Shahid Beheshti University

Researches in Earth Sciences

Journal homepage: https://esrj.sbu.ac.ir

Research Article

Sigmoidal structures and their relationship with detachment layers including pre-exist Hormuz salt in Fars and Hormuzgan Zones of the Zagros Fold and Thrust Belt: Insights from experimental modeling and seismic data

Reza Shams[*1], Iraj Abdollahie Fard[2], Soheila Bouzari[1], Mohsen Pourkermani[1]

1-Department of Geology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2-Department of Tectonic Geology, National Iranian Oil Company, Tehran, Iran

Received: 09 Mar 2023 Accepted: 15 Jul 2023

Extended Abstract

Introduction: The Fars and Hormuzgan Zones characterized by the outcrops and sub-crops of Precambrian-Cambrian Hormuz Salt. 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. The presence of anomalies in buried salt domes plays an important role in this inequality, and for example, sigmoid-shaped anticlines can be mentioned.

Materials and methods: We arranged a sand box model to review structural evolution of the study area. In this experiment, we tried to simulate behavior of a viscous layer representing the Hormuz Salt at different stages. This modeling was done with the objective of revealing role of the pre-exist Hormuz Salt bodies in geometry of the study area structures. The apparatus for this experiment is consists of four plates at four side of the sand box with the size of 20 × 25 cm. At the first stage of experiment we attempted to construct two column of Corn starch cream whit 3 cm diameter in sand layer to simulate expected pre- exist Hormuz salt. Three experiments were performed to indicate the effect of anomalies from the moving wall. Finally pattern of circles overlaid on the flat surface of the last dry sand layer. Total thickness of dry sand layers is 3 cm. In the last stage, shortening applied by the moving wall with a rate of 1 mm/min. This stage simulates superimposition of the Zagros Orogeny on the paleo-structures which were formed earlier than onset of the Zagros movements.

Results and discussion: Role of the basal and intermediate detachments of the Zagros Belt in deformation development in form of folds and thrusts have widely been discussed and the Hormuz Salt efficiently controlled fold wavelength in the Fars and Hormuzgan area. For instance, divergence reflectors (growth strata) beneath the syncline between Naura & Firouzabad anticlines denote early Hormuz Salt movement due to halokinesis. Results of the sandbox experiment confirm this matter as deformation in corn starch cream column and sand. Folding and thrusting happened at both sides of this column zone. In contrast, sigmoidal shape happened.

Conclusion: When the Zagros Orogeny shortened the belt, the localized Hormuz Salt bodies mainly affected geometry of the shallow structures. Therefore, structural evolution of the study area is simply summarized in two pre-Zagros halokinesis and the Zagros shortening stages. In fact, the Zagros compressional forces facilitated salt movement in form of salt diapirs as seen in the experiment. The results of this study also emphasis on importance of pre-exist salt body to unconventional shape folding whit one or both narrow and linear plunges.

Keywords: Sigmoidal structure, Zagros Belt, Sand box modeling, Hormuz salt.

Citation: Reza Shams, Iraj Abdollahie Fard, Soheila Bouzari, Mohsen Pourkermani (2023). Sigmoidal structures and their relationship with detachment layers including pre-exist Hormuz, *Res. Earth. Sci:* 14(3), (1-14) DOI: 10.48308/ESRJ.2022.102099

* Corresponding author E-mail address: geoshams1352@gmail.com

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

پژوهشهای دانش زمین
Journal homepage: https://esrj.sbu.ac.ir

بررسی ساختارهای سیگموئیدال و ارتباط آنها با لایه‌های جدایشی از جمله گنبدهای نمکی مدفون قدیمی در ناحیه فارس از کمربند چین‌خورده زاگرس با استفاده از مدل‌سازی تجربی و اطلاعات لرزه-نگاری

رضا شمس*[۱]، ایرج عبدالهی فرد[۲]، سهیلا بوذری[۱]، محسن پور کرمانی[۱]
۱-گروه زمین‌شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲-گروه زمین‌شناسی تکتونیک، اداره زمین‌شناسی در مدیریت اکتشاف نفت تهران، تهران، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۱۸ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۲۴

چکیده گسترده

مقدمه: ناحیه فارس در شرق کمربند زاگرس توسط رخنمون‌های پرکامبرین – کامبرین سری هرمز شناخته می‌شود. از ابتدای رسوبگذاری پالئوزوئیک طی فرآیند Halokinesis، نمک هرمز در بعضی از نقاط شروع به بالا آمدن کرده و با ایجاد حوضه‌های کوچک (mini-basins) در اطراف خودش باعث ضخامت متغیر رسوبات پالئوزئیک شده است. در مراحل تکوین زاگرس، تاقدیس‌های با ابعاد و طول موج مختلف تشکیل می‌شوند که یکی از دلایل اصلی آن ناشی از غیر همسان بودن رسوبات در بخش‌های مختلف کمربند زاگرس است. وجود آنومالی‌هایی از گنبدهای نمکی مدفون نقش بسزایی در این ناهمسانی دارند و برای نمونه به تاقدیس‌هایی با شکل سیگموئیدال می‌توان اشاره کرد.

مواد و روش‌ها: جهت نشان دادن تاثیرنمک هرمز مدفون قبلی بر شکل و طول موج ظاهری تاقدیس‌های مرتبط با نمک از مدل‌سازی توسط جعبه ماسه‌ای استفاده کرده‌ایم. در این آزمایشات از محلول غلیظ برای نقش نمک هرمز استفاده شده است. دستگاه جعبه ماسه، مکعبی با عرض ۲۰ سانتی متر و طول ۲۵ سانتی‌متر است (شکل ۹). در ابتدا دو ستون از محلول غلیظ نشاسته ذرت با قطر ۳ سانتی‌متر در میان ضخامت ماسه قرار داده شد تا نقش نمک هرمز مدفون شده قدیمی را در میان رسوبات بازی کند. جهت نشان دادن تاثیر فاصله قرارگیری آنومالی‌ها از دیواره متحرک، سه آزمایش انجام گرفت. در نهایت جهت نشان دادن وضعیت تنش‌های وارده در اثر کوتاه شدگی از دوایر استرین در سطح همتراز شده ماسه‌ها استفاده گردید. مجموع ضخامت ماسه‌ها ۳ سانتی‌متر می‌باشد. در مرحله آخر با حرکت صفحه متحرک با سرعت ۱ میلی‌متر در دقیقه، عملیات کوتاه شدگی تا ۱۶ درصد انجام گرفت که نماینده کوتاه‌شدگی در کمربند زاگرس می‌باشد.

نتایج و بحث: لایه‌های سست عمیق و میانی نمک هرمز در توسعه تغییر شکل کمربند زاگرس نقش بسزایی داشته و به‌طور گسترده‌ای باعث تغییر طول موج چین‌ها و ایجاد گسل‌ها در زون فارس و هرمزگان شده‌اند. به عنوان مثال همگرایی رفلکتورهای لرزه‌ای (چینه رشدی) در ناودیس بین تاقدیس نورا و تاقدیس فیروز آباد نشان‌دهنده فعالیت نمک هرمز طی فرآینده هالوکنیزز بوده است. نتایج آزمایشات جعبه ماسه تاثیر وجود ستون محلول غلیظ در میان ضخامت ماسه را نشان داد. چین خوردگی و تراست خوردگی باعث ایجاد ساختارهای سیگموئیدال گردید.

نتیجه‌گیری: تاقدیس‌های سیگموئیدال در ناحیه فارس از کمربند چین‌خورده زاگرس می‌توانند متاثر از حضور پیکره‌های نمک‌هرمز با ابعاد و ضخامت متفاوت به وجود بیایند. این پیکره‌ها قبل از مرحله دگرشکلی زاگرس بالا آمده بودند و در اثر عملکرد دگرشکلی زاگرس در جائی که ضخامت و ابعاد پیکره نمکی زیاد بود تاقدیس‌های عریضی شکل گرفته است و در مقابل، دماغه‌های دو طرف کم عرض و کشیده شدند.

واژگان کلیدی: ساختارهای سیگموئیدال، کمربند زاگرس، مدل‌سازی جعبه ماسه، نمک هرمز.

استناد: رضا شمس، ایرج عبدالهی فرد، سهیلا بوذری، محسن پور کرمانی (۱۴۰۲). بررسی ساختارهای سیگموئیدال و ارتباط آنها با لایه‌های جدایشی، پژوهشهای دانش زمین: ۱۴(۳)، (۱۴-۱)، DOI: 10.48308/ESRJ.2022.102099

* نویسنده مسئول: E-mail: geoshams1352@gmail.com

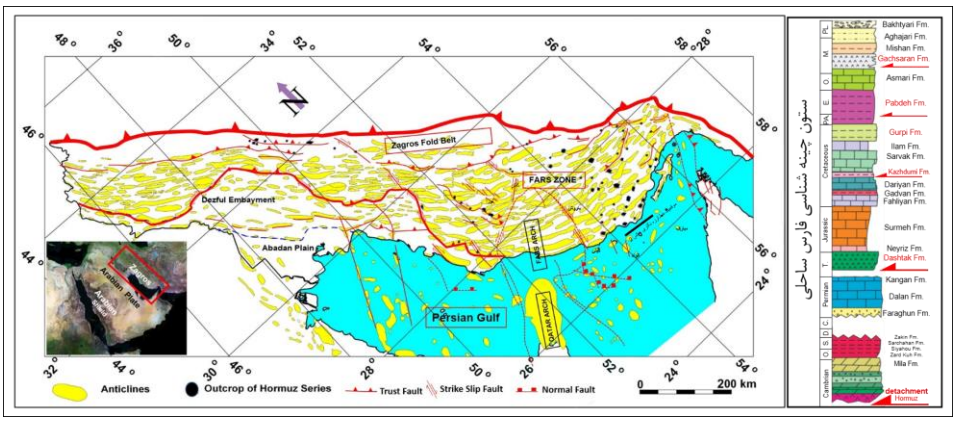
Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

شناخت اثرات تکتونیک نمک برای صنعت اکتشاف نفتی از آنجایی که بیش از ۱۳۰ حوضه رسوبگذاری تحت‌تاثیر توده‌های نمکی هستند مهم است (Jackson and Hudec, 2017). تاثیر لایه‌های نمک از دیرباز مورد بررسی قرار گرفته و نقش لایه‌های ضخیم نمک در کنترل تغییر شکل و طول موج ساختاری با توجه به مطالعات سطحی(ویژگی‌های رخنمون‌ها) و زیر سطحی (به عنوان مثال اطلاعات چاه و لرزه‌نگاری) و فن‌آوری‌های مدل‌سازی(عددی و فیزیکی) شناخته شده است. بالا آمدن نمک هرمز پرکامبرین – کامبرین از پرمین‌پسین (Motiei, 1995) و غالباً کرتاسه‌پسین (Motamedi and Gharabeighli, 2018) قبل از برخورد نئوژن گزارش شده است (Jackson and Hudec, 2017). فراوانی ساختارهای نمکی بیرون‌زده، نواحی فارس و هرمزگان را یکی از ویژه‌ترین مناطق Halokinetic دنیا کرده است. در نیمرخ‌های لرزه‌نگاری خلیج فارس (Jahani et al, 2017) ساختارهای نمکی نشان‌دهنده افزایش ضخامت لایه از قله تاقدیس‌ها تا ناودیس‌های مرتبط با فرار نمک از ناودیس‌های حاشیه‌ای می‌باشند که این ویژگی گواه بر بالاآمدگی پیش رونده از زمان پالئوزئیک و ایجاد حوضه‌های رسوبگذاری کوچک جانبی است (Jackson and Talbot, 1994). تفاوت در میزان رسوبگذاری محتمل‌ترین سازوکار برای شروع و حرکت در حوضه نمک‌هرمز اوایل پالئوزئیک است (Jahani et al, 2017; Shams et al, 2020). گسل‌های کششی عمیق بخش‌های بزرگ سنگ‌بستر یک نقش اساسی در کنترل آشفتگی و تغییرات ضخامت نمک‌هرمز (Jackson and Hudec, 2017) و تحریک و تمرکزیافتگی دیواره‌های نمکی و دیاپیرها بازی می‌کند (Rowan, 2014). این نشان می‌دهد که بخشی از Halokinesis می‌تواند در طول گسل‌های کششی پرکامبرین – کامبرین تمرکز یابد. سوالات اساسی نقش و رفتار این نمک‌های مدفون در طی فرآیند تکوین کمربند زاگرس است. سوال دیگر این است که آیا وجود این آنومالی‌ها عامل اساسی در ایجاد اشکال سیگموئیدی تاقدیس‌ها دارند. این اشکال دارای یک بخش عریض تقریبا نیم‌کره‌ای با یک یا دو دماغه گاها کشیده و دراز در دو طرف آن می‌باشد که معمولا قله تاقدیس در بخش عریض آن قرار گرفته است. هدف از این مطالعه، بررسی تاثیر لایه‌های جدایشی و گسسته بویژه نمک هرمز به عنوان لایه جدایشی زیرین(Basal detachment) در میان رسوبات بالایی آنها در طی فرآیند تکوین زاگرس بر ابعاد و شکل تاقدیس‌ها می‌باشد. استفاده از مدل‌سازی تجربی با جعبه‌ماسه(Sand box modeling) می‌تواند درک بهتری از نقش آنومالی‌ها در تشکیل ساختارهای نامتعارف در چین خوردگی کمربند زاگرس ارائه نماید. این ساختارهای قدیمی اهمیت ویژه‌ای در مهاجرت هیدروکربور در طی دوران‌های مزوزئیک و ترشیاری داشته‌اند.

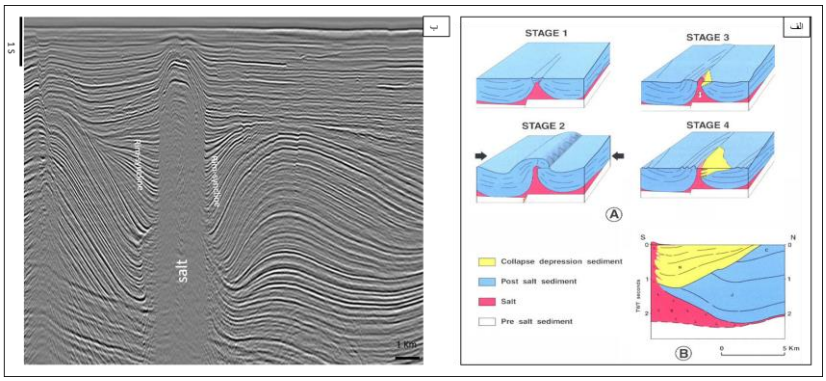
پراکندگی گنبدهای نمکی

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 می‌شود (شکل ۱). گنبدهای نمکی مذکور در سطح زمین رخنمون دارند ولی در این میان برخی گنبدهای نمکی تاکنون به سطح زمین راه نیافته‌اند و شناسایی آنها از طریق مطالعات ژئوفیزیکی و یا شواهد موجود در سطح میسر است.

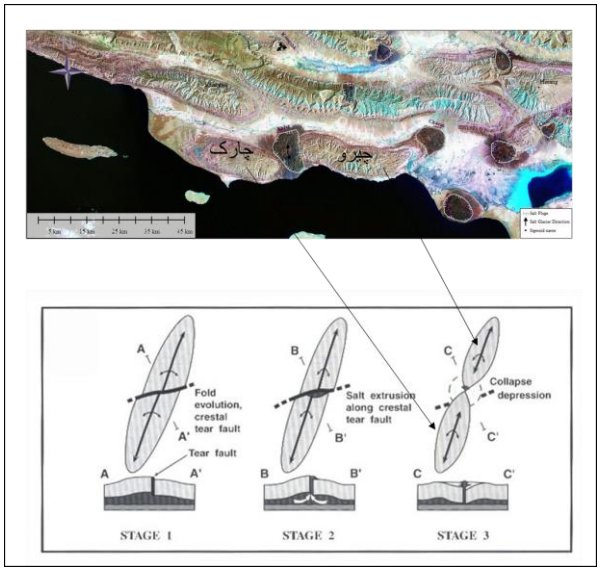


شکل ۱: کمربند چین‌خورده و گسلش زاگرس و موقعیت گنبدهای نمکی هرمز در ناحیه فارس و ستون چینه‌شناسی فارس ساحلی.

کمربند چین و تراستی زاگرس(Zagros Fold Thrust Belt, 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 and King, 1981). تکامل این کمربند همچنین نتیجه بازشدگی پرمین-تریاس (توسعه گسل‌های کششی) و بالاراندگی افیولیت‌های کرتاسه پایینی (تغییر تصویر تکتونیکی زاگرس و تولید یک حوضه انعطاف‌پذیر پیش بوم) می‌باشد (Abdollahie Fard et al, 2019). این کمربند توسط گسل‌های تراستی و امتدادلغز به چندین زون تقسیم شده است. پراکندگی سری هرمز در نواحی هرمزگان و فارس توسط ساختارهای گرابنی و نیم گرابنی 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 and Bellahsen, 2016). سری هرمز به‌عنوان قدیمی‌ترین رسوبات کمربند زاگرس تصور می‌شود (Colman-Sadd, 1978; Falcon, 1969) که توسط یک توالی رسوبی ضخیم پوشیده شده است. از طرف دیگر بازتاب‌های لرزه‌ای در نیمرخ‌های لرزه‌نگاری می‌تواند مربوط به رسوبات قبل از هرمز باشد (Jahani et al, 2009) که نشانگر پوشش رسوبی خیلی ضخیم روی سنگ بستر بلورین زاگرس است. نمک هرمز به سن پرکامبرین پیشین، پایین ترین واحد سری هرمز است (Ahmadzadeh-Heravi, 1990) و در حوضه‌های تبخیری محدود نهشته شده‌اند (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 لایه‌های رویی (Mukherjee et al, 2010) و در اشکال متفاوتی از ساختارهای نمکی همچون تاقدیس‌ها یا دیواره‌های نمکی نفوذ کرده‌اند (شکل ۲). گسل‌های شعاعی یکی شایع‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی است که در ارتباط با نفوذ نمک در رسوبات رویی آن قابل ردیابی است. ساختارهای وابسته به نمک به خصوص دیاپیرهای نمکی زون هرمزگان و فارس از قرن ۱۹ به دلیل اهمیت اقتصادی آنها به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Harrison, 1931; Nicaise et al, 2011). دیاپیرهای 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 لایه‌های جدایشی به خصوص 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 دیاپیرهای نمکی مدفون نزدیک به سطح زمین که تحت-تاثیر کوتاه‌شدگی زاگرس قرار گرفته‌اند باعث تغییرات رئولوژی سنگ‌ها شده و می‌توانند باعث ایجاد اشکال متفاوتی از تاقدیس‌ها شوند. شکل و اندازه لایه‌های جدایشی در بین لایه‌های صلب نیز خود منشاء تغییرات زیادی در ابعاد تاقدیس‌های مرتبط با تکتونیک این نوع از ساختارها می‌گردد (شکل ۳).

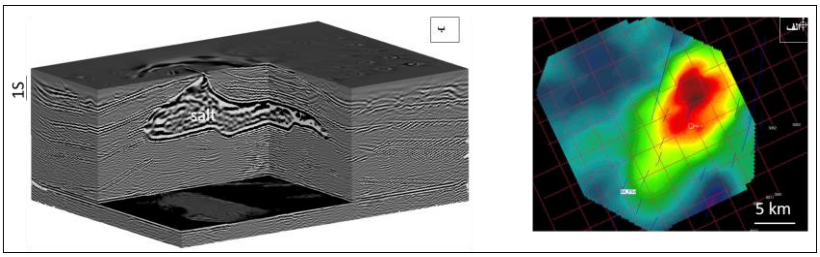


شکل ۲: الف: نفوذ نمک در طی مراحل مختلف چین خوردگی در کوه‌های اطلس، الجزیره (Vially et al, 1994)، ب: مقطع لرزه‌نگاری خلیج فارس که نشان دهنده ایجاد حوضه‌های حاشیه‌ای در اطراف گنبدهای نمکی است. در این مثال پیکره نمکی مربوط به نمک معادل سازند آسماری به سن الیگوسن - میوسن است.

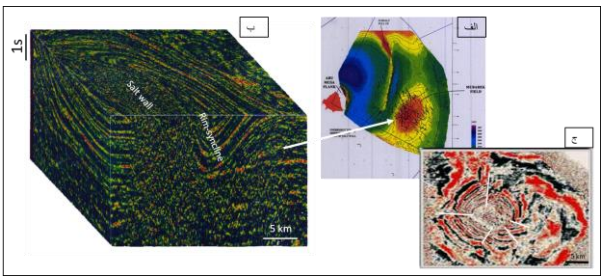


شکل ۳: حضور نمک در بخش میانی تاقدیس و تشکیل دو تاقدیس چیرو چارک به علت انحلال نمک و ریزش در موقعیت ساختار نمکی (Letouzey et al, 1995).

در برخی موارد نمک هرمز در اعماق زیاد حالت پهن پیدا کرده و در سطح شاهد ساختار گرد و بزرگی همانند جزیره کیش هستیم. زمانی که دیاپیر به صورت ستونی بالا می‌آید چون سطح تماس کمتری (با توجه به مقطع افقی کوچک آن) با سنگ‌های روباره دارد بنابراین دارای توان بیشتری جهت قطع کردن لایه‌های بالایی و رسیدن به سطوح کم عمق است. ساختمان سیری الوند (شکل ۱) در بخش میانی خلیج فارس نمونه چنین ساختاری در مقایسه با ساختمان کیش در نزدیکی آن است (شکل ۴). اشکال دیگری همچون قارچی و یا شاخه شاخه برای گنبدهای نمکی هرمز برشمرده شده است. بررسی شکل گنبدها می‌تواند به شناسایی مکانیسم بالا آمدن آنها کمک نماید. گاهی گسل‌های شعاعی نیز می‌تواند نشان‌دهنده فعالیت نمک‌هرمز باشد (شکل ۵).



شکل ۴: الف: نقشه عمقی سازند داریان در ساختمان نمکی HA، ب: نمونه‌ای از پیکره نمکی در یک مکعب لرزه‌نگاری سه‌بعدی (تفسیر از دکتر عبدالهی فرد).



شکل ۵: 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 عکس ۱ نشان داده شده است، تفسیر از دکتر عبدالهی فرد).

تعدادی از گنبدهای نمکی ناشی از تمرکز یافتگی نقطه ای یک دیواره نمکی حاصل شده‌اند (Jahani et al, 2017) که در نهایت به سطح زمین رسیده‌اند. گنبدهای نمکی را می‌توان براساس میزان فرسایش یافتگی روانه نمک و قطعات بیگانه درون آنها که نشان‌دهنده سن تشکیل و ظهور آنها به سطح زمین است، نیز تقسیم‌بندی نمود (Jahani et al, 2007). با توجه به اینکه عمق نفوذ نمک هرمز در طی پالئوزئیک متفاوت می‌باشد لذا ساختارهای مرتبط با آنها که در طی کوتاه‌شدگی کمربند زاگرس شکل گرفته‌اند دارای مشخصات منحصر به فردی هستند.

حرکت نمک یا Halokinesis

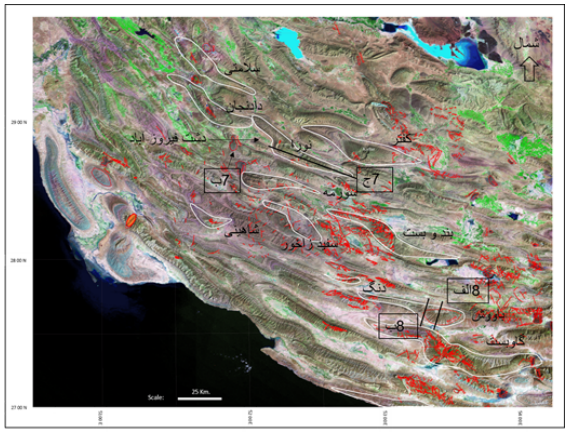
حرکت نمک هرمز در اکثر دیاپیرهای ناحیه فارس از اواخر کرتاسه (Harrison, 1930; Kent, 1958; Player, 1969; Edgell, 1996; Talbot and Alavi, 1996; Bahroudi and Koyi, 2003; Letouzey and Sherkati, 2004; Callot et al, 2007, 2012; Jahani et al, 2007, 2009, 2017; Perotti et al, 2011) و در بعضی از آنها از اواخر پرمین (Motiei, 1995) شروع شده است. داده‌های لرزه‌نگاری تاقدیس کیش غربی نشانگر حرکت نمک در پالئوزئیک پیشین و قبل از پرمین است. دیاپیرهای نمک هرمز بیشتر در جنوب شرقی فارس و خلیج فارس متمرکز شده‌اند. این حجم از ساختارهای نمکی و مرتبط با نمک یکی از باشکوه‌ترین مناطق هالوکنیتیک (Halokinetic provinces) را در دنیا رقم زده است. تعدادی از نیمرخ‌های لرزه‌نگاری خلیج فارس فعالیت و حرکت نمک از ابتدای پالئوزئیک (Jahani et al, 2009) با ایجاد حوضه‌های کوچک جانبی(Lateral mini-basins) و ناودیس‌های حاشیه ای(Rim syncline) باعث افزایش ضخامت رسوبات در اطراف و نازک شدگی آنها در قله این آنومالی‌های نمک شده‌اند (Jahani et al, 2007, 2009, 2017; Jackson and Talbot, 1994). بنابراین شروع گنبدی شکل(Doming) و چینه رشدی(Growth Strata) بیشتر گنبدهای نمکی از ابتدای پالئوزئیک شروع شده و تا زمان حال ادامه داشته است (Jahani et al, 2017). حوضه‌های حاشیه‌ای درست بعد از رسوبگذاری نهشته‌های غیر نمکی بر روی نمک هرمز تشکیل می‌شوند این فرآیند به خصوص در محل‌هایی که تجمع و ضخامت برجای نمک به دلیل گودال‌های(Graban) ایجاد شده از گسل‌های کششی پرکامبرین زیاد می‌باشد، تشدید می‌گردد. در این فرآیند به دلیل شناوری نمک از یک طرف و وزن رسوبات بالایی از طرف دیگر باعث فرونشست رسوبات در اطراف آنومالی‌ها و حرکت نمک از گودال‌ها به بلنداها(Horst) می‌گردد. با تمرکز نمک بر روی لبه توپوگرافی‌های رسوبات زیر نمک، دیواره‌های نمکی و یا قارچ‌های نمکی ایجاد می‌گردد. گسل‌های کششی عمیق پرکامبرین در رسوبات زیر نمک هرمز نقش اصلی را در ایجاد این دیواره‌های نمکی و حوضه‌های حاشیه‌ای آنها دارند (Jahani et al, 2017). مقاطع لرزه‌ای خلیج فارس نشان می‌دهد که ساختارهای مرتبط با نمک هرمز در انتهای پالئوزئیک تقریبا مدور بوده و تغییرات در میزان رسوبگذاری قله نسبت به حاشیه‌ها و یا فرسایش بیشتر قله‌ها نسبت به حاشیه‌ها باعث همگرایی بیشتر نمک به سمت قله گردیده است (شکل ۲).

منطقه مورد مطالعه

توصیف زمین‌شناسی ساختارهایی با اشکال متفاوت به ویژه سیگموئیدال

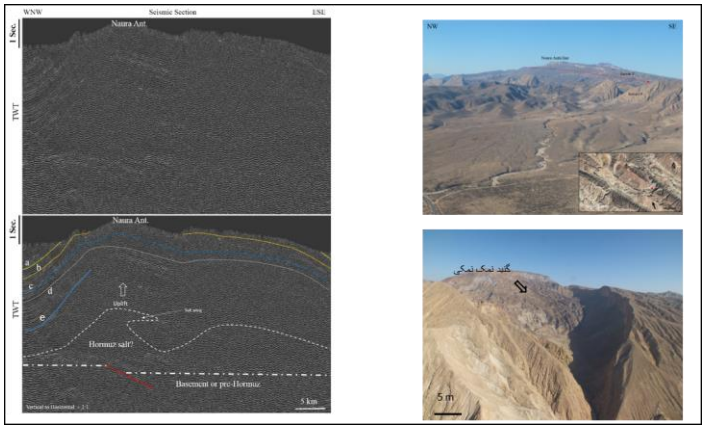
اگرچه برای اکثر تاقدیس‌های گنبدی نمی‌توان روند مشخصی تعیین نمود با این حال روند بیشتر تاقدیس‌هایی که یک یال یا هر دو یال کشیده و باریک دارند دارای روند شمال غرب جنوب شرق هستند. مهمترین تاقدیس‌هایی که در ناحیه فارس اصطلاحاً سیگوئیدال هستند عبارتند از: سلامتی، دادنجان، نورا، سورمه، شاهینی، کفتر، سفیدزاخور، بندوبست، دنگ، باووش، گاوبست، خلفانی، هرنگ و تاقدیس‌شو (شکل ۶). تعدادی از آنها از جمله سلامتی، دادنجان، کفتر، شو و هرنگ دارای رخنمونی از نمک هرمز می‌باشند. بقیه تاقدیس‌های گنبدی، شکل تقریبا مدور در بخش مرکزی تاقدیس دارند. موضوعی که این تاقدیس‌ها را از دیگر تاقدیس‌های مرتبط با نمک مجزا می‌نماید، شکل ظاهری دوکی آنهاست. بارزترین نمونه از تاقدیس‌های سیگموئیدال، تاقدیس‌های کفتر، نورا و باووش می‌باشد. تاقدیس کفتر با طول ۸۲ کیلومتر که ۵۵ کیلومتر آن به بخش تقریبا مدور آن مربوط می‌گردد و عرض ۱۲ کیلومتر در بخش مدور و یک تا ۸ کیلومتر آن به بخش یال‌های شمال شرقی و جنوب غربی محدود می‌شود و در ۱۰ کیلومتری شمال شهر جهرم و در مجاورت شمال تاقدیس کرباسی واقع شده است. ارتفاع بلندترین نقطه در تاقدیس ۲۸۲۰ متر از سطح دریاست و قدیمی ترین بیرون زدگی در

هسته آن گروه بنگستان می‌باشد، ولی سطح اصلی تاقدیس را سازند آسماری می‌پوشاند. 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 (شکل ۶).



شکل ۶: موقعیت تاقدیس‌هایی که از نظر شکل ظاهری به صورت سیگوئیدال هستند.

این تاقدیس در مسیر گسل پی سنگی نظام آباد قرار گرفته است و دارای جابجایی امتدادلغز چپ‌گرد است. تاقدیس‌های سلامتی، دادنجان و سورمه در مسیر گسل امتداد لغز راست گرد کره بس قرار گرفته‌اند و به نظر در عمق دارای یک دیواره نمکی واحد هستند که در طی فرآیند حرکت گسل امتداد لغز، نمک هرمز به صورت متمرکز شده از محل شکستگی‌ها خارج شده است (Shams et al, 2020). تمام تاقدیس‌ها نامتقارن هستند و حداقل یکی از طرفین آنها باریک شده است. تاقدیس نورا یا میمند دارای روند شمال غرب - جنوب شرق با ۷۰ کیلومتر طول و ۱۲ 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 می‌دهد. این تاقدیس طویل دارای یک قله تقریبا مدور با رخنمون سروک می‌باشد که محور غربی آن با دماغه محور شرقی تاقدیس دادنجان متصل می‌گردد (معینی و دیگران، ۱۳۸۷). این تاقدیس طویل دارای یک قله تقریبا مدور با رخنمون سروک می‌باشد که محور آن به سمت غرب چرخیده است و با دماغه تاقدیس چرخیده دادنجان متصل می‌گردد (شکل ۷).



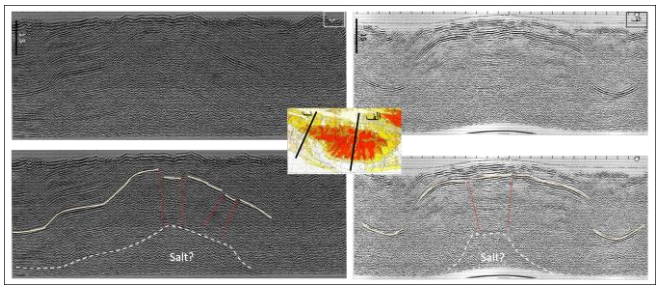
شکل ۷: الف: عکس از بخش جنوبی تاقدیس که نشاندهنده گنبدی بودن آن را دارد، ب: وجود نمک هرمز در سطح زمین در گنبد نمک نمکی در مجاورت تاقدیس نورا، ج: چینه رشدی که نشاندهنده همزمانی بالاآمدن نمک با رسوبگذاری است در بخش حجیم تاقدیس نورا، سازندهای تفسیر شده به ترتیب از جوانتر به قدیمی تر شامل: a: آسماری، b: سروک، c: دشتک، d: کنگان، e: پالئوزئیک میانی(موقعیت خط لرزه‌نگاری و تصاویر الف و ب در شکل ۶ نشان داده شده است).

تاقدیس باووش با یک بال بسیار کشیده در سمت شمال غرب که ایجاد تاقدیس دیگری بنام باووش غربی و یا مرز نموده است و ظاهری دوکی شکل به آن داده است. این تاقدیس با احتساب بال شمال غرب آن دارای طول ۶۹ کیلومتر است که ۳۵ کیلومتر آن مربوط به قسمت تقریبا گرد می‌باشد عرض این تاقدیس در بخش گرد به ۱۳ کیلومتر می‌رسد و در بخش بال شمال غرب آن از ۶ کیلومتر تجاوز نمی‌کند. قدیمی‌ترین رخنمون آسماری می‌باشد و بلندترین بخش آن ۱۵۵۰ متر از سطح دریا می‌باشد.

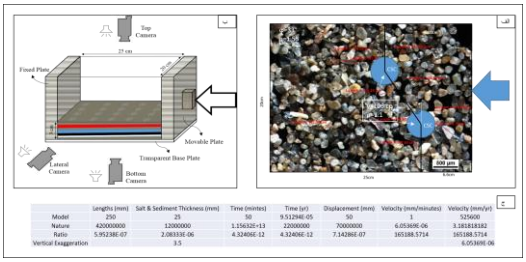
مواد و روش‌ها

مدل‌سازی جعبه ماسه (Sand Box Modeling)

جهت نشان دادن تاثیر نمک هرمز مدفون بر شکل و طول موج ظاهری تاقدیس‌های مرتبط با نمک از مدل‌سازی توسط جعبه ماسه‌ای استفاده کرده‌ایم. مزیت مهم ماسه جهت استفاده برای این نوع آزمایش‌ها همگون بودن آن برای تاثیر دگرشکلی ناشی از وجود یک آنومالی در میان آن است(منظور از آنومالی در این سری از آزمایش‌ها، ستونی به قطر ۳ سانتی‌متر از محلول نرم نشاسته ذرت می‌باشد که در میان ماسه‌های همگون لایه‌بندی شده قرار گرفته است). از ماسه‌های رنگی جهت لایه‌بندی برای نمایش نوع دگرشکلی و تاثیر آنومالی‌ها در ضخامت‌های مختلف استفاده شده است. ماسه به کار رفته در آزمایش‌ها براساس چارت کامپتون (Compton, 1962) دارای جورشدگی متوسط(Moderately sorted) بوده و براساس نمودار پاورز (Powers, 1953) گرد شده تا نیمه‌گرد شده (Rounded to Sub rounded) است. دانه‌بندی در حد متوسط (Medium grained) بوده اما دانه‌هایی در حد گرد شده کامل هم وجود دارد. چگالی ماسه ۱/۵ الی ۱/۵۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و زاویه اصطکاک داخلی ۳۳ درجه است. از محلول نرم نشاسته ذرت(Corn starch cream) جهت نمایش آنومالی استفاده شده است که دارای چگالی ۱/۱ می‌باشد که نسبت به ماسه دارای اختلاف چگالی مناسب است. گرنروی یا 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 سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد و صفحه متحرک با سرعت ۱ میلی‌متر در دقیقه در داخل آن حرکت می‌کند. ضخامت ستون ماسه ۲/۵ سانتی‌متر بوده است که آنومالی‌هایی با قطر ۳ سانتی‌متر در داخل آنها جایگذاری شده‌اند. مقادیر ستون ماسه و سرعت حرکت صفحه متحرک نسبت به ستون رسوبگذاری و حرکت صفحات تکتونیکی با نسبت بزرگنمایی ۳/۵ برابر در نظر گرفته شده است (شکل ۹).

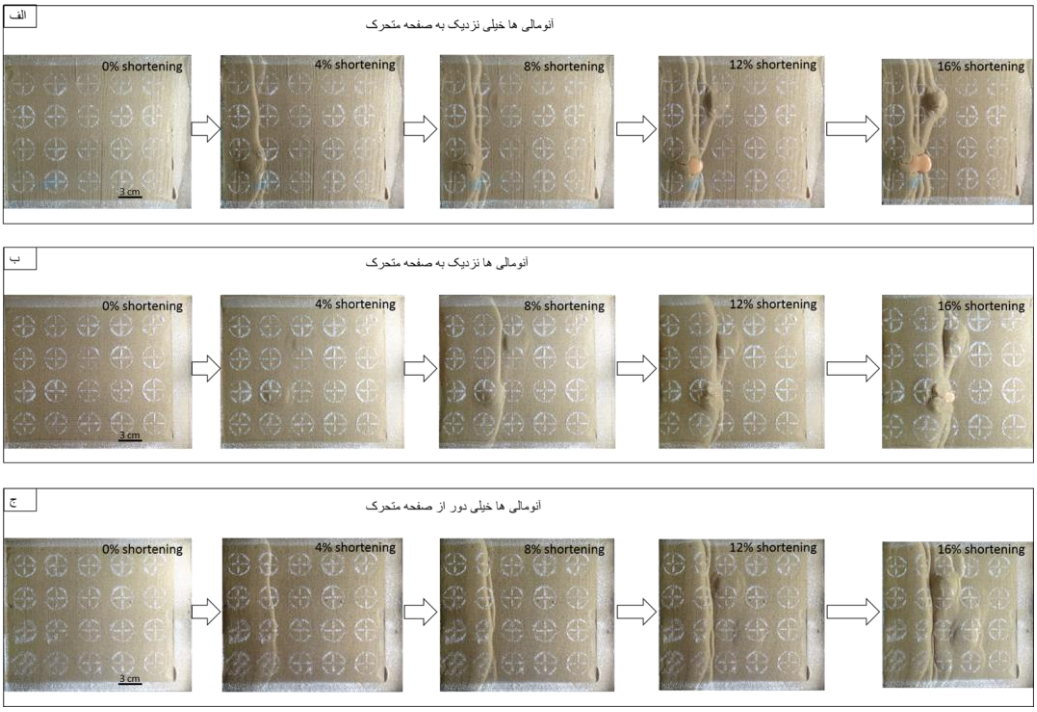


شکل ۸: الف: نمایش مقطع لرزه‌ای از بخش میانی تاقدیس باووش، ب: نمایش مقطع لرزه‌ای از بخش شرقی تاقدیس باووش، با مقایسه این دو تصویر به تغییرات ساختاری از بخش حجیم به بخش دماغه و افتادگی‌های ثقلی در قله تاقدیس به دلیل وجود نمک در هسته پی برد(موقعیت تاقدیس و خطوط لرزه‌نگاری در عکس ۶ نشان داده شده است).



شکل ۹: الف: طراحی مدل فیزیکی و نحوه قرارگیری آنومالی‌ها در بین ستون ماسه، ب: نمایش شماتیک از دستگاه جعبه ماسه، ج: تناسب‌بندی بین طول و عرض کمربند چین‌خورده زاگرس و اندازه‌های دستگاه آزمایش که بزرگنمایی حدود ۳/۵ برابر را نشان می‌دهد.

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 قرارگیری آنومالی‌ها از دیواره متحرک، سه آزمایش انجام گرفت. در هر سه آزمایش یکی از آنومالی‌ها(آنومالی سمت راست) در فاصله ۱۰ سانتی متری از دیواره متحرک بوده و آنومالی دیگر(آنومالی سمت چپ) به ترتیب در فاصله ۲/۵، ۵ و ۱۵ سانتی متر نسبت به دیواره متحرک قرار گرفته‌اند. فاصله دو آنومالی از همدیگر ۶/۵ سانتی‌متر می‌باشد. هر دو آنومالی با فاصله یکسانی از دیواره‌های ثابت جانبی قرار دارند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: نمایش کوتاه‌شدگی در حالت‌های مختلف از نظر قرارگیری آنومالی‌ها در فواصل مختلف از دیواره متحرک، در هر سه حالت آنومالی بالایی در مکان ثابت بوده و برابر ۱۰ سانتی‌متری از صفحه متحرک قرار گرفته است و آنومالی پایینی در فواصل مختلف جایگذاری شده است، الف) آنومالی پایینی در فاصل ۲/۵ سانتی‌متری از صفحه متحرک قرار دارد، ب) آنومالی پایینی در فاصله ۵ سانتی‌متری از صفحه متحرک قرار دارد، ج) آنومالی پایینی در فاصله ۱۵ سانتی‌متری از صفحه متحرک قرار دارد.

بحث و نتایج

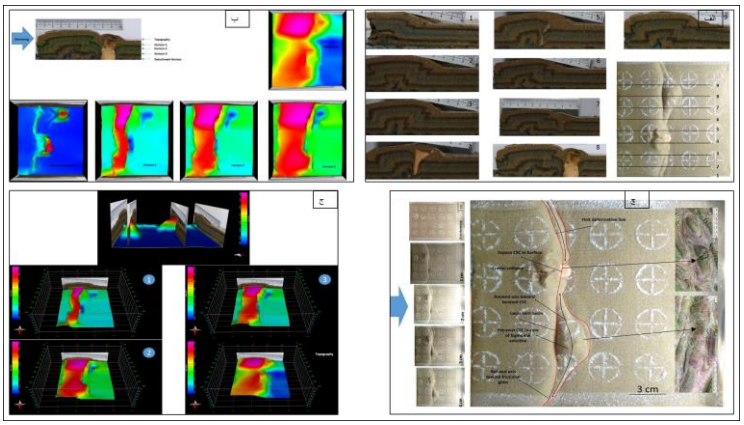
تحلیل هندسه تاقدیس‌ها و بررسی آزمایش‌ها

پدیده Halokinesis را می‌توان عامل اصلی تشکیل هسته ابتدایی تاقدیس‌های ناحیه مورد مطالعه از جمله نورا و باووش در نظر گرفت که در مراحل تکامل چین خوردگی زاگرس به شکل کنونی درآمده‌اند. بخش چرخیده غربی تاقدیس نورا احتمالا تحت‌تاثیر حرکت امتدادلغز گسل کره بس بوده است ولی نطفه تشکیل این تاقدیس تحت‌تاثیر پدیده Halokinesis و پله‌های تکتونیکی در زیر نمک هرمز قرار است. ناهمواری نمایش داده شده در مقطع لرزه‌نگاری 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) نشانگر دگرشکلی نسبتاً شدید بوده که باعث جدایش لایه‌های ضعیف شده است (Jackson and Hudec, 2017; Shams et al, 2020). در یال غربی قله تاقدیس نورا چینه‌های رشدی بیانگر رسوبگذاری همزمان با رشد و نفوذ نمک هستند. در تاقدیس بیضوی شکل مرتفع سیم در شمال تاقدیس نورا، به دلیل وجود ناهمواری تکتونیکی در رسوبات قبل از هرمز(واقع در یال شمالی تاقدیس نورا و یال جنوبی این تاقدیس) باعث مهاجرت نمک درست بعد از رسوبگذاری پالئوزئیک شده است و در زمان دگرشکلی زاگرس شکل کنونی ایجاد شده است. در نیمرخ لرزه‌نگاری به وضوح دیده می‌شود. در یال جنوبی تاقدیس نورا در محلی که به ناودیس فیروزآباد منتهی

می‌شود بازتابنده‌ها از پالئوزئیک پایینی با رشد چینه‌ای حاصل از پدیده Halokinesis همراه بوده‌اند (Shams et al, 2020). به‌طوری که همزمان با رسوبگذاری از ابتدای پالئوزئیک با فرونشست ناشی از وزن رسوبات از یک طرف و حرکت نمک از ناودیس حاشیه‌ای به سمت 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 به طوری 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 نقطه‌ای نمک باعث شده است در زمان چین خوردگی زاگرس، این تاقدیس دچار چرخش محوری گردد. این نوع ساختار در ستون‌های نمکی هرمز قدیمی(Pre-exist Hormoz salt) که در معرض دگرشکلی زاگرس قرار گرفته‌اند به صورت یک جبهه جلو رفته(Salient) بروز می‌کند که همین شکل خود نشان‌دهنده وجود نمک قدیمی در هسته تاقدیس نورا می‌باشد که جبهه تراستی جلویی را دستخوش انحنا کرده است (شکل ۷). در گزارشات زمین شناسی هیچ‌گونه گسل امتدادلغز قابل توجه‌ای در بخش چرخش محور گزارش نشده است از طرف دیگر در دشت فیروزآباد وجود یک برش نمکی و بیرون زدگی پاره‌سازند گوری از سازند میشان با نمایی از چینه رشدی، نشان دهنده نفوذ نمک در لایه‌های بالایی است. تاقدیس باووش (شکل ۸) دارای شکستگی‌های فراوانی در سطح می‌باشد که بیشتر آنها ناشی از فروافتادگی‌های ثقلی هستند و علاوه بر آن گسل‌های امتدادلغز که می‌تواند ناشی از اختلاف در میزان جابجایی بخش‌های مختلف تاقدیس باشد نیز قابل تشخیص است (فرمانی و دیگران، ۱۳۸۰). در مقطع لرزه نگاری که از بخش عریض تاقدیس باووش عبور کرده می‌توان تاثیر نمک‌هرمز را در دگرشکلی تقریبا متقارن یال‌های شمال و جنوب آن دید. در این مقطع هیچ نشانه‌ای از فعالیت لایه نرم میانی دشتک در این بخش دیده نمی‌شود. وجود دو ناودیس تقریبا هم ارتفاع در دو طرف این مقطع لرزه‌نگاری دو بعدی موید این موضوع است که احتمالا نمک‌هرمز 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 دماغه غربی تاقدیس، باعث ایجاد یک تاقدیس باریک شده است که شکل سیگموئیدال به آن داده است. البته لایه‌های نرم میانی همچون دشتک به خصوص 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 لرزه‌نگاری مشاهده می‌گردد می‌تواند دلیل دیگری از وجود حجم بالای نمک‌هرمز قدیمی در بخش هسته این تاقدیس باشد (شکل ۸). در خصوص آزمایش‌ها تحلیل‌های زیر را می‌توان ارائه نمود. در آزمایش اول که آنومالی خیلی نزدیک به صفحه متحرک می‌باشد با شروع دگرشکلی و بعد از ۴ درصد کوتاه‌شدگی جبهه موج به جلو آنومالی سمت چپ که در فاصله ۲/۵ سانتی‌متری صفحه متحرک قرار گرفته است، منتقل شده و به شکل منحنی در می‌آید. با ادامه کوتاه‌شدگی ابتدا بعد از گنبدی‌شدن، دچار شکستگی در روباره شده و در نهایت با خروج محلول همراه می‌گردد. در طرف دیگر، آنومالی دورتر از صفحه متحرک که در فاصله ۱۰ سانتی‌متری قرار گرفته است با جذب تنش باعث انحراف در جبهه موج شده و به صورت یک تاقدیس گنبدی در می‌آید. ارتباط بین این دو آنومالی به صورت یک تاقدیس باریک و کم عرض است (شکل ۱۰الف). در آزمایش دوم که آنومالی نزدیک به صفحه متحرک می‌باشد جبهه موج بعد از ۸ درصد کوتاه‌شدگی انحنای آنومالی سمت چپ که در فاصله ۵ سانتی‌متری از دیواره متحرک قرار گرفته است را نشان می‌دهد. و در ادامه دگرشکلی دچار شکستگی در روباره شده و محلول آن خارج می‌گردد. در طرف دیگر، مشابه حالت قبل یک گنبد ظاهر گشته که دارای شیب‌های ملایم‌تر است. ارتباط این دو گنبد نیز همانند آزمایش اول توسط یک تاقدیس باریک و کم عرض می‌باشد. 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 می‌باشد (شکل ۱۰ب). در آزمایش سوم که آنومالی دور از صفحه متحرک بوده است. در این آزمایش تا ۸ درصد کوتاه‌شدگی نیز آثار مشهودی از گنبد و بالا آمدگی ناشی از آنومالی‌ها دیده نمی‌شود در این آزمایش آنومالی سمت چپ در فاصله ۱۵ سانتی‌متری دیواره متحرک قرار دارد و لذا آنومالی سمت راست با ۱۰

سانتی‌متر فاصله از دیواره متحرک، اولین نشانه‌های انحراف جبهه موج را نشان می‌دهد. در نهایت هر دو آنومالی با ۱۶ درصد کوتاه‌شدگی فقط به صورت گنبدهای ملایم دیده می‌شوند. ارتباط آنها به صورت یک ناودیس پهن دیده می شود و در جبهه موج قبل از آنها یک فرو افتادگی عمیق مشهود است (شکل ۱۰ج). در همه این آزمایش‌ها با شروع دگرشکلی، جبهه جلویی با ایجاد یک برجستگی(Salient) در محل آنومالی نزدیک به دیواره متحرک ابتدا باعث نمایان شدن حضور آنومالی می‌شود. با ادامه دگرشکلی، آنومالی نزدیک به دیواره متحرک به صورت یک گنبد درآمده و در نهایت با ایجاد گسل‌های کششی در سطح، روباره باز شده و روانه ایجاد می‌گردد. در طرف دیگر، آنومالی دورتر از دیواره متحرک فعال می‌گردد که نشان‌دهنده یک نقطه ضعف یا یک لایه نرم در میان لایه صلب‌تر بوده و با ایجاد برجستگی(Salient) در جبهه دگرشکلی نمایان می‌گردد. لایه صلب ماسه جلو آنومالی‌ها همچون یک مانع(Buttress) عمل می‌نماید و باعث بالا آمدن ستون لایه نرم می‌گردند. در این آزمایش‌ها میزان روباره ۲ میلی‌متر در نظر گرفته شده است ولی اگر این مقدار روباره بیشتر و یا کمتر گردد تاثیر زیادی در نتایج آزمایش‌ها خواهد گذاشت. ارتباط آنومالی‌ها در این دسته از آزمایش‌ها با تاقدیس‌های تقریبا کم عرض و کم ارتفاع دیده می‌شود که بسته به فاصله آنومالی‌ها از صفحه متحرک، شدت و ضعف آن متفاوت است به‌طوری که در آزمایش اول به دلیل نزدیکی زیاد آنومالی سمت چپ به دیواره متحرک، جبهه‌های دگرشکلی متاثر از نقطه ضعف بوجود آمده در محل آنومالی، موجب ایجاد روندهایی با طول موج‌های زیاد و دامنه‌های کم شده است که با رسیدن جبهه موج به آنومالی دورتر، به سمت 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 سانتی‌متری از صفحه متحرک شکل گرفته است. در آزمایش دوم به دلیل فاصله گرفتن آنومالی سمت چپ از صفحه متحرک و نزدیک شدن دو آنومالی به هم، جبهه موج اولیه تحت‌تاثیر آنومالی و ضخامت ماسه شده است و در نتیجه در فاصله خیلی دورتر از صفحه متحرک و حدود ۵ سانتی‌متری آن شکل گرفته است. محصول نهایی ارتباط این دو آنومالی با یک روند مورب نسبت به صفحه متحرک نشان می‌دهد بدون آنکه خبری از جبهه‌های دگرشکلی قبلی باشد (شکل ۱۱). در آزمایش سوم به دلیل فاصله گرفتن زیاد آنومالی‌ها از صفحه متحرک، مکان جبهه دگرشکلی اولیه متاثر از ضخامت لایه ماسه می‌باشد که این مکان در فاصله حدود ۴ سانتی‌متری از دیواره متحرک است. در کوتاه‌شدگی‌های بیشتر تاثیر آنومالی‌ها بر جبهه دگرشکلی نمایان شده ولی روندهای مورب به وضوح آزمایش‌های قبلی دیده نمی‌شود. با توجه به نتایج آزمایش‌های جعبه ماسه تحلیل زیر را در خصوص شکل‌گیری تاقدیس‌های ناحیه مورد مطالعه می‌توان ارائه نمود. همانگونه که تغییر سازندها در محیط‌های رسوبگذاری عامل مهمی در نحوه رفتار آنها نسبت به دگرشکلی و ایجاد پیچیدگی‌های ساختمانی است، قرار گرفتن تکتونیکی سازند نرم و قابل انعطاف همچون نمک هرمز نیز در کنار سازندهای 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 آنومالی‌های ساختاری کمربند چین‌خورده و گسلش زاگرس بازی می‌کنند 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 رفتارهای متفاوتی می‌گردند و ساختار متفاوتی را ایجاد می‌کنند. در انواعی از این ساختارها همزمان با رسوبگذاری شدت حرکت رو به بالای نمک محسوس بوده و ایجاد رشد چینه‌ای در رسوبات سنوزئیک و ترشیاری نموده‌اند. یکی از این نوع ساختارها همانگونه که در مدل‌سازی تجربی دیدیم، ساختار سیگوئیدال می‌باشند که به نمک‌های مدفون قدیمی و عملکرد لایه‌های نرم میانی مربوط می‌گردند. این ساختارها به صورت کلی دارای دو بخش می‌باشند. ۱) بخش گرد و عریض که محل هسته نمک هرمز قدیمی بوده است. ۲) بخش باریک و اصولا کشیده دماغه‌ها که لایه‌های نرم میانی در زمان کوهزایی فعال‌تر 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 به عنوان مثال بخش تبخیری سازند دشتک به خصوص در دماغه‌ها فعال‌تر هستند. از طرفی

عدم افزایش ضخامت تکتونیکی لایه نرم میانی همچون دشتک در بخش عریض این گونه تاقدیس‌ها می‌تواند موید این نکته باشد که بخش‌های بالایی تاقدیس‌هاکمتر تحت تاثیر چین خوردگی بوده‌اند و از طرفی این موضوع برای بخش‌های کشیده و داراز دماغه‌ها برعکس بوده به‌طوری که افزایش ضخامت دشتک موجب جابجایی محوری در آنها نیز گردیده است.



شکل ۱۱: الف: نمایش برش‌های مقطع عرضی از محصول نهایی آزمایش مدل فیزیکی، ب: تفسیر افق‌های رنگی ماسه و تهیه نقشه‌های هم ضخامت که نشان‌دهنده نحوه دگرشکلی آنومالی‌ها و تاثیر آنها در جبهه موج می‌باشد، ج: نمایش سه بعدی از افق‌های تفسیر شده و برش‌های عرضی جهت تحلیل بهتر، چ: مراحل دگرشکلی و مقایسه محصول نهایی با تاقدیس‌های کفتر و باووش که نشان‌دهنده تشابه ظاهری آنها است(تصویر جهت تشابه‌سازی به صورت عمودی معکوس شده است).

نتیجه‌گیری

تاقدیس‌های سیگموئیدال در ناحیه فارس از کمربند چین‌خورده زاگرس می‌توانند متاثر از حضور پیکره‌های نمک‌هرمز با ابعاد و ضخامت متفاوت به وجود بیایند. این پیکره‌ها قبل از مرحله دگرشکلی زاگرس بالاآمده بودند و در اثر عملکرد دگرشکلی زاگرس در جائی که ضخامت و ابعاد پیکره نمکی زیاد بود تاقدیس‌های عریضی شکل گرفته است (همانند نتایج مشاهده شده آزمایش‌های جعبه ماسه) و در مقابل، دماغه‌های دو طرف کم عرض و کشیده شدند.

سپاسگزاری

نویسندگان لازم می‌دانند از مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران برای ارائه اطلاعات مورد نیاز این تحقیق و فراهم نمودن تسهیلات برای بازدیدهای صحرایی تشکر نمایند.

منابع (References)

-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, v. 1.

-Al-Husseini, M.I., 2000. Origin of the Arabian plate structures; Amar collision and Nadj rift. Geo Arabia, v. 5, p. 527-542.

-Bahroudi, A. and 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, v. 160(5), p. 719-733. http://dx.doi.org/10.1144/0016-764902-135.

-Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic

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

-Abdollahie Fard, I., Sherkati, S., McClay, K. and 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.

evolution of Iran. Can. J. Earth Sci., v. 18(2), p. 210-265.
http://dx.doi.org/10.1139/e81-019.
-Callot, J.P., Jahani, S. and 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, v.12, p. 309-325.
-Colman-Sadd, S.P., 1978. Fold development in Zagros simply folded belt, Southwest Iran. AAPG Bullet, v. 62(2), p. 984-1003.
-Davoudzadeh, M., 1990. Some dynamic aspects of the salt diapirism in the Southern Iran. In: Symposium on diapirism, p. 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, p. 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, p. 9-21.
10.1144/GSL.SP.1969.003.01.02.
-Farmani, F., Asiliyan, H. and Barat pur, F., 2001. Geology of Marz Ant., Geol. Rep. 1956, Exploration Directorate of National Iranian Oil Company (in Persian).
-Harrison, J.V., 1931. Salt domes in persia. J. Inst. Pet. Tech., v. 17(91), p. 300-320.
-Jackson, M.P.A. and 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, v. 262, p. 93-117.
-Jackson, M.P.A. and Talbot, C.J., 1994. Advances in salt tectonics. In: Hancock, P.L. (Ed.), Continental deformation. Pergamon Press, p. 159-179.
-Jahani, S., Callot, J.P., Frizon de 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. In: Lacombe, O., Lavè, J., Roure, F., Vergès, J. (Eds.), Thrust Belts and Foreland Basins. Springer, Berlin, p. 289-308.
-Jahani, S., Callot, J.P., Letouzey, J. and 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, v. 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. and Soleimany, B., 2017. Salt tectonics and tear faulting in the central part of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. Mar. Petrol. Geol., v. 86, p. 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., p. 1-48, Cambridge University Press, doi:10.1017/S0016756816000078
-Letouzey, J. and 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.
-Moeini M., Tavakoli S. & Mohamadi P., 2008, Geology of Nura Ant., Geol. Rep. 2180, Exploration Directorate of National Iranian Oil Company (in Persian).
-Motamedi, H. and 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, p. 145-158.
-Motiei, H., 1995. Petroleum geology of Zagros. Geological Survey of Iran Publication 1e2 (In Farsi), 589 p.
-Nissen, E., Tatar, M., Jackson, J.A. and Allen, M.B., 2011. New views on earthquake faulting in the Zagros fold-and-thrust belt of Iran. Geophysical Journal International, v. 186, p. 928-944.
-Perotti, C.R., Carruba, S., Rinaldi, M., Bertozzi, G., Feltre, L. and 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, p. 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., v. 26(1), p. 154-182.
http://dx.doi.org/10.1111/bre.12043.
-Shams, R., Abdollahie Fard, I., Bouzari, S. and 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, v. 177, p. 4623-4642. Springer Nature Switzerland AG https://doi.org/10.1007/s00024-020-02521-0.
-Talbot, C.J. and Alavi, M., 1996. The past of a future syntaxis across the Zagros. In: Alsop, G. L., Blundell, D.L., Davison, I. (Eds.), Salt tectonics. Geological Society, London, Special Publications, v. 100, p. 89-109.