



مجله زمین شناسی نفت ایران

سال چهاردهم، شماره ۲۷، بهار و تابستان ۱۴۰۳

صاحب امتیاز: انجمن زمین شناسی نفت ایران

مدیر مسئول: دکتر علی بهرامی، دانشیار دانشگاه اصفهان

سر دبیر: دکتر بهمن سلیمانی، استاد دانشگاه شهید چمران اهواز

همکار سردبیر: دکتر علیرضا بشری، هیأت علمی بازنشسته پژوهشگاه

صنعت نفت

مدیر اجرایی و مدیر داخلی: دکتر الهه ستاری

ویراستار: دکتر علی بهرامی، دانشیار دانشگاه اصفهان

هیئت تحریریه به ترتیب حروف الفبا:

دکتر علیرضا بشری، هیأت علمی بازنشسته پژوهشگاه

صنعت نفت

دکتر ایلیانا بنچوآ، استاد موسسه دیرینه، چینه و رسوب

شناسی دانشگاه صوفیه، بلغارستان

دکتر علی بهرامی، دانشیار دانشگاه اصفهان

دکتر ماریا الکساندرا بیتنر، استاد موسسه پالئوبیولوژی، ورشو

لهستان

دکتر بهرام حبیب نیا، دانشیار دانشگاه صنعت نفت

دکتر عزت حیدری، استاد دانشگاه ایالت جکسون، آمریکا

دکتر وامق رسولی، استاد دانشگاه داکوتای شمالی، آمریکا

دکتر سید ناصر رئیس السادات، استاد دانشگاه بیرجند

دکتر مهدی زارع، استاد پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و

مهندسی زلزله

دکتر کمیل زاگرسک، استاد دانشگاه فنی لیبرک، جمهوری

چک

دکتر بهمن سلیمانی، استاد دانشگاه شهید چمران اهواز

دکتر غلامرضا میراب شبستری، دانشیار دانشگاه بیرجند

دکتر مرتضی طالبیان، دانشیار سازمان زمین شناسی و

اکتشافات معدنی

دکتر عزت اله کاظم زاده، هیأت علمی بازنشسته پژوهشگاه

صنعت نفت

دکتر کریستوفر کندل، استاد دانشگاه کارولینای جنوبی،

آمریکا

دکتر سید رضا موسوی حرمی، استاد دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر علی وطنی، استاد انستیتو نفت دانشگاه تهران

همکاران علمی این شماره مجله به ترتیب حروف الفبا:

۱- دکتر مهناز السادات امیرشاهکرمی

۲- دکتر علیرضا بشری ۹- دکتر الهه ستاری

۳- دکتر علی بهرامی ۱۰- دکتر بهمن سلیمانی

۴- دکتر طاهره پرویزی ۱۱- دکتر فروغ عباسانی

۵- دکتر پیمان رضایی

۶- دکتر سید ناصر رئیس السادات

۷- دکتر احمد رئوفیان

۸- دکتر بابک سامانی

نشانی:

تهران، خیابان دکتر شریعتی خیابان، خواجه عبدالله انصاری،

خیابان ابوذر جنوبی، کوچه نهم، پلاک ۷، طبقه ۴

کد پستی: ۱۶۶۱۶۳۴۱۵۵

صندوق پستی: ۴۹۹-۱۶۳۱۵

تلفن: ۲۲۸۵۶۴۰۸ نمابر: ۲۲۸۵۶۴۰۷

<http://www.ispg.ir>

این مجله دارای مجوز علمی - پژوهشی به شماره ۱۱/۵۱۱۵۳/ ۸۹/۳/ به تاریخ ۰۶/ ۱۳۸۹/۰۹ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری می باشد و همچنین این نشریه در پایگاه استنادی علوم جهانی اسلام (ISC) نمایه می شود.



زمین شناسی نفت ایران

سال چهاردهم، شماره ۲۷، بهار و تابستان ۱۴۰۳

فهرست مقالات

صفحه

۱. بررسی ارتباط شکستگی‌ها و تشکیل آسفالتن در مخزن آسماری، میدان نفتی کوپال
بهمن سلیمانی، عقیل حیدری، شهرام تقوی
۲. مطالعه عملکرد تزریق دی‌اکسید کربن در مخازن تخلیه شده با به‌کارگیری الگوریتم‌های شبکه عصبی مصنوعی
پویا اسحققی، کیوان شایسته، محمدجواد خانی
۳. ژئوشیمی تبخیری های بخش چهل سازند گچساران (میوسن پیشین) در خاوربندرخمیر، فروفادگی بندر لنگه
پیمان رضائی، سیده اکرم جویباری، فاروق عالیان
۴. نهشته های میو-پلیوسن در جزیره قشم (حوضه زاگرس) و منطقه میناب (حوضه مکران)
فرشته مهدی پور حسکوئی، علی بهرامی، مهدی یزدی
۵. سیستماتیک دیرینه، اهمیت زیست‌چینه‌نگاری و دیرینه‌بوم‌شناسی پتروپودها در برش الگوی سازند خانگیران، حوضه کپه داغ، شمال شرق ایران
میر امیر صلاحی، عباس قادری
۶. آمونیت های سازند کژدمی در کوه سیوند، برش شول، شمال شیراز در حوضه زاگرس، کاربرد دیرینه بوم شناسی
ناصر رئیس السادات، مهناز پروانه نژاد شیرازی

راهنمای پذیرش و تنظیم مقالات

۱. مقدمه

چکیده و واژه های کلیدی انگلیسی باید در صفحه جداگانه در انتهای مقاله ارائه شود. تطبیق عنوان و چکیده فارسی با انگلیسی باید مورد توجه قرار گیرد و نکات گرامری در چکیده انگلیسی نیز رعایت شود.

نشریه علمی-پژوهشی زمین شناسی نفت ایران نتایج تحقیقات استادان و پژوهشگران رشته های مختلف زمین شناسی نفت، زمین شناسی مخازن نفت، پتروفیزیک، مهندسی اکتشاف نفت و گرایش های وابسته را منتشر می کند.

از کلیه محققانی که برای این نشریه مقاله تهیه می کنند درخواست می شود ضمن رعایت دقیق مفاد آیین نامه نگارش نشریه علمی-پژوهشی انجمن زمین شناسی نفت، مقالات خود را در دو نسخه فایل Word و Pdf (یک خط در میان حداکثر ۱۵ صفحه) از طریق پست الکترونیکی ispg.paper@gmail.com که در سایت انجمن به نشانی:

www.ispg.ir ارسال دارند.

کلیه مقالات توسط داوران ذیصلاح ارزیابی می شوند و نشریه علمی-پژوهشی زمین شناسی نفت در پذیرش، عدم پذیرش، حذف و یا کوتاه کردن مقالات برای چاپ آزاد است.

فقط مقالاتی جهت انتشار در نشریه علمی-پژوهشی زمین شناسی نفت ایران مورد بررسی قرار می گیرند که قبلاً در نشریات علمی و پژوهشی دیگر به چاپ نرسیده باشد و یا دست بررسی نباشد. مسئولیت کامل مطالب و منابع چاپ شده بر عهده نویسنده یا نویسندگان خواهد بود و نسخه نهایی مقاله پیش از چاپ به امضاء نویسنده یا نویسندگان می رسد. محرمانه بودن اطلاعات مقاله به عهده نویسنده یا نویسندگان بوده و کسب مجوز از ارگان های مربوطه جهت چاپ مقاله الزامی است. جهت هرگونه تماس با نشریه به سایت نشریه مراجعه و یا با آدرس پست الکترونیکی ispg.paper@gmail.com تماس حاصل نمایید. نویسندگان مقالات مسئول نوشته ها و نظرات خود هستند و آراء و نظریات آنان لزوماً نظر اعضای هیأت تحریریه مجله نیست.

جهت کسب اطلاعات مربوط به آیین نامه نگارش مقالات به سایت انجمن مراجعه شود.

۲-۴ مقدمه و هدف

در مقدمه پس از عنوان کردن کلیات موضوع مورد بحث، ابتدا خلاصه ای از تاریخچه موضوع و کارهای انجام شده به همراه ویژگی های آن کار بیان گردیده و در ادامه، هدف از پژوهش انجام شده برای رفع مشکلات و کاستی های موجود، گشودن گره ها یا حرکت به سمت یافته های نو صورت گرفته است در یکی دو پاراگراف توضیح داده می شود.

۲-۵ روش کار یا اصول و تئوری مقاله (شامل ماده، دستگاه ها و

روش آزمایش)

مطالب اصلی شامل تعاریف و مفاهیم مورد نیاز، طرح مسأله، روش انجام آزمایش، مواد و مصالح مورد استفاده و راه حل ارائه شده می باشد. شکل ها، جداول و روابط ریاضی بکار رفته در مقاله همگی مربوط به متن بوده و چنانچه در متن از آنها استفاده شود، باید در مورد آنها توضیح داده شود. در نوشتن متن تنها به موضوع اصلی مقاله پرداخته شود تا ذهن خواننده از انحراف نسبت به سلسله مطالب مصون بماند. در صورت نیاز به ذکر واژه های انگلیسی همزمان تنها یک بار در متن در داخل پرانتز آورده شود.

۲-۶ نتیجه گیری

در این بخش، نکات مهم کار انجام شده به طور خلاصه مرور شده و نتایج برگرفته از آن توضیح داده می شود. سهم علمی مقاله باید در نتیجه گیری مورد تصریح واقع شود. هرگز عین مطالب چکیده در این بخش آورده نشود. بخش نتیجه می تواند به کاربردهای پژوهش انجام شده اشاره نموده و نکات مبهم و قابل پژوهش را مطرح کند و یا گسترش موضوع بحث را به زمینه های دیگر پیشنهاد دهد.

۲-۷ تشکر و قدردانی

۲. راهنمای تنظیم مقاله برای نشریه

هر مقاله باید شامل بخش های اصلی زیر باشد:

۲-۱ عنوان

عنوان مقاله باید در عین اختصار تمام ویژگی های کار انجام شده را دارا باشد.

۲-۲ نویسنده یا نویسندگان

اسامی نویسندگان به فارسی و انگلیسی پس از عنوان مقاله آورده شود. لازم است مرتبه علمی و محل کار هر یک از نویسندگان مقاله به همراه آدرس پست الکترونیکی نویسنده اول مقاله آورده شود. ضمناً تمامی نویسندگان از ارسال مقاله جهت بررسی در این نشریه می بایستی مطلع باشند.

۲-۳ چکیده مقاله و کلمات کلیدی به زبان فارسی و انگلیسی

چکیده باید بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ کلمه و شامل هدف از تحقیق، روش کار، مهمترین یافته ها و نتیجه گیری باشد. در چکیده نباید هیچ گونه جزئیات، جدول، شکل و مآخذ درج شود.

۲-۸ منابع و مراجع

مراجع به ترتیب حروف الفبا و ابتدا مراجع زبان فارسی و سپس مراجع به زبان انگلیسی، مرتب شده و در انتهای مقاله آورده شوند. دقت شود که تمام مراجع در متن مورد ارجاع واقع شده باشند.

۳. ساختاری

۳-۱ شکل کلی مقاله اندازه صفحات باید برابر A4 و حدود بالا، پایین، چپ و راست به ترتیب برابر با ۲، ۲، ۲/۵ سانتی متر انتخاب شود. صفحات مقاله به صورت تک ستونی (Single) تهیه شود.

۲-۳ اندازه و نوع قلم

اندازه قلم	نوع قلم	موقعیت استفاده
۱۸	Lotus Bold	عنوان اصلی مقاله
۱۸	Times New Roman Bold	عنوان انگلیسی مقاله
۱۲	Lotus Bold	نام مؤلفان
۱۱	Lotus Bold	چکیده و کلمات کلیدی
۱۶	Lotus Bold	عناوین بخش ها
۱۴	Lotus Bold	عناوین زیر بخش ها
۱۲	Lotus	متن فارسی
۱۰	Lotus Bold	عنوان جداول و شکل ها
۱۱	Lotus	محتوای فارسی جداول
۹	Times New Roman	محتوای انگلیسی جداول
۱۱	Times New Roman	متن انگلیسی
۱۱	Times New Roman	نام مؤلفان به انگلیسی

منابع فارسی و لاتین به صورت مجزا و به ترتیب حروف الفبا

در بخش فهرست

منابع و به شرح مثال های ذیل تنظیم و ارائه گردد:

مقاله: خطیب، م. م.، ۱۳۷۹، تحلیل فرکتالی توزیع شکستگیها در گستره گسل لرزه ای: پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال سوم، شماره سوم، صفحه ۷-۱.

کتاب: آقائاتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران: سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.

پایان نامه: محمدی، ی.، ۱۳۸۶، ارزیابی پوش سنگ (بخش یک سازند گچساران) مخزن آسماری در میدان نفتی کوپال: پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۴۹ صفحه.

(Book Article): LOGAN, P. and DUDDY, I., 1998, An investigation of thermal history of the Ahnet and Reggane Basin Central Algeria, and the consequences for hydrocarbon generation and accumulation: In: Mc GEGOR, D. S., MOODY, R.T. J. and CLARK- LOWES, D. (Eds.), 1998, Petroleum Geology of North Africa. *Geology Society, London, Special Publication*, 131-155.

(Article): FARZADI, F., 2006, The development of Middle Cretaceous Carbonate platforms, Persian Gulf, constrain from seismic stratigraphy, well and biostratigraphy: *Petroleum Geoscience*, **12**, 59-68.

(Memoir): BURCHETTE, T.P., 1993, Mishrif Formation (Cenomanian-Turonian), southern Persian Gulf, Carbonate platform growth along a cratonic basin margin: In: SIMO, J-A.T., SCOTT, R.W., and MASSE, J.P. (Eds.) Cretaceous carbonate platforms. *AAPG Memoir*, **56**, 185-199.

(Thesis): RASHIDI, B., 2007, Real time bit wear analysis and drilling optimization, a case study for a well in an Iranian offshore oil field: M.Sc. thesis, Faculty of Graduate Studies, Petroleum University of Technology (PUT), 192.

(Internet) USGS website 2002. Accreditation. <http://geology.wr.usgs.gov/wreg/env/monterey.htm>.

- کلیه اعداد باید به صورت فارسی تایپ شوند.

- واحد تمامی اعداد باید در سیستم SI باشد.

- کلیه فرمول ها باید به ترتیب شماره گذاری شده و با استفاده از بسته Equation Editor در نرم افزار Word تهیه گردند و به فرمت JPG و یا Tif و وضوح ۳۰۰ dpi به همراه مقاله ارسال گردد.

- عرض کلیه شکل ها باید ۱۵ و یا ۷/۵ در نظر گرفته شوند و در متن در محل مشخص قرار گیرند.

- اگر شکل یا جدولی از مرجع دیگر اخذ شده باشد، ضمن درج شماره آن مرجع در انتهای عنوان شکل یا جدول در بخش مراجع نیز ارائه گردد.

- شکل های مقالات به صورت فایل اصلی (در همان نرم افزاری که توسط آن تهیه شده اند مانند Excel و غیره) ارسال گردد.

- از بکار بردن واژه های انگلیسی در متن مقاله خودداری شود. معادل انگلیسی کلمات فارسی و نام نویسنده (گان) که برای نخستین بار در مقاله به کار میرود، به صورت زیر نویس در صفحه مربوط درج گردد. زیر نویس ها در هر صفحه با گذاردن شماره فارسی در گوشه بالای آخرین حرف از کلمه، در متن مشخص شوند.

- ارجاعات باید بر اساس نام نویسنده و سال انتشار در انتهای جمله و در داخل پرانتز آورده شود.

۳-۳- منابع فارسی و لاتین

بررسی ارتباط شکستگی‌ها و تشکیل آسفالتن در مخزن آسماری، میدان نفتی کوپال

بهمن سلیمانی^{۱*}، عقیل حیدری^۲، شهرام تقوی^۳

^{۱*} -استاد گروه زمین شناسی نفت و حوضه های رسوبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

^۲ - کارشناس ارشد مناطق نفتخیز جنوب، اهواز، ایران

^۳ - کارشناس ارشد مناطق نفتخیز جنوب، اهواز، ایران

*soleimani_b@scu.ac.ir

دریافت مهر ۱۴۰۲، پذیرش مرداد ۱۴۰۳

چکیده

مطالعه شکستگی‌ها نقش مهمی در شناخت رفتار مخزن دارد و این نقش با فرآیند رسوب آسفالتن می‌تواند کاهش یابد. این فرآیند در بسیاری از میادین نفتی جهان و در بخش‌های مختلف صنعت مشکلات بسیار جدی را بوجود آورده و فرآیندی متداول محسوب می‌شود. مهمترین جنبه آن در مهاجرت سیالات نفتی مخزن است. در این مقاله سعی شده تأثیر شکستگی‌ها در پیدایش آسفالتن را در مخزن آسماری میدان نفتی کوپال با استفاده از نمودارهای تصویرگر (OBMI-UBI (oil based micro imager-Ultrasonic borehole imager) مورد بررسی قرار گیرد. اکثر شکستگی‌ها با توجه به الگوی شکستگی‌های مرتبط با چین خوردگی از نوع درزهای مورب و طولی هستند. شکستگی‌ها در فواصل عمقی هیدروکربن دار نسبت به بقیه فواصل عمقی کمتر در نمودارهای تصویرگر آشکار شده است. لایه ماسه سنگی پائینی با بیشترین شکستگی و اکثرا از نوع باز مشخص می‌شوند. عمده شکستگی‌های باز در نیمه پایینی آسماری شناسایی گردید که متشکل از شیل و ماسه سنگ است. بررسی چگالی شکستگی باز نشان می‌دهد زون‌های ۲ و ۳ بیشترین و زون ۴ کمترین تراکم شکستگی را دارا هستند. با توجه به راستای شکستگی‌های ریزشی ناشی از حفاری، جهت حداکثر تنش افقی (δH_{max})، N55E و جهت حداقل تنش افقی N35W (δH_{min}) است. این راستا با راستای عمومی زاگرس مطابقت دارد. داده‌های مربوط به هرز روی گل نشان داد که حداکثر مقدار آن با محل تمرکز شکستگی‌ها انطباق دارد. نتایج آنالیز نمونه‌های نفتی نشان داد که درصد آسفالتن در مخزن آسماری پایین بوده و در چاه‌های مختلف هیچ ارتباطی به فاصله زمانی تولید ندارد. درصد آسفالتن از ۰/۶ تا ۲/۷۵ درصد متغیر است. بطور کلی آسفالتن اولیه در نفت‌ها وجود ندارند. افزایش درصد شکستگی‌ها در مخزن نسبت به عمق نیز با افزایش درصد آسفالتن تولید شده همراه است.

واژه های کلیدی: نمودارهای تصویرگر، مخزن آسماری، میدان کوپال، سیستم شکستگی، آسفالتن

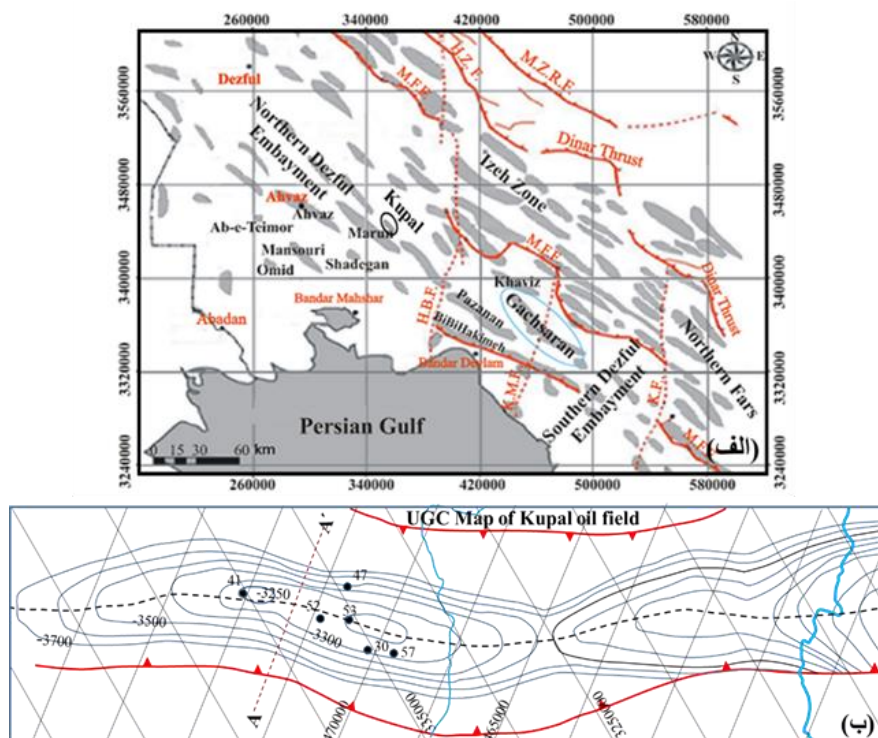
۱- مقدمه

زون‌های مخزنی دارای شکستگی‌های طبیعی و یا مصنوعی ناشی از هیدرولیک به دلیل نفوذپذیری بالا، نقش مهمی در ازدیاد تولید بازی می‌کنند. با این حال، این شکستگی‌ها ممکن است به دلیل رسوب ذرات آلی و معدنی مسدود شوند. در بین ذرات آلی، رسوب آسفالتن به شدت نفوذپذیری مخزن را کاهش می‌دهد و باعث کاهش نمایی در تولید می‌گردد [۲۵، ۵۷]. رسوب ترکیبات آلی سنگین نظیر آسفالتن مشکل عمومی در همه بخش‌های صنعت نفت مانند تولید، حمل و فرآوری [۹، ۱۰، ۱۴، ۲۰، ۳۷، ۳۶، ۳۸، ۴۶] است. چنین فرآیندی موجب مشکلاتی نظیر معکوس‌شدگی آب دوستی، کاهش نفوذپذیری، افت افزایش فشار، بسته‌شدن چاه و لوله، و کاهش نرخ تولید [۱۱، ۱۴، ۳۴، ۴۲] می‌گردد. احتمالاً تغییر فشار و ترکیب در جریان تزریق گاز از عوامل اصلی رسوب آسفالتن بشمار می‌رود [۱۱، ۵۱]. سیال مخزن نفت ترکیبی از مخلوط چندگانه معلق است که عمدتاً شامل بخش سبک و سنگین از پارافین، رزین، و آسفالتن است. آسفالتن در بعضی از نمونه‌ها مانند پارافین غیر محلول و در بعضی دیگر مانند ترکیبات قطبی/آروماتیکی نظیر تولن، گزین و .. محلول می‌باشد [۱۹، ۲۱، ۲۹، ۳۰، ۴۰]. رزین تمایل شدیدی به همراهی با آسفالتن دارد و کمک زیادی به انحلال آن در نفت خام می‌نماید [۲۷]. مشاهدات صحرائی [۱۲، ۲۶] و تجربی [۷، ۱۵، ۱۷، ۴۱، ۵۰، ۵۴، ۵۵، ۵۶] نشان می‌دهد که پایداری آسفالتن به عوامل زیادی در ارتباط است مانند ترکیب سیال، فشار و حرارت. آسفالتن کمتر شناخته شده و مشکل‌سازترین رسوب ماده آلی در مخازن است. نفت‌های پارافینی سبک پتانسیل بالاتری نسبت به نفت‌های سنگین در تشکیل آسفالتن دارند [۴۳] و این رسوب تاثیر زیادی بر کاهش تراوایی شکستگی دارد [۵۳]. لذا مطالعه آن در میداین نفتی و شناخت و کنترل عوامل مداخله کننده دارای اهمیت است. تشکیل آسفالتن بدلیل ایجاد مشکلاتی در بسته شدن چاه و یا لوله‌های انتقال در مخازن دریای شمال و خلیج مکزیک [۱۳، ۱۴، ۱۶، ۳۵، ۳۷، ۴۲] مورد توجه بوده است. در ایران نیز موارد متعددی مانند مخازن بنگستان میداین اهواز، مارون، میدان رامشیر، کوپال، و آغاچاری [۲۲، ۲۳، ۴۵، ۵۲] و یا مخازن آسماری [۲۴، ۴۹] وجود دارد که با مشکل تشکیل آسفالتن مواجه می‌باشند. پیش بینی تشکیل رسوب نیازمند مطالعه کاملی با در نظر گرفتن همه فاکتورهاست و لذا کوشش زیادی در دنیا جهت پیش بینی و جلوگیری و فورموله کردن ضد رسوب انجام شده است [۶، ۱۸، ۳۲، ۳۳، ۳۹، ۴۴]. مطالعه کنونی از جمله اولین مطالعات تحقیقی است که در حوضه زاگرس انجام شده و هدف آن بررسی این پدیده در مخزن آسماری میدان نفتی کوپال می‌باشد. از آنجا که شکستگی‌ها در میداین نفتی حوضه زاگرس نقش اساسی در مهاجرت و تولید از مخازن هیدروکربوری بویژه سازند آسماری دارند؛ لذا بررسی این پدیده و تأثیر آن بر روی رسوب آسفالتن با اهمیت و ضروری بنظر می‌رسد. در این مقاله سعی شده تأثیر شکستگی‌ها در پیدایش آسفالتن را با استفاده از نمودارهای مختلف تصویرگر FMS (Formation Micro Scanner) و (Formation Micro Image) FMI و یا نظاره‌گرهای صوتی تصویری (Acoustic Tele Viewer) ATV مورد بررسی قرار دهد. در صورت تطابق تمرکز شکستگی‌ها و محل‌های تجمع آسفالتن می‌توان تأثیر شکستگی را بر پیدایش آسفالتن را در برنامه‌های تولید و توسعه مخزن مورد توجه قرار داد.

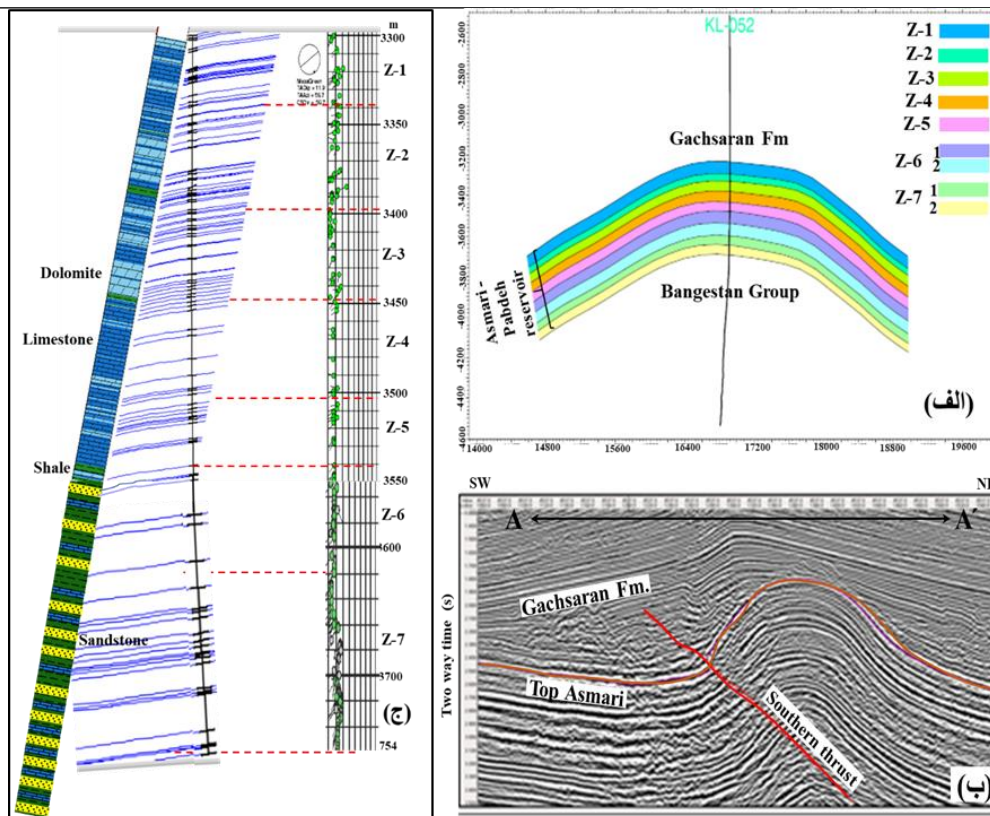
۲- موقعیت ناحیه مورد مطالعه

میدان نفتی کوپال در فاصله ۶۰ کیلومتری شرق شهرستان اهواز قرار دارد. این میدان در ناحیه فروافتادگی دزفول شمالی و شمال استان خوزستان واقع است. روند ساختار زیرسطحی کوپال به صورت شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد. تاقدیس کوپال در سطح زمین، توسط رسوبات تخریبی سازند آغاچاری و بخش لهبری پوشیده شده است. دماغه شمال غربی با رسوبات جوان‌تر یعنی کنگلومرای بختیاری قابل مشاهده است. میدان نفتی کوپال (شکل ۱-الف) تاقدیسی کشیده‌ای است که

در فرو افتادگی دزفول شمالی واقع شده است و پلانژ جنوب شرقی آن به میدان آغاچاری و پلانژ شمال غربی آن به کوهانکی به نام کوپال غربی ختم می‌شود. ساختمان کوپال به ابعاد 5×45 کیلومتر و بستگی قائم حدود پانصد متر در قسمت غرب میدان و برجستگی کوچکتر به ابعاد 4×19 کیلومتر و بستگی قائم حدود یکصد متر در قسمت شرق میدان قرار دارد و این دو کوهانک دارای سطوح آب و نفت جداگانه می‌باشند (شکل ۱-ب). نیمرخ عرضی ساختمانی حاصل از شیب و جهت لایه-بندی تعیین شده از تفسیر نمودارهای تصویرگر و ستون چینه‌ای مخزن آسماری یکی از چاه‌های میدان کوپال در شکل ۲ نشان داده شده است. مخزن آسماری در این میدان دارای ۷ زون می‌باشد که ویژگی‌های پتروفیزیکی آن‌ها در زیر آمده است. زون ۱- در اکثر قسمت‌های میدان با یک لایه نازک شیل یا ماسه سنگ آغاز می‌شود که از ضخامت تقریباً یکنواختی در سراسر مخزن برخوردار بوده و حداقل ضخامت $51/8$ متر و حداکثر $61/2$ است که عمده تشکیل دهنده آن دولومیت است که همراه با لایه‌های آهک دولومیتی می‌باشد. بیشترین میزان تخلخل مفید زون ۱ حدود $14/5$ و کمترین میزان آن $10/2$ درصد می‌باشد. زون ۲ - این زون با یک لایه شیلی شروع و به یک لایه متراکم آهکی ختم می‌شود و از یکنواختی نسبی ضخامت حقیقی در سرتاسر میدان برخوردار می‌باشد. میزان حداکثر ضخامت آن $39/7$ متر است. دولومیت و آهک دولومیتی در اکثر قسمت‌های مخزن، سازنده غالب این زون بوده و به طور پراکنده، نازک لایه‌هایی از ماسه سنگ نیز دیده می‌شود. تغییرات میزان تخلخل مفید تا حدودی اندک بوده و بیشترین تخلخل مفید $12/8$ درصد است. به طور کلی افزایش تخلخل مفید در زون ۲ را در اکثر قسمت‌های مخزن می‌توان از سمت یال جنوبی به طرف یال شمالی در نظر گرفت. در این راستا کاهش میزان اشباع آب نیز وجود دارد. نسبت ضخامت مفید به ضخامت کل برابر $0/58$ است.



شکل ۱- الف- موقعیت جغرافیایی میدان کوپال در فرو افتادگی دزفول [۴۸]، (ب) نقشه همتراز زیرسطحی سرسازند آسماری میدان نفتی کوپال (A-A' راستای نیمرخ در شکل ۲).



شکل ۲-الف- نیمرخ عرضی ساختمانی حاصل از شیب و جهت لایه‌بندی تعیین شده از تفسیر نمودارهای تصویرگر ، ب-نیمرخ لرزه‌ای در راستای A-A (در شکل ۱-ب نمایش داده شده است) و ج-ستون چینه‌ای مخزن آسماری یکی از چاه‌های میدان کوپال.

زون ۳- در اکثر قسمت‌های مخزن با یک لایه دولومیت یا آهک دولومیتی متخلخل آغاز و به یک لایه شیلی ختم می‌شود که تخلخل زیادی دارد. میانگین ضخامت این زون را ۶۴/۵ متر می‌توان تخمین زد که در اکثر نواحی مخزن دارای، دولومیت و دولومیت‌های آهکی و به طور پراکنده و لایه‌هایی از ماسه سنگ می‌باشد. تخلخل در آن از نوع حفره‌ای و بین بلوری می‌باشد و در قسمت‌های غربی مخزن روند افزایش میزان تخلخل مفید از یال جنوبی به طرف شمالی بوده حال آنکه در قسمت‌های شرقی میدان عکس آن دیده می‌شود. متوسط آب اشباع ۲۲/۱ درصد و نسبت ضخامت مفید به کل برابر با ۷۴٪ است.

زون ۴- حد بالایی آن با یک شیل شروع می‌شود و مرز پایینی آن توسط یک لایه سنگ آهک مترام تعیین می‌گردد. میانگین ضخامت آن حدود ۵۱ متر است. سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی بیشترین سنگ تشکیل دهنده این زون بوده که لایه‌هایی از ماسه سنگ و آهک دارد. در اکثر قسمت‌های مخزن روند افزایش میزان تخلخل مفید از یال جنوبی به سمت یال شمالی ساختار می‌باشد. میانگین اشباع آب ۲۶/۶ درصد است. روند افزایش نسبت ضخامت مفید به ضخامت کل در اکثر قسمت‌های مخزن از سمت یال شمالی به طرف یال جنوبی و ناحیه ستیغ ساختار می‌باشد.

زون ۵- دارای ضخامت متوسط ۴۰ متر است و گاهی به دو زیر زون ۱-۵ و ۲-۵ تقسیم می‌شود [۲]. از نقطه نظر فشار مخزن از لایه بالایی قابل تفکیک است و به یک واحد شیلی ختم می‌شود. از یکنواختی ضخامت کمی برخوردار است و بویژه این عدم یکنواختی در نواحی مرکزی میدان وجود دارد و افزایش ضخامت زیر زون اولیه زون ۵ از یال شمال به سمت یال جنوبی می‌باشد. عمده سنگ‌های تشکیل دهنده زیر زون ۱-۵ سنگ آهک و دولومیتی و آهک می‌باشد که به طور پراکنده لایه‌های ماسه سنگی دارد. روند افزایش میزان تخلخل مفید این زیر زون از نواحی جنوبی به سمت دامنه شمالی می‌باشد. حد

بالایی زیر زون ۵-۲ به صورت تدریجی است. در ضخامت چینه‌ای این زیر زون تفاوت زیادی دیده نمی‌شود. در اکثر مناطق کربناته و همراه با شیل و سیلت و ماسه است.

زون ۶- مرز بالایی این زون معادل شروع حد تدریجی سازندهای آسماری پابده و آغاز لایه شیلی ضخیم بوده و مرز پائینی آن ماسه سنگ است. میانگین ضخامت ۷۷ متر بوده، و افزایش ضخامت این زون از یال جنوبی به طرف یال شمالی می‌باشد و از تناوبی از شیل و ماسه سنگ و آهک تشکیل شده است. روند افزایش میزان تخلخل از نواحی یال جنوبی به سمت سستیغ ساختار و به طرف یال شمالی و دماغه‌های غربی و شرقی مخزن است. میانگین اشباع آب مفید برابر با ۴۳ درصد است. به دو زیر زون ۶-۱ با ضخامت متوسط ۲۹ متر و ۶-۲ با ضخامت ۴۸ متر تقسیم می‌شود.

زون ۷- ضخامت متوسط آن ۱۵۴ متر بوده، در قسمت پایینی زون حد تدریجی وجود دارد که به لایه‌های کربناته الیگوسن ختم می‌شود. قسمت‌های جنوب شرقی بیشترین ضخامت این زون را دارا بوده و به سمت نواحی دیگر کاهش می‌یابد. از لایه‌های ضخیم شیلی و میان لایه‌هایی از ماسه سنگ و ... ایجاد شده است. در شمال شرق و جنوب غرب بیشترین میزان تخلخل را دارا می‌باشند. روند افزایش اشباع آب به دو سمت غرب و شرق مخزن می‌باشد. به دو زیر زون ۷-۱ با ضخامت متوسط ۴۶ متر و ۷-۲ با ضخامت ۸۸ متر تقسیم می‌شود.

۳- داده‌ها و روش مطالعه

در بررسی عوامل تاثیر گذار بر تشکیل آسفالتین به مطالعه تاثیر شکستگی‌ها در بروز این مشکل در میدان نفتی کوپال پرداخته شده است. این مطالعه با استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی مانند CNL (Compensated neutron log), FDC (Formation density compensated) و کالپیر نیز نمودارهای تصویرگر UBI, OBMI, FMI (Formation micro scanner) صورت گرفته است. همچنین از میزان آسفالتین موجود در آنالیز نمونه‌های نفتی استفاده شده است. پس از تفسیر نمودارها و منحنی‌های حاصل از بررسی شکستگی‌ها، محل‌های مشاهده آسفالتین یا نفت مرده را با محل‌های تمرکز شکستگی‌ها انطباق داده شد. در این مقاله تلاش بر این است با توجه به اطلاعات موجود و داده‌های در دسترس رابطه‌ای بین محل تمرکز شکستگی‌ها و محل اجتماع آسفالتین برقرار کرده و وجود رابطه بین این دو را در این میدان نفتی بررسی نماییم. امروزه با پیچیده شدن سازوکار تولید از مخازن نفتی و افت فشار عمده مخازن نفتی موجود در ایران تولید به روش‌های ثانویه اهمیت بیشتری پیدا کرده است. از طرفی با توجه به موقعیت مخازن کربناته و اثر فرایندهای دیازنزی و تکتونیک در این مخازن (از جمله شکستگی‌ها) شاهد ناهمگونی بسیاری در این مخازن هستیم. لذا اهمیت بررسی شکستگی‌ها در صیانت از مخازن و بهینه سازی تولید ضروری به نظر می‌رسد.

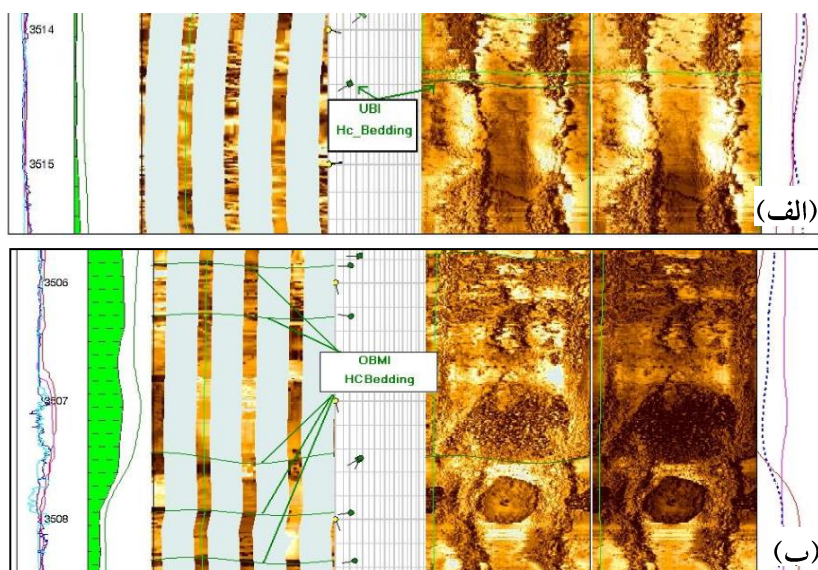
تعیین زون‌های شکستگی معمولاً با استفاده از اطلاعات محدود لاگ‌های تصویرگر به دست می‌آید. اگرچه ابزارها و لاگ‌های متفاوتی طراحی شده ولی هیچ یک از ابزارها به صورت مشخص و واضح به شکستگی واکنش نشان نمی‌دهد [۴]. بدلیل حجم بالای اطلاعات مورد مطالعه تنها داده‌های تصویری دو چاه در این مقاله آورده شده است.

۴- بحث و بررسی داده‌ها

شکستگی‌ها در نمودارهای مختلف تصویرگر چاه‌های انتخابی میدان کوپال در اینجا مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

چاه AH200 - گل مورد استفاده در این چاه از نوع پایه روغنی و نمودارهای تصویرگر UBI و OMBI در این چاه مورد استفاده قرار گرفته است. با بررسی اطلاعات نمودار تصویرگر OMBI از عمق ۳۸۱۱-۳۳۴۶ متری، نمودار UBI از عمق ۳۳۵۷-۳۷۹۸ متری، و اطلاعات نمودارهای FDC، CNL، کالپر از عمق ۳۸۰۹-۳۳۶۰ متری آشکار گردید که شیب لایه بندی در سازند آسماری از ۱۰ تا ۳۰ درجه به سمت S50-55W با امتداد N35-40W متغیر می‌باشد. با این وجود میانگین شیب لایه‌ها حدود ۱۷ درجه به سمت S50-55W تخمین زده می‌شود. دو دسته شکستگی غالب باز با شیبی معادل ۶۶ تا ۷۸ و البته با بیشترین فراوانی حدود ۷۴-۷۲ درجه شناسایی شد. یک دسته به سمت E و دارای امتداد N-S و دسته دوم به سمت N80-85E و در جهت N5-10W می‌باشند. یک دسته شکستگی بسته با شیب ۳۰-۳۲ درجه به سمت S30-50E و امتداد N40-60E نیز مشاهده گردید. اکثر شکستگی‌ها با توجه به الگوی شکستگی‌های مرتبط با چین خوردگی از نوع درزه‌های مورب و طولی هستند [۴۷].

شیب ساختمانی - با استفاده از نمودار تصویرگر UBI و OMBI می‌توان تا حدودی به وضعیت لایه‌بندی پی برد. الگوی لایه‌ها بر روی تصاویر OMBI متفاوت از تصاویر UBI می‌باشد (شکل ۳). به طوری که در تصاویر OMBI بیشتر از تباین رنگ‌ها برای تشخیص لایه‌ها استفاده می‌شود. در تصاویر UBI تباین قابل ملاحظه‌ای در مرز لایه‌ها دیده نمی‌شود. برای هر دو نمودار لایه‌ها با شیب مشخص و واضح را لایه بندی با شیب مطمئن و لایه‌ها با مرزهای ناهموار و مبهم را لایه بندی با شیب نامطمئن می‌گویند [۲، ۲۸].

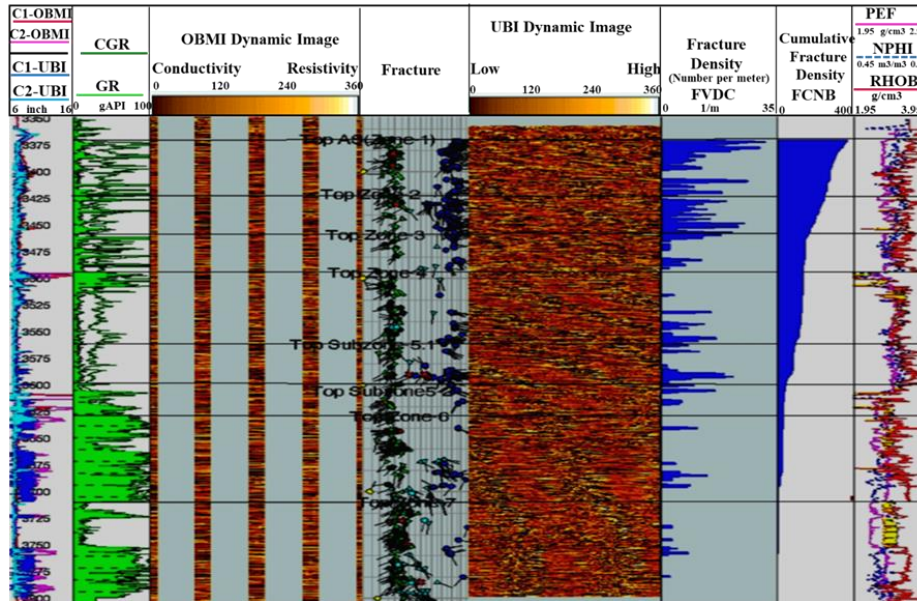


شکل ۳- مقایسه الگوی لایه‌های مطمئن بر روی تصاویر (الف) UBI و (ب) OMBI

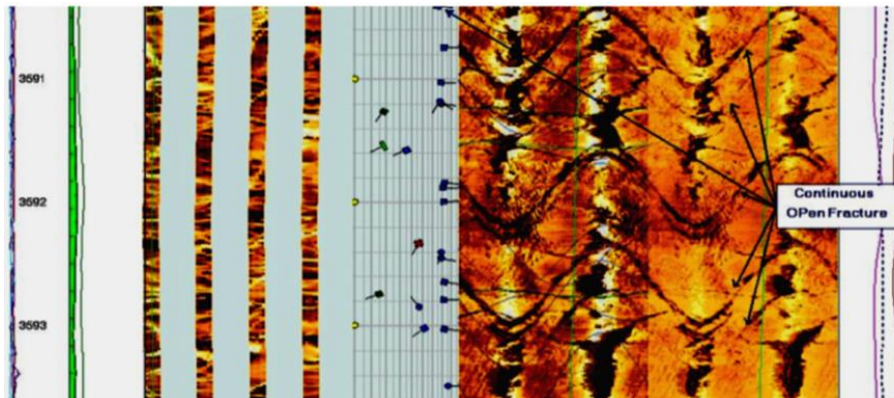
بررسی شکستگی‌ها - به کمک نمودارهای UBI و OMBI می‌توان در چاه‌هایی که گل پایه روغنی دارند شکستگی‌های باز و بسته را از هم تفکیک کرد. بدین منظور ابتدا شکستگی‌ها را بر روی نمودار OMBI مشخص نموده (هر دو دسته بر روی نمودار سفید دیده می‌شوند)، سپس بر روی نمودار UBI منتقل گردید (نمودارهای تیره نمایشگر شکستگی‌های باز). در این چاه، حدوداً ۳۶۷ شکستگی باز مشاهده شد (شکل ۴) که از این تعداد ۳۴۴ شکستگی غیر ممتد، ۲۳ شکستگی باز ممتد می‌باشند (شکل ۵ الی ۷). در این چاه برای شکستگی‌های باز دو دسته اصلی در نظر گرفته شده است که هر دو دسته دارای شیب ۷۸ تا ۶۶ درجه و البته بیشترین فراوانی ۷۴ تا ۷۲ درجه می‌باشد. یک دسته به سمت E و دارای امتداد N-S و دسته دوم به سمت N80-85E و در امتداد S5-10E و N5-10W می‌باشند. محاسبه میزان تراکم شکستگی‌ها نشان می‌دهد که این

تراکم از صفر تا ۳۱ عدد متغیر می باشد [۴۷]. توزیع آماری شکستگی های باز در این چاه در فواصل عمقی دارای نمودار تصویرگر در شکل ۸ نمایش داده شده است. این نمودارها نشان داد که با افزایش عمق راستا و شیب شکستگی ها بدلیل تغییرات ویژگی های سنگ شناسی تغییر می نماید.

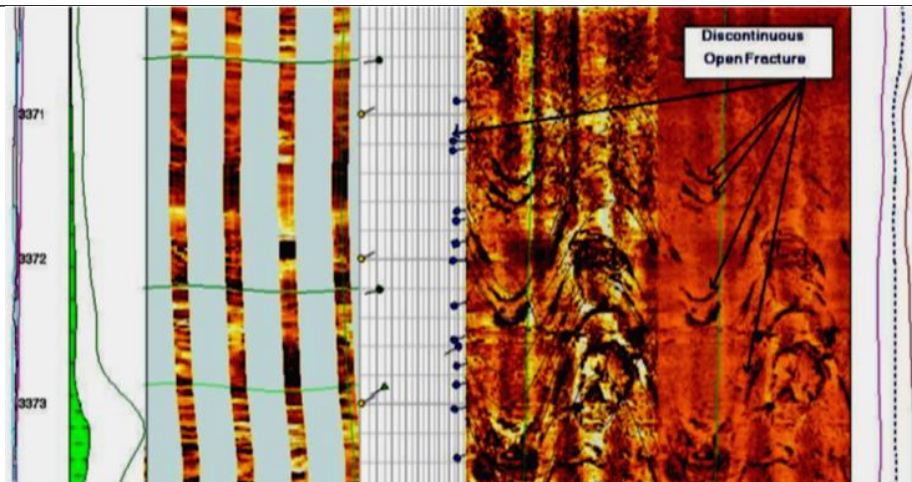
شکستگی های حفره ای یا ووگی - این شکستگی ها در دسته شکستگی های واقعی قرار نمی گیرند و بنابه دلایل ایجاد شدن آنها معمولا در محدوده اطراف شکستگی ها و در امتداد آنها ایجاد می شوند (شکل ۹). طی تفسیر نمودار تصویرگر تعداد ۱۰ شکستگی انحلالی در محدوده عمقی ۳۴۲۹-۳۴۳۰ متری مشاهده گردید.



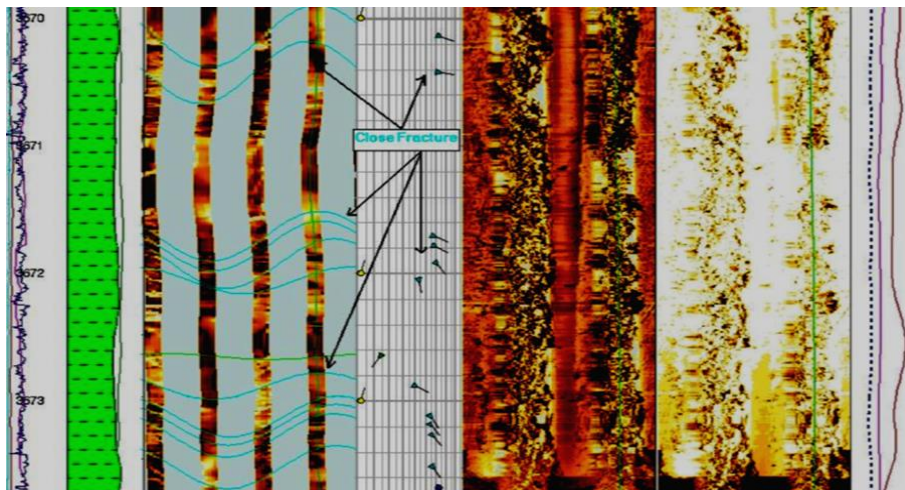
شکل ۴- نمایش کلی شکستگی ها و تراکم آنها در نمودار OBMI و UBI در سازند آسماری کوپال AH200



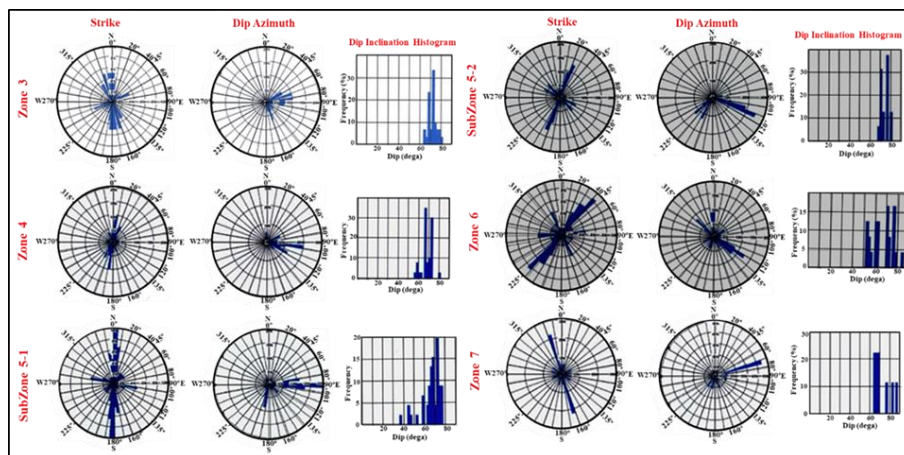
شکل ۵- نمایش شکستگی های باز ممتد بر نمودار UBI کوپال AH200



شکل ۶- نمایش شکستگی‌های باز غیر ممتد مخزن آسماری کوپال AH200



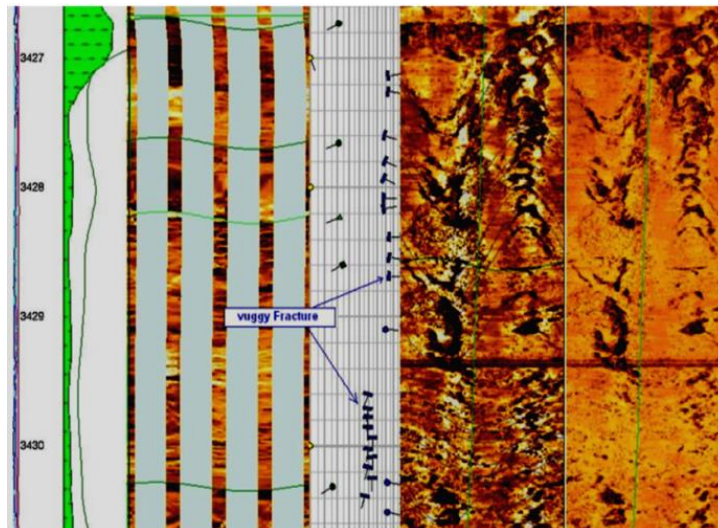
شکل ۷- نمایش شکستگی‌های بسته بر روی نمودار OBMI کوپال AH200



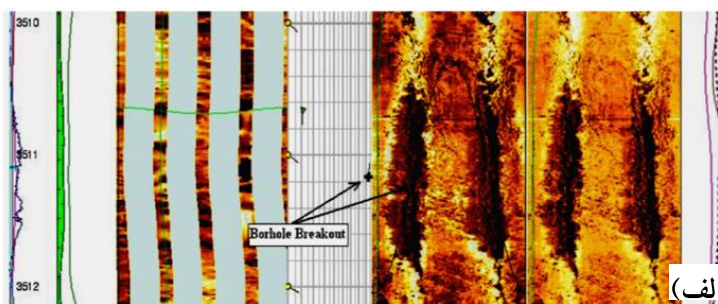
شکل ۸- توزیع آماری شکستگی‌ها در زون‌های انتخابی مخزن آسماری در کوپال AH200

۱-۴- بررسی تنش‌های وارده- نمودارهای تصویری قادر می‌باشند وضعیت بیشترین و کمترین تنش وارده بر دیواره چاه را به وسیله شکستگی‌های حاصل از محل کمترین و بیشترین تنش مشخص کنند. در تفسیر نمودار UBI و OBMI مربوط به این چاه، شکستگی‌ها از نوع شکستگی‌های حاصل از حفاری و فشار ناشی از چرخش مته در نظر گرفته شد (شکل ۱۰) و محل کمترین اثر آن در امتداد NW- SE بیان گردید. امتداد تنش‌های افقی - داده‌های مربوط به ریزش دیواره (Borehole

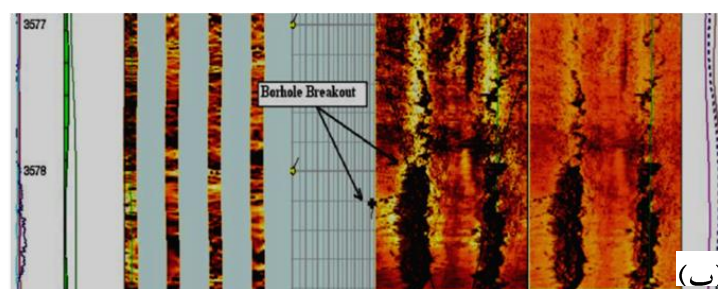
Breakout) که در جهت کمترین تنش افقی وارد بر حفره چاه ایجاد می‌گردند نشان می‌دهد که در این چاه، امتداد کلی آنها (N۷۵W) با امتداد کلی چین خوردگی‌های زاگرس (جهت کمترین تنش افقی) مطابقت دارد. وضعیت استیلولیت‌ها نیز در این چاه بررسی گردید که نشان دهنده انحلال در محیط جامد بوده و مبین این است که استیلولیت‌ها روندی مشابه با لایه‌بندی دارند [۴۷].



شکل ۹- نمایش شکستگی‌های حفره‌ای مخزن آسماری در کوپال AH200



(الف)



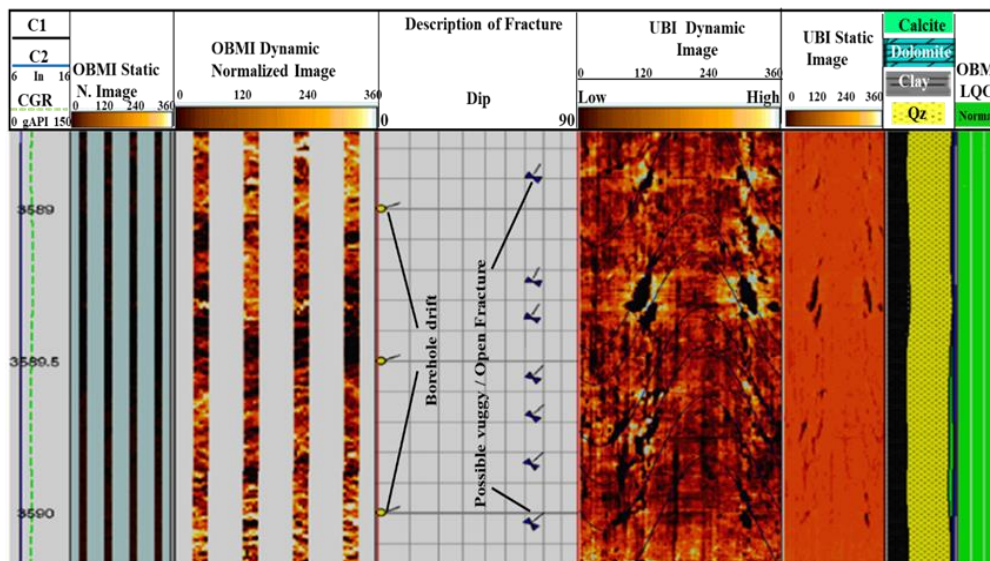
(ب)

شکل ۱۰- نمایش شکستگی‌های ریزشی ناشی از حفاری در نمودار UBI در دو عمق مختلف، مخزن آسماری چاه AH200

چاه AH300- نوع گل حفاری مورد استفاده از نوع پایه نفتی یا روغن بوده است. لیتولوژی سازند آسماری در نیمه بالایی عمدتاً سنگ آهک دولومیتی و در نیمه پایین تر ماسه‌سنگ می‌باشد. میانگین مقدار اشباع آب ۰/۲۲ تا ۰/۴۵ متغیر است. پس از شناسایی شکستگی‌های ناشی از حفاری (شکل ۱۱)، نوع و توزیع شکستگی‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این شکستگی‌ها به صورت نواحی تاریک ممتد در تصاویر FMI بوده و دارای شیب ۸۰ درجه هستند. به طور کلی در چاه‌های عمودی و چاه-

هایی با انحراف جزئی، جهت‌گیری طولی چاه هم تراز با مسیر حداقل فشار افقی است و رگه ناشی از حفاری هم تراز با مسیر حداکثر فشار افقی می‌باشد.

شکستگی‌ها در نواحی خاصی از چاه مشاهده می‌شود. شکستگی‌های بسته در نیمه بالایی و اکثراً در ناحیه ۱ تا ۵ آسماری عمدتاً دارای دو جهت N22E و N47W می‌باشند. عمده شکستگی‌های باز در نیمه پایینی آسماری دیده می‌شوند که متشکل از شیل و ماسه سنگ است. به طور کلی ۹۴ شکستگی دیده می‌شود که اکثراً ظاهری ناپیوسته و بیشتر شیبی معادل ۵۳، ۶۰ تا ۶۳ درجه دارند. عمق این شکستگی‌ها معمولاً ۳۷۲۵ تا ۳۷۱۷ متر است. هرچند اکثر این شکستگی‌ها در لایه‌های ماسه‌ای تمیز و در فواصل عمقی ۳۵۴۹-۳۵۸۴، ۳۷۳۵-۳۷۱۷ و ۳۷۵۰ تشکیل شده‌اند.



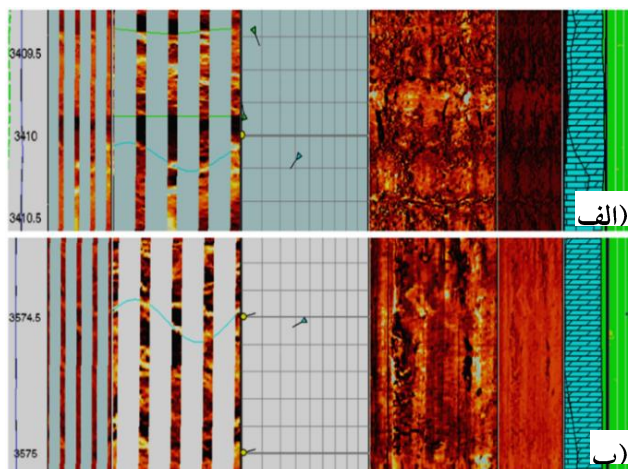
شکل ۱۱- شکستگی‌های ناشی از حفاری در مخزن آسماری میدان کوپال در چاه AH300

ویژگی شکستگی‌ها - تحلیل شکستگی یکی از مهمترین اهداف نمودار تصویری در گل حفاری پایه روغنی در چاه مورد بررسی می‌باشد. با استفاده از تصاویر دو نوع شکستگی بسته (شکل ۱۲ و ۱۳) و باز (شکل ۱۴ و ۱۵) طبقه بندی شده است. شکستگی‌های باز به عنوان شکستگی‌های ناپیوسته و حفاره‌ای بررسی و به همراه اثرات ناپیوسته و حفاره‌ای از طریق تصاویر صوتی (UBI) نشان داده شده‌اند. در کل ۹۴ شکستگی باز شناسایی شده است. جالب توجه‌ترین نکته این است که اکثر این شکستگی‌ها در لایه‌های ماسه‌ای تمیز در فواصل عمقی ۳۵۴۹-۳۵۸۴، ۳۷۳۵-۳۷۱۷ و ۳۷۵۰ متری تشکیل شده‌اند. شکستگی‌های بسته در نیمه بالایی آسماری (عمدتاً سنگ آهک دولومیتی) ایجاد شده‌اند. به طور کلی ۱۳ شکستگی بسته شناسایی شده است که اکثر آنها در زون ۵ آسماری شناسایی شدند. توزیع آماری آن در شکل ۱۶ دیده می‌شود.

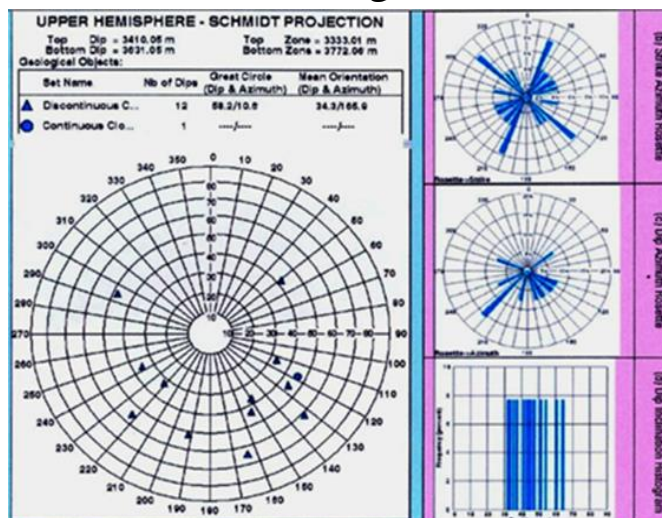
شیب شکستگی‌ها - در شکستگی‌های بسته پراکندگی بیشتری در شیب دیده می‌شود. شکستگی‌های باز دارای جهت حرکت و سمت معینی می‌باشند. عمدتاً زاویه میل شکستگی‌های بسته S47E-N22E-S22W می‌باشد و مقدار خاصی برای در نظر گرفتن انحراف عمده برای شیب شکستگی‌های بسته وجود ندارد. شیب هر دو گروه از شکستگی‌های باز با میل NW- SE و SW- NE می‌باشند (شکل ۱۷). این جهت حرکت شامل آن شکستگی‌هایی می‌شود که در لایه‌های ماسه سنگی دیده می‌شوند و شیبی تقریبی معادل ۵۳، ۶۰ و ۶۳ درجه دارا می‌باشد.

دهانه و تخلخل شکستگی‌ها: دهانه شکستگی از ۰/۰۰۱ تا ۰/۳ سانتیمتر در نوسان است. بزرگترین دهانه شکستگی در فاصله عمقی ۴۲۰۷ تا ۴۲۱۳ متر دیده شده است. بنابراین این ناحیه منطقه‌ای است که باید بیشترین قابلیت ایجاد شکستگی را داشته باشد. قابلیت ایجاد شکستگی از طریق ایجاد برش، از طریق انسجام دهانه شکستگی در سر تاسر فاصله شکسته شدن محاسبه

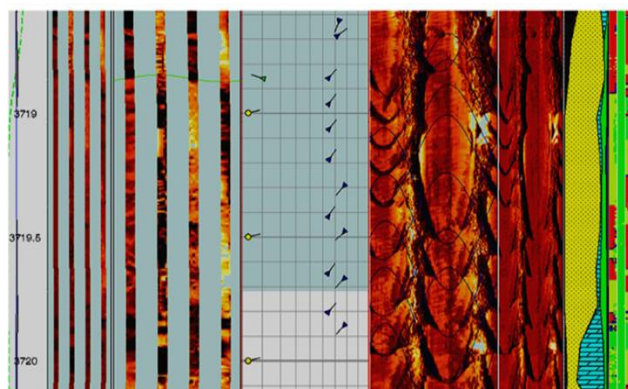
می‌شود. تخلخل شکستگی از صفر تا ۷۵ درصد با در نظر گرفتن بالاترین مقادیر در فاصله عمقی ۴۲۰۷ تا ۴۲۱۳ متر در نوسان است [۴۷].



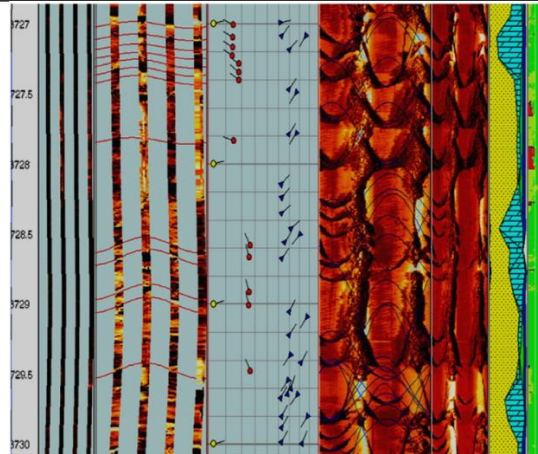
شکل ۱۲- شکستگی‌های بسته منقطع در نمودار OBMI-UBI در چاه AH300



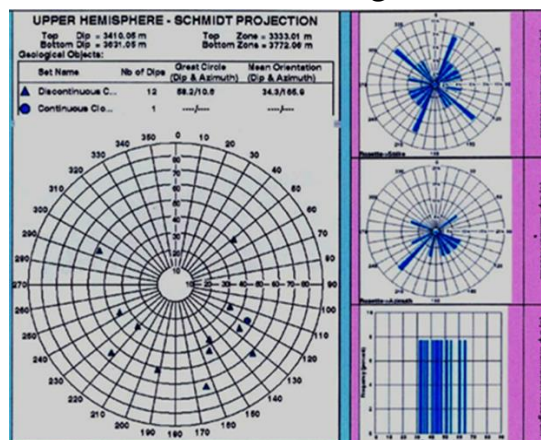
شکل ۱۳- نمودار آماری شیب و راستا شکستگی‌های بسته در چاه AH300



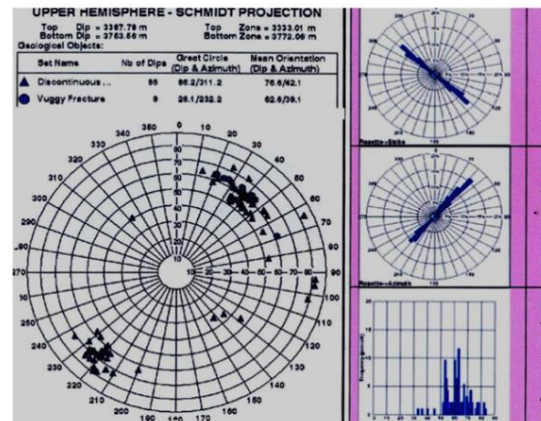
شکل ۱۴- شکستگی‌های باز منقطع احتمالی در نمودار OBMI-UBI در بخش ماسه سنگی در چاه AH300



شکل ۱۵- شکستگی های باز منقطع مخزن آسماری میدان کوپال در چاه AH300



شکل ۱۶- نمودار توزیع آماری شیب و راستا شکستگی های بسته مخزن آسماری کوپال AH300



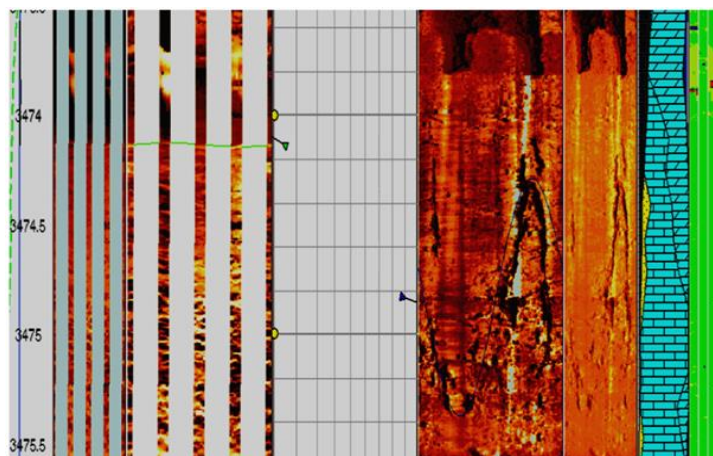
شکل ۱۷- نمودار توزیع آماری ویژگی های شیب و امتداد شکستگی های باز در مخزن آسماری کوپال AH300

۲-۴- تحلیل شکستگی ها - خصوصیات مسطح بدون جابجایی ظاهری بلوک‌ها در امتداد سطح شان می‌باشند. بطورکلی شکستگی‌ها شیب تندی در رژیم‌های کششی و چرخشی دارند، در حالی که در رژیم‌های فشارشی شکستگی‌ها ممکن است زاویه شیب زیاد یا کم داشته باشند. دهانه شکستگی‌ها ممکن است باز، بسته یا پر شده از کانی‌هایی چون رس، انیدریت و پیریت و ... باشد. در تصاویر FMI شکستگی‌ها مانند خصوصیات خطی که عموماً شیب تندتری نسبت به شیب ساختاری

دارند، تمایل به پدیدار شدن دارند. شکستگی های باز عاری از رس، به علت تهاجم گل حفاری، حالتی رسانا در تصاویر دارند ولی شکستگی های کانی سازی شده مقاوم به نظر می آیند [۴۷].

تحلیل و بررسی ها جهت **WN - ESE** را برای حداقل فشار افقی و جهت **NNE-SSW** را برای حداکثر فشار افقی نشان داده به معنای این است که هر گونه شکستگی هیدرولیکی طراحی شده برای این چاه شکستگی هایی به سمت **NNE-SSW** را ایجاد خواهد کرد.

بررسی های انجام شده شیب ساختاری آسماری را در این چاه ۳ تا ۴ درجه **NW** نشان می دهد و شکستگی ها در فواصل هیدروکربن دار (شکل ۱۸) نسبت به بقیه فواصل کمتر آشکار شده است. لایه ماسه سنگی پائینی لایه ای با بیشترین شکستگی و اکثراً از نوع باز می باشند.



شکل ۱۸- شکستگی های باز منقطع در نمودار **OBMI-UBI** در بخش کربنی مخزن آسماری در چاه **AH300**

نتایج بررسی چاه های مختلف نشان داد که شکستگی در یال شمالی در مقایسه با یال جنوبی بیشتر است. چگالی شکستگی باز زون ها (یعنی نسبت تعداد شکستگی های باز هر زون به فاصله حفاری شده در آن زون بر حسب متر) نشان می دهد زون های ۲ و ۳ به ترتیب با متوسط $1/05$ و $0/96$ شکستگی در هر متر بیشترین و زون ۴ با متوسط $0/53$ شکستگی در هر متر کمترین تراکم شکستگی را دارا هستند. با بررسی داده های مربوط به هرز روی گل آشکار گردید که حداکثر میزان هرزروی ها با محل تمرکز شکستگی ها انطباق دارد. بررسی تنش - شکستگی ها اکثراً دارای امتداد **N55E** هستند. داده های کالیبر (قطر سنج) و نمودار **FMI** جهت **N35W** را بعنوان راستای محور بلند بازشدگی دیواره چاه در نیمه پائینی سازند آسماری در فاصله عمقی ۴۲۵۰ تا ۴۳۰ متر نشان می دهد. با توجه به راستای شکستگی های ریزشی ناشی از حفاری، راستای حداقل تنش افقی (**δH min**) جهت **N35W** و حداکثر تنش افقی (**δH max**) جهت **N55E** است.

تصاویر **FMI** و کیفیت آنها تحت تاثیر محتویات نفت موجود در گل حفاری است. کیفیت تصاویر در مناطق کم تر مقاوم بهتر بوده و قابل استفاده برای تفسیر در رابطه با شکستگی و لایه هاست.

۳-۴- ارتباط شکستگی ها و تولید آسفالتن

بررسی ها و مطالعات انجام شده نشان داده است که درصد افزایش آسفالتن نفت در مخزن آسماری میدان کوپال در چاه های مختلف هیچ ارتباطی به فاصله تولید ندارد. بنابراین انطباق شکستگی ها و محل های مشاهده آسفالتن دلیل بر آن است که مهمترین عامل ایجاد و تشکیل رسوب آسفالتن در مخازن این میدان، وجود شکستگی ها و تاثیر آنها بر پدیده فشار و در

نهایت تشکیل رسوبات آسفالتن خواهد بود. بررسی‌ها نشان داده که هر چه عمق بیشتر باشد و یا به سطح تماس آب و مخزن نزدیکتر باشد درصد آسفالتن تولید شده بیشتر است.

با بررسی داده‌های مربوط به هرز روی گل (جدول ۱) آشکار گردید که حداکثر میزان هرزروی‌ها با محل تمرکز شکستگی‌ها انطباق داشته است که خود منطبق بر میزان اعماق گزارش شده ایجاد نفت مرده و آسفالتن می‌باشد.

همانطور که در پیش بیان شد دما و تغییرات آن یکی از پارامترهای مهم در رسوب آسفالتن می‌باشد. بررسی‌ها نشان داد که رسوب در دمای بالا بیشتر از میزان رسوب در دمای پایین است، بنابراین هر چه میزان دما افزایش پیدا کند، میزان رسوب اضافه خواهد شد، البته این افزایش چندان محسوس نمی‌باشد و با افزایش فشار (بالا تر از ۲۰۰۰ psi) نیز از رسوب آسفالتن کاسته می‌گردد [۸]. مطالعه لی و همکاران [۳۱] نشان داد که آسفالتن‌های مختلف حساسیت متفاوتی به دما در محدوده دمایی

۲۵ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد دارند. یک فرضیه برای توضیح این است که ساختار تجمعی آسفالتن عامل مهمی برای پایداری آسفالتن است. با تعیین پارامترهای کریستالی آسفالتن‌ها با پراش اشعه ایکس (XRD) برای توصیف ویژگی‌های ساختاری نشان داد که فاصله لایه بین ورقه‌های اروماتیک (dm) آسفالتن‌های مشتق‌شده از نفت S1 و نفت S2 متفاوت بوده و به ترتیب ۰/۳۷۸ و ۰/۴۰۸ نانومتر می‌باشد، که نشان می‌دهد تجمع آسفالتن حاصل از نفت S2 شل‌تر از نفت S1 است. بنابراین دمای بالا می‌تواند نفوذ رزین‌ها به تجمع آسفالتن را تسهیل کرده و در نهایت پراکندگی آسفالتن‌ها را بهبود بخشد. اما در این میدان تغییرات گرادیان حرارتی در مخزن آسماری در محدوده ۱۵ الی ۱۶ تغییر نموده [۳] و بنابراین به دلیل تاثیر کم یا حتی ناچیز شکستگی‌ها بر روی دما بعید است که رابطه‌ای بین شکستگی‌ها، دما و آسفالتن وجود داشته باشد.

با بررسی و مطالعه تغییرات فشار (متناسب با وزن گل حفاری است) در میدان نفتی کوپال جای شکی نخواهد بود که عمده تاثیر بر رسوب آسفالتن از طریق تغییر فشار در مخزن باشد. فشار یکی از مهمترین عوامل در رسوب آسفالتن می‌باشد و شکستگی نیز یکی از عوامل مهم در تغییرات فشار بوده و بنابراین می‌توان بیان کرد که تاثیر شکستگی‌ها بر رسوب آسفالتن از طریق اعمال تغییرات در فشار مخزن امری غیر قابل انکار می‌باشد.

درصد آسفالتن استخراج شده از نمونه‌های نفت مخزن آسماری [۱] مربوط به هر چاه (جدول ۲، شکل ۱۹-الف) نشان می‌دهد که درصد متفاوتی داشته و مقدار آن از ۰/۶ تا ۲/۷۵ درصد متغیر است. درصد آسفالتن این مخزن در یال شمالی بیش از یال جنوبی است.

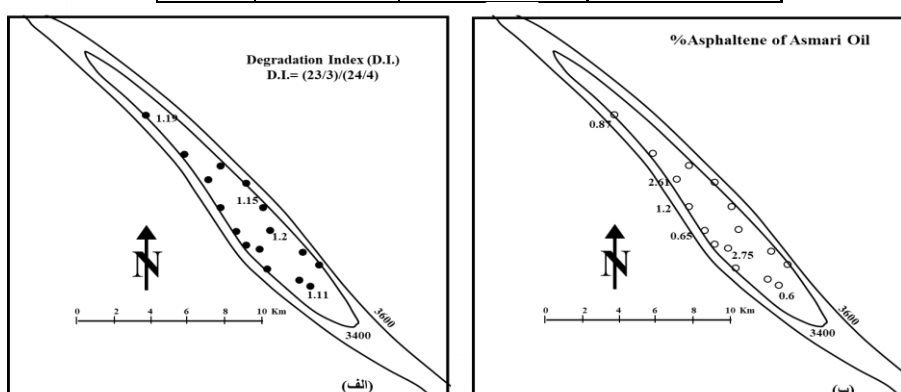
جدول ۱- داده‌های هرزروی بر حسب بشکه در روز (bbl/Day) و وزن گل حفاری بر حسب پوند بر گالن (ppg) در چاه‌های مورد مطالعه در فواصل عمقی سازند آسماری [۵].

Mud loss data in AH200											
Depth (m)	3368	3400	3498	3594	3640	3644	3690	3714	3744	3796	3827
bbl/Day	120	240	630	900	2600	75	55	14	65	30	25
bl/inch	56	56	56	56	62.4	58	58	59	64	64	64
Mud loss data in AH300											
Depth (m)	3341	3393	3396	3545	3590	3759					
bbl/Day	-	-	-	50	-	40					
Bl/inch	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	63					

جدول ۲- درصد آسفالتن اندازه‌گیری شده نفت‌های مخزن آسماری میدان کوپال در چاه‌های مختلف [۱].

درصد آسفالتن	زون	چاه	نمونه
--------------	-----	-----	-------

۱	KL 11	Zone-1	1.2
۲	KL 5	Zone - 6, 7	2.75
۳	KL 1	Zone-1, 2, 3	0.6
۴	KL 10	Zone - 2, 3	0.95
۵	KL 14	Zone - 2-1	0.65
۶	KL 18	Zone - 5-1	1.61
۷	KL 29	Zone - 5-1	0.87
۸	KL 34	Zone - 7	17



شکل ۱۹- (الف)-درصد آسفالتن و (ب) مقدار ضریب تخریبی نمونه های نفت مخزن آسماری در چاه های مختلف نتایج حاصل از پیرولیز گاز کروماتوگرام آسفالتن حاصل از نفت های مخزن آسماری کوپال نشان داد که اولاً آسفالتن اولیه در نفت ها وجود ندارند و فعل و انفعالات شیمیایی در چاه عامل ایجاد آسفالتن ثانویه شده است. با روش پیرولیز جذب حرارتی آسفالتن اولیه جدا و با روش پیرولیز آسفالتن باقی مانده ترکیبات شیمیایی مشخص می شود. مقدار تخریب نفت ها در بخش شمال غربی میدان کمتر از بخش جنوب شرقی آن می باشد [۱] (شکل ۱۹-ب) که این امر با تمرکز شکستگی ها داشته، می تواند مؤید تاثیر شکستگی ها در تشکیل آسفالتن باشد.

۵- نتیجه گیری

نتایج بررسی نمودارهای تصویرگر نشان داد که شکستگی در یال شمالی نسبت به یال جنوبی بیشتر است. براساس چگالی شکستگی باز، زون های ۲ و ۳ بیشترین و زون ۴ کمترین تراکم شکستگی را در متر دارا هستند. داده های مربوط به هرز روی گل نشان داد که حداکثر مقدار با محل تمرکز شکستگی ها انطباق دارد. اکثر شکستگی ها با توجه به الگوی شکستگی های مرتبط با چین خوردگی از نوع درزهای مورب و طولی هستند. شکستگی ها در فواصل عمقی هیدروکربن دار نسبت به بقیه فواصل عمقی کمتر در نمودارهای تصویرگر آشکار شده است. لایه ماسه سنگی پائینی با بیشترین شکستگی و اکثراً از نوع باز مشخص می شوند. عمده شکستگی های باز در نیمه پائینی آسماری شناسایی گردید که متشکل از شیل و ماسه سنگ است. شکستگی ناشی از حفاری در راستای شمالغرب-جنوب شرق بوده و با راستای عمومی تنش در زاگرس همخوانی دارد. جهت حداکثر تنش افقی (N55W (δH_{max}) و جهت حداقل تنش افقی (N35W (δH_{min}) است.

براساس داده ها و اطلاعات بدست آمده از آزمایش های ژئوشیمیایی نفت میدان کوپال مشخص شده است که درصد آسفالتن در مخزن آسماری پایین می باشد. درصد افزایش آسفالتن در چاه های مختلف هیچ ارتباطی به فاصله تولید ندارد. انطباق

شکستگی‌ها و محل‌های مشاهده آسفالتن دلیل بر تاثیر شکستگی‌ها بر پدیده فشار و در نهایت تشکیل رسوبات آسفالتن است. درصد آسفالتن تولید شده با افزایش عمق افزایش می‌یابد. حداکثر میزان هرزروی‌ها با محل تمرکز شکستگی‌ها انطباق داشته و منطبق بر مکانهای ایجاد نفت مرده و آسفالتن می‌باشد. به دلیل تاثیر کم یا حتی ناچیز شکستگی‌ها بر روی دما بعید بنظر می‌رسد که رابطه‌ای بین شکستگی، دما و آسفالتن در ناحیه مورد مطالعه باشد. درصد آسفالتن متفاوت بوده و مقدار آن از ۰/۶ تا ۲/۷۵ درصد متغیر است. بطور کلی آسفالتن مشاهده شده اولیه در نفت‌ها وجود ندارند و ثانویه است. با مقایسه شکستگی‌ها و تمرکز آنها و مقدار تخریب نفت مطابقت داشته و می‌تواند تاثیر شکستگی‌ها در تشکیل آسفالتن را نشان دهد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از بخش معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز و شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب جهت فراهم آوردن امکانات و اطلاعات مورد نیاز این پژوهش تشکر نمایند. همچنین از داوران محترم مقاله آقایان دکتر علیرضا بشری (رئیس انجمن زمین شناسی نفت ایران) و دکتر بابک سامانی (دانشیار دانشگاه شهید چمران اهواز) تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- [۱] اشکان، ع.، ۱۳۸۳، اصول مطالعات ژئوشیمیایی سنگهای منشا هیدروکربوری، رساله دکتری- دانشگاه نانسی فرانسه.
- [۲] پیروزی، ص.، ۱۳۸۷، تفسیر نمودار تص.یرگر OBMI-UBI چاه کوپال ۳۰، در مخزن آسماری، گزارش شماره پ-۳۱۸، ۷۱ص.
- [۳] حیدری فرد، م.ح.، شایسته، م.، قلاوند، ه.، سراج، م.، و اشرفی، ا.، ۱۳۸۶، مطالعه تغییرات گرادیان حرارتی مخزن آسماری در ناحیه فروافتادگی دزفول، گزارش پ-۶۰۰۸، اداره مطالعات شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب
- [۴] رضایی، م.، ۱۳۸۰، زمین شناسی نفت، انتشارات علوی، ۴۷۲ صفحه.
- [۵] شرکت ملی حفاری ایران، ۱۳۷۰-۱۳۸۵، گزارش روزانه حفاری سنگ مخزن آسماری، میدان نفتی کوپال.
- [6] ALIMOHAMMADI, S., ZENDEHBOUDI, S., & JAMES, L., 2019, A comprehensive review of asphaltene deposition in petroleum reservoirs: Theory, challenges, and tips. *Fuel*, **252**, 753-791. doi:10.1016/j.fuel.2019.03.016.
- [7] ANDERSEN, S. I., 1994, Dissolution of solid Boscan asphaltenes in mixed solvents. *Fuel Sci. Tech. bzt.*, **12**, 1551.
- [8] ANDERSEN, S.I., AND BIRDI, K.S., 1990, Influence of temperature solvent on the precipitation of asphaltene. *Fuel Science and Technology, Int.* **8**: 593-615.
- [9] ANTHONY, E.J., TALBOT, R., JIA, L., AND GRANATSTEIN, D.L., 2000, Agglomeration and fouling in three industrial petroleum coke-fired CFBC boilers due to carbonation and sulfation. *Energy & Fuels*, **14** (5), 1021-1027.
- [10] ASKE, N., KALLEVIK, H., JOHNSEN, E.E., AND SJO-BLOM, J., 2002, Asphaltene aggregation from crude oils and model systems studied by high-pressure NIR spectroscopy. *Energy & Fuels*, **16**, 1287-1295.
- [11] BURKE, N.E., HOBBS, R.D., AND KASHOU, S.F., 1990, Measurement and modeling of asphaltene precipitation. *JPT*, **November**, 1440-1446.
- [12] DE BOER, R., K. LELOYER, M. EIGNER, AND VAN BERGEN, A., 1995, Screening of crude oils for asphalt precipitation: Theory, practice, and the selection of inhibitors." *Soc. Petrol. Eng.*, **2**, 55-61.
- [13] ESCOBEDO, J., & MANSOORI, G. A., 1992, Heavy organic deposition and plugging of wells (Analysis of Mexico's Experience). *Proceedings of SPE Latin America Petroleum Engineering Conference*. doi:10.2523/23696-ms.
- [14] ESCOBEDO, J., MANSOORI, G.A., BALDERAS-JOERS, C., CARRANZA-BECERRA, L.J., AND MENDEZ-GARCIA, M.A., 1997, Heavy organic deposition during oil production from a hot deep reservoir: A field experience, *Proceedings of the 5th Latin American and Caribbean Pet. Eng. Conf. and Exhib.*, Rio de Janeiro, Brazil, 30 Aug. - 3Sep.
- [15] FOTLAND, P., H. ANFINSEN, H. FOERDEDAL, AND HJERMSTAD, H.P., 1997, The phase diagrams of asphaltenes: Experimental technique, results and modeling on some North Sea crude oils." *Symposium on the Chemistry of the Asphaltene and Related Substances*, Cancun, Mexico.

- [16] GEORGIADIS, M.C., PAPAGEORGIOU, L.G., AND MACCHIETTO, S., 2000, Optimal Cleaning Policies in Heat Exchanger Networks under Rapid Fouling. *Ind. & Eng. Chem. Res.*, **39**(2); 441-454.
- [17] HAMMAMI, A., PHELPS, C.H., MONGER-MCCLURE, T., AND LITTLE, T.M., 2000, Asphaltene Precipitation from Live Oils; An Experimental Investigation of Onset Conditions and Reversibility." *Energy Fuels*, **14**, 14-20.
- [18] HEMMATI-SARAPARDEH, A., AHMADI, M., AMELI, F., DABIR, B., MOHAMMADI, A. H., & HUSEIN, M. M., 2019. Modeling asphaltene precipitation during natural depletion of reservoirs and evaluating screening criteria for stability of crude oils. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. doi:10.1016/j.petrol.2019.05.078.
- [19] HIRSCHBERG, A., DEJONG, L.N.J., SCHIPPER, B.A., AND MEIJER, J.G., 1984, Influence of temperature and pressure on asphaltene flocculation." *SPEJ*, **June**, 283-293.
- [20] KARABELAS, A.J., 1998, Comprehensive modeling of precipitation and fouling in turbulent pipe flow. *Ind. & Eng. Chem. Res.*, **37**(4); 1536-1550.
- [21] KAWANAKA, S., LEONTARITIS, K.J., PARK, S.J. AND MANSOORI, G.A. 1989, Thermodynamic and colloidal models of asphaltene flocculation in "Oil field chemistry". *ACS Symposium Series No. 396*, Chapter 24, Am. Chem. Soc., Washington. D.C.
- [22] KHAMEHCHI, E., GHASEMI, M., SHAHSAVARI, M.H., 2020, Investigation of effective parameters on asphaltene deposition and production optimization in one of the Iranian oil fields. *April 2020SOCAR Proceedings*. DOI: 10.5510/OGP20200100417.
- [23] KHAMEHCHI, E., SHAKIBA, M. & ARDAKANI, M.S., 2018, A novel approach to oil production optimization considering asphaltene precipitation: a case study on one of the Iranian south oil wells. *J Petrol Explor Prod Technol*, **8**, 1303–1317. <https://doi.org/10.1007/s13202-017-0409-0>.
- [24] KHODAPANAH, E., TABATABAEI NEZHAD, S. A. R., HASHEMZADEH, H., 2023, An Investigation of the Asphaltene Effect on Wax Precipitation of Iran Asmari reservoir dead crude oil. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.*, **42** (10), 3555-3566. 1021-9986/2023/10/3555-3566.
- [25] KHURSHID, I., ALSHALABI, E.W., AL-ATTAR, H., AL-NEAIMI, A.K., 2020, Analysis of formation damage and fracture choking in hydraulically induced fractured reservoirs due to asphaltene deposition. *J Petrol Explor Prod Technol* **10**, 3377–3387. <https://doi.org/10.1007/s13202-020-00910-8>.
- [26] KOKAL S.L. AND SAYEGH S.G., 1995, Asphaltenes: The cholesterol of petroleum. *Proceedings VI. SPE 9th Middle East Oil Conference*, 169-181.
- [27] KOOTS, J. A., AND SPEIGHT, J.G., 1975, Relation of Petroleum Resins to Asphaltenes." *Fuel*, **54**, (3), 179-84.
- [28] LAI, J., WANG, G., FAN, Z., WANG, Z., CHEN, J., ZHOU, Z., WANG, S., XIAO, C., 2017, Fracture detection in oil-based drilling mud using a combination of borehole image and sonic logs. *Marine and Petroleum Geology*, **84**, 195-214. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.03.035>.
- [29] LEONTARITIS, K.J., AMAEFULE, J.O. AND CHARLES, R.E., 1994, A systematic approach for the prevention and treatment of formation damage caused by asphaltene deposition." *SPE Production & Facilities*, August, p. 157-164.
- [30] LEONTARITIS, K.J., AND MANSOORI, G.A., 1989, Fast crude-oil heavy-component characterization using Combination of ASTM, HPLC, and GPC Methods. *J. Petrol. Sci. & Eng.*, **2**, 1-12.
- [31] LI, M., TIAN, Y., WANG, C., JIANG, C., YANG, C., AND ZHANG, L., 2022, Effect of Temperature on Asphaltene Precipitation in Crude Oils from Xinjiang Oilfield. *ACS Omega*. **7**(41): 36244–36253. doi: 10.1021/acsomega.2c03630.
- [32] MA, H., BOWMAN, C.N., AND DAVIS, R.H., 2000, Membrane fouling reduction by backpulsing and surface modification. *J. of Membrane Sci.*, **73**(2), 15, 191-200.
- [33] MADHI, M., KHARRAT, R., & HAMOULE, T., 2018, Screening of inhibitors for remediation of asphaltene deposits: Experimental and modeling study. *Petroleum*, **4**(2), 168–177. doi:10.1016/j.petlm.2017.08.001.
- [34] MANSOORI, G. A., JIANG, T.S., AND KAWANAKA, S., 1988, Asphaltene deposition and its role in petroleum production and processing. *Arab. J. Sci. Eng.*, **13**, 17.
- [35] MANSOORI, G.A. 1997b, Prevention and remediation of heavy organics deposits in petroleum fluid transfer lines. *Proceedings of the International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion '97*, ISSN 0854-9346, K17-K39.
- [36] MANSOORI, G.A. AND JIANG, T.S., 1985, Asphaltene deposition and its role in EOR miscible flooding, FIOC. *Third AGIP SPA Improved Oil Recovery European Meeting*, Rome, Italy 75.
- [37] MANSOORI, G.A., 1997a, Modeling of heavy organics depositions. *J. Petrol. Sci. & Eng.*, **17**, 101-121.

- [38]MANSOORI, G.A., 2000, Thermophysical behavior and control of fouling materials in petroleum processing, in the Proceedings of "Heat Exchanger Seminar" Lecture 1, 18 pages, *AIChE (Chicago Section) and ASME International (Chicago Section)*, Chicago, IL, Feb. 9.
- [39]MURALIDHARA, H.S., 1996, Electrokinetics methods to control membrane fouling. *Ind. & Eng. Chem. Res.*, **35**(4), 1233-1240.
- [40]PAN, H. Q., AND FIROOZABADI, A., 1997, Thermodynamic micellization model for asphaltene precipitation from reservoir crude at high pressure and temperatures, SPE 38857, *SPE Ann. Tech. Conf. and Exhib.*, San Antonio, TX, Oct. 5–8.
- [41]PANCHAL, C.B., (Ed.)1997, Fouling Mitigation of Industrial Heat Exchange Equipment. *Begell House, New York, NY*.
- [42]PARK, S.J., AND MANSOORI, G.A., 1988, Aggregation and Deposition of Heavy Organics in Petroleum Crudes. *J. of Energy Sources*, **10**, 109-125.
- [43]PATHAK, V., BABADAGLI, T., EDMUNDS, N., 2012, Mechanics of heavy-oil and bitumen recovery by hot solvent injection. *SPE Reserv. Eval. Eng.*, **15**:182–194.
- [44]PEREIRA, C.J., 1998, Design of a monolith catalyst for fouling resistance. *Ind. & Eng. Chem. Res.*, **37** (2), 388-390.
- [45]RABBANI, A.R., AGHAEI, H., SAADATI NEJAD, M.R., 2011, Study on asphaltene at one of the Iranian oil field. *Australian J. of Basic and Applied Sciences*, **5**(6): 1315-1323.
- [46]REID, R.C., PRAUSNITZ, J.M., AND POLING, B.E., 1987, The properties of gases and liquids, 4th edition. *McGraw-Hill, Inc. New York*, ISBN-10/ASIN: 0070517991, 741p.
- [47]SCHLUMBERGER, 2004, FMI full bore formation micro imager, Schlumberger Ltd.
- [48]SHERKATI, S., AND LETOUZEY, J., 2004, Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros Izeh zone and Dezful Embayment, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, **21**, 535–554.
- [49]SOLAIMANY NAZAR, A.R., AND BAYANDORY, L., 2008, Investigation of asphaltene stability in the Iranian crude oils. *Iranian J. of Chemical Engineering*, **5** (1), 1-11. IACHE.
- [50]SOULGANI, B.S., TOHIDI, B., RASHTCHIAN, D., JAMIALAHMADI, M., 2008, Modeling of asphaltene precipitation in well column of Iranian crudes: Kupal case study. In: *Canadian international petroleum conference*.
- [51]SRIVASTAVA, R.K., HUANG, S.S., DYER, S.B., MOURITS, F.M., 1995, Quantification of asphaltene flocculation during miscible CO₂ flooding in the Weyburn reservoir. *J. of Canadian Petrol. Tech.*, **34** (8), 31-42.
- [52]TABATABAEI, H., DADGAR, S., DEIMAR, H., 2019, Investigation of asphaltene precipitation in Bangestan Reservoir, Kupal Oil Field, SW of Iran. *Petroleum and Coal* **61**(2):351-359.
- [53]TELMADARREIE, A., TRIVEDI, J., 2017, Dynamic behavior of asphaltene deposition and distribution pattern in fractured porous media during hydrocarbon solvent injection: pore-level observations. *Energy Fuels* **31**(9):907–9079.
- [54]THOMAS, F. B., BENNION, M.C., BENNION, D.W., and HUNTER, B.E., 1992, Experimental and theoretical studies of solids precipitation from reservoir fluid, *J. Can. Petrol. Technol.*, **31** (1): 22-31.
- [55]VASQUEZ, D., and MANSOORI, G.A., 2000, Identification and Measurement of Petroleum Precipitates, *J. Petrol. Sci. & Eng.*, **26** (1-4), 49-56.
- [56]VASQUEZ, D., EXCOBEDO, J., MANSOORI, G.A., 1998. Characterization of crude oils from southern mexican oilfields. *Proceedings of the EXITEP 98, Inter. Petrol. Tech. Exhib.*, Placio de Los Deportes, Mexico City, Mexico, D.F., 15th– 18th Nov. PEMEX, Mexico City.
- [57]ZEKRI, A.Y., AND SHEDID, S.A., 2004, The effect of fracture characteristics on reduction of permeability by asphaltene precipitation in carbonate formation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **42** (2–4), 171-182. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2003.12.009>.

مطالعه عملکرد تزریق دی اکسید کربن در مخازن تخلیه شده با به کارگیری الگوریتم های شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: اسمایهیا)

پویا اسحق^۲، کیوان شایسته^۱، محمدجواد خانی^{۱*}

۱- گروه مهندسی شیمی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی- اردبیل- ایران
۲- گروه مهندسی شیمی دانشکده مهندسی شیمی و نفت دانشگاه صنعتی شریف- تهران- ایران
*mjavadkhani73@gmail.com

دریافت آبان ۱۴۰۳، پذیرش آذر ۱۴۰۳

چکیده

تزریق دی اکسید کربن (CO₂) در مخازن نفتی، روشی مؤثر برای افزایش برداشت نفت و ذخیره سازی CO₂ است. در این مطالعه، از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش بینی میزان بازیابی نفت و ظرفیت ذخیره سازی CO₂ در مخازن تخلیه شده (ROZ) با توجه به عدم قطعیت های زمین شناسی و عملیات چاه استفاده شد. داده های میدانی منطقه Smeaheia نروژ، شامل ۱۴ ویژگی کلیدی برای بهینه سازی تزریق CO₂ شناسایی گردید. دو مدل شبکه عصبی MLP و RBF در این پژوهش بکار گرفته شد و دقت آنها به ترتیب ۹۱/۳۶٪ و ۹۴/۶۳٪ ارزیابی شد. به منظور بهینه سازی ویژگی ها و کاهش ابعاد داده ها، الگوریتم گرگ خاکستری استفاده شد که به انتخاب ۱۰ ویژگی مؤثر انجامید. این ویژگی ها شامل نفوذپذیری، فشار چاه، حجم منافذ، تراکم پذیری، فشار اولیه، نسبت ضخامت خالص به ناخالص، کسر موج برشی، نسبت شیل به ارتفاع، پارامتر مقیاس بندی و نسبت تخلخل به ارتفاع بودند. مدل های بهینه سازی شده دقت پیش بینی تزریق CO₂ را در مدل MLP به ۹۷/۴۶٪ و در مدل RBF به ۹۸/۹۷٪ افزایش دادند. این نتایج نشان می دهد که ترکیب ANN و انتخاب ویژگی بهینه، می تواند به عنوان ابزاری قدرتمند برای پیش بینی و مدیریت تزریق CO₂ در مخازن نفتی باشد. با استفاده از مدل های بهینه سازی شده MLP و RBF، می توان میزان تزریق CO₂ را با دقت بالاتر پیش بینی کرد و به این ترتیب، فرآیند ازدیاد برداشت نفت را در مخازن با ویژگی های زمین شناسی پیچیده ایران مانند مخازن نفتی کم فشار و یا مخازن با تخلخل و نفوذپذیری متغیر، بهینه سازی نمود.

واژه های کلیدی: تزریق دی اکسید کربن، زون نفتی باقیمانده (ROZ)، ازدیاد برداشت، شبکه عصبی مصنوعی.

۱- مقدمه

دی‌اکسید کربن یکی از گازهای موجود در هوا است که از سوختن مواد آلی یا روش‌های دیگر به‌وجود می‌آید. این گاز، بی‌رنگ و بی‌بو است، مولکول آن به‌صورت خطی بوده و دارای دو پیوند دوگانه بین اتم کربن و دو اتم اکسیژن می‌باشد. دی‌اکسید کربن مایع تنها تحت فشار خاصی به‌وجود می‌آید، به میزان کمی در آب حل می‌شود و اسید ضعیفی به‌نام اسید کربنیک تولید می‌کند که به‌طور جزئی به بی‌کربنات و کربنات تجزیه می‌شود [۱، ۲]. گیاهان از دی‌اکسید کربن در فرآیند فتوسنتز بهره می‌برند و با جذب آن و پس از فتوسنتز اکسیژن آزاد می‌کنند. گاز دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر به‌عنوان نگهدارنده گرما برای زمین عمل کرده و با ایجاد اثر گلخانه‌ای، مانع از از بین رفتن گرمای زمین می‌شود. در میان انواع گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسید کربن بیشترین سهم را در ایجاد این اثرات منفی دارد؛ به‌طوری‌که حدود ۶۴ درصد از کل حجم گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد. از این‌رو، کاهش غلظت این گاز مخرب در جو، یکی از دغدغه‌های اصلی هر سیستم متعادل‌کننده گازهای گلخانه‌ای است [۳، ۴]. جذب، استفاده و ذخیره کربن^۱ (CCUS) به‌عنوان یک روش کارآمد برای کاهش سرعت انتشار گازهای گلخانه‌ای و مهار تغییرات آب و هوایی معرفی شد [۵]. دی‌اکسید کربن (CO₂) را می‌توان در ساختارهای مختلفی نظیر سفره‌های آب شور، مخازن هیدروکربنی تخلیه شده، سازندهای شیل تھی، مخازن زیرزمینی، و سازندهای اعماق اقیانوس ذخیره کرد [۶، ۷]. در حال حاضر، مناطق نفتی باقی‌مانده^۲ (ROZs) به‌عنوان سازندهای امیدوارکننده برای ذخیره‌سازی طولانی‌مدت CO₂ در نظر گرفته می‌شوند. ROZها مخازنی هستند که در آنها نفت به حالت اشباع یا نزدیک به باقیمانده قرار دارد و به‌عنوان بهینه‌ترین مخازن برای ذخیره CO₂ محسوب می‌شوند [۸، ۹]. مخازن نفتی به‌عنوان مهم‌ترین منابع تأمین انرژی در جهان، نقش بسیار مهمی در اقتصاد جهانی دارند. این مخازن که شامل تجمعات وسیعی از هیدروکربن‌ها در زیر سطح زمین هستند، می‌توانند ساختارهای پیچیده‌ای داشته باشند که استخراج نفت از آنها را به چالش بکشد [۱۰]. تزریق و تولید در این مخازن به معنای فرآیندهایی است که طی آنها موادی نظیر آب یا گاز به داخل مخزن فشرده می‌شود تا فشار آن افزایش یابد و این امر به نوبه خود به استخراج نفت بیشتر کمک می‌کند. با این‌حال، تعیین الگوی مناسب برای تزریق و تولید می‌تواند چالش‌برانگیز باشد، زیرا تنوع در خصوصیات و شرایط مخازن نفتی مختلف وجود دارد [۱۱، ۱۲]. هر مخزن ویژگی‌های خاصی دارد که می‌تواند شامل ترکیب هیدروکربن‌ها، فشار و دمای موجود در مخزن و ویژگی‌های سنگ مخزن باشد. بنابراین، توسعه یک الگوی بهینه برای تزریق و تولید نیازمند درک دقیق این پارامترها و انجام محاسبات پیچیده است [۱۳]. مسأله اصلی این تحقیق به بررسی و تحلیل روش‌های مختلف توسعه در مخازن نفتی با هدف ارائه یک الگوی بهینه برای تزریق و تولید می‌پردازد. این مسأله شامل تشریح چالش‌های موجود در به‌کارگیری تکنیک‌های متداول و نوآوری‌های احتمالی در این حوزه است. جنبه‌های مبهم و مجهول در این تحقیق شامل تعیین اثربخشی روش‌های مختلف تزریق در مخازن با ویژگی‌های متفاوت، شناسایی عوامل مؤثر بر کارایی استخراج نفت، و همچنین مدل‌سازی و پیش‌بینی رفتار مخازن در شرایط متغیر است. متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق شامل فشار، دما، ترکیبات هیدروکربنی موجود در مخزن، ویژگی‌های سنگ مخزن و مشخصات فیزیکی و شیمیایی مایعات تزریقی هستند. تانج و همکاران در سال ۲۰۲۰ به کاربرد شبکه عصبی مصنوعی^۳ (ANN) برای پیش‌بینی بازیابی نفت و ظرفیت ذخیره‌سازی CO₂ در ROZها پرداختند. در این مقاله، کاربرد شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش‌بینی بازیابی نفت و

¹ Carbon Capture, Utilisation and Storage

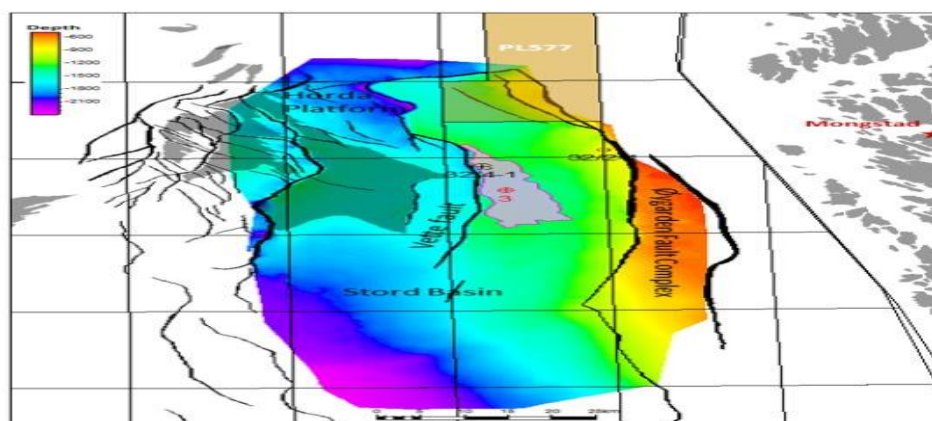
² Residual oil zones

³ Artificial Neural Network

ظرفیت ذخیره‌سازی CO₂ در ROZs معرفی شد. پارامترهای عدم قطعیت شامل عوامل زمین شناسی و عملیات چاه برای تولید پایگاه آموزشی استفاده شد. سپس در مجموع ۳۵۱ نمونه عددی شبیه سازی شده و تولید روغن تجمعی، ذخیره CO₂ تجمعی و CO₂ تجمعی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که مدل ANN توسعه یافته دارای عملکرد پیش بینی عالی با ضریب همبستگی بالا در مقایسه با مقادیر هدف، بیش از ۰/۹۸ و مجموع میانگین مجذور خطا کم تر از ۲ درصد بوده است. همچنین، دقت و پایداری مدل های ANN برای پنج ROZ واقعی در حوضه پرمن تأیید شد. نتایج پیش بینی کننده یک توافق عالی بین پیش بینی های ANN و داده های گزارش میدانی بوده است. این نتایج نشان داد که مدل ANN می تواند ذخیره سازی CO₂ و بازیافت نفت را با دقت بالا پیش بینی کند و می تواند به عنوان یک ابزار قوی برای تعیین امکان سنجی در مراحل اولیه CCUS در ROZs استفاده شود [۱۴]. تحقیق حاضر به بررسی و توسعه الگوهای مختلف در مخازن نفتی با هدف پیشنهاد یک الگوی بهینه برای تزریق و تولید می پردازد. این تحقیق با استفاده از مدل سازی و شبیه سازی پیشرفته، به دنبال شناسایی بهترین روش ها برای افزایش بازیافت نفت با حفظ ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی است. این پژوهش می تواند به بهبود کارایی و پایداری فعالیت های نفتی کمک کند

۲- روش کار

این پژوهش از داده های میدان نفتی Smeaheia، یکی از میدان های نفتی مهم در نروژ، استفاده کرده است. مجموعه داده Smeaheia شامل داده های زیرسطحی مانند داده های لرزه ای دوبعدی و سه بعدی و داده های فشار و دما و داده های ژئومکانیکی و تنش، گزارش ها و مدل های ژئومدل مانند یک ژئومدل استاتیک و یک مدل شبیه سازی دینامیکی مربوط به ارزیابی مکان های ذخیره سازی CO₂ در منطقه Smeaheia، واقع در پلتفرم Hordaland نروژ است. این میدان به عنوان یک مکان احتمالی برای ذخیره CO₂ در پروژه^۱ (CCS) برای ذخیره سازی دی اکسید کربن (CO₂) به طور گسترده در مقیاس بزرگ در منطقه شفق شمالی^۲ نروژ آزمایش و اجرا می شود. همچنین برای پروژه های قبلی جذب CO₂ در مونگستاد در نظر گرفته شد. موقعیت جغرافیایی این سایت در دریای شمال نروژ و در سکوی Horda، در شرق میدان ترول قرار دارد و به طور خاص در بلوک های ۳۲/۴ و ۳۲/۱ واقع شد. فاصله این سایت از مونگستاد تقریباً ۵۰ کیلومتر است. در شکل ۱، موقعیت میدان نفتی Smeaheia به تصویر کشیده شد. همچنین نوع مخزن از نوع ماسه سنگی و ارتفاع آن ۷۰۰ متر می باشد.

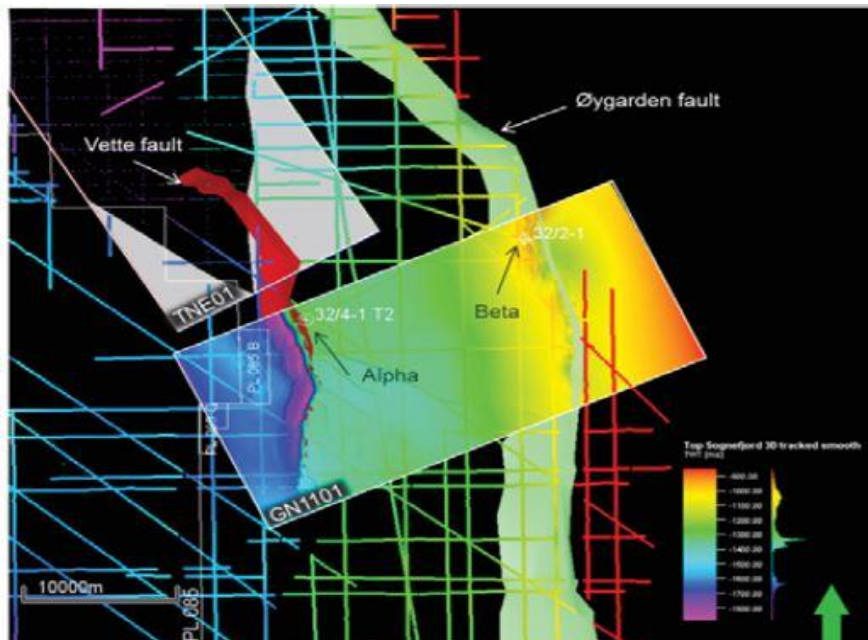


شکل ۱- موقعیت میدان نفتی Smeaheia [۱۵]

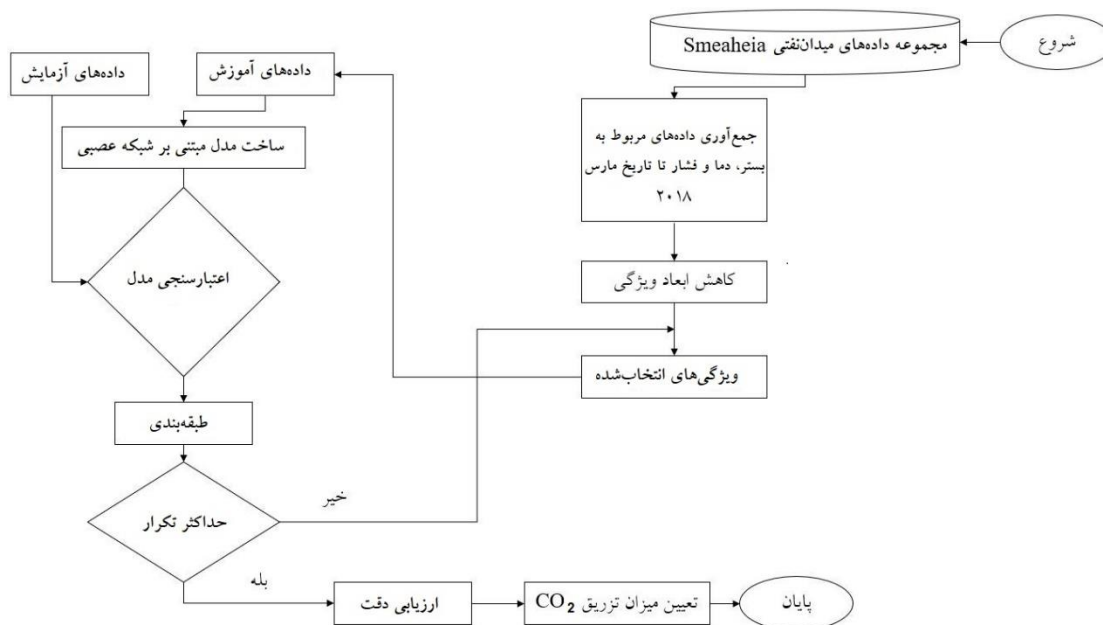
^۱ Capture and Storage

^۲ Northern Lights

این مجموعه داده شامل داده های لرزه ای دوبعدی و سه بعدی، گزارش های چاه، داده های فشار و دما، داده های ژئومکانیکی و تنش، یک ژئومدل استاتیک و یک مدل شبیه سازی دینامیکی است. شکل ۲ داده های حاصل از مطالعه امکان سنجی شامل تفسیر مجدد داده های لرزه ای موجود به صورت دوبعدی و سه بعدی است. همچنین شکل ۳، روش پیشنهادی جهت بهینه سازی تزریق دی اکسید کربن است.



شکل ۲ مکان یابی خطوط لرزه ای دوبعدی و سه بعدی. گزارش داخلی Statoil در مورد استخراج های منتخب Smeaheia Subsurface 2016



شکل ۳- الگوریتم روش بهینه سازی تزریق دی اکسید کربن

برای استفاده از داده‌های میدان نفتی Smeaheia، مجموعه‌ای از داده‌های متنوع براساس فیلدهای مختلف این میدان منتشر شد. در راستای بهره‌گیری از این داده‌ها در بخش پژوهشی، نیاز بود تا مقالاتی که از این داده‌ها استفاده کرده‌اند، مورد بررسی قرار گیرند. بنابراین، با مطالعه مقالات مختلفی که به داده‌های این میدان پرداخته‌اند، سه مقاله [۱۶-۱۸] انتخاب شد تا براساس مفاهیم و روش‌های ارائه‌شده در آن‌ها که به داده‌های این میدان نفتی پرداخته‌اند، داده‌های مورد نیاز مانند داده‌های زیرسطحی، گزارش‌های چاه و مدل‌های ژئومدل برای این پژوهش انتخاب و استفاده شوند. پارامترهای استفاده‌شده در این پژوهش در جدول ۱ معرفی شده‌اند.

جدول ۱- پارامترهای مورد استفاده در مقاله

ردیف	پارامتر	مفهوم	واحد
۱	V_b^1	مجموع حجم منافذ موجود	متر مکعب
۲	P_{weil}^2	حداکثر فشار چاه	بار
۳	P_{init}^3	فشار اولیه	بار
۴	A^4	پارامتر مقیاس‌بندی	-
۵	C_b^5	تراکم‌پذیری	$P\alpha^{-1}$
۶	F_b^6	شرایط مرزی شار	مترمکعب بر روز
۷	ΔP^7	تغییرات فشار	مگاپاسکال
۸	N/G^8	نسبت ضخامت خالص به ناخالص	-
۹	φ^9	میزان تخلخل	-
۱۰	S_w^9	کسر موج برشی	-
۱۱	V_{sh}^{10}	کسر حجم شیل	-
۱۲	$\varphi \times H^{11}$	نسبت تخلخل به ارتفاع	متر
۱۳	$V_{sh} \times H^{12}$	نسبت شیل به ارتفاع	متر
۱۴	K^{13}	نفوذپذیری	mD
۱۵	I_c^{13}	شاخص تزریق دی‌اکسید کربن به مخزن	مترمکعب در روز

¹ Total available pore volume

² Maximum well pressure

³ Initial pressure

⁴ Scaling parameter

⁵ Compressibility

⁶ Flux boundary condition

⁷ Pressure change

⁸ Net-to-gross thickness ratio

⁹ Shear wave

¹⁰ Shaliness

¹¹ Porosity

¹² Permeability

¹³ Injectivity Index

برای جمع آوری داده های مورد استفاده از مقالات ذکر شده [۱۵، ۱۹]، ارزیابی استانداردهای پتروفیزیکی بر روی لاگ های مربوط به چاه های ۱-۴/۳۲ و ۱-۲/۳۲ انجام گردیده است. در این ارزیابی، حجم شیل (V_{sh}) از طریق روش کلاویر و با استفاده از داده های لاگ پرتو گاما محاسبه شد.

$$V_{shGR} = 1/7 - \sqrt{3/38 - (I_{GR} + 0/7)^2} \quad (1)$$

در این رابطه، I_{GR} شاخص پرتو گاما است که منحنی GR را براساس انتخاب نقاط مرجع برای ماسه و شیل، از ۰ تا ۱ نرمال می کند [۲۰].

تخلخل مؤثر (ϕ_e) با استفاده از نمودار چگالی ($RhoB$) و با در نظر گرفتن به عنوان ورودی، محاسبه می شود. در این محاسبات، تراکم دانه ها و آب نمک به ترتیب ۲/۶۵ گرم بر سانتی متر مکعب و ۱/۰۲ گرم بر سانتی متر مکعب فرض شد. تنها یک بخش هسته از چاه ۱-۴/۳۲ در سازند Sognefjord استخراج شد. مقادیر تخلخل به دست آمده از تجزیه و تحلیل هسته، کمی بیشتر از تخلخل مؤثر (ϕ_e) برآورد شده از $RhoB \log$ است. نفوذپذیری با استفاده از ϕ_e (به عنوان یک کسر از آن) و لاگ های چگالی، نفوذپذیری و گاما، از طریق معادله لگاریتمی خطی زیر محاسبه می شود [۱۵]:

$$\log_{10} k = C \log_{10} \phi_e + D \quad (2)$$

که در آن k نفوذپذیری مطلق در میلی داریسی است، ضرایب C و D به ترتیب به ۸/۴ و ۷/۶ تنظیم می شوند تا نفوذپذیری قابل مقایسه با هسته به دست آید [۱۶].

ضخامت خالص مخزن، نسبت ضخامت خالص به ناخالص (N/G) با استفاده از برش $V_{sh} \leq 0/3$ و $\phi_e \geq 0/1$ و نفوذپذیری $k > 20mD$ به دست آمده است. میانگین حسابی برای هر پارامتر مخزن برای هر دو چاه (۱-۴/۳۲ و ۱-۲/۳۲) ارائه شد. رابطه بین سرعت موج S_w و سرعت موج P_w در نهایت منجر به محاسبه حجم شیل (V_{sh}) براساس دامنه نسبت AI ، و V_p/V_s می شود. در این رابطه V_p برابر با سرعت موج P_w و V_s برابر با سرعت موج می باشد. AI نیز امپدانس آکوستیک می باشد [۱۶].

$$V_{sh} = \frac{\left\{ \rho_{ma} - \frac{AI}{V_{Pma}} - \left[1 - \frac{V_s}{V_p G \alpha} \right]^{\frac{1}{n}} \right\} \left[AI \left(\frac{1}{V_{P\omega}} - \frac{1}{V_{Pma}} \right) - (\rho_{\omega} - \rho_{ma}) \right]}{[(\rho_{sh} - \rho_{ma}) - AI \left(\frac{1}{V_{Psh}} - \frac{1}{V_{Pma}} \right)]} \quad (3)$$

که در آن V_{sh} حجم کسری شیل، Φ کسر تخلخل، AI امپدانس صوتی بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب در متربر ثانیه، V_p سرعت موج P بر حسب متربر ثانیه، V_s سرعت موج S بر حسب متربر ثانیه است. G ضریب کانی شناسی/شلیت، α نسبت V_s/V_p ماتریس کانی/سنگ، n ضریب تنش/سیمان شدن، V_{Pma} ، V_{Psh} و $V_{P\omega}$ سرعت های موج P (بر حسب متربر ثانیه) ماتریس کانی (به عنوان مثال، کوارتز)، شیل و آب می باشد. همچنین ρ_{ma} چگالی دانه های معدنی، ρ_{sh} چگالی شیل، ρ_{ω} چگالی آب است (همه بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب) می باشند.

در این تحقیق، برای پیش بینی و بهینه سازی تزریق دی اکسید کربن (CO_2) در مخازن نفتی، از الگوریتم های شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده شد. این شبکه ها به ویژه برای تحلیل داده های پیچیده و غیرخطی مفید هستند. در این پژوهش، دو مدل شبکه عصبی پر کاربرد به نام های پرسپترون چند لایه (MLP) و شبکه عصبی پایه شعاعی (RBF) به کار گرفته شدند. شبکه

عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) یکی از محبوب‌ترین مدل‌های شبکه عصبی است که برای مسائل پیش‌بینی و دسته‌بندی استفاده می‌شود. این مدل شامل یک لایه ورودی، چندین لایه مخفی و یک لایه خروجی است. هدف از استفاده از مدل MLP در این تحقیق، پیش‌بینی میزان تزریق CO₂ و ظرفیت ذخیره‌سازی CO₂ در مخازن نفتی است. در این مدل الگوریتم آموزش پس‌انتشار خطا (BP¹) برای تنظیم وزن‌های شبکه استفاده شد. شبکه عصبی پایه شعاعی (RBF) یکی دیگر از مدل‌های قدرتمند شبکه عصبی است که برای مسائل پیش‌بینی با ویژگی‌های پیچیده و غیرخطی مناسب است. در این مدل، از توابع شعاعی به عنوان توابع فعال‌سازی در لایه مخفی استفاده می‌شود. مدل RBF به‌طور ویژه برای شبیه‌سازی رفتارهای غیرخطی و پیش‌بینی نتایج دقیق در محیط‌های پیچیده طراحی شد. در این مدل الگوریتم گرادیان نزولی (GD²) برای آموزش شبکه و بهینه‌سازی وزن‌ها استفاده شد.

۳- بحث و نتایج

در این تحقیق، استفاده از دو مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) و شبکه عصبی پایه شعاعی (RBF) برای تخمین میزان تزریق دی‌اکسید کربن مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بهبود دقت پیش‌بینی‌ها، ابتدا از داده‌های کامل در پایگاه داده استفاده شده و نتایج نشان‌دهنده کارایی بالا در تخمین میزان تزریق دی‌اکسید کربن با استفاده از مدل MLP بود؛ به طوری که مدل توانست دقت ۹۱/۳۶ درصد را در پیش‌بینی‌ها به دست آورد. هم‌چنین، شبکه عصبی RBF با دقت ۹۴/۶۳ درصد عملکرد بهتری نسبت به MLP نشان داد. برای بهینه‌سازی دقت و سرعت پردازش، سناریوی دوم بر انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری^۳ تمرکز داشت که توانست ویژگی‌های بهینه را برای بهبود مدل‌های پیش‌بینی استخراج کند. این مدل‌ها نه تنها دقت پیش‌بینی را افزایش دادند، بلکه فرآیند پردازش داده‌ها را نیز به‌طور قابل توجهی تسریع کردند.

۳-۱- سناریوی اول: استفاده از کلیه ویژگی‌های موجود در پایگاه داده

۳-۱-۱- شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

همان‌طور که توضیح داده شد، شبکه‌های عصبی مصنوعی به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند و در این پژوهش از نوع پرسپترون چندلایه (MLP) با استفاده از الگوریتم آموزش پس‌انتشار بهره‌گیری شد. در این مدل، یادگیری نظارتی شبکه عصبی از طریق الگوریتم گرادیان کاهشی انجام می‌شود که در آن، گرادیان تابع خطا نسبت به وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی محاسبه می‌شود. یکی از جنبه‌های کلیدی در شبکه عصبی، انتخاب تابع آموزش‌دهنده است. در جدول ۲، مقایسه‌ای میان رگرسیون توابع مختلف گرادیان کاهشی انجام شد تا مشخص شود کدام تابع کارایی بالاتری داشته است.

جدول ۲- مقایسه همبستگی (رگرسیون) توابع آموزش مختلف شبکه عصبی

¹ Backpropagation

² Gradient Descent

³ Grey Wolf Optimization

شماره	نوع تابع	تعریف تابع	ضریب همبستگی
۱	trainlm	Levenberg-Marquardt	۰/۹۰۴
۲	trainscg	Scaled conjugate gradient	۰/۷۵۹
۳	trainbr	Bayesian regularization	۰/۹۷۹
۴	trainbfg	BFGS quasi-Newton	۰/۶۲۱
۵	traincgb	Conjugate gradient backpropagation with Powell-Beale restarts	۰/۷۰۵
۶	traincgp	Conjugate gradient backpropagation with Polak-Ribière updates	۰/۸۲۷
۷	traingda	Gradient descent with adaptive learning rate	۰/۹۲۵
۸	traingdm	Gradient descent with momentum	۰/۸۱۴
۹	traingdx	Gradient descent with momentum and adaptive learning rate	۰/۷۱۳
۱۰	trainoss	One-step secant	۰/۷۶۹

همان طور که در جدول ۲ مشاهده می شود، تابع Bayesian regularization که در کتابخانه متلب با عنوان trainbr شناخته می شود، بالاترین مقدار همبستگی را نسبت به سایر توابع دارد. بنابراین، برای آموزش پس انتشار گرادیان کاهش داده ها از این تابع استفاده شد.

پیش از آغاز مدل سازی و تخمین تزریق دی اکسید کربن با استفاده از شبکه عصبی MLP، لازم است که تعداد لایه ها و نرون های مناسب برای مدل سازی مشخص شود. این اطلاعات در جدول ۳ ارائه شد.

جدول ۳- مقایسه معماری های مختلف شبکه عصبی MLP

ضریب همبستگی	Performance	معماری	
		تعداد نرون	تعداد لایه
۰/۹۶۷۴	۰/۰۰۱۸	۱۰	۱۰
۰/۹۸۶۰	۰/۰۰۵۲	۲۰	۱۰
۰/۹۷۴۶	۰/۰۰۲۱	۱۰	۲۰
۰/۴۸۹۰	۰/۰۰۳۷	۱۵	۱۵
۰/۹۶۱۲	۰/۰۰۳۳	۵	۵
۰/۸۸۲۰	۰/۰۰۰۷	۸	۸
۰/۹۷۸۶	۰/۰۰۱۳	۵	۱۰

۰/۹۰۸۰	۰/۰۰۷	۱۰	۵
۰/۸۳۸۸	۰/۰۰۴۳	۸	۱۲
۰/۹۵۸۰	۰/۰۰۳۰	۱۵	۱۰
۰/۹۶۸۶	۰/۰۰۱۹	۲۵	۹

با تحلیل معماری‌های گوناگون مانند تعداد لایه‌های مخفی، نرون‌های موجود در هر لایه مخفی، نوع تابع فعال‌سازی، نحوه تقسیم داده‌ها و تنظیمات آموزش که بخشی از آن‌ها در جدول ذکر شده ارائه شد، مشخص گردید که با تغییر تعداد لایه‌ها به بالای ۱۰ و همراه با افزایش تعداد نرون‌ها، عملکرد شبکه بهبود یافته و همبستگی بین داده‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مناسب‌ترین ساختار برای شبکه عصبی MLP در راستای بهینه‌سازی میزان تزریق دی‌اکسید کربن، شامل ۱۰ لایه و ۲۰ نرون است. پس از دستیابی به این مدل بهینه، نتایج طبقه‌بندی را با استفاده از ساختار پیشنهادی و در شرایط مختلف تقسیم داده‌ها تحلیل می‌شود.

با استفاده از تابع آموزش پس‌انتشار trainbr و به‌کارگیری چهارده ویژگی عملکردی، میزان تزریق گاز دی‌اکسید کربن به‌خوبی تعیین شد. این فرآیند با بهره‌گیری از ۱۰ لایه و ۲۰ نرون در لایه‌های پنهان انجام گرفته و خروجی نهایی میزان تزریق براساس برچسب‌های موجود در جدول ۴ تعیین شد.

جدول ۴- ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی MLP در تخمین میزان تزریق دی‌اکسید کربن

مقدار	معیار
۹۱/۳۶ درصد	دقت طبقه بندی

مطابق نتایج به‌دست‌آمده و ارائه‌شده در جدول ۴، مدل شبکه عصبی پس‌انتشار توانسته دقتی برابر با ۹۱/۳۶ درصد را کسب کند. علاوه بر این، خطای MSE به میزان ۰/۰۷۸۶ و خطای MPE برابر با ۰/۰۳۶۴ محاسبه شد. نکته مهمی که باید درباره عملکرد شبکه عصبی ذکر کرد، این است که فرآیند آن براساس آموزش و تست داده‌ها انجام می‌گیرد. با توجه به این‌که داده‌ها در طول فرآیند آموزش به‌طور تصادفی برای آموزش یا تست انتخاب می‌شوند، نتایج ممکن است کمی متفاوت باشد، هرچند این تفاوت‌ها بسیار جزئی هستند.

۳-۱-۲- شبکه عصبی مصنوعی پایه شعاعی (RBF)

در شبکه عصبی RBF¹، چندین پارامتر مهم وجود دارد که تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد شبکه دارند. این پارامترها شامل بایاس شعاعی (SPREAD)، تعداد نرون‌ها، و تعداد نرون‌های موجود بین نمایش‌ها (DF) هستند. پیش از شروع فرآیند مدل‌سازی با شبکه عصبی RBF، ضروری است که تعداد مناسب SPREAD، تعداد نرون‌ها و DF به‌طور دقیق تعیین شود. اطلاعات مرتبط با این موضوع در جدول ۵ آورده شد.

جدول ۵- مقایسه معماری‌های مختلف شبکه عصبی شعاعی RBF

¹ Radial Basis Function

ضریب همبستگی	معماری		
	تعداد DF	تعداد نرون	SPREAD
۰/۴۷۱۴۱	۱	۵	۱
۰/۷۲۱۷۲	۲۵	۱۰	۱
۰/۱۲۰۴۷	۲۵	۱۰	۱/۵
۰/۷۲۱۷۲	۲۰	۱۰	۱
۰/۸۴۸۴۷	۲۵	۱۵	۱
۰/۸۹۸۳۵	۲۵	۲۰	۱
۰/۹۳۶۵۷	۲۵	۲۵	۱
۰/۷۷۲۵۹	۲۵	۳۰	۱
۰/۹۱۴۸۲	۲۵	۲۷	۱
۰/۹۵۱۷	۲۵	۲۶	۱

مطابق اطلاعات ارائه‌شده در جدول ۵، بهترین تنظیمات برای شبکه عصبی RBF به‌صورت بایاس شعاعی (SPREAD) برابر با ۱، تعداد نرون‌ها برابر با ۲۶ و DF برابر با ۲۵ تعیین شد. با استفاده از این تنظیمات، مدل‌سازی و طبقه‌بندی داده‌های مربوط به تزریق دی‌اکسید کربن انجام خواهد شد. نکته‌ای که شبکه عصبی RBF را از روش MLP متمایز می‌کند، این است که در هر اجرای مدل، یک نمونه از داده‌ها به‌صورت تصادفی به‌عنوان داده تست انتخاب می‌شود و بقیه داده‌ها به‌عنوان داده‌های مرحله آموزش در نظر گرفته می‌شوند. برای داده‌های مربوط به تزریق دی‌اکسید کربن که شامل ۵۰۰ سری داده است. هر بار یک سطر به‌عنوان داده تست و سایر سطرها به‌عنوان داده‌های آموزشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در هر بار اجرای مدل، میزان خطای روش RBF محاسبه می‌شود و در نهایت، پس از طی تمامی حلقه‌ها، میانگین خطای الگوریتم به‌دست می‌آید.

مشابه با آنچه در مورد شبکه عصبی پس‌انتشار انجام شد، برای بررسی عملکرد روش RBF نیز از پنج معیار ارزیابی استفاده شد. نتایج حاصل از این ارزیابی‌ها در مدل شبکه عصبی RBF توانسته با دقتی برابر با ۹۴/۶۳ درصد، خطای MSE معادل ۰/۰۵۸۵ و خطای MPE برابر با ۰/۰۱ را به‌دست آورد.

۲-۳- سناریوی دوم: بهینه‌سازی ویژگی‌ها با بهره‌گیری از الگوریتم گرگ خاکستری

در این سناریو، با هدف افزایش دقت و بهبود سرعت پردازش داده‌ها، از رویکرد انتخاب ویژگی استفاده شد. به همین منظور، از الگوریتم گرگ خاکستری بهره برده شد. این الگوریتم مبتنی بر رفتار طبیعی گرگ‌های خاکستری در طبیعت است که به صورت گروهی حرکت می‌کنند و استراتژی‌های خاصی را برای شکار و بقا به کار می‌گیرند. در این الگوریتم، N بیانگر تعداد گله‌های گرگ است (که در این مطالعه معرف ۳۰ ویژگی اصلی مؤثر بر تزریق گاز دی‌اکسید کربن است) و D نشان‌دهنده تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری یا ابعاد مسئله بهینه‌سازی است (که در این پژوهش، تعداد ویژگی‌های بهینه انتخاب‌شده مرتبط با تزریق گاز را مشخص می‌کند). بنابراین، گله‌های گرگ‌های خاکستری با استفاده از ماتریسی به ابعاد $N \times D$ شبیه‌سازی می‌شوند. هر سطر این ماتریس نشان‌دهنده یک راه‌حل بالقوه برای مسئله بهینه‌سازی است. جمعیت گله، که شامل تعداد زیادی گرگ است، طبق معادله (۴) تعریف می‌شود. در مدل پیشنهادی، رویکرد کار با داده‌ها به این صورت است که الگوریتم گرگ خاکستری متشکل از D گله است و هر گله نیز از تعدادی گرگ (هرکدام نمایانگر یک ویژگی) تشکیل شد. هر گله توسط ویژگی‌های تحت بررسی تعریف می‌شود. به عبارت دیگر، براساس این الگوریتم، هر گرگ در گله به‌عنوان یک ویژگی در پایگاه داده در نظر گرفته می‌شود که در نهایت به تعداد بهینه‌ای از ویژگی‌های مؤثر برای تخمین تزریق گاز دی‌اکسید کربن منجر می‌شود.

$$\text{Population of GWO} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1D} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2D} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N1} & x_{N2} & \dots & x_{ND} \end{bmatrix} \quad (4)$$

در مجموعه $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}), i = 1, 2, \dots, n$ هر x_i یک راه‌حل بالقوه را در فضای جستجو نشان می‌دهد. هر گله از گرگ‌ها شامل تعدادی گرگ مهاجم است که هر یک به‌عنوان بخشی از یک راه‌حل در نظر گرفته می‌شود. این گروه از گرگ‌ها به‌عنوان یک واحد یکپارچه عمل می‌کنند و به سمت موقعیت‌هایی که منابع بیشتری دارند، حرکت می‌کنند. در صورتی که گله به یک موقعیت بهینه دست یابد، راه‌حل ایده‌آل پیدا می‌شود. ارزیابی عملکرد هر گله براساس تابع هدف انجام می‌گیرد که مطابق با معادله (۵) محاسبه می‌شود [۲۱].

$$\text{fit}_i = 1 - \frac{\text{Obj}_i - \text{worst}(\text{Obj})}{\text{best}(\text{Obj}) - \text{worst}(\text{Obj})} \quad (5)$$

در معادله (۵)، مقدار fit_i به‌عنوان معیار برازندگی گله i ام تعریف شد. پارامتر Obj_i نیز نشان‌دهنده مقدار تابع هدف برای همان گله است. ارزیابی هر گله براساس محاسبه فاصله انجام می‌شود. در این الگوریتم، دو پارامتر Best و Worst به ترتیب نمایانگر بدترین و بهترین گله‌ها نسبت به طعمه هستند. این پارامترها به گونه‌ای تنظیم شده‌اند که Worst به‌عنوان ویژگی‌های منفی (یعنی عواملی که اثرات منفی بر مقدار هدف دارند) و Best به‌عنوان ویژگی‌های مثبت شناخته می‌شوند. در مدل پیشنهادی، الگوریتم گرگ‌های خاکستری به کار گرفته شده تا زیرمجموعه‌ای از ویژگی‌ها که منجر به دستیابی به مقدار بهینه می‌شوند، انتخاب گردد. تابع برازندگی برای انتخاب ویژگی‌ها از هر گله گرگ براساس معادله (۶) تعریف شد.

در این معادله، $|n|$ تعداد کل ویژگی ها و $|S|$ تعداد ویژگی های انتخاب شده را نشان می دهد. پارامتر Accuracy دقت مدل را بیان می کند و پارامترهای δ و ρ ثابت هایی هستند که به ترتیب با مقادیر ۹۹ و ۱ تعریف شده اند.

$$Fitness = \delta \cdot Accuracy + \rho \cdot \frac{|n| - |S|}{|n|} \quad (6)$$

با توجه به انتخاب ویژگی های بهینه با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری، مشخص شد که از میان ۱۴ ویژگی اولیه جدول ۷، تنها ۱۰ ویژگی انتخاب شده اند. بر این اساس، الگوریتم گرگ خاکستری منجر به انتخاب ویژگی های زیر شد:

- (۱) مجموع حجم منافذ موجود
- (۲) حداکثر فشار چاه
- (۳) فشار اولیه
- (۴) تراکم پذیری
- (۵) نسبت ضخامت خالص به ناخالص
- (۶) کسر موج برشی
- (۷) نسبت تخلخل به ارتفاع
- (۸) نسبت شیل به ارتفاع
- (۹) نفوذپذیری
- (۱۰) پارامتر مقیاس بندی

با در نظر گرفتن این ویژگی ها، در ادامه نتایج حاصل از اعمال هر دو مدل شبکه عصبی ارائه می شود.

۳-۲-۱- شبکه عصبی چند لایه پرسپترون

در این بخش، با به کارگیری معماری بهینه ارائه شده در سناریوی اول، بر این اساس، با انتخاب ۱۰ ویژگی انتخاب شده در مرحله قبل، به ارائه نتایج پرداخته شد.

بر اساس نتایج مدل شبکه عصبی پس انتشار در سناریوی دوم، با دقت ۹۷/۴۶ درصد دارای میزان خطای MSE برابر با ۰/۲۶۳۵ و میزان خطای MPE برابر با ۱۰/۰۳۱ می باشد.

۳-۲-۲- شبکه عصبی RBF در سناریوی دوم

در این بخش نیز، همچون معماری در نظر گرفته شده برای شبکه RBF در سناریوی اول، به ارائه نتایج در تخمین تزریق دی اکسید کربن بر اساس سناریوی دوم پرداخته می شود.

بر اساس نتایج برای مدل شبکه عصبی RBF در سناریوی دوم، میزان دقت ۹۸/۷۵ درصد دارای میزان خطای MSE^1 برابر با ۰/۰۰۹۸ و میزان خطای MPE^2 برابر با ۰/۰۰۷۸ بدست آمده است.

¹ Mean Square Error

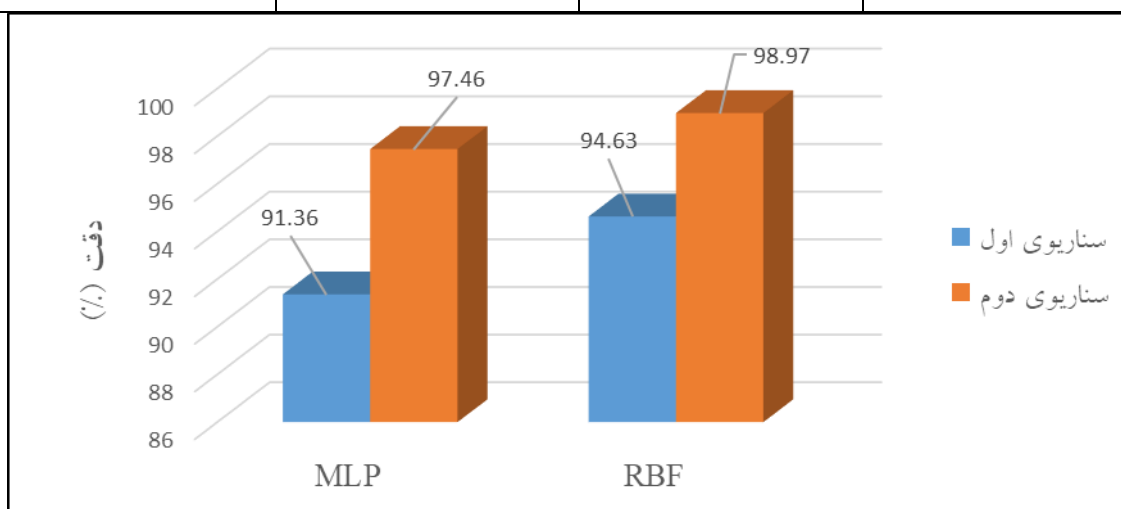
² Mean Percentage Error

۳-۲-۳- مقایسه دو سناریو

در این بخش به مقایسه میزان دقت بدست آمده برای هر دو مدل شبکه‌های عصبی MLP و RBF براساس هر دو سناریو پرداخته شده است. این مقایسه در جدول ۶ و شکل ۴ نشان داده شد.

جدول ۶- مقایسه دقت مدل‌های شبکه عصبی در هر دو سناریو

سناریو	روش	دقت (%)	خطای MSE
سناریوی اول	MLP	۹۱/۳۶	۰/۰۷۸۶
	RBF	۹۴/۶۳	۰/۰۵۸۵
سناریوی دوم	MLP	۹۷/۴۶	۰/۲۶۳۵
	RBF	۹۸/۹۷	۰/۰۰۹۸



شکل ۴ مقایسه دقت مدل‌های عصبی در تخمین تزریق دی‌اکسید کربن در هر دو سناریو

۳-۲-۴- تحلیل حساسیت

در این بخش به منظور تعیین تأثیر هر یک از شاخص‌ها، به بررسی تحلیل حساسیت پرداخته می‌شود. به عبارتی با این کار مشخص می‌شود تا چه میزان، پارامترهای تعیین شده بر تزریق گاز دی‌اکسید کربن زیرسطحی مؤثر می‌باشند. در بخش قبل با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری، مشخص شد که از بین ۱۴ ویژگی اولیه، تنها ۱۰ ویژگی مرتبط با مجموع حجم منافذ موجود، حداکثر فشار چاه، فشار اولیه، تراکم‌پذیری، نسبت ضخامت خالص به ناخالص، کسر موج برشی، نسبت تخلخل به ارتفاع، نسبت شیل به ارتفاع و نفوذپذیری دارای بیش‌ترین تأثیر می‌باشند. بر این اساس، ابتدا در گام نخست، وزن هر یک از شاخص‌ها که میزان اثرگذاری بر میزان تزریق گاز دی‌اکسید کربن را نشان می‌دهند در جدول ۷ ارائه شد.

جدول ۷- ضریب تأثیر (اولویت) هر یک از شاخص‌های مورد مطالعه

رتبه	پارامتر	مفهوم	وزن
۱	$K (mD)$	نفوذپذیری	۹۸/۰۵۳
۲	$P_{well} (bar)$	حداکثر فشار چاه	۹۸/۰۴۹

۹۸/۰۴۳	مجموع حجم منافذ موجود	$V_b (m^3)$	۳
۰/۹۷۱۸	تراکم پذیری	$C_b (pa^{-1})$	۴
۰/۹۷۰۴	نسبت تخلخل به ارتفاع	$\varphi \times H$	۵
۰/۹۶۲۲	فشار اولیه	$P_{init} (bar)$	۶
۰/۹۰۷۵	نسبت شیل به ارتفاع	$V_{sh} \times H$	۷
۰/۸۹۷۴	نسبت ضخامت خالص به ناخالص	N/G	۸
۰/۸۹۱۹	کسر موج برشی	S_w	۹
۰/۸۸۱۰	پارامتر مقیاس بندی	A	۱۰
۰/۴۲۱۵	کسر حجم شیل	V_{sh}	۱۱
۰/۳۱۰۷	میزان تخلخل	φ	۱۲
۰/۲۹۷۴	تغییرات فشار	$\Delta P (Mpa)$	۱۳
۰/۲۸۷۷	شرایط مرزی شار	F_b	۱۴

همانطور که مشاهده می شود، ۱۰ ویژگی اول دارای بیشترین تأثیر بر روی تزریق گاز دی اکسید کربن زیر سطحی در مخازن را دارند که در این میان، "نفوذپذیری" دارای بالاترین تأثیر است. بر این اساس، ۱۰ پارامتر انتخاب شده به عنوان شاخص های نهایی برای ارزیابی تحلیل حساسیت استفاده می شوند؛ لذا به بررسی تأثیر هر یک از این شاخص ها پرداخته می شود. برای این کار، مقدار سطر اول را به عنوان مقدار پایه هر یک از پارامترها انتخاب کرده، و سپس هر یک به میزان $\pm 20\%$ تغییر داده می شود. با تغییر هر پارامتر و ثابت نگه داشتن پارامترهای دیگر، تحلیل حساسیت انجام شد. تحلیل حساسیت نفوذپذیری در جدول ۸، تحلیل حساسیت حداکثر فشار چاه در جدول ۹، تحلیل حساسیت مجموع حجم منافذ موجود در جدول ۱۰، تحلیل حساسیت تراکم پذیری در جدول ۱۱، تحلیل حساسیت نسبت تخلخل به ارتفاع در جدول ۱۲، تحلیل حساسیت فشار اولیه در جدول ۱۳، تحلیل حساسیت نسبت شیل به ارتفاع در جدول ۱۴، تحلیل حساسیت نسبت ضخامت خالص به ناخالص در جدول ۱۵، تحلیل حساسیت کسر موج برشی در جدول ۱۶ و تحلیل حساسیت پارامتر مقیاس بندی در جدول ۱۷ ارائه شده است.

جدول ۸- تحلیل حساسیت نفوذپذیری

پارامتر نفوذپذیری	مقدار (mD)	تزریق دی اکسید کربن (Mm^3)
مقدار پایه	۲۶۷۲	۲۷
+۲۰ درصد	۳۱۰۶/۴	۳۵/۶۳
+۱۰ درصد	۲۹۳۹/۲	۳۲/۴۹
-۱۰ درصد	۲۴۰۴/۸	۲۲/۱۴
-۲۰ درصد	۲۱۳۷/۶	۱۹/۸۵

جدول ۹- تحلیل حساسیت حداکثر فشار چاه

پارامتر حداکثر فشار چاه	مقدار (bar)	تزریق دی اکسید کربن (Mm ³)
مقدار پایه	۱۷۷	۲۷
+۲۰ درصد	۲۱۲/۴	۳۴/۵۸
+۱۰ درصد	۱۹۴/۷	۳۱/۰۲
-۱۰ درصد	۱۵۹/۳	۲۱/۹۷
-۲۰ درصد	۱۴۱/۶	۱۹/۴۵

در جدول ۸، تأثیر تغییرات در نفوذپذیری بر میزان تزریق دی اکسید کربن بررسی شده است. با مقدار پایه ۲۶۷۲ میلی داریسی میزان تزریق ۲۷ میلیون متر مکعب است. با افزایش ۲۰ درصدی نفوذپذیری (۳۱۰۶/۴ میلی داریسی)، تزریق به ۳۵/۶۳ میلیون متر مکعب افزایش می یابد. در مقابل کاهش ۲۰ درصدی (۲۱۳۷/۶ میلی داریسی)، منجر به کاهش تزریق به ۱۹/۸۵ میلیون متر مکعب می شود. جدول ۹ به بررسی تأثیر حداکثر فشار چاه بر تزریق دی اکسید کربن می پردازد. مقدار پایه ۱۷۷ بار، منجر به تزریق ۲۷ میلیون متر مکعب دی اکسید کربن می شود. همچنین با افزایش ۲۰ درصدی در فشار چاه (۲۱۲/۴ بار)، تزریق دی اکسید کربن به ۳۴/۵۸ میلیون متر مکعب افزایش می یابد. در مقابل کاهش ۲۰ درصدی در فشار چاه (۱۴۱/۶ بار)، تزریق دی اکسید کربن به ۱۹/۴۵ میلیون متر مکعب کاهش می یابد.

جدول ۱۰- تحلیل حساسیت مجموع حجم منافذ موجود

پارامتر مجموع حجم منافذ موجود	مقدار (m ³)	تزریق دی اکسید کربن (Mm ³)
مقدار پایه	۵۶۲۳۵۴۵۶۳۰	۲۷
+۲۰ درصد	6/7483e ⁺⁹	۳۴/۱۰
+۱۰ درصد	6/1859e ⁺⁹	۳۰/۷۷
-۱۰ درصد	5/0612e ⁺⁹	۲۱/۳۲
-۲۰ درصد	4/4988e ⁺⁹	۱۸/۹۳

جدول ۱۱- تحلیل حساسیت تراکم پذیری

پارامتر تراکم پذیری	مقدار (pa ⁻¹)	تزریق دی اکسید کربن (Mm ³)
مقدار پایه	2/8e ⁻⁰⁹	۲۷
+۲۰ درصد	3/36e ⁻⁰⁹	۳۳/۱۹
+۱۰ درصد	3/08e ⁻⁰⁹	۲۹/۷۴
-۱۰ درصد	2/52e ⁻⁰⁹	۲۰/۱۰
-۲۰ درصد	2/24e ⁻⁰⁹	۱۸/۰۷

مطابق جدول ۱۰، تأثیر مجموع حجم منافذ موجود در مخزن بر تزریق دی اکسید کربن مورد بررسی قرار گرفت. مقدار پایه ۵۶۲۳۵۴۵۶۳۰ متر مکعب منجر به تزریق ۲۷ میلیون متر مکعب دی اکسید کربن می شود. با افزایش ۲۰ درصدی حجم منافذ (6/7483e⁺⁹ متر مکعب)، تزریق به ۳۴/۱۰ میلیون متر مکعب افزایش می یابد. در حالی که با کاهش ۲۰ درصدی به

$4/4988e^{+9}$ مترمکعب، تزریق دی‌اکسید کربن به $18/93$ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. جدول ۱۱، تأثیر تراکم‌پذیری بر تزریق دی‌اکسید کربن را بررسی می‌کند. مقدار پایه تراکم‌پذیری $2/8e^{-09} \text{ pa}^{-1}$ منجر به تزریق ۲۷ میلیون مترمکعب دی‌اکسید کربن می‌شود. همچنین با افزایش ۲۰ درصدی در این مقدار ($3/36e^{-09} \text{ pa}^{-1}$)، تزریق را به $19/33$ میلیون مترمکعب افزایش یافت. با کاهش ۲۰ درصدی تراکم‌پذیری به $2/24e^{-09} \text{ pa}^{-1}$ ، میزان تزریق دی‌اکسید کربن به $18/07$ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد.

جدول ۱۲- تحلیل حساسیت نسبت تخلخل به ارتفاع

توزیع دی‌اکسید کربن (Mft ³)	مقدار	پارامتر نسبت تخلخل به ارتفاع
۲۷	۴۴/۳۵	مقدار پایه
۳۲/۰۹	۵۳/۲۲	+۲۰ درصد
۲۸/۷۵	۴۸/۷۸۵	+۱۰ درصد
۱۹/۴۸	۳۹/۹۱۵	-۱۰ درصد
۱۷/۲۳	۳۵/۴۸	-۲۰ درصد

جدول ۱۳- تحلیل حساسیت فشار اولیه

توزیع دی‌اکسید کربن (Mm ³)	مقدار (bar)	پارامتر فشار اولیه
۲۷	۱۰۸	مقدار پایه
۳۱/۱۲	۱۲۹/۶	+۲۰ درصد
۲۸/۱۱	۱۱۸/۸	+۱۰ درصد
۱۹/۰۰	۹۷/۲	-۱۰ درصد
۱۶/۷۷	۸۶/۴	-۲۰ درصد

جدول ۱۲، تأثیر نسبت تخلخل به ارتفاع بر تزریق دی‌اکسید کربن را نشان می‌دهد. مقدار پایه $44/35$ منجر به تزریق ۲۷ میلیون مترمکعب دی‌اکسید کربن می‌شود. با افزایش ۲۰ درصدی نسبت تخلخل به ارتفاع ($53/22$)، تزریق به $32/09$ میلیون مترمکعب افزایش می‌یابد. در ضمن با کاهش ۲۰ درصدی به $39/15$ ، کاهش تزریق دی‌اکسید کربن به $17/23$ میلیون مترمکعب اتفاق می‌افتد. در جدول ۱۳، تأثیر فشار اولیه بر تزریق دی‌اکسید کربن بررسی شد. مقدار پایه ۱۰۸ بار، منجر به تزریق ۲۷ میلیون مترمکعب دی‌اکسید کربن می‌شود؛ در حالی که با افزایش ۲۰ درصدی در فشار اولیه ($129/6$ بار)، تزریق به $31/12$ میلیون مترمکعب افزایش یافت. همچنین کاهش ۲۰ درصدی به $86/4$ بار، تزریق دی‌اکسید کربن را به $16/77$ میلیون مترمکعب کاهش می‌دهد.

جدول ۱۴- تحلیل حساسیت نسبت شیل به ارتفاع

توزیع دی‌اکسید کربن (Mm ³)	مقدار (m)	پارامتر نسبت شیل به ارتفاع
۲۷	۲۸/۴۰	مقدار پایه
۳۰/۲۲	۳۴/۰۸	+۲۰ درصد

۲۷/۸۹	۳۱/۲۴	+۱۰ درصد
۱۸/۱۲	۲۵/۵۶	-۱۰ درصد
۱۶/۲۳	۲۲/۷۲	-۲۰ درصد

جدول ۱۵- تحلیل حساسیت نسبت ضخامت خالص به ناخالص

توزیع دی‌اکسید کربن (Mm ³)	مقدار (m)	پارامتر نسبت ضخامت خالص به ناخالص
۲۷	۰/۱۷	مقدار پایه
۲۹/۴۵	۰/۲۰۴۰	+۲۰ درصد
۲۷/۶۵	۰/۱۸۷۰	+۱۰ درصد
۱۸/۰۱	۰/۱۵۳۰	-۱۰ درصد
۱۶/۲۰	۰/۱۳۶	-۲۰ درصد

مطابق جدول ۱۴، تأثیر نسبت شیل به ارتفاع بر توزیع دی‌اکسید کربن بررسی شد. مقدار پایه ۲۸/۴۰ متر، منجر به توزیع ۲۷ میلیون مترمکعب دی‌اکسید کربن می‌شود. افزایش ۲۰ درصدی به ۳۸/۰۸ متر، توزیع را به ۳۰/۲۲ میلیون مترمکعب افزایش می‌دهد. همچنین کاهش ۲۰ درصدی به ۲۲/۷۲ متر، منجر به کاهش توزیع به ۱۶/۲۳ میلیون مترمکعب می‌شود. جدول ۱۵ تأثیر نسبت ضخامت خالص به ناخالص بر توزیع دی‌اکسید کربن را نشان می‌دهد. مقدار پایه ۰/۱۷ متر منجر به توزیع ۲۷ میلیون مترمکعب دی‌اکسید کربن می‌شود. با افزایش ۲۰ درصدی به ۰/۲۰۴۰ متر، توزیع به ۲۹/۲۵ میلیون مترمکعب افزایش می‌یابد. در عوض کاهش ۲۰ درصدی (۰/۱۳۶ متر)، منجر به کاهش توزیع به ۱۶/۲۰ میلیون مترمکعب می‌شود.

جدول ۱۶- تحلیل حساسیت کسر موج برشی

توزیع دی‌اکسید کربن (Mm ³)	مقدار	پارامتر کسر موج برشی
۲۷	۱	مقدار پایه
۲۹/۱۲	۱/۲	+۲۰ درصد
۲۷/۵۲	۱/۱	+۱۰ درصد
۱۷/۴۵	۰/۹	-۱۰ درصد
۱۵/۹۹	۰/۸	-۲۰ درصد

جدول ۱۷- تحلیل حساسیت پارامتر مقیاس بندی

توزیع دی‌اکسید کربن (Mm ³)	مقدار	پارامتر مقیاس بندی
۲۷	۳۴/۹	مقدار پایه
۲۸/۸۹	۴۱/۸۸	+۲۰ درصد
۲۷/۳۱	۳۸/۳۹	+۱۰ درصد
۱۶/۸۹	۳۱/۴۱	-۱۰ درصد

۲۰- درصد	۲۷/۹۲	۱۵/۴۱
----------	-------	-------

در جدول ۱۶، تأثیر کسر موج برشی بر تزریق دی‌اکسید کربن بررسی شده است. مقدار پایه ۱ منجر به تزریق ۲۷ میلیون مترمکعب دی‌اکسید کربن می‌شود. با افزایش ۲۰ درصدی به ۱/۲، تزریق به ۲۹/۱۲ میلیون مترمکعب افزایش می‌یابد. در مقابل با کاهش ۲۰ درصدی کسر موج برشی به ۰/۸، تزریق به ۱۵/۹۹ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. جدول ۱۷ تأثیر پارامتر مقیاس‌بندی بر تزریق دی‌اکسید کربن را بررسی می‌کند. مقدار پایه ۳۴/۹ منجر به تزریق ۲۷ میلیون مترمکعب دی‌اکسید کربن می‌شود. با افزایش ۲۰ درصدی (۴۱/۸۸)، تزریق به ۲۸/۸۹ میلیون مترمکعب افزایش می‌یابد. در حالی که کاهش ۲۰ درصدی (۲۷/۹۲)، منجر به کاهش تزریق به ۱۵/۴۱ میلیون مترمکعب دی‌اکسید کربن می‌شود.

جداول فوق مجدداً تایید می‌کنند که در میان تمام شاخص‌ها، میزان نفوذپذیری و حداکثر فشار چاه دارای بیش‌ترین تأثیر بر تزریق گاز دی‌اکسید کربن دارند.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش‌بینی بازیابی نفت، ظرفیت ذخیره‌سازی CO₂ در مخازن زیرسطحی و تعیین میزان بهینه تزریق CO₂ به مخازن زیرسطحی مورد بررسی قرار گرفت. در این مقاله، پارامترهای عدم قطعیت نظیر عوامل زمین‌شناسی و عملیات چاه در تولید مجموعه داده‌های آموزشی دخالت داشتند. در مراحل اولیه، دو مدل شبکه عصبی MLP (پرسپترون چندلایه) و RBF (شبکه عصبی پایه شعاعی) به‌منظور پیش‌بینی بازیابی نفت و ظرفیت ذخیره‌سازی CO₂ مدل‌سازی شدند. نتایج نشان داد که دقت پیش‌بینی مدل‌ها به‌ترتیب برای مدل MLP معادل ۹۱/۳۶٪ و برای مدل RBF معادل ۹۴/۶۳٪ بود. در مرحله بعد، بهینه‌سازی ویژگی‌ها با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستر انجام شد. هدف این مرحله انتخاب ویژگی‌های بهینه و کاهش ابعاد آن‌ها بود که در نهایت ۱۰ ویژگی از ۱۴ ویژگی اولیه به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر انتخاب شدند. این ویژگی‌ها شامل نفوذپذیری، فشار چاه، حجم منافذ، تراکم‌پذیری، فشار اولیه، نسبت ضخامت خالص به ناخالص، کسر موج برشی، نسبت شیل به ارتفاع، پارامتر مقیاس‌بندی و نسبت تخلخل به ارتفاع بودند. در مرحله نهایی، پس از بهینه‌سازی ویژگی‌ها، مجدداً مدل‌سازی با شبکه‌های MLP و RBF انجام شد. نتایج بیان‌گر آن بود که دقت پیش‌بینی به‌طور چشم‌گیری بهبود یافت. دقت پیش‌بینی مدل MLP به ۹۷/۴۶٪ و دقت مدل RBF به ۹۸/۹۷٪ رسید. نتیجه‌گیری کلی این تحقیق نشان‌دهنده اهمیت انتخاب و بهینه‌سازی ویژگی‌ها در بهبود دقت پیش‌بینی تزریق CO₂ است. استفاده از ویژگی‌های بهینه، منجر به افزایش قابل‌توجهی در دقت پیش‌بینی در هر دو مدل MLP و RBF شد که می‌تواند در طراحی و مدیریت بهینه عملیات تزریق CO₂ در مخازن زیرسطحی مؤثر واقع گردد.

سپاس و قدردانی

از داوران مقاله آقایان دکتر بهمن سلیمانی (استاد دانشگاه شهید چمران اهواز) و دکتر پیمان رضائی (دانشیار دانشگاه هرمزگان) تشکر و قدردانی می‌گردد.

- [^۱] SHAYA, J, SROUR, H, KARAMÉ, I. Introductory Chapter: An Outline of Carbon Dioxide Chemistry, Uses and Technology. Carbon dioxide chemistry, capture and oil recovery. ۱۲-۲۰۱۸:۱
- [^۲] DENG, R-M, LIU, Y-C, LI, J-Q, XU, J-G, CHEN, G. The role of carbon dioxide in acute brain injury. Medical Gas Research. ۲۰۲۰;۱۰(۲):.۴-۸۱
- [^۳] SOEDER, DJ. Greenhouse gas sources and mitigation strategies from a geosciences perspective. Advances in Geo-Energy Research. ۲۰۲۱:(۳)۵
- [^۴] KWEEKU, DW, BISMARCK, O, MAXWELL, A, DESMOND, KA, DANSO, KB, OTI-MENSAH, EA, et al. Greenhouse effect: greenhouse gases and their impact on global warming. Journal of Scientific research and reports. ۲۰۱۸;۱۷(۶):.۹-۱
- [^۵] LIN, Q, ZHANG, X, WANG, T, ZHENG, C, GAO, X. Technical perspective of carbon capture ,utilization, and storage. Engineering. ۲۰۲۲;۳۲-۱۴:۲۷
- [^۶] RASOOL, M, AHMAD, M, AYOUB, M. ۲۰۲۳, Selecting Geological Formations for CO₂ Storage: A Comparative Rating System., Sustainability, ۱۵, ۶۵۹۹
- [^۷] ALKAN, H, RIVERO, FF, BURACHOK, O, KOWOLLIK, P. Engineering design of CO₂ storage in saline aquifers and in depleted hydrocarbon reservoirs: similarities and differences. First Break. ۲۰۲۱;۳۹(۶):.۸۰-۶۹
- [^۸] SANGUINITO, S, SINGH, H, MYSHAKIN, EM, GOODMAN, AL, DILMORE, RM, GRANT, TC, et al. Methodology for estimating the prospective CO₂ storage resource of residual oil zones at the national and regional scale. International Journal of Greenhouse Gas Control. ۲۰۲۰;۹۶:۱۰۳۰۰۶
- [^۹] BURTON-KELLY, ME, DOTZENROD, NW, FEOLE, IK, PECK, WD, HE, J, BUTLER, SK, et al. Identification of Residual Oil Zones in the Williston and Powder River Basins. Univ. of North Dakota, Grand Forks, ND (United States). Energy and ...; .۲۰۱۸
- [^{۱۰}] DORDZIE, G, BALHOFF, M. A Grand Challenge Update on Improved Recovery From Tight/Shale Reservoirs. Journal of Petroleum Technology. ۲۰۲۴;۷۶(۰۶):.۴۲-۳۸
- [^{۱۱}] AHMADI, P, GHANDI, E, RIAZI, M, MALAYERI, MR. Experimental and CFD studies on determination of injection and production wells location considering reservoir heterogeneity and capillary number. Oil & Gas Science and Technology–Revue d’IFP Energies nouvelles. ۲۰۱۹;۷۴:۴
- [^{۱۲}] MIRZAEI, M, AHMADI, MH, ACIKKALP, E, RAHIMZADEH, M. Sensitivity analysis of technical and economic parameters for natural gas management in enhanced oil recovery projects. International Journal of Low-Carbon Technologies. ۲۰۱۹;۱۴(۱):.۹-۱
- [^{۱۳}] MATA, C, BADMAEV, D, SAPUTELLI, L, MOHAN, R, RUBIO, E, AL SHEHHI, M, et al. Embedding Physics and Data Driven Models for Smart Production Optimization. Field Examples. .۲۰۲۲
- [^{۱۴}] VO THANH, H, SUGAI, Y, SASAKI, K. Application of artificial neural network for predicting the performance of CO₂ enhanced oil recovery and storage in residual oil zones. Scientific reports. ۲۰۲۰;۱۰(۱):.۱۸۲۰۴
- [^{۱۵}] FAWAD, M, RAHMAN, MJ, MONDOL, NH. Seismic reservoir characterization of potential CO₂ storage reservoir sandstones in Smeaheia area, Northern North Sea. Journal of Petroleum Science and Engineering. ۲۰۲۱;.۲۰۵:۱۰۸۸۱۲
- [^{۱۶}] LUO, C, ZHANG, S-L, WANG, C, JIANG, Z. A metamodel-assisted evolutionary algorithm for expensive optimization. Journal of Computational and Applied Mathematics. ۲۰۱۱;۲۳۶(۵):.۶۴-۷۵۹
- [^{۱۷}] WANG, H, JIN, Y, DOHERTY, J. Committee-based active learning for surrogate-assisted particle swarm optimization of expensive problems. IEEE transactions on cybernetics. ۲۰۱۷;۴۷(۹):.۷۷-۲۶۶۴
- [^{۱۸}] AN, Z, ZHOU, K, HOU, J, WU, D, PAN, Y. Accelerating reservoir production optimization by combining reservoir engineering method with particle swarm optimization algorithm. Journal of Petroleum Science and Engineering. ۲۰۲۲;.۲۰۸:۱۰۹۶۹۲
- [^{۱۹}] MULROONEY, MJ, OSMOND, JL, SKURTVEIT, E, FALEIDE, JI, BRAATHEN, A. Structural analysis of the Smeaheia fault block, a potential CO₂ storage site, northern Horda Platform, North Sea. Marine and Petroleum Geology. ۲۰۲۰;۱۲۱:۱۰۴۵۹۸
- [^{۲۰}] KENNEDY, D ,editor Gamma Ray Index-Shale Volume Transforms. SPWLA Annual Logging Symposium; ۲۰۲۱: SPWLA.
- [^{۲۱}] PURUSHOTHAMAN, R, RAJAGOPALAN, S, DHANDAPANI, G. Hybridizing Gray Wolf Optimization (GWO) with Grasshopper Optimization Algorithm (GOA) for text feature selection and clustering. Applied Soft Computing. ۲۰۲۰;۹۶:۱۰۶۶۵۱

ژئوشیمی تبخیری های بخش چهل سازند گچساران (میوسن پیشین) در خاوربندر خمیر، فروافتادگی بندر لنگه با نگرش ویژه به اقلیم دیرینه

پیمان رضائی^{۱*}، سیده اکرم جویباری^۲، فاروق عالیان^۳

۱- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲- دکترای رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۳- دانشجوی دکترای رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

*P.rezaee@hormozgan.ac.ir

دریافت آبان ۱۴۰۳، پذیرش آذر ۱۴۰۳

چکیده

سازند تبخیری گچساران (میوسن پیشین) به عنوان مهمترین پوش سنگ مخازن هیدروکربوری ترشیاری در خاورمیانه شناخته می شود. این سازند در جنوب فروافتادگی بندر لنگه در جنوب خاوری زاگرس چین خورده رخنمون های خوبی داشته و در خاور بندر خمیر شامل سه بخش چهل، چمپه و مول می باشد. در این گستره، دو برش از بخش چهل سازند گچساران که شامل نهشته های تبخیری است از دیدگاه ژئوشیمی با تاکید بر اقلیم دیرینه و منشا مورد مطالعه قرار گرفتند. برای این منظور تعداد ۲۳ نمونه از تبخیری های هر دو برش برداشت شده و مورد آنالیز های XRF و ICP قرار گرفتند. نتایج حاصل از تغییرات اکسیدهای اصلی نشان دهنده همبستگی منفی Fe_2O_3, K_2O, Al_2O_3 و همبستگی مثبت CaO با SO_3 بوده که این مهم حاکی از غالب بودن شرایط برای سولفات ها بوده و از طرفی دیگر افزایش میزان شوری در حوضه است. بررسی ها همچنین بیانگر همبستگی منفی عناصر فرعی با اکسید SO_3 می باشد که بیانگر وجود ۲ مرحله خشک شدگی و پسروری شاخص در بازه زمانی ته نشست این تبخیری ها است. رخنمون های دیابیرهای سری هرمز در بالادست و نزدیک به گستره مورد مطالعه، شاهدی از تاثیر نهشته های سری هرمز بر افزایش میزان عناصر فرعی در توالی مورد مطالعه است.

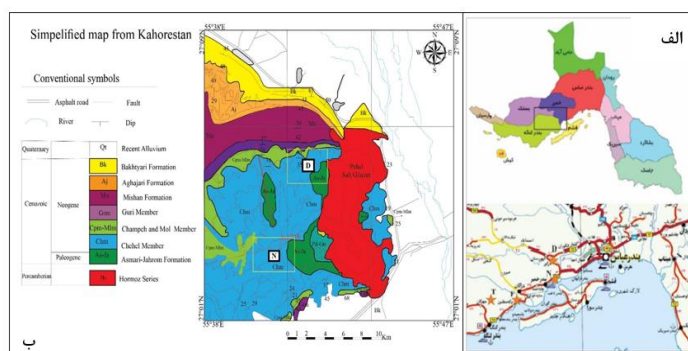
کلمات کلیدی: ژئوشیمی، سازند گچساران، اقلیم دیرینه، فروافتادگی بندر لنگه، بخش چهل

۱- مقدمه

نهشته های تبخیری در توالی های رسوبی پرکامبرین پسین تا کواترنری سراسر دنیا حضور قابل توجهی دارند [۵۴-۵۳، ۲۶]. تبخیری ها در مناطقی تشکیل می شوند که میزان تبخیر در حوضه ها بر مجموع نزولات جوی و جریان های سطحی و زیر زمینی به حوضه برتری داشته باشد [۵۴-۵۳]. بدین ترتیب می توان انتظار داشت که بسیاری از این نوع نهشته ها در نواحی با آب و هوای خشک و نیمه خشک یافت شوند. پیشرفت علم ژئوشیمی در چند دهه اخیر و بهره گیری از آن در علوم زمین، محققان علوم زمین را قادر ساخته تا بتوانند با مطالعه رفتارهای عناصر در محیط های مختلف، به سازوکار تشکیل انواع سنگ ها پی ببرند [۴۴، ۵۸]. سنگ های رسوبی نیز از این قاعده مستثنی نیستند و یک رسوب شناس نیز قاعدتاً با مطالعه دقیق رفتار عناصر در محیط های رسوبی مورد نظر خود قادر خواهد بود تاریخچه، تحولات دیاژنتیک نهشته های مورد مطالعه را ارزیابی کند. مطالعات ژئوشیمی بر روی نهشته های تبخیری همواره در تحلیل محیط های رسوبی دیرینه مفید بوده است. توزیع عناصر از جنبه ژئوشیمیایی در رسوبات، تابع عواملی چون دما، فشار، پتانسیل یونی و پتانسیل اکسایش و کاهش است [۳۱، ۲۳]. عوامل دیگری چون هوازدگی نیز در تحرک یا عدم تحرک عناصر مختلف در سنگ های رسوبی تاثیر گذارند [۴۱، ۲۴]. عناصر با ظرفیت های متفاوت دارای رفتارهای متفاوت یا مشابه به یکدیگر، در برخی محیط های رسوبی هستند، که این امر به تفسیر محیط های رسوبی دیرینه کمک می نماید [۶۱]. سازند گچساران (میوسن پیشین) اولین سازند گروه فارس است. سازند گچساران (میوسن پیشین) به عنوان مهم ترین پوش سنگ مخازن هیدروکربوری زاگرس از یک سو و برخورداری از نمک، گوگرد و گچ از سوی دیگر، اهمیت فراوانی در زمین شناسی ایران دارد [۲-۱]. روی سازند گچساران مطالعات زیادی انجام شده از این جمله می توان به سن سنجی سازند گچساران و سازندهای معادل آن بر مبنای فرامنیفرها [۴۷]، زمین ساخت رسوبی سازند گچساران در حوضه پیش بوم زاگرس [۱۵]، تاریخچه رسوبگذاری سازند گچساران (پوش سنگ مخزن آسماری) در میدان نفتی آب تیمور [۴]، مطالعه سنگ رخساره ها و محیط رسوبی سازند گچساران در باختر بندرعباس، برش کوه نمکی خمیر [۷]، بررسی اثرهای محیط زیستی سازند گچساران در دشت میداود، شرق خوزستان [۱۰] و تفسیر ساختاری و محیط رسوبی سازند گچساران با تاکید بر توالی بخش ۱ این سازند در میدان نفتی گچساران، فروافتادگی دزفول جنوبی [۹] اشاره نمود. در راستای تکمیل این یافته ها پژوهش حاضر با تاکید بر تحلیل اقلیم دیرینه نهشته های تبخیری بخش چهل سازند گچساران در گستره بندر خمیر، با استفاده از ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی انجام شد.

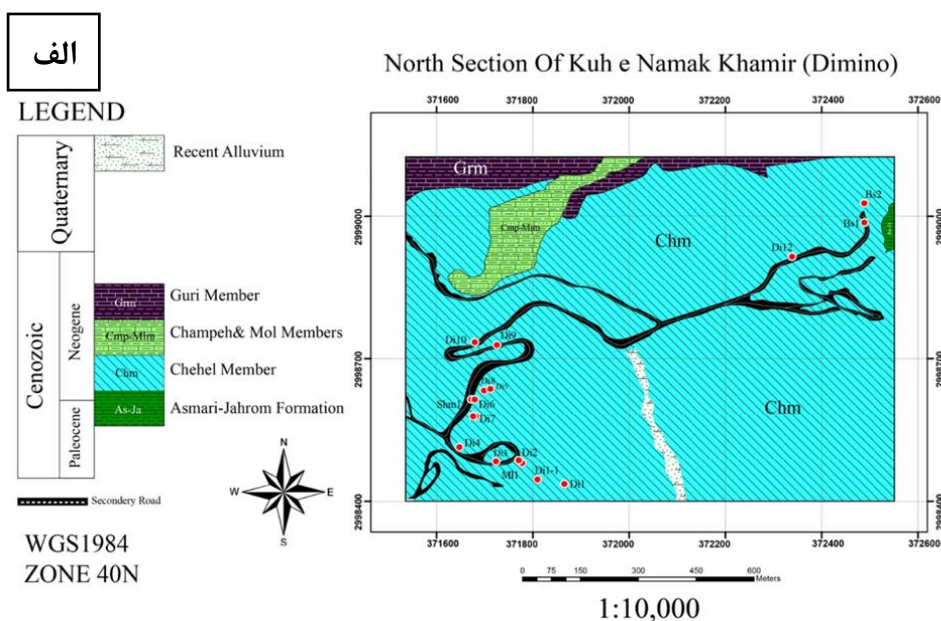
۲- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی

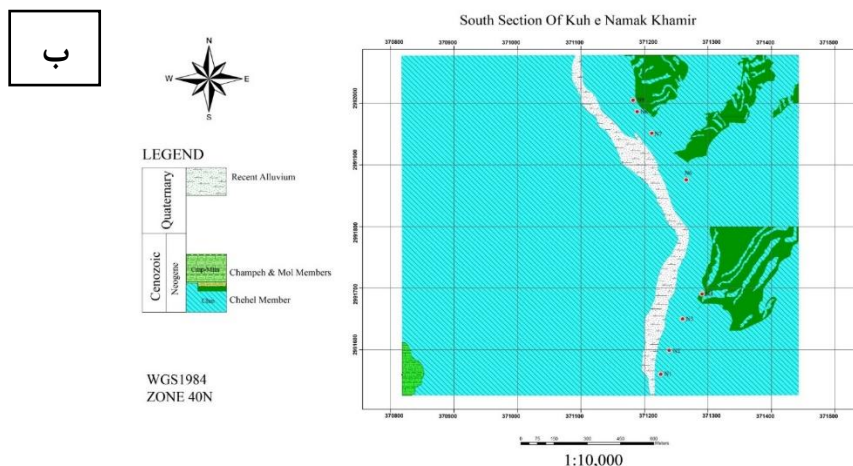
گستره مورد مطالعه به لحاظ جغرافیایی در استان هرمزگان و در محدوده بندر خمیر قرار دارد (شکل ۱-الف). از جنبه ساختاری، این گستره در فروافتادگی بندر لنگه و پس خشکی بندرعباس، در جنوب زاگرس چین خورده قرار دارد. زیرپهنه پس خشکی بندرعباس محدوده ای از پایانه جنوب خاوری زاگرس است که مرز خاوری آن گسل میناب و مرز جنوبی آن جنبه چین های زاگرس است که از درون خلیج فارس می گذرد و مرز شمالی آن منطبق بر گسل رازک و یا خطواره نخیلو- فینو است [۲۵]. در فروافتادگی بندر لنگه نهشته هایی از پرکامبرین پسین تا عهد حاضر دیده می شوند که از تنوع زیادی برخوردار هستند. مهمترین واحدهای موجود شامل سری هرمز و سازندهای سروک، گورپی، پابده، آسماری- جهرم، گچساران و میشان و آغا جاری هستند [۵].



شکل ۱: الف: موقعیت جغرافیایی برش های مورد مطالعه بر روی نقشه جغرافیایی و نقشه راه های کشور [۱۱] ب: موقعیت برش های مورد مطالعه بر روی نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ کهورستان [۶]

سازند گچساران اولین سازند گروه فارس بوده که با مرز تدریجی و همشیب بر روی سازند آسماری قرار میگیرد [۲]. این سازند با رخساره تبخیری نشان از پسروری عمومی پس از بسته شدن کامل اقیانوس نئوتتیس دارد [۲۵]. سازند گچساران (میوسن پیشین) در گستره جنوبی فروافتادگی بندر لنگه به ویژه محدوده بندر خمیر برونزدهای خوبی داشته و مشتمل بر عضوهای چهل، چمپه و مول است و از رخساره های ژئیس، انیدریت، مارن و آهک تشکیل شده است [۴۳]. بخش چهل، بخش زیرین سازند گچساران (میوسن پیشین) است. ستبرای آن در محل نمونه ۵۱۶ متر است و از نظر سنگ شناسی شامل انیدریت یا گچ است که در آن آهک و مارن به صورت لایه های نازک دیده می شود. این بخش به طور همشیب بر روی سازند آسماری قرار می گیرد. سن این بخش بر اساس فسیل های موجود، میوسن پیشین در نظر گرفته می شود [۲۵].





شکل ۲: الف: نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰,۰۰۰ از برش خمیر در بخش D یا برش شمالی ب: نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰,۰۰۰ از برش خمیر در بخش N یا برش جنوبی

۳- مواد و روش ها

پس از بررسی های مقدماتی و در راستای تحقق اهداف این پژوهش بازدیدهای صحرائی برای اندازه گیری ستبرای واحدهای سنگی به کمک متر، کمپاس و میله ژاکوب، مشخص کردن مرزهای تحتانی و فوقانی، بررسی سنگ‌های متشکله نهشته‌های تبخیری سازند گچساران (میوسن پیشین) در برش‌های سنگ چینه‌نگاری مورد نظر و برداشت نمونه‌های لازم بر مبنای زمین شناسی رسوبی صورت گرفت. به منظور این مطالعه ۲ برش از سازند گچساران (N برش جنوبی و D برش شمالی) در محدوده بندر خمیر انتخاب گردید (شکل ۱-ب). پس از پیمایش‌های صحرائی، با تاکید بر نهشته‌های تبخیری، ۲۳ نمونه از بخش چهل سازند گچساران هر دو برش مذکور برداشت شده و در آزمایشگاه زرآما مورد آنالیز عنصری ICP-OES به منظور تشخیص عناصر فرعی و XRF برای تشخیص عناصر اصلی قرار گرفت.

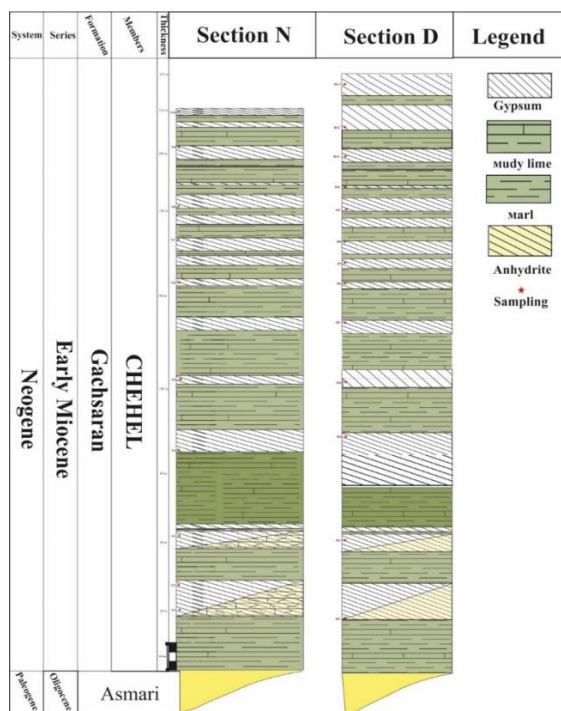


شکل ۳: الف: نمای عمومی سازند گچساران و بخش چهل در برش N (دید به سمت جنوب باختری)، ب: لایه های انیدریت و ژپس در برش N، پ: تناوب لایه های ژپسی بخش چهل با لایه های مارنی و بخش چمپه در برش D

۴- بحث و نتایج

۴-۱- سنگ چینه نگاری

سازند گچساران (میوسن پیشین) در خاور بندر خمیر با تناوب بیشتر لایه‌های تبخیری ژپس، انیدریت، لایه‌های آهکی مشخص می‌گردد. رخساره‌های تبخیری در هر دو برش، شامل رخساره‌های ژپسی با بافت آلاباسترین و پورفیروبلاستی است و رخساره‌های انیدرتی با بافت های شعاعی، دندرتی، منشوری و پرماند می باشد. شکل ۳- الف نمایی عمومی از سازند گچساران در برش N (جنوبی) و بخش های مختلف آن را به نمایش می گذارد. بخش چهل سازند گچساران در برش جنوبی (N) دارای ۲۳۹/۳ متر ستبرا می باشد.



شکل ۴: ستون سنگ چینه نگاری بخش چهل سازند گچساران در خاور بندر خمیر

در این توالی ستبرای نهشته های مارن- آهک ۱۱۵ / ۳ متر و لایه های ژپس انیدریت ۱۲۳ / ۶ متر می باشد. شروع این توالی با لایه نسبتا ستبری از مارن خاکستری تا سبز می باشد (شکل ۴) و در ادامه توالی لایه های ژپس و انیدریت در تناوب با لایه های مارن تا مارن-مادستون مشاهده می شوند (شکل ۳-ب) و در انتهای توالی نیز با لایه های مارن قرمز و ژپس به پایان می رسد. این بخش در برش شمالی (D) دارای ستبرای ۲۱۶/۳ متر می باشد که ۱۳۹/۳ متر از آن دارای لایه های تبخیری ژپس و انیدریت است (شکل ۳-پ) و ۷۷ متر نیز لایه های مارن- آهک می باشد (شکل ۴).

۴-۲- ژئوشیمی عناصر اصلی نهشته های تبخیری

ژئوشیمی عناصر اصلی در نهشته‌های تبخیری نقش مهمی در فهم شرایط تشکیل و تکامل این رسوبات دارد [۵۳]. مطالعه ژئوشیمی این نهشته‌ها می‌تواند داده‌های مهمی درباره شرایط محیطی گذشته، نوسان‌های اقلیمی و فرآیندهای دیاژنزی ارائه دهد [۱۴].

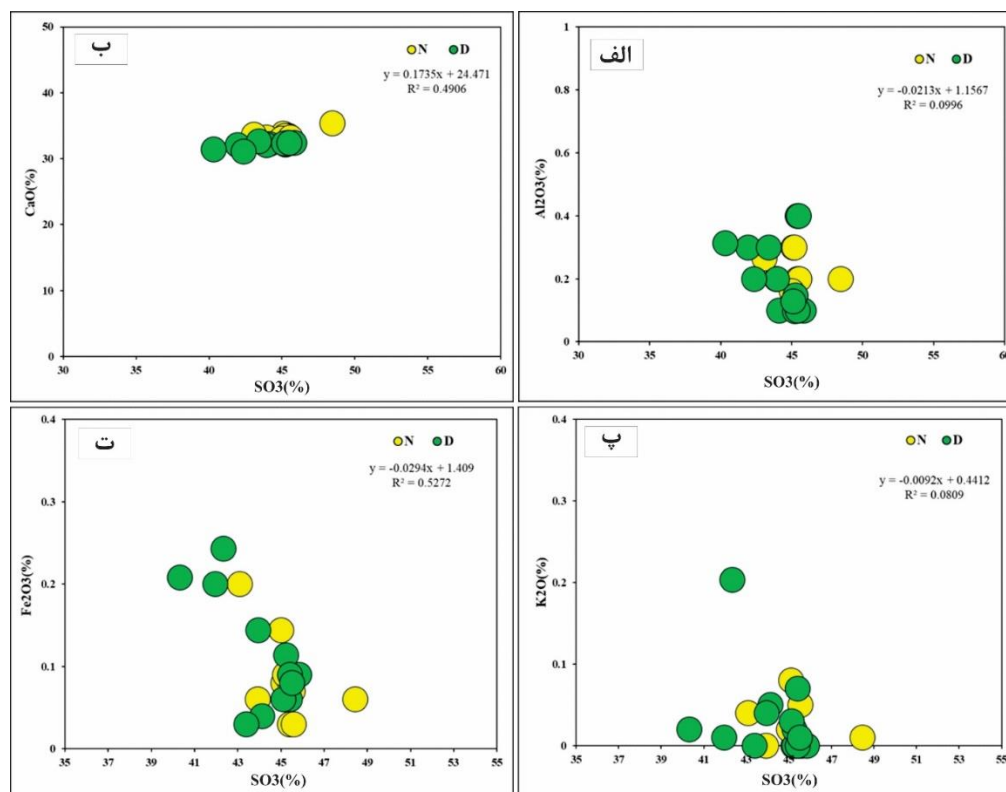
نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی سنگ‌های تبخیری واحد چهل در دو برش مورد مطالعه، نشان داد که اکسید کلسیم (CaO) در گستره خمیر ۳۴/۲ درصد و بیشترین میزان اکسید در این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند. این در حالی است که آنیون SO_3^{2-} در سنگ‌های ژپس و انیدریت در این دو برش غالب بوده و به طور میانگین در پهنه بندر خمیر ۶/۶ درصد را به خود اختصاص می‌دهد (جدول ۱). CaO از اکسیدهای اصلی و فراوان در نمونه‌ها است که می‌توان آن را به دخالت همزمان عوامل آواری و شیمیایی در رسوب‌گذاری نسبت داد که نتیجه تکرار باز و بسته شدن حوضه رسوبی است [۵۱]. بر این اساس و با توجه به توالی لایه‌های تبخیری با کربنات‌ها و مشاهده کربنات در نمونه‌ها بخشی از CaO در نمونه‌های موجود مربوط به کانی‌های کربناته و بقیه مربوط به سولفات‌ها می‌باشد و از آنجاکه جریان‌های بادی که از دریا به سمت خشکی می‌وزند، می‌توانند سبب انتقال کربنات‌های لاگون به منطقه سبخا شوند [۳]، بنابراین بخشی از کربنات موجود در نمونه‌ها کربنات‌های حمل شده از قسمت‌های عمیق تر به محیط سبخا می‌باشد.

جدول ۱: پارامترهای آماری میزان اکسیدهای اصلی (%) و درصد افت وزنی در نمونه‌های مورد مطالعه

نمونه‌ها	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SrO	SO ₃	L.O.I.*	
برش شمالی	بیشینه	۲/۰۸۶	۰/۴	۰/۲۴	۳۲/۶۱	۲/۵۱	۰/۳۰	۰/۹۵	۴۵/۸۵	۲۳/۴۴
	کمینه	۰/۱۵۴	۰/۰۹	۰/۰۳	۳۱/۱۰	۰/۱۱	۰/۱	۰/۴۲	۴۰/۳۲	۲۰/۹۵
	میانگین	۰/۵۹	۰/۲۱	۰/۱۱	۳۲/۱۳	۰/۷۲	۰/۰۳	۰/۶۹	۴۴/۱۵	۲۱/۷۴
برش جنوبی	بیشینه	۱/۲۱	۰/۳	۰/۲۰	۳۵/۳۶	۱/۷۶	۰/۸	۰/۵۰	۴۸/۴۵	۲۱/۹۵
	کمینه	۰/۱۳	۰/۱	۰/۰۳	۳۳/۰۴	۰/۱۰	۰/۱	۰/۱۱	۴۳/۰۹	۱۵/۱۵
	میانگین	۰/۴۳	۰/۲	۰/۰۸	۳۳/۵۴	۰/۵۴	۰/۲	۰/۲۶	۴۵/۲۸	۱۹/۸۶
میانگین کل	۰/۵۱	۰/۲	۰/۰۹	۳۲/۸۵	۰/۶۳	۰/۲	۰/۴۷	۴۴/۷۲	۲۰/۸۰	

میانگین مقدار MgO در نمونه‌های تبخیری دو برش خاور بندر خمیر، ۰/۷ درصد می‌باشد. منیزیم در کانی‌های زیادی شامل کارنالیت، کیزریت، کائیت، پلی‌هالیت و دولومیت جمع می‌شود [۱۷،۳۵]. با توجه به نتایج آنالیزپراش اشعه ایکس در تبخیری‌های برش خاور بندر خمیر فقط کانی دولومیت مشاهده شده است [۸]. بنابراین مقدار ناچیز منیزیم در نمونه‌ها مربوط به این کانی است. و بخشی نیز در ترکیب کانی‌های رسی وارد می‌شود. میزان منیزیم به شوری و موقعیت جغرافیایی حوضه نیز بستگی دارد [۱۸،۳۷،۴۰]. Al₂O₃ از دیگر اکسیدهای موجود در نمونه‌ها است که بین ۰/۱ تا ۰/۶ درصد و میانگین آن در هر دو برش خمیر ۰/۲ درصد می‌باشد. Al در ساختمان کانی‌های رسی وجود دارد و در نهشته‌های تبخیری در دو برش مورد مطالعه وجود کانی رسی پالی گورسیت گزارش گردید [۸]، از سویی دیگر وجود میان لایه‌های مارنی می‌تواند نشان‌دهنده دیگر منشا این مقدار بسیار ناچیز کانی‌های رسی در نمونه‌ها باشد. Fe₂O₃ در نمونه‌ها بین ۰ تا ۰/۱۱ درصد متغیر و میانگین آن در هر دو برش ۰/۱ درصد است. آهن یک عنصر سیدروفیل است. همه تبخیری‌ها منابع بزرگ عناصر سیدروفیل و کالکوفیل هستند [۵۲]. تجمع رسوبی این عناصر تابع نرخ رسوب‌گذاری است [۲۰، ۴۰، ۴۷]. با توجه به اینکه در آنالیزهای XRD بخش چهل بندر خمیر، هیچ کانی آهن‌دار به صورت سولفید و یا سولفات مشاهده نشده [۸] می‌توان گفت که حضور Fe₂O₃ در این نمونه‌ها بیانگر شرایط اکسیدی در محیط است [۵۶] و نشان می‌دهد که عنصر Fe به صورت فاز مستقل رسوب کرده و وارد شبکه سولفات نشده است. حضور آهن می‌تواند در نتیجه دو عامل مرتبط باشد: (۱) جریان ورودی آب به حوضه تبخیری بالا است که عدم تشکیل هالیت می‌تواند به این دلیل باشد. (۲) حوضه تبخیری خیلی

عمیق نبوده است و تبادل اتمسفر با هیدروسفر به خوبی انجام می‌شده است و به این دلیل اکسیژن به اندازه کافی در آب موجود بوده است. این دو یافته، در شرایطی به دست می‌آید که میزان آهن با سولفور همبستگی مثبت نداشته باشد [۱۵،۳۹]. در نهشته‌های سولفاته، مقدار SiO_2 بین ۰/۳ تا ۲/۳ درصد و میانگین آن در دو برش مورد مطالعه ۰/۵ درصد است. وزش بادهای غالب معمولاً سرعت تبخیر را در سبخای ساحلی افزایش می‌دهد. بادهایی که از خشکی به سمت دریا می‌وزند قادرند ماسه‌ها را به سبخا منتقل نمایند [۳] و یا جریان آب های جاری از بالادست نیز می‌توانند سیلیس را خود وارد حوضه نمایند [۲۸]. بنابراین، وجود سیلیس در میان تبخیری‌های مورد مطالعه شاهدهی بر منشأ نزدیک به ساحل منطقه مورد مطالعه است. بنابراین بخشی از رسوبات سبخا رسوبات آواری هستند که از سوی خشکی و دور از ساحل، وارد سبخا می‌شوند. لازم به ذکر است که بارش باران و ورود آب های جاری نیز می‌تواند در انتقال رسوبات قاره‌ای به داخل سبخای ساحلی تأثیرگذار باشد. در منطقه مورد مطالعه میزان SiO_2 بسیار ناچیز بوده که با توجه به ترکیب شیمیایی ایده آل ژئیس ($\text{CaO} = ۳۲/۵۷\%$ ، $\text{SO}_3 = ۵۰/۴۶\%$ و $\text{H}_2\text{O} = ۲۰/۹۳\%$) نشان می‌دهد درجه خلوص نهشته‌های تبخیری مورد مطالعه بالا است. همچنین میزان ناچیز نسبت SiO_2/CaO در نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که میزان کانی‌های رسی و کوارتز آنها بسیار ناچیز است. در راستای تعیین همبستگی میان اکسیدهای اصلی در نمونه‌های مورد مطالعه با آنیون غالب SO_3^{2-} ضریب همبستگی تعیین گردید. نتایج نشان داد که اکسیدهای Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، K_2O دارای همبستگی منفی و اکسید کلسیم CaO دارای همبستگی مثبت با SO_3 می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۵: الف: تغییرات میزان CaO در مقابل SO_3 اکثر نمونه‌ها دارای همبستگی مثبت می‌باشند، ب: تغییرات میزان Al_2O_3 نسبت به SO_3 اکثر نمونه‌ها دارای همبستگی منفی و سیر نزولی را نمایش می‌دهند، پ: تغییرات میزان Fe_2O_3 در مقابل SO_3 بیشتر نمونه‌ها دارای همبستگی منفی و سیر نزولی را نمایش می‌دهند، ت: تغییرات میزان K_2O نسبت به SO_3 اکثر نمونه‌ها دارای همبستگی منفی و سیر نزولی را نمایش می‌دهند.

در مجموع کاهش میزان اکسیدهای Al_2O_3, Fe_2O_3 را می توان از پیامدهای ناشی از افزایش شوری آب دریا و همچنین کاهش یا عدم ورود کانی های رسی به حوضه دانست. این مساله از سویی دیگر با کاهش K_2O در مقابل SO_3 کاملاً قابل توجه است [۲۱، ۴۱، ۵۴]. این همبستگی منفی، بصورت قابل ملاحظه ای مساله تبخیر آب حوضه (دریا) و افزایش میزان شوری در محیط را بازگو می کند. از سوی دیگر، این موضوع بازگو کننده غالب بودن نهشته های سولفات به نسبت به دیگر نهشته ها در حوضه است [۳۳، ۵۸]. در برش های مورد مطالعه، این مهم با افزایش میزان CaO در پی افزایش میزان SO_3 غلبه نهشته های سولفات با وجود کانی ژئیس و انیدریت کاملاً مشهود بوده و مطابقت دارد (شکل ۵).

۴-۳- ژئوشیمی عناصر فرعی نهشته های تبخیری

ژئوشیمی عناصر فرعی در نهشته های تبخیری، داده های مهمی درباره فرآیندهای تشکیل و شرایط محیطی حاکم در زمان رسوب گذاری ارائه می دهد [۵۴]. عناصر فرعی مانند استرانسیم، باریم و دیگر عناصر فرعی در مقادیر کمتری نسبت به عناصر اصلی حضور دارند، اما نقش کلیدی در درک تحولات شیمیایی محلول های تبخیری و تأثیر عوامل خارجی مانند تغییرات اقلیمی و ورود سیالات آتشفشانی یا هیدروترمال ایفا می کنند [۵۴، ۱۴]. بررسی این عناصر به محققان امکان می دهد تا تاریخچه محیط های رسوبی و فرآیندهای موثر بر آن را با دقت بیشتری تحلیل کنند.

جدول ۲: پارامترهای آماری میزان عناصر فرعی (میکروگرم بر کیلوگرم) در نمونه های مورد مطالعه

نمونه ها		P	S	Sr	V	Ba	Zr
برش شمالی	بیشینه	۸۹/۴	۲۲۰۹۹۷	۹۱۷۳	۳۸/۲	۲۴۳/۳	۱۹/۴
	کمینه	۳۴/۳	۱۳۰۴۸۲	۱۱۴۴	۰/۵	۳/۹	۲/۸
	میانگین	۵۱/۷	۱۹۲۶۷۵	۲۹۷۵	۱۳/۴	۶۰/۱	۵/۳
برش جنوبی	بیشینه	۵۹/۷	۱۶۳۷۰	۴۳۷۷	۷/۱	۴۶/۱	۱۱۵/۱
	کمینه	۲۱/۹	۱۰۰۵۸	۸۷۷	۱	۵/۹	۹۵/۶
	میانگین	۳۶	۱۱۷۳۰	۲۰۸۲	۴	۲۴/۷	۱۰۲/۹
میانگین کل		۴۴/۹	۱۱۴۰۰۳	۲۵۸۷	۹/۳	۴۴/۷	۴۷/۷

پارامترهای آماری عنصر فرعی در جدول ۲ ارائه شده است. بیشترین مقدار عنصر کمیاب به ترتیب متعلق به عناصر استرانسیم، گوگرد، زیرکونیوم، فسفر، باریم و وانادیوم می باشد. گوگرد معمولاً به شکل سولفات ها (مانند ژئیس و انیدریت) در سازندهای تبخیری وجود دارد و مستقیماً به شرایط تبخیری و ترکیب آب های دریایی در زمان تشکیل مرتبط است [۱۷، ۵۴]. فسفر نیز ممکن است ناشی از تغییرات شیمیایی در حوضه های تبخیری باشد [۵۴]. میانگین غلظت وانادیوم در تبخیرهای بخش چهل سازند گچساران خاور بندر خمیر، $9/3$ میکروگرم بر کیلوگرم می باشد. این عنصر در برش شمالی بندر خمیر (D) دارای غلظت بالاتری نسبت به برش جنوبی (N) است. احتمال دارد غنی سازی وانادیوم به شرایط اکسیژن زدایی در محیط رسوب گذاری و نیز تغییرات ژئوشیمیایی منطقه وابسته باشد [۵۴، ۲۹]. ضریب همبستگی این عنصر در مقابل SO_3 در برش های مورد مطالعه، همبستگی منفی اما تدریجی این عنصر را در هر دو منطقه را اثبات نمود (شکل ۶- الف). عنصر وانادیوم یک عنصر متحرک در فرآیندهای همچون هوازدهی است، بر طبق گفته هولسر^۱ [۲۹] عناصر با پتانسیل یونی بالاتر ۲ در آب محلول بوده و محرک می باشند [۲۹]. عنصر وانادیوم دارای همبستگی منفی بوده که می توان این سیر نزولی را به فرآیندهای هوازدهی در این مناطق نسبت داد.

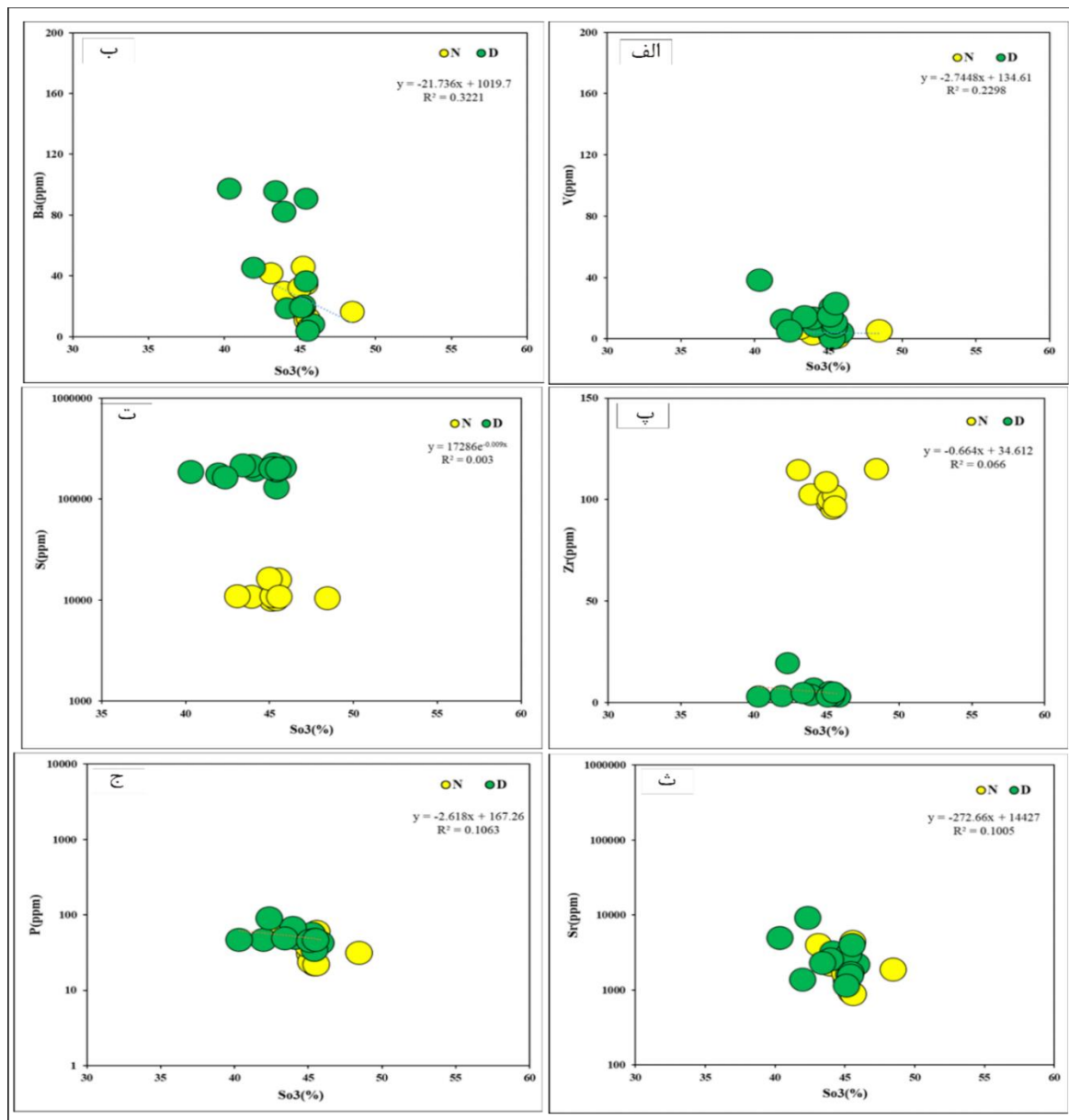
^۱ Holser

میانگین غلظت عنصر باریم در نهشته های تبخیری سازند گچساران خاور بندر خمیر ۴۴/۷ میکروگرم بر کیلوگرم می باشد. این عنصر نیز در برش شمالی بندر خمیر (D) دارای غلظت بالاتری نسبت به برش جنوبی می باشد. وجود باریم در نهشته های تبخیری نشان دهنده شرایط خاص شیمیایی آب و غلظت بالای سولفات یا کربنات ها در محیط است که باعث تشکیل کانی های حاوی باریم می شود. نمودار عنصر Ba در مقابل SO_3 همبستگی منفی را از خود نشان می دهد (شکل ۶-ب). باتوجه به اینکه این عنصر از دیدگاه ژئوشیمیایی به پتاسیم K شباهت زیادی دارد انتظار می رود که رفتاری شبیه به آن را از خود نشان دهد [۲۹]. از آنجاکه اکسید پتاسیم K_2O در نهشته های تبخیری به علت بالا رفتن میزان شوری آب حوضه (دریا) روند کاهشی را دارد. عنصر باریم نیز رفتاری مشابه این اکسید دارد و با افزایش شوری مقدار آن کمتر می گردد. غلظت این عنصر در نهشته های تبخیری برش N کمتر است که حاکی از شوری بیشتر می باشد.

میانگین غلظت عنصر زیرکونیوم در تبخیری های بخش چهل سازند گچساران خاور بندر خمیر ۴۷/۷ میکروگرم بر کیلوگرم می باشد. این عنصر در برش جنوبی خاور بندر خمیر (N) دارای غلظت بسیار بالاتری نسبت به برش شمالی (D) می باشد عنصر زیرکونیوم از عناصر فرعی با درصد پایین در این سنگها محسوب می شود. اما گاهی باتوجه به منشا درجا خود در این سنگها درصد بالایی را نشان می دهد. زیرکونیوم به طور معمول به دلیل پایداری شیمیایی در رسوبات آواری یافت می شود. وجود آن در نهشته های تبخیری ممکن است به دلیل حمل و نقل و ورود رسوبات آواری از مناطق دیگر باشد (شکل ۶-پ). میانگین غلظت عنصر گوگرد نیز در نهشته های تبخیری سازند گچساران خاور بندر خمیر ۱۱۴۰۰۳ میکروگرم بر کیلوگرم می باشد. این عنصر نیز در برش شمالی (D) دارای غلظت بالاتری نسبت به برش جنوبی (N) در خاور بندر خمیر است. عنصر گوگرد یکی از مهمترین عناصر در بحث تشکیل کانی های ژپس و انیدریت است به طبع افزایش میزان SO_3 با افزایش میزان گوگرد که نشان از چیرگی سولفات ها در درون حوضه است همراه خواهد بود. در برش های مورد مطالعه، تمامی نمونه ها با شیبی خطی در پی افزایش میزان SO_3 در حال افزایش هستند (شکل ۶-ت).

میانگین غلظت عنصر استرانسیوم در نهشته های تبخیری سازند گچساران خاور بندر خمیر ۲۵۸۷ میکروگرم بر کیلوگرم است. این عنصر نیز در برش شمالی (D) دارای غلظت بالاتری نسبت به برش جنوبی (N) می باشد. عنصر استرانسیوم یکی از پرکاربردترین عناصر در جهت تشخیص محیط های قدیمی زمین شناسی بلاخص محیط های رسوبی است استرانسیوم به عنوان یک عنصر کمیاب، در محیط های تبخیری به دلیل تمایل به جایگزینی در ساختار کانی هایی مثل کلسیت و انیدریت حضور دارد همچنین، می تواند نشان دهنده شرایط تبخیر شدید و رسوب گذاری کربناته باشد [۲۹-۳۰] (شکل ۶-ث). در شرایط مساعد عنصر استرانسیوم از لحاظ قرار گیری در ساختار بلوری میل جایگزینی بیشتری نسبت به کانی ژپس داشته و به مقدار کمتری وارد انیدریت ها می شود. البته این شرایط تنها برای محیط های آبدار پایدار بوده و در شرایط دیاژنز این موضوع کمی متفاوت خواهد بود [۳۳، ۵۷]. ررسی های ژئوشیمی این عنصر در در برش های مورد مطالعه نشان داده است که با کاهش میزان SO_3 بر طبق شکل (۶-ث) میزان Sr افزایش می یابد. این موضوع را شاید بتوان به منشا توژنیک و غالب نبودن شرایط برای تشکیل سولفات ها نسبت داد، به طوری که با ورود استرانسیم به محیط به علت مناسب نبودن شرایط برای تشکیل کانی ژپس و انیدریت استرانسیوم جایگاه کلسیم را اشغال کرده، اما پس از افزایش میزان سولفات ها و همچنین فراهم شدن شرایط برای تشکیل ژپس و انیدریت و جایگزینی Ca در کنار SO_3 همانطور که در نمودار مشاهده می شود این عنصر با یک روند خطی اما نزولی کاهش می یابد. میانگین غلظت عنصر فسفر در تبخیری های بخش چهل

سازند گچساران خاور بندر خمیر ۴۴/۹ میکروگرم بر کیلوگرم می باشد. این عنصر نیز در برش شمالی (D) بندر خمیر دارای غلظت بالاتری نسبت به برش جنوبی (N) می باشد. داده های ژئوشیمیایی نشان می دهد که عنصر فسفر در برش های مورد بررسی همبستگی منفی و خطی را با افزایش میزان SO_3 نشان می دهد (شکل ۶-ج).



شکل ۶: الف: تغییرات میزان V نسبت به SO_3 اکثر نمونه ها دارای همبستگی منفی و سیر نزولی را نمایش می دهند. ب: تغییرات میزان Ba نسبت به SO_3 اکثر نمونه ها دارای همبستگی منفی و سیر نزولی را نمایش می دهند. پ: تغییرات میزان Zr نسبت به SO_3 اکثر نمونه ها دارای همبستگی خطی می باشند. ت: تغییرات میزان S در مقابل SO_3 اکثر نمونه ها دارای همبستگی مثبت و سیر صعودی را نمایش می دهند. ث: تغییرات میزان Sr نسبت به SO_3 اکثر نمونه ها دارای همبستگی منفی و سیر خطی را نشان می دهند. ج: تغییرات میزان P نسبت به SO_3 اکثر نمونه ها دارای همبستگی منفی و سیر نزولی هستند.

این روند کاهش به نظر می رسد به علت غالب بودن فازهای سولفات در آب حوضه (دریا) در زمان تشکیل کانی های ژئوس و انیدریت باشد. البته در نمودار تغییرات این عنصر با افزایش میزان SO_3 و افزایش عمل تبخیر رفته رفته شاهد روند

خطی این عنصر هستیم، که بیانگر کاهش پایداری فازهای غالب سولفات‌ها در پی تشکیل کانی‌هایی از چون ژپس و انیدریت است.

البته باید در نظر داشته باشیم در برش‌های مورد مطالعه به علت آرام تر بودن حوضه به طبع لایه‌های سبتر ژپسی به نظر می‌رسد چرخه رسوبگذاری دارای تلاطم کمتری است، این موضوع با پراکندگی کمتر نمونه‌ها قابل تشخیص است. در مجموع بررسی غلظت عناصر فرعی نشان دهنده غنی‌شدگی بیشتر عناصر در تبخیری‌های گچساران در شمال بندر خمیر (D) به علت فرارگیری این برش در کنار و مسیر گنبد‌های نمکی سری هرمز است که سبب شده غنی‌شدگی و آنومالی مثبت در این نمونه‌ها مرتبط با تاثیرات گنبد‌ها باشد.

۴-۴- اقلیم دیرینه

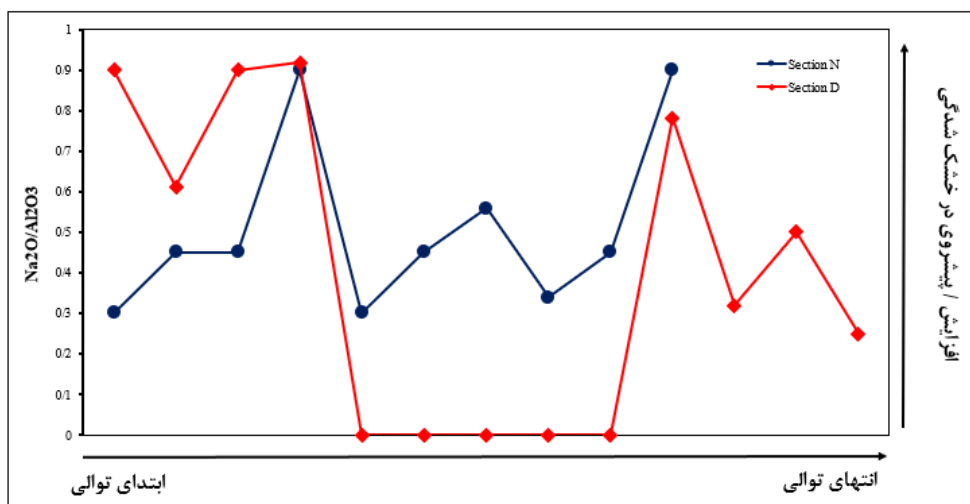
در میان کاتیون‌ها، کاتیون Na^+ و Mg^{2+} از نظر قابلیت انحلال و رسوب‌گذاری (Fe^{2+} و Mn^{2+} در محیط‌هایی با Eh منفی) مناسب‌تر هستند [۲۲، ۲۹، ۶۱]. سدیم در کل، حلالیت بالاتری داشته و در محیط‌های خشک فراوان است. رفتار عناصر انحلال‌پذیر مانند Na و Mg یا K با عناصر مقاوم در برابر هوازدگی مانند Ti, Al و Fe متفاوت است.

در محیط‌های آبی عناصر محلول حل شده و از محیط خارج می‌شوند درحالی‌که عناصر مقاوم در برابر هوازدگی در محیط باقی‌مانده و افزایش می‌یابند [۳۶]. به دلیل شعاع یونی بزرگ‌تر و عدم تحرک جزئی، رفتار K در بین عناصر محلول متفاوت است. اگرچه K نیز مانند Na انحلال‌پذیر است، ولی به سرعت جذب شده و ترکیبات جدیدی تشکیل می‌دهد [۳۸، ۴۱، ۵۴]. بنابراین، نسبت Na/K به‌طور پیوسته باگذشت زمان کاهش می‌یابد. بر این اساس نسبت عناصر انحلال‌پذیر به عناصر مقاوم می‌تواند وضعیت اقلیم دیرینه را در محیط نشان دهد [۵۰، ۶۱].

استفاده از چنین نسبت‌هایی محققانی چون [۲۳، ۴۶، ۴۹، ۵۵، ۱۵۰] پیشگام بودند. از نسبت اکسید‌هایی مانند Na_2O/K_2O و $Na_2O/Al_2O_3, Na_2O/Fe_2O_3, Na_2O/TiO_2$ در کانی‌های تبخیری برای تعیین شرایط اقلیم دیرینه در مناطق خشک استفاده کردند. سه نسبت اکسیدی اول با افزایش میزان خشکی (یا کاهش فعالیت آب) در محیط، به سرعت افزایش می‌یابند و بالعکس. نوسان‌ها در میزان اکسیدها در بخش‌های مختلف می‌تواند بیانگر نوسان سطح آب در حوضه تبخیری باشد. هرچند این تغییرات در نسبت‌های اکسید ممکن است ناشی از تغییرات شورا به در اثر جریان‌هایی از منشأ غیر دریایی باشد [۵۰].

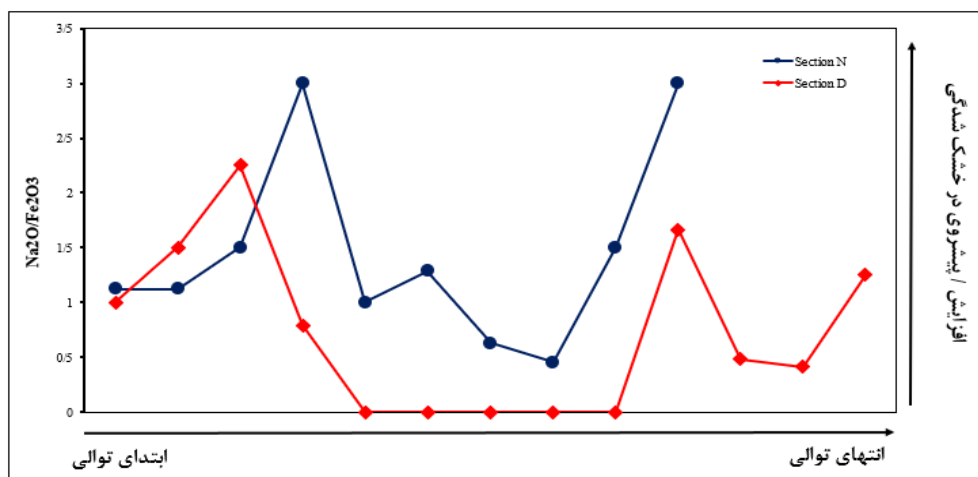
تغییرات نسبت Na_2O/Al_2O_3 در نهشته‌های بخش چهل خاور بندر خمیر در شکل ۷ ارائه شده است. ضریب تغییرات کم است و این موضوع نشان دهنده نوسان‌های محدودتر خشک‌شدگی محیط در این نهشته‌ها می‌باشد. در بخش چهل سازند گچساران در خاور بندر خمیر، در نمونه‌های مورد مطالعه ۲ پیشروی واضح در خشک‌شدگی محیط و ۲ پسروی یا کاهش خشک‌شدگی محیط وجود دارد، همچنین تغییرات این نمودار در هر دو برش دارای همپوشانی بالایی است که خود نشان دهنده شرایط محیطی مشابه دو برش مذکور می‌باشد (شکل ۷).

ضریب تغییرات نسبت Na_2O/Fe_2O_3 در این نهشته‌ها نشان دهنده چندین پیشروی و پسروی خشک‌شدگی در حوضه می‌باشد. بیشترین خشک‌شدگی در بخش ابتدایی و ماقبل انتهایی توالی بخش چهل رخ داده و کمترین خشک‌شدگی نیز در بخش میانی توالی در هر دو برش رخ داده است هرچند این تغییرات در برش N واضح تر می‌باشد (شکل ۸). نتایج تغییرات این نسبت با نسبت Na_2O/Al_2O_3 همخوانی دارد. نمودار تغییرات نسبت اکسیدهای Na_2O/K_2O نیز در شکل ۹ ارائه شده است.

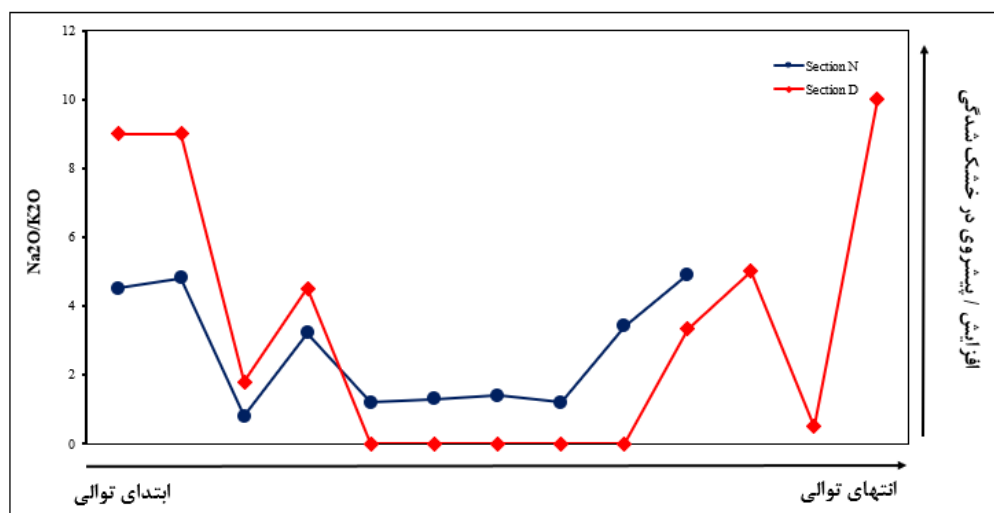


شکل ۷: نمودار نسبت‌های $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ در نهشته های بخش چهل سازند گچساران، خاور بندر خمیر.

نمودار سنگ چینه نگاری شیمیایی (شکل ۱۰) در منطقه مورد مطالعه نشان دهنده وضعیت های پیشرونده و پسرونده با توجه به نسبت‌های اکسیدها در نمونه‌ها می باشد. شرایط پیش‌رونده نتیجه وضعیت کمی خشک (خشکی بیشتر) و ورود قابل توجه K_2O و TiO_2 ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 از منابع غیر دریایی به درون حوضه است و از سوی دیگر، شرایط پس‌رونده حاصل وضعیت خشک و افزایش قابل توجه Na_2O و ورود خیلی کم رسوبات حاوی K_2O و TiO_2 ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 از منابع غیر دریایی می باشد [۵۱]. نمودار سنگ چینه نگاری شیمیایی در تبخیری های بخش چهل سازند گچساران، در هر دو برش ۲ تغییر از وضعیت خشک به شرایط خشکی بیشتر را نشان می دهد.

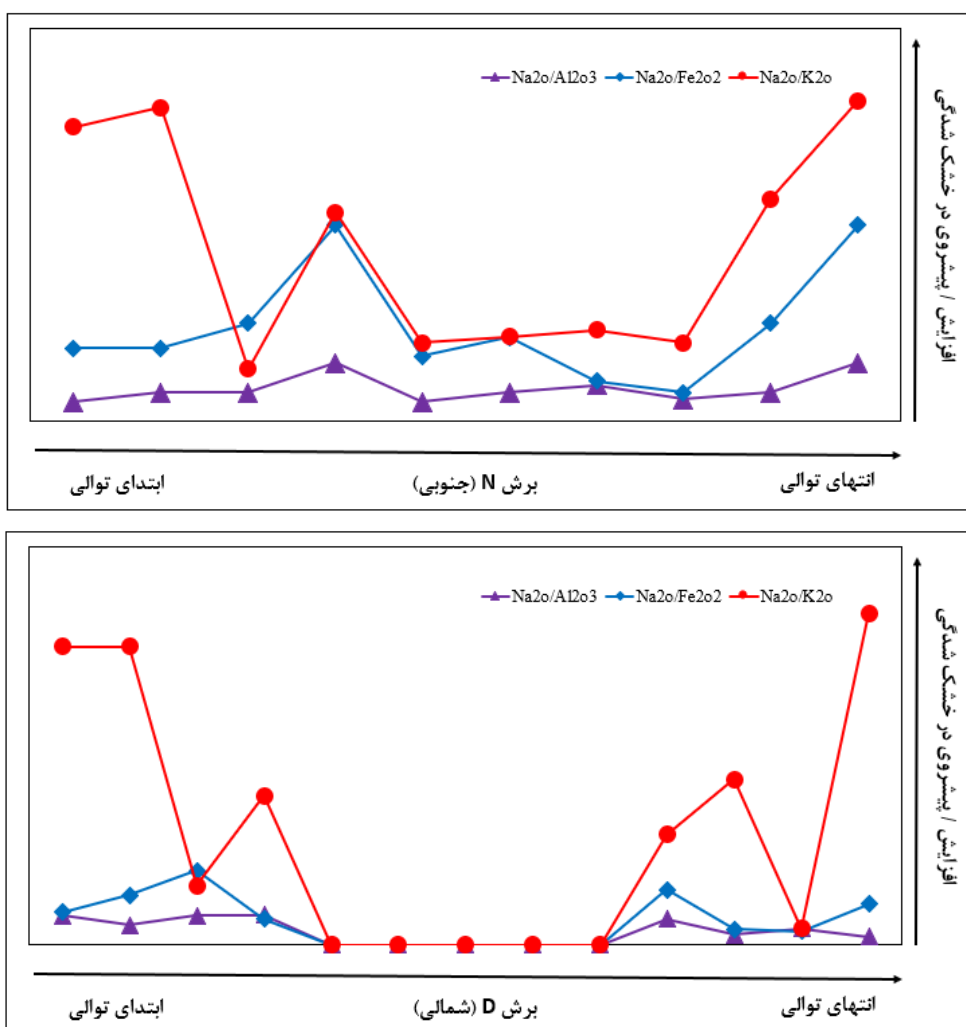


شکل ۸: نمودار نسبت‌های $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ در نهشته های بخش چهل سازند گچساران، خاور بندر خمیر.



شکل ۹: نمودار نسبت‌های Na_2O/K_2O در نهشته‌های بخش چهل سازند گچساران، خاور بندر خمیر.

با وجود همبستگی در نمودارهای سنگ چینه نگاری شیمیایی، این نمودارها به خوبی تفاوت موقعیت دیرینه را در نمونه‌های مختلف نشان می‌دهند. در نمونه‌هایی که نسبت اکسیدهای بیشتری را در نمودار شکل ۱۰ نشان می‌دهند، ورود اکسیدهای Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، TiO_2 و K_2O در زمان شکل‌گیری این نمونه از منابع غیر دریایی به حوضه کمتر از سایر نمونه‌ها بوده است. با این وجود نسبت‌های پایین‌تر اکسیدها در سایر نمونه‌ها لزوماً مربوط به ورود قابل توجه اکسیدهای Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، TiO_2 و K_2O از منابع غیر دریایی نیست. بلکه این داده‌ها نشان می‌دهد که رسوب‌گذاری کانی‌های تبخیری در شرایط خشک قابل توجه‌تر است. این نتیجه‌گیری زمانی محتمل است که موقعیت دیرینه نمونه‌های با نسبت اکسیدهای بیشتر، نزدیکی بیشتری به خشکی داشته باشد تا به دریای باز، و به‌طور مشابه موقعیت دیرینه سایر نمونه‌ها نزدیک‌تر به دریا باشد [۵۱] بنابراین با توجه به شکل ۱۰ میزان خشک شدگی و تغییرات حوضه در برش N (جنوبی) بسیار بیشتر می‌باشد. در ابتدای توالی کاهش شدید خشک شدگی وجود دارد در ادامه چندین افزایش و کاهش خشک شدگی کوچکتر قابل مشاهده است و بخش انتهایی توالی با افزایش شدید خشک شدگی مشخص می‌باشد، که می‌تواند نشان‌دهنده این مهم باشد که ارتباط حوضه نهشت تبخیری‌ها به‌طور موقت با دریا قطع شده است (شرایط پس‌رونده) اما عدم تشکیل هالیت نشان می‌دهد که حوضه در شرایط تشکیل سولفات باقی‌مانده است. از آنجاکه مقدار TiO_2 در نمونه‌های بندر خمیر ثابت است، تغییرات میزان K_2O ، Fe_2O_3 و Al_2O_3 تعیین‌کننده اقلیم دیرینه است. بدین ترتیب نمودار سنگ چینه نگاری شیمیایی تبخیری‌های بخش چهل سازند گچساران، دو مرحله پسروی آب دریا را در محیط نشان می‌دهد. با توجه به آنچه اشاره شد می‌توان گفت در زمان ته‌نشینی این تبخیری‌ها، گستره خاوری بندر خمیر، شرایط یک حوضه کم‌عمق حاشیه دریا را داشته است. رسوب‌گذاری کربنات‌ها در مرحله پیش روی دریا صورت گرفته است. شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک و افزایش تبخیر، باعث ایجاد سیکل پسروی شده و محیط سبخایی گسترش یافته است. ولی ارتباط حوضه با دریا کاملاً قطع نشده و قبل از تشکیل هالیت مجدداً به مرحله تشکیل کربنات بازگشته است. بنابراین در حوضه مورد مطالعه و در این بازه زمانی، شرایط خیلی گرم و خشک حاکم نبوده است. به نظر می‌رسد پسروی عمومی پس از بسته شدن کامل اقیانوس نئوتیس که بزرگترین رویداد کوهزایی سنوزوئیک بوده، سبب ایجاد چرخه‌های خشک شدگی شدید و خفیف در توالی سازند گچساران شده است.



شکل ۱۰: رابطه بین نسبت اکسیدها و میزان خشکی در نهشته های بخش چهل سازند گچساران در دو برش مورد مطالعه، خاور بندر خمیر.

۵- نتیجه گیری

سازند گچساران در خاور بندر خمیر شامل تناوب رخساره های تبخیری (ژیپس و انیدریت)، سنگ آهک و مارن است. تناوب موجود در این سازند نشان دهنده نوسان های سطح آب دریا است. نتایج ژئوشیمیایی نشان داد که اکسیدهای Fe_2O_3, K_2O, Al_2O_3 همبستگی منفی و CaO همبستگی مثبت را با SO_3 نشان می دهد. در مجموع چنین استنباط می شود که افزایش میزان CaO نشان دهنده غالب بودن شرایط برای سولفات ها بوده و از طرفی دیگر همبستگی منفی دیگر اکسیدها موید افزایش میزان شوری در حوضه است. بررسی نسبت اکسیدهای اصلی با میزان خشک شدگی محیط حاکی از نوسان زیاد آب و پسروری و پیشروی های متعدد می باشد. به نظر می رسد در زمان نهشته شدن تبخیری های بخش چهل سازند گچساران درگستره خاور بندر خمیر ۲ خشک شدگی یا پسروری واضح رخ داده است که در برش جنوبی این خشک شدگی شدیدتر بوده است. شرایط آب و هوایی گرم و خشک و افزایش تبخیر، باعث ایجاد سیکل پسروری شده و محیط سبخایی گسترش یافته است. ولی ارتباط حوضه با دریا کاملاً قطع نشده و قبل از تشکیل هالیت مجدداً به مرحله تشکیل کربنات بازگشته است. بنابراین در حوضه مورد مطالعه شرایط خیلی گرم و خشک حاکم نبوده است. داده های ژئوشیمیایی همچنین همبستگی منفی عناصر Zr, V, P, Ba را با افزایش میزان SO_3 نشان می دهد که این مهم نشان دهنده شرایط محیطی مناسب و آرام حوضه به طبع آن تشکیل لایه های ستر ژپسی می باشد. غلظت عناصر در برش شمالی نزدیک به نهشته

های سری هرمز دارای غنی شدگی و تغلیظ بالاتری نسبت به برش جنوبی می باشد که این نشان دهنده تاثیر مستقیم سنگ های متشکله سری هرمز بر ترکیب کمی و کیفی عنصر در تبخیری های بخش چهل گچساران است.

سپاس و قدردانی

از داوران مقاله آقای دکتر بهمن سلیمانی (استاد دانشگاه شهید چمران اهواز) و خانم دکتر فروغ عباساقی (دانش آموخته دکتری دانشگاه فردوسی مشهد) تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

- [1] امیری بختیار، ح.، نورائی نژاد، خ.، ۱۳۹۳. بازنگری چینه شناسی زاگرس: سازند های گچساران. ماهنامه علمی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۱۱، ص ۴۰-۴۵.
- [2] امیری بختیار، ح.، نورائی نژاد، خ.، ۱۴۰۰. چینه شناسی زاگرس، انتشارات شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب. ۱۰۹۱ ص.
- [3] آدابی، م. ح. ۱۳۹۰. ژئوشیمی رسوبی، انتشارات ارین زمین، ۴۴۸ ص.
- [4] باوی، ع.، موسوی حریمی، ا.، محبوبی، ا.، امیری بختیار، ح. ۱۳۸۸. تاریخچه رسوبگذاری سازند گچساران (پوش سنگ مخزن آسماری) در میدان نفتی آب تیمور، پژوهش نفت، شماره ۶۰، ص ۳۰-۴۳.
- [5] بیابانگرد، ح.، عالیان، ف.، بازآمد، م.، ۱۳۹۷. کانی شناسی، ژئوشیمی و منشأ کانه‌زایی آهن و مس در توالی آتشفشانی - رسوبی هرمز، گنبد نمکی زندان، بندر لنگه. مجله زمین شناسی اقتصادی جلد ۱۰، ص ۱۹۵ تا ۲۱۶.
- [6] گماشی، ا.، افشاریان نژاد، ا.، ۱۳۸۴. نقشه ۱:۱۰۰.۰۰۰ کهورستان، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [7] سالاری سرگرو، ش.، رضائی، پ. ۱۳۹۴. (مطالعه سنگ رخساره‌ها و محیط رسوبی سازند گچساران در باختر بندرعباس (برش کوه نمکی خمیر). پژوهش های چینه نگاری و رسوب شناسی، شماره ۳۱، دوره ۲، ص ۲۱-۳۴.
- [8] عالیان، ف. ۱۳۹۹. مطالعه ژئوشیمی نهشته های تبخیری سازند گچساران در جنوب خاوری زاگرس چین خورده، فروافتادگی بندر لنگه، رساله کارشناسی ارشد زمین شناسی، دانشگاه هرمزگان، ۱۲۲ ص.
- [9] لیاقت، م.، نورائی نژاد، م. ر.، آدابی، م. ح.، اقبال پور، ا. ۱۳۹۹. تفسیر ساختاری و محیط رسوبی سازند گچساران با تاکید بر توالی بخش ۱ این سازند در میدان نفتی گچساران، فروافتادگی دزفول جنوبی، مجله رسوب شناسی کاربردی، دوره ۸، شماره ۱۶، ص ۶۷-۹۱.
- [10] محمدیان، م.، لشگری پور، غ.، حافظی مقدس، ن.، غفوری، م. ۱۳۹۸. بررسی اثرهای محیط زیستی سازند گچساران در دشت میداوود، شرق خوزستان، فصلنامه علوم محیطی، دوره ۱۷، شماره ۱، ص ۵۷ تا ۷۲.
- [11] موسسه گیتاشناسی، ۱۳۹۸، اطلس راه های ایران، موسسه گیتاشناسی، ۳۲۴ ص.
- [12] موسوی حریمی، ر.، محبوبی، ا.، امیری بختیار، ح.، باوی عویدی، ع.، ۱۳۸۸، تاریخچه رسوب گذاری سازند گچساران (میوسن پیشین)) پوش سنگ مخزن آسماری (در میدان نفتی آب تیمور، پژوهش نفت، سال نوزدهم، شماره ۶۳، ۴ ص.
- [13] ABDIOĞLU, E., ARSLAN, M., AYDINÇAKIR, D., GÜNDOĞAN, İ., & HELVACI, C. 2015. Stratigraphy, mineralogy and depositional environment of the evaporite unit in the Aşkale (Erzurum) sub-basin, Eastern Anatolia (Turkey). *Journal of African Earth Sciences*, **111**: 100-112.
- [14] ABDIOĞLU, E., ARSLAN, M., HELVACI, C., GÜNDOĞAN, İ., TEMIZEL, İ., & AYDINÇAKIR, D. 2021. Geochemistry of Miocene evaporites from the Aşkale (Erzurum, Eastern Turkey) area: constraints for paleo-environment. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, **165**(165): 113-140.
- [15] AREF, M. A., & TAJ, R. J. 2018. Recent evaporite deposition associated with microbial mats, Al-Kharrar supratidal-intertidal sabkha, Rabigh area, Red Sea coastal plain of Saudi Arabia. *Facies*, **64**(4): 1-23.
- [16] BAHROUDI, A., & KOYI, H. A. 2004. Tectono-sedimentary framework of the Gachsaran Formation in the Zagros foreland basin. *Marine and Petroleum Geology*, **21**(10): 1295-1310.
- [17] BERNASCONI, S. M., MEIER, I., WOHLWEND, S., BRACK, P., HOCHULI, P. A., BLÄSI, H., ... & RAMSEYER, K. 2017. An evaporite-based high-resolution sulfur isotope record of Late Permian and Triassic seawater sulfate. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **204**: 331-349.
- [18] BRAITSCH, O. 1971. Salt Deposits: Their Origin and Compositions (p.297). *Springer-Verlag*.
- [19] DEAN W.E., G.R., DAVIES AND R.Y., ANDERSON. 1975. Sedimentological significance of nodular and laminated anhydrite, *Geology*, **3**: 367-372.

- [20] DEAN, W.E.1978. Trace and minor elements in evaporites. *In: Dean, W.E., Schreiber*
- [21] EL OUAHABI, M., EL IDRISSE, H. E. B., DAOUDI, L., EL HALIM, M., & FAGEL, N. 2019. Moroccan clay deposits: Physico-chemical properties in view of provenance studies on ancient ceramics. *Applied Clay Science*, **172**: 65-74.
- [22] FAULKNER, S. P., & RICHARDSON, C. J. 2020. Physical and chemical characteristics of freshwater wetland soils. *Constructed wetlands for wastewater treatment*, **42**: 41-72.
- [23] GALLET, S., JAHN, B.M., TORII, M.1996. Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications, *Chemical Geology*, **133**: 8.67-8.
- [24] GETENET, M., OTÁLORA, F., EMMERLING, F., AL-SABBAGH, D., & GARCÍA-RUIZ, J. M. 2023. Mineral precipitation and hydrochemical evolution through evaporitic processes in soda brines (East African Rift Valley). *Chemical geology*, **616**: 121222.
- [25] GHORBANI, M. 2019. Lithostratigraphy of Iran (p. 296). *Cham: Springer*.
- [26] GIL-MÁRQUEZ, J. M., BARBERÁ, J. A., ANDREO, B., & MUDARRA, M. 2017. Hydrological and geochemical processes constraining groundwater salinity in wetland areas related to evaporitic (karst) systems. A case study from Southern Spain. *Journal of Hydrology*, **544**: 538-554.
- [27] GÜNGÖR YEŞİLOVA, P., & YEŞİLOVA, Ç. 2021. Depositional basin, diagenetic conditions and source of Miocene evaporites in the Tuzluca Basin in Northeastern Anatolia, Turkey: Geochemical evidence. *Geochemistry International*, **59**(13): 1293-1310.
- [28] HÁTÚN, H., AZETSU-SCOTT, K., SOMAVILLA, R., REY, F., JOHNSON, C., MATHIS, M., ... & ÓLAFSSON, J. 2017. The subpolar gyre regulates silicate concentrations in the North Atlantic. *Scientific reports*, **7**(1):1-9.
- [29] HOLSER, W. T. 2018. Trace elements and isotopes in evaporites. *In Marine minerals. De Gruyter*.
- [30] KIRICHENKO, Y., RICKLI, J. D., BONTOGNALI, T. R., & SHALEV, N. 2024. Insights into stable strontium isotope fractionation in marine gypsum and its geochemical implications. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.
- [31] KOO, H., LEE, Y., KIM, S., & CHO, H. 2018. Clay mineral distribution and provenance in surface sediments of Central Yellow Sea Mud. *Geosciences Journal*, **22**(6): 989-1000.
- [32] LI, W., QIAN, H., XU, P., HOU, K., QU, W., REN, W., & CHEN, Y. 2023. Insights into mineralogical distribution mechanism and environmental significance from geochemical behavior of sediments in the Yellow River Basin, China. *Science of The Total Environment*, **903**: 166278.
- [33] LIEBERMAN, R. N., IZQUIERDO, M., CÓRDOBA, P., PALMEROLA, N. M., QUEROL, X., DE LA CAMPA, A. M. S., ... & JESÚS, D. 2020. The geochemical evolution of brines from phosphogypsum deposits in Huelva (SW Spain) and its environmental implications. *Science of The Total Environment*, **700**:134444.
- [34] MAHMOODABADI, R. M. 2020. Facies analysis, sedimentary environments and correlative sequence stratigraphy of Gachsaran formation in SW Iran. *Carbonates and Evaporites*, **35**(1): 25.
- [35] MASON, B., MOORE, C.B., 1982. Principles of Geochemistry.p(334). *Wiley, New York*.
- [36] NIEDER, R., & BENBI, D. K. 2024. Potentially toxic elements in the environment—a review of sources, sinks, pathways and mitigation measures. *Reviews on Environmental Health*, **39**(3): 561-575.
- [37] ÖZDEMİR, A., PALABIYIK, Y., KARATAŞ, A., & ŞAHINOĞLU, A. 2020. Mature petroleum hydrocarbons contamination in surface and subsurface waters of Kızılırmak Graben (Central Anatolia, Turkey): Geochemical evidence for a working petroleum system associated with a possible salt diapir. *Turkish Journal of Engineering*, **6**(1): 1-15.
- [38] PANDARINATH, K., PRASAD, S., GUPTA, S.K.1999. A 75-ka record of Palaeoclimatic changes inferred from crystallinity of illite from Nal Sarovar, western India. *Journal of the Geological Society of India*,v. **54**: 515-522.
- [39] PAUL, A., & LOKIER, S. W. 2017. Holocene marine hardground formation in the Arabian Gulf: Shoreline stabilisation, sea level and early diagenesis in the coastal sabkha of Abu Dhabi. *Sedimentary Geology*, **352**: 1-13.
- [40] PAULO, R. A., FOGG, G. E., GUO, Z., & HARTER, T. 2021. Anthropogenic basin closure and groundwater salinization (ABCSAL). *Journal of Hydrology*, **593**: 125787.
- [41] REHEIS, M.C.1990. Influence of climate and eolian dust on the major element chemistry and clay minerals of soils in the Northern Bighorn basin, USA, *Catena*, **17**:219-248.

- [42] REZAEE, P., KHANEHBAD, M., EZATIFAR, M., JOOYBARI, S. A., & HOSSEINI, K. 2020. Facies analysis, sedimentation conditions and geochemistry of clastic deposits of Ashin formation (Late Ladinian-Early Carnian), Northeast of Nain, East of Central Iran. *Iranian Journal of Earth Sciences*, **14**(3):221-240.
- [43] REZAEE, P., SALARI, SH., 2016. Petrography and mineralogy of Gachsaran formation in west of Bandar -E - Abbas, Kuh- E- Namaki Khamir section, south of Iran. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, **8**(2S):956-969.
- [44] RÖGNER, K., KNABE, K., ROSCHER, B., SMYKATZ-KLOSS, W., ZÖLLER, L. 2004. Alluvial loess in the Central Sinai: Occurrence, origin, and palaeoclimatological consideration, in Smykatz-Kloss, W., Felix Henningsen, P. (eds.), *Palaeoecology of Quaternary Drylands, Lecture Notes on Earth Sciences. Berlin Springer*, **4**: 79-99.
- [45] ROLLINSON, H. R., ROLLINSON, H., & PEASE, V. 2021. Using geochemical data: to understand geological processes. *Cambridge University Press*.
- [46] ROY, P.D., NAGAR, Y.C., JUYAL, N., SMYKATZ-KLOSS, W., SINGHVI, A.K. 2009. Geochemical signatu res of Late Holocene paleo-hydrological changes from Phulera and Pokharan saline playas near the eastern and western margins of the Thar Desert, India, *Journal of Asian Earth Sciences*, **34**: 275-286
- [47] SAEED, W., SHOOUAKAR-STASH, O., WOOD, W., PARKER, B., & UNGER, A. 2020. Groundwater and solute budget (a case study from Sabkha Matti, Saudi Arabia). *Hydrology*, **7**(4): 94.
- [48] SAKHAVATI, B., YOUSEFIRAD, M., MAJIDIFARD, M. R., SOLGI, A., & MALEKI, Z. 2020. Age of the Gachsaran Formation and equivalent formations in the Middle East based on foraminifera. *Micropaleontology*, **66**(5): 441-465.
- [49] SCHÜTT, B. 2004. The chemistry of playa-lake sediments as a tool for the reconstruction of Holocene environmental conditions - a case study from the central Ebro basin, in Smykatz-Kloss, W., Felix-Henningsen, P. (eds.), *Palaeoecology of Quaternary Drylands, Lecture Notes on Earth Sciences: Berlin, Springer*, **5**:5-30.
- [50] SMYKATZ-KLOSS, W., ROY, P.D. 2010. Evaporite mineralogy and major element geochemistry as tools for paleoclimatic investigations in arid regions: a synthesis, *Bol. Soc. Geológica Mex.*, **62**: 379-390.
- [51] SOLEIMANI, B., BAHADORI, A. 2014. The Miocene Gachsaran Formation evaporite cap rock, Zeloi, oilfield, SW Iran, *Carbonates Evaporites*, **34**:35-89.
- [52] SONNENFELD, P. 1985. Evaporites as oil and gas source rocks. *Journal of Petroleum Geology*, **8**: 253-271.
- [53] SZATMARI, P., DE LIMA, C. M., FONTANETA, G., DE MELO LIMA, N., ZAMBONATO, E., MENEZES, M. R., ... & GONTIJO, R. 2021. Petrography, geochemistry and origin of South Atlantic evaporites: The Brazilian side. *Marine and Petroleum Geology*, **127**:104805.
- [54] WARREN, L. V., DE ANDRADE, A. S. M., VAREJÃO, F. G., PROMENZIO, P., SANTOS, M. G., ALESSANDRETTI, L., & ASSINE, M. L. 2021. Sedimentary evolution of distributive fluvial systems within intraplate tectonic active basins: Case study of the Early Cretaceous Araripina Formation (Araripe Basin, NE Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, **111**: 103496.
- [55] WARREN, 2016, *Evaporites: A Geological Compendium, Springer*, 2016 M05 18 - 1813 pages
- [56] WEIBEL, R., FRIIS, H. 2004. Opaque minerals as keys for distinguishing oxidising and reducing diagenetic conditions in the Lower Triassic Bunter Sandstone, North German Basin. *Sedimentary Geology*, **169**:129-149.
- [57] WEIGHTMAN, E., CRAW, D., RUFAUT, C., KERR, G., & SCOTT, J. 2020. Chemical evolution and evaporation of shallow groundwaters discharging from a gold mine, southern New Zealand. *Applied Geochemistry*, **122**: 104766.
- [58] WEN, Y., SÁNCHEZ-ROMÁN, M., LI, Y., WANG, C., HAN, Z., ZHANG, L., & GAO, Y. 2020. Nucleation and stabilization of Eocene dolomite in evaporative lacustrine deposits from central Tibetan plateau. *Sedimentology*, **67**(6): 3333-3354.
- [59] WHITE, W. M. 2023. Isotope geochemistry. *John Wiley & Sons*.
- [60] WOOD, W. W. 2021. A Conceptual Overview of Surface and Near-Surface Brines and Evaporite Minerals The Groundwater Project, Guelph, Ontario, Canada. Domain Editors.
- [61] ZHANG, L., WANG, H., ZHANG, X., & TANG, Y. 2021. A Review of Emerging Dual-Ion Batteries: Fundamentals and Recent Advances. *Advanced Functional Materials*, **31**(20): 2010958.

نهشته های میو- پلیوسن در جزیره قشم (حوضه زاگرس) و منطقه میناب (حوضه مکران)

فرشته مهدی پور حسکوئی^۱، علی بهرامی^{۲*}، مهدی یزدی^۳

۱- دانشجوی دکتری چینه شناسی و فسیل شناسی، گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانشیار چینه شناسی و فسیل شناسی گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۳- استاد چینه شناسی و فسیل شناسی گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

*a.bahrami@sci.ui.ac.ir

دریافت آبان ۱۴۰۳، پذیرش اسفند ۱۴۰۳

چکیده

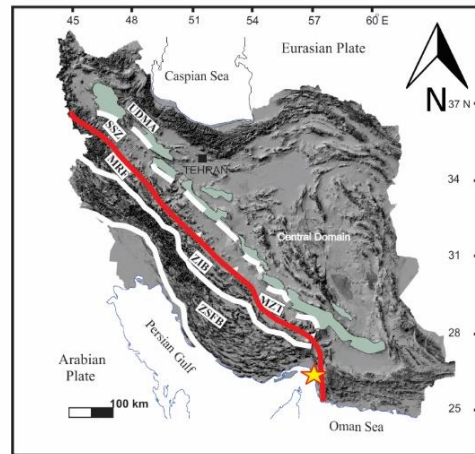
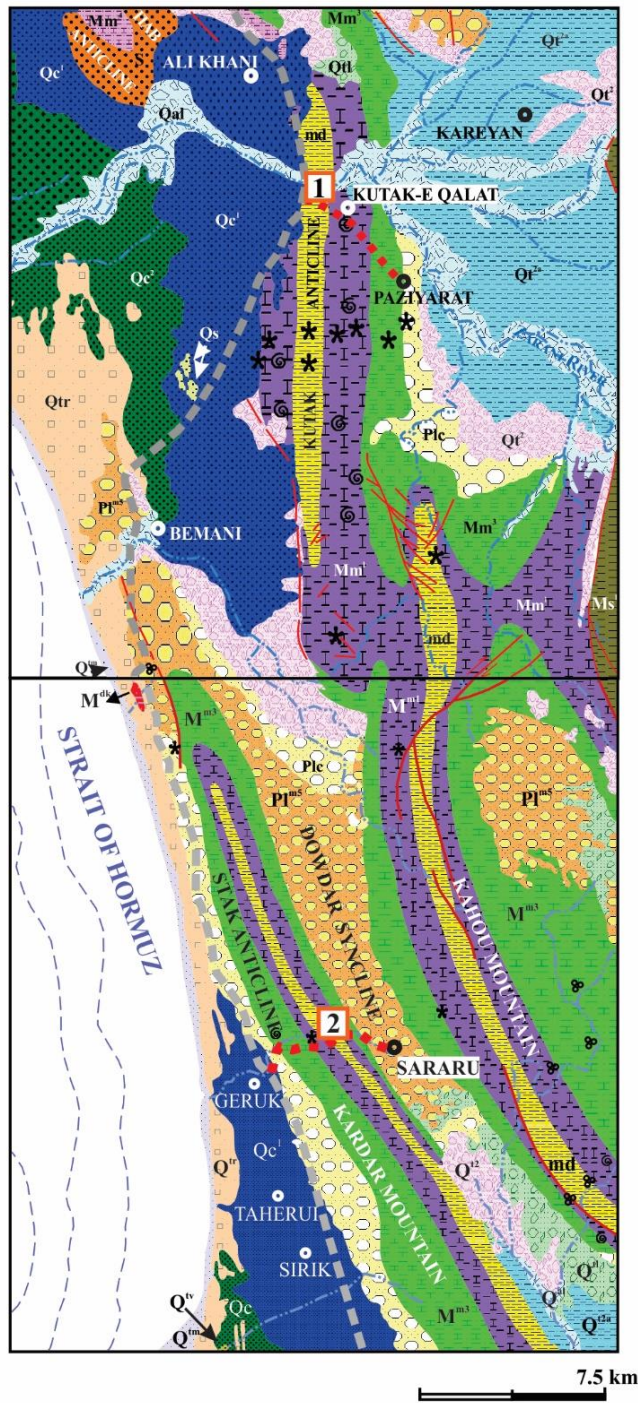
در این پژوهش رسوبات دریایی میو- پلیوسن در دو منطقه قشم و میناب، به لحاظ شرایط دیرینه محیطی، حدود سنی و آثار تافونومی مورد مطالعه قرار گرفته اند. رخنمون های دیرستان و کندالو در جزیره قشم و دو رخنمون بمانی و سیریک در منطقه میناب (بخش بالایی سازند میشان) دارای شباهت های رسوبی و زیستی هستند. در هر چهار رخنمون تجمع حجم عظیمی از اویسترها در رسوبات مارنی و آهکی به همراه دیگر موجودات مانند بالانویدها، مرجانها، بریوزوئرها، استراکودا، فرامینیفرها و غیره رخنمون دارند. حضور فرامینیفر *Bolivina spathulata* در نهشته های رخنمون بمانی بیانگر سنی در حدود اواخر مسینین (اواخر میوسن) در محیط دریایی کم اکسیژن در محدوده لبه شلف و بالای اسلپ، برای رخنمون بمانی می باشد، اما بر اساس فرامینیفرهای لایه های رخنمون سیریک، محدوده سنی آن احتمالاً متعلق به لائین تا مسینین و قدیمی تر از لایه های رخنمون بمانی می باشد. فراوانی موجودات پوشاننده (انکراسترهایی مانند بریوزوئرها) در رخنمون دیرستان و بمانی بیانگر محیط های دریایی کم عمق و مغذی، با انرژی کم و سرعت رسوبگذاری پایین هستند. از سوی دیگر، حضور مرجانها و اویستریدها (خصوصاً گونه *Hyotissa hyotis*)، به همراه فرامینیفرهایی مانند *Textularia* و *Elphidium agglutinans* و میلیولیدها در رخنمون دیرستان می تواند نشان دهنده محیط شلف داخلی و یا محیط پلانفرم کربناته مرجانی با اکسیژن بالا متصل به آب های آزاد باشد که در محدوده سنی پس از لائین تا پیش از عقب نشینی کامل دریا در زمان کوهزایی پاسادانین در منطقه دیرستان جزیره قشم باشد. حضور اویستریدهای با فرم های کشیده و پوسته های ستبر، مانند گونه *Crassostrea gryphoides* با آثار فرسایش زیستی از نوع تریپانیتس بیانگر محیط رسوبی پرانرژی با نرخ رسوبگذاری بالا، از جمله محیط های مصب رودخانه ای تحت تأثیر جزر و مد دریا در محدوده سنی معادل با رسوبات دیرستان می باشند.

کلید واژه ها: سازند میشان، آثار تافونومیک، مکران، میناب، جزیره قشم.

رسوبات دریایی میوسن به پلیوسن در منطقه قشم و میناب، به منظور بررسی تفاوت و شباهت به لحاظ دیرینه محیطی، حدود سنی و آثار تافونومی مورد مطالعه قرار گرفتند. تافونومی علمی است که به قوانین و شرایط موجود در هنگام دفن موجودات می‌پردازد و روشی را نشان می‌دهد که در آن فسیل‌ها حفظ می‌شوند به طوریکه می‌توانند به درک شرایط اقلیمی و محیطی گذشته کمک کنند [۹]. همچنین کاربرد دوکفه‌ای‌ها در مطالعات تافونومیک نتایج معنی‌داری را به همراه دارد، به طور مثال، اشنایدر-استورز و همکاران (۲۰۰۸) مطالعه‌ای را بر اساس آثار تافونومی به صورت مقایسه‌ای بین گونه‌های دوکفه‌ای مختلف، منتخب از تجمع توده‌های پوسته‌های محیط جزر و مدی عهد حاضر انجام داده و پیشنهاد دادند که نتایج مقایسه تافونومی مابین تاکساها و پروفیل‌های رسوبی مختلف می‌تواند به تفاوت‌های معنی‌داری مابین تاکساها و پروفیل‌ها بپردازد [۵۲]. گرچه در این مطالعه به حضور تمامی تاکساهای یافت شده در رسوبات مورد مطالعه توجه شده و هر کدام از آن‌ها به عنوان یک شاخصه دیرینه اکولوژیکی تفسیر می‌شوند، اما آثار تافونومیک یافت شده در مناطق مورد مطالعه، تنها بر روی دوکفه‌ای‌ها، به خصوص دوکفه‌ای‌های اویسترید مشاهده شدند.

به طور کلی، بخشی از نواحی مورد مطالعه، بر اساس مطالعات تکتونیکی در واقع ناحیه هرمز خوانده می‌شود که ناشی از نیروهای فشارشی صفحه عربستان به صفحه اورازیا، با یک ساختار منحنی شکل، راندگی اصلی زاگرس و راندگی پیشانی مکران را بهم متصل کرده و کمربند کوه‌های زاگرس و مکران با یک روند شمال-شمال غربی به هم پیوسته شده‌اند [۵۲]. از نقطه نظر چینه‌شناسی، در غرب حوضه مکران بیشتر از شیل و ماسه‌سنگ تشکیل شد [۱۶] و در حوضه زاگرس، عمدتاً رسوبات کربناته هستند [۵]. در جنوب خاوری حوضه زاگرس، مانند شمال بندرعباس و جزیره قشم عضو سنگ آهک گوری از سازند میشان از سنگ آهک مارنی با پوسته‌های اویسترها تشکیل شده‌اند [۴]. در مقاله حاضر به بررسی دو رخنمون دیرستان و کندالو در جزیره قشم و دو رخنمون بمانی و سیریک در منطقه میناب پرداخته شده است (شکل ۱ و شکل ۲).

این افق استرا دار در سازند میشان در مناطق کنار تخته (جاده کازرون)، بوشهر، جنوب غرب مکران (منطقه میناب-سیریک در هرمزگان) و در مناطق چاهریسه و دلجان در ایران مرکزی نیز دیده می‌شوند [۲]. میزان رسوبات کربناته در جزیره قشم بیشتر می‌باشند که متعلق به بخش بالایی سازند میشان هستند و میان لایه‌هایی از مارن‌های فسیل‌دار دارند. این مارن‌های فسیل‌دار معمولاً در مناطق اطراف سیریک در نزدیکی جاده میناب به سمت روستای سرارو و نیز به سمت روستای کوتک کلات، دارای افق‌های اوسترا دار می‌باشند. در منطقه مکران، نهشته‌های میوسن-پلیوسن، بیشتر رخسارهای آواری دارد. نهشته‌های میوسن مکران در حوضه رسوبی نهشته شده‌اند که به سمت جنوب و باختر ژرفای کمتری داشته و از شمال نیز محدود به خشکی بوده است. این نهشته‌ها که در محیط‌های نریٹیک نهشته شده‌اند از خاور گسل میناب تا مرز پاکستان رخنمون دارند [۱، ۴۰]. منطقه مکران و جزیره قشم، تاکنون در زمینه شرایط دیرینه محیطی، دیرینه جغرافیایی مورد بررسی قرار نگرفته‌اند یا اینکه بصورت محدود مطالعه گردیده‌اند. [۲، ۳، ۵، ۱۵، ۴۸].



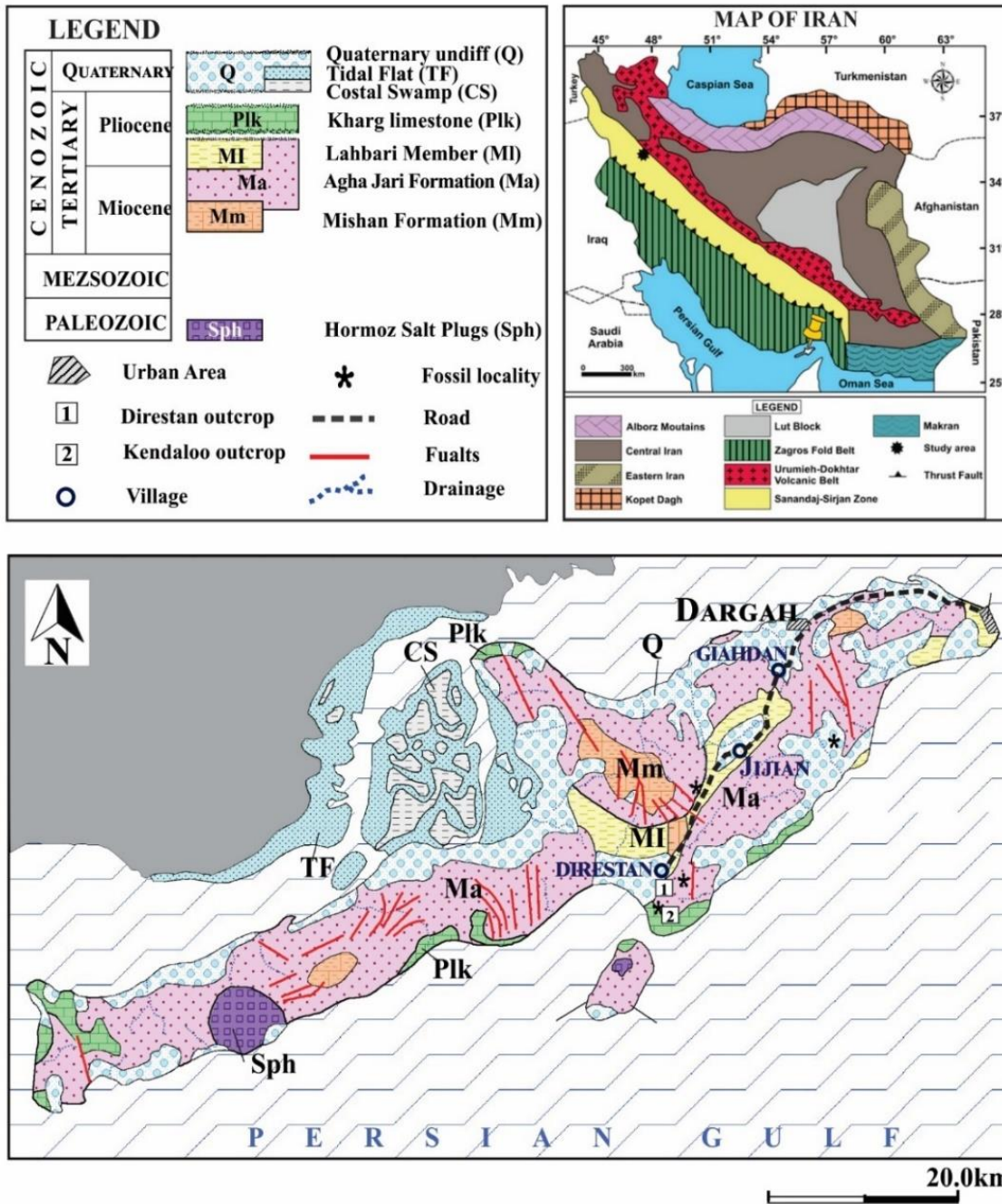
MRF - Main recent Fault SSZ - Sanandaj - Sirjan Zone
 ZSFB - Zagros simply folded belt ZIB - Zagros imbricate belt
 UDMA - Uromyeh - Dokhtar metamorphic arc MZT - Main Zagros Thrust

LEGEND

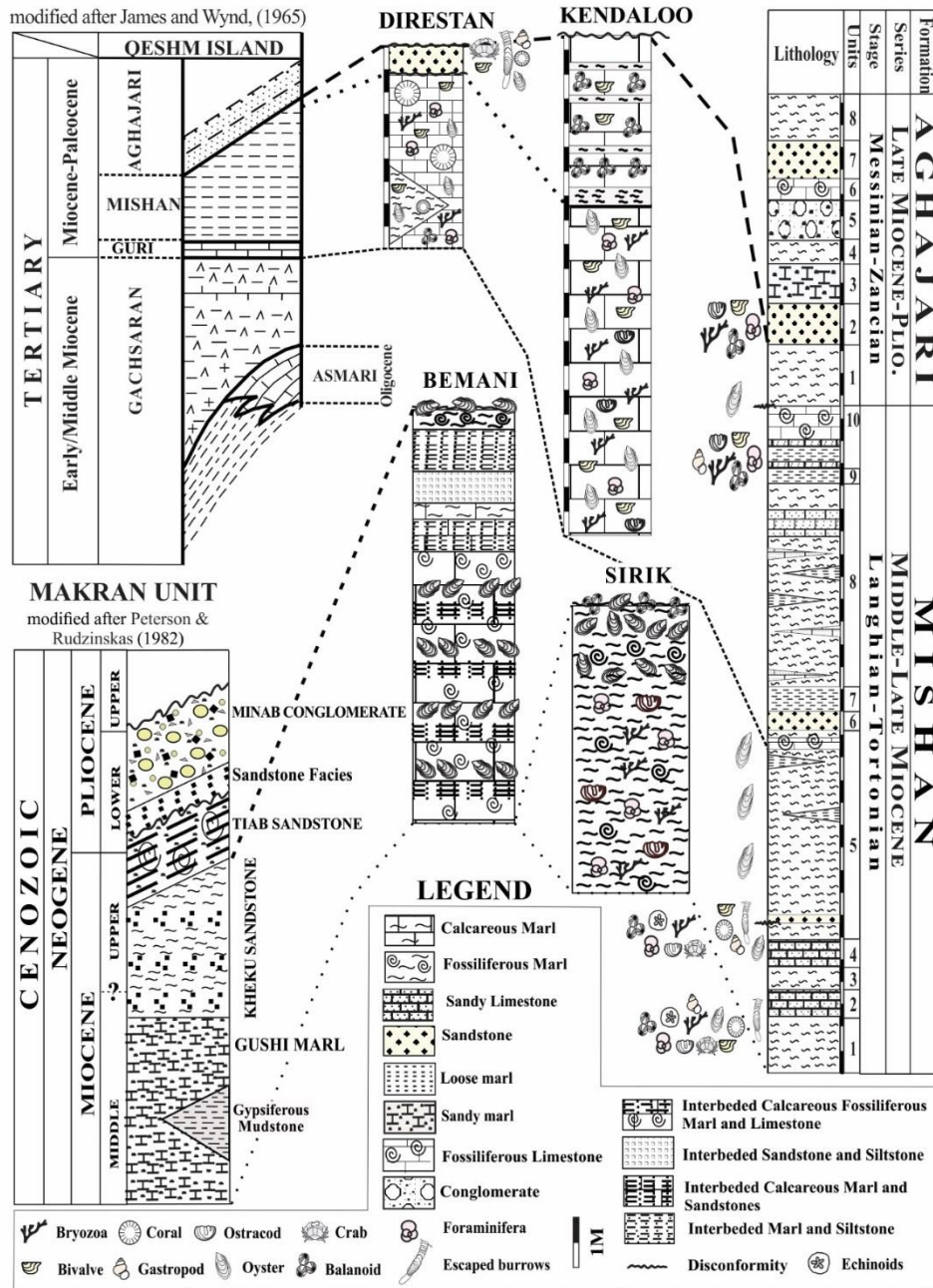
CENOZOIC	QUATERNARY	
	PLIOCENE	UPPER
NEOGENE	PI ^{bk}	Bakhtyari Formation, Conglomerate and sandy and marly conglomerate.
	PI ^{m5}	MINAB COGLOMERATE Polymictic conglomerate, pebble beds and coarse grained, red-brown sandstone.
	S	Sandstone facies
	Mm ⁴	TIAB SANDSTONE Red-brown sandstone, fissile mudstone and beach limestone.
MIOCENE	Mm ³	KHEKU SANDSTONE Thinly bedded siltstone and sandstone with mudstone, limestone & minor pebble conglomerate
	Mm ¹	GUSHI MARL Gypsiferous and calcareous marl, with interbedded siltstone and sandstone.
	md	Mudstone - gypsiferous mudstone with minor siltstone and sandstone

- 1 Bemani outcrop
- 2 Sirik outcrop
- Village/Town
- * Fossil locality in general
- ⊗ Microfossil locality
- ⊙ Macrofossil locality
- River/Drainage
- ⋯ Byroad
- Main Road
- Fault, position definite
- - - Fault, position approximate
- ↔ Strike-slip Fault

شکل ۱: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه در نزدیکی شهرستان میناب، هرمزگان، ایران (با اندکی تغییر [۴۹])، که در آن رخنمون بمانی و سیریک به ترتیب با شماره‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۲: نقشه زمین شناسی جزیره قشم، خلیج فارس، ایران (با کمی تغییر بعد از [۲۰])، که در آن رخنمون دیرستان و کندالو به ترتیب با شماره های ۱ و ۲ نشان داده شده اند.



شکل ۳: ستون چینه‌ای ترسیم شده از معادل سازی تمامی لایه‌ها و رخنمون‌های مورد مطالعه با استفاده از [۴۹] و [۲۱].

۲- موقعیت زمین‌شناسی

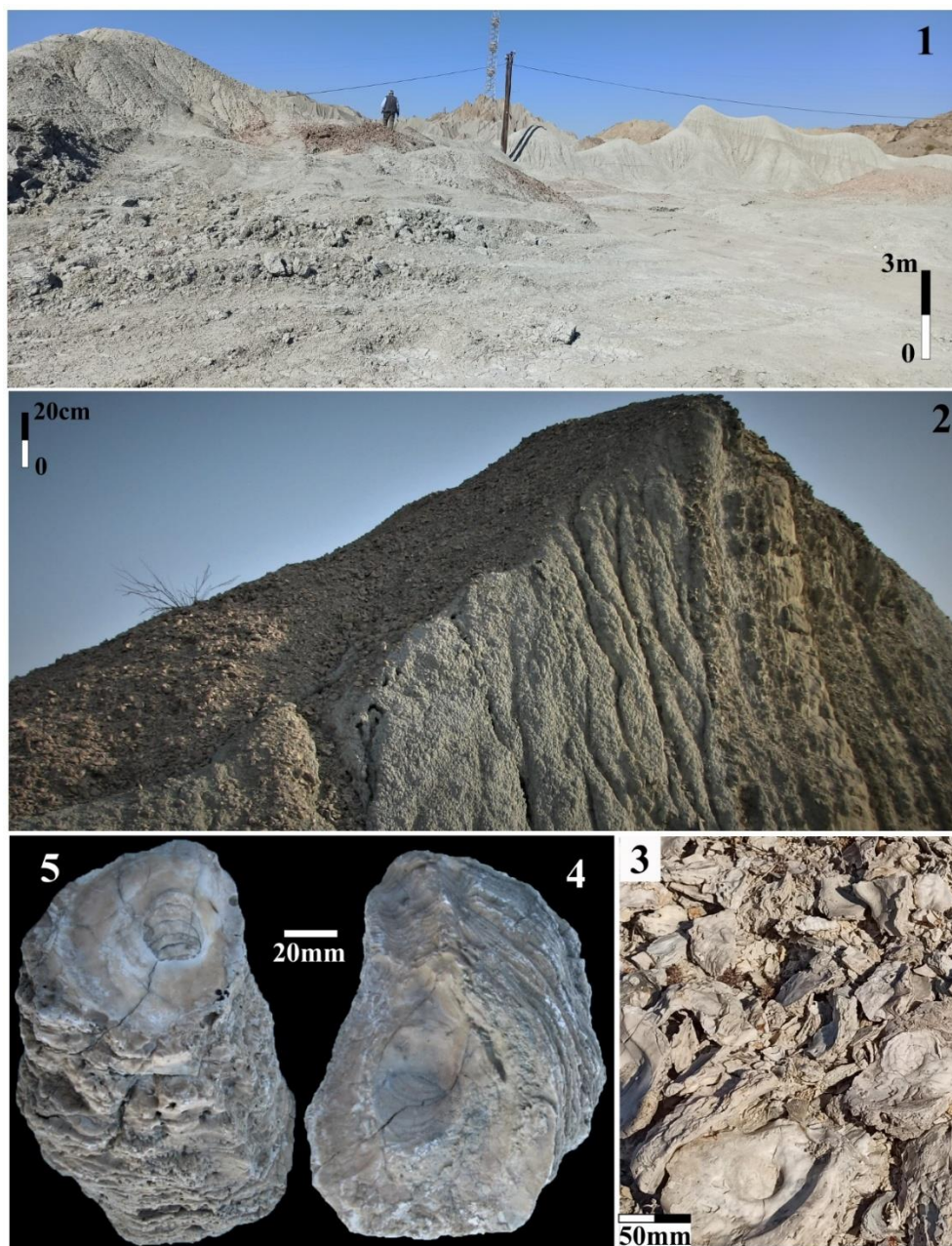
در این مطالعه چهار رخنمون در استان هرمزگان، که به طور رسمی جزو بخش جنوبی پهنه ساختاری-رسوبی زاگرس محسوب می‌شود، مورد مطالعه قرار گرفتند، و در نتیجه این مطالعات یک برش رسوبی کامل از تمامی آن‌ها ارائه گردید (شکل ۳). در منطقه میناب رخنمون‌ها عبارتند از رخنمون سیریک (شکل ۴-۱)، در مسیر بین روستای سرارو و شهر سیریک که از توابع شهرستان میناب محسوب می‌شوند، با مختصات جغرافیایی $37^{\circ} 37' 00''$ شمالی و $57^{\circ} 08' 01''$ شرقی قرار دارد. در این رخنمون رسوبات نرم و سست مارنی به رنگ خاکستری تیره تا حدود ۱۰ متری جاده ادامه دارند و مابین این رسوبات یک لایه قطور غنی از اویسترها به صورت تپه‌هایی از صدف (اویستر بار) دیده می‌شوند که در بالاتر از ۱۰

متر از جاده تبدیل به لایه های بالانوییدار می شوند. رخنمون بمانی (شکل ۴-۲)، که در جاده میناب به سمت روستای بمانی، در نزدیکی روستای کوتک کلات با مختصات جغرافیایی $26^{\circ} 55' 42''$ شمالی و $57^{\circ} 07' 25''$ شرقی واقع شده است (شکل ۱)، اما در کنار جاده میناب نیز می توان امتداد لایه های این رخنمون را با فاصله ۱۰۰ تا ۲۰۰ متری از جاده در محلی در امتداد محور آنتی کلاین دنبال کرد. در امتداد این لایه ها همانند محل رخنمون اصلی کنار جاده روستای کوتک کلات، اویستر بارها که لایه هایی به شکل تپه هایی حدوداً ۳ متر عرض و ۵ متر ارتفاع هستند را قابل مشاهده می باشند. در رخنمون بمانی اویستر بارهای عظیم با ارتفاع حدود ۱۰ متر یا بیشتر وجود دارد و در این رخنمون به غیر از سنگواره صدف های اویسترید، آثار ایکنوفسیل ها بر روی رسوبات آهکی میان لایه ای رسوبات مارنی به ندرت یافت می شوند. در این رخنمون لایه های آهکی سخت به همراه لایه های مارنی و لایه های مملو از اویسترها به صورت ممتد و متناوب مرتباً تکرار شده اند. نمونه های مورد مطالعه از منطقه میناب- سیریک در این مقاله از مارن هایی موسوم به "گوشی مارل" از واحد چینه شناسی "مکران" برداشته شده اند. مک کال (۲۰۰۲) سن میوسن پسین را برای این مارن ها پیشنهاد داده است [۳۰] و عنوان کرده که این نهشته ها در بخش غربی ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ میناب و طاهروی بروزد دارند (شکل ۱). واحد "گوشی مارل" توسط "ماسه سنگ خکو" در منطقه میناب و طاهروی پوشیده شده و متشکل از مارن های گچی و آهکی، دارای میان لایه های سیلستون و ماسه سنگ می باشد. به لحاظ ساختاری، چهارگوش طاهروئی (ناحیه مورد مطالعه در منطقه میناب) نیز، مقهور الگوهای کلی تکتونیکی اوج فاز کوهزائی آلپی در میانه میوسن است [۴۹].

رخنمون ها در جزیره قشم عبارتند از رخنمون دیرستان (شکل ۵-۱)، در جنوب روستای دیرستان با مختصات جغرافیایی $26^{\circ} 44' 14''$ شمالی و $55^{\circ} 56' 07''$ شرقی، و رخنمون کندالو (شکل ۶-۱)، که در نزدیکی سه راهی بین اسکله کندالو-روستای دیرستان و روستای شیب دراز با مختصات جغرافیایی $26^{\circ} 41' 42''$ شمالی و $55^{\circ} 55' 31''$ شرقی قرار دارد (شکل ۲). در رخنمون کندالو از فاصله ۳ متری از جاده لایه های توده ای از اویسترها به رنگ سفید (اویستر بار) آغاز می شود، و تا چندین متر لایه رسوبات آواری آهکی با اویسترهای دارای اندازه های تقریباً بزرگ یافت می شود (شکل ۶-۶). این اویسترها بسیار شبیه به اویسترهای نزدیک به جاده میناب-بمانی می باشند (شکل ۴-۳).

در رخنمون دیرستان، بخش مارنی بالایی سازند میشان با یک ناپیوستگی موازی در زیر یک لایه طوفانی قرار گرفته اند، که در این منطقه به عنوان شروع سازند آغاچاری در نظر گرفته شده است. در این رخنمون بقایای زیستی خوب حفظ شده ای از بی مهرگان متنوع خصوصاً بریوزوئرها که به سن میوسن میانی، اشکوب لانژین از حوضه پاراتتیس نیز گزارش شده اند [۵۱]، حضور دارند. پرست و همکاران (۱۳۹۹) بر این باورند که این نهشته ها همزمان با قبل از کوهزایی پاسادانین نهشته شده و وجود بقایای خوب فسیل شده دوکفه ای ها به ویژه پکتن ها و کالامیس ها به همراه مرجانها (شکل ۵-۲) در افق های بعد از افق استرا دار در دیرستان حاکی از حضور سواحل ماسه ای و نزدیک به ساحل را در منطقه دیرستان در زمان میوسن پسین را نشان می دهد [۲]. همچنین، وجود لایه غنی از بالانوس به همراه دوکفه ای ها، بریوزوئرها، خارپوستان و قطعات خرچنگ ها قبل از شروع آغاچاری را تأییدی بر یک چرخه رسوبی کم عمق شونده در اواخر میوسن و قبل از شکل گیری منطقه یا کوهزایی آلپی می دانند [۲]. در این رخنمون دو افق از بخش بالایی سازند میشان و یک افق از سازند آغاچاری

مطالعه گردیده اند و مرجان‌های کلنی، انفرادی شاخی شکل، دوکفه‌ای حفار از فولادیدها به راحتی قابل مشاهده می باشند (شکل ۵-۴).



شکل ۴: تصاویری از رخنمون‌های منطقه میناب، استان هرمزگان، ایران. ۱- رخنمون سیریک از نمای رو به شمال غربی؛ ۲- رخنمون پمانی از نمای رو به جنوب شرقی؛ ۳- نمایی بسته از اویستر بار در نزدیکی جاده میناب-سیریک؛ ۴-۵- یک نمونه *Ostrea lamellosa* (Brocchi, 1814) از رخنمون سیریک. ۴: نمای داخلی کفه چپ؛ ۵: نمای خارجی کفه چپ (OS-MS9)؛ نمونه کاملاً فرسوده و شکسته شده است که میتواند بیانگر حمل پس از مرگ در یک محیط پرانرژی باشد.

۴- روش مطالعه

در این مطالعه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ طاهروی، میناب و بندرعباس و با انتخاب نقاط اصلی در چندین بازدید صحرایی نمونه‌ها برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. پس از شستشوی نمونه‌ها، با استفاده از میکروسکوپ

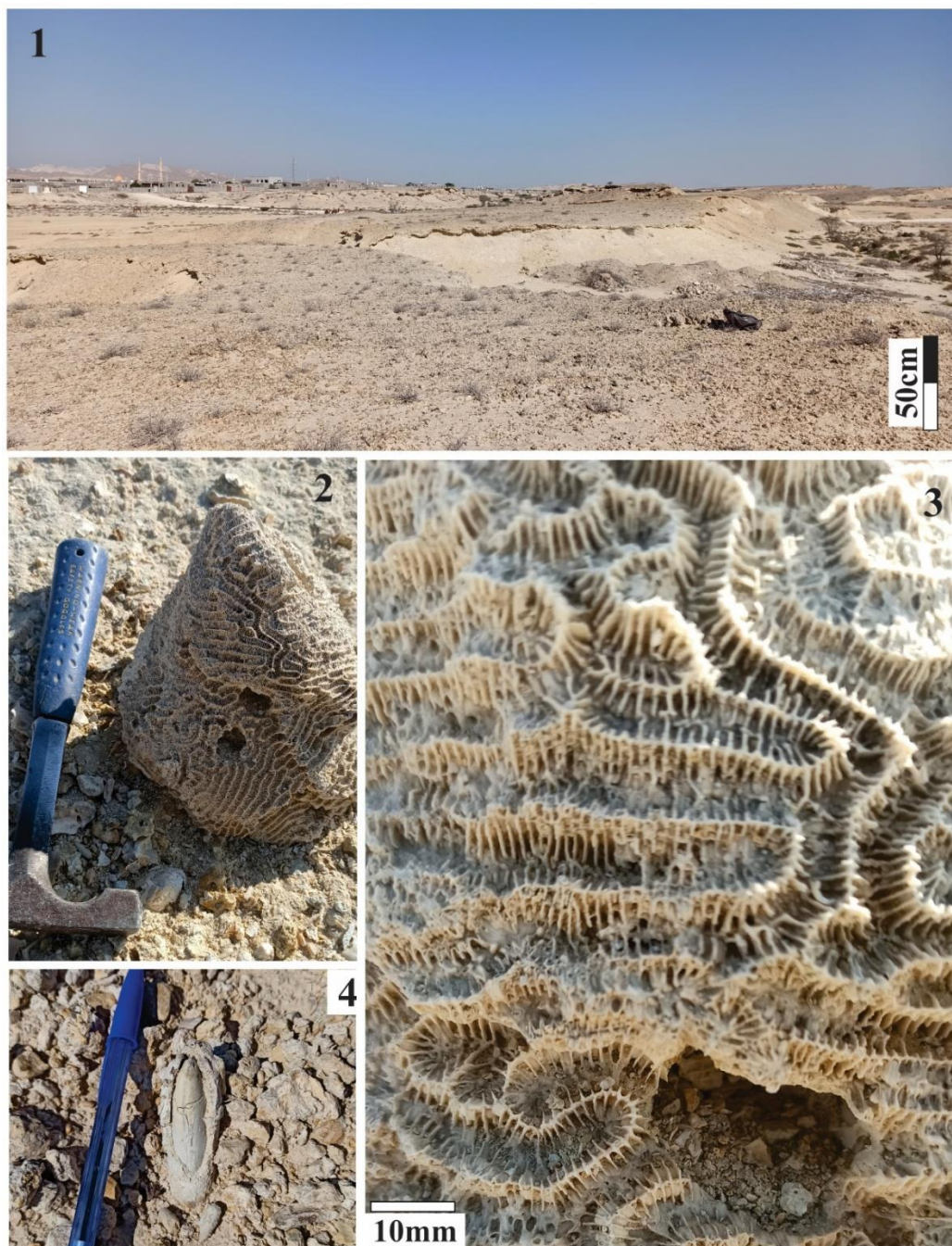
پلاریزان، سطوح داخلی و خارجی دوکفه‌ای‌ها به منظور بررسی آثار تافونومی مورد مطالعه قرار گرفته و سپس با استفاده از میکروسکوپ بینوکولار دیجیتال در آزمایشگاه ترموکرونومتری گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان از این آثار عکسبرداری شد. نمونه میکروفسیل‌های مورد مطالعه نیز، پس از شستشوی رسوبات، با دقت جداسازی، شناسایی، و شماره‌گذاری شده، سپس بر روی استاب قرار گرفت و با استفاده از روش SEM از آنها عکسبرداری شد. در شماره‌گذاری نمونه‌ها علائم اختصاری برای مکان‌ها میناب (M)، قشم (Q)، دیرستان (D)، کندالو (K)، بمانی (B)، سیریک (MS) و برای اویستریدها (OS)، پکتیدها (PC)، کلامیدها (CL)، مرجان‌ها (Cr)، بریوزوئرها (Br)، و برای فرامینیفرها (Frm) می‌باشد. تمامی این نمونه‌ها در دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم، موزه گروه زمین‌شناسی نگهداری می‌شوند.

۵- بحث

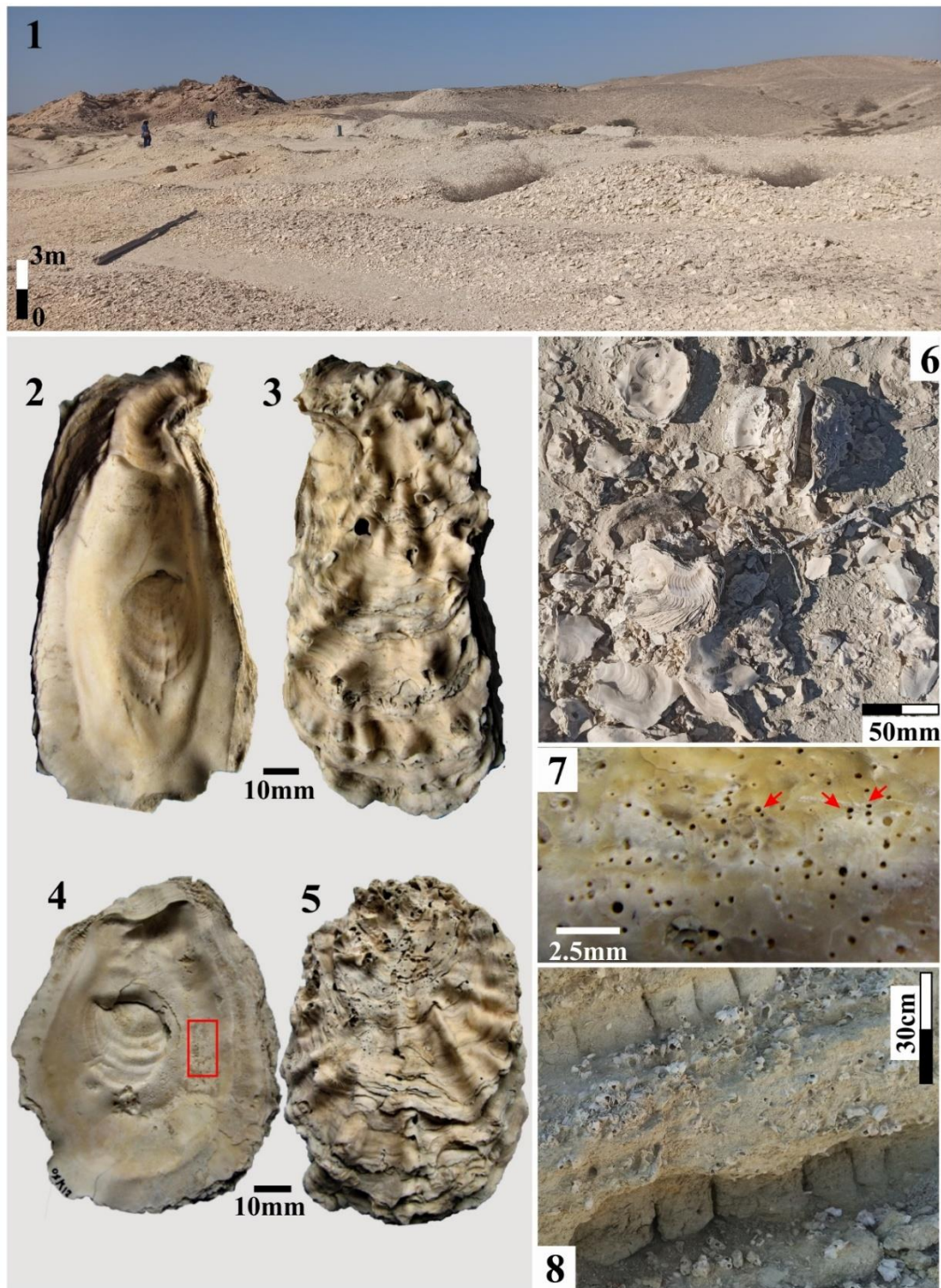
زندگی یک موجود زنده توسط طیف وسیعی از فرآیندهای فیزیولوژیکی کنترل می‌شود. این‌ها معمولاً فقط تحت در محدوده نسبتاً مشخص از شرایط محیطی می‌توانند زندگی کنند و هر موجود زنده ویژگی‌های خاص در برابر عواملی مانند اکسیژن، دما و شوری دارد [۹]. این جایگاه محدوده اکولوژیکی آن است که توسط پارامترهای فیزیکی و بیولوژیکی چندگانه کنترل می‌شود و شرایط خاصی را در فضای اکولوژیکی برای آن گونه مشخص می‌کند [۹].

برخی از عواملی که نقش مهمی در تعیین حدود جایگاه ویژه گونه دارند را عوامل محدودکننده می‌گویند که عبارتند از، ۱- میزان اکسیژن که ارتباط مستقیم با عمق آب دارد، مثلاً محیط‌های کم عمق به دلیل آشفته‌گی آب دارای اکسیژن بیشتری هستند. جانوران کفزی صدف‌دار مانند دوکفه‌ای‌ها، گاستروپودها و... به شدت به میزان اکسیژن حساس هستند و با کاهش سطح اکسیژن، تنوع خود را کاهش داده و در رخساره‌های بی‌اکسیژن به ندرت یافت می‌شوند. ۲- دمای محیط، که یکی از فراگیرترین تأثیرات بر توزیع موجودات است زیرا ارتباط مستقیم با میزان نور و موقعیت جغرافیایی محیط دارد، معمولاً اکثر بی‌مهرگان دریایی در محدوده دمایی ۱.۷- تا ۳۰ درجه سانتیگراد زندگی می‌کنند. ۳- میزان شوری، که به اتصال یا عدم اتصال به آب‌های آزاد بستگی دارد، زیرا بیشتر آب‌های اقیانوس‌ها دارای سطوح نسبتاً یکنواختی از شوری هستند که اکثر جانوران دریایی به خوبی با آن سازگار هستند.

بیشتر اقیانوس‌ها و دریاها دارای آب دریا با شوری در محدوده ۳۰-۴۰ پی پی ام (بخش در هزار نمک‌های محلول در آب دریا) هستند، که تنوع جانوران عموماً در این محدوده در بالاترین حد است و با شوری بیشتر یا کمتر این تنوع و حضور جانوران مختلف کاهش می‌یابد. ۴- مواد مغذی که مهمترین آن‌ها نیتروژن و فسفر هستند و در شرایطی که جریانات توربیدایتی و آشفته، یا معمولاً بالا آمدگی سطح بستر ناشی از ناآرامی‌های تکتونیکی وجود دارد، عرضه مواد مغذی زیاد است و سطوح بالایی از تولید جدید و تراکم زیستی وجود دارد [۹].



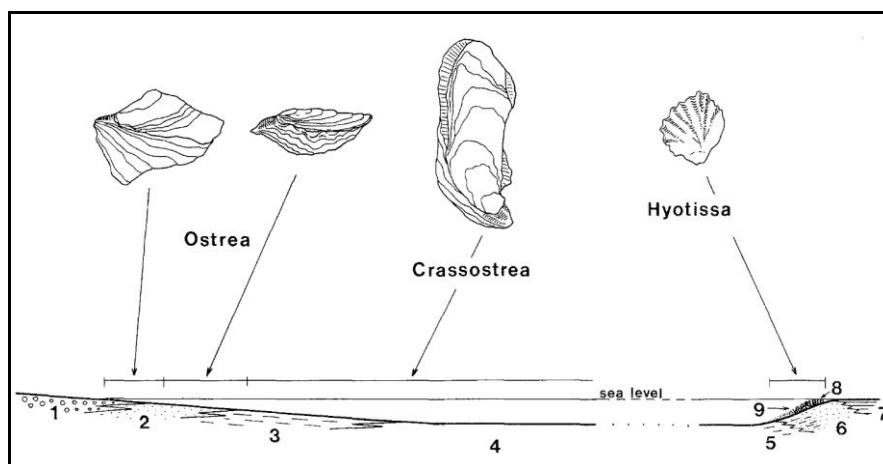
شکل ۵: تصاویری از رخنمون دیرستان، جزیره قشم، استان هرمزگان، ایران. ۱- رخنمون دیرستان از نمای رو به شرق تا شمال شرقی. توجه داشته باشید توپوگرافی رخنمون یادآور منطقه ریف مرجانی است با توجه به اینکه توده‌های کلنی مرجانی به صورت پتچ ریف فقط در امتداد این لایه یافت می‌شوند؛ ۲- نمای کلی کلنی مرجان *Platygyra daedalea* (Ellis and Solander, 1786)؛ ۳- نمایی بسته از که کورالیت‌ها تکی یا چندگانه (D-Cr-1). ۴- نمایی بسته از یک نمونه قالب داخلی از یک دوکفه‌ای فولادید که در حفره درون رسوبات به دام افتاده و دفن شده بوده است.



شکل ۶: تصاویری از رخنمون کندالو، جزیره قشم، استان هرمزگان، ایران. ۱- رخنمون کندالو از نمای رو به شمال غربی؛ ۲-۳- *Crassostrea gryphoides* (Schlotheim, 1813): ۲: نمای داخلی کفه چپ؛ ۳: نمای خارجی کفه چپ (OSK28)؛ ۴-۵- *Hyotissa virleti* (Deshayes, 1900). ۴: نمای داخلی کفه راست (نمای بسته داخل مستطیل قرمز را در شکل ۷ ببینید)؛ ۵: نمای خارجی کفه راست (OSK12)؛ ۶- نمایشی بسته از لایه رسوبات آواری آهکی به صورت خرده صدف‌های اویسترید (اویستر بار)؛ ۷- نمایشی بسته از شکل ۴ که در آن آثار فرسایش زیستی به صورت عدد هشت انگلیسی (فلش‌های قرمز)، بیانگر ایکتوجنس *Trypanites* (Mägdefrau, 1932) قابل مشاهده هستند؛ ۸- نمایشی بسته از لایه‌های متناوب مارن و مارن آهکی بالانوییدار که به طور مستقیم در بالای لایه رسوبات آهکی آواری (اویستر بار) نهشته شده‌اند.

۱-۵- اویستریداها

دوکفه‌ای‌ها اویسترید معمولاً به صورت طیفی از انواع ایستاده^۱ تا خوابیده در رسوبات دیده می‌شوند (شکل ۷) که این مورد بازتابی از کاهش نرخ رسوبگذاری حوضه در طی دوران زندگی آن‌هاست [۲۷، ۴۵، ۴۶]. به گونه‌ای که فرم‌های کشیده با پوسته‌های به نسبت سبتر که به صورت عمود درون رسوبات قرار گرفته، و در محیط‌های با نرخ رسوبگذاری بالا و پراثری دیده می‌شوند (مانند *Crassostrea gryphoides* در محیط مصب رودخانه‌ای). فرم‌های فنجان‌ی شکل بزرگ با پوسته‌های سبتر که به صورت خوابیده و آزاد روی کف بستر زیست می‌کنند نشانگر محیط‌های با نرخ رسوبگذاری کم و اثری پایین‌تر هستند (مانند *Hyotissa hyotis* در محیط‌های مرجانی). با افزایش ژرفا و در پی آن کاهش بیشتر نرخ رسوبگذاری و اثری محیط، به تدریج فرم‌های فنجان‌ی شکل کوچک و در پایان انواع مسطح با پوسته‌های نازک‌تر نمود می‌یابند [۴]. به طور کلی، در رخنمون دیرستان توده‌های مرجانی به صورت پیچ ریف‌ها، با حضور تنها یک گونه کلنی مرجان *Platygyra daedalea* (به سن میوسن تا عهدحاضر) در کنار پوسته صدف اویسترید گونه *Hyotissa hyotis* (Linnaeus) می‌تواند نشان دهنده محیط پلاتنفرم کربناته مرجانی باشد. این مرجان برای اولین بار از میوسن مکران ایران توسط مک کال ۱۹۹۴ گزارش شده [۲۹، ۵۳] و در دریا‌های امروزی مانند خلیج فارس [۲۴] اندونزی و ایندوپسیفیک زیست می‌کند [۶۱، ۵۵].

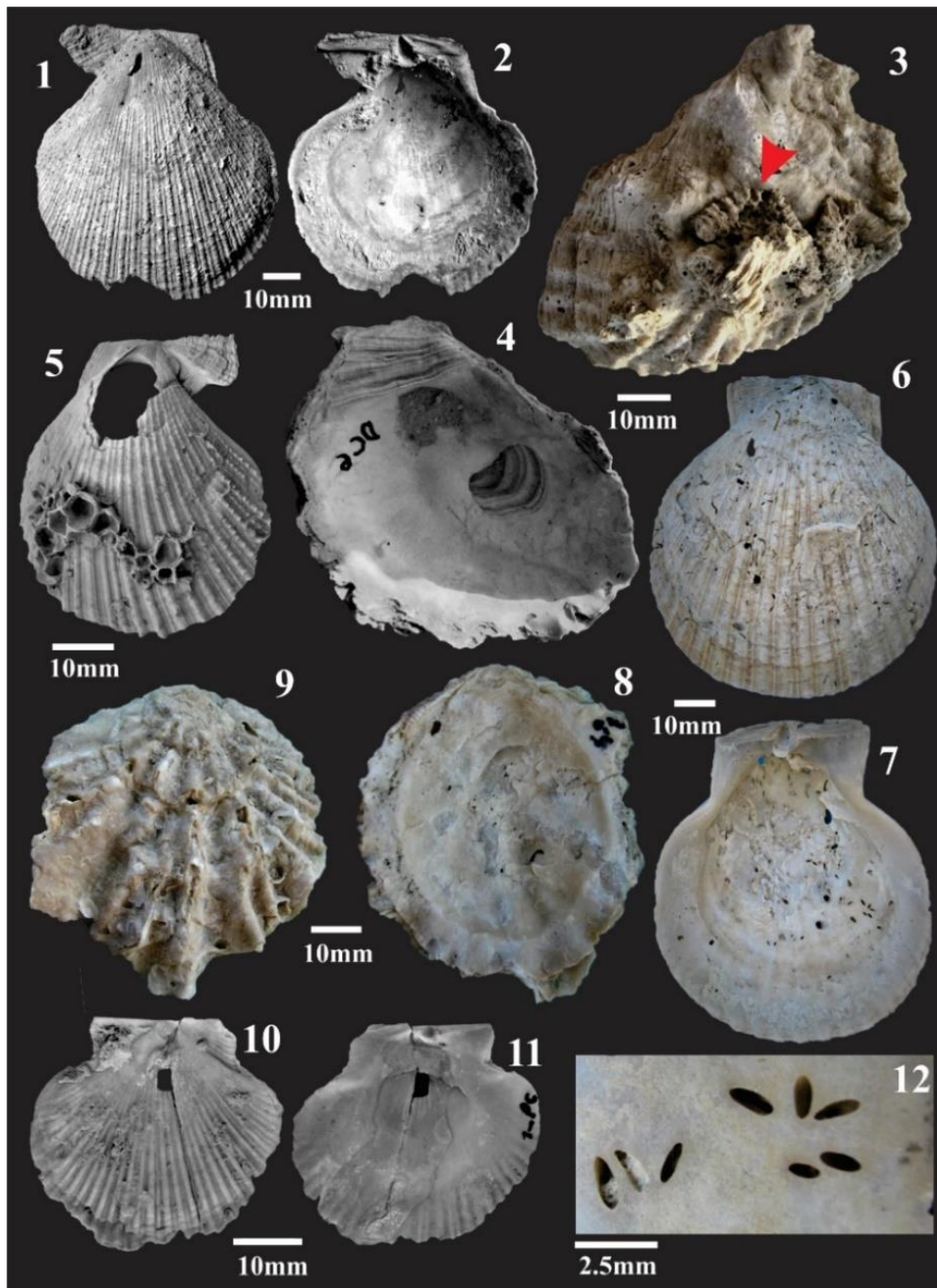


شکل ۷: پراکندگی جنس‌های غالب اویستریدها در بخش داخلی فن دلتا تا درون حوضه (سمت چپ) و در یک پتچ ریف بر روی یک دلتا (راست)، در زمان تورتنین بالایی منطقه آلمانزورا کوریدور. ۱- زون داخلی فن دلتا؛ ۲- زون میانی فن دلتا؛ ۳- زون بیرونی فن دلتا؛ ۴- درون حوضه؛ ۵- پرودلتا؛ ۶- جلوی دلتا؛ ۷- دشت دلتا؛ ۸- مرکز ریف؛ ۹- ریف تالوسی. فاقد مقیاس [۲۲].

۲-۵- پکتینیدها

تنها رخنمون از بین چهار رخنمون مورد مطالعه که دارای دوکفه‌ای‌های پکتینید می‌باشد (شکل ۸)، رخنمون دیرستان است که به ترتیب دربردارنده جنس‌های ذیل بوده و محیط دیرینه پیشنهاد شده برای آن‌ها بدین شرح است [۴۵]: (۱) جنس آرگوپکتن: در دریا‌های گرمسیری، نیمه گرمسیری و معتدل گرم زیست می‌کند [۱۹]. سرتاسر میوسن تا هولوسن. (۲) جنس کلامیس: برخی از گونه‌های کلامیس دارای بیسوس [۶۲]، و برخی از آن‌ها قادر به شنا هستند. آن‌ها در زیر صخره‌ها و شکاف سنگ‌ها، از مناطق جزر و مدی تا عمق ۱۵۴۰ متر یافت می‌شوند [۶]. کلامیس و اسفنج رابطه اکولوژیکی و همزیستی دارند، اسفنج از پوسته کلامیس به عنوان بستر و تکیه‌گاه برای رشد استفاده می‌کند (انکراستر)، و کلامیس از جریان آب ثابتی که تاژک اسفنج‌ها برای معلق خواری ایجاد می‌کنند، به جهت تنفس و دفع، و از ذراتی که قبلاً توسط

اسفنج از جریان خارج نشده‌اند به عنوان غذا استفاده می‌کند، در نتیجه کلامیس‌های پوشیده با اسفنج‌ها از سایرین بزرگتر می‌باشند [۸]. تریاس تا هولوسن. ۳) جنس فلابلی پکتن: که برخی گونه‌های آن با جنس پکتن تفاوت چندانی ندارند و از اوراسیا، جنوب شرقی و غرب آمریکا، همچنین از پاناما گزارش شده‌اند. سرتاسر میوسن تا هولوسن [۴۵].



1-2- *Chalamys actinodes* (Sowerby, 1846), 1: external view of the left valve; 2: internal view of the same valve (D1CL20). 3-4- *Cubitostrea frondosa* (Eichwald, 1830), 3: external view of the left valve; 4: internal view of the same valve (DC2-OS6). 5- *Chalamys varia* (Linné, 1758), external view of the left valve (1-CLD). 6-7- *Argopecten gratus* (del Rio, 1992), 6: external view of the right valve; 7: internal view of the same valve (D1PC16). 8-9- *Hytissa hyotis* (Linnæus 1758), 8: internal view of the left valve; 9: external view of the same valve (DC2-OS5). 10-11- *Flabellipecten piramidesensis* (Ihering, 1907), 10: external view of the right valve; 11: internal view of the same valve (1-PCD). 12- *Rogerella* (Saint-Seine, 1951), close up view of figure 7.

شکل ۸: ۳- در سطح خارجی اویستر آثار تکیه‌گاه^۱ آن که احتمالاً یک کلنی مرجانی بوده است به همراه بقایای مرجان (فلش قرمز) قابل مشاهده هستند. این آثار به عنوان اثرفسیل‌های همزمان با زیست موجودات شناخته می‌شوند و میتوانند بیانگر محیط زیست موجود باشند، ۵- آثار بالانویدها بر روی سطح صدف نشانه فرسایش و جابجایی پس از مرگ^۲ می‌باشد، و با توجه به اینکه کفه چپ است می‌توان احتمال داد که مدت زمانی پس از مرگ بالانویدها از پوسته به عنوان تکیه‌پاه بهره برده‌اند، ۱۲- حفرات ایکنوجنوس *Rogerella* به عنوان یک عامل زیست فرساینده^۳ در هر دو سطح پوسته دوکفه‌ای‌های نازک قابل مشاهده هستند و مسلماً همزمان با زمان زیست موجود بر روی پوسته حفر نشده و اثرفسیل پس از مرگ موجود هستند، و اگر به همراه آثار شکستگی یا قطعه قطعه شدگی^۴ و جداشدگی دوکفه^۵ یافت شوند بیانگر محیط زیست موجود نیستند.

۳-۵- بریوزوئرها

بریوزوئرها اغلب موجودات بنتیک و حساس به شوری آب می‌باشند، از اینرو از فسیل‌های رخساره‌ای به شمار می‌روند. آن‌ها اساساً در مناطق شلف دریاها تا اعماق ۲۰۰ متری و مخصوصاً در محیط‌های ساب ریفی گسترش دارند. اگرچه شرایط ایده‌آل و مناسب برای زندگی آن‌ها اعماق ۱۰ تا ۸۰ متری می‌باشد، اما در منطقه آبیسال و در درازگودال‌ها در عمق ۸۲۰۰ متری نیز مشاهده شده‌اند [۱۱]. از بین گونه‌های شناسایی شده از رسوبات آهکی رخنمون‌های کندالو گونه *Tervia irregularis* محدوده اعماق ۶۰ تا ۳۰۰ متر و از بین بریوزوئرها شناسایی شده از رسوبات واحد "مارل گوشه" گونه *Margaretta cereoides* محدوده اعماق بین ۱۰ تا ۴۵ متر را ترجیح می‌دهند [۴۳]. (شکل ۹).

۶-۵- فرامینیفرها

Elphidium یکی از انواع جنس‌های شناخته شده‌ای است که تحت شرایط با شوری زیاد و اشباع از نمک شکوفا می‌شوند [۱۳، ۴۸]، که این مسلماً نشانه‌ای از حضور این جنس در محیط‌هایی است که ارتباط با دریاهای آزاد مسدود بوده است [۳۸]. همچنین، *Elphidium* و *Ammonia* همراه با *Cyprideis* از جمله تاکساهایی هستند که می‌توانند در سطوح پایین اکسیژن که در تالاب‌ها یا دهانه رودخانه‌ها وجود دارد، زنده بمانند و تکثیر شوند [۲۶، ۳۲، ۳۸]. میلیولیدها و *Ammonia beccari* از جمله فرامینیفرهایی هستند که به عنوان تاکساهای محیط‌های کم عمق با شوری زیاد شناخته شده‌اند خصوصاً اگر همراه با *Elphidium* و *Cyprideis* یافت شوند [۱۲، ۴۶، ۵۰، ۶۴]. سعیدووا (۲۰۱۰) چندین مطالعه را در مورد پراکنش روزن داران در خلیج فارس را مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که *Quinqueloculina*، *Asterorotalia* و *Textularia* حضور در مناطقی با حداقل دبی رودخانه را ترجیح می‌دهند، درحالی‌که جوامع دربردارنده جنس‌های *Nonion* و *Cancris* در مناطقی مابین لایه‌های آب گرم که تحت تأثیر دبی رودخانه و محل ته‌نشست رسوبات آواری هستند، یافت می‌شوند [۷، ۵۴]. *Bolivina spathulate* یکی از گونه‌های بنتیک شاخص اواخر اشکوب مسینین پیشین است که متعلق به شرایط دریایی کم اکسیژن و خاص لبه شلف و بالای اسلوپ می‌باشد [۲۳، ۴۶، ۵۰، ۵۱].

۷-۵- آثار تافونومیک

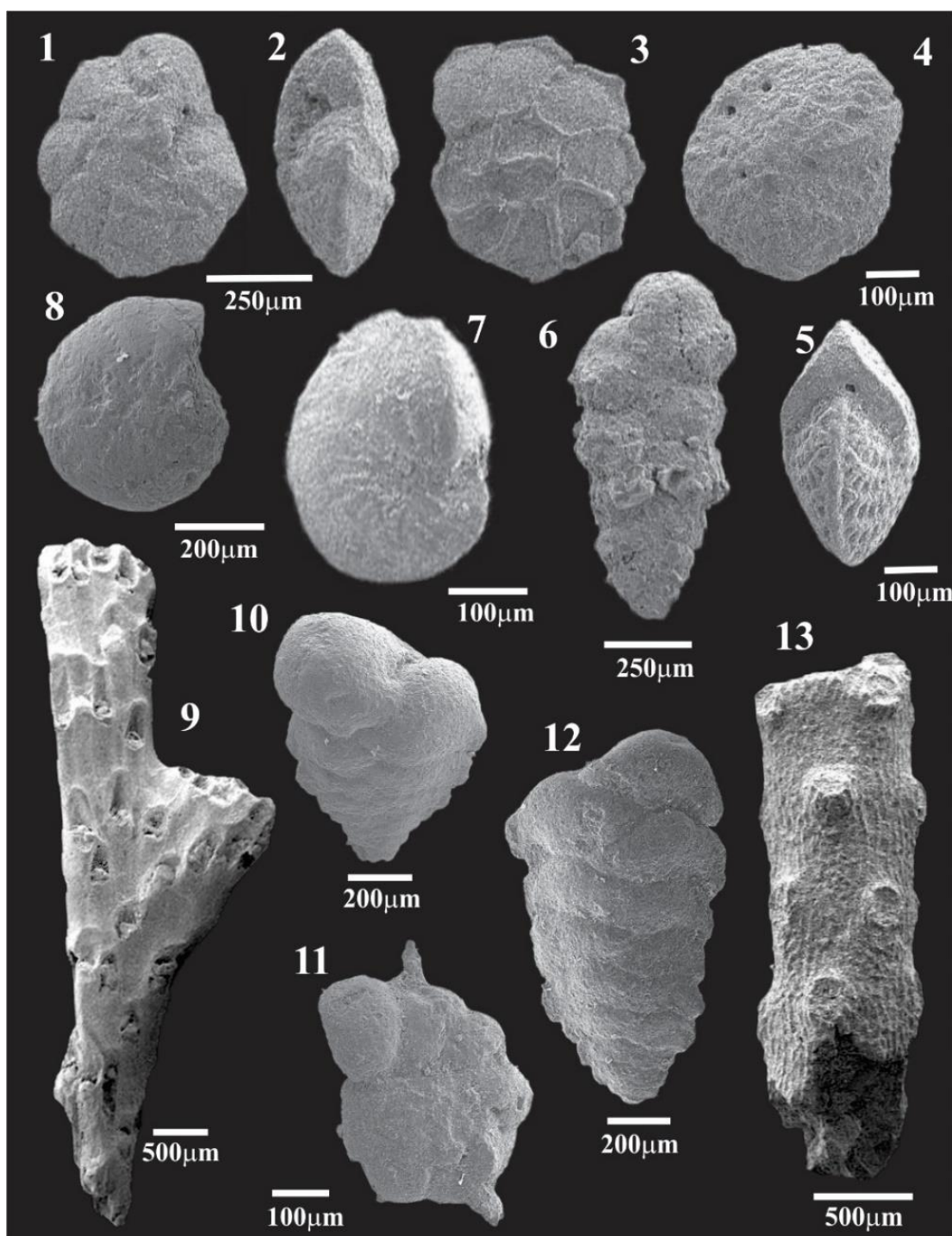
میزان بالای حضور انکراسترها و بیوارودر (زیست فرساینده‌ها) بیانگر نرخ رسوبگذاری کم، میزان تولید بالای مواد مغذی، به همراه انرژی بالای آب است [۱۴]. از آثار تافونومیک (شکل ۱۰) در نمونه‌های مورد مطالعه می‌توان به موجودات حفار،

که همان زیست فرساینده‌ها هستند و موجوداتی اشاره کرد که بر روی بسترهای سخت رشد می‌کنند مانند بریوزوئرها (شکل ۱۱). در اکثر نمونه‌های مورد مطالعه (به غیر از نمونه‌های دیرستان)، می‌توان ایکنوجنس *Trypanites* را مشاهده کرد. تریپانیتس (به سن کامبرین-عهد حاضر)، سوراخ‌های ساده و بدون انشعاب حفر شده در یک بستر سخت هستند که به وسیله یک دهانه به شکل (8)، به سطح می‌رسند [۱۰].

کرم‌های نوع حلقوی پلی چیت^۱ یا ماشوره‌تباران^۲، موجودات زیست فرساینده‌ای هستند که اثر فسیل‌های تریپانیت را ایجاد می‌کنند [۵۹]. رخساره‌های تریپانیت مشخصه مصب‌ها [۱۸] و سواحل سنگی سیستم‌های سیلیسی آواری کم‌عمق دریایی [۱۷] و سکوه‌های کربناته که اغلب در محیط‌های جزر و مدی و بین جزر و مدی قرار دارند [۲۵، ۳۵] هستند و البته گاهی اوقات هم به وقوع پیشروی سطح دریا اشاره دارند [۵۹].

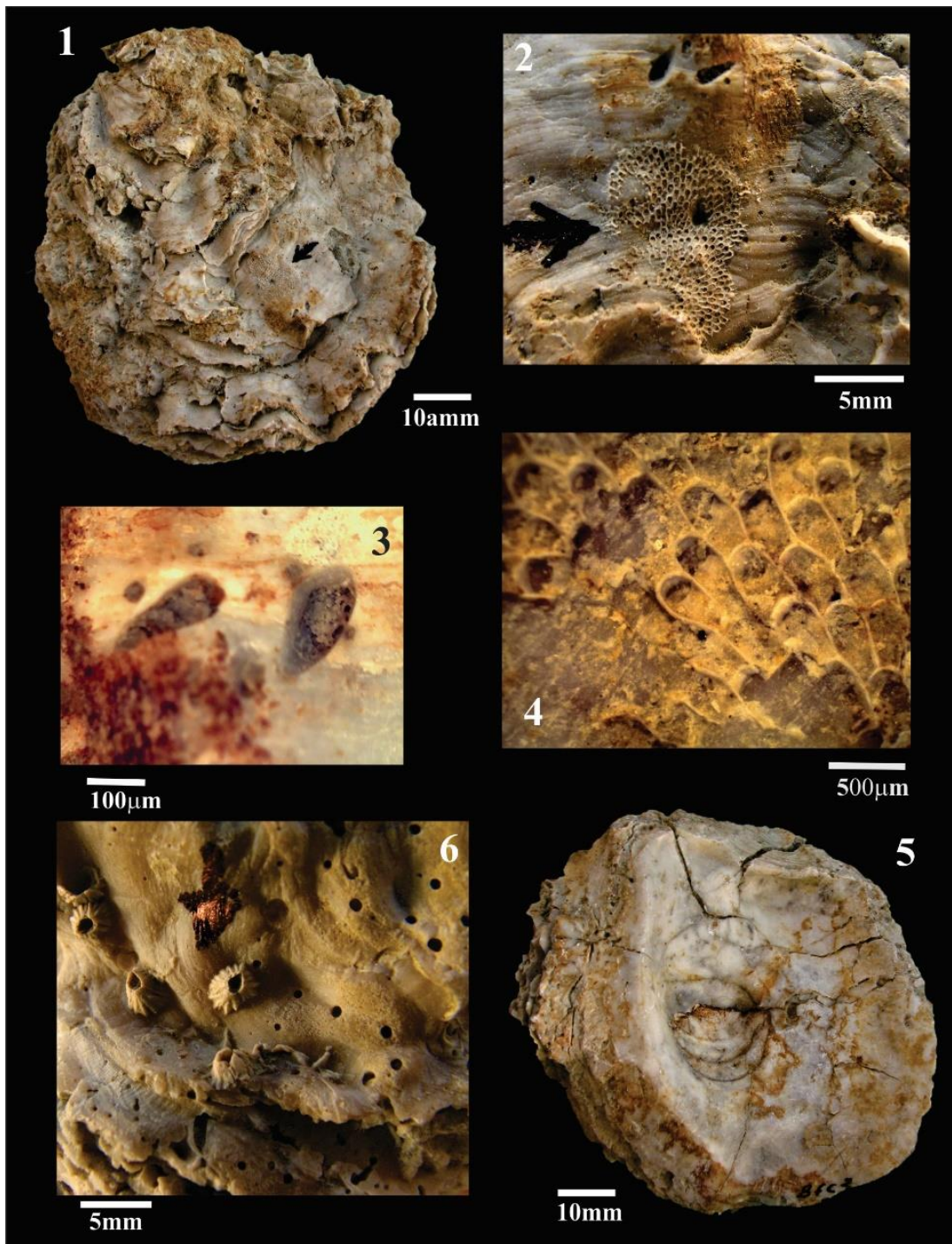
حضور ایکنوجنوس *Emobia* که ناشی از فعالیت اسفنج‌های حفار است (شکل ۱۰-۶)، نیازمند آب‌های آرام با تولید مواد مغذی بالا و سوسپانسیون مناسب برای معلق‌خواران است زیرا این اسفنج به شدت حساس به انرژی امواج بوده و سریعاً ناشی از شستشوی امواج از محیط حذف می‌شود. ایکنوجنوس *Rogerella* (شکل ۸-۱۱) آثار زیست فرساینده ناشی از فعالیت‌های بارنکل‌ها و نشانگر محیط با انرژی و سوسپانسیون بالا است [۵۹].

هر گونه آثار زیست فرساینده از هر موجودی بیانگر حضور آن موجود و نتیجه‌گیری یکسان است. حضور بالانویدها یا اسفنج‌ها یا آثار یافت شده از آن‌ها نتیجه‌گیری یکسانی دارد. مثل رد پای یک انسان که بیانگر عبور او از محل مورد نظر است. به طور مثال اگر یک دوکفه‌ای حفار (فولادید) یک بستر سخت را حفر کند و همراه با آن دفن شود یا از محیط شسته و خارج شود در هر دو حالت سوراخ حفر شده یک فرسایش زیستی ناشی از موجود حفار بوده است (شکل ۱۱-۳ و شکل ۱۱-۴).



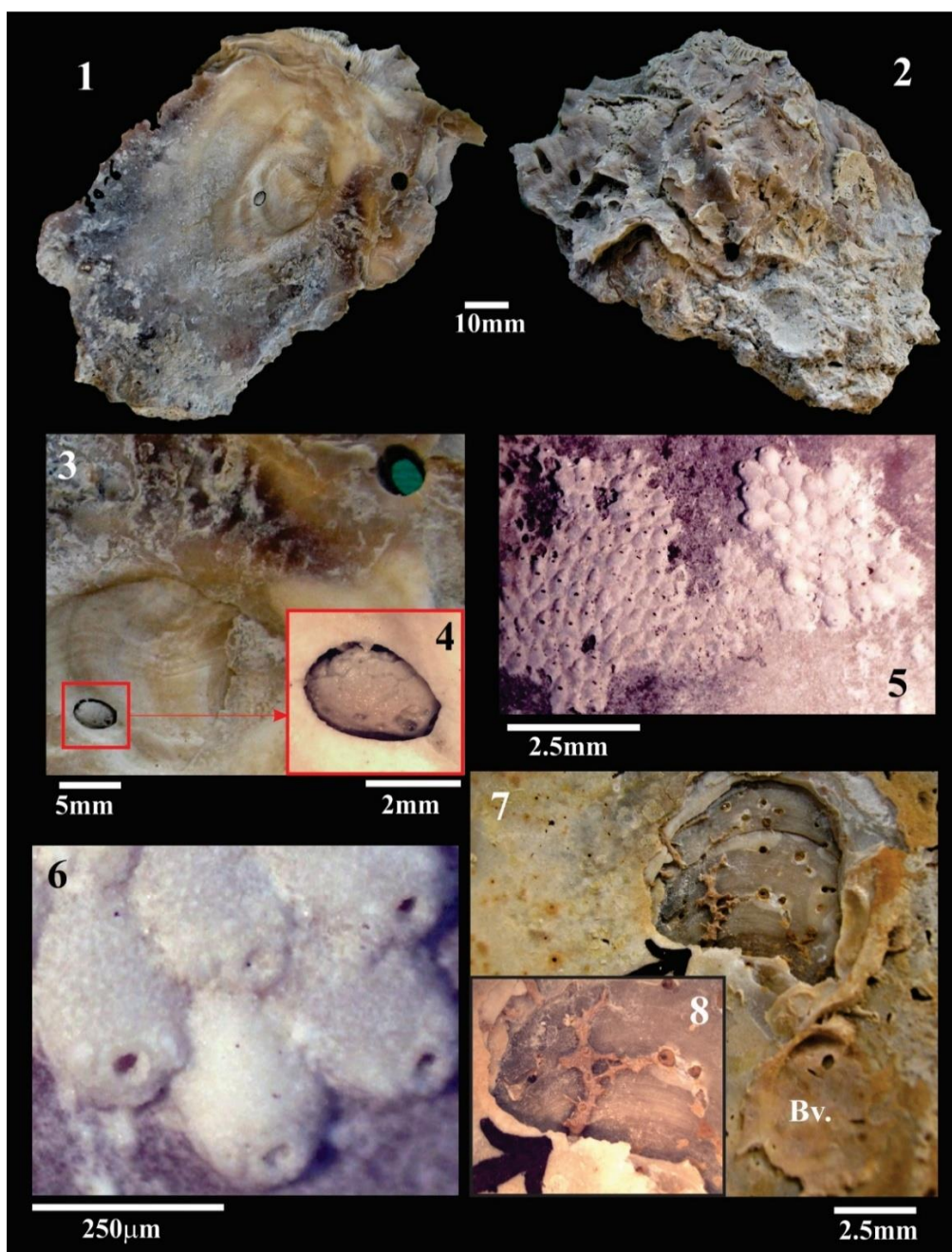
شکل ۹: نمونه میکروفسیل‌های ایزوله شناسایی شده از فرامینیفرها و بریوزوئرهاى میناب و جزیره قشم.

1-3- *Asterorotalia dentata* (Parker and Jones, 1865); **1**: umbilical view (K-Frm-1), **2**: apertural view (D-Frm-1), **3**: spiral view (B-Frm-1). **4-5**- *Elphidium crispum* (Linnaeus, 1758), **4**: dorsal view (D-Frm-2), **5**: apertural view (K-Frm-3). **6**- *Textularia agglutinans* (d'Orbigny, 1839), lateral view (D-Frm-3). **7**- *Nonion commune* (d'Orbigny, 1846), lateral view (B-Frm-2). **8**- *Elphidium excavatum* (Terquem, 1875), dorsal view (B-Frm-3). **9**- *Tervia* cf. *irregularis* (Meneghini, 1844), general view (KQ-Br-10). **10**- *Textulariopsis indistincta* (Akimets, 1961), lateral view (K-Frm-2). **11**- *Asterorotalia pulchella* (d'Orbigny, 1846), dorsal view (B-Frm-4). **12**- *Bolivina spathulata* (Williamson, 1858), dentellata type, lateral view (B-Frm-5). **13**- *Margaretta* cf. *cereoides* (Ellis & Solander, 1786), general view (BM-Br-5).



شکل ۱۰: آثار تافونومیک بر روی یک نمونه اویسترید برداشت شده از رخنمون بمانی، میناب (گوشی مارل).

1, 5- *Hyotissa hyotis* (Linnæus 1758), 1: external view of the left valve; 5: internal view of the same valve (B-OS2). 2- close up of figure 1, for closer look at Taphonomy features. 3- close up of figure 2, display two acutely parabolic holes of *Gastrochaenolites torpedo* (Kelly and Bromley, 1984). 4- close up of figure 2, showing an encrusting colony of a Cheilostomat Bryozoa, *Steginoporella* (Smitt, 1873). 6- close up of the external view of another oyster *Hyotissa virleti* (Deshayes, 1900), exhibiting balanoid barnacles as encruster organism and ichnospecies *Etnobia geometrica* (Bromley and D'Alessandro, 1984; B-OS4).



1-2- *Cubitostrea* sp., 1: internal view of the left valve; 2: external view of the same valve (DC2-OS9). 3- close up of figure 1, display two boreholes with and without bioeroder fauna. 4- close up of figure 3, showing a pholadid bivalve recorded in its borehole. 5- close up of figure 1, showing two encrusting colonies of Cheilostomat Bryozoans. 6- close up of figure 5, exhibiting, a close look at encrusting colony of *Microporella* sp. 7- close up of internal valve of another *Cubitostrea* sp., appear remain of a bivalve shell in early stages as encruster organism and ichnospecies *Etnobia geometrica* (Bromley and D'Alessandro; DC2-OS1). 8- close up of figure 7, display remain of drilling sponge, produce ichnospecies *Etnobia* (black arrow).

شکل ۱۱: آثار تافونومیک بر روی یک نمونه اویسترید برداشت شده از رخنمون دیرستان (عضو آهک گوری). توجه داشته باشید هیچگونه آثار فرسایش، شکستگی، و قطعه قطعه شدن در دوکفه‌ای اویستر دیده نمی‌شود و نمونه بریوزوئرها، اسفنج حفار (تولید کننده ایکنوجنس *Etnobia*) و حتی دوکفه‌ای حفار فولادید در محل خود احتمال به صورت درجا ثبت شده‌اند.

۶- نتیجه گیری

بر اساس گونه‌ها و آثار تانومیک یافته شده در رخنمون کندالو احتمالاً رسوبات این رخنمون متعلق به محیط شلف کربناته در نزدیکی مصب رودخانه‌ای بوده درحالیکه حضور فونا و آثار فرسایش زیستی در رخنمون دیرستان بیانگر محیط داخلی تا میانی شلف کربناته و احتمالاً ریف مرجانی در محلی رو به دریای باز بوده است. از سوی دیگر، فرامینفرهای یافت شده در این رخنمون از هر دو نوع بتتیک و پلانکتونیک بوده‌اند گرچه تعداد نمونه‌های پلانکتونیک انگشت شمار می‌باشند، این موارد در کنار حضور پوسته‌های بالانوتید به میزان بالا به همراه آثار فرسایش زیستی نوع تریپانیتس می‌تواند نشاندهنده محیطی مصب رودخانه تحت تاثیر جزر و مد دریا در رخنمون کندالو باشد. اکثر نمونه فسیل‌های یافت شده از رخنمون کندالو و دیرستان معمولاً از میوسن خصوصاً اشکوب لانژین^۱ گزارش شده‌اند. درحالیکه در رخنمون بمانی (بخشی از گوشه مارل)، حضور فرامینفرهایی که از اواخر میوسن (اشکوب میسینین^۲) گزارش شده‌اند، بیانگر جوانتر بودن این لایه‌هاست. به لحاظ دیرینه محیطی نمونه‌های رخنمون سیریک و بمانی احتمالاً متعلق به محیط‌های متفاوتی پیش و پس از مرگ بوده‌اند، بدین معنا که حضور فرامینفرها بیانگر شرایط دریایی کم اکسیژن، تالاب‌ها یا مناطق کم عمق شلف داخلی تا میانی هستند، درحالیکه اویستریدها و آثار تانومیک بر روی آن‌ها بیانگر دو نوع محیط پرانرژی تحت تاثیر امواج و هم محیط کم انرژی و تاثیر کم امواج می‌باشند. بر اساس فرامینفرها و مطالعات انجام شده بر روی لایه‌های رخنمون سیریک، محدوده سنی آن احتمالاً متعلق به پس از لانژین تا پیش از میسینین و قدیمی‌تر از لایه‌های رخنمون بمانی می‌باشند. محدوده سنی پس از لانژین تا پیش از عقب نشینی کامل دریا در زمان کوهزایی پاسادانین برای رخنمون‌های دیرستان جزیره قشم محتمل است.

۷- سپاسگزاری

نویسندگان از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه اصفهان و گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان بجهت حمایت های مالی، علمی و لجستیکی قدردانی می نمایند. از داوران این مقاله سرکار خانم دکتر الهه ستاری (مدیر اجرایی مجله زمین شناسی نفت ایران) و دکتر طاهره پرویزی (فارغ التحصیل دکتری دانشگاه اصفهان) تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- [۱] آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران: سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- [۲] پرست، ع.، یزدی، م.، بهرامی، ع.، ۱۳۹۹، اولین گزارش از سکناس کم عمق شونده میوسن پسین (سازند میشان به آغاچاری) در منطقه دیرستان جزیره قشم بر اساس حضور ماکروفسیل‌های جانوری: مجموعه مقالات سیزدهمین همایش انجمن دیرینه‌شناسی ایران، صفحه ۷-۱.
- [۳] حسینی، م.، و حسینی پور، ف.، و دریسی، م.، ۱۳۹۳، چینه شناسی، دیرینه‌شناسی و دیرینه بوم‌شناسی نهشته‌های تشکیل دهنده دره ستاره‌ها در جزیره قشم: نشریه علمی پژوهشی دیرینه‌شناسی، صفحه ۳۴-۱۹.
- [۴] حسینی پور، ف.، حسینی م. ج.، داستانیپور م.، ۱۳۹۳، اویسترهای سنگ آهک گوری (میوسن پیشین) در شمال بندرعباس، ناحیه زاده محمود، جنوب خاوری حوضه زاگرس: نشریه علوم زمین، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صفحه ۱۱۰-۱۰۱.

[۵] قائدی، م.، یزدی، م.، جانسون، ک.، ۱۳۹۵، سیستماتیک و پالئوآکولوژی مرجان های میوسن منطقه ی بشاگرد در حوضه مکران: رساله دکتری رشته زمین شناسی چینه شناسی و فسیل شناسی، دانشگاه اصفهان، ۲۲۶ صفحه.

- [6] ABBOTT, R.T., 1974, *American Seashells: New York, Van Nostrand Reinhold*, 663.
- [7] AMAO, A.O., KAMINSKI, M.A., Asgharian Rostami, M., Gharaie, M.H.M., Lak, R. and Frontalini, F., 2018, Distribution of benthic foraminifera along the Iranian coast: *Marine Biodiversity*, 49, 933-946.
- [8] BEU, A.G., 1965, Ecologic variation of *Chlamys dieffenbachi* (Reeve) (Mollusca, Lamellibrachiata): *Royal Society of New Zealand Transactions, Zoology*, 7, 93-96.
- [9] BRENCHLEY, P.J. and HARPER, D.A.T., 1999, *Palaeoecology: Ecosystems, Environments and Evolution*. Chemical Rubber Company, CRC Press, 432.
- [10] BROMLEY, R.G., 1972, On some ichnotaxa in hard substrates, with a redefinition of Trypanites: *Palaontologische Zeitschrift*, 46, 93-98.
- [11] BOARDMAN, R.S., CHEETHAM, A.H. and ROWELL, A.J., 1987, *Fossil Invertebrates*. Blackwell Scientific Publication, 713.
- [12] DEBENAY, J.P., BA, M., LY, A., and SY, I., 1987, Les écosystèmes paraliques du Sénégal. Description, répartition des peuplements de foraminifères benthiques: *Revue de Paléobiologie*, 6, 229-55.
- [13] DECKKER, P., de, CHIVAS, A.R. and J.M.G., SHELLEY, 1988, Paleoenvironment of the Messinian Mediterranean 'Lago Mare' from strontium and magnesium in ostracode shells: *Palaios*, 3, 352-358.
- [14] EL-HEDENY, M., 2007, Encrustation and bioerosion on Middle Miocene bivalve shells and echinoid skeletons: paleoenvironmental implications: *Revue de Paléobiologie*, 26, 381-389.
- [15] GHAEDI, M., YAZDI, M., JOHNSON, K., 2016, Paleoenvironmental conditions of Early Miocene corals, western Makran, Iran: *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-686.
- [16] GHAEDI, M., YAZDI, M., MOHAMMADI, E., and BAHRAMI, A. 2022, Ichnological analysis of the Miocene marine deposits of Makran (SE Iran): implication for paleoenvironmental interpretations: *Carbonates and Evaporites*, 37, 1-15. DOI: 10.1007/s13146-022-00798-x
- [17] GIBERT, J.M., de, DOMENECH, R., MARTINELL, J., 2012, Rocky shorelines, In: KNAUST, D., BROMLEY, R.G., (Eds.) *Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments. Developments in Sedimentology*, 64, 441-462.
- [18] GINGRAS, M.K., MACEACHERN J.A., DASHTGARD, S.E., ZONNEVELD, J.P., SCHOENGUT, J., RANGER, M.J. and PEMBERTON, S.G., 2012, Estuaries. In: KNAUST, D. and BROMLEY, R.G., (Eds.) *Trace fossils as indicators of sedimentary environments, Developments in Sedimentology*, 64, 463-505.
- [19] HERTLEIN, L.G., 1969, Family Pectinidae Rafinesque, 1815, In: MOORE, R.C., (Eds.) *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part N, Mollusca 6 Bivalvia: Geological Society of America, Boulder, and University of Kansas Press, Lawrence*, 1, N348-N373.
- [20] HUBER, H., 1977, *Geological Map of Iran (scale 1:1 000 000)*, with explanatory notes. National Iranian Oil Company, Tehran, Iran.
- [21] JAMES, G.A., and WYND, J.G., 1965, stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 49, 2182-2245.
- [22] JIMENEZ, A.P., JUAN, C. and BRAGA, J.M.M., 1991, Oyster distribution in the upper tortonian of the Almanzora Corridor (Almeria, S.E. Spain): *Geobios*, 24, 725-734.
- [23] JORISSEN, F.J., 1987, The distribution of benthic foraminifera in the Adriatic Sea: *Marine Micropaleontology*, 12, 21-49.
- [24] KAVOUSI, J., and REZAI, H., 2011, Coral lesions around some Iranian Islands in the Persian Gulf: Galaxea, *Journal of Coral Reef Studies*, 13, 5-6. DOI:10.3755/galaxea.13.5
- [25] KNAUST, D., CURRAN, H.A. and DRONOV, A.V., 2012, Shallow-marine carbonates, In: KNAUST, D. and BROMLEY, R.G., (Eds.) *Trace fossils as indicators of sedimentary environments, Developments in Sedimentology*, 64, 705-750.
- [26] LUTZE, G.F., 1965, Zur Foraminiferen-Fauna der Ostsee: *Meyniana*, 15, 75-142.
- [27] MAHDIPOUR, F., BAHRAMI, A., and YAZDI, M., VAZIRI MOGHADDAM, H., VEGA, F., BITNER, A., 2024, First report of the bivalve *Placuna placenta* (Linnaeus, 1758) from the Late Miocene-Early Pliocene strata of the Minab region and Qeshm Island, Persian Gulf, Southern Iran: Paleocology, Systematic and Taphonomy: *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 40, in Press, DOI: 10.22108/jssr.2024.142783.1297

- [28] MAHDIPOUR, F., BAHRAMI A., YAZDI, A., VEGA, F., 2024, Review of Mio-Pliocene pectinids and ostracods from Minab region and Qeshm Island, Persian Gulf, southern Iran: *boletín de la sociedad geológica Mexicana*, **77(1)**, in Press DOI: <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v77n1a>
- [29] HADI, M., CONSORTI, L., BAHRAMI, A., PARANDAVAR, M. and KHORRAMDEL, S., 2024, *Journal of Palaeogeography* 13(1), 54-79. <https://doi.org/10.1016/j.jop.2023.11.002>
- [30] HADI, M., BAHRAMI, A., LESS, G., CONOSORTI, L., PARANDAVAR, 2024, Biostratigraphy of the Eocene shallow-water succession of the south Sabzevar area (Central Iran) based on larger benthic foraminifera and calcareous nannofossils: *Micropaleontology*, **70(2)**, 171-196.
- [31] GARASSINO, A., BAHRAMI, A., YAZDI, M., VEGA, F.J., 2014, Report on decapod crustaceans from the Eocene of Zagros Basin, Iran: *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, **274(1)**, 43-54. DOI: **10.1127/njgpa/2014/0442**
- [32] HYZNY, M., BAHRAMI, A., YAZDI, M., TORABI, H., 2021, Decapod crustaceans from the lower Miocene Qom Formation of the Isfahan area, Central Iran: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, **73(3)**, 1-14. <https://doi.org/10.18268/bsgm2021v73n3a140521>
- [33] BAHRAMI, A., OSSO, A., YAZDI, M., and ANSARI, H., 2023, Oligocene crabs (Decapoda: Brachyura) from the Asmari Formation in Yasuj area (SW Iran); *Acta Geologica Polonica*, DOI: 10.24425/agp-201X-000X
- [34] BITNER, A., BAHRAMI, A., SANI JOSHEGHANI, M., YAZDI, M., and ZAGORSEK, K., 2023., New records of brachiopods from the Lower Miocene deposits of the Qom; Formation of the Isfahan province, Central Iran: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, **75(2)**, 1-10.
- [35] OSSO, A., BAHRAMI, A., YAZDI, M., and MOHAMMADREZAEI, A., 2023, Presence of Zanthopsis M'Coy, 1849 (Crustacea: Decapoda: Brachyura) in the Early Eocene of Iran, and comments on the different species and/or morphotypes and their palaeobiogeography: *Annales de Paléontologie* **109**, 102597-102604. <https://doi.org/10.1016/j.annpal.2023.102597>
- [36] GHAEDI, M., YAZDI, M., MOHAMMADI, E., and BAHRAMI, A., 2022, Ichnological analysis of the Miocene marine deposits of Makran (SE Iran): implication for paleoenvironmental interpretations: *Carbonates and Evaporites*, 37-51 <https://doi.org/10.1007/s13146-022-00798-x>.
- [37] Rahimi nejad, A., Yazdi, M., Bahrami, A., 2020, Palaeoenvironments and taphonomy of clypeasteroids in Miocene carbonates of the Esfahan–Sirjan Basin, central Iran: *Facies*, **66(14)**, DOI: 10.1007/s10347-020-00598-6.
- [38] Pedramara, A., Zagorsek, K., Maria Bitner, M. A., Yazdi, M., Bahrami, A., Maleki, Z., 2019, Bryozoans and brachiopods from the Lower Miocene deposits of the Qom Formation in North-East Isfahan (Central Iran): *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, **294(2)**, 229-250.
- [39] MACHALSKI, M., 1998, Oyster life positions and shell beds from the Upper Jurassic of Poland: *Acta Palaeontologica Polonica*, **43**, 609–634.
- [40] MCCALL, G., 1985a, Explanatory Text of the Fannuj Quadrangle Map 1:250,000, Geological Quadrangle K14. Geological Survey of Iran, Tehran.
- [41] MCCALL, J., ROSEN, B. and DARREL, J., 1994, Carbonate deposition in accretionary prism settings: Early Miocene coral limestones and corals of the Makran Mountain Range in southern Iran: *Facies*, **31**, 141–177.
- [42] MCCALL, G.J., 2002, A summary of the geology of the Iranian Makran: *Geological Society, London, Special Publications*, **195**, 147-204.
- [43] MOISSETTE, P., CORNEE, J.J., MANNAI-TAYECH, B., RABHI, M., ANDRE, J.P., KOSKERIDOU, E., and MEON, H., 2010, The western edge of the Mediterranean Pelagian Platform: A Messinian mixed siliciclastic–carbonate ramp in northern Tunisia: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **285**, 85–103.
- [44] MOODLEY, L., 1990, Southern North Sea seafloor and subsurface distribution of living benthic foraminifera: *Netherlands Journal of Sea Research*, **27**, 57-71.
- [45] MOORE, E.J., 1984, Tertiary marine pelecypods of California and Baja California: Propeamussiidae and Pectinidae, *Geological Survey Professional Papers*, **1228-B**, B1-B112.
- [46] MURRAY, J.W., 1973, Distribution and ecology of living benthic foraminiferids. Heinemann Educational Books, London, 274.

- [47] NAIMI, M.N., VINNO, O. and CHERIF, A., 2021, Bioerosion in *Ostrea lamellosa* shells from the Messinian of the Tafna basin (NW Algeria): *Carnets Geol., Madrid*, **21**, 127-135.
- [48] NOURADINI, M., ASHOURI, A.R., YAZDI, M. and RAHIMINEJAD, A.H., 2019, Palaeoecology and distribution of upper Oligocene–lower Miocene foraminifera in the Qom Formation, the Bagher-Abad section, NE Isfahan, Central Iran: *Carbonates and Evaporites*, **34**, 563-579.
- [49] PETERSON L.W. and RUDZINSKAS K.K., 1982, (Cartography): explanatory text of the Taherui quadrangle map 1:250000. Geological Survey of Iran, Tehran.
- [50] POEL, H.M., van de., 1992, Foraminiferal biostratigraphy and palaeoenvironments of the Miocene-Pliocene Carboneras-Nijar Basin (SE Spain): *Scripta Geology*, **102**, 1-32.
- [51] PUJOS, M., 1976, Ecologie des foraminifères benthiques et des thécamoebiens de la Gironde et du plateau continental Sud-Gascogne. Application à la connaissance du Quaternaire Terminal de la région Ouest-Gironde, Doctor's Thesis University of Bordeaux, 274.
- [52] REGARD, V., HATZFELD, D., MOLINARO, M., AUBOURG, C., BAYER, R. and et al., 2010, The transition between Makran subduction and the Zagros collision: recent advances in its structure and Active deformation: *Geological Society of London, Special Publication*, **330**, 41–64.
DOI: 10.1144/SP330.4hal-00356532
- [53] REUTER, M., BOSELLINI, F.R., BUDD, A.F. and et al, 2019, High coral reef connectivity across the Indian Ocean is revealed 6–7 Ma ago by a turbid-water scleractinian assemblage from Tanzania (Eastern Africa): *Coral Reefs*, **38**, 1023–1037. DOI:10.1007/s00338-019-01830-8
- [54] SAIDOVA K.M., 2010, Benthic foraminifer communities of the Persian Gulf: *Oceanology*, **50**, 61–66.
- [55] SAW, J.V.M., HUNTER, A.W., JOHNSON, K.G. and ABDUL RAHMAN, A.H.B., 2018, Pliocene corals from the Togopi Formation of the Dent Peninsula, Sabah, northeastern Borneo, Malaysia. *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*, **43**, 291–319.
- [56] SCHNEIDER-STORZ, B., NEBELSICK, J. H., WEHRMAM, A., and FEDEROLF, C. M. J. 2008, Comparative taphonomy of three bivalve species from a mass shell accumulation in the intertidal regime of North Sea tidal flats: *Facies*, **54**, 461–478. DOI:10.1007/s10347-008-0152-6
- [57] SEILACHER, A., 1984, Constructional morphology of bivalves: evolutionary pathways in primary versus secondary soft-bottom dwellers: *Palaeontology*, **27**, 207–237.
- [58] STENZEL, H.B., 1971, *Oysters*: In: MOORE, R.C., (Eds.) 1971, Treatise on invertebrate paleontology, Part N, Mollusca 6, Bivalvia 3. *Geological Society of America, Boulder, and University of Kansas Press, Lawrence*, **3**, N953-N12241.
- [59] TAYLOR, J.D. and WILSON, M.A., 2003, Palaeoecology and evolution of marine hard substrate communities: *Earth-Science Reviews*, **62**, 1-103.
- [60] TRUC, G., 1980, Paléoécologie des séries à évaporites: *Bulletin des Centres de Recherches Exploration - Production Elf-Aquitaine*, **4**, 367-369.
- [61] VERON, J.E.N., TURAK, E. and DEVANTIER, L.M., 2000, Family Faviidae: In: VERON, J.E.N., (Eds.) 2000, Corals of the World. *Australian Institute of Marine Science, Townsville*, 85-269.
- [62] YONGE, C.M., 1962, On the primitive significance of the byssus in the bivalvia and its effects in evolution: *Marine Biological Association of the United Kingdom Journal*, **42**, 113-125.
- [63] ZÁGORŠEK, K., 2010, Bryozoa from the Langhian (Miocene) of the Czech Republic: *Acta Musei Nationalis Pragae, (B)*, **66**, 1-255.
- [64] ZANINETTI, L., 1982, Les foraminifères des marais salants du Salin-de-Giraud (Sud de la France): milieu de vie et transport dans le salin; comparaison avec les microfaunes marines: *Géologie Méditerranéenne*, **9**, 447-470.

سیستماتیک دیرینه، اهمیت زیست‌چینه‌نگاری و دیرینه‌بوم‌شناسی پتروپودها در برش الگوی سازند خانگیان، حوضه کپه داغ، شمال شرق ایران

میر امیر صلاحی^{۱*}، عباس قادری^۲

۱- استادیار چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
۲- دانشیار چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
*Amir.salahi@maragheh.ac.ir

دریافت آبان ۱۴۰۳، پذیرش دی ۱۴۰۳

چکیده

در این پژوهش که به مطالعه پتروپودهای ائوسن در حوضه رسوبی کپه‌داغ پرداخته است، دو جنس و پنج گونه شامل *Heliconoides Heliconoides mercinensis* (Watelet and Lefèvre, 1885) *Heliconoides bartonensis* (Curry 1965) *Limacina dzheroiensis* و *Limacina cf. aegis* (Hodgkinson, 1992) *daguini* (Cahuzac and Janssen 2010) (Janssen, 2011) از برش الگوی سازند خانگیان در حوالی روستای یاقل درگز در خراسان رضوی گزارش شده است. زیای پتروپودی مورد سخن منطبق بر مرز ائوسن پیشین - میانی می‌باشد. حضور این اجتماعات گویای نهشته شدن ردیف رسوبات سازند خانگیان در آب‌های گرم، بالاتر از ژرفای موازنه آراگونیت و محدوده ژرفایی دیرینه‌نریتیک خارجی - شیب قاره است.

واژه‌های کلیدی: ائوسن؛ پتروپود؛ سازند خانگیان؛ کپه‌داغ

۱- مقدمه

بسیاری از محققین، شروع رسوب‌گذاری حوضه کپه‌داغ را پس از بسته شدن اقیانوس پالئوتتیس در طی کوهزایی سیمیرین پیشین از تریاس دانسته‌اند که تا نئوژن ادامه یافته است [۱]. این حوضه رسوبی با وسعتی در حدود ۵۵۰۰۰ کیلومتر مربع، در شمال و شمال‌خاوری ایران قرار گرفته و علاوه بر ایران، بخشی از ترکمنستان و شمال افغانستان را نیز دربرمی‌گیرد. حوضه رسوبی کپه‌داغ با رسوبات دریایی ضخیم و بدون فعالیت آتشفشانی مهم، یکی از مناطق امیدبخش جهت اکتشافات هیدروکربنی است و شامل میدین گازی عظیم همچون خانگیران و گبدلی می‌باشد [۱]. اکتشاف میدین گازی فوق‌به ترتیب در طی سالیان ۱۳۴۷ و ۱۳۶۱ صورت گرفته و بدین ترتیب مطالعات زمین‌شناسی و چینه‌شناختی در این حوضه رسوبی اهمیت بسزایی یافته است.

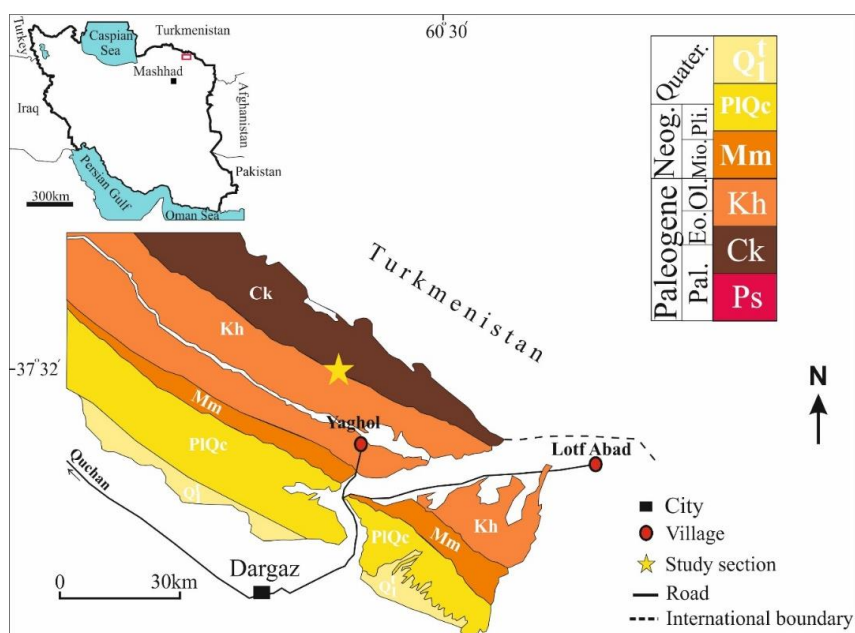
بیشترین مطالعات انجام شده در ستبرای تقریبی هشت هزار متری توالی رسوبی حوضه کپه‌داغ، متمرکز بر نهشته‌های ژوراسیک و کرتاسه بوده و ردیف رسوبات پالئوژن با وجود اهمیت بالا در زمین‌شناسی ایران و کشورهای همجوار، کمتر مورد توجه بوده‌اند. این نهشته‌ها به دلیل برخورداری از زیست‌پهنه‌های منطقه‌ای روزن‌دارای شناور و کفزی و نیز حضور زیست‌پهنه‌های منطقه‌ای از بی‌مهرگان اویستری در سازند خانگیران، شباهت‌های مشترکی با دیگر حوضه‌های رسوبی موجود در آسیای مرکزی و پلاتفرم روسیه دارند [۸، ۵۱، ۵۲]. حوضه کپه‌داغ که در شمال‌خاوری ایران قرار گرفته است، در بخش‌های جنوبی ترکمنستان و شمال باختر افغانستان نیز توسعه یافته و توالی‌های رسوبی پالئوژن آن در قالب سازندهای پسته‌لیق، چهل‌کمان و خانگیران نمود یافته‌اند. عمده بررسی‌های چینه‌شناسی انجام شده بر روی سازند خانگیران بر اساس مطالعه میکروفسیل‌های روزن‌داران [۶، ۲، ۷، ۵۷، ۵۲]، نانوفسیل‌های آهکی [۵، ۳، ۹]، پالینومورف‌ها [۴۷] و بی‌مهرگان [۸، ۵۱] بوده است.

تنها گزارش منتشر شده از پتروپودهای این زمان در حوضه کپه‌داغ به مطالعه آنها توسط وحدتی‌راد و همکاران [۱۰] محدود می‌شود. هرچند مطالعه زیای پتروپودی به طور کلی در مقایسه با سایر زیای پلاژیک دریایی اندک می‌باشد، با این حال در دهه‌های اخیر، پتروپودهای پالئوژن در نقاط مختلف دنیا نظیر آمریکای شمالی، انگلیس، فرانسه، هلند، آلمان، اتریش، مجارستان، ازبکستان، مصر، هند، چین و ژاپن مورد توجه بوده‌اند و حتی زیست‌پهنه‌هایی بر اساس آنها گزارش شده است [۲۵، ۳۲، ۵۸، ۳۰، ۱۲، ۲۴، ۴۴]. با این توضیحات، پژوهش حاضر به مطالعه سیستماتیک، اهمیت زیست‌چینه‌ای و جایگاه دیرینه‌بوم‌شناختی پتروپودهای به دست آمده از برش الگوی سازند خانگیران در حوالی روستای یاقل در شمال خراسان رضوی پرداخته است تا ضمن بررسی حضور این زیای خاص، شواهد زمین‌شناسی و فسیل‌شناسی جدیدی به دیگر اطلاعات قبلی حوضه رسوبی کپه‌داغ افزوده گردد.

۲- زمین‌شناسی عمومی

بنابر مطالعات پیشین انجام شده بر روی ویژگی‌های سنگ‌چینه‌ای و زیست‌چینه‌ای ردیف رسوبات پالئوژن در حوضه رسوبی کپه‌داغ، انطباق چینه‌شناسی شفاف و دقیقی بین این ناحیه و حوضه‌های رسوبی مختلف در منطقه آسیای میانه، از آمودریا تا شمال باختری چین، برقرار شده است [۸]. مطالعات سنگ‌چینه‌نگاری دقیق نشان می‌دهد در انتهای کرتاسه و

پالئوسن پیشین در بخش‌های مختلف محدوده آسیای میانه، بالآمدگی‌هایی صورت گرفته که به شکل‌گیری رخساره‌های قاره‌ای مشابه سازند پسته‌لیق منجر شده است. در پالئوسن میانی تا پسین، رخساره کم‌ژرفای آواری-کربناته با سیمای صخره‌ساز نظیر سازند چهل کمان حاکم شده که با ورود به زمان ائوسن، جای خود را به مارن‌های نرم‌فرسای سبز زیتونی همچون طبقات سازند خانگیران داده است. با عقب‌نشینی دریای ائوسن پسین-الیگوسن پیشین، در روندی از خاور به باختر، دوباره رخساره‌های قرمز رنگ قاره‌ای متناسب به نئوژن کل منطقه را فرا گرفته‌اند. علاوه بر قرابت‌های سنگ‌چینه‌ای، این سخنان مستند به ویژگی‌های زیست‌چینه‌ای مشابه روزن‌داران شناور و کفزی [۵۲] و زیای اویستری [۵۱، ۸] پالئوژن در حوضه کپه‌داغ است که هم‌ارزی سنی و زیستی مشخصی با منطقه آسیای میانه دارد و نشان می‌دهد این نواحی در طول پالئوژن تاریخیچه چینه‌نگاری یکسان و سرگذشت زمین‌شناسی مشابهی داشته‌اند [۸]. با این توضیح، منطقه کپه‌داغ - آسیای میانه را می‌توان به عنوان یک ایالت زیست‌جغرافیایی مجزا در جنوب صفحه توران طی زمان پالئوژن در نظر گرفت که با رویدادهای زیستی و زیست‌پهنه‌های اختصاصی و ارتباطات محلی خاص خود مشخص می‌شود. برش الگوی سازند خانگیران [۱] در مجاورت روستای یافل (بخش لطف‌آباد شهرستان درگز، استان خراسان رضوی) با مختصات جغرافیایی $37^{\circ}32'15''$ عرض شمالی و $59^{\circ}08'30''$ طول خاوری پایه برش، در محدوده مرزی کشور ایران و ترکمنستان قرار گرفته است. در این منطقه، ردیف رسوبات صخره‌ساز سازند چهل کمان با ارتفاع زیاد، یال شمالی ناودیسی را می‌سازند که نهشته‌های جوان‌تری همچون سازند خانگیران، رخساره‌های قرمز رنگ قاره‌ای متناسب به نئوژن و رسوبات پلیوکواترنری را در هسته خود جای داده است. به دلیل قرار گرفتن در داخل خاک ترکمنستان، دستیابی به بخش‌های ابتدایی و میانی سازند چهل کمان ممکن نیست. سازند خانگیران در این ناحیه سیمای تپه ماهوری و بخش‌های پست‌تری را ایجاد کرده به طوری که گذر طبقات صخره‌ساز سازند چهل کمان به نهشته‌های شیل و مارنی نرم‌فرسای سازند خانگیران، به خوبی در کل منطقه قابل مشاهده است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت و راه‌های دسترسی به برش چینه‌شناسی یافل (برش الگوی سازند خانگیران) در بخشی از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ درگز [۱].

۳- روش مطالعه

پتروپودهای مورد سخن در این پژوهش (شکل ۲)، در نمونه‌برداری سیستماتیکی که به منظور زیست‌چینه‌نگاری و تعیین سن سازند خانگیران بر مبنای روزن‌داران در برش الگوی این سازند و در فواصل حدودی یک تا سه متری برداشت شده بود، به دست آمده‌اند. برداشت سازند خانگیران در برش مورد مطالعه محدود به بخش زیرین سازند، تا متر ۷۰۰ متری بوده است (شکل ۳). لازم به ذکر است که بخش بالایی سازند خانگیران به دلیل تشکیل در محیط کم ژرفا، تنها حاوی روزن‌داران بتتیک کوچک می‌باشد که در نهایت نیز به محیط قاره‌ای معادل سازند قرمز فوقانی ختم گردیده است. به همین دلیل، بخش بالایی سازند خانگیران، در این پژوهش برداشت نگردیده است. نمونه‌های برداشت شده در صحرا پس از خردایش کامل در آزمایشگاه آماده‌سازی فسیل و قرارگیری در آب به مدت دو هفته، به کمک الک‌های ۵۰، ۱۲۰ و ۲۳۰ مش شست‌و‌شو شده و رسوب باقی‌مانده از آنها در آن خشک شده و در زیر میکروسکپ بیناکولار مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. پتروپودهای موجود در نمونه‌های سازند خانگیران، همراه با مجموعه‌ای از روزن‌داران شناور و کفزی و استراکدها، پس از جداسازی از رسوبات در سل‌های مخصوص قرار گرفتند. این پتروپودها بر اساس ماهیت پوسته خود به صورت قالب‌های لیمونیتی شده حفظ شده‌اند. پس از شناسایی دقیق این میکروفسیل‌ها، برخی از آنها که حفظ‌شدگی مناسب‌تری داشتند، جهت تصویربرداری انتخاب و به کمک میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM) مدل LEO 1450vp در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد تصاویر آنها تهیه و ثبت شد.

۴- دیرینه‌شناسی و توصیف سیستماتیک

پتروپودها معروف به پروانه‌های دریایی، گروه گسترده‌ای از زیست‌مندان دریازی هستند که روش زندگی پلاژیک دارند [۲۹] و در دریا‌های امروزی نیز حضور دارند، ولی ثبت فسیلی آنها معمولاً به دلیل پوسته نازک، ظریف، سبک و آراگونیتی که دارند (دیواره صدفی نازک با ستبرای بین ۵ تا ۴۰ میکرون) ضعیف بوده و در مقایسه با اسکلت‌های کلسیتی دیگر زیست‌مندان دریازی نظیر روزن‌داران، مستعد تخریب شیمیایی و مکانیکی بیشتری هستند [۲۹، ۴۸]. لذا، آسیب‌پذیری زیادی مزبور در برابر اسیدی شدن آب اقیانوس‌ها شدید بوده و با توجه به ماهیت آراگونیتی پوسته آنها، قابلیت انحلال‌شان تا ۵۰ درصد بیشتر از پوسته‌های کلسیتی است [۴۵]. علاوه بر این، صدف‌های پتروپودی گاه توسط برخی مواد خارجی نظیر پیریت، گلاکونیت، کلسیت، رس و لیمونیت، پر و یا جایگزین می‌شوند که البته این موارد می‌توانند به حفظ‌شدگی بهتر این صدف‌ها کمک کنند [۳۸].

از مشخصات عمومی پتروپودها می‌توان به پوسته آراگونیتی، صدف‌های چپگرد و آپکس بسته در بخش انتهایی آن‌ها اشاره کرد. صدف این زیبا به جز خطوط رشدی، تزئینات خاصی ندارد، اگرچه همین ویژگی‌های ریختاری اندک برای تمایز پتروپودها از ریزشکم‌پایان کافی است. علاوه بر این، موارد دیگری همچون تعداد پیچش‌ها و میزان تحدب و تقعر آنها، وضعیت دهانه و شکل ناف از جمله شواهد مهم در شناسایی و تشخیص جنس و گونه‌های مختلف پتروپودی می‌باشند. تحقیقات متعددی در زمینه معرفی ویژگی‌های سیستماتیک این گروه فسیلی ارائه شده است که در پژوهش حاضر نیز از برخی از آنها برای شناسایی این میکروفسیل‌ها استفاده شده است [۲۴، ۳۰، ۳۵]. بر این اساس، دو جنس و پنج گونه

پتروپود شامل *Heliconoides bartonensis* (Curry, 1965) و *Heliconoides mercinensis* (Watelet and Lefèvre, 1885) و *Limacina* و *Limacina cf. aegis* (Hodgkinson, 1992) و *Heliconoides daguini* (Cahuzac and Janssen, 2010) و *dzheroiensis* (Janssen, 2011) در این مطالعه شناسایی شده است (شکل ۲). شرح سیستماتیک این گونه‌ها نیز در ادامه آمده است:

Phylum Mollusca Linnaeus 1758

Class Gastropoda Cuvier 1797

Subclass Opisthobranchia Milne-Edwards 1848

Superfamily Limacinoidea Gray 1847

Family Limacinidae Gray 1847

Genus *Heliconoides* d'Orbigny 1835

***Heliconoides bartonensis* (Curry, 1965)**

Fig. 2: A1-A2, B1-B2

1885 *Heliconoides bartonensis* Watelet & Lefèvre: fig. 15

1965 *Skaptotition bartonense* Curry: p. 364, fig. 11a-c

1992 *Limacina convolutus* Hodgkinson in Hodgkinson et al., 1992: p. 45, pl. 2, figs. 8-10.

توصیف: صدف چپ‌گرد و پلانی اسپیرال، فرم کلی دیسکی شکل با دو ناف در هر سمت، دارای پنج پیچش محدب با افزایش تدریجی قطر، پیچ‌های گرد شده تا متورم با پیچش‌های منظم، لبه خارجی توسعه یافته، دهانه کلیه‌ای شکل، درزها اغلب همراه با پرشدگی، اما در برخی موارد مشخص و جدا کننده پیچش‌ها، سطح آپیکال صدف کاملاً مقعر و پیچش‌ها به صورت فرورفتگی قابل مشاهده است (شکل ۲، A1 و B1).

بحث: تمام پیچش‌ها منظم بوده و به وضوح دیده می‌شوند و درزهای منظمی را نیز می‌توان از پیچش‌های اولیه دنبال نمود. در *Heliconoides nitens* که نزدیکترین گونه مشابه به این گونه است، دو پیچش اولی توربینی‌فرم و بدون نظم بوده و تورفتگی پیچش‌ها در آنها مشاهده می‌شود، در حالی که پیچش‌های بعدی دیسکوئیدال بوده و اینولوت می‌باشند [۲۷]. انتشار چینه‌شناسی دو گونه مورد سخن همزمان است.

انتشار چینه‌شناسی: ائوسن میانی (لوتسین میانی تا بارتونین پیشین)

***Heliconoides mercinensis* (Watelet and Lefèvre, 1885)**

Fig. 2: D1-D2, E, F

1885 *Spiralis mercinensis* Watelet and Lefèvre: p. 102, pl. 5, figs. 2a-c.

1965 *Spiratella mercinensis*; Curry: p. 366, figs. 15-16.

2007 *Heliconoides mercinensis*; Janssen Schnetler and Heilmann-Clausen: p. 163, figs. 7-8.

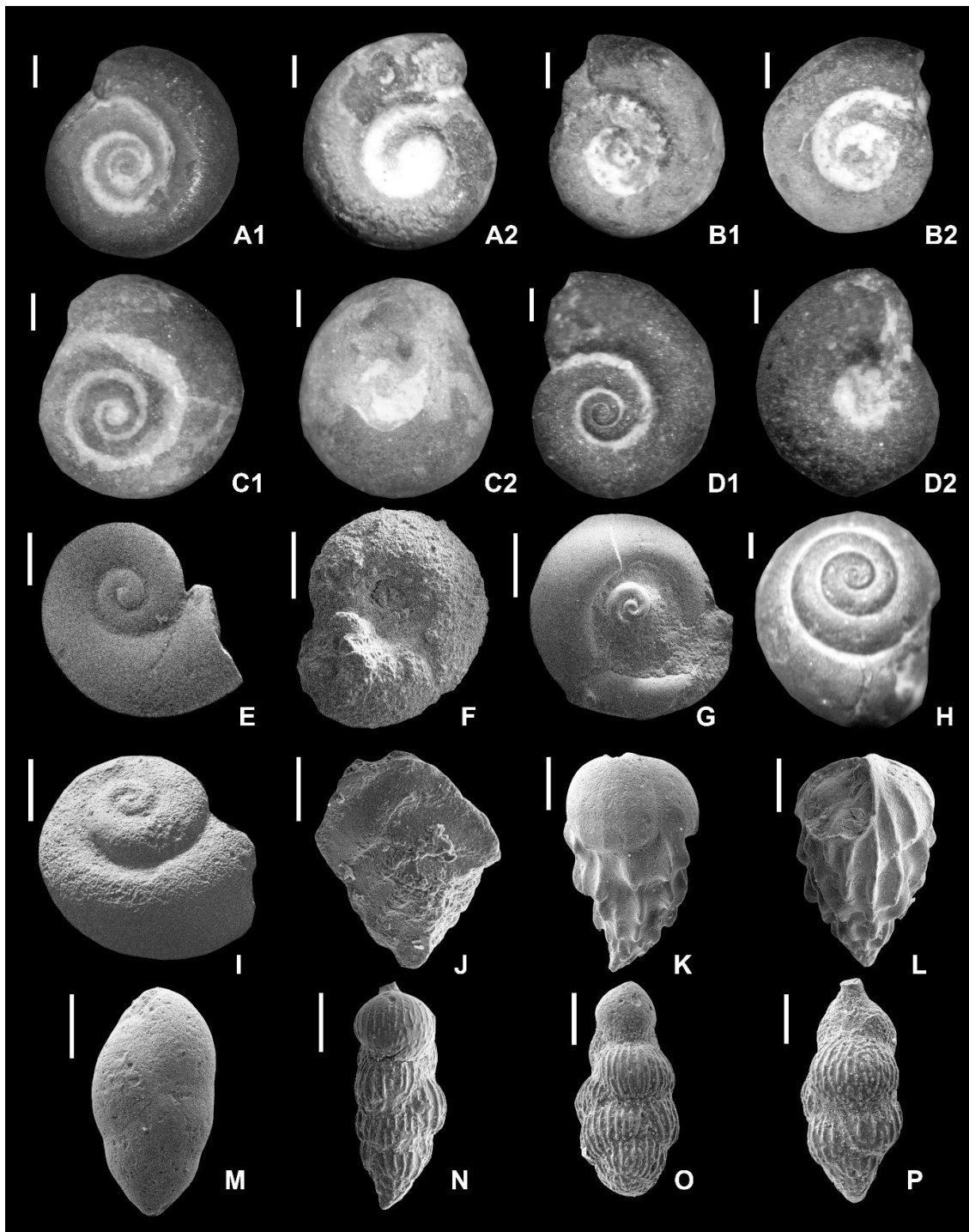
2010 *Heliconoides mercinensis*; Janssen: p. 165, fig. 2.

2013 *Heliconoides mercinensis*; Janssen et al. p. 29, fig. 9.

توصیف: صدف چپ‌گرد و پلانی اسپیرال، با عرضی تقریباً دو برابر ارتفاع صدف، دارای سه پیچش محدب و پیچ‌های گرد شده تا متورم، پیچش‌ها منظم، افزایش قطر در پیچش‌های اولیه به صورت تدریجی و در پیچش آخر بسیار بیشتر و مشخص‌تر، درزها به وضوح قابل مشاهده، سطح آپیکال صدف به صورت کاملاً تخت، پیچش‌ها فاقد برآمدگی، دهانه بزرگ و گرد و ناف در سطح نافی کاملاً بزرگ، عریض و کم ژرف است.

بحث: ناف در این گونه نسبتاً وسیع و کم‌زرفا می‌باشد. در سطح آپیکال این گونه فرورفتگی و یا برآمدگی مشاهده نشده و بیشتر به صورت تخت دیده می‌شود. تفاوت این گونه با *Heliconoides pyrenaica* در ساختار دهانه است به طوری که دهانه در *Heliconoides pyrenaica* بلند و با گردشگی بیشتری بوده، اما لبه دهانه در *Heliconoides mercinensis* تا حدودی برگشتگی دارد [۲۴].

انتشار چینه‌شناسی: پالئوسن پسین تا ائوسن میانی (تانشین تا لوتسین پیشین)



شکل ۲: پتروپودها و برخی از روزن‌داران به دست آمده از سازند خانگیران در برش چینه‌شناسی باقل

Fig. 2: A1-A2, B1-B2. *Heliconoides bartonensis* (Curry, 1965), C1-C2. *Heliconoides daguini* (Cahuzac and Janssen, 2010), D1-D2, E, F. *Heliconoides mercinensis* (Watelet and Lefèvre, 1885), G. *Limacina* cf. *aegis* (Hodgkinson, Garvie and Bé, 1992), H, I. *Limacina dzheroiensis* (Janssen et al., 2011), J. *Aragonia aragonensis* (Nuttall, 1930), K, L. *Bulimina* sp., M. *Globobulimina* sp., N, O, P. *Uvigerina* sp. Scale bar: 100µm.

***Heliconoides daguini* (Cahuzac and Janssen, 2010)**

Fig. 2: C1-C2

2010 *Heliconoides daguini* Cahuzac and Janssen: p. 151, pl. 6, figs. 6-7.

توصیف: صدف نسبتاً بزرگ، عریض و پلانی اسپایرال، دارای سه و نیم پیچش محدب، قطر پیچش آنها با افزایش نسبتاً سریع، پیچش‌های اولیه همراه با بالآمدگی بسیار کم در اسپایر و پیچ زندگی با ارتفاع نسبتاً بیشتری از اسپایر که بخش آبی‌کال صدف را مخفی می‌کند. دهانه نیمه گرد و در زیر قاعده پیچش ماقبل آخر بیرون زده و کمی بالاتر از آن، لبه‌های بخش پیرامونی دهانه به صورت موازی با پیچش‌ها، قاعده صدف تا حدودی گرد شده و ناف خیلی مشخصی در آن دیده می‌شود.

بحث: در این گونه حاشیه دهانه تا حدودی خم شده می‌باشد که با ستونک نیز اتصال پیدا می‌کند. اگرچه خم‌شدگی را تا حدودی می‌توان در این گونه نیز ملاحظه نمود، اما اتصال با ستونک به دلیل حفظ‌شدگی نامناسب، دیده نمی‌شود. با وجود آن که این گونه از نظر شکل کم و بیش به افراد متعلق به جنس *Limacina* شباهت دارد، اما از نظر ریخت‌شناسی و ساختار دهانه‌ای با آن کاملاً متفاوت است [۲۴].

انتشار چینه‌شناسی: ائوسن پیشین (ایپرزین میانی – پسین)

Genus *Limacina* Bosc, 1817

***Limacina* cf. *aegis* (Hodgkinson, 1992)**

Fig. 2: G

1992 *Limacina aegis* Hodgkinson: p. 62, pl. 1, figs. 10- 15.

2013 *Limacina aegis* Janssen et al., p. 31.

2016 *Limacina aegis* Janssen et al., p. 13, figs. 7-8.

توصیف: صدف چپ‌گرد، عریض و لتیکولار، یک و نیم پیچش اولیه به صورت تخت و پیچش‌های بعدی در نمونه‌های سالم خمیده‌اند، اگرچه پیچش‌های بعدی در نمونه‌های موجود، به دلیل حفظ‌شدگی نامناسب به خوبی قابل مشاهده نیستند.

بحث: ویژگی شاخص این گونه در صدف عدسی و فشرده شده آن است که باعث شده پیرامون آن به صورت کارن‌دار قابل مشاهده باشد. همچنین از سایر گونه‌های *Limacina* به دلیل عرض بیشتر قابل تشخیص است. علاوه بر این، پیچش انتهایی در سایر گونه‌ها به صورت متورم دیده می‌شود، اما در این گونه به صورت مشخص و نسبتاً تیز (دارای کارن) است.

انتشار چینه‌شناسی: ائوسن پیشین (ایپرزین)

***Limacina dzheroiensis* (Janssen, 2011)**

Fig. 2: H, I

1965 *Spiratella pygmaea* (Lamarck, 1804); Curry: p. 365, figs. 18a-b.

2011 *Limacina dzheroiensis* Janssen: p. 79, figs. 24-29.

توصیف: دارای ریخت‌شناسی واضح و پیچش‌های منظم، ناتیکوئیدی‌فرم اما چپ‌گرد، صدف نسبتاً عریض، اسپایر کوتاه، جدایش پیچش‌ها با درزهای مشخص و شکاف‌دار، پیچش‌ها محدب، افزایش قطر پیچش‌ها تدریجی، قاعده صدف گرد و دارای ناف، پیچ زندگی کروی و دهانه نسبتاً بزرگ و هلالی که تقریباً بیش از سه چهارم ارتفاع صدف را اشغال کرده است.

بحث: بنابر نوشته جانسن و همکاران [۳۵]، حضور همزمان *Limacina pygmaea* و *Limacina dzheroiensis* در مناطقی همچون ازبکستان قابل مشاهده است. تفاوت این دو گونه در اندکی عریض‌تر بودن، کمتر مشهود بودن پیچ زندگی، توسعه بیشتر بخش آپیکال صدف و تحدب بیشتر حجات در *Limacina dzheroiensis* است. اسپایر در گونه *Limacina dzheroiensis* برآمده‌تر و بلندتر از *Limacina pygmaea* دیده می‌شود.

انتشار چینه‌شناسی: مرز ائوسن پیشین - میانی (مرز ایپرزین - لوتسین)

۵- زیست‌چینه‌نگاری

پتروپودها با وجود پراکنش جغرافیایی گسترده، توزیع چینه‌شناختی محدودی دارند و همین امر اهمیت آنها را در زیست‌چینه‌نگاری تقویت می‌کند [۳۱، ۲۸، ۳۶]. بر همین اساس و با توجه به این که برخی از پتروپودها برای مطالعات زیست‌چینه‌نگاری و انطباق سنی در مقیاس جهانی مفید هستند [۳۳، ۳۴، ۲۵]، به کارگیری زیای مزبور به ویژه در زیست‌چینه‌نگاری پالئوژن به شکل قابل‌توجهی در سالیان اخیر مورد توجه بوده است. با این حال مطالعه پتروپودها در ایران بسیار محدود بوده و فقط می‌توان به سه مورد مطالعه وحدتی راد و همکاران [۱۰] در حوضه کپه‌داغ و خداوردی حسن‌وند و همکاران [۴] به همراه جانسن و همکاران [۳۷] در منطقه سه و زفره اصفهان اشاره کرد. این امر شاید به پوسته بسیار ظریف و شکننده زیای پتروپودی و نیز اندازه بسیار کوچک آنها مربوط باشد تا جایی که بزرگترین اندازه گزارش شده از آنها کمتر از ۲ میلی‌متر است. این موارد حفظ‌شدگی پتروپودها را در نهشته‌های پیش از پلیستوسن تحت تأثیر قرار داده و بدین ترتیب ثبت فسیلی آنها در نقاط مختلف دنیا و ایران در مقایسه با دیگر زیای پلاژیک ضعیف‌تر بوده است. به همین دلیل، برای تقسیم‌بندی زیست‌چینه‌ای و انطباق جهانی کمتر استفاده شده‌اند [۲۹].

از سوی دیگر، با توجه حضور فراوان و چشمگیر نانوفسیل‌های آهکی و روزن‌داران شناور شاخص در محدوده گسترش زیای پلاژیک پتروپودی در نقاط مختلف دنیا، فرصت مطلوبی برای ثبت جایگاه اولین و آخرین حضور زیای پتروپودی طی زمان زمین‌شناسی فراهم است و لذا می‌توان هم‌ارزی سنی ارزشمندی را بین ثبت وقایع ظهور و انقراض پتروپودها با روزن‌داران و نانوفسیل‌ها برقرار نمود. در پژوهش حاضر نیز بر مبنای حضور پتروپودها و انطباق گستره حضور آنها با زیست‌پهنه‌های معرفی شده از روزن‌داران موجود در سازند خانگیران، تعیین سن این زیای انجام و در نهایت زیست‌پهنه‌های پتروپودی معرفی شده‌اند.

بر این اساس، گستره چینه‌شناختی گونه *Heliconoides mercinensis* مورد سخن در این پژوهش، پالئوسن پسین تا لوتسین پسین است که منطبق بر زیست‌پهنه‌های نانوفسیلی NP9 تا NP15 می‌باشد. با این حال، گزارش این گونه از زمان پالئوسن در مقیاس جهانی بسیار اندک است و در بیشتر نقاط دنیا به عنوان شاخص ائوسن پیشین - میانی معرفی شده است

[۳۷]. این گونه تاکنون از آمریکا، کانادا، فرانسه، دانمارک، انگلستان، بلژیک، هلند، ازبکستان و طبقات مرز ائوسن پیشین – میانی در منطقه سُه اصفهان و سازند خانگیران در منطقه سرخس گزارش شده است [۲۵، ۳۰، ۳۵، ۳۷، ۵۰، ۱۰]. گونه *Heliconoides mercinensis* در مطالعه حاضر از طبقاتی از سازند خانگیران در برش یاقل به دست آمده است که منطبق بر زیست‌پهنه روزن‌داران شناور *Acarinina pentacamerata* و زیست‌پهنه روزن‌داران کفزی *Pseudogaudryina pseudonavarroana* به سن ایپرزین پسین هستند [۵۲].

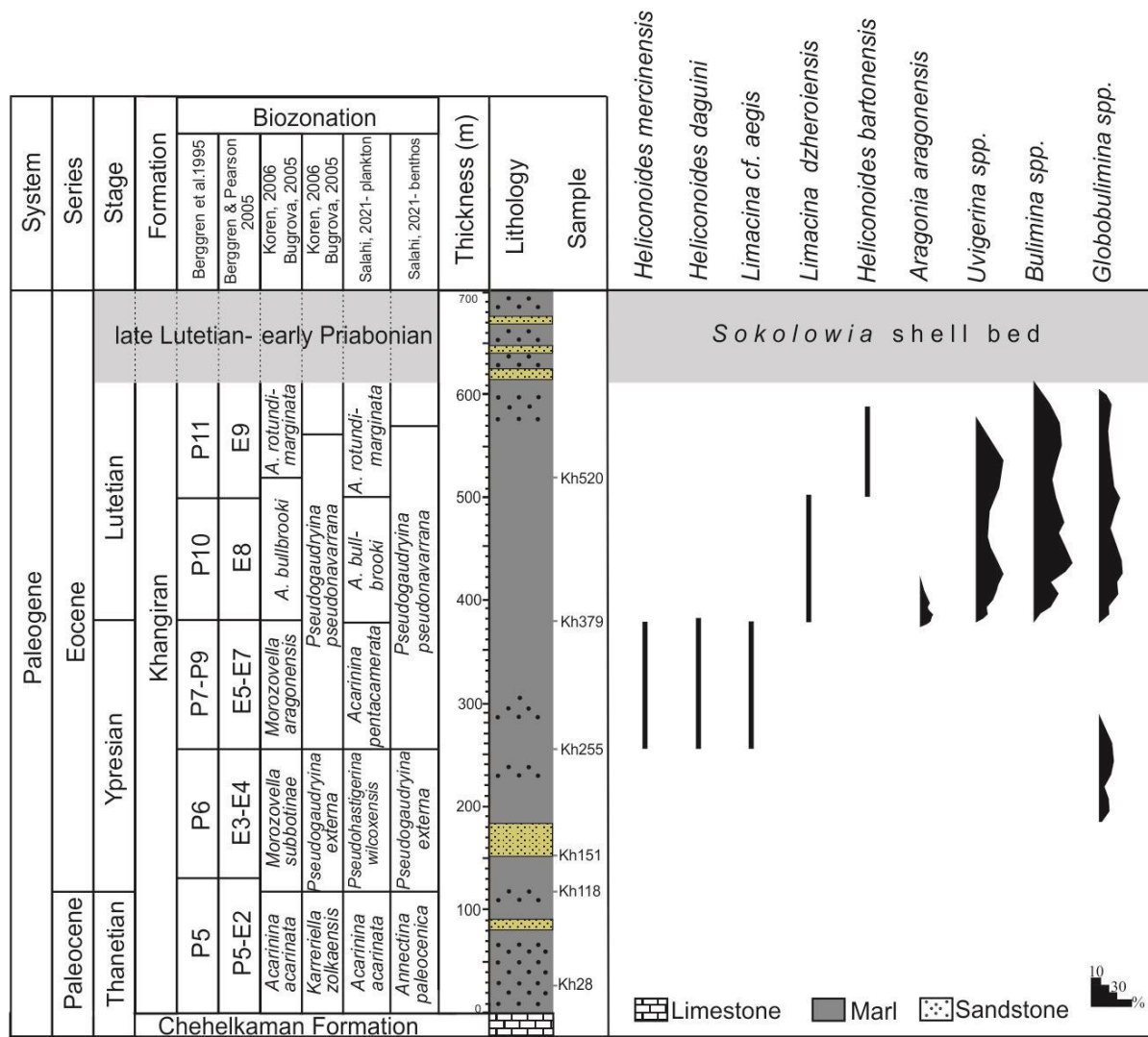
گستره چینه‌شناختی گونه *Heliconoides daguini* نیز ایپرزین میانی – پسین و منطبق بر زیست‌پهنه‌های نانوفسیلی NP12 تا NP13 است [۲۴]. این گونه پیش از این، از فرانسه هم گزارش شده بود [۲۴]. در مطالعه حاضر، گونه *Heliconoides daguini* در طبقاتی از سازند خانگیران که منطبق بر زیست‌پهنه روزن‌داران شناور *Acarinina pentacamerata* و زیست‌پهنه روزن‌داران کفزی *Pseudogaudryina pseudonavarroana* به سن ایپرزین پسین می‌باشند به دست آمده است [۵۲].

گستره چینه‌شناختی گونه *Limacina cf. aegis* ائوسن پیشین و منطبق بر زیست‌پهنه نانوفسیلی NP10 تا NP13 می‌باشد [۳۰]. این گونه از آمریکای شمالی هم گزارش شده است [۳۰، ۳۹]. گونه مورد نظر در مطالعه حاضر از نهشته‌های ایپرزین سازند خانگیران حاصل شده است که منطبق بر زیست‌پهنه روزن‌داران شناور *Acarinina pentacamerata* و زیست‌پهنه روزن‌داران کفزی *Pseudogaudryina pseudonavarroana* به سن ایپرزین پسین می‌باشند [۵۲].

گستره چینه‌شناختی گونه *Limacina dzheroiensis* مرز ائوسن پیشین – میانی و منطبق بر زیست‌پهنه نانوفسیلی NP14 تا NP15 است [۳۵]. این گونه تاکنون از ازبکستان گزارش شده است [۳۵]. گونه *Limacina dzheroiensis* در این مطالعه از طبقات متعلق به قاعده ائوسن میانی سازند خانگیران به دست آمده و منطبق بر زیست‌پهنه روزن‌داران شناور *Acarinina bullbrooki* و زیست‌پهنه روزن‌داران کفزی *Pseudogaudryina pseudonavarroana* به سن لوتسین پیشین می‌باشد [۵۲].

گستره چینه‌شناختی گونه *Heliconoides bartonensis* نیز لوتسین میانی تا بارتونین پیشین است و منطبق بر زیست‌پهنه‌های نانوفسیلی NP14 تا NP21 می‌باشد [۲۷]. این گونه تاکنون از انگلیس، آمریکا و نیجریه گزارش شده است [۲۵]. گونه *Heliconoides bartonensis* در مطالعه حاضر از ردیف‌های لوتسین سازند خانگیران حاصل شده و منطبق بر زیست‌پهنه روزن‌داران شناور *Acarinina rotundimarginata* و زیست‌پهنه روزن‌داران کفزی *Pseudogaudryina pseudonavarroana* به سن لوتسین میانی است [۵۲].

بر این اساس، حضور و توزیع چینه‌شناختی زیای پتروپودی مورد سخن در این پژوهش منطبق بر زیست‌پهنه‌های روزن‌داران شناور *Acarinina pentacamerata*، *Acarinina bullbrooki* و *Acarinina rotundimarginata* در برش الگوی سازند خانگیران هستند و قابلیت انطباق با زیست‌پهنه‌های جهانی E5 تا E9 روزن‌داران شناور و NP13 تا NP15 نانوفسیل‌های آهکی را دارند. این زیست‌پهنه‌ها سن ائوسن پیشین – میانی (آشکوب‌های ایپرزین – لوتسین) را برای گستره حضور زیای پتروپودی در محدوده حوضه رسوبی کپه‌داغ (سازند خانگیران) تعیین می‌کنند (شکل ۳).



شکل ۳: ستون چینه‌نگاری بخش تحتانی برش الگوی سازند خانگیران و جایگاه پتروپودهای شناسایی شده در این پژوهش

۶- دیرینه‌بوم‌شناسی

از آن جا که حفظ‌شدگی پتروپودها در لایه‌های رسوبی با توجه به ترکیب کانی‌شناسی ویژه پوسته آنها نیازمند شرایط خاصی است، این میکروفسیل‌ها می‌توانند شاخص‌های مفیدی برای تفسیر محیط‌های دیرینه و حتی فرآیندهای دیاژنزی باشند. پتروپودها به عنوان جانوران پلاژیک، در ستون آب زندگی می‌کنند، ضمن این که صدف آنها ترکیب آراگونیتی دارد و در مناطق ژرف‌تر دریا به سرعت حل می‌شود [۳۰]. به همین دلیل، حضور زیای پتروپودی در اجتماعات میکروفسیلی، گویای نهشت رسوبات در دریای باز و بالای ژرفای موازنه آراگونیت است [۱۶، ۱۷، ۲۱، ۱۴]، که در ستون آب بالاتر از ژرفای موازنه کلسیت قرار می‌گیرد. بنابراین، با توجه به ماهیت پوسته آراگونیتی، پتروپودهای با فراوانی بالا و حفظ‌شدگی خوب بیشتر در نهشته‌های مناطق اقیانوسی پلیستوسن یافت می‌شوند و فراوانی و کیفیت حفظ‌شدگی آنها با افزایش سن زمین‌شناسی کاهش می‌یابد [۲۹، ۱۱]. اگرچه در موارد معدودی پتروپودهای پالئوژن دارای پوسته نیز می‌باشند، ولی عموماً

به صورت مولد داخلی حفظ شده‌اند. صدف پتروپودهای سازند خانگیران در مطالعه حاضر نیز بیشتر به صورت لیمونیتی و به شکل قالب‌های داخلی هستند.

حفظ‌شدگی پتروپودها در حوضه‌های با سرعت بالای رسوب‌گذاری، چرخش‌های آرام و دمای بالا بهتر صورت می‌گیرد. به باور هرمن [۲۹]، توزیع پتروپودها متأثر از میزان شوری، مواد مغذی، اکسیژن و ژرفای آب است. پتروپودهای امروزی بیشتر در محدوده ژرفایی نریتیک خارجی – شیب قاره و باتیال بالایی در ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر بالایی ستون آب‌های مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری حضور دارند و تنوع و فراوانی آنها به سمت آب‌های معتدل سرد و مناطق قطبی به سرعت کاهش می‌یابد. به استناد مطالعات مختلف انجام شده، به نظر می‌رسد در طول ائوسن نیز شرایط به همین ترتیب بوده است [۱۳، ۴۰، ۳۸، ۴۹، ۳۹]. دفن سریع صدف پتروپودها توسط رسوبات رسی بی‌شک می‌تواند تسهیل‌کننده حفظ‌شدگی آنها باشد. حضور فراوان رس‌ها در ترکیب شیلی سازند خانگیران، عامل مهمی در حفظ و نگهداری این گروه از میکروفسیل‌ها بوده است، ضمن این که برخورداری محیط دیرینه از آب‌های گرم در مرز ائوسن پیشین – میانی، می‌تواند ویژگی مهم دیگری در افزایش حفظ‌شدگی زیای پتروپودی در این سازند باشد.

به نوشته صلاحی [۵۲]، بخش ابتدایی سازند خانگیران در محل برش الگو به سن پالئوسن پسین، ۱۱۸ متر ستبرا دارد و محدوده ژرفای دیرینه نریتیک داخلی را نشان می‌دهد. توالی رسوبی متعلق به ایپرزین از ائوسن پیشین با ۲۶۱ متر ستبرا، با توجه حضور روزن‌داران کفزی ژرفاسنج همچون *Marginulinopsis* spp.، *Gaudriyna* sp.، *Anomalinoidea* spp.، *Lenticulinids* و *Buliminids*، *Pyramidulina* spp.، *Pseudogaudriyna* spp.، *Nuttallides trumpyi*، *Nonionella* sp. ژرفای دیرینه نریتیک میانی – خارجی را تداعی می‌کند [۵۲]. در محدوده مرزی ائوسن پیشین – میانی، با توجه به حضور روزن‌داران کفزی ژرفاسنجی همچون *Aragonia aragonensis* و *Nuttallides trumpyi* به همراه فراوانی قابل توجه گونه‌های فرصت‌طلب نظیر فرم‌های *Uvigerinid*، *Buliminid*، *Globobuliminid*، *Lenticulinid* و حضور قابل توجهی از پیریت‌های کوبیک و فرامبوئید که اشاره به شرایط کم اکسیژنه و پروداکتیویته بالا دارد [۱۸، ۵۶، ۴۳، ۵۳، ۲۶، ۵۵]، ژرفای دیرینه سازند خانگیران به بیشترین مقدار خود در حدود مرز نریتیک خارجی – ابتدای شیب قاره می‌رسد. از منظر زیای روزن‌داران شناور نیز شکوفایی *Pseudohastigerina*، افزایش فراوانی *Subbotina* به همراه ظهور و حضور *Hantkenina* که می‌تواند گویای حادثه بیشینه گرم‌شدگی مرز ائوسن پیشین – میانی باشد [۱۵، ۴۱، ۲۳]، علاوه بر کمک به تعیین جایگاه مرز زمانی یاد شده، گویای حضور آب‌های گرم و افزایش ژرفای دیرینه در طول این مرز است. در کنار این شواهد، حضور زیای پتروپودی نیز مؤید دیگری برای مقدار بیشینه ژرفای دیرینه و آب‌های گرم در طول مرز ائوسن پیشین – میانی است. همراهی آب‌های گرم می‌تواند مهیاکننده ته‌نشست و حفظ‌شدگی آراگونیت در رسوبات باشد [۲۹]. که احتمالاً همین حضور آب‌های گرم در محدوده مرزی ائوسن پیشین – میانی از عوامل مهم حضور زیای پتروپودی در حوضه رسوبی کپه‌داغ و آب‌های شمالی‌تر به سمت پلاتفرم روسیه (محدوده ازبکستان) به شمار رود.

۷- نتیجه‌گیری

افزایش دمای آب دریا طی گذر پالئوسن به ائوسن (موسوم به مرز بیشینه دمایی پالئوسن-ائوسن) منطبق بر ظهور و شکوفایی ناگهانی جنس و گونه‌های قابل توجهی از زیای پتروپودی بوده است. در همین راستا با توجه به ژرفای کمتر سازند خانگیران در محدوده سنی مرز پالئوسن-ائوسن (ژرفای دیرینه نریتیک داخلی)، ثبت زیای پتروپودی در بازه سنی مزبور صورت نگرفته است. با بیشتر شدن ژرفای دیرینه سازند خانگیران به سمت ائوسن میانی و به ویژه در مرز ائوسن پیشین - میانی، ثبت قابل توجهی از زیای پتروپودی صورت گرفته است. همراهی پتروپودها در کنار حضور قابل توجهی از روزن‌داران شناور و کفزی ژرفاسنج می‌تواند پیشنهاد کننده ژرفای دیرینه تقریباً بالای ۲۰۰ متری برای محیط رسوب‌گذاری نهشته‌های مزبور در محدوده مرز ائوسن پیشین - میانی در سازند خانگیران باشد.

سپاس و قدردانی

از داوران مقاله آقایان دکتر سید ناصر رئیس السادات (استاد دانشگاه بیرجند) و دکتر علی بهرامی (دانشیار دانشگاه اصفهان) تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از آزمایشگاه مرکزی دانشگاه مراغه به دلیل فراهم نمودن شرایط مطالعه نمونه‌ها، نهایت تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

- [۱] افشارحرب، ع.، ۱۳۷۳، زمین‌شناسی ایران، زمین‌شناسی کپه داغ، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۷۶ صفحه.
- [۲] حسین زاده فیروزیان، م.، ۱۳۹۰، زیست‌چینه‌نگاری سازند خانگیران در برش الگو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۶۰ صفحه.
- [۳] خادم، م. ج.، ۱۳۷۷، بایواستراتیگرافی سازند خانگیران بر مبنای نانوپلانکتون‌های آهکی، غرب دشت سرخس (شرق روستای کاریزک). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۹۶ صفحه.
- [۴] خداوردی حسن‌وند، م.، بهرامی، ع.، یزدی، م.، صفری، ا.، ۱۳۹۷، فونای شکم‌پایان کفزی و پلاژیک نهشته‌های ائوسن در مناطق سه و زفره (شمال اصفهان)، ایران مرکزی: رخساره‌های رسوبی، دوره ۱۱، شماره ۲، صفحه ۲۲۸-۲۰۱.
- [۵] سنماری، س.، ۱۳۷۷، بایواستراتیگرافی سازند خانگیران بر مبنای نانوپلانکتون‌های آهکی (شرق ناودیس چهل کمان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۲۷ صفحه.
- [۶] صلاحی، م. ا.، ۱۳۹۰، زیست‌چینه‌نگاری سازند خانگیران در دشت سرخس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۵۰ صفحه.
- [۷] صلاحی، م. ا.، و وحیدی نیا، م.، ۱۳۹۲، زیست‌چینه‌نگاری بخش پایینی سازند خانگیران بر مبنای فرامینیفرهای پلانکتونیک در برش ناودیس چهل کمان، خاور حوضه رسوبی کپه‌داغ: پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، دوره ۲۹، شماره ۲، صفحه ۱۰۶-۸۷.
- [۸] صلاحی، م. ا.، قادری، ع.، عاشوری، ع. ر.، و ثیاب قدسی، ع. ا.، ۱۳۹۹، انطباق چینه‌شناسی نهشته‌های پالئوژن حوضه رسوبی کپه داغ آسیای میانه بر مبنای شواهد سنگ‌شناسی و فونای اویستری: علوم زمین، دوره ۲۹، شماره ۱۱۶، صفحه ۳۰۶-۲۹۵.
- [۹] مافی، آ.، ۱۳۸۰، تعیین سن قاعده سازند خانگیران براساس نانوپلانکتون‌های آهکی در ناودیس چهل کمان (شرق کپه داغ). بیستمین گردهمایی علوم زمین.
- [۱۰] وحدتی راد، م.، وحیدی نیا، م.، و صادقی، ع.، ۱۳۹۲، نخستین گزارش پتروپودهای خانواده Limacinidae از سازند خانگیران و اهمیت عمق سنجی دیرینه آنها در مقایسه با روزنداران: رخساره‌های رسوبی، دوره ۶، شماره ۱، صفحه ۱۲۲-۱۱۵.
- [11] ALMOGI-LABIN, A., 1982, Stratigraphic and paleoceanographic significance of Late Quaternary pteropods from deep-sea cores in the Gulf of Aqaba (Elat) and northernmost Red Sea: *Marine Micropaleontology*, 7, 53-72.

- [12] ANDO, Y., UJIHARA, A. and ICHIHARA, T., 2009, First occurrence of Paleogene pteropods (Gastropoda; Thecosomata) from Japan: *Journal of the Geological Society of Japan*, **115**, 187-190.
- [13] BÉ, A.W.H., and GILMER, R.W., 1977, A zoogeographic and taxonomic review of Euthecosomatous Pteropoda. In: Ramsey, A.T.S. (ed.): *Oceanic Micropaleontology*, Academic Press, London, **1**, 733-808.
- [14] BEDNARŠEK, N. and OHMAN, M.D., 2015, Changes in pteropod distributions and shell dissolution across a frontal system in the California Current System. *Marine Ecology Progress Series*, **523**, 93-103.
- [15] BENIAMOVSKY, V.N., ALEKSEEV, A.S., OVECHKINA, M.N., and OBERHÄNSLI, H., 2003, Middle to upper Eocene dysoxic-anoxic Kuma Formation (northeastern Peri-Tethys): biostratigraphy and paleoenvironments, in Causes and Consequences of Globally Warm Climates in the Early Paleogene, Wing, S.L., Gingerich, P.D., Schmitz, B., and Thomas, E., Eds., Geol. Soc. Am. Spec. Pap. **369**, 95-112.
- [16] BERGER, W.H., 1977, Deep-sea carbonate and deglaciation preservation spike in pteropods and foraminifera: *Nature*, **269**, 301-304.
- [17] BERGER, W.H., 1978, Deep-sea carbonate: Pteropod distribution and the aragonite compensation depth: *Deep Sea Research, Part A*, **25**, 447-452.
- [18] BERGGREN, W.A. and AUBERT, J., 1975, Paleocene benthonic foraminiferal biostratigraphy, paleobiogeography and paleoecology of Atlantic-Tethyan regions: Midway-type fauna, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **18**, 73-192.
- [19] BERGGREN, W.A., KENT, D.V., SWISHER, C.C., and AUBRY, M.A., 1995, A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In Berggren, W.A., Kent, D.V., Aubry, M.P., and Hardenbol, J. (Eds.), *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation*, **54**, 129-212.
- [20] BERGGREN, W.A. and PEARSON, P. N., 2005, A revised tropical to subtropical Paleogene planktonic foraminiferal zonation, *Journal of Foraminiferal Research*, **35**, 279-298.
- [21] BIEKART, J.W., 1989, Euthecosomatous pteropods as paleohydrological and paleoecological indicators in a Tyrrhenian deep-sea core. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **71**, 205-224.
- [22] BUGROVA, E.M., 2005, Practical guidebook of Microfauna, Vol. 8: Cenozoic Foraminifera, Ed., St. Petersburg: Vseross. Nauchno-Issled. Geological Institute Press, (in Russian). 323.
- [23] BUGROVA, E.M., BENIAMOVSKY, V.N., TABACHNIKOVA, I.P., RYABOKON', T.S., and RADIONOVA, E.P., 2016, The Kantemirovka Paleogene reference section of the Voronezh Region: Stratigraphy and Geological Correlation, **24**, 602-624.
- [24] CAHUZAC, B. and JANSSEN, A., 2010, Eocene to Miocene holoplanktonic Mollusca (Gastropoda) of the Aquitaine Basin, southwest France: *Scripta geologica*, **141**, 1-193.
- [25] CURRY, D., 1965, The English Palaeogene pteropods. Proc. Malacol. Soc. London, **36**, 357-371.
- [26] ERNST, S.R., GUAUSTI, E., DUPUIS, C., and SPEIJER, R.P., 2006, Environmental perturbation in the southern Tethys across the Paleocene/Eocene boundary (Dababiya, Egypt): Foraminiferal and clay mineral records, *Marine Micropaleontology*, **60**, 89-111.
- [27] GOEDERT, J.L., PECKMANN, J., BENHAM, S.R. and JANSSEN, A.W., 2013, First record of the Eocene pteropod *Heliconoides nitens* (Gastropoda: Thecosomata: Limacinidae) from the Pacific Basin: *Proceedings of the Biological Society of Washington*, **126**, 72-82.
- [28] GÜRS, K. and JANSSEN, A.W., 2004, Sea-level related molluscan plankton events (Gastropoda, Euthecosomata) during the Rupelian (Early Oligocene) of the North Sea Basin: *Netherlands Journal of Geosciences*, **83**, 199-208.
- [29] HERMAN, Y., 1978, Pteropods. An Introduction to Marine Micropaleontology. In: Haq, B.U., & Boersma, A., (eds), Elsevier-North Holland, NY. 151-159.
- [30] HODGKINSON, K.A., GARVIE, C.L. & BÉ, A.W.H., 1992, Eocene euthecosomatous Pteropoda (Gastropoda) of the Gulf and eastern coasts of North America: *Bulletin American Paleontology*, **103**, 5-62.
- [31] JANSSEN, A.W. & KING, C., 1988, Planktonic molluscs (pteropods): *Geologisches Jahrbuch (A)*, **100**, 356-368.
- [32] JANSSEN, A. W., 1989. Some new pteropod species from the North Sea Basin Cainozoic (Mollusca: Gastropoda, Euthecosomata). Mededelingen van de Werkgroep voor Tertiaire en Kwartaire Geologie **26**, 91-133.
- [33] JANSSEN, A. W. 1990, Long distance correlation of Cainozoic deposits by means of planktonic gastropods ("pteropods"); some examples of future possibilities: *Tertiary Research*, **11**, 65-72.
- [34] JANSSEN, A. W., 2000, *Cavolinia grandis* (Bellardi, 1873) from the early Pliocene of New Zealand, a further example of long-distance correlation by means of pteropods. Pp. 45-47 in Notes on the systematics, morphology and biostratigraphy of fossil holoplanktonic Mollusca, 7-9: *Basteria*, **64**, 35-50.
- [35] JANSSEN, A.W., KING, C. and STEURBAUT, E., 2011, Notes on the systematics, morphology and biostratigraphy of fossil holoplanktonic Mollusca, 21. Early and Middle Eocene (Ypresian-Lutetian) holoplanktonic Mollusca (Gastropoda) from Uzbekistan: *Basteria*, **75**, 71-93.
- [36] JANSSEN, A. W., 2012, Early Pliocene heteropods and pteropods (Mollusca, Gastropoda) from Le Puget-sur-Argens (Var), France: *Cainozoic Research*, **9**, 145-187.

- [37] JANSSEN, A.W., JAGT, J.W., YAZDI, M., BAHRAMI, A. and SADRI, S., 2013, Early-middle Eocene faunal assemblages from the Soh area, north-central Iran, 1. Introduction and pteropods (Mollusca, Gastropoda, Thecosomata). *Cainozoic Research*, **10** (1-2), pp.23-34.
- [38] JANSSEN, A.W., and PEIJNENBURG, K.T., 2014, Holoplanktonic Mollusca: development in the Mediterranean basin during the last 30 million years and their future. *The Mediterranean sea: its history and present challenges*, pp.341-362.
- [39] JANSSEN, A.W., CENTER, N.B., SESSA, J.A., and THOMAS, E., 2016, Pteropoda (Mollusca, Gastropoda, Thecosomata) from the Paleocene-Eocene Thermal Maximum (United States Atlantic Coastal Plain).
- [40] JAMES, N.P. and BONE, Y., 2011, Neritic Depositional Environments. *Neritic Carbonate Sediments in a Temperate Realm: Southern Australia*, pp.109-127.
- [41] KING, C., IAKOVLEVA, A.I., STEURBAUT, E., HEILMANN-CLAUSEN, C., and WARD, D.J., 2013, The Aktulagay section, west Kazakhstan: a key site for Early Eocene northern mid-latitude stratigraphy: *Stratigraphy*, **10**, 171-209.
- [42] Koren, T.N., 2006. Biozonal stratigraphy of Phanerozoic in Russia: *Russian Geological Research Institute Press*, (in Russian), 255.
- [43] KOUWENHOVEN, T.J., SPEIJER, R.P., VAN OOSTERHOUT, C.W.M., and VAN DER ZWAAN, G.J., 1997, Benthic foraminiferal assemblages between two major extinction events: the Paleocene El Kef section, Tunisia: *Marine Micropaleontology*, **29**, 105-127.
- [44] LI, X.F., LI, G.B., GARVIE, C.L., WANG, T.Y. and ZHAO, J., 2020, First report of the early Eocene pteropods from the Zhepure Formation in Yadong, southern Tibet, China: *Journal of Paleontology*, **94**, 819-828.
- [45] MANNO, C., BEDNARŠEK, N., TARLING, G.A., PECK, V.L., COMEAU, S., ADHIKARI, D., BAKKER, D.C., BAUERFEIND, E., BERGAN, A.J., BERNING, M.I. and BUITENHUIS, E., 2017, Shelled pteropods in peril: assessing vulnerability in a high CO₂ ocean: *Earth-Science Reviews*, **169**, 132-145.
- [46] MORKHOVEN, V., 1986, Cenozoic cosmopolitan deep-water benthic foraminifera: *Bulletin Centres Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine Mémoire*, **11**.
- [47] MOSHIRFAR, Y., MAHDAVI, M., GHASEMI-NEJAD, E., and ASHOURI, A., 2013, Eocene climatic events recorded in dinoflagellate cyst assemblages from the Kopeh-Dagh Basin, NE Iran; a statistical approach. *Arabian Journal of Geoscience*, **2**, 8670876.
- [48] PECK, V.L., TARLING, G.A., MANNO, C. and HARPER, E.M., 2016, Response to comment "Vulnerability of pteropod (*Limacina helicina*) to ocean acidification: Shell dissolution occurs despite an intact organic layer" by Bednarsek et al. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, **127**, 57-59.
- [49] PIERROT-BULTS A.C. and PEIJNENBURG K.T.C.A. 2015, Pteropods. *Encyclopedia of marine geosciences*. Springer Science+Business Media, 1-10.
- [50] PIRKENSEER, C.M., STEURBAUT, E., ABELS, H.A., KING, C. and SPEIJER, R.P., 2013, An expanded lower Eocene shelf sequence from the eastern Aquitaine Basin, SW France: biostratigraphy, biofacies, and stable carbon and oxygen isotopes: *Newsletters on Stratigraphy*, **46**, 339-361.
- [51] SALAHI, A. and GHADERI, A., 2021, Paleogene Molluscan Communities in the Kopet-Dagh Basin, NE Iran: *Paleontological Journal*, **55**, 1141-1157.
- [52] SALAHI, A., 2021, Late Paleocene-middle Eocene planktonic and small benthic foraminiferal fauna from the type section of Khangiran Formation, Kopet-Dagh Basin (NE Iran), Southernmost Peri Tethys: *Stratigraphy and Geological Correlation*, **29**, 303-321.
- [53] SPEIJER, R.P., SCHMITZ, B., AND VAN DER ZWAAN, G.J., 1997, Benthic foraminiferal extinction and repopulation in response to latest Paleocene Tethyan anoxia: *Geology*, **25**, 683-686.
- [54] SIESSER, W.G., 1983, Paleogene calcareous nannoplankton biostratigraphy: Mississippi, Alabama, and Tennessee: *AAPG Bulletin*, **67**, 1471-1472.
- [55] STASSEN, P., DUPUIS, C., MORSI, A.M., STEURBAUT, E., and SPEIJER, R.P., 2009, Reconstruction of a latest Paleocene shallow marine eutrophic paleoenvironment at Sidi Nasseur (Central Tunisia) based on foraminifera, ostracoda, calcareous nannofossils and stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$): *Geologica Acta: an international earth science journal*, **7**, 93-112.
- [56] TJALSMA, R.C. and LOHMANN, G.P., 1983, Paleocene-Eocene bathyal and abyssal benthic foraminifera from the Atlantic Ocean: *Micropaleontology*, **4**, 1-90.
- [57] VAHDATIRAD, M., VAHIDINIA, M. and SADEGHI, A., 2016, Early Eocene planktonic and benthic foraminifera from the Khangiran formation (northeast of Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, **9**, 1-13.
- [58] ZORN, I., 1991b. A systematic account of Tertiary Pteropoda (Gastropoda, Euthecosomata) from Austria: *Mededelingen van de Werkgroep voor Tertiaire en Kwartaire Geologie*, **28**, 95-139.

آمونیت های سازند کژدمی در کوه سیوند، برش شول، شمال شیراز در حوضه

زاگرس، کاربرد دیرینه بوم شناسی

ناصر رئیس السادات^{۱*}، مهناز پروانه نژاد شیرازی^۲

۱- گروه پژوهشی علوم زمین، معاونت پژوهشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران- ایران

*snraeisosadat@birjand.ac.ir

دریافت تیر ۱۴۰۳، پذیرش بهمن ۱۴۰۳

چکیده

سازند کژدمی در حوضه زاگرس گسترش داشته و دارای دو رخساره کم عمق و عمیق می باشد. برش مورد مطالعه در شمال شیراز در کوه سیوند در نزدیکی روستا شول قرار داد. برش مورد مطالعه با ضخامت ۲۱۰ متر شامل سنگ آهک، سنگ آهک مارنی و سنگ آهک های لایه نازک می باشد. چهار گونه، *Knemiceras persicum* Collignon, 1981، *Knemiceras aff. persicum* Collignon, 1981، *Knemiceras aff. iraniense* Collignon, 1981، *Knemiceras dubertreti* Basse, 1940، مورد شناسایی قرار گرفتند و توصیف شدند. بررسی آمونیت های سازند کژدمی نشان می دهد، گروههای شکلی متفاوت در این سازند پراکنده هستند. به طوریکه در غرب حوضه و فروافتادگی دزفول آمونیت های اسفروکونیک با تزئینات کم پراکندگی بیشتر دارد که نشانه دهنده عمق بیشتر است، در حالیکه در نواحی استان فارس و بوشهر آمونیت های با تزئینات بیشتر که نشانه دهنده عمق کمتر حوضه است، گسترش دارند. در برش شول نیز مجموعه آمونیتی نیز عمق کم را پیشنهاد می کند که این امر با حضور فرامینیفراهای بتتیک پشتیبانی می شود.

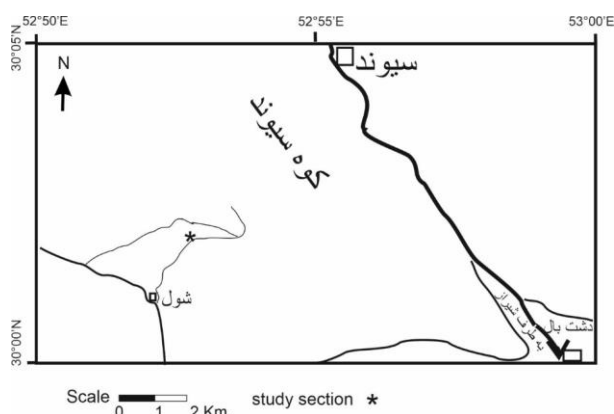
کلمات کلیدی: آمونیت، آلبین، سازند کژدمی، دیرینه بوم شناسی، حوضه زاگرس

۱- مقدمه

نام آهک بنگستان اولین بار برای آهکهای کرتاسه‌ی میانی یا آهکهای رودیست دار، آهکهای هیپوریت دار و بالاخره آهک لشتگان به کار رفت [۶۶]. سپس [۴۰] این نام را به گروه بنگستان ارتقاء دادند که شامل سازندهای کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام است. برش نمونه‌ی سازند کژدمی در تنگ گرگدا یا گرگدان واقع در یال جنوب غربی کوه میش در ۷ کیلومتری شمال شرقی دوگنبدان قرار دارد. نام سازند از قلعه‌ی کژدمی در ناحیه فروافتادگی دزفول انتخاب شده است. قبلاً این سازند قسمتی از شیل‌های آمونیت دار محسوب می شد و گاهی آن را سازند عباد نیز اطلاق می کردند [۴]. ضخامت این سازند در برش نمونه ۲۱۰ متر اندازه گیری شده است. سنگ شناسی سازند کژدمی، شیل‌های خاکستری و سیاه‌رنگ بیتومینه‌دار می‌باشد. حد پایینی سازند کژدمی با سازند داریان با وجود زون‌های قرمز رنگ حاوی اکسید آهن مشخص می‌شود. این افق نشانگر خروج از آب سازند داریان در زمان آپتین-آلبین است. حد بالایی سازند کژدمی با سازند سروک به صورت همشیب و تدریجی است. گاهی سازند سروک بر روی تناوبی از شیل-آهک سازند کژدمی قرار دارد [۴]. رسوبگذاری کرتاسه‌ی میانی در فارس و فروافتادگی دزفول با یک پیشروی جدید آغاز می شود که حاصل آن رسوبات شیلی و آهکی (سازند کژدمی) در اشکوب آلبین است. کم عمق شدن دریا در اواخر آلبین تا سنومانین باعث رسوب مقادیر زیادی از آهک‌های کم عمق سازند سروک در پهنه‌ی وسیعی از حوضه‌ی زاگرس شده است [۴]. در طول آپتین میانی شلف کربناته وسیعی شامل سنگ آهک‌های پلتی - بایوکلاستی، سازند داریان در تمامی نواحی حوضه زاگرس بجز لرستان برجای گذاشته شده است. در همین دوره، حوضه ایتراشلف با آب‌های عمیق در دو سمت شمال و جنوب خلیج فارس گسترش داشتند که در جهت جانبی به سمت ناحیه فروافتاده دزفول به شیل‌ها و آهک‌های سازند کژدمی تبدیل شده است [۴]. در دیگر قسمت‌های زاگرس، پس از یک دوره هیاتوس در نئوکومین پسین، رسوبگذاری سنگ آهک در محیط کم عمق با نفوذ رسوبات رسی در بarmین و آپتین تعقیب می‌شود. این ردیف آهکی و شیل به سمت حجاز و کویت به رسوبات ماسه‌ای تبدیل می‌شود که معرف کم عمق شدن حوضه در آن راستاست. در طی آپتین تمامی فارس و قسمت اعظم خوزستان، خلیج فارس، شمال حجاز و همچنین ربع الخالی به وسیله ورقه‌ای از نهشته های آهکی کم عمق پوشانیده می‌شود. در پایان آپتین، تمامی مناطق به استثنای قسمت عمیق حوضه در لرستان از آب خارج شده که نتیجه آن وجود یک ناهمسازی فرسایش ناحیه ای است. بالا آمدن پلاتفرم فارس در اواخر آپتین موجب پیدایش لایه‌ای آغشته به ترکیبات آهن‌دار ماسه‌ای و گلوکونیتی در بالای سازند داریان شده است و به سوی فروافتادگی دزفول به صورت جانبی به شیل‌ها و آهک‌های سازند کژدمی تغییر می‌یابد. در نواحی مرکزی فارس، خاور و شمال‌خاوری شیراز و در شمال فروافتادگی دزفول، رسوبگذاری کربنات‌ها و تا حدودی شیل‌ها در تمامی کرتاسه پیشین، بدون توقف ادامه می‌یابد. در کرتاسه میانی، اغلب نقاط زاگرس دچار پیشروی بزرگی می‌شود که شیل‌ها و آهک‌های سازند کژدمی توسعه بیشتری می‌یابند [۴].

در زمان آلبین بالایی، دریا در نواحی فارس و ناحیه فروافتاده دزفول پسروی را آغاز کرده است. این پسروی تا زمان سنومانین ادامه یافته و باعث رسوب گذاری مقادیر زیادی از سنگ آهک‌های کم عمق (سروک) در پهنه وسیعی از حوضه زاگرس شده است. در نواحی ساحلی فارس و خلیج فارس در طی سنومانین، یک واحد شیلی توسعه یافته است که

در تداوم با شیل احمدی در حجاز است. در پایان سنومانین، منطقه دستخوش یک بالا آمدگی و خروج از آب گردیده و قطعات کوچکی (بلندیهای قدیمی) از آب خارج و موجب فرسایش یا نابودی سنگ آهک‌های سنومانین شده است. در طی آپتین تا سنومانین دو رخساره کم عمق و عمیق در زاگرس حاکم بوده است. سازند کژدمی در منطقه فارس به‌طور عمده از رخساره‌ی کم ژرفای آهکی تشکیل شده است [۴۰]. پیشروی دریای کژدمی در ناحیه فارس با تشکیل یک واحد آواری مشخص می‌شود. این واحد نشانه‌ی وجود یک ناپیوستگی هم شیب در مرزسازندهای داریان و کژدمی در آن ناحیه است. این واحد در ناحیه‌ی فروافتاده دزفول که در وسط سازند کژدمی جای دارد به خوبی با واحدهم ارز آن در ناحیه‌ی فارس (قاعده سازند کژدمی) مطابقت دارد. این واحد در چاه‌های عراق و کویت رشد بیشتری داشته، به‌طوری‌که تمامی سازند کژدمی با رخساره‌ی شیل به ماسه‌سنگ و سیلتستونهای سازندهای نهرعمر و بورگان در عراق و کویت تبدیل می‌شود [۷۴]. مطالعات مختلفی بر روی مجموعه‌های فسیلی و رخساره سازند کژدمی انجام شده است. از مطالعات انجام شده بر روی آمونیت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. [۲۷] فونای آمونیتی سازند کژدمی را به سن آلبین تا سنومانین در استان فارس و خوزستان مورد بررسی قرار داده است. [۴۴] به مطالعه دقیق تر جنس *Knemicers* و گونه‌های آن به طور همزمان در مناطقی از سوریه، لبنان و جنوب باختر ایران پرداخته است. [۵] خط درز آمونیت‌های کژدمی در شمال خاور شیراز را بررسی کرده اند. [۲۳] دیرینه‌شناسی سیستماتیک آمونیت‌های آپتین و آلبین جنوب غرب ایران را مورد مطالعه قرار داده است. [۱] به بررسی آمونیت‌های آلبین سازند کژدمی در برش نار، خاور بوشهر (پهنه زاگرس) پرداختند. [۳] چینه‌نگاری زیستی سازند کژدمی بر مبنای آمونیت‌ها در شمال غرب بهبهان را انجام دادند. [۵۷] آمونیت‌های سازند کژدمی را مورد مطالعه قرار دادند. [۶۴] مجموعه فرامینیفرها و آمونیت‌های آپتین-آلبین حوضه زاگرس را بررسی کردند. [۶۳] به معرفی آمونیت‌های سازند کژدمی ناحیه فیروزآباد استان فارس پرداختند. برش مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی $52^{\circ} 53' E$ و $30^{\circ} 03' N$ در ارتفاع ۱۸۵۰ متری کوه سیوند واقع در ۹۶ کیلومتری شمال شرق شیراز و سه کیلومتری شمال روستای شول قرار دارد (شکل ۱). بایواستراتیگرافی میکروفسیل‌های برش مورد اندازه‌گیری قبلاً توسط [۲] مطالعه شده است (شکل ۲).



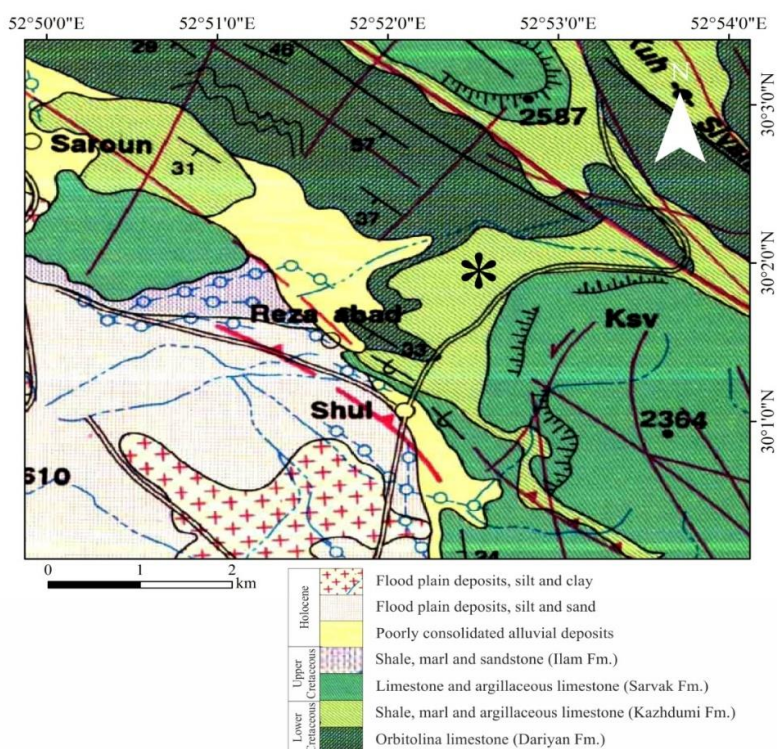
شکل ۱- موقعیت جغرافیای برش مورد مطالعه (اخذ شده از نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ سیوند، سازمان جغرافیایی ارتش جمهوری اسلامی ایران).

۲- روش مطالعه

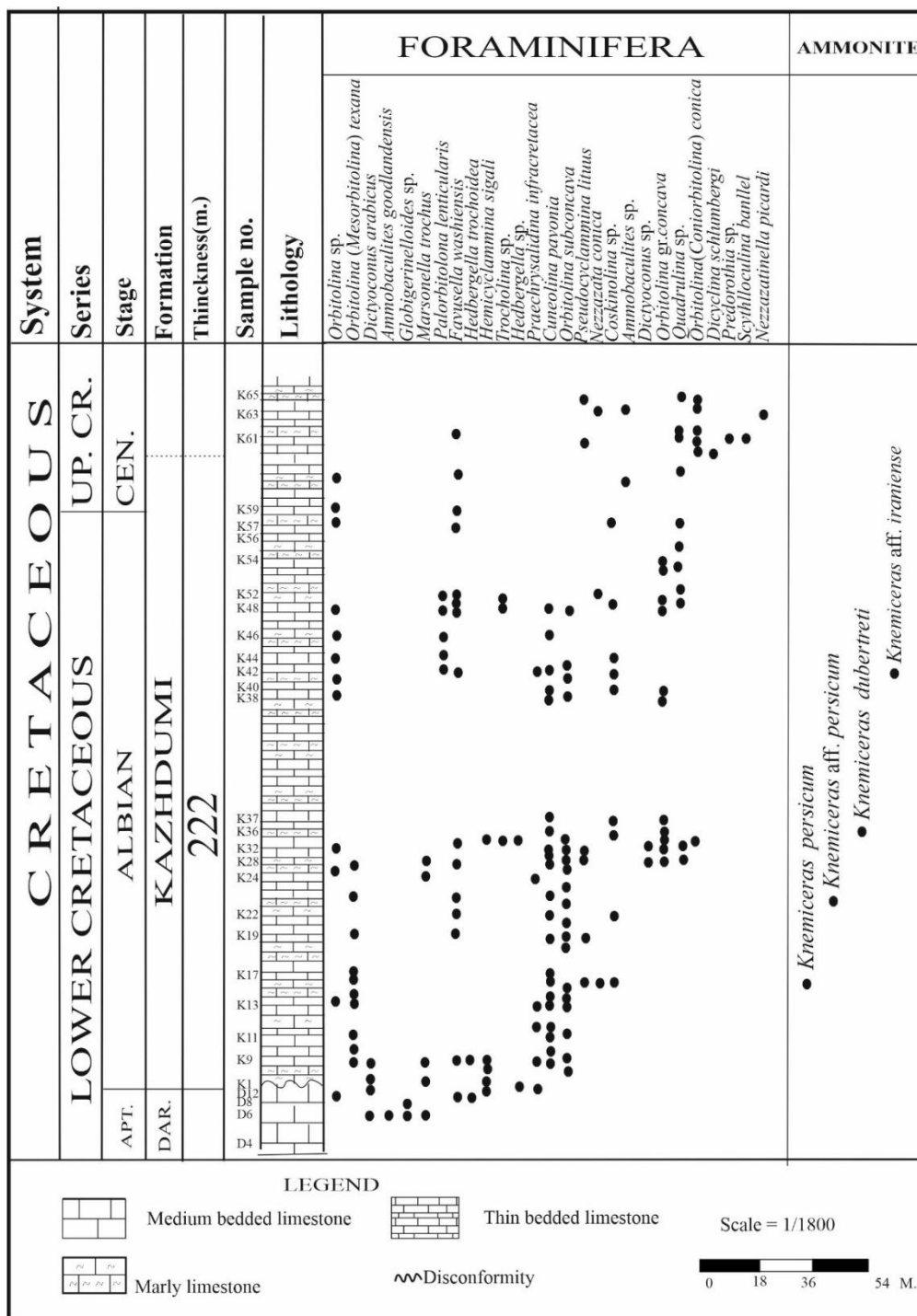
با استفاده از تصاویر ماهواره ای و نقشه های زمین شناسی و با توجه به دسترسی مناسب به منطقه، ابتدا برش مناسب انتخاب و سپس نمونه برداری انجام شد. نمونه ها در آزمایشگاه تمیز شد، سپس با پودر نوار منیزیم سفید شده و عکس برداری شده است. با استفاده از منابع مختلف که در متن به آن اشاره شده است به شناسایی و توصیف نمونه ها پرداختیم. در ترسیم شکلها و پلیت ها از نرم افزارهای فتوشاپ و کورل دراو استفاده شده است.

۳- توصیف چینه شناسی

مطالعات انجام شده نشان میدهد که منطقه مورد مطالعه از نظر چینه شناسی در منطقه فارس داخلی قرار می-گیرد. در برش مورد مطالعه سازندهای داریان، کژدومی و سروک به طور همشیب بر روی هم قرار دارند (شکل ۲). در این ناحیه سازند کژدومی که هدف اصلی این مطالعه می-باشد، شامل ۲۱۰ متر تناوبی سنگ آهک و سنگ آهکهای مارنی خاکستری رنگ اکثرا لایه متوسط می باشد. در برش مورد مطالعه سازند کژدومی با مرز ناپیوستگی فرسایشی بر روی سنگ آهکهای ضخیم لایه سازند داریان قرار گرفته است. مرز بالایی سازند کژدومی با سازند سروک پیوسته بوده و با تغییر سنگ شناسی از سنگ آهکهای مارنی زرد رنگ به سنگ آهک خاکستری نسبتا تیره مشخص می شود. همچنین مجموعه فرامینفرهای گزارش شده در انتهای سازند کژدومی نشان دهنده پائین ترین قسمت آشکوب سنومانین است (شکل ۳).



شکل ۲- بخشی از نقشه زمین شناسی سیوند با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ [V] که برش مورد مطالعه در آن قرار گرفته است. موقعیت برش با ستاره نشان داده شده است.



شکل ۳- گسترش مجموعه فرامینیفر برش مورد مطالعه (با تغییرات، اخذ شده از [۲])

۴-سیستماتیک دیرینه شناسی

Phylum Mollusca Cuvier, 1795 [۲۸]

Class Cephalopoda Cuvier, 1795 [۲۸]

Sub Class Ammonidea Zittel, 1884 [۷۵]

Order Ammonitida Hyatt, 1889 [۷۵]

Suborder Ammonitina, Hyatt, 1889 [۳۵]

Superfamily Hoplitaceae Douvillé, 1890 [۲۹]

Family Engonoceratidae Hyatt, 1900 [۳۶]

=Family Knemiceratidae Hyatt, 1903 *emend.* [۳۷]

اینولوت، قسمت کناری تقریباً صاف، تزئینات دنده ای درشت با توپرکل های جانب- شکمی. خط درزها با سدل های ساده و لوب های پیچیده، دهانه در تمام مراحل چهارگوش.

[۷۱] این خانواده را در Hoplitoidea با هشت جنس شامل *Knemiceras*, *Hypengonoceras*, *Engonoceras*, *Parengonoceras*, *Neolobites*, *Metengonoceras* و *Protengonoceras* قرار دادند.

موقعیت سیستماتیک *Hypengonoceras* توسط [۶۱] مورد بحث قرار گرفته است. [۶۰] از جنس [۳۴] *Glottoceras* Hyatt 1875 استفاده کرد. [۲۳] جنس *Glottoceras* را به عنوان یک جنس جدا معرفی کرد.

با این حال، بحث این موضوع باز است و نیاز به مطالعه بیشتر دارد. [۶۱] خانواده Engonoceratidae از نظر سیستماتیک در زیرمجموعه *Pulchellioidea* قرار می دهند، در حالیکه [۴۳]، [۷۲]، [۵۵]، [۶۷] و [۱۱] کماکان این گروه را در *Hoplitoidea* قرار می دهند، البته [۴۸] آن را به *Pulchellioidea* ارجاع می دهد. [۲۴] رتبه این خانواده را به روخانواده Superfamily Engonoceratoidea Hyatt 1900 [۳۶] ارتقاء می دهد. [۵۰] از سوپرخانواده Engonoceratoidea Hyatt, 1900 [۳۶] شامل خانواده Engonoceratoidea Hyatt, 1900 [۳۶] و خانواده Knemiceratidae Hyatt 1903 [۳۷] استفاده کردند.

بحث: شباهت در خصوصیات و مورفولوژی مراحل اولیه رشد در *Knemiceras*، *Parengonoceras* Spath، *Glottoceras* Hyatt و Böhm که به شدت تکامل این سه جنس را از یک اجداد مشترک پس از جدایش جغرافیایی در آلبین پایین نشان می دهد [۶۱].

به نظر می رسد که در انتهای بایوزون *L. tardefucata* یا در ابتدای بایوزون *D. mamillatum*، *Platiknemiceras* در خاورمیانه (ایران، مصر، لبنان) و *Parengonoceras* در شمال آفریقا (تونس، الجزایر) ظهور پیدا کرده است. گام جدیدی در تکامل با گسترش *Parengonoceras* به سمت آمریکای جنوبی (ونزوئلا، کلمبیا، پرو) و فردی شدن *Glottoceras* در طول منطقه *D. mamillatum* مشخص شد.

سن: کرتاسه پیشین (؟ آپتین پسین - آلبین پیشین)، کرتاسه پسین (سنومانین پسین).

Genus *Knemiceras* Böhm, 1898 [۱۸]

Type species: *Ammonites syriacus* v. Buch, 1850, p. 20, pl. 6, figs 8-10, by original designation. [۲۲]

توصیف: اینولوت، ریب ها در مراحل اول رشد غیربرآمده است سپس متوسط تا قوی، معمولاً منفرد، گاهی به صورت جفت، از حاشیه ناف با یک توبرکل شروع می شود و قسمت شکمی نیز دارای تکمه های شکمی-جانبی است. خط درز با لوب های سینوسی و سدل های ساده، طرفین فشرده شده تا تقریباً محدب، قسمت شکمی صاف یا کمی مقعر.

[۷۱] این جنس اینگونه توصیف کرده اند. فشرده تا کمی باد کرده، قسمت شکمی صاف تا کمی مقعر، ریب ها نسبتاً تا بسیار مشخص، با فاصله از همدیگر، گرد شده یا پهن، معمولاً به صورت جفت از ناحیه نافی از یک توبرکل شروع می شوند و به تکمه ای شکمی-جانبی ختم می شوند یا از قسمت شکمی عبور می کنند. خط درز با لب های چین دار و سدل های ساده که معمولاً نامنظم هستند.

[۲۳] و [۷۱] معتقدند [۳۳] *Cnemidoceras* Haug, 1900 [۳۳]. *Cnemidoceras* Haug, 1900 [۳۳]. [۴۶] *Iranoknemicerases* [۲۷] و *Omaimaiceras* Mahmoud, 1955 [۵۴] *Knemoceras* Krause, 1902 Collignon, 1981 همه سیانیم این جنس هستند.

ملاحظات: معرفی جنس *Glottoceras* توسط [۶۰] عدم قطعیت های سیستماتیک پیرامون *Knemiceras* را حل نکرد. او این جنس را یک تنوع جغرافیایی در نظر گرفت و مشکل موقعیت سیستماتیک گونه های *Knemiceras* باقی مانده را باز گذاشت

جنس *Knemiceras* یک گروه مهم برای چینه شناسی صفحه عربستان است زیرا اغلب تنها آمونیتی است که در محیط های آب کم عمق یافت می شود که مشخصه بیشتر این منطقه در زمان آلبین است. آنها در گذشته در مورد محتوای جنس و سن گونه های مختلف اختلاف زیادی داشته اند و در بسیاری از موارد این مشکل حل نشده باقی مانده است [۲۵]. [۶۱]، [۳۲].

این سردرگمی به موارد زیر مرتبط است: (۱) انبوه گونه های بدون توجه به تنوع درون گونه ای و چندشکلی (۲) فقدان داده های دقیق چینه شناسی. علاوه بر این، حتی زمانی که پراکنش چینه شناسی گونه مشخص باشد، عدم وجود سایر فسیل ها همراه یک نقص است [۲۴]. به نظر وی جمع آوری گونه های *Knemiceras* به همراه سایر فوئناهای شاخص می تواند در شناسایی مفید باشد.

گسترش: این جنس از مصر [۵۰]، [۱۰]، تونس [۴۷]، [۴۹]، [۵۱]، الجزایر [۲۳]، ایران و عمان [۲۴]، [۲۳]، [۲۷]؛ لبنان [۴۴] (اسپانیا [۵۶]، فرانسه [۲۳]، کلمبیا و پرو [۲۳] گزارش شده است. سن: مرز آپتین-آلبین تا سنومانین پیشین حداکثر تا آلبین پسین.

در این بخش به منظور ارائه سیستماتیک آمونیت های شناسایی شده از رده بندی [۷۱] استفاده شده است. تمام اندازه گیری های بیومتری برحسب میلیمتر بوده و فاکتورهای اندازه گیری شده عبارتند از: D: قطر نمونه (Diameter)، WH: ارتفاع آخرین پیچش (Whorl thickness)، WT: ضخامت آخرین پیچش (Whorl breadth)، U: قطر بخش نافی (Umbilical)، WH/D: نسبت ارتفاع آخرین پیچش به قطر، WT/D: نسبت ضخامت آخرین پیچش به قطر نمونه، U/D: نسبت قطر ناف به قطر نمونه، WT/WH: نسبت ضخامت آخرین پیچش به ارتفاع آخرین پیچش

Species *Knemiceras persicum* Collignon, 1981 [۲۷]

Type Species: holotype by original designation of Collignon (1981, p. 259) [۲۷]

Plate 1, Fig. A-C

1981 *Knemiceras syriacum* von Buch- Collignon, p. 254, pl. 1, fig. 3, pl. 2, fig. 2; pl. 6, figs. 4. [۲۲]

1981 *Knemiceras kazhdumiense* Collignon, p. 255, pl. 3, fig. 1. [۲۷]

1981 *Knemiceras cf. attenuatum* Hyatt, Collignon, p. 256, pl. 6, Fig. 2. [۲۷]

1981 *Knemiceras aegypticum* Mahmoud, Collignon, p. 257, pl. 4, fig. 2. [۲۷]

1981 *Knemiceras collegnoni* Mahmoud, Collignon, p. 258, pl. 4, fig. 3. [۲۷]

1981 *Knemiceras (Iranoknemiceras) persicum* Collignon, p. 259, pl. 5, fig.1. [۲۷]

1981 *Parengonoceras zagrosiense* Collignon, p. 261, pl. 7, fig. 1. [۲۷]

2009 *Knemiceras persicum* Collignon, Kennedy et al., p. 14-19, pl. 5, fig. 5; pl. 7, fig.6; pl. 10- 13; ll. 14, fig. 2; pl. 15-18, text-figs.9, 10. [۴۴]

2010 *Knemiceras persicum* Collignon, Bulot, p. 173, pl. 1-2 to 1-5. [۲۴]

2014 *Knemiceras persicum* Collignon, Kamyabi Shadan, pl. 8, figs. 1, 2. [۴۱]

2016 *Knemiceras persicum* Collignon, Asadi et al., p. 200, pl. 1, fig. 5; pl. 3, figs. 1-6; pl. 4, fig. 2; pl. 5, figs. 1-6; pl. 6, figs. 1-3.) [۱۲]

2023 *Knemiceras persicum* Collignon, Sedghi et al., fig. 6- 13-16. [۶۴]

نمونه های مورد مطالعه: K-23-K-16-1; K-16-2

مشخصات مورفومتریک

Sample No.	D	WH	WH/D	WT	WT/D	U	U/D	WT/WH
K-16-1	80	45	0.56	40	0.50	22	0.27	0.63

توصیف: پیچش اینولوت و فشرده، قسمت های جانبی محدب، که در خط الراس باریک میشود. قسمت شکمی محدب، مقطع حجرات فشرده و تقریباً چهارگوش، ریب های اصلی کشیده و کاملاً برجسته است که در میان آنها ریب های فرعی دیده می شود. ریب ها در حاشیه نافی حالت محدب دارند و به صورت مستقیم از حاشیه داخلی به حاشیه خارجی ادامه دارند بخش پشتی تقریباً فشرده و کمی فرو رفته است و در دو طرف کلاوی های کشیده، قرینه، با تیزی رو به بالا دیده می شود.

بحث: مقطع حجرات در *Knemiceras persicum* در مرحله بلوغ حالت چهارگوش تا دوزنقه ای دارد. همچنین توپرکل های جانبی نیز در قسمت دهانی دیده می شود. البته در بیشتر موارد قسمت دهانه فشرده و بدون تزئینات مشخص است. همچنین خط درز مشخص است. با این مشخصات از *K. dubertrei* و *K. syriacum* جدا می شود. معمولاً دو جنس اخیر از نظر اندازه کوچکتر از *Knemiceras persicum* هستند. همانطور که در قسمت سینانیم اشاره شد [۴۴]

معتقدند که تعدادی از گونه‌هایی که [۲۷] معرفی کرده است سینانیم این گونه هستند. این مسئله البته نیاز به بررسی بیشتر دارد. همچنین نمونه K-23 تصاویر D-F از پلیت یک *Knemiceras aff. persicum* شناسایی شده‌اند. نمونه مورد مطالعه کامل نبوده و همه خصوصیات گونه را به خوبی نشان نمی‌دهد. به عنوان مثال توپرکل‌های حاشیه نافی به خوبی دیده نمی‌شوند. اما از نظر وضعیت حاشیه شکمی و طرح ریب‌ها شباهت خوبی به *Knemiceras persicum* نشان می‌دهند.

به نظر می‌رسد این گونه بیشتر از قسمت ایرانی حوضه زاگرس در نواحی خوزستان و فارس گزارش شده است [۲۷]، [۴۴]، [۱۲]، [۲۴]. البته [۲۴] بیان داشته این گونه در سازند نهر عمر عمان یافت شده است و مقاله آن در حال انتشار است. اما با جستجو در نت به چنین مقاله‌ای دست نیافتیم.

گسترش زمانی: [۴۴] گونه *Knemiceras persicum* را همراه *Tegoceras camatteanum* گزارش کرده‌اند و بر این اساس سن بالاترین قسمت آلبین پیشین را پیشنهاد می‌کنند. [۲۴] Bulot (2010) گسترش این گونه را از قسمت بالای آلبین پیشین *D. mammillatum* Zone تا پائین‌ترین آلبین میانی *H. dentatus* Zone, *L. lyelli* (Subzone) مشخص کرده است.

Knemiceras aff. iraniense Collignon, 1981 [۲۷]

Plate 1, Fig. G-I

1981 *Knemiceras iraniense* sp. nov., Collignon, p. 254-255, pl. 1, fig. 1, pl. 2, fig. 1 [۲۷]

aff. 2010 *Knemiceras aff. iraniense* Collignon, Bulot, p. 8, pl. 3 figs. 1-4. [۲۴]

نمونه مورد مطالعه K-36

مشخصات مورفومتریک

Sample No.	D	WH	WH/D	WT	WT/D	U	U/D	WT/WH
K-36	64	36	056	23	035	16	0.25	0.63

توصیف: نمونه مورد مطالعه کامل نیست و کمی فرسایش یافته است. پیش‌پلانیس پایرال است، از مشخصات این گونه وجود توپرکل‌های مشخص است. در اطراف ناف کوچکتر و به صورت تکمه هستند. اما در ناحیه شکمی بزرگتر و مشخص‌تر که در انتهای ریب‌های اصلی قرار گرفته‌اند. ناف نسبتاً عمیق با دیواره‌های مورب و دکمه‌هایی که در اطراف آن است. مقطع عرضی چهار گوش تا کمی ذوزنقه. خط درزها در نمونه مورد مطالعه خیلی واضح نیست. اما لوب‌ها دندانه دار و متعدد و سدل‌ها بدون بریدگی واضح هستند.

بحث: *Knemiceras laraense* Renz مانند *Knemiceras iraniense* دارای توپرکل‌های مشخص است. اما اندازه آنها کوچکتر و نوک تیزتر هستند. در گونه مورد مطالعه توپرکل‌های جانبی خیلی واضح نیستند و در واقع ضخیم شدن ریب‌ها هستند. همچنین ناف عمیق‌تر از *Knemiceras laraense* است.

مجموعه جمع‌آوری شده در عسلویه تنوع درون گونه‌ای مهمی را نشان می‌دهند. فرم‌های فشرده با نمونه کوچکتری که توسط [۲۷] Collignon (1981, Pl. 2, Fig. 1) نشان داده شده، مطابقت دارند و حجره بدنی کوچکتری را نیز نشان

می دهند [۲۴] و [۴۴] گونه *Knemiceras iraniense* که توسط [۲۷] معرف شده را سینانیم *Knemiceras persicum* می داند.

گونه *Knemiceras iraniense* یک گونه اندمیک (محلی) حوضه زاگرس بوده و فعلا فقط از قسمت ایرانی زاگرس گزارش شده است [۲۷]، [۲۴].

گسترش زمانی: با توجه به همراهی این گونه با *Venezolicerias* سن انتهای آلبین میانی تا آلبین پسین پیشنهاد می شود [۲۴].

Knemiceras dubertreti Basse, 1940 [۱۳]

Plate 1, Fig. J-M

1940 *Knemiceras dubertreti* Basse, p. 427, pl. 1, figs. 3, 4; pl. 2, figs. 1, 2; text-figs. 2a, b.

[۱۳]

1981 *Knemiceras kazhdumiense* Collignon, p. 255, pl. 3, fig. 1. [۲۷]

1991 *Knemiceras dubertreti* Basse, Kennedy & Simmons, p. 132, pl. 1 d. [۴۵]

2009 *Knemiceras dubertreti* Basse, Kennedy et al., p. 12-14, pl. 6, figs. 1-5; pl. 7, figs 2-5; pl. 8, figs. 1, 2; pl. 9, fig. 1; Text-figs. 7, 8. [۴۴]

2016 *Knemiceras dubertreti* Basse, Asadi et al., p. 200, pl. 1, figs. 1-4, pl. 4, figs. 104. [۱۲]

نمونه مورد مطالعه: K-41

مشخصات مورفومتریک

Sample No.	D	WH	WH/D	WT	WT/D	U	U/D	WT/WH
K-41	67	31	046	16	0.23			0.51

توصیف: پیچش پلانیس پایرال، ناف کم عمق، شانه نافی باریک و گرد، پهلوها نسبتا مسطح، و به صورت همگرا به یک قسمت شکمی می رسند. در اطراف ناف تکمه های مخروطی مشخص دیده می شود که از آنها ریب های اصلی سرچشمه می گیرند. ریب های فرعی بین آنها قرار دارد. در قسمت شکمی نیز ریب های اصلی با تکمه های مشخص پایان می یابد. ریب ها مستقیم هستند، اما به نظر می رسد در نزدیکی حاشیه شکمی کمی انحناء می یابند. اثراتی از ریب در حاشیه شکمی دیده می شود. قسمت شکمی معمولا صاف یا دارای انحناء کمی است.

بحث: *Knemiceras dubertrei* به راحتی از *K. syriacum* با اندازه بزرگتر در نمونه های بالغ و نوع خط درز قابل تشخیص است. این گونه با گونه *Knemiceras compressum* نیز متفاوت است. *Knemiceras compressum* دارای ریب های درشت تر و و فشرده تر از گونه مورد مطالعه است. *Knemiceras dubertrei* دارای سدل های کمکی تزئین شده است. گونه مورد مطالعه همچنین مانند *K. persicum* سدل های جانبی خارجی حاشیه ای ندارد. [۲۴]

Knemiceras aff. kazhdumiense را گزارش کرده اما معتقد است گونه مورد مطالعه او شباهت هایی را با *K. dubertrei* نشان می دهد.

این گونه علاوه بر ایران از لبنان، سوریه، شبه جزیره سینا و عمان گزارش شده است [۴۴]، [۴۵]، [۲۷]، [۵۳].

گسترش زمانی: *Knemiceras dubertrei* به همراه *Lyelliceras lyelli* یافت شده و بنابراین سن قاعده آلبین میانی دارد. این گونه از لبنان، سوریه و عمان گزارش شده است [۴۴] (Kennedy et al., 2009).

Plate 1

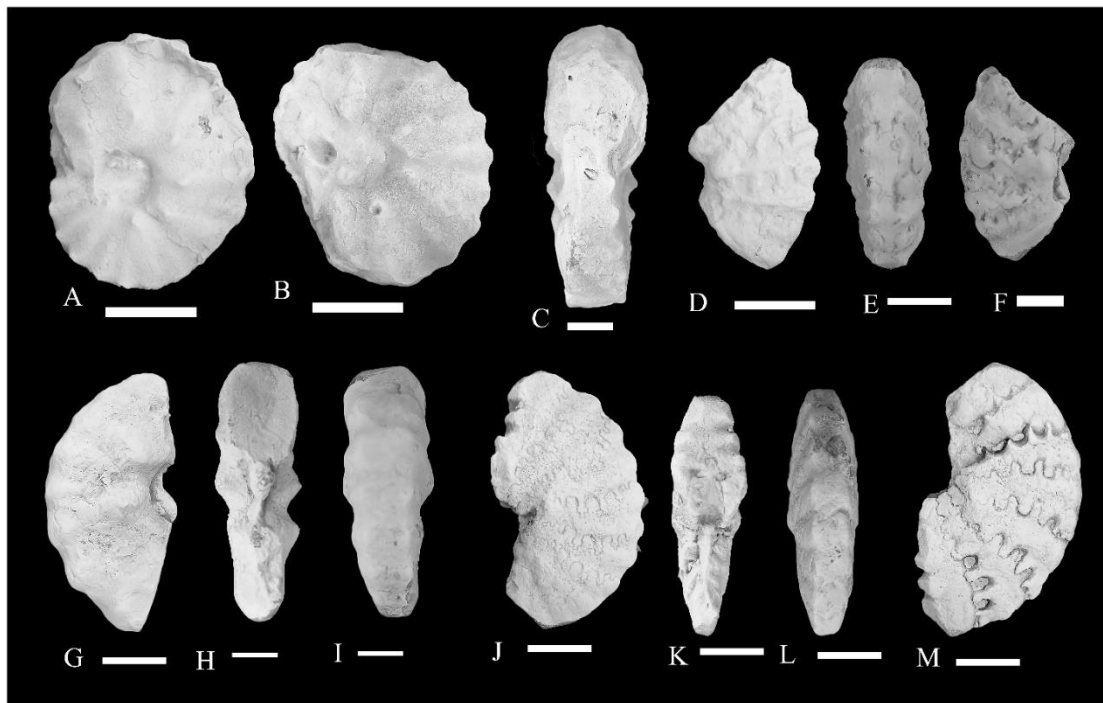


Plate 1, Fig. A-C, *Knemiceras persicum* Collignon, 1981 sample number no. K-16, Fig. D-F, *Knemiceras* aff. *persicum* Collignon, 1981, sample number no. K-23, Fig. G-I, *Knemiceras* aff. *iraniense* Collignon, 1981 [۲۷], sample number no. K-36, Fig. J-M, *Knemiceras dubertrei* Basse, 1940 [۱۳], sample number no. K-41,

۵- بوم شناسی دیرینه

آمونیت ها از بیمهرگانی هستند که می توانند در تفسیر بوم شناسی دیرینه مورد استفاده قرار گیرند. در این خصوص [۵۸] اظهار داشت با مطالعه و بررسی پارامترهای هندسی و تزئینات آمونیت ها می توان به ارائه مدل های زندگی و محیطی آمونیتها پرداخت. بر اساس مطالعات [۶۲] بین مورفوتایپ آمونیت ها و رخساره های رسوبی ارتباط برقرار است. آمونیت ها معمولا در آبهای با عمق کمتر از ۲۰۰ متر زندگی می کنند. او ارتباط میان مورفولوژی های متفاوت پوسته آمونیت ها بر اساس رخساره های رسوبی را مورد بررسی قرار داد. او پیشنهاد کرد، که بیشتر مورفوتایپ های آمونیت ها به طور ویژه محدود به آب های کم عمق در حدود ۱۰۰ متر می باشند. او بیان کرد که آمونیت ها با تزئینات زیاد شناگران ضعیفی هستند و قادر به شنا در محدوده های وسیع دریایی نمی باشند، و غالبا حرکت آن ها به صورت در کف بستر است.

به طور کلی، مرز اپی پلاژیک-مزوپلاژیک برای آمونیت ها در عمق حدود ۲۴۰ متری در نظر گرفته می شود. این محدودیت به دلیل فیزیولوژی فراگموکون آمونیت ها است. فشارهای هیدرواستاتیکی و اسمزی به نحوی است که آمونیت ها از عمق ۲۴۰ متر پائین تر نمی توانند زندگی کنند و در زیر این عمق باقی بمانند [۳۹]، [۶۹]، [۷۰].

[۱۵]، [۱۶] با مطالعه مورفولوژی آمونیت ها به ارائه تفسیر عمق نسبی حوضه Western Interior Greenhorn پرداخت. بر این اساس آمونیت های پلانی اسپیرال شامل اشکال بنتیک، نکتوبنتیک و پلاژیک با تزئینات زیاد، احتمالاً شناگران ضعیفی بوده اند که بیشتر اوقات را روی کف بستر می گذرانند. آمونیت های با پوسته اسفیریکونیک و سطح صاف یا تزئیناتی به طور عمده ریب ها نکتوبنتیک بودند. فعالترین شناگران احتمالاً فرم های با پوسته اکسی کون و سرپنتیکن هستند. آمونیت های هترومورف با پوسته ماریپیچی با سرعتی آرام و نزدیک کف زندگی می کنند. آمونیت های هترومورف با پوسته ماریپیچی با سرعتی آرام و نزدیک کف زندگی می کنند. فرم های با حجره زندگی U در این نوع از آمونیت ها نشان دهنده سازگاری از یک نوع زندگی با تحرک محدود به یک وضعیت پلاژیک می باشد. هترومورف های پیچیده دارای دو نوع الگوی حرکتی بوده اند، حالتی که دهانه به سوی بستر دریا قرار داشته و حالتی که دهانه رو به بالا قرار می گیرد. اما در هترومورف های با دهانه مستقیم این الگو به صورت حرکت عمودی و با دهانه رو به پایین بوده است.

همچنین [۱۴] معتقد است آمونیت های زمان کرتاسه که تزئینات کمتری دارند محدوده آب های عمیق تا نیمه عمیق را نشان می دهند و در رخساره های دور از ساحل یافت می شوند، در حالی که آمونیت هایی که تزئینات بیشتری دارند نشان دهنده آب های کم عمق بوده و در رخساره های نزدیک ساحل یافت می شوند. در زمینه ارتباط بین موفوتایپ آمونیتها و رخساره و بررسی نسبی عمق افرادی همچون [۲۶]، [۴۲]، [۷۳]، اظهار نظرهای مشابهی انجام داده اند. در کنار ارتباط موفوتایپ های آمونیت ها با محیط های رسوبی، اطلاعات رخساره ای نیز در مورد سازند کژدمی به تفسیر بهتر بوم دیرینه شناسی کمک می کند که در مقدمه مواردی ذکر شد. هر دو سازند گرو با سن نئوکومین و کژدمی با سن آپتین-آلبین به عنوان سنگ منشاء و مخزن شناخته شده هستند [۲۰]، [۲۱] که نهشته های شیل سیاه که در محیط های عمیق دریایی نهشته شده اند [۴۰]، [۳۱]، [۳۸]. رخساره های شیل سیاه در آن زمان در نواحی اقیانوسی تیس و اقیانوس اطلس-آرام گسترده بوده است [۹]، [۵۲]، [۱۷]. سازند کژدمی منبع اصلی هیدروکربن های مخازن آسماری و سروک است [۱۹].

شرایط بدون اکسیژن در بعضی قسمت های سازند کژدمی حاکم بوده و تا ۳۰۰ متر مارن قیری در قسمت مرکزی فرورفتگی رسوب کردند [۱۹]. نهشته های کربناته بالا رود (به سمت شمال) و سکوی قاره ای گسترده فارس/ قطر (به سمت جنوب) حوضه بی اکسیژن کژدمی (یعنی فرورفتگی دزفول) را محدود می کند [۱۹].

وضعیت بدون اکسیژن در فرورفتگی دزفول منجر به متناوب مارن های خاکستری تیره و سنگ آهک غنی از رس شد، در حالی که رخساره های کم عمق اکسیک (عمدتاً کربنات ها) در سکوی فارس رسوب کردند. ماسه سنگ های دلتایی گیاهدار بورگان، شواهدی برای وضعیت دلتای دلتای صفانیه-بورگان است. این رخساره معادل ماسه سنگ دلتایی و شیل سازند نهر

عمر در عراق است [۸]. ضخامت سازند کژدمی از ۳۵۰ متر در شمال غربی زاگرس تا ۴۰ متر ۵۰ در میدان پارس جنوبی بسیار متغیر است [۶۵].

همچنین مطالعات [۵۹] نشان می‌دهد سازند کژدمی به عنوان یک سنگ منشاء شناخته می‌شود که در یک محیط دریایی نهشته شده و مواد آلی آن عمدتاً از کروژن II و II/III تشکیل شده است. تفسیر تجزیه و تحلیل Rock-Eval نشان داد که بیش از ۵۰٪ از نمونه های کژدمی دارای مقادیر TOC کمتر از ۱٪ هستند که نشان دهنده کیفیت سنگ منبع ضعیف است و در قسمت های مرکزی و شرقی حوضه گسترش دارد.

در یک مطالعه دیگر توسط [۶۵] انجام شده نشان می‌دهد مقادیر TOC سازند از صفر تا یازده درصد وزنی با یک مقدار متوسط در حدود ۵ درصد وزنی در قسمت مرکزی فروافتادگی دزفول متفاوت است و متوسط مقادیر کمتر از ۰.۵ درصد وزنی در ارتفاعات قدیمه قطر-گاوبندی است.

در حوضه زاگرس حداکثر پیشروی در *D. deshayesi zone* اتفاق افتاد و سپس در زون *E. subnodosocostatus* سطح تراز دریا افت کرد. این عملکرد همراه با گسترش اریتولیندا در آبهای کم عمق فارس ساحلی و زاگرس مرتفع شد، اما گسترشی از رخسارهای رسوبی میکروبی در ایران مشاهده نشده است، مانند آنچه که در عمان گسترش دارد و به عنوان OAE 1a تفسیر می‌شود. در حوضه سکوی قاره ای بنگستان در زون آمونیتی *D. deshayesi* میزان TOC به ۳.۵٪ می‌رسد که در مقایسه با افق های بالاتر قابل توجه نیست. افزایش تدریجی ماده آلی TOC در زون آمونیتی *H. Jacobi* به بالاترین حد خود یعنی ۹٪ می‌رسد که می‌تواند معادل OAE1b تفسیر می‌شود. این افزایش در دیگر نقاط دنیا نیز گزارش شده است [۵۲]، [۳۰]. در زون آمونیتی *D. mammilatum* میزان TOC بین ۶٪ و ۱۰٪ در تغییر است. البته میزان TOC در زون *D. cristatum* تا ۱۵٪ هم گزارش شده است. این اطلاعات می‌تواند دلیلی بر یک پیشروی کامل دریا و حتی باقی ماندن این بالا بودن سطح تراز دریا برای یک دوره مشخص باشد [۶۸].

از سازند کژدمی گروه های فسیلی متفاوتی گزارش شده است. در مورد آمونیت ها نیز مطالعاتی انجام شده است. [۲۴]

آمونیت های زیر را گزارش کرده است: *Beudanticeras*, *Platinknemiceras*, *Parengonoceras*, *Knemiceras*, *Prolyelliceras*, *Oxytropidoceras*, *Mirapeliamm*, *Venezoliceras*, *Mojsisoviczia*, *Lyelliceras*, *Pseudobrancoceras*, *Tonohamites*, *Chelonicerases*, *Epicheloniceras*, *Douvilleiceras*, *Dufrenoyia*, *Nolanicerases*, *Hypacanthoplites*, *Parahoplites*,

آمونیت های زیر *Chelonicerases*, *Douvilleiceras*, *Dufrenoyia*, *Epicheloniceras*, *Hypacanthoplites*, *Hysteroceras*, *Lyelliceras*, *Oxytropidoceras*(*Mirapelia*), *Parahoplites*, *Oxytropidoceras* توسط [۵۷] از برش تنگ ماغر گزارش شده است.

[6] نیز آمونیت های زیر در تنگ ماغر مورد مطالعه قرار داده اند. *Tonohamites*, *Hemiptychoceras*, *Scaphites*, *Epicheloniceras*, *Acanthohoplites*, *Parahoplites*, *Nolanicerases*, *Hypacanthoplites*, *Hysteroceras*, *Douvilleiceras*, *Dufrenoyia*, *Venezoliceras*, *Mirapelia*, *Oxytropidoceras*, *Mortonicerases*. البته شناسایی بعضی جنس ها در این تحقیق مورد سوال است.

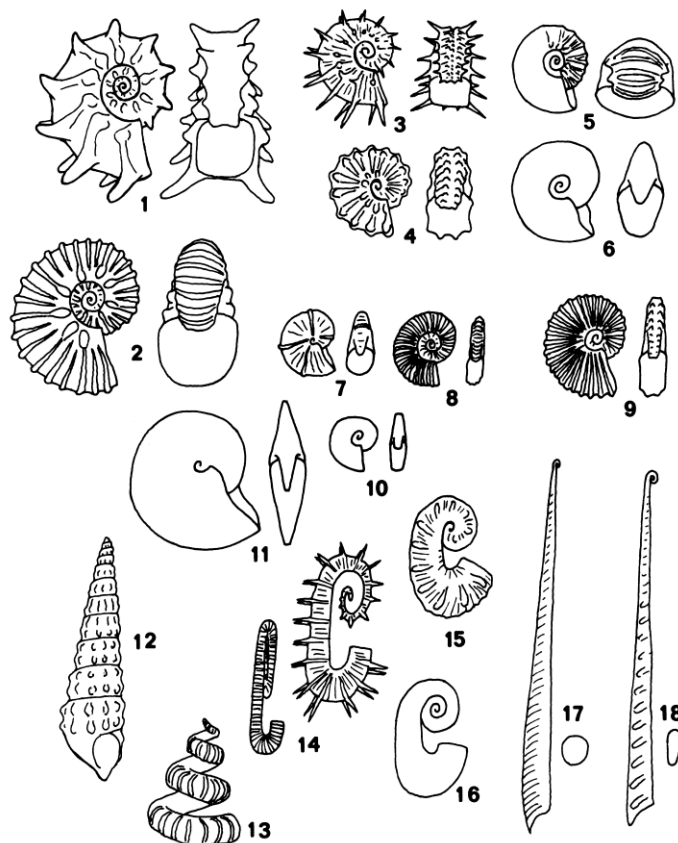
همچنین [۱] جنس های *Knemiceras*, *Tegoceras*, *Lyelliceras* و گونه های وابسته به آن را از برش نار در شرق بوشهر گزارش کرده اند.

[۶۴] نیز آمونیت های زیر *Dufrenoyia* sp., *Colombiceras* sp., *Epicheloniceras* sp., گزارش کرده اند بر اساس مطالعات [۱۴]، [۱۶] و مقایسه جنس های آمونیتی سازندهای کژدمی به صورت خلاصه می توان چنین گفت: جنس *Douvilleiceras* را می توان معادل گروه شکلی ۱، جنس های *Cheloniceras*, *Epicheloniceras*, *Hypacanthoplites*, *Acanthohoplites*, *Colombiceras* معادل گروه شکلی ۲، جنس های *Paracheloniceras*, *Tegoceras*, *Knemiceras*, *Prolyelliceras* معادل گروه شکلی ۴، جنس *Hysterocheras* معادل گروه شکلی ۵، جنس های *Oxytropidoceras*, *Mirapeliamm*, *Venezoliceras* معادل گروه شکلی ۶، جنس های *Parengonoceras*, *Mojsisoviczia*, *Lyelliceras*, *Pseudobrancoceras*, *Beudanticeras*, *Nolaniceras*, *Parahoplites* معادل گروه شکلی ۸، جنس های *Dufrenoyia*, *Nolaniceras*, *Parahoplites* معادل گروه شکلی ۱۰ و جنس های *Tonohamites*, *Hemiptychoceras* معادل گروه شکلی ۱۴ تقسیم بندی [۱۴] در نظر گرفت (شکل ۴).

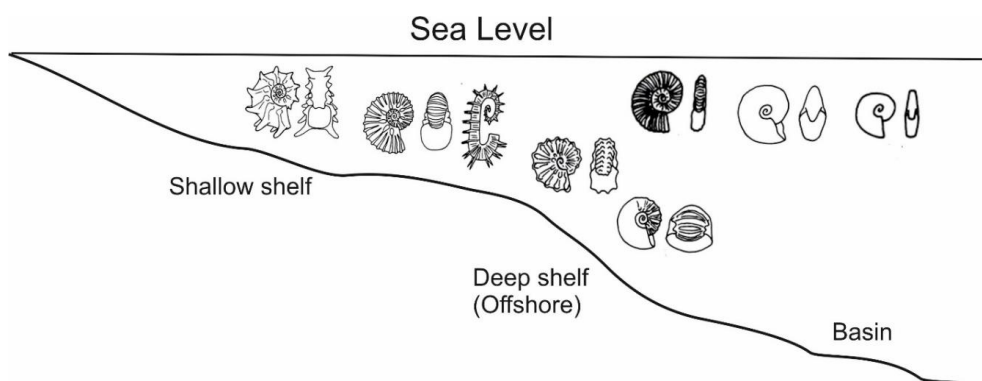
با مقایسه جنس های گزارش شده در سازند کژدمی با مدل ارائه شده توسط [۱۶] جنس *Douvilleiceras* در عمق کم و نزدیک به ساحل زندگی می کرده است. این جنس بیشتر در نهشته های مارنی و آهکی یافت می شود. جنس هایی مانند *Cheloniceras*, *Epicheloniceras*, *Hypacanthoplites*, *Acanthohoplites*, *Colombiceras*, *Paracheloniceras*, *Tegoceras*, *Knemiceras*, *Prolyelliceras* زندگی نکتوتونیک داشته که نزدیک به کف زندگی می کرده اند. این جنس های بیشتر در نهشته ی آهکی و مارنی یافت شده اند. جنس های *Oxytropidoceras*, *Hysterocheras*, *Mirapeliamm*, *Beudanticeras*, *Platiknemicera*, *Venezoliceras* با تزئینات ضعیف در نزدیکی سطح آب زندگی میکرده اند. این جنس ها بیشتر در نهشته های شیلی یافت شده اند. انواع هترومورف مانند *Tonohamites*, *Hemiptychoceras* نیز در سطح آب زندگی می کرده اند و شناگران ضعیفی بوده اند در سازند کژدمی خیلی کم یافت شده اند.

جنس های *Parengonoceras*, *Mojsisoviczia*, *Lyelliceras*, *Pseudobrancoceras* با تزئینات متوسط شناگران بهتری بوده اند و در سطح تا عمق کم زندگی میکرده اند و در نهشته ای آهکی و مارنی یافت شده اند (شکل ۵). در برش مورد مطالعه وجود گونه مختلف جنس *Knemiceras* و عدم تنوع آمونیتی می تواند به علت شرایط نامناسب محیطی برای تنوع آمونیت ها باشد. بررسی مشخصات شکلی و نوع تزئینات جنس *Knemiceras* و مقایسه این جنس با جنس های مشابه در کارهای انجام شده قبلی نشانگر یک محیط کم عمق در برش مورد مطالعه بوده است. غلبه مجموعه فرامینیفر بنتیک در برش مورد مطالعه نیز این امر را پشتیبانی میکند. لذا احتمالاً شرایط برای گسترش تنوع آمونیت ها فراهم نبوده است. وجود گروههای شکلی آمونیت ها در عمق های مختلف و در لایه های مختلف می تواند نشانه دهنده

وجود اکسیژن باشد، لذا با استفاده از دیگر اطلاعات رخساره ای در آینده بتوان به یک تفسیر بهتر از ارتباط عمق سازند، نوع رسوبات نهشته شده و مجموعه آمونیتی سخن گفت.



شکل ۴- گروههای شکلی آمونیتی یافت شده در توالی کرتاسه Western Interior (اخذ شده، [۱۴] Batt, 1989)



شکل ۵- مدل اولیه پیشنهادی برای بازسازی حضور آمونیت ها در قسمت مختلف حوضه در طی برجای گذاری سازند

کژدمی

۶- نتیجه گیری

موقعیت سیستماتیک جنس *Knemiceras* Böhm, 1898 از ابتدای معرفی این جنس مورد بررسی قرار گرفت. گونه های *Knemiceras persicum* Collignon, 1981, *Knemiceras aff. persicum* Collignon, 1981, *Knemiceras aff. iraniense* Collignon, 1981, *Knemiceras dubertreti* Basse, 1940, شدند. مجموعه آمونیتی سن آلبین را برای برش مورد مطالعه مشخص می کند. تغییرات سطح تراز دریا و تغییرات عمق سازند کژدمی در نواحی مختلف حوضه زاگرس روی پراکنش آمونیت ها اثرگذار بوده است. ارتباط گروههای شکلی آمونیت ها در سازند کژدمی با وضعیت محیطی حاکم مورد بررسی قرار گرفت. گسترش گروههای شکلی آمونیت ها نشان می دهد در مناطقی که عمق حوضه بیشتر بوده گروههای شکلی با تزئینات کم و جنس هایی که قدرت شناگری بهتری داشته اند مانند *Oxytropidoceras*, *Mirapeliann*, *Beudanticeras*, *Platiknemiceras* گسترش داشته اند. در حالی که گروههای شکلی با تزئینات بیشتر در رخساره ها های مناطق کم عمق گسترش دارند که می توان به جنس هایی مانند *Douvilleiceras*, *Hypacanthoplites*, *Acanthohoplites*, *Colombiceras*, *Paracheloniceras*, *Tegoceras*, *Knemiceras*, *Prolyelliceras* اشاره کرد.

سپاس و قدردانی

از داوران مقاله آقای دکتر احمد رئوفیان (استادیار دانشگاه فرهنگیان نیشابور) و خانم دکتر مهناز السادات امیرشاهکرمی دانشیار دانشگاه پیام نور اصفهان) تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

- [۱] اسدی، ا.، مجیدی فرد، م. ح.، وزیری، س. ح.، یوسفی راد، م. ۱۳۹۴. آمونیت های آلبین سازند کژدمی در برش نار، خاور بوشهر (پهنه زاگرس). فصلنامه علوم زمین، دوره ۲۵، شماره ۹۸، ص. ۲۱۲-۱۹۹.
- [۲] پروانه نژاد شیرازی، م.، قهرمانی، ش. و خردمند، ع. ۱۳۸۸. بیواستراتیگرافی سازند کژدمی در کوه نقش رستم فصلنامه زمین شناسی کاربردی زاهدان، شماره ۱، ص. ۱۹-۱۲.
- [۳] حمدانی، ح.، رئیس السادات، س. ن.، امیری بختیار، ح. ۱۳۹۴. چینه نگاری زیستی سازند کژدمی بر مبنای آمونیت ها در شمال غرب بهبهان، حوضه زاگرس. نوزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران و نهمین همایش ملی زمین شناسی دانشگاه پیام نور، ۲۶-۲۷ آذر ماه، دانشگاه پیام نور، تهران.
- [۴] مطیعی، ه. ۱۳۷۲. زمین شناسی ایران، چینه شناسی زاگرس، طرح تدوین کتاب زمین شناسی، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، ۵۳۶ ص.
- [۵] ناظری تهرودی، ن.، قطبی راوندی، م.، حسینی راویز، س. م. ر. و غفاری، م. ۱۳۹۲. مطالعه خطوط درز آمونیت های سازند کژدمی در منطقه شمال خاوری شیراز (برش تاربور پایین). سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بی نالمللی تخصصی علوم زمین، زمین شناسی بنیادی -مشهد، ص. ۷.
- [۶] یآوری، آ.، قویلد سیوکی، م.، مجیدی فرد، م. ر. و وزیری، س. ح. ۱۳۹۷. توصیف و زیست چینه نگاری آمونیت های سازند کژدمی، برش چینه شناسی تنگ ماغر شمال باختر بهبهان (حوضه زاگرس). فصلنامه علوم زمین، ۲۷، ۱۰۷، ص. ۲۳۲-۲۲۱.
- [۷] یوسفی، ت. و کارگر، ش. ۱۳۷۷. نقشه زمین شناسی سیوند، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- [8] ALAVI, M., 2004, Regional stratigraphi of Zagros fold-and-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science*, **304**, 1-20.
- [9] ARTHUR, M.A., JENKYNS, H.C., BRUMSACK, H.J., SCHLANGER, S.O., 1990, Stratigraphy, geochemistry and paleoceanography of organic carbon-rich Cretaceous sequences. In: Ginsburg, R.N., Beaudoin, B. (Eds), *Cretaceous Resources, Events, and Rhythms*. Kluwer, Dordrecht, 75-119.
- [10] ALY, M.F. and ABDEL-GAWAD, G.I. 2001, Early Cretaceous ammonites of Gebel Lagama, North Sinai, Egypt. *Palaeontographica*, **A262**, 25-52.
- [11] ALY M.F., SMADI A. and ABU-AZZAM A. 2008, LateCenomanian-Early Turonian ammonites ofJordan. *Revue de Paléobiologie*, Genève, **27**, 43-71.
- [12] ASADI, A., MAJIDI FARD, M.R., VAZIRII, S. H. and YOUSEFI RAD H. M., 2016, Albian ammonites of the Kazhdumi Formation in the Nar section, east of Bushehr (Zagros zone). *Scientific Quarterly Journal of Geoscience*, **25**,199-212.
- [13] BASSE, É., 1937-1940, Les Céphalopodes crétaçés des massifs côtiers syriens. Part 1-2. *Notes et Mémoires sur le Moyen-Orient*, Paris, 2, 165-200; 3, 411-473.
- [14] BATT, R. J., 1989, Ammonite Shell Morphotype Distributions in the Western Interior Greenhorn Sea and Some Paleoeological Implications. *Palaios*, **4**, 32-42.
- [15] BATT, R. J., 1991, Sutural amplitude of ammonite shells as paleoenvironment al indicator, Sutural amplitude of ammonite shells as a paleoenvironmental indicator. *Lethaia*, **24**, 219-225.
- [16] BATT, R. J., 1993, Ammonite morphotypes as indicators of oxygenation in a Cretaceous epicontinental sea. *Lethaia*, **26**, 49-63.
- [17] BAUDIN, F., 2005, A late Hauterivian short-lived anoxic event in the Mediterranean Tethys: the "Faraoni event". *Comptes Rendus Geosciences*, **337**, 1532-1540.
- [18] BÖHM, J. 1898, Ueber Ammonites Pedernalis v. Buch. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Hannover, Band 50, 183-201.
- [19] BORDENAVE, M.L., and BURWOOD, R., 1995, The Albian Kazhdumi Formation of the Dezful Embayment, Iran, one of the most efficient petroleum generating systems. In: Katz, B. (Ed.) *Petroleum Source Rocks Series, CaseBook in Earth Sciences*. Springer, Berlin, 183–207.
- [20] BORDENAVE, M.L., and HEGRE, J.A., 2005, The influence of tectonics on the entrapment of oil in the Dezful embayment, Zagros fold belt, Iran. *Journal of Petroleum Geology*, **28**, 339–368.
- [21] BORDENAVE, M., HEGRE, J. 2010, Current Distribution of Oil and Gas Fields in the Zagros Fold Belt of Iran and Contiguous Offshore as the Result of the Petroleum Systems. Geological Society, London, Special Publications **330**, 291-353.
- [22] BUCH, L. von 1850, ber Ceratiten. *Physikalische Mathematische Abhandlungen der Koeniglichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 1 (1848), 1–33.
- [23] BUJTOR, L., 2010, Systematics, phylogeny and homeomorphy of the Engonoceratidae Hyatt, 1900 (Ammonoidea, Cretaceous) and revision of *Engonoceras duboisi* Latil, 1989. *Carnets de Géologie / Notebooks on Geology*, 2010/08 (CG2010_A08), 31p.
- [24] BULOT, L.G., 2010, Systematic palaeontology of Aptian and Albian ammonites from southwest Iran, *Geo Arabia*, Special Publication **4**, 167-194.
- [25] CASEY, R., 1961, The Cretaceous (Albian) ammonite genus *Platinknemiceras* Bataller. *The Annals and Magazine of Natural History*, London, (Thirteenth Series), **4**, 353-357.
- [26] CHAMBERLIN, J. A., JR., and WESTERMANN, G. E. G., 1976, Hydrodynamic properties of cephalopod shell ornament, *Paleobiology*, **2**, 316–331.
- [27] COLLIGNON, M., 1981, Albian-Cenomanian Fauna of the Kazhdumi Marl Formation, Fars-Khuzestan, Iran. *Documents des Laboratoires de Géologie*, Lyon, Hors Série, **6**, 251–291.
- [28] CUVIER, G., 1795. Second Mémoire sur l'organisation et les rapports des animaux à sang blanc, dans lequel on traite de la structure des Mollusques et de leur division en ordre, lu à la société d'Histoire Naturelle de Paris, le 11 prairial an troisième [30 May 1795]. *Magazin Encyclopédique, ou Journal des Sciences, des Lettres et des Arts*, 1795 [1. année] 2: 433-449.
- [29] DOUVILLÉ, H., 1890, Note pour le cours de paléontologie professé à l'École des Mines, 88 p.
- [30] FÖLLMI, K.B., GODET, A., BODIN, S. and LINDER P., 2006, Interactions between environmental change and shallow water carbonate buildup along the northern Tethyan margin and their impact on Early Cretaceous carbon isotope record. *Paleoceanography*, **21**, 4, 1-16, doi: 10.1029/2006PA001313.
- [31] GHAZBAN, F., 2007, *Petroleum Geology of the Persian Gulf*. Tehran University and National Iranian Oil Company, Tehran.
- [32] GEYER, O., 1995, *Knemiceras uhligi* (Choffat) dans la Chaîne Ibérique méridionale (Albien supérieur, Espagne). *Batalleria*, **5**, 5–17.
- [33] HAUG, E., 1900, Céphalopodes. *Revue critique de Paléozoologie*, Paris, 4ème année, 1, 19-24 & 78-87.

- [34] HYATT, A., 1875, The Jurassic and Cretaceous ammonites collected in South America by Prof. James Orton, with an appendix upon the Cretaceous ammonites of Prof. HART's collection.- *Proceedings of the Boston Society of Natural History*, **17**, 365-378.
- [35] HYATT, A., 1889. Genesis of the Arietidae. Smithsonian Contributions to Knowledge, 238 p.
- [36] HYATT, A., 1900, In Zittel, K.A., (Editor), Textbook of Palaeontology, Cephalopoda, first English ed., trans. C.R. Eastman, p. 502-592.
- [37] HYATT, A., 1903, *Pseudoceratites* of the Cretaceous. Monograph of the United States Geological Survey, **44**, 1-351.
- [38] HEYDARI, E., 2008, Tectonics versus eustatic control on supersequences of the Zagros Mountains of Iran. *Tectonophysics*, **451**, 56-70.
- [39] HEWITT, R. A. 1993, Relation of shell strength to evolution. In: *The Ammonoidea: Environment, Ecology and Evolutionary Changes* (ed. House, M. R.), Systematics Association, Special Volume **47**, 35-56, Clarendon Press, Oxford.
- [40] JAMES, G. A. and WYND, J. G., 1965, Stratigraphic nomenclature of the Iranian oil consortium agreement area. *American Association Petroleum Geologists*, **49**, 2182-2245.
- [41] KAMYABI SHADAN, H., 2014, Biostratigraphy and lithostratigraphy of the Kazhdumi Formation in the Izeh zone. PhD thesis (Unpublished), Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. 743p. [in Persian with English Abstract].
- [42] KAWABE, F., 2003, Relationship between mid-Cretaceous (upper Albian-Cenomanian) ammonoid facies and lithofacies in the Yezo forearc basin, Hokkaido, Japan. *Cretaceous Research*, **24**, 6, 751-763.
- [43] KENNEDY, W.J., HANCOCK, J.M., COBBAN, W.A. and LANDMAN, N.H., 2004, A revision of the ammonite types described in F. ROEMER's Die Kreidebildungen von Texas und ihre organischen Einschlüsse. *Acta Geologica Polonica*, Warszawa, **54**, 433-445.
- [44] KENNEDY, W.J., REYMENT, R.A., MAC LEOD, N. and KRIEGER, J., 2009, Species discrimination in the Lower Cretaceous (Albian) ammonite genus (*Knemiceras* von Buch 1848), *Palaeontographica, Beiträge zur Naturgeschichte der vorzeit, Abteilung A: Paläozoologie- Stratigraphie* , **290**, 1-3: 1-63.
- [45] KENNEDY, W.J. and SIMMONS, M. D. 1991, Mid-Cretaceous ammonites and associated microfossils from the Central Oman Mountains. *Newsletter on Stratigraphy*, **25**, 127-154.
- [46] KRAUSE, P.G.L.W., 1902, Die Fauna der Kreide von Temojoh in West-Borneo. *Sammlungen des Geologischen Reichs-Museums in Leiden*, (series I), **7**, 1-28.
- [47] LATIL, J.-L., 2005, Preliminary data on the Lower Albian ammonite succession in the North West of Tunisia and adjacent areas of Algeria: the Hameina section. In A. Arnaud-Vanneau and I. Zghal, (Editors), Aptian-Turonian events in central Tunisia. *Géologie Alpine*, Série special "colloque et excursions", **5**, 60-63.
- [48] LATIL J.-L., 2008, A revision of *Amaltheus Ebrayi* de Loriol, 1882, type species of the genus *Parengonoceras* SPATH, 1924.- *Revue de Paléobiologie*, Genève, **27**, 249-267.
- [49] LATIL, J.-L., 2011 - Early Albian ammonites from Central Tunisia and adjacent areas of Algeria. *Revue de Paléobiologie*, Genève, **30** (1), 321-429.
- [50] LATIL, J.-L. and ALY, M.F. 2012, *Knemiceras gracile* Douvillé, 1916: a misunderstood Early Albian ammonite from north Sinai (Egypt), and considerations on the genus *Platinknemiceras* Bataller, **1954**. *Revue de Paléobiologie*, Genève, 31 (1), 159-170
- [51] LATIL, J.-L. and JAILLARD, E., 2023, Taxonomy, phylogeny and biostratigraphy of the upper Aptian-lower Albian ammonites of the Chott area, southern Central Tunisia. *Cretaceous Research*, **154**, 10.1016/j.cretres.2023.105731.
- [52] LECKIE, R.M., BRALOWER, T.J., and CASHAM, R., 2002, Oceanic anoxic events and plankton evolution: biotic response to tectonic forcing the mid-Cretaceous. *Paleoceanography*, **17**, 1-29.
- [53] LEWY, Z. and RAAB, M., 1978. Mid-Cretaceous stratigraphy of the Middle East. *Annals du Muséum d'Histoire Naturelle Nice*, 4, 32, 1-17.
- [54] MAHMOUD, G.I., 1955, Études paléontologiques sur la faune crétacique du massif du Moghara (Sinäi, Égypte).- *Publications de l'Institut du Désert d'Égypte*, Héliopolis, Le Caire, **8**, 192 p.
- [55] MEISTER, C., and ABDALLAH, H., 2005, Précision sur les successions d'ammonites du Cénomanién-Turonien dans la région de Gafsa, Tunisie du Centre-Sud.- *Revue de Paléobiologie*, Genève, **24**, 111-199.
- [56] MORENO-BEDMAR, J.A., BULOT, L., LATIL, J.-L., MARTINEZ, R., FERRER, O., BOVER-ARNAL, T. and SALAS, R. 2008, Precisiones sobre la edad de la base de la Fm. Escucha, mediante ammonioideos, en la subcuena de la Salzedella, Cuenca del Maestrat (E Cordillera Ibérica). Precisiones on the age of the basal Escucha Fm. in the Salzedella subbasin, Maestrat basin (E Iberian Chain) by means of ammonoids. *Geo-Temas*, **10**, 1269-1272.
- [57] RAISOSSADAT, S. N., LATIL, J. L., HAMDANI, H., JAILLARD, E., AMIRIBAKHTIAR, H., 2021, Ammonite biostratigraphy of the Lower Aptian- Upper Albian deposits Kazhdumi Formation in Zagros Basin. *Cretaceous Research*, **127**, 104920, 17 p.

- [58] RAUP, D., 1966, Geometric Analysis of shell coiling, general problems, *Journal of Paleontology*, **40**, 5, 1117-1190.
- [59] REZAIE KAVANRUDI, Z., RABBANI, A. R., and MASHHADI, Z., 2015, Source Rock Evaluation of the Cretaceous Kazhdumi Formation in the Persian Gulf, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, **37**, 2293-2301, DOI:10.1080/15567036.2012.697094.
- [60] ROBERT, E., 2002, La transgression albienne dans le Bassin Andin (Pérou): Biostratigraphie, Paléontologie (ammonites) et Stratigraphie séquentielle. *Strata*, **38**, 380 p.
- [61] ROBERT, E., and BULOT, L.G., 2004, Origin, phylogeny, faunal composition, and stratigraphical significance of the Albian Engonoceratidae (pulchelliaceae, ammonitina) of Peru. *Journal of South American Earth Sciences*, **17**, 11-23.
- [62] SCOTT, G. 1940: Paleoecological factors controlling the distribution and mode of life of Cretaceous ammonoids in the Texas area. *Journal of Paleontology*, **14**, 299-323.
- [63] SEDGHI, B., BAHRAMI, A., YAZDI, M., and VEGA, F.J., 2023, Invertebrate fauna of the Albian–lower Cenomanian deposits in the Fars and Isfahan provinces (Firuzabad and Fasakhod sections), Zagros Basin, Central Iran: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, **3**, A220623. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a220623>, 16 p.
- [64] SHARIFI, J., VAHIDINIA, M., ANDO, A., and MAHMUDY- GHARAIE, M.H., 2021, New biostratigraphic observations of planktonic foraminifera and ammonites on the Aptian–Albian intrashelf succession, Zagros Basin, SW Iran. *Cretaceous Research*, **128**, 104996, 1–27.
- [65] SFIDARI, E., ZAMANZADEH S. M., DASHTI A., OPERA A., and TAVAKKOL M. H., 2016, Comprehensive source rock evaluation of the Kazhdumi Formation, in the Iranian Zagros Fold belt and adjacent offshore. *Marine and Petroleum Geology*, **71**, 26-40.
- [66] SLINGER, F. and CRICHTON, J.C., 1959, The geology and development of Gachsaran field, southwest Iran: *Proc. Fifth world petroleum cong. sec. 1*, paper **18**, 349–375.
- [67] SZIVES, O., CSONTOS, L., BUJTOR, L. and FOZY, I., 2007, Aptian-Campanian ammonites of Hungary.- *Geologica Hungarica*, (Series palaeontologica), **57**, 1-187, Budapest.
- [68] VINCENT, B., VAN BUCHEM, F. S.P., BULOT, L. G., IMMENHAUSER, A., CARON, M., BAGHBANI, D. and HUC, A. Y., 2010, Carbon-isotope stratigraphy, biostratigraphy and organic matter distribution in the Aptian – Lower Albian successions of southwest Iran (Dariyan and Kazhdumi formations). *Geo Arabia Special Publication* **4**, 139-197.
- [69] WESTERMANN, G. E. G., 1990, New development in ecology of Jurassic-Cretaceous ammonoids. In: *Fossili Evolutione, Ambiente, Atti II Convention International Pergola 1987* (eds Pallini, G., Cecca, F., Cresta, S. & Santantonio M.), 459-478, Tecnostampa, Ostra Vetere, Italy.
- [70] WESTERMANN, G. E. G., 1996. Ammonoid Life and Habitat. In: *Ammonoid palaeobiogeography*, (eds Neil, H. L., Kazushige, T. & Richard, A. D.), Topics in Geobiology, **13**, 607-707. Plenum Press, New York.
- [71] WRIGHT, C. W., CALLOMON, J. H., and HOWARTH, M. K., 1996, *Treatise on Invertebrate Palaeontology* (ed. Kaesler, R.) *Part L, Mollusca 4, (Revised) Cretaceous Ammonoidea*. 362 pp., The Geological Society of America and the University of Kansas, Boulder, Colorado, and Lawrence, Kansas.
- [72] YACOBUCCI, M.M., 2004, *Neogastrolites* meets *Metengonoceras*: morphological response of an endemic hoplitid ammonite to a new invader in the mid-Cretaceous Mowry Sea of North America. *Cretaceous Research*, London, **25**, 927-944.
- [73] YACOBUCCI, M.M., 2008, Controls on shell shape in Acanthoceratid Ammonites from the Cenomanian-Turonian western Interior seaway, *Springer Science*, p. 195-226.
- [74] ZIEGLER, M.A., 2001, Late Permian to Holocene Paleofacies Evolution of the Arabian Plate and Its Hydrocarbon Occurrences. *GeoArabia*, **6**, 445-504.
- [75] ZITTEL, K. A., 1884. Handbuch der Palaeontologie, 1, Abteilung 2; Lieferung 3, Cephalopoda, pp. 329–522.

Ammonites of Kazhdumi Formation in Kuh Sivand, Shul section, north of Shiraz, Zagros basin, paleoecological application

Seyed Naser Raisossadat^{1*}, Mahnaz Parvanehnejad Shirazi²

1-Earth Science Research Group, University of Birajnd, Birjand, Iran

2-Geology Dept., Payam Noor University, Tehran, Iran

*snraeisoadat@birjand.ac.ir

Received: July 2024, Accepted: January 2025

Abstract

Kazhdami Formation is spread in Zagros basin and has two facies, shallow and deep. The studied section was located in the north of Shiraz near the village of Shul. The lithology of the measured section with 210 meters thickness including limestone, marly limestone and thin layer limestone. Four species *Knemiceras persicum* Collignon, 1981, *Knemiceras* aff. *persicum* Collignon, 1981, *Knemiceras* aff. *iraniense* Collignon, 1981, *Knemiceras dubertreti* Basse, 1940, were identified and described.

Different ammonite morphogroups are distributed in the Kazhdumi Formation. Spheroconic ammonites with smooth or low ornamentation, mostly ribs, usually live at sea level and away from the coast spread in the west of basin and Dezful depression. Plano-spiral ammonites with coarse ornaments were poor swimmers and indicate a shallow depth basin. In the Shul section the ammonite assemblage with coarse ornamentation suggest a shallow environment that is supported with presence of benthic foraminifera assemblage.

Keywords: Ammonite, Albian, Kazhdumi Formation, Paleoecology, Zagros Basin.

Systematic paleontology, biostratigraphic significance, and paleoecology of pteropods in the Khangiran Formation type section, Kopet Dagh, NE Iran

Mir Amir Salahi^{1*} and Abbas Ghaderi²

1- Assistant Professor, Faculty of Science, University of Maragheh, Maragheh, Iran

2- Associate Professor, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

*Amir.salahi@maragheh.ac.ir

Received: October 2024, Accepted: January 2025

Abstract

This study focuses on Eocene pteropods from the Kopet-Dagh sedimentary basin. Two genera and five species, including *Heliconoides bartonensis* (Curry 1965), *Heliconoides mercinensis* (Watelet and Lefèvre 1885), *Heliconoides daguini* (Cahuzac and Janssen 2010), *Limacina cf. aegis* (Hodgkinson, 1992) and *Limacina dzheroiensis* (Janssen, 2011), have been reported from the type section of the Khangiran Formation near Yaghol village in Dargaz, Khorasan Razavi province. The pteropod assemblage corresponds to the Early-Middle Eocene boundary. The presence of these assemblages indicates that the Khangiran Formation sedimentary succession was deposited in warm waters, above the aragonite saturation horizon, and within the outer neritic to continental slope paleobathymetric range.

Keywords: Eocene; Pteropod; Khangiran Formation; Kopet-Dagh.

Mio-Pliocene strata in Qeshm Island (Zagros Basin) and Minab Region (Makran Basin): Paleoecology and Taphonomy

Fereshteh M. Haskouei¹, Ali Bahrami^{2*} and Mehdi Yazdi³

1, 2, 3- Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan, POB. 81746-73441, Isfahan, I.R.

Iran: haskouei@gmail.com; a.bahrami@sci.ui.ac.ir; Meh.yazdi@gmail.com

*a.bahrami@sci.ui.ac.ir

Received: September 2023, Accepted: August 2024

Abstract

Marine deposits of Mio-Pliocene in Qeshm Island and Minab region studied in terms of depositional paleoenvironment, and taphonomic features. Direstan and Kendaloo outcrops from Qeshm Island and Bemani and Sirik outcrops from Minab region (Gushi Marl), have huge number of oyster bars, along with balanoids, corals, bryozoans, ostracoda, foraminifera, etc. *Bolivina spathulata* from Bemani assemblages shows a low-oxygen marine environment of the shelf edge and upper slope around the late early Messinian (late Miocene), while Sirik outcrop, shows tidal to intertidal environments of Langhian time interval. The abundance of encrusting organisms (such as bryozoans) in Direstan and Bemani outcrops indicate shallow and nutritious marine environment with low energy and low sedimentation rate. Corals and ostreids (*Hyotissa hyotis*) with *Textularia agglutinans*, *Elphidium* and miliolids in the Direstan outcrop, indicate the inner shelf platforms with high oxygen connected to open marine environments. In Kendaloo, *Crassostrea gryphoides* and ichnogenus of *Trypanites*, indicate a high sedimentation rate of river estuary environments under the influence of tidal and intertidal flats.

Keywords: Mishan Formation, Minab, Qeshm Island, Makran Taphonomic features.

Geochemistry of evaporites of Chehel unit of Gachsaran Formation (Early Miocene) in the east of Bandar

Geochemistry of evaporites of Chehel unit of Gachsaran Formation (Early Miocene) in the east of Bandar Khamir, Bandar Lengeh embayment with a special view on paleoclimate

Payman Rezaee^{1*}, Seyedeh Akram Jooybari², Farough Alian³

1- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

2- PhD in Sedimentology and Sedimentary Petrology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

3- PhD student in sedimentology and sedimentary petrology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

[**P.rezaee@hormozgan.ac.ir](mailto:P.rezaee@hormozgan.ac.ir)

Received: October 2024, Accepted: January 2025

Abstract

Gachsaran evaporitic deposits (Early Miocene) is known as the most important caprock of Middle East hydrocarbon reservoirs in Tertiary. This formation is well exposed in some outcrops in the south of Bandar Lange embayment in the south-eastern folded Zagros, and in the east of Bandar Khamir, it includes three members: Chehel, Champeh and Mol. In the study area, two sections of the Chehel member of the Gachsaran Formation, which includes evaporite deposits, were studied from a geochemical point of view, with an emphasis on paleoclimate and origin. For this purpose, 22 samples were taken from the evaporite sediments of both sections and subjected to XRF and ICP analysis. The results obtained from the main oxides show a negative correlation of Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 and a positive correlation between CaO and SO_3 , indicates indicating prevailing conditions for sulfate deposits and an increase within salinity in the basin. Investigations also show a negative correlation of secondary elements with the SO_3 oxide, indicating the existence of two stages of drying and regression during in the period of settling of these evaporites sediments. The outcrops of Hormoz series diapirs at upstream and close to the studied area are proof good evidence for the impact of Hormoz series deposits on increasing the amounts of secondary elements in the studied intervals.

Keywords: Geochemistry, Gachsaran Formation, Paleoclimate, Bandar Lengeh embayment, Chehel unit.

A review of the performance of carbon dioxide injection in depleted reservoirs using artificial neural network algorithms (Case study: Ismayahia)

Pouya Eshaghi^{1*}, Kivan Shaiste², Mohammad Javad Khani²

¹-Department of Chemical Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

²-Department of Chemical Engineering, Technical and Engineering Faculty, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
mjavadkhani73@gmail.com*

Received: October 2024, Accepted: December 2024

Abstract

Carbon dioxide (CO₂) injection into oil reservoirs is an effective method for enhancing oil recovery and CO₂ storage. In this study, an artificial neural network (ANN) was used to predict the oil recovery rate and CO₂ storage capacity in depleted reservoirs (ROZ) considering geological and well operation uncertainties. Field data from the Smeaheia area, Norway, were identified to contain 14 key features for optimizing CO₂ injection. Two neural network models, MLP and RBF, were used in this study, and their accuracy was evaluated to be 91.36% and 94.63%, respectively. In order to optimize the features and reduce the data dimensionality, the Gray Wolf algorithm was used, which resulted in the selection of 10 effective features. These features included permeability, wellbore pressure, pore volume, compressibility, initial pressure, net-to-gross thickness ratio, shear wave fraction, shale-to-height ratio, scaling parameter, and porosity-to-height ratio. The optimized models increased the accuracy of CO₂ injection prediction in the MLP model to 97.46% and in the RBF model to 98.97%. These results indicate that the combination of ANN and optimal feature selection can be a powerful tool for predicting and managing CO₂ injection in oil reservoirs. Using the optimized MLP and RBF models, the CO₂ injection rate can be predicted with higher accuracy, and thus, the enhanced oil recovery process can be optimized in reservoirs with complex geological characteristics in Iran, such as low-pressure oil reservoirs or reservoirs with variable porosity and permeability.

Keywords: carbon dioxide injection, Residual oil zone (ROZ), over-harvesting, artificial neural network.

Evaluation of Fractures and Asphaltene Formation Relation in Asmari Reservoir, Kupal Oil Field

Bahman Soleimani^{1*}, Aqhil Heidari², Shahram Taghavipour³

1-Prof. of the Department of Petroleum Geology and Sedimentary Basins, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2. Senior expert in the NISOC, Ahvaz, Iran

3- Senior expert in the NISOC, Ahvaz, Iran

* soleimani_b@scu.ac.ir

Received: October 2023, Accepted: August 2024

Abstract

The study of fractures plays an important role in understanding the behavior of the reservoir, and this role can be reduced by the process of asphaltene deposition. This process has caused very serious problems in many oil fields of the world and in various sectors of the industry and is considered as a common process. Its most important aspect is in the migration of reservoir petroleum fluids. In this article, an attempt has been made to investigate the effect of fractures on the formation of asphaltene in the Asmari reservoir of Kupal oil field located in North Dezful embayment by using different image logs, OBMI-UBI. According to the pattern of fractures related to folding, most of the fractures are of the type of oblique and longitudinal seams. Fractures in depth hydrocarbon-bearing intervals have been revealed less than the rest of the depth intervals in the image logs. The lower sandstone layer is characterized by the most fractures and mostly of the open type. Most of the open fractures were identified in the lower half of Asmari, which consists of mudstone and sandstone. The examination of open fracture density shows that zones 2 and 3 have the highest and zone 4 has the lowest fracture density. According to the direction of collapse fractures caused by drilling, the direction of maximum horizontal stress (δH_{max}) is N55E and the direction of minimum horizontal stress (δH_{min}) is N35W. This direction corresponds to the general direction of Zagros. The data on mud loss showed that the maximum value corresponds to the location of the concentration of fractures. The results of the analysis of oil samples showed that the percentage of asphaltene in the Asmari reservoir is low and has no relation to the production time in different wells. The percentage of asphaltene varies from 0.6 to 2.75%. In general, primary asphaltene does not exist in oils. The increase in the percentage of fractures in the reservoir compared to the depth is also associated with the increase in the percentage of asphaltene produced.

Key words: Image logs, Asmari reservoir, Kupal oil field, Fracture system, Asphaltene



Iranian Journal of Petroleum Geology **Number 27, Spring & Summer, 2024**



Contents	Page
Evaluation of Fractures and Asphaltene Formation Relation in Asmari Reservoir, Kupal Oil Field B. Soleimani, Aqh. Heidari, Sh. Taghavipour	1
A review of the performance of carbon dioxide injection in depleted reservoirs using artificial neural network algorithms P. Eshaghi, K. Shaiste, M.J. Khani	19
Geochemistry of evaporites of Chehel unit of Gachsaran Formation (Early Miocene) in the east of Bandar Khamir, Bandar Lengeh embayment with a special view on paleoclimate P. Rezaee, S.A. Jooybari, F. Alian	38
Mio-Pliocene strata in Qeshm Island (Zagros Basin) and Minab Region (Makran Basin): Paleoecology and Taphonomy F. M. Haskouei, A. Bahrami, M.Yazdi	55
Systematic paleontology, biostratigraphic significance, and paleoecology of pteropods in the Khangiran Formation type section, Kopet Dagh, NE Iran M.A. Salahi, A. Ghaderi	76
Ammonites of Kazhdumi Formation in Kuh Sivand, Shul section, north of Shiraz, Zagros basin, paleoecological application S.N. Raisossadat, M. Parvanehnejad Shirazi	90



Iranian Journal of Petroleum Geology

No. 27, Spring & Summer 2024, pp. 1-114

Iranian Journal of Petroleum Geology

ISSN 2251-8738

Number 27, Spring & Summer, 2024

Publisher: Iranian Society of Petroleum Geology

Editor in Charge & Literary Editor: A. Bahrami, Associate Professor at University of Isfahan

Editor in Chief: B. Soleimani, Professor at Shahid Chamran University of Ahwaz

Co- Editor: A. Bashari, Retired faculty member at RIPI

Executive manager & Internal Officer: E. Satari, PhD, University of Isfahan



Editorial Board:

A. Bashari, Retired faculty member at RIPI

A. Bahrami, Associate Professor, University of Isfahan

I. Boncheva, Professor, Department of Palaeontology, Stratigraphy and Sedimentology, Sofia, Bulgaria

M.A., Bitner, Professor, Institute of Paleobiology: Warsaw, Poland

B. Habibnia, Associate Professor, Petroleum University of Technology

E. Heydari, Professor, Jackson State University, USA

V. Rasouli, Professor, University of North Dakota, USA

C. Kendall, Professor, University of South Carolina, USA

N. Raisossadat, Professor, University of Birjand

M. Zare, Professor, International Institute of Earthquake engineering and Seismology

K. Zágorský, Professor, Technická Univerzita v Liberci, Czech Republic

B. Soleimani, Professor at Shahid Chamran University, Ahwaz

E. Kazemzadeh, Retired faculty member at RIPI

R. Mosavi Harami, Professor, Ferdowsi University of Mashhad

A. Vatani, Professor, Institute of Petroleum, University of Tehran

GH. R. Mirab Shabestari, Associate Professor, University of Birjand

M. Talebian, Associate Professor, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran

Referees:

A. Bashari

M. Amir Shahkarami

A. Bahrami

B. Samani

P. Rezaei

A. Raoufian

B. Soleimani

F. Abasaghi

E. Sattari

T. Parvizi

Address:

Unit 4, No 7, 9th Alley, South Abozar St, Khajeh Abd... St, Dr. Shariati Ave., Tehran

P. O. Box: 16315-499

Postal Code: 1661634155

Tel: (+98 21) 22856408

Fax: (+98 21) 22856407

Website: www.ispg.ir