

# رابطه دیاژنز، شکستگی، توزیع تخلخل ماتریکس و تولید چاه‌ها در مخزن بنگستان اهواز

مهدی خشنودکیا<sup>۱</sup>، محمد حسین آدابی<sup>۲</sup>، محبوبه حسینی برزی<sup>۳</sup> و محسن مسیحی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکترا گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲. استاد گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳. دانشیار گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۴. استاد گروه مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۴/۲۷

## چکیده

مخزن بنگستان میدان اهواز متشکل از سازندهای ایلام و سروک با ضخامت تقریبی ۱۰۰۰ متر در دوره کرتاسه بالایی در شرایط تکتونیکی و رسوبی متفاوت رسوب‌گذاری کرده است و متشکل از ۴ زون مخزنی (C-E-G-I) می‌باشد، که توسط زون‌های متراکم و ناتروا (A, B, D, F, H) جدا شده‌اند. این مخزن، تکراری از رخساره‌های رسوبی پشته‌های سدی بوده، که به سمت محیط لاگون (D-H-C3) رخساره می‌دهد، به استثنای جوان‌ترین سکانس که رفتاری عمیق شونده را نشان می‌دهد. رسوب‌گذاری در رخساره‌های پشته‌های سدی تغییرات فراوان رسوبی را در جهت عمودی و افقی در زون‌های I-G-E-F-C3 نشان می‌دهد، که اثر این تغییرات در گستره مخزن دیده می‌شود. همچنین اثرات گسل‌های قدیمی با روند تقریباً شمالی-جنوبی در گستره مخزن بنگستان باعث تغییر در جغرافیای قدیمی حوضه شده، که نقش موثری را در تغییرات دیاژنتیک، جایگاه رسوب‌گذاری و در نهایت عملکرد مخزن متعارف و شکسته شده دارد. تخلخل ماتریکس در زون‌های (I-G-E-C3) متأثر از فابریک می‌باشد. بنابراین رخساره‌های گرینستون و پکستون کیفیت مخزنی بهتری نسبت به وکستون و مادستون دارد. دیاژنز و آب‌های متئوریک بر سطوح رخنمون یافته در بالای هر سیکل تأثیر گذاشته است و بهترین کیفیت مخزنی در رخساره‌های گرینستون و پکستون که تأثیرات آب‌های متئوریک را تجربه کرده‌اند، وجود دارد. لذا رخنمون رخساره‌های مخزنی در بالای هر سیکل در مخزن بنگستان اهواز و تحت تأثیر قرار گرفتن آن توسط آب‌های متئوریک نقش اساسی در تولید از مخزن بازی می‌کند. اما در زون C1 مخزن بنگستان اهواز که حاوی رخساره‌ای از جنس آهک گل سفیدی می‌باشد، پدیده غالب انحلال و دیاژنز متئوریک است که باعث افزایش تخلخل و عدم افزایش تراوایی گردیده است. لذا رفتار دیاژنزی متفاوت در مقایسه با زون‌های دیگر مخزنی بنگستان اهواز دارد. از طرفی شکستگی‌ها از مرکز به سمت شرق مخزن بنگستان و عمدتاً در زون‌های E-F-G توسعه یافته است. وجود شکستگی‌های باز توسط داده‌های هرزروی، آنالیز ساختمانی-رسوبی و دینامیک مخزن تایید شده است. افزایش هرزروی گل حفاری در بعضی از نواحی زون‌های متراکم (D-F-H) می‌تواند شواهدی بر ارتباط عمودی دو مخزن و نبود سد رسوبی در آن نواحی باشد.

واژه‌های کلیدی: دیاژنز، شکستگی، تولید چاه، بنگستان اهواز.

## مقدمه

فاکتورهای زمین‌شناسی می‌توانند ارزیابی مناسبی برای کنترل خصوصیات هتروژنی و کیفیت مخزنی باشند. از آنجایی که اکثر مخازن خاورمیانه و به‌ویژه کمربند رسوب‌گذاری زاگرس از نوع کربنات‌های شکافدار می‌باشند، لذا شناخت این فاکتورها و نحوه عملکرد آنها در فهم رفتار مخزن در وضعیت حال و پیش‌بینی تغییرات آن در مراحل بعدی تولید و بازیافت ثانویه مخزن موثر و مهم تلقی می‌شود. به‌طور کلی از نگاه رسوب‌شناسی عوامل کنترل‌کننده کیفیت مخزنی شامل عوامل محیطی (در زمان رسوب‌گذاری یا کمی بعد از رسوب‌گذاری تاثیر گذاشته) و عوامل دیاژنتیکی (بعد از نهشته شدن رسوبات اتفاق افتاده) است که موجب افزایش یا کاهش کیفیت مخزنی شده است، لذا پارامترهایی چون انحلال، سیمانی شدن، شکستگی و نومورفیزم در کاهش یا افزایش کیفیت مخزنی نقش داشته‌اند. در این مطالعه سعی شده تا نقش فاکتورهای زمین‌شناسی از دیدگاه دیاژنز و ارتباط آن با توسعه شکستگی‌ها و تولید چاه‌ها مورد بررسی قرار گیرند، تا بر این اساس بتوان نواحی که عوامل دیاژنتیک تاثیر مثبتی یا منفی در توسعه کیفیت مخزنی دارند را شناسایی کرد.

## جایگاه زمین‌شناسی

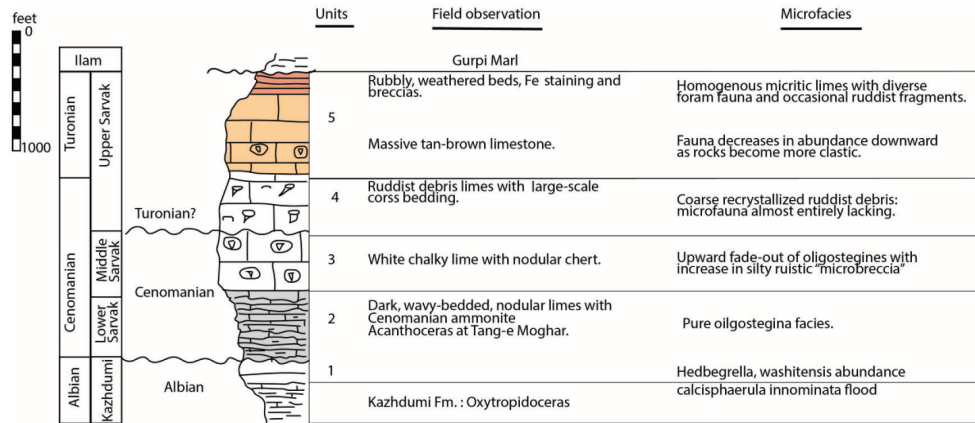
میدان اهواز یکی از بزرگترین میادین ایران می‌باشد و شهر اهواز بر روی بخشی از آن قرار دارد (شکل ۱). میدان اهواز متشکل از مخازن آسماری (تخریبی-کربناته)، بنگستان (کربناته) و خامی (کربناته) می‌باشد. مخزن بنگستان تاقدیس اهواز در یک حوضه فورلند<sup>۱</sup> در اقیانوس نئوتتیس در دوران کرتاسه در شرایط رسوب‌گذاری و تکنیکی متفاوت نه‌نشست کرده است. گروه بنگستان شامل سازندهای ایلام و سروک می‌باشد (شکل ۲)، که در ناحیه مطالعه عمدتاً تکرار رخساره‌های پشته‌های سدی و لاگون به همراه توزیع خرده‌های رودیست می‌باشد.

میدان اهواز تاقدیس سینوسی کم‌شیب و نامتقارن با روند شمال غربی-جنوب شرقی است، که به سمت جنوب غرب باریک‌تر و مرتفع‌تر می‌شود (Speer and Baker, 1978). بر اساس خصوصیات سنگ‌شناسی، مخزن بنگستان به ۱۷ زون تقسیم شده است (گزارش ۸۰۷۹، ۱۳۹۴). متوسط ضخامت چینه‌های مخزن بنگستان در میدان نفتی اهواز ۹۰۰ متر می‌باشد (شکل ۳). این مخزن به ترتیب از چهار زون مخزنی (C-E-G-I) تشکیل شده است که توسط زون‌های آهکی متراکم و ناتروا (D-F-H) جدا شده‌اند. نام‌گذاری گرمخانه‌ها از بالا به سمت پایین به ترتیب حروف الفبای انگلیسی ("A" to "J") می‌باشد (شکل ۳).

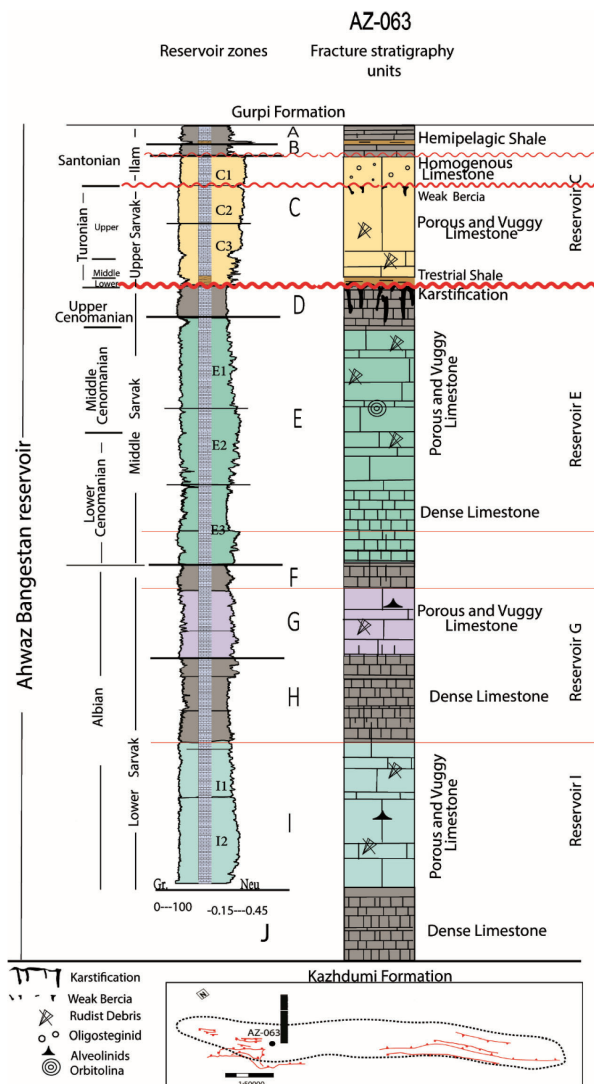


شکل ۱. جایگاه میدان اهواز در جنوب غرب ایران با راستای شمال غرب-جنوب شرق

1. Foreland basin



شکل ۲. ستون چینه‌شناسی سازند بنگستان در دوران کرتاسه در جنوب غرب ایران و نواحی اطراف، مهم‌ترین سنگ منشأ برای مخازن بنگستان دوره کرتاسه بالایی سازند کژدمی می‌باشد (باز طراحی گزارش James and Wynd, 1965)

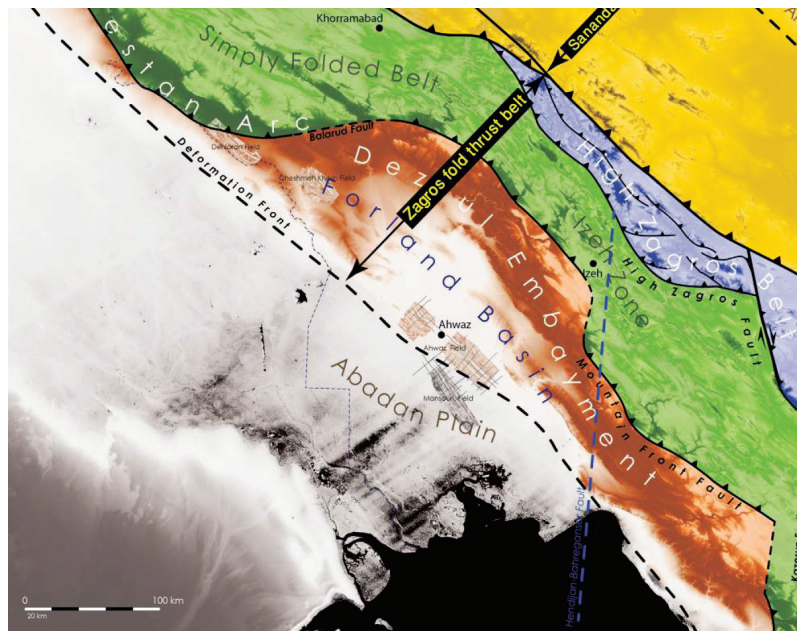


شکل ۳. نمایش زون‌های مخزنی و غیر مخزنی در بنگستان اهواز. در بعضی از نواحی مخزن زون‌های غیر مخزنی به دلیل توسعه شکستگی‌ها نقش مخازن شکسته شده را بازی کرده است

## مطالعات قبلی

شد (Berberian, 1995) (شکل ۴). از دیدگاه رابطه بین شکستگی‌ها و تولید چاه‌های بنگستان اهواز مطالعه‌ای با ۲۰ حلقه چاه ابتدایی در این مخزن انجام شد و عمده شکستگی‌ها در جهت شرق و میانه مخزن معرفی کردند (Speers and Baker 1978). همچنین از دیدگاه رسوب‌شناسی می‌توان به مطالعه مغزه در مخزن بنگستان اهواز اشاره کرد که به معرفی ۷ سیکل رسوبی انجامید (Bolz, 1978).

مقالات فراوانی در مورد حوضه زاگرس در توصیف تقسیمات زمین‌شناسی آن وجود دارد. در ابتدا حوضه زاگرس به زون‌های ساختاری زاگرس چین‌خورده ساده<sup>۱</sup>، زون تراستی هم‌آغوش<sup>۲</sup> و زون دگرگونی<sup>۳</sup> تقسیم شد (Falcon, 1961). بعد از آن تقسیم‌بندی جدیدتری شامل زون گسل تراستی زاگرس مرتفع<sup>۴</sup>، فروافتادگی دزفول<sup>۵</sup> که میدان اهواز در این ناحیه قرار دارد، نوارچین خورده ساده<sup>۶</sup> و دشت آبادان ارائه



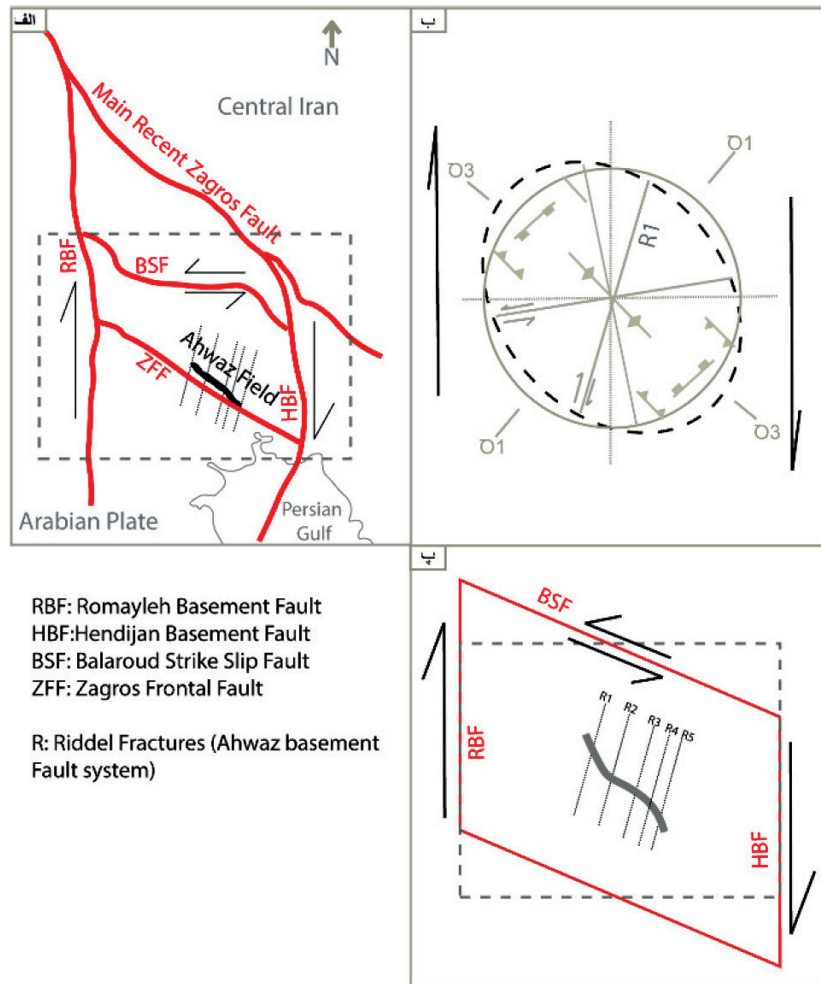
شکل ۴. تقسیمات زمین‌شناسی ساختاری زاگرس که موقعیت میدان اهواز در آن مشخص شده. بر این اساس ساختاری فروافتادگی دزفول قرار می‌گیرد (Berberian, 1995, Falcon, 1961)

## داده‌ها و روش کار

در این مطالعه از داده‌های مغزه و خرده‌های حفاری ۱۳ حلقه چاه (۱۱۶-۲۱۴-۲۱۷-۳۴۷-۳۵۴-۳۵۵-۳۶۰-۳۶۳-۳۶۸-۳۶۹-۳۹۶-۶۳-۳۸۳) استفاده شده است تا با بررسی کیفیت مخزنی مغزه‌ها و خرده‌های حفاری از

بر اساس یک مطالعه ساختاری میدان اهواز بر اثر تکتونیک ناحیه‌ای گسل‌های اصلی زاگرس (گسل هندیجان در شرق-گسل بالارود در شمال-گسل رومیله در غرب و گسل پیش‌کمانی زاگرس در جنوب) در یک چارچوب پی‌سنگی لوزی شکل قرار دارد (شکل ۵ الف-ب-پ). بر اثر فعالیت تکتونیکی این گسل‌ها میدان اهواز متأثر از یک تغییر شکل ساختاری<sup>۷</sup> شده است، که باعث ایجاد یک سری گسل و شکستگی ریدل<sup>۸</sup> با امتداد آزیموتی ۱۷ درجه شمالی شده است (ارزانی و حیدری ۱۳۸۷).

1. Simply folded belt
2. Imbricated thrust
3. Metamorphic complex
4. High Zagros thrust fault
5. Dezful Embayment
6. Simply folded belt
7. Structural deformation
8. Riddle



شکل ۵. عناصر اصلی چهارچوب پی‌سنگی و مدل پیشنهادی تغییر شکل ساختمانی تاقدیس اهواز (با کمی تغییرات از ارزانی و حیدری ۱۳۸۷)، الف) تاقدیس اهواز در بین گسل هندیدجان در شرق-گسل بالارود در شمال-گسل رومیله در غرب و گسل پیش کمائی زاگرس در جنوب قرار دارد، ب) بیضی تنش به همراه سیستم گسل امتداد لغز، پ) تاقدیس اهواز در چارچوب پی‌سنگی لوزی شکل قرار دارد

دیاژنز مخزن در چاه ۶۳ بنگستان اهواز به دلیل داشتن اطلاعات کامل مغزه استفاده شده است. در ادامه نتایج سنگ‌شناسی به صورت جانبی مورد بررسی قرار گرفت، تا تغییرات دیاژنتیک و رخساره‌ای مشاهده شده در مقاطع نازک بررسی شود. در نهایت برای فهم بهتر رفتار مخزن بنگستان از داده‌های هرزروی گل حفاری در هر زون، داده‌های دینامیک و تولید مخزن بنگستان اهواز برای پاسخ‌گویی به ابهامات موجود در مورد رفتار هتروژنی مخزن و یگانه یا دو گانه بودن نوع تخلخل موثر در تولید نفت در گستره مخزن استفاده شده است.

دیدگاه شکستگی، تغییرات رخساره‌ای و تطابق با لاک‌های پتروفیزیکی رفتار هتروژنی مخزن درک شود. همچنین بر اساس مقاطع نازک به دست آمده از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری تاثیر عوامل دیاژنز در کیفیت مخزنی و همچنین تغییرات رخساره‌ای مشخص شد. البته لازم به ذکر است درک کامل سناریوی مخزن در چاه‌هایی که عمدتاً مغزه گیری به صورت ناقص صورت گرفته است و باید از داده‌های خرده حفاری استفاده شود با درصد بالایی از عدم قطعیت و کمبود اطلاعات مناسب همراه است. لذا عمده تصاویر مقاطع نازک و ستون چینه‌شناسی مخزن بنگستان برای درک بهتر خواننده از رسوب‌گذاری متوالی و تاثیر فرایندهای

## دیاژنز

است. اما نیمه شرقی میدان متأثر از فرایند سیمانی شدن اولیه و دولومیتی شدن غیر موثر و همچنین پدیده انحلال کمتر قرار گرفته است، که تا حدودی کیفیت مخزنی را پایین آورده است. ادامه به سمت بالا به تدریج از ضخامت رخساره لاگونی کاسته شده و بر ضخامت رخساره سدهای ریفی با خرده‌های فراوان رودیست و سدهای میان جزر و مدی افزوده می‌شود. تغییرات سریع محیط رسوبی به صورت عمودی و جانبی تایید بر وجود رخساره پشته‌های سدی می‌باشد. عمده‌ترین فرایند دیاژنتیک مشاهده شده در این زون فرایند سیمانی شدن، انحلال و گهگاهی پدیده نئومورفیسم است. زون II نشان‌دهنده کاهش ضخامت رخساره‌های مخزنی به سمت بالا و تغییرات محیط رسوبی در مقطع طولی و عمودی می‌باشد. این زون متأثر از پدیده دیاژنتیک سیمانی شدن و نئومورفیسم قرار گرفته است (شکل ۶ ب). زون H با رخساره مادستونی دارای تخلخل بسیار پایینی می‌باشند و پدیده‌های دیاژنتزی مشاهده شده در این زون حاکی از سیمانی شدن و نئومورفیسم است (شکل ۶ پ-ت).

### ۲- مخزن میانی (زون‌های G و F)

زون G متشکل از رخساره‌های پشته‌های سدی و لاگون است و تحت تاثیر پدیده دیاژنتیک سازنده و یا مخرب قرار گرفته است. پدیده‌های مهم دیاژنتیک مشاهده شده انحلال، سیمانی شدن و کمتر شواهدی از نئومورفیسم دیده می‌شود (شکل ۷ الف). تخلخل ماتریکس این زون پایین و متأثر از رخساره‌های رسوبی و پدیده دیاژنتزی سیمانی شدن و نئومورفیسم است. زون F با رخساره مادستون دارای کیفیت مخزنی پایینی است، که این امر متأثر از نوع رخساره رسوبی و شرایط دیاژنتیک سیمانی شدن و دولومیتی شدن مخرب است (شکل ۷ ب). رخساره غالب در زون F لاگونی و تا حدودی هم در انتهای شرق میدان رخساره دریای باز را نشان می‌دهد.

### ۳- مخزن میانی (زون‌های E و D)

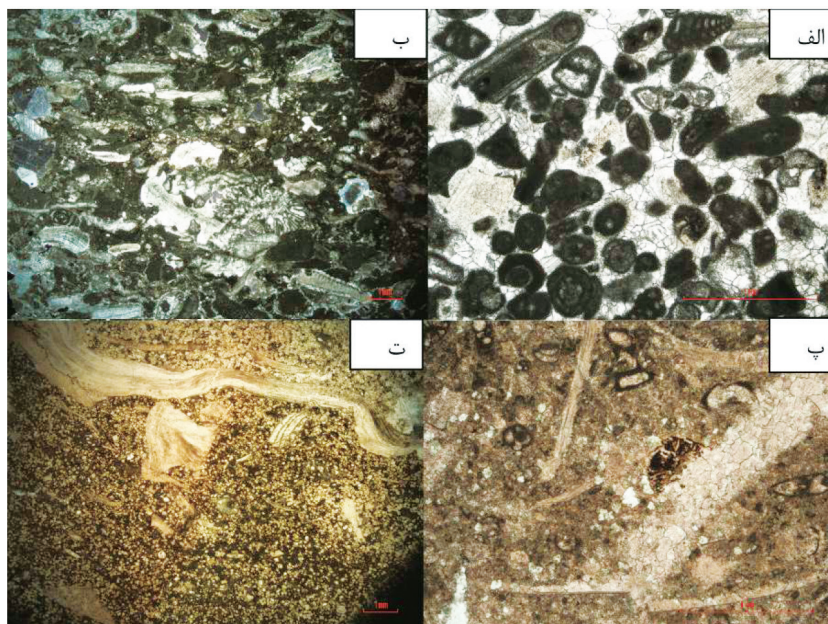
زون E عمدتاً با رخساره پشته‌های سدی و کیفیت مخزنی بهتری شروع شده و به رخساره عمدتاً لاگون ختم می‌شوند

مخزن بنگستان اهواز از چهار مخزن<sup>۱</sup> تشکیل شده است که توسط لایه‌های متراکم کربناته از هم جدا شده‌اند. نام‌گذاری سنگ‌شناسی این زون‌ها بر اساس ترتیب حروف الفبای انگلیسی از A تا J می‌باشد، که زون‌های C-E-G-I دارای کیفیت مخزنی مناسبی می‌باشند. زون مخزنی I از آهک‌های با تخلخلی در حدود ۱۵ تا ۸ درصد خواص مخزنی مناسبی دارد. این زون در آغاز بر روی زون J در سازند سروک با ضخامت تقریبی ۱۰۰ متر رسوب‌گذاری کرده است و زون J با تخلخل زیر سه درصد فاقد هرگونه خواص مخزنی می‌باشد. زون مخزنی I در ادامه از کیفیت مخزنی آن کاسته شده و به زون H بدون تخلخل تبدیل می‌شود. زون H با ضخامت تقریبی ۴۰ متر غالباً به‌عنوان یک زون متراکم غیرمخزنی و جداکننده زون‌های G در بالا و زون I در پایین می‌باشد. زون مخزنی G با تخلخلی در حدود ۷ درصد خواص مخزنی مناسبی دارد. در ادامه این زون به زون F با ضخامت تقریبی ۱۱۰ متر با میانگین تخلخل در حدود ۳ درصد تبدیل می‌شود. تخلخل ماتریکس این زون تخلخل پایینی را نشان می‌دهد. زون مخزنی E با ضخامت تقریبی ۲۰۰ متر تشکیل شده است. از دیدگاه سنگ مخزنی، بهترین پارامترهای مخزنی و بهره‌ده را شامل می‌شود. تخلخل این زون در حدود ۸ درصد و مستعد تولید از شکستگی هست. در نهایت این زون به زون متراکم D با ضخامت ۴۰ متر و تخلخل ۳ درصد ختم می‌شود. زون مخزنی C با ضخامت تقریبی ۱۵۰ متر و تخلخلی در رنج ۱۵ تا ۲۵ درصد تشکیل شده است. در ادامه به زون‌های متراکم A-B با ضخامت ۲۵ متر و تخلخل ۳ درصد ختم می‌شود (شکل ۳).

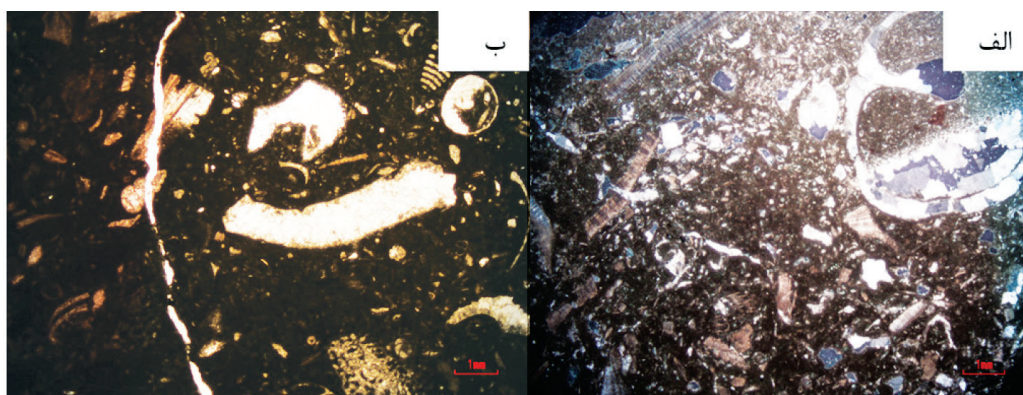
### ۱- مخزن پایینی (زون‌های I و H)

زون I<sup>2</sup> در مقطع طولی دارای کیفیت مخزنی مناسب و عمدتاً به همراه رخساره‌های گرینستون فسیل‌دار و حاوی خرده‌های فراوان رودیست می‌باشند (شکل ۶ الف). نیمه غربی میدان تحت تاثیر فرایند انحلال و سیمانی شدن اولیه قرار گرفته و نقش مثبتی در افزایش تخلخل ماتریکس داشته

1. Multiple reservoir



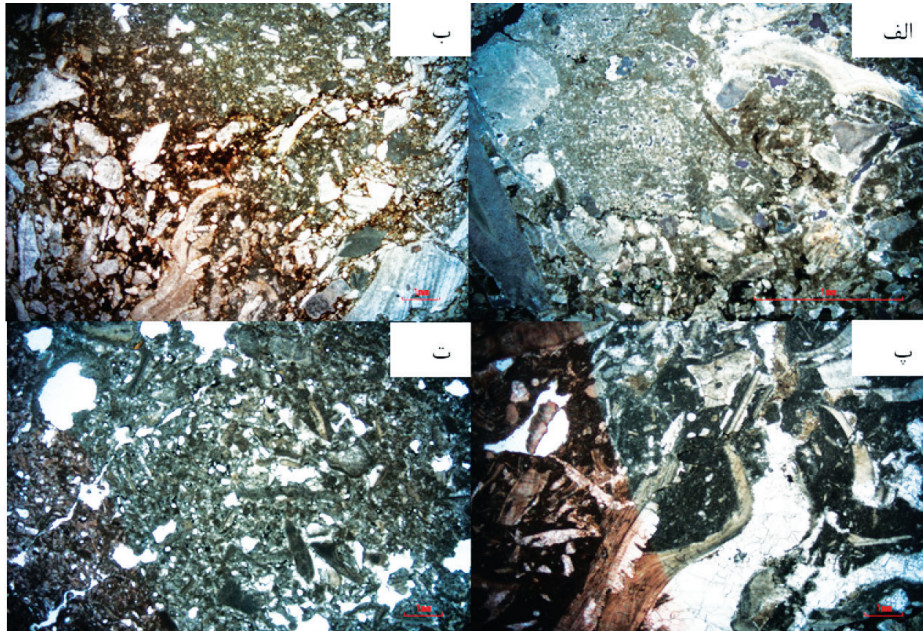
شکل ۶. الف) زون I2، رخساره گرینستون فسیل دار (زیر محیط سدی) (عمق ۴۲۴۰ متری)، ب) زون II، رخساره پکستون فسیل دار حاوی خرده‌های فراوان رودیست (لاگون) (عمق ۴۰۹۰ متری)، پ) زون H، رخساره پکستون کرینوئیدار که قطعات کرینوئید تحت تاثیر سیمان سین تاکسیال قرار گرفته است (لاگون) (عمق ۳۹۸۰ متری)، ت) زون H، رخساره وکستون گاستروپوددار و رودیست تحت تاثیر فرایند دولومیتی شدن قرار گرفته است (لاگون) (عمق ۴۰۱۸ متری) (تمامی شکل‌ها از چاه ۶۳ بنگستان اهواز)



شکل ۷. الف) زون G، رخساره پکستون فسیل دار گل غالب تحت تاثیر انحلال قالبی قرار گرفته (لاگون) (۳۸۴۹ متری)، ب) زون F، رخساره پکستون بایوکلاست دار تحت تاثیر سیمانی شدن قرار گرفته (لاگون) (۳۷۴۷ متری) (تمامی شکل‌ها چاه ۶۳ بنگستان اهواز)

و انحلال می‌باشد (شکل ۸ الف-ب) و در رخساره‌هایی که دارای کیفیت مخزنی از نوع ماتریکس پایین‌تری می‌باشند، پدیده‌های دیاژنتیک غالب از نوع سیمانی شدن، دولومیتی شدن و نئومورفیسم است. زون D بیانگر رخساره لاگونی است و کیفیت مخزنی بسیار پایینی داشته، که با دیاژنز نئومورفیسم و سیمانی شدن همراه است (شکل ۸ ت).

شکل ۸ پ). زون E دارای تناوبی از رخساره‌های لاگون و پشته‌های سدی است که به سمت بالا شروع به پس‌روی و کاهش ضخامت رخساره پشته‌های سدی و تغییر به رخساره لاگون می‌شود. از سمت غرب به شرق میدان از ضخامت رخساره پشته‌های سدی کاسته شده و بر ضخامت رخساره لاگونی افزوده می‌شود. پدیده‌های دیاژنتیک مشاهده شده در این زون که کیفیت مخزنی بالایی دارند، سیمانی شدن



شکل ۸. الف) زون E2، رخساره پکستون بایوکلاست دار که تحت تاثیر انحلال حفره‌ای قرار گرفته است (لاگون) (عمق ۳۶۸۷ متری)، ب) زون E2، رخساره پکستون رودیست دار که تحت تاثیر انحلال حفره‌ای قرار گرفته است (سدی) (عمق ۳۶۸۷ متری)، پ) زون E1، رخساره پکستون مرجانی-فسیل دار که تحت تاثیر انحلال حفره‌ای و تخلخل قالبی قرار گرفته است (سدی) (عمق ۳۵۷۹ متری)، ت) زون D، رخساره وکستون خرده فسیل دار که فسیل‌ها تحت تاثیر سیمانی شدن قرار گرفته است (لاگون) (عمق ۳۵۳۳ متری). (تمامی شکل‌ها از چاه ۶۳ بنگستان اهواز می‌باشد)

۴- مخزن بالایی (زون‌های A و B، C و A)  
 زون C3 تناوبی از رخساره‌های لاگون و پشته‌های سدی است. این زون در غرب و میانه میدان کیفیت مخزنی خوب و در شرق دارای کیفیت مخزنی پایین است. دیاژنز غالب بیشتر انحلال و نئومورفیسم در نیمه غربی و در نیمه شرقی با دولومیتی شدن، سیمانی شدن و انحلال کمتر همراه است (شکل ۹ الف). زون C2 تحت تاثیر فرایند انحلال شدید سیالات متئوریکی تخلخل حفره‌ای بالایی ایجاد کرده است. این زون رخساره غالباً لاگونی و کمتر پشته‌های سدی دارد. پدیده دیاژنتیک موثر در غرب میدان غالباً انحلال و نئومورفیسم است. زون C1 همراه با انحلال شدید بر اثر سیالات متئوریکی است. این زون کیفیت مخزنی بسیار خوبی دارد و با رخساره‌های عمدتاً دریای باز شناخته می‌شود. پدیده دیاژنز متئوریکی است که روند تاثیر این دیاژنز از سمت غرب به سمت شرق مخزن بنگستان است (شکل ۹ ب). زون B با رسوبات وکستون پلاژیک گلوبوترونکانادار و هدبرژیلا همراه است (شکل ۹ پ) که در ادامه به پکستون فسیل‌دار-

بایوکلاست‌دار گل غالب تبدیل می‌شود (شکل ۹ ت). این زون تحت تاثیر سیمانی شدن قرار گرفته است و تخلخل مخزنی خود را از دست داده است. زون A با رخساره اووئید-آنکوئید گریستونی جا به جا شده به محیط عمیق که تحت تاثیر سیمانی شدن و دولومیتی شدن قرار گرفته و در نتیجه کیفیت مخزنی پایینی دارد (شکل ۹ ث).

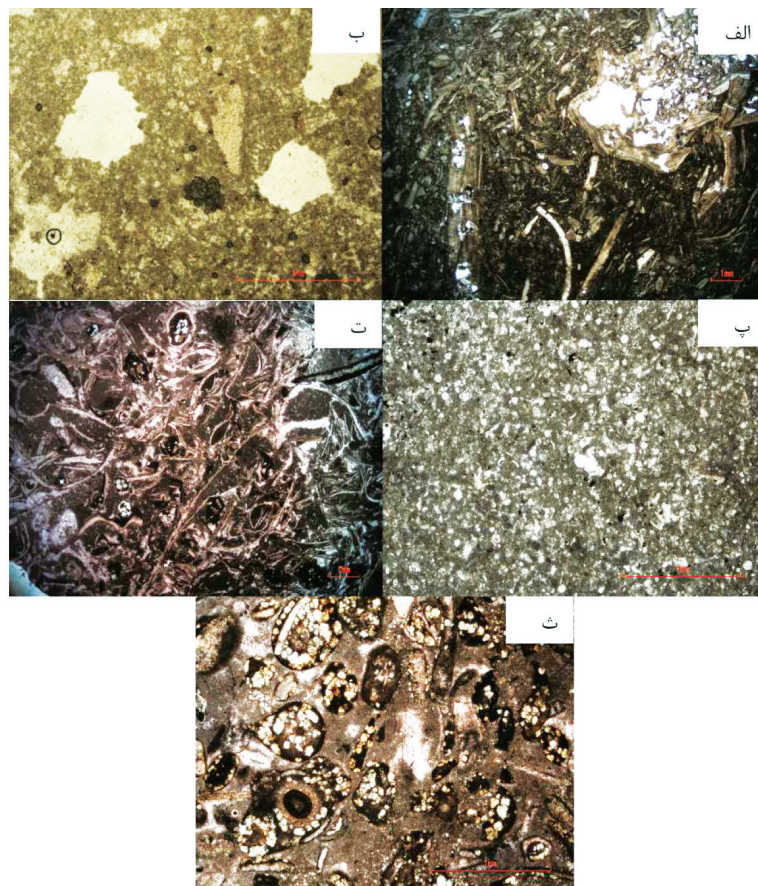
### شکستگی

توزیع شکستگی‌های باز در زون‌های E-F-G بر اساس داده‌های هرزروی گل حفاری در زون‌های متراکم، اطلاعات دینامیک و شناخت رخساره رسوبی است. بر اساس اطلاعات موجود توسعه شکستگی عمدتاً در شرق و مرکز مخزن بنگستان قرار دارد (شکل ۱۰).

زون‌های غیر مخزنی H-F-D به دلیل وجود رخساره آهک متراکم مقدار هرزروی گل حفاری بسیار پایین است، لذا می‌تواند به‌عنوان یک مانع<sup>۱</sup> میان زون‌های مخزنی عمل

1. Barrier





شکل ۹. الف) زون C3، رخساره پکستون رودبست دار که تحت تاثیر انحلال قرار گرفته است (لاگون) (عمق ۳۵۰۵ متری)، ب) زون C1، رخساره وکستون فسیل دار که تحت تاثیر پدیده انحلال شدید و نئومورفیسم قرار گرفته است (لاگون) (عمق ۳۳۶۷ متری)، پ) زون B، رخساره پکستون پلاژیک گلوبوترونکانادار و هدریزیل (پلاژیک) (عمق ۳۳۵۷ متری)، ت) زون B، رخساره وکستون فسیل دار که تحت تاثیر سیمانی شدن قرار گرفته است (لاگون) (عمق ۳۳۳۵ متری)، ث) زون A-رخساره اووئید-آنکوئید گرینستون جا به جا شده که تحت تاثیر سیمانی شدن و دولومیتی شدن قرار گرفته است (لاگون) (عمق ۳۳۳۳ متری)، (تمامی شکل‌ها از چاه ۶۳ بنگستان اهواز می‌باشد)

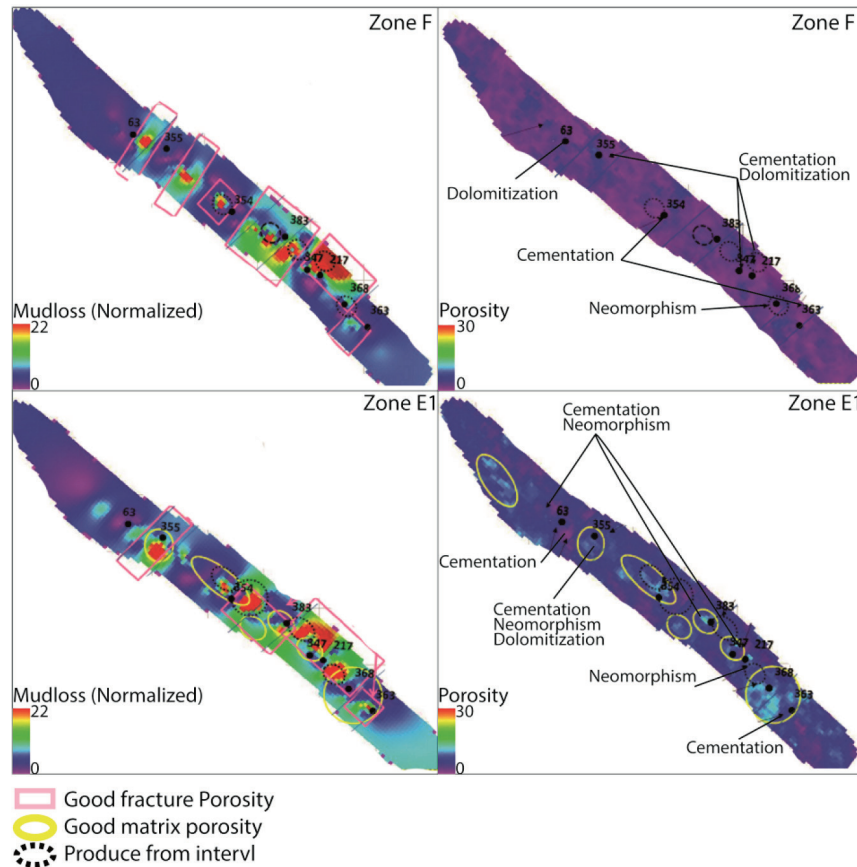
## شناخت نواحی مستعد تولید بر اساس دیاژنز، شکستگی و تخلخل

### از دیدگاه تخلخل ماتریکس

نیمه غربی میدان به طرف دماغه غرب در زون I2 کیفیت مخزنی بهتری در توسعه مخزنی دارد. زون II تغییرات سریع محیط رسوبی در جهت عمودی و جانبی باعث تغییر کیفیت مخزنی به صورت محلی می‌شود، نیمه غربی به سمت دماغه غرب میدان عمدتاً کیفیت مخزنی مستعدتری برای توسعه دارا می‌باشد. زون H عمدتاً کیفیت مخزنی و تخلخل ماتریکس بسیار پایین دارد. زون G در گستره مخزن با رخساره پشته‌های سدی (کیفیت مخزنی مستعدتر) و لاگون (کیفیت مخزنی پایین‌تر) است، که در سه محدوده شرقی،

کند، اما در مناطقی که هرزروی گل حفاری بسیار بالا است، احتمال ارتباط این دو مخزن به دلیل شکستگی باز با خاصیت هدایت سیال وجود دارد (شکل ۱۰).

در میان زون‌های مخزنی تنها زون C1 به دلیل رسوب‌گذاری هموزن و تخلخل (۱۵-۲۵ درصد) توسعه شکستگی بسیار ضعیف در گستره مخزن می‌باشند. اما زون‌های دیگر مخزنی به دلیل خاصیت هتروژنتیکی در راستای عمودی و افقی، پتانسیل توسعه شکستگی را دارند. زون E در گستره مخزن از سمت غرب به شرق از ضخامت رخساره‌های دارای تخلخل ماتریکس خوب کاسته شده و لذا توسعه میدان در شرق و مرکز مخزن با کیفیت مخزنی پایین‌تر به دلیل استعداد شکستگی است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. توزیع شکستگی‌های باز در زون‌های E-F بر اساس داده‌های هرزروی گل حفاری در زون‌های متراکم، اطلاعات دینامیک و شناخت رخساره رسوبی است. بر اساس اطلاعات موجود توسعه شکستگی عمدتاً در شرق و مرکز مخزن بنگستان قرار دارد

### از دیدگاه تخلخل شکستگی

توزیع شکستگی‌های باز در زون‌های E-F-G مخزن بنگستان دیده شده است. از طرفی هرزروی شدید گل حفاری به احتمال زیاد متاثر از شکستگی‌های باز می‌باشد. هرزروی زیاد در گرمخانه‌هایی که دارای محدوده‌هایی با تخلخل پایین (کیفیت مخزنی پایین) است، مبین وجود شکستگی باز می‌باشند. داده‌های هرزروی گل حفاری پیشنهاد می‌کند که چاه‌هایی با بهترین شکستگی در شرق و مرکز مخزن بنگستان میدان اهواز قرار دارد. در زون E در گستره مخزن از سمت غرب به شرق میدان از ضخامت رخساره‌های دارای تخلخل مناسب ماتریکس کاسته شده و لذا توسعه میدان در شرق و مرکز مخزن با کیفیت مخزنی پایین‌تر به دلیل استعداد شکستگی توصیه می‌شود. کرنات‌های متراکم زون D دارای تخلخل ماتریکس پایینی بوده و مقادیر هرزروی گل

میانی و غربی وجود دارد. زون F عمدتاً تخلخل ماتریکس و کیفیت مخزنی پایینی دارند که متاثر از رخساره‌های رسوبی است. در زون E در گستره مخزن از سمت غرب به سمت شرق میدان از ضخامت رخساره‌های سدی کاسته شده و بر ضخامت رخساره‌های لاگونی افزوده می‌شود. زون D کیفیت مخزنی پایینی را پیشنهاد می‌کند. زون C3 در غرب و بخش میانی کیفیت مخزنی خوب و در بخش شرقی با کیفیت مخزنی پایین توسعه یافته است. در زون C2 پدیده دیاژنتیک در افزایش کیفیت مخزنی تاثیر بیشتری در بخش غربی نسبت به شرقی داشته است. زون C1 همراه با انحلال شدید متاثر از سیالات متئوریکی است و افزایش کیفیت مخزنی در سمت غرب بیشتر از شرق است و توسعه میدان در گستره غربی توصیه می‌گردد. زون B و A کیفیت مخزنی پایینی دارند.

آغاز چین خوردگی زاگرس احتمالا در اوایل میوسن با چین خوردگی رسوبات قبل و رسوب گذاری تبخیری های گچساران همراه بوده است (Sherkati et al., 2005). اما چین خوردگی اصلی زاگرس در زمان میوپلیوسن اتفاق افتاده است. این فاز از چین خوردگی در زمان میوپلیوسن باعث ادامه چین خوردگی ساختارها و همچنین تغییر در امتداد ژئومتری ساختارها شده است (Saadallah et al., 2019). از طرفی تغییر در امتداد ژئومتری ساختارها غالباً به دلیل حضور گسل های عمیق شمالی-جنوبی (گسل های امتداد لغز راستگرد کازرون و ایذه و دیگر گسل های کوچک تر با امتداد شمالی-جنوبی) در جغرافیای گذشته حوضه بوده است (Saadallah et al., 2019) که باعث تغییرات جانبی رخساره های رسوبی در حوضه زاگرس شده است (Saadallah et al., 2019). در نهایت آخرین حادثه تکتونیکی زاگرس باعث تکامل کلی گسل های پی سنگی معکوس زاگرس در طول زمان پلیوسن تا کواترنری و توپوگرافی حال کوه های زاگرس و تغییرات ساختاری شدیدتر شده است (Navabpour et al., 2010). بر اثر فعالیت تکتونیکی این گسل های شمالی-جنوبی در ناحیه میدان اهواز باعث تغییر در امتداد ساختار و ایجاد کوریدورهای شکستگی شده است.

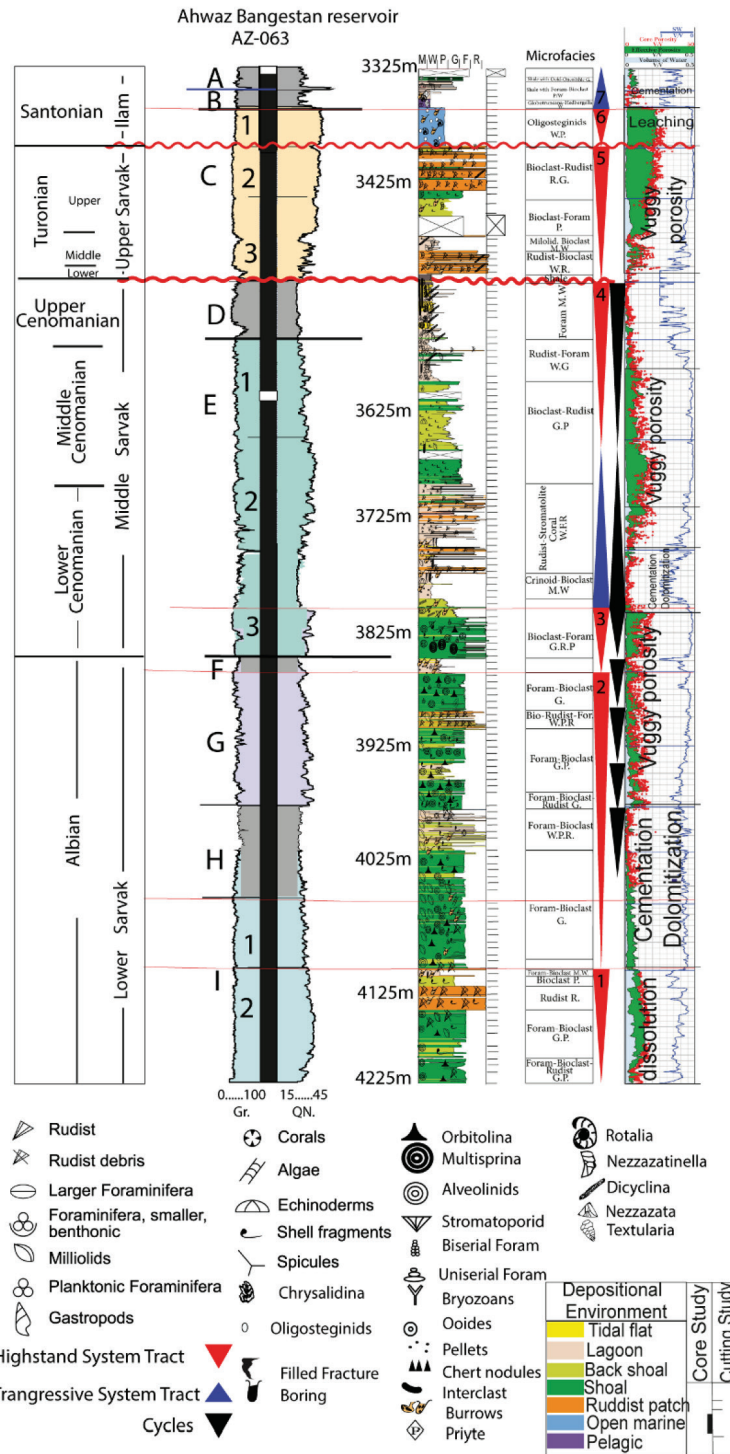
تاثیر این گسل های پی سنگی قدیمی را می توان به طور مثال در تاثیر متفاوت دیاژنز در زون C1 و یا تغییرات رخساره رسوبی و محیط رسوبی در زون های E-G در راستای این گسل ها دنبال کرد (شکل ۱۲). لذا تاثیر این گسل های قدیمی در گستره مخزن بنگستان باعث تغییر در جغرافیای قدیمی حوضه شده است، که نقش موثری را در تغییرات جایگاه رسوب گذاری گذشته، تغییرات رخساره های، تغییرات دیاژنتیک و در نهایت عملکرد مخزن متعارف و شکسته شده داشته است. علاوه بر این، تاثیر گسل ها باعث به وجود آمدن کوریدورهای شکستگی در نواحی از مخزن شده است (شکل ۱۲). وجود این کوریدورهای شکستگی را علاوه بر شواهد زمین شناسی ذکر شده، می توان بر اساس اطلاعات هرزروی گل حفاری و اطلاعات دینامیک مخزن همراه با نرخ تولید هیدروکربور بسیار بالاتر را به توسعه شکستگی های باز نسبت داد.

حفاری بسیار کم است. هر چند مقادیر بالای هرزروی در برخی از بخش های میدان گویای سیستم شکستگی خوب در این زون است. داده های هرزروی گل حفاری مقادیر کمی را در زون F نشان می دهد. لذا زون F به عنوان یک مانع برای زون های E و G عمل کرده است. در مناطقی که هرزروی گل حفاری بالایی را نشان می دهد، احتمال ارتباط این دو مخزن وجود دارد. تاثیر سیستم شکستگی در زون C ضعیف بوده، به استثنای شرق مخزن، در زون C3 که دارای رخساره هایی با کیفیت مخزنی پایین می باشد و توسعه مخزن از رخساره هایی با کیفیت مخزنی پایین که متاثر از سیستم شکستگی بوده، مناسب هست.

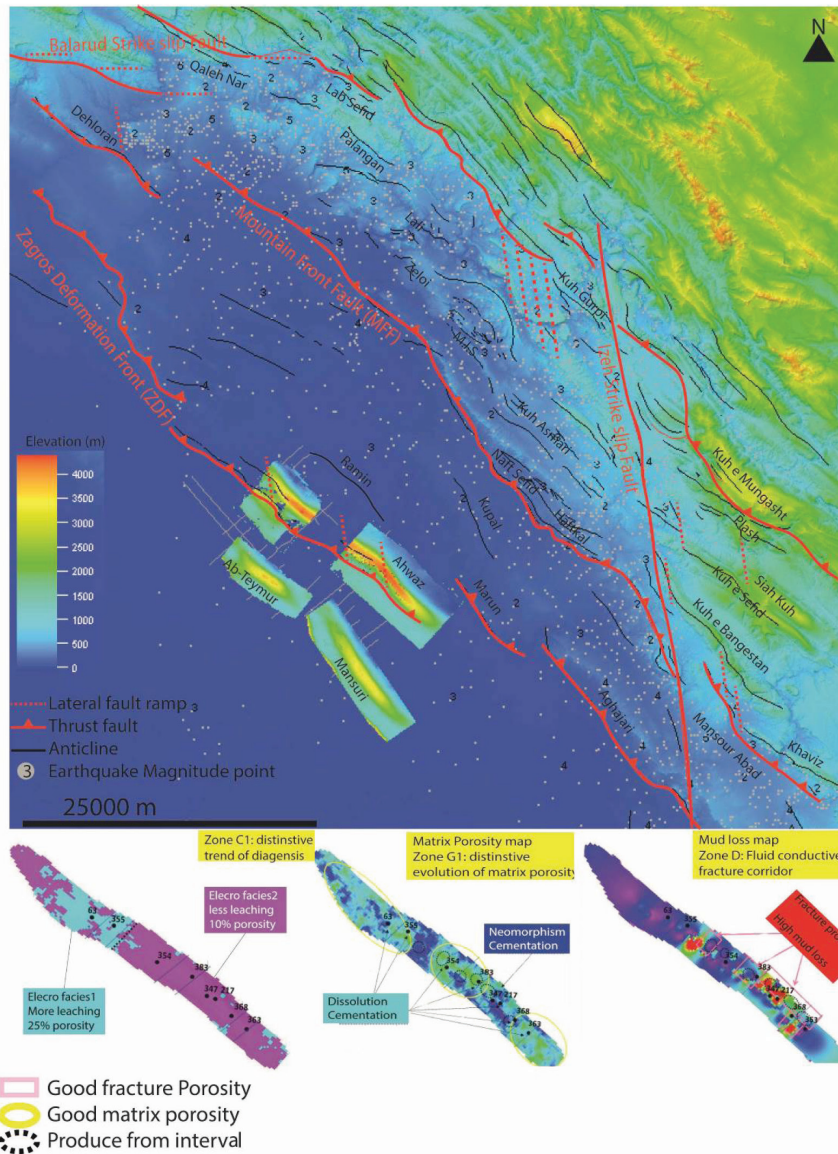
## نقش عوامل زمین شناسی در کیفیت مخزن بنگستان

مخزن بنگستان با رخساره های پشته های سدی و لاگونی که در دریای کم عمق نهشته شده است دارای کیفیت خوب و بد مخزنی می باشد (شکل ۱۱). این سکانس دریای کم عمق وسیع نشان دهنده فرونشست پیوسته حوضه (با بالا آمدن آب دریا) است و با نرخ زیاد رسوب گذاری حوضه تاثیر متقابل دارد. شواهدی از خروج رسوبات در این حوضه مشاهده شده است که بعضی در مقیاس محلی و بعضی ناحیه ای است و نشان دهنده این است که نرخ رسوب گذاری نرخ فرونشست را نامتعادل کرده است. این وقفه های رسوبی باعث تشکیل سیمان متئوریک و هوازدگی می شود و نقش بسیار کلیدی در افزایش تولید از یک مخزن با کیفیت خوب دارد. اما جوان ترین سکانس با رخساره و کستون اولیگوسترنید متاثر از دیاژنز متئوریک دارای کیفیت خوب مخزنی و در ادامه به و کستون اولیگوسترنید دار و گلوبوترونکانادار پلاژیک (بازتابی از یک محیط شیب قاره ای تا دریای عمیق) و بدون کیفیت مخزنی ختم می شود.

بر اساس مطالعات انجام شده در کمر بند زاگرس گسله های پی سنگی متعددی شناخته شده است که شواهدی از تجدید فعالیت پی سنگی را نمایش می دهند (Mc Quillan, 1991; Berberian, 1995). بعضی از این گسل های پی سنگی در کمر بند زاگرس ساختار شمال غربی (گسل زاگرس) و بعضی ساختار شمالی-جنوبی (گسل هندبجان) و حتی شرقی-غربی (گسل بالارود) دارند.



شکل ۱۱. تغییرات رخساره‌های رسوبی و تاثیر دیاژنز در چاه ۶۳ بنگستان اهواز که تکراری از رخساره‌های رسوبی عمدتاً پشته‌های سدی به سمت محیط لاگون (D-H-C3) تغییر رخساره می‌دهد، به‌استثنای جوان‌ترین سکانس که رفتاری عمیق شونده را نشان می‌دهد. تخلخل ماتریکس در زون‌های (I-G-E-C3) متأثر از فابریک می‌باشد. لذا رخساره‌های گرینستون و پکستون کیفیت مخزنی بهتری نسبت به وکستون و مادستون دارد. دیاژنز و آب‌های متئوریک بر سطوح رخنمون یافته در بالای هر سیکل تاثیر گذاشته است و بهترین کیفیت مخزنی در رخساره‌های گرینستون و پکستون که تاثیرات آب‌های متئوریک را تجربه کرده‌اند، وجود دارد. در زون C1 مخزن بنگستان اهواز که حاوی رخساره‌ای از جنس آهک گل سفید می‌باشد، پدیده غالب انحلال و دیاژنز متئوریکی است



شکل ۱۲. تاثیرهای گسل قدیمی با روند تقریباً شمالی-جنوبی در گستره مخزن بنگستان باعث تغییر در جغرافیای قدیمی حوضه شده است. این گسل‌ها نقش موثری را در تغییرات دیاژنتیک واضح در زون C1 با تفاوت در نوع الکتروفاسیس و تخلخل ماتریکس به دلیل جایگاه متفاوت تاثیر فرایندهای دیاژنز متئوریک متأثر از جغرافیای دیرینه و همچنین جایگاه رسوب‌گذاری متفاوت در طول گستره مخزن در زمان رسوب‌گذاری و در ادامه تاثیر آن بر تخلخل ماتریکس و تخلخل شکستگی از نوع عملکرد مخزن متعارف و شکسته شده است

### نتیجه‌گیری

است. توالی رسوب‌گذاری رخساره‌ها عمدتاً سکانس‌های رسوبی دریای کم‌عمق شونده را نشان می‌دهد، که شاهدهی بر فرونشست پیوسته حوضه (یا بالا آمدن آب دریا) است و با نرخ زیاد رسوب‌گذاری حوضه تاثیر متقابل دارد. اما جوان‌ترین سکانس با رخساره و کستون اولیگوسنژیددار متأثر از دیاژنز متئوریکی فراوان و کیفیت خوب مخزنی و در ادامه به وکستون اولیگوسنژید دار و گلوبوترونکانادار پلاژیک

مخزن بنگستان در میدان اهواز از سازندهای ایلام و سروک به ضخامت تقریبی ۱۰۰۰ متر می‌باشد که در دوره زمانی آلبین پایانی تا سانتونین رسوب کرده است. رخساره‌های این مخزن عمدتاً شامل پشته‌های سدی و لاگونی می‌باشد که در یک دریای کم‌عمق نهشته شده است. وجود این رخساره‌ها نقش بسیار مهمی در ایجاد کیفیت خوب و بد مخزنی داشته

- Berberian, M., 1995. Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: Active Basement Tectonics and Surface Morphotectonics. *Tectonophysics*, 241, 193-224.

- Bolz, H., 1978. Core study in Bangestan reservoir of the Ahwaz field, Oil Service Company of Iran, interior published report No. 1276: 27.

- Falcon, N.L., 1961. Major earth-flexing in the Zagros Mountains of southwest Iran. *Quarterly journal of the Geological Society of London*, 117, 367-376.

- James, G.A. and Wynd, J.G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin* 49, 2182-2245.

- Mc Quillan, H., Twerenbold, E. F., Sangree, J. B. and Masson, P. H., 1961; Asmari Fracture Study. IOEPC, 104-742.

- Navabpour, P., Angelier, J. and Barrier, E., 2010. Mesozoic Extensional brittle tectonics of Arabian passive Margin inverted in zagros collision, (Iran, Interior Fars) *Geological Society of London*.

- Saadallah, N., Roustaie, M., Salehi, M. A., Najafzadeh, K., Edalat, A. and Shojaee, S., 2019. Mansoorabad PSTM/PSDM 3D Seismic Interpretation Structural Modeling and Velocity Modeling Report. (Interior report NISOC), 240.

- Sherhati, S., Molinaro, M., Frizon De Lamotte, D. and 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.

- Speers, R.G., and Baker, S.N., 1978. Ahwaz Bangestan reservoirs relationship between fracture distribution matrix porosity and well productions, Oil Service Company of Iran, interior published report No: 3458.

که بازتابی از یک محیط شیب قاره تا دریای عمیق و بدون کیفیت مخزنی است، ختم می‌شود و توالی رسوب‌گذاری رخساره‌ای با سکانس رسوبی عمیق شونده را نشان می‌دهد. شواهد خروج از آب که در رسوبات این حوضه در ناحیه مورد مطالعه مشاهده می‌شود در مقیاس محلی و بعضی ناحیه‌ای قابل شناسایی و دنبال کردن است و نشان‌دهنده این موضوع است که نرخ رسوب‌گذاری، نرخ فرونشست را نامتعادل کرده است. این وقفه‌های رسوبی باعث تشکیل سیمان متئوریک و هوازدگی در رخساره‌ها شده است و نقش بسیار کلیدی در افزایش تولید از مخزن را دارد.

تکتونیک ناحیه‌ای باعث شده تا حوضه رسوب‌گذاری گروه بنگستان متأثر از یک سری گسل با امتداد شمالی-جنوبی شود. لذا تأثیر این گسل قدیمی در گستره مخزن بنگستان باعث تغییر در جغرافیای قدیمی حوضه شده است، که نقش موثری را در تغییرات جایگاه رسوب‌گذاری گذشته، تغییرات رخساره‌ای، تغییرات دیاژنتیک و در نهایت عملکرد مخزن متعارف و شکسته شده داشته است. علاوه بر این، تأثیر گسل‌ها باعث به وجود آمدن کوریدورهای شکستگی در نواحی از مخزن شده است. وجود این کوریدورهای شکستگی را علاوه بر شواهد زمین‌شناسی ذکر شده، می‌توان بر اساس اطلاعات هرزروی گل حفاری و اطلاعات دینامیک مخزن که همراه با نرخ تولید هیدروکربور بسیار بالاتری است مربوط به توسعه شکستگی‌های باز دانست.

## قدردانی

مولفان مقاله از شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب برای حمایت مالی و در اختیار قرار دادن اطلاعات مربوطه کمال تشکر را دارند.

## منابع

- ارزانی، ع. و حیدری، خ.، ۱۳۸۷. تحلیل ساختاری میدان نفتی اهواز با نگرش ویژه بر شکستگی‌های آن، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، گزارش داخلی شماره پ-۶۳۹۷.
- شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، ۱۳۹۴. بررسی کیفیت مخزنی بنگستان میدان اهواز، گزارش داخلی شماره پ-۸۰۷۹.