

## بررسی و تفسیر ساختارهای زیرسطحی تنگه هرمز با استفاده از داده‌های ژئوفیزیک لرزه‌ای و داده‌های حفاری

سپیده پازنگ<sup>۱</sup>، بهزاد زمانی\*<sup>۲</sup>، علی کدخدائی<sup>۳</sup>، محمود برگریزان<sup>۴</sup> و محمدرضا یوسف‌پور<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

<sup>۳</sup> شرکت مهندسی و خدمات پارس پترو زاگرس، تهران، ایران

<sup>۴</sup> شرکت نفت فلات قاره ایران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۰۳، تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۱/۱۸)

### چکیده

هدف اصلی این مطالعه بررسی و تحلیل ساختاری با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی زیرسطحی تنگه هرمز است. بخش عمده‌ای از این ارزیابی، تفسیر لرزه‌ای ۷۵ خط برداشت‌شده PC2000 توسط شرکت نفت فلات قاره است که علاوه بر تفسیر افق‌های لازم، برای درک تکامل چینه شناختی-ساختاری منطقه نیز از آنها استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه در جنوب ایران و در تنگه هرمز واقع شده است. با توجه به پوشیده بودن منطقه توسط دریا، امکان بررسی مستقیم ساختارهای موجود وجود ندارد. بر این اساس، با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری دوبعدی و اطلاعات حاصل از حفاری‌های عمیق در تنگه هرمز (هشت حلقه چاه) و نرم‌افزار پترل، به تحلیل زمین‌ساختی منطقه پرداخته شده است.

نتایج حاصل نشان داده است که در بخش‌هایی از منطقه صعود دیاپیرها با پدیده فرورسازش و پس از رسوب‌گذاری اندکی رویارو بر روی سری هرمز، آغاز شده و در بخش‌های دیگر این صعود تحت تأثیر فعال شدن مجدد گسل‌های پی‌سنگی در زمان مزوزوئیک و سنوزوئیک با نیروی شناوری بوده است. دو مرحله رشد فعال و غیرفعال برای رشد ساختارهای مرتبط با دیاپیرهای منطقه شناخته شده است. همچنین تشکیل ساختارهای مرتبط با حرکت روبه بالای نمک هرمز می‌تواند با حضور گسل‌های عمیق با امتداد شمال‌شرق-جنوب غرب توجیه گردد. تمرکز بیشتر این گسل‌ها در ایالت هرمز شرقی است که با توجه به تأثیر کوهزایی عمان و زاگرس، پیچیدگی ساختاری این بخش از منطقه قابل توجیه است. بیشتر گسل‌های زیر سطح ناپیوستگی میوسن میانی از نوع معکوس و رانده هستند. گسل‌های شعاعی نرمال در همه سطوح بالای دیاپیرها غالب هستند. شعاع تأثیر دیاپیرهای منفرد تقریباً دو برابر قطرشان است. همچنین مشخص گردید چین‌های این بخش از زاگرس کوتاه‌تر و پهن‌تر از بخش‌های شمال باختری می‌باشند، به طوری که طول موج چین‌ها حدود ۲۳ برابر دامنه‌شان است. طی بررسی و اندازه‌گیری زاویه بین‌یالی ۳۹ چین در تنگه هرمز مشخص گردید که ۲/۵۶ درصد چین‌ها از نوع باز و ۹۷/۴۳ درصد از نوع چین‌های ملایم هستند.

**واژه‌های کلیدی:** خطوط لرزه‌ای، تنگه هرمز، تفسیر ساختاری، زاویه بین‌یالی، دیاپیرسم نمک

## ۱ مقدمه

ژئوفیزیک اکتشافی و به‌ویژه لرزه‌نگاری از اوایل قرن بیستم خود را به‌عنوان ابزاری کارآمد در پی‌جویی و اکتشاف ذخایر نفت و گاز معرفی کرده است. تفسیر اطلاعات لرزه‌نگاری یکی از ارکان مهم و اصلی در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با اکتشاف ذخایر هیدروکربنی است. امروزه ارزش اطلاعات تفسیر لرزه‌نگاری برای اتخاذ تصمیمات اساسی در استخراج و بهره‌برداری بهینه از مخازن نفت و گاز برای کلیه شرکت‌های نفتی مشخص است (قلاوند و همکاران، ۱۳۸۸).

تفسیر بازتابنده‌ها برای مشخص کردن سرگذشت زمین‌ساختی منطقه بسیار مهم است. در این تحقیق سعی شده است مجموعه‌ای از بازتابنده‌ها که در چهارچوب اهداف مطالعه بوده‌اند، تفسیر و تحلیل شوند. اطلاعات لرزه‌نگاری دو بُعدی و سه بُعدی منطقه حاکی از حضور ساختارهای پیچیده‌ای است که ابهامات زیادی از دیدگاه چینه‌شناختی و ساختاری دارند. بعد از تفسیر افق‌ها با استفاده از داده‌های چاه و نقشه UGC (Under Ground Contour) رأس سازند داریان به تفسیر عارضه‌های زمین‌ساختی و ارتباط آن با زمین‌ساخت حاکم بر منطقه پرداخته شده است. اندازه‌گیری‌هایی در این راستا صورت گرفته است که در ادامه به آن اشاره می‌شود.

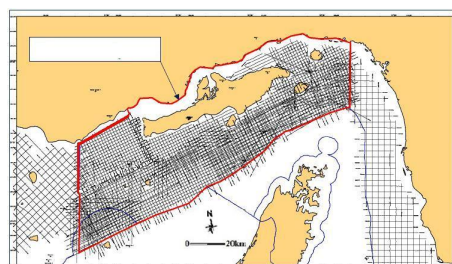
ریچاردسون و همکاران (۱۹۲۹) بررسی اولیه ۶۳ گنبدنمکی را انجام داده و نقشه ناحیه‌ای منطقه را ترسیم کردند. آنها به توصیف حرکت نمک (Salt glacier) و دگرگونی مجاورتی شیل‌ها توسط سنگ‌های نفوذی سری هرمز پرداختند. هریسون (۱۹۳۰) ۳۱ گنبد نمکی دیگر را توصیف و اطلاعات آنرا تکمیل کرد. او زمان نفوذ و شکستگی توسط گنبدنمکی را برای اولین بار به کرتاسه بالایی نسبت داد. فالكون (۱۹۶۷) معتقد بود که نمک‌های کامبرین (هرمز) در کرتاسه زیرین شروع به

حرکت رو به بالا کرده‌اند. علا (۱۹۷۴) اظهار کرد که صعود گنبدنمکی جنوب ایران در رابطه با راستاهای شکستگی شمالی-جنوبی در پی‌سنگ ایران بوده و آن را انعکاسی از ناهمگنی‌های پی‌سنگ معرفی کرد. هافر و همکاران (۱۹۷۷) با استفاده از داده‌های شرکت نفت هرمز به بررسی زمین‌شناسی تنگه هرمز و جنوب ایران می‌پردازند. آنان داده‌های لرزه‌ای سال‌های ۱۹۷۲-۱۹۷۶ و همچنین داده‌های چاه‌های HD-1 و HA-1 را استفاده و به‌طور دقیق‌تر سازندها، دگرشیبی‌ها و روندهای ساختاری منطقه را بررسی کرده‌اند. ویندل‌استاد و همکاران در طول سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ مطالعات مشترکی را بین مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران (NIOC) و شرکت نروژی استات اویل در منطقه هرمز انجام دادند که نتایج آن در قالب گزارش جامعی ارائه شده است. آنها در طی این مطالعه ضمن تحلیل داده‌ها و آماده‌سازی یک پایگاه خوب داده، به ارتباط چینه‌شناختی بین چاه‌ها و داده‌های لرزه‌ای پرداخته و علاوه بر این، تکامل ساختاری منطقه، سنگ منشأ و زمان تولید هیدروکربن و کوچ را مورد بررسی قرار داده‌اند. لتوزی و شرکتی (۲۰۰۴) نشان دادند که نمک هرمز قبل از کوهزایی نئوژن زاگرس گنبدنمایی را شکل داده است. آنها پیشنهاد می‌کنند که قرارگیری گسل تراسی و گسل پارگی (tear) در این منطقه را حضور گنبدنمکی از پیش موجود، کنترل می‌کند. جهانی و همکاران (۲۰۰۷) بر اساس داده‌های منتشر شده و مطالعات میدانی به توصیف ریخت‌شناسی و فعالیت‌های حال حاضر گنبدنمکی شرق زاگرس پرداخته‌اند. آنها گنبدنمکی زاگرس را براساس ریخت‌شناسی و شکل به شش گروه تقسیم کرده‌اند. همچنین جهانی و همکاران (۲۰۰۹) در زاگرس چین‌خورده و کمربند راندگی، به بررسی ساختارها و ارتباط گنبد نمکی با چین خوردگی و گسلش پرداخته‌اند.

## ۲ روش پژوهش

## ۱-۲ موقعیت جغرافیایی

منطقه مورد مطالعه در جنوب شرق ایران و در تنگه هرمز واقع شده است. این منطقه برای شرکت ملی نفت ایران تحت عنوان بلوک E با مختصات  $55^{\circ}$  تا  $56^{\circ}$  طول شرقی و  $25^{\circ}$  تا  $27^{\circ}$  عرض شمالی شناخته شده است (شکل ۱). تنگه هرمز در انتهای شرقی خلیج فارس قرار دارد و فلات ایران را از شبه‌جزیره عربستان جدا می‌کند و آب‌های خلیج فارس را به دریای عمان و اقیانوس هند پیوند می‌دهد. این منطقه خود محل تلاقی چند پهنه زمین‌شناختی نظیر زیر است: الف) امتداد زاگرس و کمربند چین‌خورده آن در شمال و شمال غرب، ب) سکوی (پلت‌فرم) عربی در جنوب و جنوب غرب، ج) حوزه رسوبی مکران در شمال شرق و د) کوه‌های عمان و شبه‌جزیره مزندام در جنوب (هافر و همکاران، ۱۹۷۷).



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه (بسی سفید) و پوشش لرزه‌ای تنگه هرمز (با تغییر از ویندل‌استاد و همکاران، ۲۰۰۳).

با توجه به اهمیت اقتصادی ناحیه مورد نظر، این ناحیه به‌طور گسترده‌ای تحت پوشش فعالیت‌های اکتشافی از جمله برداشت اطلاعات لرزه‌نگاری قرار گرفته است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه پوشش داده‌های لرزه‌ای را نشان می‌دهد.

## ۲-۲ زمین‌شناسی و زمین‌ساخت منطقه

کمربند چین‌خورده - رانده زاگرس و ناحیه خلیج فارس، بخش خارجی کوهزاد زاگرس است که واتنش کمتری را نسبت به بخش‌های شمال‌شرق تحمل نموده است. علاوه

بر تأثیر چین‌خوردگی زاگرس بر ناحیه خلیج فارس به‌ویژه در بخش غربی آن، این ناحیه متأثر از بالا آمدن نمک مربوط به سری هرمز با سن پرکامبرین پسین - کامبرین پیشین و کوهزایی عمان است. در زیر پوشش رسوبی ناحیه مورد مطالعه، پی‌سنگ صفحه عربستان در نظر گرفته می‌شود که عمق آن به طرف جنوب غرب کاهش می‌یابد و در سپر عربستان به سطح زمین می‌رسد (السوقی، ۱۳۸۶).

تکامل ساختاری پیچیده تنگه هرمز ارتباط مستقیمی با زمین‌ساخت صفحه‌ای آن منطقه دارد. اولین رویدادی که منطقه هرمز را چندین بار تحت تأثیر قرار داد، کوهزایی عمان است که با شروع فرورانش بخش شمال شرق اقیانوس نئوتتیس در محیط پیش کمان (Fore-arc) در زمان آلپین آغاز شد. رشته کوه‌های عمان (در شمال و شرق عمان) در حاشیه جنوبی نئوتتیس طی دو رخداد کوهزایی عمده شکل گرفته‌اند. رخداد اول یک رخداد زمین‌ساختی چند مرحله‌ای همراه با دگرگونی بوده که از پرمین بالائی تا کرتاسه آغازی بوقوع پیوسته است. این رخداد زمین‌ساختی با جاگیری افیولیت‌های سمعیل (Semail Ophiolites) بعنوان بخشی از سنگ‌کره اقیانوسی در زمان کامپانین به اوج خود رسیده است. رخداد دوم (چین‌خوردگی آلپی) در ماستریشین میانی شروع و در میوسن آغازی به پایان رسیده است. این رخداد زمین‌ساختی موجب پدید آمدن شکل امروزی کوه‌های عمان شده است (گلنیه، ۲۰۰۰).

مراحل اولیه کوهزایی زاگرس با برخورد قاره - قاره صفحه عربی و صفحه ایران مرکزی در کرتاسه پسین شکل گرفت و تأثیر بسیار اندکی در ساختارهای منطقه هرمز گذاشت. زمانی که چین‌خوردگی و راندگی‌ها به سمت جنوب پیشروی می‌کردند، گسل‌های قدیمی پرکامبرین و کامبرین و ساختارهای پی‌سنگی دوباره فعال شدند و بر الگوی نهشته‌های داخلی مناطق دریایی تأثیر گذاشتند (ویندل‌استاد و همکاران، ۲۰۰۳).

## ۲-۳ زمین ساخت نمک و رشد گنبد های نمکی

تعداد زیادی توده نمکی با ساختار حلقوی در تنگه هرمز وجود دارند که برخی از آنها هنوز مدفون هستند و بر مبنای اطلاعات لرزه نگاری می توان موقعیت آنها را مشخص کرد. موقعیت گنبد های نمکی مدفون در منطقه مورد مطالعه بر اساس داده های لرزه نگاری دو بُعدی و با دقت بالا در گزارش پاژنگ (۱۳۹۲) آورده شده است. همان طور که اشاره شد تاریخچه زمین-ساخت نمک در سراسر منطقه مشابه نیست، این رخدادها برآیند فعالیت های کوهزایی عمان و زاگرس هستند.

برای تشکیل ساختارهای مرتبط با نمک سه حالت فعال (Active)، دوباره فعال (Reactive) و غیرفعال (Passive) را برای نمک می توان متصور بود. مدل سازی تجربی نیز این سه حالت نفوذ گنبد های نمکی را تأیید می کند (وندویل و جکسون، ۱۹۹۲). در حالت فعال، نمک هنگام بالا آمدن ساختارهایی همچون تاقدیس ها و گنبدها را شکل می دهد. علاوه بر این به علت حرکت نمک در عمق و نشست لایه های رویی برخی ساختارها همانند ساختارهای پشت لاک پشتی (Turtle back) و پشت نهنگی (Whaleback) به وجود می آیند. در این حالت نمک در شکل گیری این گونه ساختارها نقش غیرفعال دارد. برای حالت غیرفعال از واژه فروسازش (Downbuilding) نیز استفاده می شود (بارتن، ۱۹۳۳). در حالت غیرفعال، رسوبات رویی به داخل لایه های نمکی فرو می روند. در حالت دوباره فعال، نمک در زیرگودال های گرابنی واژگون که تحت تأثیر گسلش نرمال ایجاد شده اند، به طرف بالا حرکت می کند. در مجموع می توان اذعان داشت شکل گیری اولیه بخش زیادی از ساختارهای مرتبط با نمک عموماً به رویدادهای زمین ساختی ارتباط دارد (جکسون و وندویل، ۱۹۹۴). همچنین آهنگ کوتاه شدگی و یا باز شدگی محلی که موثر بر رسوب گذاری است، شیوه و طریقه رشد ساختار

مرتبط با نمک را تعیین می کند (تالبوت و علوی، ۱۹۹۶؛ فلتچر و همکاران، ۱۹۹۵).

تشکیل ساختارهای مرتبط با نمک توسط محققین متعددی مورد بحث قرار گرفته و نظریه های متعددی در زمینه رشد و نفوذ توده های نمکی ارائه شده است. برای مثال بارتون (۱۹۳۳) نظریه فروسازش را که با کارهای آزمایشگاهی و داده های ژئوفیزیکی به اثبات رسیده است، برای توجیه حرکت نمک پیشنهاد کرد. نثلتون (۱۹۳۴) چگونگی تشکیل گنبد های نمکی را با نظریه مکانیک شارها مورد تحلیل قرار داده است. اکثر محققین (کنت، ۱۹۵۸، ۱۹۷۹؛ پلایر، ۱۹۶۹؛ مطیعی، ۱۳۷۲؛ تالبوت و علوی، ۱۹۹۶؛ لتوزی و شرکتی، ۲۰۰۴؛ جهانی و همکاران، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹) معتقدند نمک هرمز در غالب ساختارهای مرتبط با نمک در منطقه شرق خلیج فارس قبل از عملکرد نیروهای کوهزایی زاگرس بالا آمده اند.

همچنین با وقفه های رسوبی (Hiatus)، تشکیل این ساختارها به علت بالا آمدن نسبتاً سریع نمک، با فرسایش یا عدم رسوب گذاری توأم بوده است. تغییرات ضخامت توالی های همجوار با ساختارهای مرتبط با نمک (براساس اطلاعات لرزه نگاری و مشاهدات صحرائی) نشان دهنده حرکت متوالی نمک است. برای مثال در برخی مراحل، نمک به علت عملکرد نیروهای زمین ساختی با شدت و سرعت بیشتری بالا آمده ولی در مراحل بین آن، حرکت نمک کند شده و در نتیجه، رسوبات در این مرحله کمترین تغییرات ضخامت را نشان می دهند.

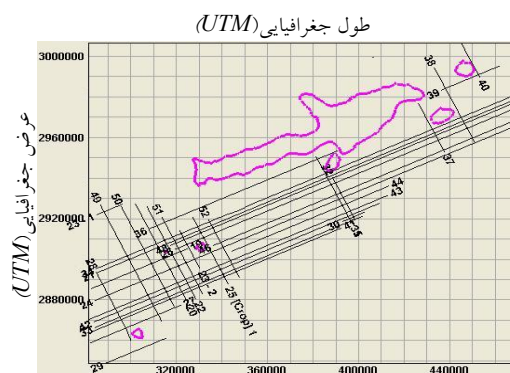
درواقع، نمک هرمز به همه رویدادهای زمین ساختی دوران دوم و سوم پاسخ داده و نقش مهمی را در تغییر وضعیت ساختاری منطقه هرمز ایفا کرده است. در مقابل، نمک فارس با سن الیگوسن تا میوسن زیرین تنها متأثر از رخداد زمین ساختی زاگرس است. برخی از محققین منبع نمک فارس را به بالا آمدن گسترده نمک هرمز در زمان الیگوسن و تشکیل توالی های نمکی در آن زمان نسبت

می‌دهند (ویندلستاد و همکاران، ۲۰۰۳).

## ۴-۲ پایگاه داده

پایگاه داده شامل نقشه UGC زمانی رأس سازند داریان، اطلاعات هشت حلقه چاه حفاری شده و داده‌های لرزه‌ای و مدل میانگین سرعتی لایه‌ها می‌باشد. در این مطالعه از نرم‌افزار پترل برای تفسیر ساختارهای زیرزمینی استفاده شده است.

اطلاعات چاه بهترین و استانداردترین داده برای انجام این تفسیر است. برای شروع کار، ابتدا رأس کلیه سازندها به وسیله اطلاعات چاه و نقشه UGC زمانی رأس سازند داریان مستند گردید. سپس با بسط رأس سازندها در داده‌های لرزه‌ای، مرز سازندها مشخص گردید. داده‌های لرزه‌ای استفاده شده در این پژوهش، داده‌های دو بُعدی متشکل از شبکه منظم ۲x۲ کیلومتر می‌باشد که شامل ۲۵ خط لرزه‌ای اصلی (بر روی این خطوط تفسیر ساختارها و افق‌ها علاوه بر مدل‌سازی سه بُعدی گنبد‌های نمکی انجام شده است) و ۵۰ خط لرزه‌ای فرعی (صرفاً برای مدل‌سازی گنبد‌های نمکی) است که شرکت نفت فلات قاره آنها را تهیه کرده است (شکل ۲).

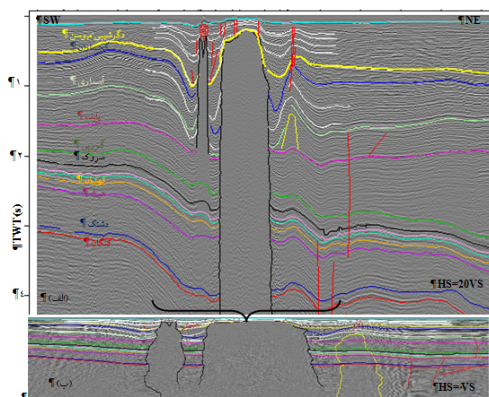


شکل ۲. طرح کلی خطوط لرزه‌ای استفاده شده در منطقه مورد مطالعه.

شده است مجموعه‌ای از بازتابنده‌ها که در چهارچوب اهداف مطالعه بوده‌اند، مورد تفسیر و تحلیل قرار گیرند. در کل اهداف زیر را برای تفسیر بازتابنده‌ها می‌توان برشمرد:

- تشخیص گسل‌های مهم و اصلی و سطوح دگرشیبی (Unconformities) و ارتباط آنها با رویدادهای زمین‌ساختی،
- تشخیص توده‌ها و گنبد‌های نمکی و درک سازوکار رشد و نفوذ آنها و تأثیر آنها بر ساختار ناحیه،
- درک بهتری از رابطه بین توالی رسوبی و فعالیت زمین‌ساختی هم‌زمان با رسوب‌گذاری،
- مشخص کردن پدیده‌های زمین‌شناختی مانند گسل‌ها، شکاف‌ها، چین‌خوردگی‌ها،
- مشخص کردن برخی تله‌های احتمالی برای ذخایر هیدروکربنی.

لازم به ذکر است تمام خطوط لرزه‌ای استفاده شده در این طرح، بیست برابر فشرده شده‌اند و احتمال می‌رود که با نگاه به این تصاویر، به اشتباهه چنین در ذهن تداعی شود که چین‌های این منطقه بیشتر از نوع چین‌های تنگ و گسل‌ها با شیب زیاد و نزدیک به قائم هستند، اما نمونه واقعی این تصاویر در شکل ۳-ب آورده شده است.



شکل ۳. (الف)، مقطع لرزه‌ای با فشرده‌گی ۲۰ برابر. (ب)، بخش مشخص شده تصویر الف با فشرده‌گی ۱ است (یعنی مطابق با نمونه واقعی). همان‌طور که در شکل مشخص است در حالت طبیعی بر اساس طبقه‌بندی فلیوتی چین‌ها از نوع ملایم هستند.

## ۵-۲ تفسیر خطوط لرزه‌ای

تفسیر بازتابنده‌ها برای مشخص کردن سرگذشت زمین‌ساختی منطقه بسیار مهم است. در این تحقیق سعی

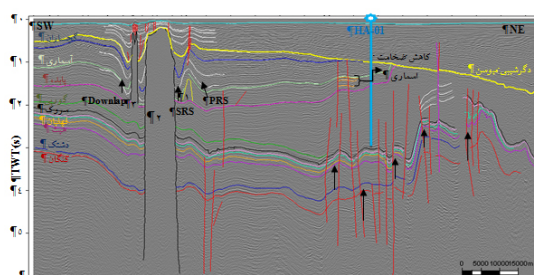
## ۲-۵-۱ خط لرزه‌ای شماره ۲۴

همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، سه گنبد در این مقطع تفسیر شده است که با شماره‌های ۱-۳ شماره‌گذاری شده‌اند. این گنبدها در سمت جنوب غرب تنگه هرمز یعنی ایالت هرمز غربی متمرکز هستند. سمت شرق منطقه به شدت گسله و از زمین ساخت پیچیده‌ای برخوردار است که می‌تواند ناشی از عملکرد کوهزایی عمان و نزدیکی به بلندای مزندام باشد. ناپیوستگی میوسن که با رنگ زرد تفسیر شده سازندهای زیرین خود را در شرق منطقه قطع کرده است. دیاپیرهای ۲ و ۳ تا نزدیک سطح زمین بالا آمده‌اند. گنبد ۲ همان جزیره تنب بزرگ است که در منطقه هرمز جای گرفته است.

ناپیوستگی میوسن میانی توسط گنبدهای نمکی ۲ و ۳ بریده شده است که می‌توان نتیجه گرفت این گنبدها پس از میوسن میانی به عمق ۵۰۰ متر رسیده‌اند؛ یعنی طی صعود، پس از ناپیوستگی میوسن به این عمق رسیده و آن را تحت تأثیر قرار داده‌اند. در اثر صعود نمک، در بالای دیاپیرها گسل‌های نرمال موازی و با شبکه شعاعی تشکیل شده‌اند. به سمت شرق ناپیوستگی میوسن، ضخامت سازند آسماری کاهش پیدا کرده است. احتمال می‌رود نازک-شدگی سازند آسماری به علت حرکت نمک هرمز، نمک فارس و یا ترکیبی از حرکت هر دو نمک باشد. فرونشینی سازند آسماری در اثر صعود نمک و ایجاد یک سطح نا-هم‌شیب در شکل مشخص شده است که به این ساختار اصطلاحاً Downlap گفته می‌شود. گنبدهای ۱ و ۳ نیز از نمک فارس هستند و رأس سازند پایده به‌منزله یک جدایش‌گر (decollement) عمل کرده است.

یکی از پدیده‌هایی که معمولاً همراه با گنبد های نمکی دیده می‌شود، ناودیس حاشیه‌ای (Rim Syncline) آنهاست. نمکی که گنبدهای نمکی را به وجود می‌آورد، از نزدیک‌ترین قسمت‌های لایه اصلی نمک به گنبد تامین می‌شود. این امر سبب نازک شدن لایه نمک در اطراف

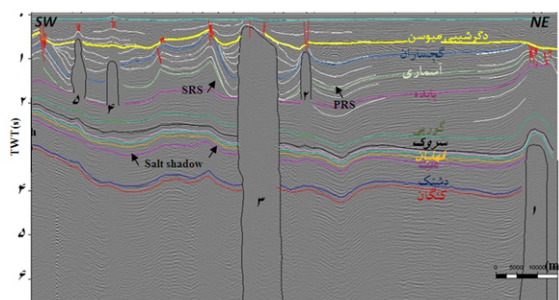
توده و در مرحله بعد سبب فرونشینی طبقات رویی در این قسمت و ایجاد ناودیس حاشیه‌ای می‌شود. در شکل ۴ ناودیس‌های حاشیه‌ای اولیه و ثانویه مشخص شده است. ناودیس‌های حاشیه‌ای اولیه بر روی بالش‌های نمکی در حال رشد تجمع می‌یابند و شامل لایه‌هایی هستند که به سمت ساختار نمک نازک می‌شوند. ناودیس‌های حاشیه-ای ثانویه در اطراف دیاپیرها با خروج نمک از بالش‌های تشکیل دهنده آنها تشکیل و شامل لایه‌هایی هستند که به سمت دیاپیر نمکی ضخیم می‌شوند (جکسون و تالبوت، ۱۹۹۴).



شکل ۴. خط لرزه‌ای تفسیر شده شماره ۲۴. تمرکز دیاپیرها در غرب و شمال غرب مقطع است و در مقابل بخش شرق و شمال شرق به شدت گسله است. ضخامت سازند آسماری به سمت ناپیوستگی قاعده میوسن کاهش می‌یابد. بیشتر گسل‌های منطقه با روند NE-SW از نوع گسل‌های معکوس و رانده هستند.

با اندازه‌گیری شیب در خطوط لرزه‌ای عمقی، شیب یال غربی تاقدیس تشکیل شده در بالای گنبد سوم ۲۰ درجه و یال شرقی ۲۱ درجه به دست آمد. در نتیجه، زاویه بین یالی این چین ۱۳۹ درجه محاسبه شد. این چین با طول موج ۳۴۸۷ متر و دامنه ۸۷ متر در اثر صعود دیاپیر ۳ تشکیل شده است. قطر این دیاپیر ۲۰۴۰ متر و شعاع تأثیر آن ۶۵۰۰ متر اندازه‌گیری شده است. شیب یال غربی تاقدیس تشکیل شده در بالای گنبد دوم ۲۰ درجه و یال شرقی ۱۷ درجه به دست آمد. در نتیجه، زاویه بین یالی این چین ۱۴۳ درجه محاسبه شد. قطر این دیاپیر ۹۹۴۴ متر اندازه‌گیری شد، اما به علت تداخل دیاپیرهای شماره ۱ و ۳ با این دیاپیر امکان اندازه‌گیری شعاع تأثیر آن وجود ندارد.

نمک فارس هستند و رأس سازند پابده به عنوان یک جدایش گر عمل کرده است. این مسئله از ناودیس های حاشیه ای اولیه و ثانویه به وجود آمده در بالای پابده قابل شناسایی است. وجود ساختار نمکی سبب بخش شدگی (scattering) امواج شده و در زیر خود سایه تولید می کند که به آن سایه نمک گفته می شود.



شکل ۵. خط لرزه ای تفسیر شده شماره ۳۳. گسل های نرمال در نتیجه صعود گنبد و فضای کششی ایجاد شده در قله دیابرها تشکیل شده اند.

با اندازه گیری شیب در خطوط لرزه ای عمقی، شیب یال غربی تاقدیس تشکیل شده در بالای گنبد اول ۱۷ درجه و یال شرقی ۲۷ درجه به دست آمد. در نتیجه، زاویه بین یالی این چین ۱۳۶ درجه محاسبه شد. شیب یال غربی تاقدیس تشکیل شده در بالای گنبد دوم ۱۳/۵ درجه و یال شرقی ۱۱ درجه به دست آمد. در نتیجه زاویه بین یالی این چین ۱۵۵/۵ درجه محاسبه شد. این چین با طول موج ۴۸۷۰ متر و دامنه ۲۱۰ متر در اثر صعود دیابیر ۲ تشکیل شده است. قطر این دیابیر ۲۳۱۰ متر و شعاع تأثیر آن ۵۱۳۰ متر اندازه گیری شد. شیب یال غربی تاقدیس تشکیل شده در بالای گنبد چهارم ۱۳/۵ درجه و یال شرقی ۱۱ درجه به دست آمد. در نتیجه، زاویه بین یالی این چین ۱۵۵/۵ درجه محاسبه شد. این چین با طول موج ۴۸۷۰ متر و دامنه ۲۱۰ متر در اثر صعود دیابیر ۲ تشکیل شده است. قطر این دیابیر ۲۳۱۰ متر و شعاع تأثیر آن ۵۱۳۰ متر اندازه گیری شد.

جهت حرکت فرادیواره در برخی از گسل ها مشخص شده است که نشان می دهد بیشتر گسل های منطقه از نوع گسل های معکوس (شیب کمتر از ۴۵ درجه و جهت حرکت فرادیواره به سمت بالا) هستند. گسل های معکوس و نرمال با روند SW-NE عمدتاً در لایه های پایینی پالئوسن و زیر آن توسعه یافته اند. گسل های متحدالمرکز با بیشترین احتمال در حاشیه دیواره های دیابیر و بالای ساختار نمک ایجاد می شوند.

## ۲-۵-۲ خط لرزه ای شماره ۳۳

در شکل ۵ پنج گنبد مشخص شده است که به ترتیب از سمت راست با شماره های ۱ تا ۵ نام گذاری شده اند. دیابیر شماره ۱ تا عمق ۳۰۰۰- متر بالا آمده و لایه های بالایی خود را چین داده است. گنبد شماره ۲ در عمق ۸۰۰- متر واقع شده است. این دیابیر سطوح بالای خود را بریده و صعود کرده است. در قله این دیابیر وجود گسل های نرمال نتیجه صعود گنبد است که در فضای کششی به وجود آمده اند. گنبد ۳ تقریباً به بستر دریا رسیده است. گنبد شماره ۴ که تا عمق ۱۰۰۰- متر بالا آمده، چین بالای خود را بریده است پس می توان چنین برداشت کرد که این دیابیر نسبت به چین در زمان نزدیک تری به ما به این منطقه رسیده است. گنبد ۵ تا عمق ۵۰۰- متر صعود کرده است. با توجه به نحوه تحت تأثیر قرار گرفتن یال های چین بالای این دیابیر، به نظر می رسد چین خوردگی پس از صعود نمک شکل گرفته است، به عبارتی چین از دیابیر جوان تر است.

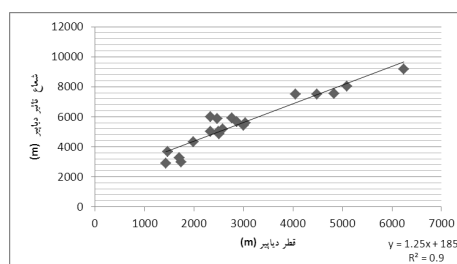
به نظر می رسد دگرشیبی میوسن میانی تحت تأثیر صعود دیابیرهای این ناحیه بریده و یا چین خورده اند، پس می توان چنین استنباط کرد که دیابیرها در زمانی نزدیک تر به ما به این عمق رسیده اند که ناپیوستگی میوسن را تحت تأثیر قرار داده اند. همانند برش قبل، گنبد های ۲، ۴ و ۵ از

## ۲-۶ رابطه بین قطر و شعاع تأثیر دیاپیرها

اندازه گیری قطر و شعاع تأثیر دیاپیرهای منطقه در خطوط لرزه ای عمقی انجام گرفته است. برای عمقی کردن خطوط لرزه ای زمانی، مدل سرعت لازم است. به منظور به دست آوردن این مدل چندین روش وجود دارد که ساده و ملموس ترین روش استفاده از داده های چاه پیمایی می باشد به گونه ای که زمان رفت و برگشت موج برداشت می شود و مسافت طی شده نیز مشخص است. با استفاده از رابطه ساده  $V = \frac{M}{t}$  (سرعت = مسافت طی شده بر زمان طی مسیر) در هر سازند سرعت مشخص می گردد. مدل میانگین سرعت لایه ها از شرکت نفت فلات قاره گرفته شده و با بارگذاری در پودمان (module) مدل نرم افزار پترل، خطوط لرزه ای زمانی به خطوط لرزه ای عمقی تبدیل شدند. حال قطر و شعاع تأثیر هریک از دیاپیرها در خطوط لرزه ای عمقی اندازه گیری و مشخص شد که شعاع تأثیر دیاپیرهای منفرد (دیاپیرهایی که تحت تأثیر چین های ناحیه ای یا گنبدی دیگر قرار نگرفته باشند) تقریباً دو برابر قطرشان است. پس از رسم نمودار شعاع تأثیر بر حسب قطر دیاپیرها و با استفاده از روش آماری کمترین مربعات، برازش خطی انجام گرفت (شکل ۶). رابطه خطی آنها به شرح زیر به دست آمد:

$$y = 1.25x + 1854, \quad R^2 = 0.9 \quad (1)$$

در آن  $y$  شعاع تأثیر دیاپیرها و  $x$  قطر دیاپیرها بر حسب متر است.



شکل ۶. نمودار شعاع تأثیر دیاپیرها بر حسب قطر آنها.

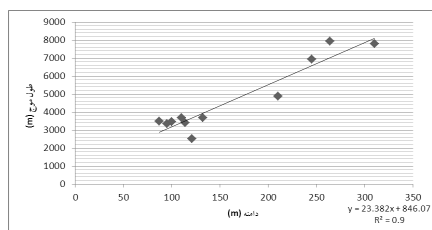
## ۲-۷ ارتباط بین طول موج و دامنه چین ها در مقاطع

### لرزه ای

فاصله یک نقطه از یک چین تا نقطه معادل آن در چین دیگر در یک رشته چین یا به عبارتی فاصله بین دو قله تاقدیس یا دو ناودیس متوالی را طول موج چین می نامند و به نصف فاصله قائم بین خط الرأس یک تاقدیس با خط القعر ناودیس مجاورش دامنه چین خوانده می شود. در خطوط لرزه ای عمقی طول موج و دامنه چین ها نیز اندازه گیری و پس از رسم نمودار طول موج بر حسب دامنه چین ها (شکل ۷) و با استفاده از روش آماری کمترین مربعات برازش خطی انجام گرفت و مشخص شد طول موج چین ها حدود ۲۳ برابر دامنه شان است. رابطه خطی آنها به شرح زیر به دست آمد:

$$y = 23.382x + 846.07, \quad R^2 = 0.9 \quad (2)$$

که در آن  $y$  طول موج چین ها و  $x$  دامنه چین ها بر حسب متر است.



شکل ۷. نمودار طول موج بر حسب دامنه چین ها.

در یک نگاه کلی، چین ها در زاگرس خاوری تنوع وسیعی را از نظر شکل، طول موج و جهت محور چین نشان می دهند و به طور معمول کوتاه تر و پهن تر از چین هایی هستند که در کمربند چین-رانندگی زاگرس در مناطق بدون دیاپیر نمکی ایجاد شده اند.

## ۲-۸ طبقه بندی چین ها بر اساس طبقه بندی زاویه

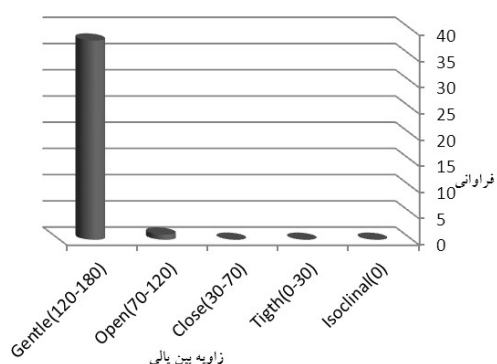
### بین یالی

زاویه بین یالی عبارت است از زاویه بین دو سطح که از محل خط عطف بر دو یال متقابل چین منطبق می گردند.



و 3D پترل نمایان می‌شود. با داشتن شیب واقعی یال‌های غربی و شرقی چین‌ها به روش مثلثی زاویه بین‌یالی به دست می‌آید.

طی بررسی و اندازه‌گیری زاویه بین‌یالی ۳۹ چین تنگه هرمز مشخص شد که ۲/۵۶ درصد چین‌ها از نوع باز (با زاویه بین‌یالی ۷۰-۱۲۰) و ۹۷/۴۳ درصد از نوع چین‌های ملایم (با زاویه بین‌یالی ۱۲۰-۱۸۰) هستند (شکل ۸ و جدول ۲).



شکل ۸. نمودار فراوانی بر حسب زاویه بین‌یالی چین‌های تنگه هرمز (طبقه‌بند بر اساس زاویه بین‌یالی). ۲/۵۶ درصد چین‌ها از نوع باز (با زاویه بین‌یالی ۷۰-۱۲۰) و ۹۷/۴۳ درصد از نوع چین‌های ملایم (با زاویه بین‌یالی ۱۲۰-۱۸۰) هستند.

جدول ۲. فراوانی و درصد فراوانی چین‌ها (طبقه‌بندی بر اساس زاویه بین‌یالی).

زاویه بین‌یالی (درجه)	فراوانی	درصد فراوانی
Isoclinal (۰)	۰	۰
Tigth (۰-۳۰)	۰	۰
Close (۳۰-۷۰)	۰	۰
Open (۷۰-۱۲۰)	۱	۲/۵۶
Gentle (۱۲۰-۱۸۰)	۳۸	۹۷/۴۳

به منظور مشخص شدن بهتر چین‌های ملایم، براساس زاویه بین‌یالی به سه زیررده (۱۲۰-۱۴۰)، (۱۴۰-۱۶۰) و (۱۶۰-۱۸۰) تقسیم شدند. از نتایج این محاسبات مشخص شد ۵۰ درصد چین‌های ملایم زاویه بین‌یالی ۱۴۰-۱۶۰ درجه، ۳۴/۲۱ درصد زاویه بین‌یالی ۱۶۰-۱۸۰ درجه و

با کاهش طول موج چین (درحالی که دامنه آن متناسب با آن کاهش نیابد) یا افزایش دامنه چین (درحالی که طول موج چین متناسب با آن افزایش نیابد) زاویه بین‌یالی کاهش می‌یابد و به عکس. با استفاده از زاویه بین‌یالی چین، شکل چین را می‌توان به نحو دقیق‌تری توصیف کرد (جدول ۱). در این رابطه چین‌ها به انواع ملایم، باز، بسته، تنگ، هم‌شیب و قارچی تقسیم می‌شوند. برای تعمیم این طبقه‌بندی در چین‌های منطقه تنگه هرمز نیاز است زاویه بین‌یالی شود. بدین منظور، شیب واقعی یال‌های غربی و شرقی چین‌ها باید اندازه‌گیری شود تا براساس آن زاویه بین‌یالی به دست آید. همان‌طور که می‌دانیم شیب واقعی در یک سطح قائم و در جهت عمود بر امتداد باید اندازه‌گیری شود. به علت اینکه امتداد چین‌ها در خطوط لرزه‌ای مشخص نیست نمی‌توان با قطعیت بیان کرد که مقاطع لرزه‌ای در جهت عمود بر امتداد چین‌ها زده شده‌اند، بنابراین با اندازه‌گیری در این خطوط شیب ظاهری به دست می‌آید. اندازه‌گیری شیب واقعی باید در صفحات سه‌بُعدی انجام گیرد. امکانات نرم‌افزار پترل کمک شایانی به رفع این مشکل می‌کند به طوری که با تبدیل خطوط لرزه‌ای زمانی به عمقی می‌توان نقشه تفسیر شیب سازندها را در

جدول ۱. طبقه‌بندی چین‌ها بر مبنای زاویه بین‌یالی.

زاویه بین‌یالی (درجه)	نام چین	معادل انگلیسی
منفی	چین قارچی	Mushroom
۰	هم‌شیب	Isoclinal
۰-۳۰	چین تنگ	Tigth
۳۰-۷۰	چین بسته	Close
۷۰-۱۲۰	چین باز	Open
۱۲۰-۱۸۰	چین ملایم	Gentle

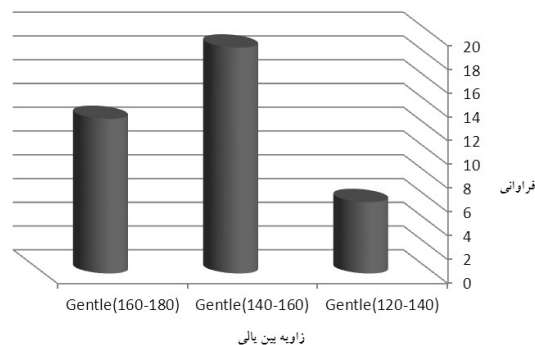
پنجره 3D رسم کرد. در این حالت با کلیک بر روی هر نقطه از مقطع لرزه‌ای عمقی در پنجره تفسیر، آزمون و شیب واقعی آن نقطه با خطای  $\pm 10^\circ$  در پنجره‌های 2D

در اثر صعود نمک، در بالای دیابیرها، گسل های نرمال موازی و با شبکه شعاعی تشکیل شده اند. سن آغاز جنبش نمک هرمز را کمی پس از تشکیل و رسوب گذاری بالای لایه هرمز می دانند و با توجه به بریده شدن سازندهای جوان از جمله سازند آغا جاری می توان اذعان کرد که حرکت نمک متوقف نشده و پس از این نیز ادامه خواهد داشت. آهنگ رشد این گنبدها متفاوت است و به ارتباط آنها با سنگ مادر نمک، اختلاف مقاومت و ضخامت روباره، موقعیت آنها نسبت به روندهای اصلی گسل های قدیمی دوباره فعال شده و موقعیت آنها نسبت به جبهه زمین ساختی فعال در هر زمان بستگی دارد.

با توجه به تفسیر داده های لرزه ای، تشکیل ساختارهای مرتبط با حرکت رو به بالای نمک هرمز می تواند با حضور گسل های عمیق با امتداد شمال شرق-جنوب غرب توجه شود به طوری که این گسل ها کمک کننده به حرکت رو به بالای نمک بوده اند. تمرکز بیشتر این گسله ها در ایالت هرمز شرقی است که با توجه به تأثیر کوهزایی عمان و زاگرس و پیچیدگی ساختاری این بخش از منطقه قابل توجه است. بیشتر گسل های زیر سطح ناپیوستگی میوسن میانی از نوع گسل های معکوس و رانده هستند. گسل های شعاعی در همه سطوح بالای دیابیرها غالب هستند؛ اگرچه، به صورت منظم تر در سطوح روی قله دیابیرها جا گرفته اند. گسل های معکوس و نرمال متحدالمرکز فرعی، عمدتاً در لایه های پایینی پالئوسن و زیر آن، توسعه یافته اند.

با اندازه گیری قطر و شعاع تأثیر دیابیرها در خطوط لرزه ای عمقی مشخص شد دیابیرهای منفرد (دیابیرهایی که تحت تأثیر چین های ناحیه ای یا گنبد دیگر قرار نگرفته باشند) تقریباً دو برابر قطرشان شعاع تأثیر دارند. همچنین مشخص شد طول موج چین ها حدود ۲۳ برابر دامنه شان است. چین ها در زاگرس خاوری تنوع وسیعی را از نظر شکل، طول موج و جهت محور چین نشان می دهند و

۱۵/۷۸ درصد زاویه بین یالی ۱۲۰-۱۴۰ درجه دارند. نمودار فراوانی آنها در شکل ۹ آورده شده است.



شکل ۹. نمودار فراوانی بر حسب زاویه بین یالی چین های ملایم. ۱۵/۷۸ درصد چین ها زاویه بین یالی (۱۲۰-۱۴۰)، ۵۰ درصد (۱۴۰-۱۶۰) و ۳۴/۲۱ درصد (۱۶۰-۱۸۰) دارند.

### ۳ نتیجه گیری

چین خوردگی و راندگی در زیر سطح دگرشیبی قاعده بخش گوری (قاعده ناپیوستگی میوسن) حاکی از عملکرد زمین ساخت فشارشی در این منطقه است. اگرچه در زمان شکل گیری نوتیس زمین ساخت کششی در زاگرس حاکم بوده و سپس با همگرایی و برخورد این رژیم به صورت زمین ساخت وارون و در قالب رژیم فشارشی عمل کرده است. این فاز زمین ساختی احتمالاً به مراحل اولیه فاز کوهزایی زاگرس مرتبط است به طوری که طی آن لایه های میوسن زیرین و قدیمی تر چین خورده و در معرض فرسایش قرار گرفته اند (انقطاع بازتابنده ها در زیر سطح دگرشیبی قاعده بخش گوری).

در بخش هایی از منطقه صعود این دیابیرها با پدیده فرسایش و پس از رسوب گذاری اندکی روباره بر روی سری هرمز آغاز شده و در بخش های دیگر این صعود تحت تأثیر فعال شدن مجدد گسل های پی سنگی در زمان مزوزوئیک و سنوزوئیک با نیروی شناوری بوده است. شاهد ما برای پدیده فرسایش، نازک شدن لایه های قدیمی در خطوط لرزه ای تحت بالآمدگی نمک است.

عبدالملکی، ن.، و بحرودی، ع.، ۱۳۸۹، ارزیابی توانمندی روش تداخل‌سنجی راداری جهت بررسی فعالیت نمک‌های خروجی منطقه شمال غربی قم: نشریه تخصصی روش تداخل‌سنجی راداری و اطلاعات مکانی، ۱ (۳).

- Ala, M., 1974, Salt diapirism in southern Iran: *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, **58**, 1758–1770.
- Barton, D., 1933, Mechanics of formation of salt domes with special reference to Gulf Coast salt domes of Texas and Louisiana: *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, **17**, 1025–1083.
- Callot, J., Jahani, S., and Letouzey, J., 2007, The Role of Pre-Existing Diapirs in Fold and Thrust Belt Development: Springer, 309–325.
- Falcon, N., 1967, Southern Iran, Zagros Mountains: In Spencer, A., (Editor), *Mesozoic–Cenozoic orogenic belts*: Geol. Soc. London, **4**, 199–211.
- Fletcher, R., Hudec, M., and Waston, I., 1995, Salt glacier and composite sediment-salt glacier models for the emplacement and early burial of allochthonous salt sheet. *Salt tectonics: A global perspective: AAPG Memoir*, **65**, 77–108.
- Glennie, K., 2000, Cretaceous tectonic evolution of Arabia's eastern plate margin: a tale of two oceans: *Society for sedimentary Geology*, **69**, 9–20.
- Haffer, J., Benyamin, N., and Zardosht, H., 1977, The regional geology of the strait of Hormoz, southern Iran and northern Oman: Hormoz Petroleum Company.
- Harrison, J., 1930, The Geology of some salt plugs in Laristan (Southern Persia): *Quart. J. Geological Soc.*, **86**, 463–522.
- Jackson, M., and Vendeville, B., 1994, Regional extension as a geologic trigger for diapirism: *GSA Bulletin*, **106**, 57–73.
- Jackson, M., and Talbot, C., 1994, *Advances in salt tectonics*: Pergamon Press, 159–179.
- Jahani, S., Callot, J.-P., Lamotte, D., Letouzey, J., and Leturmy, P., 2007, The Salt Diapirs of the Eastern Fars Province (Zagros, Iran): A Brief Outline of their Past and Present: Springer, 287–306.
- Jahani, S., Callot, J.-P., Letouzey, J., and Lamotte, D., 2009, The eastern termination of the Zagros Fold-and-Thrust Belt, Iran: Structures, evolution, and relationships between salt plugs, folding, and faulting: *Tectonics*, **28**, 1–22.

به‌طور معمول کوتاه‌تر و پهن‌تر از چین‌هایی هستند که در کمربند چین-رانندگی زاگرس در مناطق بدون دیاپیر نمکی ایجاد شده‌اند.

طی بررسی و اندازه‌گیری زاویه بین‌یالی ۳۹ چین در تنگه هرمز مشخص شد که ۲/۵۶ درصد چین‌ها از نوع باز و ۹۷/۴۳ درصد از نوع چین‌های ملایم هستند. ۵۰ درصد چین‌های ملایم زاویه بین‌یالی ۱۴۰–۱۶۰ درجه، ۳۴/۲۱ درصد زاویه بین‌یالی ۱۶۰–۱۸۰ درجه و ۱۵/۷۸ درصد زاویه بین‌یالی ۱۲۰–۱۴۰ درجه داند.

### تشکر و قدردانی

در پایان لازم است از شرکت نفت فلات قاره ایران و بخش پژوهش و توسعه که با فراهم‌سازی داده‌های مورد نیاز و حمایت از پژوهش و حمایت‌های دانشگاه تبریز که امکان انجام این تحقیق را فراهم نموده‌اند، صمیمانه قدردانی نمایم.

### منابع

- السوقی، م.، ۱۳۸۷، تحلیل و تفسیر ساختارهای پیچیده تنگه هرمز با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی سه بعدی: رساله دکتری، دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- پاژنگ، س.، ۱۳۹۲، تحلیل و تکامل گنبد‌های نمکی و ساخت‌های مرتبط با آن با استفاده از داده‌های لرزه‌ای در تنگه هرمز: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، زمین‌شناسی (تکتونیک)، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.
- قلاوند، ه.، پولادزاده، م.، ارزانی، ع.، و مهدی‌پور، ض.، ۱۳۸۸، کاربرد لرزه‌نگاری در توسعه مخازن هیدروکربوری: مجله اکتشاف و تولید، **۵۹**، ۲۰–۲۳.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۲، زمین‌شناسی ایران چینه‌شناسی زاگرس: سازمان زمین‌شناسی کشور، ۵۳۶ص.

- Companies, Geological and Exploration Division Report NO. 1146, (unpublished).
- Richardson, F., Lees, G., and De Bockh, H., 1929, The Structure of Asia: Edited by Gregory, J. W., Methuen London, 125–159.
- Talbot, C., and Alavi, J., 1996, The past of a future syntaxis across the Zagros: Salt Tectonics, **100**, 89-110.
- Vendeville, B., and Jackson, M., 1992, The rise of diapirs during thin-skinned extension: Marine and Petroleum Geology, **9**(4), 331–353.
- Windelstad, J., Hilde, E., Skarpnes, O., Scotchmer, J., Fjelland, M., and Svånå, T., 2003, NIOC-Statoil Joint Exploration Study Hormuz: Statoil INT GEX Iran, Report NO. 2042, (unpublished).
- Kent, P., 1958, Recent studies of south Persian salt plugs: Am. Ass. Petrol. Geol. Bull., **42**, 2951–2979.
- Kent, P., 1979, The emergent Hormoz salt plugs of southern Iran: J. Petroleum Geology, **2**(2), 117–144.
- Letouzey, J., and 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.
- Nettleton, L., 1934, Fluid mechanics of salt domes: AAPG Bulletin, **18**, 1175–1204.
- Player, R., 1969, The Hormuz Salt Plugs of southern Iran: Iranian Oil Operating