تحلیل ساختاری لایه های منفصل(بویژه نمک هرمز) و تاثیر آنها بر هندسه چین خوردگی ناحیه فارس با استفاده از مدل تجربی، اطلاعات زمین شناسی و ژنوفیزیکی

رضا شمس[۱]، ایرج عبدالهی فرد[۲]

[۱]مدیریت اکتشاف نفت، اداره ژئوفیزیک
[۲]مدیریت اکتشاف نفت، معاونت طرح ها

چکیده

زون های فارس و هرمزگان در شرق کمربند زاگرس توسط رخنمون های پرکامبرین – کامبرین سری هرمز شناخته می شوند.گسل های کششی عمیق قدیمی باعث ایجاد پستی و بلندی در سنگهای قبل از نمک هرمز(pre-Hormuz sediments) گردیده و موجب تشکیل حوضه هایی برای رسوبگذاری نمک هرمز کامبرین شده اند. از ابتدای رسوبگذاری پالئوزوئیک طی فرآیند Halokinesis ، نمک هرمز در بعضی از نقاط شروع به بالا آمدن کرده و با ایجاد حوضه های کوچک (mini-basins) در اطراف خودش باعث ضخامت بیشتر رسوبات پالئوزئیک در آنها شده است. در مراحل تکوین زاگرس، تاقدیس های با ابعاد و طول موج مختلف تشکیل می‌شوند که یکی از دلایل اصلی آن ناشی از غیر همسان بودن رسوبات در بخش های مختلف کمربند زاگرس است. وجود آنومالی هایی از گنبدهای نمکی مدفون نقش بسزایی در این ناهمسانی دارند. ما با استفاده از دستگاه آزمایش جعبه ماسه، بررسی های میدانی و برداشتهای زمین شناسی و اطلاعات لرزه نگاری این ساختارها را مدل سازی نموده‌ایم.

واژه‌های کلیدی: ساختارهای سیگموئیدال، کمربند زاگرس، نمک هرمز، مدل سازی جعبه ماسه

Structural analysis of detached layers (especially Hormuz salt) and their effect on the folding geometry of Fars region using experimental model, geological and geophysical information.

Reza Shams[۱] and Iraj Abdollahie Fard[۲]

[۱]Oil Exploration Management, Geophysics Department
[۲] Oil Exploration Management, Vice President of Projects

Abstract

The Fars and Hormuzgan Zones is eastern domain of the Zagros Belt which characterized by the outcrops and sub-crops of Precambrian-Cambrian Hormuz Salt. Deep-seated extensional faults played a major role in controlling the distribution and thickness variations of the Hormuz series and played important role in triggering and localizing the salt walls and diapirs This suggests that part of halokinesis could have been localized along the Precambrian-Cambrian extensional faults. Differential loading is the most probable principal mechanism for initiating and driving halokinesis in the Hormuz Salt Basin in Early Paleozoic. Therefore, it is expected that dissimilar types of the earlier salt related structures have their own influences on the geometry of present-day structures. Therefore, objective of this study is understanding role of the Hormuz Salt as basal décollement on long term sedimentation and relatively short term shortening happened

by the Zagros Orogeny. Most of the folds in this study area are mainly folded on the Hormuz salt detachment with NW-SE trend and variable sizes. Almost all the asymmetric anticlines in the study area are SW verging.But there are some folds whit unconventional shape whit one or both narrow and linear plunges. We used sand box modelling technique for better understanding geometry of the hidden earlier structures which were masked by the Zagros Orogeny.

Keywords: Hormuz salt, Zagros Belt, sand box modeling, sigmoidal structure

۱ مقدمه

شناخت اثرات تکتونیک نمک برای صنعت اکتشاف نفتی از آنجایی که بیش از ۱۳۰ حوضه رسوبگذاری تحت تاثیر توده های نمکی هستند مهم است (Jackson and Hudec, 2017). تاثیر لایه‌های نمک از دیرباز مورد بررسی قرار گرفته و نقش لایه های ضخیم نمک در کنترل تغییر شکل و طول موج ساختاری با توجه به مطالعات سطحی (ویژگی های رخنمون ها) و زیر سطحی (بعنوان مثال اطلاعات چاه و لرزه نگاری) و فن‌آوری‌های مدل سازی (عددی و فیزیکی) اثبات شده می‌باشد.

بالا آمدن نمک هرمز پرکامبرین – کامبرین از اواخر پرمین (Motiei, 1995) و اکثرا اواخر کرتاسه (بعنوان مثال Motamedi and Gharabeighli, 2018) قبل از برخورد نئوژن گزارش شده است (Jackson and Hudec, 2017). فراوانی ساختار های نمکی بیرون زده نواحی فارس و هرمزگان را یکی از ویژه ترین مناطق هالوکنیتیک دنیا کرده است. در نیمرخ‌های لرزه‌نگاری خلیج فارس یا قوس فارس (Jahani et. al., 2017) ساختار های نمکی نشان‌دهنده افزایش ضخامت لایه از قله تاقدیس ها تا ناودیس های مرتبط با فرار نمک از ناودیسهای حاشیه‌ای می باشند که این ویژگی گواه بر بالا آمدگی پیش رونده از افق های سازندی پالئوزئیک پایینی تا میانی و ایجاد حوضه های رسوبگذاری کوچک جانبی است (Jackson & Talbot, 1994). تفاوت در میزان رسوبگذاری محتمل ترین سازوکار برای شروع و حرکت در حوضه نمک هرمز اوایل پالئوزئیک است (Jahani et al., 2017; shams et al., 2020).

گسلهای کششی عمیق بخش های بزرگ سنگ بستر یک نقش اساسی در کنترل آشفتگی و تغییرات ضخامت نمک هرمز (Jackson and Hudec, 2017) و تحریک و تمرکز یافتگی دیواره های نمکی و دیاپیر ها بازی می کند (Rowan, 2014). این نشان می دهد که بخشی از هالوکنیزز می تواند در طول گسلهای کششی پرکامبرین – کامبرین تمرکز یابد. سوالات اساسی نقش و رفتار این نمک های مدفون در طی فرآیند تکوین کمربند زاگرس است و سوال دیگر این است که آیا وجود این آنومالی ها عامل اساسی در ایجاد اشکال سیگموئیدی تاقدیس ها دارند. هدف از این مطالعه ، بررسی تاثیر لایه های جدایشی و گسسته بویژه نمک هرمز بعنوان لایه جدایشی زیرین (basal detachment) در میان رسوبات بالایی آنها در طی فرآیند تکوین زاگرس بر ابعاد و شکل تاقدیس ها می‌باشد. استفاده از مدل سازی تجربی با جعبه ماسه (sand box modeling) می‌تواند درک بهتری از نقش آنومالی ها در تشکیل ساختار های نامتعارف در چین خوردگی کمربند زاگرس ارائه نماید. این ساختار های قدیمی اهمیت ویژه ای در مهاجرت هیدروکربور در طی دورانهای مزوزئیک و ترشیاری داشته اند.

۲ روش تحقیق

پراکندگی گنبدهای نمکی

ساختارهای نمکی هرمز از غرب به گسل کازرون و از شرق به خط عمان (زون گسله زندان یا کمربند میناب جاسک) و از شمال به گسل تراستی زاگرس محدود می شود (شکل۱). گنبدهای نمکی مذکور در سطح زمین رخنمون دارند ولی در این میان برخی گنبد های نمکی تا کنون به سطح زمین را ه نیافته اند و شناسایی آنها از طریق مطالعات ژئوفیزیکی و یا شواهد موجود در سطح میسر است.

کمربند چین و تراستی زاگرس (ZFTB) به عنوان یک زنجیره کوهستانی با روند NW-SE با طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر با همگرایی بین صفحات عربی و ایران شکل گرفت(Berberian & King 1981). تکامل این کمربند همچنین نتیجه بازشدگی پرمین-تریاس (توسعه گسل های کششی) و بالاراندگی افیولیتهای کرتاسه پایینی (تغییر تصویر تکتونیکی زاگرس و تولید یک حوضه انعطاف پذیر پیش بوم) می‌باشد(Abdollahie Fard et al., 2019).

این کمربند توسط گسلهای تراستی و امتداد لغز به چندین زون تقسیم شده است. پراکندگی سری هرمز در نواحی هرمزگان و فارس توسط ساختار های گودال و نیمه گودال و بلنداها کنترل میشوند (Edgell, 1996) که با یک بخش کششی در طی دوران پرکامبرین زیرین تا اوایل کامبرین (Al-Husseini, 2000) با حداکثر ضخامت ۱-۲ کیلومتر لایه جدایشی موثر و کارآمد ایجاد شده است (Lacombe & Bellahsen, 2016).

سری هرمز بعنوان قدیمی ترین رسوبات کمربند زاگرس تصور می‌شود (Colman-Sadd, 1978; Falcon, 1969) که توسط یک توالی رسوبی ضخیم پوشیده شده است. از طرف دیگر بازتابهای لرزه ای رسوبات قبل از هرمز در نیمرخهای لرزه‌نگاری قابل تشخیص هستند (Jahani et al., 2009) که نشانگر پوشش رسوبی خیلی ضخیم روی سنگ بستر بلورین زاگرس است. نمک هرمز با سن پرکامبرین زیرین، پایین ترین واحد سری هرمز است (Ahmadzadeh-Heravi, 1990) و در حوضه های تبخیری محدود نهشته شده اند (Jahani et al., 2007). این نمک هرمز تا ۱۰ کیلومتر ستون رسوبی از کامبرین تا پلیوسن در جنوب شرقی زاگرس (Davoudzadeh, 1990) از طریق مجاری عمودی توسط چگالی بالاتر لایه های رویی (Mukherjee et al., 2010) و در اشکال متفاوتی از ساختار های نمکی همچون تاقدیس های نمک یا دیواره های نمکی نفوذ کرده اند (شکل۲).

ساختار های وابسته به نمک بخصوص دیاپیرهای نمکی زون هرمزگان و فارس از قرن ۱۹ بدلیل اهمیت اقصادیشان بطور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته اند(Harrison, 1931 and Nicaise et al., 2011) . دیاپیر های نمکی عمدتاً متعلق به نمک هرمز هستند. از طرف دیگر یک حوضه تبخیری دیگری که در اوایل تا میانه میوسن (حوضه تبخیری نئوژن) در جنوب خلیج فارس و بخش جنوب شرقی زون فارس وجود دارد (Abdollahie Fard et al., 2011). بخش تبخیری سازند دشتک نیز یکی دیگر از لایه های جدایشی بخصوص در ناحیه فارس محسوب می‌شود.

اشکال گوناگونی برای دیاپیرهای نمکی ذکر شده است (Jackson and Hudec, 2017) ولی در این میان حالت بالا آمدگی به شکل گنبد مانند شایعتر است. تلفیق دیاپیر های نمکی مدفون نزدیک به سطح زمین که تحت تاثیر کوتاه شدگی زاگرس قرار گرفته اند باعث تغییرات رئولوژی سنگها شده و می توانند باعث ایجاد اشکال متفاوتی از تاقدیس ها شوند. شکل و اندازه لایه های جدایشی در بین لایه های صلب نیز خود منشاء تغییرات زیادی در ابعاد تاقدیس های مرتبط با تکتونیک این نوع از ساختارها می گردد (شکل۳).

در برخی موارد نمک هرمز در اعماق زیاد حالت پهن پیدا کرده و در سطح شاهد ساختار گرد و بزرگی همانند جزیره کیش هستیم. زمانیکه دیاپیر بصورت ستونی بالا می آید چون سطح تماس کمتری (با توجه به مقطع افقی کوچک آن) با سنگهای روباره دارد بنابراین دارای توان بیشتری جهت قطع کردن لایه های بالایی و رسیدن به سطوح کم عمق است. ساختمان سیری الوند در بخش میانی خلیج فارس نمونه چنین ساختاری در مقایسه با ساختمان کیش در نزدیکی آن است (شکل۴). اشکال دیگری همچون قارچی و یا شاخه شاخه برای گنبدهای نمکی هرمز برشمرده شده است. بررسی شکل گنبدها می تواند به شناسایی مکانیسم بالا آمدن آنها کمک نماید. گاهی گسل های شعاعی نیز میتواند نشاندهنده فعالیت نمک هرمز باشد(شکل۵).

البته تعدادی از گنبد های نمکی ناشی از تمرکز یافته گی نقطه ای یک دیواره نمکی حاصل شده اند (Jahani et al., 2017) که در نهایت به سطح زمین رسیده اند.گنبد های نمکی را میتوان بر اساس میزان فرسایش یافتگی روانه نمک و قطعات بیگانه درون آنها که نشاندهنده سن تشکیل و ظهور آنها به سطح زمین است، نیز تقسیم بندی نمود(Jahani et al., 2007). با توجه به اینکه عمق نفوذ نمک هرمز در طی پالئوزئیک متفاوت می باشد لذا ساختار های مرتبط با آنها که در طی کوتاه شدگی کمربند زاگرس شکل گرفته اند دارای مشخصات منحصر به فردی هستند.

Halokinesis

حرکت نمک هرمز در اکثر دیاپیرهای ناحیه فارس از اواخر کرتاسه (e.g., Harrison, 1930; Kent, 1958; Player, 1969; Edgell, 1996; Talbot and Alavi, 1996; Bahroudi and Koyi, 2003; Letouzey and Sherkati, 2004; Callot et al., 2007, 2012; Jahani et al., 2007, 2009, 2017; Perotti et al., 2011) و در بعضی از آنها از اواخر پرمین (Motiei 1995) شروع شده است. دیاپیر های نمک هرمز بیشتر در جنوب شرقی فارس و خلیج فارس متمرکز شده اند. این حجم از ساختارهای نمکی و مرتبط با نمک یکی از باشکوه ترین مناطق هالوکنیتیک (halokinetic provinces) را در دنیا رقم زده است.

تعدادی از نیمرخهای لرزه‌نگاری خلیج فارس بخصوص در محدوده قوس فارس (Fars Arch) فعالیت و حرکت نمک از ابتدای پالئوزئیک(Jahani et al., 2009) با ایجاد حوضه های کوچک جانبی (lateral mini-basins) و ناودیس های حاشیه ای (rim syncline) باعث افزایش ضخامت رسوبات در اطراف و نازک شدگی آنها در قله این آنومالی های نمک شده اند (Jahani et al. 2007, 2009, 2017; Jackson & Talbot, 1994;). بنابراین شروع گنبدی شکل (Doming) و چینه رشدی (Growth strata) بیشتر گنبد های نمکی از ابتدای پالئوزئیک شروع شده و تا زمان حال ادامه داشته است.(Jahani et al., 2017). حوضه‌های حاشیه ای درست بعد از

رسوبگذاری نهشته های غیر نمکی بروی نمک هرمز تشکیل میشوند این فرآیند بخصوص در محل هایی که تجمع و ضخامت برجای نمک بدلیل گودال های (Graban) ایجاد شده از گسل های کششی پرکامبرین زیاد می باشد ،تشدید می‌گردد. در این فرآیند بدلیل شناوری نمک از یک طرف و وزن رسوبات بالایی از طرف دیگر باعث فرونشست رسوبات در اطراف آنومای ها و حرکت نمک از گودال ها به بلنداها (Horst)می گردد. با تمرکز نمک بر روی لبه توپوگرافی های رسوبات زیر نمک، دیواره های نمکی و یا قارچ های نمکی ایجاد می گردد.گسل های کششی عمیق پرکامبرین در رسوبات زیر نمک هرمز نقش اصلی را در ایجاد این دیواره های نمکی و حوضه های حاشیه ای آنها دارند(Jahani et al., 2017). مقاطع لرزه ای خلیج فارس نشان میدهد که ساختار های مرتبط با نمک هرمز در انتهای پالئوزئیک تقریبا مدور بوده و تغییرات در میزان رسوبگذاری قله نسبت به حاشیه ها و یا فرسایش بیشتر قله ها نسبت به حاشیه ها باعث همگرایی بیشتر نمک بسمت قله گردیده است(شکل ۲).

توصیف زمین شناسی ساختارهای نامتعارف

اگرچه برای اکثر تاقدیس های گنبدی نمی توان روند مشخصی تعیین نمود با این حال روند بیشتر تاقدیس هایی که یک یال یا هر دو یال کشیده و باریک دارند دارای روند شمال غرب جنوب شرق هستند. مهمترین تاقدیس هایی که در ناحیه فارس اصطلاحاً سیگوئیدال هستند عبارتنداز:سلامتی، ددنجان، نورا، سورمه، شاهینی،کفتر، سفیدزاخور، بندوبس، دنگ، باووش، گاوبست، خلفانی، هرنگ، شو و تاقدیس های گهکم، فراقان، هندان و تاقدیس نمک در ناحیه شمال بندرعباس (شکل ۶). تعدادی از آنها از جمله سلامتی،ددنجان،کفتر،شو هرنگ، گهکم، فراقان، هندان و نمک دارای رخنمونی از نمک هرمز می باشند و بقیه تاقدیس ها گنبدی تقریبا مدور دربخش مرکزی تاقدیس دارند که احتمالا متاثر از نمک هرمز بوده است . موضوعی که این تاقدیس ها را از دیگر تاقدیس های مرتبط با نمک مجزا می نماید شکل ظاهری دوکی آنهاست. بارز ترین نمونه از تاقدیس‌های سیگموئیدال، که احتمالا شکل دوکی آن به توده نمک قدیمی موجود در هسته مربوط می شود، تاقدیس های کفترو نورا در فارس ساحلی وگهکم و فراقان در شمال بندرعباس می باشد. تاقدیس کفتر با طول ۸۲ کیلومتر که ۵۵ کیلومتر آن به بخش تقریبا مدور آن مربوط می گردد و عرض ۱۲ کیلومتر در بخش مدور و یک تا ۸ کیلومتر آن به بخش بال های شمال شرقی و جنوب غربی محدود می شود و در ۱۰ کیلومتری شمال شهر جهرم و در مجاورت شمال تاقدیس کرباسی واقع شده است. ارتفاع بلندترین نقطه در تاقدیس ۲۸۱۷ متر از سطح دریاست و قدیمی ترین بیرون زدگی در هسته آن گروه بنگستان می باشد. ولی سطح اصلی تاقدیس را سازند آسماری می پوشاند. یک گنبد نمکی کوچک به ابعاد ۲.۵ کیلومتر طول و ۱.۲ کیلومتر عرض در مرکز بخش گرد تاقدیس وجود دارد و با دو بال باریک در دو سوی شمال غرب و جنوب شرق ظاهری دوکی شکل دارد(شکل۶). این تاقدیس در مسیر گسل پی سنگی نظام آباد قرار گرفته است و دارای جابجایی امتداد لغز چپ گرد است.تاقدیس های سلامتی،ددنجان و سورمه در مسیر گسل امتداد لغزراست گرد کره بس قرار گرفته اند و بنظر در عمق دارای یک دیواره نمکی واحد هستند که در طی فرآیند حرکت گسل امتداد لغز، نمک هرمز بصورت متمرکز شده از محل شکستگی ها خارج شده است(Shams et al., 2020). تمام تاقدیس ها نامتقارن هستند و حداقل یکی از طرفین آنها باریک شده است.

تاقدیس نورا یا میمند دارای روند شمال غرب – جنوب شرق با 70 کیلومتر طول و۱۲ کیلومتر عرض در بخش گرد مرکزی و حداکثر ۷ کیلومتر در دو بال شمال غربی و جنوب شرقی است و در شرق فیروزآباد و جنوب میمند واقع شده است.توالی سازندها از بختیاری تا ایلام در نورا رخنمون دارند و بدنه اصلی آن را سازندهای آسماری –جهرم تشکیل می دهد. این تاقدیس طویل دارای یک قله تقریبا مدور با رخنمون سروک می باشد که محور غربی آن با پلانژ محور شرقی تاقدیس ددنجان متصل می گردد(معینی و دیگران، ۱۳۸۷).

پدیده هالوکنیزز را میتوان عامل اصلی تشکیل هسته ابتدایی تاقدیس نورا درنظر گرفت که در مراحل تکامل چین خوردگی زاگرس به شکل کنونی درآمده است (شکل۷). این تاقدیس طویل دارای یک قله تقریبا مدور با رخنمون سروک می باشد که محور آن به سمت غرب چرخیده است و با پلانژ تاقدیس چرخیده ددنجان متصل می گردد. بخش چرخیده غربی تاقدیس نورا احتمالا تحت تاثیر حرکت امتداد لغز گسل کره بس بوده است ولی نطفه تشکیل این تاقدیس تحت تاثیر پدیده هالوکنیزز بسبب وجود پله های تکتونیکی در زیر نمک هرمز بوده است. ناهمواری نمایش داده شده در مقطع لرزه ای شکل ۷ در زیر بخش برجسته احتمالا عامل تمرکز نمک برای بالا آمدن این بخش از تاقدیس شده است. وجود پدیده بال نمکی(salt wing) نشان از دگرشکلی نسبتا شدید که باعث جدایش لایه های ضعیف شده است را می دهد(Jackson and Hudec, 2017; Shams et al., 2020). یال غربی قله تاقدیس نورا دارای آثار رشد چینه ای می باشد که رسوبگذاری همزمان با رشد و نفوذ نمک را نشان می دهد. در شمال تاقدیس نورا ، تاقدیس بیضوی شکل مرتفع سیم وجود دارد . تاقدیس سیم در ناودیس شمالی تاقدیس نورا تشکیل شده است که بدلیل وجود ناهمواری تکتونیکی در رسوبات قبل از هرمز واقع در لبه شمالی تاقدیس نورا و جنوبی تاقدیس سیم باعث مهاجرت نمک درست بعد از رسوبگذاری پالئوزئیک شده است و در زمان برخورد زاگرسی شکل کنونی را گرفته اند. نقش لایه های سست و نرم میانی از جمله رسوبات تبخیری دشتک بجز تاثیرات ناحیه ای نقش اساسی در دگرشکلی این تاقدیس نداشته اند.

در نیمرخ لرزه نگاری به وضوح دیده میشود یال جنوبی تاقدیس نورا در محلی که به ناودیس فیروز آباد منتهی میشود یازتابنده ها از پالئوزئیک پایینی با رشد چینه ای حاصل از پدیده هالوکنیزز همراه بوده اند (Shams et al., 2020). بطوری که همزمان با رسوبگذاری از ابتدای پالئوزئیک با فرونشست ناشی از وزن رسوبات از یک طرف و حرکت نمک از ناودیس حاشیه‌ای بسمت قله تاقدیس از طرف دیگر ایجاد یک آنومالی گنبدی شکل نموده است. وجود یک بلندا مهاجرت نمک را به هسته تاقدیس نورا تشدید کرده است بطوری که قبل از چین خوردگی نئوژن زاگرس در محل فعلی تاقدیس نورا احتمالا یک دیواره نمکی باریک وجود داشته که بخش غربی آن در محل نزدیک به دشت فیروزآباد دارای برجستگی بیشتر بوده است و همین تمرکز نقطه ای نمک باعث شده است در زمان چین خوردگی زاگرس ، این تاقدیس دچار چرخش محوری گردد. این نوع ساختار در ستون های نمکی هرمز قدیمی (pre-Hormoz salt diapir) که در معرض دگرشکلی زاگرس قرار گرفته اند بصورت یک جبهه جلو رفته (salient) بروز میکند که همین شکل خود نشاندهنده وجود نمک قدیمی در هسته تاقدیس نورا می باشد که جبهه تراستی جلویی را دستخوش انحنا کرده است (شکل ۷). در گزارشات زمین شناسی هیچ گونه گسل امتداد لغز قابل توجه ای در بخش چرخش محور گزارش نشده است از طرف دیگر در دشت فیروز

اباد وجود یک برش نمکی و بیرون زدگی سازند گوری با نمایی از چینه رشدی، نشان دهنده نفوذ نمک در لایه های بالایی است.

در مقطع لرزه نگاری که از بخش حجیم تاقدیس باووش عبور کرده میتوان تاثیر نمک هرمز را در دگرشکلی تقریبا متقارن یال های شمال و جنوب آن دید. در این مقطع هیچ نشانه ای از فعالیت لایه نرم میانی دشتک در این بخش دیده نمی شود. وجود دو ناودیس تقریبا هم ارتفاع در دو طرف این مقطع لرزه نگاری دو بعدی موید این موضوع است که احتمالا نمک هرمز با فرار از طرفین و نفوذ در بخش مرکزی تاقدیس باعث ایجاد یک گنبد شده که در مراحل بعدی در اثر دگرشکلی زاگرس اولا شیب یال جنوبی بخش حجیم تاقدیس بیشتر شده و ثانیا با چین خوردگی و گسلش پلانژ غربی تاقدیس، باعث ایجاد یک تاقدیس باریک شده است که شکل سیگموئیدال به آن داده است. البته لایه های نرم میانی همچون دشتک بخصوص در تاقدیس مرز (بال شمال غربی) باعث تشدید چین خوردگی در طی فرآیند کوهزایی زاگرس شده است. وجود افتادگی ثقلی که در بخش قله تاقدیس باووش بر روی بازتابهای لرزه‌ای مشاهده می گردد میتواند دلیل دیگری از وجود حجم بالای نمک هرمز قدیمی در بخش هسته این تاقدیس باشد(شکل۸).

تاقدیس گهکم دارای روند شمال غرب – جنوب شرق با ۳۴ کیلومتر طول و۱۰ کیلومتر عرض در بخش گرد مرکزی و حداکثر ۳ کیلومتر در بال شمال غربی است و تاقدیس فراقان نیز با روند شمال غرب – جنوب شرق با ۴۴ کیلومتر طول و ۱۲ کیلومتر عرض در بخش تقریبا گرد مرکزی و حداکثر ۴ کیلومتر در بال جنوب شرقی است. این دو تاقدیس در شمال بندرعباس واقع شده اند.

ورال(۱۹۷۸) در شمال بندرعباس ۶ روند چین و تراست تشخیص داده است و ضخامت اصلی نمک را در این مناطق ۲۰۰۰ متر درنظر گرفته است که در نتیجه مهاجرت نمک از ناودیس ها به تاقدیس ها برای گهکم، فراقان و خوش کوه ضخامت بیش از ۸۰۰۰ متر ارزیابی کرده است.

روند اثر محوری چین ها به تدریج از جهت شمال غرب-جنوب شرق، در بخش های میانی به شرق-غرب و در ناحیه بندر عباس به شمال شرق- جنوب غرب تغییر می نمایند.

چین خوردگی رسوبات کنگلومرای بختیاری و قرارگیری نمک فینو بر روی کنگلومرا و همچنین قرارگیری نمک سرچاهان بر روی رسوبات آبرفتی نشاندهنده جوان بودن فعالیت تکتونیکی و نمکی در این منطقه می باشد(شکل ۹).

نقشه هم ضخامت سازند دالان در برونزد های گهکم، فراقان و خوش کوه و همچنین اطلاعات چاههای نمک و فینو نشاندهنده افزایش ضخامت دالان با روند شمال شرقی می باشد این افزایش ضخامت و رخساره کربناتی توده ای نشاندهنده لبه شمال شرقی قاره آفریقا- عربی می باشد(p.verrall; 1978).

از طرفی در خطوط لرزه نگاری که اخیرا در دشت سرچاهان برداشت شده است، چینه های رشدی را به وضوح نشان میدهد که موید فعالیت نمک هرمز در طی مراحل رسوبگذاری بوده است.(شکل۱۰)

مدل سازی توسط جعبه ماسه (Sand Box modeling)

جهت نشان دادن تاثیرنمک هرمز مدفون قبلی بر شکل و طول موج ظاهری تاقدیس های مرتبط با نمک از مدل سازی توسط جعبه ماسه ای استفاده کرده ایم. مزیت مهم ماسه جهت استفاده برای این نوع آزمایشات همگون بودن آن برای تاثیر دگرشکلی ناشی از وجود یک آنومالی در میان آن است. از ماسه های رنگی جهت لایه بندی برای نمایش نوع دگرشکلی و تاثیر آنومالی ها در ضخامتهای مختلف استفاده شده است.اندازه دانه های ماسه استفاده شده در این آزمایشات توسط دستگاه های دقیق محاسبه شده است. این ماسه ها دارای جور شدگی بر اساس چارت کامپتون (Compton 1962) بصورت جورشدگی متوسط (Moderately sorted) و گرد شدگی آنها بر اساس چارت ام سی پاورز (M.C. Powers 1953) به صورت گرد شده تا نیمه گرد شده (Rounded to Sub rounded) می باشد. دانه بندی در حد متوسط (Medium grained) می باشد اما دانه هایی در حد گرد شده کامل (Fine – Coarse) هم وجود دارد. چگالی ماسه ۱.۵ الی ۱.۵۵ گرم بر سانتی متر مکعب و زاویه اصطکاک داخلی ۳۳ درجه می باشند.از محلول نرم نشاسته ذرت (corn starch cream)جهت نمایش آنومالی استفاده شده است که دارای چگالی ۱.۱ می باشد که نسبت به ماسه دارای کنتراست خوبی است. ویسکوزیته این محلول غیر نیوتنی ۱۰۶ سانتی پواز در دمای ۲۵ درجه محاسبه گردیده است. دستگاه جعبه ماسه، مکعبی با عرض ۲۰ سانتی متر و طول ۲۵ سانتی متر و ارتفاع ۱۰ سانتی متر می باشد و صفحه متحرک با سرعت۱میلی متر در دقیقه در داخل آن حرکت می کند(Shams et al., 2020). ضخامت ستون ماسه ۲.۵ سانتی متر بوده است که آنومالی هایی با قطر ۳ سانتی متر در داخل آنها جایگذاری شده اند. مقادیر ستون ماسه و سرعت حرکت صفحه متحرک نسبت به ستون رسوبگذاری و حرکت صفحات تکتونیکی با نسبت بزرگنمایی ۳.۵ برابر درنظر گرفته شده است(شکل۱۱).

در این آزمایش جهت کمتر کردن اصطکاک از کرم وازلین در کف استفاده شده است. در آزمایش اول یک آنومالی در مرکز جعبه ماسه و بین ستون ماسه جایگذاری گردید. جهت نشان دادن تاثیر فاصله قرار گیری آنومالی ها از دیواره متحرک، سه آزمایش انجام گرفت. در هر سه آزمایش یکی از آنومالی ها(آنومالی سمت راست) در فاصله ۱۰ سانتی متری از دیواره متحرک بوده و آنومالی دیگر(آنومالی سمت چپ) بترتیب در فاصله ۲.۵ ، ۵ و ۱۵ سانتی مترنسبت به دیواره متحرک قرار گرفته اند. فاصله دو آنومالی از همدیگر ۶.۵ سانتیمتر می باشد. هر دو آنومالی با فاصله یکسانی از دیواره های ثابت جانبی قرار دارند (شکل۱۲).

تحلیل و بررسی آزمایش ها

آزمایش اول) آنومالی خیلی نزدیک به صفحه متحرک می باشد

با شروع دگرشکلی و بعد از ۴ درصد کوتاه شدگی جبهه موج به جلو آنومالی سمت چپ که در فاصله ۲.۵ سانتی متری صفحه متحرک قرار گرفته است، منتقل شده و بشکل منحنی درمی آید. با ادامه کوتاه شدگی ابتدا بعد از گنبدی شدن، دچار شکستگی در روباره شده و در نهایت با خروج محلول همراه می گردد. در طرف دیگر، آنومالی دورتر از صفحه متحرک که در فاصله ۱۰ سانتی متری قرار گرفته است با جذب تنش باعث انحراف در

جبهه موج شده و بصورت یک تاقدیس گنبدی درمی آید. ارتباط بین این دو آنومالی بصورت یک تاقدیس باریک و کم عرض است(شکل ۱۲الف).

آزمایش دوم) آنومالی نزدیک به صفحه متحرک می باشد

جبهه موج بعد از ۸ درصد کوتاه شدگی انحنای آنومالی سمت چپ که در فاصله ۵ سانتی متری از دیواره متحرک قرار گرفته است را نشان می دهد.و در ادامه دگرشکلی دچار شکستگی در روباره شده و محلول آن خارج می گردد. در طرف دیگر، مشابه حالت قبل یک گنبد ظاهر گشته که دارای شیب های ملایم تر است. ارتباط این دو گنبد نیز همانند آزمایش اول توسط یک تاقدیس باریک و کم عرض می باشد. میزان خروج محلول از آنومالی سمت چپ در آزمایش اول خیلی بیشتر از آزمایش دوم است که نشاندهنده تنش بیشتر و در نتیجه پمپاژ بیشتر محلول می باشد(شکل ۱۲ب).

آزمایش سوم) آنومالی دور از صفحه متحرک می باشد

در این آزمایش تا ۸ درصد کوتاه شدگی نیز آثار مشهودی از گنبد و بالا آمدگی ناشی از آنومالی ها دیده نمیشود در این آزمایش آنومالی سمت چپ در فاصله ۱۵ سانتی متری دیواره متحرک قرار دارد و لذا آنومالی سمت راست با ۱۰ ساتی متر فاصله از دیواره متحرک، اولین نشانه های انحراف جبهه موج را نشان می دهد. در نهایت هر دو آنومالی با ۱۶ درصد کوتاه شدگی فقط بصورت گنبد های ملایم دیده میشوند. ارتباط آنها بصورت یک ناودیس پهن دیده میشود و در جبهه موج قبل از آنها یک فرو افتادگی عمیق مشهود است(شکل۱۲ج).

در همه این آزمایش ها با شروع دگرشکلی ، جبهه جلویی با ایجاد یک برجستگی (salient) در محل آنومالی نزدیک به دیواره متحرک ابتدا باعث نمایان شدن حضور آنومالی می شود. با ادامه دگرشکلی ،آنومالی نزدیک به دیواره متحرک بصورت یک گنبد درآمده و در نهایت با ایجاد گسل های کششی در سطح ، روباره باز شده و روانه ایجاد می گردد. در طرف دیگر، آنومالی دورتر از دیواره متحرک فعال می گردد که نشاندهنده یک نقطه ضعف یا یک لایه نرم در میان لایه صلب تر بوده و با ایجاد برجستگی (salient) در جبهه دگرشکلی نمایان می گردد. لایه صلب ماسه جلو آنومالی ها همچون یک مانع (buttress) عمل می نماید و باعث بالا آمدن ستون لایه نرم می گردند. در این آزمایشات میزان روباره ۲ میلی متر درنظر گرفته شده است ولی اگر این مقدار روباره بیشتر و یا کمتر گردد تاثیر زیادی در نتایج آزمایشات خواهد گذاشت. ارتباط آنومالی ها در این دسته از آزمایشات با تاقدیس های تقریبا کم عرض و کم ارتفاع دیده می شود که بسته به فاصله آنومالی ها از صفحه متحرک شدت و ضعف آن متفاوت است بطوری که در آزمایش اول بدلیل نزدیکی زیاد آنومالی سمت چپ به دیواره متحرک، جبهه های دگرشکلی متاثر از نقطه ضعف بوجود آمده در محل آنومالی، موجب ایجاد روندهایی با طول موج های زیاد و دامنه های کم شده است که با رسیدن جبهه موج به آنومالی دورتر، بسمت آن متمایل شده و ایجاد روندهایی مورب نسبت به جهت حرکت صفحه متحرک کرده است.در این آزمایش جبهه اولین دگرشکلی متاثر از آنومالی نزدیک به صفحه متحرک قرار گرفته و در نتیجه در فاصله حدود ۲ سانتی متری از صفحه متحرک شکل گرفته است.در آزمایش دوم بدلیل فاصله گرفتن آنومالی سمت چپ از صفحه متحرک و نزدیک شدن دو آنومالی به هم، جبهه موج اولیه تحت تاثیر آنومالی و ضخامت ماسه شده است و درنتیجه در

فاصله خیلی دورتر از صفحه متحرک و حدود ۵ سانتی متری آن شکل گرفته است. محصول نهایی ارتباط این دو آنومالی با یک روند مورب نسبت به صفحه متحرک نشان می دهد بدون آنکه خبری از جبهه های دگرشکلی قبلی باشد(شکل۱۲). در آزمایش سوم بدلیل فاصله گرفتن زیاد آنومالی ها از صفحه متحرک، مکان جبهه دگرشکلی اولیه متاثر از ضخامت لایه ماسه می باشد که این مکان در فاصله حدود ۴ سانتی متری از دیواره متحرک است. در کوتاه شدگی های بیشتر تاثیر آنومالی ها بر جبهه دگرشکلی نمایان شده ولی روند های مورب بوضوح آزمایشات قبلی دیده نمیشود.

با مقایسه نتایج آزمایشات و تصاویر ماهواره ای بعضی از تاقدیس های نواحی فارس و شمال بندرعباس به شباهت غیر قابل انکار آنها میتوان پی برد(شکل۱۳).

۳ نتیجه‌گیری

همانگونه که تغییر سازند ها در محیط های رسوبگذاری عامل مهمی در نحوه رفتار آنها نسبت به دگرشکلی و ایجاد پیچیدگی های ساختمانی است ، قرار گرفتن تکتونیکی سازند نرم و قابل انعطاف همچون نمک هرمز نیز در کنار سازند های چگال و صلب می‌تواند ایجاد ساختارهایی نماید که از روند عمومی کمربند چین خوردگی طبعیت ننماید و یا حداقل باعث انحراف در جهت تنش وارده گردد. نمک هرمز عامل مهمی در آنومالی های ساختاری کمربند چین خورده و گسلش زاگرس بازی می کنند که بسته به فاصله آنها از کمربند، عمق نفوذ آنها در بین سازندهای بالاتر از خود ، شکل نفوذشان ، زمان شروع بالاآمدگی و میزان حجم ستون نمکی آنها دارای رفتار های متفاوتی می گردند و ساختار متفاوتی را ایجاد می کنند. در انواعی از این ساختار ها همزمان با رسوبگذاری شدت حرکت رو به بالای نمک محسوس بوده و ایجاد رشد چینه ای در رسوبات سنوزئیک و ترشیاری نموده اند. یکی از این نوع ساختارها همانگونه که در مدل سازی تجربی دیدیم، ساختار سیگوئیدال می باشند که به نمک های مدفون قدیمی و عملکرد لایه های نرم میانی مربوط می گردند. این ساختار ها بصورت کلی دارای دو بخش می باشند ۱- بخش گرد و حجیم که محل هسته نمک هرمز قدیمی بوده است ۲- بخش باریک و اصولا کشیده دماغه ها که لایه های نرم میانی در زمان کوهزایی فعال تر هستند. در بعضی از این ساختارهای سیگوئیدال نمک هرمز به سطح رسیده است و ایجاد روانه نمک در سطح زمین نموده است (تاقدیس کفتر) ولی در تعدادی از آنها نمک در هسته تاقدیس باقی مانده است و لایه نرم میانی بعنوان مثال بخش تبخیری سازند دشتک به خصوص در دماغه ها فعالتر هستند. از طرفی عدم افزایش ضخامت تکتونیکی لایه نرم میانی همچون دشتک در بخش حجیم این گونه تاقدیس‌ها می‌تواند موید این نکته باشد که بخش های بالایی تاقدیس ها کمتر تحت تاثیر چین خوردگی بوده اند و از طرفی این موضوع برای بخش های کشیده و داراز پلانژها برعکس بوده بطوری که افزایش ضخامت دشتک موجب جابجایی محوری در آنها نیز گردیده است.

منابع

شمس، ر.، عبدالهی فرد، ا.، بوذری، س.، پورکرمانی، م.، ۱۴۰۲، بررسی ساختارهای سیگموئیدال و ارتباط آنها با لایه

های جدایشی از جمله گنبدهای نمکی مدفون قدیمی در ناحیه فارس و هرمزگان از کمربند چین خورده زاگرس با استفاده از مدل سازی تجربی و اطلاعات لرزه نگاری: مجله پژوهش های علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی

معینی، م.، توکلی، س.، محمدی، پ.، ۱۳۸۷، زمین شناسی ساختمانی تاقدیس نورا: گزارش زمین شناسی ۲۱۸۰ مدیریت اکتشاف نفت

Abdollahie Fard I., Sepehr M. & Sherkati S., 2011, Neogene salt in SW Iran and its interaction with Zagros folding, Geol. Mag. 148 (5–6), 2011, pp. 854–867. Cambridge University Press, doi:10.1017/S0016756811000343

Abdollahie Fard I., Sherkati S., McClay K. &Haq B.U., 2019, Tectono-Sedimentary Evolution of the IranianZagros in a Global Context and Its Impact onPetroleum Habitats, in Farzipour Saein A. (ed.), Tectonic and Structural Framework of the Zagros Fold-Thrust Belt, Developments in Structural Geology and Tectonics 3, 17-28, doi.org/10.1016/B978-0-12-815048-1.00002-0

Ahmadzadeh-Heravi, M., 1990. New concepts of Hormoz formation stratigraphy and problem of salt diapirism in soth Iran. In *Proceeding of symposium on Diapirim with special refrence to Iran*, vol 1.

Al-Husseini, M.I., 2000. Origin of the Arabian plate structures; Amar collision and Nadj rift. Geo Arabia 5, 527e542

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. J. Geol. Soc. London 160 (5), 719–733. http://dx.doi.org/10.1144/0016-764902-135.

Berberian, M., King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Can. J. Earth Sci. 18 (2), 210–265. http://dx.doi.org/10.1139/e81-019

Callot, J.P., Jahani, S., Letouzey, J., 2007. The role of pre-existing diapirs in fold and thrust belt development. In: Lacombe, O., Lavè, J., Roure, F., Vergès, J. (Eds.), Thrust Belts and Foreland Basins. Springer, Berlin, pp. 309–325.

Colman-Sadd, S.P., 1978. Fold development in Zagros simply folded belt, Southwest Iran. AAPG Bullet. 62 (2), 984–1003.

Davoudzadeh, M., 1990. Some dynamic aspects of the salt diapirism in the Southern Iran. In: Symposium on diapirism, pp. 97-109.

Edgell, H.S., 1996. Salt tectonism in the Persian Gulf basin. In: Alsop, G.L., Blundell, D.L., Davison, I. (Eds.), Salt tectonics. Geological Society, London, Special Publications 100, pp. 129–151. 10.1144/GSL.SP.1996.100.01.10.

Falcon, N.L., 1969. Problems of the relationship between surface structure and deep displacements illustrated by the Zagros Range. In: Kent, P.E., Satterhwaite, G.E., Spencer, A.M. (Eds.), Time and Place in Orogeny. Geological Society, London, Special Publications 3, pp. 9–21. 10.1144/GSL.SP.1969.003.01.02.

Harrison, J.V., 1931. Salt domes in persia. J. Inst. Pet. Tech. 17 (91), 300e320.

Jackson, M. P. A., Hudec, M. R., 2017. Structure and evolution of Upheaval Dome: Pinched-off salt diapir or meteoritic impact structure?: Austin, TX, The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, Report of Investigations 262, 93 p.

Jackson, M.P.A., Talbot, C.J., 1994. Advances in salt tectonics. In: Hancock, P.L. (Ed.), Continental deformation. Pergamon Press, pp. 159–179.

Jahani, S., Callot, J.-P., Frizon de Lamotte, D., Letouzey, J., Leturmy, P., 2007. The salt diapirs of the eastern Fars province (Zagros, Iran): A brief outline of their past and present. In: Lacombe, O., Lavè, J., Roure, F., Vergès, J. (Eds.), Thrust Belts and Foreland Basins. Springer, Berlin, pp. 289–308.

Jahani, S., Callot, J.-P., Letouzey, J., Frizon de Lamotte, D., 2009. The eastern termination of the Zagros Fold-and-Thrust Belt, Iran: Structures, evolution, and relationships between salt plugs, folding, and faulting. TC6004. Tectonics 28 (6). http://dx.doi.org/10.1029/2008TC002418.

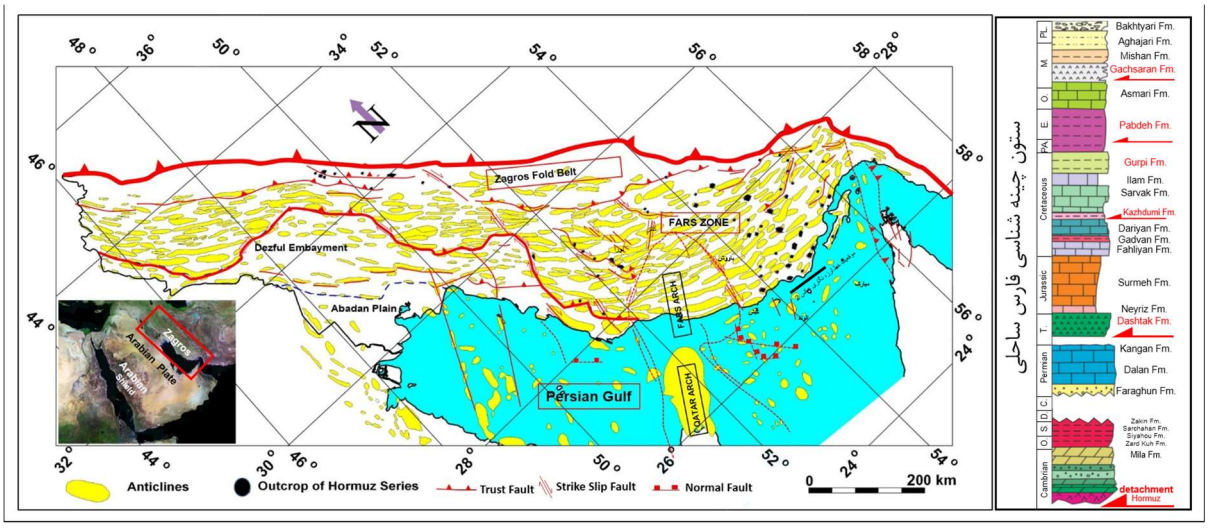
Jahani, S., Hassanpour, J., Mohammadi-Firouz, S., Letouzey, J., Frizon de Lamotte, D., Alavi, S.A., Soleimany, B., 2017. Salt tectonics and tear faulting in the central part of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. Mar. Petrol. Geol. 86, 426–446. http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.06.003.

Lacombe O. and Bellahsen N., 2016, Thick-skinned tectonics and basement-involved fold–thrust belts: insights from selected Cenozoic orogens, Geol. Mag., pp. 1-48, Cambridge University Press, doi:10.1017/S0016756816000078

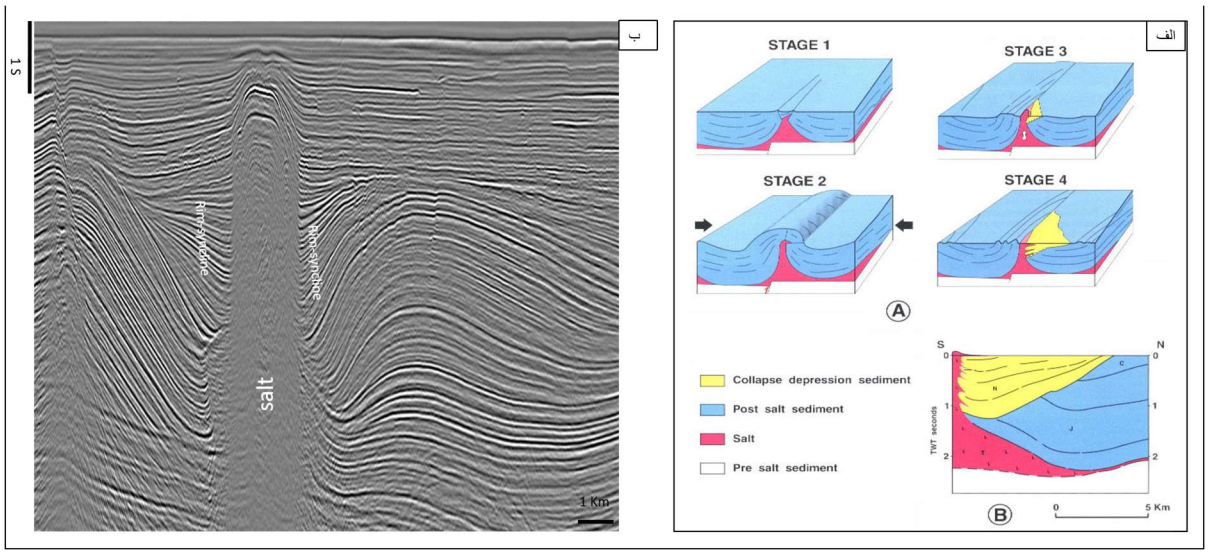
Letouzey, J., Sherkati, S., 2004. Salt movement, tectonic events, and structural style in the central Zagros fold and thrust belt (Iran). In: Paper presented at 24th Annual GCSSEPM Foundation Bob F. Perkins Research Conference: Salt-Sediment Interactions and Hydrocarbon Prospectivity: Concepts, Applications, and Case Studies for the 21st Century, Gulf Coast Section. Houston, Texas, SEPM.

Motamedi, H., Gharabeigli, G.R., 2018. Structural Style in the Fars Geological Province: Interaction of Diapirism and Multidetachment Folding In: Tectonic and structural framework of the Zagros fold thrust belt, pp. 145–158.

Motiei, H., 1995. Petroleum geology of Zagros. Geological Survey of Iran Publication 1e2 (In Farsi), 1e589
Nissen, E., Tatar, M., Jackson, J. A. & Allen, M. B. 2011. New views on earthquake faulting in the Zagros fold-and-thrust belt of Iran. Geophysical Journal International 186, 928–44.
Perotti, C. R., Carruba, S., Rinaldi, M., Bertozzi, G., Feltre, L., & Rahimi, M., 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, 325-352.
Player, R.A., 1969. Salt diapirs study. National Iranian Oil Company, Exploration Division, Tehran, Report No. 1146, unpublished.
Rowan, M.G., 2014. Passive-margin salt basins: hyperextension, evaporite deposition, and salt tectonics. Bas. Res. 26 (1), 154e182. http://dx.doi.org/10.1111/bre.12043.
Shams, R., Abdollahie Fard I., Bouzari, S., Pourkermani, M., 2020. Investigating Role of the Hormuz Salt Bodies in Initiation and Evolution of the Strike Slip Faults in the Fars Zone of the Zagros Fold and Thrust Belt: Insights from Seismic Data and Sandbox Modeling. Pure Appl. Geophys. 177 (2020), 4623–4642 2020 Springer Nature Switzerland AG https://doi.org/10.1007/s00024-020-02521-0
Talbot, C.J., Alavi, M., 1996. The past of a future syntaxis across the Zagros. In: Alsop, G. L., Blundell, D.L., Davison, I. (Eds.), Salt tectonics. Geological Society, London, Special Publications 100, pp. 89–109.
Verrall, P., 1978. The geology of the Bandar Abbas Hinterland, South Fars. GR 1286

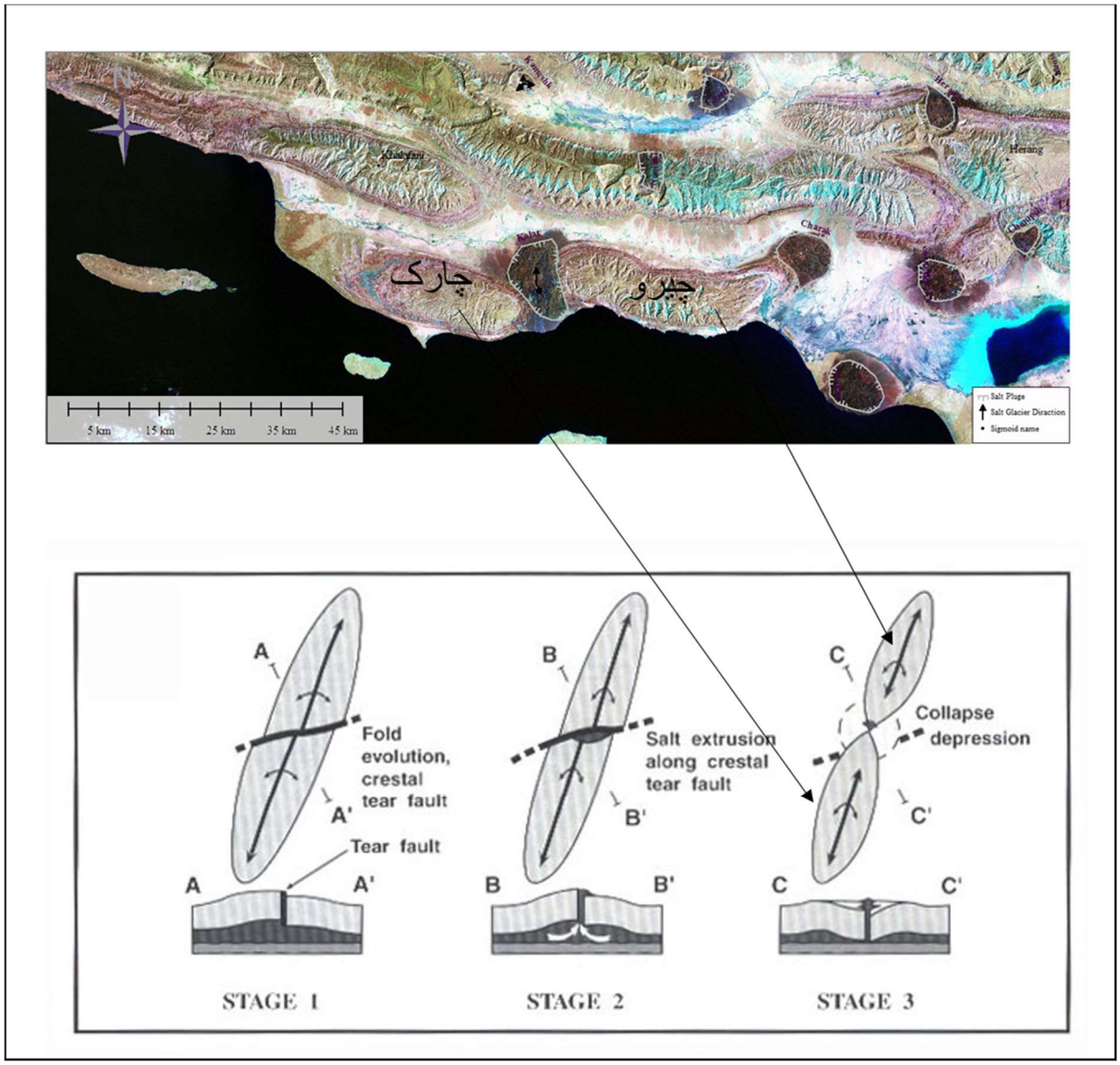


شکل۱: کمربند چین‌خورده و گسلش زاگرس و موقعیت گنبدهای نمکی هرمز در ناحیه فارس و ستون چینه شناسی فارس ساحلی.

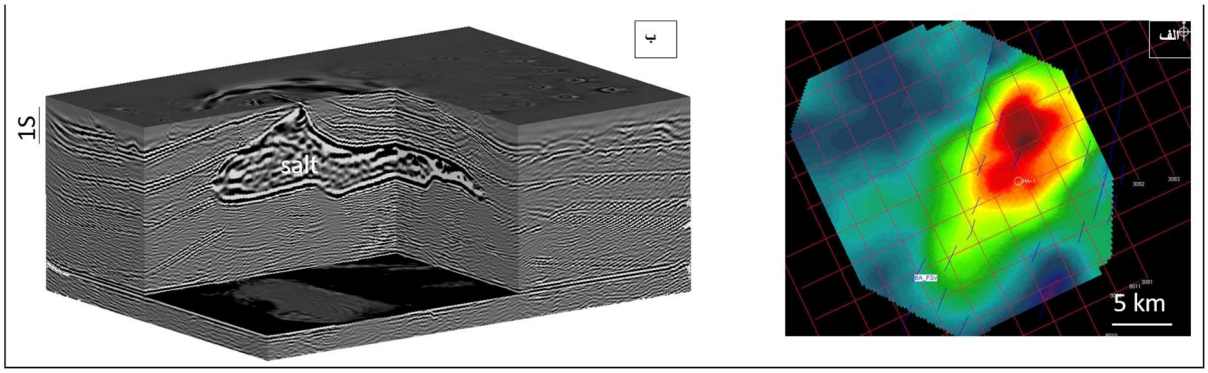


شکل۲: الف) نفوذ نمک در طی مراحل مختلف چین خوردگی در کوههای اطلس، الجزیره(اقتباس از et al., 1994

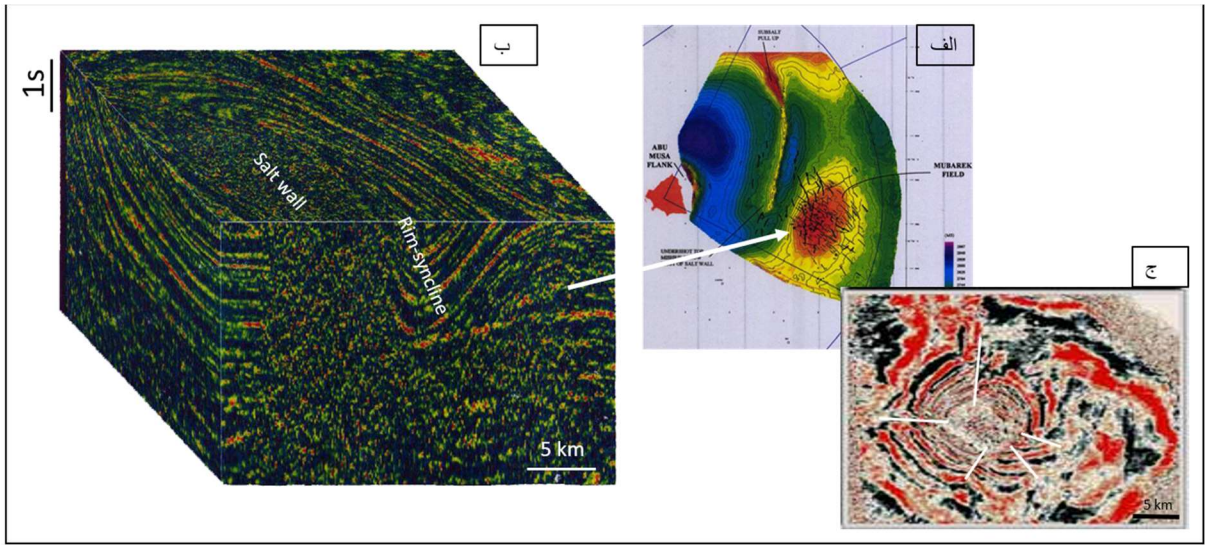
Vially)، ب) مقطع لرزه نگاری خلیج فارس که نشان دهنده ایجاد حوضه‌های حاشیه ای در اطراف گنبدهای نمکی است. در این مثال پیکره نمکی مربوط به نمک معادل سازند آسماری به سن الیگوسن-میوسن است.



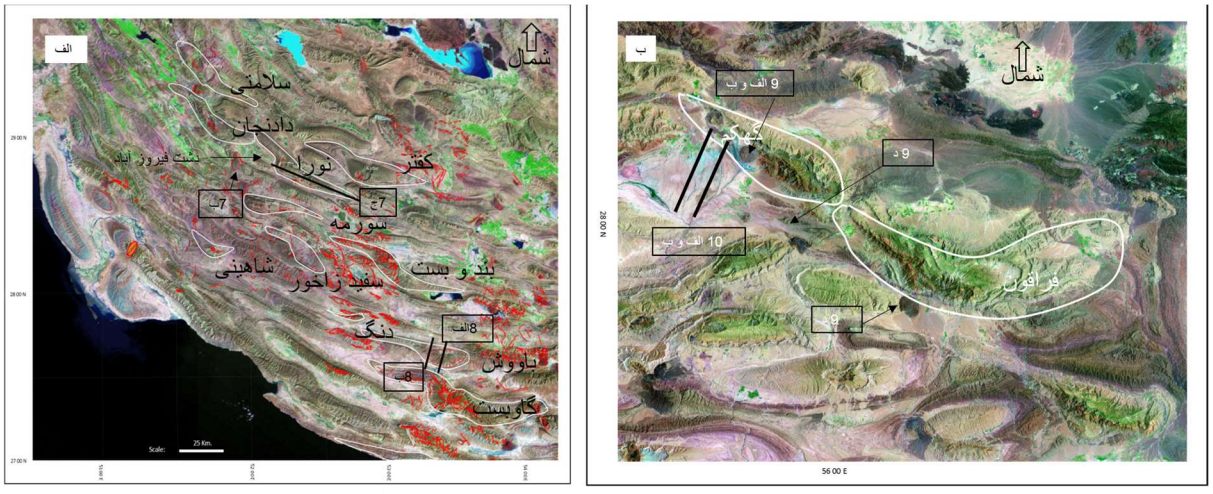
شکل۳: حضور نمک در بخش میانی تاقدیس و تشکیل دو تاقدیس چیرو چارک بعلت انحلال نمک و ریزش در موقعیت ساختار نمکی(اقتباس از Letouzey et al., 1995).



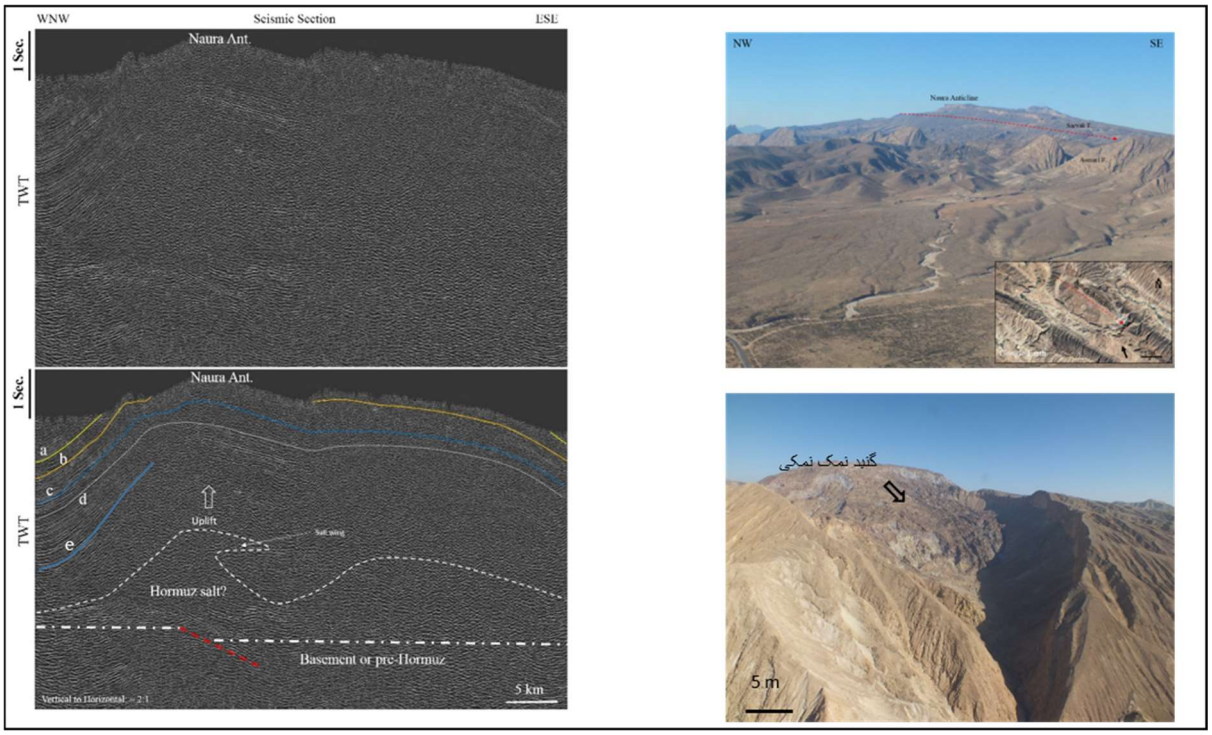
شکل۴: الف) نقشه عمقی سازند داریان در ساختمان نمکی HA، ب) نمونه‌ای ازپیکره نمکی در یک مکعب لرزه‌نگاری سه‌بعدی(تفسیر از دکتر عبدالهی فرد)



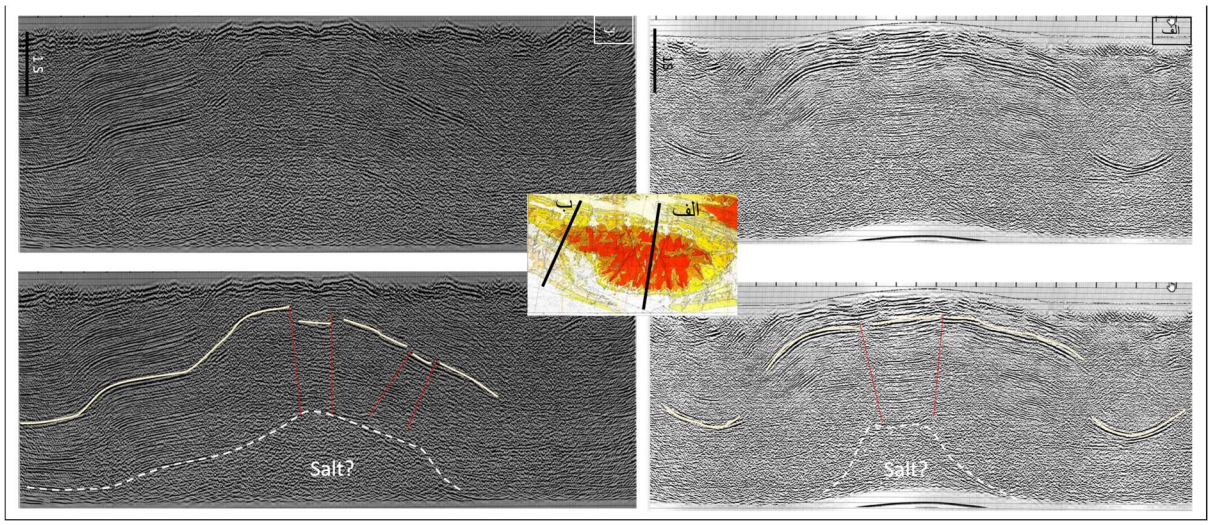
شکل۵:. الف) نقشه عمقی تاقدیس پشت لاک پشتی مبارک، ب) مکعب لرزه‌نگاری سه‌بعدی ساختمان مبارک در خلیج فارس، ج) گسل‌های شعاعی در مقطع زمانی(Time slice)اطلاعات سه بعدی خلیج فارس(موقعیت تاقدیس در عکس۱ نشان داده شده است، تفسیر از دکتر عبدالهی فرد).



شکل۶: موقعیت تاقدیس‌هایی که از نظر شکل ظاهری بصورت سیگوئیدال هستند.

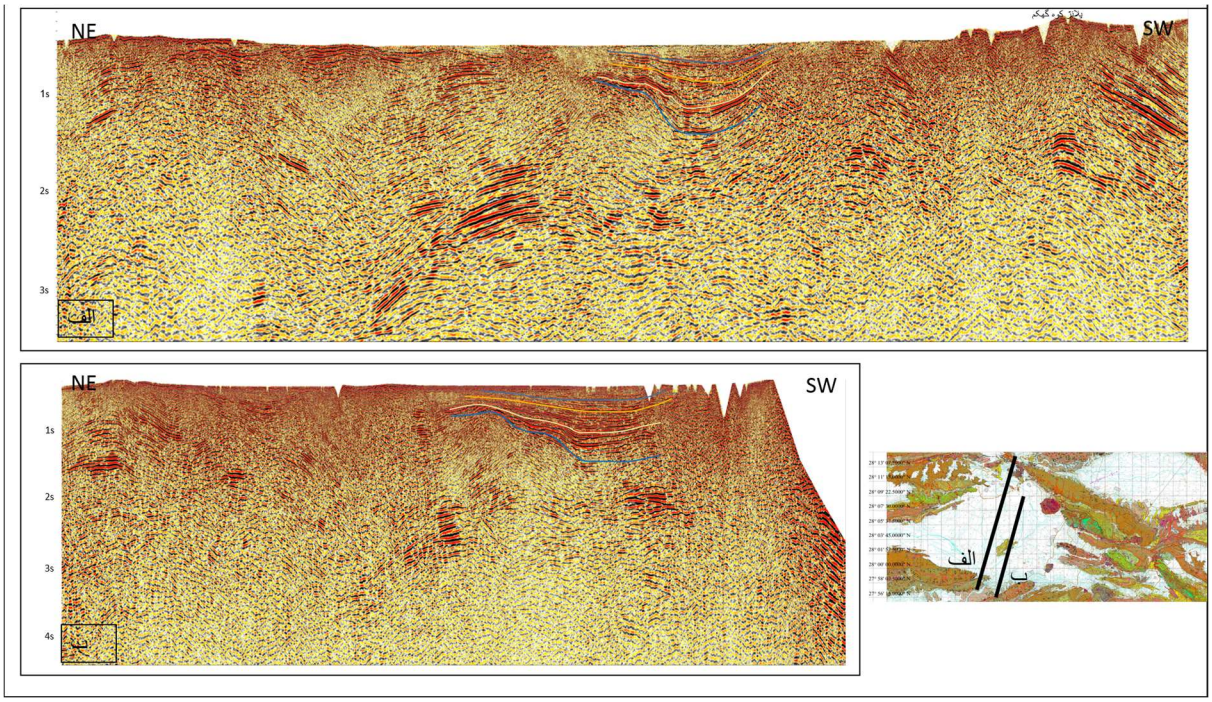


شکل۷: الف) عکس از بخش جنوبی تاقدیس که نشاندهنده گنبدی بودن آن را دارد، ب) وجود نمک‌هرمز در سطح زمین در گنبد نمک نمکی در مجاورت تاقدیس نورا. ج) چینه رشدی که نشاندهنده همزمانی بالاآمدن نمک با رسوبگذاری است در بخش حجیم تاقدیس نورا، سازندهای تفسیر شده به ترتیب از جوانتر به قدیمی تر شامل:a: آسماری، b: سروک، c : دشتک، d: کنگان، e: پالئوزئیک میانی(موقعیت خط لرزه نگاری و تصاویر الف و ب در شکل۶ نشان داده شده است).

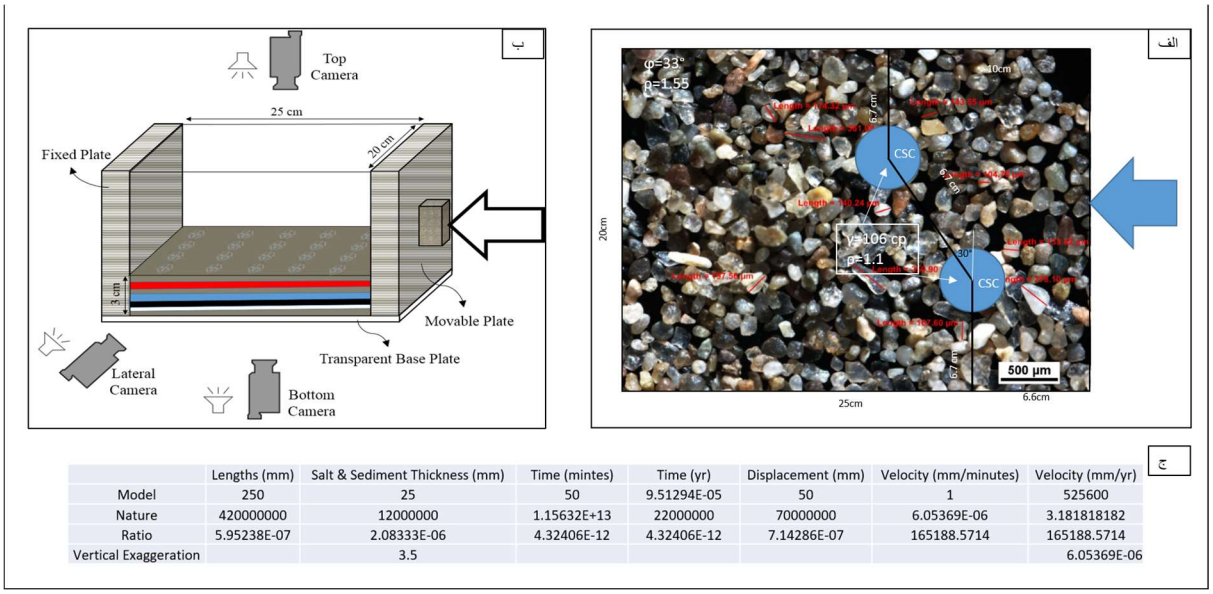


شکل۸: الف) نمایش مقطع لرزه ای از بخش میانی تاقدیس باووش، ب) نمایش مقطع لرزه ای از بخش شرقی تاقدیس باووش، با مقایسه این دو تصویر به تغییرات ساختاری از بخش حجیم به بخش دماغه و افتادگی‌های ثقلی در قله تاقدیس به‌دلیل وجود نمک در هسته پی برد(موقعیت تاقدیس و خطوط لرزه نگاری در عکس۶ نشان داده شده است).

شکل۹: الف و ب) عکس از بخش میانی نمک سرچاهان که نشاندهنده وجود آبرفت های عهد حاضر در زیر نمک می باشد ، ج) وجود نمک‌هرمز در سطح زمین و بر روی کنگلومرای بختیاری در گنبد نمکی در مجاورت تاقدیس فینو. د) کنگلومرای بختیاری بشدت چین خورده که نشاندهنده فازهای آخر تکتونیک در منطقه می باشد. (موقعیت تصاویر در شکل۶ نشان داده شده است).

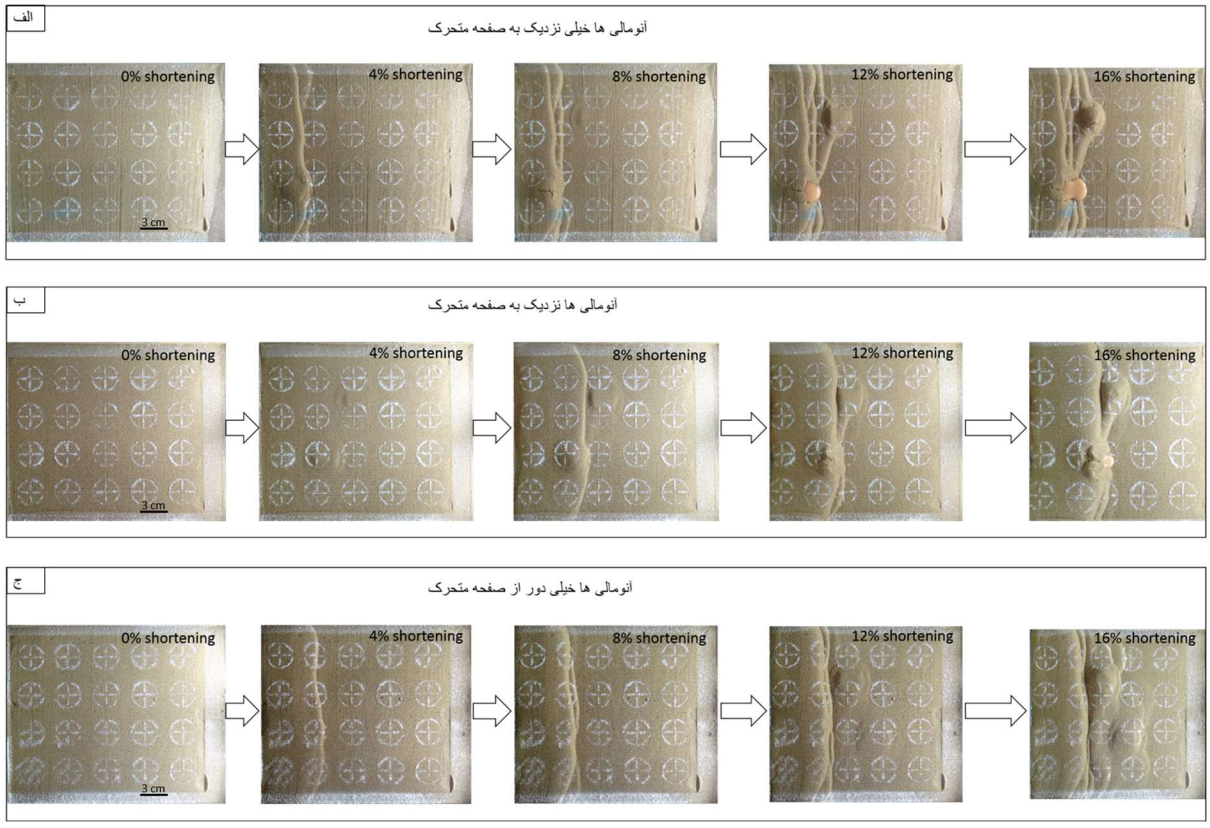


شکل۱۰: الف و ب) نمایش مقطع لرزه ای دشت جنوبی سرچاهان، وجود چینه های رشدی را که موید فعالیت نمک هرمز در زمان رسوبگذاری می باشد را نشان می دهد(موقعیت تاقدیس و خطوط لرزه نگاری در عکس۶ هم نشان داده شده است).



	Lengths (mm)	Salt & Sediment Thickness (mm)	Time (mintes)	Time (yr)	Displacement (mm)	Velocity (mm/minutes)	Velocity (mm/yr)
Model	250	25	50	9.51294E-05	50	1	525600
Nature	420000000	12000000	1.15632E+13	22000000	70000000	6.05369E-06	3.181818182
Ratio	5.95238E-07	2.08333E-06	4.32406E-12	4.32406E-12	7.14286E-07	165188.5714	165188.5714
Vertical Exaggeration		3.5					6.05369E-06

شکل۱۱: الف) طراحی مدل فیزیکی و نحوه قرار گیری آنومالی‌ها در بین ستون ماسه، ب) نمایش شماتیک از دستگاه جعبه‌ماسه ، ج) تناسب بندی بین طول و عرض کمربند چین‌خورده زاگرس و اندازه‌های دستگاه آزمایش که بزرگنمایی حدود ۳.۵ برابر را نشان می‌دهد.



شکل۱۲: نمایش کوتاه‌شدگی در حالتهای مختلف از نظر قرار گیری آنومالی‌ها در فواصل مختلف از دیواره متحرک، در هر سه حالت آنومالی بالایی در مکان ثابت بوده و برابر ۱۰ سانتی متری از صفحه متحرک قرار گرفته است و آنومالی پایینی در فواصل مختلف جایگذاری شده است، الف) آنومالی پایینی در فاصل ۲.۵ سانتی متری از صفحه متحرک قرار دارد، ب) آنومالی پایینی در فاصله ۵ سانتی متری از صفحه متحرک قرار دارد، ج) آنومالی پایینی در فاصله ۱۵ سانتی

متری از صفحه متحرک قرار دارد.

شکل۱۳: الف) شکل سیگموئیدال در یکی از آزمایشات ماسه ای با دو آنومالی، ب و ج) نمایش تصویر ماهواره ای از شکل سیگموئیدال تاقدیس کفتر، نورا و باووش ج) نمایش تصویر ماهواره ای از شکل سیگموئیدال تاقدیس گهکم و فراقون و همچنین خروج نمک در تاقدیس هندان و تشابه سازی آن با مدل آزمایشگاهی