

## هندسه چین خوردگی در میادین گازی وراوی، لامرد، تابناک، گاوبندی، خیام و مدار در فارس ساحلی

علی تقوی

دانشجوی دکتری زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

مهدی نجفی

استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان

نجمه اعتمادسعید

استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان

محمدصدیق

گروه زمین شناسی، شرکت نفت مناطق مرکزی ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۹

Ali.taghavy1366@gmail.com

### چکیده

مقاله حاضر با تفسیر همزمان خطوط لرزه‌ای دو بعدی، اطلاعات چاه و داده‌های صحرایی به بررسی تغییرات هندسه ساختارها از سطح تا ژرفای پوشش رسوبی در پیشانی پهنه فارس ساحلی در جنوب خاوری کمر بند چین خورده و رانده زاگرس پرداخته است. ترسیم سه برش ساختاری ترازمند تا عمق ۱۰ کیلومتری و به طول تجمعی ۱۴۲ کیلومتر این منطقه نشان داد که پیشانی فارس با کوتاه‌شدگی ۷/۵-۱۱ درصد، تلفیقی از دگرریختی نازک پوسته با چین خوردگی جدایشی گسلیده در تاقدیس‌های وراوی، لامرد، مدار و خیام و همچنین دگرریختی ستبرپوسته با گسلش پی‌سنگی در تاقدیس تابناک دارد. علاوه بر این، در تاقدیس‌های لامرد، گاوبندی، مدار و خیام، که طول موج و دامنه نسبی کمتری دارند، تبخیری‌های سازند دشتک به سن تریاس پایانی، با افزایش ستبرای تکتونیک تا حدود دو برابر، یک افق جدایش ساختاری در میانه پوشش رسوبی تشکیل می‌دهند که هندسه واحدهای مزوزوئیک و سنوزوئیک را از هندسه افق مخزنی پرموتریاس گروه دهرم متفاوت می‌سازد.

**کلمات کلیدی:** فارس ساحلی، هندسه ساختاری، افق‌های جدایش، کوتاه‌شدگی، مخزن گازی پرموتریاس

### مقدمه

2011) و تعدادی نیز مدل‌سازی آنالوگ (Sherkati et al., 2006; Jahani, 2008) را برای مستند کردن تفسیرهای ساختاری خود به کار گرفته‌اند. از میان این مطالعات انجام شده بر روی سبک چین خوردگی در پهنه فارس، آنهایی که از خطوط لرزه‌ای و اطلاعات چاه استفاده نموده‌اند، هندسه‌های ژرف چین‌ها را مستندتر نشان داده‌اند.

برخی از این مطالعات زیرسطحی به تغییرات هندسه چین خوردگی در ژرفای پوشش رسوبی در بخش‌های مرکزی و پیشانی فارس اشاره کرده‌اند (Sepehr et al., 2006; Sherkati et al., 2006; Motamedi et al., 2012; Najafi et al., 2014). علاوه بر مقالات منتشر شده، اطلاعات زیر سطحی که در اکتشافات اخیر و موفق هیدروکربوری در منطقه بلندای قدیمی فارس بدست آمده‌اند نشان می‌دهند که در برخی ساختارها، هندسه واحدهای سنوزوئیک نسبت به افق مخزنی پرموتریاس متفاوت می‌باشد. این تغییر در سبک چین‌ها از سطح تا ژرفا، تعیین اولویت تاقدیس‌ها و انتخاب محل حفاری‌های اکتشافی گاز را مشکل کرده و مطالعه بیشتری را طلب می‌کند (نجفی و همکاران، ۱۳۹۴).

کمر بند چین خورده و رانده زاگرس در بخش مرکزی کوهزاد آلپ-همیالیا قرار دارد. پهنه فارس بزرگ‌ترین بخش از تقسیمات تکتونواستراتیگرافی در این کمر بند است که توسط گسله سورمه به دو بخش فارس داخلی و فارس پیشانی تقسیم می‌شود. بلندای قدیمی فارس که بیشترین میادین گازی کشور را در بر گرفته است در بخش مرکزی پهنه فارس جای دارد. منطقه مورد مطالعه در پیشانی بلندای قدیمی فارس قرار گرفته است.

در دهه گذشته، هندسه چین خوردگی در پهنه فارس از کمر بند چین خورده و رانده زاگرس مورد مطالعات بسیاری بوده است (McQuarrie, 2004; Letouzey & Sherkati, 2004; Molinaro et al., 2005; Sherkati et al., 2006; Alavi, 2007; Oveisi et al., 2007; Ramsey et al., 2008; Jahani, 2008; Yamato et al., 2011; Motamedi et al., 2012; Najafi et al., 2014). اکثر این مطالعات برش‌های ساختاری را در عرض پهنه فارس ارائه کرده‌اند و تغییرات هندسه و کینماتیک چین خوردگی در راستای این برش‌ها را به عنوان موضوع پژوهش خود انتخاب نموده‌اند. برخی راهکار مدل‌سازی عددی (Yamato et al.,

مطالعه در نهایت، به مطالعه تغییر در هندسه و سبک چین‌ها از سطح تا ژرفای پوشش رسوبی متأثر از عملکرد افق‌های جدایش میانی و قاعده‌ای می‌پردازد و میزان کوتاه‌شدگی هندسی در عرض پیشانی فارس را محاسبه می‌کند.

#### چارچوب زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه

پهنه فارس با بیش از ۲۰۰ کیلومتر عرض و ۵۰۰ کیلومتر طول، وسیع‌ترین پهنه‌ی زاگرس است که در قسمت جنوب خاوری کمربند چین‌خورده و رانده زاگرس قرار دارد (شکل ۱). مطالعه حاضر در بخش پیشانی بلندای قدیمی فارس انجام شده است. بلندای قدیمی فارس با سه ویژگی نسبت به بخش‌های دیگر پهنه فارس مشخص می‌شود:

۱) در برگرفتن اکثریت میدان‌های گازی پرموتریاس (شکل ۱) (Bordenave and Hegre, 2012).

۲) نبود رخنمون گنبد‌های نمکی در بخش‌های مرکزی و جنوبی آن (Talbot and Alavi, 1996).

۳) کاهش ستبرای پوشش رسوبی از خاور و باختر به سمت بخش مرکزی آن (Rahimpour-Bonab et al., 2010; Perotti et al., 2011).

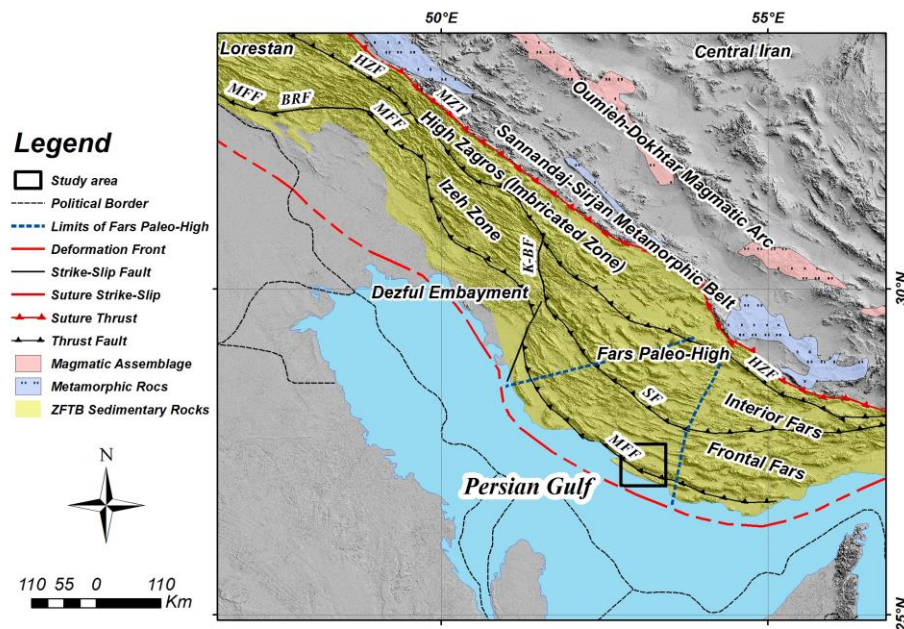
مطالعه نقشه‌های هم‌ستبرای سازندها، در بلندای قدیمی فارس نشان می‌دهد که این منطقه حداقل از تریاس تا میوسن نسبت به مناطق اطراف بالاتر بوده است، که موجب کاهش ستبرای پوشش رسوبی از خاور و باختر به سمت بخش‌های مرکزی آن شده است (Rahimpour-bonab et al., 2010). مطالعه یک خط لرزه‌ای به طول ۲۰۰ کیلومتر به موازات خلیج فارس، کاهش ستبرای پوشش رسوبی در بالای این بلندا را به خوبی نمایش می‌دهد (Perotti et al., 2011). بالاتر بودن منطقه‌ی بلندای قدیمی فارس در طول این زمان، موجب مهاجرت اولیه هیدروکربور به سمت این منطقه شده است. با شروع چین‌خوردگی‌ها در میوسن، این تجمعات هیدروکربوری دوباره مهاجرت کرده و در بستگی‌های ایجاد شده توسط تاقدیس‌ها به دام افتاده‌اند (Bordenave and Hegre, 2012).

در این مطالعه برای تعیین هندسه ساختاری در عرض پیشانی پهنه فارس سه برش ساختاری ترازمند از سطح زمین تا ژرفای پی‌سنگ ترسیم گردیده است که این برش‌ها از شمال تاقدیس وراوی تا خط ساحلی خلیج فارس و تا ژرفای حدود ۱۰ کیلومتر ادامه می‌یابد که در (شکل ۱) موقعیت این برش‌ها نشان داده شده است (شکل ۲).

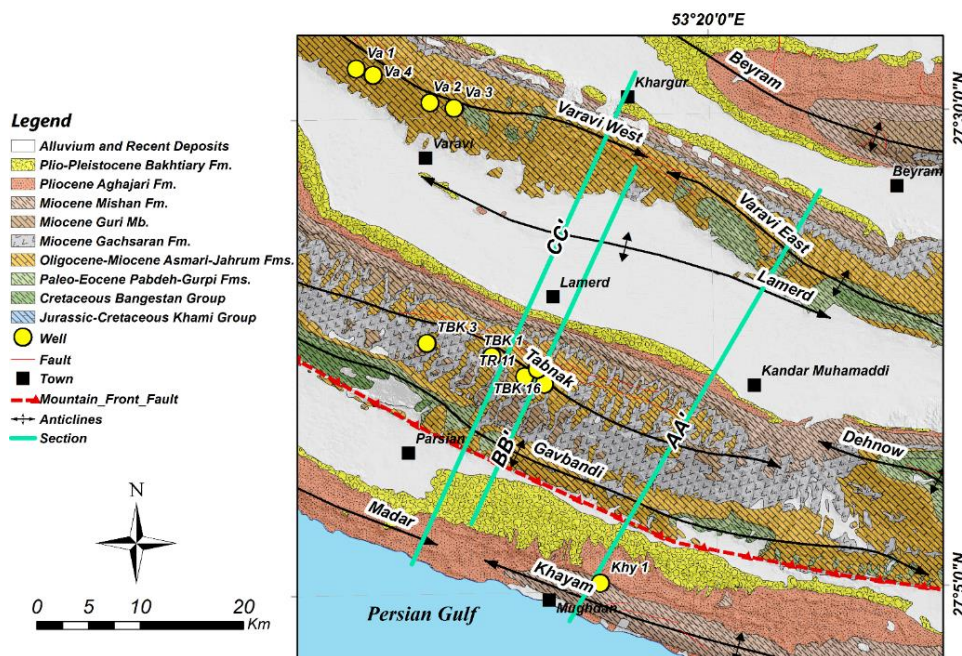
سازوکارهای متفاوتی نیز برای چین‌خوردگی پوشش رسوبی در محدوده بلندای قدیمی فارس پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به چین‌خوردگی جدایشی (McQuarrie, 2004; Sherkati et al., 2006; Jahani, 2008; Najafi et al., 2014; Letouzey and Sherkati, 2004; Alavi, 2007; Oveisi et al., 2009) و چین‌خوردگی خم‌گسلی اشاره کرد (Alavi, 2007). سری هرمز به سن اینفراکامبرین یا معادل‌های جانبی آن، به عنوان افق شکل‌پذیر پوشاننده پی سنگ برای پهنه فارس پیشنهاد شده‌اند (Jackson, 1980; Berberian, 1995; Talbot and Alavi, 1996). هرچند 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). بیشتر پژوهشگران دلایلی چون، کاهش ستبرای سری هرمز در بلندا و یا تغییر رخساره آن به انیدریت را پیشنهاد کرده‌اند (Talbot and Alavi, 1996; Jahani et al., 2009).

مطالعات پیشین با بازگردانی و موازنه برش‌های ساختاری در عرض بلندای قدیمی فارس مقادیر متفاوتی از کوتاه‌شدگی ساختاری را برای رسوبات چین‌خورده این منطقه پیشنهاد کرده است که آنها را می‌توان در سه گروه جای داد: مطالعاتی که رابطه بین ناودیس‌ها و تاقدیس‌ها را بدون توسعه راندگی‌های پهلویی در نظر گرفته‌اند (Jahani et al., 2009; Motamedi et al., 2012) و یا مطالعه‌ای که هندسه ناودیس‌ها را بدون دگرریختی می‌داند (Oveisi et al., 2009) کوتاه‌شدگی را کمتر از ۱۰ درصد دانسته‌اند. در مقابل آنهایی که جابجایی زیاد برای راندگی‌ها و هندسه مضاعف برای ساختارها در نظر گرفته‌اند، میزان کوتاه‌شدگی را حدود ۳۰ درصد پیشنهاد می‌کنند (Alavi, 2007)، و گروه سوم کوتاه‌شدگی حاصل از چین‌خوردگی و گسلس در عرض بلندای قدیمی فارس را در حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد برآورد کرده‌اند (McQuarrie, 2004; Sherkati et al., 2006; Yamato et al., 2011; Najafi et al., 2014).

مطالعه حاضر از داده‌های میدانی، خطوط لرزه‌ای دو بعدی و داده‌های اکتشافی استفاده نموده است تا سه برش ساختاری عرضی موازنه شده بر پیشانی بلندای فارس ترسیم نماید. طول این برش‌ها در مجموع به حدود ۱۴۲ کیلومتر و ژرفای آن‌ها به ۱۰ کیلومتر می‌رسد. این برش‌ها در عرض تاقدیس‌های وراوی، لامرد، تانباک، گاوبندی، مدار و خیام تهیه شده است. این



شکل ۱. تصویر مدل ارتفاعی-رقومی از کمربند زاگرس که تقسیمات ساختاری بر روی آن نشان داده شده است (عناصر ساختاری برگرفته از Berberian and King, 1981; Sepher and Cosgrove, 2004)؛ چهارگوش سیاه رنگ موقعیت منطقه مطالعه این پژوهش را نشان می‌دهد که در بلندای قدیمی فارس واقع شده است. همچنین گسله‌هایی که مرز پهنه‌های ساختاری هستند شامل: ( ) MZT=Main Zagros Thrust, HZF=High Zagros Fault, BRF=Balarud Fault, MFF: Mountain Front Fault, K-BF=Kazerun-Borazjan Fault, ( ) SF=Surmeh Fault



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی پیشانی پهنه فارس که با تغییرات جزئی از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ خنج، گاوپست، گاوپندی و همچنین نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ بیرم شرکت ملی نفت ایران اقتباس شده است. نام تاق‌دیس‌های منطقه بر روی نقشه نوشته شده است. مسیر برش‌های زمین‌شناسی ساختمانی AA'، BB' و CC' و محل چاه‌های این پژوهش بر روی نقشه نشان داده شده است.

## چینه‌شناسی عمومی و مکانیکی

(شکل ۳) ستون چینه‌شناسی پیشانی بلندای قدیمی فارس را نمایش می‌دهد. این ستون با استفاده از سه منبع و بر اساس ستبرای تنظیم شده است:

(۱) عملیات صحرایی برای واحدهایی جوانتر از پالئوسن که رخنمون‌های قابل ملاحظه‌ای در منطقه دارند.

(۲) اطلاعات چاه‌های حفاری شده (عمدتاً بر اساس چاه تابناک، مدار و وراوی).

(۳) برای واحدهای پالئوژئوتیک زیرین که در هیچ کدام از چاه‌ها حفاری نشده بودند، از گزارش‌های چینه‌شناسی زاگرس استفاده شده است (James and Wynd, 1965; Szabo and Kheradpir, 1978; Ghavidel-Syooki, 1996). ستبرای سری پالئوژئوتیک با خطوط لرزه‌ای تبدیل به ژرفا شده نیز کنترل گردیده است.

پوشش رسوبی منطقه با ژرفای حدود ۱۰ کیلومتر بر روی پی‌سنگ بلورین پرکامبرین قرار گرفته است. قاعده این پوشش رسوبی توسط سری نمکی هرمز یا معادل‌های جانبی آن پوشیده شده است (Talbot and Alavi, 1996)، که ستبرای حدود ۱ تا ۲ کیلومتر را بر اساس برش‌های ساختاری ترسیم شده از خود نشان می‌دهد و با مطالعات گذشته نیز مطابقت دارد (Player, 1969; Kent, 1974; Ala, 1970). بر روی نمک هرمز واحدهای سری پالئوژئوتیک زیرین شامل سازندهای میلا (دولومیت، گلسنگ و آهک)، ایل‌بیک (گلسنگ، ماسه سنگ و مادستون) و زردکوه (گلسنگ، ماسه سنگ و کربنات) قرار گرفته‌اند.

در پالئوژئوتیک بالایی سازندهای سیاهو (ماسه سنگ و گلسنگ‌های ارگانیک) و سرچاهان (ماسه سنگ و گلسنگ‌های ارگانیک) قرار دارند که به عنوان سنگ منشا گاز در منطقه مورد مطالعه معرفی می‌شوند. این دو سازند به همراه سازند دالان (کربنات و انیدریت) به عنوان سری پالئوژئوتیک بالایی در ستون چینه‌شناسی مشخص شده‌اند.

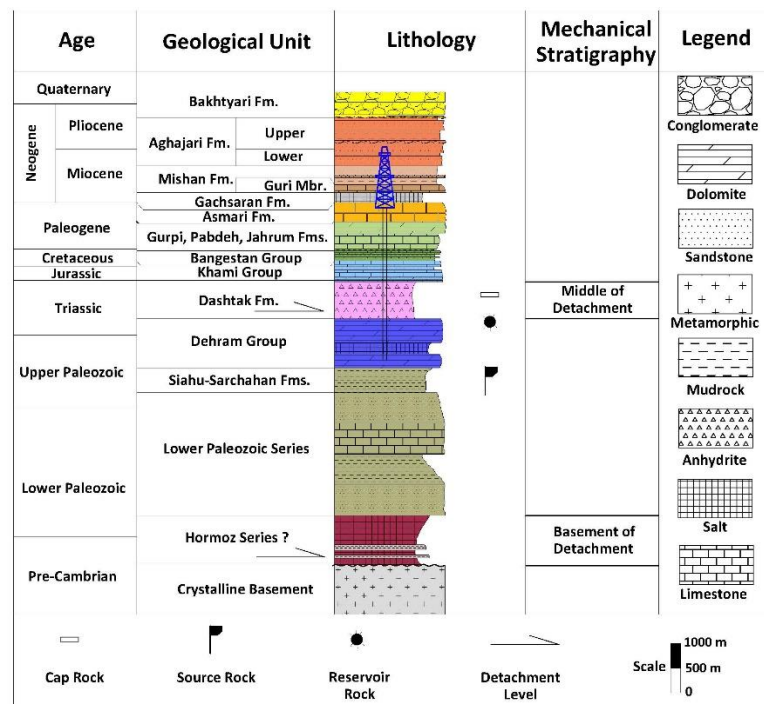
در ترسیم ستون چینه‌شناسی از سازند دالان تا نهشته‌های پلیوسن از اطلاعات چاه‌های اکتشافی در دسترس استفاده شده است. تفسیر خطوط لرزه‌ای توسط شرکت ملی نفت ایران، ستبرای حدود ۴ کیلومتر را برای سری پالئوژئوتیک در پهنه فارس پیشنهاد نموده است (Najafi et al., 2014). خطوط لرزه‌ای تبدیل به ژرفا شده در این مطالعه نیز ستبرای چهار کیلومتر را برای واحدهای پالئوژئوتیک در این منطقه پیشنهاد می‌نماید. گروه دهرم سنگ مخزن ذخایر گاز در منطقه مورد مطالعه هستند که ستبرای حدود ۱ کیلومتر را از خود نمایش می‌دهند و از قدیم به جدید شامل سازندهای فراقان (ماسه سنگ و گلسنگ)، دالان و کنگان (آهک و گلسنگ) هستند (Szabo and Kheradpir, 1978). سازند

دشتک به عنوان سنگ پوش پیشانی فارس از انیدریت به همراه دولومیت و گلسنگ تشکیل شده است.

ستبرای چینه شناختی سازند دشتک در منطقه مورد مطالعه از ۵۵۰ متر در تاقدیس تابناک تا ۱۵۰۰ متر در تاقدیس لامرد متغیر است. سازند تبخیری دشتک به سمت مناطق داخلی‌تر پهنه فارس و زاگرس مرتفع با تبدیل به دولومیت‌های سازند خانه‌کت اهمیت خود را به عنوان افق جدایش از دست می‌دهد (Sepehr et al., 2006; Sherkati et al., 2006; Najafi et al., 2014). بر روی سازند دشتک، سازند نیریز (دولومیت و گلسنگ) با ستبرای کم (۴۰ متر) واقع شده‌است. بر روی سازند نیریز، سازندهای گروه خامی به ستبرای ۳۷۵ متر قرار گرفته‌اند که شامل سازندهای سورمه (آهک، گلسنگ و دولومیت)، انیدریت هیئت، فهلیان (آهک)، گدوان (گلسنگ و مارن) و داریان (آهک) می‌باشند. بر روی گروه خامی، سازندهای گروه بنگستان با ۵۸ متر گلسنگ‌های سازند کژدمی در قاعده آغاز می‌گردند. بر روی آن ۱۵۴ متر سنگ‌های آهکی مقاوم مربوط به سازندهای سروک و ایلام قرار گرفته است که این دو سازند آهکی توسط ۴۰ متر گلسنگ لافان از یکدیگر جدا می‌شوند.

سازند گلسنگی و مارنی گورپی با ستبرای ۴۰ متر بر روی رسوبات گروه بنگستان قرار گرفته است. سازند پایده (گلسنگ و آهک) با ستبرای ۳۰۸ متر بر روی رسوبات سازند گورپی نهشته شده است و در ادامه دولومیت‌های سازند چهارم با ستبرای ۲۵۰ متر بر روی سازند پایده رسوب‌گذاری کرده است. آهک آسماری با ستبرای ۳۹۰ متر به صورت ناپیوسته بر روی دولومیت‌های سازند چهارم قرار گرفته است. سازند گچساران (انیدریت، نمک و آهک) با ستبرای حدود ۲۰۰ متر بر روی سازند آسماری و در زیر گلسنگ‌های میشان با ستبرای ۵۳۸ متر واقع شده است. ستبرای سازند میشان در پهنه فارس تا نزدیک به ۱۶۰۰ متر نیز معرفی شده است (Pirouz, 2013). آهک گوری عضو قاعده‌ای از سازند میشان است که به علت ستبرای قابل توجه به صورت جداگانه ترسیم شده است.

سازند آجاجاری (تناوب ماسه‌سنگ، سیلتستون و مارن) با ستبرای ۹۸۱ متر بر روی سازند میشان قرار گرفته است و به دو قسمت بالایی و پایینی تقسیم می‌شود که به صورت دگرشیبی از یکدیگر جدا می‌گردند (Mouthereau et al., 2007; Khadivi et al., 2010). جوان‌ترین واحد سنگی کنگلومرای بختیاری است که ستبرای متغیری از خود نمایش می‌دهد و به صورت ناپیوسته بر روی سازند آجاجاری قرار گرفته است.



شکل ۳. ستون چینه‌شناسی پوشش رسوبی تهیه شده در این پژوهش بر روی پیشانی فارس (برگرفته از: James and Wynd, 1965; Szabo and Kheradpir, 1978; Ghavidel-Syooki, 1996). این ستون بر حسب سستبرای واحدها می‌باشد که با اندازه‌گیری صحرایی برای سازندهای آغاچاری و بختیاری (Perrier et al., 1975)، اطلاعات چاه‌های حفاری شده تا ژرفای پالئوزوئیک بالایی (چاه تابناک-۱، مدار و وراوی) و گزارش‌های چینه‌شناسی برای واحدهای پالئوزوئیک زیرین به دست آمده است.

## روش مطالعه هندسه ساختارها

در این مطالعه با ترکیب اطلاعات سطحی و زیرسطحی اقدام به تشکیل برش داده شده است سپس برش‌های ساختاری ترازمند بر روی برش‌های داده ترسیم شده‌اند. هر برش ساختاری در چهار گام ترسیم شده است:

در گام نخست، بعد از مشخص کردن بهترین مسیر برش ساختاری، داده‌های عملیات میدانی، برش توپوگرافی و علاوه بر اینها، داده‌های چاه (شامل محل سرسازندها) را در نرم‌افزار Move با یکدیگر تلفیق کرده‌ایم (شکل ۳). در طول حدود یک هفته عملیات میدانی در راستای مسیر برش‌های ساختاری، جهت‌یابی لایه‌ها برداشت گردید تا هندسه نزدیک به سطح چین خوردگی با دقت تعیین شود. مقادیر این اندازه‌گیری‌ها بر روی برش‌های ساختاری (شکل ۴ و ۵) نشان داده شده است. همچنین در طول عملیات صحرایی محل همبری سازندها مشخص شده و نسبت به نقشه زمین‌شناسی کمی تصحیح گردیده و بر روی برش‌ها اعمال شد.

در گام دوم، خطوط لرزه‌ای را با اعمال مدل‌های سرعتی مناسب از زمان به ژرفا تبدیل شده‌اند. پیش از تفسیر ساختاری لازم است تا خطوط لرزه‌ای تبدیل به ژرفا شوند تا بتوان ژرفا و شیب صحیح ساختارها را مشخص کرد و هم هندسه‌های کاذبی که در خطوط زمانی دیده می‌شوند را از بین برد (Etris et al., 2001). در طول زمان بررسی‌های لرزه‌ای، دو گروه اصلی از مدل‌های سرعت به ژرفا توسعه پیدا کرده‌اند:

(۱) مدل‌های سرعتی لایه‌ای.

(۲) مدل‌های سرعتی پیوسته. با توجه به شدت چین‌خوردگی و گسلش زیاد لایه‌ها از مدل سرعتی پیوسته که در آن سرعت نسبت به افزایش ژرفا با تابع مشخصی بصورت پیوسته افزایش می‌یابد (Marsden, 1992) استفاده گردید (شکل ۴).

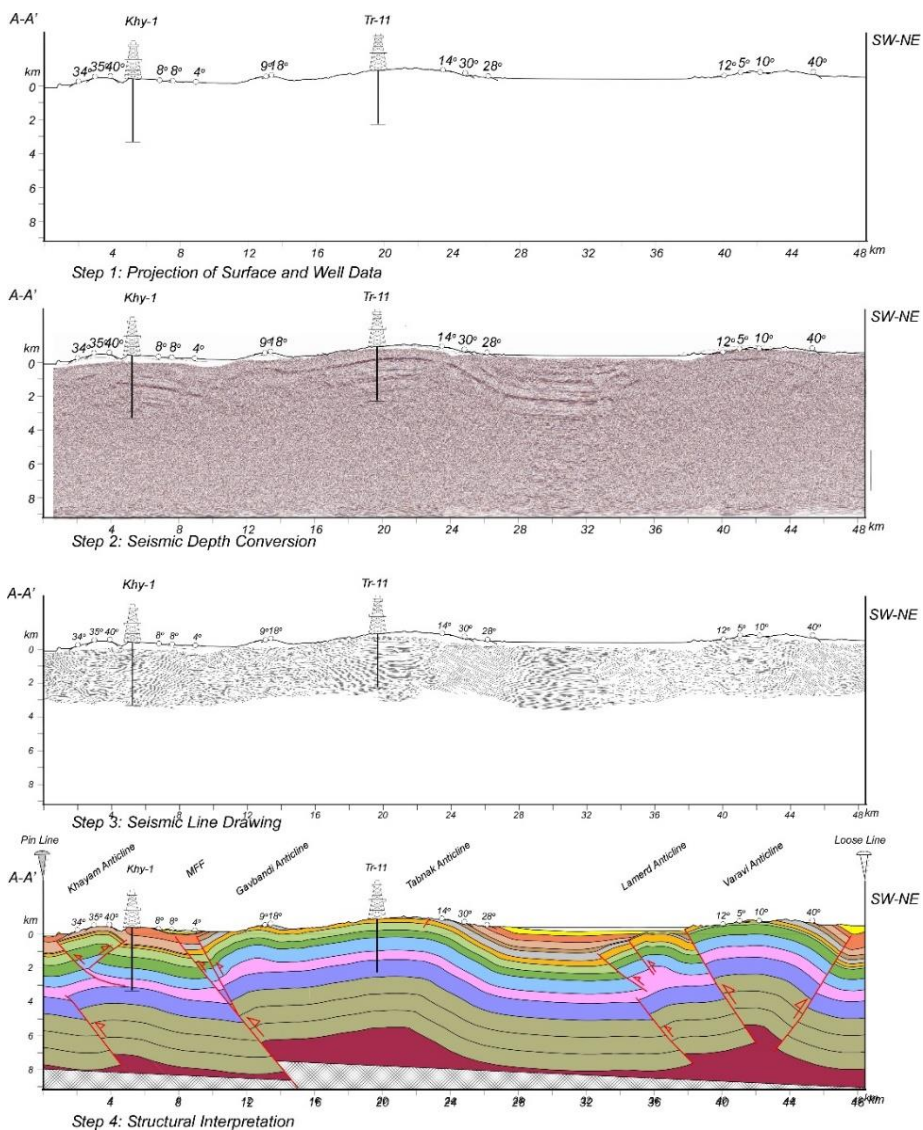
در گام سوم، بازتابنده‌های مشخص بر روی خطوط لرزه‌ای با رسم خطوط پرنگ‌تر شدند. در این مرحله هیچ افق یا ساختاری تفسیر نشده و تنها پرنگ کردن بازتابنده‌ها در محیط نرم‌افزار 2D Move انجام گرفت تا داده‌های موجود در خطوط لرزه‌ای به صورت مشخص نمایش داده شوند. این کار مشخص نمود که ساختارها در همه جای خطوط لرزه‌ای به خوبی تصویر نشده‌اند (شکل ۴).

در گام چهارم، تفسیر ساختاری و رسم برش‌های ساختاری انجام گرفته است. طی سه گام قبلی، تمام داده‌های سطحی و زیرسطحی بر روی برش ساختاری پیاده شده و با یکدیگر تلفیق داده شده‌اند. به برشی که تنها داده‌ها بر روی آن نشان داده شده است، "برش داده" گفته می‌شود (Groshong, 1999) و برش ساختاری همواره می‌بایست بر روی برش داده ترسیم شود. در این مطالعه راه‌حل‌های هندسی مختلفی بر اساس مدل‌های ساختاری متفاوت به گونه‌ای که کاملاً منطبق بر داده‌ها باشند برای ترسیم برش‌ها امتحان شدند. در نهایت هندسه‌هایی که بیشترین انطباق را با داده‌های موجود بر روی هر برش داشتند، انتخاب گردیده‌اند (شکل ۵). در تمام طول رسم برش‌ها، تمامی اطلاعات سطحی و زیرسطحی که نشان دهنده نقاط اطمینان بودند، در پس زمینه قابل مشاهده بوده است و سعی بر این بود که حتی یک بازتابنده در خط لرزه‌ای و یا یک جهت‌یابی لایه‌بندی در سطح نیز نادیده گرفته نشود.

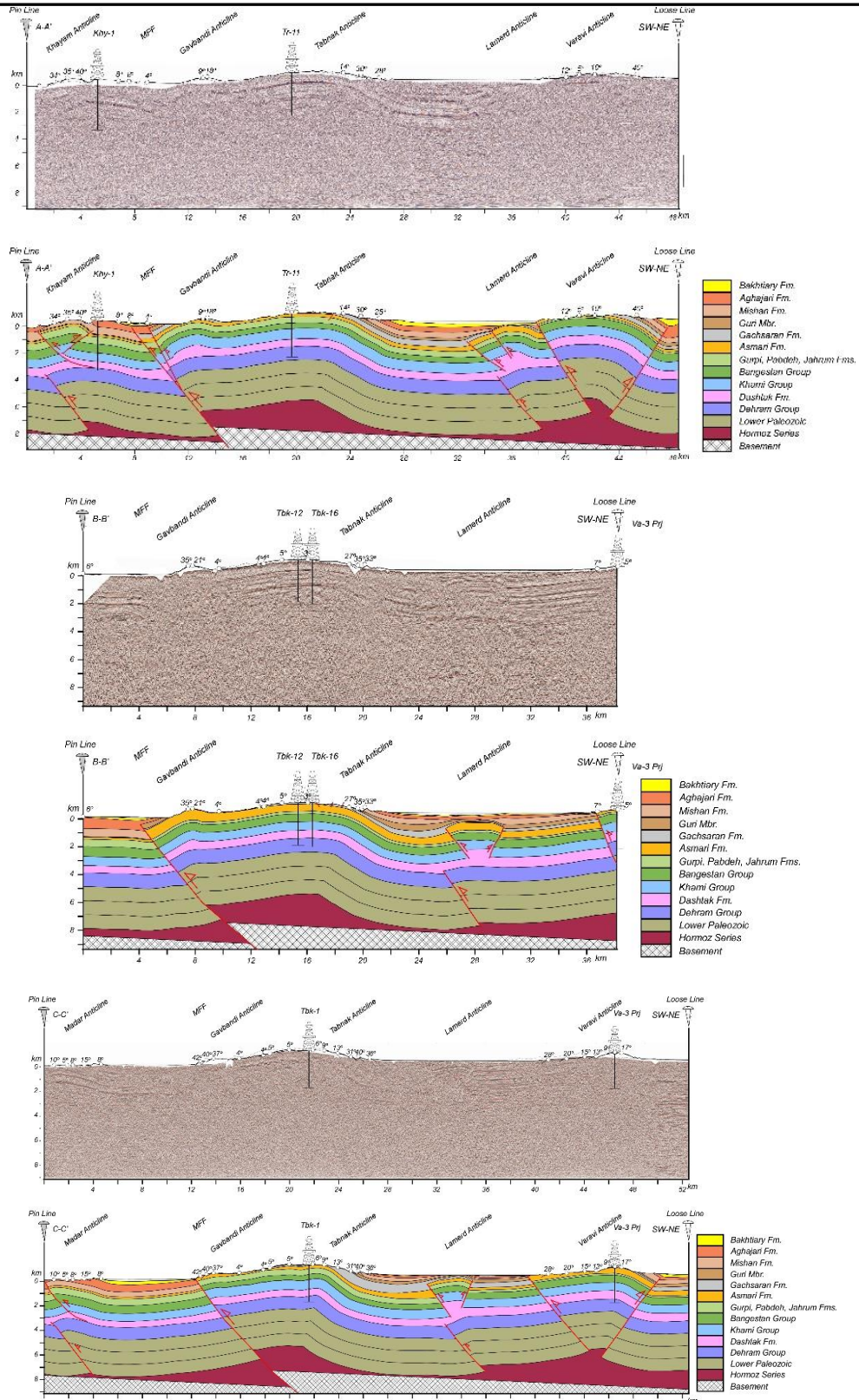
### برش‌های ساختاری

در این مطالعه با استفاده از روش توضیح داده شده در قسمت قبل سه برش ساختاری ترازند در مجموع به طول حدود ۱۴۲ کیلومتر از سطح زمین تا ژرفای پوشش رسوبی در حدود ۱۰ کیلومتر ترسیم شده است (شکل ۲). تمامی این سه برش به روش تلفیق خطوط لرزه‌ای، داده‌های صحرایی و چاه‌های اکتشافی به بررسی هندسه ساختاری در پیشانی بلندای قدیمی فارس پرداخته اند.

برش‌های ساختاری 'AA'، 'BB' و 'CC' که در این مطالعه از پیشانی پهنه فارس ترسیم شده، در (شکل ۴) نشان داده شده است. ساختارهای اصلی در مسیر این برش‌ها به ترتیب از شمال خاور به جنوب باختری شامل تاقدیس وراوی، تاقدیس لامرد، تاقدیس تابناک، تاقدیس گاوبندی، گسله پیشانی کوهستان، تاقدیس مدار و تاقدیس خیام هستند.



شکل ۴. در این مطالعه برش‌های ساختاری در طی چهار گام اصلی شکل ترسیم شده‌اند. این مراحل بر روی برش AA<sup>۳</sup> که در عرض تاقدیس‌های وراوی، لامرد، تابناک، گاوبندی و خیام نشان داده شده است.



شکل ۵. برش‌های ساختاری AA', BB' و CC' که در بالا خط لرزه‌ای و در پایین برش زمین‌شناسی آن نشان داده شده است.

تاقدیس در سازند دشتک مشخص شده است. زاویه میان پهلویی تاقدیس خیام برابر ۱۶۳ درجه است که بر اساس تقسیم‌بندی فلوتی ۱۹۶۴ از نوع چین ملایم است. طول موج این تاقدیس برابر ۹/۲ کیلومتر و دامنه آن برابر ۰/۷ کیلومتر است. تاقدیس خیام در انتهای جنوبی برش AA' رخمون دارد، در بخش سطحی و بالای افق جدایش دشتک، هندسه یک ساختار بالاچسته (pop up) را از خود نشان می‌دهد. این ساختار توسط یک گسل راندگی در پهلوی جنوبی و یک گسل پس‌راندگی در پهلوی شمالی ارتفاع گرفته است.

در برش‌های ساختاری ترسیم شده در این مطالعه از پیشانی فارس، گسله‌های راندگی و معکوس در واحدهای پالئوزوئیک پیشنهاد شده است که علت اصلی ترسیم این گسله‌ها، ترازمند کردن برش‌ها و معتبرسازی هندسه است، به گونه‌ای که طول واحدها در افق‌های مختلف ساختاری برابر باشد. کمبود طولی که در سازندهای پالئوزوئیک وجود دارد با این گسل‌های پیشنهادی جبران می‌شود. البته این نوع گسلش در واحدهای پالئوزوئیک در مطالعات پیشین از فارس نیز معرفی شده است (Motamedi et al., 2012). علاوه بر این ورجس و همکاران (۲۰۱۱) در پهنه لرستان، برای افزایش این طول، تعدادی گسله در واحدهای پالئوزوئیک در هسته تاقدیس کبیرکوه پیشنهاد می‌نمایند که تفسیر مشابهی از تفسیر ما در این مطالعه است (Vergés et al., 2011). این گسله‌ها در دو منطقه بر روی برش‌های ساختاری قرار گرفته‌اند. اولین گسله در پایین تاقدیس لامرد و دومین گسله در پایین تاقدیس مدار و خیام است.

از مسائل مهم در تعیین هندسه عمیق ساختارها در پهنه فارس، تفکیک سبک‌های ساختاری نازک-پوست و ستر-پوست از یکدیگر است. در سبک ساختاری نازک-پوست، چین‌خوردگی در راستای افق شکل‌پذیر در قاعده پوشش رسوبی جدایش می‌یابد. در حالیکه در سبک ستر-پوست، پی‌سنگ پرکامبرین با فعال کردن گسل‌های پرشیب معکوس در دگرریختی وارد می‌شود و یک چین بزرگ در فرادیواره خود ایجاد می‌کند. در پهنه فارس ساحلی، مهمترین شاهد درگیری پی‌سنگ در دگرریختی، زلزله‌هایی هستند که در راستای گسله پیشانی کوهستان، در زیر تاقدیس تابناک رخ داده‌اند (Talebian and Jackson, 2004). علاوه بر این داده‌های مغناطیسی هوایی وجود یک گسل پی‌سنگی در زیر تاقدیس تابناک را تایید می‌کند (طباطبایی، ۱۳۷۰). باقی تاقدیس‌های منطقه شاهی از گسلش پی‌سنگی نداشته و احتمالاً از نوع نازک-پوست هستند.

در بخش پیشانی فارس، گسله معکوس پرشیب پی‌سنگی به نام گسله پیشانی کوهستان، زنجیره‌ای از تاقدیس‌های برخاسته (با رخمون واحدهای قدیمی‌تر از کرتاسه در هسته خود) را در فرادیواره قطعات این سامانه گسلی ایجاد کرده که شامل تاقدیس تابناک در منطقه مورد مطالعه است. این گسله با شیبی در حدود ۵۵ درجه در برش‌های ساختاری به عنوان گسله پی‌سنگی مشخص شده است. از زمین‌لرزه‌های وابسته به گسله پیشانی کوهستان که رو مرکز لرزه‌ای آنها بررسی شده است، می‌توان به زمین‌لرزه‌های ۱۹۷۳، ۱۹۸۳، ۱۹۵۴، ۱۹۵۰، ۱۹۷۷، ۱۹۷۷ و ۲۰۱۰ با بزرگی‌های ۴/۷، ۵/۷، ۵/۳، ۵/۵، ۴/۷، ۴/۷ و ۵/۸ اشاره کرد که ساز و کار معکوس از خود نشان داده‌اند. همچنین زمین‌لرزه‌های ۱۹۶۶، ۱۹۷۱، ۱۹۷۵، ۱۹۷۶ و ۲۰۱۰ همگی با سازوکار معکوس نیز در نزدیکی منطقه مورد مطالعه روی داده‌اند (نعمتی و همکاران، ۱۳۹۱). در برش‌های ساختاری ترسیم شده در این مطالعه، ژرفای پی‌سنگ پرکامبرین از ۹ تا ۱۰ کیلومتر منظور شده است. این ژرفا بر اساس ژرفای جدایش تاقدیس‌ها و ژرفای پی‌سنگ مغناطیسی در پهنه فارس منظور شده است (طباطبایی، ۱۳۷۰). شیب پی‌سنگ در منطقه مورد مطالعه ۲/۶

تاقدیس وراوی با طول موج حدود ۱۵ کیلومتر و دامنه حدود ۰/۷-۰/۹ کیلومتر در شمال خاوری برش ساختاری قرار گرفته است (شکل ۵). زاویه بین یالی این تاقدیس در حدود ۱۶۵-۱۷۰ درجه و چین ملایم را نشان می‌دهد که بر روی نمک قاعده‌ای هرمز جدایش پیدا کرده است. تاقدیس لامرد در قسمت جنوبی تاقدیس وراوی قرار گرفته است و در نقشه‌های زمین‌شناسی ترسیم شده از این منطقه و مطالعات گذشته از آن نامی برده نشده است. در این مطالعه با بررسی تصاویر لرزه‌ای و ساختارهای زیرسطحی طول محور این تاقدیس ۴۵ کیلومتر محاسبه شده است. این تاقدیس با هندسه چین جعبه‌ای در برش BB' به صورت آشکار قابل مشاهده است (شکل ۵). هندسه چین جعبه‌ای از این جهت برای تاقدیس لامرد پیشنهاد می‌شود که بخش بالایی این ساختار تقریباً مسطح و افقی است و از یک محدوده هم‌شیب نسبتاً وسیع تشکیل شده است. این منطقه توسط دو لولا از دو پهلوی پرشیب و کوتاه در طرفین تاقدیس جدا شده است. این شکل هندسه عمومی یک چین جعبه‌ای را به تاقدیس لامرد در مسیر برش BB' داده است.

افق جدایش در تاقدیس لامرد، بر روی سازند تخییری دشتک می‌باشد. در برش CC' سازند دشتک ستر برای ۱۵۰۰ متر را از خود نشان می‌دهد. این ستر برای در برش‌های AA' و BB' میزان ۱۴۸۷ و ۱۲۳۲ متر را برای سازند دشتک نمایش می‌دهد. تاقدیس لامرد یک چین نامتقارن است که پهلوی شمالی آن نسبت به پهلوی جنوبی آن پرشیب‌تر است. زاویه میان پهلویی در تاقدیس لامرد در حدود ۱۵۵ درجه اندازه‌گیری شده که در طبقه‌بندی فلوتی ۱۹۶۴ از نوع چین ملایم به حساب می‌آید. طول موج این تاقدیس نیز در حدود ۵ کیلومتر و دامنه آن نیز حدود ۰/۵ کیلومتر است. تاقدیس تابناک به صورت یک چین نامتقارن که پهلوی شمالی آن با شیب ۳۰ درجه و پهلوی جنوبی آن با شیب ۱۵ درجه نمایان شده که بیشترین ارتفاع این تاقدیس در ۱۰۱۵ متری سطح دریا قرار دارد. زاویه میان پهلویی در این تاقدیس در حدود ۱۷۰ درجه است که در طبقه‌بندی فلوتی ۱۹۶۴ از نوع چین ملایم به حساب می‌آید. طول موج این تاقدیس در حدود ۲۵ کیلومتر و دامنه این تاقدیس در حدود ۱/۲ کیلومتر اندازه‌گیری شده است. تاقدیس گاو‌بندی در پهلوی جنوبی تاقدیس تابناک گسترده شده است. ژرفای جدایشی این تاقدیس در سازند دشتک قرار گرفته است. متأسفانه این تاقدیس در تمامی تصاویر لرزه‌ای کیفیت تصویر پایینی دارد، که عامل آن را شاید بتوان به قرارگیری گسله پی‌سنگی پیشانی کوهستان در پهلوی جنوبی این تاقدیس ارتباط داد. زاویه میان پهلویی در این تاقدیس در حدود ۱۵۰ درجه می‌باشد که در طبقه‌بندی فلوتی ۱۹۶۴ از نوع چین ملایم به حساب می‌آید. طول موج این تاقدیس در حدود ۷-۹ کیلومتر و دامنه آن ۰/۴-۰/۶ کیلومتر را نشان می‌دهد. تاقدیس ساحلی مدار در بخش شمالی خلیج فارس قرار گرفته است. این تاقدیس با یک هندسه زین‌شکل از تاقدیس خیام جدا می‌شود. گسله راندگی موجود در پهلوی جنوبی تاقدیس مدار با شیب به سمت شمال خاور باعث رانده شدن پهلوی شمالی به روی پهلوی جنوبی می‌شود و بنابراین شیب پهلوی جنوبی بیشتر است. این تاقدیس بر روی تخییری‌های سازند دشتک جدایش پیدا می‌نمایند. زاویه میان پهلویی در این برش بر روی این تاقدیس ۱۶۵ درجه است که بر اساس تقسیم‌بندی فلوتی ۱۹۶۴ از نوع چین ملایم به حساب می‌آید. طول موج این تاقدیس ۷/۷ کیلومتر و دامنه آن ۰/۹ کیلومتر را نشان می‌دهد. تاقدیس ساحلی خیام در ادامه تاقدیس مدار قرار گرفته است. چین‌خوردگی این تاقدیس به صورت نامتقارن با تغییرات پلانژ در پهلوی شمالی مشخص می‌شود. ژرفای جدایش این



درجه به سمت شمال خاور در نظر گرفته شده است. که دلیل شیب پی سنگ وزن موادی است که در منطقه خط درز باعث سنگین شدن وزن مواد روبرو می شوند و پی سنگ را در این منطقه پایین تر می آورند و با دور شدن از منطقه خط درز این حجم کاسته شده و شیب در ژرفای کمتری قرار می گیرد (DeCelles and Giles, 1996).

### بحث

مطالعات بسیاری بر روی پهنه فارس در مقیاس ناحیه‌ای، برش‌های ساختاری ارائه کرده‌اند و به بررسی تغییرات هندسه و کینماتیک چین خوردگی در راستای این برش‌ها پرداخته‌اند. تاکنون نه برش ساختاری در نزدیکی برش‌های ناحیه‌ای ارائه شده در این پژوهش معرفی شده‌اند که در ادامه به مقایسه آنها با برش‌های ترسیم شده در این پژوهش پرداخته می‌شود (McQuarrie, 2004; Sherkati et al., 2006; Alavi, 2007; Jahani, 2008; Oveisi et al., 2009; Yamato et al., 2011; Motamedi et al., 2012; Najafi et al., 2014).

این پژوهش با ترسیم سه برش ساختاری ترازمند، در مجموع به طول حدود ۱۴۲ کیلومتر، هندسه ساختاری را در پیشانی پهنه فارس مورد بررسی قرار داده است. بر طبق این بررسی ژرفای پی سنگ در این منطقه حدود ۱۰ کیلومتر اندازه‌گیری شده است که با اطلاعات مغناطیس‌هوایی (طباطبایی، ۱۳۷۰) نیز تطابق دارد. جدایش قاعده‌ای بر روی این برش‌های ساختاری توسط نمک هرمز یا معادل‌های آن در نظر گرفته شده است که در سایر برش‌های ترسیم شده از این منطقه نیز مورد قبول است. علاوه بر افق جدایش قاعده‌ای در این پژوهش، اهمیت افق جدایش میانی دشتک نیز بر روی ساختارها مشخص شده است و نقش این افق بر تاثیر تاقدیس‌هایی همچون لامرد، گاویندی، مدار و خیام به صورت واضح مورد مشاهده است (شکل ۵). این سطح جدایش باعث تغییر محور چین خوردگی در تاقدیس خیام شده است. ستبرای این سازند در تاقدیس لامرد به حدود دو برابر نهشته‌های اولیه می‌رسد. پیش از این در برش‌های ساختاری پیشین عده‌ای به اهمیت این سازند به صورت محلی اشاره کرده‌اند (Sherkati et al., 2006; Motamedi et al., 2012; Najafi et al., 2014). مطالعات خود افق جدایش میانی در تریاس و نئوژن را با اثر کم معرفی کرده است (Jahani, 2008). علوی نیز در مطالعات خود این سازند را به عنوان افق جدایش محلی و بسیار کم اثر معرفی می‌کند (Alavi, 2007). عده‌ای نیز اهمیت این سازند را در برش‌های ساختاری خود نادیده گرفته‌اند (McQuarrie, 2004; Yamato et al., 2011). اویسی و همکاران نیز افق جدایش میانی را با در نظر گرفتن سازند گچساران به صورت ستبر بر روی سازند گچساران در نظر می‌گیرند (Oveisi et al., 2009) که با توجه به ستبرای نزدیک به ۴۰ متر این سازند (با استفاده از اطلاعات چاه) در منطقه مورد بررسی و تفسیر خطوط لرزه‌ای این ویژگی برای این سازند مورد قبول نمی‌باشد.

کوتاه‌شدگی مورد محاسبه در این پژوهش با روش گام به گام در واحد زمان، به همراه قانون پایستی طول و مساحت در طول برش‌های ساختاری ترسیم شده برابر ۷/۵ تا ۱۱ درصد محاسبه شده است. این کوتاه‌شدگی، قسمتی از کوتاه‌شدگی پهنه فارس را در طول زمان نمایش می‌دهد. کوتاه‌شدگی‌هایی که در مطالعات پیشین محاسبه شده‌اند از حدود ۵/۵ تا ۳۰ درصد را برای پوشش رسوبی در این منطقه معرفی می‌کنند (McQuarrie, 2004; Sherkati et al., 2006; Alavi, 2007; Jahani et al., 2009; Yamato et al., 2011).

محاسبه شده در این پژوهش با میزان کوتاه‌شدگی گروه سوم مطابقت دارد. ساز و کار غالب چین خوردگی در این مطالعه چین خوردگی جدایشی گسلیده پیشنهاد می‌گردد. زیرا دو افق جدایش شکل‌پذیر یکی در قاعده رسوبات (نمک هرمز یا معادل‌های آن) و دیگری در میانه پوشش رسوبی (سازند دشتک) عمل کردند. همچنین ناودیس‌های ایجاد شده در فرودپواره گسله‌ها و جابجایی کم گسله‌ها نسبت به ابعاد چین، نشان می‌دهد که چین خوردگی جدایشی قبل از گسلش پهلویی ایجاد شده است (شکل ۵). الگوی چین‌های جدایشی در پیشانی فارس توسط مطالعات پیشین نیز پیشنهاد شده است (McQuarrie, 2004; Sherkati et al., 2006; Jahani, 2008; Yamato et al., 2011; Motamedi, 2012; Najafi et al., 2014). اما برخلاف این مطالعات، عده‌ای دیگر از دانشمندان بر این باورند که تمامی گسله‌ها شیب به سمت شمال دارند و اغلب تاقدیس‌ها با یک راندگی در پهلوی جنوبی خود همراه هستند و چین خوردگی بیشتر منطبق با مدل انتشار گسلی است (McQuarrie, 2004; Letouzey and Sherkati, 2004; Sherkati et al., 2006; Alavi, 2009; Oveisi et al., 2007). برخی نیز این نظر را دارند که گسله‌های منطقه با شیب به سمت شمال، آرایش مضاعف و هندسه فلت-ریمپ-فلت دارند. لایه‌ها را در فرودپواره گسله‌ها کاملاً مسطح در نظر گرفته شده و سازوکار دگرریختی را عمدتاً از نوع چین‌های خم‌گسلی در نظر گرفته شده است (Alavi, 2007).

در مطالعه حاضر گسله پیشانی کوهستان در خطوط لرزه‌ای مشاهده شده است. این گسله در مطالعات صحرایی نیز با قرارگیری رخنمون‌های کرتاسه در برابر رخنمون‌های نئوژن در پهلوی جنوبی تاقدیس گاویندی مورد تایید است. این گسله با شیب حدود ۵۰ درجه و با جابجایی حدود ۱ تا ۲ کیلومتر در تراز ژرفای پی سنگ با توجه به سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها، مکان زمین‌لرزه‌ها و تفسیر خطوط لرزه‌ای مشخص شده است. گسله پیشانی کوهستان در بیشتر مطالعات پیشین نیز معرفی شده است (Sherkati et al., 2006; Jahani et al., 2009; Yamato et al., 2011; Motamedi et al., 2012; Najafi et al., 2014).

### نتیجه‌گیری

این مطالعه با تهیه سه برش ساختاری ترازمند به طول تجمعی ۱۴۲ کیلومتر، از سطح زمین تا ژرفای ۱۰ کیلومتری که با تلفیق خطوط لرزه‌ای، اطلاعات میدانی و چاه ترسیم شدند به تعیین هندسه ساختارهای وراوی، لامرد، تاناک، گاویندی، مدار و خیام در پیشانی بلندای فارس پرداخته است. پیشانی بلندای فارس

### سیاسگزاری

از مدیریت توسعه و پژوهش و همچنین مدیریت زمین شناسی شرکت نفت مناطق مرکزی ایران به خاطر پشتیبانی از این پژوهش کمال تشکر را داریم. همچنین از دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان به دلیل ایجاد فضای پژوهشی و ارائه امکانات عملیاتی صحرائی قدردانی می‌نماییم. از مهندس غفرانی، مهندس نیک‌اندیش، مهندس رجیبی و مهندس جدیر به دلیل نظرات سازنده و کمک‌های بسیار در طول این مطالعه سیاسگزاری می‌کنیم. همچنین از آقای دکتر علیرضا زراسوندی سردبیر سابق نشریه و همچنین داوران محترم به دلیل نظراتشان قدردانی می‌نماییم.

کوتاه‌شدگی هندسی ۷/۵۵ تا ۱۰/۹۲ درصد را متحمل شده است. ساختارهای این منطقه تلفیقی از دگرریختی نازک‌پوسته با سازوکار چین‌خوردگی جدایشی گسلیده بر روی سازند اینفراکامبرین هرمز یا معادل‌های آن (در تاقدیس وراوی) و همچنین دگرریختی ستبرپوسته با مشارکت گسله پی‌سنگی پیشانی کوهستان (در تاقدیس تابناک) از خود نشان می‌دهند.

برش‌های ساختاری همچنین نشان دادند که در تاقدیس‌های لامرد، گاوپندی، مدار و خیام، تبخیری‌های سازند دشتک به سن تریاس پایانی، با افزایش ستبرای تکتونیکی تا حدود دو برابر ستبرای نهشتی اولیه، یک افق جدایش ساختاری در میانه پوشش رسوبی تشکیل می‌دهند. در مقابل بر روی تاقدیس‌های وراوی و تابناک تبخیری‌های تریاس نقش جدایشی نداشته و ستبرای نهشتی اولیه خود را حفظ کرده‌اند. تاقدیس‌هایی که ستبرشدگی تکتونیکی سازند دشتک در آنها روی داده است، دارای طول موج و دامنه نسبی کمتری نسبت به سایر تاقدیس‌ها هستند.

### منابع

- طباطبایی، س.، ۱۳۷۰. نقشه خطوط تراز پی‌سنگ جنوب باختری ایران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰.
- نجفی، م. و همکاران ۱۳۹۴. سبک چین‌خوردگی در بلندای قدیمی فارس، جنوب خاور کمربند چین‌خورده و رانده زاگرس. فصلنامه علوم زمین، ۹۵. صفحه ۷۹-۹۰.
- نعمتی، م. و همکاران ۱۳۹۱. لرزه‌زمین‌ساخت زمین لرزه سی‌ام تیرماه ۱۳۸۹ کودیان، جنوب خاوری زاگرس. فصلنامه علوم زمین، ۸۵. صفحه ۸۳-۹۰.
- Ala, M.A., 1974. Salt Diapirism in Southern Iran. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 58(9), pp.1758-1770.
- Alavi, M., 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. American Journal of science, 307(9), pp.1064-1095.
- Bahroudi, A., & Koyi, H. A., 2003. Effect of spatial distribution of Hormuz salt on deformation style in the Zagros fold and thrust belt: an analogue modelling approach. Journal of the Geological Society, 160(5), 719-733.
- Berberian, M., 1995. Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. Tectonophysics, 241(3-4), pp.193-224.
- Berberian, M. & King, G.C.P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: Reply. Canadian Journal of Earth Sciences, 18(11), pp.1764-1766.
- Bordenave, M.L. & Hegre, J.A., 2012. Current Distribution of Oil and Gas Field in the Zagros Fold Belt of Iran and Contiguous Offshore as the Result of the Petroleum System. Geological Society, London, Special Publications, 330, pp.291-353.
- DeCelles, P.G. & Giles, K.A., 1996. Foreland basin systems - Reply. Basin Research, 8(2), pp.105-123.
- Etris, E.L. et al., 2001. True depth conversion: More than a pretty picture. CSEG recorder, 26, pp.11-22.
- Falcon, N.L., 1969- Problems of the relationship between surface structure and deep displacements illustrated by the Zagros Range. Geological Society, London, Special Publications, 3(1), pp.9-21.
- Ghavidel-Syooki, M., 1996. Acritarch biostratigraphy of the Palaeozoic rock units in the Zagros Basin, Southern Iran. Acta-Universitatis Carolinae Geologica, 40, pp.385-412.
- Groshong, R.H., 1999. 3D Structural Geology, Springer.
- Jackson, J.A., 1980. Reactivation of Basement faults and crustal shortening in orogenic belts. Nature, 283, pp.343-346.
- Jahani, S., 2008. Tectonique salifère, plissement et fracturation dans les provinces du Fars Oriental et le domaine marin adjacent du Golfe Persique (Iran). Université de Cergy - Pontoise.
- Jahani, S. et al., 2009. The eastern termination of the Zagros Fold-and-Thrust Belt, Iran: Structures, evolution, and relationships between salt plugs, folding, and faulting. Tectonics, 28(6), pp.1-22.
- James, G.A. & Wynd, J.G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. AAPG Bulletin, 49, pp.2182-2245.
- Kent, P.E., 1970. The salt plugs of the Persian Gulf Region. Leicester Literary and Philosophical Society Transactions, 64, pp.55-58.
- Khadiji, S. et al., 2010. Magnetochronology of synorogenic Miocene foreland sediments in the Fars arc of the Zagros Folded Belt (SW Iran). Basin Research, 22(6), pp.918-932.
- Letouzey, J. & Sherkati, S., 2004. Salt movement, tectonic events, and structural style in the central Zagros fold and thrust belt (Iran). In Salt sediments interactions and hydrocarbon prospectivity, 24th Ann. GCSSEP Foundation, Bob F. Perkins research Conf. CD.
- Marsden, D., 1992. V (sub o) -K method of depth conversion. Geophysics, pp.53-54.

- McQuarrie, N., 2004. Crustal scale geometry of the Zagros fold--thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology*, 26(3), pp.519–535.
- Molinari, M. et al., 2005. The structure and kinematics of the southeastern Zagros fold-thrust belt, Iran: From thin-skinned to thick-skinned tectonics. *Tectonics*, 24(3), pp.1–19.
- Motamedi, H., Sherhati, 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, pp.124–133.
- Mouthereau, F. et al., 2007. Mechanical constraints on the development of the Zagros folded belt (Fars). *Thrust Belts and Foreland Basins From Fold Kinematics to Hydrocarbon Systems* (ed O. L. Lacombe, J.; Roure, F.; Vergés, J.), p.Chapter 13, 247-266.
- Najafi, M. et al., 2014. An Investigation of Abnormal Fluid Pressure within an Evaporitic Cap Rock in the Gavbandi Area of Iran and its Impact on the Planning of Gas Exploration Wells. *Iranian Journal of Oil & Gas Science and Technology*, 3(1), pp.15–21.
- Oveisi, B. et al., 2009. Thick- and thin-skinned deformation rates in the central Zagros simple folded zone (Iran) indicated by displacement of geomorphic surfaces. *Geophysical Journal International*, 176(2), pp.627–654.
- Oveisi, B., Lavé, J. & van der Beek, P., 2007. Rates and processes of active folding evidenced by Pleistocene terraces at the central Zagros front (Iran). *Thrust Belts and Foreland Basins*, pp.267–287.
- Perotti, C.R. et al., 2011. The Qatar–South Fars Arch Development (Arabian Platform, Persian Gulf): Insights from Seismic Interpretation and Analogue Modelling. *New Frontiers in Tectonic Research - At the Midst of Plate Convergence*, Dr. Uri Schattner (Ed.), ISBN: 978- 953-307-594-5,, pp.325–352.
- Perrier, R., De Genevraye, P. & Mouille, C., 1975. Khalafani Anticline, Geological survey.,
- Pirouz, M., 2013. The Geometry and Sedimentary Record of Tectonics in the Neogene Zagros Foreland Basin. University of Geneva.
- Player, R.A., 1969. The Hormuz Salt plugs of southern Iran. Reading University.
- Rahimpour-Bonab, H., Esrafil-Dizaji, B. & 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, pp.43–66.
- Ramsey, L.A., Walker, R.T. & Jackson, J.A., 2008. Fold evolution and drainage development in the Zagros mountains of Fars province, SE Iran. *Basin Research*, 20(1), pp.23–48.
- Sepehr, M. & Cosgrove, J.W., 2004- Structural framework of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 21(7), pp.829–843.
- Sepehr, M., Cosgrove, J.W. & Moieni, M., 2006. The impact of cover rock rheology on the style of folding in the Zagros fold-thrust belt. *Tectonophysics*, 427(1), pp.265–281.
- Sherhati, S., Letouzey, J. & De Lamotte, D.F., 2006. Central Zagros fold-thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation, and sandbox modeling. *Tectonics*, 25(4), pp.1–27.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonic of Iran. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52, pp.1229–1258.
- Szabo, F. & Kheradpir, A., 1978. Permian and Triassic stratigraphy, Zagros basin, south-west iran. *Journal of Petroleum Geology*, 1, pp.57–82.
- Talbot, C.J. & Alavi, M., 1996. The past of a future syntaxis across the Zagros. Geological Society, London, Special Publications, 100(1), pp.89–109.
- Talebian, M. and Jackson, J., 2004. A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran. *Geophysical Journal International*, 156(3), pp.506-526.
- Yamato, P. et al., 2011. Dynamic constraints on the crustal-scale rheology of the Zagros fold belt, Iran. *Geology*, 39(9), pp.815–818.