

## Influence of the Gachsaran Formation lithostratigraphy on its decoupling behavior in the southern Dezful Embayment

Islam Tavakolian<sup>1,3</sup>, Ali Yassaghi<sup>1\*</sup>, Mahdi Najafi<sup>2</sup>, Alireza Golalzadeh<sup>3</sup>

1- Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran

3- National Iranian South Oil Company (NISOC)

**Keywords:** Folding geometry, Gachsaran Formation, Dezful embayment, Salt detachment

### 1-Introduction

The mechanical stratigraphy of the sedimentary cover sequence, especially the presence of incompetent layers that can act as detachment zones, is a vital parameter control folding style in fold-thrust belts (Cotton and Koyi 2000; Spratt et al., 2004). Intermediate Detachment layers cause structural separation and variation of the style of folding in their upper and lower units. Therefore, the shape of the folds on the surface does not exhibit deep geometry (Sherkati et al., 2006; Casciello et al., 2009). The Zagros fold-thrust belt is an appropriate area for studying the behavior of detachment layers because the sedimentary cover in Zagros consists of several competent and incompetent units, which cause a sequence with various mechanical characteristics (Sherkati et al., 2006; Motamedi et al., 2012).

Dezful embayment as a part of the Zagros folded belt zone separated by the Kazerun-Borazjan Fault and the Balarud Fault from Fars and Lorestan zones. The Hindijan-Bahrengsar fault zone (Pattinson and Jazayeri, 1972) divide l embayment internally into the northern and southern parts. Also, the Gachsaran Formation in the Dezful embayment composed of seven members acts as a detachment layer. Lithostratigraphy of the Gachsaran Formation is composed of salt, anhydrite, marl, and lime layers. The NW-trending Zagros Front Fault (ZFF) is located in the southern part of the Dezful embayment and is affected by the Nargesi, Sulabdar, Bibi-Hakimah, Pazanan, Rage-sefid, and Aghajari anticlines (Fig. 1). Aims of this study are: (1) analysis of folds' geometry, (2) investigation on the effect of Gachsaran Formation as a detachment zone on the anticlines axial movement, and (3) determination of the effect of the Gachsaran lithostratigraphy on the formation detachment behavior.

### 2-Methodology

The used data in this study include the present geological maps, data from field mapping, the present UGC maps of Asmari Formation, the reflective seismic lines, and drilling well data from Aghajari, Pazanan, Rage-sefid, Bibi-Hakimah, Sulabdar, and Narges anticlines. At first, the geological maps are georeferenced to be used as a base map and then updated using field data gathered during this study. Through the Move software, the amount of displacement on the axial trace of the surface and subsurface anticline axes for each anticline is estimated. Finally, employing the wells graphic logs the Gachsaran Formation, and its salt thickness is calculated to estimate the ratio of the thickness of salt to the total thickness of the Formation (Table 1).

### 3-Discussion

The folding style is mostly effected by changes in the mechanical characteristics of the sedimentary strata during folding (Cotton and koyi, 2000; Spratt et al., 2004). Zagros sedimentary cover with a thickness of 8-14 km consists of a different sedimentary sequence of competent and incompetent units (Motiei, 1995). Due to their different rheology, the mechanical characteristics of these units are not similar and change along the strike of the belt (Sherkati and Letouzey, 2004). In the study area, the disharmonic geometry of the Aghajari, Pazenan, Rage-sefid, and Bibi-Hakimeh anticlines in the Asmari Horizon and the younger horizons is proposed to be the result of

\* Corresponding author: yassaghi@modares.ac.ir

DOI: 10.22055/aag.2019.28863.1954

Received 2019-03-10

Accepted 2019-10-18

the detachment function of the Gachsaran Formation. According to Ramsay's (1967) classification, the study area folding style in which the fold geometry changes from the surface to the depth is of parallel folds.

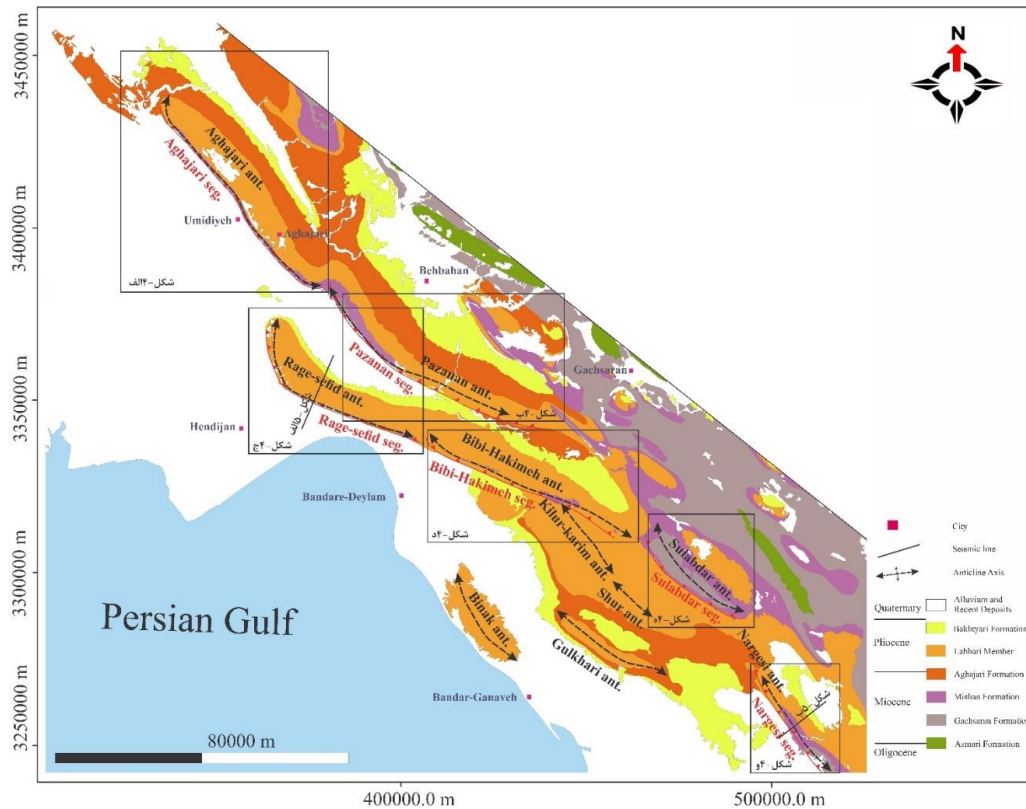


Fig. 1. South Dezful embayment geological map.

Table 1. Estimated thickness of the Gachsaran Formation and its salt layers from the well logs.

Nargesi		Sulabdar		Bibi-Hakimeh		Rage-sefid		Pazanan		Aghajari		Anticline name.
Ni2	Ni1	Su2	Su1	Bh2	Bh1	Rs2	Rs1	Pz2	Pz1	Aj2	Aj1	Well name
303	328	From Surface	From Surface	503	696	1146	796	2019	1176	1039	1302	Thickness of Gachsaran Formation.
0	0	0	8	88	84	263	187	692	490	363	445	Total salt thickness
0	0	0	0	0.12	0.175	0.23	0.235	0.343	0.417	0.35	0.342	Salt thickness / Gachsaran Formation thickness
0	0	0	0	213	3861	3455	2115	1573	5806	5161	4502	Surface axis Displacement along well
100-200 m		200-500 m		1-4 Km		2.5-5.5 Km		1.5-6 Km		2-6 Km		Total axis Displacement

Table 2. Fold limbs attitude (dip) / (dip direction) and their interlimbs angle in Asmari and the younger Formations of the anticlines in the study area.

Interlimb angle		SW limb (Dip)/(Dip Direction)		NE limb (Dip)/(Dip Direction)		Anticline name.
Asmari	Surface	Asmari	Surface	Asmari	Surface	
58-84	85-140	(40-70) / (223-247)	(16-42) / (220-232)	(21-47) / (041-060)	(6-18) / (041-052)	Aghajari
85-128	134-160	(34-63) / (208-231)	(19-46) / (218-231)	(15-34) / (29-47)	(6-16) / (041-050)	Pazanan
62-106	90-130	(43-78) / (199)	(40-71) / (211)	(26-42) / (016)	(09-18) / (018)	Rage-sefid
80-110	70-134	(52-78) / (210)	(21-81) / (209)	(24-36) / (021)	(08-34) / (029)	Bibi-Hakimeh
126-131	124-142	(45-62) / (227)	(35) / (205)	(16-32) / (051)	(18-31) / (037)	Sulabdar
112-126	118-128	(19-36) / (228)	(38) / (226)	(23-33) / (050)	(31) / (055)	Nargesi

The mechanical behavior of the evaporate layers of the Gachsaran Formations in the study area varies and have different function as detachment horizons during deformation. The lithological and thickness changes of the Gachsaran Formation control the folding style. In this study, variations on these two characteristics investigated as the controlling factors of anticline geometry.

The folding style is mostly affected by changes in the mechanical characteristics of the sedimentary strata during folding (Cotton and Koyi, 2000; Spratt et al., 2004). Zagros sedimentary cover with a thickness of 8-14 km consists of a different sedimentary sequence of competent and incompetent units (Motiei, 1995). Due to their different rheology, the mechanical characteristics of these units are not similar and changes along the strike of the belt (Sherkati and Letouzey, 2004). In the study area, the disharmonic geometry of the Aghajari, Pazanan, Rage-sefid, and Bibi-Hakimeh anticlines in the Asmari Horizon and the younger horizons is proposed to be the result of the detachment function of the Gachsaran Formation. According to Ramsay's (1967) classification, the study area folding style in which the fold geometry changes from the surface to the depth is of parallel folds.

The mechanical behavior of the evaporate layers of the Gachsaran Formations in the study area varies and have different function as detachment horizons during deformation. The lithological and thickness changes of the Gachsaran Formation control the folding style. In this study, variations on these two characteristics investigated as the controlling factors of anticline geometry.

#### 4-Conclusion

1-The lesser dip angle of the Aghajari, Pazanan, Rage-sefid, and Bibi-Hakimeh anticlines NE limbs than that of their SW limbs indicates that these anticlines have asymmetry geometry.

2- The folding geometry of the Aghajari, Pazanan, Rage-sefid, and Bibi-Hakimeh anticlines in the younger than that of the Gachsaran Formation are different from its older formations. This disharmonic structural geometry is related to the Gachsaran Formation detachment function. However, the fold geometry in the Sulabdar and Nargesi anticlines in the Gachsaran Formation and its younger and older formations nearly similar. Also, the displacement on the axial trace from the surface to the depth of the Asmari horizon is high in the Aghajari, Pazanan, Rage-sefid, and Bibi-hakimeh anticlines, whereas in the Sulabdar and Nargesi anticlines this displacement is minimum. It is proposed that this is due to the considerable thickness of salt in the Gachsaran Formation.

3- Whatever the salt thickness in the Gachsaran Formation is high, the anticlines surface axes displacement is more than their axes in the Asmari Formation horizon. In these anticlines, thrust faults have also developed high dip limbs and caused the movement of more salt content incompetent layers of the Gachsaran Formation, (such as the Rage-sefid Anticline). In the Suldabor and Nargesi anticlines where the salt layers in the Gachsaran Formation are not thick enough, thrust faults are not generated in the anticline limbs, and the normal faults developed in the fold core zone formations, older than the Gachsaran Formation propagated to the younger formations.

S data, in the Aghajari, Pazanan, Rage-sefid, and Bibi-Hakimeh anticlines, salt layers are the dominant lithology of the Gachsaran Formation and the percentage of salt layers' thickness to the Gachsaran Formation total thickness is more than the other anticlines. Also, the shift on the axial trace of these anticlines is enormous, and thrust faults have developed in their southwestern limbs, whereas in the anticlines that Gachsaran Formation has lesser salt content, the shift on their axial trace from the surface to the deep is less or without any displacement. In these anticlines, the normal faults that have generated in the older formation than that of the Gachsaran Formation propagated to the younger formations in the anticlines hinge zone area.

#### References

- Bahroudi, A., Koyi, H.A., 2003. Effect of spatial distribution of Hormuz salt in deformation style in the Zagros fold-and-thrust belt: An analog modeling approach. *Journal of the Geological Society* 160, 719–733. DOI:10.1144/0016-764902-135.
- Casciello, E., Vergés, J., Saura, E., Casini, G., Fernandez, N., Blanc, E. J.P., Homke, S., Hunt, D., 2009. Fold patterns and multilayer rheology of the Lurestan Province, Zagros Simply Folded Belt (Iran). *Journal of the Geological Society* 166, 947–59. DOI:10.1144/0016-76492008-138.
- Cotton, J.T., Koyi, H.A., 2000. Modeling of thrust fronts above ductile and frictional detachments: Application to structures in the Salt Range and Potwar Plateau, Pakistan. *Geological Society of America Bulletin* 112, 351 – 363. DOI: 10.1130/0016-7606.

- Farzipour-Saein, A., Yassaghi, A., Sherkati, S., Koyi, H., 2009. Mechanical stratigraphy and folding style of the Lurestan region in the Zagros Fold–Thrust Belt, Iran. *Journal of the Geological Society* 166, 1101–1115. DOI: 10.1144/0016-76492008-162.
- Motamedi, H., Sherkati, S., Sepehr, M., 2012. Structural style variation and its impact on hydrocarbon traps in central Fars, Southern Zagros folded belt, Iran. *Journal of Structural Geology* 37, 124-133. DOI: 10.1016/j.jsg.2012.01.021.
- Pattinson R., Jazayeri B., 1972. Structural analysis of the Zagros anticlines. Iranian Oil Operating Companies, Report No. 1188.
- 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, 535–554. DOI:10.1016/j.marpetgeo.2004.01.007.
- Sherkati, S., Letouzey, J., Frizon de Lamotte, D., 2006. The Central Zagros fold-thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation and sandbox modeling. *Tectonics* 25, TC4007. DOI: 10.1029/2004TC001766.
- Spratt, D.A., Dixon, J.M., Beattie, E.T., 2004. Changes in structural style controlled by lithofacies contrast across transverse carbonate bank margins Canadian Rocky Mountains and scaled physical models. In: McClay, K.R. (eds) *Thrust tectonic and hydrocarbon systems*. AAPG Memoir 82, 259–275.
- Stewart, S., 1996. Influence of detachment layer thickness on style of thin-skinned shortening. *Journal of Structural Geology* 18/10, 1271-1274.

**HOW TO CITE THIS ARTICLE:**

Tavakolian, I., Yassaghi, A., Najafi, M., Golalzadeh, A., 2020. Influence of the Gachsaran Formation lithostratigraphy on its decoupling behavior in the southern Dezful Embayment. *Adv. Appl. Geol.* 9(4), 407- 422.

DOI: 10.22055/aag.2019.28863.1954

url: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_15074.html?lang=en](https://aag.scu.ac.ir/article_15074.html?lang=en)

## تأثیر لیتواستراتیگرافی سازند گچساران بر عملکرد جدایشی آن در تاقدیس‌های فرادیواره ای گسل پیشانی زاگرس در فروافتادگی دزفول جنوبی

اسلام توکلیان

گروه زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

علی یساقی\*

گروه زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

مهدی نجفی

گروه زمین شناسی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران

علیرضا گل‌زاده

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

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹

\*yassaghi@modare.ac.ir

### چکیده

ویژگی‌های مکانیکی پوشش رسوبی عامل اصلی کنترل کننده سبک دگرریختی در کمربندهای چین-رانده است. حضور لایه‌های شکل‌پذیر به عنوان افق جدایشی در میانه توالی رسوبی زاگرس باعث دگرریختی ناهماهنگ و تفاوت بین هندسه چین‌ها در سطح نسبت به عمق می‌شوند. سازند گچساران یکی از مهمترین افق‌های جدایشی در کمر بند چین-رانده زاگرس است. در این مطالعه با تلفیق داده‌های میدانی و زیرسطحی (برش‌های لرزه‌ای دو بعدی، نقشه‌های هم‌تراز زیرسطحی و داده‌های چاه‌های حفاری)، اثر عملکرد جدایشی سازند گچساران بر سبک چین‌خوردگی و گسلس در تاقدیس‌های آجاجاری، پازنان، رگ سفید، بی‌بی حکیمه، سولابدر و نرگسی در فروافتادگی دزفول جنوبی و در مجاورت پهنه گسل پیشانی زاگرس مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان دادند که تغییرات لیتولوژیکی سازند گچساران عامل اصلی کنترل کننده رفتار جدایشی آن در حین چین‌خوردگی است. با افزایش ضخامت نمکدر سازند گچساران عملکرد این سازند به صورت افق جدایشی موثرتر می‌گردد و با جابجایی بیشتر محور چین‌ها و ناهماهنگی در سطح نسبت به عمق و تغییر سبک چین‌خوردگی همراه می‌شود.

**کلمات کلیدی:** سبک چین‌خوردگی، سازند گچساران، فروافتادگی دزفول جنوبی، افق جدایشی، مقدار نمک

### ۱- مقدمه

چینه‌شناسی مکانیکی توالی پوشش رسوبی، بویژه حضور افق‌های نامقاوم که می‌توانند به عنوان افق‌های جدایشی عمل نمایند، یک پارامتر مهم کنترل کننده سبک چین‌خوردگی در کمربندهای چین-رانده است (Currie et al., 1962; Davis and Engelder 1985; Cotton and Koyi 2000; Spratt et al., 2004). افق‌های جدایشی که در میانه پوشش رسوبی قرار دارند باعث ایجاد جدایش ساختاری و تفاوت در سبک چین‌خوردگی واحدهای بالایی و زیرین خود می‌شوند. بنابراین شکل چین‌ها در سطح هندسه عمقی آنها را نشان نمی‌دهد (O'Brien 1957; Spratt et al., 2004; Sepehr et al., 2006; Massoli and Koyi, 2006; Sherkati et al., 2006; Casciello et al., 2009). همچنین مشخص شده است که ضخامت نمک در سازندهای تبخیری نیز به عنوان عامل مهمی در عملکرد افق جدایشی می‌باشد.

کمر بند چین-رانده زاگرس یک ناحیه مناسب برای مطالعه رفتار افق‌های جدایشی است، زیرا پوشش رسوبی آن از تناوب واحدهای مقاوم و نامقاوم تشکیل شده است، به گونه‌ای که یک توالی ناهمگون را از نظر ویژگی‌های مکانیکی واحدها ایجاد کرده است. تاکنون مطالعات زیادی بر روی نقش افق‌های جدایشی در شکل‌گیری چین‌های کمر بند زاگرس انجام گرفته است

(O'Brien 1957; Sherkati and Letouzey 2004; Sherkati et al., 2006; Carruba et al., 2006; Farzipour-Saein et al., 2009; Vergés et al., 2011; Motamedi et al., 2012).

فروافتادگی دزفول بخشی از کمر بند چین-رانده زاگرس می‌باشد که توسط گسل کارزون-بrazجان و پهنه گسله بالارود به ترتیب از نواحی فارس و لرستان که دو کمر بند چین‌خورده کم‌انرژی شکل هستند، جدا می‌شود (شکل ۱). در فروافتادگی دزفول سازند گچساران به عنوان یک افق جدایشی می‌باشد. بر اساس اطلاعات چاه‌های حفاری شده، سازند گچساران در فروافتادگی دزفول از ۷ بخش تشکیل شده است. بخش‌های ۱ تا ۷ سازند گچساران از توالی سنگ-شناسی نمک، انیدریت، مارن و میان لایه‌های آهک تشکیل شده است.

فروافتادگی دزفول یک حوضه رسوبی، با فرونشست بارز و ضخیم‌شدگی رسوبات در جنوب کمر بند چین-رانده زاگرس می‌باشد (Motiei, 1995). اغلب تاقدیس‌های درون فروافتادگی دزفول میدان‌های نفتی اصلی ایران را تشکیل می‌دهند. تفکیک فروافتادگی دزفول به بخش‌های شمالی و جنوبی، براساس خطواره ایزه می‌باشد که ادامه جنوبی آن با نام هندیدجان-بهرگانسر شناخته می‌شود (Pattinson and Jazayeri, 1972) (شکل ۱).

گسل پیشانی زاگرس (ZFF) با راستای شمال‌باختری-جنوب‌خاوری و شیب به سمت شمال‌خاور در میانه فروافتادگی دزفول قرار دارد بطوری که این

در شمال‌خاوری سوریه به Messinian (اواخر میوسن) می‌رسد (Motiei, 1993). در ناحیه فارس این سازند به سازند رازک با بخش‌های چهل، چمپه و مول تغییر رخساره می‌دهد. از نگاه ویژگی‌های رئولوژیکی سازند تبخیری گچساران یک واحد سنگی با رفتار شکل‌پذیر است.

در فروافتادگی دزفول سازند گچساران به ۷ بخش تقسیم شده است (Motiei, 1993). بخش ۱ قدیمی‌ترین و بخش ۷ جوانترین بخش می‌باشد. بخش ۱ همان پوش‌سنگ مخزن آسماری می‌باشد که در عملیات حفاری نفت اهمیت بسیار زیادی برای نقاط جداره‌گذاری دارد و برای جداسازی مناطق پرفشار از کم‌فشار اهمیت دارد. بخش ۱ تناوبی از انیدریت، آهک، مارن و شیل بیتومین‌دار می‌باشد، بخش ۲ و ۴ بیشتر شامل نمک می‌باشد که میان لایه‌های مارن و انیدریت نیز دارد. بخش ۳ و ۵ از لایه‌های ضخیم انیدریت، مارن خاکستری، میان لایه‌های آهکی و مقداری لایه‌های نمکی تشکیل شده است که نسبت به لایه ۲ و ۴ مقاوم‌تر می‌باشند. بخش ۶ سازند گچساران علاوه بر مارن خاکستری و انیدریت مقداری مارن قرمز نیز دارد که شاخصه این بخش می‌باشد. و در نهایت بخش ۷ که جوانترین بخش سازند گچساران می‌باشد از لایه‌های متناوب انیدریت و مارن خاکستری همراه با میان لایه‌های آهکی تشکیل شده است (شکل ۳).

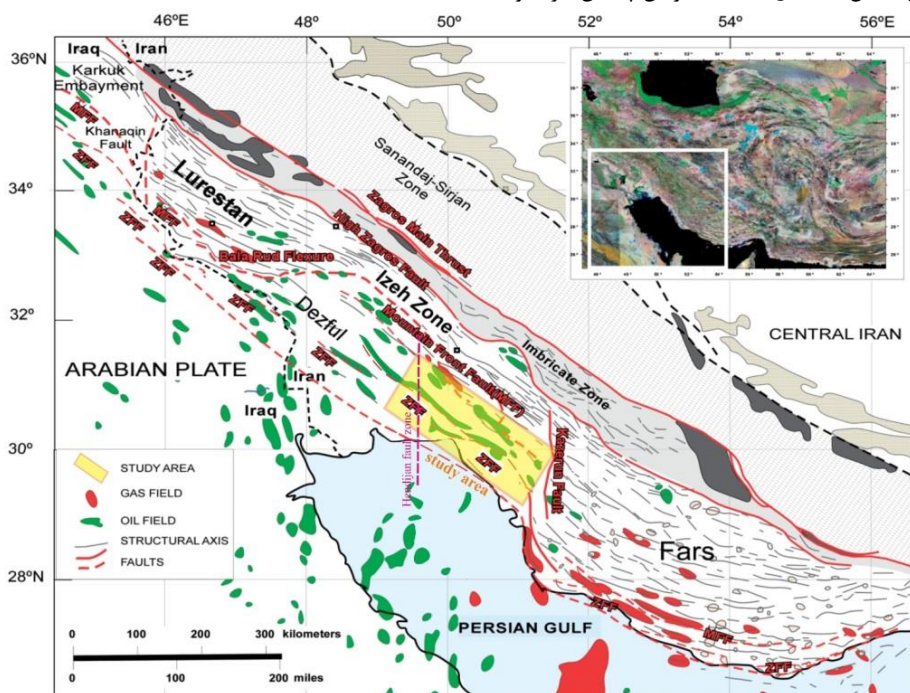
در ناحیه مورد مطالعه با استفاده از ترسیم از چاه‌های حفاری شده (شکل ۴) می‌توان گفت که بطور کلی از سمت باختر به سمت خاور ناحیه ضخامت سازند گچساران کمتر می‌شود و ضخامت نمک در این سازند نیز کم می‌شود (شکل‌های ۳ و ۴). این تغییرات کلی نبوده و در بخش‌هایی چون خاور میدان پازنان تغییر می‌نماید، جایی که برخلاف روند کلی، این تغییرات ضخامت سازند گچساران و محتوی نمک سازند بیشتر می‌شود. همچنین در خاور ناحیه رخساره مارنی و انیدریتی جایگزین رخساره نمک انیدریت و آهک در غرب میدان پازنان می‌شود.

گسل در فروافتادگی دزفول جنوبی تاقدیس‌هایی از جمله نرگسی، سولابدر، بی-بی‌حکیمه، پازنان، رگ‌سفید و آعاجاری را تحت تاثیر قرار می‌دهد (شکل‌های ۱ و ۲). این مطالعه اهداف زیر را در فروافتادگی دزفول جنوبی پی‌جویی نموده است:

۱) تحلیل هندسه چین‌خوردگی چین‌ها، ۲) تعیین تاثیر جدایشی سازند گچساران و برآورد اهمیت آن بر میزان جابجایی محوری تاقدیس‌ها، ۳) تشخیص ارتباط بین تغییرات لیتولوژی گچساران و اهمیت آن به عنوان افق جدایشی. برای دستیابی به این اهداف از نقشه‌های زمین‌شناسی موجود، داده‌های میدانی به‌همراه نقشه‌های زیرسطحی (UGC maps)، اطلاعات چاه‌ها و برش‌های لرزه‌ای بازتابی استفاده شده است. با مقایسه نقشه‌های سطحی و زیرسطحی مقدار جابجایی محوری چین‌ها در سطح نسبت به عمق برآورد شده است.

## ۲- چینه‌شناسی سازند گچساران و تغییرات لیتولوژیکی آن در فروافتادگی دزفول جنوبی

سازند گچساران شامل ضخامت قابل توجهی از رسوبات تبخیری است که دارای گسترش جانبی زیادی در بخش چین‌خورده زاگرس دارد. این سازند شامل تناوبی از نمک، انیدریت، مارنهای خاکستری و قرمز، سنگ آهک و یک لایه شیل بیتومین‌دار بدون نظم چین‌های می‌باشد (شکل ۳). سازند گچساران قدیمی‌ترین سازند گروه فارس است که به عنوان پوش‌سنگ سازند نفتی آسماری عمل می‌کند و در نواحی فروافتادگی دزفول، لرستان، حوضه خلیج فارس شمال عراق تا شمال‌خاوری سوریه گسترش دارد. این سازند در سطح زمین برش کامل ندارد و برش سازند تلفیقی چاه‌های میدان گچساران به عنوان برش الگوی آن شناخته می‌شود که تا حدود ۲۰۰۰ متر ضخامت دارد گرچه این ضخامت متغیر است. سن سازند گچساران در حوالی قشم معادل Chattian (الیگوسن)، فروافتادگی دزفول معادل Burdigalian (میوسن پیشین) بوده و



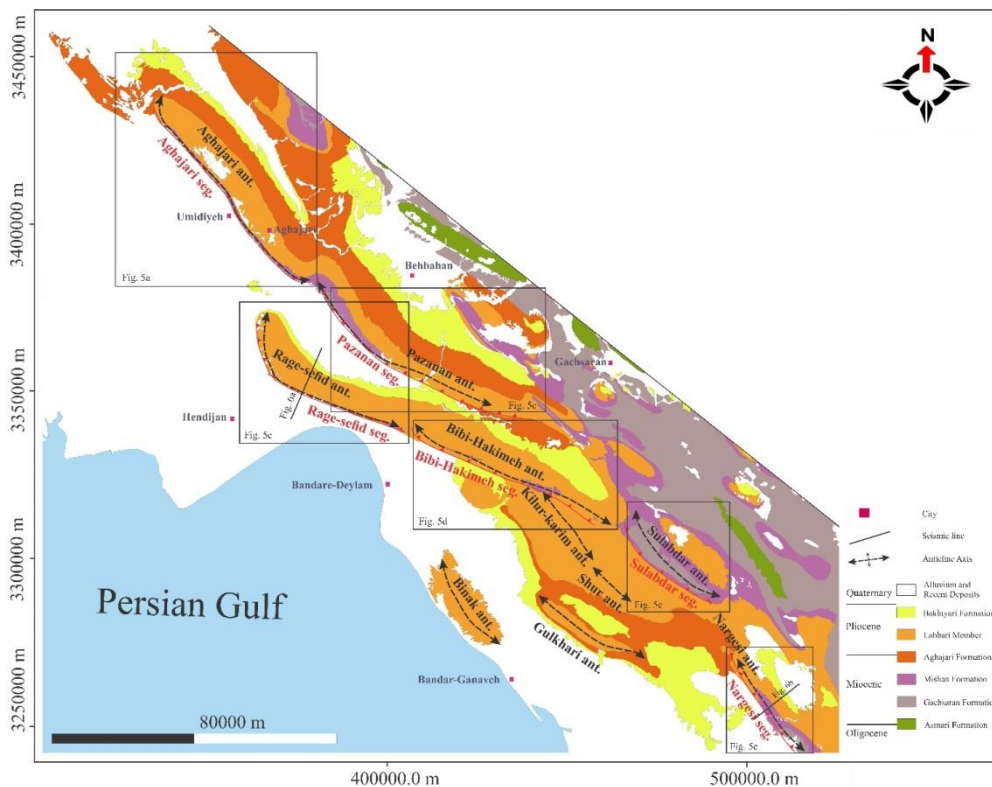
شکل ۱- نقشه ساختاری کمر بند چین-رانده زاگرس (با تغییراتی از Soleymani and Sabat, 2010). موقعیت منطقه مورد مطالعه در فروافتادگی دزفول جنوبی بر روی شکل نشان داده شده است. رنگ‌های سبز و قرمز به ترتیب موقعیت میادین نفت و گاز را نشان می‌دهد.

Fig. 1. Structural map of the Zagros Fold-Thrust belt (Modified from Soleymani and Sabat, 2010). The location of the study area in the southern Dezful embayment is shown on the figure. The green and red colors indicate the position of the oil and gas fields, respectively.

### ۳- داده‌ها و روش تحقیق

داده‌های استفاده شده در این مطالعه شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، برداشت‌های میدانی، نقشه‌های زیرسطحی (UGC maps) از افق آسماری، برش‌های لرزه‌ای بازتابی و داده‌های چاه‌های حفاری از تاق‌دیس‌های آغاجاری، پازنان، رگ‌سفید، بی‌بی‌حکیمه، سولابدر و نرگسی می‌باشند (شکل‌های ۲ و ۵). این داده‌ها در چهار گام به شرح زیر پردازش و تفسیر شده‌اند. سپس نقشه‌های تراز زیرسطحی از افق آسماری زمین‌مرجع شده و محور زیرسطحی تاق‌دیس‌ها رسم گردیده است (شکل ۵). در گام دوم: با استفاده از نرم‌افزار Move هر دو نقشه زمین‌شناسی تهیه شده و نقشه‌های زیرسطحی (UGC maps) از افق آسماری بر روی هم قرار داده

شده‌اند و مقدار جابجایی اثر سطح محوری هر تاق‌دیس در سطح نسبت به عمق برآورد شده است (شکل ۵). در گام سوم: برش‌های لرزه‌ای بازتابی از هر تاق‌دیس مطالعه شده و در نرم‌افزار Move تفسیر شده و برای سرسازندهایی مانند میشان که رخنمون سطحی ندارد جابجایی محور اندازه‌گیری شده است (شکل ۵ و ۶). در گام چهارم: دو چاه حفاری بر روی هر تاق‌دیس انتخاب شده است (شکل-های ۴ و ۵) و آنگاه با استفاده از نمودار تصویری سازند گچساران، ضخامت سازند و ضخامت نمک در آن برآورد شده و نسبت ضخامت نمک به ضخامت کل سازند محاسبه گردیده است (جدول ۱).



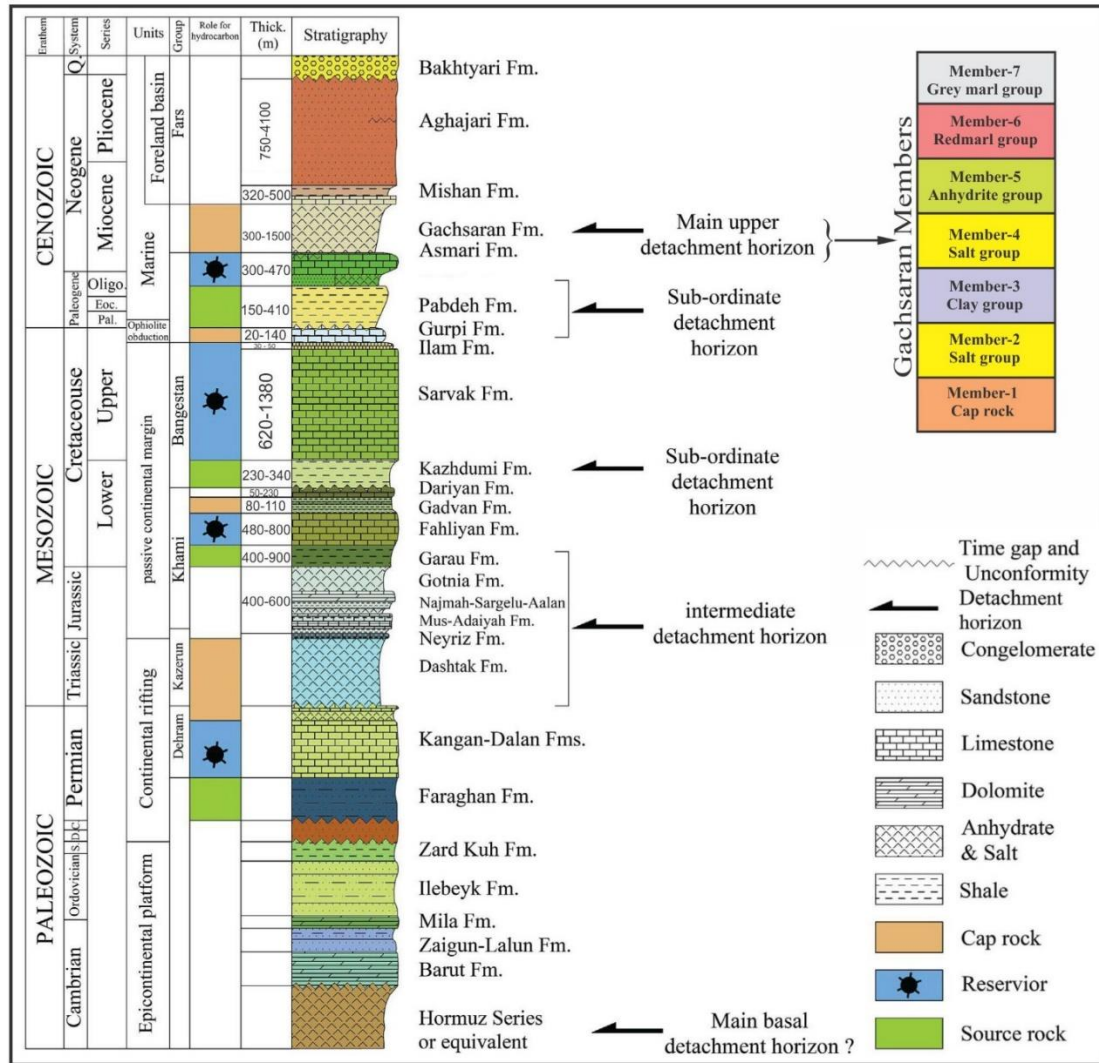
شکل ۲- نقشه زمین شناسی فروافتادگی دزفول جنوبی (برگرفته با تغییراتی از برگه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بهمان و دهدشت، گچساران، آغاجاری، رگ‌سفید، دیلم، برازجان، گناوه، کوه دارا، هفتکل، مارون و بینک، از سری نقشه‌های شرکت ملی نفت ایران). سن سازندها در راهنمای نقشه ارائه شده است.

Fig. 2. Geological map of the southern Dezful embayment (extracted from geological maps at 1:100000 scale of Behbahan and Dehdasht, Gachsaran, Aghajari, Rage-sefid, Deylam, Borazjan, Ganaveh, Kohe-Dara, Haft-kel, Marun and Binak, From the maps of National Iranian Oil Company. The age of the formations is presented in the map guide.

### ۳-۱- داده‌های میدانی

داده‌های بدست آمده از برداشت‌های میدانی در نقشه زمین‌شناسی واجد رخنمون سطحی از سازندهای بختیاری، آغاجاری، میشان و گچساران ارائه گردیده است. این نقشه‌ها نشان می‌دهند که در رخنمون سطحی، شیب پهلوئی شمال‌خاوری تاق‌دیس‌ها در حدود ۱۰-۲۰ درجه و شیب پهلوئی جنوب‌باختری در حدود ۴۰-۷۰ درجه است. در صورتی که در تاق‌دیس‌ها محل محور بطور مستقیم قابل اندازه‌گیری نباشد از مشخصات پهلوهای تاق‌دیس برای تعیین محل محورها نیز استفاده شده است. در پهلوئی جنوب‌باختری تاق‌دیس آغاجاری، گسل راندگی آغاجاری با مشخصات ۳۳/۰۳۱ (جهت‌شیب/شیب)

مشاهده شده است که بر روی فرادیواره آن سازند میشان بر روی سازند آغاجاری قرار گرفته است (شکل ۷a، b و c)، همچنین در بخش لولای تاق‌دیس نرگسی گسل‌های نرمالی مشاهده شده‌اند که باعث جابجایی نرمال ۶۰-۷۰ متری لایه‌های ماسه‌سنگی بخش لهری سازند شده است (شکل ۷d). در برخی مناطق بخصوص دره‌های عرضی محور تاق‌دیس‌ها شناسایی و اندازه‌گیری شده و مختصات محل محور آن‌ها در سطح زمین برداشت شده است (شکل ۸). در تاق‌دیس بی‌بی‌حکیمه آثار سطحی گسل بی‌بی‌حکیمه در پهلوئی جنوبی تاق‌دیس بی‌بی‌حکیمه گزارش شده است (Madahi, 2010). و در سایر تاق‌دیس‌ها رخنمون سطحی از گسل‌های عملکرد بر تاق‌دیس‌ها مشاهده نشده است.



شکل ۳-۲. ستون چینه‌شناسی ناحیه فروافتادگی دزفول جنوبی و بخش‌های سازند گچساران (برگرفته با تغییرات از Abdollahie Fard et al., 2006).

Fig. 3. Stratigraphic map of the southern Dezful embayment and members of Gachsaran formation. Modified from Abdollahie Fard et al. (2006).

### ۳-۲- داده‌های زیرسطحی

ضخامت سازند گچساران در آن ۱۰۳۹ متر و مجموع ضخامت نمک حفاری شده حدود ۳۶۳ متر محاسبه شده است (شکل ۴ و جدول ۱). در تاکدیس پازنان نیز مانند تاکدیس آغاچاری خطوط هم‌تراز در پهلوی جنوب‌باختری فاصله کمتری از پهلوی شمال‌خاوری دارند ولی فاصله این خطوط نسبت به پهلوی جنوبی تاکدیس آغاچاری بیشتر می‌باشد که نشان می‌دهد نسبت به پهلوی جنوب‌باختری تاکدیس آغاچاری شیب کمتری دارد اما نسبت به پهلوی شمال‌خاوری خود تاکدیس پازنان شیب بیشتری دارد. این تاکدیس در افق‌های قدیمی‌تر از گچساران دو بستگی ساختاری (Structural Closure) دارد که یکی در قسمت‌های مرکزی و یکی در بخش شمال‌باختری تاکدیس قرار دارد (شکل ۵b و جدول ۲). مطالعه دو چاه حفاری شده بر روی تاکدیس پازنان و برای مقایسه لیتولوژی و ضخامت سازند گچساران نشان می‌دهد که ضخامت سازند گچساران در چاه Pz1 در بخش شمال‌باختری تاکدیس در حدود ۱۱۷۶ متر است و مجموع ضخامت نمک در این چاه حدود ۴۹۰ متر است. ضخامت سازند گچساران در چاه Pz2 که در بخش جنوب‌خاوری تاکدیس حفاری شده است برابر ۲۰۱۹ و مجموع ضخامت نمک حفاری شده حدود ۶۹۲ متر است (شکل ۵c و جدول ۱).

در این مطالعه از نقشه‌های تراز زیرسطحی (UGC Map) که اطلاعات عمقی یک افق مشخص مانند راس سازند را با خطوط تراز یا کانتور نشان می‌دهد استفاده شده است (شکل ۵). با استفاده از این نقشه‌ها نه تنها تحلیل هندسی سطح چین‌خورده افق معین مانند سازند مخزنی انجام گردیده، بلکه از آنها برای اهداف عملیاتی و اکتشافی در حفاری چاه‌های هیدروکربوری به منظور تعیین نقطه یا عمق ورود به افق مخزنی در حین حفاری و تعیین شیب و امتداد لایه‌بندی استفاده می‌شود (شکل ۵).

مطالعه نقشه‌های زیرسطحی گستره مطالعه نشان دادند که شیب پهلوی جنوب‌باختری تاکدیس آغاچاری بیشتر از پهلوی شمال‌خاوری می‌باشد و قله تاکدیس در افق قدیمی‌تر از آسماری در بخش جنوب‌خاوری تاکدیس قرار دارد و یک خمیدگی در محور تاکدیس روی داده است (شکل ۵d). مشخصات تاکدیس در جدول ۲ آمده است. دو چاه (Aj1 و Aj2) برای مقایسه لیتولوژی و ضخامت سازند گچساران بر روی تاکدیس آغاچاری مطالعه شده است. چاه Aj1 در بخش جنوب‌خاوری تاکدیس است و ضخامت سازند گچساران در این چاه حدود ۱۳۰۲ متر و مجموع ضخامت نمک در آن حدود ۴۴۵ متر برآورد شده است (شکل ۴ و جدول ۱). چاه Aj2 در بخش شمال‌باختری تاکدیس حفاری شده و



#### ۴- هندسه ساختاری در فروافتادگی دزفول جنوبی

داده‌های صحرایی از هندسه سطحی تاقدیس‌های آجاجاری، پازنان رگ سفید و بی‌بی حکیمه نشان از نامتقارن بودن آن‌ها در سطح است بگونه‌ای که پهلوئی شمال‌خاوری آنها کم‌شیب (در حدود ۱۰-۲۰ درجه) در حالیکه پهلوئی جنوب-باختری پرشیب (حدود ۴۰-۷۰ درجه) است. زاویه بین پهلوئی این تاقدیس‌ها نیز از ۷۰ تا ۱۶۰ درجه متغیر است (جدول ۲).

جهت تعیین هندسه زیرسطحی تاقدیس‌های مورد مطالعه از برش‌های عرضی ترسیمی بر روی نقشه‌های خطوط تراز زیر سطحی و نیمرخ‌های لرزه‌ای دو بعدی استفاده شده است. براساس این اطلاعات می‌توان دریافت که در تاقدیس‌های آجاجاری، پازنان، رگ سفید و بی‌بی حکیمه، پهلوئی شمال‌خاوری شبیه تقریباً ۳۰-۴۰ درجه دارد. بیشترین شیب در تاقدیس آجاجاری و کمترین شیب در تاقدیس پازنان برداشت شده است. پهلوئی جنوب‌باختری این تاقدیس‌ها بین ۵۰-۷۰ درجه شیب دارد که بیشترین شیب در تاقدیس رگ-سفید و کمترین آن در تاقدیس پازنان مشاهده می‌شود. زاویه بین پهلوئی افق آسماری در این تاقدیس‌ها بین ۵۸ تا ۱۳۰ برآورد شده است (جدول ۲).

برای تاقدیس‌های سولابدر و نرگسی زاویه بین پهلوها در حدود ۱۲۰-۱۳۰ درجه محاسبه شده است. شیب دو پهلو در افق آسماری این تاقدیس‌ها تقریباً برابر و حدود ۳۱-۴۲ درجه و متقارن می‌باشند (جدول ۲). شیب پهلوها در سطح و هم در عمق تاقدیس‌های سولابدر و نرگسی تقریباً برابر می‌باشند و بر اساس داده‌های زیرسطحی مانند برش‌های لرزه‌ای همچنین ساختار عمقی تاقدیس‌ها در سازند آسماری و همچنین سازندهای عمیقتر هندسه ساختاری نسبتاً هماهنگ دارند. (شکل ۶b).

با استفاده از داده‌های بدست آمده از برداشت‌های میدانی و برش‌های لرزه-ای بازتابی، قطعات گسلی راندگی در پهلوئی جنوب‌باختری تاقدیس‌های آجاجاری، پازنان، رگ سفید، بی‌بی حکیمه، سولابدر و نرگسی شناسایی شده است و نشان می‌دهد که هر یک از قطعات گسلی در هر تاقدیس بصورت بخش‌های در یک راستا و بصورت جدا از هم عمل کرده‌اند. این گسل‌ها در گروه سازندهای مقاوم و قدیمی‌تر از گچساران بصورت پرشیب (بیش از ۵۰ درجه) تشکیل شده‌اند و با ورود به سازند گچساران مستهلک می‌شوند. در اثر ادامه دگرشکلی، گسل جدیدی و با شیب کمتر (۲۰-۳۰ درجه) در سازند گچساران تشکیل می‌شود و به سازندهای جوانتر از گچساران نفوذ می‌کند (شکل ۶a).

در تاقدیس‌های آجاجاری و بی‌بی حکیمه چنین گسل خوردگی رخنمون سطحی ندارند ولی در برش‌های لرزه‌ای بازتابی در افق‌های قدیمی‌تر شناسایی شده‌اند (شکل ۶a). اندازه‌گیری شیب و جهت شیب رخنمون گسل در تاقدیس آجاجاری مشخصات ۲۳/۰۳۸ (جهت شیب/شیب) نشان می‌دهد (شکل ۶a). در برش‌های لرزه‌ای بازتابی بخش‌های گسلی که در سازند گچساران و سازندهای جوانتر از گچساران تاثیر گذاشته است و شیب حدود ۳۰ درجه (بطور مثال در تاقدیس رگ سفید) را نشان می‌دهد (شکل ۶a). بخش‌های عمیق قطعات گسلی که در سازندهای قدیمی‌تر از سازند گچساران (واحدهای پالئوزوئیک و مزوزوئیک) تاثیر داشته‌اند. شیب بیشتری از قطعه بالایی دارند. بطور مثال در تاقدیس رگ سفید بخش عمیق گسل پیشانی حدود ۶۰-۷۰ درجه شیب را نشان می‌دهد، در حالیکه بخش سطحی آن شیب ۳۰ درجه دارد (شکل ۶a).

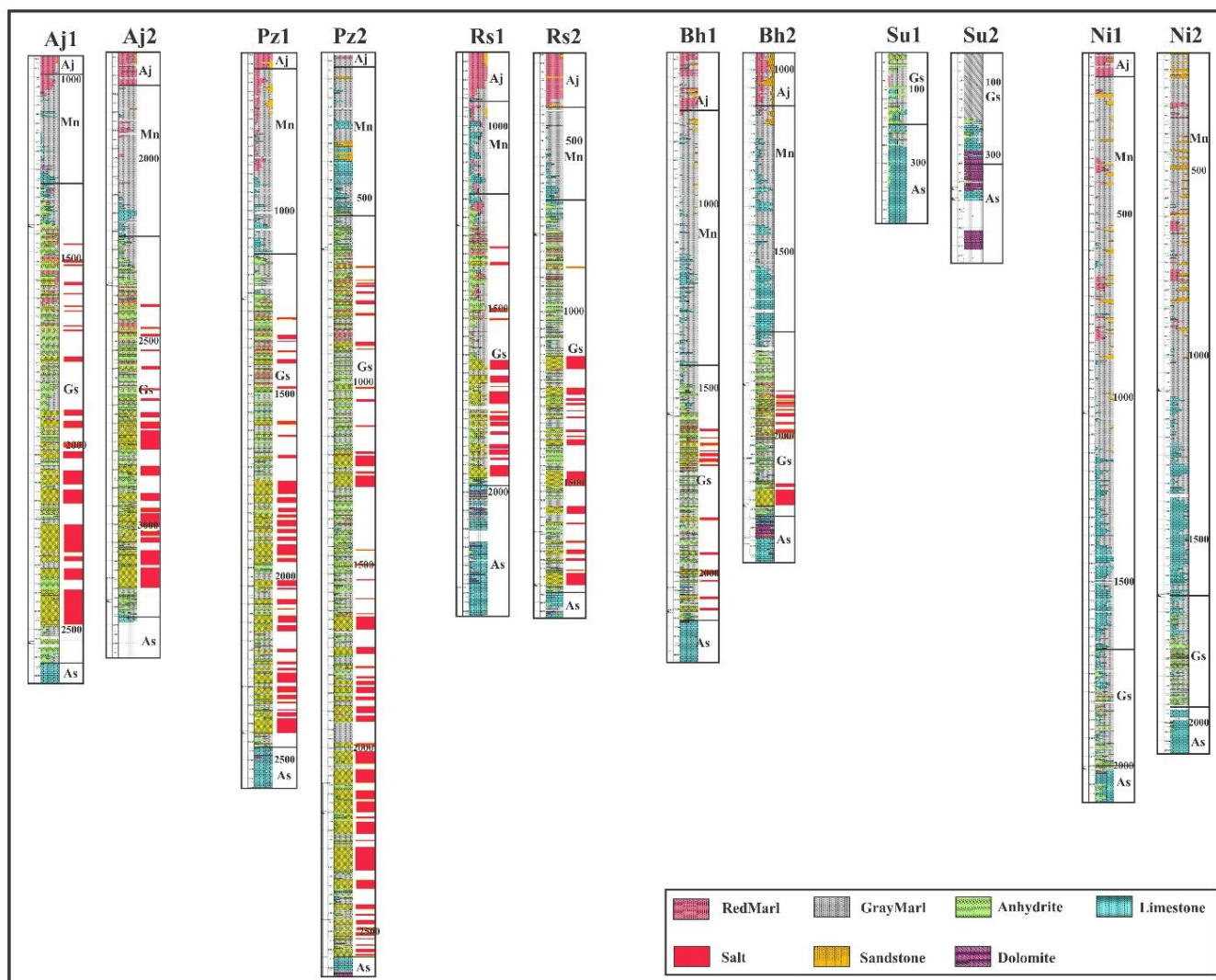
در تاقدیس بی‌بی حکیمه خطوط هم‌تراز در پهلوئی جنوب‌باختری فاصله کمتری از یکدیگر دارند و محور تاقدیس یک خمیدگی را نشان می‌دهد (شکل ۵d). مطالعه دو چاه حفاری شده بر روی تاقدیس بی‌بی حکیمه و برای مقایسه لیتولوژی و ضخامت سازند گچساران نشان می‌دهد که در چاه Bh1 (در بخش شمال‌باختری تاقدیس) ضخامت سازند گچساران در حدود ۶۹۶ متر است و مجموع ضخامت نمک در این چاه حدود ۸۴ متر برآورد شده است. در چاه Bh2 که در بخش جنوب‌خاوری تاقدیس حفاری شده، ضخامت سازند گچساران برابر ۵۰۳ متر و مجموع ضخامت نمک حفاری شده حدود ۸۸ متر برآورد شده است (شکل ۵d و جدول ۱).

در تاقدیس رگ سفید خطوط هم‌تراز در پهلوئی جنوب‌باختری آن در افق‌های قدیمی‌تر از گچساران فاصله کمتری نسبت به پهلوئی شمال‌باختری دارند که نشان از شیب بیشتر پهلوئی جنوب‌باختری است. محور تاقدیس چرخشی حدود ۳۰ درجه ساعتگرد در افق آسماری را نیز نشان می‌دهد. تاقدیس رگ سفید سه بستگی ساختاری در افق آسماری دارد که یکی در بخش انحنای تاقدیس و دوتا در بخش جنوب‌خاوری آن مشاهده می‌شود.

مطالعه دو چاه حفاری شده بر روی تاقدیس رگ سفید نشان می‌دهد که در چاه Rs1 (در بخش شمال‌باختری تاقدیس) ضخامت سازند گچساران در حدود ۷۹۶ متر است و مجموع ضخامت نمک در این چاه حدود ۱۸۷ متر است. در حالیکه در چاه Rs2 که در بخش جنوب‌خاوری تاقدیس حفاری شده ضخامت سازند گچساران برابر ۱۱۴۶ و مجموع ضخامت نمک حفاری شده حدود ۲۶۳ متر برآورد شده است (شکل ۵e و جدول ۱). تفسیر برش لرزه‌ای در تاقدیس رگ سفید نشان می‌دهد که پهلوئی جنوب‌باختری تاقدیس شیب بیشتری از پهلوئی شمال باختری آن دارد و همچنین جابجایی محور در افق‌های جوانتر از گچساران را نسبت به افق‌های قدیمی‌تر نشان می‌دهد (شکل ۶ و جدول ۲).

خطوط هم‌تراز دو تاقدیس سولابدر و نرگسی در پهلوئی شمال‌خاوری و جنوب باختری تقریباً فاصله‌های برابری نسبت به یکدیگر دارند که این نشان می‌دهد دو پهلو تقریباً با یکدیگر هم‌شیب هستند و پیچیدگی محوری خاصی در محور تاقدیس‌ها روی نداده است (شکل ۵e و f5 و جدول ۲). دو چاه بر روی تاقدیس سولابدر حفاری شده است. با توجه به اینکه چاه‌های حفاری شده در سطح با سازند گچساران شروع شده پس سرسازند گچساران در این تاقدیس مشخص نمی‌باشد در نتیجه نمی‌توان ضخامت به عنوان گچساران در این چاه‌ها برای این تاقدیس در نظر گرفت مجموع ضخامت نمک فقط در یکی از چاه‌ها حدود ۸ متر برآورد شده است و در چاه Su2 نمکی مشاهده نشده است (شکل ۴ و جدول ۱).

مطالعه داده‌های موجود از دو چاه حفاری شده بر روی تاقدیس نرگسی و برای مقایسه لیتولوژی و ضخامت سازند گچساران نشان می‌دهد که در چاه Ni1 (در بخش شمال‌باختری تاقدیس) ضخامت سازند گچساران در حدود ۲۳۸ متر است و در چاه Ni2 (در بخش جنوب‌خاوری تاقدیس) ضخامت این سازند ۳۰۳ متر برآورد شده است. هیچ نمکی در مسیر این دو چاه حفاری نشده است (شکل ۴ و جدول ۱). تفسیر برش لرزه‌ای بازتابی بر این تاقدیس نشان می‌دهد که شیب پهلوئی تاقدیس تقریباً برابر است و بنابراین تاقدیس حالت متقارنی دارد (شکل ۶).



شکل ۴- لاگ ترسیمی از چاه‌های حفاری (انتخاب شده) بر تاق‌دیس‌های آغاچاری (Aj)، پازنان (Pz)، رگ‌سفید (Rs)، بی‌بی‌حکیمه (Bh)، سولابدر (Su) و نرگسی (Ni). (لایه‌های نمک با رنگ قرمز در سمت راست هر لاگ نشان داده شده است).

Fig. 4. Graphic well logs (selected wells) on Aghajari (Aj), Pazanan (Pz), Rage-Sefid (Rs), Bibihakimeh (Bh), Sulabdar (Su) and Nargesi (Ni) anticlines. (Salt layers sign by red colour in right log)

جدول ۱- ضخامت سازند گچساران و ضخامت نمک در هر چاه.

Table 1. Thickness of Gachsaran Formation and salt thickness in each well.

Anticline name	Aghajari		Pazanan		Rage-sefid		Bibihakimeh		Sulabdar		Nargesi	
	Aj1	Aj2	Pz1	Pz2	Rs1	Rs2	Bh1	Bh2	Su1	Su2	Ni1	Ni2
Gachsaran formation thickness	1302	1039	1176	2019	796	1146	696	503	From surface	From surface	238	303
Total salt thickness	445	363	490	692	187	263	84	88	8	0	0	0
Salt thickness ratio to Gachsaran formation thickness	0.342	0.35	0.417	0.343	0.235	0.23	0.175	0.12	0	0	0	0
Axial surface shifted to axial depth along well	4502	5161	5806	1573	2115	3455	3861	213	0	0	0	0
Total axial shifted	2-6 Km		1.5-6 Km		2.5-5.5 Km		1-4 Km		0.2-0.5 Km		0.1-0.2 Km	

جدول ۲- مشخصات پهلوها بر اساس (جهت شیب)/(شیب) و زاویه بین پهلوها در افق بالای گچساران و آسماری.

Table 2. Characteristics of limbs based on (Dip) / (Dip Direction) and angle between limbs on younger of Gachsaran and Asmari formations.

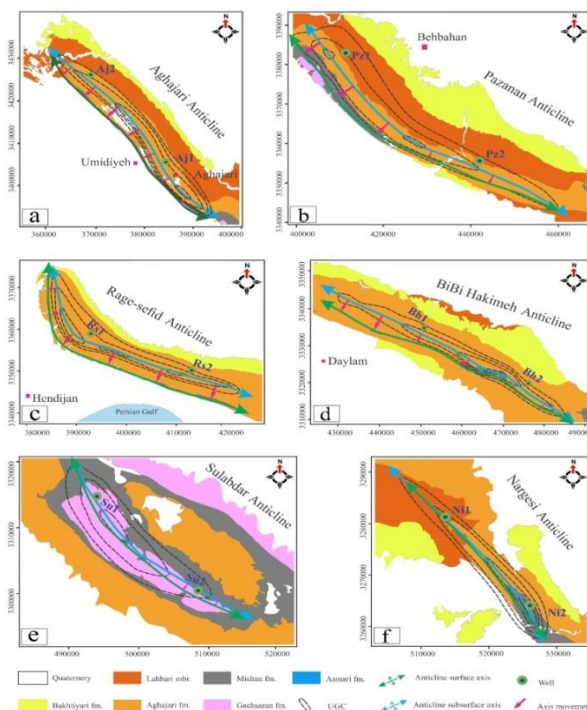
Anticline name	NE limb (Dip)/(Dip Direction)		SW limb (Dip)/(Dip Direction)		Inter limbs angle	
	Surface	Asmari	Surface	Asmari	Surface	Asmari
Aghajari	(6-18)/(041-052)	(21-47)/(041-060)	(16-42)/(220-232)	(40-70)/247-223)	85-140	58-84
Pazanan	(6-16)/(041-050)	(15-34)/(29-47)	(19-46)/(218-231)	(34-63)/(208-231)	134-160	85-128
Rage-Sefid	(09-18)/(018)	(26-42)/(016)	(40-71)/(211)	(43-78)/(199)	90-130	62-106
Bibihakimeh	(08-34)/(029)	(24-36)/(021)	(21-81)/(209)	(52-78)/(210)	70-134	80-110
Sulabdar	(18-31)/(037)	(16-32)/(051)	(35)/(205)	(45-62)/(227)	124-142	126-131
Nargesi	(31)/(055)	(23-33)/(50)	(38)/(226)	(19-36)/(228)	118-128	112-126

### ۵- نقش سازند گچساران در جدایش ساختاری

بطور کلی عملکرد رانده‌ها و سطح جدایش گچساران در سازندهای جوانتر از آن باعث ایجاد تفاوت در شیب ساختمانی در هر دو دامنه تاقدیس‌ها در امتداد گسل پیشانی زاگرس شده است و تاقدیس‌های ناهماهنگ تشکیل داده است. این ساختارها نه تنها جزء تاقدیس‌های نامتقارن محسوب می‌شوند بلکه عدم هماهنگی و تقارن در محور ساختمانی مخزن آسماری و قدیمی‌تر و سازندهای گروه فارس در آن مشاهده می‌شود. حرکت جریان‌های جامد از ستیغ تاقدیس‌ها به سوی نودیس کناری موجب رانده شدن سازند گچساران و به سطح آمدن این سازند (بطور مثال گسل Tr3 در دامنه جنوبی تاقدیس رگ-سفید در شکل ۶) و سرانجام سبب ایجاد گسل‌های متعدد در سازند گچساران و سازندهای جوانتر از آن در تاقدیس و به صورت شاخه‌های متفاوت می‌باشد (Mitra, 2002).

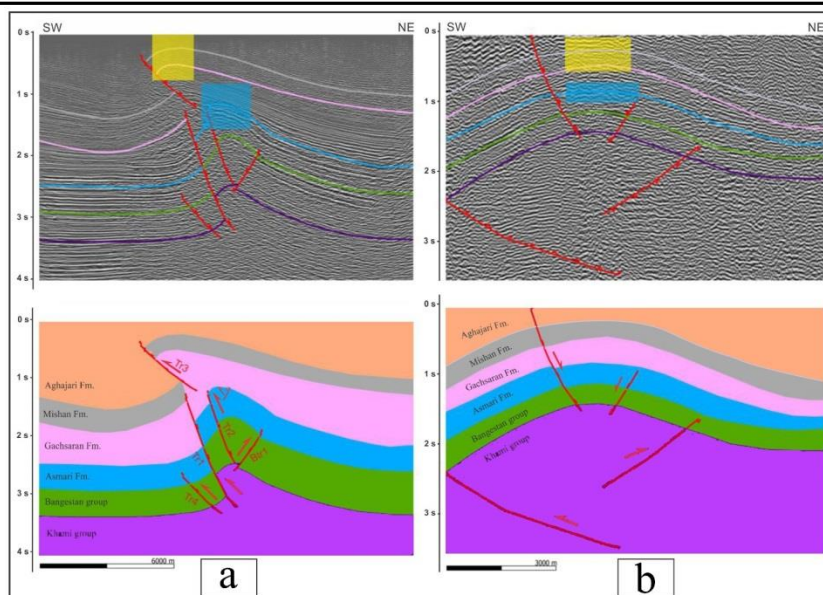
بر اساس نقشه‌ی پایه تهیه شده بر روی هر تاقدیس مقدار جابجایی محور در سطح نسبت به عمق اندازه‌گیری شده است (شکل ۵). جابجایی محور

تاقدیس‌ها در جهت حرکت رانده‌ها می‌باشد و در هر تاقدیس مقدار جابجایی یکسان نیست و همچنین در هر تاقدیس نسبت به تاقدیس مجاور نیز متفاوت می‌باشد. بیشترین جابجایی در بخش شمال‌خاوری تاقدیس‌های آغاجاری و پازنان (تا حدود شش کیلومتر) و کمترین جابجایی در تاقدیس‌های نرگسی و سولابدر (صفر تا ۲۰۰ متر) اندازه‌گیری شده است (شکل ۵). بطور کلی از طرف باختر ناحیه به سمت خاور میزان جابجایی در محور سطحی نسبت به عمقی کمتر می‌شود. با استفاده از تفسیر برش‌های لرزه‌ای تاقدیس‌ها می‌توان جابجایی محور در افق‌های بالاتر از گچساران نسبت به افق‌های قدیمی‌تر را مشاهده کرد. در این برش‌ها همچنین مشاهده می‌شود که تاقدیس‌هایی مانند آغاجاری و رگ‌سفید در پهلو جنوب‌باختری گسل‌های رانده‌ها دارند در صورتی در تاقدیس‌هایی مانند نرگسی گسل نرمال در بخش لولای چین مشاهده می‌شود (شکل‌های ۶ و ۷). مقدار جابجایی محور سطحی نسبت به زیرسطحی در جدول ۲ آمده است.

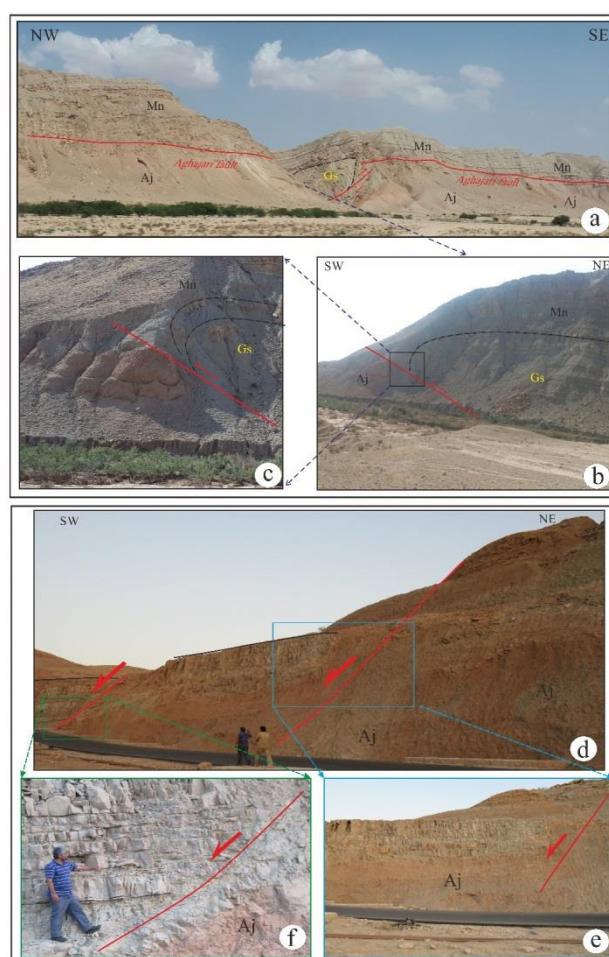


شکل ۵- نقشه زمین‌شناسی از تاقدیس‌های آغاجاری (a)، پازنان (b)، رگ‌سفید (c)، بی‌بی‌حکیمه (d)، سولابدر (e) و نرگسی (f) همراه با نشان دادن محل محور تاقدیس سطحی و مقایسه آن با محل محوری زیرسطحی در سازند آسماری به منظور تعیین شیفت محوری در راستای سازند گچساران.

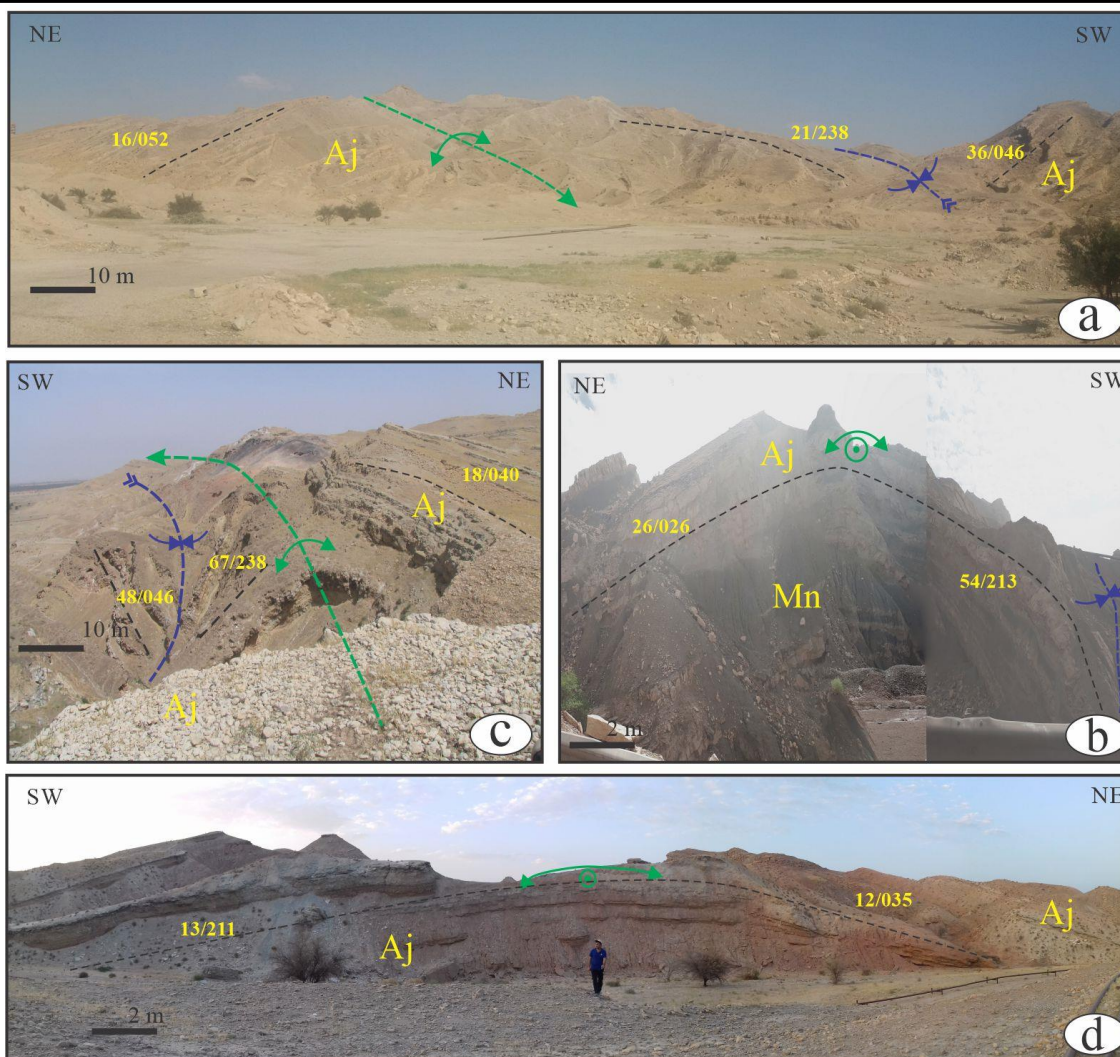
Fig. 5. Geological map of the Aghajari (a), Paznan (b), Rage-Sefid (c), Bibihakimeh (d), Sulabdar (e) and Nargesi (f) anticlines with presented the location of the axial surface anticline and comparing it with the axial subsurface anticline in the Asmari Formation for determine the axial shift along the Gachsaran Formation.



شکل ۶- برش‌های لرزه‌ای و تفسیر آنها در فروافتادگی دزفول جنوبی، (a) تاقدیس رگ‌سفید که دارای شیفت محوری می‌باشد و (b) تاقدیس نرگسی که فاقد شیفت محوری است.  
 Fig. 6. Seismic lines and their interpretation in the southern Dezful embayment, (a) the Rage-sefid anticline with axial shift, and (b) the Nargesi anticline without axial shift.



شکل ۷- رخنمون سطحی از گسل پیشانی زاگرس در فروافتادگی دزفول جنوبی (a) امتداد گسل آغاچاری (b) قرارگیری سازند میشان بر روی سازند آغاچاری (c) لایه‌های کشیده شده بر روی گسل راندگی آغاچاری (d) گسل‌های نرمال در لولای تاقدیس نرگسی (e) جابجایی ماسه‌سنگ‌های بخش لهبری توسط گسل‌های نرمال و (f) کشیدگی لایه‌ها در فرادیواره گسل نرمال.  
 Fig. 7. Surface outcrop of the Zagros Front Fault in the southern Dezful embayment, (a) Aghajari fault strike, (b) Mishan Formation on the Aghajari thrust fault, (c) drag layers on Aghajari thrust fault, (d) normal faults on nargesi anticline hinge, (e) displacement of sandstones of the Labrian member by normal faults, and (f) drag layers on hangingwall fault.



شکل ۸- رخنمون سطحی از محور سطحی تاقدیس‌ها در ناحیه فروافتادگی دزفول جنوبی، (a) محور سطحی تاقدیس پازنان با مختصات  $x=402521$ ,  $y=3386341$ ، (b) محور سطحی تاقدیس آغاجاری با مختصات  $x=396025$ ,  $y=3356687$ ، (c) محور سطحی تاقدیس بی‌بی‌حکیمه با مختصات  $x=480242$ ,  $y=33171066$ ، (d) محور سطحی تاقدیس بی‌بی‌حکیمه با مختصات  $x=384741$ ,  $y=3397262$ ، (e) محور سطحی تاقدیس آغاجاری با مختصات  $x=396025$ ,  $y=3356687$ ، (f) محور سطحی تاقدیس پازنان با مختصات  $x=402521$ ,  $y=3386341$ .

Fig. 8. Surface outcrop of the axial surface of the anticline in the Dezful embayment, (a) the axial surface of the Paznan anticline with coordinates  $x=402521$ ,  $y=3386341$ , (b) the axial surface of the Rage-Sefid anticline with coordinates  $x=396025$ ,  $y=3356687$ , (c) the axial surface of the Aghajari anticline with coordinates  $x=384741$ ,  $y=3397262$ , and (d) the axial surface of Bibihakimeh anticline with coordinates  $x=480242$ ,  $y=33171066$ .

می‌باشد. عملکرد افق‌های جدایش میانی در کمرندهای چین-رانده بسیاری مطالعه شده است، مانند: شمال آپنین در ایتالیا (Massoli et al., 2006)، کمریند زاگرس در ایران (O'Brien 1957; Sherkati et al., 2006; Farzipour saein et al., 2009)، کمریند زاگرس در عراق (Aqrawi et al., 2010)، کوه‌های راکی در کانادا (Cooper et al., 2004) و کمریند جنوب پیرنه (Vergés et al., 1992). این مطالعات نشان داده‌اند که به طور کلی واحدهای نامقاومی که ضخامت بیشتری دارند، پتانسیل ایجاد افق‌های جدایش ساختاری موثرتری را نیز دارا می‌باشند (Stewart, 1996; Costa and Vendeville, 2002; Bahroudi and Koyi, 2003; Simpson and Vendeville, 2009). بطور مثال مدل‌ها نشان می‌دهند که وجود واحدهای جدایشی میانی و بالایی فاکتور مهمی در کنترل سبک ساختاری و طول موج چین می‌باشند بگونه‌ای که طول موج چین نسبت مستقیم با ضخامت لایه مقاوم دارد و ایجاد ساختارهای دوپلکسی و طول موج کوتاه‌تر ارتباط مستقیم با ضخامت واحد جدایشی دارد (Sherkati et al., 2006). هر چه واحد جدایشی ضخیم تر

## ۶- بحث

سبک چین‌خوردگی به مقدار زیادی ناشی از تغییرات ویژگی‌های مکانیکی چینه‌های رسوبی در فرایند چین‌خوردگی می‌باشد (Cotton and Koyi, 2000; Spratt et al., 2004; Verges et al., 2011) در ناحیه مورد مطالعه در فروافتادگی دزفول جنوبی ناهم‌انگهی هندسی بین تاقدیس‌های آغاجاری، پازنان، رگ‌سفید و بی‌بی‌حکیمه در افق آسماری با افق‌های جوانتر از گچساران می‌توان گفت به اثر عملکرد جدایشی سازند شکل‌پذیر گچساران نسبت به سازندهای دیگر نسبت داد. با توجه به طبقه‌بندی Ramsay (1967) می‌توان سبک چین‌خوردگی را به دو دسته موازی و مشابه تقسیم‌بندی نمود که در چین‌های موازی هندسه چین در عمق تغییر می‌کند. بنابراین چین‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس این تقسیم‌بندی از دسته چین‌های موازی می‌باشند که هندسه چین در عمق تغییر می‌کند. مطالعه رفتار افق‌های جدایش میانی در کمرندهای چین-رانده یکی از نیازهای صنعت نفت برای اکتشاف و حفاری مخازن هیدروکربنی عمیق و از نظر هندسی پیچیده

نمک به کل ضخامت سازند گچساران بیشتر از سایر تاقدیسها می باشد، در صورتی که در تاقدیس‌هایی مانند نرگسی و سولابدر که در سازند گچساران محتوای نمک بسیار کمتری دارد، جابجایی محور تاقدیس‌ها در سطح نسبت به عمق کمتر و یا بدون جابجایی می باشند. بنابراین می توان نتیجه گرفت که در تاقدیس‌هایی که لیتولوژی غالب سازند گچساران نمک می باشد جابجایی محور تاقدیس‌ها در سطح نسبت به عمق بیشتر می باشد (شکل ۹). نمودار قرمز در شکل ۹ مقدار نسبت ضخامت نمک به ضخامت سازند گچساران را نشان می دهد که عدد در ۱۰۰۰ ضرب شده است. نمودار سبز در شکل ۹ ضخامت سازند گچساران به متر را نشان می دهد. بطور عمومی با افزایش این نسبت میزان جابجایی محور تاقدیس در سازندهای جوانتر از گچساران نسبت به سازندهای قدیمی تر از آن بیشتر می گردد. در این اساس محور تاقدیس‌ها در بخش خاوری فروافتادگی دزفول جنوبی بیشترین و در بخش باختری آن کمترین جابجایی را دارند البته استثنایی هم در مورد بخش خاوری تاقدیس پازنان وجود دارد که این مسئله می تواند به دلیل نزدیکی دو تاقدیس پازنان و رگ سفید نسبت به یکدیگر باشد به گونه ای که در این بخش فضای لازم و مناسب جهت جابجایی محور تاقدیس پازنان وجود نداشته است در حالی که مشاهده می شود در همین راستا تاقدیس رگ سفید جابجایی زیادی در بخش خاوری تاقدیس داشته است. همچنین می توان گفت در تاقدیس‌هایی مانند آغاچاری، پازنان، رگ سفید و بی بی حکیمه که سازند گچساران محتوی نمکی دارد به علت حرکت و جریان نمک در بخش پهلوی جنوب باختری گسل‌های راندگی توسعه پیدا کرده اند، در صورتی که تاقدیس‌هایی مانند نرگسی که نمک در سازند گچساران از ضخامت ناچیزی برخوردار است، جابجایی گسل‌های نرمالی که در بخش لولایی تاقدیس در سازندهای قدیمی تر از گچساران توسعه یافته اند به سازندهای جوانتر از گچساران نیز انتقال می یابد و در سطح نیز این گسل‌های نرمال مشاهده می شوند که در بحث توسعه میدان‌های نفتی و برنامه ریزی های حفاری باید مد نظر قرار گیرند. (شکل های ۶ و ۷).

با توجه به پراکندگی تاقدیس‌هایی که سازند گچساران حاوی نمک است در بخش باختری ناحیه مورد مطالعه و قرائگیری تاقدیس‌های فاقد نمک در بخش های خاوری آن، می توان گفت که از سمت باختر به سمت خاور مقدار نمک سازند گچساران کمتر می باشد و در واقع سازند گچساران در حال تبدیل شدن به سازند معادل خود یعنی رازک می باشد.

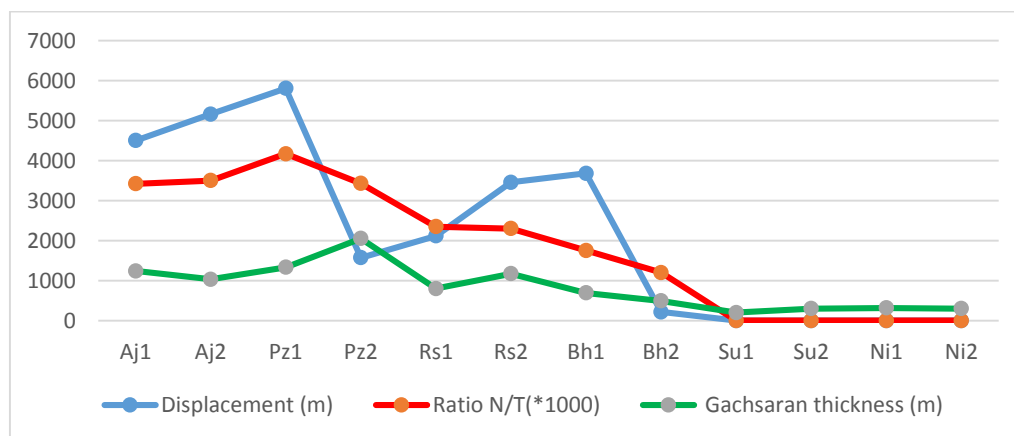
باشد انتشار دگرریختی و گوه راندگی سریعتر اتفاق می افتد (Farzipour Saein et al., 2009)

پوشش رسوبی زاگرس با ضخامت ۸-۱۴ کیلومتر شامل توالی رسوبی از رسوبات تخریبی، تبخیری و شیمیایی مقاوم و نامقاوم متفاوتی می باشد که ضخامت و گسترش متفاوتی را در کمربند زاگرس دارند (Motiei, 1995). ویژگی‌های مکانیکی این رسوبات یکسان نمی باشد در نتیجه رنولوژی متفاوتی دارند که در طول کمربند زاگرس تغییر می کند (Bahroudi and Koyi, 2003; Sherhati and Letouzey, 2004; Farzipour saein et al. 2009).

افق جدایش قاعده‌ای در فارس نمک هرمز (Stocklin, 1974; Bahroudi and Koyi, 2003) و در فروافتادگی دزفول شیل‌های پالئوزوئیک (Carruba et al., 2006) در نظر گرفته شده اند و افق جدایش میانی تبخیری‌های تریاس (Najafi et al., 2014; Farzinpour-Saein, 2009) و افق جدایش بالایی تبخیری‌های میوسن (سازند گچساران) در نظر گرفته شده است (Najafi et al., 2013; Najafi et al., 2014; Bahroudi et al., 2003).

در منطقه مورد مطالعه، تبخیری‌های گچساران در همه جا رفتار مکانیکی یکسانی در حین دگرریختی نداشته اند و عملکرد متفاوتی به عنوان افق جدایش در بخش‌های مختلف فروافتادگی دزفول جنوبی دارند. به گونه ای که این تبخیری‌ها در برخی تاقدیس‌ها مانند آغاچاری، پازنان، رگ سفید و بی بی حکیمه عملکرد جدایشی داشته و باعث شده تا محور تاقدیس در سازندهای جوانتر از گچساران مانند میشان و آغاچاری در جهت حرکت راندگی جابجایی قابل توجهی داشته باشد (شکل a, b, c, d). اما در دیگر تاقدیس‌ها مانند سولابدر و نرگسی، محور جابجایی نداشته است (شکل e, f). بنابراین تغییرات لیتولوژیکی و ضخامت سازند گچساران را می توان عامل کنترل کننده سبک چین خوردگی دانست.

در فروافتادگی دزفول جنوبی رفتار سازند گچساران به عنوان یک افق جدایشی به شدت در فواصل کوتاه تغییر می کند. در این مطالعه دو ویژگی این سازند شامل ضخامت سازند گچساران و محتوای نمک به عنوان عوامل کنترل کننده این تغییرات مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس داده‌های نقشه‌های تهیه شده و همچنین چاه‌های حفاری مشاهده می شود که در تاقدیس‌هایی که جابجایی محور زیاد می باشد (مانند تاقدیس‌های آغاچاری، پازنان، رگ سفید و بی بی حکیمه) لیتولوژی غالب سازند گچساران از نمک می باشد و درصد نسبت



شکل ۹- نمودار خطی نسبت ضخامت سازند گچساران، نسبت ضخامت نمک به ضخامت سازند گچساران و جابجایی محور تاقدیس‌ها.

Fig. 9. Linear diagram of ratio Gachsaran Formation thickness, the ratio of salt thickness to Gachsaran Formation thickness and displacement of anticline axis.

## ۷- نتیجه گیری

در این مطالعه با تلفیق داده‌های میدانی با تفسیر خطوط لرزه‌ای بازتابی و همچنین اطلاعات چاه‌های حفاری شده به بررسی نقش جدایشی سازند گچساران در پهنه فروافتادگی دزفول جنوبی پرداخته است. نتایج اصلی این مطالعه به شرح زیر است.

۱- شیب پهلوی شمال‌خاوری در تاقدیس‌های آجاجاری، پازنان، رگسفید و بی-بی حکیمه نسبت به پهلوی جنوب باختری کمتر است و نشان از نامتقارن بودن این تاقدیس‌ها دارد. این عدم تقارن به دلیل عملکرد قطعات گسلی در پهلوی جنوب‌باختری این ساختارها که عمدتاً از افق گچساران منشأ یافته اند مربوط می‌شود. در صورتی در تاقدیس‌های سولابدر و نرگسی شیب پهلوها تقریباً برابر می‌باشند و این دو تاقدیس تقریباً متقارن می‌باشند.

۲- هندسه چین‌خوردگی در سازندهای جوانتر از گچساران در تاقدیس‌های آجاجاری، پازنان، رگسفید و بی‌بی حکیمه نسبت به سازندهای قدیمی‌تر از گچساران مانند آسماری متفاوت می‌باشد. این ناهم‌انگهی ساختاری به علت عملکرد جدایشی سازند گچساران می‌باشد. در صورتی که در دو تاقدیس سولابدر و نرگسی هندسه سازندهای جوانتر از گچساران و قدیمی‌تر تقریباً یکسان می‌باشند. علاوه بر این، جابجایی محور سطحی نسبت به عمق و در افق آسماری در تاقدیس‌های آجاجاری، پازنان، رگسفید و بی‌بی حکیمه زیاد می‌باشد در صورتی در تاقدیس‌های سولابدر و نرگسی کمترین مقدار را دارد که می‌توان گفت به علت حضور نمک در سازند گچساران می‌باشد. و بر اساس

تقسیم‌بندی ایزوگنی رمزی (Ramsay, 1967) با توجه به تغییرات سطح نسبت به عمق در هندسه این چین‌ها جزء چین‌های موازی بشمار می‌روند.

۳- هرچه ضخامت نمک سازند گچساران بیشتر باشد مقدار جابجایی محور سطحی تاقدیس‌ها نسبت به محور آن‌ها در افق آسماری بیشتر می‌باشد بجز در مورد بخش خاوری تاقدیس پازنان که مربوط به کمبود فضا برای جابجایی محور تاقدیس پازنان می‌باشد. همچنین در پهلوی پرشیب این تاقدیس‌ها در اثر حرکت سازند نامقاوم گچساران که حاوی نمک می‌باشد گسل‌های راندگی بیشتری تشکیل شده است (مانند تاقدیس رگسفید)، در صورتی در تاقدیس‌هایی مانند سولابدر و نرگسی که سازند گچساران فاقد نمک می‌باشد گسلش راندگی در پهلوها توسعه نیافته و جابجایی گسل‌های نرمالی که در ناحیه لولای چین و در سازندهای قدیمی‌تر از گچساران تشکیل شده به سازندهای جوانتر از آن نیز انتقال می‌یابد که نشان از عدم عملکرد جدایشی سازند گچساران در این تاقدیس‌ها به دلیل مقدار ناچیز نمک در سازند گچساران آن‌ها است.

## تشکر و قدردانی

از معاونت زمین‌شناسی شرکت نفت مناطق نفت‌خیز جنوب بخاطر پشتیبانی کامل این مطالعه تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از جناب دکتر ناصر کریموند معاونت فنی زمین‌شناسی، مهندس اعتمادی معاونت اداره عملیات زمین‌شناسی، مهندس صادقی رئیس عملیات زمین‌شناسی، جناب مهندس حسین‌پور ریاست مکانیزه اداره زمین‌شناسی و دوست و همکار گرامیم جناب آقای مهندس امیر صابری تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع:

- Aqrawi, A.A.M., Goff, J.C., Horbury, A.D., Sadooni, F.N., 2010. The Petroleum Geology of Iraq. Scientific Press Ltd. 1-424.
- Bahroudi, A., Koyi, H.A. 2003. Effect of spatial distribution of Hormuz salt in deformation style in the Zagros fold-and-thrust belt: An analog modeling approach. *Journal of the Geological Society* 160, 719-733. DOI:10.1144/0016-764902-135.
- Carruba, S., Perotti, C.R., Buonaguro, R., Calabro', R., Carpi, R., Naini, M., 2006. Structural pattern of the Zagros fold-and-thrust belt in the Dezful Embayment (SW Iran): Styles of continental contraction. *Geological Society of America Special Paper* 414, 11-32. DOI:10.1130/2006.2414(02).
- Casciello, E., Vergés, J., Saura, E., Casini, G., Fernandez, N., Blanc, E. J.P., Homke, S., Hunt, D., 2009. Fold patterns and multilayer rheology of the Lurestan Province, Zagros Simply Folded Belt (Iran). *Journal of the Geological Society* 166, 947-59. DOI: 10.1144/0016-76492008-138.
- Cooper, M., Brealey, C., Fermor, P., Green, R., Morrison, M., 2004. Structural models of subsurface thrust-related folds in the foothills of British Columbia, Case studies of sidetracked gas wells. In: McClay, K.R. (eds) *Thrust tectonics and hydrocarbon systems*. AAPG Memoir 82, 579-597.
- Costa, E., Vendeville, B.B., 2002. Experimental insights on the geometry and kinematics of fold-and-thrust belt above weak, viscous evaporitic decollement. *Journal of Structural Geology* 24, 1729-1739. DOI: 10.1016/S0191-8141(01)00169-9.
- Cotton, J.T., Koyi, H.A., 2000. Modeling of thrust fronts above ductile and frictional detachments: Application to structures in the Salt Range and Potwar Plateau, Pakistan. *Geological Society of America Bulletin* 112, 351 - 363. DOI: 10.1130/0016-7606.
- Currie, J.B., Patnode, H.W., Trump, R.P., 1962. Developments of folds in sedimentary strata. *Geological Society of America Bulletin*, 73, 655-674. DOI:10.1130/0016-7606.
- Davis, D.M., Engelder, T., 1985. The role of salt in fold-and thrust belts. *Tectonophysics* 119, 67-88. DOI: 10.1016/0040-1951(85)90033-2.
- Farzipour-Saein, A., Yassaghi, A., Sherkati, S., Koyi, H., 2009. Mechanical stratigraphy and folding style of the Lurestan region in the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Journal of the Geological Society* 166, 1101-1115. DOI: 10.1144/0016-76492008-162.
- Madahi, H., 2010. Structural and Fractures Analysis of Bibihakimeh Oil Field. M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
- Massoli, D., Koyi, H.A., Massimiliano, R., 2006. Barchi structural evolution of a fold and thrust belt generated by multiple decollements: analogue models and natural examples from the Northern Apennines (Italy). *Journal of Structural Geology* 28, 185-199. DOI:10.1016/j.jsg.2005.11.002.
- Mitra, S., 2002. Fold-accommodation faults. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 86, 671-693.

- Motamedi, H., Sherkati, S., Sepehr, M., 2012. Structural style variation and its impact on hydrocarbon traps in central Fars, Southern Zagros folded belt, Iran. *Journal of Structural Geology* 37, 124-133. DOI: 10.1016/j.jsg.2012.01.021.
- Motiei, H., 1993. *Geology of Iran: Stratigraphy of Zagros*. Geological Survey of Iran, Tehran, p. 597.
- Motiei, H., 1995. *Petroleum Geology of Zagros*. Tehran, GSI publication, p. 589.
- Najafi, M., Yasaghi, A., Verges., J., Bahroudi, A., Sherkati, Sh., 2013. Three-dimensional structural analysis of the Sefid-Zakhor anticline in the Fars area, to determine the geometry of the Permian gas reservoir horizon. *Advanced Applied Geology* 1-10.
- Najafi, M., Yasaghi, A., Bahroudi, A., 2015. Influence of mechanical stratigraphy on structural style in the middle area of Zagros fold-thrust belt. *Jurnal of Earth Sciences* 94, 329-334.
- Najafi, M., Yassaghi, A., Bahroudi, A., Verges, J., Sherkati, S., 2014. Impact of the late Triassic dashtak intermediate detachment horizon on anticline geometry in the central frontal Fars, SE Zagros Fold belt, Iran. *Marine Petroleum Geology* 54, 23-36.
- O'Brien, C.A.E., 1957. Salt diapirism in south Persia. *Geol. Mijnbouw* 19, 357 – 376.
- Pattinson R., Jazayeri B., 1972. Structural analysis of the Zagros anticlines. Iranian Oil Operating Companies, Report No. 1188.
- Pattinson, R., Jazayeri, B., 1972. Structural analysis of the Zagros anticlines. Iranian Oil Operating Companies, Report No. 1188.
- Ramsay, J.G., 1967. *Folding and Fracturing of Rocks*. McGraw-Hill, New York.
- 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. DOI:10.1016/j.tecto.2006.05.021.
- Sherkati, S., Letouzey, J., 2004. Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran. *Marine and Petroleum Geology* 21, 535–554. DOI:10.1016/j.marpetgeo.2004.01.007.
- Sherkati, S., Letouzey, J., Frizon de Lamotte, D., 2006. The Central Zagros fold-thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation and sandbox modeling. *Tectonics* 25, TC4007. DOI: 10.1029/2004TC001766.
- Simpson, G.D.H., 2009. Mechanical modeling of folding versus faulting in brittle-ductile wedges. *Journal of Structural Geology* 31, 369–381. DOI:10.1016/j.jsg.2009.01.011.
- Soleimany, B., Säbat, F., 2010. Style and age of deformation in the Northwest Persian Gulf. *Petroleum Geosciences* 15, 1-10. DOI: 10.1144/1354-079309-837.
- Spratt, D.A., Dixon, J.M., Beattie, E.T., 2004. Changes in structural style controlled by lithofacies contrast across transverse carbonate bank margins Canadian Rocky Mountains and scaled physical models. In: McClay, K.R. (eds) *Thrust tectonic and hydrocarbon systems*. AAPG Memoir, 82, 259–275.
- Stewart, S., 1996. Influence of detachment layer thickness on style of thin-skinned shortening. *Journal of Structural Geology* 18/10, 1271-1274.
- Stocklin, J., 1974. Possible ancient continental margins in Iran, in Burk, C.A., and Drake, C.L. (eds) *The Geology of Continental Margins*, Berlin, Springer, p. 873–887.
- Vergés, J., Goodarzi, M.G.H., Emami, H., Karpuz, R., Efstathiou, J., Gillespie, P., 2011. Multiple detachment folding in Pusht-e Kuh arc, Zagros: Role of mechanical Stratigraphy. In: Mc Clay, K., Shaw, J.H. and Suppe, J. (eds) *Thrust fault-related folding: AAPG Memoir* 94, 69 – 94. DOI:10.1306/13251333M942899.
- Vergés, J., Muñoz, J.A. Martínez., 1992. South Pyrenean fold and thrust belt: The role of foreland evaporitic levels in thrust geometry. In: Mc Clay, K. (eds) *Thrust Tectonics*, Chapman and Hall, New York, 255-264.