

Research Article

The role of Kalhur evaporate member of Asmari Formation in the structural evaluation of the Parsi oil field in the North Dezful Embayment, Zagros region, SW Iran

Kiarash Ghanavati¹, Payman Rezaee^{2*}, Ruhollah Shabafrooz³

1- Ph.D. Student, Sedimentology and Sedimentary Petrology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

2- Associate Professor, Department of Geology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

3- Master of Exploitation Geology, National Iranian South Oil Company, Ahwaz, Iran

Keywords: Dezful Embayment, Parsi anticline, Kalhur evaporates, Detachment level, Zagros

1- Introduction

Parsi Oilfield is a slightly asymmetric NW-SE trending anticline with 36 km long and 7 km wide lying in the north-central part of the Dezful Embayment Khuzestan, at the southwest of the Zagros mountain belt. The Asmari Formation at its type section is 314 m thick, comprised mainly of limestone, dolomite with minor marl/shale, and evaporates. Thomas (1948) proposed Oligocene – Burdigalian age for the formation. James and Wynd (1965) considered the Ahwaz sandstone and Kalhur evaporates as members of the mentioned formation. Paleontological investigations by Bahrami (2000) and Nayebi (2003) assigned early Miocene for the Kalhur Member when the basin was isolated from the open sea (James and Wynd, 1965; Adams and Bourgeois, 1967; Adams, 1969; Sherkati et al., 2005, 2012; Daraeiet al., 2014). The Basal Anhydrite at the Asmari Formation base is observed in the Dezful Embayment and the Izeh Zones. The thickness and lateral expansion of the Basal Anhydrite reveal that these were submarine sediments formed in isolated saltern basins (Sherkati et al., 2005).

Kalhur member is one of the few evaporative sequences located directly in an oil reservoir in the Dezful embayment. Due to the importance of drilling at fluid levels, changes in this horizon's thickness significantly achieve the appropriate entry point for production from the upper and lower Asmari reservoir. According to the data obtained from drilling in various wells in Parsi, Ziloei, Changoleh, and Lali, changes in the Kalhur evaporite member's thickness in adjacent wells are not unexpected. Identifying the stratigraphic and tectonic nature of these changes will significantly reduce the risk of drilling in this stratified situation. Different seismic sections have been used in the Parsi field to create a correct understanding of these changes' nature. The Asmari Formation in the Parsi field comprises various combinations of limestone, dolomite, and anhydrite. Elevated quartz silt and minor sand levels occur towards the middle of the section, with thick shale layers sometimes developed in the lower parts of the sequence. Few wells in the Parsi oilfield have core data. The primary recourse for sedimentary interpretation and calculation of reservoir parameters has been a thorough analysis of electric log curves.

These deposits form a major part of in Oligo-Miocene carbonate ramp system(s). However, the presence of reefal development, recognized mostly in the middle parts of the studied sequence, may suggest distal steepening of the ramp and the incipient formation of a rimmed platform system. The Aquitanian evaporates of Kalhur, a Member of the Asmari Formation, were deposited in a sabkha to coastal salinsetting in this area. These evaporites are frequently banded with occasional dolomite laminae, indicating recharge by periodic marine inundation, with associated ponding—the contact with the upper part appears gradational. The anhydrite base is also gradational, passing through lower supratidal dolo-laminites into dolomitized peloid packstone shoals.

* Corresponding author: p.rezaee@hormozgan.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2021.35032.2164

Received 2020-09-14

Accepted 2021-01-29

2- Regional geology and stratigraphy

The Zagros fold-thrust belt extends northwest-southeast in the middle of the Alps-Himalayan orogenic belt, starting from the Anatolian Fault northeast of Turkey and extending approximately 1,800 km south. It extends through the west of Iran and continues to the Strait of Hormuz, separated from the augmented Makran zone by changing its north-south trend by the Minab fault. The Zagros mountain belt is divided into several zones. That differs according to their structural and sedimentary history (Berberian and King, 1981; Falcon, 1974; Motiee, 1994; Stocklin, 1968). The NW and SE boundaries of the studied area (the central Zagros) coincide with the Balarud and Kazerun faults. The central Zagros is subdivided from NE to SW into High Zagros, Izeh zone, and Dezful Embayment. The dominant structural directions in the Zagros Belt can be divided into two parts: The first batch of north-south structures that are older concerning the basement faults and the second batch of NW-SE structures; they are associated with Zagros folds (Middle Miocene) and are formed an older structures.

Berberian (1995) summarizes the tectonic developments of this area in the following order: A platform phase in the Paleozoic, rifting in Permotrias, passive continental margin formation (extending northeast to the seabed) in Jurassic and Early Cretaceous, subduction to the northeast, and subduction of ophiolite and radiolarite in late Cretaceous and finally continental-continental collision and shortening during Neogene. O'Brien (1950, 1957) was the first to divide the stratigraphic pile into five structural/mechanical ensembles, namely: (1) the basement group (Panafrican crystalline basement), (2) the lower mobile group (Hormuz salt), (3) the competent group (Cambrian to Lower Miocene platform sediments), (4) the upper mobile group (Miocene salt) and (5) the incompetent group (Miocene to recent molasses). Figure 1 shows various properties of the unstable layers in the Zagros stratigraphic column that can act as the detachment surface.

It shows the mechanical properties of the formations, and it is vital for us that these properties will ultimately result in the kinematic response of the formation during deformation. Recent studies in the Aquitanian carbonates of the Kalhur Member confirm the importance of evaporitic layers as possible cap rock and hydrocarbon trap. Evaporates can also exert substantial control on the distribution and geometry of structures in sedimentary basins (Jackson et al., 1995).

3- Material and methods

In this research, four data sets are used: 1. Geological maps, 2. Field observations, 3. Seismic data and 4. Well data. The well data and seismic profiles were prepared by the NISOC (National Iranian South Oil Company). First, the surface information was achieved from the field observations and 1:100,000 geological maps.

Then, the 3D seismic data were used to distinguish the folding style of the Parsi Anticline. Data from 82 wells supported the interpretation horizons. Most of the wells were drilled through the Asmari Formation. We now investigate the tectonic behavior of the Kalhur Member, regardless of its position in the stratigraphic column of the Asmari Formation, which can separate the upper Asmari from the lower Asmari or the upper Asmari from the Pabdeh Formation. First, we show the effect of a detachment surface as a whole in a simple diagram. This effect can be balanced, unbalanced or faulty.

4- Results and discussion

In the Parsi oil field and the northwestern region, the high risk of drilling and numerous changes in the Asmari horizon's depth has been associated with increased reservoir quality, expansion of fractures, and an unexpected increase in production nose of the oil reservoir. Figure 2 shows a transverse seismic section of the northwestern nose of the Parsi field.

An interpretation and structural model of deformation is also presented at this point. The image illustrates the detachment effect of Kalhur and the lower Asmari evaporates as an activating agent of a minor thrust fault above the Pabdeh horizon.

5- Conclusion

Parsi Field is a slightly asymmetric NW-SE trending anticline lying in Khuzestan, in the north-central part of the Dezful Embayment, on the southwest edge of the Zagros mountain belt. The Asmari reservoir in the Parsi field comprises various limestone, dolomite, and anhydrite combinations. These deposits form a significant part of the Oligo-Miocene carbonate ramp system. In the Parsi oilfield in the northwestern region, the high risk of

drilling and numerous changes in the Asmari horizon's depth has been associated with increased reservoir quality, expansion of fractures, and an unexpected increase in production nose of the oil reservoir.

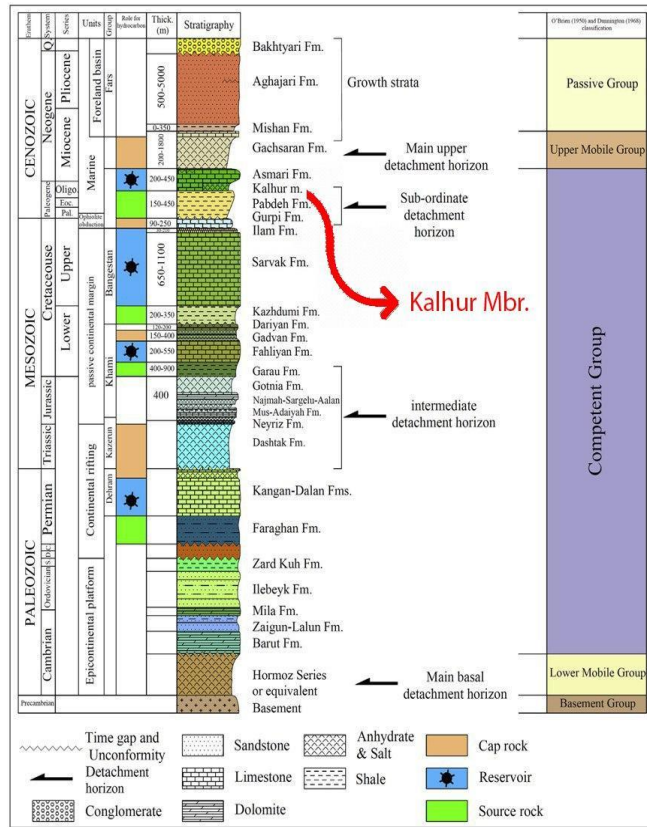


Fig. 1. Stratigraphy column of the Dezful Embayment based on surface and subsurface data. The stiff units are separated by main and sub-ordinate detachment horizons (modified after Abdollahie Fard et al., 2006; Derikvand et al., 2018).

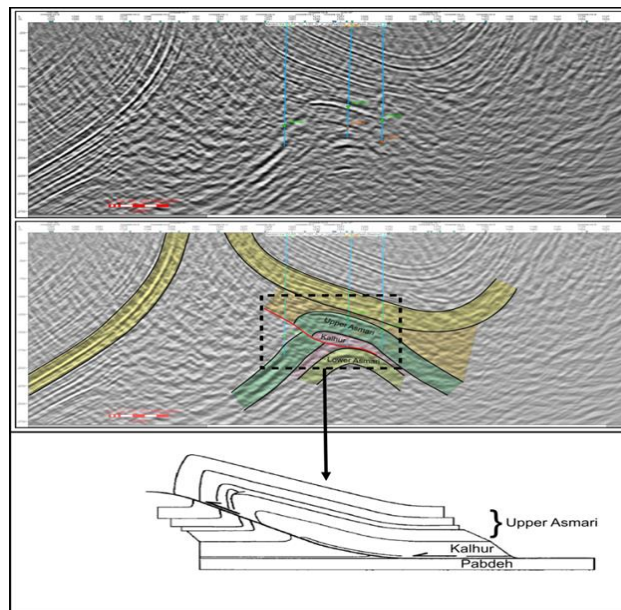


Fig. 2. Transverse seismic cross section in northwestern nose of Parsi field and proposed construction model affected by Kalhur detachment in this area.

For the first time, evidence of the impact of Asmari evaporates on the formation of large structures has been observed. The evaporates of Kalhur are the weakest stratigraphic portion that is directly related to one of the existing reservoirs. Therefore, the Kalhur Member can separate the upper Asmari from the lower Asmari or the upper Asmari from the Pabdeh Formation. The Parsi field's northwestern nose illustrates the detachment effect of Kalhur and the lower Asmari evaporates as an activating agent of a minor thrust fault above the Pabdeh horizon. Therefore, the role of Kalhur in the northern part of the Parsi field can be considered very important, increasing the risk of drilling.

References

- Abdollahi Fard, I., Braathen, A., Mokhtari, M., Alavi, S.A., 2006. Interaction of the Zagros fold thrust belt and the Arabian type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran. *Petroleum Geoscience* 12, 347–362.
- Adams, T., 1969. The Asmari formation of Lurestan and Khuzestan provinces. Iranian Oil Operating Companies, Geological and Exploration Division, Report No. 1154 pp.
- Adams, T., Bourgeois, F., 1967. Asmari Biostratigraphy. Iranian Oil Operating Companies, Geological and Exploration Division, Report No.1074 pp.
- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran, new data and interpretations. *Tectonophysics* 229, 211–238.
- Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of Zagros fold-thrust belt of Iran and proforland evolution. *American Journal of Science* 304,1-20.
- Bahroudi, A., Koyi, H.A., 2003. Effect of spatial distribution of Hormuz salt on deformation style in the Zagros fold and thrust belt: an analogue modelling approach. *Journal of Geological Society of London* 160, 1-15.
- Bahroudi, A., Koyi, H.A., 2004. Tectono-sedimentary framework of the Gachsaran formation in the Zagros Foreland Basin. *Marine Petroleum Geology* 21, 1295-1310.
- Berberian, M., 1995. Master “blind” thrust faults hidden under the Zagros folds: Active basement tectonics and surface tectonics surface morphotectonics. *Tectonophysics* 241, 193-224.
- Berberian, M., King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Science* 18, 210–285.
- Derikvand, B., Alavi, A., Abdollahie Fard, I., Haji Ali Beigi, H., 2018. Folding style of the Zagros foreland and foredeep: signatures of detaching horizons, deep-rooted faulting and syn-deformation deposition. *Marine Petroleum Geology* 91, 501–518.
- Derikvand, B., Alavi, A., Abdollahie Fard, I., Jalali, L., 2019. Changing in fold geometry from faulted detachment fold to fault-bend fold, a case study: The Zeloï Anticline in the Dezful Embayment, southwest of Iran. *Petroleum Science and Engineering* 173, 381–401.
- Falcon, N.L., 1974. Southern Iran: Zagros Mountains. In: Spencer, A. (Ed.), *Mesozoic-cenozoic Orogenic Belts*. Geological Society of London Special Publications 4, pp.199–211.
- Jackson, J., Hains, J., Holt, W., 1995. The accommodation of Arabia-Eurasia plate convergence in Iran. *Journal of Geophysical Research* 100, 15-19.
- James, G.A., Wynd, J.G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil-Consortium Agreement Area. *AAPG Bull* 49(12), 2182–2245.
- Sherkati, S., Molinaro, M., de Lamotte, D.F., Letouzey, J., 2005. Detachment folding in the central and eastern Zagros fold-belt (Iran): salt mobility, multiple detachments and final basement control. *Journal of Structural Geology* 27, 1680–1696.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. *American Association of Petroleum Geology Bulletin* 52, 1229–1258.
- Thomas, A.N., 1948. The Asmari Limestone of southwest Iran, ALOC Report No. 706 (unpublished).

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Ghanavati, K., Rezaee, P., Shabafrooz, R., 2022. The role of Kalhur evaporate member of Asmari Formation in the structural evaluation of the Parsi oil field in the North Dezful Embayment, Zagros region, SW Iran. *Adv. Appl. Geol.* 12(1), 128-143.

DOI: 10.22055/AAG.2021.35032.2164

url: https://aag.scu.ac.ir/article_16803.html?lang=en

نقش بخش تبخیری کلهر سازند آسماری در تکامل ساختاری میدان نفتی پارسی، شمال فروافتادگی دزفول، منطقه زاگرس، جنوب غرب ایران

کیارش قنواتی

گروه زمین شناسی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

پیمان رضائی*

گروه زمین شناسی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

روح الله شب افروز

اداره زمین شناسی، بخش مطالعات، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۰

*p.rezaee@hormozgan.ac.ir

چکیده

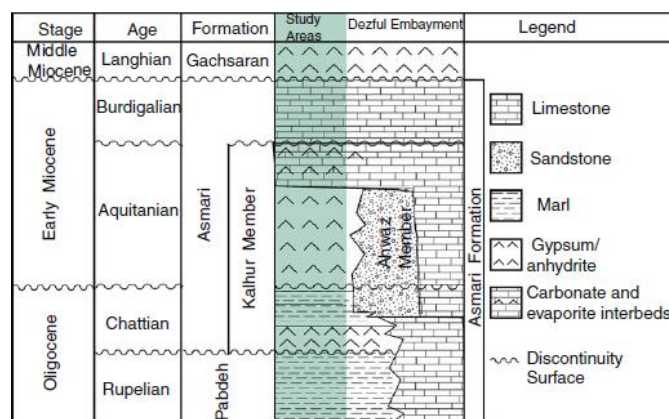
فروافتادگی دزفول مهمترین ایالت نفتی حاصلخیز از کمربند چین خورده - تراستی زاگرس است. در این منطقه چندین افق نامقاوم به عنوان سطح جدایشی اصلی و فرعی وجود داشته که نقش مهمی در شکل گیری فرمهای مختلف ساختارهای زمین شناسی و نحوه حفظ هیدروکربن را بازی می کنند. رسوبات الیگو - میوسن سازند آسماری مهمترین مخزن نفت در کمربند چین خورده زاگرس در جنوب غربی ایران محسوب می شود. بخش تبخیری کلهر به سن اکی تانین از سازند آسماری در میداین شمال فروافتادگی دزفول نهشته شده است. بر اساس تفسیر مشخصات لرزه‌ای، تأثیر عضو تبخیری کلهر سازند آسماری در تغییر شکل هندسه ساختارهای زمین شناسی در قسمتهای مختلف فروافتادگی دزفول شمالی مشهود می باشد. در این تحقیق، تأثیر افق های جدایشی کلهر بر سبک خمش ساختار میدان نفتی پارسی با استفاده از داده های لرزه نگاری و اطلاعات زیرسطحی بررسی شده است. میدان پارسی تاقدیس کمی متقارن با راستای شمالغرب - جنوب شرق می باشد که در خوزستان، در لبه جنوب غربی کمربند کوهزایی زاگرس در قسمت مرکزی شمال فروافتادگی دزفول قرار دارد. مخزن آسماری در میدان پارسی شامل ترکیبات مختلف سنگ آهک، دولومیت و انیدریت است. این رسوبات قسمت عمده یک سیستم رمپ کربناته زمان الیگومیوسن را تشکیل می دهند. تعیین تغییرات هندسه در اعماق مختلف مخازن نفتی، عدم قطعیت اکتشاف نفت را کاهش می دهد. تغییر ضخامت افق جدایشی کلهر، عامل اصلی تغییرات هندسی سازند آسماری در میدان پارسی بحساب می آید. توجه به این نکته مهم است که تبخیرهای کلهر ضعیف ترین بخش چینه‌ای است که به طور مستقیم با یکی از مخازن موجود در ارتباط است. در دماغه شمال غربی میدان پارسی، اثر جدایشی کلهر و تبخیرهای قاعده آسماری به عنوان عامل فعال کننده یک گسل رانش جزئی بالاتر از افق پایده نشان داده شده است، بنابراین نقش کلهر در قسمت شمالی میدان پارسی در افزایش ریسک حفاری بسیار مهم تلقی می شود.

کلمات کلیدی: فروافتادگی دزفول، تاقدیس پارسی، بخش تبخیری کلهر، سطح جدایشی

مقدمه

بخش های سازند آسماری در نظر گرفتند. تحقیقات دیرین شناسی توسط بهرامی (Bahrami, 2000) و نایبی (Nayebi, 2003) سن میوسن اولیه را برای بخش تبخیری کلهر تعیین کرد، زمانی که حوضه از دریای آزاد جدا شد (James and Wynd, 1965; Adams and Bourgeois, 1967; Adams, 1969; Kavooosi and Sherkati, 2012). انیدریت قاعده آسماری در فروافتادگی دزفول و مناطق ایزده مشاهده می شود. ضخامت و گسترش جانبی انیدریت قاعده ایی نشان می دهد که این رسوبات دریایی بوده که در حوضه های جدا شده از شوری تشکیل شده اند (Kavooosi and Sherkati, 2012).

میدان پارسی تاقدیس نسبتاً ساده ای است که تا حدودی نامتقارن بوده و جهت آن به سمت شمال غرب - جنوب شرق می باشد. طول این میدان ۳۶ کیلومتر و عرض آن ۷ متر است و در خوزستان و لبه جنوبی کمربند چین خورده زاگرس، در شمال بخش مرکزی فروافتادگی دزفول واقع شده است. سازند آسماری در مقطع تیپ خود ۳۱۴ متر ضخامت دارد که عمدتاً از سنگ آهک، دولومیت بهمراه مارن / شیل بصورت جزئی و همچنین لایه های تبخیری تشکیل شده است. توماس (Thomas, 1948) سن اولیگوسن - بوردیگالین را برای سازند آسماری پیشنهاد کرد (شکل ۱). جیمز و ویند (James and Wynd, 1965) ماسه سنگ اهواز و تبخیرهای کلهر را به عنوان



شکل ۱- نامگذاری شوماتیک چین‌نگاری و واحدهای سنگ چینه‌ای مورد مطالعه در طول الیگوسن - میوسن کمربند چین خورده زاگرس. اصلاح شده پس از James و Wynd (۱۹۶۵) و Buchemet و همکاران (۲۰۱۰).

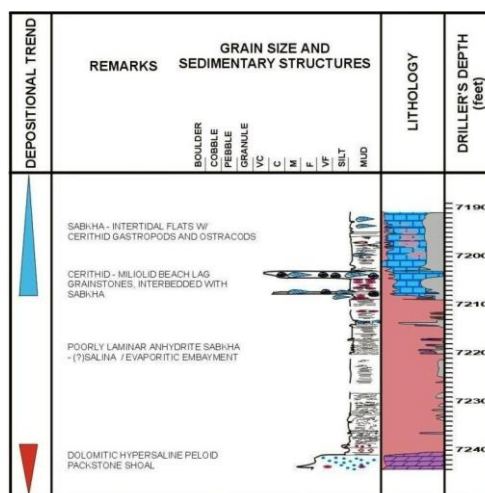
Fig. 1. Schematic stratigraphic nomenclature and lithostratigraphic units of the study areas during Oligocene – Miocene of Zagros fold–thrust belt. Modified after James and Wynd (1965) and van Buchemet al. (2010).

ماسه به‌مراه سیلت کوارتزی بصورت جزئی وجود داشته، همچنین لایه‌های شیل ضخیم گاهی اوقات در قسمت‌های پایین توالی رسوبی آسماری گسترش دارد. این رسوبات بخش عمده‌ای از سیستم رمپ کربناته اولیگو - میوسن را تشکیل می‌دهند. با این حال، توسعه ریف، که عمدتاً در قسمت‌های میانی توالی فوق گسترش دارد، ممکن است افزایش شیب دور از ساحل و در بعضی مواقع تشکیل اولیه سیستم سکوه‌های حاشیه‌ای را نشان دهد.

تعداد کمی از چاه‌های میدان نفتی پارسی دارای داده‌های مغزه هستند (مغزه‌های چاه‌های پارسی ۱۹ و پارسی ۳۳ همراه با توصیفات سنگ شناسی موجود در میدان پارسی) منبع اصلی تفسیر محیط رسوبی بوده است. تجزیه و تحلیل نمودارهای الکتریکی نیز در درک بهتر رخساره‌های مختلف سنگی در میدان پارسی مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۲).

بخش تبخیری کلهر یکی از معدود رسوبات تبخیری است که مستقیماً در یک سازند نفتی (آسماری) در فروافتادگی دزفول قرار دارد. با توجه به اهمیت حفاری در رسیدن به ستون نفتی مخزن، تغییر در ضخامت این افق در دستیابی به نقطه ورود مناسب برای تولید از مخزن آسماری بسیار مهم است. با توجه به داده‌های به دست آمده از حفر چاه‌های مختلف در میادینی همچون پارسی، زیلویی، چنگوله و لالی، تغییر در ضخامت عضو تبخیر کلهر در چاه‌های مجاور یکدیگر غیر منتظره نیست. شناسایی ماهیت چین‌نگاری و تکتونیک این تغییرات تا حد زیادی به کاهش خطر حفاری در این وضعیت کمک شایانی می‌کند. برای ایجاد درک صحیح از ماهیت این تغییرات، از بخش‌های مختلف لرزه‌ای در زمینه پارسی استفاده شده است.

سازند آسماری در میدان پارسی شامل ترکیبات مختلفی از سنگ آهک، دولومیت و انیدریت است. در قسمت‌های بالایی آسماری دانه‌های



شکل ۲- توسعه محیط سبکا / سالینا در قاعده آسماری، بخش تبخیری کلهر در چاه پارسی ۱۹.

Fig. 2. PR-19, sabhka / salina development associated with base of Asmari FM., Kalhur evaporite member.

بالارود و کازرون منطبق می‌باشد. زاگرس مرکزی از شمالغرب به جنوبشرق به بخشهای زاگرس مرتفع، زون ایدزه و فروافتادگی دزفول تقسیم می‌شود.

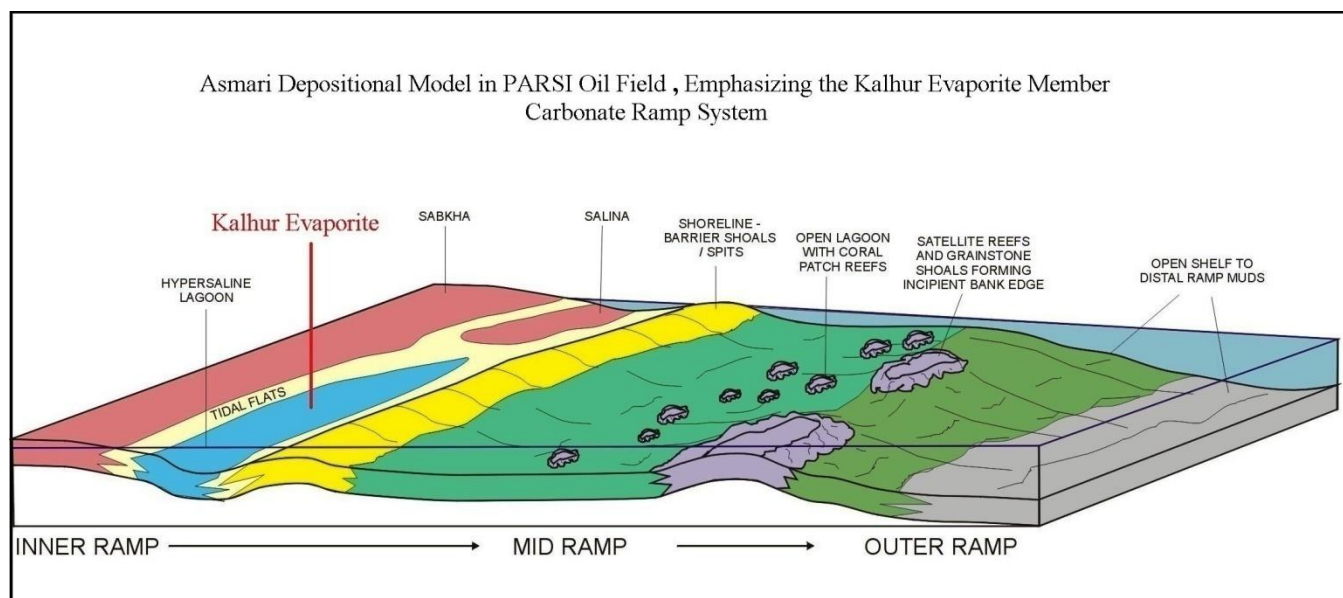
راستاهای غالب ساختمانی در کمربند زاگرس به دو بخش قابل تقسیم است: دسته اول ساختمان‌های شمالی جنوبی که قدیمی‌تر بوده و در ارتباط با گسل‌های پی سنگی می‌باشند و دسته دوم ساختمان‌های شمال غرب - جنوب شرقی که در ارتباط با چین خوردگی زاگرس (میوسن میانی) هستند و بر روی ساختمان‌های قدیمی تر شکل گرفته‌اند. بربریان (Berberian, 1995) تحولات زمین‌ساختی این منطقه را به صورت خلاصه به ترتیب زیر بیان کرده است: یک فاز پلاتفرمی در پالئوزوئیک، ریفت شدگی در پرموتریاس، تشکیل حاشیه قاره‌ای غیر فعال (با گسترش بستر دریا به سمت شمال شرق) در ژوراسیک و اوایل کرتاسه، فرورانش به سمت شمال شرق و جایگیری افیولیت و رادیولیت در اواخر کرتاسه و در نهایت برخورد قاره - قاره و کوتاه‌شدگی در زمان نئوژن. همچنین لتوزی (Letouzey et al., 1995) با ارائه مدل تکاملی معتقداند سری ضخیم رسوبی در زاگرس، تاریخچه پیچیده تکتونیکی این منطقه را در خود حفظ نموده است، که معرف تمام مراحل تکامل یک حوضه از فلات قاره غیر فعال تا ریفت و نهایتاً مرحله پایانی تغییر شکل در ارتباط با فرایش افیولیت‌ها و برخورد قاره‌ای است.

ماهیت عمومی همه اطلاعات موجود در مجاورت ساختار پارسی بیانگر این مسئله است که دریای کم عمق با شیب ملایم و نسبتاً گسترده در منطقه‌ای وسیع که گردش آب دریا در آن محدود بوده است و در مواقعی کاملاً جدا از دریای آزاد حاکم بوده است. همچنین محیط دریای آزاد عمیق تر محیطی نسبتاً آرام بوده است (شکل ۳). حداکثر شیب کف حوضه احتمالاً بیشتر از دو درجه نبوده است. البته بجز چند متر حاشیه کربناتهای سدی و کانالهای جزر و مدی.

جایگاه تکتونیکی و زمین‌شناسی ناحیه‌ایی

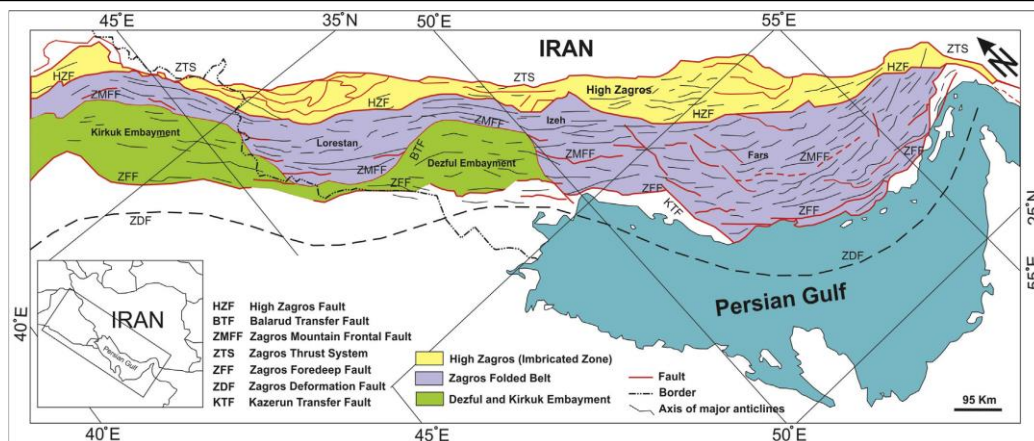
کمربند چین خورده - رانده زاگرس، به صورت سلسله جبال با امتداد شمال غرب - جنوب شرق در بخش میانی کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا قرار دارد که از جنوب شرق گسل آناتولی شرقی در شمال شرق ترکیه شروع شده و با طول حدود ۱۸۰۰ کیلومتر، سرتاسر شمال عراق و جنوب غرب ایران را در بر می‌گیرد و تا تنگه هرمز که با تغییر روند شمالی - جنوبی خود توسط گسل میناب از منشورهای به هم افزوده پهنه مکران جدا می‌شود، ادامه می‌یابد.

کمربند کوهستانی زاگرس به چندین منطقه تقسیم شده است (شکل ۴) که با توجه به سبک ساختاری و تاریخچه رسوبی آنها صورت گرفته است (Berberian and King, 1981; Falcon, 1974; Stocklin, 1968; Motiee, 1994). مرزهای شمال غربی و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه (زاگرس مرکزی) به ترتیب با گسل‌های



شکل ۳ - مدل رسوبی سازند آسماری در میدان پارسی با تاکید بر بخش تبخیری کلهر در یک سیستم رمپ کربناته.

Fig. 3. Asmari depositional model in Parsi field, emphasizing the Kalhur evaporate member in carbonate ramp system.



شکل ۴ - جایگاه ساختاری و زیرمجموعه های تکتونیکی کمر بند چین خورده - رانشی فعال زاگرس در جنوب غربی ایران و شمال شرقی عراق. همچنین موقعیت چندین گسل عمده و محورهای تاقدبسهایی بزرگ در حوضه پیش خشکی کمر بند کوهزایی زاگرس نشان داده شده است. اصلاح شده بعد از Pirouz و همکاران (۲۰۱۱).

Fig. 4. Structural setting and tectonic subdivisions of the Zagros active fold - thrust belt in the southwest of Iran and northeast of Iraq. Also indicated are the positions of several major faults and axes of major anticlines in foreland basin of the Zagros mountain belt. Modified after Pirouz et al. (2011).

تمام بخش های کمر بند چین خورده رانده زاگرس نیست (Sherkati and Letouzey, 2004).

در شکل ۵ خصوصیات مختلفی از لایه های نامقاوم در ستون چینه-ای زاگرس که می توانند به عنوان سطح جدایش عمل کنند نمایش داده شده است. در این بخش از مطالعه ستون دوم از سمت راست که نمایشگر خصوصیات مکانیکی سازند برای ما مهم است چرا که این خصوصیات نهایتاً منتج به پاسخ سینماتیک سازند در طی مراحل دگرریختی خواهد شد. با دقت در این شکل به وضوح مشخص است که تنها سه افق مکانیکی بسیار ضعیف (مستعد عملکرد جدایشی شدید) در ستون چینه ای زاگرس وجود دارد که عبارتند از گچساران، هرمز و کلهر. و توجه به این نکته ضروری است که از این بین تبخیرهای کلهر تنها بخش چینه ای بسیار ضعیف هستند که مستقیماً با یکی از مخازن موجود در ارتباط می باشند.

مطالعات اخیر در مورد کرنشهای اکتانین، اهمیت لایه های تبخیری کلهر را به عنوان پوش سنگ فرعی مخازن نفتی مورد تایید قرار داده است (Kavoosi and Sherkai, 2012). علاوه بر این، تبخیرها می-توانند کنترل شدیدی بر توزیع و هندسه سازه های حوضه های رسوبی اعمال کنند (Jackson et al., 1995). سپهر و کاسگرو (Sepehr and Cosgrove, 2004) مشاهده کردند که وجود نمک غلیظ در قاعده پوشش رسوبی در منطقه فارس منجر به انتشار نسبتاً سریع تغییر شکل از منطقه برخورد به سمت جنوب غربی شده است. بنابراین، وجود چندین سطح جداشده ثانویه در حوضه زاگرس، هندسه چین را پیچیده می کند و در صورت عدم وجود داده های زیرسطحی، دشواری فراوانی در برون یابی هندسه ساختار در عمق را توضیح می دهد (Sherkati et al., 2006). در نتیجه، وجود طبقات تبخیری نقش مهمی در تکامل ساختاری کمر بند چین خورده - رانشی زاگرس دارد.

چینه شناسی مکانیکی

تکامل ساختاری سامانه چین خوردگی گسلش در کمر بند چین خورده - رانده زاگرس به چینه شناسی، ویژگی مکانیکی سنگ ها و دوام و شدت دگرشکلی بستگی دارد (Sherkati et al., 2005; Sepehr and Cosgrove, 2005; Emami et al., 2008). از این میان ویژگی مکانیکی سنگ ها و سطوح جدایش تأثیر بسیار مهمی را بر هندسه نهایی ساختارها و جنبش سامانه گسل های رانده ای دارد (Bahroudi and Koyi, 2003). این جدایش ها سربهای رسوبی را به واحدهای چینه ای ساختاری جدا از هم تقسیم می کنند که هر کدام از آنها به شکل متفاوتی تحت تأثیر کوتاه شدگی قرار می گیرند.

O'Brien (۱۹۵۰، ۱۹۵۷) اولین کسی بود که نقش و اهمیت چینه شناسی مکانیکی را در زاگرس تأکید کرد. وی ستون چینه شناسی زاگرس را از دیدگاه ویژگی های مکانیکی واحدهای چینه ای و رفتار رسوبات حین دگرشکلی به پنج گروه تقسیم بندی کرد (شکل ۵):

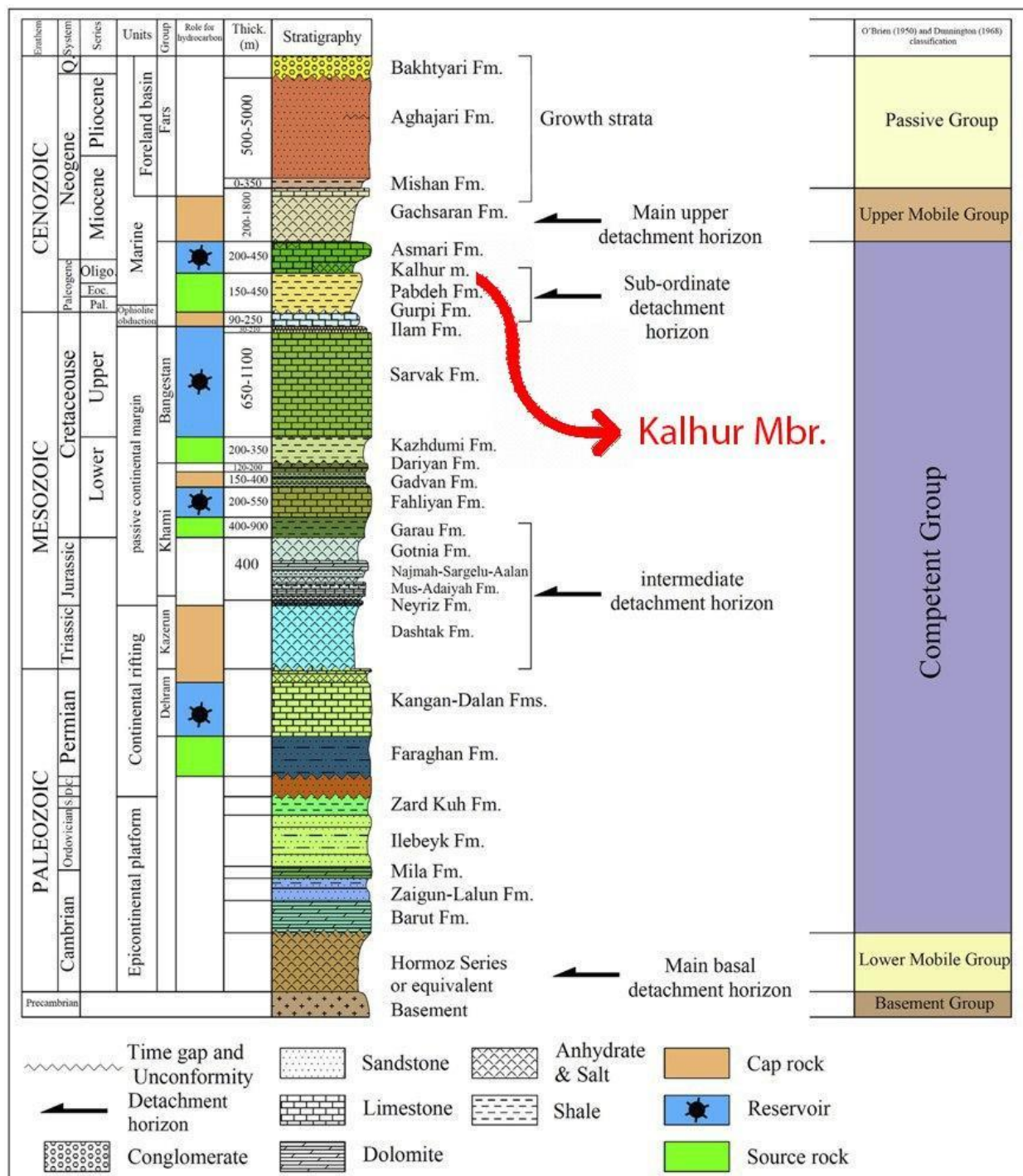
۱ - گروه پی سنگی (پی سنگ بلورین پان افریکن)
 ۲ - گروه متحرک پایینی (نمک هرمز به سن پرکامبرین پسین - کامبرین)

۳ - گروه مقاوم (کامبرین تا رسوبات سکویی میوسن پایینی)

۴ - گروه متحرک بالایی (نمک میوسن یا سازند گچساران)

۵ - گروه نامقاوم (میوسن تا ملاس های اخیر شامل سازندهای میشان، آغاچاری و بختیاری)

این تقسیم بندی اولیه به همراه سبک چین خوردگی هم مرکز در دهه های ۵۰ و ۶۰ میلادی اساس کار بسیاری از زمین شناسان در رسم مقاطع ساختمانی اولیه در این ستون بخشهای مختلف کمر بند زاگرس قرار گرفت ولی اطلاعات جدید زمین شناسی در زاگرس نشان دهنده این مطلب است که این تقسیم بندی بر خلاف مفید بودن، قابل تعمیم به



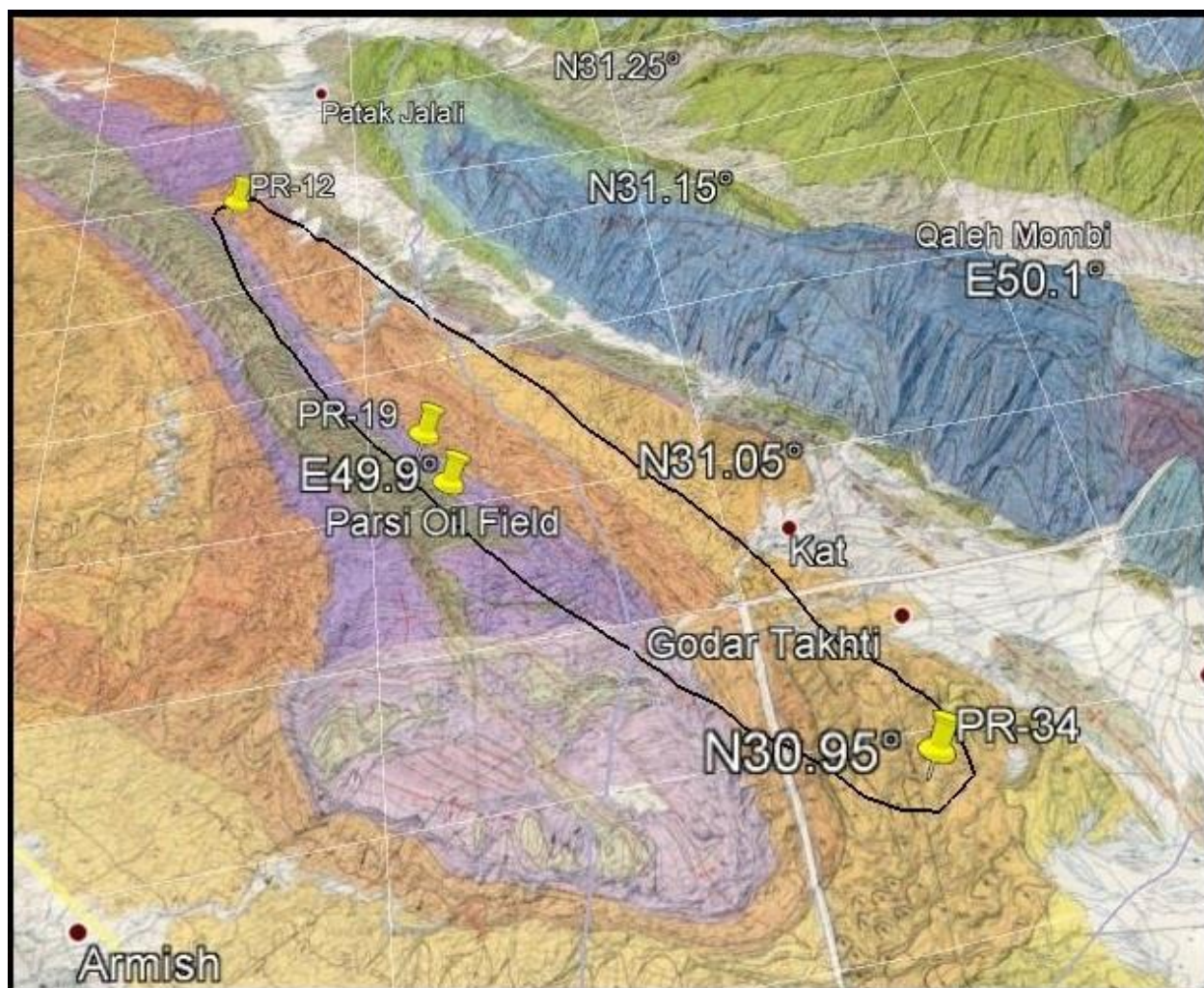
شکل ۵ - ستون چیننه نگاری فروافتادگی دزفول بر اساس داده های سطحی و زیر سطحی. واحدهای مقاوم توسط افق های جدانشدگی اصلی و فرعی از هم جدا می شوند (اصلاح شده بعد از AbdollahiFard و همکاران ۲۰۰۶ و Derikvand و همکاران ۲۰۱۸).

Fig. 5. Stratigraphy column of the Dezful Embayment based on surface and subsurface data. The stiff units are separated by main and sub-ordinate detachment horizons (modified after Abdollahie Fard et al., 2006; Derikvand et al., 2018).

روش کار و بحث

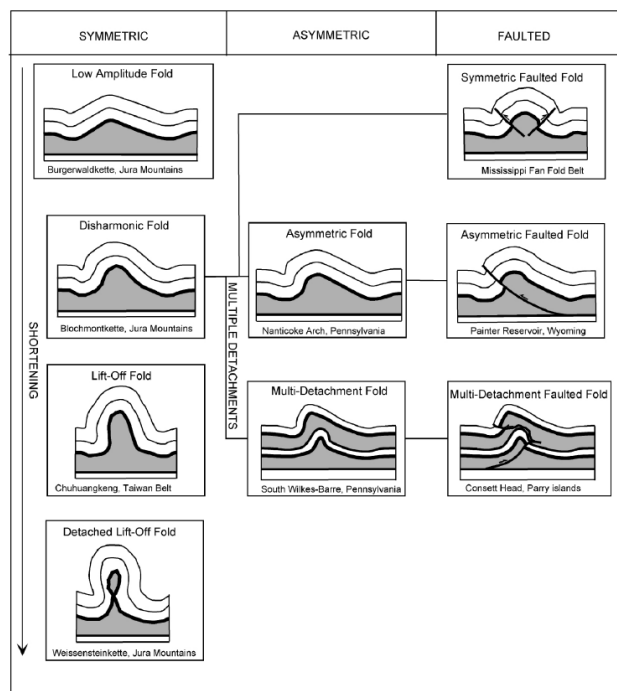
در این تحقیق از چهار مجموعه داده استفاده می شود: ۱. نقشه‌های زمین‌شناسی، ۲. مشاهدات میدانی، ۳. داده‌های لرزه‌ای و ۴. داده‌های چاه. داده‌های چاه و مشخصات لرزه‌ای توسط شرکت ملی نفتخیز جنوب ایران تهیه شده است. اطلاعات سطحی از مشاهدات میدانی و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بدست آمد. از داده‌های لرزه‌ای سه بعدی برای تشخیص سبک چین خوردگی تاقدیس میدان نفتی پارسی استفاده شد. افق تفسیر توسط داده‌های ۸۲ چاه پشتیبانی می شود. بیشتر چاه‌های که در سازند آسماری حفر شده‌اند (شکل ۶) اکنون عملکرد تکتونیکی سازند کلهر را بدون در نظر گرفتن جایگاه آن در ستون چین‌های سازند آسماری را بررسی می‌کنیم که می‌تواند حد جدا کنند آسماری بالایی از آسماری زیرین و یا حد جدا کنند آسماری از پایه باشد.

ابتدا اثر یک سطح جدایشی را به صورت کلی در یک دیاگرام ساده نمایش داده‌ایم. این اثر می‌تواند متوازن، نامتوازن یا گسله رخ دهد. بر اساس شکل ۷ پاسخ افق آسماری به سطح جدایشی کلهر می‌تواند با تشکیل چین جدایشی با شیب یکسان در یالها و سپس با افزایش شیب در یک یال و در نهایت با یک ساختار گسل تراستی ادامه یابد. بررسی‌های اولیه از محدودی تحت رسوبگذاری بخش کلهر نشان دهنده گسترش این بخش به صورت عمده در جنوب گسل پیشانی کوهستان و جنوب گسل بالارود در فروافتادگی دزفول شمالی است. بنابراین در یک دید مقدماتی و از دیدگاه ساختاری می‌توان پیشانی گسل‌های پی سنگ در مرزهای فروافتادگی دزفول شمالی را محدودی حضور تبخیر کلهر دانست و بر اساس این الگوی مقدماتی محدودی تاثیر ساختاری کلهر را در شکل ۸ نمایش داد.



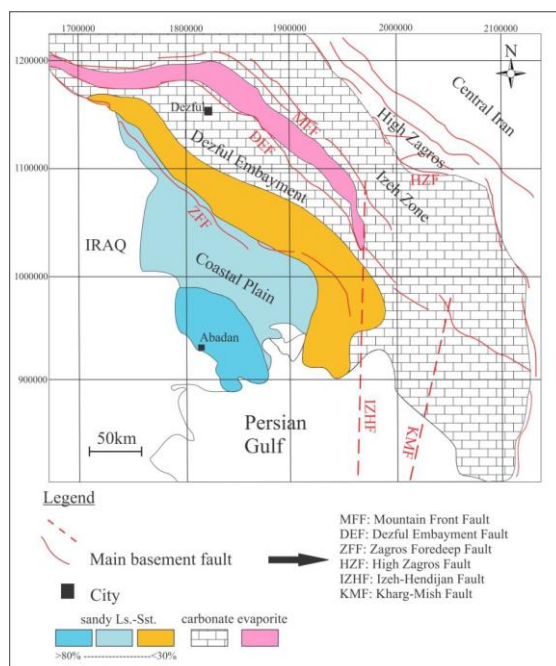
شکل ۶ - موقعیت میدان نفتی پارسی بر روی نقشه زمین شناسی با استفاده از نرم افزار گوگل ارث.

Fig. 6. Parsi oil field location on the geological map using Google Earth software.



شکل ۷ - تکامل ساختاری در یک لایه مقاوم همانند آسماری متأثر از سطوح جدایش لغزشی میانی مانند کلهر در نمونه های واقعی مشاهده شده در سطح زمین (Kamal Hkarim et al., 2014).

Fig. 7. Structural evolution in a resistive layer such as Asmari affected by mid-slip segregation surfaces such as Kalhur in real samples observed at ground level (Kamal Hkarim et al., 2014).



شکل ۸ - نقشه جغرافیای دیرینه زاگرس در زمان میوسن پیشین (اکی تائین) (James and Wynd, 1965; Berberian and King, 1981; Motiei, 1993; Ahmadvad et al., 2007).

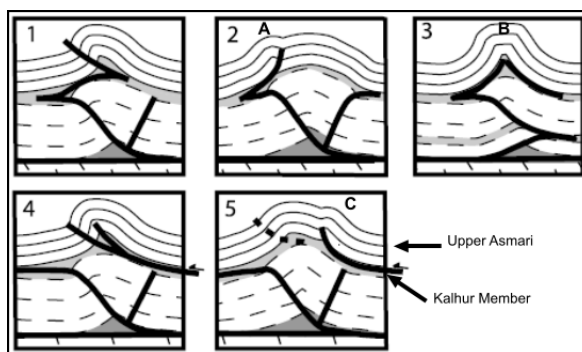
Fig. 8. Paleogeographical maps in the Central Zagros at Lower Miocene (Aquitanian; James and Wynd, 1965; Berberian and King, 1981; Motiei, 1993 ; Ahmadvad et al., 2007).

است. تصویر گویای اثر جدایشی کلهر و تبخیریهای آسماری زیرین به عنوان عامل فعال کنند یک گسل تراستی فرعی در بالای افق پاینده است.

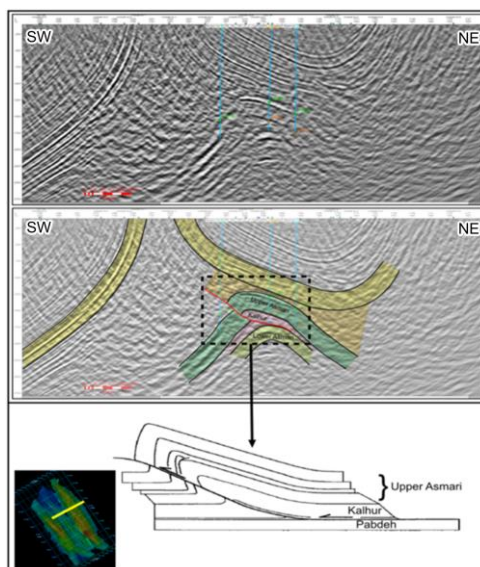
چگونگی تکامل این گسل در شکل ۱۱ آمده است. در مرحله اول فشار تکتونیکی با شروع لغزش در افق کلهر و روی راس سازند پاینده همراه بود و در مرحله بعد گسترش لغزش با تراکم ساختاری در یال جنوبی ساختمان در افق آسماری همراه گردیده است. در این مرحله زون مثلی تراکم شکستگی (Trishare) در بالای نوک گسل تراستی شکل گرفته است و در نهایت گسل به سمت آسماری بالایی انتشار یافته است. درک این مدل از آنجا دارای اهمیت است که این زون خرد شده در آسماری میانی حتی در مرکز ساختمان با حداکثر دگرریختی نیز وجود ندارد و تنها در اثر فعالیت کلهر در دماغه شمال غربی ایجاد گشته است. از طرفی چنانچه در مقطع لرزه‌ای مشاهده می‌گردد افق‌های بنگستان نقشه‌های ساختاری زیر سطحی مشابه با آسماری نخواهند داشت.

تصویر ۸ نمایانگر تمایل گسترش افق تبخیری کلهر به گسل‌های اصلی تشکیل دهنده مرزهای غربی و شمالی فروافتادگی دزفول شمالی است بنابراین با اقتباس از تصویر شماره ۷ می‌توانیم به دنبال مدل‌هایی با دگرریختی و کوتاه شدگی شدیدتر باشیم که ما را به مدل گسلی می‌رساند. مدل گسلی تکامل ساختاری حاصل از یک لایه جدایش میانی در طی چین خوردگی مرتبط با گسل حاصل از این لایه را در شکل ۹ بسط داده شده است.

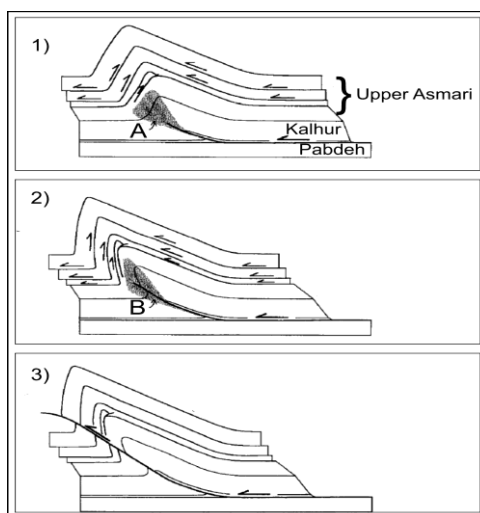
اکنون به تأثیر افق جدایشی کلهر در ساختار زیرسطحی مخزن آسماری در میدان نفتی پارس در فروافتادگی دزفول پرداخته می‌شود. در میدان پارس و در محدوده دماغه شمال غربی ریسک بالای حفاری و تغییرات متعدد عمق ورود به چاه‌ها در افق آسماری با افزایش کیفیت مخزنی و گسترش شکستگی‌ها و افزایش تولید خارج از حد انتظار در دماغه یک مخزن نفتی همراه گشته است. در شکل ۱۰ یک مقطع لرزه-ای عرضی از دماغه شمال غربی میدان پارس نمایش داده شده است. تفسیر و مدل ساختاری دگرریختی موجود در این مقطع نیز ارائه شده



شکل ۹- تکامل ساختاری حاصل از یک لایه جدایش میانی در طی چین خوردگی مرتبط با گسل حاصل از این لایه (Sherkati et al., 2006).
 Fig. 9. Structural evolution obtained from a middle detachment layer during the fault-related folding of this layer (Sherkati et al., 2006).



شکل ۱۰- مقطع لرزه‌ای عرضی در دماغه شمال غربی میدان پارس و مدل ساختمانی پیشنهادی متأثر از جدایش کلهر در این محدوده.
 Fig. 10. Transverse seismic cross section in northwestern nose of Parsi field and proposed construction model affected by Kalhur detachment in this area.



شکل ۱۱- مدل تکامل افق جدایش میانی در بخش کلهر و گسترش چین خوردگی در آسماری بالایی.

Fig. 11. Model of the evolution of the intermediate detachment horizon in the Kalhur member and the extension of folding in upper Asmari.

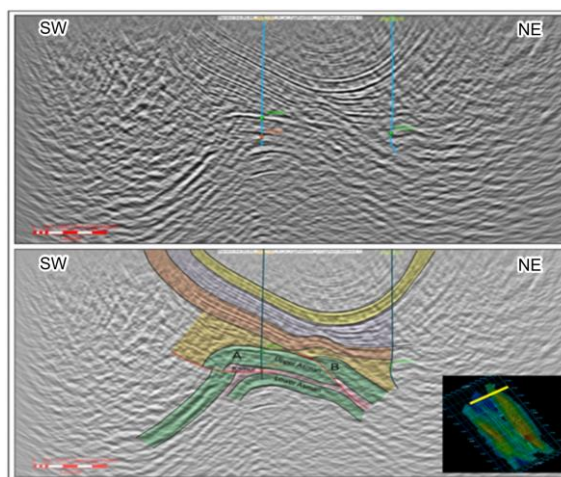
دماغه جنوب شرقی میدان ماماتین را ایجاد کرده است (a). این مدل ساختاری ممکن است در کل محدوده میدان ماماتین حکمفرما بوده و به نوعی عامل اصلی شکل‌گیری میدان ماماتین بوده باشد.

در ادامه این روند ساختاری به سمت میدان ماماتین مقطع دیگری در شکل ۱۳ نمایش داده شده که چگونگی ایجاد ساختاری ماماتین در دماغه‌های آن راه صورت یک چین لغزشی بر روی یال شمالی میدان پارسی را نمایش می‌دهد.

چنانچه یال شمالی پارسی را به عنون سطح لغزش افقی فرض کنیم مکانیسم عمل بخش تبخیری کلهر بیشتر مشخص خواهد شد (شکل ۱۴). بنابراین نقش کلهر در یال شمالی میدان پارسی را می‌توان در افزایش ریسک حفاری بسیار با اهمیت دانست.

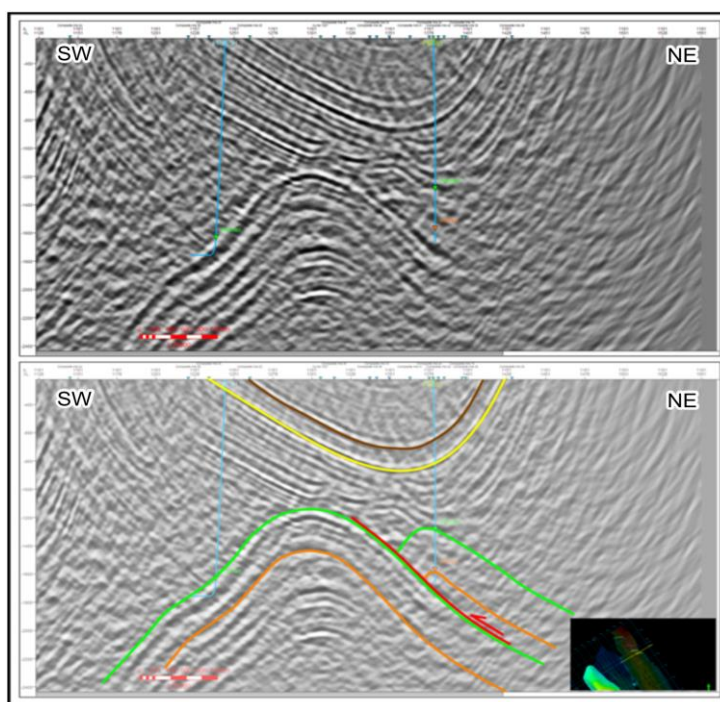
شکل‌گیری هسته اولیه ساختارها روی افق‌های جدایشی یکی از فراوانترین مدل ساختاری جهت تشکیل میادین نفتی است چنانچه اکثر تاقدیس‌های زاگرس روی افق‌های جدایشی هرمز، گروه کازرون، تبخیریه‌های ژوراسیک و سکانس پابده - گورپی، شکل گرفته‌اند، برای نخستین بار شواهدی از تاثیر تبخیری‌های آسماری در شکل‌گیری ساختمان‌های بزرگ مشاهده گردیده است.

در شکل ۱۲ یک مقطع لرزه‌ای عرضی از دماغه شمال غربی میدان پارسی نمایش داده شده است. افق آسماری میدان پارسی خود متاثر از افق تبخیری کلهر گسل خورده است (b) و به نظر می‌رسد قفل شدگی ساختاری در این گسل با انتقال دگرریختی به سمت یال شمالی همراه گشته و یک گسل دیگر روی سطح جدایش کلهر ایجاد گشته است که



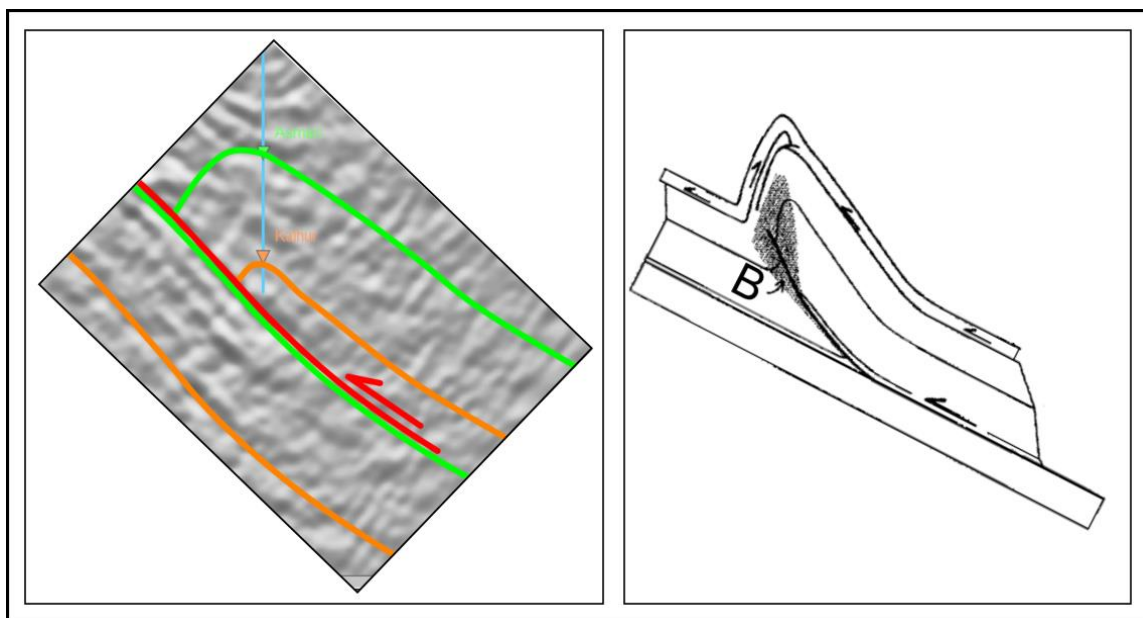
شکل ۱۲- مقطع لرزه‌ای عمود بر محور در دماغه شمال غربی میدان پارسی (a) و دماغه جنوب شرقی میدان ماماتین (b)، تصویر بیانگر شروع شکل‌گیری دماغه میدان ماماتین بر روی افق جدایشی کلهر می‌باشد.

Fig. 12. Perpendicular seismic cross section in northwestern nose of Parsi field and southeast nose of Mama tin field. The image shows the beginning of the formation of the nose of Mamatin field on the detachment horizon of Kalhur.



شکل ۱۳- مقطع لرزه‌ای عمود بر محور در دماغه شمال غربی میدان پارسی و دماغه جنوب شرقی میدان ماماتین، تصویر بیانگر شکل گیری ساختار ماماتین در اثر عملکرد سطح جدایشی کلهر می باشد.

Fig. 13. Perpendicular seismic cross section in northwestern nose of Parsi field and southeast nose of Mamatin field, the image shows the formation of Mamatin structure due to the performance of the Kalhur detachment surface.



شکل ۱۴- اثر افق تبخیری کلهر در یال شمالی میدان پارسی که با گسترش دماغه های میدان ماماتین همراه گشته است.

Fig. 14. Effect of the Kalhur evaporative member on the northern limb of the Parsi field, which has been accompanied by the expansion of the Mamatain field flanks.

نتیجه گیری

میدان پارسی تاقدیس نسبتاً ساده ای است که تا حدودی نا متقارن بوده و جهت آن به سمت شمال غرب - جنوب شرق می باشد. سازند آسماری در میدان پارسی شامل ترکیبات مختلفی از سنگ آهک، دولومیت و انیدریت است. این رسوبات بخش عمده ای از سیستم رمپ کربناته لیگو - میوسن را تشکیل می دهند.

در این تحقیق شواهدی از تأثیر بخش تبخیری کلهر از سازند آسماری در شکل گیری ساختارهای بزرگ نفتی مشاهده شده است. تبخیریهای کلهر تنها بخش چینه ای بسیار ضعیفی هستند که مستقیماً با یکی از مخازن موجود (مخزن آسماری) در ارتباط می باشند. عضو کلهر می تواند آسماری فوقانی را از آسماری میانی یا آسماری میانی را از سازند پایده جدا کند.

مدل ساختاری دگرریختی موجود در دماغه شمال غربی میدان پارسی گویای اثر جدایشی کلهر و تبخیریهای آسماری زیرین به عنوان عامل فعال کنند یک گسل تراستی فرعی در بالای افق پایده است. در این محدوده ریسک بالای حفاری و تغییرات متعدد عمق ورود به چاهها

در افق آسماری با افزایش کیفیت مخزنی و گسترش شکستگیها و افزایش تولید خارج از حد انتظار در دماغه یک مخزن نفتی همراه گشته است. همچنین برای نخستین بار شواهدی از تأثیر تبخیریهای کلهر در شکل گیری ساختمانهای بزرگ مشاهده گردیده است بطوریکه در یال شمالی میدان پارسی با انتقال دگرریختی و ایجاد یک گسل دیگر بر روی سطح جدایش کلهر باعث شکل گیری میدان جدیدی بنام ماماتین گشته است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می دانند از معاونت زمین شناسی شرکت نفت مناطق نفتخیز جنوب بخاطر مجوز انتشار مشخصات لرزه ای در این مطالعه تشکر و قدردانی کنند. همچنین از جناب آقای مهندس علی ارزانی و دکتر عبدالرضا باوی عویدی بیاس همکاری و راهنماییهای ارزنده ایشان کمال تشکر را داریم. همچنین از سرکار خانم سیده اکرم جویباری دانشجوی دکتری رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی دانشگاه هرمزگان به پاس کمک به بهبود نگارش مقاله تشکر و قدردانی می نماییم.

منابع

- Abdollahi Fard, I., Braathen, A., Mokhtari, M., Alavi, S.A., 2006. Interaction of the Zagros fold thrust belt and the Arabian type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran. *Petroleum Geoscience* 12, 347-362.
- Adams, T., 1969. The Asmari formation of Lurestan and Khuzestan provinces. Iranian Oil Operating Companies, Geological and Exploration Division, Report No. 1154 pp.
- Adams, T., Bourgeois, F., 1967. Asmari Biostratigraphy. Iranian Oil Operating Companies, Geological and Exploration Division, Report No. 1074 pp.
- Ahmadhadi, F., Lacombe, O., Daniel, J.M., 2007. Early reactivation of basement faults in Central Zagros (SW Iran): evidence from pre-folding fracture populations in the Asmari Formation and Lower Tertiary paleogeography. In: Lacombe, O., Lav_e, J., Verg_es, J., Roure, F. (Eds.), *Thrust Belts and Foreland Basins; from Fold Kinematics to Hydrocarbon Systems*, pp. 205e228.
- Bahrani, H., 2000. Biostratigraphy and micropaleontological studies on the cutting samples of Changuleh well, north Dezful. Technical Report 1130. NIOCEXP Office Tehran
- Bahroudi, A., Koyi, H.A., 2003. Effect of spatial distribution of Hormuz salt on deformation style in the Zagros fold and thrust belt: an analogue modelling approach. *Journal of Geological Society of London* 160, 1-15.
- Berberian, M., 1995. Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface tectonics surface morphotectonics. *Tectonophysics* 241, 193 - 224.
- Berberian, M., King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Science* 18, 210-285.
- Buchem, V et al., 2010. Regional stratigraphic architecture and reservoir types of the Oligo-Miocene deposits in the Dezful Embayment (Asmari and Pabdeh Formations) SW Iran.
- Derikvand, B., Alavi, A., AbdollahieFard, I., Haji Ali Beigi, H., 2018. Folding style of the Zagros foreland and foredeep: signatures of detaching horizons, deep-rooted faulting and syn-deformation deposition. *Marine Petroleum Geology* 91, 501-518.
- Emami, H., 2008. Foreland propagation of folding and structure of the Mountain Front Flexure in the Pusht-e Kuh arc (NW Zagros, Iran). PhD Thesis. University of Barcelona, pp. 1-181.
- Falcon, N.L., 1974. Southern Iran: Zagros mountains. In: Spencer, A. (Ed.), *Mesozoic-cenozoic Orogenic Belts*. Geological Society of London Special Publications 4, pp.199-211.

- Jackson, J., Hains, J., Holt, W., 1995. The accommodation of Arabia-Eurasia plate convergence in Iran. *Journal of Geophysical Research* 100, 15-19.
- James, G.A., Wynd, J.G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil-Consortium Agreement Area. *AAPG Bull* 49(12), 2182-2245.
- Kamal. H. Karim., et al., 2014. Structural analysis of the Azmir – Goizha anticline, north and northeast of Sulaimani city, Kurdistan Region, Northeast Iraq. DOI: 10.17656/jzs.10284.
- Kavoosi, M.A., Sherkati, S., 2012. Depositional environments of the Kalhur Member evaporates and tectonosedimentary evolution of the Zagros fold-thrust belt during Early Miocene in south westernmost of Iran. *Carbonates Evaporites* 27, 55-69.
- Letouzey, J.B., Colletta, R., Vially, J.C., Chermette, 1995. Evolution of salt-related structures in compressional settings, in M. P. A. Jackson, D. G. Roberts, and S. Snelson, eds., *Salt tectonics: a global perspective: AAPG Memoir* 65, 41-60.
- Motiei, H., 1994. Stratigraphy of Zagros (in Farsi), Report, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Motiei, H., 1995. Petroleum Geology of Zagros. *Treatise on the Geology of Iran, Vols. 1 & 2 Geological Survey of Iran Publications.*
- Nayebi, Z., 2003. Biostratigraphy and micropaleontological studies on the cutting samples of Dalpari well, north Dezful. *Paleontological note* 580. NIOCEXP Office Tehran.
- O'Brien, C.A.E., 1950. Tectonic problems of the oil field belt of southwest Iran. In: *Proceedings of the 18th International Geological Congress, Great Britain, Vol. 6.* pp. 45-58.
- O'Brien, C.A.E., 1957. Salt diapirism in south Persia. *Geologieen Mijnbouw* 19, 337-376.
- Pirouz, M., Simpson, G., Bahroudi, A., Azhdari, A., 2011. Neogene sediments and modern depositional environments of the Zagros foreland basin system. *Geological Magazine* 148 (5-6), 838-853.
- Pirouz, M., Simpson, G., Bahroudi, A., Azhdari, A., 2011. Neogene sediments and modern depositional environments of the Zagros foreland basin system. *Geological Magazine* 148 (5-6), 838-853.
- Sepehr, M., Cosgrove, J.W., 2004. Structural framework of the Zagros Fold-Thrust belt, Iran. *Marine Petroleum Geology* 21, 829-843.
- Sepehr, M., Cosgrove, J.W., Moieni, M., 2006. The impact of cover rock rheology on the style of folding in the Zagros fold-thrust belt. *Tectonophysics* 427, 265 - 281.
- Sherkati, S., Letouzey, J., 2004. Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran. *Marine Petroleum Geology* 21, 535-554.
- 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, TC4007.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: A review. *American Association of Petroleum Geology* 52, 1229-1258
- Thomas, A.N., 1948. The Asmari Limestone of southwest Iran. ALOC Report No. 706 (unpublished).



©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.