

Original Research Paper

Introducing and investigating of structures related to mechanical stratigraphy, basement faulting and the growth of folds in Fars folded region (case study: Takhteh, Nahreh and Kuh-e-Lar anticlines)

Zahra Tavazo¹, Ebrahim Gholami^{*1}, Hossein Motamedi² and Bahman Soleimany²

¹ Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran

² Exploration Directorate, National Iranian Oil Company, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2023 January 09

Accepted: 2023 September 02

Available online: 2023 December 22

Keywords:

Takhteh

Growth strata

Aspect ratio

Detachment fold

Uplift

ABSTRACT

Numerous mechanisms are active during folding in folded-thrust belts, such as the role of salt movement, the role of multiple detachments in sedimentary cover, interference between different phases of deformation, and the role of basement during folding. The performance of these mechanisms plays an important role in the formation of different structures and geological features in geological units and folds geometry. In this research, such structures have been introduced and studied in Takhteh, Nahreh and Kuh-e-Lar anticlines in the north of Fars Paleo-High during field observations and measurement of geometric features of anticlines such as Aspect ratio, axial distance and half wavelength. These structures mainly include growth strata, geometry of tectonic synchronous strata, structures associated with shallow detachment such as rabbit-ear structures, faults that are themselves structures that control the geometry and kinematics of structures, and sulfur springs that related to faults and rheology of exposed formations. The present study shows that the anticlines have an aspect ratio less than ten and are part of the detachment folds in which the detachment horizons have played a role and have a dextral arrangement. The formation of these anticlines occurred at the same time, which will be connected to each other, and these anticlines are associated with basement faults. The location of these anticlines is suitable for the presence of hydrocarbons but the basement fault in the southern flank of Takhteh anticline may affect the reservoir. The presence of water gaps and wind gaps in the region is a sign of uplift and activity of the region.

1. Introduction

The Fars Paleo-High is located in the central part of the front of the Fars Plateau (Motamedi et al., 2012; Bordenave and Hegre, 2012). The studied area is on the northern margin of Fars Paleo-High


and includes Takhteh, Nahreh and Kuh-e-Lar anticlines. Numerous mechanisms are active during folding in folded-thrust belts, such as the role of salt movement, the role of multiple detachments


* Corresponding author: Ebrahim Gholami; E-mail:egholami@birjand.ac.ir

Citation:

Tavazo, Z., Gholami, E., Motamedi, H., and Soleimany, B., 2023. Introducing and investigating of structures related to mechanical stratigraphy, basement faulting and the growth of folds in Fars folded region (case study: Takhteh, Nahreh and Kuh-e-Lar anticlines). Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES, 33(4), 130, 59-80. <https://doi.org/10.22071/gsj.2023.378331.2044>.

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/gsj.2023.378331.2044

 dor: 20.1001.1.10237429.1402.33.4.4.7



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

in sedimentary cover, interference between different phases of deformation, and the role of basement during folding. The performance of these mechanisms plays an important role in the formation of different structures and geological features in geological units and folds geometry. In order to fully document history of the development of the region, it is necessary to combine studies at different scales such as field work and the use of seismic lines, because the age of these deformation events can be investigated by structures, especially growth strata. The importance of this study lays the foundation for further applied studies of oil exploration in the region.

2. Research methodology

In this research, field operations have been carried out to collect data and information of the studied area, and structures have been introduced in these anticlines (Takhteh, Nahreh and Kuh-e-Lar) that located in northern Fars Paleo-High. The geometric features of anticlines such as aspect ratio, axial distance and half wavelength have been measured and investigated. These structures often include growth strata, structures related to detachment horizons such as rabbit-ear structures, faults which are the structures that control the geometry and kinematics of the structures, sulfur springs related to the function of the faults and is affected by the rheology of the region's formations.

3. Results

The results of the field studies showed that the studied anticlines have a northwest and southeast trend and a rightward stepped arrangement due to the oblique collision of the Arabia-Iranian plates and the evolutionary stages and growth of the folds on top of the basement faults and also in relation to the strike-slip movements of these basement faults. The presence of structures such as rabbit-ear structures, fish-tile structures and footwall syncline confirm the presence of detachment horizons at depth, which is one of the necessary conditions for the formation of detachment folds. Also, the existence of growth strata and onlap confirms the existence of mechanisms between simultaneous sedimentation and tectonics and their relationship with folding and faulting, the deposition of sediment in marine and continental environments simultaneously with tectonic activities. The existence of onlap in young formations such as Aghajari and members of Gachsaran Formations proves that after the deposition of Asmari Formation and folding and then erosion of formations older than Aghajari Formation, during the uplift of the anticline, the sandstone of Aghajari Formation in that way, it has been onlapped on the Asmari Formation. Folding in the young formations of the region (Bakhtiari Formation) indicates the last stage of orogeny in the studied area. Sulfur springs and the investigation of their sulfur isotopes at the faults in the area confirm

the connection of these faults with the reservoir at depth. The fault in the northwest cape of Takhteh and the southeast of Nahreh caused the placement of the older formations of the Bangestan group (east side) on the younger formations of the Mol member of the Gachsaran Formation (west side), which shows that the eastern block of this fault is located at a higher depth than the western block. The devastating bitumen earthquake with a magnitude of 6.9 at a depth of 11 km and the damage caused by it is a sign of the presence of a basement fault in the region. The results of field work are used by integrating seismic line studies to investigate and explore hydrocarbons.

4. Discussions

The geometric characteristics of folds are one of the most important factors for the analysis and investigation of folds. Based on the aspect ratio of the fold of the folds are divided into two groups (buckle folds and forced folds) (Cosgrove and Ameen, 2000; Sattarzadeh et al., 2000). Most of the buckling folds are formed on detachment horizon; Detachment folds (Sattarzadeh et al, 2000) are placed in this group for this reason. If the distance between the axis of the folds is less than half of their wavelength, the folds will be connected to each other as they continue to grow, which can be seen at the bending junction between the two folds (Price and Cosgrove, 1990). This connection indicates the formation of two folds at the same time, while if the distance between the axis of the folds is more than half of their wavelength, during the growth of the folds, they are not connected to the joint and only close to each other and cover each other, causing a stepped state. According to the research conducted in the anticlines of the region, the aspect ratio of the folds is less than 10 and they have a dextral stepped arrangement. Most of the folds are symmetrical and have a ladder arrangement and are created due to the shear movement of the basement in the direction of the fault. Most pleats have an aspect ratio between 2 and 10 and follow the pattern of buckle folds.

5. Conclusion

According to the research done, the presence of sour chalk can be a sign of the possible release of hydrocarbons and the existence of a relationship between the reservoir and the surface. Due to the release of hydrocarbon, these transverse faults are probably present up to the reservoir. The position of the anticlines is suitable for the presence of hydrocarbons in terms of their location in the paleo high, but the faulting of the basement on the southern edge of the anticlines of Takhteh, Nahreh and Kuh-e-Lar may affect the reservoir. Anticlines have aspect ratio less than 10 and are part of detachment folds, where detachment horizons played a role in the formation of these folds, and it has a straight dextral stepped arrangement. The researches show that the formation of the folds

happened at the same time and they will be connected to each other in the future, and the anticlines are related to basement faults, and the eastern block is due to the placement of old formations on younger formations. It is placed higher rabbit-ear and fish-tile structures are among the field evidences that confirm the role of intermediate detachment horizons on fold geometry.

The presence of growth strata in the young Aghajari and Bakhtiari Formations and the onlapping of the Aghajari Formation on the Asmari on the southern edge of the Nehreh anticline can be due to the action of the basement fault after

the deposition of the Asmari Formation and folding and then erosion of the formations older than the Aghajari Formation, which during the uplift of the anticline, the sandstone of the Aghajari Formation was onlapped on the Asmari Formation. The presence of water gaps and wind gaps in the folds and formations of the region is a sign of the uplift of the folds and the activity of the region at present. The studied structures show the deformations caused by changes in sedimentary sequences, fold growth and faulting in depth, which can be achieved by combining subsurface seismic data.

معرفی و بررسی ساختارهای مرتبط با چینه‌شناسی مکانیکی، گسلش پی‌سنگ و رشد چین در ناحیه چین خورده فارس (مطالعه موردی تاقدیس‌های تخته، نره و کوه لار)

زهرا نوازع^۱، ابراهیم غلامی^{۱*}، حسین معتمدی^۲ و بهمن سلیمانی^۲^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران^۲ مدیریت اکتشاف، شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران

چکیده

سازوکارهای گوناگونی مانند نقش حرکت نمک، نقش سطوح جدایش چندگانه در پوشش رسوبی، تداخل بین فازهای مختلف دگرشکلی و نقش پی‌سنگ در طول چین خوردگی در کمربندهای چین خورده - رانده فعال هستند. عملکرد این سازوکارها نقش مهمی در شکل‌گیری ساختارهای متفاوت و عوارض زمین‌شناسی در واحدهای زمین‌شناسی و هندسه ساختمان‌ها دارد. در این پژوهش، چین ساختارهایی در تاقدیس‌های تخته، نره و کوه لار در شمال بلندای کهن فارس طی مشاهدات صحرایی معرفی گردیده‌اند و ویژگی‌های هندسی تاقدیس‌ها همچون نسبت چین‌ها، فاصله محوری و نصف طول موج اندازه‌گیری و بررسی شده‌اند. این ساختارها بیشتر شامل چین‌های رشدی، ساختارهای مرتبط با سطوح جدایشی کم‌ژرفا از جمله چین‌های گوش‌خرگوشی، گسل‌ها که خود از ساختارهای کنترل‌کننده هندسه و جنین‌شناسی (کینماتیک) ساختارها هستند، چشمه‌های گوگردی مرتبط با عملکرد گسل‌ها و متاثر از روانه‌شناسی (Rheology) سازندهای منطقه می‌باشد. بررسی حاضر نشان می‌دهد که تاقدیس‌ها با آرایش پلکانی راست‌بر، دارای نسبت شکلی چین کمتر از ۱۰ و جزو چین‌های جدایشی می‌باشند که در تشکیل آن‌ها افق‌های جدایشی نقش داشته‌اند. تشکیل این تاقدیس‌ها همزمان اتفاق افتاده که در ادامه به یکدیگر متصل خواهند شد. این تاقدیس‌ها در ارتباط با گسل‌های پی‌سنگی هستند. موقعیت این تاقدیس‌ها از نظر قرارگیری در بلندای مناسب حضور هیدروکربن است اما گسلش پی‌سنگی در یال جنوبی چین‌های مورد مطالعه به‌ویژه تاقدیس تخته ممکن است مخزن را تحت تاثیر قرار دهد. حضور آب‌چاک (water gap) و هواچاک (wind gap) ها در چین‌های منطقه نشانه بالا آمدگی چین‌ها و فعال بودن منطقه در حال حاضر است.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

تخته

چینه‌های رشدی

نسبت شکلی چین

چین جدایشی

بالا آمدگی

۱- پیش‌نوشتار

رویداد دگرشکلی سنوزویک پسین با کوهزایی زاگرس مطابقت دارد. رشته‌کوه زاگرس شامل کمربندهای چین خورده - رانده با روند شمال باختر - جنوب خاور در نتیجه کوتاه‌شدگی شمال خاور - جنوب باختر (Stöcklin, 1968; Alavi, 1994) به دلیل همگرایی شمالی - جنوبی (Sella et al., 2002) بین صفحه عربی و بخش ایرانی از صفحه اوراسیا ایجاد شده است. در شمال باختری خلیج فارس، چین خوردگی توسط رشد همزمان چین‌ها با روندهای مختلف در طول رویداد تغییر شکل جوان‌تر پیچیده شده‌است (Soleimany and Sabat, 2010).

بلندای قدیمی فارس در بخش مرکزی پیشانی پهنه فارس واقع شده است (Motamedi et al., 2012; Bordenave and Hegre, 2012). منطقه مورد مطالعه در حاشیه شمال بلندای قدیمی فارس و در برگیرنده تاقدیس‌های تخته، نره و کوه لار است (شکل ۱).

کمربندهای کوهزایی زاگرس در حاشیه شمال خاوری ورق عربی با راستای شمال باختر - جنوب خاور از ترکیه تا تنگه هرمز به طول بالغ بر ۲۰۰۰ کیلومتر گسترش یافته است. سلیمانی و سبت (Soleimany and Sabat, 2010) چین‌های شمال باختر خلیج فارس را نتیجه دو رویداد دگرشکلی می‌دانند که در انتهای کرتاسه پسین و سنوزویک پسین رخ داده است. سن این حوادث دگرشکلی آشکارا توسط چین‌های رشدی مشاهده شده در خطوط لرزه‌ای نشان داده شده است. چین‌ها در این منطقه سبک‌های مختلفی را نشان می‌دهند از مقارن تا با تمایل به سمت باختر و به طور منظم در طول مقطع توزیع نمی‌شوند. در رویداد دگرشکلی کرتاسه پسین (James and Wynd, 1965; Saura et al., 2011) تعدادی از چین‌ها با روند شمال شمال خاور - جنوب جنوب باختر (که از این پس «روند پان آفریقا» نامیده می‌شود) تشکیل شد و ناپیوستگی قوی در کرتاسه بالایی (ماستریشین) در کل منطقه در مقاطع لرزه‌ای قابل مشاهده است.

* نویسنده مسئول: ابراهیم غلامی؛ E-mail: egholami@birjand.ac.ir

ماخذنگاری:

نوازع، ز.، غلامی، ا.، معتمدی، ح. و سلیمانی، ب.، ۱۴۰۲، معرفی و بررسی ساختارهای مرتبط با چینه‌شناسی مکانیکی، گسلش پی‌سنگ و رشد چین در ناحیه چین خورده فارس (مطالعه موردی تاقدیس‌های تخته، نره و کوه لار). فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۳(۴)، ۱۳۰-۵۹. <https://doi.org/10.22071/gsj.2023.378331.2044>

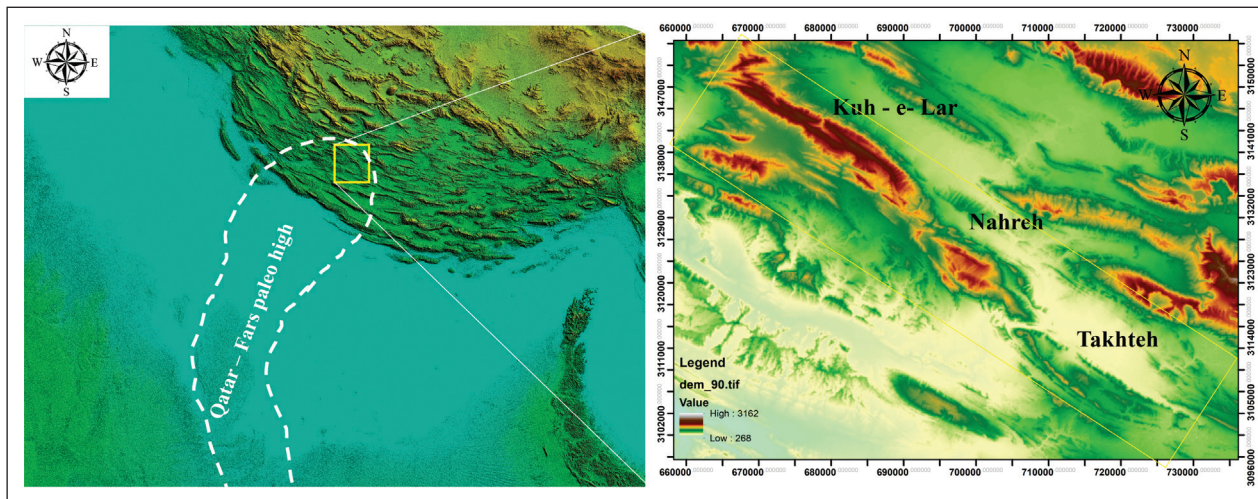
doi: 10.22071/gsj.2023.378331.2044



doi: 20.1001.1.10237429.1402.33.4.4.7

حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.

This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



شکل ۱- موقعیت بلندای قدیمی فارس و منطقه مورد مطالعه (تاقدیس‌های تخته، نره و کوه لار).

Figure 1. The location of Fars Paleo-High and the study area (Takhteh, Nahreh and Kuh-e-Lar anticlines).

بدین منظور در این مطالعه با بهره‌گیری از وجود ساختارهای مختلف، آنها را بررسی نموده که در ادامه به آن پرداخته شده‌است.

۳- داده‌ها و اطلاعات ۳-۱- جایگاه زمین‌ساختی

بلندای قدیمی فارس در بخش مرکزی پیشانی پهنه فارس واقع شده‌است و منطقه مورد مطالعه در حاشیه شمال بلندای قدیمی فارس قرار دارد. بلندای قدیمی فارس در جنوب کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس حاوی ۱۵۰۰ تریلیون فوت مکعب معادل ۱۵ درصد از کل ذخایر گاز اکتشاف شده در جهان است (Motamedi et al., 2012; Bordenave and Hegre, 2012). میزان کوتاه‌شدگی و گسلش در عرض بلندای فارس حدود ۲۰ درصد است. مطالعه یک برش لرزه‌ای به طول ۲۰۰ کیلومتر به موازات خلیج فارس و عمود بر روند عمومی بلندای فارس کاهش ستبرای پوشش رسوبی در بالای بلندا را به خوبی نشان داده‌است (Perotti et al., 2011). در بخش مرکزی و جنوبی بلندای قدیمی فارس هیچ گنبد نمکی در سطح رخنمون ندارد در حالی که در بخش باختری منطقه در تاقدیس خورموج و همچنین در شمال منطقه در تاقدیس‌های فیروزآباد جهانی و بهار سری هرمز در سطح دیده می‌شوند. ویژگی‌های مکانیکی واحدهای سنگی (روانه‌شناسی (رئولوژی) پوشش رسوبی زاگرس) هم به صورت قائم از ژرفا تا سطح و هم به صورت جانبی در طول کمربند زاگرس تغییر می‌کند (Bahroudi and Koyi 2003; Sherkati and Letouzey, 2004). تبخیری‌های تریاس (سازند دشتک) و تبخیری‌های میوسن (سازند گچساران) در مناطق مختلف کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس نقش افق‌های جدایش میانی اصلی را برعهده دارند (Sherkati et al., 2006; Sherkati and Letouzey, 2004). گفتنی است این دو سازند در بخش‌های دیگری از کمربند نیز حضور دارند ولی تغییرات جانبی در رخساره و ستبرای این سازندها سبب شده‌است تا نقش خود را به عنوان افق جدایش میانی اصلی از دست بدهند (Bahroudi and Koyi, 2003). همچنین تعدادی افق جدایش فرعی در میانه پوشش رسوبی برخی مناطق زاگرس حضور دارند (Sherkati et al., 2006). هندسه ساختاری مشابه چین‌های جدایشی گسلیده (Mitra, 2002, 2003) زمانی گسترش می‌یابد که ابتدا چین بر روی افق جدایشی شکل‌پذیر در قاعده پوشش رسوبی (مانند سری نمکی هرمز) ایجاد شده و سپس در نتیجه تمرکز دگرشکلی گسل‌ها در پهلوهای آن توسعه می‌یابند. شواهدی که

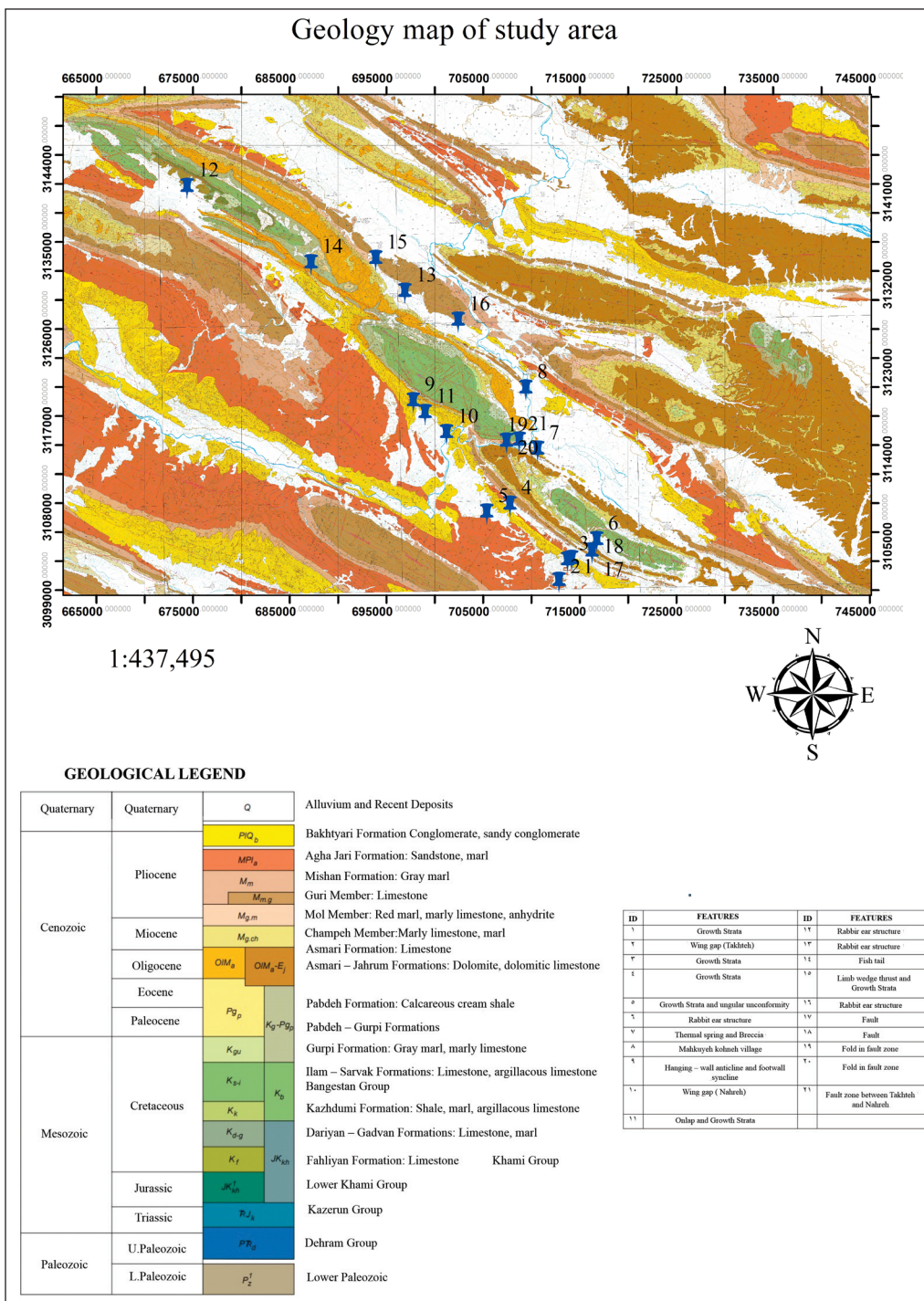
چین‌خوردگی در کمربند‌های چین و راندگی وابسته به میزان اصطکاکی بوده است که در قاعده رسوبات در حال کوتاه‌شدگی وجود دارد به گونه‌ای که هرچه اصطکاک با حضور یک واحد شکل‌پذیر کاهش یابد، تقدم زمانی توسعه چین‌خوردگی به گسلش افزایش می‌یابد (Mitra, 2003; Hughes, 2013). لایه‌های نمک‌دار از سازند سری هرمز به سن ادیاکارن-کامبرین پیشین یا معادل‌های جانبی آن به عنوان افق اصلی سطح گسستگی پایینی دارای خواص الاستیکی و شکل‌پذیر پوشاننده پی‌سنگ برای پهنه فارس پیشنهاد شده‌اند (Jackson, 1980; Berberian, 1996; Talbot and Alavi, 1996). هر چند برخی از پژوهشگران عدم رخنمون گنبد‌های نمکی در بخش مرکزی بلندای قدیمی فارس را به معنی نبود سری هرمز در قاعده پوشش رسوبی در نظر گرفته‌اند (Bahroudi and Koyi, 2003)، با این حال بیشتر پژوهشگران دلایلی چون کاهش ستبرای سری هرمز در بلندا و یا تغییر رخساره آن به انیدریت را پیشنهاد کرده‌اند (Furst, 1976; Kent, 1979; Jahani, 2008; Talbot and Alavi, 1996). هر چند به وجود این ساختارهای پی‌سنگی درگیر در پهنه فارس از کمربند چین و راندگی زاگرس اشاره شده است (Sepehr and Cosgrove, 2004; Oveisi, 2007). نقش گسل‌های پی‌سنگی بر روی سبک تغییرشکل و چین‌خوردگی پوشش رسوبی در بلنداهای واقع در خلیج فارس بنا به نظر والرو و همکاران و سلیمانی و همکاران (Soleimany et al., 2011; Valero et al., 2015) و همچنین قاسمی‌نیا (Ghasemini et al., 2016) به صورت حرکت مایل از پایین به بالا (oblique convergence) در ایجاد ساختارهای با شکل تاقدیس‌ی موثر بوده‌اند. این منطقه به نام‌های مختلفی خوانده شده‌است مانند سکوی (platform) فارس (Talbot and Alavi, 1996; Bahroudi and Koyi, 2003) کمان قطر - جنوب فارس (Perotti et al., 2011) بلندای گاو‌بندی یا فارس (Motamedi et al., 2012; Bordenave and Hegre, 2012) بلندای قدیمی فارس (Baghbani, 2003).

۲- روش پژوهش

این پژوهش در تاقدیس‌های تخته، نره و کوه لار در حاشیه شمالی بلندای فارس صورت گرفته است و بدین منظور ساختارها و چینه‌شناسی موجود در این سه تاقدیس طی مشاهدات صحرائی بررسی شده‌اند و موقعیت داده‌های به‌دست آمده بر روی نقشه زمین‌شناسی جانمایی شده است (شکل ۲). حضور هر نوع ساختار نشان‌دهنده شرایط تشکیل و سازوکارهای مختلفی هستند که در تشکیل آنها موثر بوده است.

رشد چین افزایش می‌یابد (Suppe, 1983; Suppe and Medwedeff, 1990). در حالی که در چین‌های جدایشی و جدایشی گسلیده با افزایش میزان کوتاه‌شدگی طول موج تاقدیس‌ها کاهش می‌یابد (Mitra, 2002, 2003). چنین تحلیلی برای منطقه بلندای قدیمی فارس با معیارهای ارائه شده توسط میترا (Mitra, 2002, 2003) در مورد چین‌خوردگی جدایشی گسلیده همخوان است. تغییرات قابل توجه در ستبرای و رخساره‌های رسوبی معرف واکنش به زمین‌ساخت پیچیده حاشیه صفحه و فعالیت دوباره گسل‌های پی‌سنگی است (Koop and Stonly, 1982) (برگرفته از نجفی و همکاران، ۱۳۹۴).

بر اساس آن می‌توان چنین سازوکار چین‌خوردگی جدایشی گسلیده را برای منطقه بلندای قدیمی فارس پیشنهاد کرد عبارتند از (۱) در زیر بیشتر راندگی‌های توسعه یافته در پهلوی چین‌ها، ناودیسهای فرودواره‌ای تشکیل شده‌اند. (۲) میزان جابه‌جایی در راستای گسل راندگی در پهلوی چین نسبت به میزان توسعه یافتگی چین ناچیز است که نشان می‌دهند بیشتر فرایند چین‌خوردگی پیش از ایجاد گسل انجام شده است. (۳) در تاقدیس‌هایی که کوتاه‌شدگی بیشتری دارند به طور میانگین طول موج کوتاه‌تری از خود نشان می‌دهند. در چین‌های انتشار گسلی طول موج تاقدیس با جابه‌جایی بیشتر بر روی گسل و همزمان با



شکل ۲- نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت ساختارهای برداشت شده در عملیات صحرایی (برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ بر گه‌های سیف‌آباد و مرند (پتروکاو زاگرس، ۱۳۹۲)).

Figure 2. The map of studied area and the structure locations taken in the field (Taken from 1:50000 geological maps of Seif-Abad and Marand sheets (Petrokav Zagros, 2012)).

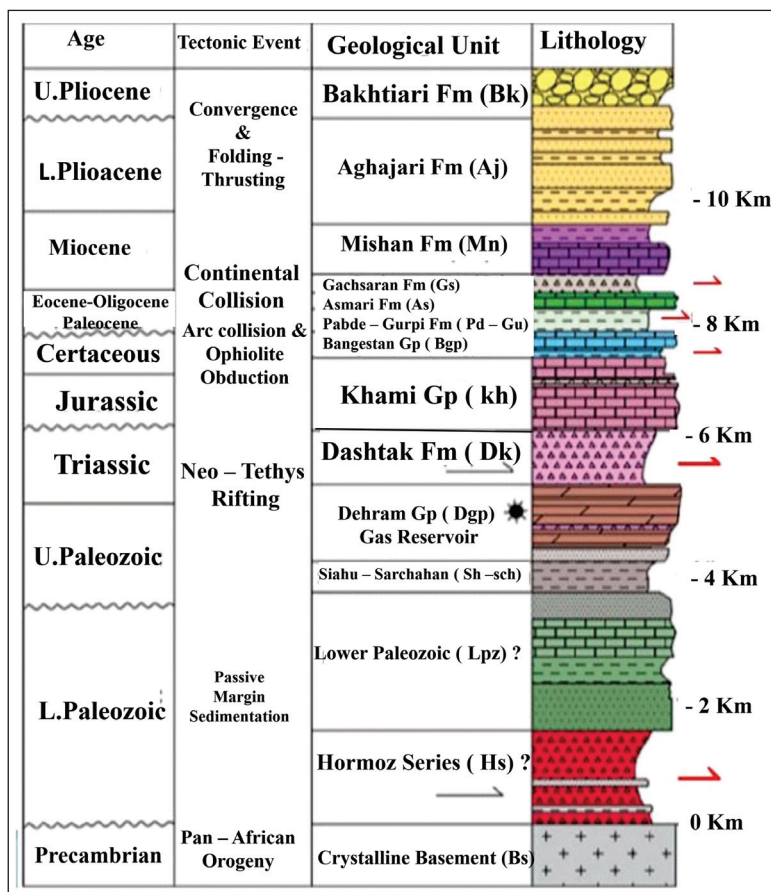
۳-۲- ستون چینه‌شناسی در فارس

رسوبات گروه خمی به سن ژوراسیک قرار دارد. این گروه شامل سازندهای سورمه، هیث، فهلیان، گدوان و داریان است، ستبرای میانگین حدود ۱۰۸۶ متر دارد و عمدتاً از آهک و دولومیت به همراه مقداری شیل در بخش‌های بالایی تشکیل شده است. گروه بنگستان پس از ۷۰ متر شیل‌های سازند کژدمی در قاعده از حدود ۲۴۰ متر سنگ‌های آهکی مقاوم مربوط به سازندهای سروک و ایلام تشکیل شده است. سازند شیلی و مارنی گورپی با ستبرای حدود ۱۲۶ متر جوان‌ترین سازند کرتاسه است که توسط یک لایه کلیدی شیل‌های ارغوانی از سازند پابده به سن پالئوسن که از حدود ۲۳۷ متر شیل و آهک‌های نازک‌لایه تشکیل شده، جدا می‌شود. بر روی سازند پابده حدود ۴۵۰ متر آهک و دولومیت‌های سازند آسماری و جهرم واقع شده است. سازند میشان به سن میوسن که تا حدود ۷۰۰ متر ستبرای دارد عمدتاً از مارن و در بخش‌های درونی‌تر از عضو آهکی گوری در قاعده تشکیل شده است. آهک گوری ستبرای متغیری تا بیشینه ۵۰۰ متر را در منطقه مورد مطالعه تخته و نره از خود نشان می‌دهد. سازند آغاچاری در بلندای قدیمی فارس به حدود ۲۰۰۰ متر می‌رسد که بیشترین میزان در پهنه فارس پس از منطقه بندرعباس است. این سازند از تناوب ماسه سنگ سیلتستون و مارن تشکیل شده است که در بخش بالایی با کنگلومرا پوشیده می‌شوند. جوان‌ترین واحد سنگی در منطقه مطالعه سازند کنگلومرای بختیاری است که ستبرای بسیار متغیری از خود نشان می‌دهد. شکل ۳ ستون چینه‌شناسی واحدهای سنگی را در محدوده بلندای قدیمی فارس نشان می‌دهد. تفاوتی در میزان برخاستگی ساختاری تاقدیس‌ها با تفاوت عمده در واحدهای رخنمون یافته در هسته آنها آشکار است. تاقدیس سورمه قدیمی‌ترین رخنمون‌های سنگی در منطقه مورد مطالعه را دارد (به استثنای اطراف گنبدهای نمکی) به گونه‌ای که شیل‌های پالئوزویک در هسته آن برونزد یافته‌اند (برگرفته از نجفی و همکاران، ۱۳۹۴).

در ستون چینه‌شناسی فارس سری نمک هرگز به عنوان افق جدایشی اصلی حضور دارد و سازند دشتک به عنوان افق جدایشی میانی است. واحدهای پالئوزویک زیرین شامل سازندهای باروت (شیل رسی - سیلتی و ماسه‌ای دانه ریز)، زاگون (شیل، ماسه‌سنگ و سیلت)، لالون (ماسه‌سنگ)، میلا (دولومیت، شیل و آهک)، ایل‌بیگ (شیل، ماسه‌سنگ و مادستون) و زرد کوه (شیل، ماسه‌سنگ و کربنات) هستند که با یک ناپیوستگی از واحدهای پالئوزویک بالایی جدا می‌شوند. اردووسین با سازندهای سیاهو (ماسه‌سنگ و شیل‌های آلی) و سرچاهان (ماسه‌سنگ و شیل‌های آلی) آغاز می‌شود که سنگ منشأ گاز در بلندای فارس هستند (شکل ۲). گروه دهرم به سن پرموتریاس که معادل سازند خوف در کشورهای عربی حاشیه جنوب خلیج فارس مانند امارات متحده عربی و عمان است (Maurer et al., 2009) سنگ مخزن ذخایر گازی در بلندای فارس را تشکیل می‌دهد. ستبرای میانگین این گروه حدوداً ۱۰۰۰ متر در منطقه مورد مطالعه است. این گروه از سازندهای کنگان و دالان (آهک، دولومیت و کمی رسوبات تبخیری انیدریتی) در بالا و سازند فراقان (ماسه‌سنگ و کمی شیل) در قاعده تشکیل شده است (Szabo and Kheradpir, 1978; Rahimpour-Bonab et al., 2010). سازند دشتک به سن تریاس میانی بر روی گروه دهرم به عنوان سنگ‌پوش گروه دهرم واقع شده است. ستبرای مقطع تیپ آن در کوه سیاه حدود ۸۰۰ متر است. این سازند عمدتاً از رسوبات تبخیری شامل انیدریت به همراه دولومیت و کمی شیل نیز تشکیل شده است. از بلندای قدیمی فارس به سمت شمال خاور در فارس داخلی و زاگرس مرتفع سازند دشتک و کنگان با دولومیت‌های سازند خانه‌کت به صورت گسترش جانبی لای انگشتی جایگزین می‌شوند. بر روی سازند دشتک، سازند نیزیز با ستبرای حدود ۷۰ متر واقع شده است که بر روی آن

شکل ۳- ستون چینه‌شناسی پوشش رسوبی در بلندای قدیمی فارس (Szabo and Kheradpir, 1978; Ghavidel, 1996; James and Wynd, 1965). این ستون بر حسب ستبرای واحدها می‌باشد که با عملیات صحرایی برای واحدهای جوان‌تر از کرتاسه داده‌های چاه حفاری شده تا ژرفای پالئوزویک بالایی و گزارش‌های چینه‌شناسی برای واحدهای پالئوزویک زیرین به دست آمده است.

Figure 3. Stratigraphy column of sedimentary cover in the Fars paleo high (Szabo and Kheradpir, 1978; Ghavidel, 1996; James and Wynd, 1965). This column is based on thick units, with field study for younger units from Cretaceous drilled well data to upper Paleozoic depths and stratigraphy reports for lower Paleozoic units.

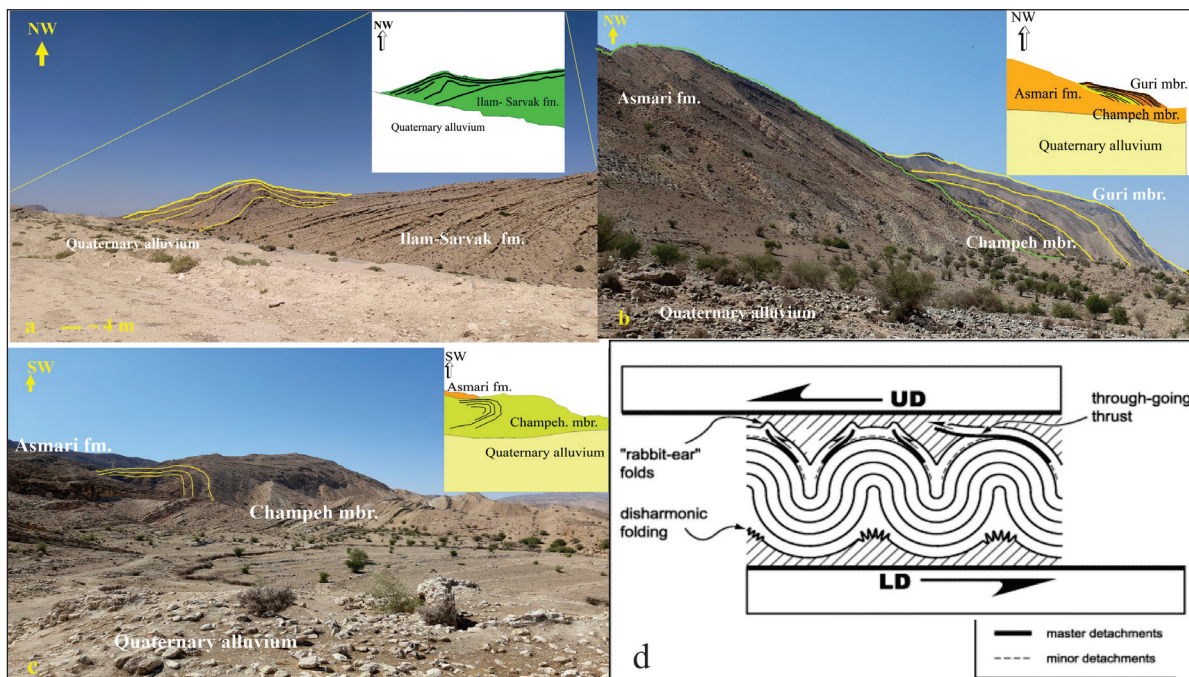


۳-۳-۳- مشاهدات صحرایی و ساختارهای مورد مطالعه

۳-۳-۱- چین‌های گوش خرگوشی

یکی از شواهد صحرایی گویای نقش افق‌های جدایش میانی بر هندسه چین خوردگی، چین‌های گوش خرگوشی هستند. بنابر وجود مشاهدات صحرایی در تاق‌دیس تخته چین‌های گوش خرگوشی در سازندهای آسماری در یال شمالی و در سازند ایلام-سروک در یال جنوبی مشاهده شده‌اند (شکل ۴-ا). ساختارهای گوش خرگوشی چین‌های فرعی و کوچکی هستند که در دامنه چین‌های اصلی و بزرگ تشکیل شده و سطح محوری این چین‌ها با سطح محوری تاق‌دیس اصلی موازی یا نیمه موازی است

(Sherkati and Letouzey, 2004). این ساختارها مرتبط با سطوح جدایشی میانی در توالی چینه‌شناسی منطقه (دشتک، برخی نقاط کژدمی، پابده-گورپی، برخی نقاط گچساران) است. تشکیل راندگی‌ها در سطوح جدایشی با حرکت به سوی لولای تاق‌دیس اصلی سبب تشکیل و گسترش چین‌های کوچک و فرعی در دامنه چین‌های بزرگ و اصلی می‌شود که ساختار گوش خرگوشی نامیده می‌شود (Dahlstrom, 1990; Letouzey et al., 1995, Sherkati and Letouzey, 2004) (شکل ۴-د) و چین‌های گوش خرگوشی مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه در شکل‌های ۴-ا، ۴-ب و ۴-ج نشان داده شده‌اند.



شکل ۴- چین‌های گوش خرگوشی مشاهده شده در تاق‌دیس‌های مورد مطالعه. (a) چین گوش خرگوشی در یال جنوبی تاق‌دیس تخته، دید شمال باختر، (b) چین گوش خرگوشی در یال شمالی تاق‌دیس کوه لار، دید شمال باختر، در تنگ جلالی، همچنین در تصویر پیش‌نشینی (onlapping) عضو چمپه سازند گچساران و عضو گوری سازند میشان بر روی سازند آسماری مشاهده می‌گردد. (c) چین گوش خرگوشی در یال شمال‌خاور تاق‌دیس نره، خاور روستای کردیل دید جنوب باختر. (d) مدل ارائه شده توسط دالستروم (Dahlstrom, 1990) جهت تشریح لزوم احاطه شدن یک چین متحداً مرکز توسط دو افق گسسته زیرین و بالایی و همچنین تشکیل راندگی‌ها در یال تاق‌دیس‌های اصلی که سبب ساختارهای گوش خرگوشی می‌شود (با کمی تغییرات از دالستروم - Dahlstrom, 1990).

Figure 4. Rabbit-ear structure observed in the study anticlines. a) Rabbit-ear structure on the southern flank of Takhteh anticline, northwest view, b) Rabbit-ear structure on the northern flank of Kuh-e-Lar anticline, northwest view, in Tang-e-Jalali, also in the image of onlapping the Champeh member of the Gachsaran Formation and the Guri member of the formation Mishan is observed on the Asmari Formation. c) Rabbit-ear structure on the north-eastern flank of the Nahreh anticline, east of Kardil village southwest view. d) The model presented by Dahlstrom (1990) to explain the necessity of surrounding a concentric fold by two detachment lower and upper horizons, as well as The formation of thrusts on the flank of the main anticlines, which causes rabbit-ear structures (Modified after Dahlstrom, 1990).

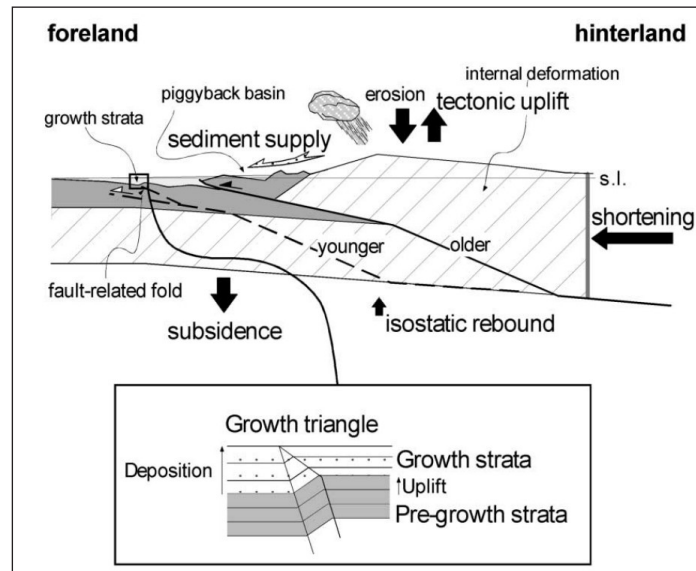
۳-۳-۲- چینه‌های رشدی

چینه‌های رشدی به عنوان شواهدی محکم برای آشکار کردن جنبش‌شناسی (سینماتیک) چین و پیشینه و زمان دگرشکلی در فاز فشارش هستند. افزایش استفاده از خط‌های لرزه‌ای با وضوح ۲۰ متر در مناطق زمین‌ساختی پیچیده فعل و انفعال بین ساختارهای رشدی و نهشته‌شدن رسوب در محیط‌های دریایی و قاره‌ای همزمان با فعالیت‌های زمین‌ساختی را نشان می‌دهد. به طرز جالبی چینه‌های رشدی به عنوان

رسوبات همزمان با زمین ساخت ارتباط مشابه با چین‌های فشارشی مرتبط با راندگی در ژرفا و چین‌های مرتبط با انتشار گسل‌های عادی در رژیم‌های کششی را نشان می‌دهد. برای مستندسازی کامل پیشینه کامل جنبش‌شناسی (سینماتیک) یک گسل یا گروهی از گسل‌ها، لازم است مطالعات در مقیاس‌های مختلف ترکیب شود تا یافته‌های نشان داده شده در کار میدانی (وضوح متریک) و نتایج خطوط لرزه‌ای را ادغام کنیم. مفهوم کامل چینه‌های رشدی برای اکتشاف نفت در یک ساختمان می‌تواند مفید

رسوب همزمان با زمین‌ساخت و ارتباطشان با چین خوردگی و گسلش، و ب) افزایش دقت مدل‌های زمین‌شناسی ما برای اکتشاف هیدروکربن، به ویژه در مناطقی که در آن هندسه چینه‌های رشدی می‌تواند بسیار پیچیده باشد (شکل ۵) (Vergés et al, 2002).

و موثر باشد. در دهه اخیر، علاقه مجددی در مورد چینه‌های رشدی و ارتباط آنها با ساختارهای زمین‌ساختی، وجود داشته است. این علاقه فزاینده به چینه‌های رشدی به دلیل نیاز به موارد زیر ایجاد شده است: الف) درک ما از سازوکارهای بین



شکل ۵- شکل فرایندهای سطحی و ژرف در طول توسعه پر شدن حوضه پیش‌بوم همزمان با زمین‌ساخت و نهشته شدن چینه‌های رشدی مرتبط با کمربندهای چین خورده و رانده پیش‌بوم را نشان می‌دهد (Vergés et al., 2002).

Figure 5. the shape of surface and deep processes during the development of the filling of the foreland basin simultaneously with tectonics and the deposition of growth strata related to the folded and thrust belts of the foreland are showed (Vergés et al., 2002).

مشاهدات صحرایی بررسی شده‌اند. از آنجا که در زاگرس زمین لرزه‌ها به واسطه وجود سازندهای تبخیری بدون گسلش سطحی هستند (Berberian, 1976) آثار گسلی در سطح مشاهده نمی‌شود، از این رو، این گسل‌ها بیشتر توسط شواهد وجود گسل مانند تغییر شیب لایه‌بندی و قرارگیری سازندهای مختلف در کنار هم، قابل شناسایی هستند. این گسل‌های عرضی نیز با توجه به تغییر شیب لایه‌ها در سازند آسماری و عضو چمپه سازند گچساران شناسایی شده‌اند و در شکل‌های ۷-a و b تفاوت این شیب لایه‌بندی در استریوگرام‌های مربوطه دیده می‌شود.

۳-۴-۲- روراندگی کوه‌های پال (Limb wedge thrust)

سازوکار اولیه‌ای که سبب شکل‌گیری گوه در پال می‌شود اختلاف واتنش (استرین) موازی با لایه‌بندی در واحدهای مجاور است و تشکیل گوه در واحدهای مقاوم‌تر است (Mitra, 2002). شکل‌های ۸-a و b مثالی از چگونگی واتنش تفریقی بین دو واحد که منجر به راندگی پانه‌ای (wedge thrust) در پال چین می‌شود را نشان می‌دهد. با توجه به تاقدیس و ناودیس، لایه‌های بیرونی شامل واحدهای نامقاوم بالایی و پایینی و لایه داخلی لایه مقاوم میانی است (Mitra, 2002). این ساختار در تاقدیس تخته دارای رسوبات چینه‌ای - رشدی متعلق به سازند میشان (عضو گوری) مشاهده می‌شود.

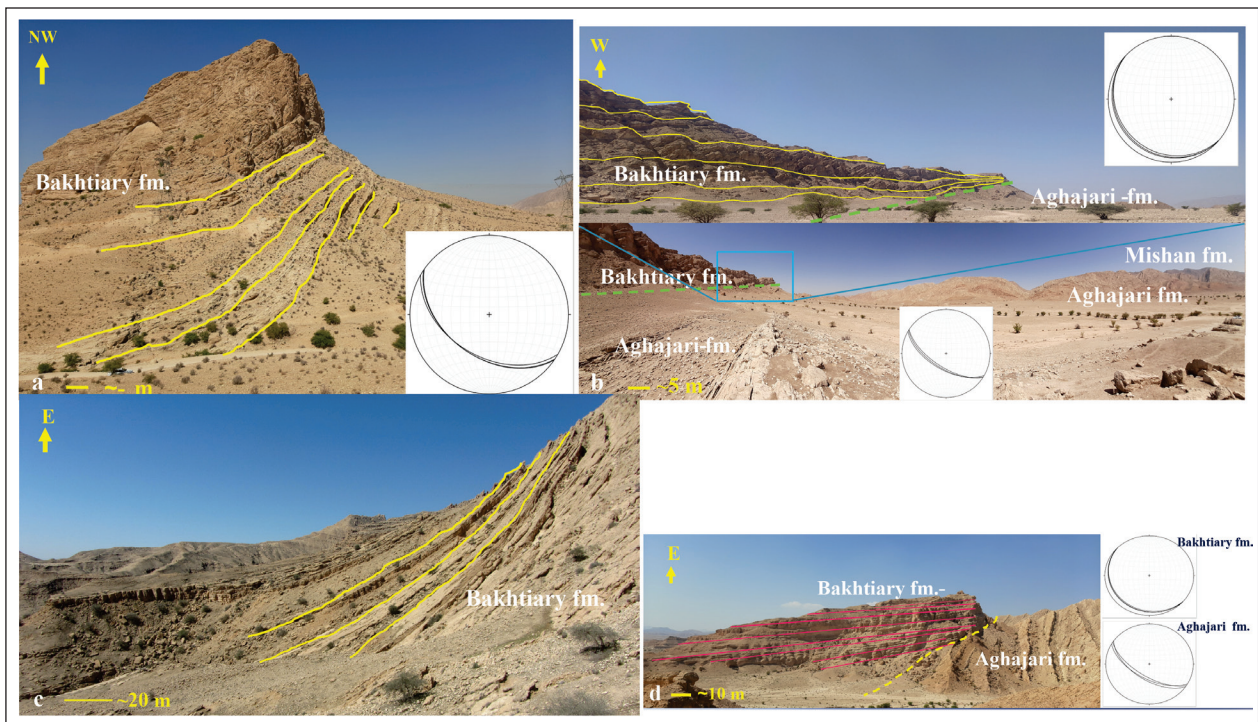
بررسی‌های صحرایی نشان داد که چینه‌های رشدی در واحدهای جوان (مانند سازند بختیاری) نیز ایجاد شده‌اند که نمونه‌ای از آن در پال چین (تاقدیس‌های تخته و نره) منطبقه مورد مطالعه مشاهده شد (شکل‌های ۶-b، c، a).

سازند بختیاری به طور دگرشیب روی سازندهای قدیمی‌تر آغاچاری و میشان قرار گرفته‌است و سن آن پلیو-پلیستوسن است. در شکل ۶-d دگرشیبی بین آغاچاری و بختیاری و چینه‌های رشدی در سازند بختیاری آشکارا قابل مشاهده است. کنگلومرای بختیاری (پلیو-پلیستوسن) به صورت همزمان با زمین‌ساخت و محصول آخرین مرحله کوهزایی زاگرس در تاقدیس تخته است (James and Wynd, 1965; Dunnington, 1985; Less, 1953) و در حقیقت رابطه مستقیمی را به توصیف نوسانات کوهزایی نسبت به زمان نشان می‌دهد. شاید بتوان کوهزایی زاگرس را به صورت تناوبی کاهنده توضیح داد چون سازند بختیاری به صورت ناهمساز بر روی آغاچاری قرار دارد و گاهی هم شیب با آغاچاری چین خورده است (مطبعی، ۱۳۸۲) و جوان‌ترین سازند منطقه (سازند بختیاری) دچار چین خوردگی شده است که خود نشان دهنده فعالیت منطقه همزمان با نهشته‌شدن این سازند است.

۳-۴-۳- شکستگی‌ها

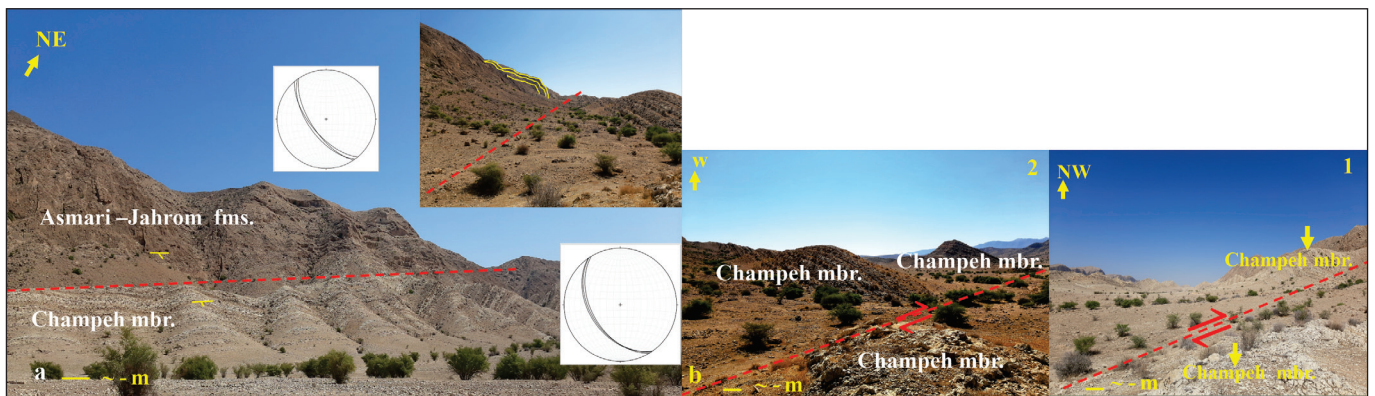
۳-۴-۱- گسل‌های امتداد لغز

یک سری گسل‌های امتداد لغز تاقدیس تخته را به طور عرضی قطع نموده‌اند که در



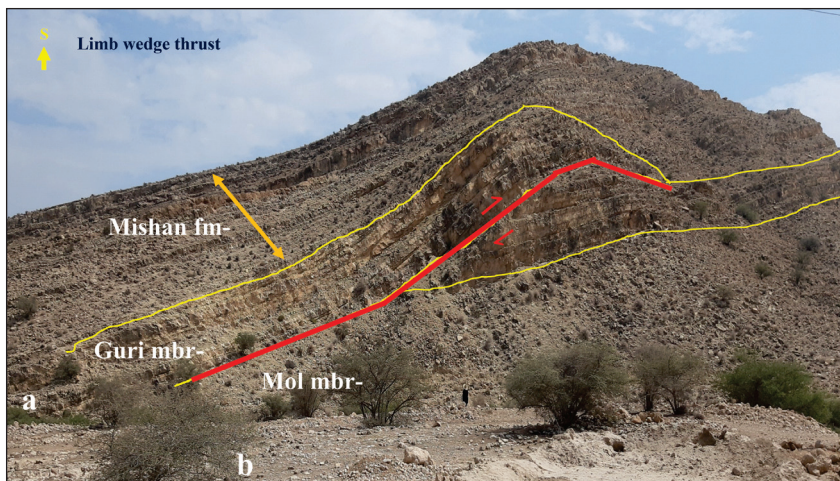
شکل ۶- (a) چینه رشدی در سازند بختیاری، دگرشیبی بین سازند بختیاری و آغاجاری، دید عکس باختر. (b) چینه رشدی در سازند بختیاری، تاقدیس تخته، دید عکس شمال باختر. (c) چینه‌های رشدی در سازند بختیاری و در باختر گسل عرضی حوالی رود مند، یال جنوبی نره، دید عکس خاور. (d) چینه‌های رشدی در سازند بختیاری، دگرشیبی سازند آغاجاری، دید خاور.

Figure 6- a) Growth strata in the Bakhtiary Formation, Takhteh anticline, northwest view. b) Growth strata in Bakhtiary Formation and angular unconformity between Bakhtiary and Aghajari Formations, west view. c) Growth strata in the Bakhtiary Formation and in the west of the transverse fault around the Mand river, south flank of Nahreh, east view d) Growth strata in the Bakhtiary Formation, Aghajari Formation angular unconformity, east view.



شکل ۷- (a) محل گسل‌های عرضی در تاقدیس تخته و تغییر شیب لایه‌ها در سازند آسماری و عضو چمپه سازند گچساران، دید شمال خاور. (b) b1 و b2، جابه‌جایی واحد چمپه در سطح زمین و گسل‌های عرضی در تاقدیس تخته، دید شمال باختر- باختر.

Figure 7- a) The location of transverse faults in the Takhteh anticline and the change in the slope of the layers in the Asmari Formation and the Champeh member of the Gachsaran Formation, north-east view. b) b1 and b2, the displacement of the champeh unit at the ground level and the transverse faults in the Takhteh anticline, Northwest -West View.



شکل ۸- a) شکل نمادین راندگی پانه‌ای یالی (limb wedge thrust) (Shankar, 2002)، b) راندگی پانه‌ای یالی (limb wedge thrust) در تاقدیس تخته و نمایش رسوبات چینه‌ای-رشدی در عضو مول، دید جنوب.

Figure 8- a) Schematic figure of limb wedge thrust (Shankar, 2002), b) limb wedge thrust in the Takhteh anticline and the representation of growth strata in the Mol member, south view.

ترکیبات سولفات (که در این منطقه طبقات انیدریتی سازند دشتک است) در صورتی که گازها از گروه دهرم تراوش کرده باشند، به ایجاد گچ ترش می‌انجامد. منشا سولفور می‌تواند آلی یا غیر آلی باشد که در رسوبات گچ ترش تاقدیس تخته منشا سولفور آلی است و چنین وضعیتی می‌تواند گویای وجود هیدروکربور در محدوده اطراف این تاقدیس، مشروط بر وجود شرایط ساختمانی و مخزنی باشد (اشکان، ۱۳۹۱).

۳-۵-۱- رسوب دادن ترکیبات سولفور آب چشمه‌های گوگردی

امروزه یکی از بهترین ابزارها و روش‌ها برای ارزیابی زمین‌شیمیایی ترکیبات سولفوردار که به صورت گچ ترش، آب چشمه‌های گوگردی و سازندهای مختلف انیدریتی، استفاده از روش ایزوتوپ ^{34}S است. گچ ترش در سطح زمین و به رنگ‌های مختلف سیاه، خاکستری، زرد و ... مشاهده می‌شود. در این مطالعه، نمونه‌های گچ ترش را در انتخاب نموده و سپس نمونه‌ها را تا قطر ۴۰ تا ۵۰ میکرون پودر نموده و جهت آنالیز ایزوتوپ سولفور ^{34}S به کار می‌برد. در ناحیه فارس نمونه گچ ترش کوه تخته دارای ایزوتوپ سولفور ^{34}S منفی معادل % ۱۳/۸- است که نشان دهنده ارتباط ارگانیک نهشته‌های گچ ترش تخته با سیال هیدروکربن افق‌های مخزنی احتمالی این تاقدیس و نشانه خروج و فراراحتمالی هیدروکربن از مخزن است (اشکان، ۱۳۹۱) (شکل‌های ۱۱-a و b).

۳-۶- پیش‌نشینی در رسوبات

ثبت و بررسی لایه‌های رسوبی در مقیاس‌های مختلف به دلیل تغییرات در الگوهای فرسایش، جابه‌جایی رسوب برجا و انباشت رسوب اساساً ناپیوسته است (Barrell, 1917; Vail, 1987; Van Wagoner et al., 1987, 1988, 1990; James and Leckie, 1989; Galloway, 1988). ناپیوستگی‌های چینه‌شناسی (ناپیوستگی‌ها) با قطع‌شدگی در توالی رخساره‌ها یا توالی‌های زیستی و با الگوهای هندسی چینه‌ها (آن لب و آف لب) که به طور مستقیم در رخنمون (Garcia-Mondejar and Mutti, 1985; e.g., Van Wagoner et al., 1989, 1991) مقطع عرضی چاه (Fernandez-Mendiola, 1989, 1991 e.g.; Bally, 1990; al., 1990; Mitchum and Van Wagoner, 1991) و نیمرخ‌های لرزه‌ای (Bally, 1991) نشان داده می‌شود.

۳-۴-۳- راندگی یال جنوبی تاقدیس نزه

راندگی در یال جنوبی تاقدیس نزه که در قسمت‌های خاوری حد فاصل تاقدیس‌های تخته و نزه قرار می‌گیرد، وجود دارد. رخنمون گروه بنگستان و سازندهای قدیمی‌تر در کنار رخنمون سازندهای جوان‌تر خود نشانگر وجود گسل است، شیب این گسل حدود ۸۰ درجه به سمت شمال است و عملکرد آن سبب افزایش شیب سازندها و قرارگیری عضو مول سازند گچساران (واحد جوان‌تر) در کنار گروه بنگستان (واحد قدیمی‌تر) شده است (شکل ۹-a) همچنین سبب برگشته شدن شیب عضو مول به سمت شمال و افزایش شیب گروه بنگستان شده است. وجود سطوح لغزش در گروه بنگستان و گسلی بودن مرز عضو مول و گروه بنگستان و برش گسلی موجود در منطقه (اطراف چشمه اوباد) نشانه‌ای بر فعال بودن این گسل است و این گسل در قسمت خاور سبب قرارگیری سازندهای ایلام - سروک و پابده و گورپی در کنار هم شده است (شکل‌های ۹-b و c).

۳-۴-۴- ساختار دم ماهی (Fish Tail)

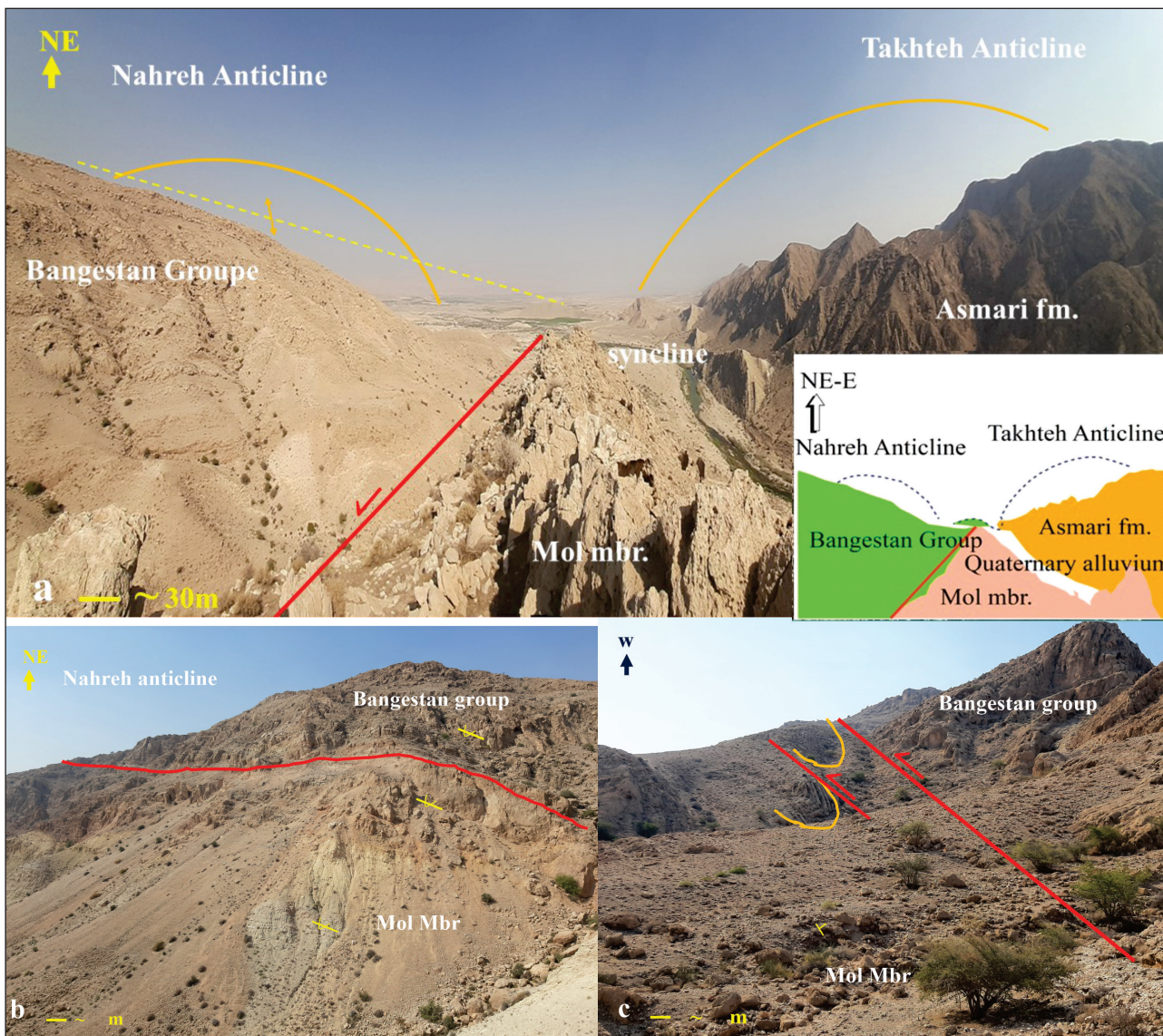
در گیرشدگی افق‌های گسستگی میانی طی دگرشکلی پیش‌رونده می‌تواند موجب افزایش پیچیدگی‌های هندسی گردد که شامل شکل‌گیری دوپلکس‌ها و ساختارهای دم‌ماهی می‌شود. وجود ساختارهای مرتبط با سطوح جدایشی از جمله ساخت‌های گوش‌خرگوشی و ساختارهای گوناگون دم‌ماهی همگی شاهدهی بر وجود سطح جدایشی ستبر و قوی هستند (شکل‌های ۱۰-a, b) (شمس زاده و همکاران، ۱۳۹۶). ساختار دم‌ماهی بیشتر در سری‌های رسوبی حاوی افق گسستگی میانی به چشم می‌خورد. در تاقدیس نزه به دلیل حضور سازندهای حاوی افق‌های جدایش این ساختار دور از انتظار نیست چنان که در شکل‌های ۱۰-a و b دیده می‌شود، این ساختار در عضو چمپه از سازند گچساران تشکیل شده است.

۳-۵-۳- آثار نفتی غیر هیدروکربوری

حضور گچ ترش در یک ناحیه ناشی از واکنش گازهای هیدروکربوری و ترکیبات سولفات است و به عنوان نشانه‌ای از وجود مخزن گازی در نظر گرفته می‌شود. این گازها به طرف سطح حرکت می‌کنند و در مسیر حین واکنش با

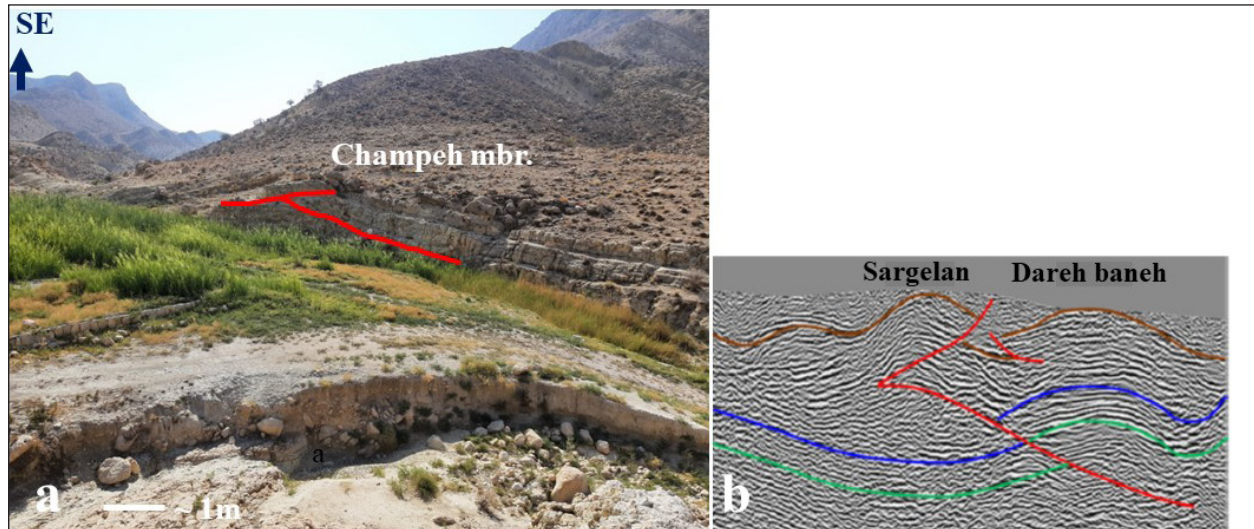
توسط عواملی مانند توپوگرافی، آب و هوا، دبی رودخانه و شرایط اقیانوس‌شناسی محیطی وابسته است (Pitman, 1978, 1990; Jordan and Flemings, 1990; Lawrence et al., 1990; Reynolds et al., 1990; Thorne and Swift, 1990).

(شکل ۱۲). توافق کلی وجود دارد که الگوهای انباشت و حفظ رسوب عمدتاً با برهم کنش فرونشست، ایزوستازی و منابع رسوب کنترل می‌شود و به میزان کمتری



شکل ۹- (a) راندگی یال جنوبی تاقدیس نره و حد فاصل تاقدیس‌های تخته و نره، دید شمال باختر. شواهد راندگی یال جنوبی تخته با توجه به (b) تغییر شیب لایه‌ها دید شمال خاور، (c) ریزچین‌های پهنه گسلی، دید باختر، و قرارگیری سازندهای قدیمی‌تر گروه بنگستان در کنار عضو مول واحد گچساران.

Figure 9- a) Thrust fault of the southern flank of the Nahreh anticline and the boundary between the Takhteh and Nahreh anticlines, northwest view. The evidence of the thrust fault of the southern flank of Takhteh according to b) changing the slope of the layers in the northeast view, c) Microfolds in the fault zone, west view, and the placement of the older formations of the Bangestan group next to the Mol member of the Gachsaran unit.



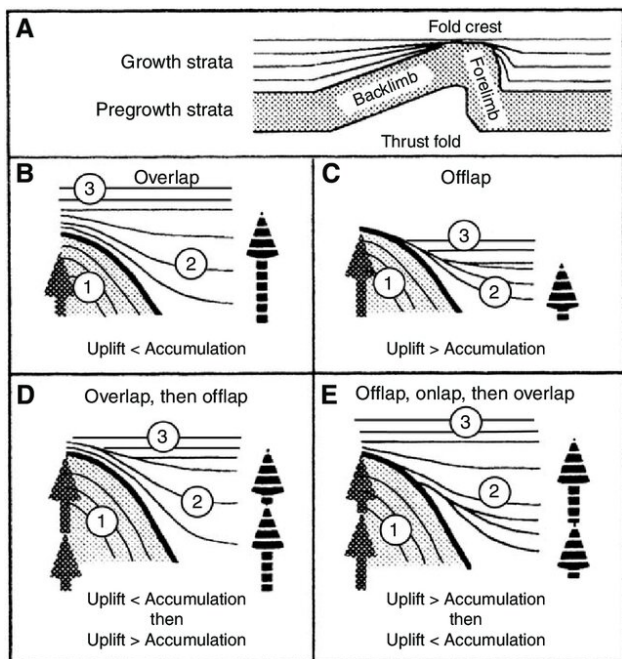
شکل ۱۰- (a) چین خوردگی ساختار گسله با آرایش دم‌ماهی در تاقدیس نره عضو چمپه سازند گچساران، دید جنوب خاور، (b) شکل نمادین ساختار دم‌ماهی در راندگی یال جنوبی سرگلان و به دنبال آن تشکیل چین فرعی تاقدیس سرگلان در رخنمون سازند آسماری روی خطوط لرزه‌ای (شمس زاده و همکاران، ۱۳۹۶).

Figure 10- a) Folding of the fault structure along with the fish-tile arrangement in Nahreh anticline, Champeh member of Gachsaran, Southeast view, b) Schematic figure of the fish-tile structure in thrust in south flank of Sargelan anticline and forming the sub fold of Sargelan anticline in Asmari outcrop in seismic lines, subsequently (Shamszadeh et al., 2016) .



شکل ۱۱- (a) چشمه گوگردی منطقه اوباد و برش گسلی یال جنوبی تاقدیس نخته، دید شمال. (b) چشمه گوگردی سیف‌آباد، یال جنوبی تاقدیس نره و نزدیک دماغه خاوری آن.

Figure 11- a) Sulfur spring in Obad area and breccia of the southern flank of the Takhteh anticline, north view. b) Sulfur spring in Seif-Abad, southern flank of the Nahreh anticline and near its eastern tip.



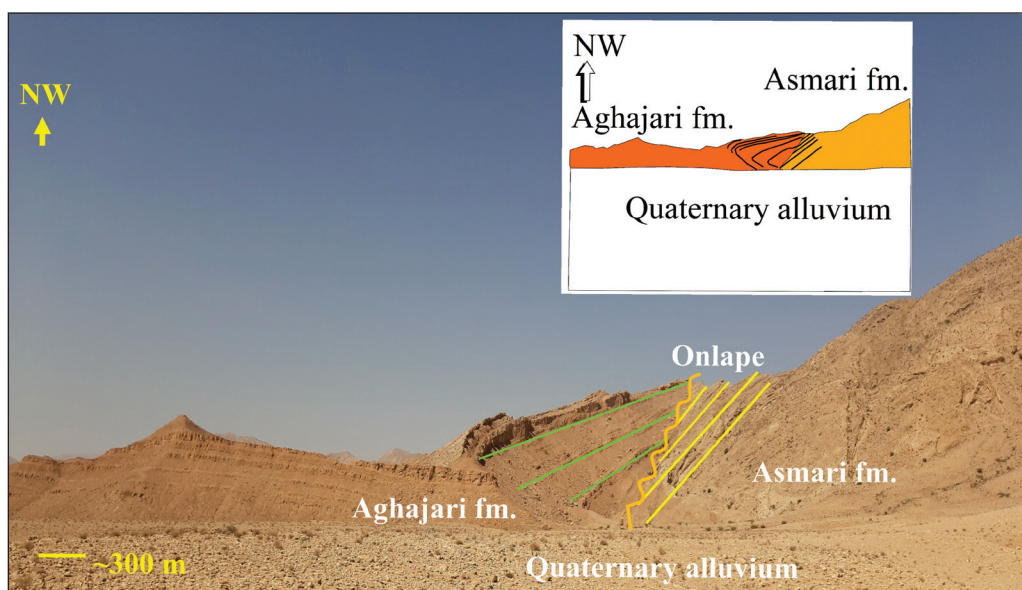
شکل ۱۲-ا) نام‌گذاری برای چین جدایشی و چینه‌های رشدی نهشته شده در طول چین خوردگی. مدل‌های overlap، offlap، و onlap. هندسه قابل پیش‌بینی چینه‌های همزمان با زمین‌ساخت نتیجه تقابل در نرخ‌های نسبت بالا آمدگی پوسته در مقابل نرخ‌های همسن انباشتگی است. بالا آمدگی پوسته به هر حال اندازه گرفته شده است: ۱) براساس چینه‌های همزمان با زمین‌ساخت مجاور با چین یا ۲) موقعیت لایه‌های نشانه‌گذاری شده وابسته یافت شده در هر دو تاقدیس و ناودیس مجاور. زمانی که نرخ انباشتگی بزرگ‌تر از نرخ بالا آمدگی باشد overlap اتفاق می‌افتد (شکل ۱۲-ب) جایی که نرخ پایین انباشتگی در مقابل بالا آمدگی باشد منجر به offlap می‌شود (شکل ۱۲-ج) معکوس شدن در بزرگای (اندازه) نسبی این نرخ‌ها منجر به عوض شدن (یا تغییر) هندسه لایه‌بندی می‌شود (شکل ۱۲-د). onlap شکل ۱۲-د به دنبال offlap و تغییر به نرخ انباشتگی سریع اتفاق می‌افتد (Burbank and Verges, 1994).

Figure 12-a) Nomenclature for a detachment fold and growth strata deposited during folding. b-e) Models of overlap, offlap, and onlap. Predictable geometries of syntectonic strata result from contrasts in the relative rates of crustal uplift versus coeval rates of accumulation. Crustal uplift is measured with respect to either: 1) the base of the syntectonic strata adjacent to the fold or 2) the position of correlative

marker beds found in both the anticline and the adjacent syncline. When rates of accumulation are consistently greater than the rate of crustal uplift, overlap will occur (Fig. 12-b), whereas lower rates of accumulation versus uplift lead to offlap (Fig. 12-c). Reversals in the relative magnitude of these rates causes a switch in the bedding geometry (Fig. 12-d). Onlap (Fig. 12-e) occurs following offlap and a change to more rapid accumulation rates (Burbank and Verges, 1994).

باشد و هنگام برخاستگی تاقدیس، ماسه‌سنگ سازند آغاچاری با پیش‌نشینی بر روی سازند آسماری رسوب‌گذاری کرده است. همچنین شاهد چینه‌های رشدی در سازند آغاچاری هستیم (شکل ۱۳).

پیش‌نشینی (Onlapping) سازند آغاچاری بر روی آسماری در یال جنوبی تاقدیس نره می‌تواند در اثر عملکرد گسل پی‌سنگی (سورمه) پس از رسوب‌گذاری سازند آسماری و چین‌خوردگی و سپس فرسایش سازندهای قبل‌تر از سازند آغاچاری



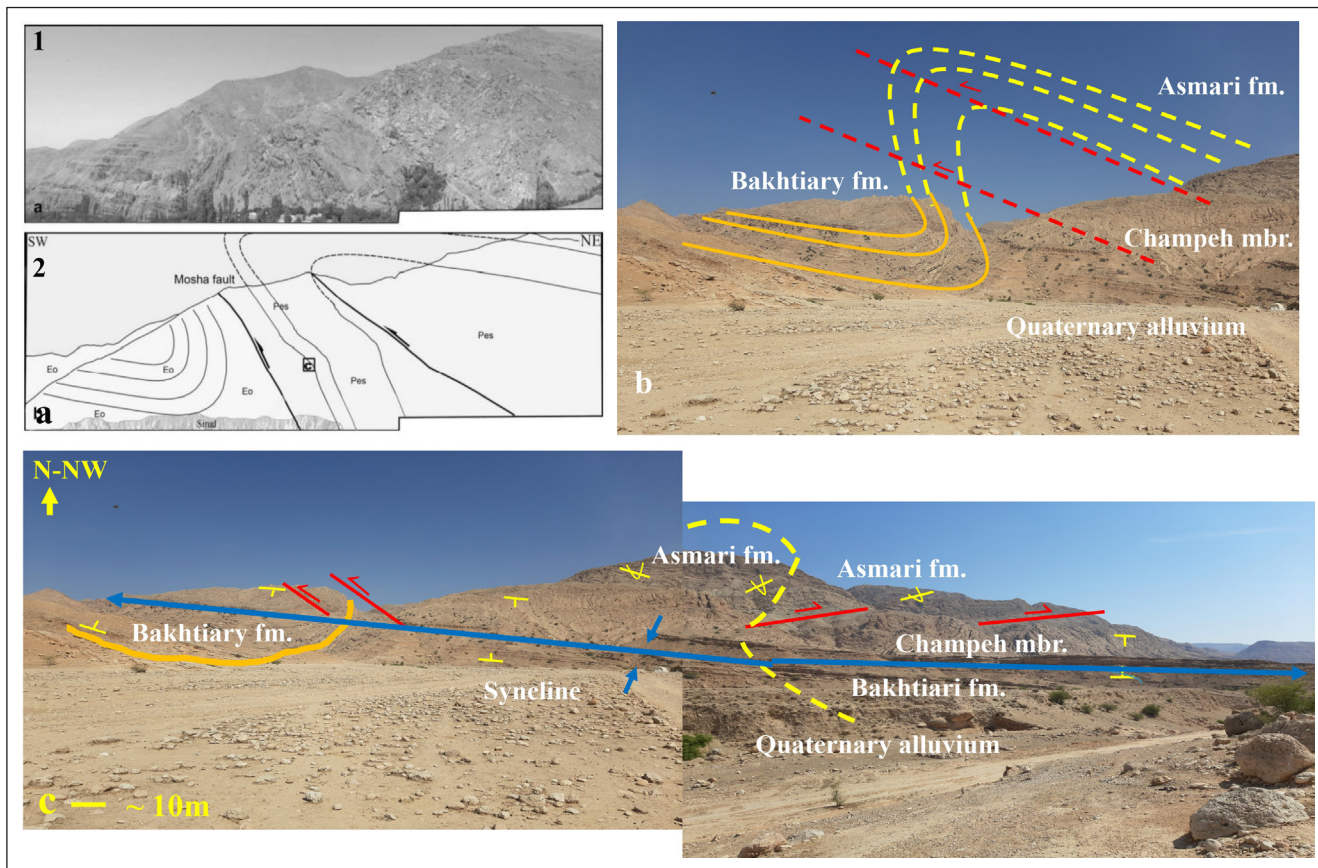
شکل ۱۳- onlap سازند آغاچاری بر روی سازند آسماری در تاقدیس نره، دید عکس شمال باختر.

Figure 13. Onlap of Aghajari Formation on Asmari Formation in Nahreh anticline, northwest view.

۳-۷- تاقدیس فرادیواره ای و ناودیس فرودیواره ای

به دلیل اصطکاک و کشیدگی لایه‌های سنگی در حین گسل خوردگی معکوس چین‌هایی در فرادیواره و فرودیواره این گسل‌ها توسعه می‌یابد که با افزایش میزان جابه‌جایی گسل این چین‌ها به صورت تاقدیس و ناودیس‌های ناحیه‌ای توسعه می‌یابند (شکل‌های ۱۴- a1 و a2) (Yassaghi and Madanipour., 2008). چنین ساختاری در تاقدیس نره در (شکل‌های ۱۴- b و c) نشان داده شده است. در چین شکل گرفته در سازند آسماری، یال جنوب باختر تاقدیس به سمت شمال خاور شیب دارد و همچنین

وجود سازند قدیمی تر آسماری بر روی عضو چمپه که سازند جدیدتر منطقه می‌باشد نشان از برگشته بودن این چین دارد. با توجه به حضور چشمه‌های گسلی در منطقه (تنگ پریزاد و تنگ سیاه) و دیواره گسلی این یال گسل خورده تشخیص داده شده است. یکی از شواهدی که بر اساس آن می‌توان چنین سازوکاری (چین خوردگی جدایشی گسلیده) را برای منطقه بلندای قدیمی فارس پیشنهاد کرد این است که در زیر بیشتر رانده‌های توسعه یافته در پهلو چین‌ها ناودیس‌های فرو دیواره‌ای تشکیل شده‌اند که در تاقدیس نره نیز مشاهده شده است.



شکل ۱۴- a1 و a2 (شکل نمادین) تاقدیس فرادیواره ای و ناودیس فرودیواره ای همراه با رانده‌های گسل مشا در البرز مرکزی (Yassaghi and Mandaripour, 2008). (b) نمای نزدیک تاقدیس فرادیواره ای و ناودیس فرو دیواره ای تاقدیس نره. (c) نمونه‌ای از تاقدیس فرادیواره ای و ناودیس فرودیواره ای در تاقدیس نره، دید باختر - شمال باختر.

Figure 14. a1 and a2 (schematic diagram) of hanging wall anticlines and footwall syncline with the thrusting of Moshafault in central Alborz (Yassaghi and Mandaripour, 2008). b) Close-up view of the hanging wall anticline and footwall syncline of the Nahreh anticline. c) An example of hanging wall anticline and footwall syncline in Nahreh anticline, west-northwest view.

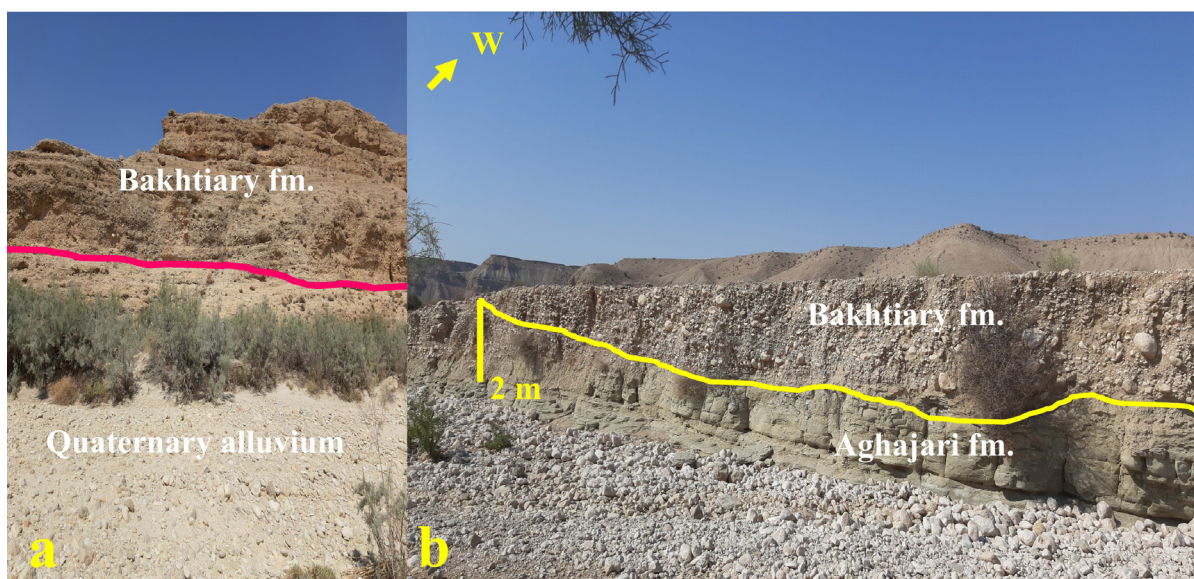
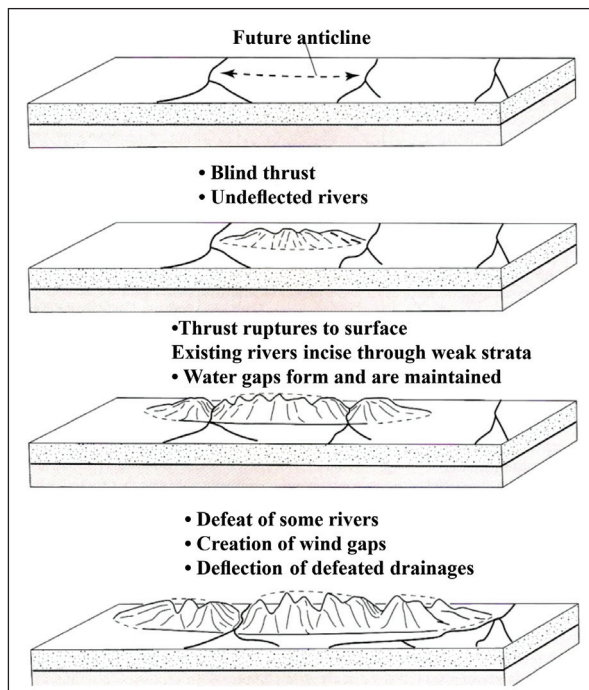
۳-۸- آب چاک و هواچاک

همان‌گونه که رودخانه از یک ساختار در حال رشد عبور می‌کند، برجستگی بین کانال و توپوگرافی اطراف افزایش می‌یابد و آب‌چاک را تشکیل می‌دهد. آب‌چاک شکافی است که از یک ساختار فعال یا در واقع هر مانع توپوگرافی که رودخانه از آن عبور می‌کند، بریده می‌شود. ادامه بالا آمدن ساختاری که رودخانه در آن جریان دارد، ممکن است از توانایی رودخانه برای فرسایش بیشتر شود و رودخانه را مجبور کند مسیر کاملاً متفاوتی را در اطراف ساختار پیدا کند. در چنین حالتی، بریدگی

رها شده در پشته که به عنوان آب چاک شروع می‌شود، هواچاک نامیده می‌شود (شکل ۱۵). آب‌چاک و هواچاک پدیده‌های ریخت‌زمین‌ساختی هستند و زمانی که یک آبراه از میان یک چین خوردگی عبور می‌کند، در زمانی که چین خوردگی در حال رشد است به مرور زمان آبراه مسیر دیگری پیدا کرده که این موضوع تاییدی بر رشد تاقدیس و فعال بودن منطقه است. از آنجا که این پدیده ریخت‌زمین‌ساختی در تاقدیس‌های نره و تخته (شکل ۱۶) مشاهده شده‌اند، گویای رشد این تاقدیس‌ها و فعال و پویا بودن منطقه است.

شکل ۱۵- شکل گیری آب‌چاک و هواچاک در عرض تاقدیس در حال رشد. جریان بزرگ‌تر می‌تواند به همان سرعتی که توپوگرافی سطح بالا می‌رود، بریده شود و یک شکاف ژرف در ساختار ایجاد کند که در واقع یک آب‌چاک است. جریان کوچک‌تر برای مدتی جریانش ادامه می‌یابد، اما در نهایت با تداوم بالا آمدن تاقدیس، جریان تغییر مسیر می‌دهد و هواچاک را تشکیل می‌دهد (برگرفته از کِلر و پینتر - Keller and Pinter., 2001 به نقل از باربانک و همکاران - Burbank et al., 1999).

Figure 15. Formation of wind and water gaps across a growing anticline. The larger stream can increase quickly as the surface is rising up, forming a deep notch through the structure, which is a water gap. The smaller stream keeps up for a while, but eventually is defeated by continuing uplift, forming a wind gap (after Keller and Pinter., 2001 cited in Burbank et al., 1999).



شکل ۱۶- هواچاک نشانه رشد چین و بالا آمدگی ساختمان‌ها. (a) هواچاک در تاقدیس نره. (b) هواچاک در تاقدیس تخته، سازند آغاجاری با شیب ۶-۷ درجه به سمت باختر و در قسمت بالا آبرفت متشکل از کنگلومرای بختیاری و دگرشیبی زاویه‌دار که نشانه رشد چین می‌باشد.

Figure 16. Wind gap, a sign of the growth of folds and rising buildings. a) The wind gap in the Nahreh anticline. b) wind gap in the Takhteh anticline, Aghajari Formation with a slope of 6-7 degrees towards the west and in the upper part of the alluvium consisting of Bakhtiary conglomerate and an angular unconformity that indicates the growth of fold.

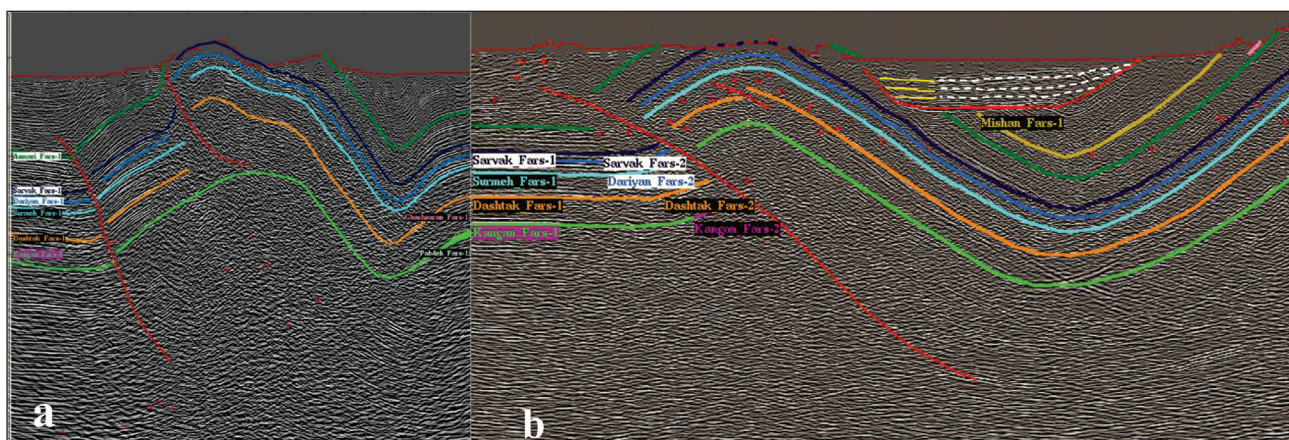
۴- بحث

است اما بربریان (Berberian, 1995) گسل پیشانی کوهستان را در قسمت جلویی ناحیه فارس (فارس ساحلی) معرفی کرده‌است. رخنمون گروه بنگستان و سازندهای قدیمی‌تر در تاقدیس‌های مانند سورمه، کوه لار، تخته و نره و قرار گرفتن آنها در کنار رخنمون‌های سازندهای جوان‌تر گروه فارس (در تاقدیس سفید زاخور) در مجاورت جنوبی این تاقدیس‌ها و اختلاف توپوگرافی بین تاقدیس‌ها نشان دهنده وجود یک

تاقدیس‌های مورد مطالعه با روند شمال باختر و جنوب خاور و با آرایش پلکانی راست‌برناشی از برخورد مورب صفحه عربی - ایران و مراحل تکاملی و رشد چین‌ها در بالای گسل پی‌سنگی و در رابطه با حرکات امتدادلغز این گسل پی‌سنگی (تخته) که در زیر یال جنوبی هر سه تاقدیس حضور دارد. این گسل در برخی مقالات (Sepehr and Cosgrove, 2004) به عنوان گسل پیشانی کوهستان در نظر گرفته شده

سازند آغاچاری با پیش‌نشینی بر روی سازند آسماری رسوب‌گذاری کرده است. چین‌خوردگی در سازندهای جوان منطقه (سازند بختیاری) گواهی بر آخرین مرحله کوهزایی در منطقه مورد مطالعه است. چشمه‌های گوگردی و بررسی ایزوتوپ سولفور آنها در محل گسل‌های منطقه ارتباط این گسل‌ها با مخزن را در ژرفا تایید می‌کند. گسل در محل دماغه شمال باختری تخته و جنوب خاوری نره سبب قرارگیری سازندهای قدیمی تر گروه بنگستان (سمت خاور) بر روی سازندهای جوان تر عضو مول سازند گچساران (سمت باختر) شده است که نشان می‌دهد بلوک خاوری این گسل در ژرفای بالاتری نسبت به بلوک باختری قرار دارد. رخداد زلزله ویرانگر قیر با بزرگی ۶/۹ در ژرفای ۱۱ کیلومتری و آثار خرابی‌های ناشی از آن خود نشانه حضور گسل پی‌سنگی در منطقه است. نتایج کار میدانی با ادغام مطالعات خطوط لرزه‌ای جهت بررسی و اکتشاف هیدروکربن مورد استفاده قرار می‌گیرد. ویژگی‌های هندسی چین‌ها نیز یکی از مهم‌ترین عامل‌های تحلیل و بررسی چین‌ها است. بدین منظور بر پایه نسبت شکلی چین یعنی نسبت طول محور چین به نصف طول موج آن، چین‌ها را در دو گروه چین‌های کمانشی و چین‌های تحمیلی قرار می‌دهند (Cosgrove and Ameen, 2000; Satarzadeh et al., 2000) که در صورت کمتر بودن فاصله میان محور چین‌ها از نصف طول، با ادامه رشد چین‌ها به یکدیگر متصل می‌شوند و در محل اتصال خمشی میان دو چین دیده می‌شود که این اتصال نشان دهنده تشکیل همزمان چین‌ها با هم بوده است.

پله پی‌سنگی در جنوب این تاقدیس‌ها است و ژرفای پی‌سنگ در شمال خاور این گسل بالاتر از قسمت جنوب باختری آن است) در شمال بلندای فارس واقع شده‌اند. به منظور مستندسازی کامل تاریخچه تکوین منطقه لازم است مطالعات در مقیاس‌های مختلف مانند کار میدانی و استفاده از خطوط لرزه‌ای ترکیب شوند. در این پژوهش بازدیدهای میدانی از منطقه مورد مطالعه به عمل آمده است و ساختارهای متعددی بررسی شده‌اند (شکل ۲) همچنین خطوط لرزه‌نگاری منطقه تفسیر شده‌اند که در شکل ۱۷ خطوط لرزه‌نگاری تاقدیس تخته و نره مشاهده می‌شود. تکامل ساختاری در کمربندهای چین و راندگی به چینه‌شناسی مکانیکی و شدت دگرشکلی بستگی دارد و حضور سطوح جدایشی نقش مهمی در هندسه ساختمان‌ها دارد (Bahroudi and Koyi, 2003). حضور ساختارهایی همچون چین‌های گوش‌خرگوشی، ساختارهای دم‌ماهی و ناودیس فرود یواره‌ای گویای حضور سطوح جدایشی میانی در ژرفا هستند که یکی از شرایط لازم برای تشکیل چین‌های جدایشی می‌باشد. همچنین وجود چینه‌های رشدی و پیش‌نشینی وجود سازوکارهای بین رسوب همزمان با زمین‌ساخت و ارتباطشان با چین‌خوردگی و گسلش، نهشته شدن رسوب در محیط‌های دریایی و قاره‌ای همزمان با فعالیت‌های زمین‌ساختی را تایید می‌کند. حضور پیش‌نشینی در سازندهای جوان مانند آغاچاری و عضوهای سازند گچساران گویای این موضوع است که پس از رسوب‌گذاری سازند آسماری و چین‌خوردگی و سپس فرسایش سازندهای قدیمی‌تر از سازند آغاچاری، هنگام برخاستگی تاقدیس، ماسه‌سنگ



شکل ۱۷- خطوط لرزه‌نگاری تفسیر شده (a) تاقدیس نره، (b) تاقدیس تخته.

Figure 17. Interpreted seismic lines a) Nahreh anticline, b) Takhteh anticline

۴-۱- ویژگی هندسی ساختارهای مورد مطالعه

وجود ندارد، نیز تشکیل شوند. این چین‌ها در نمای نقشه نسبت به هم یک جابه‌جایی هماهنگ به چپ یا راست دارند و به صورت پلکانی هستند. چنین هندسه‌ای از این چین‌ها ملاکی برای جدایش آنها از انواع کمانشی حاصل از فشارش ناحیه‌ای است (Satarzadeh et al., 2002). اثر سطح محوری این چین‌ها مانند چین‌های کمانشی حالت پلکانی دارد ولی اندازه نسبت شکلی چین بیشتر از چین‌های کمانشی است (داودی، ۱۳۹۰). در جدول ۱ نسبت چین برای تاقدیس‌های منطقه مورد مطالعه محاسبه شده است.

ویژگی‌های هندسی چین‌ها یکی از مهم‌ترین عامل‌های تحلیل و بررسی چین‌ها است. بر پایه نسبت شکلی چین یعنی نسبت طول محور چین به نصف طول موج آن، چین‌ها را در دو گروه چین‌های کمانشی و چین‌های تحمیلی قرار می‌دهند (Cosgrove and Ameen, 2000; Satarzadeh et al., 2000). بیشتر چین‌های کمانشی روی سطوح جدایشی تشکیل می‌شوند؛ چین‌های جدایشی (Satarzadeh et al., 2000) را به همین علت در این گروه قرار می‌دهند. چین‌های کمانشی نیز می‌توانند مرتبط با فعالیت گسل‌های امتداد لغز و پی‌سنگی، جایی که لایه‌های شکل‌پذیر در پوشش رسوبی

جدول ۱- محاسبه شاخص چین (نسبت چین) AR= طول خط لولا (l) تقسیم بر پهنای چین (w).

Table 1. Calculation of fold index (Aspect ratio) AR=length of hinge line (l) divided by width of fold (w).

Name of structures	Aspect ratio	Conclusion
Kuh - e- Lar	5.71=40/7	Buckle fold
Takhteh	6.15=32/5.2	Buckle fold
Nahreh	5.3=32/6	Buckle fold

۴-۲- ارتباط ساختارها با گسل‌های پی سنگی و امتداد لغز

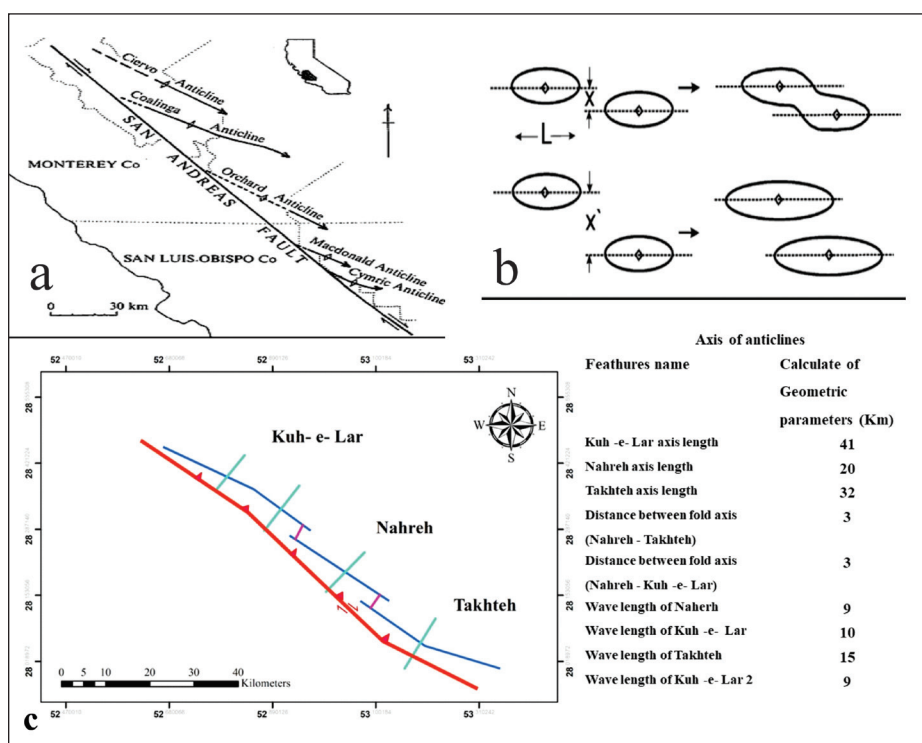
از ساختارهای معمول که در پوشش رسوبی پوشاننده گسل‌های مورب لغز پی سنگی شکل می‌گیرند، چین‌ها هستند. نسبت شکلی چین‌هایی که در توالی رسوبی پوشاننده گسل‌های پی سنگی ایجاد می‌شوند بسیار همانند چین‌های کمانشی است. این چین‌ها بر پایه نوع حرکت چپ‌گرد یا راست‌گرد گسل پی سنگی، معمولاً نسبت به هم جابه‌جایی به چپ یا راست دارند. بنابراین بر پایه نما و نوع قرارگیری چین‌ها نسبت به هم می‌تواند به عنوان شاخصی در تعیین سازوکار گسل‌های پی سنگی امتداد لغز استفاده شود. از این نوع چین‌ها نمونه‌های طبیعی بسیاری وجود دارند از جمله می‌توان به چین‌های بزرگ مقیاسی که به صورت پلکانی روی گسل پی سنگی چپ‌گرد در حوضه داریان در خاور پاناما تشکیل شده‌اند و یا به چین‌های پلکانی تشکیل شده روی گسل اینگلود در نزدیکی لس آنجلس و کالیفرنیا در ایالات متحده آمریکا اشاره کرد (شکل ۱۸-ا). چرخش محور و هندسه کلی چین‌ها را ناشی از مراحل تکاملی و رشد چین‌ها در بالای گسل‌های پی سنگی و در رابطه با حرکات امتداد لغز این گسل‌های پی سنگی می‌دانند (Titus et al., 2007). توزیع دگرشکلی در پوشش رسوبی و سازوکار گسل پی سنگی عاملی بنیادین در ایجاد ساختارهایی از جمله چین‌ها و انواع مختلفی از شکستگی‌ها است به گونه‌ای که با تغییر سازوکار از فشار به مورب لغز چین‌هایی که در ابتدا عمود بر راستای فشارش شکل می‌گیرند

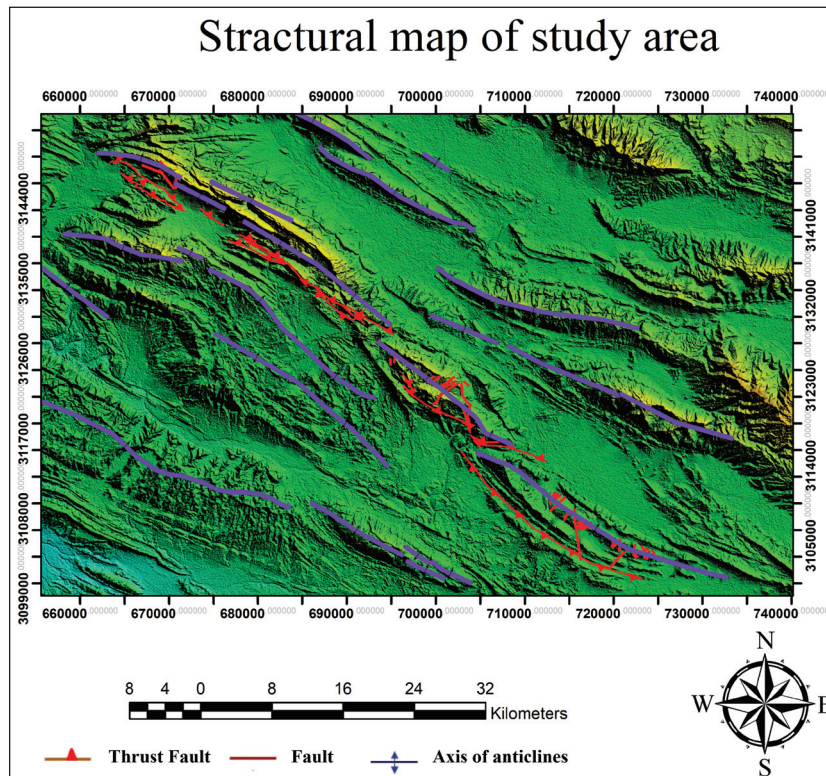
در ادامه برش خوردگی گسل پی سنگی، چرخش حاصل می‌کند و توسط آرایه‌ای پلکانی مشخص می‌شوند. اگر فاصله میان محور چین‌ها از نصف طول موجشان کمتر باشد، با ادامه رشد چین‌ها به یکدیگر متصل می‌شوند که در محل اتصال خمشی میان دو چین دیده می‌شود (Price and Cosgrove, 1990). این اتصال نشان‌دهنده تشکیل دو چین همزمان با هم بوده و با این ویژگی این دسته چین‌ها از چین‌های منفرد جدا می‌شوند در حالی که اگر فاصله میان محور چین‌ها از نصف طول موج آنها بیشتر باشد، در خلال رشد چین‌ها به یکدیگر متصل نشده و تنها به هم نزدیک و با پوشش همدیگر سبب حالت پلکانی می‌شوند. در این حالت چین‌ها از رشد همدیگر جلوگیری می‌کنند و به اصطلاح قفل شدگی (lock up) رخ می‌دهد (شکل‌های ۱۸-ب و ۱۹) (رضایی و بساقي، ۱۳۹۴).

مشابه این ساختارها در ناحیه فارس نیز مشاهده می‌شود. با توجه به بررسی صورت گرفته در تاقدیس‌های منطقه، نسبت شکلی چین‌ها کمتر از ۱۰ و جزو چین‌های جدایشی است که در تشکیل آنها افق‌های جدایش نقش داشته‌اند و دارای آرایش پلکانی راست‌بر می‌باشند که افزون بر برخورد زاگرس که به صورت مورب لغز است می‌تواند در ارتباط با گسل‌های پی سنگی باشند. همچنین تشکیل چین‌ها همزمان اتفاق افتاده است و در ادامه به یکدیگر متصل خواهند شد (شکل ۱۸-ج).

شکل ۱۸-ا) چین‌های پلکانی بالای گسل سن آندریاس (Price and Cosgrove, 1990)؛ ب) تلاقی میان چین‌ها و رشد چین‌های پلکانی، در ارتباط با فاصله محوری و نصف طول موج (Price and Cosgrove, 1990). ج) تاقدیس‌های منطقه مورد مطالعه در ارتباط با فاصله محوری و نصف طول موج.

Figure 18- a) En-echelon folds above the San Andreas fault (Price and Cosgrove, 1990); b) Crossing between folds and growth of en-echelon folds, in relation to axial distance and half wavelength (Price and Cosgrove, 1990). c) Anticlines of the study area in relation to axial distance and half wavelength.





شکل ۱۹- نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه.

Figure 19. Structural map of the study area.

تخته و نره را تحت تاثیر قرار داده است چشمه‌های گوگردی حضور دارند و به دلیل خروج هیدروکربن احتمالاً این گسل‌ها تا مخزن حضور دارند، از این رو، مطالعه خطوط لرزه‌ای جهت دستیابی به اطمینان، ضروری است. موقعیت تاقدیس‌ها به لحاظ قرارگیری در بلندای فارس مناسب حضور هیدروکربن است اما گسلش پی سنگی در یال جنوبی تاقدیس‌های تخته، نره و کوه لار ممکن است مخزن را تحت تاثیر قرار دهد. تاقدیس‌ها دارای نسبت شکلی چین کمتر از ده هستند و جزو چین‌های جدایشی است که در تشکیل این چین‌ها افق‌های جدایشی نقش داشته‌اند و دارای آرایش پلکانی راست‌بر است. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که تشکیل چین‌ها همزمان اتفاق افتاده است و در ادامه به یکدیگر متصل خواهند شد و تاقدیس‌ها در ارتباط با گسل‌های پی سنگی هستند. حضور آب‌چاک‌ها و هواچاک‌ها این پدیده‌های ریخت‌زمین‌ساختی در چین‌ها و سازندهای منطقه، نشانه بالاآمدگی چین‌ها و فعال بودن منطقه در حال حاضر است. ساختارهای مورد بررسی بیانگر تغییر شکل‌های ناشی از تغییرات توالی‌های رسوبی، رشد چین و گسل خوردگی در ژرفا می‌باشد که با تلفیق داده‌های زیر سطحی لرزه‌ای می‌توان به نتایج دقیق‌تری دست یافت تا بخش دیگری از مراحل پی‌جویی و اکتشاف نفت از طریق این مطالعات تکمیل شود.

سپاسگزاری

از مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران به خاطر همکاری در این مطالعه قدرانی می‌شود. همچنین از آقایان مهندس میرهاشمی و دکتر نوید دهباشی به دلیل نظرات سازنده آنها در طول مطالعه سپاسگزاری می‌شود.

۴-۳- چین‌های کمانشی (Buckle)

چین‌های کمانشی دارای نسبت شکلی چین میان ۲ تا ۱۰ هستند. بیشتر چین‌های متقارن و با آرایش پلکانی هستند و نیز محدود به پهنه گسلی هستند. در اثر حرکت برشی در پی‌سنگ در راستای گسل ایجاد می‌شوند. بیشتر ریز چین‌ها نسبت شکلی چین میان ۲ تا ۱۰ دارند و از الگوی چین‌های کمانشی یا هندسه متقارن پیروی می‌کنند و تشکیل آنها مربوط به حرکت برشی در راستای گسل پی‌سنگی است. چین‌های کمانشی روی سطح جدایش ایجاد می‌شوند (Satarzadeh et al., 2002).

۵- نتیجه‌گیری

حضور چینه‌های رشدی در سازندهای جوان آغاچاری و بختیاری و پیش‌نشینی (Onlapping) سازند آغاچاری بر روی آسماری در یال جنوبی تاقدیس نره می‌تواند در اثر عملکرد گسل پی سنگی پس از رسوب‌گذاری سازند آسماری و چین‌خوردگی و سپس فرسایش سازندهای قدیمی‌تر از سازند آغاچاری باشد که در هنگام برخاستگی تاقدیس، ماسه‌سنگ سازند آغاچاری با پیش‌نشینی بر روی سازند آسماری رسوب‌گذاری کرده‌است. حضور چین‌های گوش‌خرگوشی و ساختارهای دم‌ماهی از جمله شواهد صحرائی گویای نقش افق‌های جدایشی میانی بر هندسه چین‌خوردگی هستند که در منطقه مورد مطالعه مشاهده شده‌اند. گسترش گچ‌ترش و منابع گازی افق دهرم و وجود میدان‌های گازی متعدد در بلندای قدیمی فارس شاهدی بر حضور هیدروکربن هستند و حضور گچ‌ترش می‌تواند نشانه‌ای بر خروج احتمالی هیدروکربن و وجود ارتباط مخزن با سطح باشد. در محل گسل‌هایی که تاقدیس‌های

کتابکاری

- اشکان، ع.، ۱۳۹۱، پروژه مقایسه و ارزیابی ژئوشیمیایی گچ های ترش آب‌های گوگردی لایه‌های انیدریتی سازندهای تبخیری و سیالات گازی میادین هیدروکربوری حوضه رسوبی زاگرس (فراداد ۸۹۲۳۷) گزارش TR 2134.
- پتروکاو زاگرس، ۱۳۹۲، نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ برگه سیف آباد، تحت نظارت شرکت اکتشاف نفت ایران مدیریت اکتشاف.
- پتروکاو زاگرس، ۱۳۹۲، نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ برگه مرند، تحت نظارت شرکت اکتشاف نفت ایران مدیریت اکتشاف.
- داودی، ز.، ۱۳۹۰، تحلیل هندسی و جنبشی پهنه گسلی ایذه در کمربند چین خورده-رانده زاگرس، رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس.
- رضایی، ص.، و یساقی، ع.، ۱۳۹۴، تغییر سبک چین خوردگی در پوشش رسوبی پوشاننده گسل‌های مورب پی‌سنگی، مطالعه موردی تاقدیس قیتوله در شمال باختر زاگرس، مجله علوم زمین، شماره ۹۵، ص ۲۰۱-۲۱۰.
- مطیعی، ه.، ۱۳۸۲، چینه‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- شمس‌زاده، ع.، علوی، س.ا.، ولی‌نژاد، م.، توکلی یرکی، م.، ۱۳۹۶، سبک چین‌خوردگی و پیچیدگی‌های ساختاری در زیرپهنه لرستان مرکزی (مطالعه موردی یکی از میادین نفتی ناحیه)، ماهنامه علمی - ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۴۴، ۴۸-۵۳.
- نجفی، م.، یساقی، ع.، بحرودی، ع.، شرکتی، ش.، ورجس، ج.، ۱۳۹۴، سبک چین‌خوردگی در بلندای قدیمی فارس، جنوب خاور کمربند چین خورده - رانده زاگرس، مجله علوم زمین شماره ۹۵، ص ۷۹-۹۰. <https://doi.org/10.22071/gsj.2015.41878>

References

- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations, *Tectonophysics*, 229. 211-238. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2).
- Ashkan, A., 2012. *Project for the comparison and geochemical evaluation of sulfuric water sour plasters of the anhydrite layers of evaporative formations and gas fluids of the hydrocarbon fields of the Zagros Sedimentary Basin (contract 89237) report TR 2134. (In Persian)*.
- Baghbani, D., 2003. Paleogeographic evolution and hydrocarbon potential estimation of Dehram group in fars area and determination of Fars paleo-high limits, National Iranian oil company, Exploration and production, Tehran, Report 1946.
- Bahroudi, A., and 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, London*, 160, 719-733, <https://doi: 10.1144/0016-764902-135>.
- Bally, A.W. (Editor), 1987. Atlas of Seismic Stratigraphy. Am. Assoc. Pet. Geol. Stud. Geol., 27 (1): 124 pp.
- Bally, A.W. (Editor), 1988. Atlas of Seismic Stratigraphy. Am. Assoc. Pet. Geol. Stud. Geol., 27 (2): 277 pp.
- Bally, A.W. (Editor), 1989. Atlas of Seismic Stratigraphy. Am. Assoc. Pet. Geol. Stud. Geol., 27 (3): 244 pp.
- Barrell, J., 1917. Rhythms and the measurement of geologic time. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 28: 745-904. <https://doi.org/10.1130/GSAB-28-745>.
- Berberian, M., 1976. Contribution to the seismotectonics of Iran (part II). *Geological survey of Iran, Rep. No. 39m 518 p.5 Maps. 259 figures*.
- Berberian, M., 1995. Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: Active basement tectonics and surface morphotectonics, *Tectonophysics*, 241, 193-224, [https://doi: 10.101/0040-1951\(94\)00185-C](https://doi: 10.101/0040-1951(94)00185-C).
- Bordenave, M.L., and Hegre, J.A., 2012. Current distribution of oil and gas field in Zagros fold Belt of Iran and contiguous offshore as the result of the petroleum systems, *Geological Society, London, Special Publications*, 330, 291-353, <https://doi: 10.1144/SP330.14>.
- Burbank, D.W., and Vergés, J., 1994. Reconstruction of topography and related depositional systems during active thrusting, *journal of geophysical research*, vol. 99, NO. B10, pages 20,281-20,297, October 10. <https://doi.org/10.1029/94JB00463>.
- Cosgrove, J. W., and Ameen, M. S., 2000. A comparison of the geometry, spatial organization and fracture patterns associated with forced folds and buckle folds. In: *Forced folds and fractures* (edited by Cosgrove, J. W. and Ameen, M. S.) 169. *Geol. Soc. Spec. Publ.* <https://doi.10.1144/GSL.SP.2000.169.01.02>.
- Dahlstrom, C.D., 1990. Geometric Constraints Derived from the Law of Conservation of volume and applied to evolutionary models for detachment folding, *Geologic Note:(1). AAPG Bulletin*, 74(3), 336-334. <https://doi.org/10.1306/0C9B22E5-1710-11D7-8645000102C1865D>.
- Davodi, Z., 2011. *Geometrical and kinetic analysis of the Izeh fault zone in the folded-thrust belt of Zagros, PhD. thesis, Tarbiat Modares University. (In Persian)*.
- Dunnington, H.V., 1985. Generation, migration, accumulation and dissipation of oil in Northern Iraq. In: *Habitat of oil, AAPG, Symposium*, L.G. Weeks, edit, 1194-1251. <https://doi.org/10.2113/geoarabia100239>.
- Eberli, G.P., and Ginsburg, R.N., 1989. Cenozoic progradation of northwestern Great Bahama Bank, a record of lateral platform growth and sea-level fluctuations. In: P.D. Crevello, J.L. Wilson, J.F. Sarg and J.F. Read (Editors), *Controls on Carbonate Platform and Basin Development*, Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ., 44: 339-351. <https://doi.org/10.2110/pec.89.44.0339>.
- Furst, M., 1976. Tectonic and Diapirismus der ostlichenzagrosketten, *GEOL. Ges.* 127,183-2255. <https://doi: 10.1127/zdgg/127/1976/183>.
- Galloway, W. E., 1989. Genetic Stratigraphic Sequences in Basin Analysis II: Application to Northwest Gulf of Mexico Cenozoic Basin1, *AAPG Bulletin* (1989) 73 (2): 143-154. <https://doi.org/10.1306/703C9AFA-1707-11D7-8645000102C1865D>.
- García-Mondejar, J., and Fernandez-Mendiola, P.A., 1989. Evolution plataforma/cuencaenel Albiense de Lunada y Soba (Burgos y Cantabria). *Secuencias, asociaciones de sistemas sedimentarios (systems tracts) y cambios del nivel del mar, XII Congr. Esp. Sedimentol., Libro-Guia Excursiones Geol., Excursim No. I.Dep. Estratigr., Geodin. Paleontol. (Univ. Pais Vasco), and Div. Invest. Recursos (Ente Vasco de la Energia), Leioa-Bilbao*, pp.7-43.
- García-Mondejar, J., and Fernandez-Mendiola, P.A., 1991. Sequence stratigraphy and systems tracts of a mixed carbonate and siliciclastic platform basin model: The Albian of Lunada and Soba, northern Spain, *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, in prep. <https://doi.org/10.1306/BDF8BE6-1718-11D7-8645000102C1865D>.

- Ghaseminia, F., Daneshian, J., Soleimany, B., and Afghah, M., 2016. The Role of Stratigraphy in Growth Strata Studies: A Case Study from the Middle-Late Cretaceous Deposits in Persian Gulf, SW Iran, *International Journal of Geography and Geology*, vol. 5, issue 12, 249-258. <https://doi.org/10.18488/journal.10/2016.5.12/10.12.249.258>.
- Ghavidel, M., 1996. Acritarch Biostratigraphy of the paleozoic Rock Units in the Zagros basin, southern Iran. *Acta Universitatis Carolinae, Geologica*, 40, 385-411. 40 (3):385-412.
- Hughes, A., 2013. Insights into Contractional Fault- Related Folding Processes Based on Mechanical, Kinematic, and Empirical Studies. Harvard University PhD Dissertations.
- Jackson, J. A., 1980. Reactivation of basement faults and crustal shortening in orogenic belts, *Nature*, 283, 343-346, <https://doi.org/10.1038/28334a0>.
- Jahani, S., 2008. Salt tectonics, folding and faulting in the eastern Fars and southern offshore provinces (Iran). PhD. Thesis. Universite de Cergy- Pontoise.
- James, D.P., and Leckie, D.A. (Editors), 1988. Sequences, Stratigraphy, Sedimentology: Surface and Subsurface. Can. Soc. Pet. Geol. Mem. 15, 586 p.
- James, G.A., and Wynd, J.G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area, *American Association Petroleum Geology Bulletin*, 49, 2182-2245. <https://doi.org/10.1306/A663388A-16C0-11d7-8645000102C1865d>.
- Jordan, T.E., and Flemings, P.B., 1990. Largescale stratigraphic architecture, eustatic variation, and unsteady tectonism: A theoretical evaluation, *J. Geophys. Res.*, in press. <https://doi.org/10.1029/90JB01399>.
- Keller, E. A., and Pinter, N., 2001. Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape (2nd Edition), 384 p.
- Kent, P.E., 1979. The emergent Hormuz salt plugs of southern Iran. *Journal of Petroleum Geology*. 2, 117-144. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1979.tb00698.x>.
- Lawrence, D.T., Doyle, M., and Aigner, T., 1990. Stratigraphic simulation of sedimentary basins: Concepts and calibration, *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 74: 273-295. <https://doi.org/10.1306/0C9B22C7-1710-11D7-8645000102C1865D>.
- Lees, G.M., 1953. Persia In: *The Science of Petroleum v.6*, pt. 1, P.73-83.
- Letouzey, J., B. Colletta, R. Vially., and J.C. Chermette., 1995. Evolution of salt related structures in compressional setting: in M.P.A. Jackson, D.G. Roberts, and S. Snelson, eds., *Salt Tectonics: A Global Perspective*, Am. Ass. Petrol. Geol. Mem. 65, p. 41-60.
- Maurer, F., Martini, R., Rettori, R., Hillgartner, H., and Cirilli, S., 2009. The geology of Khuff outcrop analogues in the Musandam Peninsula, United Arab Emirates and Oman, *GeoArabia*, 14, 125-158, <https://doi.org/10.1007/s12517-010-0198-y>.
- Mitchum, R.M. Jr., and Van Wagoner, J.C., 1991. High frequency sequences and their stacking patterns: Sequence stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles, In: W. Schlager and K.T. Biddle (Editors), *The Record of Sea level Fluctuation*. *Sediment. Geol.*, 70: 131-160. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(91\)90139-5](https://doi.org/10.1016/0037-0738(91)90139-5).
- Mitra, S., 2002. Structural models of faulted detachment folds. *AAPG Bulletin*, 86, 173-1694, <https://doi.org/10.1306/61EEDD3C-173E-11D7-8645000102C1865D>.
- Mitra, S., 2003. A unified kinematic model for the evolution of detachment folds. *Journal of Structural Geology*, 25, 1659- 173, [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(02\)00198-0](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(02)00198-0).
- Motamedi, H., Sherkati, S., and Sepehr, M., 2012. Structural style variation and its impact on hydrocarbon traps in central Fars, Southern Zagros folded belt. *Iranian Journal of Structural Geology* 37, 124e133. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2012.01.021>.
- Motiei, H., 2003. *Geology of Iran, Stratigraphy of Zagros. Geological survey and mineral exploration of Iran.550 P.(In Persian)*
- Mutti, E., 1985. Turbidite systems and their relations to depositional sequences, In: G.G. Zuffa (Editor), *Provenance of Arenites*. Reidel, Boston, pp.65-93. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-2809-64>.
- Najafi, M. Yassaghi, A. Bahroudi, A. Serkati, SH., and Verges, J., 2015. Old Style in the Fars Paleo-High, SE Zagros Fold-Thrust Belt, *Geoscience*, V. 24, N. 95. *Tectonic*, 79-90. <https://doi.org/10.22071/gsj.2015.41878>. (In Persian).
- Oveisi, B., 2007. Rates and processes of active folding in the central Zagros – IRAN. PhD. Thesis. Universite Joseph Fourier. 226 pages.
- Perotti, C., Carruba, S., Rinaldi, M., and Bertozzi, G., 2011. The Qatar-South Fars Arch Development (Arabian Platform, Persian Gulf): Insights Form Seismic Interpretation and Analogue Modelling, In: Schattner, U. (eds) *New Frontiers in Tectonic Research At the Midst of plate Convergence*, ISBN: 978 – 9553 – 307 – 594-5. 325-352. <https://doi.org/10.5772/20229>.
- Petrokav Zagros, 2012. Geological map of Marand scale 1:50,000, Under Supervision of NIOC.
- Petrokav Zagros, 2012. Geological map of Seif-Abad scale 1:50,000, Under Supervision of NIOC.
- Pitman, W.C. III., 1978. Relationship between eustacy and stratigraphic sequences of passive margins, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 89:1389 1403.
- Pitman, W.C., III, 1990. Large rapid sea level changes. *Earth Planet. Sci. Lett.*, in prep. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1978\)89<1389:RB EASS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1978)89<1389:RB EASS>2.0.CO;2).
- Price, N. J., and Cosgrove, J. W., 1990. *Analysis of Geological Structures*, Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/S0016756800018549>.
- Rahimpour-Bonab, H., Esrafilizadeh, B., and Tavakoli, V., 2010. Dolomitization and Anhydrite precipitation in Permo- Triassic carbonates at the South Pars gas field, offshore Iran: controls on reservoir quality. *Journal of Petroleum Geology*, 33,43-66. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2010.00463.x>.
- Reynolds, D.J., Steckler, M.S., and Coakley, B.J., 1990. The role of the sediment load in sequence stratigraphy: The influence of flexural isostasy and compaction, *J. Geophys. Res.*, in press. <https://doi.org/10.1029/90JB01914>.
- Rezaei, S., and Yassaghi, A., 2015. *Fold style variations in cover sediments above oblique basement faults, Qitoleh anticline as a case study*,

- North-west Zagros, *Geoscience Vol. 24, NO. 95*. <https://doi.org/10.22071/gsj.2015.41852>. (In Persian).
- Sattarzadeh, Y., Cosgrove, J. W., and Vita-Finzi, C., 2000. The interplay of faulting and folding during the evolution of the Zagros deformation belt. In: Cosgrove, J.W., Ameen, M.S. (Eds.), *Forced Folds and Fractures Special Publication no, 169*. Geological Society, London, 187–196. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2000.169.01.14>.
- Saura, E., Vergés, J., Homke, S., Blanc, E., Serra-Kiel, J., Bernaola, G., Casciello, E., Fernández, N., Romaine, I., Casini, G., Embry, J.Ch., Sharp, I.R., and Hunt, D., 2011. Basin architecture and growth folding of the NW Zagros early foreland basin during the Late Cretaceous and early Tertiary, London, *Journal of the Geological Society*, 168, 235-250. <https://doi.org/10.1144/0016-76492010-092>.
- Sella, G.F., Dixon, T.H., and Mao, A.L., 2002. REVEL: A model for recent plate velocities from space geodesy. *Journal of Geophysical Research – Solid Earth*, 107, B4, 2081. <https://doi.org/10.1029/2000JB000033>.
- Sepehr, M., and Cosgrove, J.W., 2004. Structural framework of the Zagros fold- thrust belt. *Iran, Mar. Pet. Geol.* 21 (7), 829-843. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2003.07.006>.
- Shamszadeh, A., Alavi, S.A., Vali nejad, M., and Tavakoli, M., 2016. *Folding style and structural complications in the central Lorestan sub-zone; A case study of one of the oil fields in the district. Scientific journal of Oil and Gas exploration and production. No.144.48-53. (In Persian)*.
- Shankar, M., 2002. Structural Models of Faulted Detachment Folds, *AAPG Bulletin* (2002) 86 (9): 1673–1694. <https://doi.org/10.1306/61EEDD3C-173E-11D7-8645000102C1865D>.
- Sherkati, S., and Letouzey, J., 2004. Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran. *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 21, No. 5, 535-554. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2004.01.007>.
- Sherkati, S., Letouzey, J., and Frizon de Lamotte, D., 2006. The Central Zagros fold- thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation and sand box modeling. *Tectonics*, 25, TC4007. <https://doi.org/10.1029/2004TC001766>.
- Soleimany, B., and Sâbat, F., 2010. Style and age of deformation in the Northwest Persian Gulf, *Petroleum Geosciences*, 15, 1-10. <https://doi.org/10.1144/1354-079309-837>.
- Soleimany, B., Poblet, J., Bulnes, M., and Sâbat, F., 2011. Fold amplification history unravelled from growth strata: the Dorood anticline, NW Persian Gulf, *Journal of the Geological Society*, 168 (1): 219–234. <https://doi.org/10.1144/0016-76492010-085>.
- Stöcklin, J., 1968. Structural History and Tectonics of Iran: a review. *American Association Petroleum Geology Bulletin*, 52 (7), 1229-1258. <https://doi.org/10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D>.
- Suppe, J., and Medwedeff, D. A., 1990. Geometry and kinematics of fault propagation folding. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 83 (3), 409–454. <https://doi.org/10.4236/gep.2017.511006>.
- Suppe, J., 1983. Geometry and kinematics of fault- bend folding. *American Journal of Science* 283, 684- 721. <https://doi.org/10.2475/ajs.283.7.684>.
- Szabo, F., and kheradpir, A., 1978. Permian and Triassic stratigraphy, Zagros basin, south- west Iran, *Journal of petroleum Geology*, 1, 57-82. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1978.tb00611.x>.
- Talbot, C. L., and Alavi, M., 1996. The past of a future syntaxis across the Zagros, in: Alsop, G, L., Blundell, D, L., Davison, I. (Eds), *Salt Tectonics*, vol, 100. Geol, Soc, London Spec Pub., PP. 89- 109. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1996.100.01.08>.
- Thorne, J.A., and Swift, D.J.P., 1991. Sedimentation on continental shelves. Part II: Application of the regime concept. In: D.J.P. Swift, G.F. Oertel and R.W. Tillman and J. A. Thorne (Editors), *Shelf Sands and Sandstone Bodies: Geometry, Facies and Distribution*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Titus, S. J., Housen, B., and Tikoff, B., 2007. A kinematic model for the Rinconada fault system in central California based on structural analysis of en-echelon folds and paleomagnetism. *Journal of Structural Geology* 29, p. 961-982. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2007.02.004>.
- Vail, P.R., 1987. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part I: Seismic stratigraphy interpretation procedure, In: A.W. Bally (Editor), *Atlas of Seismic Stratigraphy*, Am. Assoc. Pet. Geol. Stud. Geol., 27 (1): 1-10. <https://doi.org/10.4236/ojce.2018.83022>.
- Valero, L., Soleimany, B., Bulnes, M., and Poblet, J., 2015. Evolution of the Nourooz anticline (NW Persian Gulf) deciphered using growth strata: Structural inferences to constrain hydrocarbon exploration in Persian offshore anticlines, *Marine and Petroleum Geology* 66, 873-889. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2015.07.029>.
- Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.M. Jr., Posamentier, H.W., and Vail. P.R., 1987. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy, Part II: Key definitions of sequence stratigraphy, In: A.W. Bally (Editor), *Atlas of Seismic Stratigraphy*. Am. Assoc. Pet. Geol. Stud. Geol., 27 (1): 11-14.
- Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.M., Campion, K.M., and Rahmanian, V.D., 1990. Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores, and Outcrops: Concepts for High Resolution Correlation of Time and Facies, *Am. Assoc. Pet. Geol. Methods Explor. Ser.*, 7:55 pp. <https://doi.org/10.1306/Mth7510>.
- Van Wagoner, J.C., Posamentier, H.W., Mitchum, R.M. Jr., Vail. P.R., Sarg, J.F., Loutit, T.S., and Hardenbol, J., 1988. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions, In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.St.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross and J.C. Van Wagoner (Editors), *SeaLevel Changes: An Integrated Approach*. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ., 42: 39-45. <https://doi.org/10.2110/pec.88.01.0039>.
- Vergés, J., Marzo, M., and Muñoz, J. A., 2002. Growth strata in foreland settings: *Sedimentary Geology*, v. 146, no. 1-2, p. 1- 9. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00162-2](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00162-2).
- Yassaghi, A., and Madanipour, S., 2008. Influence of a transverse basement fault on along-strike variations in the geometry of an inverted normal fault: Case study of the Mosha Fault, Central Alborz Range, Iran. *Journal of Structural Geology* 30(12):1507–1519. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2008.08.006>.