



# مجله زمین شناسی نفت ایران

سال سیزدهم، شماره ۲۵، بهار و تابستان ۱۴۰۲

## 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 عزت اله کاظم زاده، هیأت علمی بازنشسته پژوهشگاه  
صنعت نفت

دکتر سید رضا موسوی حرمی، استاد دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر علی وطنی، استاد انستیتو نفت دانشگاه تهران

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

همکاران علمی این شماره مجله به ترتیب حروف الفبا:

۱- دکتر مهناز امیر شاهکرمی ۹- دکتر حسین قنبرلو

۲- دکتر علیرضا بشری ۱۰- دکتر عزت اله کاظم زاده

۳- دکتر پیمان رضائی ۱۱- دکتر سعیده کشاورز

۴- دکتر بهزاد زمانی قره چمنی

۵- دکتر بابک سامانی ۱۲- دکتر ابراهیم محمدی

۶- دکتر الهه ستاری

۷- دکتر بهمن سلیمانی

۸- دکتر حامد عامری

## 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 / 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 سیزدهم، شماره ۲۵، بهار و تابستان ۱۴۰۲

## فهرست مقالات

صفحه

۱. بررسی هیدرودینامیکی و هیدروشیمی در مخازن نفتی (مطالعه موردی: مخزن آسماری میدان رگ سفید)  
بهمن سلیمانی، عبدالله مؤمنی فیض آباد، موسی ظهراب زاده
۲. بوم شناسی دیرینه و بررسی های تافونومیک (حوادث پس از دفن شدگی) خارپوستان سازند کژدمی (آلبین - سنومانین) در برش فیروزآباد  
بابک صدقی، علی بهرامی، مهدی یزدی
۳. چینه نگاری زیستی و بوم شناسی دیرینه سازند قم در ناحیه قمصر (جنوب غرب کاشان)  
طیب بینازاده، امراله صفری، حسین وزیری-مقدم
۴. تحلیل کرنش و کوتاه شدگی در افق آسماری، میدان نفتی کوپال، استان خوزستان  
بابک سامانی، مینا پروین، عباس چرچی، محمدحسین حیدری-فرد
۵. شناسایی گاز در سنگ کربنات با استفاده از تبدیل موجک  
حسن عمرانی، هاشم عمرانی
۶. ارزیابی شرایط محیط رسوبگذاری نهشته های آواری پلیوسن میانی-پلیستوسن (سازند بختیاری) بر مبنای ویژگی های سنگ رخساره ای در جنوب خاوری زاگرس چین خورده، شمال بندرعباس  
پیمان رضائی، سیده اکرم جویباری، شهربان محمدزاده شمیلی

## 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](mailto:ispg.paper@gmail.com) که در سایت انجمن به نشانی:

[www.ispg.ir](http://www.ispg.ir) ارسال دارند.

کلیه مقالات توسط داوران ذیصلاح ارزشیابی 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](mailto: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. راهنمای تنظیم مقاله برای نشریه

هر مقاله باید شامل بخش های اصلی زیر باشد:

#### ۱-۲ 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.

#### ۳-۲ 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.

### ۲-۴ 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

### ۲-۸ 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 ۳، ۲/۵، ۲، ۲ 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: آقائباتی، 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 هیدرودینامیکی و هیدروشیمی در مخازن نفتی (مطالعه موردی: مخزن آسماری میدان رگ سفید)

بهمن سلیمانی<sup>۱\*</sup>، عبدالله مؤمنی فیض آباد<sup>۲</sup>، موسی ظهراب زاده<sup>۳</sup>

۱-استاد گروه زمین شناسی نفت و حوضه های رسوبی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز\*

۲-کارشناس ارشد زمین شناسی نفت و حوضه های رسوبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳-کارشناس ارشد مناطق نفتخیز جنوب، اهواز

soleimani\_b@scu.ac.ir\*

دریافت مهر ۱۴۰۲، پذیرش دی ۱۴۰۲

### چکیده

شناخت ویژگی‌های هیدرودینامیکی مخازن نفتی در یک میدان می‌تواند در درک رفتاری میدان و میزان بهره‌برداری از آن بسیار مفید باشد. این مطالعه در زمره اولین تلاشها برای بررسی جریان هیدرودینامیکی بوده که در مخزن آسماری میدان رگ سفید صورت گرفته است. بمنظور شناسایی تیپ آبها از داده‌های آنالیز شیمی ۲۵ نمونه آب مربوط به ۱۱ حلقه چاه و ۵ سیال نمونه (سیال حفاری، گچساران، آسماری، بنگستان، و خامی) استفاده شد. براساس نمودارهای استیف، پایپر، و چادها تیپ تمامی نمونه‌های آب کلروره سدیک است. روند خطی بین تمامی نمونه‌ها مربوط به تبدلات کاتیونی است. بطوریکه از میزان یون‌های سدیم و پتاسیم کاسته و بر میزان کلسیم و منیزیم افزوده می‌شود. این مسئله می‌تواند ناشی از اختلاط آبهای شور کلروره سدیک با TDI (Total Dissolved Ion) بالا با آبهای بی‌کربناته کلسیک-منیزیک باشد. منشأ شورابه‌های کلروره سدیک از بخش‌های بالای مخزن (و یا سازند گچساران) و منشأ آبهای بی‌کربناته کلسیک-منیزیک از بخش‌های آهکی-دولومیتی سازندهای آسماری، بنگستان و در مواردی خامی است. تمامی یون‌ها نسبت به TDI، بی‌کربنات و یون Cl الگوی تقریباً خطی مثبتی را نشان می‌دهند (بجز تغییرات TDI به یون  $SO_4^{2-}$ ). هر چند بعضی از نمونه‌ها به دلیل منشاها متفاوت از نظر بعضی از پارامترها مانند  $Ca$ ،  $SO_4$ ، و  $Mg$  موجب بی‌نظمی در روندها شده‌اند. در نمودار تغییرات یون کلر به آلکانلن، سه گروه با مشارکت سیالات سازند آسماری و تا حدودی بنگستان آشکار است. در نمودار بی‌کربنات-کلسیم نیز تعدادی از نمونه‌ها به صورت غیر عادی دارای کلسیم بالایی هستند. نمودارهای تغییرات TDI و  $SO_4$  نسبت به عمق نیز دو گروه سیال را نشان می‌دهند. با توجه به حضور گسل‌ها در منطقه، امکان مشارکت نواحی دیگر در تغذیه سیالات مخزنی و عدم ناهماهنگی بعضی از نمونه‌ها را بدنبال دارند. ارزیابی منحنی‌های هم‌تمرکز یونی و TDI نشان داد که کوهانک باختری دارای تمرکز بیشتری می‌باشد. سطح تماس آب-نفت (WOC) در یال شمالی ۲۰۰ متر بالاتر از یال جنوبی بوده در نتیجه سطح پتانسیومتری آبد به صورت اریب است. مطالعه نقشه هیدرودینامیک و خطوط جریان نشان دهنده یک جریان پیوسته از سمت شمال خاور به سمت باختر و جنوب باختری میدان بصورت جریان نسبتاً قوی در کوهانک باختری و جریان ضعیف‌تری در بخش یال شمالی می‌باشد. اندیس تولید و داده‌های فشاری در بخش جنوبی - جنوب باختری میدان شرایط بهتری را نشان می‌دهد. با توجه به ورودی جریان از سمت شمال خاور به سمت نواحی باختری و جنوب باختری، قویاً توصیه می‌گردد حفاری در بخش باختری میدان متمرکز و برنامه تزریق آب در سمت شمال خاوری انجام گیرد.

کلید واژه: میدان رگ سفید، جریان هیدرودینامیکی، مخزن آسماری، هیدروشیمی، نمودار پایپر.

تقریباً از دو دهه گذشته توجه خاصی به تحولات هیدرودینامیکی مخازن بویژه آبی شده است [۵۲، ۸۸]. هر چند آب متحرک بعنوان حامل اصلی هیدروکربن از مدت‌ها پیش شناخته شده بود [۵۲، ۶۴]. لذا، در کل، در مخازن نفتی شرایط هیدرولوژیکی و الگوی سطح تماس آب و نفت برای درک مکانیسم‌های جایگزینی و تجمع هیدروکربنی با اهمیت است [۳۲، ۵۵]. تاریخچه ژئودینامیکی و آب و هوایی حاکم بر حوضه مورد مطالعه بر این پارامترها مؤثر است. اطلاعات زیرزمینی حرکت و میزان سیال در مخزن بخشی از اطلاعات مهندسی مخزن محسوب شده که می‌تواند بمنظور دست یابی به نحوه توزیع و کیفیت خطوط جریان و نیز مدلسازی مخزن مورد استفاده قرار گیرد [۸۵].

منطقه خاورمیانه با داشتن ۶۵ درصد ذخایر نفت و ۳۵ درصد ذخایر گاز طبیعی جهان مهمترین مرکز تولید و اکتشاف هیدروکربن در جهان است [۲۱]. ایران به عنوان یکی از بزرگترین تولید کنندگان نفت خاور میانه و دنیا، ۹ درصد ذخائر نفت و ۱۵ درصد ذخائر گاز طبیعی جهان را در خود جای داده است [۱۵]. از نظر تعداد مخازن هیدروکربوری و بدون توجه به حجم هیدروکربورها، تقریباً ۹۰٪ مخازن بزرگ ایران، کربناته و ۱۰٪ ماسه‌سنگی می‌باشند. در این میان، ۵۳٪ مخازن نفتی و ۴۷٪ آنها گازی هستند [۴۲]. مخازن نفتی اهواز، مارون، نوروز، فروزان، ابوذر و سروش از مخازن نفتی بزرگ ماسه‌سنگی بوده و میادین گچساران، آغاجاری و بی‌بی حکیمه از جمله معروفترین مخازن نفتی بزرگ کربناته محسوب می‌شوند [۱۹].

پیگیری و اکتشاف نفت در یک حوضه رسوبی شدیداً متأثر از وضعیت هیدرودینامیک در آن حوضه می‌باشد [۲۶، ۸۸]. اولین مطالعات در زمینه هیدرودینامیک و نفوذ آب از سطح زمین به اعماق و نقش آن در مهاجرت نفت و گاز و توسعه تئوری هیدرولیکی در تجمع هیدروکربن به دهه های اول ۱۹۹۰ برمی‌گردد [۶۰، ۷۱-۷۴]. در سالهای بعد نقش طبقات رسوبی در مناطق مرتفع در انتقال آبهای نفوذی به سمت مناطق پست حوضه و چگونگی افزایش اندازه و مکان تله های نفتی توسط جریان های هیدرولیکی مورد توجه قرار گرفت [۴۵-۴۶]. فرضیه تاثیر توپوگرافی بر حرکت آب‌های زیرزمینی و وضعیت شیمی، ترمودینامیک و سایر خواص مکانیکی نیز در مطالعات بعدی بررسی گردید. نتایج نشان داد که آب‌های جوی ارتفاعات دارای بنیان بی‌کربنات وارد حوضه شده، و بتدریج به سمت بخش های عمیق شیمی آب تغییر نموده، بطوریکه بنیان‌های بی‌کربنات و سولفات و در عمق بیشتر سولفات، سولفات-کلر و بالاخره کلر بترتیب حالت غالب می‌شوند [۸۷]. فرآیند تولید، مهاجرت (اولیه)، تجمع، جابجا شدن نفت (مهاجرت ثانویه) و سرانجام تخریب آن بصورت تجزیه بیوشیمیایی و ... همگی در رابطه مستقیم با آب سازند انجام می‌پذیرد. هر چند در بسیاری از مخازن، ممکن است چندین مکانیسم رانش و یا سازوکار بازیافت هیدروکربن به طور همزمان عمل نماید [۵۸، ۸۰، ۹۲].

مطالعات متعددی در دنیا و به صورت کمتر در ایران انجام شده است. نمونه‌هایی از تله‌های هیدرودینامیکی در حوضه‌ها و ایالت‌های رسوبی نفت‌دار متعددی مانند سکوی شمال آفریقا [۲۵]، سکوی عربی [۱۶]، حوضه پاریس [۵۷]، دریای خزر جنوبی [۲۴، ۳۹]، دلتای ماهاکام [۲۳]، دریای شمال [۲۹، ۶۲، ۷۵]، خلیج مکزیک [۳۸] و در حوضه زاگرس [۲۰، ۲۲، ۳۱، ۴۴، ۸۸] وجود دارد. حتی برای ذخیره سازی CO<sub>2</sub>، نیز اصول تله هیدرودینامیکی اعمال می‌شود [۴۳، ۵۱].

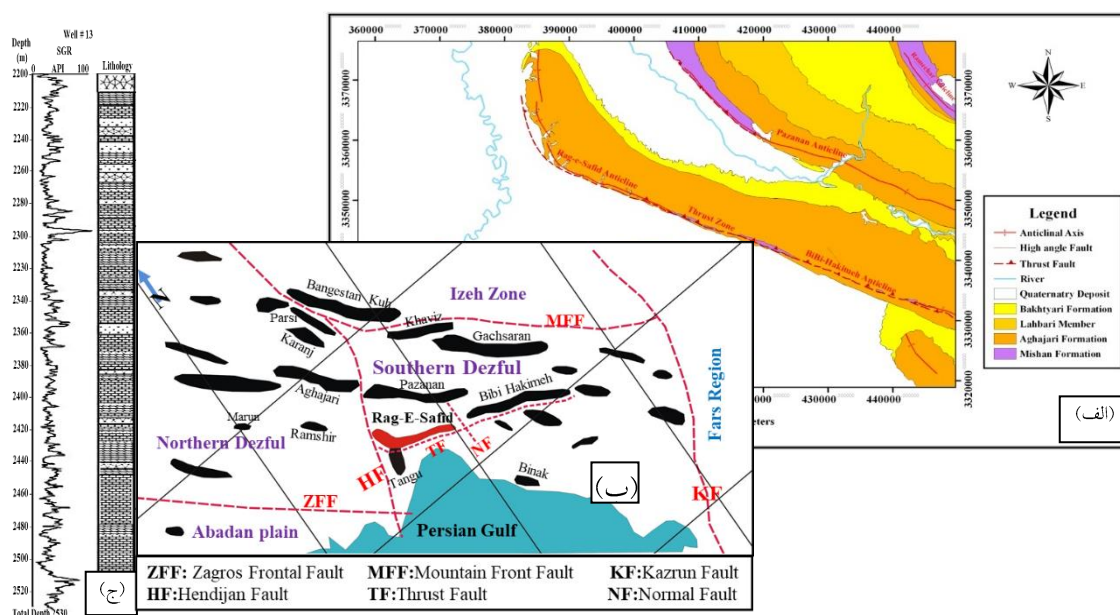
مطالعات چندی در مورد وضعیت هیدرودینامیک و هیدرووشیمی سازند آسماری در فروافتادگی دزفول صورت گرفته است [۱، ۳، ۱۰، ۱۱]. این مطالعات نشان داد که در فروافتادگی دزفول، دو جریان متأثر از نیروی ثقلی (هیدرودینامیک همگرا) و تراکمی (هیدرودینامیک واگرا) وجود دارد. در بخش میانی و جنوبی فروافتادگی دزفول، به دلیل حضور طبقات ماسه‌سنگی با سیمان شدگی ضعیف و جورشدگی خوب و تراوایی بالا، جریان هیدرودینامیک قوی حاکم می‌باشد. در بعضی از میادین نظیر میدان نفتی پارس و یا کرنج نیز مکانیسم آبران شناسایی نشده و یا جریان هیدرودینامیک ضعیف و ناپایدار وجود دارد.

از آنجا که نیروی هیدرودینامیک مهمترین عامل مکانیسم جابجایی سیال برای تولید هیدروکربن با فاکتور بازیابی بیش از ۶۰ درصد است [۷۸، ۱۸]، بنابراین شناخت ویژگی‌های هیدرودینامیک در یک میدان می‌تواند ما را در درک رفتاری میدان و میزان بهره‌برداری از آن یاری رساند. اثبات وجود یا عدم وجود شرایط هیدرودینامیکی در میدان و تعیین مناطق دارای حداکثر پتانسیل بهره‌برداری و کاهش ریسک حفاری از اهداف این مطالعه بشمار می‌رود.

## ۲- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی میدان

میدان نفتی رگ سفید تاقدیسی است به شکل چکمه‌ای یا جورابی در جنوب‌باختری ایران و در ۱۵۰ کیلومتری جنوب‌خاور اهواز در استان خوزستان قرار دارد. این میدان در منطقه‌ای بین شهر هندیجان و کوه پازنان قرار دارد و در بین میداین نفتی بی‌بی حکیمه (جنوب‌خاور)، پازنان (شمال خاور)، رامشیر (شمال‌باختر) و زاغه و تنگو (جنوب‌باختر) محصور شده است (شکل ۱). طول تقریبی میدان ۴۵ کیلومتر و عرض آن ۱۶-۷ کیلومتر می‌باشد [۲]. در این میدان سه مخزن آسماری، بنگستان و خامی شناسائی شده است. سازندهای آسماری و بنگستان دارای نفت و گروه خامی دارای گاز می‌باشد. مخزن آسماری به ۸ زون مخزنی تقسیم شده است [۸۹].

مطالعات متعددی در در مخازن آسماری و بنگستان میدان رگ سفید صورت گرفته که در این میان می‌توان به بعضی از این موارد اشاره نمود: توصیف ساختمانی، چینه‌شناسی، خصوصیات پتروفیزیکی و شکستگی‌ها [۵۰، ۶۵، ۸۱]، تأثیر دگرشیبی سنومانین/تورونین در ارتباط با بالآمدگی هندیجان [۱۲-۱۳، ۵]، تحلیل ساختاری به منظور تهیه مدل شدت شکستگی‌ها [۶، ۹-۸]، ریز رخساره و محیط رسوبی [۴، ۳۶]، نمودار تصویرگر [۷۰] و تحلیل تنش‌های درجا در سازند آسماری [۱۴].



شکل ۱- (الف) نقشه زمین شناسی، (ب) موقعیت میدان نفتی رگ سفید [۷۹]، و (ج) ستون چینه‌ای آسماری در یکی از چاه‌های حفاری شده.

## ۳- روش مطالعه

مراحل انجام این تحقیق را می‌توان به دو بخش گردآوری اطلاعات، بررسی و آنالیز داده‌ها تقسیم‌بندی نمود. برای دستیابی به اهداف تعیین شده، از کلیه منابع موجود، از جمله موارد زیر بهره گرفته شد:

داده‌های اولیه: شامل اطلاعات چاه (شامل گزارش‌های حفاری)، داده‌های زمین شناسی (مانند تغییرات لیتولوژی، مرز سازندها و انتخاب ائتروال‌ها)، پارامترهای پتروفیزیکی (مانند لیتولوژی، اشباع سیال (آب-نفت-گاز))، سطوح تماس سیالات

(در ۴۱ سال تولید از ۱۳۴۵-۱۳۸۶)، فشار سیالات (فشار نفت میدان از سال ۱۳۴۴ تا سال ۱۳۸۷)، تاریخچه تولید از مخزن (با استفاده از داده‌های ۲۴ حلقه چاه در یک دوره ۲۵ ساله از ۱۳۴۸-۱۳۷۲)، نسبت گاز به نفت تولیدی<sup>۱</sup> (در بازه زمانی از سال ۱۳۴۴ تا ۱۳۸۷).

ترکیب شیمیایی سیالات (هیدروشیمی)- بمنظور بررسی هیدروشیمی آبد مخزن، ۲۵ نمونه آب از ۱۱ حلقه چاه مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت. نتایج آنالیزها در جدول ۱ آمده است. ترکیب هیدروشیمی متوسط سیالات نمونه جهت مقایسه در جدول ۲ آورده شده است. جهت مطالعه نتایج آنالیزهای شیمی آب، ابتدا از طریق فرمول خطای واکنش<sup>۲</sup>، موازنه یونی<sup>۳</sup> آنالیز محاسبه شد [۵۶]. برای محاسبه بایستی مقادیر به میلی اکی والان بر لیتر تبدیل گردند.

$$R.E = \frac{\sum cations - \sum anions}{\sum ions} \times 100 \quad (1)$$

خطای واکنش بعنوان اندیکاتوری در ارزیابی کیفی داده‌ها بکار برده می‌شود [۳۴]. خطای واکنش مثبت نشانه افزایش کاتیون و خطای منفی نشانه افزایش آنیون است. خطای واکنش قابل قبول ۱۰ درصد می‌باشد [۳۵]. سپس جهت بررسی تیپ آبد مخزن، از نمودار استیف و پایپر و برای بررسی اختلاط احتمالی در آبد مخزن، از نمودارهای ترکیبی استفاده گردید.

شماره نمونه	شماره چاه	عمق	غلظت یونها							مجموع کاتیون	مجموع آنیون	TDI	خطای واکنش %
			Ca	Mg	Na+K	Fe	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl <sup>-1</sup>				
۱	۶	۲۶۲۵	۱۴۴۰۰	۲۴۳۰	۷۱۲۱۸	۰	۳۶۶	۵۰۰	۱۴۲۰۰۰	۸۸۰۴۸	۱۴۲۸۶۶	۲۳۰۱۹۴	۰/۰۰۰۲
۲	۱۱	۲۴۸۸	۱۳۶۰۰	۴۳۷۴	۵۲۲۴۴	۹۰	۱۰۹۸	۵۷۰	۱۲۷۴۷۷	۷۰۳۰۸	۱۲۹۱۴۵	۱۹۹۴۵۳	-۴/۴۱۳
۳	۱۱	۲۴۷۴	۱۲۰۰۰	۴۸۶۰	۶۰۱۶۲	۱۲۵	۹۷۶	۵۵۰	۱۴۵۵۵۰	۷۷۱۴۷	۱۴۷۰۷۶	۲۲۴۲۲۳	-۶/۵۴۷
۴	۱۴	۲۵۹۲	۱۲۴۰۰	۱۹۴۴	۶۴۹۷۴	۲۵	۹۴۰	۷۵۰	۱۲۶۰۲۵	۷۹۳۴۳	۱۲۷۷۱۵	۲۰۷۰۵۸	۰/۳۴۵
۵	۳۴	۲۵۳۵	۱۰۰۰۰	۳۵۸۹	۶۰۹۹۲	۱۴	۶۱۰	۴۰۰	۱۲۷۸۰۰	۷۴۵۹۵	۱۲۸۸۱۰	۲۰۳۴۰۵	-۲/۴۱۴
۶	۵۸	۲۵۶۱	۱۰۰۰۰	۲۴۳۰	۶۵۰۸۵	۲	۱۲۲۰	۶۰۰	۱۲۴۲۵۰	۷۷۵۱۷	۱۲۶۰۷۰	۲۰۳۵۸۹	-۰/۰۲۷
۷	۱۰۵	۲۷۷۰	۵۶۰۰	۱۷۰۱	۶۳۵۵۱	۰	۳۶۶	۱۳۰۰	۱۱۱۸۲۵	۷۰۸۵۲	۱۱۳۴۹۱	۱۸۴۳۴۳	۰/۰۰۰۵
۸	۱۰۵	۲۷۷۸	۶۴۰۰	۱۲۱۵	۶۳۴۵۸	۰	۲۴۴	۱۱۵۰	۱۱۸۲۰۵	۷۱۰۷۳	۱۱۹۵۹۹	۱۹۰۶۲۷	-۲/۷۳
۹	۱۰۵	۲۷۸۴	۷۲۰۰	۱۷۰۱	۵۸۰۵۶	۰	۲۹۳	۹۷۵	۱۰۶۵۵۰	۶۶۹۵۷	۱۰۷۸۱۸	۱۷۴۷۲۵	-۰/۰۳۹
۱۰	۱۰۵	۲۷۴۳	۷۶۰۰	۱۲۱۵	۶۴۲۸۱	۰	۲۴۴	۱۰۰۰	۱۱۵۳۷۵	۷۳۰۹۶	۱۱۶۶۱۹	۱۸۹۷۱۵	-۰/۰۰۰۱
۱۱	۱۰۵	۲۷۴۳	۶۴۰۰	۱۴۵۸	۶۶۲۷۵	۰	۱۲۲	۹۰۰	۱۱۷۱۵۰	۷۴۱۳۳	۱۱۸۱۷۲	۱۹۲۲۸۷	۰/۰۱۲
۱۲	۱۰۸	۲۴۶۲	۱۲۰۰۰	۲۹۱۶	۵۵۳۵۰	۲۱	۶۱۰	۷۵۰	۱۱۴۴۸۸	۷۰۲۸۷	۱۱۵۸۴۸	۱۸۶۱۳۵	-۰/۰۵۲
۱۳	۱۰۸	۲۴۶۲	۱۵۲۰۰	۳۱۸۷	۶۱۶۷۷	۴۵	۱۲۲۰	۳۰۰	۱۲۷۸۰۰	۷۹۱۰۹	۱۲۹۳۲۰	۲۰۸۴۲۹	-۰/۰۴۲
۱۴	۱۰۸	۲۴۶۲	۸۰۰۰	۳۹۴۵	۶۷۶۶۲	۲۰	۶۱۰	۸۰۰	۱۲۸۵۱۰	۷۹۶۲۷	۱۲۹۹۲۰	۲۰۹۵۴۷	۰/۲۸۱
۱۵	۱۰۸	۲۴۶۲	۱۰۸۰۰	۳۱۵۹	۶۸۲۲۵	۵	۷۳۲	۳۷۵	۱۳۳۱۳۵	۸۲۱۸۹	۱۳۴۲۴۲	۲۱۶۴۲۱	-۰/۰۴۸
۱۶	۱۰۸	۲۴۶۲	۱۲۸۰۰	۲۴۳۰	۷۴۰۲۷	۵	۳۹۲	۲۷۵	۱۴۳۷۷۵	۸۹۲۶۲	۱۴۴۴۴۲	۲۳۳۷۰۴	-۰/۰۴۲
۱۷	۴۲	۲۴۰۵	۱۵۲۰۰	۴۱۳۱	۶۱۱۲۰	۵	۲۴۴۰	۲۲۵۰	۱۳۰۴۶۳	۸۰۴۵۶	۱۳۵۱۵۳	۲۱۵۶۰۹	-۰/۰۵۷
۱۸	۱۲۲	۲۵۹۵	۱۲۸۰۰	۱۴۵۸	۶۱۳۵۳	۲۸	۱۰۹۸	۶۰۰	۱۲۰۷۰۰	۷۵۶۳۹	۱۲۲۳۹۸	۱۹۸۳۳۳	-۰/۰۲۹

<sup>1</sup> -GOR-Gas Oil Ratio

<sup>2</sup> R.E-Reaction error

<sup>3</sup>-Ion balance

<sup>4</sup> -meq/l



۱۹	۱۲۲	۲۵۹۵	۱۴۰۰۰	۴۸۶۰	۵۵۷۷۷	۱۰	۹۷۶	۷۰۰	۱۲۴۲۵۰	۷۴۶۴۷	۱۲۵۹۲۶	۲۰۰۵۷۳	-۰/۰۷۳
۲۰	۱۲۲	۲۵۰۴	۱۵۲۰۰	۲۹۱۶	۶۰۰۳۹	۵۳	۱۲۲۰	۳۰۰	۱۲۷۴۴۵	۷۸۲۰۸	۱۲۸۹۶۵	۲۰۷۱۷۳	-۰/۰۵۵
۲۱	۷۸	۲۴۸۷	۱۵۶۰۰	۱۴۵۸	۷۳۰۰۹	۰	۳۶۶	۴۰۰	۱۲۰۷۰۰	۷۶۸۶۷	۱۲۱۴۶۶	۱۹۸۳۳۳	۸/۸۱۳
۲۲	۷۸	۲۶۹۰	۱۷۰۰۰	۱۲۱۵	۵۲۰۸۸	۰	۲۴۴	۲۰۰	۱۱۵۳۷۵	۷۱۳۰۳	۱۱۵۸۱۹	۱۸۸۸۹۷	۰/۰۰۰۱
۲۳	۷۸	۲۶۳۸	۱۷۲۰۰	۱۲۱۵	۵۶۴۰۰	۰	۴۸۸	۲۰۰	۱۴۰۲۲۵	۷۴۸۱۵	۱۴۰۹۱۳	۱۹۶۲۰۳	-۷/۴۶
۲۴	۴	۲۸۸۹	۱۲۶۴۰	۲۳۸۱	۷۰۳۱۱	۳۸	۱۷۰۸	۵۵۰	۱۲۶۶۷۵	۸۵۳۷۰	۱۳۸۹۳۳	۲۲۴۳۰۳	-۰/۰۴۰
۲۵	۴	۲۸۸۹	۱۳۲۰۰	۳۸۸۸	۷۰۶۱۰	۵۰	۲۴۴۰	۸۰۰	۱۴۲۰۰۰	۸۷۷۴۸	۱۴۵۲۴۰	۲۳۲۹۸۸	-۰/۰۶۰

جدول ۲- ترکیب هیدروشمی سیالات نمونه (بر حسب میلی گرم بر لیتر) جهت مقایسه (آرشیو شرکت نفت)										
سیالات نمونه	Ca	Mg	Na+K	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	ΣCat.	ΣAni	TDI	R.E%
Mud drill	۲۰۰۰	۲۵۰	۸۵۰۰۰	۶۵۰	۴۰۰۰	۱۳۰۰۰۰	۸۷۲۵۰	۱۳۴۶۵۰	۲۲۱۹۰۰	۰/۰۷۹۶
Khami Gr.	۷۵۰	۷۵۰	۷۵۰۰۰	۲۵۰۰	۳۵۰۰	۱۱۵۰۰۰	۷۶۵۰۰	۱۲۱۰۰۰	۱۹۷۵۰۰	۰/۱۰۱
Bangestan Gr.	۱۸۰۰۰	۳۸۸۸	۷۰۰۱۷	۹۷۶	۳۰۰	۱۵۰۸۷۵	۹۱۹۰۵	۱۵۲۱۵۱	۲۴۴۳۳۱	-۰/۰۹۴
Asmari Fm.	۱۰۰۰۰	۲۰۶۵	۶۶۰۴۱	۳۴۲	۶۲۵	۱۲۵۱۳۷	۷۸۱۰۶	۱۲۶۱۰۴	۲۰۴۲۱۴	-۰/۰۳۳
Gachsaran Fm.	۳۰۰۰۰	۵۵۰۰	۸۰۰۰۰	۸۰۰	۲۰۰	۱۹۰۰۰۰	۱۱۵۵۰۰	۱۹۱۰۰۰	۳۰۶۵۰۰	۰/۰۷۰

رسم نمودار تغییرات- براساس داده‌های ذکر شده، نمودارهای مختلف مانند تغییر سطح اساس آب-نفت، شاخص بهره‌دهی، نقشه‌های پتانسیومتریکی و هیدرودینامیکی مخزن آسماری و تغییرات هیدروشمی مخزن (و همچنین نمونه‌ای از آنالیز آب سازند گچساران جهت مقایسه) تهیه گردید.

نرم افزارهای مورد استفاده- بمنظور تهیه جداول، نقشه‌ها، نمودارها و نیز ویرایش تصاویر از نرم افزارهای مختلفی از جمله RMS (برای رسم نمودارهای شاخص بهره دهی)، AqQa (برای رسم تغییرات ژئوشیمی آب مانند نمودارهای تغییرات کاتیون ها و آنیون ها به TDI)، ArcGIS (برای پیدا کردن موقعیت چاهها)، ENVI (جهت استاندارد سازی تصاویر)، Phreeqc (برای دسته بندی و طراحی داده‌های وسیع ژئوشیمیایی)، Surfer (رسم نمودارهای هیدرودینامیکی)، Excel 2007 (برای ذخیره سازی داده ها)، Adobe Photoshop و Corel draw (رسم شکل ها و ویرایش نقشه ها) استفاده شد.

#### ۴- بحث

##### ۴-۱ توصیف زون بندی مخزن:

مخزن آسماری به منظور سهولت مطالعه به سه بخش بالایی (زون ۱ و ۲)، میانی (زون ۳، ۴ و ۵) و پائینی (زون ۶، ۷ و ۸) تقسیم می‌شود.

زون ۱: با ضخامت متوسط ۳۵/۳ متر از نظر سنگ‌شناسی از آهک (۴۴/۵٪)، دولومیت (۴۹٪)، شیل (۵/۵٪)، انیدریت (۲٪) و ماسه (۱٪) تشکیل شده است. متوسط تخلخل و تراوایی آن به ترتیب، ۱۱/۸٪ و ۱/۰۰۳ میلی‌داری می‌باشد. متوسط اشباع آب ۲۴/۶٪ می‌باشد.

زون ۲: بر اساس تغییرات سنگ‌شناسی و پارامترهای پتروفیزیکی به دو زیرزون ۲-۱ و ۲-۲ تقسیم می‌شود:

**زیرزون ۱-۲:** با ضخامت متوسط آن ۱۷.۴۱ متر از ماسه سنگ (۳۰٪)، آهک (۲۷٪)، شیل (۲۳٪) و دولومیت (۲۰٪) تشکیل شده است. متوسط تخلخل ۱۵/۱٪، تراوایی ۲/۵ میلی داری و متوسط اشباع آب ۲۴/۷٪ است.

**زیرزون ۲-۲:** ضخامت متوسط آن ۱۲/۲۶ متر بوده و شامل آهک (۳۳٪)، ماسه (۳۰٪)، شیل (۱۸٪) و دولومیت (۱۸٪) می باشد. متوسط تخلخل ۲/۲٪، تراوایی ۲/۴۳ میلی داری و متوسط اشباع آب ۲۶/۸٪ است.

**زون ۳:** از آهک (۴۳٪)، دولومیت (۴۷٪)، شیل (۵/۵٪)، انیدریت (۴٪) و ماسه سنگ (۰/۵٪) تشکیل شده است. ضخامت متوسط این زون ۳۳/۴ متر است. متوسط تخلخل ۱۱/۲٪ و تراوایی آن ۰/۴۴ میلی داری و متوسط اشباع آب ۲۹/۳٪ می باشد.

**زون ۴:** با ضخامت متوسط ۱۸/۴ متر دارای سنگ آهک (۵۲٪)، دولومیت (۳۲٪)، شیل (۱۵٪)، ماسه سنگ (۰/۵٪) و انیدریت (۰/۵٪) است. متوسط تخلخل این زون ۱۲/۷ درصد، تراوایی ۲/۳۷ میلی داری و متوسط اشباع آب ۲۸/۴٪ می باشد.

**زون ۵:** با ضخامت متوسط ۴۰/۱ متر شامل سنگ آهک (۶۱٪)، دولومیت (۳۴٪)، و شیل (۵٪) می باشد. این زون تقریباً فاقد ماسه سنگ و انیدریت است. متوسط تخلخل ۱۳/۸ درصد، تراوایی ۵۳ میلی داری و اشباع آب ۲۴/۱٪ می باشد. این زون بهترین زون مخزن آسماری میدان می باشد.

**زون ۶:** بخش زیرین آسماری میانی را شامل می شود. شامل سنگ آهک دولومیتی ضخیم لایه (۵۵٪) و دولومیت (۳۸٪) با میان لایه شیل (۷٪) است. ضخامت متوسط این زون ۸۸/۷ متر است. میانگین تخلخل ۱۲/۵٪، تراوایی ۰/۸۸ میلی داری و اشباع آب ۲۸/۹٪ می باشد.

**زون ۷:** ضخامت متوسط این زون ۸۹ متر بوده و بر اساس تغییرات سنگ شناسی و پارامترهای پتروفیزیکی به دو زیرزون ۷-۱ و ۷-۲ تقسیم می شود:

**زیرزون ۱-۷:** با ضخامت ۵۸/۵ متر از آهک (۵۴٪)، دولومیت (۳۴٪)، شیل (۸٪) تشکیل شده است. متوسط تخلخل ۱۲/۳٪، تراوایی ۷۹ میلی داری و اشباع آب ۳۳/۷٪ می باشد. این زیرزون در زمره زون های خیلی خوب مخزن می باشد.

**زیرزون ۲-۷:** شامل آهک (۷۸٪)، دولومیت (۱۹٪) و شیل (۳٪) می باشد. دارای ضخامت متوسط ۴۹/۶ متر است. متوسط تخلخل ۱۱/۹، تراوایی ۰/۴۵ میلی داری و اشباع آب ۲۷/۱٪ می باشد. علیرغم دارا بودن کمترین میزان تخلخل، بدلیل نسبت بالای ضخامت مفید به ضخامت کل، پس از زون ۵ بهترین زون مخزنی میدان می باشد.

**زون ۸:** با ضخامت متوسط ۸۳ متر، از آهک (۸۰٪)، دولومیت (۱۵)، شیل (۴٪) و مقدار کمی ماسه سنگ (۱٪) تشکیل شده است. متوسط تخلخل ۱۱/۱٪، تراوایی ۰/۸۴ میلی داری و اشباع آب ۳۱/۴٪ بوده، ضعیفترین زون مخزنی محسوب می شود.

#### ۴-۲ بررسی هیدرودینامیک:

هیدرودینامیک، جریان آب در بخش آبدۀ مخازن نفتی نه تنها تحت تاثیر وضعیت چینه شناسی، بلکه متأثر از وضعیت ساختمانی حوضه می باشد [۳۷]. رژیم هیدرولوژیکی یک حوضه با گذشت زمان از جوانی تا پیری تکامل می یابد. حوضه جوان دارای سیستم سیال بسیار پویا، اما حرکت سیال ذاتی عمیق با افزایش سن کاهش می یابد. بعد از رسوبگذاری، فشار روباره بواسطه تراکم باعث حرکت گسترده آب به سمت بالا می شود. این حرکت معمولاً با مهاجرت و به دام افتادن هیدروکربن ها همراه است. حرکت سیال به سمت بالا ممکن است به صورت موضعی توسط مناطق فوق فشاری قطع شود [۷۱، ۷۵]. در حوضه های رسوبی، گرانش و اختلاف پتانسیل فشار بسیار زیاد، مهم ترین مکانیسم رانش جریان آب های

<sup>5</sup>-Aqifer

زیرزمینی است، اما در بعضی نواحی خاص، گرادیان های حرارتی می توانند جریان همرفتی آب زیرزمینی را القا کنند، مانند سفره های کم عمق عرض های جغرافیایی بالا [۳۱]، یا شیب پتانسیل شیمیایی در حضور گرادیان بالای غلظت املاح [۵۵]. در این مطالعه برای بررسی وضعیت هیدرودینامیکی مخزن از پارامترهای مختلف استفاده گردید.

#### ۴-۲-۱ تغییرات سطح تماس سیالات نسبت به زمان:

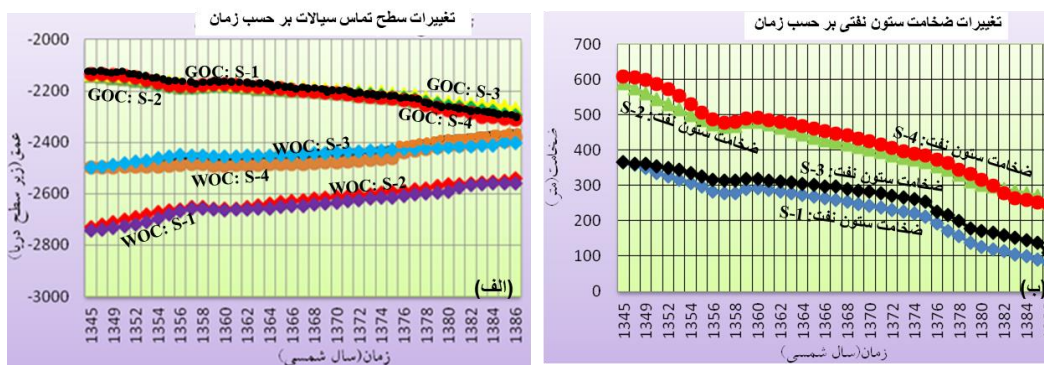
تغییرات سطح تماس آب-نفت<sup>۶</sup> نشان می دهد که سطح تماس در یال شمالی با یال جنوبی متفاوت می باشد. بطوری که سطح تماس اولیه در سال ۱۳۴۵ در یال شمالی در عمق ۲۵۲۰ متری زیر سطح دریا بوده و این در حالیست که این سطح در یال جنوبی در عمق ۲۷۳۰ متری زیر سطح دریا قرار داشته است. پس از ۴۱ سال تولید در سال ۱۳۸۶ سطح تماس یال شمالی و جنوبی و بخشهای چهارگانه دستخوش تغییرات زیادی شده است (شکل ۲). سطح آب-نفت در بخشهای (S-1 و S-2) واقع در یال جنوبی میدان در عمق بیشتری قرار داشته اما در مدت زمان مشابه نسبت به یال شمالی صعود بیشتری داشته و بالاتر آمده است.

داده های سطح تماس گاز-نفت<sup>۷</sup> نشان داد که سطح تماس اولیه میدان در عمق ۲۱۴۰ متری زیر سطح دریا بوده است. سطح تماس گاز-نفت میدان در تمام بخش های میدان از یک روند پیروی می کند، به طوری که بخش خاوری میدان (بخش S-3 و S-4) بیشترین پایین رفتن سطح تماس گاز-نفت را دارا می باشد. همان گونه که در شکل دیده می شود سطح تماس گاز-نفت بخش (S-4) میدان پایین تر از سایر بخش ها می باشد، به عبارتی ضخامت ستون گازی بیشتر می باشد. بررسی ضخامت ستون نفتی میدان نشان می دهد که بیشترین و کمترین کاهش ضخامت ستون مربوط به بخشهای (S-3 و S-4) به میزان ۳۶۱ و ۲۵۵ متر می باشد.

با توجه به نمودارهای تغییرات سطح تماس سیالات، تغییر سطح تماس آب-نفت و گاز-نفت در گذر زمان ملایم و دارای شیب یکنواخت بوده و تغییرات آن متناسب با نرخ تولید می باشد (شکل ۲).

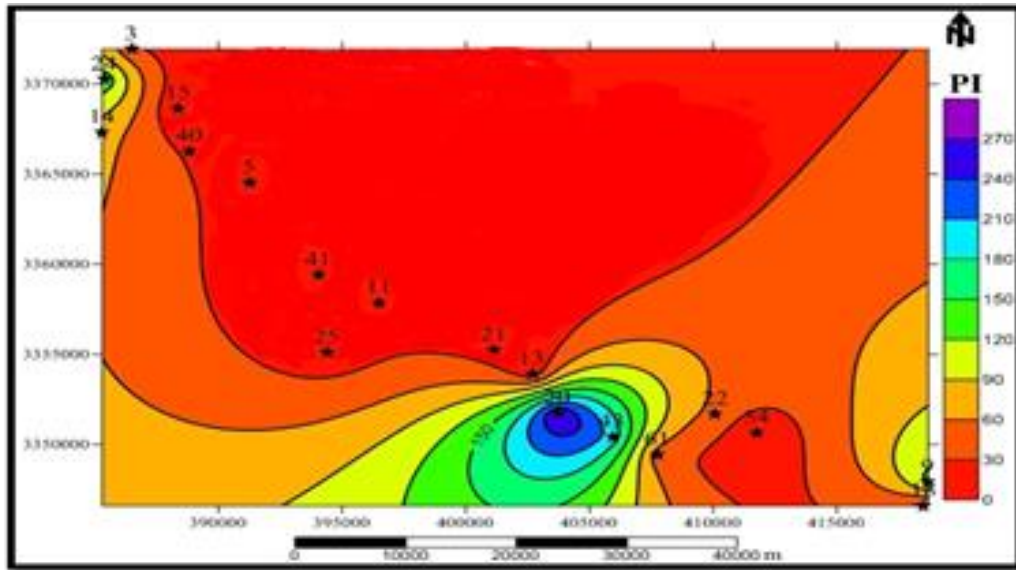
شاخص بهره دهی (PI) Productivity Index: نسبت دبی تولید مایع بر حسب روز/STB (بشکه بر روز) به اختلاف فشار متوسط مخزن با فشار تخلیه ی چاه در میانه بازه تولید کننده را گویند، و با علامت  $J$  نشان داده می شود [۲۶]:

$$J = \frac{q}{(P - Pwf)} \quad (2)$$



<sup>۶</sup> -WOC-Water Oil Contact

<sup>۷</sup> -GOC-Gas Oil Contact



شکل ۳- نقشه شاخص بهره‌دهی میدان در دوره زمانی ۱۳۷۲-۱۳۶۶.

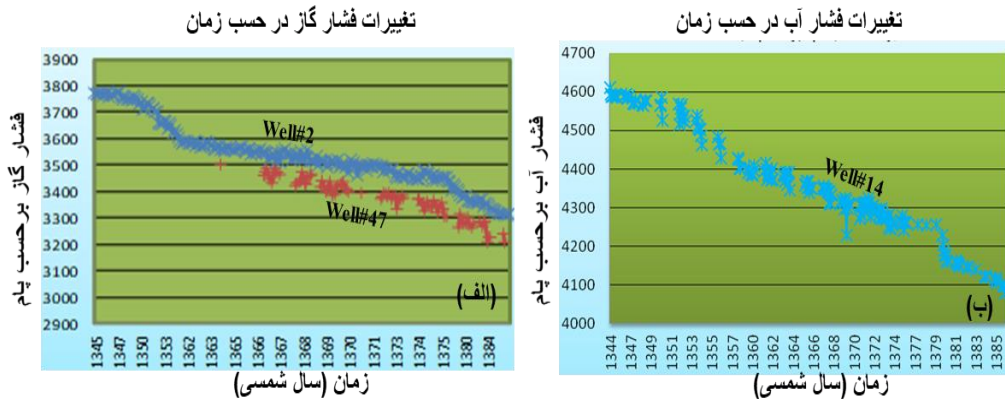
شاخص بهره‌دهی، معیاری برای پتانسیل چاه یا توان چاه برای تولید به‌شمار می‌رود و از جمله خواص کمی چاه است که به‌طور معمول اندازه‌گیری می‌شود. در محاسبه  $J$  از یک آزمون تولید، باید چاه را برای مدت زمان طولانی در تولید قرار داد تا زمانی که جریان به حالت شبه‌پایدار برسد. تنها در این بازه زمانی است که  $\bar{P} - P_{wf}$  ثابت می‌ماند [۲۶]. برای این منظور نتایج حاصل از شاخص بهره‌دهی ۲۴ حلقه چاه در یک دوره ۲۵ ساله مورد استفاده قرار گرفته است. در کل شاخص بهره‌دهی میدان در بخش‌های جنوبی و باختری از سایر نقاط مطلوب‌تر می‌باشد (بعنوان مثال، شکل ۳).

فشار نفت میدان: نمودار تغییرات آن با گذشت زمان ترسیم گردید (شکل ۴). روند تغییرات نشان داد که با شروع تولید از میدان، فشار نفت کاهش یافته است. به‌طوریکه از سال ۱۳۴۴ تا ۱۳۸۷ افت فشار نفت میدان در حدود ۸۰۰ پام (پوند بر اینچ مربع) یعنی به‌ازای هر سال ۱۹/۰۴ پام می‌باشد. از لحاظ فشار نفت، میدان قابل تقسیم به دو بخش خاوری و باختری می‌باشد. فشار بخش غربی میدان (بخش S-1 و S-2) ۱۰۰ پام بیشتر از بخش خاوری (بخش S-3 و S-4) می‌باشد. بررسی منحنی‌های هم‌فشار که با استفاده از نرم افزار RMS<sup>۸</sup> رسم شده، نشان داد که بخش باختری و مرکزی میدان (بخش S-1 و S-2) از نظر فشاری وضعیت مطلوب‌تری را دارا می‌باشند (شکل ۵).

<sup>۸</sup> RMS-Reservoir Management System



اختلاف ناشی از کوچک بودن کلاهیک گازی بخش شرقی می‌باشد (شکل ۶-الف). بررسی نمودارهای تغییرات فشار گاز نسبت به تولید روزانه نفت نشان داد که فشار کلی گاز متناسب با تولید و دارای نوساناتی است. **بررسی فشارهای ساکن آب:** نمودار تغییرات فشار آب در طول فعالیت تولیدی مخزن نشان می‌دهد که بطور کلی روند نزولی داشته، و در دوره‌هایی که تولید در بیشترین میزان خود بوده، افت فشار شدیدتر می‌باشد (شکل ۶-ب).



شکل ۶- نمودار تغییرات فشار (الف) گاز در دو چاه (بعنوان مثال) و (ب) آب مخزن آسماری (در یکی از چاه‌ها) میدان نفتی رگ‌سفید بر حسب زمان.

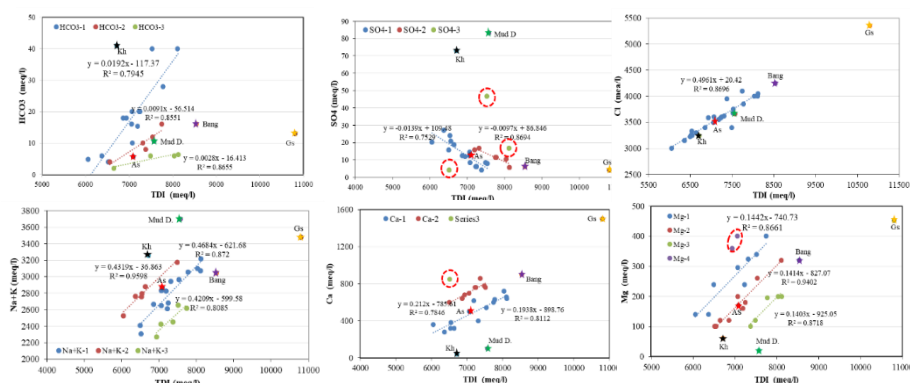
#### ۴-۳ بررسی تیپ آب

برای تفسیر نتایج آنالیز هیدروشیمی نمونه‌های مورد مطالعه (جدول ۱) از نمودارهای مختلفی استفاده گردید. نمودار استیف- نمودار یا الگوی استیف نمایش تصویری از آنالیز شیمیایی است که اولین بار توسط استیف [۸۳] بکار گرفته شد. این نمودار بطور وسیعی توسط زمین‌شناسان و آب‌شناسان برای نمایش تغییرات یون‌های اصلی نمونه‌های آب بکار برده می‌شود. این نمودار در شناسایی سریع آب‌هایی با منشا مختلف مفید است [۳۰، ۳۷، ۵۳، ۷۷]. بررسی نمونه آب چاه‌ها در این نمودار نشان می‌دهد که تیپ آب چاه‌ها و نیز سازند گچساران (بعنوان نمونه) از نوع کلرورسدیک می‌باشد (شکل ۷).

نمودار پایپر- نمودار پایپر که توسط پایپر در سال ۱۹۴۴ پیشنهاد شد جهت نمایش داده‌های شیمی آب بمنظور شناخت منشا نمک‌های محلول در آب بکار می‌رود [۶۷-۶۸]. این شکل الماس گونه تبدیل ماتریسی از آنیون ( $SO_4+Cl/Total$ ) و کاتیون (anions) و کاتیون ( $Na^+ + K^+/Total\ cations$ ) است [۶۹]. نمونه‌های آب در نمودار پایپر می‌تواند بصورت رخساره هیدروشیمی دسته بندی گردند [۲۸، ۵۹، ۷۶، ۹۱]. بنابراین، یکی از ابزارهای مفید جهت تعیین نوع آب‌ها، رخساره‌های هیدروشیمیایی و مسیرهای تکامل هیدروژئوشیمیایی، نمایش تعداد زیادی نمونه در یک دیاگرام، نشان‌دادن تفاوت‌ها و شباهت‌ها، تاثیر اختلاط و بررسی تغییرات زمانی و مکانی نمونه‌ها می‌باشد [۴۰، ۴۷، ۴۹]. بر اساس این نمودار، تیپ تمامی نمونه‌های آب برداشت شده از چاه‌های مختلف همانند نمودار استیف کلروره سدیک است. همچنین در این نمودار یک روند خطی بین تمامی نمونه‌ها دیده می‌شود که مربوط به تبادلات کاتیونی است. بطوریکه در این مسیر خطی از میزان یون‌های سدیم و پتاسیم کم و بر میزان کلسیم و منیزیم افزوده می‌شود. این مسئله می‌تواند به دلیل اختلاط آب‌های شور کلروره سدیک با TDI بالا با آب‌های بی‌کربناته کلسیک- منیزیک باشد که در عمق بیشتری قرار دارد. اما بدلیل شوری زیاد آب‌های کلروره سدیک و قابلیت اشباع بالای آنها، اثر آب‌های بی‌کربناته کلسیک- منیزیک را نمی‌توان بر روی نمودار آنیونی و لوزی شکل



شیمی ۵ سیال نمونه (سیال حفاری، گچساران، آسماری، بنگستان، خامی) استفاده شد. تمامی یونها نسبت به TDI (شکل ۹) و نسبت به یون بی کربنات و یون Cl (شکل ۱۰) الگوی تقریباً خطی و مثبتی را بجز در نمودار تغییرات یون  $SO_4^{2-}$  و آلکانل به TDI (الگوی خطی منفی) با هم نشان می‌دهند. از آنجائیکه با افزایش یون کلر و TDI از غلظت یون سولفات کاسته می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که یون کلر یک مانع جنبشی در فرایند انحلال سولفات بحساب می‌آید [۵۴، ۹۰، ۸۴]. عبارات دیگر بدلیل حضور لایه‌های نمکی که آزاد کننده یون کلر هستند یون سولفات سریع به درجه اشباع رسیده و دیگر به درون آب اضافه نمی‌شود [۶۳]. تغییرات هیدروشیمی می‌تواند برای شناخت جریان هیدرودینامیکی بکار رود [۷]. نمونه‌های مورد مطالعه در چند گروه قرار می‌گیرند. مقایسه تغییرات شیمی آنها با نمونه‌های سیال منتخب (سیال حفاری، خامی، بنگستان، آسماری، و گچساران) نشان داد که بااستثنای نمودار TDI به Cl همگی در یک راستای خطی قرار می‌گیرند. در نمودارهای دیگر سیال نمونه گچساران (گاهی در راستای روند تغییرات قرار دارد) و سیال حفاری دارای موقعیت متمایزی هستند ولی سایر سیالات مقایسه ای شباهتهای ترکیبی را با بعضی از نمونه‌ها نشان می‌دهند. همچنین بعضی از نمونه‌ها از نظر پارامترهای  $Ca$ ،  $SO_4$  و  $Mg$  به دلیل دارا بودن منسایه‌های دیگر موجب بی‌نظمی در روندهای شناسایی شده است. بعضی از نمونه‌ها با گروه آسماری و بنگستان ضریب تطابق ( $R^2$ ) بسیار خوبی دارند. تعداد کمی از نمونه‌ها نیز به ترکیب نمونه خامی نزدیک هستند. این موضوع نشانه تغییر تیپ سیالات از کلروره سدیک به سمت کلسیک-منیزیک می‌باشد. نقش سازند خامی نیز بااستثنای نمودار TDI-Mg کم‌رنگ است. این نکته دخالت گروه خامی دارای  $Mg$  را محتمل می‌سازد. بطور کلی با توجه به تغییرات پارامترهای ذکر شده، می‌توان نتیجه گرفت که بخش سولفات کلسیم از بخش‌های نزدیک به سازند گچساران منشا گرفته باشد. همچنین تاثیر بسیار بالای سازند آسماری (As) در تغذیه عناصر آب‌های مخزنی آشکار است. در شکل ۱۰ نیز بر مبنای تغییرات کلر به آلکانل سه گروه با مشارکت پر رنگ سیالات آسماری و تا حدودی بنگستان آشکار است. در نمودارهای بی‌کربنات به کلسیم نیز تعدادی از نمونه‌ها به صورت غیر عادی دارای کلسیم بالایی هستند. از نظر منیزیم-آهن نیز مشارکت سیالات آسماری-بنگستان و بمقدار کم گچساران مشهود است. از نظر تغییرات TDI به آلکانل+کلر همه نمونه‌ها با سیالات نمونه بااستثنای گل حفاری و گچساران انطباق خوبی را نشان می‌دهند. در نمودارهای تغییرات TDI-Depth و  $SO_4$ -Depth نیز دو گروه سیال متفاوت را نشان می‌دهد. هرچند بعضی از سیالات با منشا متفاوت وجود دارد. با توجه به حضور گسل‌ها در منطقه، امکان مشارکت آنها در تغذیه سیالات مخزنی وجود دارد.

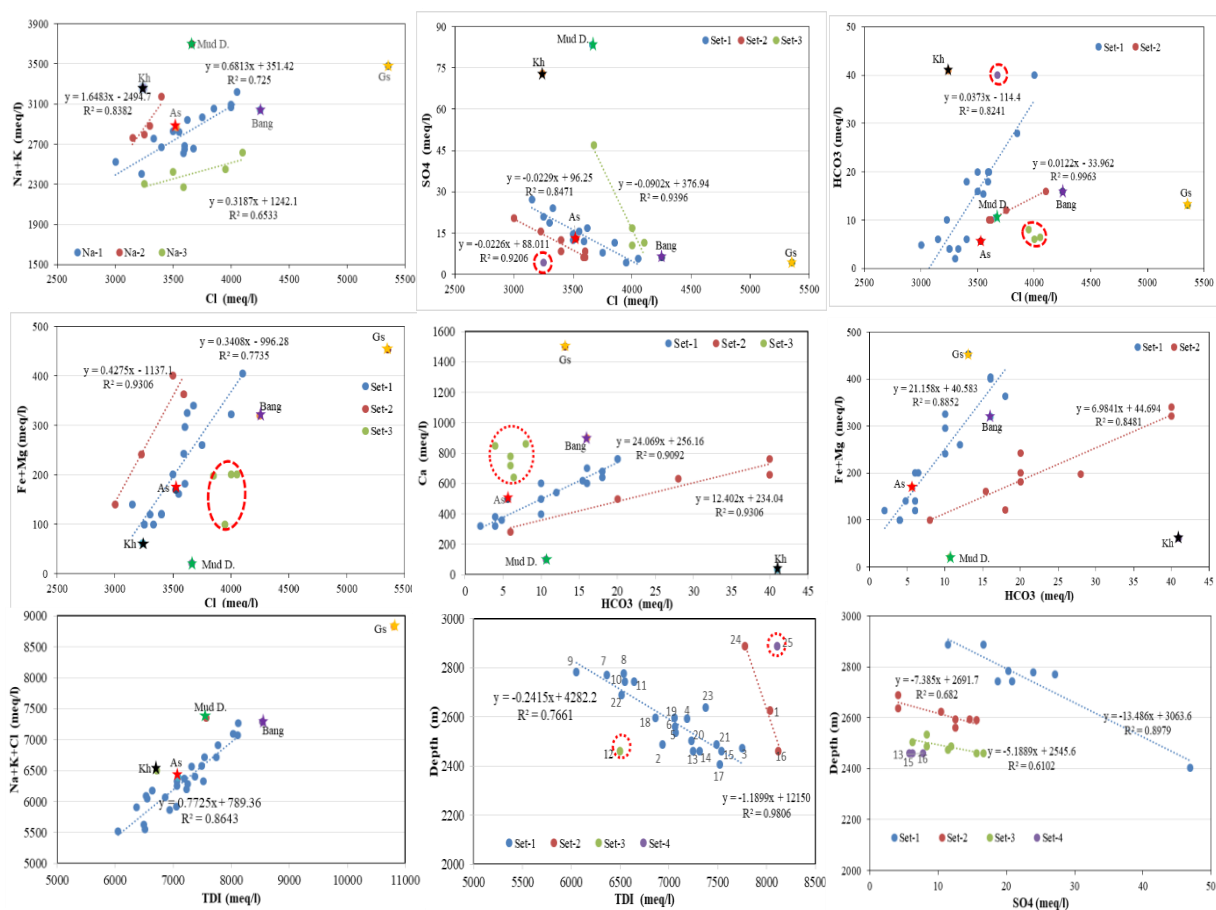


شکل ۹- نمودار  $Na^+ + K^+$ ،  $Cl^-$ ،  $SO_4^{2-}$ ،  $Mg^{+2}$ ،  $Ca^{+2}$  و  $HCO_3^{-1}$  در سبب نم

بطور کلی براساس نمودارهای تغییرات شیمیایی سیالات آبی مورد مطالعه حداقل در سه تیپ کلروره سدیک با TDI بالا، متوسط و پایین و تیپ بی‌کربنات کلسیک-منیزیک (محتوی یون‌های دیگر) شناسایی گردید. با توجه به تغییرات عمقی شیمی



آب (پایین آمدن TDI)، منشأ شورابه‌های کلروره سدیک از بخش‌های بالایی مخزن مانند سازند گچساران (بوژه پوش سنگ) و منشأ آبهای بیکربناته کلسیک- منیزیک از بخش‌های آهکی- دولومیتی سازندهای آسماری، بنگستان و در مواردی خامی است. بنابراین مسیر اختلاط از بخش‌های نمکی به سمت بخش آهکی- دولومیتی سازند آسماری پیشنهاد می‌شود - (شکل ۱۰).

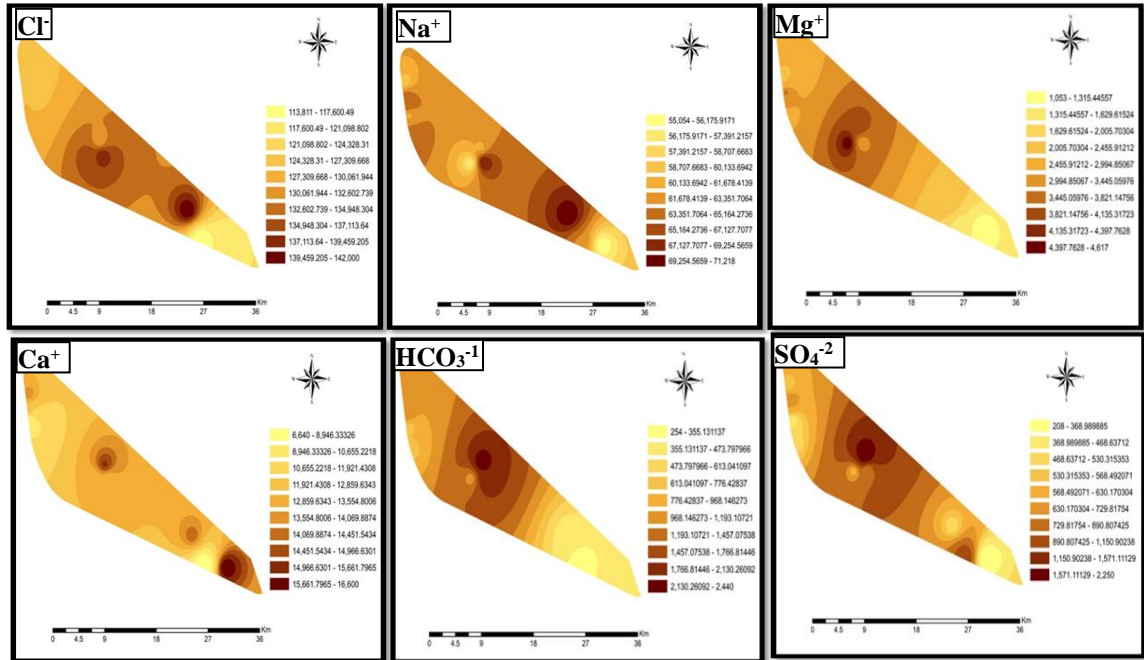


شکل ۱۰- نمودار  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$  نسبت به  $\text{Cl}^-$  و نمودار  $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$  و عمق در مقابل TDI

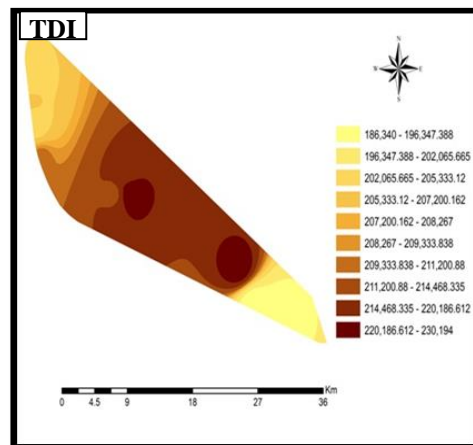
این موضوع یعنی مشارکت منشاهای مختلف در نمودارهای عمق در برابر TDI و پایپر می‌تواند بهتر نمایش داده شود [۱۷]. در نمودارهای ترکیب شیمیایی نیز می‌توان با تفکیک نمونه‌ها و یافتن الگوهای تطابق تغییرات پارامترهای شیمی سیالات، روندهایی را شناسایی و تیپ‌های مختلف را تفکیک نمود.

نقشه منحنی هم‌تمرکز یونی - جهت بررسی روند تغییر غلظت یون‌ها در آبدۀ نقاط مختلف مخزن آسماری میدان، منحنی‌های هم‌تمرکز یونی، ترسیم گردیده است. برای این منظور از داده‌های آنالیز شیمی ۲۵ نمونه آب مربوط به ۱۱ حلقه چاه استفاده شد. منحنی‌های هم‌تمرکز برای یون‌های Na، Ca، Mg، Cl،  $\text{HCO}_3$ ،  $\text{SO}_4$  و در مجموع TDI رسم گردید. ارزیابی نقشه‌های هم‌تمرکز یونی مخزن آسماری میدانی نفتی رگ سفید (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که کوهانک باختری میدان (بخش S-1 و S-2)

دارای تمرکز بیشتری از یون‌های فوق می‌باشد. بررسی نقشه منحنی‌های شوری (شکل ۱۲) مخزن آسماری میدان نیز نشان می‌دهد که کوهانک باختری مخزن آسماری میدان، دارای یون‌های محلول بیشتری است.



شکل ۱۱- نقشه منحنی هم‌تمرکز  $\text{HCO}_3^{-1}$ ،  $\text{SO}_4^{-2}$ ،  $\text{Mg}^{+2}$ ،  $\text{Ca}^{+2}$ ،  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{Na}^+$  در مخزن آسماری.

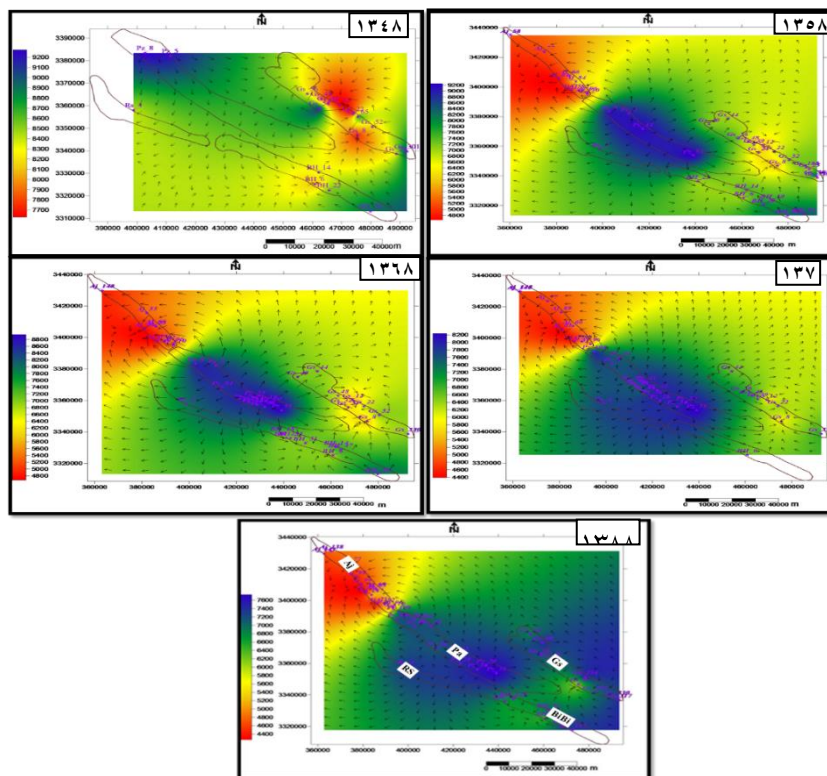


شکل ۱۲- نقشه منحنی شوری (TDS) در مخزن آسماری.

#### ۴-۴ بررسی نقشه‌های جریان و هیدرودینامیک-

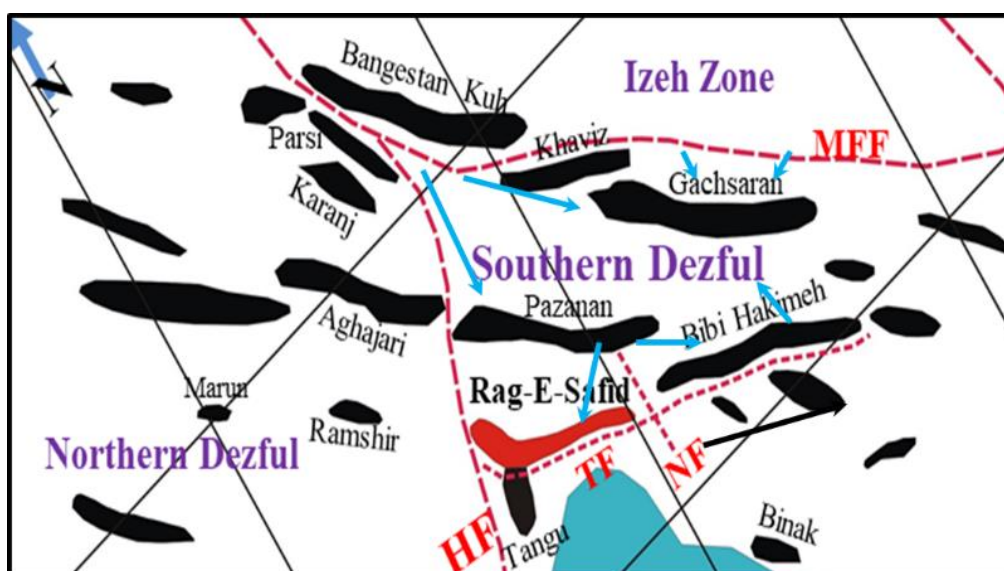
جهت بررسی روند جریان هیدرودینامیک از داده‌های فشار استاتیک آب چاه‌های مشاهده‌ای میدان رگ سفید و میادین مجاور استفاده گردیده تا بتوان مسیرهای جریان آب در این ناحیه از فروافتادگی دزفول جنوبی مورد ارزیابی قرار گیرد. لذا نقشه‌های جریان هیدرودینامیک در دوره‌های ده ساله از سال ۱۳۴۸ تا ۱۳۸۸ بعنوان نمونه آورده شده است (شکل ۱۳). بطورکلی بررسی خطوط جریان و نقشه‌های هیدرودینامیک در دوره ۴۰ ساله نشان دهنده جهت جریان از سمت شمال‌خاور میدان به سمت باختر و جنوب‌باختر میدان و عدم تغییر جهت جریان در دوره زمانی فوق می‌باشد. با توجه به آخرین نقشه

هیدرودینامیکی تهیه شده و ترسیم خطوط کلی جریان در سایر میداین (شکل ۱۴) نقش گسلها بویژه گسل MF و NF بعنوان تغذیه کننده و کنترل کننده نیروی هیدرودینامیکی در میداین رگ سفید، بی بی حکیمه، پازنان، و گچساران آشکار می شود.



آسماری در میدان رگ سفید و میداین

شکل ۱۳- نمودار هیدرودینامیک مخزن مجاور در بازه سالهای مختلف.



شکل ۱۴- جهات کلی هیدرودینامیک (فلش آبی رنگ) ناحیه بر اساس شکل ۱۳ (نقشه هیدرودینامیکی سال ۱۳۸۸) و داده های میدان کرنج [۱].

## ۵- نتیجه گیری

این مطالعه بمنظور شناسایی تیپ آبها و بررسی مشارکت بخش های مختلف در نمونه های آب مخزنی در چاه های مختلف و نیز تغییرات جریان هیدرودینامیکی انجام گردید. برای این منظور از داده های آنالیز شیمی ۲۵ نمونه آب مربوط به ۱۱ حلقه چاه و ۵ سیال نمونه (سیال حفاری، گچساران، آسماری، بنگستان، و خامی) استفاده شد. در این مطالعه نتایج زیر بدست آمد:

-براساس نمودارهای تغییرات شیمیایی سیالات آبی استیف، پایپر و چادها مورد مطالعه، تیپ نمونه های آب مورد مطالعه کلروره سدیک است. در این نمودارها، روند خطی بین تمامی نمونه ها مربوط به تبادلات کاتیونی است. بطوریکه از میزان یون های سدیم و پتاسیم کم و بر میزان کلسیم و منیزیم افزوده می شود. این نکته می تواند به دلیل اختلاط آبهای شور کلروره سدیک با TDI بالا با آبهای بیکربناته کلسیک- منیزیک باشد. منشأ شورابه های کلروره سدیک از بخش های نمکی سازند گچساران و منشأ آبهای بیکربناته کلسیک- منیزیک از بخش های آهکی- دولومیتی سازندهای آسماری، بنگستان و در مواردی خامی است. نمودارهای عمق در برابر TDI و پایپر می توانند مسیر اختلاط را بهتر از سایر نمودارها نشان دهند.

- شوری زیاد آبهای کلروره سدیک و قابلیت اشباع بالای آنها، اثر آبهای بیکربناته کلسیک- منیزیک را نمی توان بر روی نمودار آنیونی و لوزی شکل تشخیص داد، ولی در نمودار کاتیونی مشخص است.

-تمامی یون ها نسبت به TDI، بی کربنات و یون Cl الگوی تقریباً خطی و مثبتی را بجز تغییرات یون  $SO_4^{2-}$  و آلکانل به TDI (الگوی خطی منفی) با هم نشان می دهند. بعضی از نمونه ها از نظر پارامترهای  $Ca$ ،  $SO_4$  و  $Mg$  به دلیل دارا بودن منشاهای دیگر موجب بی نظمی در روندهای شناسایی شده است.

-مقایسه تغییرات شیمی نمونه ها با نمونه های سیال منتخب نشان داد که بااستثناى نمودار TDI به Cl (راستای خطی)، سیال نمونه گچساران و سیال حفاری دارای موقعیت متمایزی هستند.

-براساس تغییرات یون کلر به آلکانل، سه گروه با مشارکت پر رنگ آسماری و تا حدودی بنگستان آشکار است. در نمودارهای بی کربنات-کلسیم نیز تعدادی از نمونه ها به صورت غیر عادی دارای کلسیم بالایی هستند. از نظر منیزیم-آهن نیز مشارکت سیالات آسماری - بنگستان و بمقدار کم گچساران مشهود است.

-در نمودارهای تغییرات TDI و  $SO_4^{2-}$  نسبت به عمق نیز دو گروه سیال متفاوت را نشان می دهند. هرچند بعضی از سیالات با منشأ متفاوت وجود دارد. با توجه به حضور گسل ها در منطقه، امکان مشارکت آنها در تغذیه سیالات مخزنی وجود دارد.

-ارزیابی منحنی های هم تمرکز یونی و نقشه منحنی های شوری نشان داد که کوهانک باختری دارای تمرکز بیشتری می باشد. داده های جریان هیدرودینامیک و هیدروشیمی مخزن آسماری نشانه یک جریان پیوسته از سمت شمال خاور به سمت باختر و جنوب باختری میدان است. شاخص بهره دهی بخش باختری و جنوبی میدان وضعیت مطلوب تری را دارا می باشد. جهت کلی جریان هیدرودینامیکی بدلیل بیشتر بودن فشار آبد چاه های یال شمالی، داده های سطح پتانسیومتریک و خطوط جریان، از یال شمالی به سمت داخل میدان است. تراکم یون ها در ورودی جریان آب به میدان پایین می باشد. سطح تماس آب-نفت (WOC) یال شمالی و جنوبی میدان متفاوت می باشد.

-با ترسیم خطوط کلی جریان در ناحیه، نقش گسلها بویژه گسل های محدود کننده بعنوان تغذیه کننده و کنترل کننده نیروی هیدرودینامیکی در میدان رگ سفید و میادین مجاور نظیر بی بی حکیمه، پازنان، و گچساران آشکار می شود. با توجه به

ورودی جریان که از سمت شمال خاور میدان به سمت نواحی باختری و جنوب باختری می باشد توصیه می گردد حفاری در بخش باختری میدان متمرکز گردد. با در نظر گرفتن جهت جریان آب، موقعیت احتمالی چاه های تزریق آب، بایستی در سمت شمال خاوری میدان قرار گیرند.

### تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری و حمایت های شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب و مدیریت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز و نیز از داوران محترم مقاله آقایان دکتر عزت اله کاظم زاده (هیات علمی بازنشسته پژوهشگاه صنعت نفت) و دکتر پیمان رضائی (دانشیار دانشگاه هرمزگان) تشکر و قدردانی می گردد.

### منابع

- [۱] ابراهیمی، ا.، ۱۳۸۹، بررسی رفتار هیدرودینامیک مخزن آسماری میدان نفتی کرنج و کاربرد آن در توسعه میدان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران. ##
- [۲] ابطحی، س.ت.، ۱۳۸۷، میدان رگ سفید. اکتشاف و تولید، شماره ۵۳، ص. ۲۶-۲۸. ##
- [۳] بتوندی، ا.، ۱۳۸۷، بررسی شیمیایی و ژئوشیمیایی آب های سازندی به منظور تعیین وضعیت هیدرودینامیک و کاربرد آن در توسعه میدان پارس، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات. ##
- [۴] بیداروند، ن.ا.، کهنسال قدیم وند، ن.، جهانی، د.، ۱۹۹۰، ریز رخساره ها و محیط رسوبی سازند آسماری میدان نفتی رگ سفید در جنوب غرب خوزستان. نشریه زمین شناسی محیط زیست، پیاپی ۱۴، ص. ۴۵-۶۰. ##
- [۵] چلداوی، ع.، ۱۳۸۵، لیتواستراتیگرافی و بایواستراتیگرافی رسوبات کرتاسه بالایی در میدان نفتی رگ سفید با تأکید بر عملکرد فاز کوهزایی ساب هرسی نین. رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۲۴ صفحه. ##
- [۶] رضایی، ا.، ۱۳۸۱، تحلیل ساختاری میدان رگ سفید به منظور الگوسازی توزیع شدت شکستگی ها در سنگ مخزن سازند آسماری، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال. ##
- [۷] سلیمانی، ب.، ابراهیمی، س.ا.، ظهراب زاده، م.، ۱۳۹۱، کاربرد داده های هیدروشیمیایی در مطالعه هیدرودینامیک مخزن آسماری، میدان نفتی کرنج. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۳، جلد ۱، ص. ۱-۱۳. ##
- [۸] ظهراب زاده، م.، ۱۳۸۵، مطالعه زمین شناسی مخزن نفت آسماری میدان نفتی رگ سفید. گزارش شماره پ-۵۹۵۴، مناطق نفت خیز جنوب، ۳۷۸ صفحه. ##
- [۹] ظهراب زاده، م.، ۱۳۸۴، تحلیل سیستماتیک شکستگی های مخزن آسماری میدان رگ سفید، گزارش شماره پ ۵۷۱۸، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب. ##
- [۱۰] قلاوند، ه.، شایسته، م.، سراج، م.، صنوبر لیماکشی، ع.، ۱۳۸۴، مطالعه هیدرودینامیک و هیدروشیمی سازند آسماری در ناحیه فروافتادگی دزفول، ۱۲۸ صفحه. ##
- [۱۱] قلی پور، ع.، ۱۳۶۹، مطالعه وضعیت هیدرودینامیک در سازند آسماری در فروافتادگی دزفول، ۸۴ صفحه. ##
- [۱۲] نظرآقایی، ع.، ۱۳۶۵، دگرشیمی سنومانین-تورونین در میدان رگ سفید و میداین مجاور در ارتباط با بالآمدگی هندیدجان. گزارش شماره پ-۴۰۰۶، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب. ##
- [۱۳] نظرآقایی، ع.، ۱۳۶۱، مطالعه زمین شناسی مخزن بنگستان میدان رگ سفید، گزارش شماره پ ۳۷۹۵، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب. ##

[۱۴] یوسفی، م.، موسوی، س.م.، خطیب، م.م.، ۱۳۹۷، تعیین تنش های برجا در سازند آسماری تاقدیس رگ سفید با استفاده از نمودارهای تصویرگر. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲۸، ص. ۲۹-۳۹.##

[15] ABBASZADEH, P., MALEKI, A., ALIPOUR, M., & MAMAN, Y. K., 2013, Iran's oil development scenarios by 2025: *Energy Policy*, **56**, 612–622. doi:10.1016/j.enpol.2013.01.026.##

[16] AL-MAHMOUD, M.J., 2012. Hydrodynamic aspects of hydrocarbon trapping in the Arabian Gulf (abstract). In: *AAPG Conference 'Hydrocarbon Trapping Mechanisms in the Middle East'*, (Istanbul, Turkey).##

[17] AL-MASHREKI, M.H., EID, M.H., SAEED, O., SZÉKÁCS, A., SZŰCS, P., GAD, M., ABUKHADRA, M.R., AL HAMMADI, A.A., ALRAKHAMI, M.S., ALSHABIBI, M.A., ELSAYED, S., KHADR, M., FAROUK, M., and RAMADAN, H.S., 2023, Integration of geochemical modeling, multivariate analysis, and irrigation indices for assessing groundwater quality in the Al-Jawf basin, Yemen: *Water*, **15**, 1496. <https://doi.org/10.3390/w15081496>

[18] AL-OBAIDI, S.H., 2007, Analysis of hydrodynamic methods for enhancing oil recovery: *Journal of Petroleum Engineering & Technology*, **6** (3), 20-26.##

[19] ALSHARHAN, A.S., and NAIRN, A.E.M., 1997, Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East. *Elsevier*, 843 p.##

[20] ATASHBARI, V., TINGAY, M., & AMROUCH, K., 2018, Stratigraphy, tectonics and hydrocarbon habitat of the Abadan Plain basin: A Geological review of a prolific Middle Eastern hydrocarbon province: *Geosciences*, **8** (12), 496. doi:10.3390/geosciences8120496.##

[21] BALAT, M., 2006, The position of oil in the Middle East: Potential trends, future perspectives, market and trade: *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, **28**(9), 821–828. doi:10.1080/009083190951384.##

[22] BITEAU, J.-J., CHEVALLIER, B., COLL, V., CRÉPIEUX, N., BALUSSEAU, B., CHOPPIN DE JANVRY, G., 2009, The Khuff play related petroleum system between the Qatar arch and the Fars area (abstract). In: *International Petroleum Technology Conference*, (Doha, Qatar).##

[23] BOIS, M., DE PAZZIS, L., GROSJEAN, Y., 1994. Detection and evaluation of overpressures in the offshore Mahakam (abstract). In: *23rd Indonesian Petroleum Association Annual Convention*, (Jakarta, Indonesia).##

[24] CHEVALLIER, B., SACLEUX, M., ADLER, F., WENDEBOURG, J., 2012. Spotting an “Elephant” using water and seismic waves, an application of hydrodynamic modeling to seismic interpretation. *Technohub* 3. October 2012. ##

[25] CHIARELLI, A., 1973. Etude des nappes aquifères profondes – contribution de l’hydrogéologie à la connaissance d’un bassin sédimentaire et à l’exploration pétrolière. Doctoral thesis. Bordeaux University, France.##

[26] CRAFT, B. C., and HAWKINS, M. F., 1991, Applied petroleum reservoir engineering, 2nd Ed, *prentice hall*, 431 p

[27] DAKE, L.D., 1994, Fundamentals of reservoir engineering, 14th ed., *Elsevier Science B.V.*, 498 p.##

[28] DARWESH, N., ALLAM, M., MENG, Q., HELFDHALLAH, A.A., NASER RAMZY, S. M., EL KHARRIMI, K., AL MALIKI, A.A., and BELGHYTI, D., 2019, Using piper trilinear diagrams and principal component analysis to determine variation in hydrochemical faces and understand the evolution of groundwater in Sidi Slimane Region, Morocco: *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, **23**(5): 17 – 30. ##

[29] DENNIS, H., BAILLIE, J., HOLT, T., WESSEL-BERG, D., 2000. Hydrodynamic activity and tilted oil-water contacts in the North Sea. In: Kittilsen, J.E., Alexander-Marrack, P. (Eds.), Improving the Exploration Process by Learning from the Past. Special Publication 9, *Norwegian Petroleum Society*, Oslo, pp. 171–185.##

[30] DREVER, J. I., 1997, The Geochemistry of Natural Waters, Surface and Groundwater Environments, Third Edition. Upper Saddle River, NJ: *Prentice Hall*, 437p. ##

[31] DU, Y., CHEN, J., CUI, Y., XIN, J., WANG, J., LI, Y.-Z., & FU, X., 2016, Genetic mechanism and development of the unsteady Sarvak play of the Azadegan oil field, southwest of Iran: *Petroleum Science*, **13**(1), 34–51. doi:10.1007/s12182-016-0077-6.##

[32] EJEH, C.J., PROSPER, P., WOHEREM, C.E., OLALEKAN, A., MANJUM, D.E., 2020, Effect of hydrodynamic tilting at fluid contacts to reservoir production performance: *Results in Engineering*, **8**, 100184–. doi:10.1016/j.rineng.2020.100184.##

- [33] ENGSTRÖM, M., and NORDELL, B., 2016. Temperature-driven groundwater convection in cold climates: *Hydrogeol. J.*, **24**, 1245–1253.##
- [34] ERLINAWATI, PUTRA, D.P.E., and TITISARI, A.D., 2021, Nitrate in groundwater in the west side Magelang Regency, Central Java, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 926, 012081. doi:10.1088/1755-1315/926/1/012081
- [35] FALOWO, O.O., AMODU, M.B., OLUWASEGUNFUNMI, V., ALIU, A., OUTAGA, M.P., 2019, Groundwater evolution, hydrochemical facies and quality evaluation for irrigation use in Akure, Ondo State, Nigeria: *J. Geosc. Envir. Protection*, **7** (8), 23p. doi:10.4236/gep.2019.78009.
- [36] FATHI ISVAND, R., MOUSSAVI-HARAMI, S.R., MAHBOUBI, A., BEHDAD, A., 2022, Facies analysis and carbonate platform evolution of the Oligo-Miocene deposits in the Aghajari and Rag-e-Safid oil fields, Dezful Embayment, SW Iran: *Journal of African Earth Sciences*, **191**, 104514. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104514>.##
- [37] FETTER, C.W., 2018, Applied Hydrogeology. 4th Edition. *Waveland Press, Inc.*, p. 598.##
- [38] GREEN, S., SWARBRICK, R.E., O'CONNOR, S.A., 2014. The importance of recognizing hydrodynamics for understanding reservoir volumetrics, field development and well placement. In: *OTC-25150-MS, Offshore Technology Conference*, (Houston, USA).##
- [39] GROSJEAN, Y., ZAUGG, P., GAULIER, J.-M., 2009. Burial hydrodynamics and subtle hydrocarbon trap evaluation (abstract). In: *International Petroleum Technology Conference N° 13962*, (Doha, Qatar).##
- [40] GÜLLER, C., THYNE, G. D., MCCRAY, J. E., and TURNER, A. K., 2002, Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data: *Hydrogeol. J.*, **10**, 455-474.##
- [41] HAMDİ, M., and GOÏTA, K., 2023, Estimation of aquifer storativity using 3D geological modeling and the spatial random bagging simulation method: The Saskatchewan River Basin case study (Central Canada): *Water*, **15**, 1156. <https://doi.org/10.3390/w15061156>.##
- [42] HORN, M.K., 2003, Giant fields 1868-2003 (CD-ROM). In Halbouty, M.K., ed., Giant oil and gas fields of the decade 1990-1999: *AAPG Memoir 78*, Houston, TX, USA, 340 p.##
- [43] HORTLE, A., OTTO, C., UNDERSCHULTZ, J., 2013. A quality control system to reduce uncertainty in interpreting formation pressures for reservoir and basin pressure system analysis: *J. Petrol. Geol.*, **36**, 163–177.##
- [44] HU, J., CAEIRO, M. H., JAGGER, M., NEVES, F., & AL BLOOSHI, A. H., 2016, Hybrid Structural-Diagenetic Trap Related with Zagros Tectonic Movement in Eastern Abu Dhabi. *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference*. doi:10.2118/183400-ms.##
- [45] HUBBERT, M. K., 1940, The theory of ground water motion: *J. of Geol.*, **48**, 785-944.##
- [46] HUBBERT, M. K., 1953, Entrapment of petroleum under hydrodynamic condition: *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, **37**, 1954-2026.##
- [47] HUSSAIN, M., AHMED, S. M., ABDERRAHMAN, W., 2008, Cluster analysis and quality assessment of logged water at an irrigation project. Eastern Saudi Arabia: *J. Environmental Management*, **86**, 297-307.##
- [48] KACIMOV, A. R., OBNOSOV, YU. V., 2001, Analytical solutions by hodograph method to hydrodynamic problems for oil and gas traps: *J. Hydrology*, **254**, 33-46.##
- [49] KALANTARI, N., and NASSERI, H., 2001, Groundwater quality of Ghereso aquifer system in northern Iran. *Third conference of groundwater quality, Sheffield University, Sheffield, U.K.*, 219-225.##
- [50] KISH Petroleum Engineering Co. 2003, Rag-e-Safid full field study & preparation of master development plan, Tehran, Iran, p1-68.##
- [51] LARKIN, R.G., 2010, Hydrodynamic trapping of CO<sub>2</sub> Geosequestered in saline aquifers. *SPE Improved Oil Recovery Symposium*, Tulsa USA, SPE-128205-MS.##
- [52] LEVORSEN, A. I., 1967, Geology of petroleum. *W. H. Freeman and Company San Francisco*, 724 p.##
- [53] LIU, J., GAO, Z., WANG, M., LI, Y., YU, C., SHI, M., MA, Y., 2019, Hydrochemical and isotopic characteristics of surface water in the Lhasa River basin: *Arabian Journal of Geosciences*, **12**(16). doi:10.1007/s12517-019-4690-8.##
- [54] LU, Z. Y., JEFFREY, M. I., & LAWSON, F., 2000, The effect of chloride ions on the dissolution of chalcopyrite in acidic solutions: *Hydrometallurgy*, **56**(2), 189–202. doi:10.1016/S0304-386X(00)00075-X. 10.1016/S0304-386X(00)00075-X.
- [55] MAGARA, K., 1986, Geological models of petroleum entrapment, *Elsevier*, London.##
- [56] MAZOR, E., 2004, Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology, Third Edition, 453 p.##
- [57] MENJOZ, A., LAMBERT, M., MATRAY, J.M., WATER, L.M., EMERY, D., COLEMAN, M.L., 1993, Flow of formation water in the Jurassic of the Paris Basin and its effects: *Phil. Trans. Physical Sci. and Eng.*, **344** (1670), 150–168.##

- [58] MOGHADASI, R., ROSTAMI, A., & HEMMATI-SARAPARDEH, A., 2018, Enhanced oil recovery using CO<sub>2</sub>. In book: Fundamentals of enhanced oil and gas recovery from conventional and unconventional reservoirs, 1th edition, **ch. 3**, 61–99. doi:10.1016/b978-0-12-813027-8.00003-5.##
- [59] MORENO MERINO, L., AGUILERA, H., GONZÁLEZ-JIMÉNEZ, M., & DÍAZ-LOSADA, E., 2021, D-Piper, a modified piper diagram to represent big sets of hydrochemical analyses: *Environmental Modelling & Software*, **138**, 104979. doi:10.1016/j.envsoft.2021.104979.##
- [60] MUNN, M. J., 1909, Studeies in the application of anticlinal theory of oil and gas accumulation: *Economic Geol.*, **4**, 14-147.##
- [61] NEUZIL, C., 2001, Osmotic generation of anomalous fluid pressures in geological environments: *Nature*, **403**, 182–184.##
- [62] O'CONNOR, S.A., and SWARBRICK, R.E., 2008. Pressure regression, fluid drainage and a hydrodynamically controlled fluid contact in the North sea, lower cretaceous, Britannia sandstone formation: *Petrol. Geosci.*, **14**, 115–126.##
- [63] ÖZTÜRK, Y., & EKMEKÇI, Z., 2020, Removal of sulfate ions from process water by ion exchange resins: *Minerals Engineering*, **159**, 106613. doi:10.1016/j.mineng.2020.106613
- [64] Pang, X., Lerche, I., Zhou, H., and Jiang, Z., 2003, Hydrocarbon Accumulation Control by Predominant Migration Pathways Source: *Energy Exploration & Exploitation*, **21** (3), 167-186. <https://www.jstor.org/stable/43754025>.
- [65] PETRESIM Integrated Technologies Ltd Co., 1993, Rag-e-Safid full field study, Contract No.34-84-01311 ,Calgary , Canada, p.1-48, 3543p., *NISDC, Ahwaz*, P. 1-29.
- [66] Petty, D.M., 2023, Hydrocarbon trapping in hydrodynamic salinity gradients: Williston Basin case studies: *AAPG Bulletin.*, DOI:10.1306/02242322092
- [67] PIPER, A.M., 1944, A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses: *Trans. Am. Geophy. Union*, **25** (6), 914–928. doi:10.1029/TR025i006p00914.##
- [68] PIPER, A.M., 1953, A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. Washington D.C.: *United States Geological Survey*. OCLC 37707555. ASIN B0007HRZ36.##
- [69] RAO, N. S., 1998, MHPT.BAS: a computer program for modified Hill–Piper diagram for classification of ground water. *Computers & Geosciences*, **24** (10), 991–1008.##
- [70] REZAIIE, A.H., and NOGOLE-SADAT, M.A., 2004, Fracture modeling in Asmari reservoir of Rag-e Sefid oil field by using multiwell image log (FMS/FMI). *Iranian Int. J. Sci.*, **5**(1), 107-121. ##
- [71] RICH, J. L., 1921, Moving underground water as a primary cause of the migration and accumulation of oil and gas. *Econo. Geol.*, **16** (6), 347-371.##
- [72] RICH, J. L., 1928, Further notes on the Hydraulic theory of oil and migration and accumulation. *AAPG Bull.*, **7** (3), 213-225.##
- [73] RICH, J. L., 1931, Function of Carrier beds in long-distance migration of oil. *AAPG Bull.*, **15**, 91-924.##
- [74] RICH, J. L., 1934, Problems of origin, migration, and accumulation of oil. In: W.E. Wrather and F.H. Lahee eds, Problems of Perol. Geology, *AAPG Pub.*, p. 337-345.##
- [75] ROBERTSON, J., GOULTY, N.R., SWARBRICK, R.E., 2013. Overpressure distributions in Palaeogene reservoirs of the UK Central North Sea and implications for lateral and vertical fluid flow: *Petrol. Geosci.*, **19**, 223–236.##
- [76] SADASHIVAIAH, C., RAMAKRISHNAIAH, C.R., RANGANNA, G., 2008, Hydrochemical analysis and evaluation of groundwater quality in Tumkur Taluk, Karnataka State, India: *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **5** (3), 158–164. doi:10.3390/ijerph5030158. PMC 3699986. PMID 19139534.##
- [77] SCHOT, P., BEARD, J., HISSINK, R., SILBERBAUR, M., GRIFFIOEN, J., 2022, Adapting classical water quality diagrams for ecohydrological and policy applications: *Journal of Hydrology*, **X**, **17**, 100137. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2022.100137>.##
- [78] SELLEY, R. C., & SONNENBERG, S.A., 2023, Elements of petroleum geology, 4th ed. *Elsevier*, 622p.##
- [79] SEPEHR, M., and COSGROVE, J. W., 2004, Structural framework of the Zagros Fold–Thrust Belt, Iran: *Marine and Petroleum Geology*, **21**, 829–843.
- [80] SEYYEDI, M., MAHZARI, P., & SOHRABI, M., 2017, An integrated study of the dominant mechanism leading to improved oil recovery by carbonated water injection: *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **45**, 22–32. doi:10.1016/j.jiec.2016.08.027.
- [81] SHIRMOHAMMADI, N., VERSTFELT, P., WILEY J., 1974, Geology study of Asmari reservoir in Rag-e-Safid field, report p-2451, *NISOC,Ahvaz*, p90.
- [82] SONNENFELD, P., 1985, Models of upper Miocene evaporite genesis in the Mediterranean region. In book: Stanley, D.J. , & Wezel, F.C. (eds) Geological Evolution of the Mediterranean Basin, *Springer Verlag, Heidelberg-New York*, p. 323-346.##



- [83] STIFF, H.A., JR., 1951, The interpretation of chemical water analysis by means of patterns: *Petroleum Transaction, AIME*, **192**, 376-379.##
- [84] SUN, H., ZOU, H.; LI, X., MEMON, S.A., YUAN, B., XING, F., ZHANG, X., REN, J., 2022, Combined effects of sulfate and chloride attack on steel reinforced mortar under drying-immersion cycles: *Buildings*, **12**, 1252. <https://doi.org/10.3390/buildings12081252>.
- [85] THAI BA, N., VO THANH, H., SUGAI, Y., SASAKI, K., NGUELE, R., PHI HOANG QUANG, T., BAO, M.L., & NGUYEN HAI, N.L., 2020, Applying the hydrodynamic model to optimize the production for crystalline basement reservoir, X field, Cuu Long Basin, Vietnam: *J Petrol Explor Prod Technol.*, **10**, 31–46. <https://doi.org/10.1007/s13202-019-00755-w.##>
- [86] Thara, Y. Y., 2018, Development of a Physical Hydrodynamic Hydrocarbon-Trap Model. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. doi:10.2118/194048-stu.
- [87] TOTH, J., 1980, Cross formational gravity flow of groundwater. A mechanism of transport and accumulation of petroleum (The generalized hydraulic theory of petroleum migration). In book: W.H. Reberts III and R.J. Cordell edits *Problems of Petroleum Migration: AAPG Studies in Geology*, **10**, p. 121-167. ##
- [88] WENDEBOURG, J., BITEAU, J.-J., & GROSJEAN, Y., 2018, Hydrodynamics and hydrocarbon trapping: Concepts, pitfalls and insights from case studies: *Marine and Petroleum Geology*, **96**, 190–201. doi:10.1016/j.marpetgeo.2018.05.015.##
- [89] WILEY, J., and HABIBI F., 1978, Geology study of Asmari reservoir in Rag-e-Safid field, report p-3543, *NISOC, Ahvaz*, pp1-29.##
- [90] XU, J., MO, R., WANG, P., ZHOU, J., DONG, X., and SHE, W., 2020, Coupled transport of sulfate and chloride ions with adsorption effect: A numerical analysis: *Front. Mater.*, **7**, 536517. doi: 10.3389/fmats.2020.536517
- [91] ZHANG, X., MA, Z., and LU, H., 2018, Analysis of the hydro-chemical characteristics and origin of the karst groundwater, East Jinan city. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, **189**, 032061 doi:10.1088/1755-1315/189/3/032061.##
- [92] ZHANG, Z., AZAD, M. S., & TRIVEDI, J. J., 2021, IFT or wettability alteration: What is more important for oil recovery in oil-wet formation?: *Fuel*, **291**, 119986. doi:10.1016/j.fuel.2020.119986.

## بوم شناسی دیرینه و بررسی های تافونومیک (حوادث پس از دفن شدگی) خارپوستان سازند کژدمی (آلبین - سنومانین) در برش فیروزآباد، حوضه

### زاگرس

بابک صدقی<sup>۱</sup>، علی بهرامی<sup>۲\*</sup> و مهدی یزدی<sup>۳</sup>

- 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](mailto:a.bahrami@sci.ui.ac.ir)

دریافت دی ۱۴۰۲، پذیرش بهمن ۱۴۰۲

### چکیده

در این تحقیق نهشته های سازند کژدمی از دیدگاه حوادث پس از مرگ (postmortem) و دفن شدگی (burial) خارپوستان و جغرافیای دیرینه نهشته ها مورد بررسی قرار گرفته است. از حدود ۱۵۰ نمونه فسیل شده خارپوستان این برش که شامل ۱۰ جنس و ۱۳ گونه ی *Coenholectypus neocomiensis*, *Phymosoma binexilis*, *Dorocidaris taouzensis*, *Cottaldia* aff. *Benettiae*, *Leptosalenia sergipensis*, *Phymosoma baylei*, *Micropedina olisiponensis*, *Tetragramma deshayesi*, *Macraster douvillei*, *Mecaster batnensis*, *Macraster obtritus*, *Pliotoxaster comanchei*, *Macraster* sp., *Hemiaster* sp. می باشند، بخش قابل توجهی از آنها دچار خردشدگی (Disarticulation and fragmentation)، ترک های شعاعی و تغییر شکل پوسته (test outline distortion and radial cracking) و تغییر حجم و فرسایش زیستی (bioerosion) و سوراخ شدگی توسط کرم های رو زیست (microboring) گردیده اند. البته بعد از تغییر حجم، شکستگی و یا فشردگی تافونومیک، محلول های موجود (هیدروکربور و محلول های غنی از هیدروکسیدهای آهن، منگنز و گاهی سیلیس) در شکاف ها و ترک های حاصله از این پدیده های فیزیکی جایگزین شده اند. پوسته این خارپوستان توسط اپی فونا های همزیست مانند اوسترید ها و گریفه ها بعنوان غذا و جایگاه اتصال رو زیستی و پناهگاه پس از مرگ و دفن شدگی آن ها بوده است. بنظر می رسد تغییر حجم، خرد شدگی، تزریق محلول و خم شدگی فونا تحت تاثیر فشار تکتونیک گنبد های نمکی منطقه و سنگ شناسی نرم (پلاستیسیته بالا) سازند کژدمی بین دو سازند داریان و سروک می باشد.

**کلید واژه ها:** کژدمی، خارپوستان، حوادث پس از مرگ، اپی فونا، گنبد نمکی.

## ۱- مقدمه

اشکوب آلبین در سراسر دنیا منعکس کننده شرایط گرم و گلخانه ای همراه با افزایش نسبی سطح تراز آب اقیانوس ها و توسعه شرایط احيایی در بخش های ژرف حوضه های رسوبی بوده است [۲۰ و ۲۱ و ۲۵]. غلبه این شرایط در طول آلبین باعث ته نشست رسوباتی از جنس شیل و مارن غنی از ماده آلی در اقیانوس ها و از جمله حوضه زاگرس و به ویژه در مناطق فلات قاره ای مانند فروافتادگی دزفول شده است [۴۷]. حوضه رسوبی زاگرس، یکی از نفت خیزترین حوضه های رسوبی جهان به شمار می آید که حدود ۱۰ درصد از مخازن نفتی را در خود جای داده است، با مطالعاتی که توسط [۳۶] در سیستم نفتی کرتاسه میانی انجام شده است، چندین واحد سنگ منشا در حوضه زاگرس وجود دارد. با این وجود، سازند کژدمی کرتاسه احتمالاً اکثر هیدروکربن های تجاری در این منطقه را تولید کرده است [۱۱]. سازند کژدمی یکی از مهمترین واحدهای سنگی در گروه بنگستان در حوضه زاگرس است. وجود واحدهای سنگی غنی از مواد آلی و بالغ از نظر حرارتی حاوی کروژن مستعد نفت یا گاز عامل کلیدی کنترل پتانسیل تولید هیدروکربن است [۸].

سازند کژدمی به عنوان یکی از مهمترین سنگهای منشأ حوضه زاگرس معرفی شده است [۷ و ۹ و ۱۰]. بررسی توان هیدروکربورزایی سازند کژدمی، به عنوان مهمترین سنگ منشأ نفت در حوضه رسوبی زاگرس، اهمیت زیادی دارد. گسترش سازند کژدمی در حوضه زاگرس، با تفاوتی در ژرفا و شرایط رسوبگذاری زونهای مختلف این حوضه و تغییراتی نظیر تنوع در رخساره های رسوبی و میزان حفظ شدگی ماده آلی همراه بوده است [۲۴].

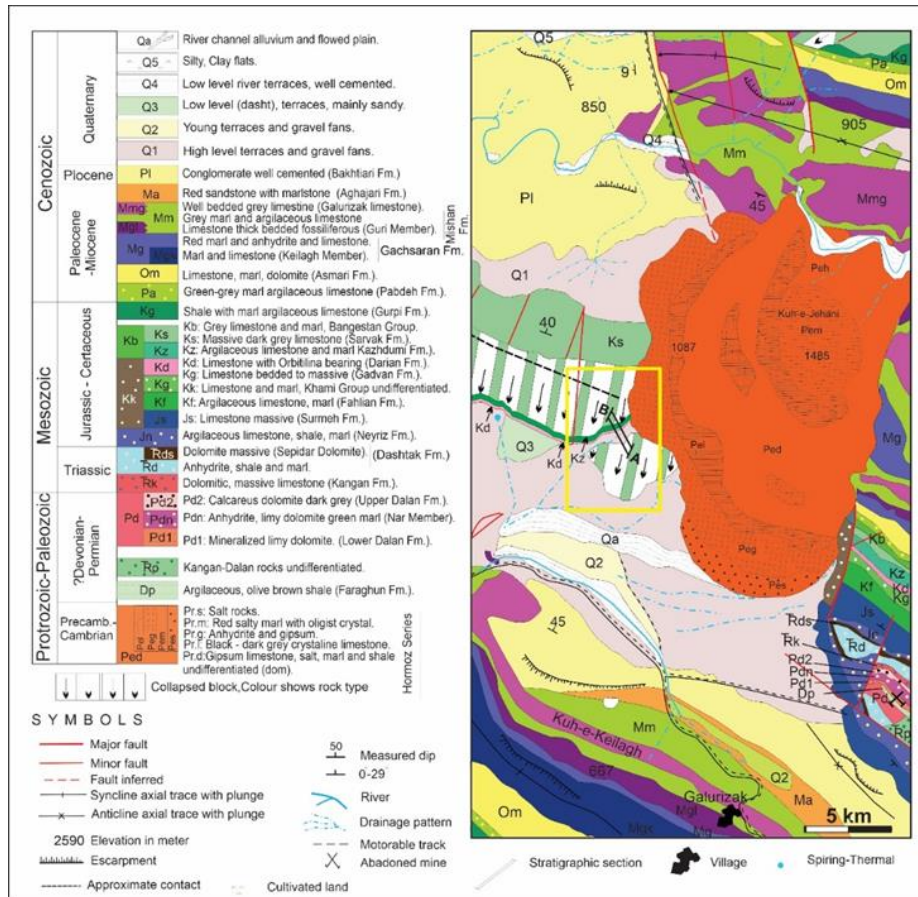
برش الگوی سازند کژدمی به سبزی ۲۱۰ متر در تنگ گرگدا واقع در یال جنوبی کوه میش در ۷ کیلومتری شمال خاوری دو گنبدان قرار دارد. سازند کژدمی از خوزستان به طرف شمال خاوری لرستان بیشتر آهکی و در مرکز و جنوب باختری لرستان به شیل های سیاه و آهک های سازند گرو تبدیل می شود، در خوزستان و شمال باختر منطقه فارس سازند کژدمی فقط از شیل های سیاه و بیتومین دار و سنگ آهک تشکیل شده است ولی از خوزستان به طرف جنوب باختری، سازند کژدمی با ماسه سنگهای سازندهای برغان (Baragan) و نهر عمر (Umr nahr) در کویت و جنوب خاوری عراق، به طور بین انگشتی قرار دارد [۲].

سازند کژدمی غنی از سنگواره های خارداران و آمونیت ها است، بقایای زیستی غنی آمونیت های این سازند توسط [۸] و [۳۸] مطالعه شده و سن آن را آلبین تا سنومانین پیشین تعیین کرده اند. سازند کژدمی همچنین در برگیرنده سنگواره های متنوع و بسیار فراوان از خارداران است، ولی تاکنون مطالعات اندکی روی گونه های موجود در آن انجام شده است که از آن جمله می توان به [۳ و ۵] اشاره نمود.

## ۲- موقعیت جغرافیایی برش چینه شناسی فیروزآباد

این برش در حدود ۳۰ کیلومتری شهر فیروزآباد و از طریق راه اصلی فیروزآباد- جم قابل دسترسی است. مختصات جغرافیایی این برش شامل (Top)  $N28^{\circ},44',52.04"$ ,  $E52^{\circ},26',14.8"$  I (Base)  $N28^{\circ},44',49.6"$ ,  $E52^{\circ},26',24"$  در کنار گنبد نمکی کوه جهانی قرار دارد (شکل ۱). سبزی سازند کژدمی در برش چینه شناسی فیروزآباد حدود ۶۰ متر و مرز زیرین سازند کژدمی با سازند داریان به صورت یک ناپیوستگی فرسایشی است که با وجود زون سرخ رنگ دارای اکسیدهای آهن در این مرز قابل مشاهده می باشد (شکل های ۲، ۳، ۴) و مرز بالایی آن با سازند سروک به صورت تدریجی است (شکل ۶). در مجموع سنگ شناسی سازند کژدمی شامل سنگ آهک های مارنی سبز رنگ نازک تا متوسط لایه همراه با نرم تنان فراوان به ویژه تاکسون های متنوعی از دوکفه ای ها و خارداران (شکل ۵) و سنگ آهک های سبزی

لایه خاکستری رنگ است و از قاعده به سمت بالا شامل سنگ آهک های مارنی سبز تا خاکستری روشن رنگ نازک لایه به همراه میان لایه هایی از سنگ آهک های مارنی خاکستری روشن رنگ متوسط لایه دارای اربیتولین می باشد (شکل ۲ و ۳). در بخش انتهایی این برش تناوب سنگ آهک کرم به قهوه ای روشن و مارن قرمز با ماسه سنگ های بسیار ریز شامل آمونیت های پراکنده، دوکفه ای ها و گاستروپودها، همراه با اربیتولین های ایزوله می باشند. لازم به ذکر است که پس از شستشوی چندین نمونه از این لایه مشخص گردید حدود ۳۰ درصد بقایای جانوران فسفات شده از قبیل شکم پایان، دوکفه ایها و بندرت قطعات خرد شده (خورده شده توسط جانوران دیگر) *Notocoprystes* و حدود ۲ تا ۳ درصد از حجم نمونه ها را بقایای مهره داران مخصوصا کوسه ها تشکیل می دهند.



شکل ۱: بخشی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ فراشید که برش فیروزآباد بر روی آن نمایش داده شده است (صدقی، ۱۴۰۲).



شکل ۲: نمایی از آهک های ماسیو خاکستری سازند داریان در قاعده کژدومی (دید به سمت شمال باختر).



شکل ۳: نمایی از افق نودول آهن در قاعده سازند کژدمی در برش فیروزآباد (دید به سمت شمال خاور)



شکل ۴: حضور گلوله های آهن (Nugget) در برش فیروزآباد.



شکل ۵: نمایی از مارن های زرد رنگ غنی از فسیل های خارپوستان، سازند کژدمی، در برش فیروزآباد



شکل ۶: نمایی نزدیک از رودیست های سازند سروک در برش فیروزآباد

### ۳- بیومتری و بیوزوناسیون خارپوستان و شارک ها (کوسه ها)

رده بندی خارداران در این مقاله بر مبنای نوشته ( Kroh & Smith, 2010 ) انجام شده است [۲۹]. نمونه های مطالعه شده با کدهای IUIM در گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان، ایران نگهداری می شوند. اندازه گیری سطحی، ضخامت، فواصل آمبولاکرال ها و فاصله دهان و منخرج از لبه های کناری یا زیرین نمونه در بکار گیری شناسایی جنس و گونه ها در مدل های استاندارد استفاده می شود، به عنوان مثال می توان (Yavari, 2017)، [۴۶]. (غلامعلیان و همکاران، ۱۳۹۴)، [۵] (Black, 1988) روش اندازه گیری خارپوستان منظم و مخصوصاً خارپوستان را به طور کلی تشریح نموده است. [۹] در این روش فواصل موجود بر روی نمونه خارپوست به عنوان مثال فواصل Ambulacrum و Interambulacral با کولیس و به صورت دستی اندازه گیری شده است. در نهایت اندازه گیری های بدست آمده در Excel برای هر جنس و گونه به صورت جدول ترسیم گردیده است.

Collection Number	L	W	H	W/L	H/L	LI	LI <sup>II</sup>	LI <sup>III</sup>	LI/LI <sup>II</sup>	Lpr	Wpr	Lpc	Wpc	Lap	Wap
45	27.7	27.4	23.7	0.98	0.85	30	28	28	1.07	0	0	0	0	2.1	2.7
55	28.4	28.2	12.4	0.99	0.43	21	23	23	0.91	5.7	6.7	3	5	1	1
56	23	22.4	14.4	0.97	0.62	26	25	26	1.04	6.3	6.8	1.3	1.3	0	0
57	19.8	18.4	14.2	0.92	0.71	20	22	22	0.9	4.8	5	2	6	1	1.4
58	18.4	18.4	14.8	1	0.8	22	22	22	1	4.4	5.5	3.4	8.3	0.5	0.5

توصیف کمی تغییرات شکل پوسته در خارپوستان

نمونه های مطالعه شده شامل نمونه هایی از بقایای میکرو فسیلی است. نمونه های بهتر حفظ شده با استفاده از یک شوینده ملایم و در صورت لزوم، یک ویبراتور اولتراسونیک و یک سوزن آماده سازی و تمیز شده اند، در نهایت نمونه های جمع آوری شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی SEM تصویر برداری شده است. شناسایی تاکسونومی ها توسط (Cappetta, 2012)، (Guinot et al., 2013) و (Vullo et al., 2016) برای بقایای Chondrichthyes، انجام گردیده است [۱۱ و ۲۱ و ۴۵]. و (Kriwet, 2005) and (Poyato-Ariza & Wenz, 2002) بقایای Pycnodontiformes را مطالعه نمودند. [۲۸ و ۳۶].

استفاده از تافونومی و حوادث پس از مرگ و تغییر حجم و تزریق محلول ها در گونه های فسیل شده در دهه های اخیر در بازسازی جغرافیای دیرینه و شرایط دفن شدگی (postmortem) مورد استفاده قرار است [۴۷]. رحیمی نژاد و همکاران (۲۰۲۰) خارپوستان کلیپ آسترید سازند قم در منطقه ورتون اصفهان را دیدگاه تافونومی و حوادث پس از مرگ مطالعه نموده اند [۴۷]. در این مطالعه از حدود ۱۵۰ نمونه فسیل خارداران مطالعه شده از سازند کژدمی به بررسی حوادث تافونومی پس از مرگ از قبیل خم شدگی، خرد شدگی، تغییر حجم و تزریق محلول پرداخته شده است. تزریق محلول های معدنی و حضور گلوله های آهن (Nugget) در برش فیروزآباد (شکل ۴) و بعضاً محلول های گرم غنی از هیدروکسیدهای آهن، منگنز و گاهی سیلیس در درزها و شکاف های خارپوستان گاهی نیز محلول های سیاه رنگ (احتمالاً هیدروکربور) از پدیده های تافونومی و پس از مرگ در خارپوستان مورد مطالعه می باشد.

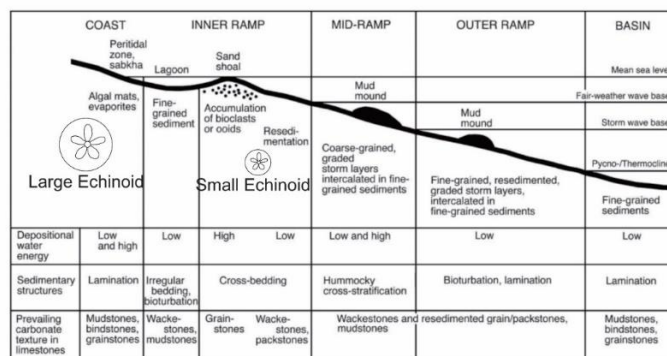
### ۴- روش مطالعه و پالئواکولوژی و توصیف خارداران

خارداران دارای پیشینه فسیلی طولانی هستند و تعداد گونه های فسیل آنها بیشتر از تعداد گونه های زنده امروزی است. از مهمترین ویژگی های شناسایی را که بتوان در مورد خارداران عمومیت داد تقارن شعاعی پنج تایی است. اسکلت خارجی آنها

از صفحات آهکی جدا از هم و درزبندی شده ساخته شده است. سطح زیرین هر بازو دارای یک شیار تغذیه ای طویل به نام شیار آمبولاکرای *Groove ambulacra* است که مجهز به ضمام لوله ای مکنده نرم و متحرکی (*Feet tube*) است، این لوله ها بخش های خارجی سیستم گردش آب است که به شیوه هیدرولیکی، حرکت لوله غذایی را کنترل می کند و این خود از ویژگیهای بیشتر خارداران است. از ویژگی های دیگر، سطح خاردار اسکلت آنها است که نام این شاخه از این ویژگی گرفته شده است. اسکلت خارجی خارداران صندوق مانند است و دیواره (*Theca*) یا پوسته (*Calyx*) نام دارد که از صفحات به نسبت بزرگ درزبندی شده تشکیل شده و بخش های داخلی بدن را محافظت می کند. درزبندی ممکن است برای انجام برخی جنبش ها به صورت سست انجام شده باشد و حتی صفحات ممکن است به صورت فلسی با هم جفت شده باشند و تکا حالت انعطاف و انحناءپذیری داشته باشد. ساختمان سکلریت (*Sclerites*) در دیواره بدن رشد می کنند و به آن استحکام میبخشند، چندین میلیون سکلریت ممکن است در یک فرد خاردار وجود داشته باشد. صفحات (*Ossicles*) از اندازه میکروسکوپی تا حدود ۳۰ میلیمتر متغیرند و طول خارهای خارداران ممکن است به ۱۵۰ میلیمتر برسند. صفحات مشتمل بر شبکه ای متشکل از میله ها و رابط ها که استروئوم (*Stereom*) نامیده میشوند، هستند و در زمان زنده بودن خاردار در بافت مزودرمی که استروما (*Stroma*) نامیده شده احاطه شده اند. صفحات اسکلتی خارداران به وسیله ماهیچه ها یا لیگامنت ها به هم مرتبط میشوند یا بواسطه فرایندهای جفت شدگی "ستروئوم" به هم می پیوندند. در مجموع از مهمترین پارامترهایی که بر روی خارداران مورد مطالعه، بررسی شد عبارتند از: ۱- اندازه گیری دقیق طول و عرض صدف و شکل کلی صدف ۲- مطالعه و شناسایی دقیق وضعیت سیستم *Apex* تعداد و شکل پلاک ها ۳- مطالعه و شناسایی دقیق وضعیت سیستم *Calyx*، شکل و نحوه قرارگیری *Ambulacral plate* و *Interambulacral plate* و اندازه آنها ۴- مطالعه و شناسایی دقیق وضعیت سیستم *Peristom* بویژه اندازه دهانه که در مقاله حاضر فقط به بوم‌شناسی این خارداران پرداخته شده است.

عمق، درجه حرارت، عرض جغرافیایی و وضعیت رسوبات بستر از مهم‌ترین فاکتورهای کنترل کننده توزیع و فراوانی خارداران عهد حاضر است. در حدود ۸۰۰ گونه از خارداران عهد حاضر ترجیح می‌دهند که بین نواحی جزرومدی تا شلف کم عمق زیست نمایند، از این بین بیش از ۱۵۰ گونه بین نواحی بالاترین و پایین‌ترین نواحی جزر و مدی و ۳۶۰ گونه نیز در حدود ۱۰۰ متر زیر ناحیه جزرومدی زندگی می‌کنند [۹-۱۱ و ۱۳، ۱۶-۱۷]. هر چه به نواحی عمیق‌تر می‌رسیم، تعداد گونه‌های در حال زیست مرتباً کاهش می‌یابد [۳۸]. بسیاری از خارداران عهد حاضر همچنین ترجیح می‌دهند که در آب‌های گرم و نزدیک به استوا زیست نمایند و گونه‌های بسیار اندکی مانند جنس *Pourtalesia* هستند که آب‌های سرد را ترجیح می‌دهند و همچنین گونه‌های بسیار اندکی همانند بعضی از گونه‌های جنس‌های *Brissopsis* و *Spatangus* در آب‌های سرد مربوط به نواحی با عرض جغرافیایی بالا و پایین نزدیک به نواحی قطبی را برای زندگی انتخاب نموده‌اند [۲۰-۲۱، ۲۲-۲۷]. وضعیت رسوبات بستر نیز فاکتور کنترل‌کننده بسیار مهمی در توزیع گونه‌های خارداران است، خارداران منظم و بعضی از گونه‌های خانواده *Cassiduloidae* به علت دارا بودن فانوس و ابزار آرواره‌ای پیشرفته، زندگی در بسترهای سنگی و تخریبی درشت دانه و سخت نزدیک به ساحل که مملو از جلبک و سایر مواد غذایی است را ترجیح می‌دهند و بیشتر خارداران نامنظم که عمدتاً شامل افراد راسته‌های *Spatangoidae* و *Holasteroidae* هستند، نواحی اندکی عمیق‌تر با بسترهای ماسه‌ای دانه‌ریز، ماری و رسی را ترجیح می‌دهند و بسترها را برای به دست آوردن غذا حفر می‌کنند. بعضی دیگر از این خارداران نامنظم نیز ترجیح می‌دهند که در داخل رسوبات رسی و گل و لای بسیار دانه ریز و نرم زندگی نموده و از آن تغذیه نمایند و ارتباط خود با سطح آب را توسط پاهای لوله‌ای پیشرفته برقرار نمایند [۱۶]. بدیهی است که این شرایط زیستی برای خارداران در زمان کرتاسه پسین و پالئوسن نیز حاکم بوده و آن‌ها نیز شرایط زیستن در آب‌های کم عمق و

گرم و بسترهای ماسه‌ای دانه‌ریز تا رسی را ترجیح می‌دهند [۴]. بوکسیت‌های قاعده‌ای سازند کژدمی بیانگر محیط خشکی (ساحلی) بوده که بر روی این بوکسیت‌ها آهک‌های اربیتولین‌دار قرار دارند که بررسی رخساره‌های میکروسکوپی این واحد بیانگر سنگ آهک میکریتی، وکستون و پکستون می‌باشد، این رخساره‌ها بیانگر محیط رمپ داخلی با انرژی پایین می‌باشد [۴۱]. (شکل ۷) به سمت بالا مارن‌های رسی زرد، خاکستری و قرمز رنگ حاوی خارپوستان کوچک *Macraster douvillei*, *Mecaster batnensis*, *Hemiaster* sp., *Phymosoma binexilis*, *Coenholectypus neocomiensis*, *Dorocidaris taouzensis*، و گویای آب و هوای گرم، کم عمق، پرانرژی و مواد غذایی کم بوده است. بر روی این واحد رس‌های خاکستری رنگ با اربیتولین و کرم‌های گلمرولا (شکل ۱۱) فراوان به همراه خارپوستان بزرگ *Pliotoxaster*، *Micropedina*، *Tetragramma deshayesi*، *Phymosoma binexilis*، *Leptosalenia sergipensis*، *comanchei*، *olisiponensis* که حاکی از عمق بسیار کم و فراوانی مواد غذایی است که بیانگر محیط‌های حد جزر و مدی است. در بخش بالایی این سازند حضور ماسه سنگ‌های فسفاته و حضور فسیل‌های بقایای شارک‌ها (کوسه‌ها، شکل ۱۲) و عدم وجود خارپوستان، نشان از دریایی بسیار کم عمق و نزدیک ساحل با آب و هوایی گرم، پرانرژی و خروج از آب را نشان می‌دهند.

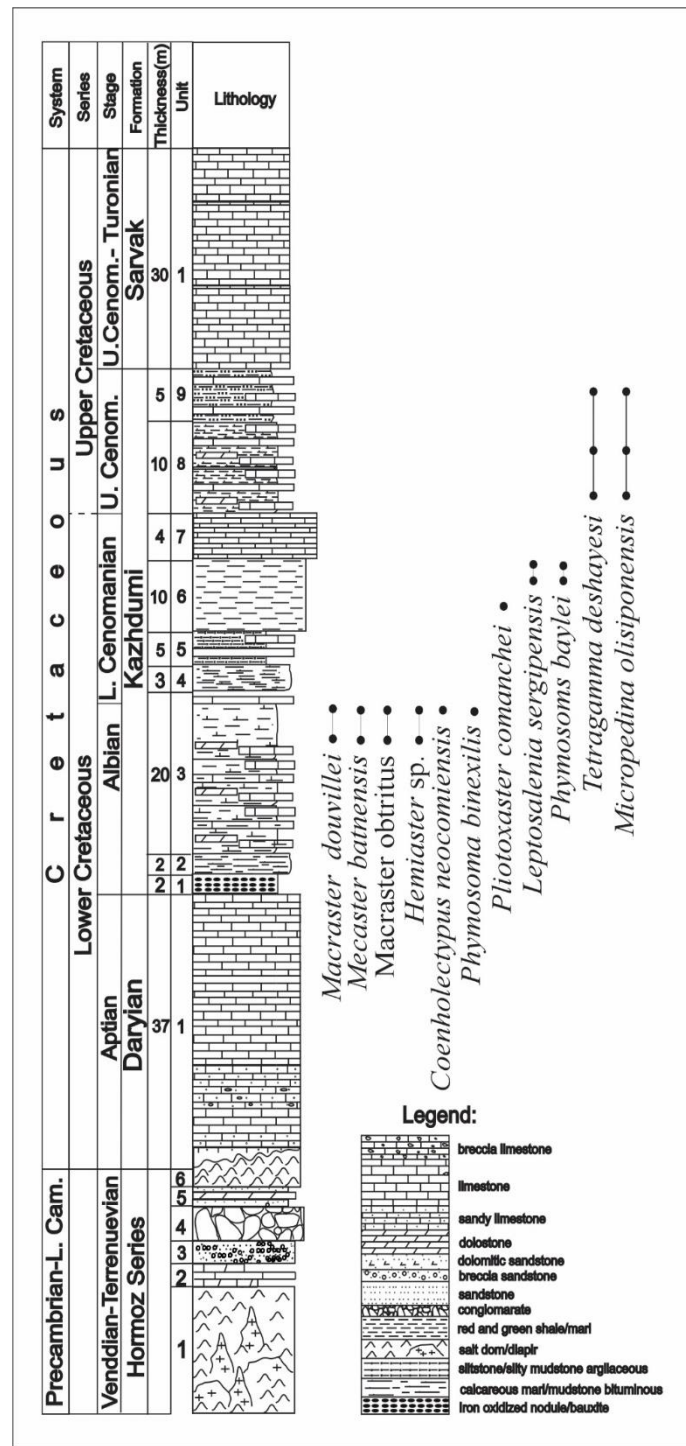


شکل ۷: تقسیم بندی کلی رمپ‌های کربناته (Flugel, 1979)، و قرار گیری خارپوستان کوچک و بزرگ در آن‌ها.

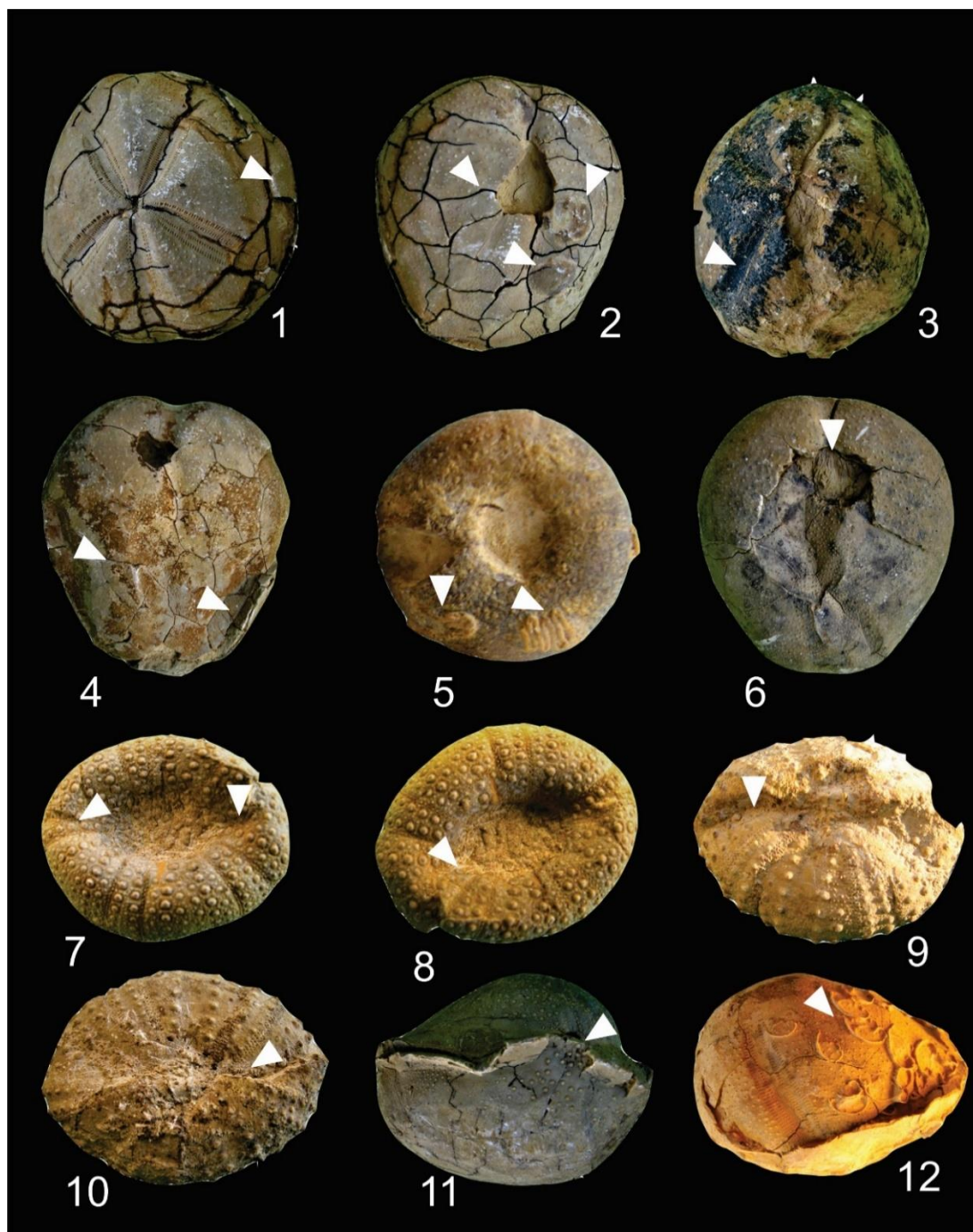
## ۵- نتیجه گیری

بر اساس فونای خارپوستان و بقایای شارک‌ها سن آلبین میانی - سنومانین برای این نهشته‌ها پیشنهاد می‌گردد، مجموعه ای غنی از انواع خارداران راسته‌های هولکتیوییدا، همیسیداروییدا، ارتوپسیدا، کاسیدولوییدا و اسپاتانگوییدا شناسایی شده در این برش و حضور کرم‌های دریایی *Glomerula serpentina* (Goldfuss, 1831) از کرم‌های پلی کیت خانواده Sabellidae که هم بر روی قالب داخلی آمونیت‌ها و هم بر روی پوسته اصلی خارپوستان و دو کفه‌ای‌ها دیده شده‌اند و از طرفی فسفاته شدن افق‌های بالایی گویای این واقعیت است که در فاصله زمانی آلبین تا سنومانین، آب کم عمق، گرم، پرانرژی و غنی از مواد غذایی حضور داشته است که عمق بسیار کم حوضه در اثر حرکات قائم قاعده‌ای یا گنبد‌های نمکی (کوه جهانی) در منطقه می‌باشد. خم‌شدگی، پرس‌شدگی، ترک‌خوردگی (پرشده با مواد هیدروکربوری و هیدروکسید‌های آهن) و تغییرات حجم در خارپوستان گویای این واقعیت است که پس از مرگ و دفن شدگی در اثر حرکات مداوم تکتونیکی گنبد‌های نمکی و خواص پلاستیسیته سازند کژدمی منجر به دگرشکلی فونای مورد مطالعه شده باشد.





شکل ۸: ستون چینه شناسی و بیوزوناسیون خارپوستان سازند کژدمی در برش فیروزآباد



1-4, 6 - *Macraster obtritus* (Lambert, 1931), 5- *Coenholectypus neocomiensis* (Gras.1848), 7- 10- *Phymosoma binexilis* (White, 1887). 11, 12- undetermined echinid, Unit 3, Firouzabad section.

شکل ۹: ۱، ۲، ۳، ۴- شکاف و ترک خوردگی در خارپوست ها و تزریق محلول هیدروکربن در آن ها، ۵- کرم های سایبیلد که از خارپوستان به

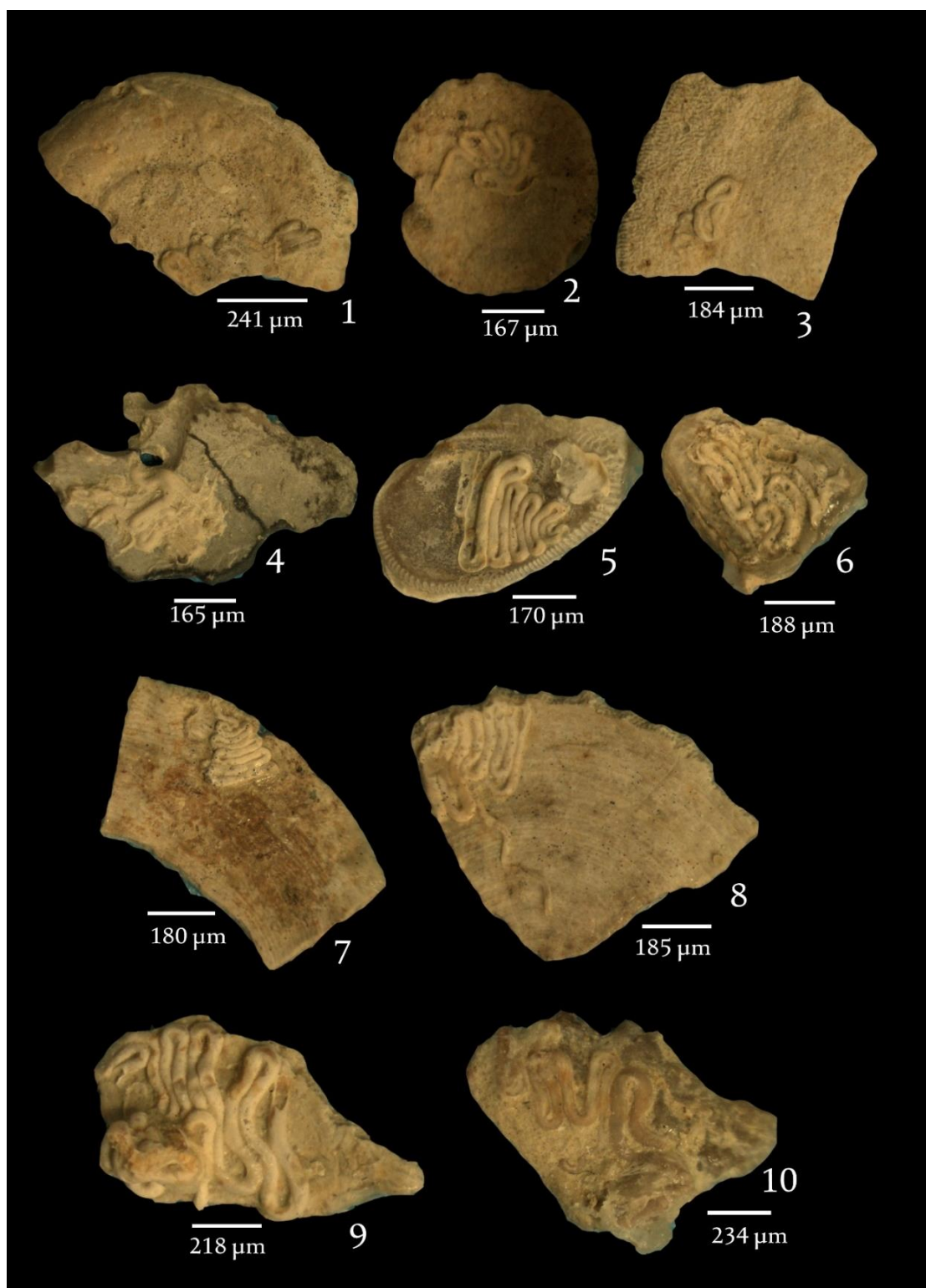
عنوان پایه استفاده می کنند و از آنها تغذیه می کنند (در نزدیکی منخرج)، ۶- خورده شدگی و ترک بر روی خارپوست، ۷- ۱۱ خم شدگی،

خردشدگی، پرس شدگی، تغییر حجم، را نشان می دهد، ۱۲- تغذیه و هم زیستی بین اویستریدها و خارپوستان.



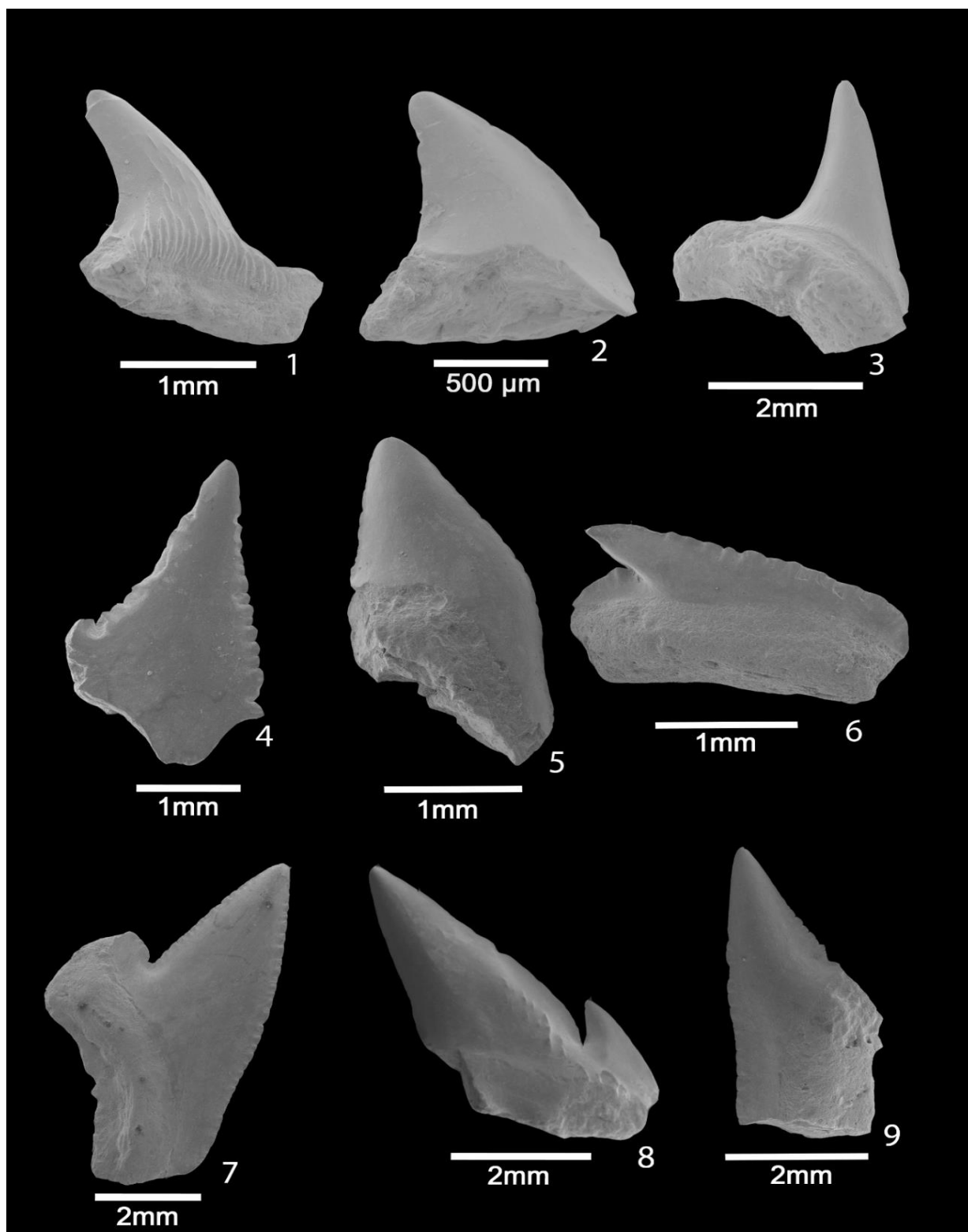
1, 2- undetermined echinid, 3- *Micropedina olisiponensis* (Forbes, 1850), 4- *Coenholectypus neocomiensis* (Gras, 1848). Unit 3, 5- 8- *Macraster obtritrus* (Lambert, 1931). Unit 3, Firouzabad section.

شکل ۱:۱ و ۷- تغذیه و هم زیستی بین اویستریدها و خارپوستان را نمایش می‌دهد. ۲ و ۴- کرم‌های سایلیید که از خارپوستان به عنوان پایه استفاده می‌کنند و از آنها تغذیه می‌کنند. ۳- تغییر حجم، ۵ و ۶- خورده شدگی، ۸- شکاف و ترک در خارپوست و تزریق محلول هیدروکربن در آنها، ۹- پرس شدگی، تغییر حجم، را نشان می‌دهد.



1-10- *Glomerula serpentina* (Goldfuss, 1831)

شکل ۱۱- کرم های گلومرولا بر روی اربیتولین ها که به وفور یافت می شود.



شکل ۱۲- دندان های کوسه یافت شده در افق بالایی سازند کژدمی در برش فیروزآباد

1: cf. *Pteroscylidium* (Gill, 1862). EUC 100587, 2,5: *Pycnodontiformes indet.* (Berg, 1937). EUC 100588; 3: cf. *Paranomotodon* sp. (Cappetta & Case, 1975). EUC 100589, 4, 6, 7, 9: *Anacoracidae indet.* (Casier, 1947). EUC 100590, 8: *Lamniformes indet.* 3 (Cappetta and Case, 1999). EUC 100591.

## سپاس و قدردانی

نویسندگان از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه اصفهان و گروه شناسی دانشگاه اصفهان بجهت پشتیبانی های مادی و معنوی قدردانی می نمایند. همچنین از داوران مقاله آقای دکتر حامد عامری (دانشیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان) و خانم دکتر الهه ستاری (مدیر اجرایی و مدیر داخلی مجله زمین شناسی نفت ایران) تشکر و قدردانی می گردد.

## منابع

- [۱] افسری، س.، یزدی، م. و ع. بهرامی (۱۳۹۲): فرآیند تافونومی و میزان حفظ شدگی ماهی های استخوانی سازند پابده. هفتمین همایش انجمن دیرینه شناسی ایران. صفحات ۲-۷.
- [۲] خسرو تهرانی، خ.، (۱۳۸۴): زمین شناسی ایران (مزوزوئیک و سنوزوئیک). کلیدر، تعداد صفحات ۴۵۸.
- [۳] دهقانی، م.، دهقانی، س.، احمدی، ا.، زواره ای، ا.، (۱۳۹۱). دوکفه ای ها و خارداران سازند کزدمی در برش های چینه شناسی سیوند و کوه خانه کت در نواحی شمال و شمال خاوری شیراز. شماره ۸۴، ۱۷۹-۱۸۸.
- [۴] عظام پناه، ی.، صادقی، ع.، آدابی، م.، ح.، جمالی، ا.، م. و کامیابی شادان، ح (۱۳۹۵): معرفی خارداران مایستریشتین و پالئوسن پیشین در برش چینه شناسی مراوه تپه در غرب حوضه کپه داغ. پژوهش های چینه نگاری و رسوب شناسی سال سی و دوم، شماره پیاپی، ۴۶ شماره سوم، پاییز ۵، صفحه ۲۱-۵۴.
- [۵] غلامعلیان، ح.، رویا، ف.، ر.، (۱۳۹۹): بررسی خارداران کرتاسه ناحیه انگوران، شمال باختری بندرعباس، نشریه علوم زمین، دوره ۳۰، شماره ۱۱۸، صفحات ۲۰۳-۲۱۴.

[6] AFGHAH, M., PARVANEH NEJAD SHIRAZI, M., KESHAVARZI, M., 2020, Biostratigraphy of the Kazhdumi Formation (Albian), northeast of Shiraz, Zagros Basin (SW of Iran). Explore the latest publications in *Geoscience*, and find Geoscience experts.

[7] ALIZADEH, B., SARAFDOKHT, H., RAJABI, M., OPERA, A., JANBAZ, M. 2012, Organic geochemistry and petrography of Kazhdumi (Albian–Cenomanian) and Pabdeh (Paleogene) potential source rocks in the southern part of the Dezful Embayment, Iran. *Organic Geochemistry*, Volume 49, August 2012, Pages 36-46.

[8] BIDAR, A., DE Villoutreys, O., 1974, Sur la présence du genre américain *Macraster* dans le Cénomanien des Alpes-Maritimes. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*. Série D: Sciences Naturelles 278, 1179–1181.

[9] BLACK, R. M. 1988, The Elements of Palaeontology. *Cambridge University press*, Australia. 404 P.

[10] BORDENAVE, M.L. AND BURWOOD, R. 1990, Source Rock Distribution and Maturation in the Zagros Belt; Provenance of the Asmari and Bangestan Reservoir Oil Accumulations. *Organic Geochemistry*, 16, 369-387.

[11] BOLANDI, V., KADKHODAIE-ILKHCHI, A., ALIZADEH, B., TAHMORASI, J., FARZI, R., 2015, Source rock characterization of the Albian Kazhdumi formation by integrating well logs and geochemical data in the Azadegan oilfield, Abadan plain, SW Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. Volume 133, September 2015, Pages 167-176.

[12] BORDENAVE, M. L., HEGRE, J. A. 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, Volume 330, Pages 291 – 353.

[13] BOURDON, J., WRIGHT, K., LUCAS, S.G., SPIELMANN, J.A., & PENCE, R. 2011, Selachians from the Upper Cretaceous (Santonian) Hosta Tongue of the Point Lookout Sandstone, central New Mexico: Bulletin 52 (Vol. 52). *New Mexico Museum of Natural History and Science*.

[14] BULOT, L.G., VINCENT, B., 2010, Systematic paleontology of Aptian and Albian ammonites from southwest Iran. *Books Published*: January 01, 2010.

[15] CAPETTA, H. (2012). Chondrichthyes (Mesozoic and Cenozoic Elasmobranchii: Teeth). In: H.-P. Schultze (Ed.) *Handbook of palaeoichthyology*, vol. 3E. Verlag F. Pfeil, München, pp 512.

- [16] CLEGG, E. L. G. 1933, Echinoidea from the Persian Gulf. *Palaeontologica Indica*, New Series, Memoire 22, 1-35.
- [17] COLLIGNON, M., 1950. Recherches sur les faunes albiennes de Madagascar. II - *Les Echinides d'Ambarimanga*. *Annales Géologiques du Service Des Moines*, Madagascar 17, 5-16.
- [18] COTTEAU, G., & GAUTHIER, V., 1895. Mission scientifique en Perse par I. De Morgan. *Etudes Geologique*, 3 (2): 1-107.
- [19] DANUTA, O. N. 2007, Late Cretaceous (Turonian – Coniacian) irregular echinoids of western Kazakhstan (Mangyshlak) and southern Poland (Opole): *Acta Geologica Polonica*, v. 1, p 1-87.
- [20] DURHAM, J.W., 1966, Ecology and Paleocology. In: R.C. Moore (Ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology: Geological Society of America & The University of Kansas*; Boulder, Colorado, v. 1, p. 257-265.
- [21] ERNST, G. and E. SEIBERTZ. 1977, *Concepts and methods of Echinoid Biostratigraphy*. In: E.G. Kauffman & J.E. Hazel (Eds), *Concepts and Methods of Biostratigraphy: Dowden, Hutchinson and Ross, Inc.*; Stroudsburg, Pennsylvania, p. 541-563
- [22] FLÜGEL, E. 1979, *Microfacies of Carbonate Rocks. Springer Heidelberg Dordrecht London New York*.
- [23] GALLEMÍ, J., LOPEZ, G.M., MARTINEZ, P., MUNOZ, ~ J., PONS, J.M., 1997. Albian–Cenomanian and Campanian–Maastrichtian biostratigraphy of southeast Spain. *Cretaceous Research* 18, 355–372.
- [24] GAUTHIER, M.V., 1902. Etudes géologiques. Partie 3 - échinides, supplément. In: *Morgan de, J.(Ed.), Mission Scientist*.
- [25] GUINOT, G., UNDERWOOD, C.J., CAPPETTA, H., & WARD, D.J. 2013, Sharks (Elasmobranchii: Euselachii) from the late Cretaceous of France and the UK. *Journal of Systematic Palaeontology*, 11(6), 589-671.
- [26] JARVIS, I., ANDREW, S. G., HUGH C. J., and MARTIN A. P. 2006, Secular variation in Late Cretaceous carbon isotopes: a new  $\delta^{13}C$  carbonate reference curve for the Cenomanian–Campanian (99.6–70.6 Ma), *Published online by Cambridge University Press*.
- [27] JENKINS, H.C., MATTHEWS, A., TSIKOS, H., EREL, Y., 2007, Nitrate reduction, sulfate reduction, and sedimentary iron isotope evolution during the Cenomanian-Turonian oceanic anoxic event. *Paleoceanography and Paleoclimatology*. Online ISSN:2572-4525, Print ISSN:2572-4517.
- [28] GHAYENI, H, MAHMUDY-GHARAEI, M, H., 2023, Hydrocarbon generation potential of Kazhdumi Formation in Tang E- Magar and Perchestan sections compared to the other oil field in the Zagros basin. *Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES*, vol. 33, issue 1, Serial No.127, Spring 2023, pp 27- 42.
- [29] KANAZAWA, K., 1992, Adaptation of test shape for burrowing and locomotion in spatangoid echinoids. *Palaeontology* 35, 733–750.
- [30] KIER, P. M. 1972, Tertiary and Mesozoic Echinoids of Saudi Arabia. *Smithsonian Contributions to Paleobiology* 10, 1-105., page(s): 23-24; fig. 7, pl. 1: figs 1-6, pl. 2: figs 1-2.
- [31] LAMBERT, J., 1931, Etude sur les échinides fossiles du Nord de l’Afrique. *Mémoires de la Société géologique de France* 7, 5–108.
- [32] Kriwet, J. 2005, A comprehensive study of the skull and dentition of pycnodont fishes. *Zitteliana*, 45, 135-188.
- [33] KROH A. & SMITH A.B. 2017, Classification and phylogeny of post-Palaeozoic echinoids. *Journal of Systematic Palaeontology*, London, vol. 7, p. 147-212.
- [34] LECKIE, RM, [TIMOTHY, B. J.](#); CASHMAN, V. 2002, Oceanic anoxic events and plankton evolution: *Biotic response to tectonic forcing during the mid-Cretaceous*. *Paleoceanography*, 17(3), 13-1-13-29,
- [35] MASROUR, M., AOUTEM, M., ATROPS, F., 2004. Succession des peuplements d'échinides du Crétacé inférieur dans le Haut Atlas atlantique (Maroc); *révision systématique et intérêt stratigraphique*. *Geobios* 37.
- [36] NÉRAUDEAU, D., FLOQUET, M., 1991. Les échinides Hemiasteridae : *marqueurs écologiques de la plate-forme castillane et navarro-cantabre (Espagne) au Crétacé supérieur*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 88, 265–281.
- [37] NÉRAUDEAU, D., DAVID, B., MADON, C., 1998, Tuberculation in spatangoid fascioles: *delineating plausible homologies*. *Lethaia* 31, 323–334.

- [38] NEUMANN, C., 1996, The mode of life and paleobiogeography of the genus *Douvillaster* Lambert (Echinoidea: Spatangoida) as first recorded in the Lower Cretaceous (Albian of Spain). *Berliner geowissenschaftliche Abhandlungen* 18, 257–265.
- [39] NICHOLS, D., 1972, The water-vascular system in living and fossil echinoderms. *Palaeontology* 15, 519–538.
- [40] POYATO-ARIZA, F.J., & WENZ, S. 2002, A new insight into pycnodontiform fishes. *Geodiversitas*, 24(1), 139-248.
- [41] RAHIMINEJAD, A. H., YAZDI, M. & A. BAHRAMI 2020, Palaeoenvironments and taphonomy of clypasteroids in Miocene carbonates of Esfahan- Sirjan Basin. Central Iran. *Springer-Verlag GmbH Germany*, part of Springer Nature 2020 Facies. **66**: 14.
- [42] RAISOSSADAT, N., HAMDANI, H., LATIL, J., Jaillard, E., 2021, The Kazhdumi Formation (Lower Cretaceous, upper Aptian–upper Albian) in the Zagros Basin, Iran. *Cretaceous Research* 127(1):104920
- de Castro Manso, C.L., Souza-Lima, W., 2003. O Equinoide *Douvillaster* Lambert, 1917 na Formação
- [43] SMITH, A.B., 1980. The structure, function, and evolution of tube feet and ambulacral pores in irregular echinoids. *Palaeontology* 23, 39–84.
- [44] SMITH, A.B., STOCKLEY, B., 2005. Fasciole pathways in spatangoid echinoids: a new source of phylogenetically informative characters. *Zoological Journal of the Linnean Society* 144, 15–35.
- [45] VILLIER, L., DAVID, B., NÉRAUDEAU, D., 2001. Ontogenetic and morphological evolution of the ambulacral pores in *Heteraster* (early spatangoids). In: Barker, M. (Ed.), *Echinoderm 2000. Balkema, Rotterdam, The Netherlands*, pp. 563–567.
- [46] SIVERSSON, M., CEDERSTRÖM, P., & RYAN, H.E. 2022, A new dallasiellid shark from the lower Campanian (Upper Cretaceous) of Sweden. *GFF*, 144(2), 118-125.
- [47] VILLIER, V., NÉRAUDEAU, D., CLAVEL, B., NEUMANN, C., 2004. Phylogeny of early Cretaceous Spatangoids (Echinodermata: Echinoidea) and taxonomic implications. *Palaeontology* 47, 265–292.
- [48] VILLIER, L., NAVARRO, N., 2004. Biodiversity dynamics and their driving factors during the Cretaceous diversification of Spatangoida (Echinoidea, Echinodermata). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 214, 265–282.
- [49] VINCENT, B., VAN BUCHEM, F.S.P., BULOT, L., JALALI, M., SWENNEN, R., HUSSEINI, A.S., & BAGHBANI, D., 2015. Depositional sequences, diagenesis and structural control of the Albian to Turonian carbonate platform systems in Coastal Fars (SW Iran). *Marine and Petroleum Geology*, 63: 47-67.
- [50] VINCENT, S. J., SAINTOT, A., ARAL, M., OKAY, I., NIKISHIN, A.M., 2016, Comment on “Relict Basin Closure and Crustal Shortening Budgets During Continental Collision: An Example From Caucasus Sediment Provenance” . *Tectonics*, [Volume37, Issue3](#), March 2018, Pages 1006-1016.
- [51] VULLO, R., GUINOT, G., & BARBE, G. 2016, The first articulated specimen of the Cretaceous mackerel shark *Haimirichia amonensis* gen. nov. (Haimirichiidae fam. nov.) reveals a novel ecomorphological adaptation within the Lamniformes (Elasmobranchii). *Journal of Systematic Palaeontology*, 14(12), 1003-1024.
- [52] YAVARI, M., YAZDI, M., GHALAVAND, H., ADABI, M. H 2017, Urganian type microfossils of the dariyan formation, from Southwest of Iran (Northeast of Shiraz). *Journal of sciences*, Islamic Republic of Iran.
- [53] ZIEGLER, B., 1983, Introduction to Palaeobiology General Palaeontology. *Ellis Horwood Publication*. 225p.



## چینه نگاری زیستی و بوم شناسی دیرینه سازند قم در ناحیه قمصر (جنوب غرب کاشان)

طیب بینازاده<sup>۱</sup>، امراله صفری<sup>۲\*</sup>، حسین وزیری-مقدم<sup>۳</sup>

- 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

\*safari@sci.ui.ac.ir

دریافت اسفند ۱۴۰۲، پذیرش خرداد ۱۴۰۳

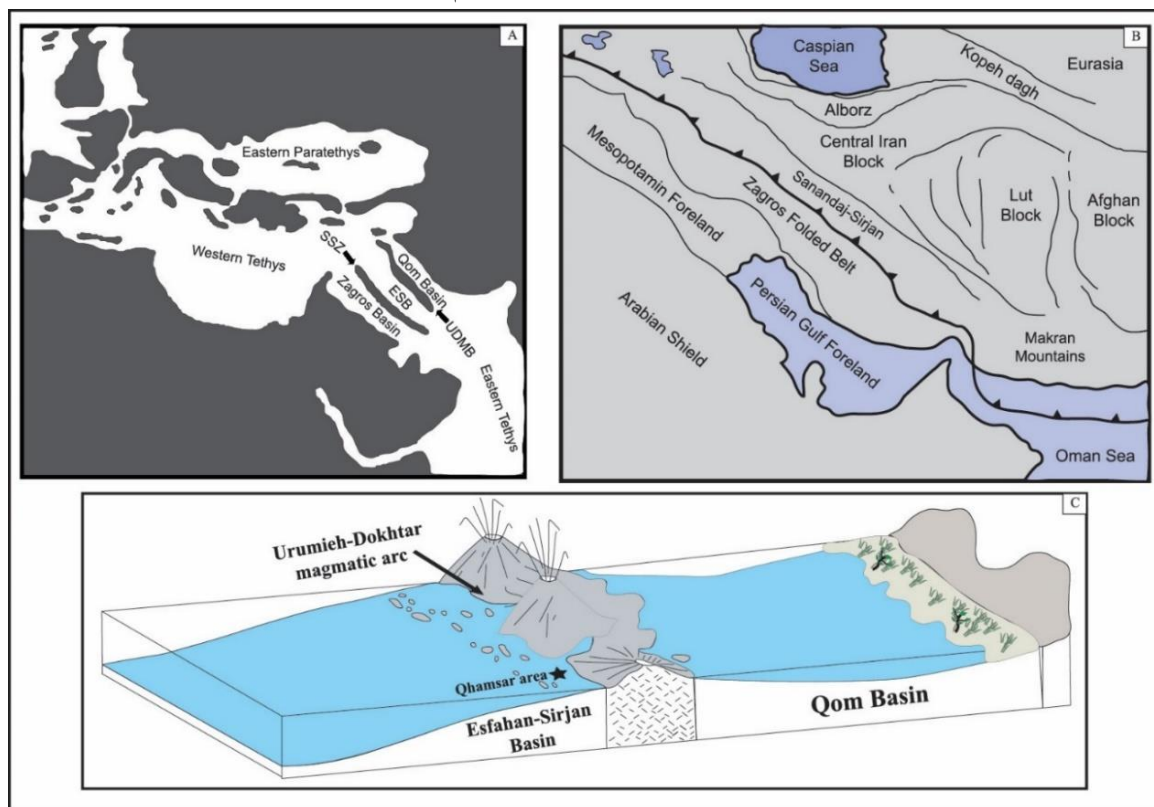
### چکیده

به منظور مطالعات چینه نگاری زیستی و بوم شناسی دیرینه، سازند قم در برش قمصر کاشان مورد مطالعه قرار گرفته است. برش مورد مطالعه با ۳۱۳ متر ضخامت شامل سنگ آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه و توده‌ای و شیل بوده که با ناپوستگی فرسایشی بروی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن قرار گرفته و به وسیله آبرفت‌های عهد حاضر پوشیده شده است. بر اساس مطالعات انجام شده در مجموع ۲۱ جنس و ۳۵ گونه از روزن‌داران کفزی شناسایی گردید. با توجه به مجموعه روزن‌داران کفزی سن سازند قم در این برش روپلین پسین- شاتین تعیین شده است. با توجه به شرایط دیرینه بوم شناسی مطرح شده، در بخش‌های پایین برش قمصر (روپلین پسین)، شرایط نوری یوفوتیک و شرایط غذایی ابتدا یوتروفی و سپس مزو-لیگوتروفی می‌باشد. در طی شاتین، شرایط غذایی ابتدا مزو-لیگوتروفی و سپس بین یوتروفی و مزو-لیگوتروفی در نوسان است. شرایط نوری نیز بین یوفوتیک، مزو-لیگوفوتیک و آفوتیک متغیر می‌باشد. شرایط شوری در طی روپلین پسین و شاتین نیز عمدتاً بین شوری نرمال دریایی و ۵۰-۴۰ psu در نوسان است. روزن‌داران کفزی بزرگ با دیواره هیالین مانند *Lepidocyclina*، *Amphistegina* و *nummulitids* در محیط‌های کم عمق با انرژی زیاد، دارای پوسته ضخیم‌تر و اندازه صدف کوچک‌تر و در محیط‌های عمیق، به علت کاهش شدت نور و تحرک کم آب، دارای پوسته‌های نازک‌تر و کشیده‌تر می‌باشند. نتایج حاصل از مورفومتری ۱۸۶ نمونه *Amphistegina* نشان می‌دهد که عمق دیرینه آب دریا در برش قمصر (روپلین پسین-شاتین) از کمتر از ۱۱ متر تا کمتر از ۴۴ متر در نوسان بوده است.

کلمات کلیدی: زیست چینه نگاری؛ بوم شناسی دیرینه؛ سازند قم؛ ایران مرکزی

## ۱- مقدمه

ایران مرکزی در شمال به خط درز پالتوتیس و در جنوب به خط درز نئوتیس محدود می‌شود [۱]. سازند قم (الیگومیوسن) در زون رسوبی-ساختاری ایران مرکزی [۱] و در حاشیه شمالی راه دریایی نئوتیس [۲۷ و ۵۲] واقع شده است. روتر و همکاران [۵۲] حوضه قم را به دو زیر حوضه پس کمان قم و پیش کمان اصفهان-سیرجان تقسیم کردند. با این حال، در سال (۲۰۱۳) محمدی و همکاران [۴۰] سومین زیر حوضه (زیر حوضه درون کمان ماگمایی ارومیه-دختر) را به حوضه قم اضافه کردند (شکل ۱). اهمیت اقتصادی از یک طرف و نقش ارتباطی بین تیس شرقی (The proto-Indian Ocean) و تیس غربی (The proto-Mediterranean Sea) به طور هم‌زمان در صفحه ایران، مطالعه دقیق سازند قم را ضروری می‌سازد [۳۹ و ۴۰]. اهداف این پژوهش: (۱) تجزیه و تحلیل زیست چینه نگاری سازند قم در منطقه قمصر کاشان (۲) شناسایی گونه‌های *Amphistegina* براساس تجزیه و تحلیل مورفومتری. (۳) بررسی شرایط پالتواکولوژی سازند قم در برش قمصر.

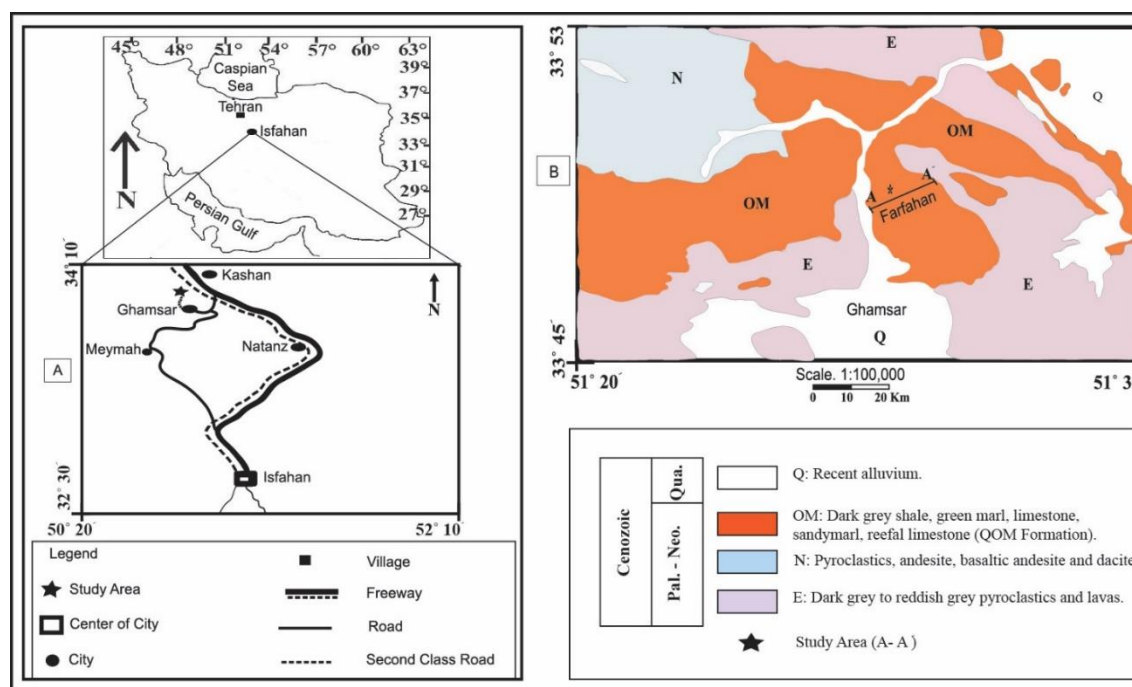


شکل ۱. A. نقشه جغرافیایی دیرینه راه دریایی تیان در طی زمان‌های الیگو-میوسن. QB: حوضه قم؛ ESB: حوضه اصفهان-سیرجان؛ ZB: حوضه زاگرس؛ UDMB: حوضه کمان ماگمایی ارومیه-دختر [۲۷ و ۵۲]. B. زون‌های رسوبی-ساختاری ایران [۲۹]. C. دیاگرام شماتیک از حوضه رسوبی سازند قم در طی زمان الیگو-میوسن (برگرفته از [۵۲]).

## ۲- روش‌ها و مواد

برای دستیابی به اهداف مورد نظر، برش چینه شناسی مناسبی از سازند قم در ناحیه قمصر (جنوب غرب کاشان) انتخاب گردید. این برش با مختصات جغرافیایی "E: 51° 26' 13" و "N: 33° 46' 45" در ۳۴ کیلومتری جنوب غرب کاشان و ۳ کیلومتری شمال شهر قمصر قرار دارد (شکل ۲). بر اساس مطالعات روتر و همکاران (۲۰۰۹) برش مورد مطالعه در کمان ماگمایی ارومیه-دختر قرار گرفته است [۵۲].

(شکل ۲). در مجموع از برش قمصر ۲۵۲ نمونه آهکی و ۱۷ نمونه شیلی برای مطالعه برداشت گردید. شناسایی جنس و گونه‌های روزن‌داران کفزی براساس مطالعات پیشین [۱۰ و ۳۵ و ۵۳ و ۲۲]. همچنین شناسایی جنس و گونه‌های *Amphistegina* براساس آنالیز مورفومتری [۲۲ و ۵۳] انجام شده است. به دلیل شباهت سازند قم با سازند آسماری [۵۶ و ۱۵ و ۳۲]، از زیست زون ارائه شده برای سازند آسماری [۱۹] و زیست زون‌های ارائه شده برای سازند قم توسط محمدی [۳۷] استفاده شده است.



شکل ۲. A. نقشه راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه B. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه [۱۱].

### ۳- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

پژوهشگران صفحه ایران را به هشت زون ساختاری-رسوبی شامل (۱ زاگرس، ۲ سنندج- سیرجان، ۳ کمان ماگمایی ارومیه-دختر، ۴ ایران مرکزی، ۵ البرز، ۶ لوت، ۷ کپه داغ و ۸ مکران تقسیم کردند [۱۴ و ۲۹] (شکل ۱). ایران مرکزی در درون سیستم کوهزایی آلپ- هیمالیا قرار گرفته و از شمال به خط درز پالتوتیس و از جنوب به خط درز نتوتیس ختم می‌شود [۴۴].

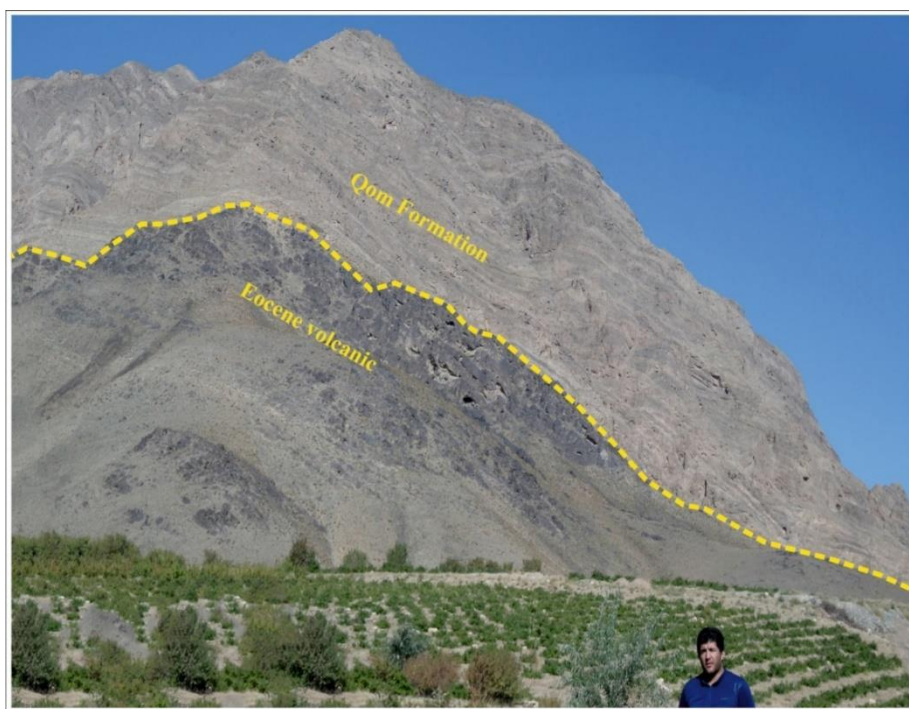
سازند دریایی قم در شمال شرقی ساحل راه دریایی تتیان [۵۲]، همزمان با آخرین پیشروی دریا در الیگو-میوسن [۲۰] در حوضه‌های پیش کمان سنندج- سیرجان، کمان ماگمایی ارومیه- دختر و پس کمان ایران مرکزی [۴۰] ته‌نشست شده است. یکی از پیامدهای برخورد صفحه‌ها تشکیل حوضه پیش کمانی (حوضه اصفهان- سیرجان) و حوضه پس کمانی (حوضه قم) روی ورق ایرانی درحاشیه شمال شرق راه دریایی تتیس بوده است [۵۷ و ۵۲]. این حوضه‌ها توسط یک سیستم کمان ولکانیکی جدا شده، که بارها در طول ائوسن توسعه یافته اند [۵۷].

از کارهای انجام گرفته بر روی سازند قم می‌توان به پژوهش محمدی و همکاران [۷] در برش چینه شناسی جزه اشاره کرد که بیانگر سن روپلین- شاتین بود. همچنین بهفروزی و صفری [۲] سازند قم در برش چینه شناسی چنار را مورد ارزیابی قرار دادند و سن الیگوسن را برای آن در نظر گرفتند. همچنین در محدوده مورد مطالعه، محمدی و همکاران [۴۱] ضمن بررسی برش چینه شناسی برزوک، سن روپلین را برای آن پیشنهاد دادند.

محمدی [۵] از گروه‌های شکلی روزن داران سازند قم در سیرجان و کاشان برای تفسیر دیرینه محیطی و پالئوکلژیکی استفاده نمود که شرایط نوری، شوری و غذایی برش چینه شناسی ورکان (غرب کاشان) شباهت‌های بسیار زیادی با برش

مورد مطالعه دارد. منوچهری و همکاران [۸] سازند قم در جنوب غرب کاشان را مورد مطالعه قرار دادند و سن آکی تائین-بوردیگالین را برای آن در نظر گرفتند. محمدی و حسنی [۶] با بررسی استراکدهای سازند قم در دو برش ورکان و بوجان در حوضه پیش کمان قم، شرایط بوم شناسی هر دو برش را مساعد و همراه با فراوانی اکسیژن دانستند. از دیگر مطالعات صورت گرفته بر روی سازند قم در سال‌های اخیر می‌توان به بازسازی شرایط محیط رسوبی دیرینه و شناسایی سکانس های رسوبی موجود در سازند قم براساس میکروفاسیس‌ها در ناحیه کهک [۹]، زیست چینه نگاری نهشته های دریایی الیگو-میوسن حوضه ایران مرکزی برمبنای نانو پلانکتون‌های آهکی [۳] و نقش فسیل ها در مطالعات ریز رخساره ها و تشخیص مرز های سکانشی سازند قم: یک مطالعه موردی در برش قصر بهرام، شمال غرب سیاه کوه، جنوب گرمسار [۴] اشاره کرد.

سازند قم در برش قمصر ۳۱۳ متر ضخامت دارد و از لحاظ سنگ شناسی بیشتر شامل سنگ آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه و توده ای و شیل می‌باشد (شکل ۳). این سازند با ناپیوستگی فرسایشی بر روی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن قرار گرفته و به وسیله آبرفت‌های عهد حاضر پوشیده شده است.



شکل ۳. نمای کلی از سازند قم در برش قمصر و مرز زیرین آن با ولکانیک‌های ائوسن.

## ۴- بحث

### ۴-۱- ریزرخساره‌ها

سازند قم در برش قمصر براساس پراکندگی روزن‌داران کفزی، دیگر اجزای اسکلتی و ویژگی‌های رسوب‌شناسی ۸ ریزرخساره شناسایی گردید.

ریزرخساره ۱ (MF 1): اجزای اصلی ریزرخساره سندی بایوکلست و کستون- پکستون- گرینستون شامل خرده‌های *Elphidium*, *Neorotalia*, *amiliolids*، جلبک قرمز *corallinaceae*, *gastropods*, *echinoderms* و اجزای آواری (دانه‌های کوارتز) می باشد (شکل ۴-۱). حضور دانه‌های کوارتز به همراه آلوک‌های اسکلتی (*miliolids* و *gastropods*) در رسوبات

کربناته گویای این مطلب است که این رسوبات در محیط دریایی کم عمق (رمپ داخلی) [۴۷] حاوی آب‌های با شوری بالا و شرایط نوری یوفوتیک تشکیل شده اند.

**ریزرخساره ۲ (MF 2):** روزن‌داران بدون منفذ (*Triloculina Austrotrillina*, *Quinqueloculina miliolids*) و جلبک قرمز *corallinaceae* از اجزای اصلی ریزرخساره بایوکلست کورالیناسه آ روزن‌داران بدون منفذ و کستون-پکستون-گرینستون می‌باشند (شکل ۴-B). همراهی روزن‌داران بدون منفذ با جلبک قرمز *corallinaceae*، یک محیط دریایی کم عمق (رمپ داخلی) با بستری پوشیده از علفزارهای دریایی را نشان می‌دهد.

**ریزرخساره ۳ (MF 3):** روزن‌داران بدون منفذ (*miliolids*, *Peneroplis*, *Triloculina*, *Quinqueloculina Austrotrillina*)، *Dendritina*، *Borelis* و روزن‌دارن منفذدار (*Lepidocyclina*، *Neorotalia* و *Amphistegina*) و جلبک قرمز *corallinaceae* در ریزرخساره بایوکلست *corallinaceae* روزن‌داران منفذدار و بدون منفذ و کستون-پکستون فراوان هستند (شکل ۴-C). فراوانی روزن‌داران منفذدار و بدون منفذ و همچنین جلبک *corallinaceae* نشان دهنده محیط کم عمق (رمپ داخلی) با بستری پوشیده از علف‌های دریایی است.

**ریزرخساره ۴ (MF 4):** این ریزرخساره کورال باندستون می‌باشد. چهارچوب این ریزرخساره مرجان‌های سالم و برجا می‌باشد که به صورت کلنی‌های پراکنده و ریف‌های تکه‌ای (Patch) و ناپیوسته در مشاهدات صحرایی یافت می‌شوند (شکل ۴-D).

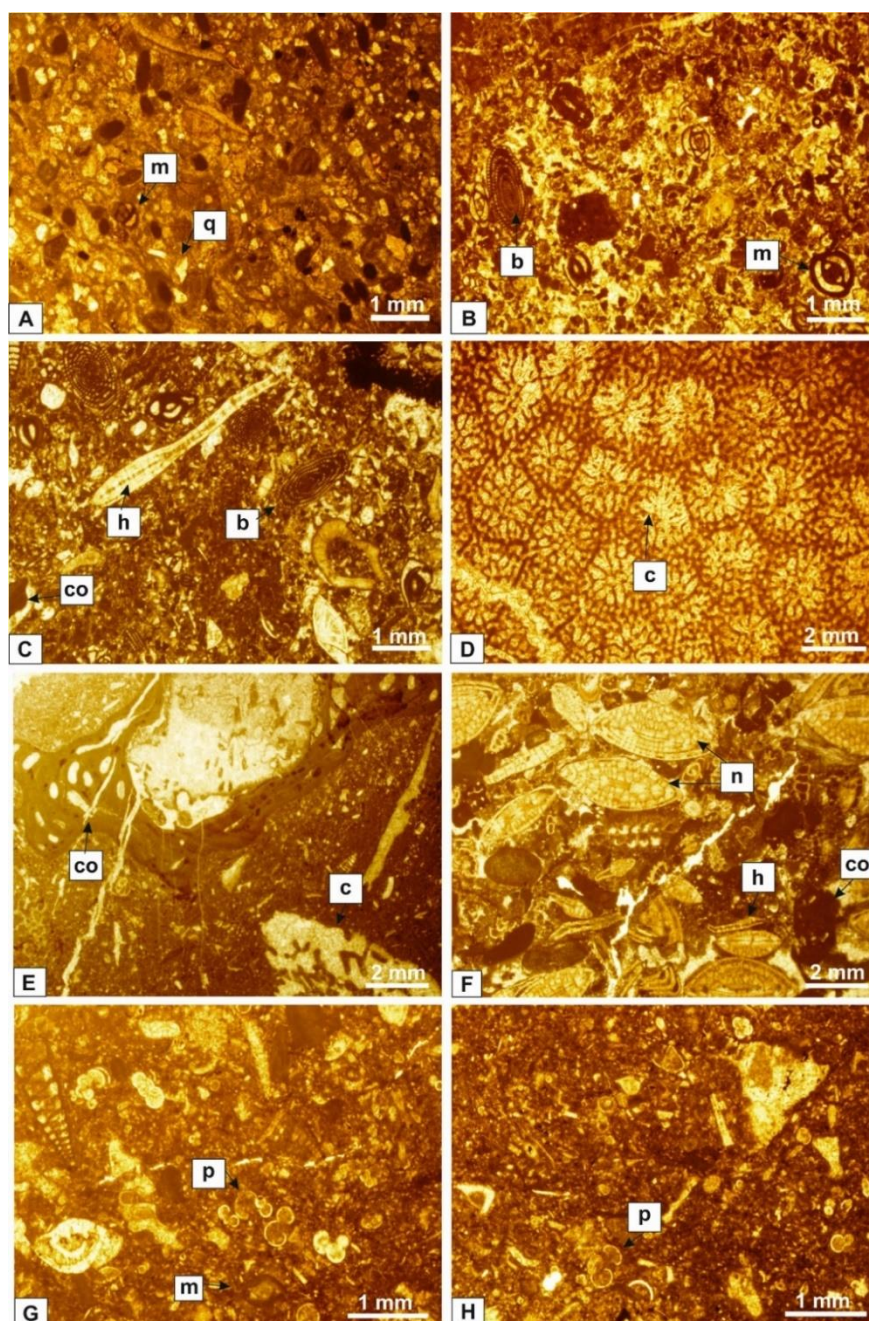
**ریزرخساره ۵ (MF 5):** مرجان و جلبک قرمز *corallinaceae* از اجزای اصلی ریزرخساره بایوکلست کورال کورالیناسه آ وکستون-پکستون (فلوتستون-رودستون) می‌باشد (شکل ۴-E). فراوانی خرده‌های مرجان و جلبک قرمز *corallinaceae*، نشان دهنده محیط رمپ میانی و شرایط نوری مزوفوتیک تا الیگوفوتیک است.

**ریزرخساره ۶ (MF 6):** جلبک قرمز *corallinaceae* و روزن‌داران منفذدار (*Neorotalia nummulitids*، *Lepidocyclina*، *Amphistegina*) از عناصر اصلی ریزرخساره بایوکلست کورالیناسه آ روزن‌داران منفذدار و کستون-پکستون-گرینستون (فلوتستون-رودستون) می‌باشند (شکل ۴-F). روزن‌داران کف‌زی بزرگ (*Amphistegina*، *Nummulites*، *Heterostegina* و *Operculina*)، *Neorotalia* و جلبک قرمز در بخش پروکسیمال رمپ میانی فراوان هستند [۴۷] و شرایط مزوفوتیک تا الیگوفوتیک را نشان می‌دهند.

**ریزرخساره ۷ (MF 7):** روزن‌داران پلانکتون و قطعات ریز پوسته روزن‌داران کف‌زی بزرگ و *miliolids* از اجزای اصلی ریزرخساره پلانکتونیک فرامینیفرای بایوکلاست پکستون-گرینستون می‌باشد (شکل ۴-G). حمل شدگی و خرد شدگی آلوکم‌های فسیلی (روزن‌داران کف‌زی بزرگ و کوچک، *corallinaceae*) از مناطق کم عمق به عمیق [۱۸]، نشان دهنده رسوبگذاری این ریزرخساره در محیط دریایی باز (بین محیط شلف میانی و خارجی) می‌باشد.

**ریزرخساره ۸ (MF 8):** روزن‌داران پلانکتون از اجزای اصلی ریزرخساره بایوکلست پلانکتونیک فرامینیفرای پکستون-گرینستون به شمار می‌روند (شکل ۴-H). عدم مشاهده روزن‌داران کف‌زی همزیست دار به همراه روزن‌داران پلانکتون، گویای رسوبگذاری در محیط رمپ بیرونی با شرایط نوری آفوتیک است.

**رخساره شیل:** بر اساس آزمایش کلسی متری، میزان آهک در نمونه رخساره‌های آواری کمتر از ۱۰ درصد و ذرات آواری در محدوده اندازه سیلت و رس بیش از ۹۰ درصد بود. همچنین طبق قانون والتر، این رخساره آواری که حاوی روزن‌داران بدون منفذ (*miliolids* و *Borelis*) و بریوزوئرها می‌باشد، در تناوب با ریز رخساره‌های (MF 2 و MF 4) می‌باشد.



شکل ۴. ریزرخساره‌های رسوبی سازند قم در برش قمصر کاشان. A. ریزرخساره MF 1، B. ریزرخساره MF 2، C. ریزرخساره MF 3، D. ریزرخساره MF 4، E. ریزرخساره MF 5، F. ریزرخساره MF 6، G. ریزرخساره MF 7 و H. ریزرخساره MF 8 (q: quartz grains; m: Miliolids; b: *Borelis*; h: *Heterostegina*; co: Corallinaceae; c: Coral; n: *Nummulites*; p: Planktonic foraminifera).

#### ۴-۲- چینه نگاری

به منظور تعیین سن نهشته‌های سازند قم در برش مورد مطالعه ۲۵۲ مقطع نازک میکروسکوپی مورد بررسی قرار گرفت و در مجموع ۲۱ جنس و ۳۵ گونه از روزن‌داران کفزی شناسائی گردید (شکل ۶) که منجر به شناسایی دو مجموعه فونی زیر گردید (شکل ۷).

#### مجموعه فونی ۱

این مجموعه فونی از قاعده تا ضخامت ۳۶ متری و شامل روزن‌داران زیر می باشد:

*Nummulites fichteli-intermedius*, *Nummulites* sp., *Elphidium* sp., *Neorotalia viennotti*, *Amphistegina* sp., *Amphistegina bohdanowiczi*, *Amphistegina mammilla*, *Pyrgo* sp., *Quinqueloculina* sp., *Peneroplis* sp., *Lepidocyclus* sp., *Operculina complanata*, *Heterostegina* sp., *Triloculina* sp., *Triloculina tricarinata*, *Austrotrillina asmariensis*, *Austrotrillina* sp., *Borelis pygmaea*, *Dendritina rangi*, *Eulepidina* sp.

به همراه مجموعه فوق، فسیل‌های Textularids, Coralinacean, Echinoid, Ostracod و Gastropods نیز شناسایی گردید.

پژوهشگران معتقدند که گونه‌های جنس *Nummulites* در حوضه جنوبی نئوتیس (سازند آسماری) در آشکوب شاتین حضور ندارند [۲۱ و ۳۴ و ۵۸]. به باور محمدی و عامری، جنس *Nummulites* در حوضه شمالی نئوتیس (سازند قم) در انتهای آشکوب روپلین منقرض شده‌اند [۳۸]. آخرین حضور جنس *Nummulites* در سازند قم در برش قمصر تا ضخامت ۳۶ متری می‌باشد. با توجه به حضور همزمان جنس‌های *Lepidocyclus* و *Nummulites* این زون زیستی می‌تواند با SBZ 22A معرفی شده توسط کوزاک و پیگنات [۱۹] و زون زیستی شماره ۲ *Lepidocyclus-Nummulites concurrent range* zone گزارش شده از بخش زیرین سازند قم توسط محمدی [۳۷] شباهت دارد بنابراین، بخش پایین سازند قم در برش قمصر (تا ضخامت ۳۶ متری) در طی آشکوب روپلین پسین نهشته شده است (شکل ۵).

## مجموعه فونی ۲

این مجموعه فونی از ضخامت ۳۶ تا ۳۱۳ متری و شامل روزن‌داران زیر می‌باشد:

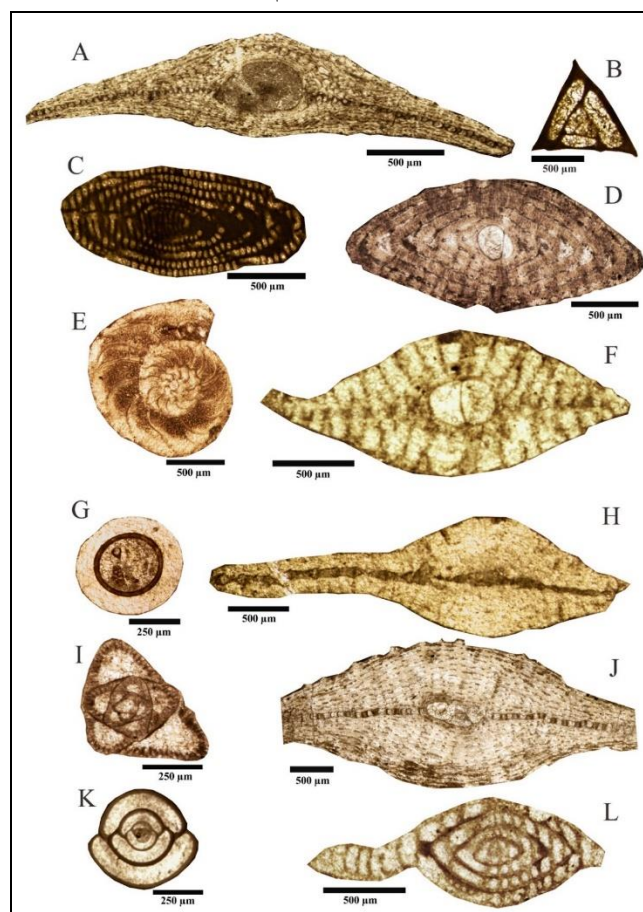
*Elphidium* sp., *Neorotalia viennotti*, *Amphistegina* sp., *Amphistegina lessonii*, *Pyrgo* sp., *Quinqueloculina* sp., *Peneroplis* sp., *Lepidocyclus* sp., *Operculina complanata*, *Heterostegina* sp., *Triloculina* sp., *Triloculina tricarinata*, *Austrotrillina asmariensis*, *Austrotrillina* sp., *Borelis pygmaea*, *Dendritina rangi*, *Eulepidina* sp., *Valvulinid* sp., *Peneroplis thomasi*, *Planorbulina* sp., *Discorbis* sp., *Haplophragmium* sp., *Bigenerina* sp., *Sphaerogypsina globulus*, *Ditrupa* sp., *Nephrolepidina* sp.

به همراه مجموعه فوق، فسیل‌های Textularids, Coralinacean و Ostracod نیز شناسایی گردید.

روزن‌داران کفزی زون تجمع ۲ می‌تواند با زون تجمع *Lepidocyclus-Operculina- Ditrupa assemblage zone* لارسن و همکاران [۳۴] و وم بوخن و همکاران [۵۸] تطابق داده شود که بیانگر سن روپلین- شاتین می‌باشد [۳۴ و ۵۸]. از آنجا که زون تجمع ۲ بر روی زون تجمع ۱ (به سن روپلین پسین) قرار دارد و مرز روپلین- شاتین با انقراض جنس *Nummulites* مشخص می‌شود [۲۱ و ۳۴ و ۵۸ و ۳۸]، بنابراین زون تجمع ۲ در برش قمصر نشان دهنده سن شاتین می‌باشند. زون تجمع ۲ با زون‌های تجمع SBZ 23 و SBZ 22B معرفی شده توسط کوزاک و پیگنات [۱۹] و زون زیستی *Lepidocyclus partial range zone* ارائه شده توسط محمدی [۳۷] تطابق داده شود که بیانگر سن شاتین می‌باشد. (شکل ۵).

Age	Epoch	Stage	Biozonations of Qom Formation (Mohammadi, 2022)	Biozonations of Cahuzac & Poignant (1997)
20	Miocene	Burdigalian	<i>Borelis melo curdica</i> Taxon range zone (5)	SBZ 25 <i>Borelis melo curdica</i> - <i>Miogypsina</i>
		Aquitanian	<i>Miogypsina</i> spp. Interval zone (4)	SBZ 24 <i>Austrotrillina howechni</i> <i>Miogypsina</i> - <i>M. dehaartii</i>
25	Oligocene	Chattian	<i>Lepidocyclina</i> partial range zone (3)	SBZ 23 <i>Miogypsinoides</i> <i>Eulepidina</i> SBZ 22B <i>Nummulites. vascus</i> - <i>Nummulites. fichteli</i> <i>Eulepidina</i>
30		Rupelian	<i>Lepidocyclina</i> - <i>Nummulites</i> Concurrent range zone (2) <i>Nummulites Fichteli/intermedius</i> , <i>Nummulites.</i> <i>Vascus</i> Interval zone (1)	SBZ 22A <i>Eulepidina formosoides</i> SBZ 21 <i>Nummulites. vascus</i> - <i>Nummulites. fichteli</i>

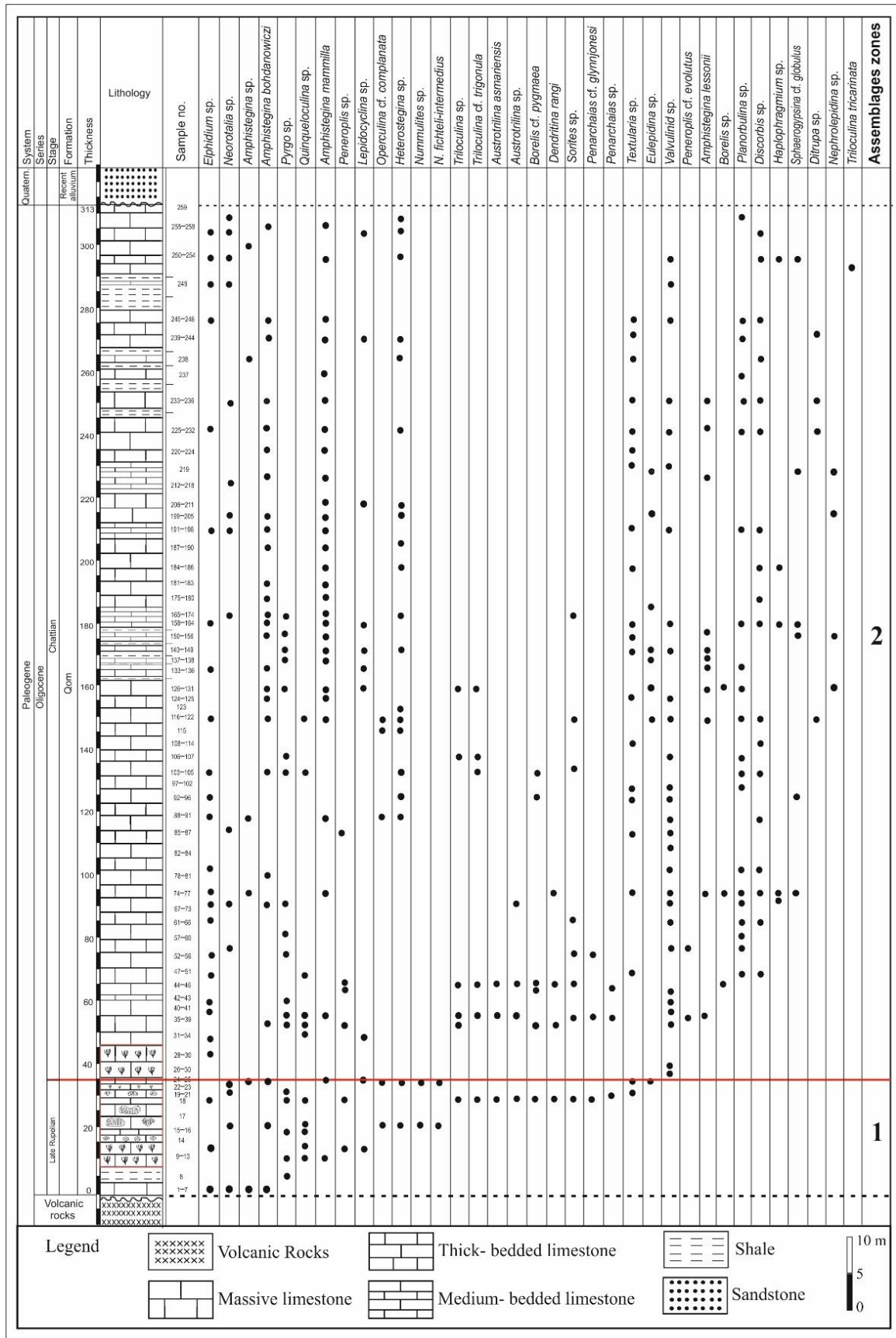
شکل ۵. زون بندی سازند قم [۳۷ و ۱۹].



شکل ۶. برخی از روزن داران سازند قم در برش مورد مطالعه.

A, J *Eulepidina* sp. (Sample No. 56) B *Triloculina tricarinata*. (Sample No. 38) C *Borelis* cf. *pygmaea*. (Sample No. 40) D *Nummulites fichteli/intermedius*. (Sample No. 87) E *Operculina complanata*. (Sample No. 87) F *Nephrolepidina* sp. (Sample No. 56) G *Ditrupea* sp. (Sample No. 240) H *Heterostegina* sp. (Sample No. 220) I *Austrotrillina asmariensis*. (Sample No. 34) K *Pyrgo* sp. (Sample No. 34) L *Penarchaias* cf. *glynjnonesi* (Sample No. 32).





شکل ۷. ستون زیست چینه نگاری سازند قم در برش قمصر (جنوب غرب کاشان).

### ۳-۴- شرایط پالئوآکولوژی

## ۴-۳-۱- مواد غذایی

از جمله فاکتورهایی است که توزیع و تنوع روزن داران کفزی را کنترل می کند، افزایش ورود مواد مغذی به محیط رسوب گذاری می باشد [۱۲]. با افزایش ورود مواد غذایی به محیط دریا موجودات فرصت طلب و مصرف کننده مواد غذایی افزایش یافته و روزن داران کفزی بزرگ دارای همزیست توان رقابت با این موجودات را ندارند و تعداد آنها کاهش پیدا می کند [۱۳]. کمبود مواد غذایی در دسترس روزن داران و دیگر موجودات موجود در دریا باعث می شود که روزن داران کفزی بزرگ و همچنین مرجان های دارای همزیست به حداکثر فراوانی خود برسند [۴۶].

فراوانی موجودات غیر وابسته به نور مانند miliolids گویای شرایط غذایی یوتروفی می باشند [۴۳ و ۱۳]. برخی از روزن داران پلانکتون در شرایط یوتروفی به حداکثر فراوانی می رسند [۱۳]. با توجه به حضور miliolids در ریزرخساره ۱ و حضور روزن داران پلانکتون در ریزرخساره های ۷ و ۸، این سه ریزرخساره در شرایط یوتروفی ته نشست شده اند (شکل های ۸ و ۱۲). حضور همزمان روزن داران کفزی بدون منفذ (مانند *Borelis* و *miliolids*، *Peneroplis*)، روزن داران کفزی منفذدار (*Amphistegina*، *Lepidocyclina* و *Neorotalia*)، کورال کورالیناسه آ در محیط رسوب گذاری، نشان دهنده شرایط الیگوتروفی تا مزوتروفی است [۳۱ و ۳۳ و ۴۵ و ۴۷]. در نتیجه ریزرخساره های ۲ و ۳ بیانگر شرایط الیگو-مزوتروفی می باشد. فراوانی روزن داران بتتیک بزرگ نشان دهنده شرایط کمبود مواد غذایی یا الیگوتروفیک در مناطق نزدیک استوا می باشد ولی در شرایط مزوتروفی نیز یافت می شوند [۴۳]. کلنی های مرجان ناپیوسته [۲۴] و حضور همزمان روزن داران منفذدار کفزی بزرگ (*Amphistegina* و *Neorotalia*، *Lepidocyclina*) همراه با خرده های جلبک corallinaceae و مرجان [۴۹ و ۱۸ و ۵۴] شرایط غذایی مزو- الیگوتروفی را نشان می دهند. بنابراین، ریزرخساره های ۴، ۵ و ۶ در شرایط مزو-الیگوتروفی ته نشست شده اند (شکل های ۸ و ۱۲).

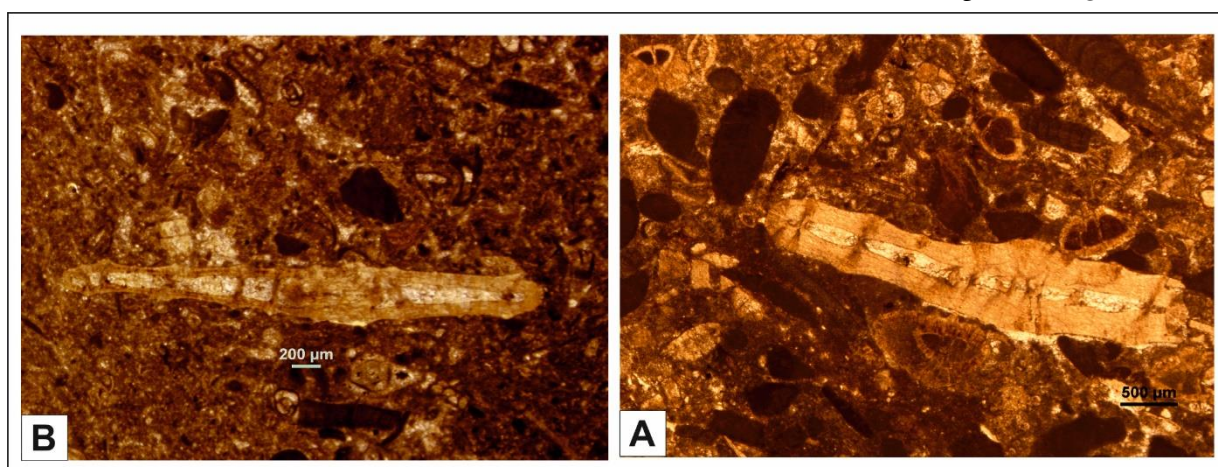


شکل ۸. ارتباط بین تغییر شرایط غذایی و توزیع و تنوع روزن داران در برش مورد مطالعه.

## ۴-۳-۲- نور

شدت نور در دسترس موجودات فتوسنتز کننده در محیط های دریایی توسط شفافیت و عمق آب دریا کنترل می شود [۳۰]. علاوه بر این شدت نور بر عمق زندگی روزن داران همزیست دار به شدت تاثیر گذاشته و همچنین بر توزیع جغرافیایی روزن داران کفزی بزرگ موثر است [۳۳ و ۵۰]. روزن داران بدون منفذ همزیست دار، small miliolids و همچنین *Amphistegina* با دیواره ضخیم در شرایط نوری یوفوتیک به فراوانی یافت می شوند [۴۷]. با توجه به حضور روزن داران بدون منفذ در ریزرخساره های ۱، ۲ و ۳، این سه ریزرخساره در محدوده زون یوفوتیک نهشته شده اند. مرجان و همچنین روزن داران بدون منفذ در شرایط یوفوتیک به حداکثر فراوانی می رسند [۵۱ و ۱۳ و ۴۷]. بنابراین؛ ریزرخساره ۴ به دلیل داشتن مرجان و روزن داران بدون منفذ در محدوده زون یوفوتیک ته نشین شده است (شکل های ۱۰ و ۱۲). فراوانی جلبک

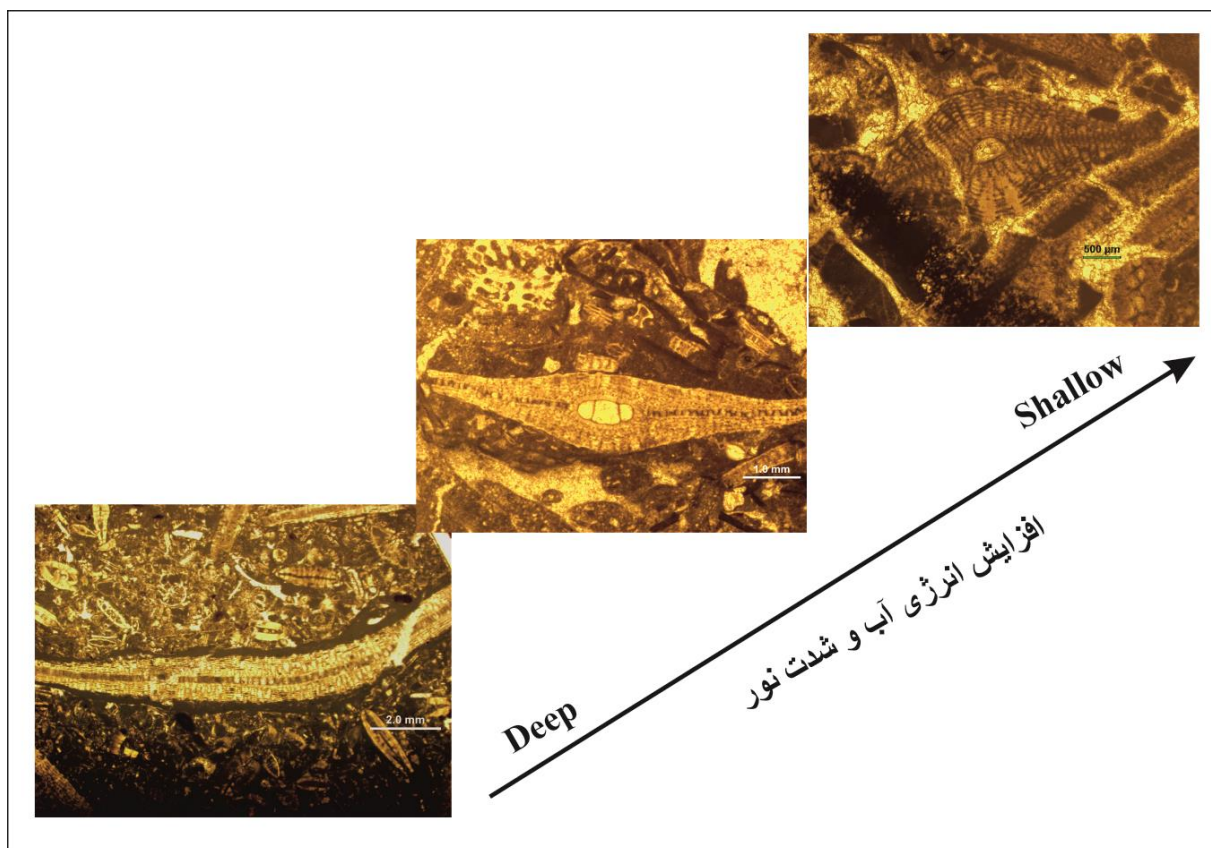
قرمز *corallinaceae* و مرجان در محیط نشان دهنده شرایط الیگوفوتیک تا مزوفوتیک است [۴۸]. حضور روزن‌داران منفذدار به همراه جلبک قرمز نشان دهنده شرایط الیگوفوتیک-مزوفوتیک در محیط است [۴۷ و ۴۸]. با توجه به حضور مرجان و جلبک قرمز *corallinaceae* در ریزرخساره ۵ و همچنین حضور همزمان جلبک قرمز *corallinaceae* و روزن‌داران منفذدار در ریزرخساره ۶، این دو ریزرخساره در محدوده زون الیگوفوتیک-مزوفوتیک نهشته شده اند. در شرایط نوری آفوتیک می‌توان روزن‌داران پلانکتون به همراه بریوزئر و *gastropods* را به فراوانی مشاهده کرد و در این شرایط نوری روزن‌داران بتتیک بزرگ و جلبک قرمز حضور ندارند [۱۶ و ۱۸]. پس، حضور روزن‌داران پلانکتون در ریزرخساره‌های ۷ و ۸ بیانگر ته‌نشینی این دو ریزرخساره در محدوده زون آفوتیک نهشته می‌باشد (شکل ۱۰ و ۱۲). در برش مورد مطالعه تغییر شکل پوسته با توجه به شدت نور در جنس *Operculina* مشاهده می‌شود. آنها در محیط کم عمق جهت محافظت از هم زیست خود در مقابل نور شدید و جلوگیری از تخریب پوسته در آب‌های آشفته، دارای دیواره نسبتاً ضخیم بوده ولی با افزایش عمق و کاهش نور، دیواره آن نازک می‌شود و در نواحی نسبتاً عمیق حالت کشیده تری از خود نشان می‌دهند (شکل ۹).



شکل ۹. A. *Operculina* با دیواره ضخیم، بیانگر عمق کم و افزایش شدت نور (در مقطع ۹۱) B. *Operculina* با دیواره نازک، بیانگر عمق زیاد و کاهش شدت نور (در مقطع ۲۴).

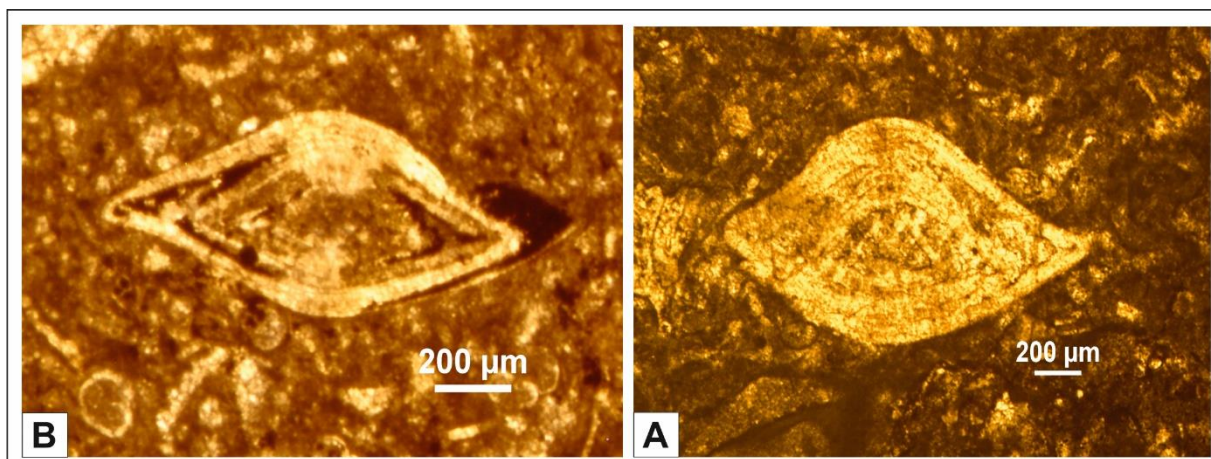
#### ۴-۳-۳- تحرک و انرژی هیدرودینامیکی در ارتباط با عمق

شکل ظاهری موجودات کف زی گویای انرژی محیط (کم یا پر انرژی) زندگی این جانوران است [۲۳] (شکل ۱۱). در محیط‌های کم عمق با تحرک و آشفتگی زیاد آب، روزن‌داران دارای پوسته ضخیم‌تر و اندازه صدف کوچک‌تر دارند. این در حالی است که با افزایش عمق به علت کاهش شدت نور و تحرک کم آب، این جانوران تغییر شکل داده و پوسته‌های نازک‌تر و کشیده‌تر دارند [۲۵]. از طرفی روزن‌داران همزیست‌دار نیز جهت حفاظت از جلبک همزیست در شدت نور بالا، پوسته ضخیم‌تری ایجاد می‌کند [۱۳].



شکل ۱۰. ارتباط بین تغییر شرایط نوری و عمق در برش مورد مطالعه.

در برش مورد مطالعه، جنس *Amphistegina* با پوسته لاملار و ضخیم و *Lepidocyclina* دارای صدف عدسی شکل و متورم نشان دهنده عمق کم و انرژی بیشتر محیط و *Lepidocyclina*، اپرکولینا و *Amphistegina* با پوسته های نازک، مسطح و کشیده بیانگر افزایش عمق و انرژی کمتر محیط می باشند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. A. *Amphistegina* با دیواره ضخیم و اندازه کوچک، بیانگر افزایش تحرک آب (در مقطع ۱۶) B. *Amphistegina* با دیواره نازک و اندازه بزرگ، بیانگر تحرک کم آب (در مقطع ۸۶)

#### ۴-۳-۴- مورفومتری *Amphistegina*

در اقیانوس های عهد حاضر و در مناطق کم عمق حاره ای و نیمه حاره ای *Amphistegina* به فراوانی یافت می شوند [۵۳].  
 هاینز معتقد بود که فاکتورهای محیطی تاثیرات فراوانی بر روی شکل روزن داران همزیست دار دارد [۲۸]. فاکتورهای مورفومتری جنس *Amphistegina* عبارتند از ضخامت پوسته (T)، قطر پوسته (D) و نسبت ضخامت به قطر پوسته (T/D)

[۲۶]. محققان برای شناسایی گونه‌های مختلف جنس *Amphistegina* از فاکتورهای مورفومتری کمک گرفته و براساس کارهای آماری و بایومتری این گونه‌ها را از یکدیگر تفکیک می‌نمایند [۲۲]. در مجموع ۱۸۶ نمونه *Amphistegina* در برش قمصر مورفومتری گردید و بر این اساس ۴ گونه *Amphistegina* در برش مورد مطالعه شناسایی شد [۵۳ و ۲۲]. نتایج تجزیه و تحلیل گونه‌های *Amphistegina* در جدول زیر آورده شده است (جدول ۱).

گونه	تعداد نمونه	میانگین ضخامت (T) mm	میانگین قطر (D) mm	حداقل نسبت T به D	حداکثر نسبت T به D
<i>Amphistegina bohdanowiczi</i>	84	0.65	1.4	0.31	0.62
<i>Amphistegina mammilla</i>	84	0.98	2.26	0.28	0.61
<i>Amphistegina lessonii</i>	17	0.44	0.82	0.36	0.62
<i>Amphistegina</i> sp.	1	1.3	1.7	0.76	0.76
مجموع	186	0.6	1.54	0.42	0.65

جدول ۱. اندازه گیری مورفومتریک نمونه‌های جنس *Amphistegina* در برش قمصر (جنوب غرب کاشان) [۵۳].

با استفاده مورفومتری جنس *Amphistegina* علاوه بر شناسایی گونه‌های آن، می‌توان عمق محیط رسوبی را شناسایی کرد [۳۶]. در جدول ۲ نسبت بین ضخامت به قطر جنس *Amphistegina* و عمق محیط رسوبی در ریزرخساره‌های موجود آورده شده است.

ریزرخساره	ضخامت (T) بر حسب mm	قطر (D) بر حسب mm	نسبت T به D (T/D) بر حسب mm	عمق
MF 1	0/65	1/25	0/52	<11 m
MF 2	0/6	1/2	0/5	12 m
MF 3	0/6	1/25	0/48	13 m
MF 4	0/65	1/6	0/4	19 m
MF 5	0/65	1/85	0/35	26 m
MF 6	0/7	2/1	0/33	29 m
MF 7	0/9	2/9	0/31	34 m
MF 8	0/6	2/1	0/28	44 m

جدول ۲. رابطه بین نسبت ضخامت به قطر جنس *Amphistegina* و عمق محیط رسوبی در برش قمصر (جنوب غرب کاشان) [۳۶].

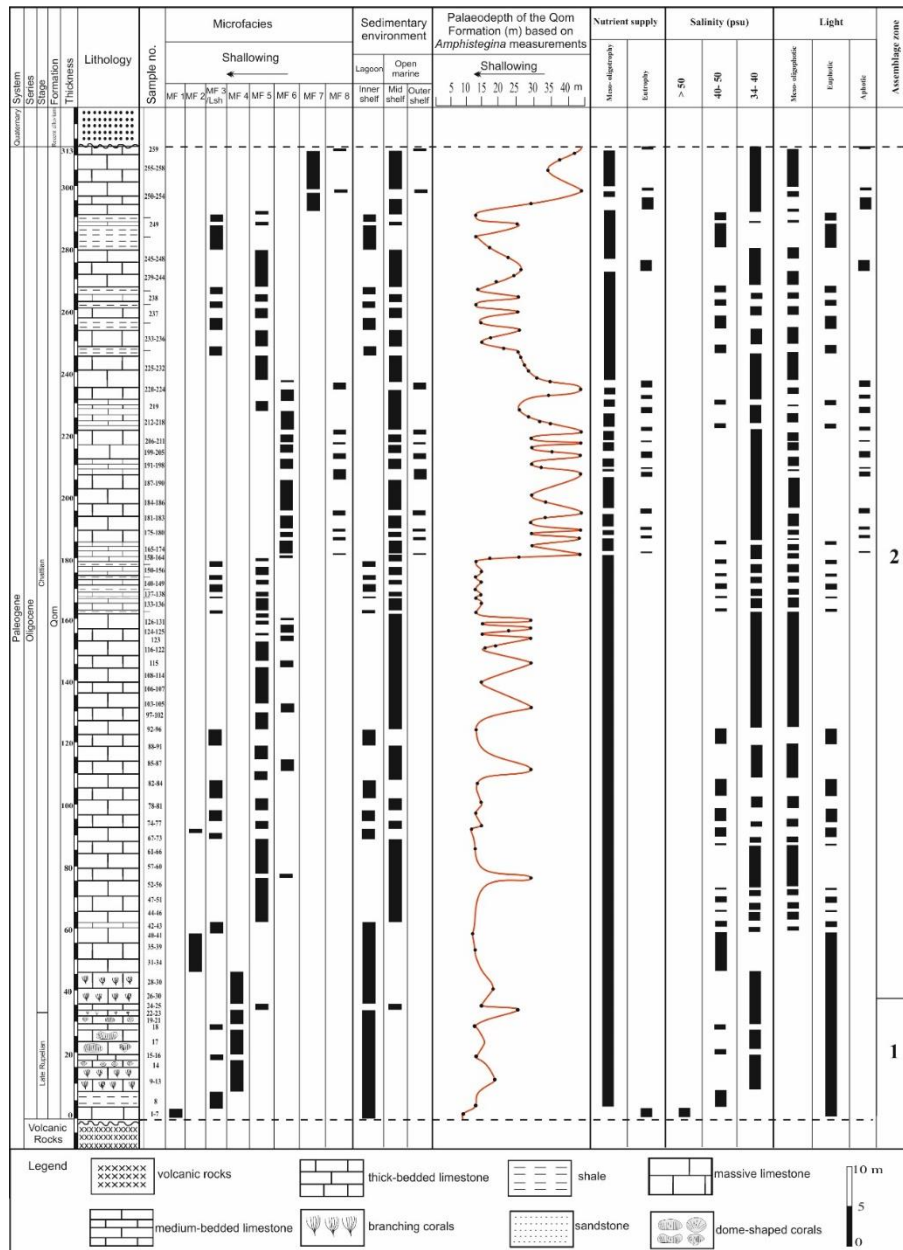
نتایج این مطالعه نشان داد که عمق آب دریای قم در برش قمصر، از کمتر از ۱۱ متر تا کمتر از ۴۴ متر متغیر بوده و در زمان شاتین عمق بیشتری داشته است (شکل ۱۲).

#### ۴-۳-۵-شوری

آب‌های با شوری بالا ( $> 50$  psu) حاوی مقادیر فراوانی از ذرات تخریبی مانند کوارتز و روزن‌داران بدون منفذ (مثل miliolids و خانواده پئروپلیده) هستند [۵۱ و ۱۷ و ۲۳]. بنابراین، حضور همزمان miliolids و خرده‌های کوارتز در ریزرخساره ۱، بیانگر ته‌نشینی این ریزرخساره در شرایط شوری بالای دریا می‌باشد. روزن‌داران منفذدار و بدون منفذ در لاگون نیمه محصور با شوری ۴۰-۵۰ psu یافت می‌شوند [۴۲]. در نتیجه؛ حضور روزن‌داران منفذدار در ریزرخساره ۲ و همچنین حضور همزمان روزن‌داران منفذدار و بدون منفذ در ریزرخساره ۳، شرایط شوری متوسط دریا (۴۰-۵۰ psu) را نشان می‌دهد (شکل ۱۲). به عقیده هوتینگر [۳۱] جلبک corallinaceae و مرجان در محیط با شوری ۴۰-۳۰ psu زندگی می‌کنند. بنابراین، ریزرخساره ۴ (کورال باندستون) و ۵ (بایوکلیست کورال کورالیناسه آ و کستون- پکستون) بیانگر رسوبگذاری در شرایط شوری نرمال دریا می‌باشند. حداکثر فراوانی روزن‌داران منفذدار (*Nummulites*, *Neorotalia*) و

*Amphistegina* را می توان در شوری ۳۰-۴۰ psu مشاهده کرد [۲۳ و ۴۲]. در نتیجه؛ ریزرخساره های ۶ و ۷ در شرایط شوری نرمال دریا (۳۰-۴۰ psu) ته نشست شده اند (شکل ۱۲).

با توجه به شرایط دیرینه بوم شناسی مطرح شده، در طی زمان روپلین پسین، شرایط نوری و غذایی به ترتیب یوفوتیک و ابتدا یوتروفی و سپس مزو-الیگوتروفی را نشان می دهد. در طی زمان شاتین، شرایط غذایی ابتدا مزوالیگوتروفی و سپس بین یوتروفی و مزو-الیگوتروفی در نوسان است. شرایط نوری نیز بین یوفوتیک، مزو-الیگوتروفی و آفوتیک متغیر می باشد. در طی زمان های روپلین پسین و شاتین، شرایط شوری غالباً بین شوری نرمال دریایی و ۵۰-۴۰ psu در نوسان می باشد (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. پراکندگی ریزرخساره ها و تغییرات عمودی شرایط بوم شناسی دیرینه سازند قم در برش مورد مطالعه.

## ۵- نتیجه گیری

سازند قم در برش قمصر (جنوب غرب کاشان) دارای ۳۱۳ متر ضخامت و شامل ۲۱ جنس و ۳۵ گونه از روزن‌داران کفزی می‌باشد. براساس پراکندگی و فراوانی جنس و گونه‌های شناسائی شده، دو زون تجمعی تشخیص داده شد. زون تجمعی ۱ با زون زیستی شماره ۲ *Lepidocyclina-Nummulites concurrent range zone* معرفی شده توسط محمدی [۳۷] تطابق داشته و بیانگر سن روپلین پسین می‌باشد. زون تجمعی ۲ با زون *Lepidocyclina partial range zone* ارائه شده توسط محمدی [۳۷] تطابق داشته و نشان دهنده زمان شاتین می‌باشند. از قاعده برش قمصر (روپلین پسین)، شرایط نوری یوفوتیک، شرایط غذایی ابتدا یوتروفی و سپس مزو-الیگوتروفی با شوری نرمال دریایی و ۵۰-۴۰ psu می‌باشد. در طی زمان شاتین، شرایط غذایی ابتدا مزو-الیگوتروفی و سپس بین یوتروفی و مزو-الیگوتروفی متغیر است. شرایط نوری نیز بین یوفوتیک، مزو-الیگوفوتیک و آفوتیک متغیر می‌باشد. همچنین شرایط شوری در طی شاتین عمدتاً بین شوری نرمال دریایی و ۵۰-۴۰ psu در نوسان است. در برش مورد مطالعه، با کاهش عمق و افزایش شدت نور و تحرک آب، روزن‌داران کفزی بزرگ با همزیست جلبکی، دارای پوسته‌های ضخیم‌تر و اندازه صدف کوچک‌تر و با افزایش عمق، به علت کاهش شدت نور و انرژی کم آب، دارای پوسته‌های نازک‌تر و کشیده‌تر می‌باشند. بررسی مورفومتری ۱۸۶ نمونه *Amphistegina* نشان می‌دهد که عمق دریای قم در برش قمصر (روپلین پسین-شاتین) از کمتر از ۱۱ متر تا کمتر از ۴۴ متر در نوسان بوده و در طی زمان شاتین عمق بیشتری داشته است.

## سپاس و قدردانی

از دانشگاه اصفهان جهت تأمین هزینه‌های این تحقیق، قدردانی می‌شود. همچنین از داوران مقاله آقایان دکتر ابراهیم محمدی (استادیار دانشگاه دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان) و دکتر حسین قنبرلو (فارغ التحصیل دکتری دانشگاه اصفهان) و خانم دکتر مهناز امیرشاهکرمی (استادیار دانشگاه پیام نور اصفهان) تشکر و قدردانی می‌گردد.

## منابع

- [۱] آقائاتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران: سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- [۲] بهفروزی، ا. صفری، ا. وزیری مقدم، ح. ۱۳۸۸. بررسی ریز رخساره‌ها و تفسیر محیط رسوبی سازند قم در منطقه چنار (شمال غرب کاشان)، رخساره‌های رسوبی، جلد ۲، شماره ۲، ص ۱۴۳-۱۵۲.
- [۳] پرن‌آور، م. هادوی، ف. آقائاتی، س. ع. ۱۴۰۱. زیست چینه نگاری نهشته های دریایی الیگو-میوسن حوضه ایران مرکزی برمبنای نانو پلانکتون‌های آهکی، اقیانوس شناسی، شماره ۵۱، ص ۱۳-۲۴.
- [۴] دانشیان، ج. درخشانی، م. ۱۴۰۱. نقش فسیل‌ها در مطالعات ریز رخساره‌ها و تشخیص مرزهای سکانشی سازند قم: یک مطالعه موردی در برش قصر بهرام، شمال غرب سیاه کوه، جنوب گرمسار، پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی، شماره ۳۸، ص ۹۵-۱۱۸.
- [۵] محمدی، ا. ۱۴۰۰. مورفولوژی‌های فرامینفری سازند قم در شرق سیرجان و جنوب غربی کاشان: کاربرد آنها در تفاسیر دیرینه محیطی و پالئوآکولوژیکی، نشریه علمی-پژوهشی زمین شناسی نفت ایران، سال دهم، شماره ۱۹، ص ۸۲-۹۴.
- [۶] محمدی، ا. حسنی، م. ج. ۱۴۰۰. دیرینه بوم‌شناسی استراکودهای سازند قم در خاور سیرجان و جنوب باختری کاشان (حوضه پیش کمان سنندج-سیرجان)، علوم زمین، شماره ۲، ص ۶۵-۷۸.

- [۷] محمدی، ا. صفری، ا. وزیری مقدم، ح. محمدی منفرد، م. ۱۳۸۸. بررسی ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی سازند قم در ناحیه جزه (جنوب کاشان)، رخساره‌های رسوبی، جلد ۲، شماره ۱، ص ۸۱-۹۴.
- [۸] زینب منوچهری، ز. محتاط، ط. آقانباتی، س.ع. خلعت بری جعفری، م. وکیل باغمیشه، ف. ۱۴۰۰. زیست چینه نگاری و سنگ چینه نگاری نهشته‌های سازند قم در برش تاقدیس نواب (جنوب خاور کاشان)، فصلنامه علمی علوم زمین، شماره ۳، ص ۱۴۵-۱۵۶.
- [۹] مهیاد، م. صفری، ا. وزیری مقدم، ح. صیرفیان، ع. ۱۳۹۷. بازسازی شرایط محیط رسوبی دیرینه و شناسایی سکانس های رسوبی موجود در سازند قم براساس میکروفاسیس‌ها در ناحیه کهک (جنوب غرب قم)، نشریه علمی- پژوهشی زمین شناسی نفت ایران، شماره ۱۵، ص ۳۲-۴۸.

[۱۰] ADAMS, T.D. and BOURGEOIS, F., 1967, Asmari biostratigraphy: *Iranian Oil*

*Operating Companies. Geological and Exploration Division. Report 1074: 59.*

[۱۱] AMIDI, S.M. and ZAHEDI, M., 1991, *Geological quadrangle map of Iran no. F7 (Kashan), Scale 1:250000.*

[۱۲] AMAO, A.O., KAMINSKI, M.A. ROSTAMI, M.A., GHARAIE, M.H.M., LAK, R. and FRONTALINI, F., 2019, Distribution of benthic foraminifera along the Iranian coast: *Marine Biodiversity. 49: 933-946.*

[۱۳] BEAVINGTON-PENNEY, S.J. & RACEY, A., 2004, Ecology of extant nummulitids and other larger benthic foraminifera: applications in palaeoenvironmental analysis: *Earth-Science Reviews, 67: 219-265.*

[۱۴] BERBERIAN, M. & KING, G.C.P., 1981, Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences: 18: 210-265*

[۱۵] BOZORGNIA, F., 1966. Qum formation stratigraphy of the Central Basin of Iran and its intercontinental position: *Bulletin of the Iranian Petroleum Institute, 24: 69-76.*

[۱۶] BRANDANO, M. and CORDA, L., 2002, Nutrients, sea level and tectonics: constrains for the facies architecture of a Miocene carbonate ramp in central Italy: *Terra Nova, 14: 257-262.*

[۱۷] BRANDANO, M., FREZZA, V., TOMASSETTI, L. and PEDLEY, M., 2009, Facies analysis paleoenvironmental interpretation of the Late Oligocene Attard Member (Lower Corallie Limestone Formation), Malta: *Sedimentology, 26: 1138-1158.*

[۱۸] BRANDANO, M., CORNACCHIA, I., RFFI, I. and TOMASSETTI, L., 2016, The Oligocene-Miocene stratigraphic evolution of the Majella carbonate platform (Central Apennines, Italy): *Sedimentary Geology, 333: 1-14.*

[۱۹] CAHUZAC, B. and PPIGNANT, A., 1997, Essai de biozonation de l'Oligo-Miocene dans les bassins europeens a l'aide des grands foraminiferes neritiques: *Bulletin de la Société géologique de France. 168: 155-169.*

[۲۰] DANESHIAN, J. and RAMEZANI-DANA, L., 2007, Early Miocene benthic foraminifera and biostratigraphy of the Qom Formation, Deh Namak, Central Iran: *Journal of Asian Earth Science. 29: 844-858.*

[۲۱] EHRENBERG, S.N., PICARD, N.A.H., LAURSEN, G.V., MONIBI, S., MOSSADEGH, Z.K., SVANA, T.A., AQRAWI, A.A.M., MCARTHUR, J.M. and



- THIRLWALL, M.F., 2007, Strontium isotope stratigraphy of the Asmari Formation (Oligocene–Lower Miocene), SW Iran: *Journal of Petroleum Geology*, **30**: 107-128.
- [۲۲] FERRANDEZ-CANADELL, C. and T. BOVER-ARNAL, 2017, Late Chattian larger foraminifera from the prebetic domain (se Spain): new data on shallow benthic zone 23: *Palaios*, **32**: 83-109.
- [۲۳] FLUGEL, E., 2010, Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application: Berlin, *Springer- Verlag*. 984.
- [۲۴] HALFAR, J., GODINEZ-ORTA, L., MUTTI, M., VALDEZ-HOLGUÍN, J.E. and BORGES, J.M., 2004, Nutrient and temperature controls on modern carbonate production: an example from the Gulf of California, Mexico: *Geology*, **32**: 213-216.
- [۲۵] HALLOCK, P., and GLENN, E. C., 1986, Numerical analysis of foraminiferal assemblages: A tool for recognizing depositional facies in Lower Miocene reef complexes: *Journal of Paleontology*, 1382-1394.
- [۲۶] HALLOCK, P., FORWARD, L. B. and HANSEN, H. J., 1986, Influence of environment on the test shape of *Amphistegina*: *Journal of Foraminiferal Research*, **16**: 224-231.
- [۲۷] HARZHAUSER, M. and PILLER, W.E., 2007, Benchmark data of a changing sea-palaeogeography, palaeobiogeography and events in the Central Paratethys during the Miocene: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **253**: 8-31.
- [۲۸] HAYNES, J., 1965, Symbiosis, wall structure and habitat in foraminifera: Contributions from the *Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, **16**: 40-43.
- [۲۹] HEYDARI, E., 2008, Tectonics versus eustatic control on supersequences of the Zagros Mountains of Iran: *Tectonophysics*, **451**: 56-70.
- [۳۰] HOTTINGER, L., 1997, Shallow benthic foraminiferal assemblage as signals for depth of their deposition and their limestones: *Society Geology France Bulletin*. **168**: 491-505.
- [۳۱] HOTTINGER, L., 2000, Functional Morphology of Benthic Foraminiferal Shells, Envelopes of Cells beyond Measure: *Micropaleontology*, **46**: 57–86.
- [۳۲] KASHFI, M.S., 1988, Evidence for non-collision geology in the Middle East. *Journal of Petroleum Geology*: **11**: 443-460.
- [۳۳] LANGER, M.R. and HOTTINGER, L., 2000, Biogeography of selected “larger” foraminifera. *Micropaleontology*, **46**: 105-126.
- [۳۴] LAURSEN, G.V., MONIBI, S., ALLAN, T.L., PICKARD, N.A., HOSSEINEY, A., VINCENT, B., HAMON, Y., VAN-BUCHEM, F.S.P., MOALLEMI, A. and DRUILLION, G., 2009, The Asmari Formation revisited: Changed stratigraphic allocation and new biozonation: *First International Petroleum Conference and Exhibition*. Iran B 19.
- [۳۵] LOEBLICH, A.R. and TAPPAN, J.H., 1987, Foraminiferal genera and their classification: Van Nostrand Reinhold. 970.
- [۳۶] MATEU-VICENS, G., HALLOCK, P. and BRANDANO, M., 2009, A depositional model and paleoecological reconstruction of the Lower Tortonian distally steepend ramp of Menorca. *Palaios*, **23**, 465-481.
- [۳۷] MOHAMMADI, E., 2023, Foraminiferal biozonation, biostratigraphy and trans-basinal correlation of the Oligo-Miocene Qom Formation, Iran (northeastern margin of the Tethyan Seaway): *Palaeoworld*, **32**: 156-173.

- [۳۸] MOHAMMADI, E. and AMERI, H., 2015, Biotic components and biostratigraphy of the Qom Formation in northern Abadeh, Sanandaj–Sirjan forearc basin, Iran (northeastern margin of the Tethyan Seaway): *Arabian Journal of Geosciences*, **8**: 10789–10802
- [۳۹] MOHAMMADI, E., SAFARI, A., VAZIRI-MOGHADAM, H., VAZIRI, M. and GHAEDI, M., 2011, Microfacies analysis and paleoenvironmental interpretation of the Qom Formation, South of the Kashan, Central Iran: *Carbonates and Evaporites*, **26**: 255–271.
- [۴۰] MOHAMMADI, E., HASANZADEH-DASTGERDI, M., GHAEDI, M., DEGHAN, R., SAFARI, A., VAZIRI-MOGHADAM, H., BAIZIDI, C., VAZIRI, M.R. and SFIDARI, E., 2013, The Tethyan Seaway Iranian Plate Oligo-Miocene deposits (the Qom Formation): distribution of Rupelian (Early Oligocene) and evaporate deposits as evidences for timing and trending of opening and closure of the Tethyan Seaway: *Carbonates and Evaporites*, **28**: 321-345.
- [۴۱] MOHAMMADI, E., HASANZADEH-DASTGERDI, SAFARI, A., VAZIRI-MOGHADAM, H., 2019, Microfacies and depositional environments of the Qom Formation in Barzok area, SW Kashan, Iran: *Carbonates and Evaporites*, **34**: 1293–1306
- [۴۲] MOSSADEGH, Z.K., HAIG, D.W., ALLAN, T., HDABI, M.H. and SADEGHI A., 2009, Salinity changes during late Oligocene to early Miocene Asmari Formation deposition, Zagros Mountains. Iran: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **272**: 17–36.
- [۴۳] MUTTI, M. and HALLOCK, P., 2003, Carbonate system nutrient and temperature gradients: some sedimentological and geochemical constraints: *International Journal of Earth Science*. **92**: 465-475.
- [۴۴] NADIMI, A., 2007, Evolution of the Central Iranian basement: *Gondwana Research*, **12**: 324-333.
- [۴۵] PAYROS, A., PUJALTE, V., TOSQUELLA J. and ORUE-ETXEBARRIA, X., 2010, The Eocene storm-dominated foralgal ramp of the western Pyrenees (Urbasa-Andia Formation): An analogue of future shallow-marine carbonate systems: *Sedimentary Geology*, **228**: 184-204.
- [۴۶] POMAR, L. and HALLOCK, P., 2008: Carbonate factories: A conundrum in sedimentary geology: *Earth-Science Reviews*. **87**: 134-168.
- [۴۷] POMAR, L., MATEU-VICENS, G., MORSILLI, M. and BRANDANO, M., 2014, Carbonate ramp evolution during the Late Oligocene (Chattian), Salento Peninsula, southern Italy: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **404**: 109-132.
- [۴۸] POMAR, L., BACETA, J.I., HALLOCK, P., MATEU-VICENS, G. and BASSO, D., 2017, Reef building and carbonate production modes in the west-central Tethys during the Cenozoic: *Marine and Petroleum Geology*, **83**: 261-304.
- [۴۹] QUARANTA, F., TOMASSETTI, L., VANNUCCI, G. and BRANDANO, M., 2012, Coralline algae as environmental indicators: a case study from the Attard member (Chattian, Malta): *Geodiversitas*. **34**: 151–166.
- [۵۰] RENEMA, W., 2019, Large Benthic Foraminifera in Low-Light Environments, In: Loya Y., Puglise, K., Bridge, T., eds., Mesophotic Coral Ecosystems: *Coral Reefs of the World*. **12**: 553-561.

- [۵۱] ROMERO, J., CAUS, E. and ROSELL, J., 2002, A model for the palaeoenvironmental distribution of larger foraminifera based on late Middle Eocene deposits on the margin of the South Pyrenean basin (NE Spain): *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **179**: 43-56.
- [۵۲] REUTER, M., PILLER, W.E., HARZHAUSER, M., MANDIC, O., BERNING, B., RÖGL, F., KROH, A., AUBRY, M.P., WIELANDT-SCHUSTER, U. and HAMEDANI, A., 2009, The Oligo-/Miocene Qom Formation (Iran): evidence for an early Burdigalian restriction of the Tethyan Seaway and closure of its Iranian gateways: *International Journal of Earth Sciences*, **98**: 627-650.
- [۵۳] RÖGL, F. and BRANDSTÄTTER, F., 1993, The foraminifera genus *Amphistegina* in the Korytnica Clays (Holy Cross Mts, Central Poland) and its significance in the Miocene of the Paratethys: *Acta Geologica Polonica*. **43**: 121-146.
- [۵۴] SARKAR, S., 2017, Microfacies analysis of larger benthic foraminifera-dominated Middle Eocene carbonates: a palaeoenvironmental case study from Meghalaya, NE India (Eastern Tethys): *Arabian Journal of Geosciences*, **5**: 1-13.
- [۵۵] SCHUSTER, F. and WIELANDT, U., 1999, Oligocene and Early Miocene coral faunas from Iran. palaeoecology and palaeobiogeography: *International Journal of Earth Sciences*, **88**: 571-581.
- [۵۶] STOCKLIN, J., 1952, Stratigraphical investigation in the Qom-Arak-Gulpaigan-Delijan area. *Iran Oil Company*. Report, no. 95.
- [۵۷] STOCKLIN, J. and SETUDEHNIA, A., 1991, Stratigraphic Lexicon of Iran: *Geological Survey of Iran Publication*, Report **18**: 1-376.
- [۵۸] VAN BUCHEM, F.S.P., ALLAN, T.L., LAURSEN, G.V., LOTFPOUR, M., MOALLEMI, A., MONIBI, S., MOTIEI, H., PICKARD, N.A.H., TAHMASBI, A.R., VEDRENNE, V. and VINCENT, B., 2010, Regional stratigraphic architecture and reservoir types of the Oligo-Miocene deposits in the Dezful Embayment (Asmari and Pabdeh Formations), SW Iran: *Geological Society of London Special Publications*, **32**: 219-263.

## تحلیل کرنش و کوتاه شدگی در افق آسماری، میدان نفتی کوپال، استان خوزستان

بابک سامانی<sup>۱\*</sup>، مینا پروین<sup>۲</sup>، عباس چرچی<sup>۳</sup>، محمدحسین حیدری فرد<sup>۴</sup>

۱- دانشیار، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳- استادیار، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۴- استادیار، شرکت ملی مناطق نفت خیر جنوب، اهواز، ایران

\* [b.samani@scu.ac.ir](mailto:b.samani@scu.ac.ir)

دریافت اردیبهشت ۱۴۰۳، پذیرش تیر ۱۴۰۳

### چکیده:

میدان نفتی کوپال یکی از میدان های نفتی مهم در حوضه زاگرس است، که در بخش خاوری منطقه ساختاری فروافتادگی دزفول، در مجاورت میدان نفتی آغاجاری و میدان نفتی مارون قرار دارد. با استفاده از مقاطع لرزه ای تفسیر شده و بررسی سیمای چین خورده افق آسماری، برخی ویژگیهای عناصر چین، همچون مقادیر زاویه بین یالی و خصوصیات سطح محوری تعیین گردید. براساس میزان انحراف سطح محوری از سطح قائم و تعیین مقادیر زاویه برش و کرنش برشی، مقادیر مربع کشیدگی حداقل و حداکثر و نسبت کرنش (R) در بخش های مختلف تاقدیس محاسبه گردید. با استفاده از توابع تصویری مقادیر نسبت ابعادی چین در بخش های مختلف تاقدیس تعیین گردید. براساس نتایج، مقادیر کرنش برشی از ۰/۰۱ تا ۰/۰۹ در بخش های مختلف تاقدیس متغییر است. همچنین نتایج نشان دهنده دامنه تغییرات نسبت کرنش در محدوده ۱/۲۵ تا ۱/۳۸ و مقادیر کوتاه شدگی بین ۵ تا ۱۷ درصد در بخش های مختلف تاقدیس می باشد.

واژه های کلیدی: فروافتادگی دزفول، میدان نفتی کوپال، نسبت ابعادی چین، نسبت کرنش، کوتاه شدگی

## ۱ - مقدمه:

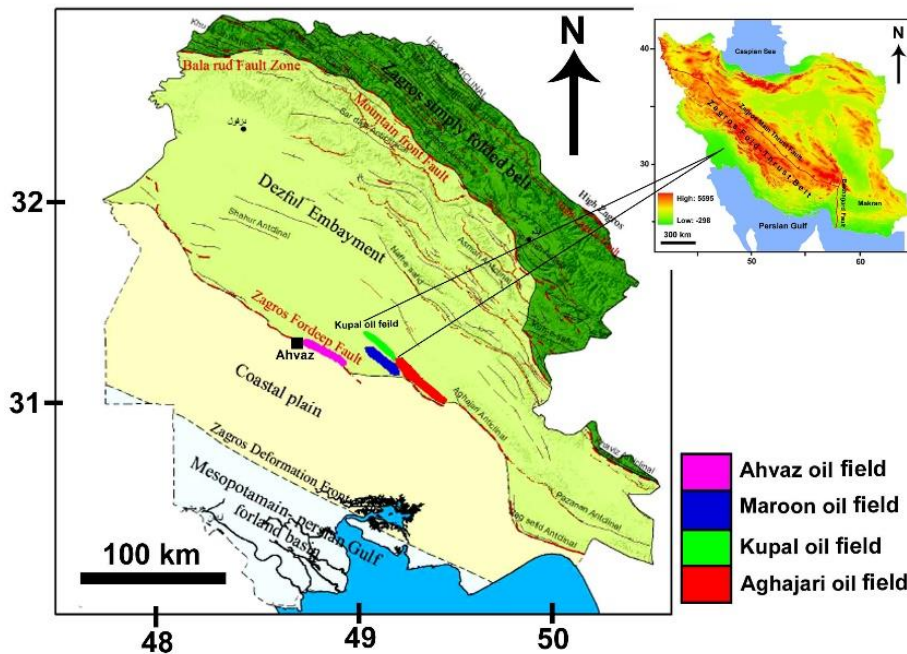
ارزیابی کمی کرنش و تعیین پارامترهای مختلف کرنش در مناطق دگرشکل شده طبیعی یکی از موضوعات با اهمیت جهت فهم ماهیت کرنش در بخش‌های مختلف پوسته زمین می‌باشد. با استفاده از داده‌های قابل برداشت در صحرا و به کارگیری برخی از روش‌های ارائه شده توسط محققین زمین شناس، تحلیل کمی کرنش در مناطق دگرشکل شده امکان پذیر خواهد بود. به طور کلی سه رویکرد کاملاً متفاوت برای ارزیابی کرنش وجود دارد [۱۸]. نخستین و رایج ترین شیوه، اندازه گیری بیضوی های کرنش با به کارگیری نشانگرهای کرنش در یک پهنه دگرشکل شده است. دومین روش برآورد کل کوتاه شدگی و طولیل شدگی با استفاده از بررسی هندسی چین‌ها و گسل‌ها می‌باشد. سومین روش که از برخی جهات ساده ترین و سریع ترین روش نیز است بر این فرض استوار است که کرنش در مقیاس بزرگ عموماً همگن بوده و نظم هندسی تمام عناصر در سراسر ناحیه بازتابی از جهت و اندازه نسبی محورهای کرنش است. از آنجا که زمین شناسان همواره با آخرین محصولات دگرشکلی در پوسته زمین مواجه هستند از این رو قادر به انجام تحلیل‌های کرنش نهایی (Finite strain) در سیماهای ساختاری یا سنگ‌های دگرشکل شده خواهند بود [۱۸، ۱۹، ۲۱]. در مطالعات کرنش نهایی محصول نهایی دگرشکلی مورد بررسی قرار گرفته و مقادیر کمی کرنش در آخرین مرحله دگرشکلی مورد تحلیل قرار خواهد گرفت. در صورتیکه زمین شناسان نیاز داشته باشند تا تغییرات مقادیر کرنش پیشرونده (Incremental Strain) در هر لحظه از زمان در بخش‌های مختلف یک ساختار را مورد بررسی قرار دهند استفاده از مدل سازیهای آزمایشگاهی و عددی امری اجتناب ناپذیر خواهد بود [۱۸]. در انجام تحلیل‌های عددی کرنش، یافتن عناصری که بتوان از آنها بعنوان نشانگر در اندازه گیری کرنش استفاده نمود بسیار حائز اهمیت است. تاکنون روشهای متعددی بوسیله محققین مختلف جهت برآورد مقادیر کرنش در سنگهای دگرریخت شده ارائه شده است. معمولاً مطالعات دو بعدی کرنش می‌تواند به درک ویژگیهای بیضوی کرنش در سه بعد کمک نمایند. روشهای ریاضی مختلفی جهت درک ماهیت سه بعدی کرنش از طریق بررسیهای دو بعدی کرنش توسط محققین مختلف ارائه شده است [۱۸]. در مطالعات تحلیل کرنش، استفاده از توابع ریاضی امری متداول جهت برآورد مقادیر عددی کرنش می‌باشد. از آنجا که استفاده از برخی روابط و توابع ریاضی بسیار دشوار و نیازمند مهارت ریاضی و صرف زمان زیادی می‌باشد در دهه‌های اخیر استفاده از توابع تصویری (Nomograms) به عنوان روشی سریع و ساده در تحلیل‌های کرنش مورد استفاده بسیاری از محققین زمین شناسی قرار گرفته است [۱۸، ۲۲، ۱۳، ۱۱]. نمایش معادلات ریاضی به صورت نمودارهای تصویری را نمودگرام یا توابع تصویری می‌نامند. این توابع تصویری امروزه مورد استفاده بسیاری از محققین قرار می‌گیرد و به آنها کمک می‌کند تا بدون استفاده از توابع پیچیده ریاضی با استفاده از برخی پارامترهای معلوم پارامترهای مجهول دیگری را از روی توابع تصویری تعیین نمایند. تاکنون مطالعات متعددی جهت برآورد مقادیر کرنش و میزان کوتاه‌شدگی در کوهزادهای مختلف، در سرتاسر جهان صورت پذیرفته است. در این مطالعات از روشهای مختلفی همچون استفاده از مقاطع عرضی موازنه شده و به کارگیری نشانگرهای مختلف کرنش در مقیاس میکروسکوپی و مزوسکوپی استفاده شده است [۴، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۶، ۱۷، ۲۷]. [۲۷] با استفاده از مقاطع عرضی متعادل شده در کمربند راندگی بین کراتونی مرکز استرالیا میزان ۵۰ تا ۷۰ درصد کوتاه‌شدگی برای این منطقه تعیین نمود. [۸] در مطالعات صورت گرفته در کمربند چین-راندگی پیش بوم جنوب اورال مقدار کوتاه شدگی را معادل ۱۷ درصد محاسبه نمودند. [۹] در مطالعات صورت گرفته در ناحیه خارجی پیش بوم کوهزاد پیرنه میزان کوتاه‌شدگی را ۲۵ تا ۳۴ درصد تعیین نمودند. مطالعات صورت گرفته در پهنه زاگرس مرتفع و کمربند چین خورده-گسلی کردستان عراق میزان کوتاه شدگی در حدود ۱۱ تا ۱۵ درصد برآورد گردید [۱۰]. مطالعات انجام شده بر روی تاقدیس‌های بخیر و قره چوق در عراق میزان کوتاه‌شدگی را بترتیب ۲۶/۱ و ۱۸/۷ درصد نشان می‌دهد [۴]. در ناحیه زاگرس لرستان، میزان کوتاه‌شدگی در حدود

۲۵ درصد برآورد شده است [۷]. در ناحیه فروافتادگی دزفول و پهنه ایذه میزان کوتاه‌شدگی ۱۳ درصد برآورد گردید [۲۷]. در ناحیه کمربند زاگرس چین‌خورده ساده (در شمال بندرعباس) مقادیر کوتاه‌شدگی معادل ۲۲ درصد محاسبه شد [۱۷]. در کمربند چین‌خورده - رانده زاگرس کمینه کوتاه‌شدگی با استفاده از بررسی مقاطع عرضی موازنه شده بین ۱۶ تا ۳۰ درصد تعیین گردید [۳]. تعیین مقادیر کوتاه‌شدگی با استفاده از مقاطع عرضی موازنه شده دارای محدودیت‌هایی است که ممکن است مقادیر محاسبه کوتاه‌شدگی مقادیری واقعی نباشند [۱۰]. تهیه مقاطع عرضی موازنه شده مستلزم تهیه نیمرخ-های زمین‌شناسی با دقت بالا بوده و با توجه به عدم وجود هماهنگی هندسی و تشابه ساختاری از سطح به عمق معمولا تهیه مقاطع عرضی موازنه شده دچار چالش می‌شود [۱۰]. مقاطع عرضی موازنه شده توانایی محاسبه کرنش پیکری در لایه‌های دگرشکل شده را نداشته و از این رو می‌توان اذعان داشت که مقادیر کوتاه‌شدگی محاسبه شده از طریق ترسیم مقاطع موازنه شده همواره نشان دهنده مقادیر کمینه کوتاه‌شدگی می‌باشد [۱۰، ۱۶]. در این مطالعه با استفاده از مقاطع لرزه‌ای عمود بر محور تاقدیس میدان نفتی کویال به تحلیل سبک چین‌خوردگی و تحلیل مقادیر کرنش و کوتاه‌شدگی در بخش‌های مختلف افق آسماری در این ساختار تاقدیسی پرداخته شده است. با توجه به هزینه بر و زمان بر بودن روش‌های ژئوفیزیکی جهت تشخیص مناطق با تخلخل شکستگی بالا و از آنجا که مناطق با کرنش و مقادیر کوتاه‌شدگی بالا عموماً دارای تراکم درزه و شکستگی بیشتری هستند از این رو استفاده از ویژگی‌های ساختاری میادین تاقدیسی جهت تشخیص مناطق با کرنش بالا می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد.

## ۲- زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه

زاگرس یک منطقه دگرشکل شده خطی است [۱، ۲، ۵، ۶] که در راستای شمال خاور به جنوب باختر شامل سه بخش اصلی: کمربند ماگمایی ارومیه دختر، کمربند دگرگونی سندانج-سیرجان، و کمربند چین و رانده زاگرس با روند عمومی شمال باختر- جنوب خاور می‌باشد [۱، ۲]. ستون چینه‌شناسی زاگرس حدوداً شامل ۱۲ کیلومتر واحدهای سنگی فانروزوئیک بوده که بر روی پی سنگ پرکامبرین قرار گرفته است [۱، ۲، ۴، ۲۴، ۲۵، ۲۶]. این واحدهای سنگی تاریخچه پیچیده زمین‌ساختی این منطقه را در خود حفظ کرده و معرف تمام مراحل تکامل یک حوضه از فلات قاره غیرفعال تا کافت و در نهایت مراحل مختلف تغییر شکل در ارتباط با فرارانش افیولیت‌ها و برخورد قاره‌ای است [۲۴، ۲۵]. تکامل ساختاری و زمین‌ساختی کمربند کوهزایی زاگرس در نتیجه سه رخداد اصلی (آ) فرورانش پوسته اقیانوسی دریای تتیس جوان به زیر پوسته قاره‌ای ایران در طول کرتاسه پایینی، (ب) جاگیری و رورانش پوسته اقیانوسی تتیس جوان بر روی حاشیه صفحه آفریقا-عربی و توسعه افیولیت‌های زاگرس در اواخر کرتاسه، (ج) برخورد قاره‌ای-قاره‌ای صفحه آفریقا-عربی با صفحه ایران در سنوزوئیک صورت گرفته است [۲]. کمربند چین و راندگی زاگرس یک زون ترفشارشی (*transpression*) است که در اثر برخورد بین صفحه سنگ کره‌ای آفریقا-عربی و خرد قاره ایران مرکزی با زاویه‌ای حدود ۲۵ درجه ایجاد شده است [۲۰]. این همگرایی در قسمت جنوب خاور تقریباً عمودی بوده و در قسمت شمال باختر از تمایل بیشتری برخوردار می‌باشد [۲۶، ۲۷]. بر پایه انباشته‌های نمکی سری هرمز، کمربند چین و راندگی زاگرس به دو بخش جنوب خاوری، یا «حوضه هرمز» و بخش شمال باختری، یا «حوضه اهواز» تقسیم می‌شود که مرز جدایی این دو، بر خطواره قطر-کازرون منطبق است [۵]. محدوده مطالعاتی در پهنه ساختاری فروافتادگی دزفول واقع شده است. منطقه فروافتادگی دزفول یک جلوه ساختمانی در بخش جنوب باختری راندگی زاگرس می‌باشد که به دلیل پوشانده شدن سنگ آهک الیگوسن-میوسن آسماری توسط تبخیریه‌های میوسن گچساران، دارنده اکثر میادین نفتی ایران است. در ابتدا این نام معرف یک خاصیت توپوگرافیک می‌باشد، ولی به طور کلی‌تر به منطقه‌ای از حوضه زاگرس اطلاق می‌گردد که در آن سازند آسماری فاقد رخنمون بوده (به استثنای سازند آسماری در تاقدیس آسماری) و به وسیله ضخامت فزونی یافته

نهمین دوره ترشیری نسبت به نواحی فارس و لرستان مشخص می‌گردد [۲، ۱۵]. می‌توان فروافتادگی دزفول را هسته قطعه‌ای از ورقه عربی در نظر گرفت که تحت تاثیر برخورد با صفحه ایران به جنوب باختری ایران فشرده شده است [۲]. ساختارهای موجود در فروافتادگی دزفول به طور قابل ملاحظه‌ای چین خوردگی‌های ملایم‌تری را نسبت به ساختارهای بخش‌های شمالی و زاگرس چین خورده نشان می‌دهند [۲۳]. این منطقه حداقل دارای ۴۵ میدان نفتی تاقدیسی با بیش از ۳۶۰ میلیارد بشکه نفت درجا، معادل هشت درصد ذخایر نفت جهان است [۴]. سامانه لایه‌بندی در این میدان‌های تاقدیسی دارای شکستگی‌های فراوان بوده که موجب افزایش کیفیت مخزنی شده است [۴، ۲۴]. اصلی‌ترین مخازن در این بخش شامل کربنات‌های الیگومیوسن آسماری و آهک‌های کرتاسه میانی گروه بنگستان و ژوراسیک-کرتاسه گروه خامی هستند [۲۴، ۲۵]. استان خوزستان از لحاظ تقسیمات ساختاری از جنوب باختر به شمال خاور شامل زیر پهنه‌های: پیش حوضه خلیج فارس - میانرودان (مزوپوتیمین)، دشت‌های ساحلی، فروافتادگی دزفول و کمربند چین خورده ساده زاگرس می‌باشد. میدان نفتی کوپال با موقعیت جغرافیایی  $31^{\circ}10'$  تا  $31^{\circ}32'$  عرض شمالی و  $49^{\circ}08'$  تا  $49^{\circ}27'$  طول خاوری در ۷۰ کیلومتری جنوب خاوری شهر اهواز در مجاورت میدان نفتی آجاجاری، و میدان نفتی مارون قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه تقسیمات ساختاری استان خوزستان و موقعیت میدان نفتی کوپال

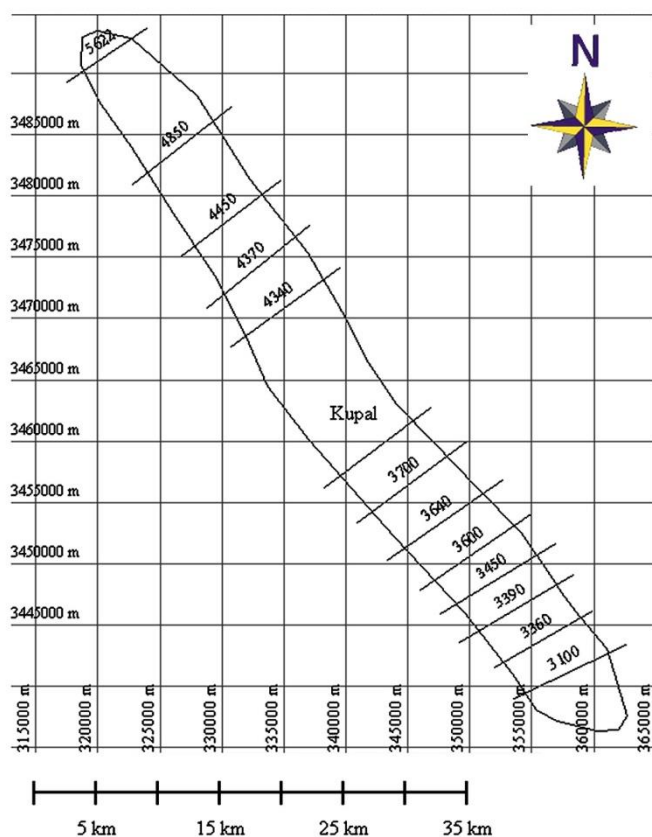
### ۳- روش کار

در این تحقیق با استفاده از ۱۳ مقطع عرضی لرزه‌ای تفسیر شده به بررسی برخی از پارامترهای سبک چین خوردگی در میدان نفتی تاقدیسی کوپال پرداخته شده است. در مقاطع مختلف مشخصات زاویه بین یالی و هندسه سطح محوری با استفاده از تحلیل‌های هندسی و استریوگرافی تعیین گردید. با به کارگیری مقادیر زاویه بین یالی و با استفاده از توابع تصویری، نسبت ابعادی ساختار تاقدیسی کوپال در بخش‌های مختلف محاسبه گردید. با استفاده از مقادیر زاویه انحراف سطح محوری از سطح قائم مقادیر زاویه برشی، کرنش برشی، پارامترهای مربع کشیدگی حداکثر و حداقل و نسبت کرنش در طول ساختار میدان تعیین گردید. همچنین با استفاده از تابع دوتایی کوتاه‌شدگی-نسبت کرنش، مقادیر کوتاه-شدگی در طول مقاطع مختلف لرزه‌ای برآورد شد. در این پژوهش فرض بر این است که کوتاه‌شدگی عموماً در ارتباط با

فرآیندهای چین خوردگی بوده و فرآیندهای گسلش نقش اندکی در کوتاه‌شدگی منطقه‌ای داشته و مقادیر کوتاه‌شدگی پیش از چین خوردگی و کوتاه‌شدگی پیکری ناچیز است.

#### ۴- سبک چین خوردگی تاقدیس کوپال

میدان نفتی کوپال یک تاقدیس زیر سطحی با طول تقریبی ۸۰ و عرض ۱۰ کیلومتر بوده که حداکثر ارتفاع چین در محل لولا دارای ارتفاع ۲۲۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. ضخامت واقعی سازند آسماری در این میدان در حدود ۴۵۰ متر اندازه‌گیری شده است [۱۵]. در تحلیل ساختاری و هندسی یک چین تعیین پارامترهایی همچون میزان استوانه‌ای بودن (Cylindricity)، تقارن (Asymmetry)، نسبت ابعادی (Aspect ratio)، تنگی (Tightness) و تیزی (Bluntness) بسیار با اهمیت می‌باشد [۲۸]. به گونه‌ای که با بررسی و تعیین پارامترهای فوق سبک چین خوردگی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. با استفاده از مقاطع لرزه‌ای به تفسیر هندسی و تعیین برخی عناصر سبک چین خوردگی در ساختمان این تاقدیس زیر سطحی پرداخته شده است. در این پژوهش از سیزده مقطع لرزه‌ای عرضی جهت بررسی‌های هندسی و تحلیل‌های کرنش در میدان نفتی کوپال استفاده شده است. شکل ۲ موقعیت و راستای مقاطع لرزه‌ای تهیه شده از میدان نفتی کوپال را نشان می‌دهد.

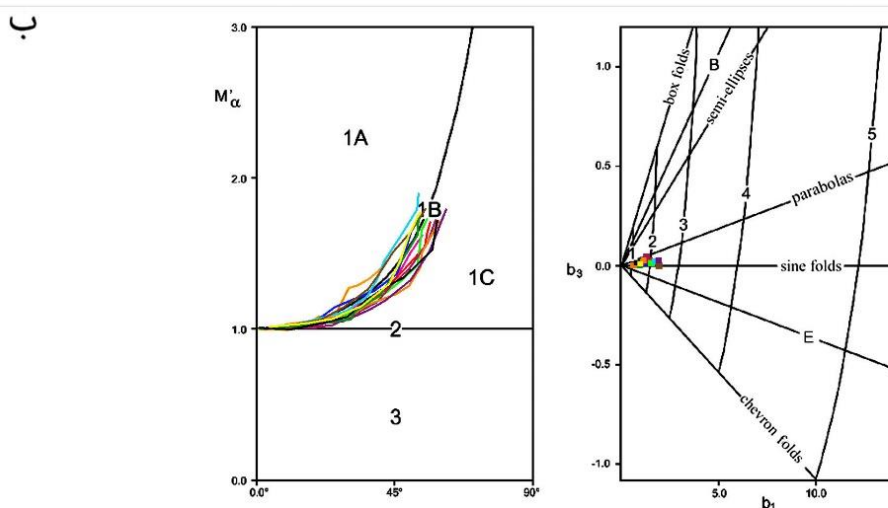
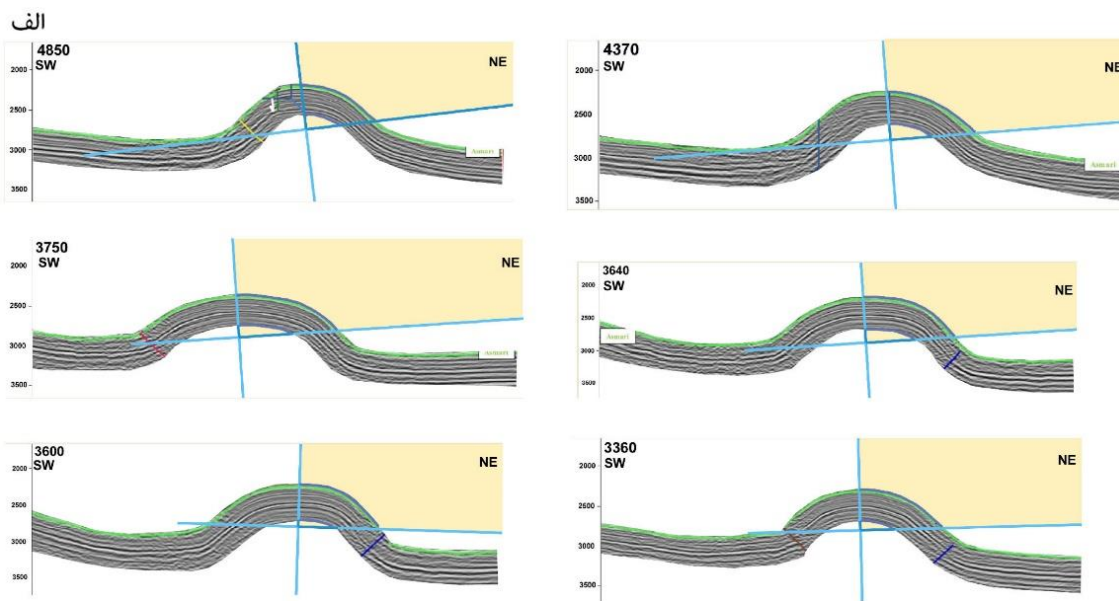


شکل ۲- موقعیت میدان کوپال به همراه موقعیت راستا و شماره مقاطع لرزه‌ای

تاقدیس کوپال یک تاقدیس نامتقارن بوده که در بخش‌های مختلف دارای تمایل اندکی به سمت جنوب باختری و شمال خاوری می‌باشد. تحلیل‌ها بر اساس مقدار سطح انحنا سبک چین خورده در حد فاصل نقاط لولا و عطف چین نشان می‌دهد که تاقدیس کوپال با توجه به انحنا تقریباً برابر سطوح چین خورده افق آسماری در گروه چین‌های کلاس IB قرار داشته و بر اساس طبقه بندی فوریه در محدوده چین‌های سینوسی تا پارابولیک قرار می‌گیرد. جهت نمایش چند نمونه از تحلیل‌های صورت گرفته، نتایج حاصل در راستای مقاطع لرزه‌ای ۴۸۵۰، ۳۷۵۰، ۳۶۰۰، ۴۳۷۰، ۳۶۴۰ و ۳۳۶۰ توسط نرم افزار Sta Tect ارائه شده است (شکل ۳ الف). همچنین شکل ۳ ب نتایج تحلیل‌های صورت گرفته برای تمام مقاطع

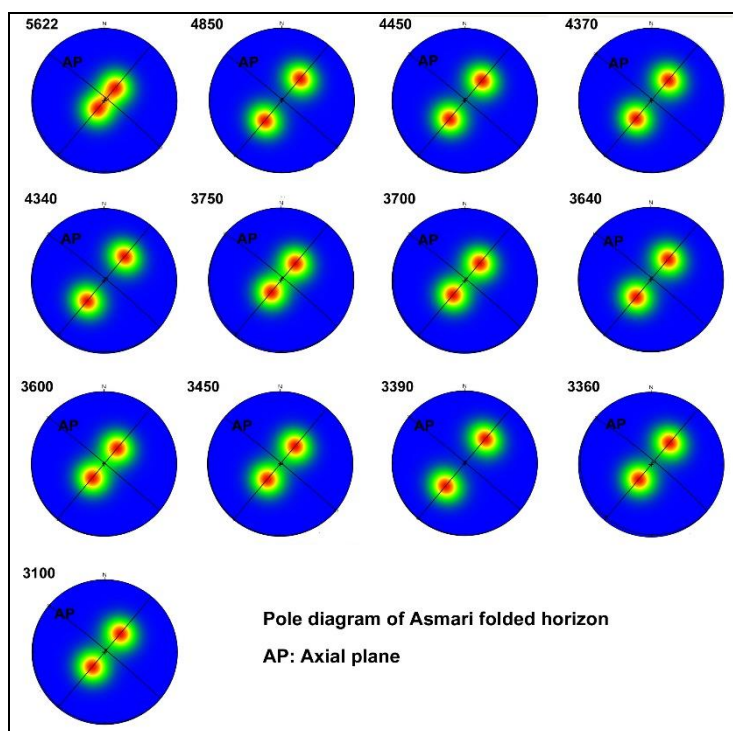


لرزه‌ای در طول تاقدیس زیرسطحی میدان کوپال را نشان می‌دهد. پارامتر تیزی چین بر اساس نسبت شعاع انحنا در محل بستگی چین (Fold closure) به شعاع انحنا مماس بر یالهای چین در نقاط عطف چین اندازه‌گیری می‌شود [۲۸]. بر اساس مطالعات انجام شده تاقدیس کوپال با دارا بودن مقدار  $b=0.45$  تا  $b=0.7$  جزء چین‌های نیمه مدور می‌باشد.

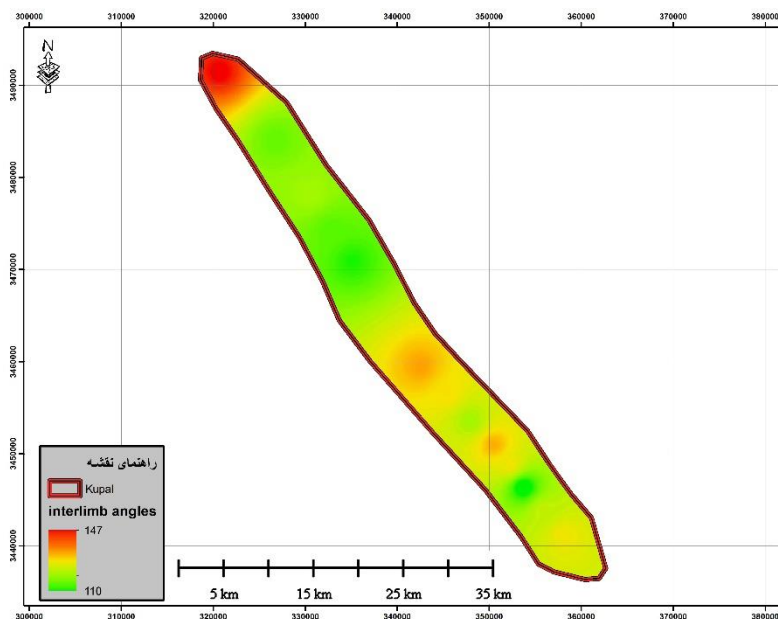


شکل ۳- الف) نمایش تحلیل سطح انحناهای سطوح چین خورده سطوح فوقانی و تحتانی افق آسماری برای چهار مقطع لرزه‌ای. ب) تحلیل رمزی و فوریه در مقاطع لرزه‌ای عمود بر محور تاقدیس کوپال با استفاده از نرم افزار sta tect

با استفاده از مقاطع لرزه‌ای و تعیین خطوط مماس بر سطح چین خورده در افق آسماری مقادیر زاویه بین یالی و موقعیت سطح محوری چین حاصل گردید. شکل ۴ تحلیل استریوگرافی افق چین خورده آسماری در مقاطع مختلف را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری زاویه بین یالی در بخشهای مختلف افق چین خورده آسماری نشان می‌دهد که یک چین با تنگی اندک بوده ( $110 < T < 147$ ) و در گروه چین‌های ملایم تا باز قرار می‌گیرد. پهنه بندی تاقدیس کوپال بر اساس زاویه بین یالی نشان می‌دهد که دماغه‌های چین دارای بیشترین مقادیر زاویه بین یالی بوده و نیمه شمالی تاقدیس نسبت به بخش‌های جنوبی از زاویه بین یالی کمتری برخوردار است (شکل ۵).



شکل ۴- تحلیل استریوگرافی افق چین خورده آسماری در مقاطع مختلف. داده‌های موجود در شبکه نتیجه میانگین شیب یالهای شمالی و جنوبی افق آسماری در امتداد هر مقطع لرزه‌ای می‌باشد.



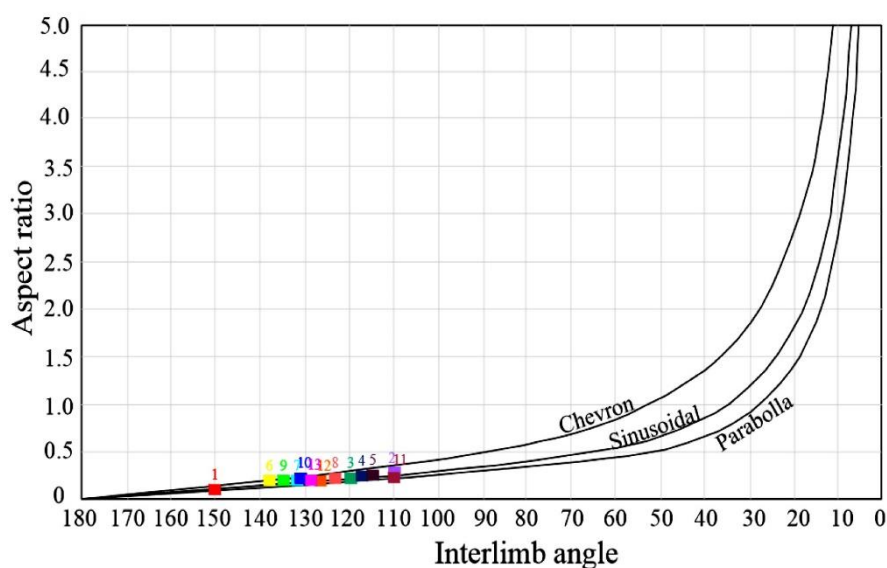
شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی تاق‌دیس میدان نفتی کوپال بر اساس زاویه بین یالی

بررسی هندسی اشکال مختلف سطوح چین خورده، سبب تعریف برخی روابط ریاضی بین پارامترهای زاویه بین یالی و نسبت ابعادی چین‌ها گشته است [۱۲]. به عنوان مثال در چین‌های جناغی رابطه ریاضی بین زاویه بین یالی و نسبت ابعادی چین به صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$i = 2 \arctan 1/2p$$

در این رابطه  $i$  زاویه بین یالی و  $p$  نسبت ابعادی چین (نسبت دامنه به نصف طول موج) می‌باشد. با استفاده از تحلیل ریاضی زاویه بین یالی و نسبت ابعادی چین خوردگیهای متفاوت، توابع تصویری مختلفی جهت تعیین مقادیر نسبت ابعادی چین برای چین‌های جناغی، سینوسی و پارابولیک ارائه گردیده است. با استفاده از مقادیر زاویه بین یالی و با به کارگیری

تابع تصویری زاویه بین یالی-نسبت ابعادی چین (شکل ۶)، مقادیر نسبت ابعادی تاقدیس کوپال در محدوده ۰/۱۵ تا ۰/۳۸ تعیین گردید. بر این اساس هندسه کلی تاقدیس کوپال در گروه چین‌های وسیع تا پهن قرار می‌گیرد.

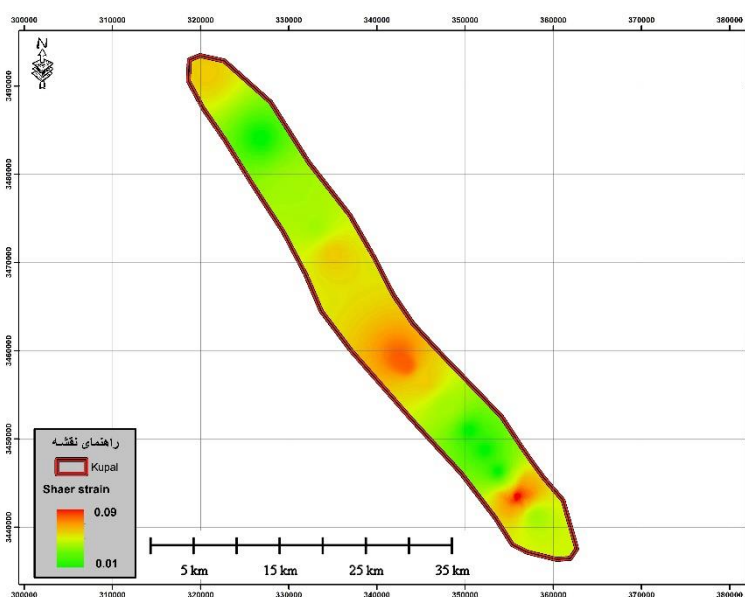


شکل ۶- تعیین مقادیر نسبت ابعادی تاقدیس کوپال با استفاده از مقادیر زوایای بین یالی با استفاده از تابع تصویری (Ghasemi et al., 2010)

## ۵- بحث

### ۵-۱- تحلیل کرنش و کوتاه شدگی در افق آسماری، تاقدیس کوپال

تعیین مقادیر کوتاه شدگی در بخش‌های مختلف کمرندهای کوهزایی یکی از موضوعات مورد علاقه زمین شناسان ساختاری می‌باشد. تعیین مقادیر کوتاه شدگی می‌تواند بعنوان کلیدی جهت شناخت و فهم مکانیزم‌های عمل کننده در توسعه دگرشکلی‌ها مورد استفاده قرار گیرد [۱۱، ۱۲، ۲۹]. در پهنه‌های دگرگونی استفاده از برخی نشانگرهای کرنش و به کارگیری روشهای مطالعات تاوایی جنبش شناختی (Kinematic vorticity) می‌تواند بعنوان ابزاری جهت برآورد مقادیر کوتاه شدگی در این پهنه‌ها مورد استفاده قرار گیرد [۱۴، ۱۹، ۲۱، ۲۲]. در پهنه‌های چین خورده استفاده از مقاطع عرضی موازنه شده یکی از روش های متداول جهت تعیین مقادیر کوتاه شدگی می‌باشد [۲، ۳، ۷، ۱۰، ۱۶]. در این پژوهش با استفاده از میزان رانش یا انحراف صفحه محوری از حالت قائم در مقاطع مختلف تاقدیس کوپال، به رهیافتی جهت تعیین زاویه برش ( $\Psi$ ) و کرنش برشی ( $\gamma$ ) اقدام گردید. مفهوم رانش برای جهتی که سطح محوری یک چین به آن سمت - چرخش می‌نماید به کار برده می‌شود. همچنین مفهوم رانش برای بیان حرکت ساختارهای زمین‌ساختی که طی تکامل خود جهت حرکت را نشان می‌دهند به کار برده می‌شود. براساس عدم تقارن سطح محوری، و میزان انحراف زاویه صفحه محوری از حالت قائم یا خط میانی چین، مقادیر زاویه برشی و کرنش برشی ایجاد شده بر روی مقاطع مختلف تاقدیس کوپال تعیین گردید. زاویه برش ( $\Psi$ ) عبارت است از تغییر زاویه بین دو خط که پیش از کرنش بر هم عمود بوده‌اند. تانژانت زاویه برش نیز مقادیر کرنش برشی را بدست خواهد داد ( $\tan\Psi=\gamma$ ) [۱۸]. براساس تحلیل‌های استریوگرافی، نقشه پهنه بندی کرنش برشی در بخش‌های مختلف تاقدیس کوپال تهیه گردید (شکل ۷)، (جدول ۱). براین اساس میزان انحراف سطح محوری و مقادیر کرنش برشی در بخش‌های مختلف تاقدیس کوپال یکسان نبوده و مقادیر متفاوتی را نشان می‌دهد.



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی مقادیر کرنش برشی در بخش‌های مختلف تاکدیس کوپال

با استفاده از مقادیر کرنش برشی و با به کارگیری رابطه (۱) [۱۲] مقادیر حداکثر و حداقل مربع کشیدگی در راستای مقاطع مختلف محاسبه و بوسیله رابطه (۲) [۱۸] مقادیر نسبت کرنش در طول تاکدیس کوپال تعیین گردید.

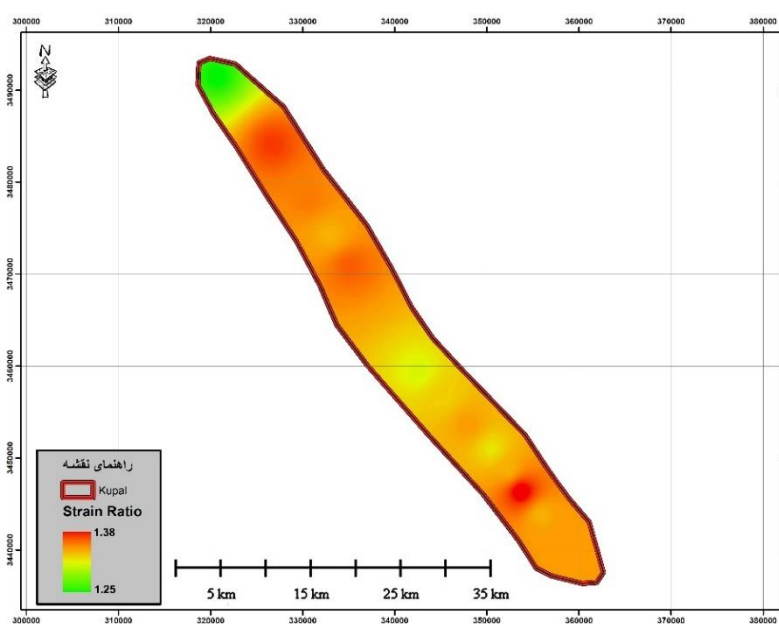
$$(۱) \lambda_1 \text{ or } \lambda_3 = 1/2 (\gamma^2 + 2 \pm \gamma(\gamma^2 + 4)^{1/2})$$

$$(۲) R^2 = \lambda_1 / \lambda_3$$

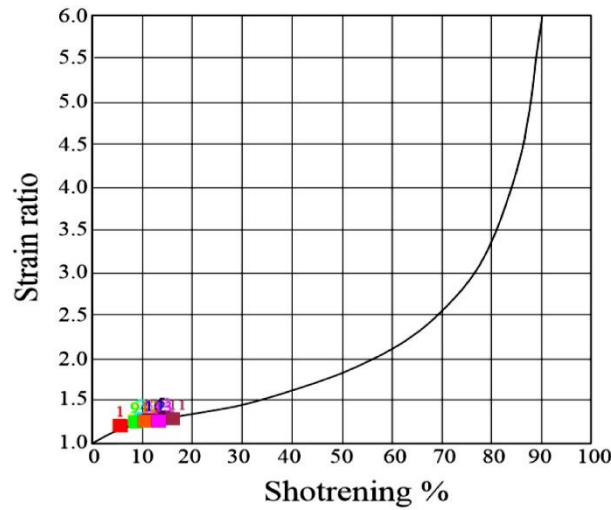
جهت تعیین مقادیر کوتاه شدگی با استفاده از رابطه (۳) می‌توان از مقادیر نسبت کرنش نیز بهره جست [۱۲].

$$(۳) e = (1/R^{0.5}) - 1$$

شکل (۸) نقشه پهنه‌بندی مقادیر نسبت کرنش در طول ساختار تاکدیس کوپال و جدول (۱) مقادیر عددی نسبت کرنش را نشان می‌دهد. همچنین با به کارگیری نمودار تصویری حاصل از رابطه (۳) مقادیر درصدی کوتاه‌شدگی در طول میدان تعیین گردید (شکل ۹)، (جدول ۱).

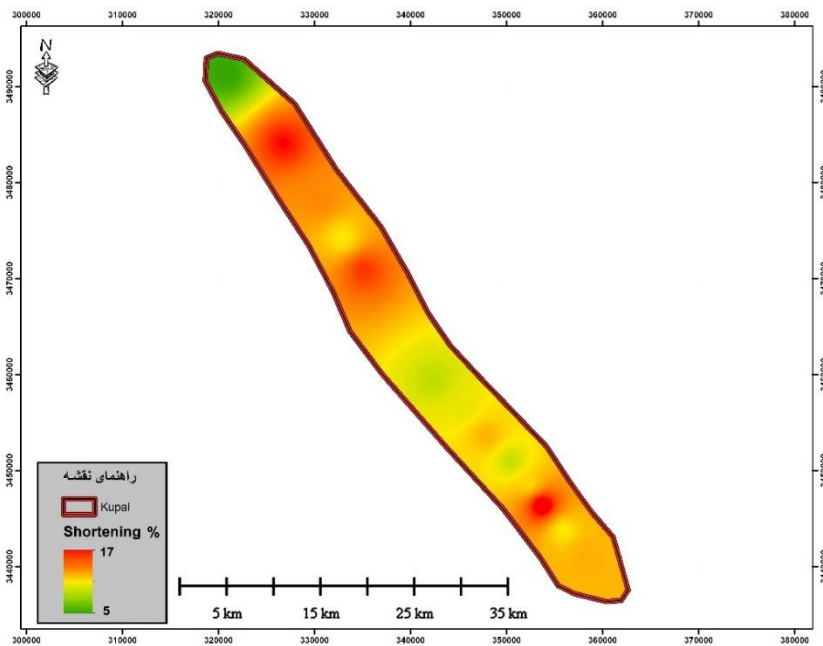


شکل ۸- نقشه پهنه بندی مقادیر نسبت کرنش در طول ساختار تاکدیس کوپال



شکل ۹- به کارگیری تابع تصویری نسبت کرنش-درصد کوتاه شدگی جهت تعیین مقادیر درصد کوتاه شدگی در مقاطع مختلف تاقدیس کوپال

نهایتاً بر اساس مقادیر تعیین شده درصد کوتاه شدگی، نقشه پهنه‌بندی درصد کوتاه شدگی در بخش‌های مختلف تاقدیس کوپال در افق آسماری تهیه گردید (شکل ۱۰)، (جدول ۱).



شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی مقادیر درصد کوتاه شدگی در افق آسماری میدان نفتی کوپال

جدول ۱- مقادیر عددی کرنش برشی، نسبت کرنش و درصد کوتاه شدگی در امتداد مقاطع لرزه‌ای مختلف

Seismic profile	Shear strain	Strain ratio	Shortening (%)
5622	0.03	1.25	5
4850	0.06	1.35	15
4450	0.01	1.33	13
4370	0.02	1.30	10
4340	0.03	1.26	6
3750	0.08	1.26	6
3700	0.07	1.29	9
3640	0.08	1.29	9
3600	0.05	1.28	7
3450	0.03	1.30	10
3390	0.09	1.38	17
3360	0.04	1.29	9
3100	0.03	1.30	10

## ۶- نتیجه گیری

از آنجا که در مطالعات سنگ مخزن میداین نفتی تعیین مناطق با کرنش بالا و تشخیص مناطق با تراکم شکستگی های بالا از اهمیت زیادی برخوردار می باشد و با توجه به هزینه بالا و زمان بر بودن انجام برخی روش های تخصصی همچون استفاده از نمودارهای تصویرگر لذا استفاده از ویژگیهای هندسی چین های زیرسطحی می تواند به تشخیصی کم هزینه و سریع از مناطق مستعد با تراکم شکستگی بالا منتهی گردد. تعیین مقادیر کوتاه شدگی به وسیله تهیه مقاطع عرضی زمین شناسی موازنه شده دارای محدودیتهایی می باشد. تهیه مقاطع عرضی موازنه شده مستلزم تهیه نیمرخ های زمین شناسی با دقت بالا بوده و با توجه به عدم وجود هماهنگی هندسی و تشابه ساختاری از سطح به عمق معمولاً تهیه مقاطع عرضی موازنه شده دچار مشکل می شود. مقاطع عرضی موازنه شده توانایی محاسبه کرنش پیکری در لایه های دگرشکل شده را نداشته و از این رو می توان گفت که مقادیر کوتاه شدگی محاسبه شده از طریق ترسیم مقاطع موازنه شده همواره نشان دهنده مقادیر کمینه کوتاه شدگی می باشد. در این مطالعه با استفاده از مقاطع لرزه ای عمود بر محور تاقدیس میدان نفتی کوپال تغییرات مقادیر کرنش برشی، نسبت کرنش و مقادیر درصدی کوتاه شدگی در طول این تاقدیس مورد بررسی قرار گرفت. براساس تحلیل های صورت گرفته مقادیر زاویه بین یالی در سرتاسر تاقدیس کوپال یکسان نبوده و در دماغه های تاقدیس مقادیر زاویه بین یالی دارای بیشترین مقادیر بوده و در بخش های شمالی چین، مقادیر کمتری را نشان می دهد. میزان انحراف سطح محوری بعنوان معیاری جهت محاسبه زاویه برش و کرنش برشی به کار گرفته شد. براین اساس مقادیر کرنش برشی الگوی متفاوتی را در طول تاقدیس به نمایش می گذارند. تحلیل های کرنش و کوتاه شدگی در تاقدیس کوپال نشان دهنده مقادیر متفاوت نسبت کرنش و کوتاه شدگی در بخش های مختلف این تاقدیس می باشد. مقادیر نسبت کرنش بین ۱/۲۵ تا ۱/۳۸ و مقادیر درصدی کوتاه شدگی بین ۵ تا ۱۷ درصد در طول تاقدیس کوپال می باشد. بر اساس نقشه های پهنه بندی، بخش های شمال باختری تاقدیس مقادیر بالاتری از نسبت کرنش و کوتاه شدگی را به نمایش می گذارد.

## قدردانی

بدین وسیله از حمایت های صورت گرفته توسط معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN: SCU.EG1401.341) و بخش پژوهشی شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب در انجام این پژوهش کمال تشکر و قدردانی به عمل می آید. همچنین از داوران مقاله آقای دکتر بهزاد زمانی قره چمنی (دانشیار دانشگاه تبریز)، خانم دکتر سعیده کشاورز (استادیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان) تشکر و قدردانی می گردد.

## منابع

- [1] ALAVI, M., 1994, Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretation. *Tectonophysics*, **229**, 211–238.
- [2] ALAVI, M., 2004, Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran, and its proforeland evolution. *American Journal of Science* **304**, 1–20.
- [3] ALAVI, M., 2007, Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American journal of science*, vol. **307**, 1064-1095.
- [4] AL-AZZAWI N. K. 2008, Local Shortening of Folds and Detachment Surface Depth with Examples from the Foreland Belt of Iraq. *Iraqi Journal of Earth Sciences- Vol. 8. No. 1- May*
- [5] BERBERIAN, M., 1995, Master 'blind' thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, *Tectonophysics*, **241**, 193–224.
- [6] BERBERIAN, M., KING, G.C.P., 1981, Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* **18**, 210–265.
- [7] BLANCE, E.J.P., ALLEN, M.B., INGER, S., HASSANI, H., 2003, Structural styles in the Zagros Simple Folded Zone, Iran. *J. Geol. Soc.* **160**, 401–412. doi:10.1144/0016-764902-110.
- [8] BROWN, D., ALVAREZ - MARRON, J., PEREZ - ESTAFIN, A., GOROZJANIN, Y., BARYSHEVA, V., PUCHKOV, V., 1997, Geometric and kinematic evolution of the foreland thrust and fold belt in the southern Urals. *Tectonics*, VOL. **16**, NO. 3, PAGES 551-562, JUNE 1997.
- [9] ESPURT, N., HIPPOLYTE, J.C., SAILLARD, M., BELLIER, O., 2012, Geometry and kinematic evolution of a long-living foreland structure inferred from field data and cross section balancing, the Sainte-Victoire System, Provence, France. *Tectonics*, VOL. **31**, TC4021, doi:10.1029/2011TC002988.
- [10] FREHNER, M.D., GRASEMANN, B., 2012, Mechanical versus kinematical shortening reconstructions of the Zagros High Folded Zone (Kurdistan region of Iraq), *Tectonics*, **31**, TC3002, doi:10.1029/2011TC003010.
- [11] FOSSEN, H., 2016, *Structural Geology*. Cambridge University Press.
- [12] GHASSEMI, M. R., SCHMALHOLZ, S. M., GHASSEMI, A. R., 2010, Kinematics of constant arc length folding for different fold shapes. *Journal of Structural Geology* . **32** (2010) 755e765.
- [13] IMBER J, PERRY T, JONES R, WIGHTMAN RH 2012, Do cataclastic deformation bands form parallel to lines of no finite elongation (LNFE) or zero extension direction? *Journal of Structural Geology*. 45:158–172.
- [14] KESHAVARZ, S., FAGHIH, F., 2020, Heterogeneous sub-simple deformation in the Gol-e-Gohar shear zone (Zagros, SW Iran): insights from microstructural and crystal fabric analyses. *International Journal of Earth Sciences*. **109**, 421–438.
- [15] KODABAKHSHNEZHAD, A., ARIAN, M., POURKERMANI, M., 2015, Folding mechanism in the Asmari anticline, Zagros, Iran, *Open Journal of Geology*, **5**, 197-208.
- [16] MCQUARRIE, N., 2004, Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology* **26**, 519–535.
- [17] MOLINARO, M., ZEYEN, H., LAURENCIN, X., 2005, Lithospheric structure beneath the southeastern Zagros Mountains, Iran: Recent slab break-off? *Terra Nova* **17**, 1–6. doi:10.1111/j.1365-3121.2004.00575.x.
- [18] RAMSAY, JG, HUBER, MI., 1983, *The techniques of modern structural geology, 1: strain analysis*. Academic Press, London.
- [19] SAMANI, B., 2017, Deformation flow analysis and symmetry of Goushti shear zone, Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, Iran. *Geopersia*. **7**, 117-130.
- [20] SARKARINEJAD, K., AZIZI, A., 2008, Slip partitioning and inclined dextral transpression along the Zagros Thrust System, Iran. *Journal of Structural Geology*, **30**: 116–136.
- [21] SARKARINEJAD, K, SAMANI, B, FAGHIH, A, GRASEMANN, B, MORADIPOOR, M., 2010, Implications of strain and vorticity of flow analyses to interpret the kinematics of an oblique convergence event (Zagros Mountains, Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, **38**:34-43.

- [22] SARKARINEJAD, K., KESHAVARZ, S., FAGHIH, A., SAMANI, B., 2017, Kinematic analysis of rock flow and deformation temperature of the Sirjan thrust sheet, Zagros Orogen, Iran. *Geological Magazine*. **154**, 147–165.
- [23] SHERKATI, S., LETOUZEY, J., FRIZON DE LAMOTTE, D., 2006. Central Zagros fold-thrust belt (Iran): new insights from seismic data, field observation, and sandbox modeling. *Tectonics* 25, TC4007. doi:10.1029/2004TC001766.
- [24] SHERKATI, S., MOLINARO, M., FRIZON DELAMOTTE, D., LETOUZEY, J., 2005, Detachment folding in the Central and Eastern Zagros fold-belt (Iran): salt mobility, multiple detachments and late basement control. *Journal of Structural Geology*. **27**, 1680–1696.
- [25] STOCKLIN, J., 1968, Structural history and tectonics of Iran, a review, *A. A. P. G. Bull.*, **52**(7), PP. 1229-1258.
- [26] TALEBIAN, M., JACKSON, J., 2004, A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran. *Geophysics*. **156**, 506–526.
- [27] TEYSSIRE, C., 1985, A crustal thrust system in an intracratonic tectonic environment. *Journal of Structural Geology*. Vol **7**. No 6, pp. 689 to 700.
- [28] TWISS, R.G., MOORES, E.M., 2007, *Structural geology*, Freeman and Company, New York.
- [29] VERNANT, P., CHERY, J., 2006, Mechanical modeling of oblique convergence in the Zagros, Iran. *Geophysics*. **165**, 991–1002.



## شناسایی گاز در سنگ کربنات با استفاده از تبدیل موجک

حسن عمرانی<sup>۱\*</sup>، هاشم عمرانی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه صنعت نفت اهواز، اهواز

۲- دکتری مهندسی نفت، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران

\*Hassanomrani1378@gmail.com

دریافت اردیبهشت ۱۴۰۳، پذیرش تیر ۱۴۰۳

### چکیده

از نمودارهای پتروفیزیکی برای شناسایی جنس سنگ و نوع سیال در مخزن استفاده می شود. شناسایی گاز در سنگ ماسه و کربنات یکی از کاربردهای مهم نمودارهای پتروفیزیکی است. اما شناسایی گاز در سنگ کربنات توسط نمودارهای پتروفیزیکی گاهی با عدم قطعیت همراه است. لذا در این حالت برای شناسایی گاز از ابزار R.F.T. (Repeat Formation Tester) استفاده می شود. ابزار R.F.T. فشار را در اعماق مختلف سنگ مخزن اندازه گیری می کند و با محاسبه گرادیان فشار نسبت به عمق نوع سیال شناسایی می شود. از معایب ابزار R.F.T. راندن آن در حضور دکل حفاری (افزایش دکل - روز)، هزینه راندن ابزار، ضرورت مناسب بودن قطر حفره چاه (عدم ریزش حفره چاه)، نقاط با تخلخل نوترون بیش از ۱۵ درصد و همچنین گیر کردن ابزار در حفره چاه و مانده یابی آن است. هدف از این مطالعه ارائه روشی ساده و کاربردی جهت شناسایی گاز در سنگ کربنات می باشد. در این مطالعه با استفاده از تبدیل موجک، نویزهای موجود در داده های تخلخل و اشباع آب حذف و سپس با استفاده از داده های نویزدایی شده تخلخل و اشباع هیدروکربور، روشی ساده و کاربردی جهت شناسایی گاز در سنگ کربنات ارائه می شود. مهمترین دستاورد این مطالعه حذف ابزار R.F.T. و در نتیجه کاهش هزینه حفاری و مخاطرات ناشی از گیر ابزار R.F.T. در چاه است. نتایج این مطالعه نشان می دهند که با استفاده از روش ارائه شده با اطمینان می تواند نوع سیال را در سنگ مخزن شناسایی کرد.

واژگان کلیدی: تبدیل موجک، نمودارهای پتروفیزیکی، تخلخل، اشباع آب، شناسایی گاز در سنگ کربنات

## ۱- مقدمه

در سال های اخیر به صورت گسترده ای از تبدیل موجک برای آنالیز پدیده های دینامیکی استفاده می شود. تبدیل ریاضی موجک اطلاعات را از حوزه زمان به حوزه فرکانس یا حوزه زمان - فرکانس برده و اطلاعات موجود را به صورت شفاف نمایش می دهد. با معرفی تبدیل موجک پنجره جدیدی بر روی آنالیز سیگنال ها گشوده شد. تبدیل موجک موجب فراهم شدن یک بستر برای آنالیز سیگنال ها با قدرت تفکیک متفاوت می شود که توسط آن سیگنال اصلی را می توان با مجموعه ای از مولفه های متفاوت با تفکیک پذیری متفاوت نشان داد. این قابلیت در نشان دادن سیگنال در تفکیک پذیری متفاوت از مهمترین توانایی تبدیل موجک است. خصوصیات و چهره اصلی سیگنال را می توان از تفکیک پذیری متفاوت استخراج و از آن در شناخت الگو ها استفاده کرد [2,10,15,16,18]. آنالیز موجک قابلیت آشکار سازی بعضی از خصوصیات سیگنال را دارد که دیگر روش های آنالیز سیگنال این خصوصیات را ندارند.

نفت و گازی که امروزه تولید می شود در منافذ سنگ های مخزن ذخیره شده اند. جنس سنگ مخزن و نفت، گاز و آب موجود در منافذ توسط نمودارهای پتروفیزیکی تعیین می شوند. عدم قطعیت در شناسایی نوع سیال توسط نمودارهای پتروفیزیکی سبب عدم قطعیت در تعیین سطوح تماس سیالات و ارزیابی ذخیره هیدروکربوری مخزن می شود. دو عامل مهم در تعیین ذخیره هیدروکربوری مخزن، تخلخل و اشباع هیدروکربور است. مقدار تخلخل از روی نمودارهای صوتی، جرم مخصوص و نوترون بدست می آید. نمودار تخلخل تحت تاثیر پارامترهای مانند جنس سنگ، سیالات موجود در منافذ سنگ و شیل قرار می گیرند. با تلفیق دو یا سه نمودار از نمودارهای فوق اطلاعات دقیق تری از تخلخل بدست می آید. عامل دیگر مقاومت مخصوص سنگ است که مستقیماً از روی نمودار مقاومت مخصوص اندازه گیری می شود. هیدروکربور مقاومت الکتریکی بیشتری را در مقابل جریان الکتریسیته نسبت به آب از خود نشان می دهد. هر چه درصد اشباع نمک های محلول در آب بیشتر باشند دارای مقاومت الکتریکی کمتری هستند و جریان الکتریسیته را بهتر از خود عبور می دهند. بطور کلی وجود نفت و گاز در خلل و فرج سنگ ها مقاومت الکتریکی آن ها را بیشتر می کند. مقاومت مخصوص سنگ تابعی از نسبت هیدروکربور به آب و درصد تخلخل است. از نمودارنگار مقاومت مخصوص و معادله آرچی برای محاسبه اشباع آب استفاده می شود [19]. ماسه سنگ های متخلخل که با آب پر شده اند مقاومت الکتریکی کمی از خود نشان می دهند. یکی از کاربردهای مهم نمودارهای پتروفیزیکی، استفاده جهت شناسایی نوع سیال در منافذ سنگ است. گنگ و همکاران [11] و دالبرگ و فرنس [9] برای شناسایی انواع سیالات مخزنی از نمودارهای پتروفیزیکی استفاده کردند. گاهی این نمودار ها شفافیت لازم جهت تعیین نوع سیال را ندارند لذا از تبدیل موجک جهت تعیین نوع سیال استفاده شده است. امروزه استفاده از تبدیل موجک در مسائل مختلف علوم زمین توسعه یافته است [5]. Wenyue و همکاران [20] از تکنیک تبدیل موجک برای شناسایی سیالات مخزنی استفاده کردند. ملاجان و همکاران [6] با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی، الگوریتمی جدید بر مبنای به کار گیری تکنیک های مختلف شناسایی الگو همچون طبقه بندی کننده بیزین و تبدیل موجک ارائه دادند. آنها همچنین از تکنیک موجک جهت تشخیص سطوح تماس سیالات استفاده کردند [7]. طاهر دنگ کو و آبدیده [3] برای تشخیص زون های شکافدار و دانسیته شکاف از اشباع آب و تبدیل موجک استفاده کردند. آنها داده های اشباع آب را با استفاده از تبدیل موجک تجزیه کردند. همچنین برای فیلتر کردن خطاهای ایجاد شده در پیش بینی زون های شکافدار از نمودار گاما استفاده کردند که موجب بهبود نتایج تا ۸۴٫۷٪ شد. در نهایت یک رابطه خطی بین اشباع آب و دانسیته شکاف بدست آوردند که توسط آن می توان دانسیته شکاف را در هر زون شکافدار تخمین زد. ملاجان و همکاران [17] یک روش جدید با استفاده از پردازش ترکیب سه داده پیشنهاد کردند. آنها

تکنیک های طبقه بندی ، تجزیه و تحلیل موجک و ترکیب داده های فازی را برای شناسایی انواع سیال مخزن با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی به کار بردند. آنها روش پیشنهادی را بر روی لاگ های سازند سروک مربوط به پنج حلقه چاه واقع در یک میدان نفتی در جنوب غربی ایران اعمال و برای اعتبار سنجی آن، نتایج بدست آمده را با نتایج حاصل از آزمایش تولید چاه ها مقایسه کردند. نتایج نشان دادند که روش پیشنهادی آنها قادر به شناسایی انواع سیالات مخزن با دقت ۶۲ درصد است. حیدری و همکاران [12] از تبدیل موجک گسسته (DWT) برای استخراج زمان آرامش هیدروکربن (TH) از سیگنال های NMR استفاده کردند. آنها تغییرات TH منعکس شده در سطوح مختلف تفکیک را تجزیه و برای محاسبه آنتروپی سیالات هیدروکربنی در اعماق مختلف مخزن استفاده کردند. سپس با بررسی تغییرات آنتروپی، سطح تماس گاز و نفت در مخزن را تعیین و با نمودار چگالی - نوترون مقایسه کردند. حیدری [13] همچنین مطالعه ایی را با هدف ارائه روشی جدید برای تعیین اشباع آب با استفاده از تبدیل موجک و لاگ زمان آرامش عرضی *transverse relaxation time log* انجام داد. در لایه هایی که جنس آن ها مخلوطی از دو یا سه کانی (مانند دولومیت آهکی و دولومیت ماسه ای) یا دارای تخلخل بسیار کم هستند شناسایی گاز، نفت و آب در سنگ مخزن به کمک نمودار های پتروفیزیکی بسیار دشوار است. لذا این مطالعه با هدف ارائه روشی ساده و کاربردی جهت شناسایی گاز در سنگ کربنات ارائه شده است. در این مطالعه با استفاده از تابع تبدیل موجک *demy* نویزهای موجود در داده های تخلخل و اشباع آب حذف می شوند. سپس با استفاده از داده های نویززدایی شده ی تخلخل و اشباع هیدرو کربور الگویی جهت شناسایی سیالات به ویژه شناسایی گاز در سنگ کربنات ارائه می شود. جهت بررسی و ارزیابی نتایج حاصل از تبدیل موجک از نمودار R.F.T. و نمودار *pore volume plot* حاصل از نمودار های پتروفیزیکی، استفاده شد. مهمترین دستاورد این مطالعه حذف ابزار R.F.T. و در نتیجه کاهش هزینه حفاری و مخاطرات ناشی از گیر ابزار R.F.T. است. جهت تولید از مخزن و مطالعه آن ارائه روشی قابل اعتماد جهت شناسایی نوع سیال در سنگ مخزن ضروری است. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر موفقیت آمیز بودن الگو ارائه شده جهت شناسایی نوع سیالات در سنگ های ماسه ای و کربناته است. در حالی که اهمیت تبدیل موجک در شناسایی الگو اکنون مشخص شده است و علیرغم علاقه به استفاده از آن ، مطالعات کمی در زمینه تبدیل موجک در مهندسی نفت وجود دارد.

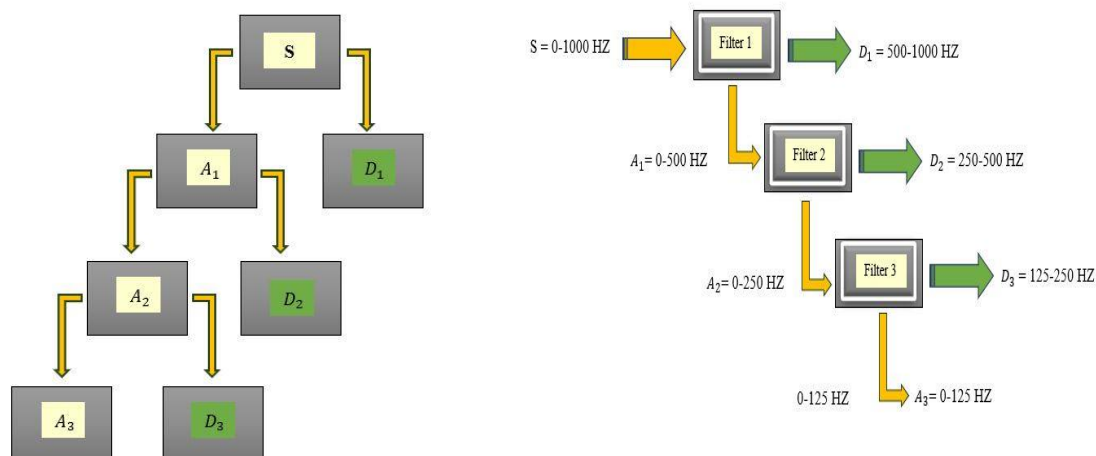
## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- تبدیل موجک

تئوری تبدیل موجک برای غلبه بر مشکلات تبدیل فوریه زمان کوتاه *short time Fourier transform* ارائه گردیده است. تبدیل موجک پیوسته یک روش تجزیه و تحلیل زمان - فرکانس می باشد. در این روش مسئله ی تقسیم سیگنال به بخش های مختلف با استفاده از مقیاس گذاری و انتقال دادن یک تابع حل می شود. این مراحل برای توابعی با مقیاس های مختلف تکرار می شود و در نهایت نتیجه حاصل به صورت مجموعه ای از اطلاعات آرگومان - فرکانس بدست می آید. ویژگی اصلی تبدیل موجک درمقابل تبدیل فوریه زمان کوتاه این است، که تمامی توابع پایه از انتقال و مقیاس تابع موجک مادر بدست می آیند. توابع تبدیل موجک مادر مختلفی تا کنون معرفی شده اند که می توان از تبدیل موجک مادر کلاه مکزیکی، هار و *demy* نام برد (شکل ۱). الگوریتم های متعددی برای گزینش تابع موجک مادر بهینه ارائه شده است [14]. بر اساس نظریه پارسوال، تابع موجک مادری مناسب است، که در آن تطابق بهتری بین انرژی سیگنال و انرژی سیگنال محاسبه شده توسط تابع موجک مادر وجود داشته باشد [1].

(الف)

(ب)



شکل-۱: نمایی از روش نویززدایی موج ورودی (S) توسط تابع تبدیل موجک تا سه مرحله شکل (الف) نمای کلی از نویززدایی موج ورودی (S)،  $A_1$  موج فیلتر شده S در مرحله اول، که در مرحله بعدی مجدداً فیلتر می‌شود،  $D_1$  نویز موج S (در مرحله اول)، که در هر مرحله دور ریخته می‌شود، شکل (ب) یک مثال از نحوه فیلتر موج ورودی (S) توسط تابع تبدیل موجک تا سه مرحله

## ۲-۲- نمودار نگار نوترون

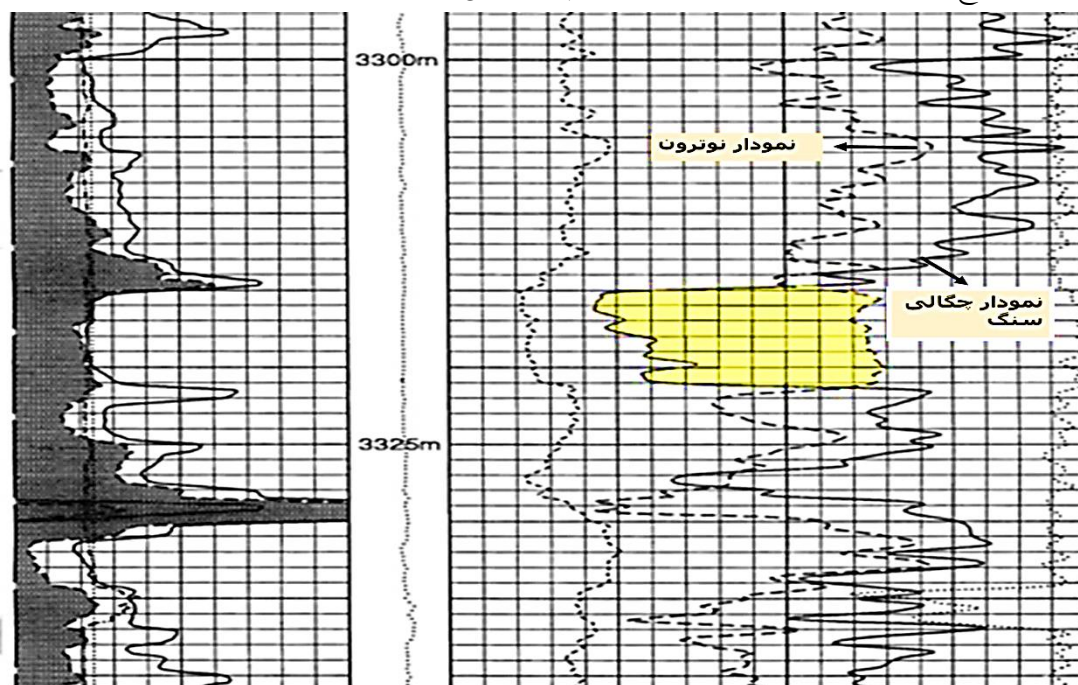
به کمک چشمه های پرتو زای مناسب، سازندها با نوترون های سریع و انرژی اولیه بین ۴ تا ۶ Mev (میلیون الکترون ولت) به شدت بمباران می شوند. به دلیل سرعت اولیه زیاد ( $10000 \text{ Km/s}$ ) نوترون ها قدرت نفوذ زیادی دارند. به این ترتیب نوترون ها در نفوذ خود، به صورت کشسان با هسته اتم های سازندهایی که سر راهشان قرار می گیرند برخورد کرده و به تدریج انرژی خود را از دست می دهند. نوترون های سریع به دنبال برخورد های کشسان با هسته اتم مواد کند می شوند. انرژی از دست رفته در هر برخورد بستگی به زاویه ی برخورد و جرم هسته ی مورد برخورد دارد. به دلیل نزدیکی جرم نوترون به هسته ی اتم نیتروژن، این اتم ها بیشترین سهم را در کند کردن نوترون ها دارند. برای روشن تر شدن آنچه که اتفاق می افتد، می توان برخورد نوترون با هسته اتم مواد را با عمل برخورد توپ های بیلیارد مقایسه کرد. زمانی که با گلوله ی سنگین تر از خود با زاویه ای دلخواه برخورد می کند، بدون این که انرژی زیادی از دست بدهد به سمت دیگری جهش پیدا می کند. برعکس در برخورد گلوله متحرک با گلوله ای به وزن مشابه، بر حسب زاویه ی برخورد، مقدار زیادی از انرژی خود را به آن انتقال می دهد که این برخورد حتی می تواند تمامی انرژی گلوله ی متحرک را بگیرد. در این بررسی ها نوترون ها و هسته ی اتم هیدروژن ها نقش گلوله های متحرک و ثابت با وزن های مشابه را دارند و اتم های دیگر همانند گلوله های ثابت و سنگین هستند. احتمال برخورد نوترون ها با یک عنصر، تابعی از تعداد هسته اتم های این عنصر در واحد حجم و مقطع موثر اتمی آن است. پارامتر اخیر که واحد آن همانند واحد سطح است، در واقع به نوعی اندازه مانع یا سدی است که هسته مورد نظر در مقابل حرکت نوترون ایجاد می کند. این پارامتر خود تابعی از نوع عنصر و انرژی نوترون است [1]. از روی نمودار نوترون مقدار تخلخل سنگ بدست می آید (شکل ۲ را ببینید).

### ۳-۲- نمودار نگار چگالی

ابزار چگالی پرتوهای گاما را به سازند ارسال می کند. پرتوهای گامای ارسال شده توسط الکترون ها ی مدار آخر هسته ها پراکنده می شوند. در نتیجه این برهمکنش، پرتو گاما انرژی خود را از دست می دهد و الکترون ها از مدار خود خارج می شوند. این فرآیند، پراکندگی کامپتون نامیده می شود و برای تعیین چگالی سنگ استفاده می شود. اثر جذب فوتوالکتریک با انرژی کم زمانی رخ می دهد که پرتو گاما به طور کامل توسط الکترون ها جذب شود. پف (Pef)، که یک شاخص جذب فوتوالکتریک است، با استفاده از پرتوهای گاما با انرژی کم اندازه گیری می شود و زمانی که ریزش دیواره چاه وجود نداشته باشد، شاخص لیتولوژی خوبی است. چگالی سازند، که ترکیبی از چگالی ماتریکس و سیال است توسط نمودارنگار چگالی نشان داده می شود. نمودار نوترون و نمودار چگالی برای کسب برخی نتایج با هم رسم می شوند. همبستگی بین این دو منحنی منجر به شناسایی بهتر لیتولوژی می شود. زمانی که نمودار چگالی و نوترون دارای مقادیر کمی باشند، نشان دهنده ماسه سنگ است، زمانی که دو نمودار روی هم قرار بگیرند، سنگ آهک را نشان می دهند و زمانی که مقادیر نوترون و چگالی افزایش یابند، نشان دهنده شیل است (شکل ۲ را ببینید).

### ۴-۲- شناسایی گاز با استفاده از نمودارنگارهای پتروفیزیکی نوترون-چگالی

شناسایی گاز با استفاده از نمودار های پتروفیزیکی در ماسه سنگ معمولا از اطمینان مناسبی برخوردار است. در این حالت به دلیل چگالی کم گاز و کاهش غلظت هیدروژنی، نمودار چگالی سنگ در جهت کاهش (یعنی به سمت چپ، خط ممتد در شکل ۲) و نمودار نوترون نیز در جهت کاهش (یعنی به سمت راست، خط چین بزرگ در شکل ۲) سوق داده می شود و جدایش بین دو نمودار به بیش از پنج واحد می رسد. نمونه ای از این رفتار در شکل ۲- نمایش داده شده است. در لایه هایی که جنس آنها مخلوطی از دو یا سه کانی (مثل دولومیت آهکی و دولومیت ماسه ای) یا دارای تخلخل بسیار کم هستند، تعیین سطح تماس گاز و نفت به وسیله نمودارهای پتروفیزیکی بسیار دشوار است [4].



شکل ۲: شناسایی گاز در ماسه سنگ با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی ناحیه زرد رنگ، اثر گاز در ماسه سنگ، جدایش

بین نمودار چگالی سنگ و نمودار نوترون بیش از پنج واحد [4]

### ۵-۲- تعیین سیال مخزن با استفاده از ابزار R.F.T.

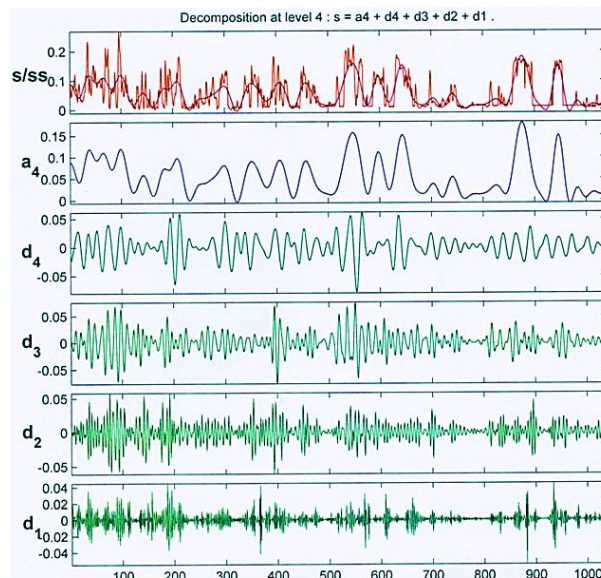
از نمودار های پتروفیزیکی برای شناسایی جنس سنگ و نوع سیال مخزن استفاده می شود. این نمودارها توانایی شناسایی هیدروکربور و آب را در سنگ های کربنات و ماسه ای و همچنین شناسایی گاز در ماسه سنگ را دارند اما گاهی شناسایی گاز در سنگ کربنات همراه با عدم قطعیت است. جهت شناسایی سیال و تعیین فشار مخزن در اعماق مختلف از ابزاری که فشار را در اعماق مختلف مخزن اندازه می گیرد (R.F.T.) ، استفاده می شود. از محاسبه تغییرات فشار بر حسب عمق نوع سیال مخزن شناسایی می شود ( نمودار سمت راست شکل ۵). گاهی به دلیل پیچیدگی جنس سنگ و ضخامت کم آن یا عواملی مانند تخلخل حفره ای و هجوم سیال گل حفاری بدرون مخزن شناسایی سیال مخزن توسط ابزار R.F.T. با عدم قطعیت همراه است.

### ۳- یافته ها

چاه "الف" از یک میدان نفتی به گونه ایی انتخاب شد که نمودارهای کامل پتروفیزیکی و ابزار R.F.T. در آن رانده شده بود. همچنین انتخاب چاه به گونه ای بود که حفره ی آن شامل سنگ های کربنات و ماسه و سنگ ها حاوی نفت، گاز و آب باشند. جهت آنالیز داده ها از تابع تبدیل موجک demy استفاده شد. بدین ترتیب که نویزهای داده های تخلخل و اشباع آب توسط تابع تبدیل موجک demy حذف شدند. نویزهای داده های تخلخل (شکل ۳) و اشباع آب (شکل ۴) تا ۴ مرحله انجام شد. سپس با استفاده از نمودار نهایی نویزهای داده های تخلخل (نوترون) (شکل ۳ تراک a4) و اشباع آب (نمودار مقاومت مخصوص) (شکل- ۴ تراک a4)، میزان اشباع هیدروکربوری (Shyd) (hydrocarbon saturation) با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد. در شکل- ۵ (نمودار سمت چپ)، نمودار نهایی نویزهای داده های تخلخل همراه با نمودار میزان اشباع هیدروکربوری نسبت به عمق رسم شده اند.

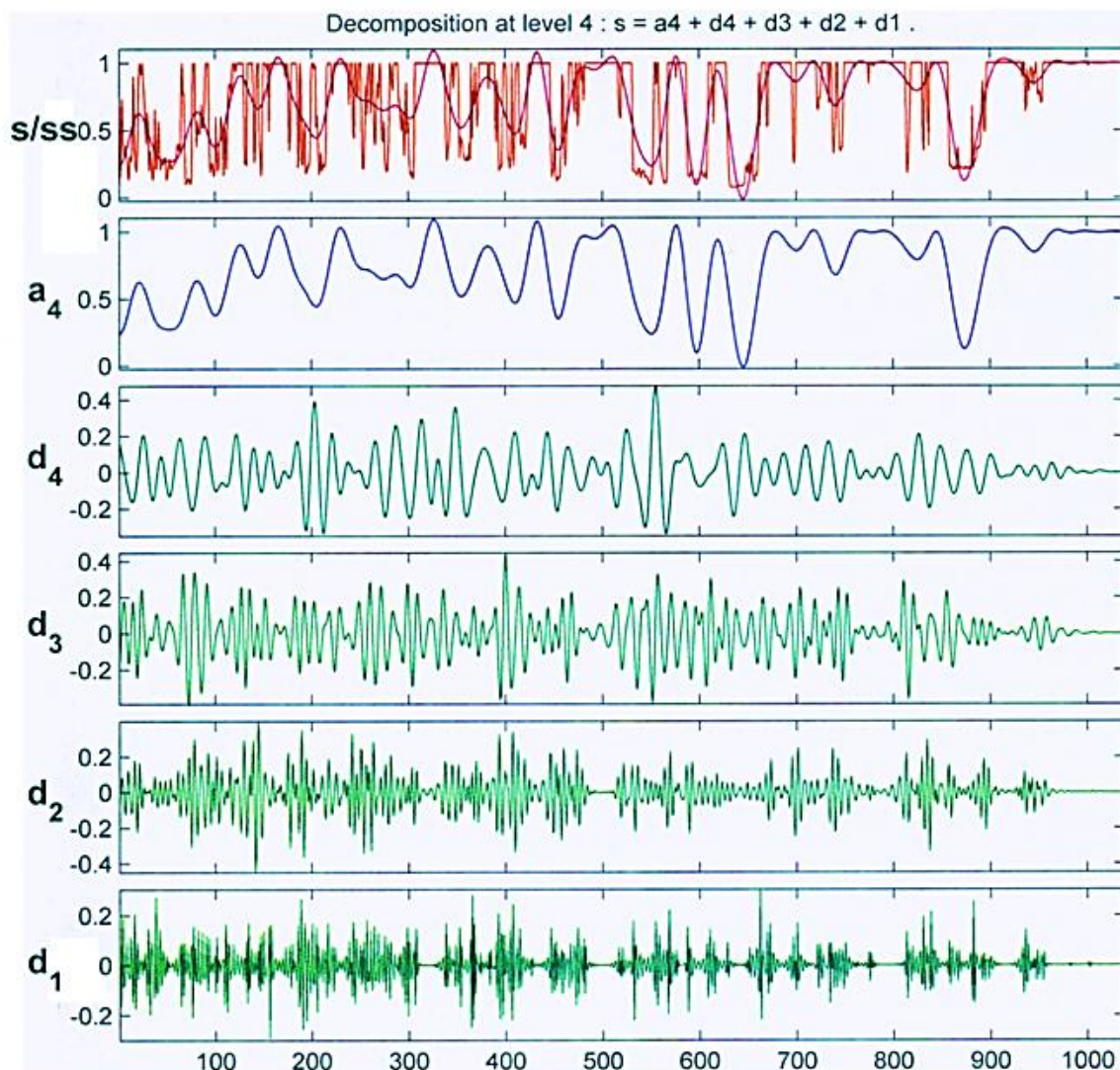
$$\text{Shyd} = (1 - S_w) \times \phi \quad (1)$$

جهت بررسی و ارزیابی نتایج حاصل از تابع تبدیل موجک demy از نمودار Pore volume plot حاصل از نمودارهای پتروفیزیکی و نتایج حاصل از ابزار R.F.T. (نمودار سمت راست شکل ۵) استفاده شد.

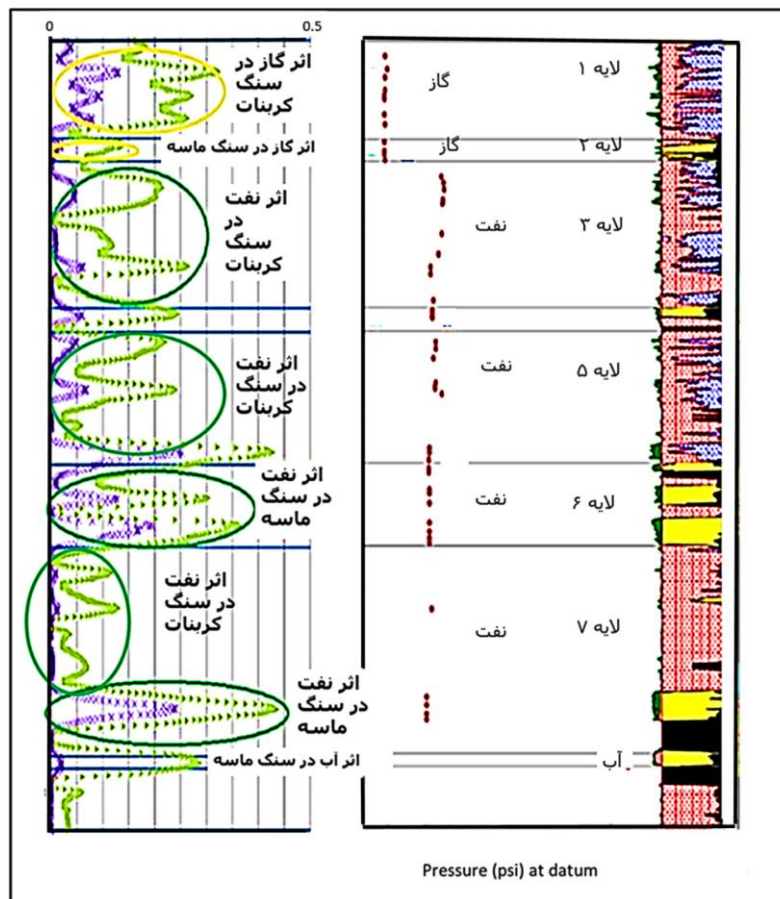


شکل- ۳: نتایج حاصل از نویززدایی داده های تخلخل چاه "الف" توسط تابع تبدیل موجک demy تا ۴ مرحله محور عرض تخلخل را به صورت کسری و محور طول عمق چاه را بر حسب متر نشان می دهند (بر مبنای عمق ورود به مخزن). تراک اول (S/SS) سیگنال حاصل از نمودار پتروفیزیکی است. تراک دوم (a4) اطلاعات پتروفیزیکی سیگنال

(S/SS) پس از چهار مرحله نویززدایی را نشان می دهد. تراک های  $d_1, d_2, d_3$  و  $d_4$  سیگنال های نویز، سیگنال S/SS هستند (شکل ۱ را ببینید).



شکل - ۴: نتایج حاصل از نویززدایی داده های اشباع آب چاه "الف" توسط تابع تبدیل موجک demy تا ۴ مرحله محور عرض اشباع آب را به صورت کسری و محور طول عمق چاه را بر حسب متر نشان می دهند ( بر مبنای عمق ورود به مخزن). تراک اول (S/SS) سیگنال حاصل از نمودار پتروفیزیکی است. تراک دوم ( $a_4$ ) اطلاعات پتروفیزیکی سیگنال (S/SS) پس از چهار مرحله نویززدایی را نشان می دهد. تراک های  $d_1, d_2, d_3$  و  $d_4$  سیگنال های نویز، سیگنال S/SS هستند (شکل ۱ را ببینید).



شکل - ۵: نتایج حاصل از آزمایش Pore Volume Plot ، R.F.T. و تابع تبدیل موجک demy در چاه "الف" در شکل ۵ نمودار سمت چپ، نمودار سبز رنگ، تخلخل و نمودار بنفش رنگ، میزان اشباع هیدروکربوری را نشان می دهد. نمودار سمت راست ، نمودار Pore volume plot حاصل از نمودارهای پتروفیزیکی و نتایج حاصل از ابزار R.F.T. را نشان می دهد در نمودار فوق نمودارهای زرد رنگ، قرمز رنگ ، آبی رنگ و سیاه به ترتیب نشان دهنده ی ماسه سنگ، سنگ آهک، دولومیت و شیل است.

#### ۴- بحث

در سنگ ماسه ای گاز از روی نمودار های پتروفیزیکی نوترون-چگالی چنانچه سنگ دارای ضخامت کافی باشد، قابل شناسایی است (شکل ۲ را ببینید). در روش پیشنهادی همانگونه که در شکل ۵ دیده می شود تاثیر گاز در سنگ ماسه ای بصورت کاهش میزان اشباع هیدروکربوری دیده می شود. علت آن کاهش میزان تخلخل نوترون ناشی از وجود گاز در سنگ ماسه ای است. در حالی که میزان اشباع هیدروکربوری در سنگ ماسه ای نفتی بیشتر از حالت گازی نشان داده می شود (نمودار بنفش در شکل ۵، لایه های ۲ و ۶ و ۷ را ببینید).

هر گاه نمودارهای پتروفیزیکی قادر به شناسایی گاز در سنگ کربنات نباشند، برای شناسایی گاز در سنگ کربنات از ابزار R.F.T. استفاده می شود. این ابزار در صورتی استفاده می شود که حفره ی چاه از وضعیت مناسب برخوردار باشد (بدون فروریختگی) همچنین سنگ دارای تخلخل نوترون مناسب باشد. در روش پیشنهادی همان گونه که در شکل ۵ (لایه ۱ نمودار بنفش) دیده می شود گاز در سنگ کربنات باعث افزایش میزان اشباع هیدروکربور شده است. حال آن که در سنگ



کربنات حاوی نفت میزان اشباع هیدروکربور ، مقدار کمتری را نشان می دهد (نمودار بنفش در شکل ۵، لایه های، ۳، ۵ و ۷ را ببینید).

نمودارهای پتروفیزیکی قادر به شناسایی آب در ماسه سنگ و کربنات هستند. وجود آب در سنگ باعث کاهش میزان اشباع هیدروکربور می شود. در روش ارائه شده در شکل 5 (لایه ۸ نمودار بنفش) تاثیر آب در سنگ ماسه ای بصورت کاهش میزان اشباع هیدروکربوری دیده می شود.

## ۵- نتیجه گیری

از نمودار های پتروفیزیکی برای شناسایی جنس سنگ و سیال مخزن استفاده می شود. این نمودار ها توانایی شناسایی هیدروکربور و آب را در سنگ های کربنات و ماسه ای را دارند اما گاهی شناسایی گاز در سنگ کربنات همراه با عدم قطعیت است. جهت شناسایی گاز در سنگ کربنات از ابزار R.F.T. استفاده می شود. در این مطالعه توسط تابع تبدیل موجک demy نویز های موجود در نمودارهای تخلخل و اشباع آب حذف شدند سپس با رسم نمودار تخلخل و اشباع هیدروکربور روشی جدید جهت شناسایی گاز در سنگ کربنات پیشنهاد شد. این روش میزان اشباع هیدروکربور در سنگ کربنات حاوی گاز را بیش از سنگ کربنات حاوی نفت نشان می دهد. حذف ابزار R.F.T. و در نتیجه کاهش هزینه های حفاری و مخاطرات ناشی از راندن ابزار R.F.T.، دستاورد این روش است.

## تشکر و قدر دانی

نویسندگان از شرکت ملی نفت- مناطق نفت خیز جنوب به دلیل در اختیار قرار دادن اطلاعات و مستندات مورد نیاز، نهایت تشکر و قدر دانی را می نمایند. همچنین از داوران محترم این مقاله جناب آقایان دکتر علیرضا بشری (رئیس انجمن زمین شناسی نفت ایران) و دکتر بهمن سلیمانی (استاد دانشگاه شهید چمران اهواز) کمال تشکر و قدردانی را داریم.

## منابع

- [۱] ابر تو سرا، ۱۳۷۸، چاه نگاری، ترجمه ی دکتر غلام حسین نورزی، ۴۸۴ صفحه
- [۲] صادق نژاد، س. پیشوایی، م. ر. بزرگمهری، ر.، ۱۳۸۶، تئوری موجک در مهندسی نفت: مجله ی اکتشاف و تولید، شماره ۴۳، صفحه ۲-۷
- [۳] طاهر دنگ کو، ر. آبدیده، م. ۱۳۹۳، آشکار سازی شکاف با استفاده از نمودار اشباع آب و آنالیز تبدیل موجک، دومین همایش ملی نفت و گاز ایران، کرمان، <https://civilica.com/doc/309455>
- [۴] عادل زاده، م. ۱۳۸۵، اصول مهندسی بهره برداری و تولید، جلد سوم، انتشارات ستایش، ۱۰۴۷ صفحه
- [۵] عزیزی، ه.، تخم چی، ب.، احمدی نویری، ح.، ۱۳۹۰، اهمیت گزینش موجک مادر بهینه در تحلیل داده ها در حوزه علوم زمین، فصل نامه زمین شناسی ایران، شماره هجدهم، صفحات ۷۶-۶۳
- [۶] ملاجان، م. معماریان، ح. تخم چی، ب.، 1395، بکارگیری روش های تشخیص الگو جهت شناسایی سیالات مخزنی با استفاده از داده های پتروفیزیکی، مجله زمین شناسی نفت ایران، دوره ۱ شماره ۲
- [۷] ملاجان، ا. جاوید، م. معماریان، ح. تخم چی، ب.، ۱۳۹۰، تشخیص سطوح تماس سیالات مخزنی و نقش آن در تعیین سطوح سیالات پس از ذخیره سازی با استفاده از تکنیک موجک، اولین کنفرانس مجازی ذخیره سازی زیر زمینی مواد هیدروکربوری، شاهرود

- [8] BURRUS, C.S., Guo, H., GOPINATH, R.A., 1997, Introduction to Wavelet and Wavelet Transforms, *A Primer, Prentice Hall*, 268.
- [9] DAHLBERG, KE., FERENGE, MV., 1984, A quantitative test of electromagnetic propagation (EPT) log for residual oil Determination, presented at 25th soc. of professional well log analyst annual logging symposium: *New Orlean; Pager DDD*
- [10] DAUBECHIES, I., 1990, The wavelet transform, time-frequency frequency localization and signal analysis, *IEEE Trans Inform. Theory*, 39, 961-1005.
- [11] GENG X., YOUNG Y., LU, P., ZHAO, S., 1983, Delectric log-a logging method for determining oil saturation: *Petroleum Technology* 35(10), 1797-1805
- [12] HEIDARI, M., et al., 2019, Determining the gas and oil contact through wavelet analysis on nuclear magnetic resonance log data: *Applied Geophysics* 168: 79-89.
- [13] HEIDARI, M., 2021, A novel computational method for determination of water saturation in oil reservoirs using discrete wavelet transform and nuclear magnetic resonance (NMR) T2 log: *Petroleum Science and Engineering* 205: 108828.
- [14] MALLAT, S., 1999, A wavelet tour of signal processing: *Academic Press*, p. 66
- [15] MALLAT, S.G., 1989, A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation: *IEEE Trans, Pattern Anal. Machine Intell.*, 45, 674-693.
- [16] MARAUM, D., KURTHS, J., 2004, Cross wavelet analysis: significance testing and pitfalls: *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11, 505-514.
- [17] MOLLAJAN, A., MEMARIAN, H., TOKHMCHI, B., Proposing a new integral method for fluid type identification from petrophysical logs in a carbonate reservoir: *Energy exploration & exploitation* 31.6: 895-908.
- [18] POLICAR, R., 1999, The Story of Wavelet, *IMACS/IEEE CSCC*, 5481-5486.
- [19] Schlumberger Log Interpretation Principles/Applications. 1998. Seven Printing. *March Sugar Land, Texas 77478*
- [20] WENYUE, ZH., TAU, G., WULIU, Z., 2006, Identifying reservoir fluids by wavelet transform of well logs: *Society of Petroleum Engineers (SPE)*, 10 pages.

## ارزیابی شرایط محیط رسوبگذاری نهشته‌های آواری پلیوسن میانی-پلئیتوسن (سازند بختیاری) بر مبنای ویژگی‌های سنگ رخساره‌ای در جنوب خاوری زاگرس چین خورده، شمال بندرعباس

پیمان رضائی\*<sup>۱</sup>، سیده اکرم جویباری<sup>۲</sup>، شهربان محمدزاده شمیلی<sup>۳</sup>

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

۲- دکتری رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان

۳- کارشناس ارشد رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان

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

دریافت خرداد ۱۴۰۳، پذیرش تیر ۱۴۰۳

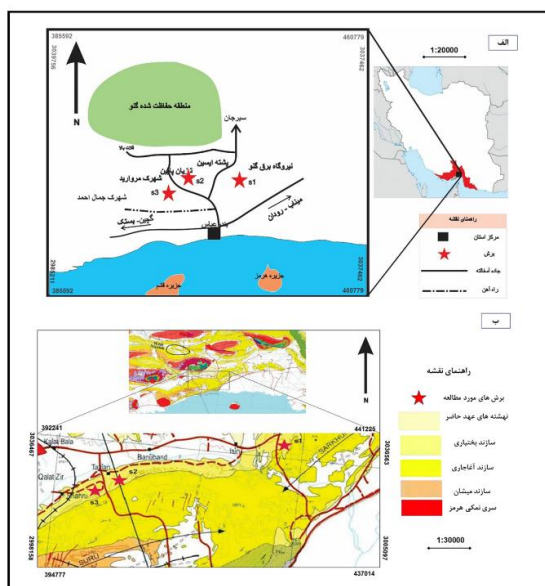
### چکیده

سازند بختیاری معرف بازه زمانی پلیوسن میانی- پلئیتوسن در پهنه رسوبی ساختاری زاگرس چین خورده است. نهشته‌های آواری این سازند در محدوده شمال شهر بندرعباس دارای رخنمون‌های گسترده‌ای است. به منظور مطالعه سازند بختیاری از دیدگاه زمین شناسی رسوبی، سه برش از این سازند در شمال باختری شهر بندرعباس (نیروگاه برق گنو، جنوب شهرک تازیان پایین، جنوب شهرک مروارید) انتخاب گردید. از این برش‌ها ۵۰ نمونه برای بررسی‌های میکروسکوپی و ۶ نمونه برای شناسایی کانی‌های سنگین برداشت شد. در هر سه برش سازند بختیاری شامل تناوبی از کنگلومرا، ماسه سنگ و مقداری گل‌سنگ می‌باشد. این سازند در منطقه مورد مطالعه، با مرزی از نوع ناپیوستگی فرسایشی بر روی سازند آغاجاری قرار گرفته است. مرز بالایی سازند بختیاری با نهشته‌های عهد حاضر نیز از نوع ناپیوستگی فرسایشی است. بررسی‌های صحرائی و آزمایشگاهی منجر به شناسایی پتروفاسیس‌های دانه درشت (کنگلومرای گل پشٹیبان و دانه پشٹیبان)، دانه متوسط (ماسه سنگ کالک لیتایتی)، دانه ریز (گل‌سنگی) و پنج عنصر ساختاری (GB, CH, SB, GH, FF) در این سازند شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که نهشته‌های سازند بختیاری در شمال باختری بندرعباس در یک رودخانه بریده بریده دور از منشا در انتهای یک مخروط افکنه بجای گذاشته شده‌اند. مجموعه کانی‌های سنگین شناسایی شده در این توالی دارای دو منشا توالی‌های سری هرمز و پهنه سندنجد-سیرجان هستند که از چند چرخه رسوبی تاثیر پذیرفته‌اند. مجموعه ویژگی‌های سنگ رخساره‌های سازند بختیاری، تاییدی بر پویایی زمین ساختی انتهای دوران نوزیستی در بازه زمانی پلیوسن میانی-پلئیتوسن به ویژه رویداد زمین ساختی بختیارین می‌باشد که به تشدید شرایط قاره‌ای در گستره مورد مطالعه منجر گردیده است.

**کلمات کلیدی:** سازند بختیاری، سنگ رخساره، شرایط ته نشینی، زاگرس چین خورده، بندرعباس.

## ۱- مقدمه

نهشته‌های آواری سازند بختیاری معرف بازه زمانی پلیوسن میانی-پلیستوسن در پهنه رسوبی ساختاری زاگرس چین خورده [۲۳] که با مرزهایی از نوع ناپیوستگی زاویه‌دار و ناپیوستگی فرسایشی بر روی سازند آجاجاری و یا سازندهای قدیمی‌تر واقع شده است [۱]. هیچ واحد سنگ چینه نگاری رسمی بر روی این سازند قرار نداشته و در برخی نواحی، رسوب‌های عهد حاضر بر روی آن دیده می‌شود. سازند بختیاری به عنوان جوان‌ترین سازند رسمی در پهنه زاگرس چین خورده گسترش قابل توجهی دارد و در حاشیه بسیاری از تاقدیس‌ها و هسته ناودیس‌های این گستره دیده می‌شود. نهشته‌های آواری سازند بختیاری جوان‌ترین سکانس رسوبی همزمان با کوه‌زایی و تکتونیک در حوضه پیش بوم زاگرس را نمایندگی می‌کنند [۵۶]. رسوبگذاری و چین خوردگی سریع آواری‌های سازند بختیاری همزمان در امتداد کمربند رورانده-چین خورده زاگرس رخ داده و با جا به جایی از نواحی پس خشکی در شمال خاور به سوی پیش خشکی در جنوب باختر ایران بوده است. از این رو، سازند بختیاری یک شاخص زمانی دقیق برای بررسی تکتونیک پویا و فعال صفحه‌ای اوراسیا-عربی در امتداد زاگرس و نئوتیس در نظر گرفته می‌شود [۱۷]. بر بریان و کینگ [۱۱] بر این باورند که سراسر ایران در میوسن پایانی دچار جنبش‌های کوه‌زایی مهم شد که با آغاز دومین گام بازشدگی دریای سرخ و خلیج عدن همراه بود. بین توالی میوسن و پلیوسن در برخی از گستره‌های ایران، یک ناپیوستگی زاویه‌ای وجود دارد که می‌توان آن را در پایه سازند بختیاری در زاگرس و سازند هزاردره در دامنه‌های جنوبی البرز مشاهده کرد [۶]. در زاگرس، نهشته‌های آواری سازند بختیاری در کنار تغییرات اقلیمی، بیشتر حاصل تشدید جنبش‌های زمین ساختی در طی رویداد بختیاری هستند [۶]. توالی‌های آواری کنگلومرای-ماسه سنگی (همراه با گل سنگ) از دوران دیرینه زیستی (پالئوزوئیک) تا نوزیستی (سنوزوئیک) در ایران دیده می‌شوند. از جمله مطالعات بر روی این توالی‌ها می‌توان به پژوهش بر روی توالی سازند باقرق در ایران مرکزی [۲۶]، سازند شوربچه در کپه داغ [۲]، سازند کرمان در شمال شرق ایران مرکزی گستره کاشمر [۹]، رخساره‌های کنگلومرای سازند قم در شمال آباد (حوضه پیش کمانی سنندج-سیرجان) [۸]، گروه بیدو در برش فیض آباد شمال کرمان [۷] و سازند کهریزک در خاور تهران [۴] اشاره نمود. هدف از این پژوهش بررسی پتروفاسیس‌ها و محیط رسوبگذاری سازند بختیاری به عنوان یکی از جوان‌ترین توالی‌های آواری زاگرس چین خورده در شمال شهر بندرعباس می‌باشد.



شکل ۱: الف: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و برش‌های مورد نظر (با تغییراتی از اطلس راه‌های استان هرمزگان [۵]) ب: محدوده مورد مطالعه و برش‌ها بخشی از نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ بندرعباس [۱۸].

## ۲- ویژگی‌های جغرافیایی و زمین شناسی

گستره مورد مطالعه در شمال باختری شهر بندرعباس در محدوده ایسین خاوری و باختری و همچنین در حوضه آبریز دو رودخانه (طاس‌بر و کل انگوران) قرار دارد (شکل ۱- الف). دشت ایسین به وسعت ۲۳۰ کیلومتر مربع در ۲۰ کیلومتری شمال بندرعباس واقع گردیده و از شمال به کوه گنو، از شرق به جاده بندرعباس-سیرجان، از جنوب به تاقدیس بندرعباس و از غرب به رودخانه کل محدود می‌گردد. این دشت ناودیس به شکل ذوزنقه می‌باشد که بین تاقدیس بزرگ گنو و تاقدیس بندرعباس قرار دارد منطقه مورد مطالعه از نظر رسوبگذاری و چینه شناسی جزء زاگرس چین خورده محسوب می‌شود (شکل ۱- ب). حوضه آبریز مورد مطالعه شامل بخشی از یال جنوبی تاقدیس کوه گنو است که خود یکی از طاقدیس‌های بزرگ موجود در ناحیه چین خورده زاگرس می‌باشد که با محور شرقی-غربی در شمال بندرعباس واقع گردیده و ارتفاعات شمالی دشت ایسین و ارتفاعات غربی دشت سرخون را تشکیل می‌دهد [۵]. در محدوده مورد مطالعه واحدهای سنگ چینه نگاری از قدیم به جدید عبارتند از: سازند میشان، آغاچاری و بختیاری. نهشته‌های کواترنری شامل رسوبات رودخانه‌ای، بادی و ساحلی فراوان هستند.

## ۳- روش مطالعه

در ابتدا، برای شناسایی برش‌های مناسب و محل‌های نمونه‌برداری از نقشه‌ی زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بندرعباس [۱۸] و تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردید. سپس با توجه به اطلاعات بدست آمده و منابع اطلاعاتی موجود، طی بازدیدهای صحرائی سه برش جهت مطالعه انتخاب گردید. در پیمایش‌های صحرائی بر اساس اهداف و بر مبنای روش‌های مطالعه صحرائی در زمین شناسی رسوبی، مرزهای پایینی و بالایی سازند بختیاری، تغییرات افقی و عمودی سنگ رخساره‌ها، ساخت‌های رسوبی، مشخصه‌های بافتی مورد بررسی کمی و کیفی قرار گرفتند. بر مبنای همین بررسی‌ها، ۵۰ نمونه از سه برش مورد نظر برای ادامه مطالعات برداشت گردید. از نمونه‌های برداشت شده، مقطع نازک با نگرش ویژه به پتروگرافی نهشته‌های آواری تهیه شد. ۶ نمونه (ماسه سنگ) دیگر نیز برای شناسایی کانی‌های سنگین برداشت شد. در نامگذاری کنگلومراها از رده بندی باگز [۱۲] و ماسه سنگ‌ها نیز از رده بندی فولک [۲۰] استفاده گردید. از روش طبقه بندی مایل [۴۷] برای بررسی سنگ رخساره‌ها و عناصر ساختاری استفاده گردید.

## ۴- بحث و نتایج

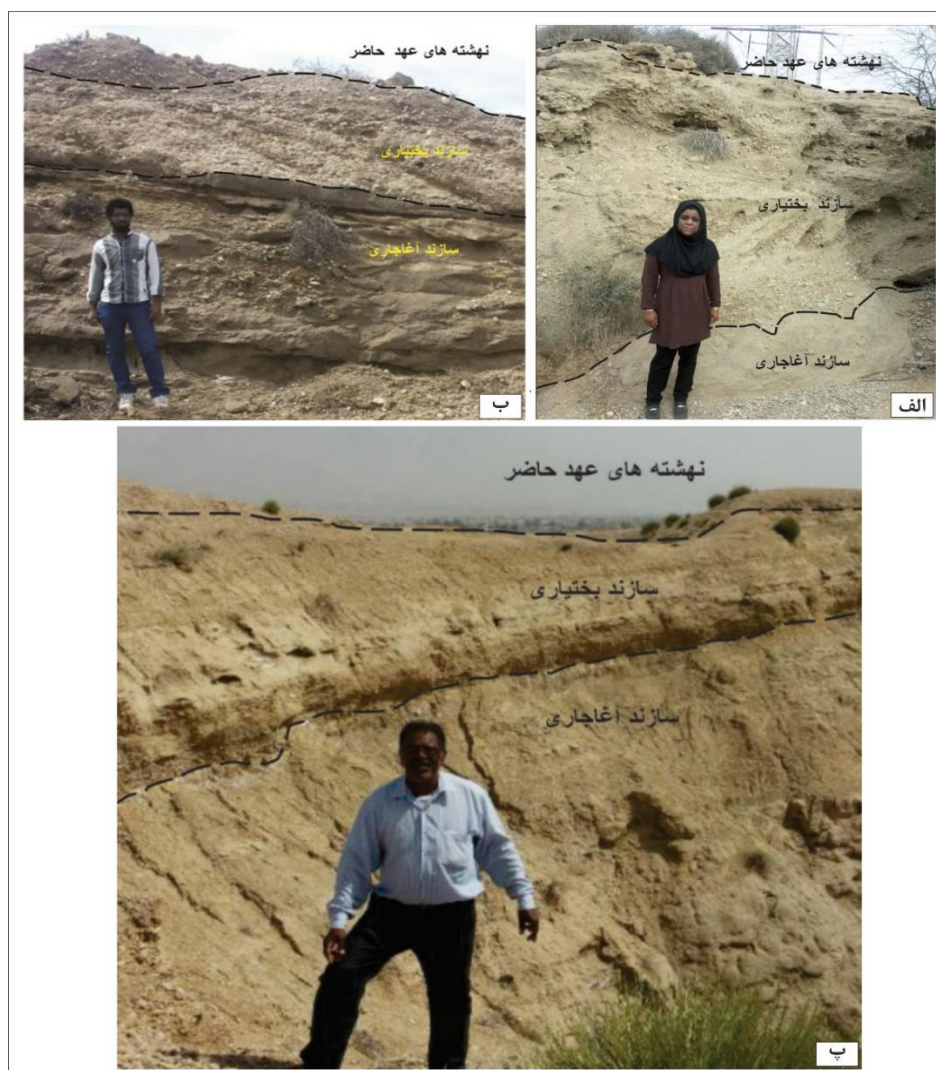
### ۴-۱. سنگ چینه نگاری سازند بختیاری

در سه برش مورد مطالعه، مرز زیرین سازند بختیاری با سازند آغاچاری و از نوع ناپیوستگی فرسایشی و مرز بالایی این سازند با نهشته‌های عهد حاضر نیز از نوع ناپیوستگی فرسایشی است (شکل ۲). ستبرای سازندی بختیاری در برش نیروگاه برق گنو، باختر تاقدیس سرخون، ۲/۸۰ متر است شامل کنگلومرای خاکستری دارای کانال فرسایشی (شکل ۳- الف)، ساخت فلسی، کنگلومرا قهوه‌ی دارای طبقه بندی مورب و عدسی‌های ماسه‌ای (شکل ۳- ب) همراه با توالی نازک لایه‌ای از ماسه سنگ خاکستری با لایه بندی متقاطع عدسی شکل می‌باشد.

<sup>10</sup> Boggs

<sup>11</sup> Folk

<sup>12</sup> Miall



شکل ۲- الف: مرز پایینی و بالایی سازند بختیاری در برش نیروگاه برق گنو(نگاه بسوی باختر). ب: برش جنوب شهرک مروارید(نگاه بسوی باختر) پ: برش جنوب شهرک تازیان پایین(نگاه بسوی شمال خاوری)

برش دوم در جنوب شهرک تازیان و قسمت مرکزی طاقدیس سورو در شمال باختری شهر بندرعباس واقع شده است که ۸ متر ستبراً دارد. سازند بختیاری در این توالی نیز شامل کنگلومرای قهوه‌ای رنگ با ساخت فلسی، ماسه سنگ کرم روشن با حفره‌های بزرگ و لایه سست گلی قهوه‌ای رنگ است. سومین برش مورد مطالعه در جنوب شهرک مروارید و شمال شهرک جمال احمد واقع در طاقدیس سورو و باختر شهر بندرعباس می‌باشد. ستبرای سازند بختیاری در این برش ۶ متر و شامل کنگلومرای قهوه‌ای، دارای کانال فرسایشی، لامینه بندی(شکل ۳-پ)، کنگلومرا با ساخت دانه‌بندی تدریجی، کنگلومرا با دانه‌های بشقابی شکل و ماسه سنگ قهوه‌ای رنگ همراه طبقه بندی مورب است(شکل ۳-ت). در مجموع توالی سازند بختیاری در سه برش مورد مطالعه دارای ۱۶/۸۰ متر ستبراً بوده که شامل ۱۱/۳ متر کنگلومرا(۶۷/۲۶ درصد)، ۳/۷ متر ماسه سنگ(۲۲/۰۳ درصد) و ۱/۷ متر گل سنگ(۱۰/۷۱ درصد) می‌باشد. این مهم به خوبی نشان دهنده ماهیت تخریبی این سازند در اواخر پلیوسن میانی-پلیستوسن در این گستره است. بررسی روند ستبرای برش‌ها از خاور به باختر نشان می‌دهد که برش نیروگاه گنو با ۲/۸۵ متر، کم‌ترین ستبراً و برش جنوب شهرک تازیان پایین بدلیل نزدیک بودن به مخروط افکنه تازیان در شمال این برش دارای بیشترین ستبراً(۸ متر) می‌باشد.



شکل ۳- الف: کانال فرسایشی (نگاه بسوی باختر)، ب: : عدسی ماسه‌ای (نگاه بسوی شمال باختری) پ: لامینه بندی گل (نگاه بسوی باختر) ت: لامینه بندی متقاطع (نگاه بسوی باختر)

#### ۴-۲. سنگ رخساره‌های رسوبی

بر اساس مشاهدات نهشته‌های درشت دانه سازند بختیاری در برش‌های مورد مطالعه دارای پتروفاسیس ارتوکنگلومرای گل پشתיان و دانه پشתיان هستند که در ادامه توصیف و تفسیر آن‌ها ارائه می‌گردد:

#### A1: پتروفاسیس ارتوکنگلومرای برون سازندی پترومیکت دانه پشתיان توده‌ای (Gcm)<sup>۱۳</sup>

**توصیف:** پتروفاسیس Gcm یک کنگلومرای دانه پشתיان می‌باشد که خود از انواع مختلف کنگلومرای پبلی تا قلوه سنگ‌دار تشکیل شده است. این پتروفاسیس در منطقه مورد مطالعه بصورت توده‌ای با زمینه ماسه سنگی (ماسنگ ریز تا درشت دانه) و به رنگ خاکستری روشن، گاه همراه با عدسی‌های گلی کوچک دیده می‌شود. گراول‌ها از جنس‌های متفاوت آهکی، ماسه سنگی، آتشفشانی و سیلتستون آهکی با اندازه‌های متغییر می‌باشند که اغلب گراول‌ها از جنس آهک هستند. دانه‌هایی در اندازه ۳/۵-۷ سانتیمتر با گردشگی متفاوت، جورشدگی متوسط و کرویت متوسط می‌باشند. این پتروفاسیس در برخی لایه‌ها بصورت پر کننده کانال در منطقه دیده می‌شود. رسوبات قرمز آهن‌دار بر روی گراول‌ها (در برش نیرگاه برق گنو) قابل مشاهده است. این پتروفاسیس در هر سه برش، در ضخیم‌ترین لایه‌های کنگلومرایی قابل مشاهده است (شکل ۴-الف).

**تفسیر:** پتروفاسیس مورد بحث عمدتاً حاوی زمینه دانه ریز بوده، فاقد لایه بندی و ساخت رسوبی است [۴۷، ۱۰]. تشکیل این پتروفاسیس بیانگر انرژی بالای محیط در هنگام رسوبگذاری بوده است که از ته‌نشست ذرات ریز جلوگیری نموده و به علت تشکیل در شرایط جریان آشفته، حالت توده‌ای دارند [۱۰، ۳۶]. عدم حضور ذرات ریز در این پتروفاسیس نشان دهنده انرژی بالای جریان و حالت توده‌ای آن و نبود ساخت فلسی در قطعات منعکس کننده تشکیل این رخساره توسط جریان‌های با چگالی بالا و آشفته است [۲۱، ۳۴]. جریان‌های خرده‌دار که از سرعت و انرژی بالایی برخوردارند، می‌توانند

<sup>13</sup> Massive, Grein- supported Petromict Exterafomational Orthoconglomerate (A1)

سبب تشکیل این پتروفاسیس شده باشند [۲۹،۵۵]. این پتروفاسیس مربوط به کف کانال در انتهای مخروط افکنه و ابتدای رودخانه بریده بریده با بستر گراولی تشکیل می‌شود [۴۷-۴۶].

#### A2: پتروفاسیس ارتوکنگلومرای برون سازندی پترومیکت دانه پشٹیيان با طبقه بندی مورب عدسی (Gt)<sup>14</sup>

**توصیف:** پتروفاسیس Gt معرف کنگلومراهای درای لایه بندی مورب عدسی شکل می‌باشد که مهم‌ترین مشخصه این پتروفاسیس است. این پتروفاسیس معمولاً به شکل عدسی نامتقارن دیده می‌شود. ترکیب دانه‌های تشکیل دهنده آن همانند ترکیب سنگ رخساره A1 است اما اندازه آن‌ها کوچکتر است. حداکثر اندازه دانه‌های آن به ۳ سانتیمتر می‌رسد. ذرات غالباً به فرم تیغه‌ای هستند. زمینه ماسه‌ای بین دانه‌ها را فرا گرفته است. ضخامت پتروفاسیس حداکثر به ۴۰ سانتی متر می‌رسد. گسترش جانبی آن کم است. این پتروفاسیس در بخش‌های میانی برش نیروگاه برق گنو و در تناوب با پتروفاسیس‌های ماسه سنگی قرار می‌گیرد. سطح پایینی این پتروفاسیس، مقعر به سمت بالا می‌باشد (شکل ۴-ب).

**تفسیر:** ویژگی‌های این پتروفاسیس بیانگر، انرژی بالایی جریان و بار رسوبی متوسط است که عمدتاً توسط جا به جایی گراول‌ها در یک جریان پرانرژی در حال کاهش ایجاد می‌شود [۴۷] و پر شدگی‌های جزئی کانال را نشان می‌دهند [۴۴،۷۰].

#### A3: پتروفاسیس ارتوکنگلومرای برون سازندی پترومیکت دانه پشٹیيان دارای لایه بندی افقی (Gh)<sup>15</sup>

**توصیف:** پتروفاسیس ارتوکنگلومرای برون سازندی پترومیکت گل پشٹیيان دارای لایه بندی افقی و ساخت فلسی است. این پتروفاسیس مانند پتروفاسیس Gcm در هر سه برش مورد مطالعه و در لایه‌های پایینی و میانی مشاهده شد. در این پتروفاسیس گراول‌ها دارای لایه بندی مشخص و ساخت فلسی نامشخص و مبهم هستند. دانه تقریباً هم اندازه می‌باشند که در زمینه ماسه سنگ درشت قرار گرفته‌اند. تغییرات جانبی کمی دیده می‌شود (شکل ۴-ب).

**تفسیر:** ویژگی‌های این پتروفاسیس بیانگر آن است که جریان آب و فرآیند جریان رودخانه‌ای در تشکیل آن دخالت دارد [۶۷]. این پتروفاسیس در اثر مهاجرت جانبی سدهای طولی در رودخانه، به شکل رسوبات باقی مانده در کف کانال، و یا نهشته‌های غربال شده تشکیل می‌شود [۴۹-۴۸، ۱۶].

#### A4: پتروفاسیس ارتوکنگلومرای برون سازندی پترومیکت دانه پشٹیيان با دانه بندی تدریجی معکوس (Gci)<sup>16</sup>

**توصیف:** این پتروفاسیس در محدوده مورد مطالعه بطور جانبی به سایر پتروفاسیس‌های کنگلومرایی تبدیل می‌شود. در این پتروفاسیس اندازه ذرات بطرف بالا کاهش می‌یابد. ذرات دانه درشت دارای گردش‌دگی ضعیفی می‌باشند و اغلب زاویه‌دار و بیشتر ذرات آهکی هستند (شکل ۴-پ).

**تفسیر:** این پتروفاسیس حاوی گراول‌های آواری دانه پشٹیيان با دانه بندی تدریجی معکوس است. جریان آواری غنی از قطعات (مقاومت بالا)، یا جریان آواری پلاستیک دروغین (مقاومت کم) این پتروفاسیس را به وجود می‌آورد [۱۹،۴۳]. این پتروفاسیس معرف بخش ابتدایی یک جریان رودخانه‌ای است که حجم بالایی از قطعات از مخروط افکنه به آن وارد شده‌اند [۲۵].

#### A5: پتروفاسیس ارتوکنگلومرای برون سازندی پترومیکت دانه پشٹیيان با طبقه بندی مورب و سطح مسطح (Gp)<sup>17</sup>

**توصیف:** این پتروفاسیس در گستره مورد مطالعه به شکل دانه پشٹیيان همراه مقادیری ماتریکس وجود دارد و این پتروفاسیس از رسوبات گراولی با لایه‌بندی مورب مسطح تشکیل شده است. که عمدتاً ذرات آن‌ها گراول می‌باشد (شکل ۴-ب).

<sup>14</sup> Trough cross-bedded, Grein- supported Petromict Exterafomational Orthoconglomerate (A2)

<sup>15</sup> Crudely Bedded, Mud-supported Petromict Exterafomational Orthoconglomerate (A3)

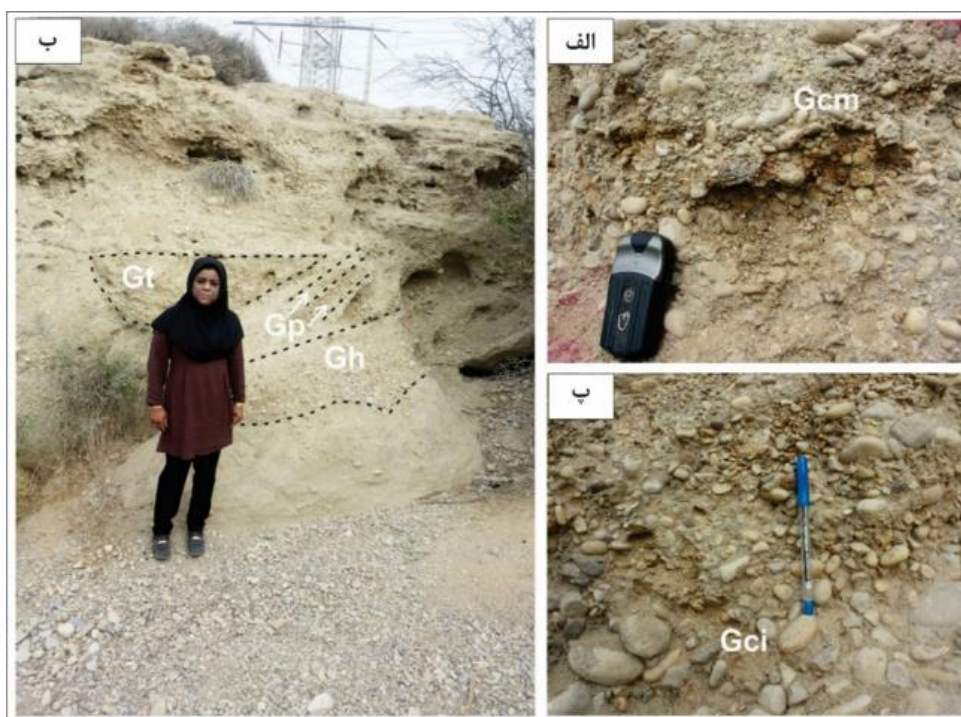
<sup>16</sup> Reverse Graded Bedded, Grein- supported Petromict Exterafomational Orthoconglomerate (A4)

<sup>17</sup> Planar cross-bedding Bedded Petromict Exterafomational Orthoconglomerate (A5)



تفسیر: شواهد بیانگر آن است که این پتروفاسیس سنگی ممکن است بر اثر مهاجرت سدهای متقاطع زبانه‌ای در بخش‌های عمیق‌تر کانال بر جای گذاشته شده باشد [۴۶] رخساره Gp تحت شرایط جریان انرژی بالا، مشابه با پتروفاسیس Gm نهشته شده است [۷۰]. میال [۴۴] تشکیل پتروفاسیس Gp را باقی مانده سدهای زبانی<sup>۱۸</sup> می‌داند. واکر و جیمز<sup>۱۹</sup> [۶۶] نیز طبقه بندی مسطح شیب‌دار با زاویه زیاد را وابسته به مهاجرت سدهای بزرگ یا سطوح لغزشی زیاد می‌داند. برخی نیز، آن‌ها را نتیجه سدهای بین کانالی تشکیل شده در بخش‌های عمیق یک کانال می‌دانند [۶۱،۷۱].

بررسی میکروسکوپی ترکیب گراول‌های نهشته‌های درشت دانه سازد بختیاری عموماً آهکی، تراکیتی، چرتی، ریولیتی، بازالتی، چرتی، سیلتستونی و ماسه سنگی می‌باشد که برتری با گراول‌های آهکی می‌باشد (شکل ۵). به نظر می‌رسد تنوع گراول‌های آهکی در ارتباط مستقیم با سازند آهکی آسماری و وجود خرده‌های چرتی، دگرگونی و آتشفشانی در ارتباط مستقیم با سری هرمز و زون سسندج-سیرجان می‌باشد که تحت تاثیر چرخه‌های رسوبی و تکتونیک پویای منطقه در این توالی نهشته شده‌اند.

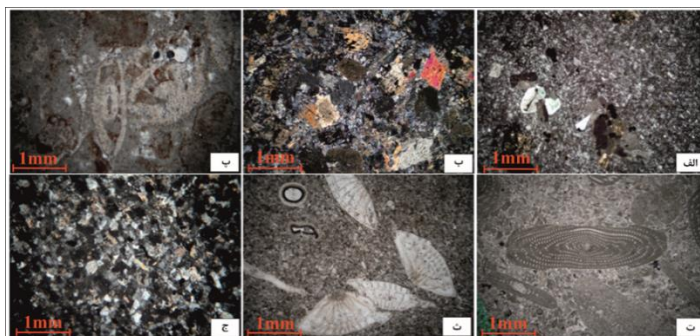


شکل ۴- انواع پتروفاسیس کنگلومرایی شناسایی شده سازند بختیاری در محدوده مورد مطالعه الف: پتروفاسیس

گراولی Gcm ب: پتروفاسیس گراولی Gt, Gp, Gh پ: پتروفاسیس گراولی Gci.

<sup>18</sup> Linguid bars

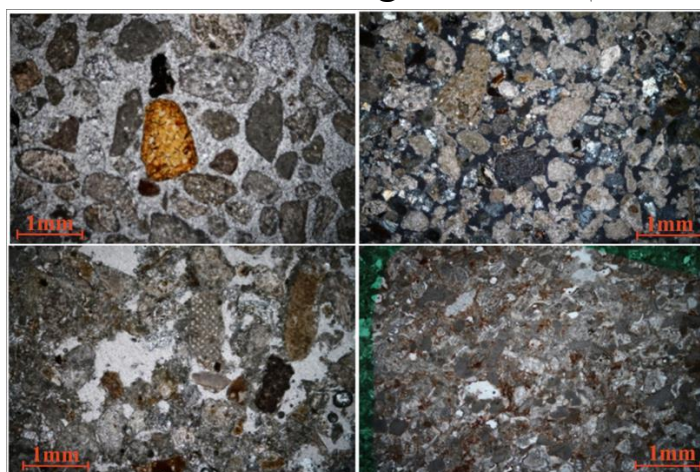
<sup>19</sup> Walker and James



شکل ۵- تنوع ترکیبی گراول‌های سازند بختیاری الف: تراکیت با بافت پورفیریپ: میکروگابرو پ: بایوکلاست اینتراکلاست و کستون ت: پلوئید بایوکلاست و کستون ت: بایوکلاست و کستون ج: سیلستون آهکی (همه تصاویر نور XPL).

#### ۴-۲-۲. سنگ رخساره ماسه سنگی

در توالی‌های مورد مطالعه سازند بختیاری، رخساره ماسه سنگی در تناوب با کنگلومراها و گل‌سنگ دیده می‌شوند. بررسی صحرایی منجر به شناسایی چهار پتروفاسیس ماسه سنگی در توالی‌های مورد گردید. مطالعه میکروسکوپی نشان داد این پتروفاسیس‌ها عمدتاً از خرده سنگی شامل خرده سنگ‌های آهکی، کوارتز و بعضاً فلدسپار و چرت (خیلی کمتر) تشکیل شده است (شکل ۶). اندازه دانه‌های ماسه در این ماسه سنگ‌ها بین ۰/۲ میلی متر تا ۲ میلی متر متغیر است، بنابراین از ماسه سنگ‌های دانه ریز تا درشت محسوب می‌شوند، معمولاً درشت‌ترین قطعات را قطعات آهکی و سپس، ماسه سنگ‌ها تشکیل می‌دهند و فلدسپارها ریزتر هستند. سیمان این پتروفاسیس‌ها عمدتاً سیمان کلسیتی و گاه‌آهنی است (شکل ۶). با توجه به درصد بالای خرده سنگ‌ها نسبت به کوارتزها، بلوغ ترکیبی ضعیفی دارند. گردش‌دگی دانه متوسط تا ضعیف دانه‌ها و ایمچور [۶۵] هستند، بنابراین بلوغ بافتی متوسطی دارند. بر مبنای این خصوصیات پتروگرافی و با توجه به طبقه بندی فولک [۲۰] ماسه سنگ‌های سازند بختیاری، از نوع کالک لیتایت می‌باشد. در ادامه این سنگ رخساره ماسه سنگی بر مبنای ساخت‌های رسوبی و بر اساس تقسیم بندی میال [۴۸] شرح داده می‌شود:

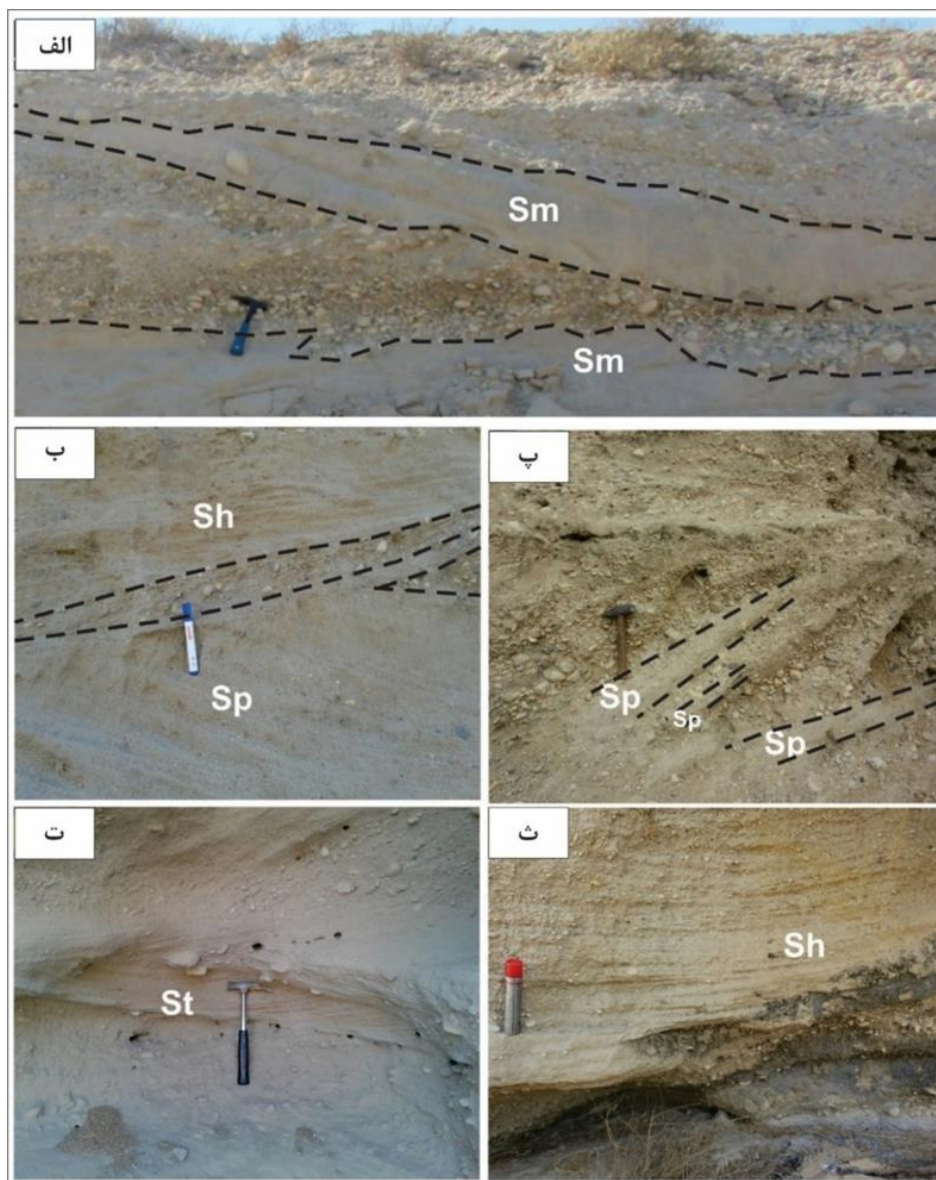


شکل ۶- تصویر میکروسکوپی پتروفاسیس کالک لیتایت در سازند بختیاری (نور ppl).

. B1 : پتروفاسیس کالک لیتایت با طبقات مورب مسطح (Sp) ۲۰.

توصیف: این پتروفاسیس شامل طبقه بندی مورب مسطح است. لایه‌های مورب به دو صورت مورب و ساده وجود دارند (شکل ۷-پ).

تفسیر: وجود لایه بندی مورب و ساده بیانگر تهنشست در محیط آبی با جریان‌های یک جهتی هستند [۶۵]. این پتروفاسیس اغلب در سرعت‌های پایین جریان آب [۲۷] و در اثر حرکت ریپل‌ها و مگاریپل‌های دو بعدی با خط الراس مستقیم تشکیل می‌شوند [۱۴، ۶۴]. این پتروفاسیس در برش‌های مورد مطالعه به طور جانبی و متناوب با سایر پتروفاسیس‌های ماسه سنگی قرار دارد.



شکل ۷- پتروفاسیس‌های ماسه سنگی شناسایی شده در سازند بختیاری در محدوده مورد مطالعه الف: پتروفاسیس ماسه سنگی Sm, ب: پتروفاسیس ماسه سنگی Sh و Sp, پ: پتروفاسیس ماسه سنگی Sp, ت: پتروفاسیس ماسه سنگی St و ث: پتروفاسیس ماسه سنگی Sh.

B2: پتروفاسیس کالک لیتایت با طبقات مورب عدسی<sup>21</sup> (St).

<sup>21</sup> Trough cross-bedded Calclitite (B2)

**توصیف:** این پتروفاسیس در قسمت میانی پایین دست برش نیروگاه برق گنو به فراوانی قابل مشاهده است. شامل ماسه ریز تا خیلی درشت است در بعضی قسمت‌ها پیل هم دیده می‌شود. این پتروفاسیس بصورت جانبی و عمودی به سایر پتروفاسیس‌های کنگلومرای و ماسه سنگی تبدیل می‌شود. لایه بندی متقاطع ناودیسسی (تراف) تک یا گروهی در آن‌ها دیده می‌شود (شکل ۷-ث).

**تفسیر:** پتروفاسیس St اغلب در نتیجه حرکت ریپل‌ها و مگاریپل‌ها با خط الراس پیچیده و سینوسی [۲۷،۳۸،۵۳] و همچنین دون‌های سه بعدی [۴۷] حاصل می‌شود.

#### B3: پتروفاسیس کالک لیتایت با طبقات موازی (Sh)<sup>۲۲</sup>.

**توصیف:** مهم‌ترین ساخت رسوبی در این پتروفاسیس، لامینه بندی و طبقه بندی افقی است و جدایش خطی نیز گاهی دیده می‌شود. این پتروفاسیس بیشتر در برش نیروگاه برق گنو مشاهده می‌شود که ضخامت کمتر از ۵۰ سانتیمتر دارد (شکل ۷-ب).

**تفسیر:** در این پتروفاسیس، چینه‌ها در حد لامیناسیون هستند که مجموعه‌هایی ضخیم را ایجاد می‌کنند. اندازه دانه‌ها اغلب در حد ماسه ریز تا متوسط‌اند. پتروفاسیس Sh در سرعت‌های پایین و بالای جریان آب رودخانه حاصل می‌شود [۲۷،۳۸،۴۷،۵۳]

و به طور جانبی به دیگر پتروفاسیس‌های ماسه سنگی تبدیل می‌گردد.

#### B4: پتروفاسیس کالک لیتایت توده‌ای (Sm)<sup>۲۳</sup>

**توصیف:** این پتروفاسیس فاقد ساخت رسوبی است. اغلب در قسمت میانی و بالایی برش‌ها دیده می‌شود. این پتروفاسیس فاقد اندازه دانه‌ها اغلب در حد ماسه متوسط تا درشت است. با مرز مشخص به سایر پتروفاسیس‌های ماسه سنگی قرار گرفته است. این پتروفاسیس در برش جنوب شهرک تازیان به رنگ بسیار روشن دیده می‌شود (شکل ۷-الف).

**تفسیر:** نهشته‌های ماسه سنگی بالغ توده‌ای به نهشته شدن سریع از حالت معلق در طی سیلاب‌ها نسبت داده شده است [۲۷،۴۶،۵۹].

#### ۴-۲-۳. سنگ رخساره‌های ریزدانه

نهشته‌های ریزدانه در سازند بختیاری بسیار ناچیز بوده که عموماً در بین رخساره‌های ماسه سنگی و کنگلومرای به صورت لایه‌های بسیار نازک حضور دارند. این سنگ رخساره شامل پتروفاسیس زیر است:

#### C1: پتروفاسیس (C1) گل توده‌ای (Fm)<sup>۲۴</sup>

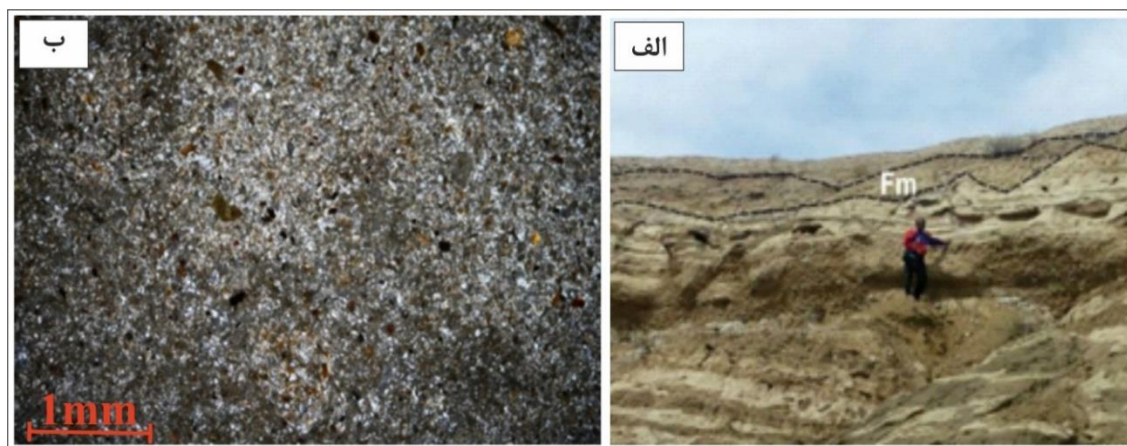
**توصیف:** این پتروفاسیس ترکیبی از گل و گل ماسه‌ای ریزدانه توده‌ای می‌باشد (شکل ۸). دارای گسترش جانبی است. به رنگ قهوه‌ای روشن است. فاقد هر گونه لایه بندی است. این پتروفاسیس در بین پتروفاسیس‌های Gh و Sm قرار گرفته است. ستبرای این پتروفاسیس به طرف جوانب تغییر می‌کند. تصویر میکروسکوپی این پتروفاسیس در شکل ۷ نشان داده شده است.

**تفسیر:** پتروفاسیس Fm از رسوب گذاری نهشته‌های طغیانی [۴۷،۶۶] و یا رسوبات ریزشی ناشی می‌شود [۴۳،۶۰]. عدم وجود لامینه و لایه بندی در این رخساره را می‌توان به تهنشست سریع ذرات معلق (رس و سیلت) نسبت داد [۷۰].

<sup>22</sup> Horizontally Bedded and laminated Calclitite ( B3)

<sup>23</sup> Massive Calclitite (B4)

<sup>24</sup> Massive Marl(C1)



شکل ۸- الف: رخساره گلسنگی در برش جنوب شهرک تازیان پایین، ب: مقطع نازک از رخساره گلسنگی

### ۴-۳. عناصر ساختاری

عناصر ساختاری به رسوبات درون کانال و سدهای یک محیط رودخانه‌ای اطلاق می‌شود که بر اساس اندازه (ستبر)، مجموعه پتروفاسیس‌ها، شکل هندسی، طرح جهت جریان دیرینه و سطوح محصور کننده رسوبات تفکیک می‌شوند [۱۳، ۴۶]. عناصر ساختاری بر اساس اندازه دانه‌ها، مجموعه سنگ رخساره‌ها، شکل هندسی، طرح جهت دیرینه و سطوح محصور کننده رسوبات درون کانال و خارج کانال به چند قسمت تقسیم می‌شوند. بر اساس سنگ رخساره‌های مورد اشاره در بالا ۵ عنصر ساختاری برای این نهشته‌ها مشخص گردید که توصیف آن‌ها در جدول ۱ ارائه گردید.

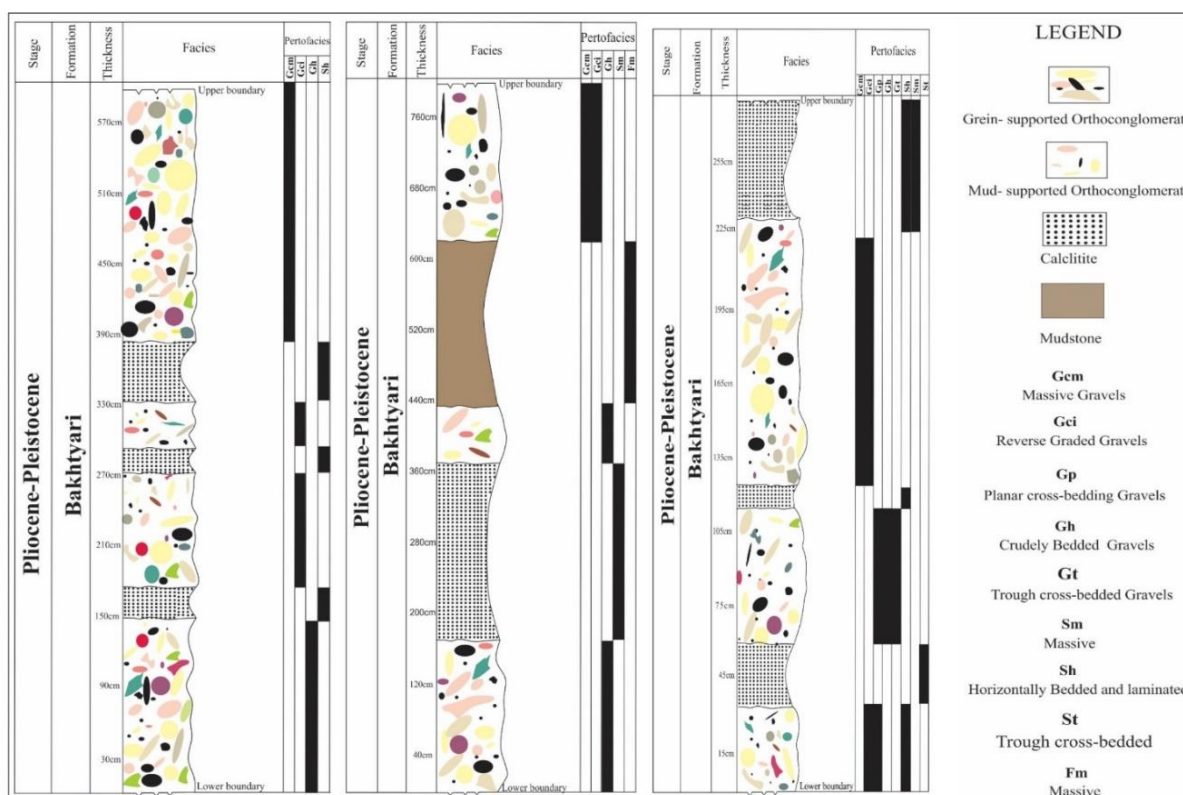
جدول ۱- عناصر ساختاری شناسایی شده در نهشته‌های سازند بختیاری بر مبنای رده بندی مایل [۴۷]

نهشته‌ها	عناصر ساختاری	مجموعه پتروفاسیس	توصیف
کنگلومرالی	سد گراولی و اشکال لایه‌ای (GB)	Gt, Gp Gmm	عناصر ساختاری GB بصورت عدسی شکل و گسترده که پرکننده کانال‌ها بوده و مرتبط با کانال‌های کم عمق از نوع بریده بریده با بستر گراولی است [۴۶، ۲۲، ۱۵]. معمولاً با عنصر ساختاری SB یافت می‌شوند (موسوی حرمی و همکاران، ۱۳۸۵). وجود این عنصر ساختاری حاکی از رسوبگذاری در اثر مهاجرت سدهای کانالی در سیستم‌های رودخانه بریده بریده با میزان رسوبگذاری متوسط است [۳۵، ۶۹]. این عناصر معمولاً از نظر شکل هندسی به فرم عدسی شکل و نیز گسترده است [۴۶]. این عنصر ساختاری به میزان زیاد در قسمت‌های میانی و بالایی برش‌های نیروگاه برق گنو و جنوب شهرک مروارید دیده می‌شود. در این دو برش ستبراً بطرف پایین دست افزایش یافته و به حالت کاملاً توده‌ای در می‌آید.
	سد گراولی و اشکال لایه‌ای (HG)		این عنصر ساختاری می‌تواند چندین چرخه رسوبی را نشان دهد [۴۶]. معمولاً این نوع رودخانه‌ها در قسمت‌های بالا دست دیده می‌شوند. این رودخانه‌ها پیچش کمی دارند و عمدتاً رسوبات آن‌ها گراول و مقدار ناچیزی ماسه است [۳]. احتمالاً رسوبگذاری تحت تاثیر فرایندهای گرانشی توسط جریان‌های خرده‌دار با نرخ رسوبگذاری بالا نواحی نزدیک به منشأ، در سیستم‌های رودخانه بریده بریده برجای گذاشته شده است [۴۶، ۴۰] و نشان دهنده انرژی بالای محیطی است [۴۷، ۲۴، ۳۵] و نظر شکل هندسی غالباً پهن و بفرم ورقه‌ای هستند [۳۵، ۶۹].
	پرکننده کانال (CH)	Gh, Sh, Sm	این عنصر تلفیقی از مجموعه پتروفاسیس‌های گراولی و ماسه‌ای است که عنصر کانالی نامیده می‌شود. این عنصر شامل پتروفاسیس‌های پرکننده کانال است [۴۷، ۴۲]. به فرم عدسی شکل هستند، که مرز تحتانی آن‌ها فرسایشی است [۴۶].
ماسه سنگی	ماسه با اشکال لایه‌ای (SB)	St, Sp, Sh Sl, Sr, Se, Ss	شکل هندسی این عنصر عدسی شکل، ورقه‌ای و گسترده است که معمولاً در رژیم جریان بالایی و پایین تشکیل می‌شوند [۲۷]. این عنصر به صورت مجموعه سد تعریف می‌گردد که داخل هر

<p>مجموعه سدهای طولی با طبقه بندی مورب مسطح و سدهای متقاطع با طبقه بندی مورب عدسی شکل مشخص می‌گردد [۴۷، ۶۹]. این عنصر از نظر شکل هندسی به فرم صفحه‌ای و گوه‌ای شکل است. در زمانیکه نرخ رسوبگذاری متوسط بوده در سیستم رودخانه بریده بریده جای گذاشته شده‌اند. معمولاً در رژیم‌های جریان پایین و بالا تشکیل شده‌اند و ممکن است رسوبات پرکننده کانال را تشکیل دهند [۴۶]. تشکیل این عنصر را می‌توان به مهاجرت سدهای کانالی در نرخ رسوب گذاری متوسط در سیستم‌های رودخانه‌ای نسبت داد [۴۷-۴۶].</p>			
<p>این عنصر ساختاری شامل ذرات خیلی ریز می‌باشد که به صورت پوشش‌های نازک تا ضخیم گسترش دارند. معمولاً بین لایه‌های GB قرار می‌گیرند. این عنصر می‌تواند در اثر پرشدگی کانال‌های متروکه ایجاد شود [۴۶، ۶۰]. عنصر ساختاری مذکور در رودخانه‌های بریده بریده و مخروط فکته ته‌نشین شده و بر اثر کاهش انرژی سیال محیط‌های رسوبی آرام‌تر ته‌نشست می‌کند [۴۷].</p>	C1	عصر ساختاری (FF)	گل‌سنگی

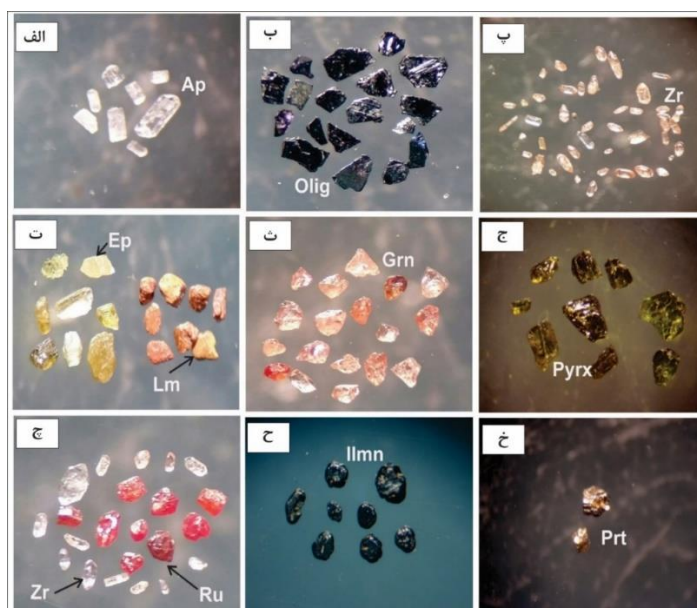
#### ۴-۴. کانی‌های سنگین

کانی‌های سنگین به دلیل پایداری و مقاومت خود، به خوبی می‌توانند منشاء رسوبات را نشان دهند [۳۱، ۴۱]. با شناسایی ترکیب کانی‌های سنگین در یک نمونه رسوبی، می‌توان به نوع سنگ منشاء و شرایط تکتونیکی آن منطقه پی برد [۵۸]. از جمله‌های سنگین شناسایی شده در نهشته‌های سازند بختیاری می‌توان به کانی‌های زیرکن، اسفن، باریت، روتیل، کوارتز و فلدسپار، کلسیت و به مقدار کم آپاتیت، لوکوکسن، آنازاس و همچنین کانی‌های هماتیت، پیروکسن، آمفیبول، مگنتیت، اپیدوت، لیمونیت، ایلمنیت، پیریت اکسید و به مقدار کم کانی‌های مارتیت اشاره کرد (شکل ۱۰).



شکل ۹- ستون سنگ رخساره‌ای سازند بختیاری در باختر بندرعباس، از سمت راست برش نیروگاه برق گنو، برش جنوب شهرک تازیان پایین، برش جنوب شهرک مروارید

حضور روتیل، اپیدوت و آناتاز در رسوبات نشان دهنده منشا دگرگونی و به ندرت آذرین است [۵۲]. کانی اسفن، آمفیبول، مگنتیت، هماتیت، ایلمنیت، پیروکسن و زیرکن نشان دهنده منشا آذرین یا دگرگونی است [۵۴]. وجود لوکوسن در رسوبات نشان دهنده تجزیه و تغییرات کانی‌های تیتانیومی است و می‌تواند به محیط‌های دگرگونی و تغییرات شیمیایی در رسوبات اشاره کند [۵۲، ۳۱]. به نظر می‌رسد حضور این کانی‌های سنگین در ارتباط مستقیم با سری هرمز و دگرگونی‌های پهنه سنج-سیرجان و سری هرمز می‌باشند که با نتایج منشا گراول‌های موجود در کنگلومراها هم‌خوانی دارد. حضور این کانی‌های سنگین در نهشته‌های مورد مطالعه نشان دهنده فرسایش نهشته‌های رسوبی قدیمی‌تر و نهشته شدن آن‌ها طی چرخه‌های رسوبی مجدد در طی رخداد بختبارین است.



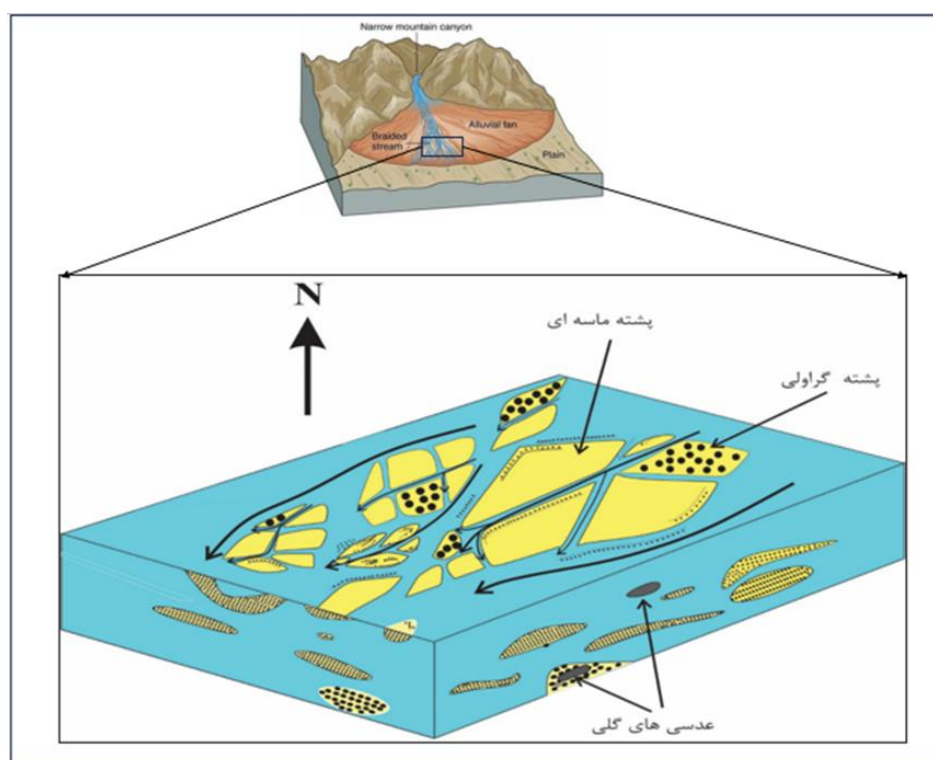
شکل ۱۰- کانی‌ها عبارتند از: الف: اپاتیت (Ap)، ب: الیژیست (Olig)، پ: زیرکن (Zr)، ت: لیمونیت (Lm) : سمت راست به همراه اپیدوت (Ep: سمت چپ)، ث: گارنت (Grn)، ج: پیروکسن، ج: روتیل (Ru) (قرمز) به همراه زیرکن (Zr شفاف)، ح: ایلمنیت (Ilmn)، خ: پیریت (Prt).

#### ۴-۴. شرایط ته‌نشینی

نهشته‌های کنگلومرایی در برش‌های مورد مطالعه، دارای ساخت‌هایی همچون، دانه بندی تدریجی معکوس (به سمت بالا ریز شونده)، مرز فرسایشی، ساخت فلسی، تغییرات جانبی گسترده، که معرف ته‌نشینی در نظام جریان زیاد هستند، می‌باشند. گراول‌ها بدلیل درشت بودن به صورت غلطیدن، کشیده شدن، سرخوردن و جهیدن در محیط آبرفتی حرکت می‌کنند. عمده رسوبگذاری نهشته‌های دانه درشت در داخل رودخانه‌ها و در داخل کانال اصلی و فعال انجام می‌شود. گراول‌ها تحت تاثیر نیروی کششی درکف کانال حرکت می‌کنند و می‌توانند ساخت‌های همچون دانه بندی تدریجی به سمت بالا ریز شونده و لایه بندی مورب را به وجود آورند علاوه بر نیروی کششی نیروی دانسیته هم می‌تواند شرایط را برای رسوبگذاری این دانه‌ها فراهم کند. از آنجاییکه رودخانه بریده بریده در شرایط محیطی شیب‌دار [۴۴] تشکیل می‌شود، می‌توان گفت این نوع جریان در میزان حمل و رسوبگذاری گراول‌ها موثر است. گراول‌ها به صورت نهشته‌های جریان واریزه، سدهای طولی، نهشته‌های باقی مانده، نهشته‌های الک شده، پرشدگی کانال‌های فرعی یا سدهای زبانه‌ای در یک رودخانه بریده بریده دیده می‌شوند [۳۷]. بر اساس رخساره‌های کنگلومرایی و ساخت‌های تشخیص داده شده و مقایسه

آن‌ها با محیط‌های عهد حاضر، زیر محیط‌های کانال فعال، پشته‌های گراولی در ابتدای یک رودخانه بریده بریده دیده محل ته‌نشست رخساره‌های کنگلومرای سازند بختیاری می‌باشند.

نهشته‌های ماسه سنگی سازند بختیاری دارای ساخت‌هایی: مانند طبقه بندی مورب، طبقه بندی مورب عدسی، مرز فرسایشی متعدد، رسوبات بصورت چرخه‌ای، لامیناسیون ظریف همراه با تغییرات جانبی و عمودی، مشخصه‌های بافتی (جورشدگی ضعیف، گرد شدگی متوسط تا زاویه‌دار) و حضور کانی‌های سنگین هستند. اشکال عدسی و ساختمان‌های یک جهتی مانند طبقه بندی مورب بیانگر رسوبگذاری داخل کانال یک رودخانه است [31]. وجود این مشخصه‌ها معرف شرایط ته‌نشینی در محیط کانال رودخانه‌ای و زیر محیط‌های کانال فعال و پشته‌ها می‌باشد. همچنین وجود پتروفاسیس‌های ساختاری **Gp** [31]، **[Gcm] 47, 68** در توالی‌های کنگلومرای و پتروفاسیس‌های **[Sp] 47** در توالی ماسه سنگی معرف یک رودخانه بریده بریده می‌باشند. نهشته‌های گلسنگی، به دلیل ریزدانه بودن در فاصله دورتری از منشا نهشته می‌شوند. جریان تعلیقی و جریان جاذبه‌ای در حمل و نقل آن‌ها موثرند. البته تغییر در میزان شوری آب، تغییر درجه حرارت آب و تغییر در میزان کواد معلق در نهشته شدن این رسوبات نقش به‌سزایی دارند. جهت حمل و نقل ذرات در حد سیلت و رس سرعت جریان آب حداقل ۰/۰۵ لازم است [20]. رسوبات ریزدانه معمولاً در دشت سیلابی نهشته می‌شوند اما در رودخانه بریده بریده که دشت سیلابی وجود ندارد، این رسوبات دانه ریز در کانال‌های متروکه و یا در اثر تغییرات ناگهانی در شرایط رسوب می‌کنند [44-47].



شکل ۱۱- مدل رسوبی نهشته‌های سازند بختیاری در شمال و باختر شهر بندرعباس

با توجه به آن چه گفته شد می‌توان گفت سازند بختیاری در گستره مورد مطالعه در یک محیط رودخانه‌ای بریده بریده دور از منشا در انتهای یک مخروط افکنه بزرگ در شمال گستره مورد مطالعه نهشته شده است. الگوهای جریانی دیرینه موجود در ساخت‌های رسوبی همچون ساختارهای فلسی و لایه بندی متقاطع روند عمومی شمال خاوری-جنوب باختری را نشان



می‌دهد. لازم به ذکر است از نهشته‌های رودخانه‌ای نوع بریده بریده مشابه می‌توان به قسمت پایینی سازند شورپیچه [۲] در ایران، سازند Wealden جنوب انگلستان [۳۳] سازند Katberg در جنوب آفریقا [۲۵] و سازند Red در کانادا [۳۹] نام برد.

## ۵- نتیجه گیری

سازند بختیاری (پلیوسن میانی-پلیستوسن) در هر سه برش مورد مطالعه در شمال شهر بندرعباس، شامل تناوبی از کنگلومرا، ماسه سنگ و مقداری گل‌سنگ باشد این سازند با مرزی از نوع ناپیوستگی فرسایشی بر روی سازند آغاجاری قرار گرفته است و مرز بالایی سازند بختیاری با نهشته‌های عهد حاضر نیز از نوع ناپیوستگی فرسایشی است. بالا بودن میزان کنگلومرا نسبت به ماسه سنگ و مارن در این توالی حاکی از تشدید شرایط قاره‌ای و بالا آمدگی است. عمده ساخت‌های رسوبی این توالی شامل ساخت فلسی، دانه بندی تدریجی عادی، دانه بندی تدریجی معکوس، طبقه بندی مورب عدسی و کانال فرسایشی در کنگلومراها و ساخت‌هایی همچون لایه بندی، توده‌ای، لامیناسیون، لایه بندی متقاطع در ماسه سنگ‌ها و ساخت توده‌ای در گل‌سنگ‌ها می‌باشد. نهشته‌های درشت دانه شامل کنگلومرای گل پشته‌ایان دانه پشته‌ایان و نهشته‌های دانه متوسط شامل پتروفاسیس ماسه سنگ کالک لیتاتی می‌باشد. پنج عنصر ساختاری (GB, CH, SB, GH, FF) نیز در نهشته‌های متشکله سازند بختیاری تشخیص داده شد. ترکیب گراولی و وجود کانی‌های سنگین در نهشته‌های کنگلومرای و ماسه سنگی سازند بختیاری حاکی از نقش نهشته‌های قدیمی‌تر مانند سازند آسماری، سری هرمز و زون سنندج-سیرجان به عنوان منشا این نهشته‌ها می‌باشد. براساس بررسی‌های سنگ چینه نگاری، ساخت‌ها و پتروفاسیس‌های تشخیص داده شده، محیط تشکیل سازند بختیاری یک رودخانه بریده بریده (گیسویی) دور از منشا در انتهای یک مخروط افکنه می‌باشد. توالی مورد مطالعه در جهت شمال خاوری به یک مخروط افکنه در حاشیه زاگرس چین خورده و در جنوب به دشت ساحلی منتهی می‌شود. توالی سازند بختیاری در گستره شمال شهر بندرعباس نمادی از تاثیر رویداد زمین ساختی بختیاری و نوسان‌های اقلیمی در این بخش از پیش بوم بندرعباس در منتهی الیه جنوب خاوری زاگرس چین خورده است.

## سپاس و قدردانی

از داوران مقاله آقایان دکتر علیرضا بشری (رئیس انجمن زمین شناسی نفت ایران)، و دکتر بابک سامانی (استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز) تشکر و قدردانی می‌گردد.

## منابع

- [۱] آقانباتی، ع. ۱۳۸۵. زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- [۲] پورسلطانی، م. ۱۴۰۰. پتروگرافی و تاریخچه دیاژنتیکی ماسه سنگ‌های سازند شورپیچه (کیمبرجین پسین هاتریوین) - در برش اسطرخی، حوضه رسوبی کپه داغ، شمال شرق ایران، پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی، سال ۳۷، شماره ۸۳، ص ۱۱۹-۱۴۶.
- [۳] پورسلطانی، م.، کارگر، م. ۱۳۹۰. آنالیز رسوبات دانه درشت ژوراسیک میانی در بخش شرقی حوضه رسوبی کپه داغ، ایران، نشریه علمی پژوهشی رخساره‌های رسوبی شماره ۴، ۱۳۵-۱۵۰.
- [۴] رضائی، پ. فریدی، پ. نجفی، ه. ۱۳۹۵. سنگ رخساره‌ها و شرایط ته نشینی سازند کهریزک (پلیستوسن میانی-پسین) در خاور تهران. دوفصلنامه کواترنری ایران، دوره ۲، شماره ۴، ص ۳۹۳-۴۰۳.

- [۵] شرکت سهامی آب منطقه ای هرمزگان، مطالعات به‌هنگام سازی اطلس منابع آب حوضه آبریز رودخانه‌های کل، مهران و جزایر خلیج فارس، تابستان ۱۳۹۰.
- [۶] قاسمی، م.، آقاباتی، ع.، سعیدی، ع. ۱۴۰۲. رویدادهای کوهزایی و خشکی زایی در ایران، فصلنامه علمی علوم زمین، دوره ۳۳، شماره ۱، ص ۸۷-۱۰۶.
- [۷] لاسمی، ی.، رضائی، پ. ۱۳۸۱. بررسی واحدهای سنگ چینه‌ای، رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی «گروه بیدو» در برش فیض آباد شمال کرمان، نشریه علوم زمین، دوره ۱۱، شماره ۴۳-۴۴، ص ۶۸-۷۹.
- [۸] محمدی، ا.، عامری، ح. ۱۴۰۰. رخساره‌ها، محیط رسوبی و مدل رسوب‌گذاری سازند قم در شمال آباد (حوضه پیش کمان سنندج - سیرجان)، دوفصلنامه رخساره‌های رسوبی، دوره ۱۴، شماره ۱، چاپ آنلاین.
- [۹] هاشمی عزیزی، ح.، رضائی، پ.، عسگری، ح. ۱۴۰۳. بازسازی شرایط تهنشینی نهشته‌های آواری پالئوسن (سازند کرمان) در شمال شرق ایران مرکزی (گستره کاشمر) بر مبنای ویژگی‌های سنگ‌رخساره‌ای و رخساره‌های میکروسکوپی، دو فصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۱۲، شماره ۲۳، ص ۱۷۵-۱۸۸.
- [10] AGHABABAEI, A., RAHIMI, B., GHAEMI, F., MOUSSAVI-HARAMI, R., MOTAMEDI, H., & ZADEH, P. G. 2024.. Tectonostratigraphy of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous siliciclastic (Shurijeh Formation) in the eastern Kopeh Dagh fold and thrust belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, **164**, 106683.
- [11] BERBERIAN, M., & KING, G. C. P. 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: Reply. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **18**(11), 1764-1766.
- [12] BOGGS S. 1992. Sedimentary Petrology. *Blackwell Scientific Publications*.
- [13] COLLINSON, J., & MOUNTNEY, N. 2019. Sedimentary structures. *Liverpool University Press*.
- [14] CRITELLI, S., & CRINITI, S. 2021. Sandstone petrology and provenance in fold thrust belt and foreland basin system. In Sedimentary petrology-implications in petroleum industry (pp. 1-15). *Intech Open Access Publisher Janeza Trdine 9, Rijeka, Croatia*.
- [15] DÉPRET, T., GAUTIER, E., THOMMERET, N., PIÉGAY, H., VIRMOUX, C., HOOKE, J., & GRANCHER, D. 2023. A multi-spatiotemporal scale strategy to evaluate factors controlling pebble mobility and its interactions with bedforms in a lowland gravel-bed river. *Catena*, **223**, 106882.
- [16] DÍAZ, M., & MARENSSI, S. A. 2020. Using sandstone and conglomerate petrofacies to unravel multiple provenance areas in broken-foreland basins: The Vinchina Formation (Miocene, NW Argentina) as a study case. *Journal of South American Earth Sciences*, **100**, 102541.
- [17] FAKHARI, M. D., AXEN, G. J., HORTON, B. K., HASSANZADEH, J., & AMINI, A. 2008. Revised age of proximal deposits in the Zagros foreland basin and implications for Cenozoic evolution of the High Zagros. *Tectonophysics*, **451**(1-4), 170-185.
- [18] FAKHARI, M., HOSSEINI, M, H. 1994. bandar abbas geological compilation. islamic azad university, 1p.
- [19] FINTHAN, B., MAMMAN, Y. D., & VALDON, Y. B. 2023. Facies association and sequence stratigraphic analysis of the lower Cretaceous Bima Formation in Yola arm of the Upper Benue Trough, Northeastern Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*, **198**, 104773.
- [20] FOLK, R.L., 1980. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Co., *Austin, Texas*, 182p.
- [21] GAGNON, J.F., WALDRON, J. W.F., 2010. Sedimentation styles and depositional processes in a Middle to Late Jurassic slope environment, Bowser Basin, northwestern British Columbia, Canada, *Marine and Petroleum Geology*, (In press).
- [22] GAO, C., BOREHAM, S., PREECE, R.C., GIBBARD, P.L., & BRIANT, R.M., 2007. Fluvial response to rapid climate change during the Devensian (Weichselian) Late glacial in the River Great Ouse, southern England, UK. *Sedimentary Geology*, **202**: 193-210.
- [23] GHORBANI, M. 2019. Lithostratigraphy of Iran (p. 296). *Cham: Springer*.
- [24] GHOSHAL, K., MAZUMDER, B.S., & PURKAIT, B., 2010. Grain-size distributions of bed load: Inferences from flume experiments using heterogeneous sediment beds. *Sedimentary Geology*, **223**: 1-14.
- [25] GIBLING, M. R., JIA, R., GASTALDO, R. A., NEVELING, J., & ROCHÍN-BAÑAGA, H. 2023. Braided-river architecture of the Triassic Swartberg Member, Katberg Formation, South Africa: assessing age, fluvial style, and paleoclimate after the End-Permian Extinction. *Journal of Sedimentary Research*.
- [26] HALIMEH HASHEMI AZIZI, S., & REZAEI, P. 2014. Lithostratigraphy and Lithofacies of the Siliciclastic Bāqoroq Formation (Middle Triassic), Nakhlak Area, Central Iran. In STRATI 2013: *First*

- International Congress on Stratigraphy At the Cutting Edge of Stratigraphy* (pp. 463-468). Springer International Publishing.
- [27] HARMS JC, FAHNESTOCK RK. 1965. Stratification, bed forms and flow phenomena (with an example from the Rio Grande). In: Middleton GV. (Ed.), Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretations. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogist, Special Publication*, **12**: 84- 115.
- [28] HARMS, T.A., BURGER, H. R., BLEDNICK, G. D., COOPER, J. M., KING, J. T., OWEN, D. R., LOWELL, J., SINCOCK, M.J., KARENTBURG, S. R., PURFALL, A., AND PICORNELL, C. M., 2004. Character and origin of Precambrian fabrics and structures in the Tobacco Root Mountains, Montana, in Mountain, in Brady, J. B., et al., eds. Precambrian geology of the Tobacco Root Mountains, Montana: Boulder, Colorado, *Geological Society of American Secial Paper* **377**: 203-226.
- [29] ITO, M., MATSUKAWA, M., SAITO, T., & NICHOLS, D.J., 2006. Facies architecture and paleohydrology of a synrift succession in the Early Cretaceous Choyr Basin, Southern Mongolia. *Cretaceous Research*, **27**: 226-240.
- [30] JAIN, M., TANDON, S.K., SINGHVI, A.K., MISHRA, S. AND BHATT, S.C., 2005. Quaternary alluvial stratigraphic development in a desert setting: a case study from the Luni River basin. Thar Desert of western India, In Blum, S.B. Marriott, M.D. and Leclair, S.E. (eds.), *Fluvial Sedimentology VII, International Association of Sedimentologists Special Publication* 35, Blackwell, 349-371.
- [31] JIANG, R., LIU, Z., XIA, S., ZHU, M., TANG, J., WU, G., & WU, W. 2024. A Multi-Faceted Approach to Determining the Provenance of the Lacustrine Rift Basin in the Initial Rifting Stage: A Case Study of the Paleocene Quintong Sag, Subei Basin, East China. *Minerals*, **14**(4), 420.
- [32] JOSHI, K. B., BANERJI, U. S., DUBEY, C. P., & OLIVEIRA, E. P. 2021. Heavy minerals in provenance studies: an overview. *Arabian Journal of Geosciences*, **14**, 1-16.
- [33] KESSLER, H., & THOMAS, J. 2023. Sedimentary structures and depositional environments of the Wealden Formation. *Sedimentary Geology*, **392**, 125-145.
- [34] KHALAF, E. E. D. A. H., EL-AZABI, M., MOKHTAR, H., & BERNARD, K. 2020. Stratigraphy and facies architecture of the Neoproterozoic syn-and inter-eruptive succession: An example from Gabal El Urf, Northeastern Desert, Egypt. *Precambrian Research*, **350**, 105905.
- [35] KIM, S.B., KIM, Y.G., JO, H.R., JEAN, K.S., & COUGH, S.K., 2009. Depositional facies, architecture and environments of Sihva Formation (Lower Cretaceous), mid-west Korea with special reference to dinosaur eggs. *Cretaceous Research*, **30**: 100-126.
- [36] KOSTIC, B., BECH, A., & AIGNER, T., 2005. 3-D sedimentary architecture of a Quaternary gravel delta (SW-Germany): Implication for hydrostratigraphy. *Sedimentary Geology*, **181**: 143-171.
- [37] LEWIS, D. W., & MCCONCHIE, D. 2012. Analytical sedimentology. *Springer Science & Business Media*.
- [38] LEE, H.S.; CHOUGH SK. 2006. Lithostratigraphy and depositional environments of the Pyeongan Super group (Carboniferous- Permian) in the Taebaek area mid-east Korea. *Journal of Asian Earth Sciences*, **26**: 339- 352.
- [39] LI, J., ZHANG, X., TIAN, J., LIANG, Q., & CAO, T. 2021. Effects of deposition and diagenesis on sandstone reservoir quality: A case study of Permian sandstones formed in a braided river sedimentary system, northern Ordos Basin, Northern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, **213**, 104745.
- [40] LIANG, C., LIU, C., XIE, X., YU, X., HUANG, L., PAN, J., ... & ZHANG, H. 2024. Depositional process and sediment dispersal pattern of mass transport complex on a slope with numerous elliptical depressions, northwestern South China Sea. *Sedimentary Geology*, 106676.
- [41] MANGE, M. A., & MAURER, H. (2012). Heavy minerals in colour. *Springer Science & Business Media*.
- [42] MCGHEE, C., MUHAMMED, D., SIMON, N., ACIKALIN, S., UTLEY, J. E., GRIFFITHS, J., ... & WORDEN, R. H. 2022. Stratigraphy and sedimentary evolution of a modern macro-tidal incised valley: An analogue for reservoir facies and architecture. *Sedimentology*, **69**(2), 696-723.
- [43] MIALL AD. 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits. In: Miall AD. (Ed.), *Fluvial Sedimentology*, Calgary. *Can. Soc. Petrol. Geol., Mem.*, **5**: 597- 604.
- [44] MIALL AD. 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Science Reviews*, **22**: 261- 308.
- [45] MIALL AD. 1988. Reservoir heterogeneities in fluvial sandstones: lessons from outcrop studies. *AAPG Bulletin*, **72**: 682- 697.
- [46] MIALL AD. 1996. The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. *Springer-Verlag Inc., Heidelberg*, 582 p.
- [47] MIALL AD. 2000. Principles of Sedimentary Basin Analysis. *Springer, Berlin*, 616 p.
- [48] MIALL AD. 2006. How do we identify big rivers, and big is big? *Sedimentary Geology*, **v**, pp. 39-50.
- [49] MIALL AD. 2006. How do we identify big rivers, and big is big? *Sedimentary Geology*, **v**, pp. 39-50.

- [50] MIALL, A. D., AND JONES, B. 2003. Fluvial architecture of the Hawkesbury Sandstone (Triassic), near Sydney, Australia: *Journal of Sedimentary Research*, v. **73**, p. 531-545
- [51] MIALL, A.D. 1992. Alluvial deposits. In, R.G. Walker and N.P. James (Eds.), *Facies Models: Response to Sea Level Change*. Geological Association of Canada, *Geotext* **1**, p. 119-142.
- [52] NESSE, W. D. 2012. Introduction to mineralogy. *Oxford Univ. Press*.
- [53] OKOLO, G. C., EMEDO, O. C., OBUMSELU, A. C., MADUKWE, F. C., & ULASI, A. N. 2020. Lithofacies, particle size analysis and paleodepositional environment of the Eze-Aku Group (Cenomanian–Turonian) in the Itigidi-Ediba area, Afikpo Synclinorium, southeastern Nigeria. *Journal of Sedimentary Environments*, **5**, 375-398.
- [54] OKRUSCH, M., & FRIMMEL, H. E. 2020. Mineralogy: An introduction to minerals, rocks, and mineral deposits. *Springer Nature*.
- [55] PETIT, F., GOL, F., HOUBRECHTS, G., & ASSANI, A.A., 2005. Critical specific stream power in gravel-bed rivers. *Geomorphology*, **69**: 92-101.
- [56] PIROUZ, M. 2018. Post-collisional deposits in the Zagros foreland basin: Implications for diachronous underthrusting. *International Journal of Earth Sciences*, **107**(5), 1603-1621.
- [57] RAHIMINEJAD, A. H., YAZDI, M., & ASHOURI, A. R. 2011. Miocene scleractinian corals from a mixed siliclastic–carbonate system: Bakhtiari succession, Zagros Basin (central-western Iran). *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*, **35**(4), 571-592.
- [58] RAZUM, I., RUBINIĆ, V., MIKO, S., RUŽIČIĆ, S., & DURN, G. 2023. Coherent provenance analysis of terra rossa from the northern Adriatic based on heavy mineral assemblages reveals the emerged Adriatic shelf as the main recurring source of siliciclastic material for their formation. *Catena*, **226**, 107083.
- [59] READING, H.G., LEVELL, B.K., 1996. Controls on the sedimentary record In: *Sedimentary Environment: Processes, Facies and Stratigraphy* (Ed. Reading, H.G.). *Blackwell Science, Oxford*; 5-36.
- [60] ROSTAMI, F., FEIZNIA, S., ALEALI, M., HASHMATI, M., & YOUSEFI YEGANE, B. 2020. Application of grain-size statistics, lithofacies and architectural element in determining depositional environment of Kashkan Formation in Merk watershed, Kermanshah. *International journal of environmental science and technology*, **17**, 1351-1372.
- [61] SELLY, R.C. 2002. Ancient sedimentary Environments, London: *Chapman and Hall*, 317p.
- [62] SINGH, D., SINGH, P. K., KAINTHOLA, A., PANDEY, H. K., KUMAR, S., & SINGH, T. N. 2022. Analysis of failure pattern in cut slopes of bedded sandstone: a case study. *Environmental Earth Sciences*, **81**(15), 398.
- [63] STRAND, K., 2005. Sequence stratigraphy of the siliclastic east Puolanka Group the Palaeoproterozoic Kainuu Belt, Finland. *Sedimentary Geology*, **176**: 149-166.
- [64] THERRIEN, F., 2006. Depositional environments and alluvial system changes in the dinosaur-bearing Sânpetru Formation (Late Cretaceous, Romania): Post-orogenic sedimentation in an active extensional basin, *Sedimentary Geology*, **192**: 183–205.
- [65] TUKER, M.E. 2001. *Sedimentary Petrology (an introduction to the origin of sedimentary rocks)*: Third edition, *Blackwell, Oxford*, 260 p.
- [66] WALKER R. G., AND JAMES NP. 1992. Facies Model Response to Sea Level Change. *Geological Association of Canada*, 409 p.
- [67] WENDT, J., KAUFMANN, B., BELKA, Z., FARSAN, N. AND KARIMI BAVANDPOUR, A. 2005. Devonian/Lower Carboniferous stratigraphy, facies patterns and palaeogeography of Iran, part II, northern and central Iran. *Acta Geologica Polonica*, **55**( 1) , 31-97,
- [68] YAGISHITA, K., TANKANO, O., 2000. Recognition of a floodplain within braid delta deposits of the Oligocene Minato Formation, north-east Japan: fine deposits correlated with transgression: In Blum, M.D. Marriott, S.B. and Leclair, S.E. (eds.), *Fluvial Sedimentology VII, International Association of Sedimentologists Special Publication* **35**, : 557-568.
- [69] YAKOUTI, I. E., ASMI, H. E., GOURARI, L., BENABBOU, M., HAYATI, A., SALAH, M., & CHELLAI, E. H. 2024. Facies analysis, architectural elements, and paleoenvironmental reconstruction of alluvial deposits of the low terraces and floodplains in the Middle Sebou river (Eastern Saïss foreland basin, Morocco). *Journal of African Earth Sciences*, **211**: 105170.
- [70] YANG, W., HOU, J., LIU, Y., DOU, L., & WANG, X. 2022. The pore structures of different lithofacies in low-permeability sandy conglomerate reservoirs and their diagenetic impacts: a case study from the Es4 member of the northern steep slope in Dongying depression, Bohai Bay Basin, NE China. *Marine and Petroleum Geology*, **136**, 105481.
- [71] ZAHEER, M., KHAN, M. R., MUGHAL, M. S., JANJUHAH, H. T., MAKRI, P., & KONTAKIOTIS, G. 2022. Petrography and Lithofacies of the Siwalik Group in the Core of Hazara-Kashmir Syntaxis: Implications for Middle Stage Himalayan Orogeny and Paleoclimatic Conditions. *Minerals*, **12**(8), 10.

# Evaluation of depositional environment conditions of middle Pliocene-Pleistocene clastic deposits (Bakhtiari Formation) based on the characteristics of lithofacies the southeastern folded Zagros, north of Bandar Abbas

Payman Rezaee<sup>1\*</sup>, Seyedeh Akram Jooybari<sup>2</sup>, Shahrban Mohammadzadeh Shamili<sup>3</sup>

1- Associate Professor, Department of Geology, University of Hormozgan

2- PhD in Sedimentology and sedimentary petrology, University of Hormozgan

3- Master of Sedimentology and sedimentary petrology, University of Hormozgan

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

Received: June 2024, Accepted: July 2024

## Abstract

The Bakhtiari Formation represents the Middle Pliocene-Pleistocene time period in the folded Zagros structural sedimentary zone. Debris deposits of this formation have wide outcrops in the northern area of Bandar Abbas city. In order to study the Bakhtiari formation from the point of view of sedimentary geology, three sections of this formation were selected in the northwest of Bandar Abbas city (Genow Power Plant, South of town Down Tazeyan, South of town Morvarid). From these sections, 50 samples were taken for microscopic examination and 6 samples were taken to identify heavy minerals. In all three sections, the Bakhtiari Formation includes an interval of conglomerate, sandstone and some mudstones. In the studied area, this formation is placed on the Aghajari formation with an erosional discontinuity boundary. The upper border of the Bakhtiari Formation with Quaternary deposits is also of erosional discontinuity. Field and laboratory investigations led to the identification of coarse-grained petrofacies (mud-supported conglomerate and grain-supported), medium-grained (calclitite sandstone), fine-grained (mudstone) and five structural elements (GB, CH, SB, GH, FF) has been. The results of this research show that the deposits of the Bakhtiari Formation in the north west of Bandar Abbas has been deposit in a braided river far from origin at the end of an alluvial fan. The set of heavy minerals identified in this sequence have two origins, Hormuz Salt Series and Sanandaj-Sirjan Zone, which have been affected by several sedimentary cycles. The set of petrofacies features of the Bakhtiari Formation is a confirmation of the tectonic dynamics of the end of the Cenozoic era in the middle Pliocene-Pleistocene time frame, especially the Bakhtiari tectonic event, which has led to the intensification of continental conditions in the studied area.

**Key words:** Bakhtiari formation, lithofacies, sedimentation conditions, folded Zagros, Bandar Abbas.



## Identification of gas in carbonate rock using wavelet transform

Hassan Omrani<sup>1\*</sup>, Hashem Omrani<sup>2</sup>

1- Gas Engineering Department, Petroleum University of Technology, Ahvaz 6198144471, Iran

1- Department of Petroleum Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

\* HassanOmrani1378@gmail.com

Received: May 2024, Accepted: July 2024

### Abstract

Gas can be diagnosed in clean sand rock by petrophysical log. It is not easy to determine the gas in carbonate rock by petrophysical log. The R.F.T. tool is used to determine the gas in carbonate rock. The fluid density in the rock is determined by calculating the pressure difference related to depth. The R.F.T. tool has some disadvantages, such as being expensive, taking much time to run, and rock having a neutron porosity of about 15%, and sometimes the R.F.T. tool is stuck in well. This study applies the wavelet transformation, a recent advance in signal analysis technique, to detect reservoir rock fluid. The porosity and water saturation are denoised using the " demy " mother wavelet. At last, the pore hydrocarbon saturation, porosity denoise by the " demy " wavelet, pore volume plot and R.F.T. tool are plotted together in one figure to identify the kind of fluid in sand and carbonate rocks.

**Key words:** Wavelet transform, petrophysical diagrams, porosity, water saturation, gas detection in carbonate rock

# Strain and shortening analyses in the Asmari horizon, Kupal oil field, Khuzestan province

Babak Samani<sup>1\*</sup>, Mina Parvin<sup>1</sup>, Abbas Charchi<sup>1</sup>, Mohammad Hossein  
Heidarifard<sup>2</sup>

1- Associate professor, Faculty of Earth science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2- M.Sc., Faculty of Earth science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3- Assistant professor, Faculty of Earth science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

4- Assistant professor, National Iranian South Oil Company, Ahvaz, Iran

\* [b.samani@scu.ac.ir](mailto:b.samani@scu.ac.ir)

Received: May 2024, Accepted: July 2024

## Abstract

Kupal Oil Field is one of the important oil fields in the Zagros Basin, located in the eastern part of the Dezful embayment, adjacent to Aghajari Oil Field and Marun Oil Field. Some characteristics of the fold elements, such as the fold interval angle and fold axial surface, were determined in the Asmari folded horizon using the interpreted seismic profiles. Based on the deviation of the axial surface from the vertical surface and determination of shear angle and shear strain, minimum and maximum quadratic stretch and strain ratio (R) values were calculated in different parts of the anticline. With application of graphical functions the amounts of fold aspect ratio were determined along the anticline. Base on the results, the amounts of shear strain varies from 0.01 to 0.09 in deferent parts of anticline. Also results show the amounts of strain ratio in range of 1.25 to 1.38 and shortening about 5% to 17% in different parts of the kupal anticline oil field.

**Key words:** Dezful embayment, Kupal oil field, Fold aspect ratio, Strain ratio, Shortening

## Biostratigraphy and palaeoecology of the Qom Formation in the Ghamsar section (SW of the Kashan)

Tayyeb Binazadeh<sup>1</sup>, Amrollah Safari<sup>\*2</sup>, Hossein Vaziri-Moghaddam<sup>3</sup>

1-Ph.D. in Paleontology & Stratigraphy, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

2- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Isfahan, Isfahan, Iran

3- Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

\*safari@sci.ui.ac.ir

Received: March 2024, Accepted: June 2024

### Abstract

In order to study the biostratigraphy and palaeoecology, the Qom Formation has been studied in the Ghamsar section of Kashan. The studied section, with a thickness of 314 m, consists of medium to thick-bedded to massive limestones and shale. The Qom Formation overlies the Eocene volcanic rocks in the Ghamsar section and is covered by the Recent alluvial sediments. A total of 21 genera and 9 species of benthic foraminifera were identified in this section and the results indicated the age of the Late Rupelian-Chattian. According to the palaeoecological conditions, in the lower parts of this section (Late Rupelian), the light conditions are euphotic. The nutrient conditions are first eutrophic and then meso-oligotrophic. During Chattian, the trophic state first meso-oligotrophic and then fluctuate between eutrophic and meso-oligotrophic. The light conditions are also variable between euphotic, meso-oligophotic and aphotic. Salinity conditions during Late Rupelian and Chattian, mainly fluctuate between normal marine salinity and 40-50 psu. Large benthic foraminifera with hyaline walls, such as *Amphistegina*, *Lepidocyclinide* and *Nummulitide*, in shallow environments with high energy, have thicker shells and smaller shell size, and in deep environments, due to reduced light intensity and low water circulation, they have thinner and more elongated shells. The results of the morphometry of 186 samples of *Amphistegina* show that the seawater depth in the Ghamsar section (Late Rupelian-Chattian) fluctuated from less than 11 meters to less than 44 meters.

**Keywords:** Biostratigraphy; Palaeoecology; Qom Formation; Central Iran.



## Palaeoecology and taphonomy of Albian-Cenomanian Echinoids of Kazhdumi Formation in the Firouzabad section, Zagros Basin

Babak Sedghi<sup>1</sup>, Ali Bahrami<sup>2\*</sup> and Mehdi Yazdi<sup>3</sup>

1- Ph.D. in Paleontology & Stratigraphy, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

2- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Isfahan, Isfahan, Iran

3- Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

[\\*a.bahrami@sci.ui.ac.ir](mailto:a.bahrami@sci.ui.ac.ir)

Received: January 2024, Accepted: February 2024

### Abstract

Kazhdumi Formation deposits in Firouzabad section were investigated regarding the postmortem and burial events of echinoderms, from about 150 echinoderm fossils which include 10 genera and 13 species of *Coenholectypus neocomiensis*, *Phymosoma binexilis*, *Dorocidaris taouzensis*, *Cottaldia* aff. *Benettiae*, *Leptosalenia sergipensis*, *Phymosoma baylei*, *Micropedina olisiponensis*, *Tetragramma deshayesi*, *Macraster douvillei*, *Mecaster batnensis*, *Macraster obtritrus*, *Pliotoxaster comanchei*, *Macraster* sp., *Hemiaster* sp. most part of them suffer from disarticulation and fragmentation, radial cracks and shell deformation (test outline distortion and radial cracking) and volume change and biological erosion (bioerosion) and perforation by living worms (microboring).

Of course, after volume changes, fractures or taphonomic compression, the existing solutions (hydrocarbon and solutions rich in iron, manganese and sometimes silica) hydroxides have been replaced in the cracks. The test of these echinoderms has been used by symbiotic epifauna such as *Osterids* and *Gryphaes* as food and attachment points and shelter after their death and burial. It seems that the volume change, crushing, solution injection and fauna bending are influenced by the tectonic pressure of the salt domes of the region and the soft lithology (high plasticity) of the Kazhdami formation between the Darian and Sarvak formations.

**Keywords:** Kazhdumi, Echinoderms, Taphonomic, Epifauna, Diapirs

## Hydrodynamic and hydrochemical study in oil reservoirs: (A case study- Asmari Reservoir, Reg-e-Sefid field)

Soleimani, Bahman<sup>1\*</sup>; Momeni Faizabad<sup>2</sup>, Abdolah; Zohrabzadeh, Mousa<sup>3</sup>

1\*-Professor, Petroleum Geology and Sedimentary Basin Dept., Earth Sciences Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

2-MSc student, Petroleum Geology and Sedimentary Basin Dept., Earth Sciences Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

3-N.I.S.O.C., Ahvaz, Iran

[soleimani\\_b@scu.ac.ir](mailto:soleimani_b@scu.ac.ir)

Received: October 2023, Accepted: January 2024

### Abstract

Knowing the hydrodynamic characteristics of oil reservoirs in a field can be very useful in understanding the behavior of the field and its recovery rate. This study is one of the first attempts to investigate the hydrodynamic flow in the Asmari reservoir of Reg-Safid field. In order to identify the type of water, the chemical analysis data of 25 water samples from 11 drilled wells and 5 comparative fluid samples (drilling fluid, Gachsaran, Asmari, Bangestan, and Khami) were used. Based on Stiff, Piper, and Chadha plots, all fluid samples are CL-Na type. The linear trend between all samples is related to cation exchange. So that the amount of Na and K ions decreases and the amount of Ca and Mg increases. This point can be caused by the mixing of Na-Cl brine waters with high TDI with Ca-Mg bicarbonate waters. The origin of Na Cl brine water is from the upper parts of the reservoir (or Gachsaran Formation) and the origin of calcic-magnesian bicarbonate waters is from limestone-dolomite parts of Asmari, Bangistan and in some cases Khami formations. All ions show an almost linear positive pattern when compared to TDI, bicarbonate and Cl ions (except of TDI to  $SO_4^{2-}$  variation plot). Although some samples have caused irregularity in the trends due to their different sources in terms of some chemical parameters such as  $SO_4$ , Ca, and Mg. In the variation plot of Cl-ion to alkaline, three fluid types with the participation of fluids of Asmari and Bangestan formations (to some extent) are evident. In the bicarbonate-calcium plot, some samples have abnormally high calcium. The variation plots of TDI and  $SO_4$  with respect to depth also show two fluid groups. Due to the presence of faults in the region, the fluids of other regions seem to be contribute in feeding reservoir fluids and lack of disharmonic of some samples. Evaluation of ion concentration curves and TDI variation showed that western culminate has more ions concentration. The water-oil contact surface (WOC) on the northern flank is 200 meters higher than the southern flank, as a result, the water potentiometric surface is oblique. The study of the hydrodynamic map and flow lines shows a continuous flow from the NE to the W and SW of the field in the form of a relatively strong flow in the western culminate and a weaker flow in the northern flank. The production index and pressure data in the south-southwest part of the field show better conditions. Due to the influx of the flow from the north-east side to the west and south-west areas, it is strongly recommended to carry out drilling in the west part of the field and water injection program in the north-east side.

**Key words:** Rag-e-Safid field, Hydrodynamic current, Asmari reservoir, hydrochemistry, Piper diagram.



# Iranian Journal of Petroleum Geology

## Number 25, Spring & Summer, 2023



<b>Contents</b>	<b>Page</b>
Hydrodynamic and hydrochemical study in oil reservoirs: (A case study- Asmari Reservoir, Reg-e-Sefid field) B. Soleimani, A. Momeni Faizabad, M. Zohrabzadeh	1
Palaeoecology and taphonomy of Albian-Cenomanian Echinoids of Kazhdumi Formation in the Firouzabad section, Zagros Basin B. Sedghi, A. Bahram, M. Yazdi	22
Biostratigraphy and palaeoecology of the Qom Formation in the Ghamsar section (SW of the Kashan) T. Binazadeh, A. Safari, H. Vaziri-Moghaddam	37
Strain and shortening analyses in the Asmari horizon, Kupal oil field, Khuzestan province B. Samani, M. Parvin, A. Charchi, M.H. Heidarifard	56
Identification of gas in carbonate rock using wavelet transform H. Omrani, H. Omrani	69
Evaluation of depositional environment conditions of middle Pliocene-Pleistocene clastic deposits (Bakhtiyari Formation) based on the characteristics of lithofacies the southeastern folded Zagros, north of Bandar Abbas P. Rezaee, S.A. Jooybari, Sh. Mohammadzadeh Shamili	98



## Iranian Journal of Petroleum Geology

No. 25, Spring & Summer 2023, pp. 1-102

## Iranian Journal of Petroleum Geology

ISSN 2251-8738

Number 25, Spring & Summer, 2023

**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, Professor, Petroleum University of Technology

E. Heydari, Professor, Jackson State University, USA

V. Rasouli, Professor, University of North Dakota, 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

### Referees:

M. Amirshahkarami

A. Bashari

P. Rezaei

B. Zamani Ghareh Chamani

B. Samani

E. Sattari

B. Soleimani

H. Ameri

H. Ghanbarlo

E. Kazemzadeh

S. Keshavarz

E. Mohammadi

### Address:

Unit 4, No 7, 9<sup>th</sup> 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](http://www.ispg.ir)