

بررسی روند تحولات تکتونیکی-رسوبی مرتبط با دیاپیر نمکی هندون (ناحیه بندرعباس) با استفاده از سکانس‌های هالوکینتیکی در رخنمون‌های سطحی

پروانه فریدی^۱، پیمان رضائی^۲، علیرضا پیریانی^۳ و مهدی مسعودی^۴

^۱ دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

^۳ دکترا، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران

^۴ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۴

چکیده

سامانه‌های رسوبی مرتبط با دیاپیرهای نمکی آزمایشگاه‌های طبیعی هستند که بررسی چینه‌های مرتبط با فعالیت نمک را بر اساس داده‌های زیرسطحی و به‌ویژه داده‌های سطحی فراهم می‌نمایند. در این سامانه‌ها، چینه‌های رشدی هالوکینتیکی، تغییرات ضخامتی و رخساره‌ای را به صورت برش‌های هالوکینتیکی، اشکال هندسی گوه‌ای و هوک و همچنین پهنه‌های دیاژنتیکی متنوع نشان می‌دهند. بدین جهت، دیاپیر نمکی هندون به عنوان یک دیاپیر غیرفعال در ناحیه بندرعباس برای این مطالعه انتخاب شد. رخنمون‌های سطحی عالی که پیرامون این دیاپیر نمکی وجود دارد امکان بررسی‌های جزئی‌تر تکتونیکی-رسوبی و تقابل نمک-رسوب را فراهم می‌نماید که می‌تواند همچون یک مدل آنالوگ در سایر پژوهش‌های سطحی و زیرسطحی اکتشافات هیدروکربوری حوضه زاگرس که شرایط رسوبگذاری مشابهی دارند، مورد استفاده قرار گیرد. چینه‌نگاری رسوبات پیرامون دیاپیر نمکی هندون شامل رسوبات برجای کرتاسه پسین تا عهدحاضر می‌باشد که تأثیر صعود دیاپیر نمکی بر این توالی‌ها از نظر زمانی و مکانی متفاوت است. عملکرد هالوکینسیز با هندسه‌های هوک در سازند شیلی پابده پالوسن-اوسن زیرین نمایان می‌گردد. سپس بیشترین تأثیر حرکت و جریان نمک با تشکیل ورقه و باله‌های نمکی در کرنات‌های اوسن میانی سازند جهرم رخ داده است که به صورت تغییرات جانبی رخساره‌ای، هندسی (گوه و هوک)، ضخامتی و دیاژنتیکی دیده می‌شود. بعد از ناپوستگی ناحیه‌ای مرز اوسن-اولیگوسن، همزمانی هالوکینسیز و کوتاه‌شدگی نئوژن زاگرس با تشکیل جوش نمکی ثانویه منجر به فشردگی و تشدید فعالیت نمک گردیده است که در هندسه‌های هوک سازند رازک به سن اولیگوسن-میوسن پیشین و میوسن پیشین-میانی بخش گوری در دیاپیر نمکی هندون بروز می‌نماید. از این رو، نتایج این مطالعه دید جدیدی از استفاده سکانس‌های هالوکینتیکی را در تحلیل تکتونیکی-رسوبی دیاپیرهای نمکی زاگرس نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: دیاپیر نمکی هندون، سکانس‌های هالوکینتیکی، توالی‌های رسوبی، هالوکینسیز.

*نویسنده مسئول: پیمان رضائی

E-mail: p.rezaee@hormozgan.ac.ir

۱- پیش‌نویس

داد (Rowan et al., 2001, 2010; Giles and Lawton, 2002; Rowan et al., 2003; Giles and Rowan, 2012).

در کمربند چین-راندگی زاگرس (Zagros Fold-Thrust Belt: ZFTB) نیز وفور ساختارهای نمکی نظیر دیاپیرها و بالش‌های نمکی منجر به تغییرات هندسی، رسوبی و رخساره‌ای در توالی‌های رسوبی گردیده است (Kent, 1958; Player, 1969; Jahani et al., 2007, 2017; Hassanpour et al., 2018, 2020; Snidero et al., 2019, 2020). در این ناحیه تغییرات مذکور تأثیر زیادی بر روی اجزای مختلف سامانه‌های نفتی و همچنین بر تولید، بلوغ و مهاجرت هیدروکربن داشته است که به صورت تولید بالا و خشک شدن چاه‌ها قابل مشاهده است (فیضی و همکاران، ۱۳۹۲). از سال ۱۶۴۲ تا به امروز پژوهش‌های متعددی پیرامون دیاپیرهای نمکی هرمز از جنبه‌های مختلف دیاپیریسم، تکتونیک نمک، تکتونیک ناحیه‌ای، تکتونیکی-رسوبی، هیدروکربوری و اقتصادی انجام شده است (مانند: Tavernier, 1642; Kent, 1987; Alavi, 2004, 2007; Jahani et al., 2009, 2017; Piryaei et al., 2011; Motamedi et al., 2011; Koyi et al., 2016; Atapour and Aftabi, 2017; Motamedi and Gharabeigli, 2018; Hassanpour et al., 2018, 2020; Snidero et al., 2019, 2020 اما مطالعات جامعی بر شرایط تکتونیکی-رسوبی نهشته‌های مرتبط با دیاپیرهای نمکی هرمز منتشر نشده است (مانند: Snidero et al., 2019). پژوهش حاضر بر آن است که با بررسی ۴ برش و مشاهدات صحرایی پیرامون دیاپیر نمکی هندون در ناحیه بندرعباس، جایگاه رسوبی چینه‌ها و تغییرات ساختاری متأثر از دیاپیر را با استفاده از سکانس‌های

تغییرات هندسی و رخساره‌ای توالی‌های رسوبی، الگوهای ساختاری رسوبات پوششی و فیزیوگرافی حوضه‌های رسوبی متأثر از حرکات ساختارهای زمین‌شناسی از جمله گسل‌های پی‌سنگی می‌باشد (Reuter et al., 2006). همچنین این حرکات در میداین هیدروکربنی تولید، مهاجرت و انباشت هیدروکربن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ameen, 1992). در حوضه‌های هالوکینتیکی، علاوه بر حرکات پی‌سنگی این تغییرات به میزان زیادی تحت تأثیر حرکت نمک نیز قرار گرفته است. حوضه‌های نمکی فراساحل مانند خلیج مکزیک، حاشیه آنگولا در باختر آفریقا، دریای شمال و حوضه سانتوس برزیل از نمونه‌های بارز این زمینه است که در آن‌ها، هالوکینسیز با تحلیل داده‌های زیرسطحی و سطحی مورد توجه قرار گرفته است (مانند: Diegel et al., 1995; Mohriak et al., 1995; Stewart and Clark, 1999; Marton et al., 2000; Giles and Lawton, 2002). حرکت نمک با مکانیسم‌های مختلف می‌تواند ساختارهای متعددی مانند دیوارها، استوک‌ها، بالش‌ها، تاقدیس‌ها، ورقه‌های نمکی و غیره را ایجاد نماید (Jackson and Talbot, 1991, 1994; Jackson and Hudec, 2017). از سوی دیگر، تأثیر حرکت نمک بر رسوبات پیرامونی نیز باعث ایجاد فضاهای رسوبگذاری و شیب زمین‌گرایی مختلفی می‌شود که می‌تواند رخساره‌ها، هندسه‌ها و فرایندهای دیاژنتیکی متنوعی را به همراه داشته باشد که با استفاده از داده‌های سطحی و زیرسطحی (چاه و ژئوفیزیکی) قابل بررسی هستند (Giles and Lawton, 2002; Rowan et al. 2001; Jackson and Hudec, 2004). تأثیر تغییر مذکور بر روی رسوبات را با برداشت سکانس‌های هالوکینتیکی (Halokinetic Sequence: HS) می‌توان مورد تحلیل قرار

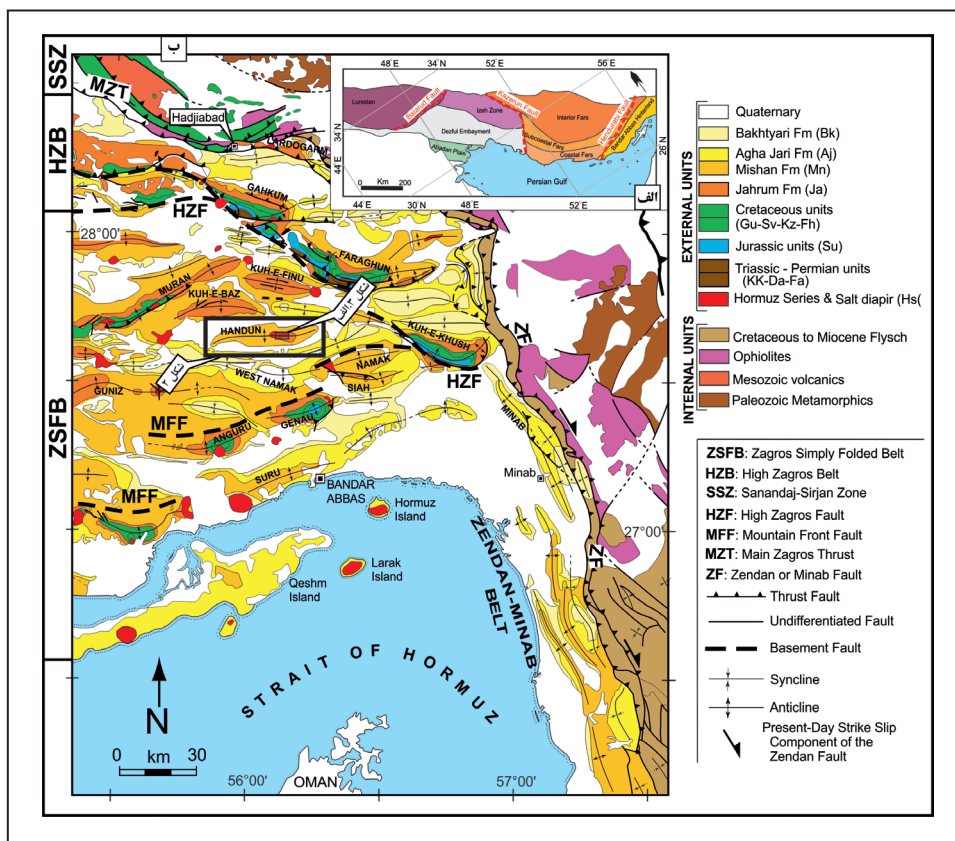
مختلف زمین‌شناسی از پالئوزویک پیشین تا به امروز که از هر دو تبخیری‌های سری هرمز و اولیگوسن-پسین-میوسن پیشین نمک فارس نشأت گرفته است، ۷- تکامل حوضه پیش‌بوم زاگرس از کرتاسه پسین تا به امروز، بر اثر برخورد صفحه‌های ایرانی اوراسیا و صفحه عربی و مهاجرت آن در سنوزویک، ۸- وجود ناپوستگی زاویه‌دار میوسن میانی، ناشی از بالآمدگی کوه‌های عمان در قاعده گوری و با بیشترین تأثیر در تنگه هرمز و جنوب‌خاور کوه‌خوش، ۹- عملکرد چین‌خوردگی و راندگی بر اثر کوهزایی نئوژن زاگرس- مکران (مانند مطیعی، ۱۳۷۴؛ Falcon, 1969; Iranpanah, 1988; Sepehr, 2000; Molinaro et al., 2004, 2005; Alavi 2004, 2007; Jahani, et al., 2009; Farzipour Saevin et al. 2009; Piryaei et al., 2010, 2011; Pirouz et al., 2015; Orang et al., 2018; Hassanpour et al., 2020; Snidero et al., 2019, 2020) (شکل ۱).

با وجود آنکه داده‌های لرزه‌ای رسوبات پالئوزویک تا سنوزویک را در ستون تکتونیکی- رسوبی ناحیه بندرعباس نشان می‌دهد (مانند: Jahani et al., 2009; Ezati Asl et al., 2019; Faghieh et al., 2019; Snidero et al., 2019, 2020; Hassanpour et al., 2020) ولی رخنمون‌های این ناحیه به‌طور معمول شامل واحدهای چینه‌ای دوران سوم است که بدلیل هالوکینسیز، نهشته‌های ژوراسیک (مانند تاقدیس درمدان) و کرتاسه (مانند تاقدیس‌های گنو، انگورو و هندون) در سطح رخنمون یافته است. عملکرد گسل معکوس زاگرس مرتفع نیز باعث شده که نهشته‌های قدیمی‌تر از سیلورین (اوردوویسین؟) به بعد در برخی تاقدیس‌ها مانند فراقون، گهکم و کوه خوش رخنمون پیدا کنند. در این ناحیه تاقدیس‌ها عمدتاً با کربنات‌های اتوسن- اولیگوسن (سازندهای جهرم و آسماری) و میوسن پیشین-میانی (بخش گوری) و ناودیس‌ها با مارن‌ها و ماسه‌سنگ‌های میوسن تا پلیوسن (سازندهای میشان و آغاچاری) و کنگلومرای پلیو- پلیستوسن (سازند بختیاری) پوشیده شده است (Molinaro et al., 2004).

هالوکینتیکی به طور دقیق‌تر مورد مطالعه قرار دهد. بدین وسیله با شواهدی به واقع نزدیک زمین‌شناسی صحرایی، تغییرات در سامانه‌های رسوبی در دو مقیاس محلی (نمک) و ناحیه‌ای منعکس می‌گردد.

۲- جایگاه زمین‌شناسی ناحیه بندرعباس

ناحیه بندرعباس که با نام‌های فارس خاوری (Eastern Fars)، پس‌خشکی (Hinterland)، فروافتادگی (Embayment)، سین‌تکسیس (Syntaxis) بندرعباس (- میناب) یا سین‌تکسیس زاگرس- مکران در متون زمین‌شناسی ذکر شده است (مطیعی، ۱۳۷۴؛ Molinaro et al., 2004; Talbot and Alavi, 1996; Iranpanah, 1988; Sepehr, 2000; Aubourg et al., 2004) در بخش جنوب‌خاوری کمر بند چین-راندگی زاگرس و در محل تقاطع سه محدوده زمین‌شناسی زاگرس، مکران و عمان قرار گرفته است (شکل ۱- الف). این ناحیه که در شمال‌خاور به راندگی اصلی زاگرس (Main Zagros Thrust fault: MZT)، در جنوب با خلیج فارس، در خاور با گسل میناب و منشورهای برافزایشی مکران محصور شده است دارای ویژگی‌های زمین‌شناسی بارزی است که آن‌را از سایر نواحی زاگرس متمایز می‌سازد. این ویژگی‌ها عبارتند از: ۱- وفور دیاپیرهای نمکی منفرد و تنوع موقعیت‌های رسوبی مرتبط با آن‌ها. ۲- به جز سه تاقدیس گهکم، فراقون و کوه‌خوش که در امتداد کلی تاقدیس‌های زاگرس یعنی شمال‌باختر-جنوب‌خاور قرار دارند، مابقی تاقدیس‌ها در تضاد با این امتداد و دارای امتداد خاوری-باختری و شمال‌خاوری- جنوب‌باختری می‌باشند. ۳- هندسه منحنی تاقدیس‌هایی مانند فراقون، باز، موران و شو و هم‌آرایی پلکانی خطواره‌های مرتبط با پی‌سنگ، ۴- ضخامت زیاد رسوبات در این ناحیه نسبت به سایر نواحی حوضه زاگرس ولی مشابه فروافتادگی دزفول، ۵- تشکیل سامانه‌های رسوبی در دو حاشیه غیرفعال (از پالئوزویک تا کرتاسه پسین) و حاشیه فعال (از کرتاسه پسین تا کنون)، ۶- عملکرد هالوکینسیز در زمان‌های



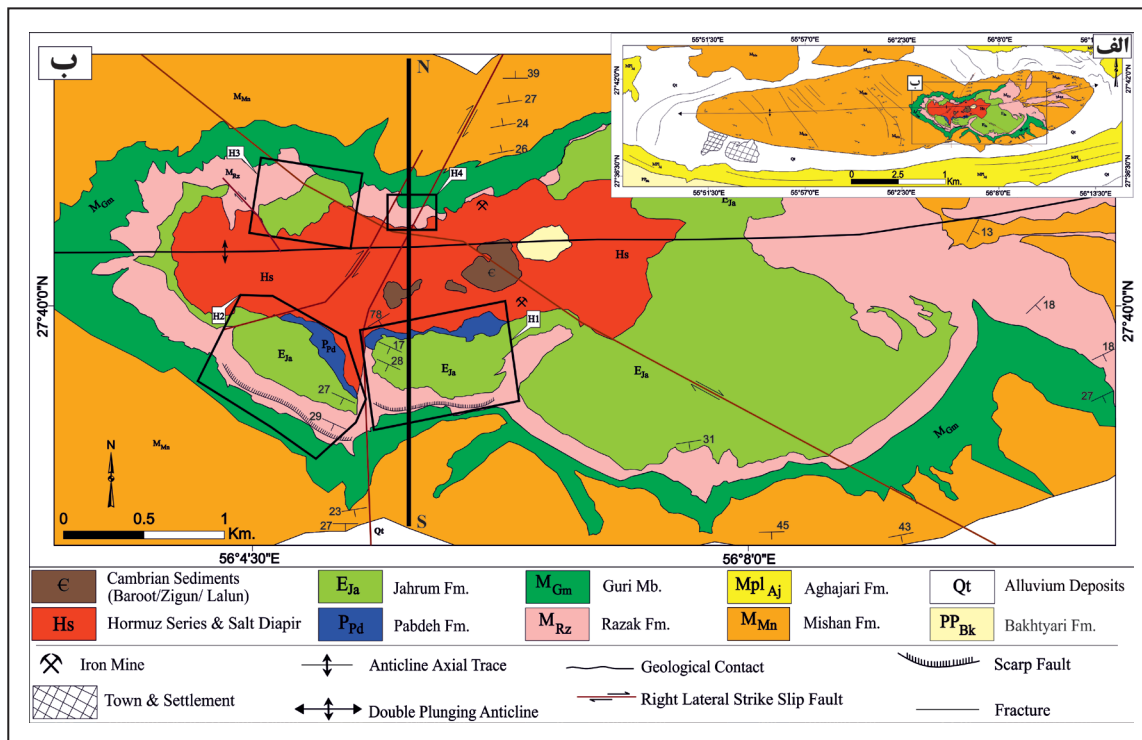
شکل ۱- الف) زیر تقسیمات ساختاری ZFTB و موقعیت برخی از گسل‌های پی‌سنگی (مطیعی، ۱۳۷۴؛ Berberian, 1995)؛ ب) نقشه زمین‌شناسی ناحیه بندرعباس (با تغییراتی برگرفته از Molinaro et al., 2005; Huber, 1975). موقعیت دیاپیر نمکی مورد مطالعه با کادر مشکی نشان داده شده است.

۳- تاقدیس و دیاپیر نمکی هندون

در تاقدیس دیده می‌شود؛ یکی با امتداد شمال‌خاوری که از وسط تاقدیس عبور کرده و آنرا برش می‌دهد و دیگری با امتداد شمال‌باختری- جنوب‌خاوری که باعث جابجایی راستگرد تاقدیس می‌شود.

در مرکز تاقدیس هندون، دیاپیر نمکی موسوم به دیاپیر نمکی هندون [گنبد نمکی شماره ۷۵ موسوم به گنبد نمکی کوه هردون (Kuh-i-Hardun: Harrison, 1930) یا گنبد نمکی شماره ۳۸ موسوم به آردان (Ardan: Bosák et al., 1998) با طول ۶ کیلومتر و پهنای ۲ کیلومتر بیرونزدگی دارد (شکل ۲-ب). این دیاپیر در نمای نقشه به شکل بیضوی و از دید هندسی یک دیاپیر نمکی منفرد به شکل استوک نمکی (salt stock) می‌باشد. براساس زمین‌ریخت‌شناسی ساختارهای نمکی فارس خاوری، دیاپیر نمکی موجود در تاقدیس هندون از نوع مرده و غیرفعال (inactive) است که نمک در آن به طور کامل فرسوده شده و در نتیجه کراتر خالی، با بقایای غیرقابل حل سری هرمز پر شده است (Bosák et al., 1998; Jahani et al., 2007). فرسایش کراتر، تاقدیس را به دو نیمه خاوری و باختری تقسیم نموده است و وجود سازندهای پایده-چهرم، رازک و بخش گوری از سازند میشان در اطراف کراتر خالی به آن نمای آمفی‌تاتری داده است. از نظر چینه‌نگاری، واحدهای رسوبی پروتروزویک پسین (ادیاکارن)-کامبرین پیشین، کرتاسه پسین و دوران سنوزویک در آن رخمون دارند. علاوه بر واحدهای ذکر شده، رسوبات نابرجا هم سن نهشته‌های سازندهای باروت، زایگون و لالون در داخل دیاپیر نیز دیده می‌شود (شکل ۲).

تاقدیس هندون (آردان) با دو پلاژ نسبتاً متقارن و نهنگی شکل دارای طول ۴۰ کیلومتر و عرض ۱۰ کیلومتر است (شکل ۲-الف). این تاقدیس از نظر ساختاری در ناحیه بندرعباس، در جنوب تاقدیس‌های فینو و باز و شمال تاقدیس نمک باختری قرار گرفته است و دارای راستای محوری خاوری-باختری که صفحه محوری اندکی به سمت شمال شیب‌دار می‌باشد (مطیعی، ۱۳۷۴). در مطالعات تکنونیکی زاگرس، تاقدیس هندون به عنوان تاقدیسی پشت نهنگی (whale-back anticline)، یک ساختار رومبوییدی (rhomboid structure) یا یک چین جدایشی گسل خورده (faulted detachment fold) تفسیر شده است که در نتیجه چرخش بلوک‌های پی‌سنگی حول محور قائم خود و تقابل گسلش پی‌سنگ و کوتاه‌شدگی پوشش (واحدهای روئی) (Ramsey et al., 2008; Molinaro et al., 2005; Koyi et al., 2016) و یا یک چین کماتی (buckle fold) بزرگ مقیاس می‌باشد که در نتیجه جنبش امتدادلغز سامانه گسلی پی‌سنگ ایجاد شده است (Sattarzadeh et al., 1999). اما در مطالعات جدیدتر الگوی چین جدایشی در ارتباط با نمک هرمز به عنوان دکولمان قاعده‌ای (Falcon, 1969, 1974; Jahani, 2008) و همچنین چین جدایشی گسل خورده در ارتباط با گسلش تراستی پی‌سنگ (Ginés et al., 2019) برای این تاقدیس در نظر گرفته شده است. شکل کنونی تاقدیس نیز به علت تغییر شکل ناشی از واتنش (strain) می‌باشد که در قسمت‌های ضعیف یعنی قسمت‌های حاوی نمک در بخش میانی تاقدیس، شدیدتر از سایر قسمت‌های تاقدیس عمل نموده است (Callot et al., 2007). دو گسل امتدادلغز راست‌بر نیز



شکل ۲-الف) نقشه زمین‌شناسی تاقدیس هندون که بر پایه تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت بالا (SRTM; SAS.Planet; Landsat 7) و پیمایش‌های صحرایی ترسیم شده است؛ ب) نقشه زمین‌شناسی قسمت مرکزی تاقدیس در مقیاس بزرگ‌تر که موقعیت ۴ برش مورد مطالعه (H1 تا H4) به ترتیب دامنه‌های جنوبی، جنوب‌باختری، شمال‌باختری و شمالی) با کادر مشکی نشان داده شده است. رنگ‌های نقشه زمین‌شناسی با رنگ‌های مورد استفاده در تصاویر تفسیر شده و برش‌های ترسیمی هم‌خوانی دارد. خط مشکی (N-S) در شکل ب موقعیت برش عرضی شکل ۱۱-ب را نشان می‌دهد.

۴- یافته‌های پژوهش

۴-۱- چینه‌نگاری رسوبات روباره دیاپیر نمکی هندون

در کراتر تخلیه شده و فضای پیرامون دیاپیر نمکی هندون سه دسته از توالی‌های رسوبی رخمون دارند که وضعیت سنگ‌شناسی، ضخامتی و میزان تأثیرپذیری آن‌ها

از هالوکینسیز به شرح ذیل می‌باشد:

دسته اول- نمک منشأ دیاپیرسم و توالی‌های با کمترین تأثیرپذیری از هالوکینسیز:

۱- سری هرمز: دیاپیر نمکی هندون همانند دیگر ساختارهای نمکی فارس

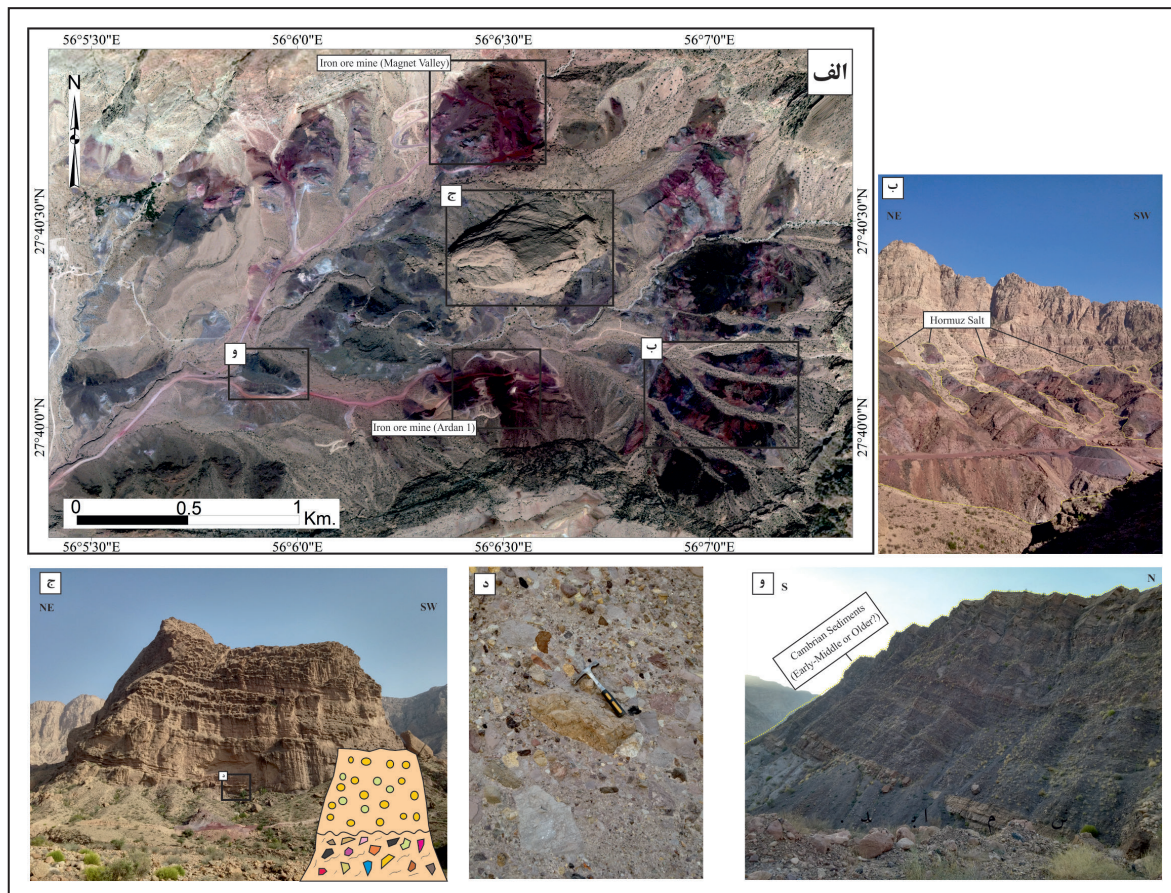
توده در موقعیت کنونی خود قرار گرفته است. احتمال دیگر در رابطه با تشکیل توده مزبور این است که ممکن است در رأس دیاپیر نمکی (کراتر) یک حوضه کوچک (minibasin) ایجاد شده باشد که محلی برای انباشت نهشته‌های آواری کنگلومرای بوده و با فرسایش نمک، به صورت کنونی خود نمایان گشته است. اما با توجه به اینکه قطعات و ماتریکس کنگلومرای سازند بختیاری و نیز آثار نهشته‌های دیوار نمکی را نمی‌توان در این توده مشاهده کرد به قطعیت نمی‌توان آنرا منتسب به کنگلومرای بختیاری یا نهشته‌های ناودسی دانست.

۳- توالی‌های رسوبی کوچک (patches) به ارتفاع ۲۰۰-۱۵۰ متر و گسترش جانبی حدود ۲۰۰ متر از توالی‌های رسوبی دیرینه (کامبرین پیشین- میانی یا پیشتر؟) (شکل ۳- الف، و): در دیاپیر نمکی هندون این توالی‌ها به صورت ترکیبی از شیل‌ها و کربنات‌های آلتزه و در نمای صحرایی به رنگ سبز تیره، ماسه سنگ‌های ارغوانی تا قرمز، دانه‌ریز و متوسط دانه، به سمت بالا ریز شونده، حاوی بلورهای اولیژیست در منافذ و به سمت بالا با سنگ آهک قهوه‌ای رنگ پوشیده شده است.

با استناد به مطالعات قبلی در مورد هالوکینسیز هرمز (مانند: Snidero et al., 2019, 2020; Perotti et al., 2016; Jahani et al., 2009; Hassanpour et al., 2020)، استوک نمکی هندون در نتیجه دیاپیرسم غیرفعال (passive diapirism) و به احتمال زیاد از پالئوزویک پیشین (کامبرین؟) فعل و انفعال داشته است. دسته اول از توالی‌ها تأثیر کمتری از هالوکینسیز داشته است، در آن‌ها هیچ بهم‌ریختگی در بافت و دانه‌بندی دیده نمی‌شود و همچنین این واحدها هیچ‌گاه متأثر از رسوب‌گذاری واحدهای جوان‌تر از خود نبوده است.

خاوری ریشه در نمک هالوکینتیک هرمز به سن ادیاکارن - کامبرین پیشین دارد (Jahani et al., 2007, 2009; Hassanpour et al., 2020). در دیاپیر نمکی هندون رخنمون‌های این سری را می‌توان به صورت مجموعه رسوبات نمک‌های آلتزه، سنگ‌های توفیت و ایگنمبریت‌های آلتزه شده، استروماتولیت جلبکی و ماسه‌سنگ‌ها همراه با ریپل مشاهده نمود (شکل ۳- الف، ب). علاوه بر این، دیاپیر نمکی هندون منجر به رخنمون دو محدوده پراکنده معدنی دره مگنت (در شمال تاقدیس) و آردان ۱ (در جنوب‌خاوری تاقدیس) شده است (شکل ۳- الف) که عمده کانسنگ این دو واحد معدنی هماتیت و مقدار کمی مگنتیت با ناخالصی سیلیس و آهک است. رخنمون این واحدهای آهنی بیانگر رابطه تنگاتنگ نمک و رسوبات روبراه خود می‌باشد.

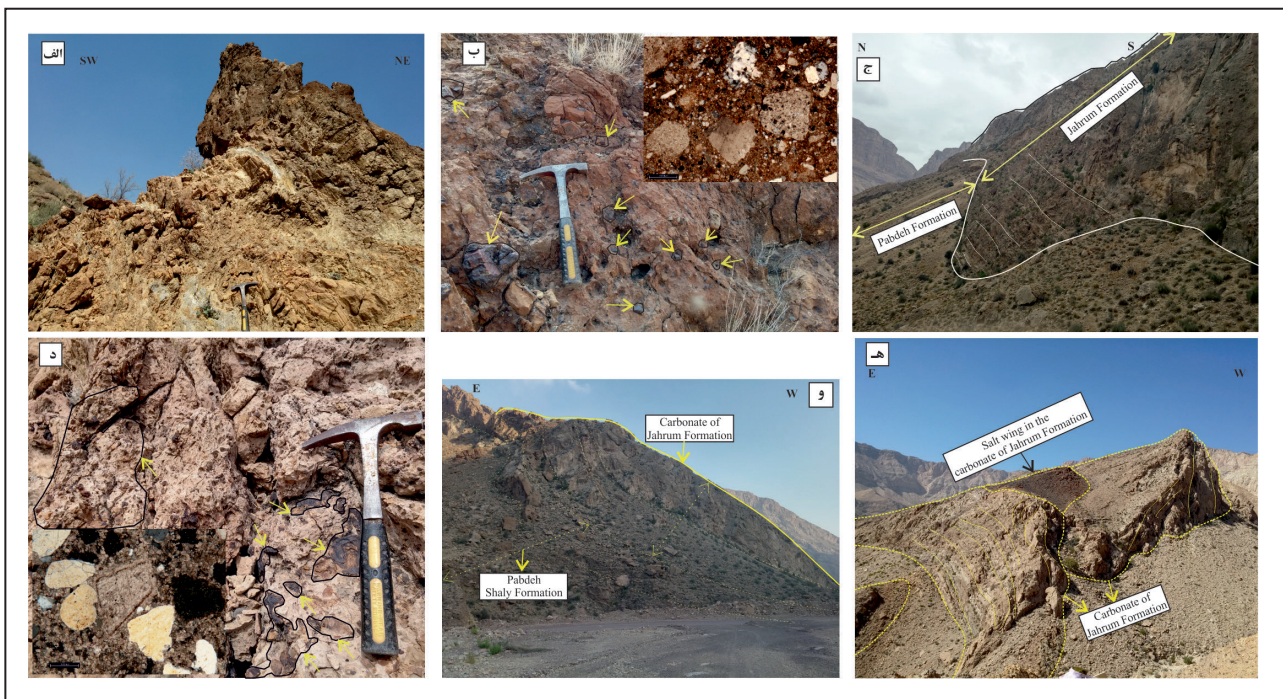
۲- در نیمه خاوری دیاپیر توده مخروطی شکل مجزایی با ارتفاع ۱۲۹۰ متر و پهنای ۲۷۰ متر دیده می‌شود (شکل ۳- الف، ج). این توده از دو بخش آگلومرای- برشی شده زیرین و بخش کنگلومرای بالایی تشکیل شده است. بخش زیرین متشکل از قطعات زاویه‌داری در اندازه‌های ۳ تا بیش از ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد که قطعات آن را ریولیت، قطعات آذرین با آلتراسیون آرژیلیتی، ایگنمبریت، هماتیت، مگنتیت، قطعات آهکی، ماسه‌سنگ، شست‌های میلیونیته شده در ماتریکسی از ریولیت تشکیل می‌دهد (شکل ۳- د). بخش بالایی توده مذکور را رسوبات کنگلومرای تشکیل می‌دهد (شکل ۳- الف، ج) که پژوهشگران (Motamedi et al., 2011; Jahani, 2008; Bosák et al., 1998) آنرا منتسب به کنگلومرای سازند بختیاری می‌دانند و تشکیل آنرا بدین صورت در نظر می‌گیرند که کنگلومرا بر روی دیاپیر نمکی نهشته شده است و سپس با تخلیه (salt withdrawal) یا فرسایش نمک، این



شکل ۳- الف) تصویر ماهواره‌ای دیاپیر نمکی هندون (برگرفته از SAS.Planet) و تصاویر زمین‌شناسی صحرایی تهیه شده از آن؛ ب) نهشته‌های نمک هرمز که رنگی بودن آن بیانگر وجود عناصر شیمیایی مختلف در این نهشته‌ها می‌باشد (نگاه به سوی جنوب‌خاوری)؛ ج) توده مخروطی شکل موجود در نیمه خاوری دیاپیر با بخش آگلومرای- برشی در قاعده و بخش کنگلومرای در رأس که با ناپیوستگی بر روی آن قرار گرفته است (نگاه به سوی جنوب‌خاوری). بخش پایین شکل، نمای ترسیمی از دو بخش این ستون را نشان می‌دهد؛ د) تصویر در بزرگنمایی بیشتر از کادر مشکی موجود در ج می‌باشد که قطعات زاویه‌دار تشکیل‌دهنده بخش آگلومرای- برشی قاعده ستون را نشان می‌دهد (نگاه از روبه‌رو، و) توالی رسوبی دیرینه (کامبرین پیشین- میانی یا پیشتر؟) (نگاه به سوی باختر).

آهک دولومیتی (با ریزرخساره پکستون تا وکستون)، متوسط تا ضخیم لایه و توده‌ای تشکیل شده است. بافت رودستونی (یا کنگلومرای)، کارستی شدن و سطوح دارای آغشتگی آهن به همراه افق‌های با بهم‌ریختگی زیستی نیز در این سازند دیده می‌شود. در زمان رسوب‌گذاری سازند جهرم، ورقه نمکی (salt sheet) در آن گسترده شده و فعالیت شدید نمک منجر به برگشتگی چینه‌های این سازند در شمال‌باختری دیاپیر شده است. در هر دو دامنه جنوبی و شمال‌باختری سطوح لایه‌بندی برگشته بوده و دارای شیپی از ۶۰ تا ۸۰ درجه می‌باشد (شکل ۴-ب). همچنین ساختارهای منفرد نمکی به شکل باله‌های نمکی (salt wing) در کربنات‌های جهرم نیز دیده می‌شود (شکل ۴-ه). این باله‌های نمکی که نمایانگر یکی از هندسه‌های تأثیر همزمان خروج نمک و انباشت رسوب در دامنه‌های دیاپیر می‌باشند، فعال شدن مجدد دیاپیرسم و فشرده شدن (squeezing) نمک به سمت بالا را نشان می‌دهد (Hafid et al., 2010; Jackson and Hudec, 2017; Snidero et al., 2020; Hassanpour et al., 2020). زمان تشکیل آنها به جایگیری ناحیه‌ای/حرارتی بار رسوبی در محدوده رسوبگذاری اطراف دیاپیر بستگی دارد (Tari et al., 2003). شواهد زیست‌چینه‌نگاری با توجه به وجود روزنبران کفزی بزرگ (*Large Benthic Foraminifera*) (*Dictyoconus* sp., *Nummulites* sp., *Pseudoaccordiella* sp., *Coskinolina* sp., *Orbitolites* sp., *Penarchaia* sp., *Neotaberina neaniconina* sp., *Austrotrillina eocenica*, *Medocia blayensis*, *Rhabdorites* sp., *Pseudolituonella robineti* sp., *Neorhipidionina* cf. *williamsoni* sp.) در نمونه‌های سازند جهرم سن ائوسن میانی را برای کربنات‌های این سازند در تاقدیس هندون نشان می‌دهند (نتایج منتشر نشده رساله).

دسته دوم- توالی‌های با بیشترین تأثیرپذیری از هالوکینسیز: ۱- سازندهای گوربی-تاربور: سازندهای با سن کرتاسه پسین (کامپانین-ماستریشین) در حوضه پیش‌بومی زاگرس می‌باشند که شیل‌ها و مارن‌های پلاژیک خاکستری و سنگ‌آهک‌های مارنی سانتونین-ماستریشین سازند گوربی به صورت بین‌انگشتی به کربنات‌های حاشیه پلاتفرم یعنی کربنات‌های ضخیم لایه تا توده‌ای ماستریشین سازند تاربور تغییر رخساره می‌دهد (Piryaei et al., 2011). در دیاپیر نمکی هندون توالی‌های کرتاسه پسین رخنمون کامل ندارند و تنها در دامنه باختر تاقدیس در قسمت تحتانی شیل‌های پابده، شیل‌ها و کربنات‌های سازند گوربی قابل مشاهده می‌باشند (شکل ۴-الف) که وفور برش‌های هالوکینتیکی (شکل ۴-ب) در ماتریکس آنها نشانگر رسوبگذاری این لایه‌ها همزمان با صعود و رخنمون دیاپیر بوده که در نهایت این رسوبات در حاشیه دیاپیر رخنمون پیدا کرده است. ۲- سازندهای پابده-جهرم: سازند دولومیتی-سنگ‌آهک دولومیتی جهرم با سن پالئوسن تا ائوسن میانی در اوایل پیشروی دریا از تنگه هرمز به سمت شمال‌خاور-جنوب‌خاور حوضه زاگرس و در قسمت کم‌عمق این دریای پیشرونده گسترده شده است. شیل‌های پلاژیک، مارن و سنگ‌آهک آرژیلیتی سازند پابده با سن پالئوسن تا اولیگوسن در قسمت‌های عمیق‌تر این حوضه (باختر، جنوب‌باختر و مرکز حوضه) رسوب‌گذاری نموده است (James and Wind, 1965; Seyrafian, 1998). با استناد به شواهد صحرایی چینه‌های کربنات‌ه سخت و صخره‌ای سازند جهرم به صورت نامتقارن در اطراف دیاپیر نمکی هندون قرار گرفته است و در دامنه جنوب و جنوب‌باختری دیاپیر به حالت بین‌انگشتی به شیل‌های دریای باز سازند پابده با سن پالئوسن-ائوسن پیشین تبدیل می‌شود (شکل ۴-ج). با توجه به بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی کربنات‌های کم عمق سازند جهرم از واحدهای برشی (برش هالوکینتیکی) (شکل ۴-د)، دولومیت



شکل ۴- تصاویر زمین‌شناسی صحرایی تهیه شده از دیاپیر نمکی هندون. الف) شیل‌ها و کربنات‌های سازند گوربی (دامنه شمال‌باختری- نگاه به سوی شمال‌باختر)؛ ب) برش‌های هالوکینتیکی در سازند گوربی، که تعدادی از آنها با فلش زرد رنگ نشان داده شده است (نگاه از روبه‌رو). بخش بالای شکل، تصویر میکروسکوپی این برش هالوکینتیکی را نشان می‌دهد (نور XPL، مقیاس ۵۰۰ μm)؛ ج) تماس تدریجی سازندهای جهرم و پابده (دامنه جنوبی- نگاه به سوی خاور)؛ د) وفور برش‌های هالوکینتیکی در سازند جهرم، که تعدادی از آنها با فلش زرد رنگ نشان داده شده است (نگاه از روبه‌رو). بخش پایین شکل، تصویر میکروسکوپی این برش هالوکینتیکی را نشان می‌دهد (نور XPL، مقیاس ۵۰۰ μm)؛ و) برگشتگی لایه‌ها در کربنات‌های سازند جهرم (دامنه جنوبی- نگاه به سوی جنوب)؛ ه) باله نمکی در کربنات سازند جهرم (دامنه شمال‌باختری- نگاه به سوی جنوب).

لایه‌هایی از آرژیلیت آهکی و سنگ‌آهک آرژیلیتی است که به حالت بین‌انگشتی و تدریجاً به درون سنگ‌آهک آسماری به سمت جنوب‌باختر کمربند زاگرس و بین‌انگشتی به لایه‌های تبخیری سازند گچساران تبدیل می‌شود که در بخش گوه‌ای

۳- سازند رازک و بخش گوری از سازند میشان: در مقیاس ناحیه‌ای، سازند رازک به سن اولیگوسن تا میوسن پیشین متشکل از رسوبات آواری چندرنگ، ریزشونده به سمت بالا، با ضخامت‌های بسیار متغیر (۱۵۰ تا بیش از ۱۳۰۰ متر)، دارای میان

گسیخته شده است (Molinaro et al., 2004). رسوب‌گذاری این بخش در سامانه‌ای کربناته-آواری از میوسن پیشین تا میانی و به‌طور بین‌انگشتی با سازندهای رازک، گچساران و آغاچاری صورت گرفته است (Heidari et al., 2014; Daneshian et al., 2016). در تاقدیس هندون آهک‌های گوری با لایه‌بندی خوب، به رنگ زرد تا نخودی به‌صورت صخره‌های کتابی (Book Cliff) دیده می‌شود که به سمت باختر-جنوب‌باختر به سازند رازک تغییر رخساره داده و هم‌شیب و تدریجی در زیر مارن‌های سازند میشان قرار گرفته است. ضخامت این بخش در دامنه‌های باختری و جنوبی دیاپیر افزایش یافته و به بیش از ۵۰۰ متر می‌رسد (شکل ۵-ج). سازند رازک و بخش گوری بیشترین تأثیر از فعالیت نمک را در دو دامنه شمالی و شمال‌باختری دیاپیر از خود نشان می‌دهند، به گونه‌ای که فعالیت نمک منجر به برگشتگی سازند رازک در دو دامنه شمالی و شمال‌باختری و کماتش بخش گوری در دامنه شمالی دیاپیر نمکی هندون شده است.



شکل ۵- تصاویر زمین‌شناسی صحرائی تهیه شده از دیاپیر نمکی هندون. الف) کنگلومرای پلی میکت قاعده سازند رازک که غنی از چرت و خرده‌های نمکی می‌باشد (دامنه شمالی دیاپیر- نگاه از روبه‌رو)؛ ب) ماسه‌سنگ قرمز رنگ سازند رازک (دامنه شمالی دیاپیر- نگاه از روبه‌رو)؛ ج) سیلتستون‌های رنگی سازند رازک در قاعده که آهک‌های صخره‌ساز با لایه‌بندی خوب و به رنگ زرد تا نخودی بخش گوری با ناپیوستگی هم‌شیب و ناگهانی بر روی آن‌ها قرار گرفته است (دامنه جنوبی دیاپیر- نگاه به سوی جنوب).

محصور شده با ناپیوستگی‌های محلی حاشیه دیاپیرها و رسوبات ثقلی مرتبط با آن هستند که بواسطه حرکت نمک و در واکنش به سرعت انباشت رسوب نسبت به سرعت رشد دیاپیر تشکیل می‌شوند (Giles and Lawton, 2002; Rowan et al., 2003). دو نوع سکانس هالوکینتیکی را تعریف نموده‌اند (Giles and Rowan, 2012; Giles et al., 2004): ۱- هوک (hook or Type A) که دارای ناپیوستگی با زاویه بیش از ۷۰ درجه، رسوبات ثقلی زیاد، تغییرات جانبی سریع رخساره‌ای و گسترش جانبی چین‌خوردگی برآویخته (Drape folding) در فاصله ۲۰۰-۵۰ متر از حاشیه دیاپیر می‌باشد (شکل ۶-الف). ۲- گوه (wedge or Type B) که نقطه مقابل هوک‌ها بوده و دارای ناپیوستگی‌های کم زاویه، رسوبات ثقلی کمتر، تغییرات جانبی تدریجی رخساره‌ها و گسترش جانبی چین‌خوردگی برآویخته تا فاصله ۱۰۰۰-۳۰۰ متر از حاشیه دیاپیر می‌باشد (شکل ۶-ب). هوک‌ها و گوه‌ها به ترتیب برای توصیف برانبارش سکانس‌های هالوکینتیکی ترکیبی (Composite Halokinetic Sequences: CHS) صفحه‌ای (tabular) و باریک‌شونده (tapered) مورد استفاده قرار گرفته است.

۵-۲- برش‌های مورد مطالعه در دیاپیر نمکی هندون

با فعال شدن مجدد گسل‌های پی‌سنگی در پاسخ به فشارش ناحیه‌ای تصادم صفحه عربی با صفحه اوراسیا (Sattarzadeh et al., 1999)، وجود دیاپیرهای نمکی قبل از کوهزایی زاگرس (pre-existing) در فارس خاوری نه تنها عامل مؤثر در ایجاد چین‌ها و راندگی‌ها بوده است (Callot et al., 2007; Jahani et al., 2009) بلکه تجدید فعالیت و جنبش دیاپیرهای نمکی منجر به نوسانات ضخامت و رخساره‌ای و تشکیل رخداد‌های ساختاری و تکتونیکی شده است که پیشتر از آن‌ها را مرتبط با کوهزایی نوژن زاگرس دانست (مانند: Hessami et al., 2001).

(wedge-top depozone) حوضه پیش بوم زاگرس در یک محیط دریایی محدود نهشته شده است (Hessami et al., 2001; Bahroudi and Koyi, 2004; Alavi, 2004; Pirouz et al., 2015). سازند رازک در تاقدیس هندون شامل توالی از کنگلومرای پلی میکت قاعده‌ای، ماسه‌سنگ قرمز روشن و سیلتستون خاکستری تا زرد کم‌رنگ می‌باشد (شکل ۵-الف، ب) که با ناپیوستگی فرسایشی سازند جهرم را پوشانده و با ناپیوستگی هم‌شیب و ناگهانی در زیر بخش گوری قرار می‌گیرد (شکل ۵-ج). در تاقدیس هندون، سازند رازک در مجاورت دیاپیر، دانه‌درشت‌تر و کم ضخامت و با دور شدن از دیاپیر، دانه‌ریزتر و ضخامت آن افزایش می‌یابد.

قاعده سازند میشان در ناحیه بندرعباس با ردیفی از سنگ‌آهک‌های ریفی با ضخامت بسیار متغیر از صفر تا صدها متر مشخص می‌شود که عملکرد برآمدگی عمان منجر به بیشینه رسوب‌گذاری این بخش در شمال بندرعباس شده است (Sepehr, 2000) و اغلب بر اثر ریزش ثقلی بر روی دامنه تاقدیس‌های بزرگ

دسته سوم- توالی‌های پوششی یا توالی‌های با تأثیرپذیری کمتر از هالوکینسیز: ۱- سازند میشان عمدتاً در جنوب‌خاوری زاگرس گسترش یافته و از مارن‌های خاکستری و سنگ‌آهک مارنی نازک لایه تشکیل شده است و به‌عنوان یک افق جدایشی مهم در مقیاس ناحیه‌ای عمل می‌کند (مانند: مطیعی، ۱۳۷۴؛ Molinaro et al., 2004; Bahroudi and Koyi, 2004). به‌استثنای فارس داخلی که سازند میشان بر روی سازند رازک قرار گرفته است، در دیگر نواحی این سازند بر روی سازند گچساران قرار گرفته و با سازند آغاچاری پوشیده شده است. در تاقدیس هندون سازند مارنی میشان به سن میوسن میانی به صورت هم‌شیب و تدریجی بر روی آهک گوری و هم‌شیب در زیر ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری قرار گرفته است. تاقدیس هندون از معدود تاقدیس‌های ناحیه بندرعباس می‌باشد که پوسته بیرونی تاقدیس بطور کامل با مارن‌های سازند میشان پوشیده شده است و گسترش جانبی چین‌خوردگی را با جابجایی بستر رودخانه و شبکه زهکشی به سمت دماغه‌های تاقدیس به خوبی نشان می‌دهد (Ramsey et al., 2008; Ginés et al., 2019). ۲ و ۳- از سازند میشان به بالا ته‌نشست‌های مolas درشت دانه‌تر شده و با مارن-ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری و کنگلومرای سازند بختیاری ادامه می‌یابد. اگرچه این توالی‌ها اثرات هالوکینسیز را از خود نشان نمی‌دهند ولی عدم مشاهده شواهد هالوکینسیز در آن‌ها می‌تواند ناشی از فرسایش زیاد باشد، به‌طوری‌که در نزدیکی دیاپیر حفظ نشده‌اند و تنها در بخش‌های خارجی تاقدیس وجود دارند که فاصله آن‌ها نیز از دیاپیر زیاد می‌باشد.

۵- بحث

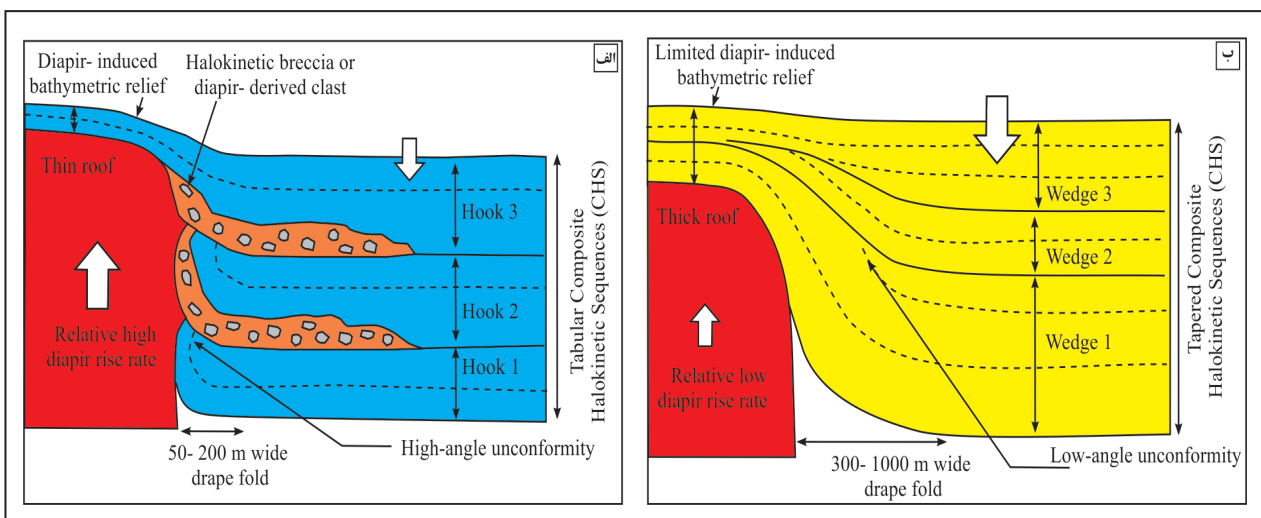
۵-۱- سکانس‌های هالوکینتیکی

سکانس‌های هالوکینتیکی، بسته‌های رسوبی نازک شده و چرخیده (چین‌خورده)

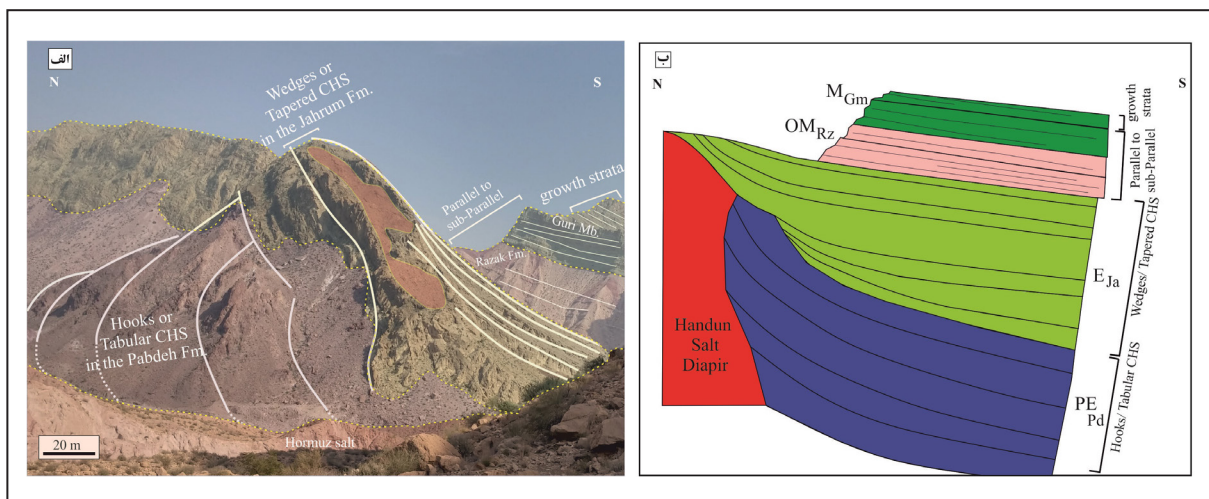
و هم‌پوشانی کرنات‌ها منجر به تشکیل الگوی برانبارش سکانس‌های هالوکینتیکی ترکیبی باریک‌شونده یا گوه‌هایی از کرنات بر روی دیاپیر می‌شود. باله‌هایی از نمک نیز به داخل این گوه‌ها کشیده شده است. کرنات‌ها مزبور به شدت دولومیتی شده و در مجاورت دیاپیر، برش‌های هالوکینتیکی در ماتریکس آنها مشاهده می‌شود (شکل ۴-ت). دولومیت به تدریج با دور شدن از دیاپیر به آهک دولومیتی (با ریزرخساره و کستون تا پکستون) تغییر رخساره می‌دهد. علاوه بر این فرایندهای دیاژنزی مانند سیلیسی شدن، هماتیته شدن، سیمانی شدن، استیلولیت و شکستگی به سمت دیاپیر نیز در آنها افزایش می‌یابد. به دنبال تشکیل سکانس‌های هالوکینتیکی هوک و گوه به ترتیب در سازندهای پابده و جهرم، با دور شدن از دیاپیر نمکی، توالی‌های موازی تری در سیلستون‌های رنگی سازند رازک به سن اولیگوسن-میوسن پیشین و قسمت‌های تحتانی بخش گوری به سن میوسن پیشین-میانی دیده می‌شود. گرچه فرسایش ممکن است باعث از بین رفتن سکانس‌های هالوکینتیکی در توالی‌های رازک و گوری و عدم مشاهده آنها در این برش شود ولی وجود چینه‌های رشدی در آهک‌های نازک لایه و با لایه‌بندی خوب بخش گوری در ادامه توالی، بیانگر فعال شدن مجدد نمک بر اثر کوتاه‌شدگی زاگرس در طی توالی‌های سازند رازک و بخش گوری می‌باشد (شکل ۷-الف، ب).

(Sattarzadeh et al., 1999; Molinaro et al., 2004, 2005; Koyi et al., 2016 می‌توان آن‌ها را نتیجه جنبش نمک (Jackson and Hudec, 2017) در نظر گرفت (مانند: Ezati Asl et al., 2019; Faghih et al., 2019; Snidero et al., 2019, 2020; Hassanpour et al., 2020). دیاپیر نمکی هندون به عنوان یکی از دیاپیرهای نمکی قبل از کوهزایی زاگرس، با جنبش خود تأثیراتی در توالی‌های روسوی پیرامون دیاپیر ایجاد نموده است که در چهار برش به شرح ذیل مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۲-ب):

برش دامنه جنوبی (H1) (شکل‌های ۲-ب و ۷): نمک هرمز، سازندهای پابده-جهرم، رازک و بخش گوری در این برش رخنمون دارند. دیاپیر نمکی هندون که در کرتاسه پسین به سطح رسیده است در پالتوسن-ائوسن پیشین با ایجاد هوک‌هایی در سازند پابده به صعود و خروج خود ادامه می‌دهد. در این حالت سرعت صعود نمک بیش از سرعت انباشت رسوبات شیلی پابده، سقف دیاپیر نازک و فرسایش رسوبات سقف با رسوبگذاری برش‌های هالوکینتیکی در قاعده لایه‌های برگشته شیل‌های سازند پابده یعنی هوک‌ها همراه بوده است. با رسوبگذاری کرنات‌های کم عمق سازند جهرم در ائوسن میانی رسوبگذاری بیش از صعود نمک بوده و کرنات‌ها بر روی دیاپیر نمکی هم‌پوشانی (overlap) نموده است. تشکیل سقف ضخیم دیاپیر



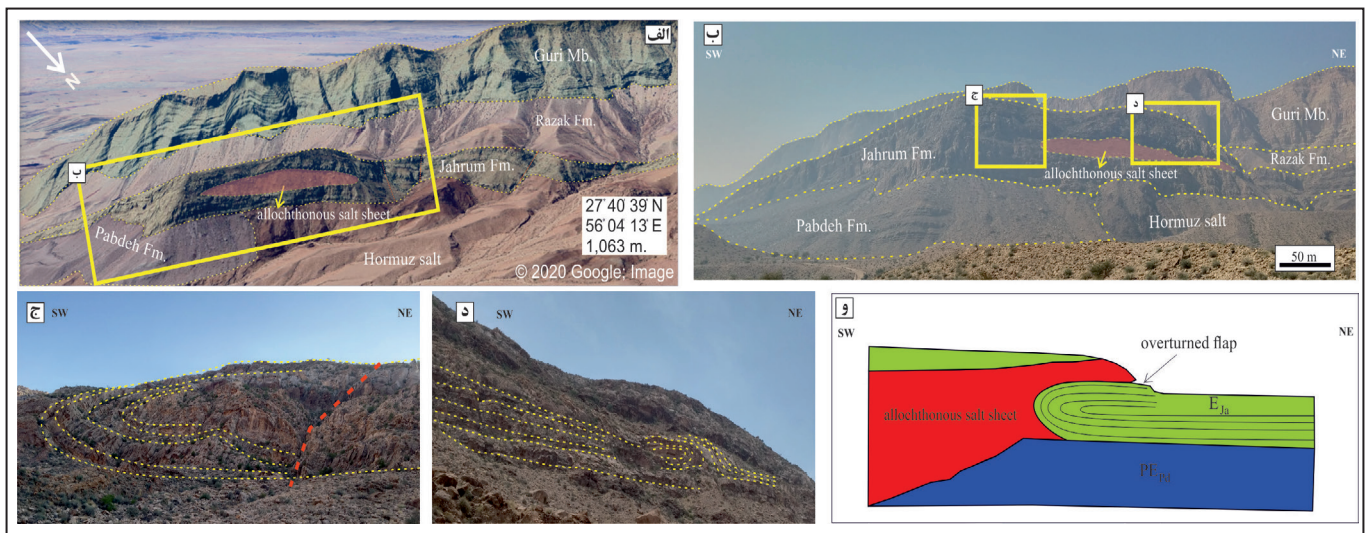
شکل ۶- مدل سکانس‌های هالوکینتیکی و الگوی برانبارش آنها: الف) سکانس‌های هالوکینتیکی نوع گوه و برانبارش باریک‌شونده آنها (Giles and Rowan, 2012). ب) سکانس‌های هالوکینتیکی نوع گوه و برانبارش صفحه‌ای آنها؛ ب) سکانس‌های هالوکینتیکی نوع گوه و برانبارش باریک‌شونده آنها (Giles and Rowan, 2012).



شکل ۷-الف) تصویر زمین‌شناسی صحرایی تفسیر شده از برش HI، که محدوده سازندها و سکانس‌های هالوکینتیکی بر روی آنها تفکیک شده است، ب) برش ترسیم‌شده شماتیکی از فعالیت دیاپیر نمکی هندون در برش HI (برش‌های ترسیم‌شده بدون مقیاس هستند). در الف) و ب) نگاه به سوی خاور. (جزئیات بیشتر در متن).

کربناته اتوسن میانی جهرم شده است (شکل ۸- و) که حرکت تدریجی این ورقه نمکی به سمت بیرونی حوضه با تغییر شکل در لایه‌های کربنات، چین‌های فلیپ (overtured flap) را ایجاد نموده است (شکل ۸- ج، د، و). در این برش نیز مانند برش H1، با دور شدن از دیاپیر نمکی، توالی‌های موازی تری در سیلستون‌های رنگی سازند رازک و قسمت‌های تحتانی بخش گوری دیده می‌شود (شکل ۸- الف). گرچه فرسایش ممکن است باعث از بین رفتن سکانس‌های هالوکینتیکی در این توالی‌ها و عدم مشاهده آن‌ها شده باشد ولی چین‌های رشدی در بخش گوری در ادامه توالی، بیانگر فعال شدن مجدد نمک بر اثر کوتاه‌شدگی زاگرس در طی این توالی‌ها می‌باشد.

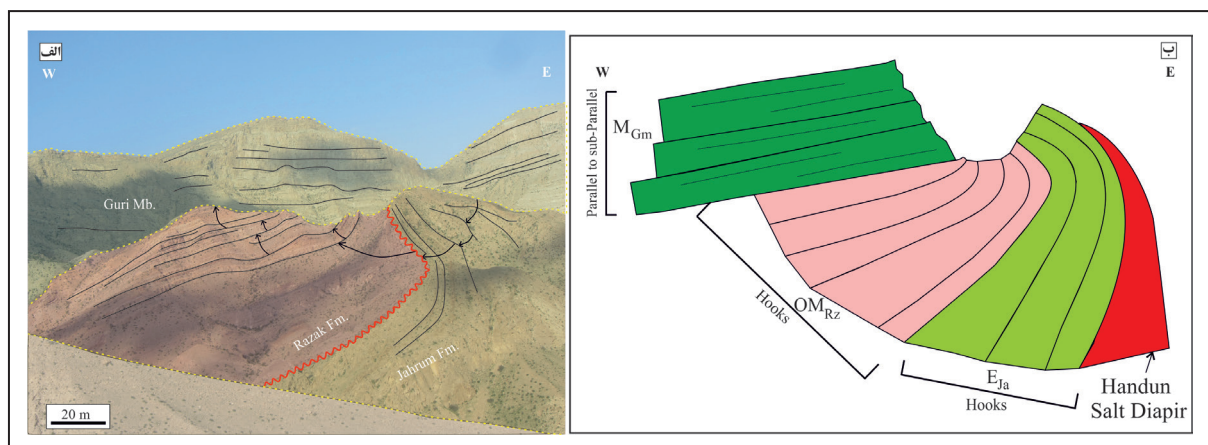
برش دامنه جنوب‌باختری (H2) (شکل‌های ۲- ب و ۸- الف): چینه‌نگاری آن مشابه برش H1 است با این تفاوت که افق‌های کربنات جهرم موازی تا نیمه موازی و عمدتاً دولومیتی (همراه با برش‌های هالوکینتیکی) و آهک دولومیتی (با ریزرخساره و کستون-پکستون) بوده و در انتهایی‌ترین بخش زیرین آن، هالوکینسیز قسمت‌هایی از نهشته‌های مارنی-آهکی ماستریشین سازند گورپی را به سطح رسانده است (شکل ۴- الف). وجود برش‌های هالوکینتیکی در نهشته‌های گورپی (شکل ۴- ب) بیانگر خروج سطحی دیاپیر نمکی هندون در این زمان می‌باشد. با پایین آمدن سطح نسبی آب دریا و جایجایی پلاتنفرم کربناته به سمت دریا، سقف دیاپیر نازک شده و منجر به گسترش ورقه نمکی (allochthonous salt sheet) در پلاتنفرم



شکل ۸- الف) تصویر سه بعدی تفسیر شده، برگرفته از Google earth و ب) تصویر زمین‌شناسی صحرایی از برش H2، که محدوده سازندها و ورقه نمکی بر روی آن‌ها تفکیک شده است؛ ج) و د) تغییر شکل نرم در نهشته‌های کربناته منجر به تشکیل چین‌های فلیپ شده است؛ و) برش ترسیمی شماتیکی از فعالیت دیاپیر نمکی هندون در برش H2: در تصاویر الف) تا و) نگاه به سوی شمال‌باختر. (جزئیات بیشتر در متن).

با ریزرخساره و کستونی) هستند. در ادامه هوک‌های جهرم، با یک ناپیوستگی در مرز جهرم-رازک و تغییر رخساره‌ای از کربناته به آواری و تداوم برگشتگی لایه‌ای ولی کمتر، هوک‌های سازند رازک قرار می‌گیرد. سازند رازک نیز در این برش، ضخامت کمتری از دو برش قبلی داشته و لیتولوژی آواری (با میان لایه‌های کربنات) را نشان می‌دهد (شکل ۹- الف). در ادامه توالی، ممکن است بر اثر فرسایش سکانس‌های هالوکینتیکی از بین رفته باشد و بخش‌های موازی تر و دورتر از دیاپیر نمکی آهک‌های گوری حفظ شده و رخنمون یافته باشد (شکل ۹- الف، ب).

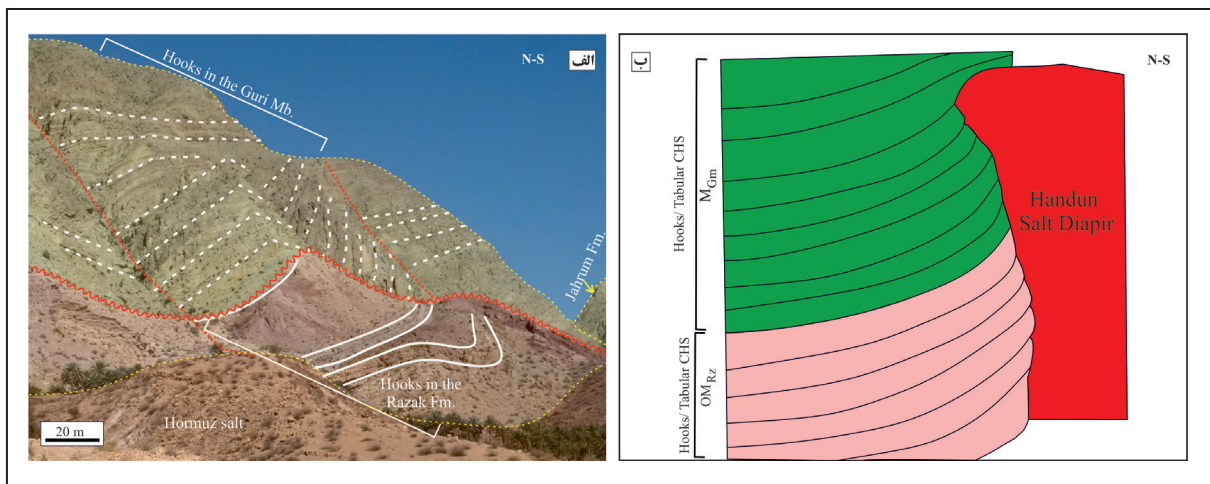
برش شمال‌باختری (H3) (شکل‌های ۲- ب و ۹): چینه‌نگاری این برش شامل نمک هرمز و سازندهای جهرم و رازک و بخش گوری می‌باشد. با تداوم کاهش سطح نسبی آب دریا سطح دیاپیر رخنمون یافته، افزایش سرعت صعود دیاپیر و چرخش دامنه منجر به کاهش فضای رسوبگذاری و تشکیل الگوی برانبارش سکانس‌های هالوکینتیکی ترکیبی صفحه‌ای یا هوک در سازند جهرم گردیده است (شکل ۹- الف). کربنات‌های جهرم در این برش ضخامت کمتری از دو برش قبلی داشته، لایه‌ها برگشته با شیب ۸۰ درجه، عمدتاً دولومیتی و دولومیتی-آهکی



شکل ۹- الف) تصویر زمین‌شناسی صحرایی تفسیر شده از برش H3؛ ب) برش ترسیمی شماتیکی از فعالیت دیاپیر نمکی هندون در برش H3. در الف) و ب) نگاه به سوی شمال. (جزئیات بیشتر در متن).

مثلثی (Triangular facets) یا فلت‌آیرن (Bucci et al., 2007) (Flatirons) در نمای صحرایی این بخش شده است (شکل ۱۰-الف). تغییر فاحش ضخامت سازند رازک و بخش گوری در دامنه شمالی و جنوبی دیاپیر و تاقدیس هندون، به گونه‌ای که در دامنه جنوبی دارای ضخامت بیشتری نسبت به دامنه شمالی می‌باشد، بیانگر تغییر فضای رسوبگذاری است که بوسیله جایگاه‌های عمیق پی‌سنگی کنترل می‌شود و این جایگاه‌ها تأمین و ضخامت نمک هرمز را نیز متأثر می‌سازند (Snidero et al., 2019). رخنمون سازند رازک و بخش گوری در جوار دیاپیر نمکی هندون بیانگر این است که صعود دیاپیر با کمناش و چرخش این توالی‌ها، آن‌ها را با خود به سمت بالا کشیده است (شکل ۱۰-ب).

برش دامنه شمالی (H4) (شکل ۲-ب، شکل ۱۰-الف): این برش که در دامنه شمالی تاقدیس و دیاپیر نمکی هندون قرار گرفته است توالی شامل نمک هرمز، سازند رازک و بخش آهکی گوری می‌باشد. تراست‌شدگی، تغییر شدید رخساره و وجود رسوبات کنگلومرایی و ماسه‌ای سازند رازک در بالای نمک هرمز و در قاعده کربنات‌های بخش گوری بیانگر فعالیت دیاپیر در اولیگوسن-میوسن پیشین متأثر از کوهزایی نوژن زاگرس می‌باشد. ضخامت سازند رازک در این برش کمتر از سه برش قبلی همراه با برگشتگی و دارای سکانس هالوکینتیکی از نوع هوک است. به دنبال هوک‌های سازند رازک، هوک‌های بخش گوری با سن میوسن پیشین-میانی قرار می‌گیرد که تکتونیک فعال و فرسایش تفریقی کربنات‌های شیب‌دار منجر به ایجاد مورفولوژی اشکال

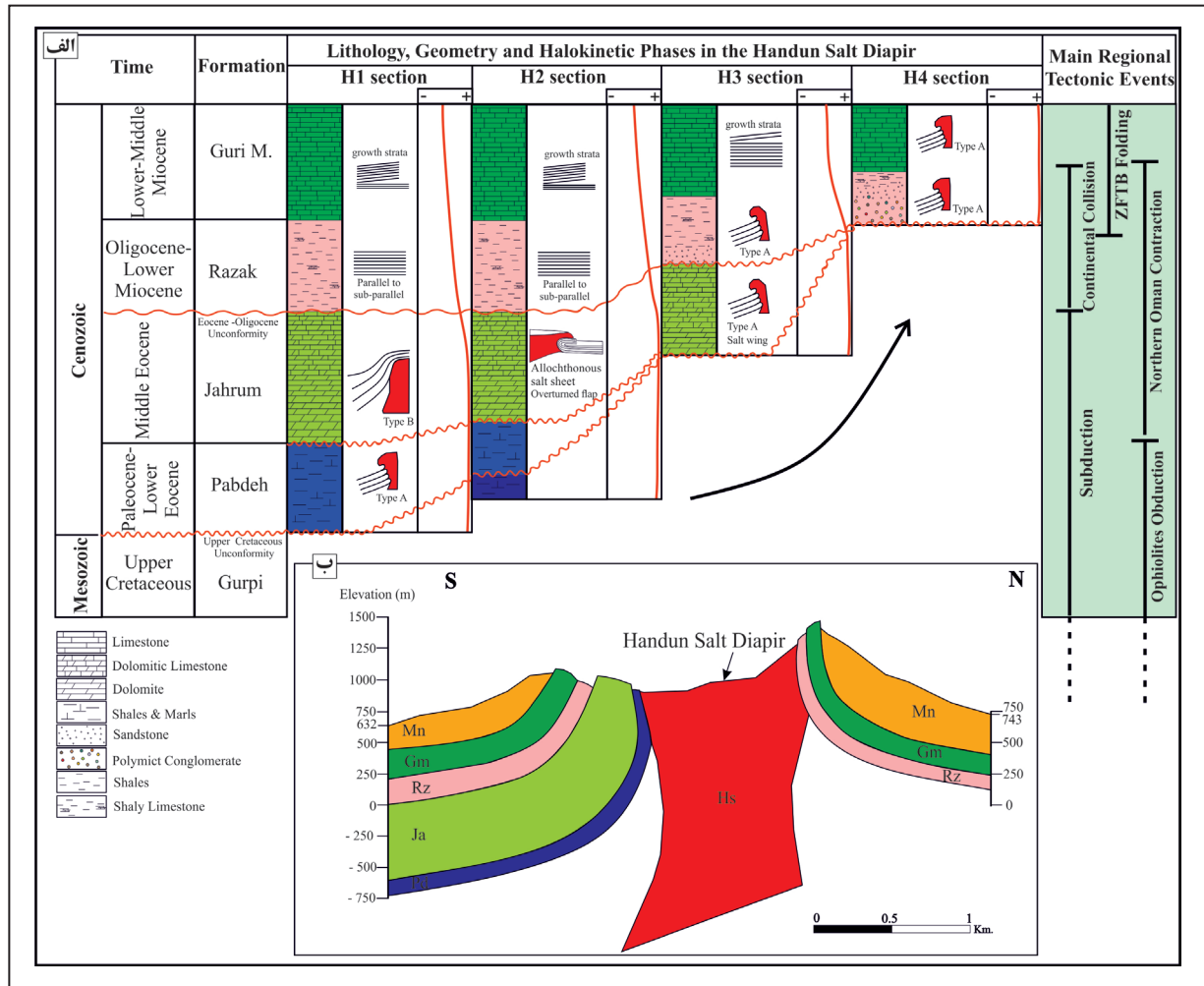


شکل ۱۰-الف) تصویر زمین‌شناسی صحرایی تفسیر شده از برش H4 (ب) برش ترسیم‌شده از فعالیت دیاپیر نمکی هندون در برش H4. در (الف) و (ب) نگاه به سوی خاور. (جزئیات بیشتر در متن).

۶- فازهای هالوکینتیکی شناسایی شده در دیاپیر نمکی هندون

نازک شدن سقف دیاپیر و افزایش رسوبگذاری در دپوستر پیرامون دیاپیر نمکی (Poprawski et al., 2016)، فاز اصلی خروج نمک و به شکل ورقه نمکی در پلاتفرم کربناته کم عمق ائوسن میانی سازند جهرم رخ داده است که با گسترش خود، منجر به تغییر شکل نرم و تشکیل چین‌های فلپ در کربنات شده است. علاوه بر این، افزایش نرخ صعود و رخنمون سطحی دیاپیر نمکی باعث برگشتگی و تشکیل هندسه‌های هوکی در کربنات‌های سازند جهرم نیز شده است (شکل ۱۱-الف). ناپایداری مجدد حاشیه شمال خاوری صفحه عربی در اواخر اولیگوسن-میوسن پیشین که اولین علامت تصادم آن با صفحات ایرانی اوراسیا است با ناپیوستگی ناحیه‌ای مشخص می‌شود که در زاگرس خاوری خود را با سازند رازک نشان می‌دهد (مانند: Molinaro et al., 2004; Khadivi et al., 2012; Mouthereau et al., 2012). کوتاه‌شدگی حاصل از کوهزایی نوژن زاگرس، با تشکیل جوش نمکی ثانویه (secondary salt weld) و فشرده شدن دیاپیر در تسریع صعود و به سطح رساندن دیاپیر نمکی هندون نقش مؤثری داشته است که با تشکیل هندسه‌های هوکی در آواری‌های ارغوانی رنگ سازند رازک و آهک‌های میوسن پیشین-میانی گوری به ترتیب در دو دامنه شمالی-شمال‌باختری و شمالی دیاپیر خود را نشان می‌دهد (شکل ۱۱-الف). با دور شدن از دیاپیر، شدت دولومیتی شدن و فرآیندهای دیاژنزی در رسوبات کربناته کاهش یافته، رسوبات آواری‌های ریزدانه شده و با تشکیل لایه‌های موازی همراه می‌باشد که نشانگر کاهش تأثیر دیاپیر می‌باشد. افزایش نرخ صعود دیاپیر نه تنها منجر به کاهش ضخامت توالی‌های رسوبی به سمت دیاپیر شده است بلکه باعث به هم پیوستن ناپیوستگی‌ها به سمت دیاپیر و کاهش شدت آنها به دور از دیاپیر شده است.

با بررسی رسوبات رخنمون یافته از کرتاسه پسین تا سنوزوئیک در امتداد چهار برش و سکانس‌های هالوکینتیکی آنها، فازهای خروج نمک در دیاپیر نمکی هندون در این بازه زمانی شناسایی شد که همزمانی با حوادث تکتونیک ناحیه‌ای را نشان می‌دهد (شکل ۱۱-الف). آغاز حرکت تصادم قاره-قاره در کرتاسه میانی-پسین (Falcon, 1974; Karim et al. 2011; Farahpour and Hessami, 2012; Mouthereau et al., 2012) در فعال شدن مجدد و به سطح رساندن دیاپیر هندون نقش مؤثری داشته است که وجود برش‌های هالوکینتیکی در سازند گورپی بیانگر اولین فاز خروج و به سطح رسیدن دیاپیر هندون در این زمان بوده است. در بازه زمانی پالئوسن-ائوسن پیشین دیاپیر نمکی هندون با تشکیل هندسه‌های هوکی در پایده به صعود و احتمالاً خروج خود بر اثر فشرده شدن دیاپیر (Snidero et al., 2020; Hassanpour et al., 2020) ادامه داده است (شکل ۱۱). در نتیجه گسترش پلاتفرم کربناته کم عمق در حاشیه شمال‌خاوری صفحه عربی در ائوسن میانی (Serra-Kiel et al., 2016; Golonka, 2004; Sallam et al., 2108) هندسه‌های گوه‌ای از کربنات‌های سازند جهرم بر روی دیاپیر هم‌پوشانی داشته است (شکل ۱۱). آنچه باعث رشد دیاپیر نمکی هندون همزمان با رسوبگذاری کربناته‌های جهرم و تشکیل گوه‌ها شده است پدیده فرسایش (downbuilding) حوضه‌های کوچک یا ناودیس حاشیه‌ای در اطراف دیاپیر می‌باشد. این پدیده سازوکار به واقع نزدیک‌تر و عامل اصلی صعود نمک در بسیاری از حوضه‌های هالوکینتیکی دنیا می‌باشد و آنچه باعث صعود نمک می‌شود تداوم رسوبگذاری در دامنه دیاپیر می‌باشد (مانند: Vendeville and Jackson, 1992; Jackson and Talbot, 1994; Rowan et al., 2003; Giles and Rowan, 2012). با کاهش سطح نسبی آب دریا،



شکل ۱۱- الف) نگاره تطابقی ترسیمی که نشان‌دهنده روابط زمانی- مکانی فعالیت صعود نمک در دیاپیر هندون و تغییرات سنگ‌شناسی و هندسی مرتبط با آن می‌باشد. در آخرین ستون هر برش، شدت پالس‌های حرکت نمک طی زمان (علامت + شدت بالا و علامت - شدت پایین فعالیت دیاپیر) و در ستون آخر حوادث تکتونیکی حاشیه شمالی صفحه عربی از کرتاسه پسین تا میوسن نشان داده شده است (مانند: Searle et al., 2014; Orang et al., 2018; Mouthereau et al., 2007, 2012; Alavi, 2004, 2007). توضیحات بیشتر در متن؛ ب) برش عرضی زمین‌شناسی در راستای شمالی-جنوبی (N-S) دیاپیر نمکی هندون که نشان‌دهنده هندسه چینه‌های رشدی هالوکینتیکی پیرامون دیاپیر می‌باشد.

۷- نتیجه‌گیری

و هالوکینسیز در اولیگوسن- میوسن پیشین. این فعالیت با تشکیل جوش نمکی ثانویه و فشرده شدن، منجر به رخنمون سطحی استوک نمکی هندون شده است. همچنین، تداوم چین‌خوردگی باعث کوتاه‌شدگی دیاپیر و تاقدیس هندون شده است. ۵- رسوبگذاری نهشته‌های سازند میشان همزمان با چین‌خوردگی تاقدیس هندون و به دنبال آن رسوبگذاری نهشته‌های سازندهای آغاچاری و بختیاری صورت گرفته است که احتمالاً در نزدیکی دیاپیر متأثر از صعود نمک بوده‌اند اما به علت فرسایش این شواهد از بین رفته‌اند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود می‌دانند از رهنمودهای علمی پروفیسور جوزپ آنتون مونیوس دلا فونته و تیم همراهشان در دپارتمان ژئومدل دانشگاه بارسلونا تشکر و قدردانی نمایند که با ارائه تجارب و نقطه نظرات ارزنده خود در زمینه تکتونیک نمک و مدل‌سازی آن، شناسایی جنبش‌ها و حرکات نمک و تغییرات حاصل از آن را برای ما تسهیل نمودند. همچنین از داوران محترم مقاله که با صرف وقت باارزش خود و ارائه نقطه‌نظرات ارزنده و عملی-تجربی در ارتقا کیفیت علمی مقاله نقش مؤثری داشته‌اند، قدردانی می‌شود.

بررسی رخنمون‌های سطحی حاشیه دیاپیر نمکی هندون در ناحیه بندرعباس که تحت تأثیر دو عامل تکتونیک ناحیه‌ای و هالوکینسیز قرار گرفته است منجر به شناسایی سکانس‌های هالوکینتیکی قبل و همزمان با کوهزایی نوژن زاگرس برای نخستین بار شده است. عملکرد این حوادث تکتونیکی-رسوبی از کرتاسه پسین تا نوژن عبارتند از: ۱- اگرچه به علت عدم رخنمون نهشته‌های قبل از سازند گورپی (مانند سازند سروک)، شناسایی اولین فاز خروج نمک در دیاپیر نمکی هندون ممکن نیست ولی براساس توالی‌های رخنمون یافته، اولین فاز خروج و به سطح رسیدن دیاپیر هندون با تلفیق تکتونیک ناحیه‌ای و هالوکینسیز همراه بوده است که برش‌های هالوکینتیکی در سازند گورپی به سن کرتاسه پسین بیانگر خروج سطحی نمک می‌باشد. ۲- ادامه صعود و احتمالاً به سطح رسیدن نمک با تشکیل هوک‌های پایده در پالئوسن-ائوسن پیشین در اثر فشرده شدن. ۳- فاز اصلی جریان و خروج نمک با گسترش ورقه و باله‌های نمکی در پلاتفرم کربنات کم عمق سازند جهرم با سن ائوسن میانی صورت گرفته است. علاوه‌براین، روهم‌پوشانی و هم‌پوشانی رسوبات کربناته با تشکیل هندسه‌های گوه‌ای، هوکی و چین‌های فلپ در این سازند همراه بوده است. ۴- فعالیت مجدد استوک نمکی هندون متأثر از کوتاه‌شدگی نوژن زاگرس

کتابنگاری

فیضی، ا.، نائیجی، م.ر.، پیریانی، ع.ر.، سرادقی صوفیانی، ح. و همت، س.، ۱۳۹۲- موقعیت تکتونیکی-رسوبی نهشته‌های آلپین در برش‌های سطحی کوه‌های گنو، انگورو و خمیر (ناحیه بندرعباس)، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۹۹، ص. ۶۸-۷۵.

مطیعی، ه.، ۱۳۷۴- زمین‌شناسی نفت زاگرس ۱ و ۲، سازمان زمین‌شناسی کشور، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، شماره ۲۵: ۱۰۴۳ ص.

References

- Alavi, M., 2004- Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American journal of science*, 304(1): 1-20. <https://doi.org/10.2475/ajs.304.1.1>.
- Alavi, M., 2007-Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of science*, 307(9): 1064-1095.
- Ameen, M. S., 1992- Effect of basement tectonics on hydrocarbon generation, migration, and accumulation in northern Iraq. *AAPG bulletin*, 76(3): 356-370. <https://doi.org/10.1306/BDFE87FE-1718-11D7-8645000102C1865D>.
- Atapour, H. and Aftabi, A., 2017- The possible synglaciogenic Ediacaran hematitic banded iron salt formation (BISF) at Hormuz Island, southern Iran: Implications for a new style of exhalative hydrothermal iron-salt system. *Ore Geology Reviews*, 89: 70-95. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.05.033>.
- Bahroudi, A. and Koyi, H. A., 2004- Tectono-sedimentary framework of the Gachsaran Formation in the Zagros foreland basin. *Marine and Petroleum Geology*, 21(10): 1295-1310. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2004.09.001>.
- Berberian, M., 1995- Master “blind” thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*. 241: 193-224. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)00185-C](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)00185-C).
- Bosák, P., Jaros, J., Spudil, J., Sulovsky, P. and Vaclavek, V., 1998- Salt plugs in the eastern Zagros, Iran: results of regional geological reconnaissance. *GeoLines (Praha)*, v. 7, 3- 174.
- Bucci, F., D’Onofrio, D., Tavernelli, E. and Prosser, G., 2007- Triangula Facets or Flatirons? A note of caution from the Lucania Apennines, Italy. *Rend. Soc. Geol. It*, 5, 91.
- Callot, J. P., Jahani, S. and Letouzey, J., 2007- The role of pre-existing diapirs in fold and thrust belt development. In: Lacombe, O., Lavé, J., Roure, F. M., & Vergés, J. (Eds.), *Thrust belts and foreland basins*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 309-325.
- Daneshian, J., Moallemi, S. A. and Derakhshani, M., 2016- Refinement of stratigraphy according to the first finds of planktonic species of *Orbulina* and *Praeorbulina* from the Guri Limestone of the Mishan Formation in northwest of Bandar Abbas, South Iran. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 24(3): 267-275. <https://doi.org/10.1134/S0869593816030023>.
- Diegel, F. A., Karlo, J. F., Schuster, D. C., Shoup, R. C. and Tauvers, P. R., 1995- Cenozoic structural evolution and tectono-stratigraphic framework of the northern Gulf Coast continental margin. In: Jackson, M. P. A., Roberts, D. G. & Snelson, S. (Eds), *Salt Tectonics: A Global Perspective*. AAPG, Tulsa, Memoir, 65: 109–151.
- Ezati Asl, M., Faghih, A., Mukherjee, S. and Soleimany, B., 2019- Style and timing of salt movement in the Persian Gulf basin, offshore Iran: Insights from halokinetic sequences adjacent to the Tonb-e-Bozorg salt diapir. *Journal of Structural Geology*, 122, 116-132. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2019.02.002>.
- Faghih, A., Ezati-Asl, M., Mukherjee, S. and Soleimany, B., 2019- Characterizing halokinesis and timing of salt movement in the Abu Musa salt diapir, Persian Gulf, offshore Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 105, 338-352. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.04.002>.
- Falcon, N. L., 1969- Problems of the relationship between surface structure and deep displacements illustrated by the Zagros Range, in *Time and place in orogeny*, Geological Society of London, Special Publications. 3(1): 9-21. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1969.003.01.02>.
- Falcon, N. L., 1974- Southern Iran: Zagros Mountains. Geological Society, London, Special Publications, 4(1): 199-211. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2005.004.01.11>.
- Farahpour, M. M. and Hessami, K., 2012- Cretaceous sequence of deformation in the SE Zagros fold–thrust belt. *Journal of the Geological Society* 169(6): 733-743. <https://doi.org/10.1144/jgs2012-042>.
- Farzipour Saein, A., Yassagi, A., Sherhati, S. and Koyi, H., 2009- Basin evolution of the Lurestan region in the zagros fold-and-thrust belt, Iran. *Journal of Petroleum Geology*. 32(1): 5-19. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2009.00432.x>.
- Giles, K. A. and Lawton, T. F., 2002- Halokinetic sequence stratigraphy adjacent to the El Papalote diapir, Northeastern Mexico. *AAPG Bulletin*. 86: 823–840. <https://doi.org/10.1306/61EEDBAC-173E-11D7-8645000102C1865D>.
- Giles, K. A., Lawton, T. F. and Rowan, M. G., 2004- Summary of halokinetic sequence characteristics from outcrop studies of La Popa salt basin, northeastern Mexico. In *Salt–sediment interactions and hydrocarbon prospectivity: Concepts, applications, and case studies for the 21st century*: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Gulf Coast Section, 24th annual research conference, pp: 1045-1062.

- Giles, K. A. and Rowan, M. G., 2012- Concepts in halokinetic-sequence deformation and stratigraphy. Geological Society, London, Special Publications, 363(1): 7-31. <https://doi.org/10.1144/SP363.2>.
- Ginés, J., Edwards, R., Lohr, T., Larkin, H. and Holley, R., 2019- Remote sensing applications in the Fars Region of the Zagros Mountains of Iran. Geological Society, London, Special Publications, 490, SP490-2018. <https://doi.org/10.1144/SP490-2018-147>.
- Golonka, J., 2004- Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasian in the Mesozoic and Cenozoic. Tectonophysics. 381: 235–273. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2002.06.004>.
- Hafid, M., Bally, A. W., Salem, A. A. and Toto, E., 2010- Salt tectonics and structural styles of the western High Atlas and the intersecting Essaouira Cap Tafelney segments of the Moroccan Atlantic margin. Quaternary carbonate and evaporite sedimentary facies and their ancient analogues: A Tribute to Douglas James Shearman, 405-419.
- Harrison, J. V., 1930-The geology of some salt-plugs in Laristan, southern Persia. Quarterly Journal of the Geological Society, 86(1-4), 463-522. <https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1933.086.01-04.18>.
- Hassanpour, J., Jahani, S., Ghassemi, M. R., Alavi, S. A. and Zeinali, F., 2018- Evolution of the Karebas Fault System and adjacent folds, central Zagros fold-and-thrust belt, Iran: Role of pre-existing halokinesis (salt structures and minibasins) and detachment levels. Journal of Asian Earth Sciences. 164: 125-142. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2018.06.024>.
- Hassanpour, J., Yassaghi, A., Muñoz, J. A. and Jahani, S., 2020- Salt tectonics in a double salt source layer setting (Eastern Persian Gulf, Iran): Insights from interpretation of seismic profiles and sequential cross section restoration. Basin Research. <https://doi.org/10.1111/bre.12459>.
- Heidari, A., Gonzalez, L. A., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Ludvigson, G. A. and Chakrapani, G. J., 2014- Diagenetic model of carbonate rocks of Guri Member of Mishan Formation (lower to middle Miocene) SE Zagros Basin, Iran. Journal of the Geological Society of India, 84(1): 87-104. <https://doi.org/10.1007/s12594-014-0112-4>.
- Hessami, K., Koyi, H. A., Talbot, C. J., Tabasi, H. and Shabanian, E., 2001- Progressive unconformities within an evolving foreland fold–thrust belt, Zagros Mountains. Journal of the Geological Society, 158(6): 969-981. <https://doi.org/10.1144/0016-764901-007>.
- Huber, H., 1975- Geological map of South Central Iran, 1:1000, 000, NIOC. Exploration and Production.
- Iranpanah, A., 1988- Termination of major strike-slip faults against thrust faults in a syntaxis, as interpreted from landsat images. Annual meeting of the American Association of Petroleum Geologists, Houston, TX, USA, 20 March.
- Jackson, M. P. A. and Talbot, C. J., 1991- A glossary of salt tectonics: Geological Circular 91–4, Bureau of Economic Geology, University of Texas at Austin, 44 p.
- Jackson, M. P. A. and Talbot, C. J., 1994- Advances in salt tectonics, in P. L. Hancock, ed., Continental deformation: Tarrytown, NY, Pergamon Press, p. 159–179.
- Jackson, M. P. A. and Hudec, M. R., 2004- A new mechanism for advance of allochthonous salt sheets. In: Post, P. J., Olson, D. L., Lyons, K. T., Palmes, S. L., Harrison, P. F. & Rosen, N. C. (Eds), Salt-Sediment Interactions and Hydrocarbon Prospectivity: concepts, Applications, and Case Studies for the 21st century. 24th Annual GCSSEPM Foundation Bob F. Perkins Research Conference, 220–242.
- Jackson, M. P. and Hudec, M. R., 2017-Salt tectonics: Principles and practice. Cambridge University Press. 510 pp.
- Jahani, S., 2008- Salt tectonics, folding and faulting in the Eastern Fars and southern offshore provinces (Iran). Ph. D. thesis, Université de Cergy-Pontoise, France. 215 pp.
- Jahani, S., Callot, J. P., de Lamotte, D. F., 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., Lavé, J., Roure, F. M., & Vergés, J. (Eds.), Thrust belts and foreland basins. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 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. Tectonics, 28(6): 1-22. <https://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. Marine and Petroleum Geology, 86: 426-446. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.06.003>.
- James, G. and Wind, J., 1965- Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. AAPG Bulletin 49(12): 2182-2245. <https://doi.org/10.1306/A663388A-16C0-11D7-8645000102C1865D>.
- Karim, K. H., Koyi, H., Baziany, M. M. and Hessami, K., 2011- Significance of angular unconformities between Cretaceous and Tertiary strata in the northwestern segment of the Zagros fold–thrust belt, Kurdistan Region, NE Iraq. Geological Magazine, 148(5-6): 925-939. <https://doi.org/10.1017/S0016756811000471>.
- Kent, P. E., 1958- Recent studies of south Persian salt plugs. AAPG Bulletin. 42 (12): 2951-2972. <https://doi.org/10.1306/0BDA5C2D-16BD-11D7-8645000102C1865D>.

- Kent, P. E., 1987- Island salt plugs in the Middle East and their tectonic implications. In *Dynamical geology of salt and related structures* (pp. 3-37). Academic Press.
- Khadivi, S., Mouthereau, F., Barbarand, J., Adatte, T. and Lacombe, O., 2012- Constraints on palaeodrainage evolution induced by uplift and exhumation on the southern flank of the Zagros–Iranian Plateau. *Journal of the Geological Society*, 169(1), 83-97. <https://doi.org/10.1144/0016-76492011-031>.
- Koyi, H., Nilfouroushan, F. and Hessami, K., 2016- Modelling role of basement block rotation and strike-slip faulting on structural pattern in cover units of fold-and-thrust belts. *Geological Magazine*, 153(5-6): 827-844. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0016756816000595>.
- Marton, L. G., Tari, G. C. and Lehmann, C. T., 2000- Evolution of the Angolan passive margin, West Africa, with emphasis on post-salt structural styles. In: Mohriak, W. & Talwani, M. (Eds), *Atlantic Rifts and Continental Margins*. American Geophysical Union, Boulder, Geophysical Monograph 115: 129–149.
- Mohriak, W. U., Macedo, J. M., Castellani, R. T., Rangel, H. D., Barros, A. Z. N., Latgé, M. A. L. and Aires, J. R., 1995-Salt tectonics and structural styles in the deep-water province of the Cabo Frio region, Rio de Janeiro, Brazil. In: Jackson, M. P. A., Roberts, D. G. and Snelson, S. (Eds), *Salt Tectonics: a Global Perspective*. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Memoir, 65: 273–304.
- Molinaro, M., Guezou, J. C., Leturmy, P., Eshraghi, S. A. and de Lamotte, D. F., 2004- The origin of changes in structural style across the Bandar Abbas syntaxis, SE Zagros (Iran). *Marine and Petroleum Geology*. 21(6): 735-752. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2004.04.001>.
- Molinaro, M., Leturmy, P., Guezou, J. C., de Lamotte, D. F. and Eshraghi, S. A., 2005- The structure and kinematics of the southeastern Zagros fold thrust belt, Iran: From thin skinned to thick skinned tectonics. *Tectonics*, 24(3): 1-19. <https://doi.org/10.1029/2004TC001633>.
- Motamedi, H., Sepehr, M., Sherkaty, S. and Pourkermani, M., 2011- Multi-phase Hormuz salt diapirism in the southern Zagros, SW Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 34(1): 29-43. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2011.00491.x>.
- Motamedi, H. and Gharabeigly, G., 2018- Structural Style in the Fars Geological Province: Interaction of Diapirism and Multidetachment Folding. In *Developments in Structural Geology and Tectonics*, 3: 145-160. Elsevier.
- Mouthereau, F., Tensi, J., Bellahsen, N., Lacombe, O., De Boisgrollier, T. and Kargar, S., 2007- Tertiary sequence of deformation in a thin-skinned/thick skinned collision belt: The Zagros Folded Belt (Fars, Iran). *Tectonics*: 26(5). <https://doi.org/10.1029/2007TC002098>.
- Mouthereau, F., Lacombe, O. and Vergés, J., 2012- Building the Zagros collisional orogen: timing, strain distribution and the dynamics of Arabia/Eurasia plate convergence. *Tectonophysics*, 532: 27-60. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.01.022>.
- Orang, K., Motamedi, H., Azadikhah, A. and Royatvand, M., 2018- Structural framework and tectono-stratigraphic evolution of the eastern Persian Gulf, offshore Iran. *Marine and Petroleum Geology*. 91: 89-107. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.12.014>.
- Perotti, C., Chiariotti, L., Bresciani, L., Cattaneo, L. and Toscani, G., 2016- Evolution and timing of salt diapirism in the Iranian sector of the Persian Gulf. *Tectonophysics*, 679: 180-198. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.04.040>.
- Pirouz, M., Simpson, G. and Chiaradia, M., 2015- Constraint on foreland basin migration in the Zagros mountain belt using Sr isotope stratigraphy. *Basin Research*, 27(6): 714-728. <https://doi.org/10.1111/bre.12097>.
- Piryaei, A. R., Reijmer, J. J., van Buchem, F. S., Yazdi-Moghadam, M., Sadouni, J. and Danelian, T., 2010- The influence of Late Cretaceous tectonic processes on sedimentation patterns along the northeastern Arabian plate margin (Fars Province, SW Iran). *Geological Society, London, Special Publications*, 330(1):211-251. <https://doi.org/10.1144/SP330.11>.
- Piryaei, A. R., Reijmer, J. J.G., Borgomano, J. and Van Buchem, F. S. P., 2011-Late Cretaceous tectonic and sedimentary evolution of the Bandar Abbas area, Fars region, southern Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 34(2):157-180. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2011.00499.x>.
- Player, R. A., 1969-Salt diapirs study. National Iranian Oil Company, Exploration Division, Report No. 1146, (unpublished).
- Ramsey, L. A., Walker, R. T. and Jackson, J., 2008- Fold evolution and drainage development in the Zagros mountains of Fars province, SE Iran. *Basin Research*, 20(1): 23-48. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2007.00342.x>.
- Reuter, M., Brachert, T. C. and Kroeger, K. F., 2006- Shallow-marine carbonates of the tropical-temperature transition zone: effects of hinterland climate and basin physiography (late Miocene, Crete, Greece). *Geological Society, London, Special Publications*, 255(1): 157-178. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2006.255.01.11>.
- Rowan, M. G., Ratliff, R. A., Trudgill, B. D. and Barcelo, D. J., 2001- Emplacement and evolution of the Mahogany salt body, central Louisiana outer shelf, northern Gulf of Mexico. *AAPG Bulletin*, 85 (6): 947–969. <https://doi.org/10.1306/8626CA37-173B-11D7-8645000102C1865D>.
- Rowan, M. G., Lawton, T. F., Giles, K. A. and Ratliff, R. A., 2003- Near-salt deformation in La Popa basin, Mexico, and the northern Gulf of Mexico: A general model for passive diapirism. *AAPG bulletin*, 87(5): 733-756. <https://doi.org/10.1306/01150302012>.
- Rowan, M. G., Giles, K. A., Lawton, T. F., Hearon IV, T. E. and Hannah, P. T., 2010- Salt–sediment interaction during advance of allochthonous salt. *AAPG Annual Convention Official Program*, 220.

- Sallam, E. S., Erdem, N. Ö., Sinanoğlu, D. and Ruban, D. A., 2018- Mid-Eocene (Bartonian) larger benthic foraminifera from southeastern Turkey and northeastern Egypt: New evidence for the palaeobiogeography of the Tethyan carbonate platforms. *Journal of African Earth Sciences*. 141: 70-85. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.01.009>.
- Sattarzadeh, Y., Cosgrove, J. W. and Vita-Finzi, C., 1999- The interplay of faulting and folding during the evolution of the Zagros deformation belt. *Geological Society, London, Special Publications*, 169(1): 187-196. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2000.169.01.14>.
- Searle, M. P., Cherry, A. G., Ali, M. Y. and Cooper, D. J., 2014- Tectonics of the Musandam Peninsula and northern Oman Mountains: From ophiolite obduction to continental collision. *GeoArabia*, 19(2): 135-174.
- Sepehr, M., 2000- The tectonic significance of the Kazerun Fault Zone, Zagros Fold Thrust Belt, Iran. Ph. D. thesis, Imperial College London (University of London). UK, 244 pp.
- Serra-Kiel, J., Gallardo-Garcia, A., Razin, P., Robinet, J., Roger, J., Grelaud, Leroy, S. and Robin, C., 2016-Middle Eocene-Early Miocene larger foraminifera from Dhofar (Oman) and Socotra Island (Yemen). *Arabian Journal of Geosciences*. 9(5): 2- 95. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2243-3>.
- Seyrafiān, A., 1998- Petrofacies analysis and depositional environment of the Jahrum Formation (Eocene), south-southwest of Burujen, Iran. *Carbonates and Evaporites*, 13(1): 90-99. <https://doi.org/10.1007/BF03175438>.
- Snidero, M., Muñoz, J. A., Carrera, N., Butillé, M., Mencos, J., Motamedī, H., Piryaēi, A. R. Sābat, F., 2019- Temporal evolution of the Darmadan salt diapir, eastern Fars region, Iran. *Tectonophysics*, 766: 115-130. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.06.006>.
- Snidero, M., Carrera, N., Mencos, J., Butillé, M., Granado, P., Tavani, S., Lopez-Mir, B., Sābat, F. and Muñoz, J. A., 2020- Diapir kinematics in a multi-layer salt system from the eastern Persian Gulf. *Marine and Petroleum Geology*, 17: 104402. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.104402>.
- Stewart, S. A. and Clark, J. A., 1999- Impact of salt on the structure of the Central North Sea hydrocarbon fairways. In: Fleet, A. J. and Boldy, S. A. R. (Eds), *Petroleum Geology of Northwest Europe. Proceedings of the 5th Conference*. Geological Society, London, 179–200.
- Talbot, C. J. and Alavi, M., 1996- The past of a future syntaxis across the Zagros. In: Alsop, J. L., Blundell, D. J. & Davison, I. (Eds.), *Salt Tectonics*. Geological Society of London, Special Publications. pp. 89-109. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1996.100.01.08>.
- Tari, G. C., Molnar, J. S. and Ashton, P., 2003- Examples of salt tectonics from West Africa: a comparative approach. In: T.J. Arthur, D.S. MacGregor & N.R. Cameron (Eds), *Petroleum Geology of Africa: New Themes and Developing Technologies*. Geological Society, London, Special Publications, 207: 85–104. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2003.207.5>.
- Tavernier, J. B., 1642- *Le six voyages de Jean Baptiste Tavernier en Turquie, en Perse, et aux Indes*. Pt.1, livre 5. Paris. (n.v.)
- Vendeville, B. C., & Jackson, M. P. A., 1992. The rise of diapirs during thin-skinned extension. *Marine and Petroleum Geology*, 9: 331–353. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(92\)90047-I](https://doi.org/10.1016/0264-8172(92)90047-I).
- Poprawski, Y., Christophe, B., Etienne, J., Matthieu, G. and Michel, L., 2016- Halokinetic sequences in carbonate systems: an example from the middle Albian Bakio breccias formation (Basque Country, Spain). *Sediment. Geol.* 334, 34-52. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.01.013>.
- Aubourg, C., Smith, B., Bakhtari, H., Guya, N., Eshragi, A., Lallemand, S., Molinaro, M., Braud, X. and Delaunay, S., 2004- Post-Miocene shortening pictured by magnetic fabric across the Zagros-Makran syntaxis (Iran). *Geological Society of America special paper*. 383: 17-40.

Tectono-stratigraphy investigation of the Handun Salt Diapir (Bandar-Abbas Hinterland) Using Exposed Halokinetic Sequences

P. Faridi¹, P. Rezaee^{2*}, A. R. Piryaei³ and M. Masoodi⁴

¹Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

²Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

³Ph. D., NIOC Exploration Directorate, Tehran, Iran.

⁴Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Received: 2020 May 21

Accepted: 2020 November 04

Abstract

Salt-related sedimentary systems have provided a natural laboratory for investigation strata effected by diapir activity based on subsurface-data, and specially outcrop-data. In the systems, halokinetic growth strata show the thickness and facies variations in the form of halokinetic breccia, wedges, hooks, and various diagenetic zones. So, the Handun salt diapir as a passive diapir located in the Bandar Abbas hinterland has been selected. Excellent outcrops near the diapir provide the tectono-stratigraphy and the interaction between salt-sediment. Together they be studied in more detail which will be useful in representing and predicting an analogue model for other surface and subsurface investigations in the petroleum rich Zagros Basin that were deposited under similar conditions. The stratigraphy sequence adjacent to the Handun salt diapir includes in situ sediments of Upper Cretaceous to modern quaternary sediments. But the halokinesis has various effects on the sedimentary sequences from temporal and special points of view. Hook halokinetic sequences developed in the Paleocene to Lower Eocene Pabdeh shaly Formation. Allochthonous salt sheet and salt wing show the most important effect of the diapir movement in the Middle Eocene Jahrum Carbonates Formation. It includes the lateral changes in facies, geometry (wedges and hooks), thickness and diagenetic process. After; the Eocene-Oligocene Unconformity, halokinesis and the Neogene shortening of the Zagros led to a secondary salt weld and squeezed diapir which appeared in hook halokinetic sequences in the Oligocene to Lower Miocene Razak Formation and the Lower-Middle Miocene Guri member. So, our results provide new insights into using Halokinetic Sequences in tectono-stratigraphy analysis of the Zagros diapirs.

Keywords: Handun Salt Diapir, Halokinetic Sequences, Sedimentary Sequences, Halokinesis.

For Persian Version see pages 39 to 52

*Corresponding author: P. Rezaee; E-mail: p.rezaee@hormozgan.ac.ir