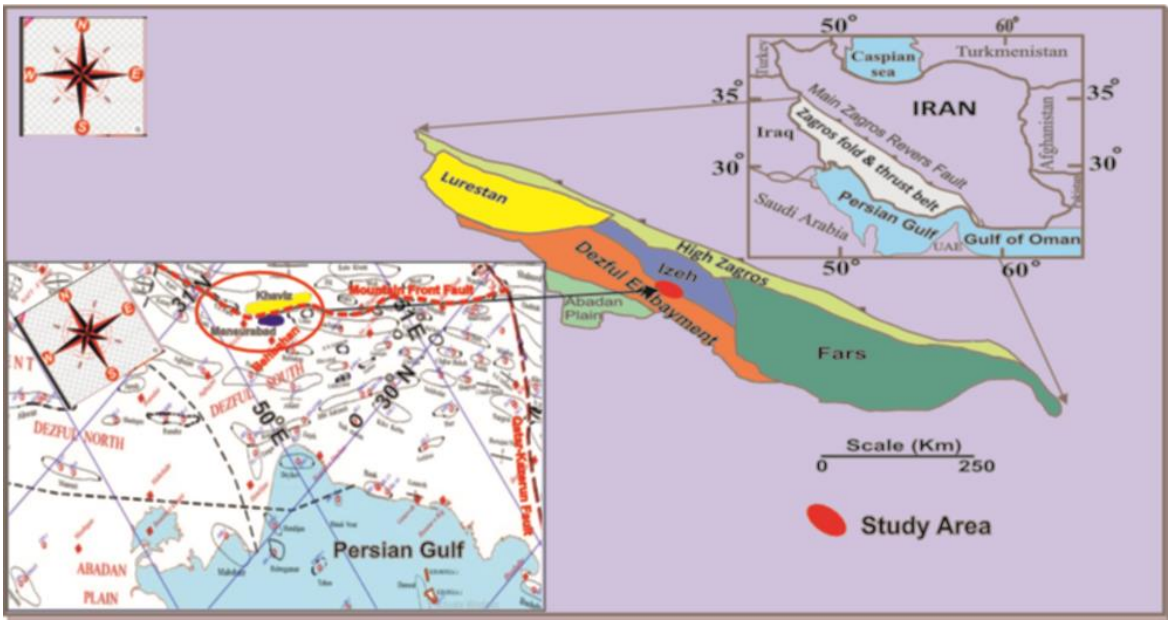
چالش‌های حفاری چاه‌های نفت در جنوب غرب ایران بر خلاف مناطقی مانند سپر عربی که محیط تکتونیکی بسیار پایدار و قدیمی[1]و ساختار ساده و کم تغییر شامل گسل‌های نرمال و چین‌خوردگی‌های بسیار ملایم دارد، و یا نواحی خلیج مکزیک و دریای شمال که متاثر از مجموع عوامل زمین شناسی، اقلیمی و عمق دریاست، کاملاً مرتبط با ابهامات و تغییرات زمین شناسی ناشی از فرآیندهای تکتونیکی و ساختمانی و همچنین اختلافات چینه شناسی است، به طوریکه ابهامات و تنش‌های تکتونیکی و همچنین تغییرات چینه‌ای، عواملی بسیار تعیین کننده در اکتشاف نواحی هیدروکربن‌دار، طراحی عملیات حفاری چاه‌ها و همچنین مدیریت چالش‌ها و ریسک‌های حفاری می‌باشند. زمین شناسی زاگرس پر از ابهامات و آشفتگی‌های متنوع و متعدد است که کار همخوانی را در حفاری چاه‌های نفت و گاز یک میدان دشوار و البته هیجان انگیز می‌نماید. عمده این چالش‌ها را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد: تغییرات شدید ضخامت لایه‌ها و سازندها، تغییرات رخسارها و تکتونیک فعال.

هدف این پژوهش، بیان اهمیت اثرگذاری فعالیت‌های تکتونیکی و ساختمانی در حفاری چاه‌های نفت و گاز در جنوب غرب ایران و ضرورت دقت بسیار زیاد و توجه ویژه به تاثیرگذاری این عوامل در به سلامت حفاری شدن و تکمیل چاه‌ها و به طور ویژه در میدان نفتی منصورآباد است. در این راستا در دو بخش و در ابتدا به بررسی عملکرد عوامل تکتونیکی و ساختمانی در منطقه مورد مطالعه و سپس بررسی چالش‌های ایجاد شده در دو چاه از میدان نفتی منصورآباد بر اثر فعالیت‌های تکتونیکی خواهیم پرداخت.

روش‌شناسی پژوهش

برای دستیابی به اهداف این پژوهش و تحلیل هم‌زمان فاکتورهای تکتونیکی، چینه شناسی و حفاری، بررسی‌های چند جانبه شامل مطالعه پژوهش‌های پیشین، برداشت‌ها و عکسبرداری‌های صحرایی، مطالعات میکروسکوپی و فسیل شناسی (به منظور شناسایی و تفکیک سازندهای حفاری شده) و تحلیل‌های پتروفیزیکی انجام گردید. در وهله اول، مطالعات و برداشت‌های صحرایی برای شناسایی و بررسی عملکرد گسله جبهه کوهستانی (MFF) و مشاهده و عکسبرداری از اثرات سطحی این گسل بر روی سازندهای رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه در تاقدیس خویز انجام گردید. پس از آن، مطالعات زیر سطحی با استفاده از داده‌ها و اطلاعات زیرسطحی دو چاه نفت حفاری شده در میدان نفتی منصورآباد صورت پذیرفت. این داده‌ها شامل بررسی خرده‌های حفاری، نمودارهای ترسیمی سرچاهی[2] ۹۲ مقطع نازک تهیه شده از خرده‌های حفاری، تفسیر نمودارهای پتروفیزیکی پرتوگاما-انحرافی[3] و بررسی گزارش‌های روزانه عملیات حفاری دو حلقه چاه A و B بوده است. محدوده مورد مطالعه در نواحی مرکزی شمال فروافتادگی دزفول و هم‌مرز با زون ایذه واقع شده است و شامل تاقدیس سطحی خویز و ساختار زیرسطحی منصورآباد است (شکل ۱). محدوده خویز (محدوده‌ای که تاقدیس منصورآباد هم در آن واقع شده)، در امتداد خمش جبهه کوهستانی و در انتهای بخش جنوب شرقی فروافتادگی دزفول واقع شده است. برداشت‌های صحرایی و تجزیه و تحلیل‌های ساختمانی هندسی نشانگر شیب ۲۷ درجه این ساختار به سمت شمال شرق به زیر تاقدیس سیاه (شمال دهدشت) است که در قسمت شمال شرقی محدوده خویز واقع شده و به صورت تراست عمل کرده است (Verrall & Christophy, 1978). امتداد شمالی این تراست یک سطح جدایش شامل رسوبات پالئوزوییک زیرین (حدود ۷ کیلومتر زیر سازند آسماری) تا سازند دشتک متعلق به تریاس است که در زیر تاقدیس‌های بهبهان و گچساران – لیشتر قرار می‌گیرد (Chardahcherik, 2012).

[1]Craton
[2]Graphic Well logs
[3]CDR-GR Logs



شکل (۱): نقشه محدوده مورد مطالعه در پهنه‌بندی ساختاری حوضه زاگرس.

Fig (1): The location map of the study area within the structural classification of the Zagros Basin.

اختلاف ضخامت سازندهای گروه فارس نشان‌دهنده جنبش و حرکت حدوداً ۲/۵ کیلومتری محدوده خویز بر روی یک سطح جدایش در زیر ساختار بهبهان و همچنین تکمیل شکل‌گیری تاقدیس منصورآباد است. این حرکت ۲/۵ کیلومتری سبب معکوس شدگی شیب در یال جنوبی ساختار خویز (در مجاورت یال شمالی تاقدیس منصورآباد) شده است. از مهمترین پدیده‌های ساختمانی به سمت جنوب غرب منطقه، لغزش ثقلی رسوبات گروه فارس بر روی یک سطح جدایش و در مجاورت قاعده سازند گچساران است. این پدیده منجر به ایجاد تعداد زیادی ساختارهای قطعه ای از گسل‌های نرمال چرخیده، همچنین شکل‌گیری یک ساختار ویژه و عجیب نامتقارن به سمت جنوب و بدون ریشه و تراستی (تاقدیس رامچار) بر روی یال جنوبی ساختار روئین خود یا تاقدیس گچساران شده است. در محدوده خویز، تاقدیس منصورآباد عارضه‌ای ساختمانی است در میان تاقدیس‌های خویز و بهبهان که برخواسته از یک سطح جدایش در سازند دشتک می‌باشد. این تاقدیس پس از شکل‌گیری ساختارهای بهبهان و گچساران – لیشتر ایجاد شده است. میدان منصورآباد یک تاقدیس نسبتاً متقارن است که شیب یال شمالی آن اندکی بیشتر از یال جنوبی است (Verrall & Christophy, 1978). طول این میدان در حدود ۲۱ کیلومتر و عرض آن متغیر و در حدود ۴ الی۶ کیلومتر است. این میدان در حدود ۱۰ کیلومتری شمال شرق بهبهان واقع شده است. میدان نفتی منصورآباد در شمالی ترین نقطه دزفول جنوبی، در نزدیکی مرز این ناحیه با زون ایذه و در فاصله ۱۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان بهبهان قرار دارد. این میدان توسط یک راندگی بزرگ از تاقدیس خویز که در مرز شمالی آن قرار دارد، جدا می‌شود. طول میدان نفتی منصورآباد بر اساس آخرین خط تراز بسته[1]بر روی افق آسماری حدود ۲۱ کیلومتر و عرض آن حدود ۴ تا ۶ کیلومتر برآورد شده است. این میدان در ناحیه زاگرس چین‌خورده- رانده شده و در نواحی مرکزی شمال ناحیه فروافتادگی دزفول و قسمت دزفول جنوبی قرار گرفته است.

تحلیل چین‌خوردگی و طبقه‌بندی چین‌های مرتبط با گسل

منطقه مورد مطالعه که در بخش شمالی فروافتادگی دزفول و در مجاورت زون ایذه قرار گرفته، تحت تأثیر کوتاه‌شدگی ناشی از همگرایی صفحات عربستان و ایران مرکزی، دارای ساختارهای چین‌خورده-رانده متعددی است. بر اساس هندسه محوری و رفتار لایه‌ها، چین‌های منطقه به دو دسته چین‌های باز با محور تقریباً افقی و چین‌های بسته نامتقارن تفکیک می‌شوند.

[1]Closure

چین‌های مرتبط با گسل عمدتاً از نوع چین‌های انتهایی یا چین ناشی از پیشروی گسل[1] و چین‌های جدایشی[2] هستند که در فرآیند رشد گسل‌خوردگی عمقی با خمش لایه‌های بالایی همراه شده و محور چین‌ها موازی با راستای عمومی گسل‌های راندگی است (Mitra, 2002). بررسی هندسه تاقدیس‌های خویز و منصورآباد، شواهد صحرایی، داده‌های لرزه‌ای و اطلاعات چاه‌ها نشان می‌دهند که تکامل این ساختارها ارتباط مستقیمی با عملکردگسل جبهه کوهستان MFF، گسل بهبهان و سطوح جدایشی عمیق و میانی دارد. ساختمان خویز عمدتاً ویژگی‌های یک چین ناشی از پیشروی گسل را نشان می‌دهد؛ زیرا رشد تدریجی چین همزمان با پیشروی گسل رانده موجب افزایش شیب یال‌ها، نامتقارن شدن ساختمان و جابجایی قابل توجه لایه‌ها شده است. در مقابل ساختمان منصورآباد علاوه بر تأثیر راندگی‌ها، به علت وجود افق جدایشی سازند گچساران و سازند دشتک، ویژگی‌های یک چین جدایشی را نیز داراست، به طوری که جدایش تغییر شکل میان توالی‌های زیرین و بالایی باعث اختلاف هندسه چین‌ها در بخش‌های مختلف توالی چینه شناسی شده است. نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که ساختارهای منطقه محصول عملکرد همزمان راندگی‌ها، سطوح جدایش و جریان شکل‌پذیر واحدهای تبخیری سازند گچساران هستند و نمی‌توان آنها را صرفاً به عنوان چین‌های ساده ناشی از فشار طبقه‌بندی نمود. وجود ضخیم شدگی موضعی سازند گچساران، رانده شدن بخش‌هایی از آن بر روی ناودیس بهبهان، تغییرات شدید شیب لایه‌ها و تکرار توالی‌های چینه‌ای در چاه‌های مورد مطالعه، نشانگر نقش مهم چین‌های مرتبط با گسل در تکامل ساختاری منطقه است (Sherkati *et al*., 2004).

چین‌خوردگی ناهماهنگ در فروافتادگی دزفول و زون ایذه

یکی از مهم‌ترین خصوصیات ساختاری کمربند چین‌خورده زاگرس، به‌ویژه در فروافتادگی دزفول و زون ایذه، ایجاد چین‌خوردگی ناهماهنگ[3] است. این پدیده زمانی ایجاد می‌شود که لایه‌های مختلف ستون چینه شناسی به علت تفاوت در رفتار مکانیکی و رئولوژیکی، به صورت مستقل از یکدیگر تغییر شکل دهند. علت اصلی ایجاد چین‌خوردگی‌های ناهماهنگ، عملکرد گسل‌های راندگی عمیق پی‌سنگی در زون ایذه و حرکات لایه‌های نمک‌دار در فروافتادگی دزفول است. به عبارت دیگر لایه‌های انعطاف‌پذیر نمک‌دار جریان یافته و سبب جدایش مکانیکی بین لایه‌ها و همچنین تغییر زاویه محلی چین‌ها نسبت به چین اصلی منطقه و نیز موجب تشکیل چین‌های فرعی با روندهای مایل نسبت به روند عمومی زاگرس می‌شوند. در منطقه مورد مطالعه، عامل ایجاد چین‌خوردگی ناهماهنگ، وجود سازند گچساران به عنوان یک افق جدایشی است. بخش‌های نمک‌دار این سازند در هنگام اعمال تنش‌های تراکمی، رفتار شکل‌پذیر از خود نشان داده و با جریان یافتن به سمت نواحی کم تنش، موجب جدایش تغییر شکل میان توالی‌های زیرین (سازند آسماری و سازندهای قدیمی‌تر) و واحدهای بالایی گروه فارس شده‌اند. در نتیجه، سبک چین‌خوردگی در بالا و پایین سازند گچساران کاملاً متفاوت بوده و اختلاف قابل توجهی در دامنه، طول موج، شیب یال‌ها و هندسه چین‌ها ایجاد شده است. همچنین نزدیکی منطقه به زون ایذه و افزایش شدت کوتاه‌شدگی، موجب تشدید عملکرد گسل‌های رانده و افزایش جریان جانبی نمک شده است. این فرآیند در نهایت سبب ضخیم‌شدگی سازند گچساران، تشکیل ساختارهای نمکی، ایجاد چین‌های فرعی متعدد و توسعه چین‌خوردگی ناهماهنگ در محدوده خویز و منصورآباد شده‌اند (Sherkati *et al*., 2006).

نتایج

تنوع سبک یا استایل ساختاری و شکل چین‌خوردگی‌ها، از ویژگی‌های تاقدیس‌ها در زاگرس چین‌خورده-رانده شده است که در ارتباط نزدیک با تغییرات رخساره رسوبی و اختلاف در واکنش مکانیکی آنها و به دگرشکلی است. این تغییرات رسوبی و سبک ساختاری، زمین شناسان نفتی را برآن داشت تا کمربند چین‌خورده زاگرس را به واحدهای کوچک‌تری در راستای عمود بر راستای

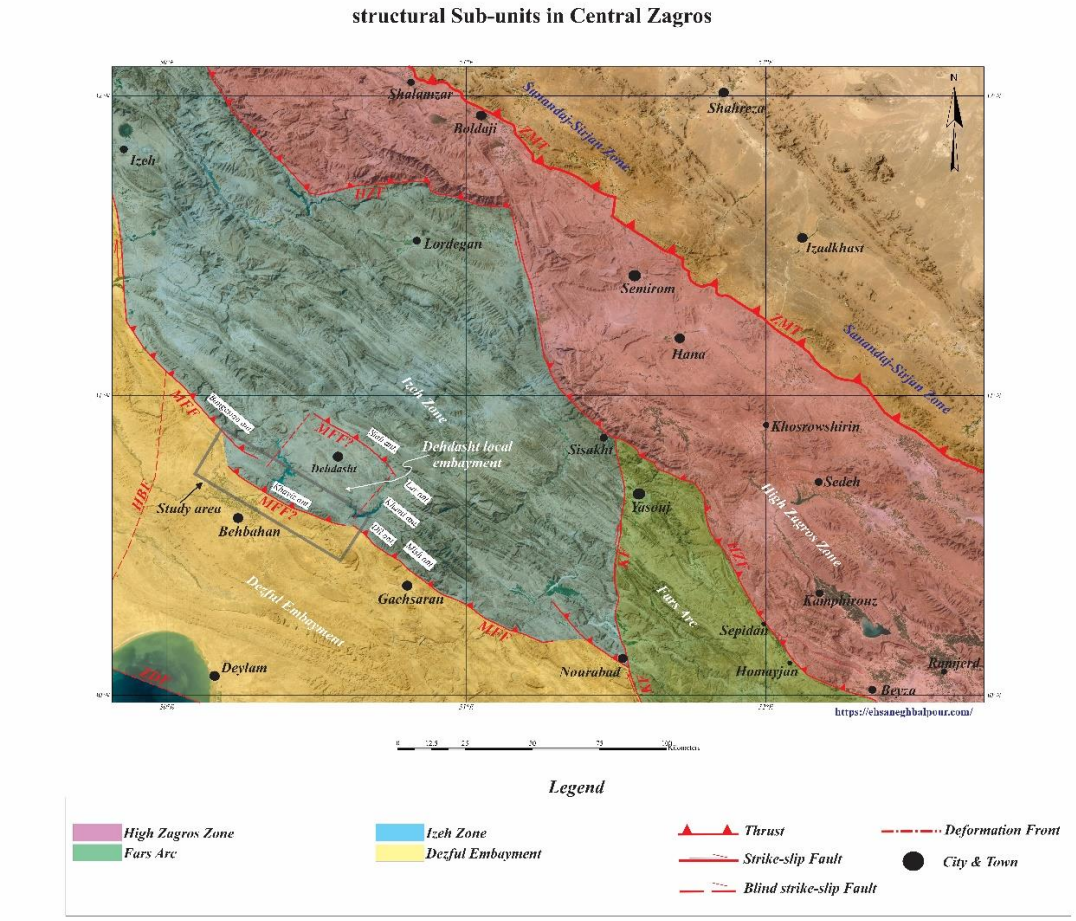
[1] Fault-Propagation Fold
[2] Detachment Fold
[3] Disharmonic or Incompatible Folding

کمربند مذکور تقسیم‌بندی نمایند (Motiei, 1993). این تقسیم‌بندی از شمال غرب به جنوب شرق شامل نواحی لرستان در شمال غربی، پهنه ایذه و فروافتادگی دزفول در مرکز و ناحیه فارس در جنوب شرقی می‌باشد. پهنه‌های فوق همگی به وسیله پهنه‌های گسلی و راندگی شمالی-جنوبی و شرقی-غربی مهم و عظیم از هم جدا می‌شوند (Motiei, 1993). منطقه مورد مطالعه که دربردارنده دو ساختمان تاقدیسی خویز و منصورآباد است، از دیدگاه زمین شناسی ساختاری در کمربند چین‌خورده زاگرس واقع گردیده است. شکل ۲ قسمتی از بخش مرکزی کمربند چین‌خورده- رانده زاگرس را نشان می‌دهد. در این بخش همچون سایر بخش ها (شمال غربی و جنوب شرقی)، کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس از شمال شرق به جنوب شرق (عمود بر امتداد عمومی زاگرس) به زیرواحدهای زاگرس مرتفع، زاگرس چین‌خورده با ارتفاع بیشتر و زاگرس چین‌خورده با ارتفاع کمتر (Alavi, 2007) تقسیم می‌گردد. ساختار خویز در امتداد گسل جبهه کوهستانی (MFF) و در شمال شرق و در فروافتادگی دزفول (دزفول جنوبی) قرار گرفته است. این تاقدیس در سطح به صورت یک پوشش از سنگ آهک‌های سازند آسماری با طول ۴۳ کیلومتر و عرض ۵ کیلومترنمایان شده است که در شش نقطه با برش خوردگی هایی، سازندهای پابده و گورپی نیز رخنمون یافته‌اند. این پوشش به سمت جنوب غرب کمی محدب و نامتقارن است به طوری که در شیب یال جنوبی بین ۴۶ تا ۵۰ درجه و در یال شمالی ۳۶ تا ۴۰ درجه می‌باشد (Verrall & Christophy, 1978). دماغه‌ها یا پلانژها در هر دو سمت تاقدیس و در زیر ساند گچساران این شیب در حدود ۱۸ درجه است. بر پایه داده‌های به دست آمده از برداشت‌های لرزه نگاری دو بعدی، تاقدیس منصورآباد توسط دو گسل بزرگ، یکی در امتداد یال شمال شرقی و دیگری در امتداد یال جنوب غربی محصور شده است. بر اساس شواهد سطحی، گسل واقع در یال شمال شرقی یک گسل رورانده است که سبب رانده شدن یال جنوبی غربی تاقدیس/میدان خویز بر روی یال شمال شرقی میدان منصورآباد و سبب قرار گرفتن سازند گچساران میدان منصورآباد در مقابل سازند آسماری تاقدیس/ میدان خویز و رخنمون یافتن سازند آسماری در سطح زمین در میدان خویز شده است. شیب این گسل راندگی در حدود ۲۷ درجه محاسبه شده و جهت آن نیز با توجه به رانده شدن تاقدیس خویز بر روی تاقدیس منصورآباد به سمت شمال شرق است (Verrall & Christophy, 1978). با توجه به اینکه در این نوشتار سازند گچساران اهمیت فراوانی دارد، توضیح مختصری در مورد چینه شناسی این سازند ارائه می‌گردد. سازند گچساران با سن میوسن زیرین، مهم‌ترین واحد تبخیری کمربند چین‌خورده زاگرس محسوب می‌شود و نقش اساسی در تکامل ساختاری، تشکیل افق‌های جدایشی و ایجاد چین‌خوردگی‌های ناهماهنگ دارد.این سازند عمدتاً از لایه‌های متناوب تبخیری (انیدریت و نمک) و آواری (مارن‌های خاکستری و قرمز) و مقادیر اندکی آهک و شیل تشکیل شده است. در فروافتادگی دزفول این سازند به هفت بخش تقسیم می‌شود که از لحاظ عملیات حفاری چاه‌های نفت و گاز، بسیار حائز اهمیت هستند. این بخش‌ها از بالا به پایین شامل بخش ۷، متشکل از تناوب انیدریت و مارن خاکستری و مقادبری آهک، بخش ۶، شامل تجمع مارن‌های قرمز در تناوب با انیدریت و مارن‌های خاکستری، بخش ۵، متشکل از انیدریت و مارن‌های خاکستری روشن و مقادیر کمی نمک، بخش ۴، شامل لایه‌های بسیار ضخیم نمک در تناوب با انیدریت و مارن خاکستری، بخش ۳، متشکل از تناوب انیدریت و مارن‌های خاکستری تیره به همراه مقادیری نمک و آهک، بخش ۲، شامل انیدریت، نمک و مارن خاکستری و بخش یک یا پوش سنگ که شامل انیدریت و مارن خاکستری و حاوی لایه‌های کلیدی شیلی و آهکی است.

نگاهی به هندسه ساختاری در بخش شمال غربی ساختمان‌های تاقدیسی خویز و منصورآباد

زیرواحد زاگرس مرتفع که متشکل از ساختارهای چین‌خورده و راندگی‌های متعدد است، توسط دو گسل اصلی زاگرس (زمین درز زاگرس) که مرز زاگرس و زون سنندج-سیرجان می‌باشد و همچنین گسل پی‌سنگی زاگرس مرتفع، احاطه گردیده است. تراز ساختاری پی‌سنگ در زیر زاگرس مرتفع نسبت به پی‌سنگ در زیر کمربند چین‌خورده، در ارتفاع بیشتری قرار دارد. گسل زاگرس مرتفع، مسئول اصلی پیدایش این واقعیت ساختاری است. از گسل زاگرس مرتفع تا جبهه دگرشکلی واقع در منتهی‌الیه جنوب غربی کمربند زاگرس را می‌توان کمربند چین‌خورده در نظر گرفت. این کمربند توسط یک گسل پی‌سنگی بسیار مهم

که در اغلب جاها در زیر زمین مدفون و پنهان است، به دو بخش مرتفع‌تر و کم ارتفاع‌تر تفکیک می‌گردد (Alavi, 2007). پی‌سنگ بخش مرتفع‌تر در تراز ساختاری بالاتری نسبت به بخش کم ارتفاع‌تر قرار دارد و به همین دلیل واحدهای رسوبی با قدمت کرتاسه پایینی هم در هسته برخی ساختمان‌های تاقدیسی در این پهنه فرصت رخنمون شدن یافته‌اند. این درحالی است که در بخش کم ارتفاع‌تر واقع در حاشیه جنوب غربی کمربند، ساختمان‌های تاقدیسی و راندگی‌های مرتبط با آنها در زیر نهشته‌های میوسن-پلیوسن (گروه فارس) مدفون اند و در اغلب جاها برونزدی در سطح زمین ندارند. گسل پی‌سنگی یاد شده به نام گسل جبهه کوهستان[1]خوانده می‌شود و نظیر گسل‌های اصلی دیگر زاگرس دارای امتداد عمومی شمال غربی-جنوب شرقی است و متشکل از قطعات متعدد مجزا می‌باشد. در واقع این گسل نقش اصلی در ایجاد اختلاف آشکار در تراز ساختاری دو بخش مرتفع‌تر و کم ارتفاع‌تر کمربند چین‌خورده را بر عهده دارد. در طول امتداد زاگرس، کمربند چین‌خورده مرتفع‌تر از شمال غرب به جنوب شرق به زیرواحدهایی تفکیک می‌شود. مبنای این تقسیم‌بندی یک سری گسل‌های عرضی با مؤلفه غالب امتداد لغز می‌باشند (Sepehr & Cosgrove, 2004).



شکل (۲): نقشه ساختاری قسمتی از زاگرس مرکزی و پهنه بندی ساختاری آن. زیرواحد (زیر پهنه) ها و گسل‌های اصلی تفکیک کننده آنها در تصویر نشان داده شده‌اند. ZDF: جبهه دگرشکلی زاگرس، HBF: گسل هندیجان-بهرگانسر، MFF: گسل جبهه کوهستان، KF: گسل کازرون، HZF: گسل زاگرس مرتفع و ZMT: تراست اصلی زاگرس. برای توجیه جغرافیایی به موقعیت شهرها دقت شود.

Fig. (2): Structural map of the Central Zagros and its structural classification. Sub-zones and seperating faults are shown. ZDF: Zagros Deformation Fault, HBF: Hendijan-Bahregansar Fault, MFF: Mountain Front Fault, KF: Kazeroun Fault, HZF: High Zagros Fault, ZMT: Zagros Main Thrust. Refer to the location of cities for geological alignment.

[1]Mountain Front Fault

گسل کازرون یکی از آن گسل‌ها است که کمربند چین‌خورده مرتفع‌تر زاگرس را به دو زیرواحد زون ایذه و زون فارس یا کمان فارس، تفکیک می‌کند. کمربند چین‌خورده کم ارتفاع‌تر در جنوب غرب گسل MFF، در طول امتداد زاگرس، دارای پهناهای متغییری است. در جنوب غرب زون ایذه (زاگرس مرکزی) پهنای بسیار زیاد (زون یا فروافتادگی دزفول) و در جنوب غرب کمان فارس (زاگرس جنوب شرقی) پهنای خیلی کم دارد. یک گسل پی‌سنگی عرضی از نوع امتداد لغز (هندیجان-بهرگانسر) در فروافتادگی دزفول، به عنوان مرز ساختاری دو زیرواحد دزفول شمالی و جنوبی در نظر گرفته می‌شود. منطقه مورد مطالعه در شمال، شمال شرق و شرق شهر بهبهانِ استان خوزستان، با یک کادر مستطیلی شکل بر روی نقشه شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که پیشتر بیان گردید، گسل MFF از قطعاتی مجزا تشکیل یافته است. در میان مؤلفین و پژوهشگران زمین شناسی ساختاری زاگرس، در تعریف این مطلب که دقیقاً کدام قطعات به عنوان قطعات گسل MFF در شمال و شمال شرق بهبهان در نظر گرفته می‌شوند، اختلاف نظر وجود دارد.

برخی قطعه تراستی زیر تاقدیس خویز را به عنوان یکی از قطعات MFF در نظر می‌گیرند (Sherkati *et al*., 2006) که در این صورت قطعه مذکور مرز دو زون ایذه و دزفول تلقی می‌گردد و پهنه کوچک واقع در شمال شرق تاقدیس خویز (پهنه پشت خویز)، به عنوان یک فروافتادگی محلی در زون ایذه به حساب می‌آید که به دلیل واقع شدن شهر دهدشتِ کهگیلویه در آن به "فروافتادگی محلی دهدشت" معروف است. اما نظر دیگری هم در مورد مرز ایذه-دزفول در این منطقه وجود دارد (Najafi & Lajmorak, 2020): به‌اینصورت که قطعه تراستی زیر تاقدیس کوه سیاه واقع در شمال شرق شهر دهدشت به عنوان یکی از قطعات گسل MFF در نظر گرفته می‌شود که به‌این ترتیب فروافتادگی محلی دهدشت و تاقدیس خویز جزء فروافتادگی دزفول به حساب می‌آید. به‌این صورت، در شمال غرب فروافتادگی محلی دهدشت، قطعه گسل MFF در زیر تاقدیس بنگستان، ناگهان یک پرش قابل توجه به سمت شمال شرق (زیر تاقدیس سیاه) و پس از آن به سوی جنوب شرق، دوباره یک پرش قابل توجه و ناگهانی به جنوب غرب یعنی به زیر تاقدیس دیل و میش نشان می‌دهد (شکل ۳). دلیل چنین پرش‌هایی را می‌توان به دلیل وجود دو گسل عرضی امتدادلغز پنهان در دو سوی شمال غرب و جنوب شرق فروافتادگی محلی دهدشت در نظر گرفت (Heydarzadeh *et al*., 2021). در این نوشته از میان این دو دیدگاه، دیدگاه اول لحاظ گردیده است که مطابق آن تراست یا راندگی واقع در زیر پهلوی جنوب غربی تاقدیس خویز که سبب رانده شدن این تاقدیس بر روی تاقدیس منصورآباد گردیده، به عنوان قطعه‌ای از گسل MFF و به عبارتی دیگر مرز میان دو زون ایذه و دزفول در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است.

بارزترین عارضه طبیعی در محدوده مورد مطالعه، کوه خویز است که از نگاه زمین شناسی یک تاقدیس باز با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشد که محور آن به دو سوی شمال غرب و جنوب شرق پلانژ دارد. بدنه سطحی این تاقدیس عمدتاً از سنگ‌های کربناته با سن الیگوسن بالایی-میوسن زیرین (سازند آسماری) تشکیل یافته است اما در جاهایی، پنجره‌های فرسایشی سبب رخنمون شدن شیل و مارن‌های کرتاسه بالایی-الیگوسن (سازند های گورپی-پابده) شده‌اند. یک قطعه گسل در زیر وجه جنوبی تاقدیس خویز وجود دارد که موجودیت آن با شواهد مختلف به اثبات رسیده است. این گسل از نوع راندگی (تراستی) است و اثر سطحی ندارد. از افق آسماری به پایین را بریده و در لایه شکل‌پذیر و متحرک گچساران میرا گردیده است. این گسل سبب رانده شدن ساختمان خویز بر روی ساختمان زیرسطحی منصورآباد واقع در جنوب غرب خویز گشته است. مطابق مطلب بیان شده در بالا، در این نوشته‌این قطعه به عنوان بخشی از MFF در نظر گرفته شده است. بنابراین ساختمان خویز به زون ایذه و ساختمان منصورآباد به زون دزفول (فروافتادگی دزفول) تعلق دارد. خط‌چین منحنی بسته در شکل ۳ محدوده تقریبی سرسازند آسماری در تراز ۳۰۰۰ متر زیر سطح دریا را نشان می‌دهد. این منحنی به نوعی تداعی کننده حدود ساختمان تاقدیسی زیرسطحیِ منصورآباد می‌باشد. تنها لایه‌ای از این ساختمان تاقدیسی که در سطح زمین رخنمون گشته، لایه سازند گچساران است و لایه آسماری و لایه‌های زیرین آن در زیر زمین مدفون‌اند. یک گسل راندگی

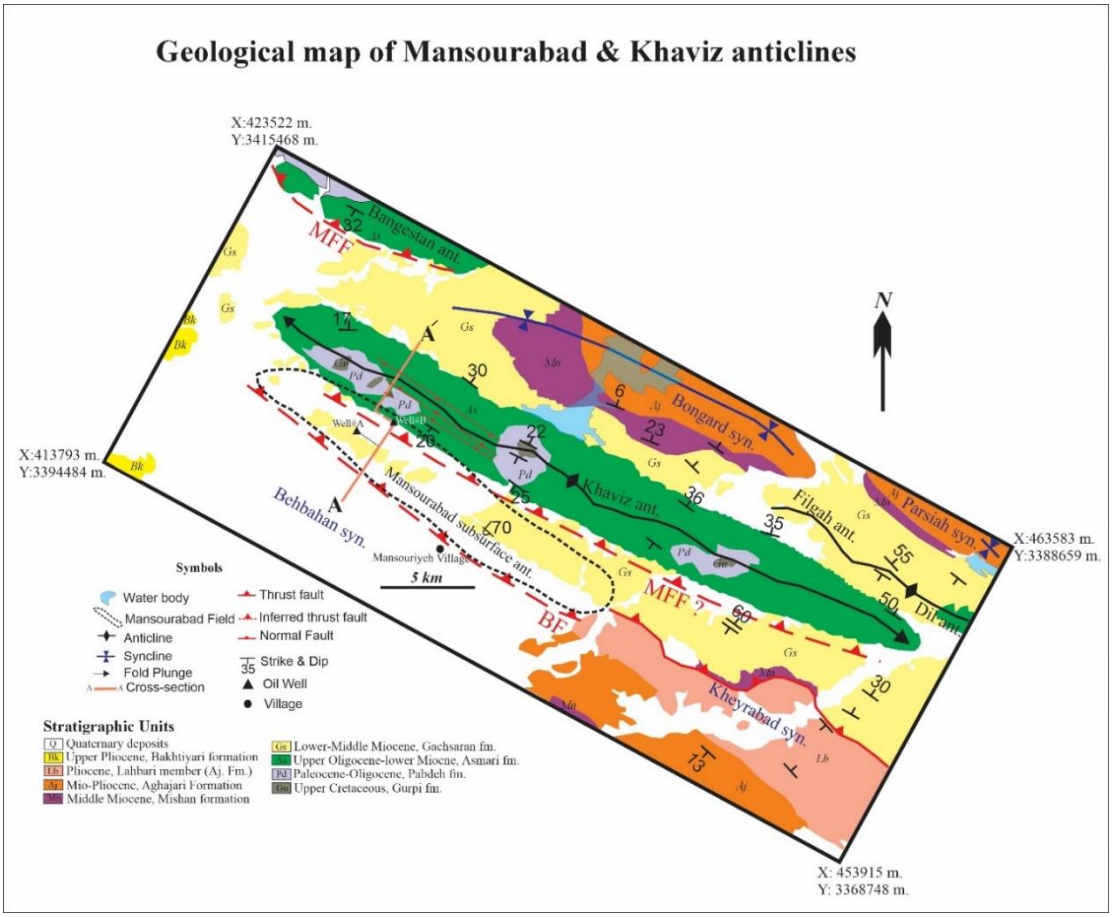
(راندگی بهبهان) یال جنوب غربی این تاقدیس را در افق آسماری به پایین بریده و رانده شدن این ساختمان بر روی ناودیس عمیق واقع در جنوب غرب آن را سبب گردیده است (Afroogh *et al*., 2024). تنها لایه‌ای از ساختمان منصورآباد که در محدوده‌هایی در سطح زمین رخنمون گردیده است، سازند گچساران می‌باشد که به دلیل خصوصیت شکل‌پذیر و متحرک، چین‌خوردگی‌های فرعی و کوچک بی‌شماری را در خود نشان می‌دهد. سازند گچساران در بالای پهلوی جنوب غربی ساختمان منصورآباد، بر روی ناودیسی (ناودیس بهبهان) متشکل از سازندهای گروه فارس (بختیاری، آغاجاری و میشان) رانده (تراست) شده است. این راندگی در محدوده میدان منصورآباد رخنمون سطحی ندارد و توسط آبرفت عهدحاضر پوشیده شده، اما به سمت جنوب شرق یعنی در بالای انتهای شمال غربی میدان گچساران (لیشتر) دارای برونزد بسیار واضح در سطح زمین می‌باشد (رانده شدن سازند گچساران چین‌خورده بر روی ناودیس خیرآباد). در وجه شمال شرقی تاقدیس خویز، در قلمرو شهرستان دهدشت، لایه‌های آسماری و پایین‌تر از آن نظیر زون دزفول، دچار یک افت تراز ساختاری کاملاً واضح شده‌اند و فروافتادگی محلی دهدشت را می‌سازند. در این محدوده فروافتاده، لایه آسماری و لایه‌های پایین‌تر از آن در عمق، چین‌خورده و توسط سازندهای گروه فارس پوشیده و مدفون هستند. آنچه که در سطح زمین قابل مشاهده است، سازندهای گروه فارس می‌باشند که به صورت تاقدیسی و ناودیسی چین‌خورده‌اند. در ناودیس‌ها مانند بُنگرد و پرسیاه گروه فارس دارای ضخامت قابل توجهی است (موجود بودن سازند میشان و آغاجاری)، اما در محل تاقدیس‌ها تنها سازند گچساران رخنمون سطحی دارد (مانند تاقدیس فیلگاه).

در طول دو ساختمان تاقدیسی خویز و منصورآباد، تغییراتی از نظر هندسه ساختاری مشاهده می‌گردد که در اینجا به آن پرداخته نمی‌شود. یک خط برش (خط AA′) در بخش شمال غربی تاقدیس‌های منصورآباد و خویز تعیین شده تا در امتداد آن یک نیمرخ ساختاری ترسیم گردد. دلیل انتخاب این محل برای تهیه نیمرخ، وجود چاه‌های نفت A و B در امتداد و جوار این خط برش می‌باشد (شکل۳). این چاه‌ها تا لایه آسماری در ساختمان منصورآباد نفوذ کرده‌اند و نمودار زمین شناسی مربوط به آنها اطلاعات ارزشمندی را در ارتباط با ساختار خویز و منصورآباد دربر دارد. خط برش به‌این دلیل به صورت پلکانی تعیین شده (شکل۳) تا هم از داده چاه‌های A و B بتوان استفاده کرد و هم با عبور دادن آن از بخشی از تاقدیس خویز که فرسایش کمتری را تجربه کرده (محوطه میان دو پنجره فرسایشی) بتوان از داده‌های صحرایی تاقدیس خویز بهره برد. نیمرخ AA′ که در شکل ۴ نشان داده شده، در ترسیم آن از داده‌های عمقی و سطحی (صحرایی) بهره برده شده است. این نیمرخ به نوعی منعکس کننده ساختار بخش شمال غربی دو تاقدیس خویز و منصورآباد می‌باشد. امتداد خط بُرش، جنوب غرب-شمال شرق یا به عبارتی دیگر عمود بر امتداد دو ساختمان می‌باشد. در شمال شرق نیمرخ، تاقدیس خویز قرار دارد. علی‌رقم ظاهر ساده آن در سطح، خویز دارای ساختار عمقی پیچیده‌ای است. این تاقدیس، نامتقارن با جهت تمایل به سوی جنوب غرب می‌باشد. آنچه که در سطح زمین رخنمون سطحی دارد، لایه آسماری است. البته لایه پوش سنگ نیز در پای دو وجه شمال شرقی و جنوب غربی تاقدیس باقی مانده است (شکل ۵a و ۵c). یال شمال شرقی (پشتی) تاقدیس خویز، دارای شیب حدوداً ۳۰ درجه‌ای به سوی شمال شرق است اما یال جنوب غربی ابتدا در نزدیک ناحیه محوری کم شیب (شکل ۵b)، و در ادامه به سوی جنوب غرب در عمق، بسیار پرشیب و در جاهایی برگشته می‌باشد. پرشیبی یال جنوب غربی خویز، توسط تعدادی از چاه‌هایی که در یال شمال شرقی میدان منصورآباد حفر گردیده‌اند و ساختمان خویز به دلیل جلوآمدگی حاصل از راندگی، ناخواسته حفاری گردیده است، بی هیچ تردیدی به اثبات می‌رسد (در شکل ۴ نمایش داده شده است). ناحیه محوری تاقدیس خویز نسبتاً پهن است و به دلیل کشش محوری در حین چین‌خوردگی، توسط گسل‌های نرمال کم شیب قطعه قطعه گشته است (شکل ۵b). در شکل ۵d نیز نمایی نزدیک از عملکرد یک گسله معکوس در یال جنوب غربی تاقدیس خویز نشان داده شده است.

به طور کلی تاقدیس خویز توسط یک گسل راندگی که در حقیقت یک قطعه از گسل MFF می‌باشد بر روی تاقدیس منصورآباد رانده شده است. از دیدگاه زمین ساختی این گسل در حقیقت یک رمپ تراستی است که بدون تردید به یک گسل جدایشی در لایه چینه شناسی مستعد بروز پدیده جدایشی می‌پیوندد (Jabbour *et al*., 2012). لایه جدایشی در زیر تاقدیس خویز به احتمال زیاد

نهشته‌های کرتاسه پایینی-تریاس می‌باشند و بنابراین گسل جدایشی یا به عبارت دیگر فلت، در هر یک از سازندهای این بازه چینه شناسی مانند گرو، گوتنیا و دشتک می‌تواند پدیدار شده باشد (Afroogh *et al*., 2024). از این گسل فلتِ جدایشی به سمت افق‌های چینه شناسی بالاتر، گسل‌های راندگی پرشیب (معکوس) فرعی[1] نشأت گرفته است که یال جنوبی تاقدیس خویز را در محل‌هایی بریده‌اند. وجود این گسل‌های معکوس فرعی هم در حفاری‌ها و هم در نقاطی در سطح زمین قابل تأیید می‌باشد.

در زیر لایه یا به تعبیری دیگر افق چینه شناسی کرتاسه پایینی-تریاس، سنگ‌های پالئوزوئیک در عمق خیلی زیاد در زیر تاقدیس خویز با سبک و هندسه‌ای متفاوت (آرام) چین خورده‌اند (Narimani, 2014). هندسه ساختاری در این بخش عمیق تحت تأثیر افق جدایشی قاعده‌ای (هرمز یا معادل سیلیسی-آواری آن) می‌باشد. به احتمال زیاد راندگی‌هایی که در این افق جدایشی قاعده‌ای ریشه دارند، بخش عمقی ساختمان خویز را بریده‌اند (Narimani, 2014). میان سبک چین‌خوردگی و هندسه ساختاری در چین موجود در سنگ‌های پالئوزوئیک و سنگ‌های کرتاسه به بالا در میدان تاقدیسی خویز تفاوت و جابجایی زیادی وجود دارد. افق جدایشی کرتاسه پایینی-تریاس مسئول بروز چنین تغییرات شدید و فاحش ساختاری می‌باشد (افق جدایشی میانی عمیق) (Sherkati *et al*., 2006). گرچه داده قابل استنادی از پی‌سنگ در زیر تاقدیس خویز موجود نیست، اما می‌توان اینطور تصور کرد که به احتمال زیاد پی‌سنگ هم توسط شاخه پی‌سنگیِ گسل MFF بریده شده است (Alavi, 2004 & 2007).

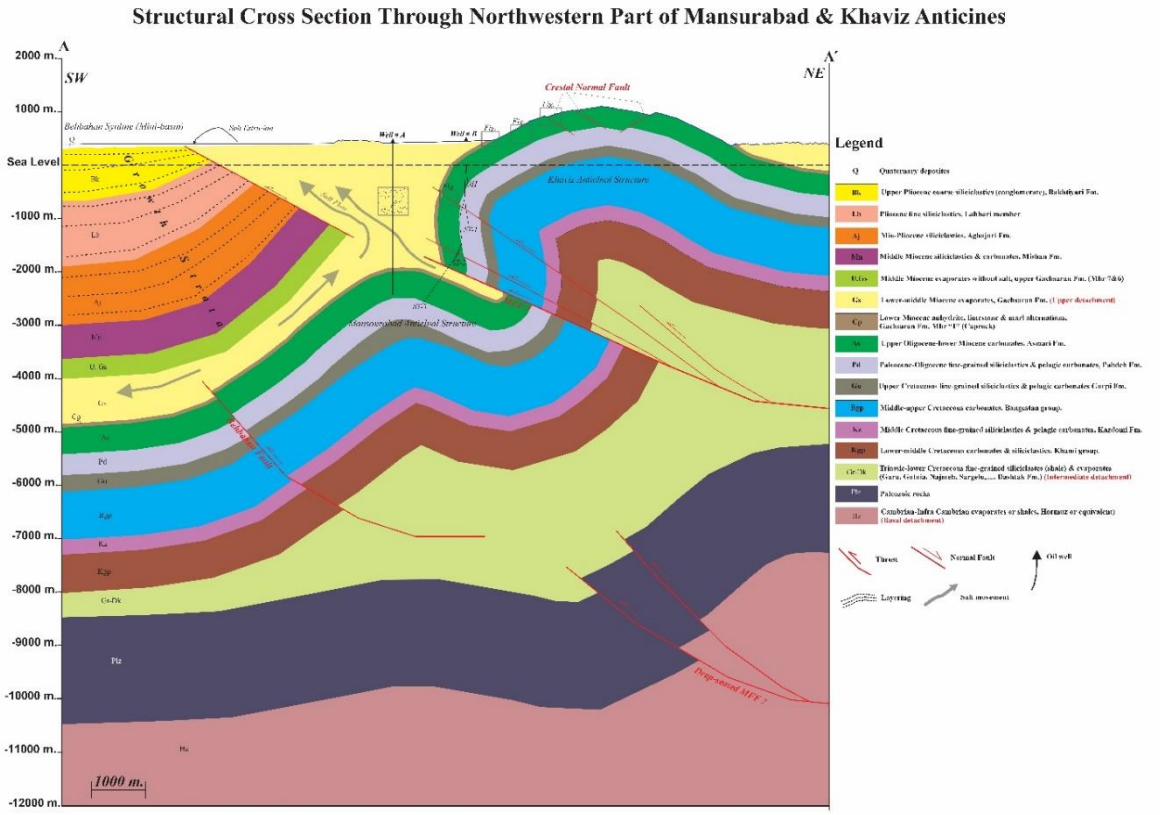


شکل (۳): نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (کادر مستطیلی در شکل۲). BF: گسل بهبهان و MFF گسل جبهه کوهستان.

Fig (3): Geological map of the study area (rectangle box in Fig. 2). BF: Behbahan Fault and MFF: Mountain Front Fault.

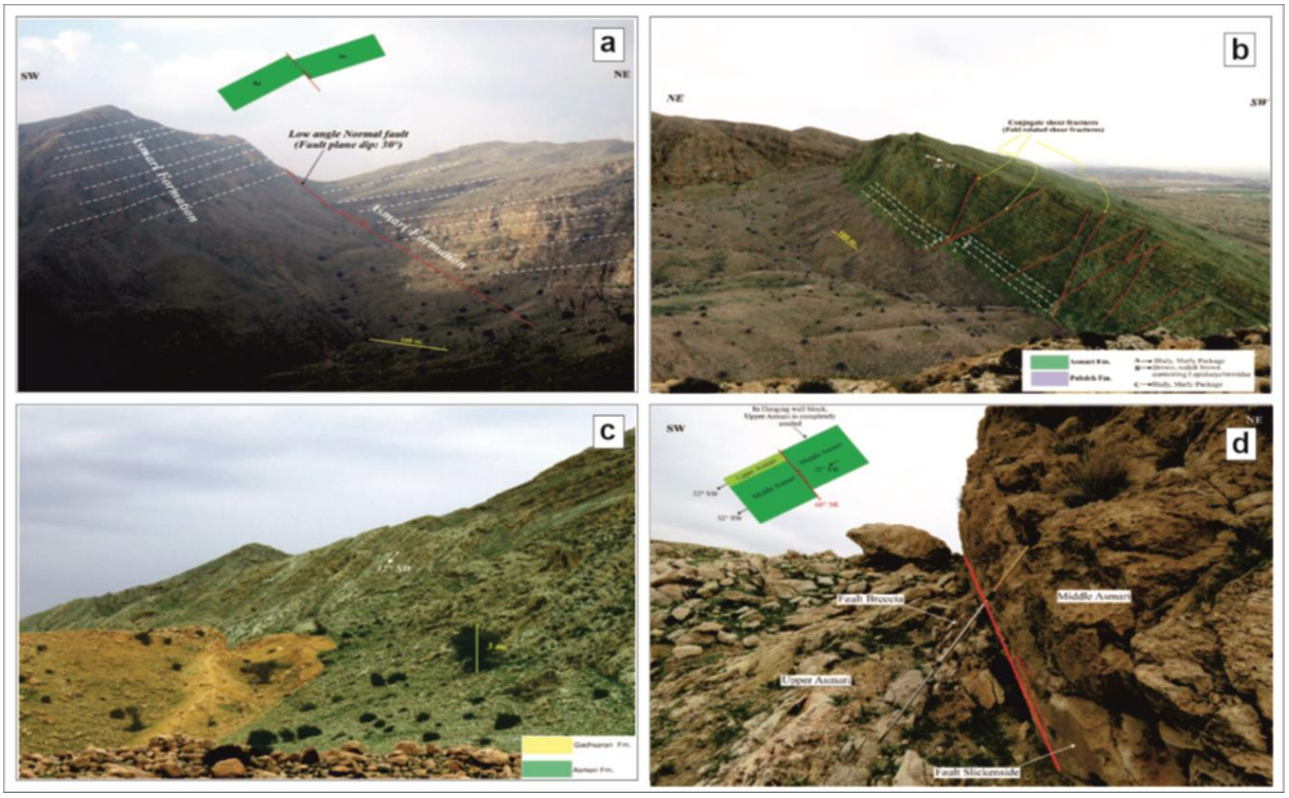
[1]Splay

تاقدیس منصورآباد در جنوب غرب تاقدیس خویز واقع گردیده است. به دلیل راندگی تاقدیس خویز، بخش عمده‌ای از یال شمال شرقی منصورآباد در زیر سایه تاقدیس خویز قرار گرفته است. یال شمال شرقی تاقدیس منصورآباد و ناودیس میان دو تاقدیس در بلوک فرودیواره، و یال پرشیب جنوب غربی تاقدیس خویز در بلوک فرادیواره راندگی MFF جای گرفته‌اند. ناودیس یاد شده را می‌توان ناودیس فرودیواره در نظر گرفت. در تاقدیس منصورآباد نظیر تاقدیس خویز، از افق پوش سنگ تا خامی تقریباً به صورت هماهنگ چین‌خورده‌اند. البته شواهد نیمرخ‌های لرزه‌ای میدان منصورآباد، نشان می‌دهد که احتمالاً افق گورپی به صورت یک لایه جدایشی ضعیف عمل کرده و ناهماهنگی اندکی را بوجود آورده است (شکل ۴) (Narimani, 2014). چین ایجاد شده در بازه چینه شناسی مذکور در میدان منصورآباد، مانند میدان خویز، به دلیل تحرک در لایه جدایشی تریاس-کرتاسه پایینی پدیدار گشته است (Narimani, 2014). یک رمپ تراستی یال جنوب غربی تاقدیس منصورآباد را بریده است (گسل بهبهان) و آن را بر روی توالی مقاوم بدون شیب (افقی) که هیچ چین‌خوردگی را تجربه نکرده است و در زیر دشت بهبهان قرار دارد، رانده است. این گسل در عمق به گسل جدایشی افقی که در هر یک از سازندهای لایه جدایشی کرتاسه پایینی تا تریاس نظیر گرو، گوتنیا و یا دشتک می‌تواند شکل گرفته باشد، متصل می‌گردد. در زیر لایه جدایشی کرتاسه پایینی-تریاس لایه مقاوم متشکل از سنگ‌های پالئوزوییک با هندسه و سبکی متفاوت چین‌خورده‌اند. احتمالاً این چین‌خوردگی ملایم است و بر روی افق جدایشی قاعده‌ای، کاملاً متفاوت با چین تراز بالاتر، پدیدار گشته است (Narimani, 2014).



شکل (۴): نیمرخ ساختاری تهیه شده از خط برش 'AA (در شکل ۳).

Fig (4): Structural Profile provided from section line AA' (in Fig. 3).



شکل (۵): تصاویر صحرایی. در تمامی این تصاویر به جایگاه آنها در نیمرخ ساختاری شکل ۳ دقت شود. (a) دورنمایی از گسل نرمال در ناحیه محوری تاقدیس خویز. (b) دورنمایی از یال رخنمون شده جنوب غربی تاقدیس خویز در محل برش ساختاری. شکستگی‌های بُرشی مزدوج مرتبط با چین‌خوردگی در لایه‌های سازند آسماری تاقدیس قابل مشاهده‌اند. (c) نمایی از برونزد پوش سنگ در پای یال جنوب غربی تاقدیس خویز. (d) نمایی نزدیک از یکی از گسل‌های معکوس در یال جنوب غربی تاقدیس خویز.

Fig (5): Field photographs. In all images, refer to their respective locations in Fig. 3. (a) A wide-view of the normal fault within the axial zone of the Khaviz anticline. (b) A wide-view of the southwestern flank of the Khaviz anticline at the structural profile location. Conjucate shear fractures associated with the folding in the Asmari Formation layers within the anticline are observable. (c) A view of the cap rock outcrop at the foot of the southwestern flank of the Khaviz anticline. (d) A close-up view of a reverse fault on the southwestern flank of the Khaviz anticline.

بحث

در حفاری چاه‌های نفت و گاز، بویژه در مناطق تکتونیکی پیچیده و پر ابهامی مانند جنوب غرب ایران (کمربند زاگرس)، ساختار زمین شناسی، فقط متشکل از چند سازندی که باید حفاری شوند نیست، بلکه عامل اصلی کنترل کننده سرعت حفاری، ایمنی، هزینه و در نهایت تکمیل چاه در سلامت کامل است. برای یک زمین شناس سرچاهی، ویژگی‌های ساختمانی هم می‌تواند به عنوان یک راهنما عمل کند و هم می‌تواند هشداری بسیار جدی باشد. در اینجا خصوصیات مرتبط با تاثیر فرآیندهای تکتونیکی و ساختمانی را به اختصار دسته بندی می‌کنیم:

گسل‌های رانده و پوششی[1] در زاگرس، لایه‌های قدیم تر اغلب در روی لایه‌های جوان‌تر رانده شده‌اند. در بسیاری از میادین جنوب غرب ایران مانند گچساران، مارون، منصورآباد، پارسی و زیلایی این پدیده مشاهده می‌شود. هشدارها: تکرار سازندها، اگر ناگهان با سازندی برخورد گردید که طبق برنامه پیش‌بینی زمین شناسی چاه باید در اعماق پایین‌تر باشد، در این صورت به یک گسل رورانده برخورد کرده‌ایم. این ممکن است که با فشارهای بسیار بالا و غیر معمول مواجه شویم.

[1]Thrust and Overthrust Faults

گسله‌های رانده همچنین می‌توانند با توجه به تغییر سریع و شدید لایه‌ها سبب انحراف شدید مسیر مته و زاویه گرفتن چاه[1] شوند.

گسل‌های لغزشی و سطوح جدایش[2] سطوح جدایش (مانند سازندهای گچساران و هیث و یا لایه‌های ضخیم نمکی) در حفاری چاه‌های نفت و گاز بسیار مهم هستند و باید توجه فراوانی به آنها نمود. مهم‌ترین چالش‌های حفاری در این پهنه‌ها جریان‌ها شدید سیال سازندی به درون چاه به ویژه در میادین آغاجاری و کوپال، عدم پایداری دیواره چاه، گیر رشته لوله‌های حفاری و همچنین گاه هرزروی‌های کامل سیال حفاری است.

تغییرات شدید شیب لایه‌ها: تغییرات شیب لایه‌ها در نزدیکی ستیغ تاقدیس‌ها و در انتهای یال‌ها بخصوص در میادینی نظیر کرنج ، پارسی، رامشیر، بی بی حکیمه، منصورآباد و مارون.

سیستم‌های شکستگی و شبکه‌های درزه‌ها بخصوص در سازندهای کربناته که هم مفیدند (تولید بیشتر هیدروکربن پس از تکمیل چاه) و هم مضرند (هرز روی و جریان چاه حین حفاری).

مساله دیگری که برای زمین شناسان سرچاهی اهمیت بسزایی دارد، همخوانی زمین شناسی میان چاه‌های مجاور هم است. همخوانی[3] یک مساله بسیار مهم و ستون فقرات عملیات زمین شناسی سرچاهی در حفاری چاه‌های نفت و گاز است. درک درست همخوانی، تفاوت بین رسیدن به مخزن در نقطه بهینه؛ و ورود و خروج از سازندهای با خصوصیات متغییر را رقم می‌زند. در جنوب غرب ایران، با سازندهای کربناته (نظیر آسماری، ایلام، سروک، فهلیان) سر و کار داریم که تخلخل و تراوایی آنها بسته به فازهای تکتونیکی و دیاژنز، به شدت متغییر است، و یا سازند تبخیری گچساران که بسته به شرایط تکتونیکی و ساختمانی حاکم بر منطقه بسیار متغیر و متفاوت عمل می‌کند، لذا همخوانی در اینجا فراتر از یک کار دفتری است و دانش و تجربه وافری را می‌طلبد. پیش بینی دقیق عمق سرسازندها و سربخش‌ها برای تعیین دقیق نقاط جداری و آستری‌گذاری[4] بسیار حیاتی است. زمین شناسان سرچاهی باید بدانند که چه زمانی با تغییرات سازندها مواجه می‌شوند تا بتوانند نقاط بسیار حساس فوق‌الذکر را به درستی و با دقت بالا تعیین کنند. در این راستا همخوانی، یکی از ابزارهای بسیار مهم و کاربردی زمین شناسان سرچاهی به حساب می‌آید. با همخوانی می‌توان سازندها و زون‌های با فشار سازندی بالا را از سازندهای با فشار پایین (بخش ۷ از بخش ۶ سازند گچساران و یا پوش سنگ از سازند آسماری) و یا زون‌های گسلی و حذف شده یا رانده شده را مشخص نمود. این امر می‌تواند از حوادث بسیار خطرناک و هزینه‌بری نظیر هرزروی کامل سیال حفاری، فوران چاه و گیر کردن رشته لوله‌های حفاری جلوگیری نماید. تشخیص ناپیوستگی‌های چینه‌ای و تغییرات شدید و ناگهانی رخساره‌ای (سنگ و زیست رخساره‌ای) مانند تغییرات شدید در سازند آسماری در میادینی مانند مارون، اهواز، منصوری، آزادگان و جفیر. حال در میادینی که چاه‌های مجاور هم فاقد همخوانی و یا همخوانی ضعیفی هستند، درک شرایط ساختمانی و رسوبگذاری در منطقه برای زمین شناسان سرچاهی بسیار پر اهمیت می‌شود. لذا باید ذهنیت و دید منطقه‌ای کاملاً دقیقی بر این فرآیندها داشته باشند. همخوانی فقط ترسیم خطوط موازی بین چاه‌های مجاور هم نیست؛ همخوانی یعنی پیش‌بینی و آینده نگری از نحوه رسوبگذاری و حرکت لایه‌های زیرسطحی در طول میلیون‌ها سال. وقتی این پیش‌بینی به درستی حین حفاری یک چاه نفت و یا گاز تفسیر شود، بهترین تصمیم‌ها برای تعیین تکلیف حرکت مته حفاری در مسیر درست گرفته می‌شود. بسیاری از چاه‌های حفاری شده در میدان نفتی منصورآباد تا پیش از رسیدن به سرسازند آسماری با ابهامات و پیچیدگی‌های فراوانی در بخش‌های مختلف سازند گچساران

[1] Well Track Deviation
[2] Detachment/Decollement
[3] Correlation
[4] Casing and Liner points

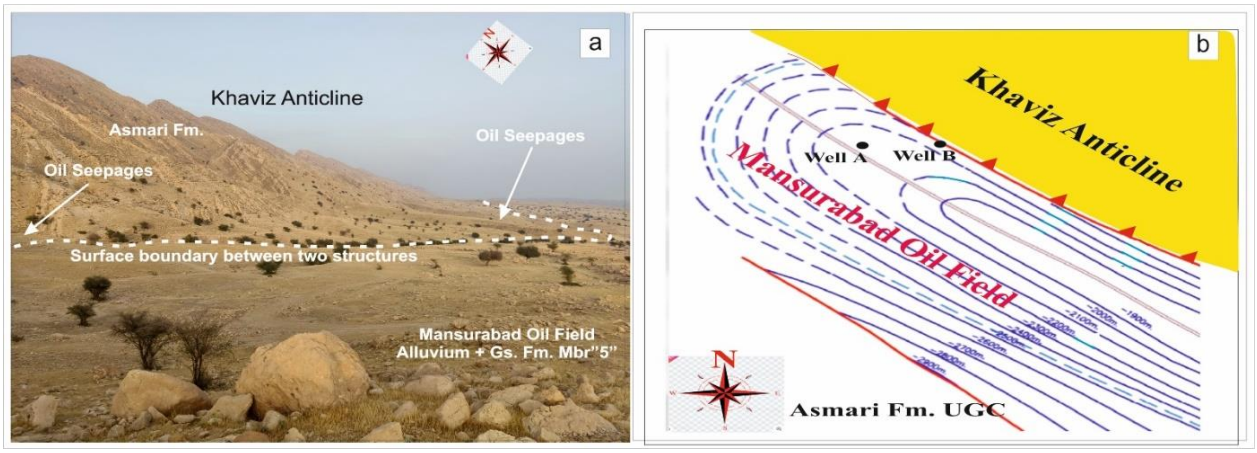
مواجه بوده‌اند (Chardahcherik, 2012). در برخی از این چاه‌ها سرسازند آسماری تا بیش از ۲۵۰ متر اختلاف نسبت به برنامه پیش‌بینی تأیید شده است. دو چاه A و B مورد مطالعه در این نوشتار نیز از پرچالش‌ترین و پردردسرترین چاه‌های حفاری شده در میدان نفتی منصورآباد محسوب می‌شوند که با تفسیر وقایع تکتونیکی و ساختمانی تاثیرگذار در منطقه و پایش دقیق عملیات حفاری از لحاظ زمین شناسی، به سلامت حفر و تکمیل گردیدند. در میدان نفتی منصورآباد در ترازهای بالاتر از پوش سنگ، وضعیت هندسه ساختاری و سبک چین‌خوردگی کاملاً متفاوت با ترازهای پایین‌تر از پوش سنگ می‌باشد. دلیل این امر چیری نیست جز تفاوت فاحش رفتار سازند گچساران نسبت به سازندهای رویین و زیرین در حین فرایند چین‌خوردگی که از رئولوژی کاملاً متفاوت آن نشأت می‌گیرد. سازند گچساران در میدان منصورآباد نظیر سایر بخش‌های فروافتادگی دزفول جنوبی متشکل از ۷ بخش می‌باشد. بخش ۱ یا پوش سنگ رئولولوژی کاملاً مشابه با آسماری و سازندهای زیرین آن و بخش‌های ۶ و ۷ هم که بلافصل در زیر سازند میشان قرار دارند، رئولوژی شبیه به سازندهای گروه فارس دارند. این بخش‌ها فاقد لایه‌های نمکی می‌باشند و از این روی رفتاری شبیه لایه‌های مقاوم مذکور از خود نشان داده‌اند. اما در بخش‌های دیگر (۵ تا ۲، بویژه ۴ و ۲)، لایه‌های نمکی در شرایط اولیه رسوبی به وفور نهشته شده‌اند و بنابراین ویژگی تحرکی بسیار قوی به این بخش‌ها از سازند گچساران بخشیده‌اند. در حقیقت در حین فرایند چین‌خوردگی، این بخش‌ها از سازند گچساران هستند که نقش جدایشی بسیار پررنگی، ایفا کرده‌اند (Sherkati *et al*., 2006). در حین چین‌خوردگی این بخش‌های نمک‌دار همچون خمیری شکل پذیر از محل‌هایی که تحت تنش و فشار بالا قرار دارند به سمت محل‌های کم تنش‌تر حرکت کرده‌اند. یکی از آن نقاط پرتنش و تحت فشار در زیر ناودیس متشکل از گروه فارس (ناودیس بهبهان) قرار دارد. ناودیس‌های اینچنین محل‌هایی بسیار مناسب برای نهشته شدن رسوبات سیلیسی-آواری همزمان با چین‌خوردگی تلقی می‌شوند (Najafi *et al*., 2018) به همین دلیل این ناودیس‌ها را حوضه‌های کوچک[1]می‌نامند. همزمان با چین‌خوردگی در میادین خویز و منصورآباد، طبقات سیلیسی-آواری متعلق به واحدهای چینه شناسی آغاجاری، لهبری و بختیاری در ناودیس بهبهان با هندسه طبقات رشدی نهشته شدند. طبقات سیلیسی– آواری مذکور با نهشت پی‌درپی بر روی یکدیگر فرونشست حوضه کوچک (ناودیس بهبهان) را سبب گردیدند. این فرونشینی باعث گردید تا ضخامت زیادی از واحدهای چینه شناسی گروه فارس در ناودیس انباشته شود و ناودیس، یک رشد به سمت پایین را تجربه کند (Fossen, 2016). با رشد رو به پایین این ناودیس (حوضه کوچک) و افزایش قابل توجه بار رسوبی، بخش‌های نمک‌دارِ متحرک سازند گچساران (بخش ۲-۴) واقع در زیر ناودیس، بر اثر گیر افتادن مابین ناودیس بهبهان و پهلوی جنوب غربی تاقدیس منصورآباد، از این ناحیه تنگنا فرار کرده و به سوی ناحیه محوری تاقدیس منصورآباد حرکت کرده‌اند (جهت حرکت فلش‌ها در شکل۴).

یکی دیگر از جاهایی که فرار سازند گچسارانِ متحرک (بخش‌های نمکی ۲-۴ سازند گچساران) از آن صورت گرفته است، گسل راندگی MFF در میان دو تاقدیس خویز و منصورآباد می‌باشد. رانده شدن تاقدیس خویز بر روی تاقدیس منصورآباد، سبب بالا رفتن تنش در سازند گچسارانِ مقابل انتهای گسل MFF، و در نتیجه تحرک آن باز به سویِ بالای ناحیه محوری تاقدیس منصورآباد گشته است. تحرک مواد سازند گچساران حاوی نمک خود را به صورت چین‌خوردگی‌های کوچک بی‌شمار و گسلش‌های فراوان نشان می‌دهد (کادر چهارگوش کوچک در شکل۴). توالی‌های نمک‌دارِ سازند گچساران مکرراً و غالباً به صورت نامتقارن چین‌خورده و با گسل‌های تراستی کوچک بر روی هم رانده شده‌اند. سازند گچساران نمک‌دار با حرکت و فرار از دو ناحیه یاد شده در بالای ناحیه محوری و بخشی از پهلوی جنوب غربی تاقدیس منصورآباد تجمع یافته است. در این دو

[1]Mini-Basin

قسمت مخصوصاً بالای ناحیه محوری تاقدیس منصورآباد، توالی‌های نمک‌دار به طور غیرعادی دارای ضخامت زیاد می‌باشند. به دلیل کوتاه‌شدگی زیاد در محدوده خویز و منصورآباد، سازند گچساران متحرکِ شدیداً چین‌خورده در بالای ناحیه محوری و پهلوی جنوب غربی تاقدیس منصورآباد، بر روی پهلوی شمال شرقی ناودیس متشکل از گروه فارس (ناودیس سطحی بهبهان) رانده شده است.

دو چاه A و B که در حقیقت چاه‌های نفت در قلمرو میدان منصورآباد می‌باشند، مانند دریچه‌هایی، منظره ساختاری میادین خویز و منصورآباد را تا افق آسماری نشان می‌دهند. در چاه A، یک ضخامت غیرعادی از توالی‌های نمک‌دار سازند گچساران حفاری گردیده است. از نگاه ساختاری این چاه در محلی حفر شده که سنگ شناسی شکل‌پذیر سازند گچساران (غالباً لایه‌های نمک‌دار) پس از فرار از دو ناحیه یاد شده، تجمع یافته‌اند (سازند گچساران در بالای ناحیه محوری تاقدیس زیرسطحی منصورآباد). چاه B نیز گرچه به هدف رسیدن به یال یا پهلوی شمال شرقی تاقدیس منصورآباد حفر گردیده است، اما به دلیل رانده شدن یال پرشیب جنوب غربی تاقدیس خویز بر روی یال شمال شرقی تاقدیس منصورآباد توسط گسل راندگی MFF، اغلب مسیر این حفره از یال پرشیب جنوب غربی تاقدیس خویز گذر کرده است. البته یکی از اهداف حفر این چاه، توصیف ساختار این بخش از یال شمال شرقی میدان منصورآباد بوده است. در شکل ۶ موقعیت چاه‌های A و B بر روی نقشه زیرسطحی تراز آسماری میدان نفتی منصورآباد و همچنین نمایی از تاقدیس خویز از محل چاه B نشان داده شده است.

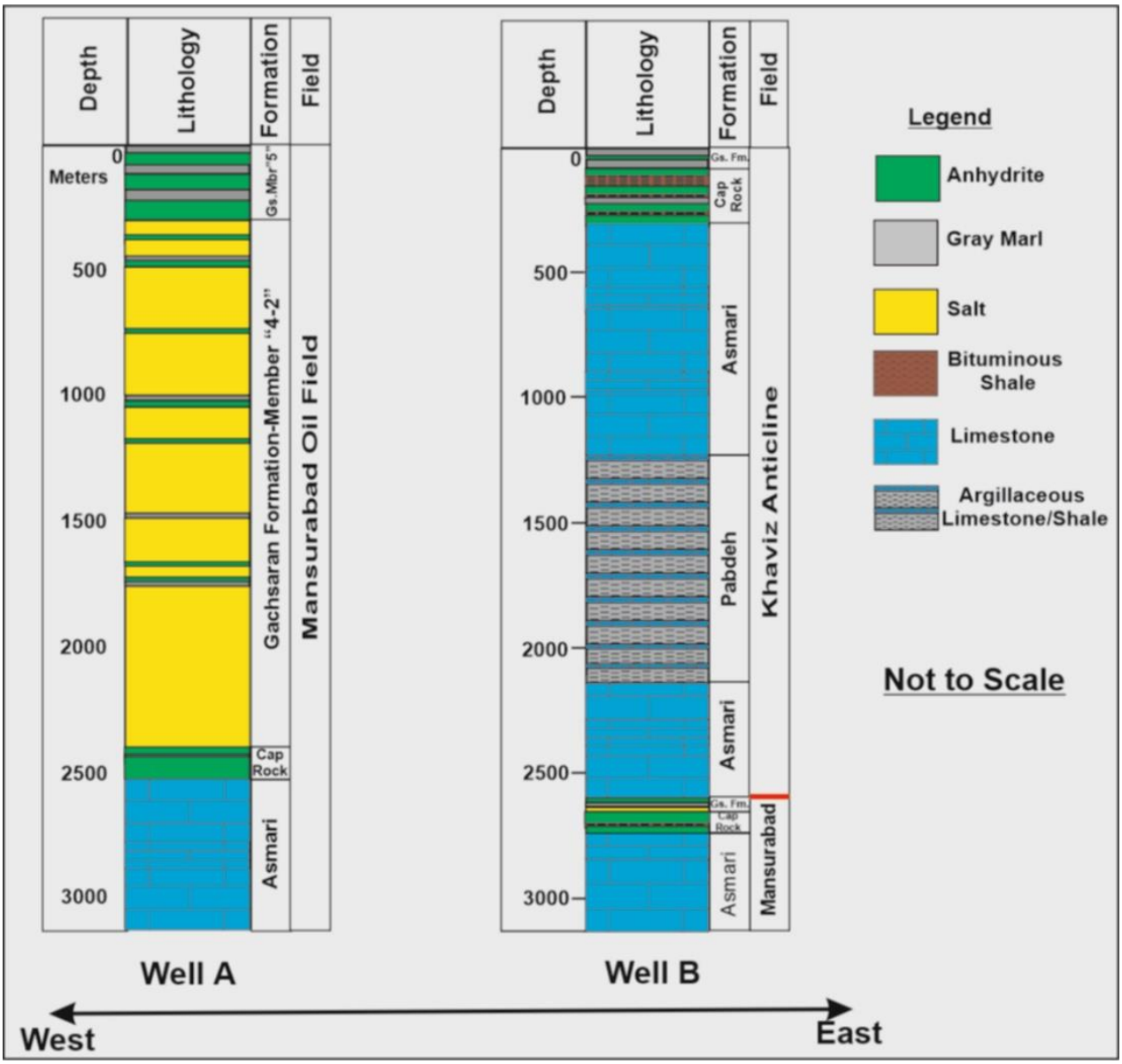


شکل (۶): (a) نمایی از تاقدیس خویز از محل چاه B و موقعیت تراوش‌های نفتی در مرز بین دو ساختار. (b) موقعیت چاه‌های A و B بر روی نقشه زیرسطحی تراز آسماری میدان نفتی منصورآباد.

Fig (6): (a) Aview of the Khaviz anticline from the location of Well B and the oil seepages areas at the boundary between two structures. (b) The locations of Wells A and B on the Asmari Under Ground Counter map (UGC) of the Mansurabad Oil Field.

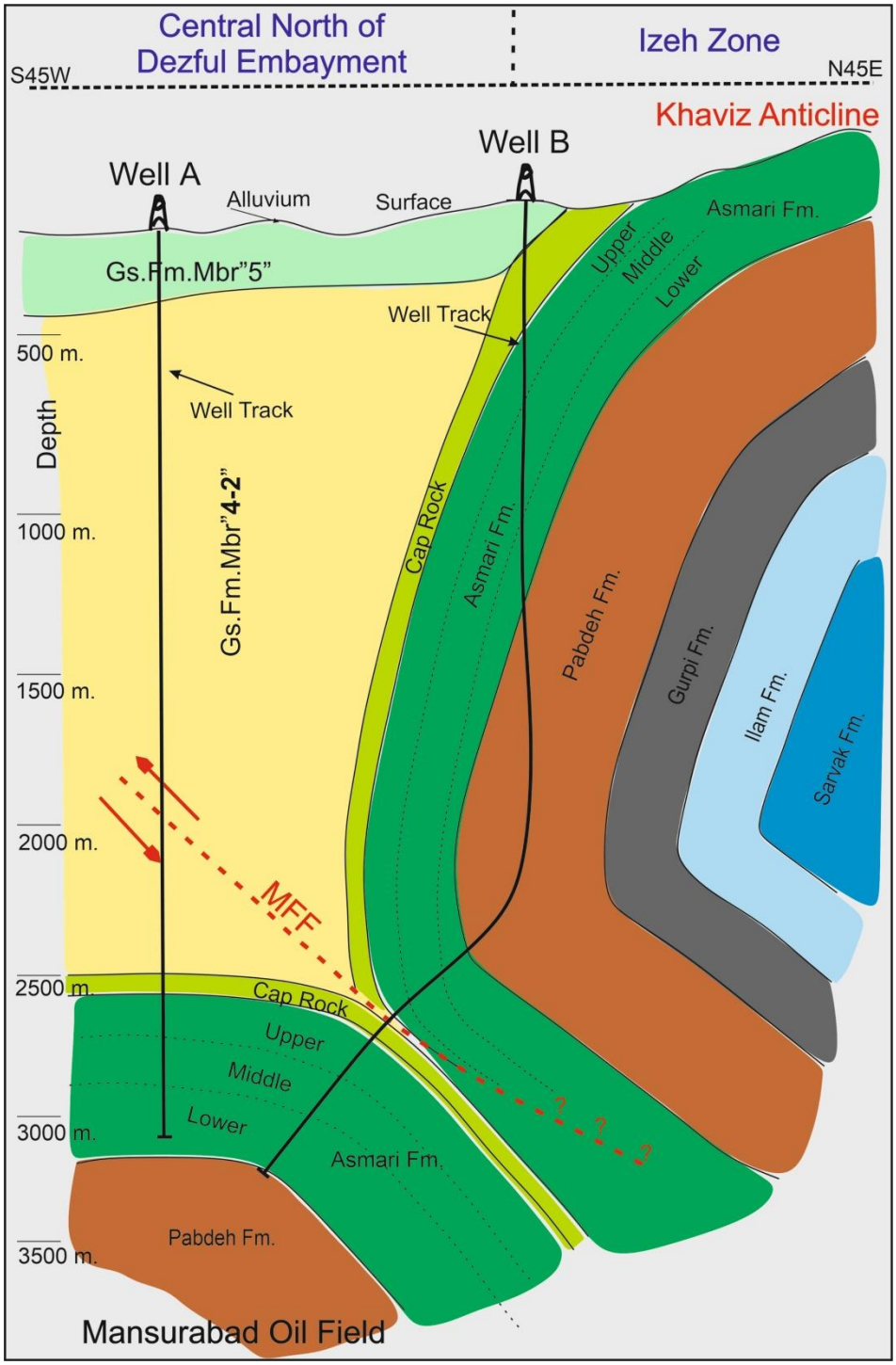
در شکل ۷ توالی‌های غیر عادی رسوبی حفاری شده در هر دو چاه ترسیم شده و نمایش داده شده‌اند. همانگونه که به روشنی مشاهده می‌شود توالی رسوبگذاری معمول و عادی حوضه رسوبی در فروافتادگی دزفول یعنی توالی سازندهای آغاجاری-میشان-بخش‌های هفتگانه گچساران-آسماری-پابده حفاری نشده‌اند، بلکه توالی‌هایی به‌هم‌ریخته و تکرار شده‌ای مشاهده می‌شوند که عامل اساسی ایجاد این ناهمگونی‌ها، فعالیت‌های تکتونیکی و ساختمانی در منطقه بوده است. در شکل ۸ نیمرخ توالی حفاری شده چاه‌های A و B که با چالش‌های فراوان زمین شناسی و حفاری همراه بوده‌اند ترسیم شده است. برخورد با چنین توالی‌های تکرار شونده، به‌هم ریخته و غیر منتظره در حین عملیات حفاری یک چاه، چالش بسیار مهم و

پر دردسری برای زمین شناسان سرچاهی ایجاد می‌کند و لذا این زمین شناسان باید در هنگام حفاری چنین چاه‌هایی، تمامی موارد زمین‌شناسی از جمله ویژگی‌های تکتونیکی و ساختمانی منطقه را مد نظر قرار دهند.



شکل (۷): مقایسه ستون‌های توالی‌های رسوبی حفاری شده در دو چاه نفتی مورد مطالعه A و B.

Fig (7): Comparison of the drilled sedimentary succession columns within the two examined oil wells.



شکل (۸): نیمرخ نهایی زمین شناسی از مسیر حفاری شده در چاه‌های A و B در محدوده مورد مطالعه.

Fig (8): Final geological profile of the drilled tracks in the Wells A and B at the study area.

نتیجه‌گیری

عملیات حفاری در میادین نفت خیز جنوب غرب ایران، از جمله در میدان نفتی منصورآباد، به دلیل قرارگیری در پیچیده‌ترین بخش‌های کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس (فروافتادگی دزفول)، از یک فعالیت صرفاً فنی فراتر رفته و نیازمند یک رویکرد مدیریت مخاطرات مبتنی بر تحلیل‌های دقیق زمین‌شناسی ساختاری-چینه شناسی است. مطالعه موردی چاه‌های «A» و

«B» به روشنی نشان می‌دهد که ابهامات تکتونیکی، یکی از عوامل اصلی کنترل‌کننده ایمنی، هزینه و سرعت حفاری در این منطقه هستند. یافته‌های کلیدی این پژوهش که تبیین‌کننده اهمیت پایش تکتونیکی است، در سه محور اصلی خلاصه می‌شود:

۱. چیرگی سازوکارهای تکتونیکی بر شرایط حفاری:

رفتار «سازند گچساران» به عنوان یک واحد جدایشی[1] و متحرک، نقشی تعیین‌کننده در پیچیدگی‌های حفاری دارد. فرآیندهای تکتونیکی (راندگی خویز بر منصورآباد و تشکیل حوضه‌های کوچک) موجب مهاجرت و تجمع غیرعادی توالی‌های نمک‌دار شده است که منجر به بروز چالش‌هایی نظیر تکرار سازندها، ضخامت‌های غیرطبیعی، فشارهای سازندی پیش‌بینی‌نشده، خزش نمک و انحراف مسیر چاه می‌گردد.

۲. حیاتی بودن «همخوانی» در پیش‌بینی مسیر حفاری:

در محیطی با تغییرات ناگهانی ساختاری، روش‌های سنتی همخوانی برای تعیین نقاط جداری و آستری گذاری و رسیدن سلامت به مخزن ناکافی است. زمین‌شناسان سرچاهی باید فراتر از ترسیم خطوط ساده، به پیش‌بینی نحوه حرکت لایه‌های زیرسطحی و تفسیر تغییرات رخساره‌ای بپردازند. عدم درک دقیق از تداخل ساختاری (مانند عبور ناخواسته از یال پرشیب تاقدیس خویز در چاه «B» و یا برخورد به گسل‌های بزرگ)، مستقیماً منجر به افزایش خطر گیر کردن رشته لوله‌های حفاری، هرزروی سیال و فوران چاه می‌شود.

۳. ضرورت پایش چندجانبه برای مدیریت مخاطرات:

موفقیت در حفاری چاه‌های پرچالش این میدان و میادین متعدد دیگری نظیر این میدان در جنوب غرب ایران، مرهون ترکیب داده‌های سطحی (برداشت‌های صحرایی مانند بررسی گسل جبهه کوهستانی/MFF و مطالعات چینه شناسی) با داده‌های زیرسطحی (خرده‌های حفاری، نمودارهای پتروفیزیکی و تفسیر لرزه‌نگاری) است. این پایش چندجانبه اجازه می‌دهد تا مدل‌های زمین‌شناسی حین حفاری[2] اصلاح شده و تصمیمات متهورانه اما دقیق برای هدایت مسیر مته اتخاذ گردند.

References

Afroogh, A., Shoghi, J., Seraj, M., Mukherjee, S., & Azar, J. H. (2024). Along-strike variation of structural style: Mansourabad Anticline in the Dezful Embayment, SW Iran. *Results in Earth Sciences, 2*, 100047. https://doi.org/10.1016/j.rines.2024.100047

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. https://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://doi.org/10.2475/09.2007.02

Chardahcherik, G. (2012). Complementary Study and Geological Update of the Asmari Reservior, Mansurabad Oil Field. *NISOC Internal Report No. 6961*, 65.

Fossen, H. (2016). Structural Geology (2nd edition). *Cambridge University Press*, 312.

Heydarzadeh, K., Hajialibeigi, H., Verges, J., & Gharabeigli, G. (2021). Tectono-sedimentary evolution of the Dehdasht structural basin (Central Zagros, Iran). *Tectonophysics, 806*, 228791. http://doi.org/10.1016/j.tecto.2021.228791

Jabbour, M., Dhont, D., Hervouët, Y., & Deroin, J.-P. (2012). Geometry and kinematics of fault-propagation folds with variable interlimb angle. *Journal of Structural Geology, 42*, 212-226. http://doi.org/10.1016/j.jsg.2012.05.002

Mitra, S. (2002). Structural models of faulted detachment folds. AAPG bulletin, 86(9), 1673-1694.

Motiei, H. (1993). Geology of Iran: Stratigraphy of Zagros (1st ed.). *Iranian Geological Survey Publications, 310*.

Najafi, M., & Lajmorak, S. (2020). Contractional salt-tectonic system in the south Dezful embayment, Zagros. *Journal of Structural Geology, 141*, 104204. http://doi.org/10.1016/j.jsg.2020.104204

[1] Detachment
[2] Real-time

Najafi, M., Vergés, J., Etemad-Saeed, N., & Karimnejad, H. R. (2018). Folding, thrusting and diapirism: Competing mechanisms for shaping the structure of the north Dezful Embayment, Zagros, Iran. *Basin Research, 30*(6), 1200-1229. http://doi.org/10.1111/bre.12300

Narimani, H., Karimnezhad, H. (2014). Structural Study of the Khaviz Anticline along with Preparation of the Under Ground Counter Maps of the Fahlian and Jurassic Horizones. *NIOC, Exploration Devision, Internal Report No. GR-2311*, 93.

Sepehr, M., & Cosgrove, J. W. (2004). Structural framework of the Zagros fold–thrust belt, Iran. *Marine and Petroleum geology, 21*(7), 829-843. http://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2003.07.006

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. 25 (4), 67-93.

Verrall, P., & Christophy, J. (1978). The Structural geology of the Khaviz area. Dezful South: *Tehran, Oil Service Company (OSCO) of Iran Report, 1294*, 19.