

کیفیت مخزنی سازند داریان در میدان پارس جنوبی بر اساس مطالعه واحدهای جریان هیدرولیکی و گونه‌های سنگی و ارتباط آن با ویژگی‌های بافتی و دیاژنتیکی رخساره‌های رسوبی

محمد رضا رحمانی^۱، سید رضا موسوی حرمی^{۲*}، مهران آرین^۳

۱- دانشجوی دکتری سنگ‌شناسی رسوبی و رسوب‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

*پست الکترونیک: moussavi@um.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۸

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲۰

چکیده

در این مقاله کیفیت مخزنی سازند داریان که یکی از مخازن نفتی میدان پارس جنوبی می‌باشد، مورد بحث قرار گرفته است. برای این منظور، با بررسی داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه‌ها و لاگ‌های چاه‌پیمایی سه حلقه چاه SPO-1، SPO-2 و SPO-3، واحدهای جریان و گونه‌های سنگی مخزن شناسایی و تفکیک شدند و ویژگی‌های بافتی و دیاژنتیکی رخساره‌ها که حاصل مطالعه بر روی مقاطع نازک این چاه‌ها می‌باشد، انطباق داده شدند. بر اساس شاخص زون جریانی (FZI)، تعداد شش واحد جریانی هیدرولیکی (A تا F) برای رخساره‌های مخزن به دست آمد. در یک مقایسه کلی بین واحدهای جریانی هیدرولیکی تفکیک شده مخزن، این واحدها به چهار دسته واحدهای جریانی با کیفیت مخزنی بسیار پایین (A و B)، پایین (C)، متوسط (D) و بالا (E و F) تقسیم شدند که ارتباط خوبی با ویژگی‌های بافتی و دیاژنتیکی رخساره‌ها نشان می‌دهند. همچنین، بر اساس خوشه‌بندی لاگ‌های چاه، چهار گونه‌سنگی تعیین گردید. گونه‌سنگی ۱ عمدتاً دربرگیرنده واحدهای جریانی با کیفیت مخزنی بسیار پایین و پایین (B و C) است و واحدهای جریانی متوسط (D) و بالا (E و F) سهم کمتری در آن دارند. گونه‌سنگی ۲ از لحاظ واحدهای جریانی هیدرولیکی تا حدودی شبیه به گونه‌سنگی ۱ است، با این تفاوت که سهم واحدهای جریانی متوسط (D) و بالا (E) در این گونه‌سنگی نسبت به گونه‌سنگی ۱ مقداری بیشتر است. گونه‌سنگی ۳ بیشتر با واحدهای جریانی بالا (E و F) و به مقدار کمتر با واحد جریانی متوسط (D) در ارتباط است. گونه‌سنگی ۴ نیز تنها با واحد جریانی بالا (F) در ارتباط است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که فرآیند انحلال نقش مهمی در کیفیت مخزنی سازند داریان داشته است.

واژه‌های کلیدی: میدان پارس جنوبی؛ سازند داریان؛ کیفیت مخزنی؛ واحد جریانی هیدرولیکی؛ گونه‌سنگی.

مقدمه

سیستم منافذ آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Flugel, 2010). به منظور درک ناهمگونی مخازن، روش‌های متفاوتی مانند مدل نمودن گونه‌های سنگی مخزن و

مخازن کربناته به لحاظ ویژگی‌های مخزنی، ناهمگونی بالایی نشان می‌دهند. این امر در ارتباط با ویژگی‌های بافتی اولیه و به ویژه تاریخچه دیاژنتیکی پیچیده‌ای است که

دیاژنزی مشابهی را متحمل شده‌اند و در عین حال دارای مشخصات منحصر به فردی از لحاظ روابط تخلخل - تراوایی، نیمرخ فشار مویینگی و اشباع آب برای یک ارتفاع معین بالای سطح آزاد آب در مخزن می‌باشند. همچنین گونه‌سنگی در یک توصیف کلی بر اساس مقیاس مطالعه، اختصاصات سنگ‌شناسی و نیز ویژگی‌های سیستم منافذ به انواع رسوبی، پتروگرافیکی و هیدرولیکی تقسیم‌بندی می‌شود (Rushing *et al.*, 2008). در فرهنگ واژگان نفتی شلامبرژر^۳، گونه‌سنگی به عنوان مجموعه‌ای از ویژگی‌های سنگی مرتبط با حرکت سیال و ظرفیت ذخیره سیال در آن تعریف می‌شود که در انواعی از سنگ‌ها می‌تواند مشترک باشد. در این خصوص گونه‌های سنگی پتروفیزیکی، گونه‌هایی از سنگ هستند که بر اساس خصوصیات پتروفیزیکی، به ویژه در ارتباط با رفتار سیال درون سنگ مانند تخلخل، فشار مویینگی، تراوایی و اشباع آب کاهش نیافتنی طبقه‌بندی و تفکیک می‌شوند. با این توصیف مطالعه گونه‌های سنگی می‌تواند یکی از راه‌های مطالعه کیفیت مخزن باشد. از مطالعات دیگری که در بررسی کیفیت مخزنی مفید است، مطالعات مربوط به اختصاصات بافتی و دیاژنتیکی رخساره‌های رسوبی است.

هدف از این مقاله بررسی کیفیت مخزنی سازند داریان بر اساس مطالعه واحدهای جریان هیدرولیکی و تفکیک گونه‌های سنگی مخزن و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های بافتی و دیاژنتیکی رخساره‌ها می‌باشد. لازم به ذکر است مطالعات کیفیت مخزنی هنگامی به نتیجه مطلوب خواهد رسید که بتوان یافته‌های حاصل از مطالعات پتروفیزیکی مخزن مانند بررسی واحدهای جریان هیدرولیکی و گونه‌های سنگی را با مطالعات مربوط به ویژگی‌های بافتی و دیاژنتیکی رخساره‌های رسوبی همراه نمود.

گروه‌بندی داده‌های رخساره‌ای با استفاده از روش‌های چندمتغیره^۱ به کار برده می‌شود (Tucker *et al.*, 1998). یکی از روش‌های توصیف مخزن این است که مخزن را به زیربخش‌هایی مانند لایه‌ها یا زون‌های مخزنی تفکیک نمود و عوامل پتروفیزیکی با مقادیر مشخص را به هر واحد اختصاص داد (Aggoun *et al.*, 2006). بدین ترتیب، سنگ‌های مخزن بر اساس روابط تخلخل و تراوایی آن‌ها می‌توانند به واحدهای جریان هیدرولیکی تفکیک شوند (Kadkhodaie-Ilkhchi *et al.*, 2013; Amini, 2009). مفهوم واحد جریانی هیدرولیکی در بررسی ویژگی‌های مخزنی توسط بسیاری از محققین به کار برده شده است (برای مثال: Amaefule *et al.*, 1993; Abbaszadeh *et al.*, 1996; Prasad, 2003; Aggoun *et al.*, 2004; Desouky, 2004; Amabeoku *et al.*, 2006). در این بین، تفکیک واحدهای جریانی هیدرولیکی بر اساس روش Amaefule *et al.* (1993) به عنوان یک روش کاربردی و مفید در بین محققین شناخته شده است. Amaefule *et al.* (1993) واحدهای جریانی هیدرولیکی را به عنوان عناصری از سنگ مخزن در نظر می‌گیرند که دارای مقادیر متوسط و مشابهی از ویژگی‌های پتروفیزیکی هستند و به واسطه آن جریال سیال را متأثر می‌سازند. در واقع واحدهای جریانی هیدرولیکی به عنوان معیاری از واحدهای مخزن می‌باشند که در آن‌ها ویژگی‌های جریان سیال به دلیل اختصاصات یکسان گلوگاه‌های منافذ، یکنواخت است (Kadkhodaie-Ilkhchi *et al.*, 2013). همچنین، بر اساس اطلاعات موجود و اهدافی که در مطالعه یک مخزن دنبال می‌شود، تعاریف گوناگونی برای گونه‌سنگی^۲ وجود دارد. Archie (1950) گونه‌سنگی را به عنوان واحدهای سنگی توصیف می‌نماید که تحت شرایط مشابهی ته‌نشین شده و فرآیندهای

۱- Multivariate

۲- Rock Type

روش مطالعه

در این تحقیق، ابتدا با مطالعات پتروگرافی انجام شده بر روی ۲۲۱ مقطع نازک تهیه شده از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری، اختصاصات بافتی و دیاژنزی رخساره‌ها مشخص گردید و سنگ‌های کربناته با روش Dunham (1962) طبقه‌بندی شدند. سپس به منظور بررسی کیفیت مخزنی سازند داریان، واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی بر اساس داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه‌های حاصل از سه چاه SPO-1، SPO-2 و SPO-3 و با استفاده از روش Amafule et al. (1993) مشخص شدند. در نهایت گونه‌های سنگی مخزن بر اساس نمودارهای چاه‌پیمایی GR و RHOB، همراه با داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه و با استفاده از روش آنالیز خوشه‌ای^۴ در نرم‌افزار Matlab تعیین و مورد تفسیر قرار گرفتند.

بحث

در این مطالعه تعداد نه رخساره کربناته و یک رخساره آواری شناسایی شده و در چهار مجموعه رخساره‌ای قرار گرفته‌اند که از طرف خشکی به دریا به شرح ذیل توصیف می‌گردند:

مجموعه رخساره‌ای پهنه جزر و مدی

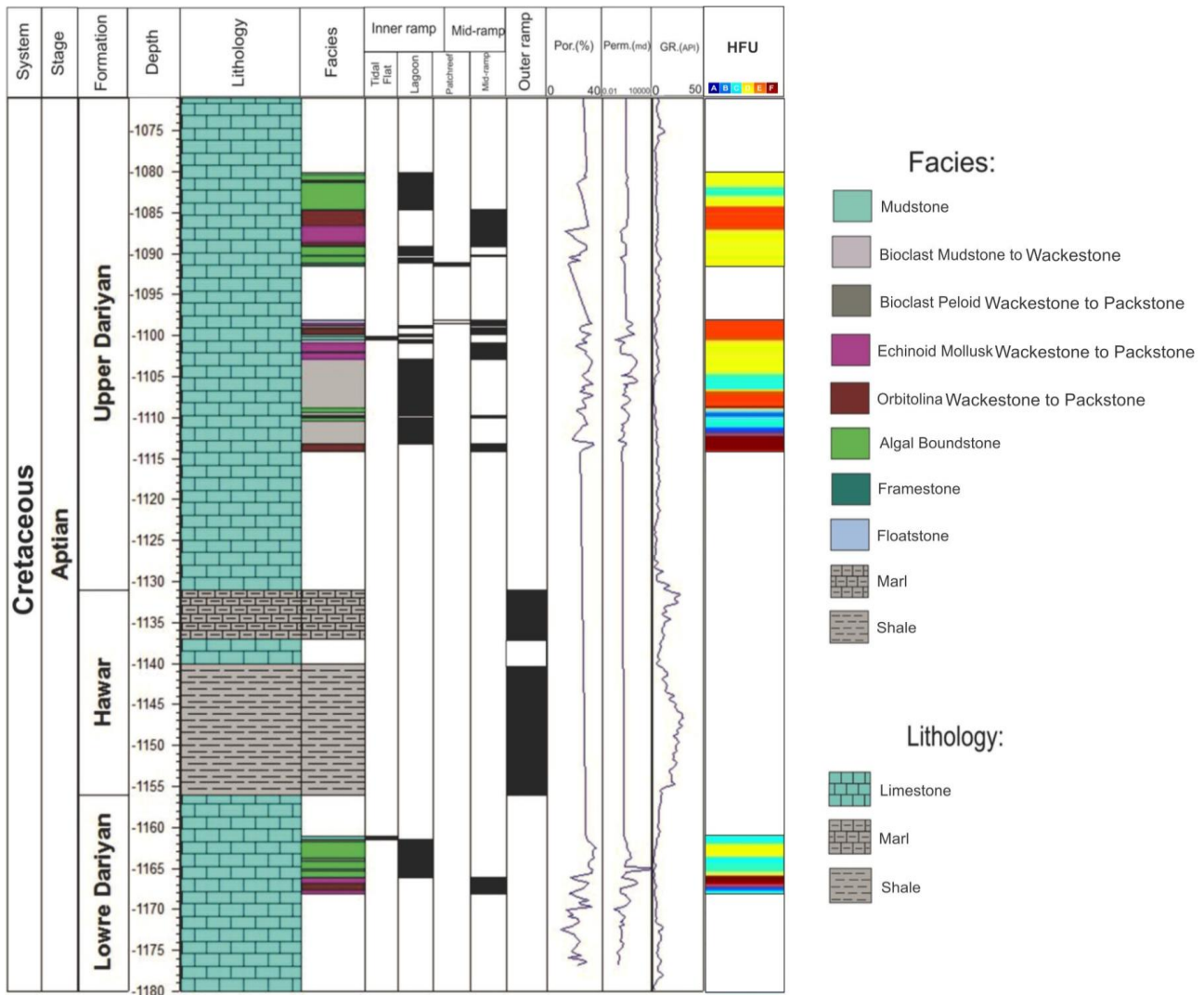
مادستون: این رخساره صرفاً در چاه‌های SPO-1 و SPO-2 (شکل‌های ۱ و ۲) شناسایی شده است. رخساره مزبور فاقد آلوکم بوده و فقط در تعداد معدودی از مقاطع نازک، قطعات ریز بایوکلست، که تنها قطعات خارپوست آن قابل شناسایی است، دارای فراوانی حدود ۱ تا ۳ درصد هستند و به صورت خرد شده در زمینه‌ای از گل آهکی مشاهده می‌شوند.

مجموعه رخساره‌ای لاگون

مادستون - وکستون بایوکلستی: رخساره مادستون - وکستون بایوکلستی در هر سه چاه SPO-1، SPO-2 و SPO-3 (شکل‌های ۱ تا ۳) قابل مشاهده است. آلوکم‌های این رخساره را دانه‌های اسکلتی به میزان ۵ تا ۲۰ درصد تشکیل می‌دهد. این دانه‌ها شامل جلبک‌های سبز داسی کلازاسه، نرم‌تنان، خارپوستان، روزن‌داران کفزی از جمله میلیولید و تکستولارید، *Lithocodium aggregatum* و *Bacinella irregularis* می‌باشند که به صورت پراکنده در متنی از گل آهکی قرار دارند.

وکستون - پکستون پلوئیدی بایوکلستی: این رخساره نیز در هر سه چاه SPO-1، SPO-2 و SPO-3 (شکل‌های ۱ تا ۳) وجود دارد. در این رخساره آلوکم‌ها در زمینه‌ای از میکرایت قرار دارند. پلوئید با فراوانی حدود ۱۵ تا ۳۵ درصد و در اندازه‌های بین ۰/۲ - ۰/۵ میلی‌متر و دانه‌های اسکلتی با فراوانی حدود ۱۵ درصد مهم‌ترین آلوکم‌های این رخساره می‌باشند. اینتراکلت، دیگر دانه غیراسکلتی است که به میزان حدود ۵ درصد در این رخساره دیده می‌شود. دانه‌های اسکلتی را روزن‌داران کفزی و قطعاتی از خارپوستان، نرم‌تنان، جلبک‌های داسی کلازاسه، *Lithocodium aggregatum* و *Bacinella irregularis* تشکیل می‌دهند.

پکستون - گرینستون پلوئیدی بایوکلستی: در این رخساره پلوئید و دانه‌های اسکلتی به ترتیب با فراوانی ۳۵ تا ۶۰ درصد و ۱۰ تا ۲۰ درصد بیشترین فراوانی را در بین آلوکم‌ها دارند. مقدار اینتراکلت در این رخساره حدود ۸ درصد و بیشتر از رخساره قبلی است. میلیولید، تکستولارید و روزن‌داران کفزی دیگر، نرم‌تنان، خارپوستان، استراکد، بازوپایان و جلبک‌های *Actinoporella podolica* *Salpingoporella Lithocodium aggregatum* و *Bacinella irregularis* و *dinarica* به همراه دانه‌های



شکل ۱: تغییرات رخساره‌ای سازند داریان در چاه SPO-1؛ در بخش‌هایی که رخساره‌ها مشخص نشده‌اند، مقاطع نازک جهت مطالعه وجود نداشته است. ترتیب چپ به راست رنگ‌ها در ستون HFU معادل ترتیب چپ به راست واحدهای جریانی A تا F می‌باشد.

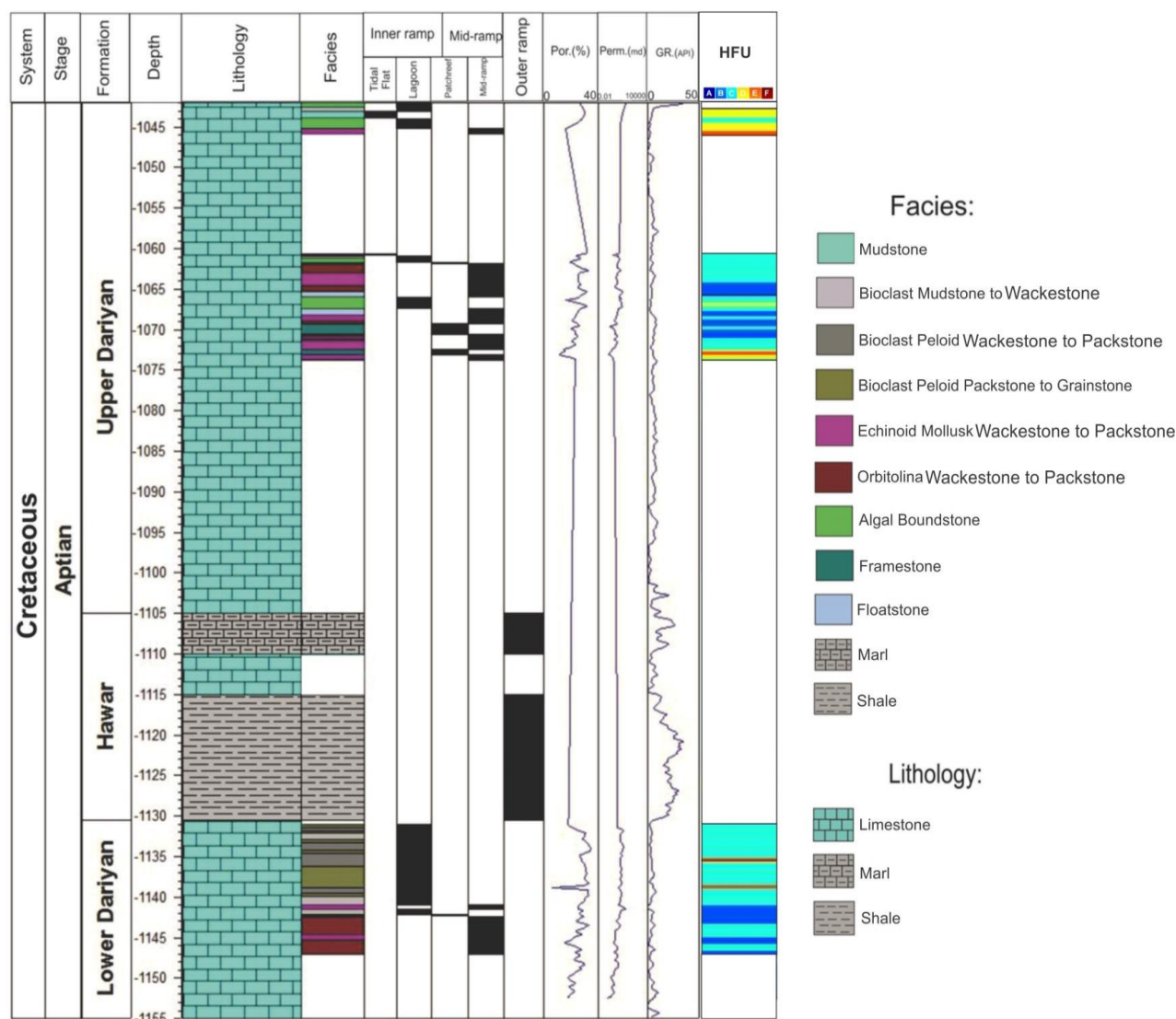
دیگر دانه‌های اسکلتی این رخساره هستند که فراوانی کمتری دارند. از دانه‌های غیراسکلتی نیز پلوئید به مقدار ناچیز و در حدود ۳ درصد وجود دارد. آلوکم‌های فوق در زمینه‌ای از میکرایت قرار دارند.

مجموعه رخساره‌ای رمپ میانی

وگستون - پگستون نرم تن دار اکیونویدی: آلوکم‌های اصلی این رخساره را نرم تنان (شکم پایان و دوکفه‌ای‌ها) و خارپوستان به ترتیب با فراوانی حدود ۲۵ تا ۱۰ درصد و ۱۵ تا ۱۰ درصد تشکیل می‌دهند. اریبتولینیدها،

اسکلتی این رخساره را تشکیل می‌دهند که در زمینه‌ای از کربنات کلسیم دانه ریز تا سیمان قرار دارند. رخساره مزبور صرفاً در چاه‌های SPO-2 و SPO-3 (شکل‌های ۲ و ۳) شناسایی شده‌است.

باندستون جلبکی: این رخساره در چاه‌های SPO-1 و SPO-2 (شکل‌های ۱ و ۲) مشاهده می‌شود. *Lithocodium*, *Bacinella irregulari aggregatum*, جلبک‌های سبز داسی کلا داسه و جلبک قرمز مهم‌ترین اجزای اسکلتی این رخساره می‌باشند. خارپوستان، شکم پایان، دوکفه‌ای، بازوپایان، مرجان، رودیست و روزن داران کفزی از

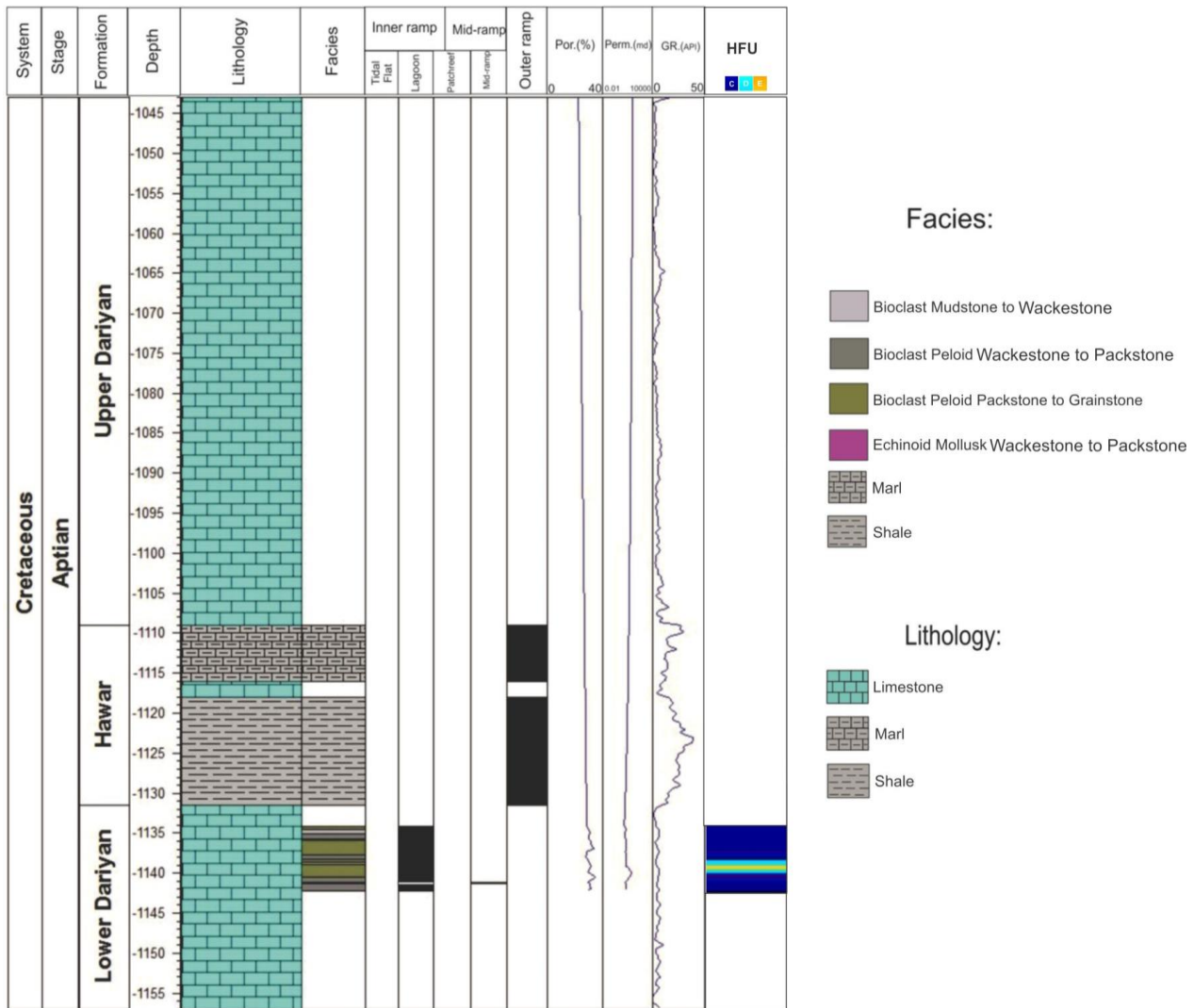


شکل ۲: تغییرات رخساره‌ای سازند داریان در چاه SPO-2؛ در بخش‌هایی که رخساره‌ها مشخص نشده‌اند مقاطع نازک جهت مطالعه وجود نداشته است. ترتیب چپ به راست رنگ‌ها در ستون HFU معادل ترتیب چپ به راست واحدهای جریانیهی A تا F می‌باشد.

اریتولینیدها آلوکم اصلی این رخساره به میزان ۱۰ تا ۵۰ درصد می‌باشند که به صورت فرم‌های مخروطی و دیسکی شکل کشیده دیده می‌شوند. آلوکم‌های فرعی این رخساره را که مجموع آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد است، روزن‌داران کفزی چون *Chofatella decipiens*، *Lenticulina* و *Praechrysalidina infracretacea* و دانه‌های اسکلتی دیگری از نرم‌تنان، خارپوستان، استراکود، بازوپایان، رودیست و جلبک قرمز تشکیل می‌دهد.

Chofatella decipiens و *Debarina*، *Lenticulina* روزن‌داران کفزی و رودیست، بازوپا، جلبک قرمز، جلبک سبز، *Bacinella* و *Lithocodium aggregatum* و *irregularis* از دیگر دانه‌های اسکلتی هستند که در مجموع به صورت دانه‌های فرعی کمتر از ۱۰ درصد فراوانی دارند. این رخساره در چاه‌های SPO-1، SPO-2 و SPO-3 (شکل‌های ۱ تا ۳) دیده می‌شود.

وکستون - پکستون اریتولینیددار: این رخساره در چاه‌های SPO-1 و SPO-2 (شکل‌های ۱ و ۲) شناسایی شده است.



شکل ۳: تغییرات رخساره‌ای سازند داریان در چاه SPO-3؛ در بخش‌هایی که رخساره‌ها مشخص نشده‌اند مقاطع نازک جهت مطالعه وجود نداشته است. ترتیب چپ به راست رنگ‌ها در ستون HFU معادل ترتیب چپ به راست واحدهای جریانی C، D و E می‌باشد.

آلوم‌هایی نابرجا با اندازه بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر متشکل از مرجان، رودیست، *Lithocodium aggregatum* و *Bacinella irregularis* به صورت شناور و با فراوانی بیش از ۱۰ درصد در زمینه‌ای از میکرایت قرار دارند. خارپوستان، اریتولینیدها، نرم‌تنان و جلبک‌های سبز، دیگر دانه‌های اسکلتی هستند که فراوانی کمتری دارند.

مجموعه رخساره‌ای رمپ بیرونی

شیل: این رخساره از شیل‌های متورق و پیریتی تشکیل شده و دارای فسیل‌های اندکی از اریتولینید می‌باشد. رخساره

فریمستون: رخساره فریمستونی در چاه‌های SPO-1 و SPO-2 (شکل‌های ۱ و ۲) مشاهده می‌شود. قطعات نسبتاً بزرگی از مرجان‌ها و رودیست‌های برج‌ها که گاهی با *Bacinella irregularis* و *Lithocodium aggregatum* همراه می‌باشند، با اندازه بیش از ۲ میلی‌متر، آلوم‌های اصلی این رخساره را تشکیل می‌دهند. نرم‌تنان (شکم‌پا و دوکفه‌ای)، جلبک‌های سبز، اریتولینیدها و خارپوستان آلوم‌های فرعی این رخساره می‌باشند.

فلوتستون: این رخساره در چاه‌های SPO-1 و SPO-2 (شکل‌های ۱ و ۲) گسترش دارد. در این رخساره

کیفیت مخزنی برای هر واحدجریانی نشان می‌دهند. همان طور که از این نمودارها مشخص است، تراوایی ارتباط مشخصی با شاخص کیفیت مخزنی نشان می‌دهد که این امر با ویژگی سیستم منافذ و ارتباط منافذ آن‌ها مرتبط است. تخلخل در صورتی که مفید باشد، می‌تواند مانند تراوایی ارتباط قابل توجهی با شاخص کیفیت مخزنی نشان دهد. همچنین بر اساس شکل ۵، بررسی نحوه توزیع واحدهای جریانیه مختلف بر روی نمودار تخلخل و تراوایی نشان می‌دهد که هر واحدجریانی بر روی این نمودار محدوده مشخصی را شامل می‌شود. این بدان معنی است که هر واحد جریانیه تحت تأثیر ویژگی‌های سیستم منافذ رخساره‌های مخزن دارای قابلیت مشخص و معینی برای جریان سیال است. بررسی واحدهای جریانیه تفکیک شده در مخزن بر اساس نمودار شکل ۵ و همچنین مقادیر کمی نشان داده شده در جدول ۱ بیانگر این است که کیفیت مخزنی از واحد جریانیه A به سمت واحد جریانیه F بهتر می‌شود. واحدهای جریانیه تفکیک شده گرچه عمدتاً از لحاظ تخلخل مقادیر نسبتاً یکسانی دارند، اما آن‌چه که باعث تمایز آن‌ها از یکدیگر شده است، ویژگی‌های سیستم منافذ و ارتباط آن‌ها با یکدیگر است که تحت کنترل اختصاصات بافتی اولیه و عمدتاً فرآیندهای دیاژنزی است. بنابراین به منظور درک صحیح از عوامل کنترل جریان در هر واحد جریانیه، باید ویژگی‌های رخساره‌ای و عوارض دیاژنزی را در هر یک از آن‌ها مطالعه نمود. بدین منظور این اختصاصات در هر واحد جریانیه بررسی می‌شود.

واحد جریانیه A (HFU A)

این واحد جریانیه بخش ناچیزی از رخساره‌های مخزن را شامل می‌شود. این رخساره‌ها که در چاه SPO-1 و SPO-2 (شکل‌های ۱ و ۲) گسترش دارند، در حقیقت بخشی از رخساره‌های مادستون، باندستون جلبکی و فریمستون می‌باشند.

شیلی متعلق به بخش هوار از سازند داریان و از رخساره‌های آواری این سازند بوده که در هر سه چاه SPO-1، SPO-2 و SPO-3 (شکل‌های ۱ تا ۳) گسترش دارد. به طور کلی، بخش هوار سازند داریان از لایه‌های متناوب شیل متورق و پیریتی و مارن همراه با سنگ آهک کرم رنگ و آرژیلی تشکیل شده است. تعیین واحدهای جریانیه هیدرولیکی در مخزن با استفاده از روش Amafule et al. (1993) و براساس داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه‌های مربوط به سه حلقه چاه SPO-1، SPO-2 و SPO-3 و پس از طی مراحل که توضیح داده می‌شود، انجام شد:

الف) تعیین شاخص کیفیت مخزنی^۵ بر اساس معادله ۱:

$$RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{k}{\phi}}$$

در این معادله RQI شاخص کیفیت مخزنی (μm)، k نفوذپذیری (mD) و ϕ تخلخل به صورت کسری از یک است.

ب) تعیین نسبت حجم منافذ به حجم قسمت جامد سنگ^۶ طبق معادله ۲:

$$PMR = \frac{\phi}{1 - \phi}$$

ج) تعیین شاخص زون جریانیه^۷ بر اساس معادله ۳:

$$FZI = \frac{RQI}{PMR}$$

بر اساس شاخص زون جریانیه، تعداد ۶ واحد جریانیه هیدرولیکی (F تا A) برای رخساره‌های مخزن به دست آمد. محدوده‌های FZI به همراه متوسط مقادیر تخلخل، تراوایی و شاخص کیفیت مخزنی برای هر واحد جریانیه هیدرولیکی در جدول ۱ نشان داده شده است. نمودارهای A و B شکل ۴ رابطه تخلخل و تراوایی را با شاخص

5- Reservoir Quality Index

6- Pore to Matrix Ratio

7- Flow Zone Indicator

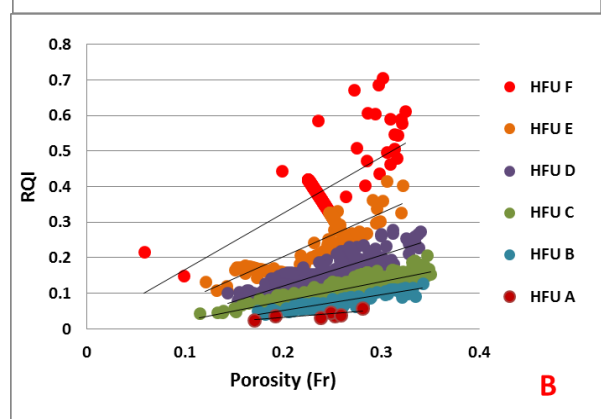
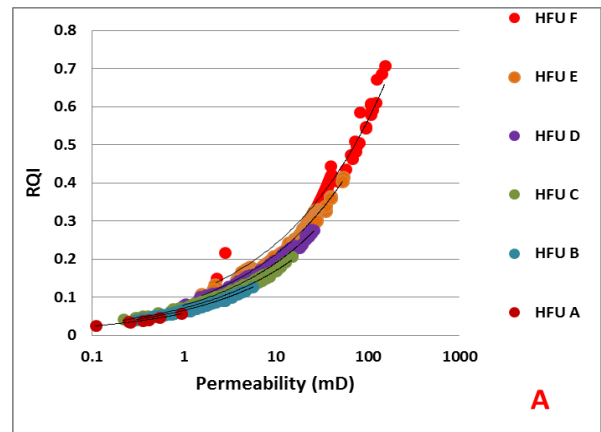
جدول ۱: مقادیر حد برش (Cut off) برای FZI به همراه مقادیر متوسط تخلخل و تراوایی برای هر واحد جریان در مخزن

HFU	$\Phi(\text{Fr})$	K(md)	RQI	Cut off
A	0.23	0.41	0.04	$\text{Log FZI} < -0.8$
B	0.24	1.34	0.07	$-0.8 < \text{Log FZI} < -0.6$
C	0.25	3.34	0.11	$-0.6 < \text{Log FZI} < -0.4$
D	0.24	7.04	0.16	$-0.4 < \text{Log FZI} < -0.2$
E	0.24	17.67	0.26	$-0.2 < \text{Log FZI} < 0.0$
F	0.24	38.55	0.39	$\text{FZI} > 0.0 \text{ Log}$

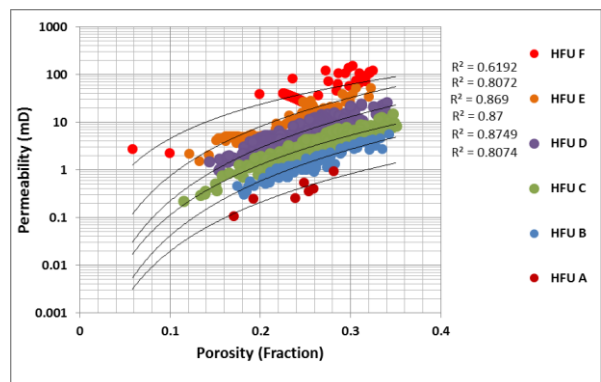
میزان متوسط تخلخل در رخساره‌های این واحد جریان ۲۳ درصد می‌باشد، ولی تراوایی ناچیز و کمتر از ۱ میلی داری (۰/۴۱ میلی داری) است (جدول ۱)، که گویای مجزا بودن تخلخل‌های موجود است. به علت سیمانی شدن کامل قالب مرجان‌ها در رخساره فریمستون و جلبک‌ها در رخساره باندستون جلبکی، تخلخل شبکه‌ای رشدی سهمی در تخلخل این رخساره‌ها ندارد. بر اساس مطالعات انجام شده، تخلخل‌ها غالباً محصول فرآیند انحلال و از نوع حفره‌ای عمدتاً ریز هستند که ارتباطی با هم ندارند و در تمام این رخساره‌ها وجود دارد (شکل ۶).

واحد جریان B (HFU B)

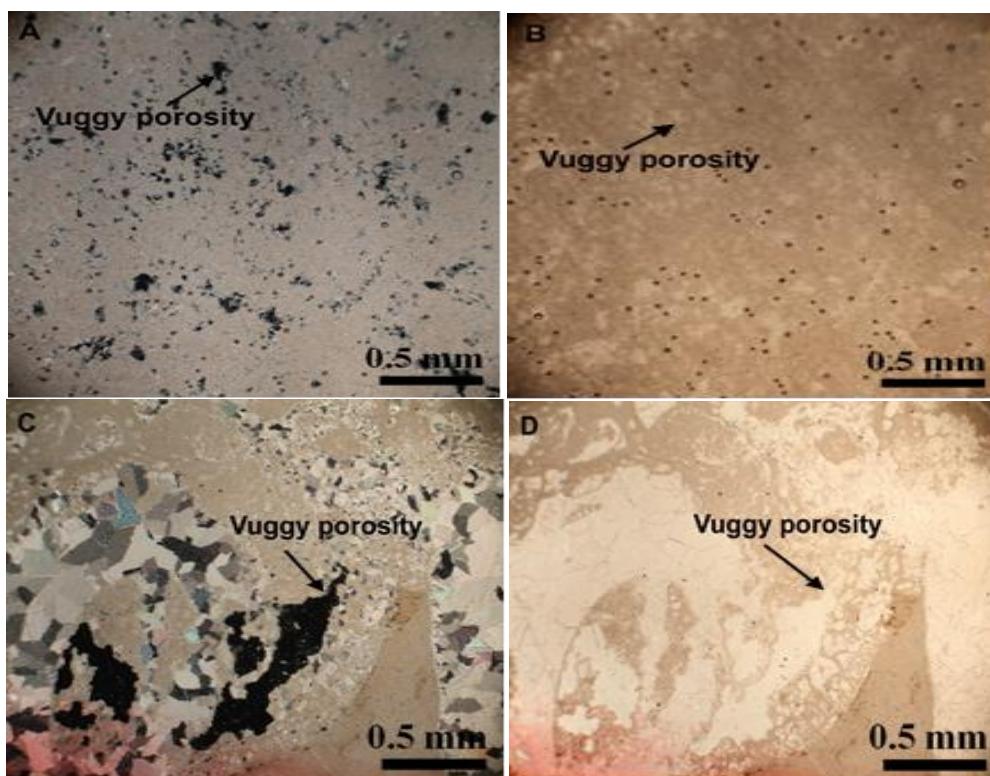
میزان متوسط تخلخل در این واحد جریان ۲۴ درصد است که تقریباً مشابه واحد قبلی می‌باشد، ولی متوسط تراوایی بیشتر از ۱ میلی داری است (۱/۳۴ میلی داری) (جدول ۱). لذا تخلخل‌های این واحد جریان نیز همانند واحد جریان A تخلخل‌های جدا هستند. فقط بخش ناچیزی از این تخلخل‌ها ارتباطات بسیار ضعیفی از طریق شکستگی‌های بسیار ریز دارند (شکل ۷). این واحد جریان غالباً مرتبط با بخشی از رخساره‌های وکستون - پکستون نرم تن دار اکتینوئیدی و وکستون - پکستون اریتولینیدار می‌باشد و بخش ناچیزی از رخساره‌های مادستون، مادستون - وکستون بایوکلستی و فریمستون را نیز در برمی‌گیرد. رخساره‌های این واحد عمدتاً در چاه SPO-2 (شکل ۲) و درصد کمی نیز در چاه SPO-1 (شکل ۱) گسترش دارند.



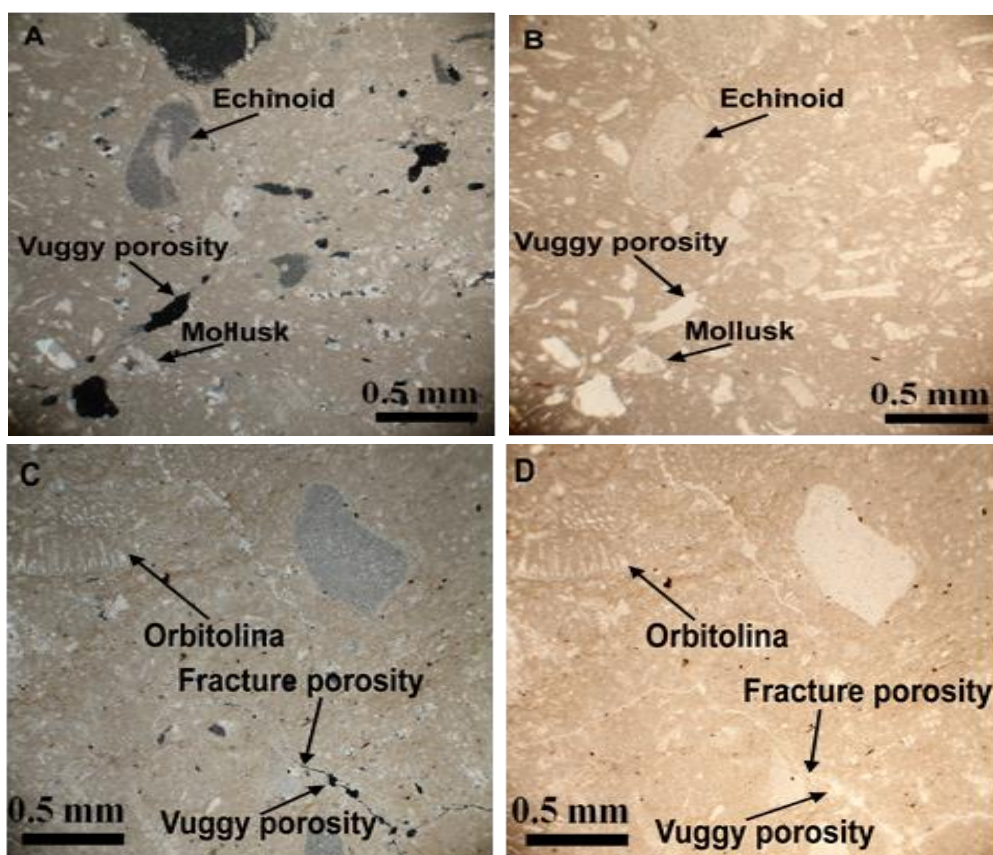
شکل ۴: رابطه شاخص کیفیت مخزنی با تراوایی (نمودار A) و تخلخل (نمودار B) برای واحدهای جریان مخزن



شکل ۵: توزیع واحدهای جریان تفکیک شده در مخزن بر روی نمودار تخلخل و تراوایی



شکل ۶: تخلخل‌های حفره‌ای در رخساره‌های واحد جریانیهی A که ارتباطی با یکدیگر ندارند. A (XPL) و B (PPL)، رخساره مادستون، عمق ۱۱۰۰/۵۲ متری چاه SPO-1؛ C (XPL) و D (PPL)، رخساره باندستون جلبکی، عمق ۱۰۶۰/۸۲ متری چاه SPO-2



شکل ۷: تخلخل‌های حفره‌ای مجزا در رخساره‌های واحد جریانیهی B که برخی از آنها ارتباطات بسیار ضعیفی از طریق شکستگی‌های بسیار ریز دارند. A (XPL) و B (PPL)، رخساره وکستون - پکستون نرم‌تن‌دار اکتینوئیدی.

واحد جریانی C (HFU C)

این واحد جریانی طیف وسیعی از رخساره‌های مخزن را در چاه‌های SPO-1، SPO-2 و SPO-3 (شکل‌های ۱ تا ۳) شامل می‌شود که غالباً قسمتی از رخساره‌های مادستون - وکستون بایوکلستی، وکستون - پکستون پلوئیدی بایوکلستی، وکستون - گرینستون پلوئیدی بایوکلستی، وکستون - پکستون نرم‌تن دار اکیئوئیدی، وکستون - پکستون اریئولینیدار و باندستون جلبکی می‌باشند و بخش کمی از رخساره‌های مادستون، فریمستون و فلوئستون را نیز شامل می‌شود. اگرچه میانگین تخلخل در این واحد جریانی در حد متوسط و حدود ۲۵ درصد است، اما متوسط تراوایی حدود ۳/۳۴ میلی داری بوده (جدول ۱) که نشان می‌دهد سیستم منافذ در رخساره‌های این واحد نیز عمدتاً به صورت مجزا می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده، تخلخل‌های این واحد جریانی نیز تخلخل‌های حفره‌ای منفرد می‌باشند که در عین حال مقداری از آن‌ها از طریق شکستگی‌های بسیار ریز با هم ارتباط دارند (شکل ۸).

واحد جریانی D (HFU D)

رخساره‌های مرتبط با این واحد جریانی عمدتاً شامل بخشی از رخساره‌های مادستون - وکستون بایوکلستی، باندستون جلبکی و وکستون - پکستون اریئولینیدار می‌باشند. رخساره‌های وکستون - پکستون پلوئیدی بایوکلستی، وکستون - پکستون نرم‌تن دار اکیئوئیدی، پکستون - گرینستون پلوئیدی بایوکلستی به مقدار کمتر و رخساره‌های مادستون و فلوئستون به مقدار ناچیز، دیگر رخساره‌های تشکیل دهنده این واحد جریانی هستند. میزان متوسط تخلخل در رخساره‌های این واحد جریانی ۲۴ درصد و مشابه با واحدهای جریانی قبلی است، در حالی که مقدار متوسط تراوایی در حدود ۷ میلی داری است (جدول ۱) که حدود ۳/۵ واحد بیشتر از واحد جریانی C است. این

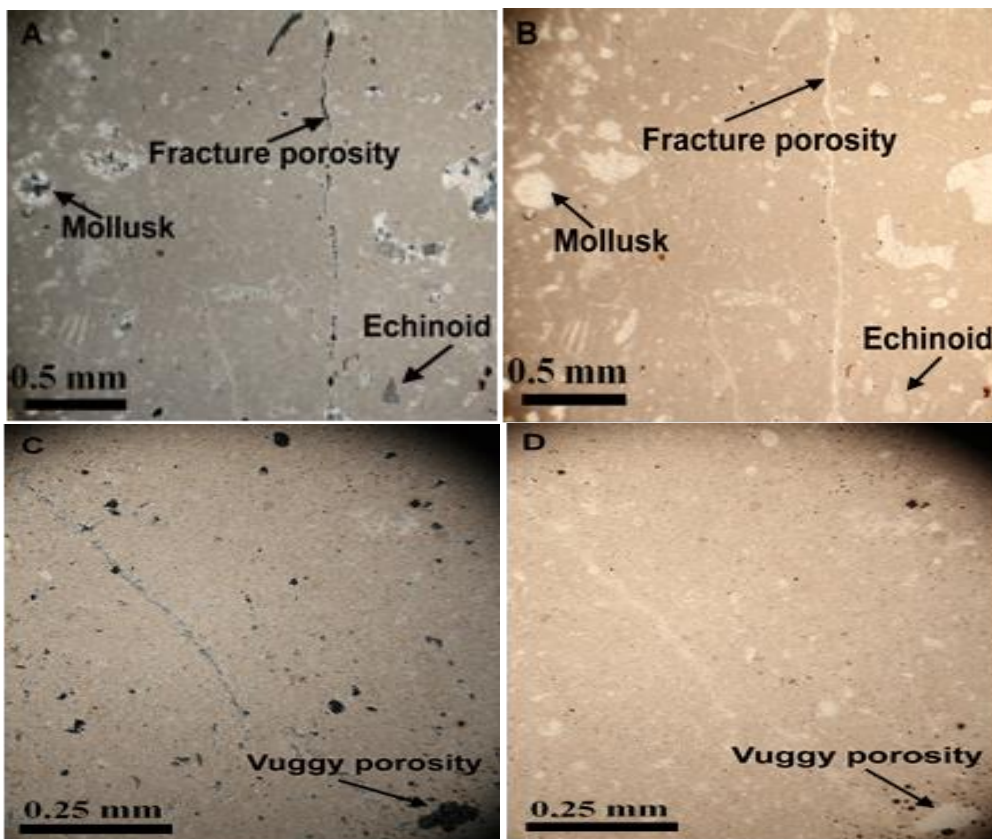
افزایش تراوایی به ارتباط بیشتر تخلخل‌های مجزا در اثر انحلال مربوط می‌شود. عمده تخلخل‌های این واحد جریانی نیز تخلخل‌های حفره‌ای جدا هستند (شکل ۹). رخساره‌های مرتبط با این واحد جریانی عمدتاً در چاه‌های SPO-1 و SPO-2 (شکل‌های ۱ و ۲) و به مقدار کمتر در چاه SPO-3 (شکل ۳) گسترش دارند.

واحد جریانی E (HFU E)

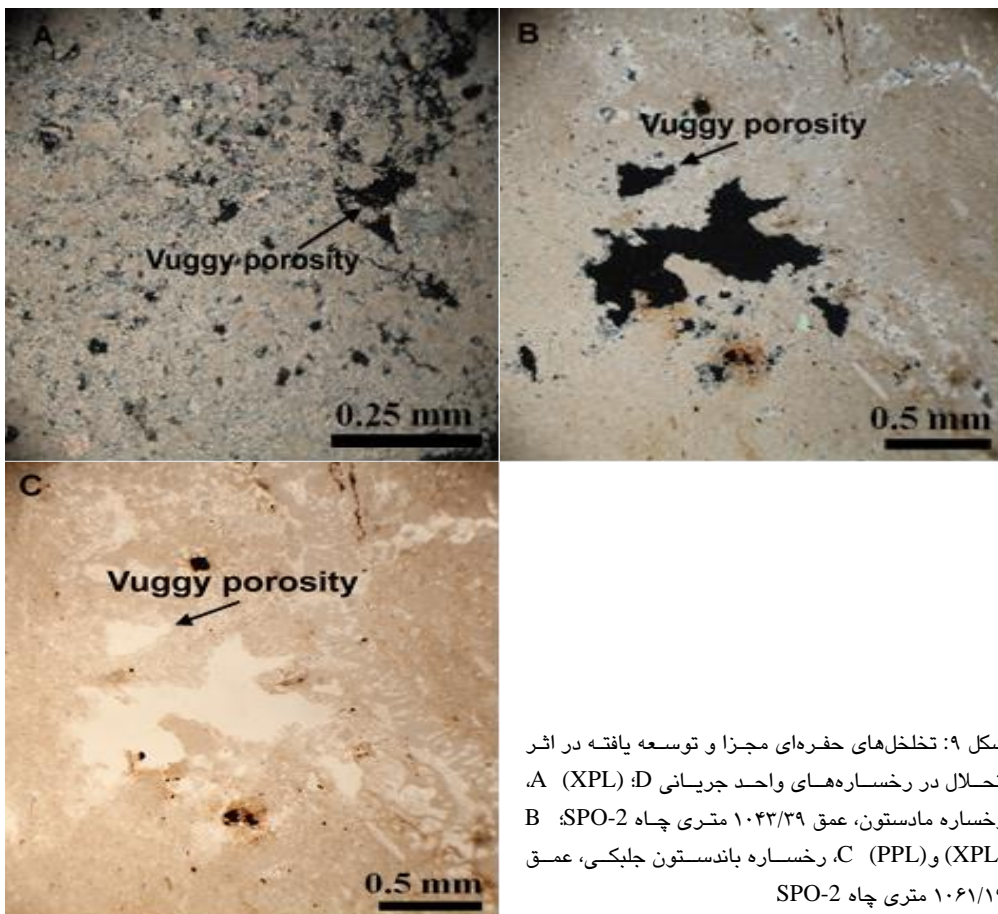
این واحد جریانی در چاه‌های SPO-1، SPO-2 و SPO-3 (شکل‌های ۱ تا ۳) گسترش دارد و در عین حال بخش عمده رخساره‌های مرتبط با آن مربوط به چاه SPO-3 (شکل ۳) است. قسمتی از رخساره‌های مادستون - وکستون بایوکلستی، وکستون - پکستون نرم‌تن دار اکیئوئیدی، باندستون جلبکی و وکستون - پکستون اریئولینیدار رخساره‌های غالب و پکستون - گرینستون پلوئیدی بایوکلستی، فریمستون و فلوئستون رخساره‌هایی هستند که سهم ناچیزی در این واحد جریانی دارند. فرآیند انحلال در این رخساره‌ها عمدتاً با ایجاد حفرات مجزا همراه بوده است، اگرچه در مواردی حفرات مرتبط به هم را نیز ایجاد نموده است. به نظر می‌رسد که تخلخل‌های شکستگی و کانالی نیز بخش کمی از تخلخل‌های این واحد را تشکیل می‌دهند (شکل ۱۰) و در تراوایی آن مؤثرند. متوسط تخلخل برای این رخساره‌ها ۲۴ درصد و متوسط تراوایی ۱۷/۶۷ میلی داری می‌باشد (جدول ۱).

واحد جریانی F (HFU F)

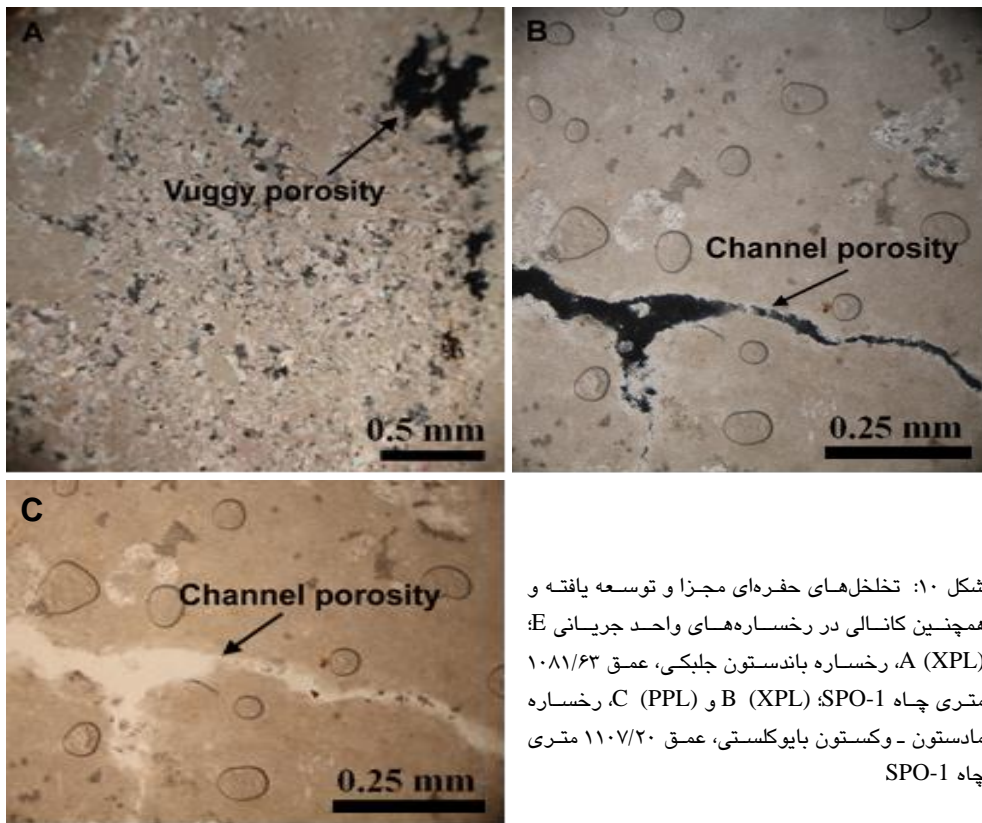
این واحد جریانی عمدتاً با بخشی از رخساره‌های مادستون - وکستون بایوکلستی، وکستون - پکستون نرم‌تن دار اکیئوئیدی، وکستون - پکستون اریئولینیدار و به مقدار ناچیز از رخساره پکستون - گرینستون پلوئیدی بایوکلستی مشخص می‌شود که در چاه‌های SPO-1 و SPO-2



شکل ۸: تخلخل‌های حفره‌ای منفرد در رخساره‌های واحد جریانیهی C که برخی از آنها از طریق شکستگی‌ها با هم ارتباط دارند. A (XPL) و B (PPL). رخساره وکستون - پکستون نرم‌تن‌دار اکیونئیدی، عمق ۱۰۷۱/۸۰ متری چاه SPO-2؛ C (XPL) و D (PPL). رخساره مادستون، عمق ۱۰۴۳/۸۴ متری چاه SPO-2



شکل ۹: تخلخل‌های حفره‌ای مجزا و توسعه یافته در اثر انحلال در رخساره‌های واحد جریانیهی D؛ A (XPL). رخساره مادستون، عمق ۱۰۴۳/۳۹ متری چاه SPO-2؛ B (XPL) و C (PPL). رخساره باندستون جلبیکی، عمق ۱۰۶۱/۱۹ متری چاه SPO-2



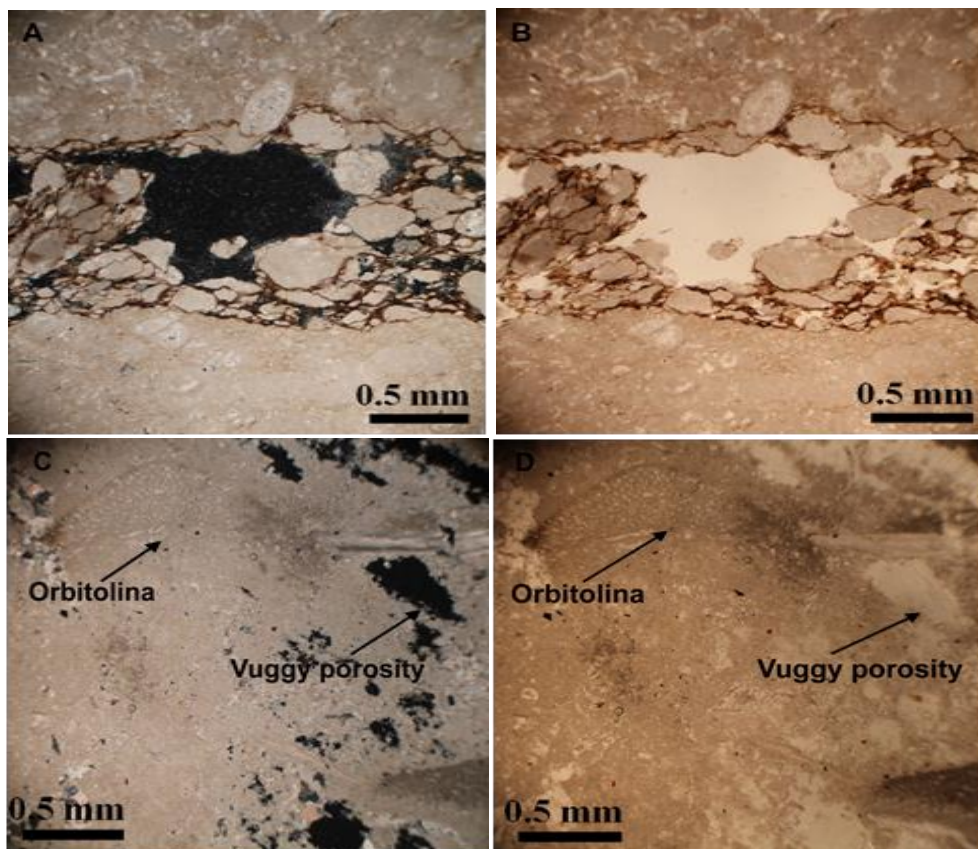
شکل ۱۰: تخلخل‌های حفره‌ای مجزا و توسعه یافته و همچنین کانالی در رخساره‌های واحد جریانی E؛ A (XPL)، رخساره باندستون جلبکی، عمق ۱۰۸۱/۶۳ متری چاه SPO-1؛ B (XPL) و C (PPL)، رخساره مادستون - وکستون بایوکلاستی، عمق ۱۱۰۷/۲۰ متری چاه SPO-1

سنگ‌ها قابل تفکیک می‌باشند (Serra 1986; Perez *et al.*, 2005). این پاسخ نمودارهای چاه‌پیمایی در مقابل سنگ‌های مخزن، در واقع انعکاسی از ویژگی‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی آن‌ها می‌باشد که به طور پیوسته در طول چاه ثبت می‌گردد. در این مطالعه نیز به منظور بررسی ویژگی‌های پتروفیزیکی رخساره‌های مخزن، گونه‌های سنگی مخزنی بر اساس نمودارهای چاه‌پیمایی (GR و RHOB) همراه با داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه، با استفاده از روش آنالیز خوشه‌ای^۸ در نرم‌افزار متلب تعیین و تفکیک شدند که مراحل آن بدین صورت است:

الف) تعیین فاصله بین داده‌ها بر اساس یک تابع فاصله مناسب: در این مرحله داده‌های لاگ به همراه داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه به صورت یک ماتریس ورودی (X) در نرم‌افزار متلب بارگذاری می‌شوند. این داده‌ها بر اساس یک تابع فاصله مناسب که فاصله بین نقاط داده‌ها را بر مبنای

(شکل‌های ۱ و ۲) گسترش دارند. این رخساره‌ها اگر چه عمدتاً گل غالب هستند، اما به دلیل تأثیر شدید فرآیند انحلال علاوه بر تخلخل‌های حفره‌ای مجزا دارای تخلخل‌های فراوانی از نوع حفره‌ای توسعه یافته و مرتبط به هم نیز می‌باشند. شکستگی‌ها یکی از عوامل مؤثر در افزایش قابل توجه تراوایی این واحد نسبت به واحدهای دیگر است (شکل ۱۱). میانگین میزان تخلخل و تراوایی در رخساره‌های این واحد جریانی به ترتیب ۲۴ درصد و ۳۸/۵۵ میلی‌داری است (جدول ۱).

در یک مقایسه کلی بین واحدهای جریانی تفکیک شده در مخزن مشخص می‌شود که می‌توان این واحدها را به چهار دسته واحدهای جریانی با کیفیت مخزنی بسیار پایین (HFU-A و HFU-B)، پایین (HFU-C)، متوسط (HFU-D) و بالا (HFU-E و HFU-F) تقسیم‌بندی نمود. رخساره‌های الکتریکی پاسخ‌های مشابهی از لاگ برای یک گونه‌سنگی مشخص هستند که بر مبنای آن از دیگر



شکل ۱۱: تخلخل‌های شکستگی، حفره‌ای مفرد و توسعه یافته در رخساره‌های واحد جریانیهی A (XPL) و B (PPL)، رخساره پکستون - گرینستون پلوئیدی بایوکستی، عمق ۱۱۳۸/۸۵ متری چاه SPO-2؛ C (XPL)، عمق ۱۰۸۸/۹۵ متری چاه SPO-1؛ D (PPL)، رخساره وکستون - پکستون اریبتولین‌دار

رابطه مناسب^{۱۰} به هم مرتبط می‌گردند. این تابع رابطه، بر اساس داده‌های نتایج به دست آمده از مرحله قبل، داده‌ها را به صورت خوشه‌هایی از کوچک تا بزرگ به هم مربوط می‌سازد. در این مطالعه از تابع رابطه Ward طبق معادله ۵ به منظور برقراری رابطه بین نقاط داده‌ها استفاده گردید.

$$d^2(r, s) = n_r n_s \frac{\|x_r - x_s\|_2}{(n_r + n_s)} \quad (\text{معادله ۵})$$

در این معادله، II فاصله اقلیدوسی و x_r و x_s مراکز خوشه‌های r و s می‌باشند.

پ) استخراج دندروگرام^{۱۱} یا درخت خوشه‌ای بر اساس داده‌های رابطه: در این مرحله، نمودار درخت خوشه‌ای بر اساس داده‌های رابطه استخراج می‌گردد (شکل ۱۲).

میزان شباهت بین آن‌ها محاسبه می‌کند، تعیین فاصله می‌شوند تا بر پایه آن در خوشه‌های متعدد تفکیک شوند. توابع متعددی برای به دست آوردن فاصله بین نقاط وجود دارد. در این مطالعه از تابع فاصله اقلیدوسی^۹ طبق معادله ۴، به عنوان یک روش متداول در تعیین فاصله بین نقاط داده‌ها استفاده گردید.

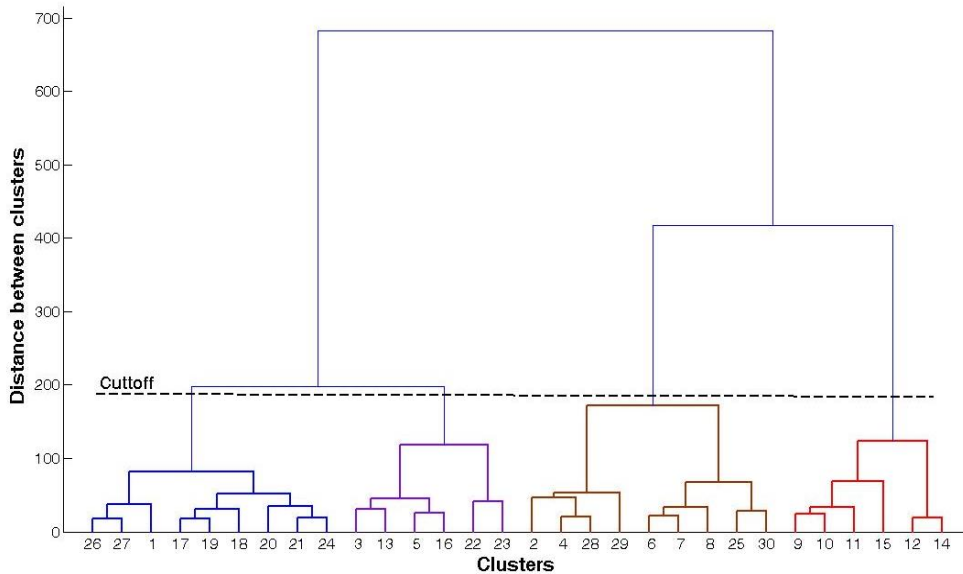
$$d_{rs} = (x_r - x_s) (x_r - x_s)' \quad (\text{معادله ۴})$$

در این معادله، d برای دو خوشه r و s، فواصل مختلف بین بردارهای x_r و x_s برای یک ماتریس x شامل m در n داده است.

ب) برقراری ارتباط بین داده‌های فاصله: در این مرحله داده‌های فاصله حاصل از مرحله قبل، با استفاده از یک تابع

10- Linkage Function
11- Dendrogram

9- Euclidean Distance



شکل ۱۲: درخت خوشه‌ای استخراج شده در تفکیک گونه‌های سنگی مخزن؛ خط افقی نشان داده شده بر روی نمودار مقدار حد برش را نشان می‌دهد که بر اساس آن چهار خوشه تفکیک شده است.

تراوایی هستند که در ارتباط با ویژگی‌های زمین‌شناسی (بافتی و دیاژنزی) و پتروفیزیکی رخساره‌های مخزن است. مقادیر کمی لاگ و تخلخل و تراوایی این خوشه‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. محدوده پراکندگی این چهار خوشه بر روی نمودار تخلخل و تراوایی (شکل ۱۳) نشان داده شده است. در ذیل به توصیف این خوشه‌ها که در واقع همان گونه‌های سنگی مخزن هستند می‌پردازیم:

گونه‌سنگی (خوشه) ۱۵

در این گونه‌سنگی، رخساره‌های گل غالب مادستون - وکستون و وکستون - پکستون و نیز رخساره‌های باندستون جلبکی و فریمستون بیشترین درصد رخساره‌ها و رخساره‌های دانه غالب پکستون - گریستون و فلوتستون درصد کمتری را شامل می‌شوند. منافذ در این گونه‌سنگی عمدتاً حفرات انحلالی مجزا می‌باشند که به جز در موارد کم، عمدتاً ارتباطی با یکدیگر ندارند. متوسط تخلخل در رخساره‌های این گونه‌سنگی حدود ۲۲ درصد و متوسط

این نمودار متشکل از یک سری خطوط U شکل است که داده‌ها را در قالب یک درخت سلسله‌مراتبی^{۱۲} به هم مرتبط می‌سازد. محور افقی این نمودار، انواع خوشه‌های استخراج شده از آنالیز خوشه‌ای و محور عمودی نیز فاصله یا درجه تشابه بین آنها را نشان می‌دهد.

ت) تفکیک خوشه‌ها بر اساس تعیین سطح برش^{۱۳}: پس از استخراج درخت خوشه‌ای، تعداد خوشه‌ها با تعیین یک مقدار سطح برش معین بر روی نمودار درخت خوشه‌ای مشخص می‌گردد. این سطح برش با توجه به اهداف مطالعه و نیز تنوع و ناهمگونی رخساره‌های مخزن و ویژگی‌های پتروفیزیکی آنها می‌تواند متفاوت باشد. در این مطالعه با بررسی رخساره‌های مخزن و نیز استفاده از روش آزمون و خطا^{۱۴}، انتخاب سطح برش در حد چهار خوشه، انطباق مناسب‌تری با ویژگی‌های سنگ‌شناسی و پتروفیزیکی رخساره‌های مخزن نشان می‌دهد. لذا بر این اساس تعداد چهار خوشه تفکیک شدند. این خوشه‌ها در واقع دارای مقادیر مشخصی از پاسخ‌های لاگ و نیز مقادیر تخلخل و

12- Hierarchical Tree

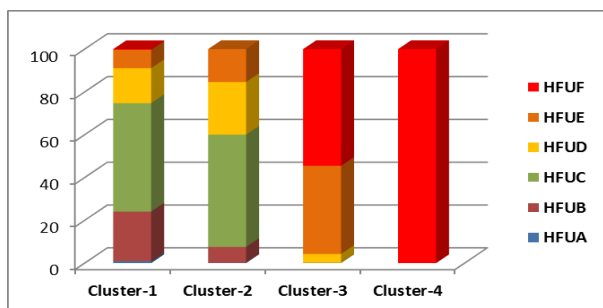
13- Cut off

14-Trial and Error

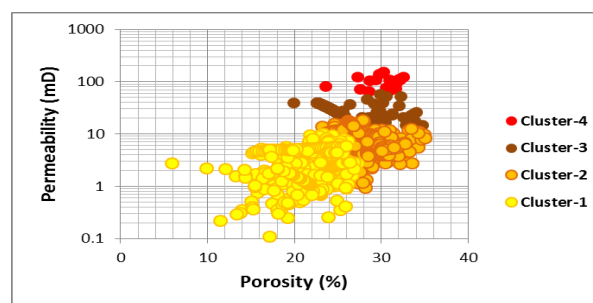
15- Cluster

جدول ۲: مقادیر کمی لاگ، تخلخل و تراوایی برای گونه‌های سنگی تفکیک شده در مخزن

Cluster		Porosity (درصد)	K (md)	RHOB (gr/Cm ³)	SGR (API)
EF1	Min	5.82	0.11	2.16	7.17
	Avg.	22.01	2.40	2.32	15.90
	Max	27.27	10.18	2.71	24.46
	STDEV.	2.85	1.73	0.12	3.94
EF2	Min	23.16	0.94	2.10	7.31
	Avg.	28.48	7.56	2.27	16.19
	Max	35.02	18.79	2.58	24.26
	STDEV.	2.083	4.211	0.099	3.595
EF3	Min	19.89	14.04	2.02	4.59
	Avg.	24.86	28.96	2.23	14.35
	Max	34.65	57.68	2.48	24.50
	STDEV.	2.13	7.13	0.07	4.44
EF4	Min	23.56	65.02	2.19	7.48
	Avg.	29.97	99.98	2.23	10.63
	Max	32.46	152.93	2.26	14.34
	STDEV.	2.24	25.66	0.02	2.20



شکل ۱۴: هیستوگرام درصد فراوانی واحدهای جریان‌ی مختلف هر یک از خوشه‌های تفکیک شده در مخزن



شکل ۱۳: محدوده پراکندگی خوشه‌های تفکیک شده در مخزن بر روی نمودار تخلخل - تراوایی

گونه‌سنگی ۲

رخساره‌های این گونه‌سنگی در چاه‌های SPO-1، SPO-2 و SPO-3 گسترش دارد. در این گونه‌سنگی، رخساره‌های گل غالب مادستون - وکستون و وکستون - پکستون و نیز باندستون جلبکی بخش عمده رخساره‌ها را تشکیل می‌دهند. رخساره‌های پکستون - گرینستون و فلوتستون نیز سهم کمی از این گونه‌سنگی را شامل می‌شوند. گونه‌سنگی

تراوایی کمتر از ۳ میلی‌داری است (جدول ۲). این گونه‌سنگی عمدتاً دربرگیرنده واحدهای جریان‌ی با کیفیت مخزنی بسیار پایین و پایین است (B و C) و واحدهای جریان‌ی متوسط (D) و بالا (E و F) سهم کمی در آن دارند (شکل ۱۴). گونه‌سنگی ۱ بیشترین درصد از رخساره‌های مخزن را شامل می‌شود و در چاه‌های SPO-1 و SPO-2 گسترش دارد.

دارای ارتباط مؤثری است، به طوری که این گونه سنگی نسبت به گونه‌های دیگر بیشترین تخلخل حدود ۳۰ درصد و تراوایی حدود ۱۰۰ میلی داری (جدول ۲) را دارد. گونه سنگی ۴ نسبت به گونه‌های سنگی دیگر، فراوانی کمتری در مخزن دارد و رخساره‌های آن تنها با واحد جریان‌ی بالا (F) در ارتباط است (شکل ۱۴).

نتیجه گیری

بر اساس شاخص زون جریان‌ی (FZI)، تعداد ۶ واحد جریان‌ی هیدرولیکی (A تا F) برای رخساره‌های مخزن به دست آمد. نمودارهای تخلخل و تراوایی در مقابل شاخص کیفیت مخزنی (RQI) برای واحدهای جریان‌ی نشان می‌دهد که تراوایی ارتباط مشخصی با شاخص کیفیت مخزنی دارد که این امر با ویژگی سیستم منافذ و ارتباط آن‌ها وابسته است. همچنین نمودار تخلخل در مقابل تراوایی برای واحدهای جریان‌ی مخزن نشان دهنده بهتر شدن کیفیت مخزنی از واحد جریان‌ی A به سمت واحد جریان‌ی F می‌باشد. در یک مقایسه کلی بین واحدهای جریان‌ی تفکیک شده در مخزن، این واحدها به چهار دسته واحدهای جریان‌ی با کیفیت مخزنی بسیار پایین (HFU-A و HFU-B)، پایین (HFU-C)، متوسط (HFU-D) و بالا (HFU-E و HFU-F) تقسیم‌بندی شدند. براساس مطالعات انجام شده، ۴ گونه سنگی تعیین گردید. گونه سنگی ۱ عمدتاً دربرگیرنده واحدهای جریان‌ی با کیفیت مخزنی بسیار پایین و پایین (B و C) است و واحدهای جریان‌ی متوسط (D) و بالا (E و F) سهم کمتری در آن دارند. این گونه سنگی بیشترین درصد از رخساره‌های مخزن را شامل می‌شود و در چاه‌های SPO-1 و SPO-2 گسترش دارد. گونه سنگی ۲ در چاه‌های SPO-1، SPO-2 و SPO-3 گسترش دارد. این گونه سنگی از لحاظ واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی تا حدودی شبیه به گونه سنگی ۱ است با این تفاوت که درصد

۲ در مقایسه با گونه سنگی ۱ تخلخل و تراوایی بیشتری دارد، به طوری که میانگین تخلخل و تراوایی در این گونه سنگی به ترتیب ۲۸/۴۸ درصد و ۷/۵۶ میلی داری می‌باشد (جدول ۲). بخش عمده تخلخل‌ها از نوع حفره‌ای مجزا هستند که ارتباطی با یکدیگر ندارند، اما بخش کمتری از آن در اثر گسترش انحلال و یا از طریق شکستگی‌های ریز با هم ارتباط پیدا کرده‌اند. همان طور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود، درصد واحدهای جریان‌ی متوسط (D) و بالا (E) در این گونه سنگی نسبت به گونه سنگی ۱ مقداری بیشتر و درصد واحدهای جریان‌ی بسیار پایین و پایین (B و C) مقدار کمتری است.

گونه سنگی ۳

در این گونه سنگی رخساره‌های دانه غالب پکستون - گریستون در کنار رخساره‌های گل غالب مادستون - وکستون و وکستون - پکستون گسترش دارند، اما درصد رخساره‌های گل غالب بیشتر است. رخساره‌های فلوستون و باندستون جلبکی نیز درصد کمتری از رخساره‌ها را تشکیل می‌دهند. متوسط تخلخل در این گونه سنگی حدود ۲۵ درصد و تراوایی ۲۹ میلی داری است (جدول ۲). افزایش قابل توجه تراوایی در رخساره‌های این گونه سنگی نسبت به گونه‌های قبلی به ارتباط بیشتر منافذ در اثر گسترش انحلال مربوط می‌شود. این گونه سنگی بیشتر با واحدهای جریان‌ی بالا (E و F) و به مقدار کمتر با واحد جریان‌ی متوسط (D) در ارتباط است (شکل ۱۴). گونه سنگی ۳ عمدتاً در چاه‌های SPO-1 و SPO-3 و به مقدار ناچیز در چاه SPO-2 گسترش دارد.

گونه سنگی ۴

این گونه سنگی که در چاه SPO-1 گسترش دارد شامل رخساره‌های گل غالب مادستون - وکستونی و وکستون - پکستونی می‌باشد. سیستم منافذ در رخساره‌های این گونه سنگی تحت تأثیر انحلال گسترده و نیز شکستگی‌ها،

SPO-3 و به مقدار ناچیز در چاه SPO-2 گسترش دارد. گونه‌سنگی ۴ در چاه SPO-1 گسترش دارد. این گونه‌سنگی که تنها با واحد جریانیه بالا (F) در ارتباط است، نسبت به گونه‌های سنگی دیگر، فراوانی کمتری در مخزن دارد.

واحدهای جریانیه متوسط (D) و بالا (E) در این گونه‌سنگی نسبت به گونه‌سنگی ۱ مقداری بیشتر و درصد واحدهای جریانیه بسیار پایین و پایین (B و C) مقداری کمتر است. گونه‌سنگی ۳ بیشتر با واحدهای جریانیه بالا (F و E) به مقدار کمتر با واحد جریانیه متوسط (D) در ارتباط است. این گونه‌سنگی عمدتاً در چاه‌های SPO-1 و

References

- Abbaszadeh, M., Fujii, H., & Fujimoto, F., 1996. Permeability prediction by hydraulic flow units - theory and applications. *Society of Petroleum Engineers (SPE) Formation Evaluation*, 11: 263-271.
- Aggoun, R.C., Tiab, T., & Owayed, J.F., 2006. Characterization of flow units in shaly sand reservoirs Hassi R'Mel Oil Rim, Algeria. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 50: 211-226.
- Amabeoku, M.O., Kersey, D.G., BinNasser, R.H., Al-Belawi, A.R., 2006. Relative permeability coupled saturation-height models based on hydraulic (flow) units in a gas field. *Society of Petroleum Engineers (SPE) Reservoir Evaluation & Engineering*, 11: 1013-1028.
- Amaefule, J.O., Altunbay, M., Tiab, D., Kersey, D.G., & Keelan, D.K., 1993. Enhanced reservoir description: using core and log data to identify hydraulic (flow) units and predict permeability in uncored intervals/wells. In: SPE Annual Technical Conference and Exhibition. *Society of Petroleum Engineers*. Paper 26436: 1-16.
- Archie, G.E., 1950. Introduction to petrophysics of reservoir rocks. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 34: 943 - 961.
- Desouky, S.E.M., 2004. Predicting permeability in un-cored intervals/wells using the hydraulic flow unit approach. *Nafta*, 55: 245-250.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W.E. (ed.), Classification of carbonate rocks. *American Association of Petroleum Geologist Memoir*, 1: 108-121.
- Flugel, E., 2010. Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application. second edition, Springer-Verlag, Berlin, 1006 P.
- Kadkhodaie-Ilkhchi A., & Amini, A., 2009. A fuzzy logic approach to estimating hydraulic flow units from well log data: A case study from the Ahvaz oilfield, south Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 32 (1): 67-78.
- Kadkhodaie-Ilkhchi, R., Rezaee, M.R., Moussavi-Harami, R., & Kadkhodaie-Ilkhchi, A., 2013. Analysis of the reservoir electrofacies in the framework of hydraulic flow units in the Whicher Range Field, Perth Basin, Western Australia. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 111: 106-120.
- Perez, H.H., Datta-Gupta, A., & Mishra, S., 2005. The role of electrofacies, lithofacies, and hydraulic flow units in permeability predictions from Well Logs: a comparative analysis using classification trees. In: Society of Petroleum Engineers (SPE) Reservoir Evaluation and Engineering. *Society of Petroleum Engineers (SPE) Annual Conference and Exhibition*, Denver, Paper 84301: 143-155.
- Prasad, M., 2003. Velocity-permeability relations within hydraulic units. *Geophysics*, 68: 108-117.

- Rushing, J.A., Newsham, K.E., & Blasingame, T.A., 2008. Rock Typing-Keys to Understanding Productivity in Tight Gas Sands. *Society of Petroleum Engineers (SPE) Annual Conference and Exhibition*, Colorado, Paper 114164.
- Serra, O., 1986. Fundamentals of Well Log Interpretation: 2. The Interpretation of Logging Data. *Elsevier*, Amsterdam. 1-684.
- Tucker, K.E., Harris, P.M., & Nolen- Hoeksema, R.C., 1998. Geologic investigation of cross-well seismic response in a carbonate reservoir, Mcelroy field, west Texas, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 82: 1463-1503.

Reservoir quality of Dariyan Formation in South Pars Field, based on hydraulic flow units and rock types study and its relation to texture and diagenesis

Rahmani, M.R.¹, Moussavi-Harami, R.^{2*}, Arian M.³

1- Ph.D. Student in Sedimentology & Sedimentary Petrology, Department of Geology, Faculty of Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

*Email: moussavi@um.ac.ir

Introduction

The concept of hydraulic flow unit is used by many investigators to study the reservoir properties (for example Amaefule et al., 1993; Abbaszadeh et al., 1996; Prasad, 2003; Desouky, 2004; Aggoun et al., 2006; Amabeoku et al., 2006). In the meantime, the breakdown of hydraulic flow units based on Amaefule method (Amaefule et al., 1993) as a useful method known among scholars. Amaefule et al (1993) consider hydraulic flow units as elements of reservoir rock which include moderate and similar value of petrophysical characteristics and their affect on fluid flow. Actually, hydraulic flow units are as criterion of reservoir units which in those, characteristics of fluid's flow due to same characteristics of pore throats is uniform (Kadkhodaie-Ilkhchi et al., 2013). Anyway, Petrophysical rock types are classified and separated based on petrophysical properties, especially in relation to the behavior of fluid into the rock, such as porosity, capillary pressure, permeability and water saturation. With this description, the study of rock types could be one way to study reservoir quality. Further studies which are useful in review of reservoir quality are studies on properties of textural and the effects of diagenetic processes on sedimentary facies.

Materials and Methods

In this study, at first, petrographic studies conducted on 221 thin sections prepared from the core and cutting samples. Textural and diagenetic characteristics of facies were determined and carbonate rocks were classified based on Dunham scheme (Dunham, 1962). Then, to review the reservoir quality of Dariyan Formation, hydraulic flow units were determined based on core's porosity and permeability data from the three wells SPO-1, SPO-2 and SPO-3 and using Amaefule et al. (1993) method. Finally, Reservoir rock types were determined and interpreted based on well logs (GR and RHOB) with core porosity and permeability data, using cluster analysis in MATLAB.

Discussion

In this research, reservoir quality of Dariyan Formation, which is one of the oil reservoirs in South Pars Field, has been discussed. Based on core and petrography studies, nine carbonate and one detrital facies have been identified that can be classified into four facies associations, from land to sea, including tidal flat (Mudstone), lagoon (Bioclast mudstone to wackestone, Bioclast peloid wackestone to packstone, Bioclast peloid packstone to grainstone, algal boundstone), mid ramp (Echinoid mollusk wackestone to packstone, orbitolina wackestone to packstone, framestone, Floatstone) and outer ramp (Shale). Based on porosity and permeability data of cores and well logs from three wells SPO-1, SPO-2 and SPO-3, hydraulic flow units and rock types of reservoir were identified, as well as textural and diagenetic characteristics of facies, based on thin section studies, were used to evaluate hydraulic flow units. Based on Flow Zone Indicator (FZI), six hydraulic flow units (A, B, C, D, E and F) were identified for reservoir. In a general, comparison between hydraulic flow units, these units classified into four categories flow units with reservoir quality very low (A,B), low (C), medium (D) and high (E,F), which correlate well with textural and diagenetic characteristics of facies. Also, based on well logs clustering, four rock types were determined. Rock type 1, mainly consists of flow units with very low and low (A, B, C) reservoir quality and flow units medium (D) and high (E, F) are rare. Rock type 2 is somewhat similar to rock type 1 in hydraulic flow units, and the difference is that the

medium (D) and high (E) flow units in this rock type much more than rock type 1. Rock type 3 is more associated with high (E, F) flow units and to a lesser degree with medium (D) flow unit. Rock type 4 is also associated with a high (F) flow unit. The results of this study show that dissolution process has an important role in reservoir quality.

Keywords: South Pars Field; Dariyan Formation; reservoir quality; hydraulic flow unit; rock type.

Reference

- Abbaszadeh, M., Fujii, H., & Fujimoto, F., 1996. Permeability prediction by hydraulic flow units - theory and applications. *Society of Petroleum Engineers (SPE) Formation Evaluation*, 11: 263-271.
- Aggoun, R.C., Tiab, T., & Owayed, J.F., 2006. Characterization of flow units in shaly sand reservoirs Hassi R'Mel Oil Rim, Algeria. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 50: 211-226
- Amabeoku, M.O., Kersey, D.G., BinNasser, R.H., Al-Belawi, A.R., 2006. Relative permeability coupled saturation-height models based on hydraulic (flow) units in a gas field. *Society of Petroleum Engineers (SPE) Reservoir Evaluation & Engineering*, 11: 1013-1028.
- Amaefule, J.O., Altunbay, M., Tiab, D., Kersey, D.G., & Keelan, D.K., 1993. Enhanced reservoir description: using core and log data to identify hydraulic (flow) units and predict permeability in uncored intervals/wells. In: SPE Annual Technical Conference and Exhibition. *Society of Petroleum Engineers*. Paper 26436: 1-16.
- Desouky, S.E.M., 2004. Predicting permeability in un-cored intervals/wells using the hydraulic flow unit approach. *Nafta*, 55: 245-250.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W.E., (ed.), Classification of carbonate rocks. *American Association of Petroleum Geologist Memoir*, 1: 108-121.
- Kadkhodaie-Ilkhchi, R., Rezaee, M.R., Moussavi-Harami, R., & Kadkhodaie-Ilkhchi, A., 2013. Analysis of the reservoir electrofacies in the framework of hydraulic flow units in the Whicher Range Field, Perth Basin, Western Australia. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 111: 106-120.
- Prasad, M., 2003. Velocity-permeability relations within hydraulic units. *Geophysics*, 68: 108-117.