

بررسی کیفیت مخزن بنگستان با استفاده از رخساره های الکتریکی و واحدهای جریان در

میدان منصوری، جنوب غرب ایران

بهمن سلیمانی

استاد زمین شناسی نفت دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

مهرداد مرادی

دانشجوی دکتری زمین شناسی نفت، دانشگاه شهید چمران اهواز

علی غبیشاوی

اداره مطالعات زمین شناسی، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۱۲

soleimani@scu.ac.ir

چکیده

به منظور درک خصوصیات مخزن بنگستان میدان منصوری، از روش های تعیین رخساره الکتریکی و واحدهای جریان سیال استفاده گردید. کلیه لاگ های مخزنی ۸۲ چاه موجود این میدان در نرم افزار ژئولاگ بارگذاری شد و با استفاده از شبکه عصبی در ابتدا ۹ خوشه و سپس با کمک نمودار اشباع آب- فشار موئینه و مشاهدات ویژگی های خوشه ها تعداد آنها به ۴ خوشه تقلیل پیدا کرد. نتایج نشان داد که بهترین کیفیت مخزنی رخساره الکتریکی یک، و پایین ترین کیفیت مخزنی را رخساره الکتریکی ۴ داراست. واحدهای جریان سیال با استفاده از نمودار اصلاح شده لورنز، در یکی از چاه های میدان (بواسطه محدودیت های داده) انجام و ۴ واحد جریان سیال شناسایی گردید. واحد جریانی یک بیشترین، و واحد ۴ پایین ترین سرعت جریان سیال داراست. میزان ناهمگنی مخزن براساس روش لورنز برابر ۵۸/۰ محاسبه شد که گویای ناهمگنی مخزن کربناته در این چاه بنگستانی است. این نتایج در شناسایی ویژگی ها، رفتار و مدیریت مخازن هیدروکربنی می تواند مهم باشد.

کلمات کلیدی: میدان نفتی منصور، مخزن بنگستان، رخساره الکتریکی، واحد جریانی، ثابت لورنز

مقدمه

درک خصوصیات و ویژگی های مخزن، یکی از مهمترین اهداف توسعه هر میدان است. تعیین محل حفاری چاه های توسعه ای، فواصل هیدروکربنی و پیش بینی میزان تولید از چاه های میدان از جمله موارد قابل تامل و سوال برانگیز از هر مطالعه پتروفیزیکی است. تراوایی همچون تخلخل به تغییرات بافت و فابریک سنگ حساس می باشد. تغییرات گسترده انواع تخلخل و تغییرات گلوگاه به روی مقدار تراوایی اثر می گذارد. تراوایی بیشتر متاثر از تغییرات شرایط گلوگاه است تا اینکه وابسته به ابعاد خلل و فرج باشد. اگر چه در برخی شرایط، ابعاد تخلخل ممکن است توسط اندازه بزرگ گلوگاه های حفره قابل پیش بینی باشد. آنالیز مخزن می بایست تعیین کننده خصوصیات زمین شناسی سنگ مخزن باشد و همچون یک نشانگر برای حضور تخلخل و گلوگاه های حفره بکار رود. این هدف با داشتن خصوصیات پتروفیزیکی سنگ مخزن، شناسایی آن مشخصه و نهایتاً به شکل نقشه ابعادی واحدهای جریانی درآید.

تفکیک گونه های سنگی با روش های مختلف یکی از مفیدترین مطالعات به منظور تحلیل کیفیت مخزنی و گاهی زون بندی یک مخزن است. یک توصیف جامع نیازمند بهترین تلفیق داده های زمین شناسی و پتروفیزیکی است تا ویژگی های مخزنی یک مخزن به گونه ای توصیف شود که بتواند نزدیکترین شباهت را با واقعیت های زمین شناسی داشته باشد (Abbaszadeh et al., 1996; Amaefule et al., 1993; Rebelle et al., 2009).

رخساره الکتریکی توسط سرا و سولپیس (Serra, and Sulpice, 1975) برای توصیف ماسه سنگ ها بکار رفت. در مطالعات بعدی (Busch et al., 1987; Baldwin et al., 1989, 1990; Rogers et al., 1992; Mwenifumbo, and Blangy, 1991; Rabiller, 2005; Krott et al., 2015; Garner et al., 2015; Kudryashova et al., 2015; Al Ibrahim et al., 2015; Zawila et al., 2015; Chautru et al., 2016) نگارهای چاه پیمایی، مغزه و مقاطع میکروسکوپی برای معرفی الگوی شکل نگارها و رخساره های زمین شناسی مطرح گردید (رحیمی بهار و پرهام، ۱۳۹۱؛ زحمتکش و همکاران ۱۳۹۴). در نهایت این تلاش ها منجر به ظهور روش های خودکار بر اساس مفاهیم ریاضی و آماری (Wolff and Pelissier-Combes, 1982) و بر پایه گراف (Ye and Rabiller, 2000) گردید. در زمان حاضر رخساره الکتریکی کاربردهای متعددی از جمله توصیف اختصاصات مخزنی در ایران (کدخدایی ایلخچی و همکاران، ۱۳۹۳؛ رحیمی بهار، و حسین پور صیامی، ۱۳۹۱؛ سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۲) (a, b) Karimian Torghabeh et al., 2015؛ (Rezaeeparto et al., 2016) و در سایر کشورها (e.g. Correia, and Schiozer, 2016) یافته است.

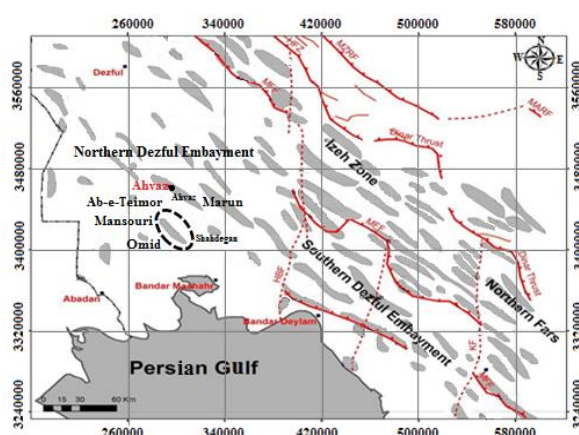
شناسایی گونه های مختلف سنگی یک مخزن و تغییرات ویژگی های آن در راستای عمودی و افقی آنها یکی از موارد ضروری در امر بررسی خصوصیات مخزنی می باشد (Bagheri and Biranvand, 2006; Lucia, 2007). تعیین گونه های سنگی، شامل برقراری ارتباط بین نتایج

موقعیت میدان مورد مطالعه

میدان منصوری در دشت خوزستان و حدوداً ۶۰ کیلومتری جنوب شرق اهواز واقع شده است. این میدان هم‌جوار میادین اهواز، مارون و شادگان و در جنوب غرب کشور قرار داشته که فاقد هرگونه رخنمون سطحی می‌باشد و بوسیله عملیات لرزه‌نگاری مشخص شده است. روند ساختاری این میدان از روند ساختاری میادین هم‌جوار که همان روند زاگرس است تبعیت می‌کند (شکل ۱). بر اساس نقشه هم‌تراز عمقی برگرفته از نقشه‌های ژئوفیزیکی ابعاد میدان منصوری بر روی افق ایلام حداکثر طول ۴۳ کیلومتر و عرض تقریبی ۵-۶ کیلومتر متغیر می‌باشد.

حاصل از بررسی نگاره‌ها با قدرت تفکیک بالا، داده‌های مغزه و داده‌های دینامیکی می‌باشد که در این راستا باید ساده‌ترین ارتباط ممکن بین داده‌های پتروفیزیکی و رخساره‌های رسوبی مورد بررسی قرار گیرد (Rebelle et al., 2009). دسته‌بندی سنگی (Rock-Typing) فرآیند طبقه‌بندی سنگ‌های مخزن به واحدهای مشخصی می‌باشد که هر کدام از این واحدها تحت شرایط زمین‌شناسی مشابهی رسوب کرده‌اند. به بیان دیگر، گونه‌های سنگی به مجموعه رخساره‌هایی گفته می‌شود که با در نظر گرفتن چندین معیار مشخص، در یک گروه یا دسته قرار می‌گیرند (Schlumberger, 1989).

یکی از روش‌های علمی جهت شناسایی زون‌های مخزنی از زون‌های غیر مخزنی استفاده از روش نمودار اصلاح‌شده لورنز است تا واحدهای جریان‌ی به‌خوبی شناسایی گردند. در این مقاله سعی شده است تا مقایسه‌ای از این دو روش صورت گیرد.



شکل ۱. نقشه موقعیت میادین نفتی (Sherkati and Letouzey, 2004) و جایگاه میدان منصوری

روش کار

به منظور تعیین و تفکیک زون‌های مخزنی و غیر مخزنی از مخزن بنگستان میدان نفتی منصوری از روش تعیین گونه‌های سنگی با استفاده از رخساره الکتریکی استفاده گردید.

آنچه مسلم است هر نمودار پتروفیزیکی وقتی معنای واقعی خود را نشان می‌دهند که در کنار دیگر نمودارها تفسیر شود. در خوشه‌بندی رخساره‌های الکتریکی مخزن بنگستان (میدان نفتی منصوری)، از بین ۸۲ حلقه چاه موجود تمام داده‌های نمودارهای اشعه گاما (GR) - تخلخل نوترونی (NPHI) - دانسیته (RHOB) - صوتی (DT) - اشباع آب (SW) - تخلخل ارزیابی‌شده (PHIE) به‌طور هم‌زمان و در کنار یکدیگر موردبررسی و تفسیر قرار گرفت. تفسیر چند بعدی نمودارهای چاه‌پیمایی مستلزم زمان زیادی می‌باشد، لذا این کار در محیط نرم‌افزار تخصصی ژئولاگ (Paradigm™ Geolog®) با حجم ۹۱۲۴۵ داده قرائت شده از نمودارها، با تکنیک‌های مختلف انجام شد و سرانجام با استفاده از تکنیک‌های مختلف خوشه‌بندی، روش خوشه‌بندی با توجه به خصوصیات سنگ‌شناسی و پتروفیزیکی میدان، انتخاب شد. (Serra and Abbot, 1980) واژه رخساره‌های الکتریکی را مجدداً به این صورت تعریف کردند: تعیین رخساره‌ها یکی از مؤلفه‌های اصلی در بیان

خصوصیات مخزن و اکتشاف هیدروکربن می‌باشد (Kumar and Kishore, 2006). رخساره‌های الکتریکی از زمین‌شناسی سنگ مخزن تأثیر می‌پذیرند و اغلب می‌توانند یک یا چند رخساره سنگی را شامل شوند. به منظور مطالعه تکمیلی و تعیین دقیق گونه‌های سنگی و تعیین روابط بین ریزرخساره‌ها، واحدهای سنگی و پارامترهای پتروفیزیکی آنها و همچنین تعیین بر مبنای پتانسیل مخزنی، از روش رخساره الکتریکی و تکنیک خوشه‌بندی استفاده شد. فرآیند خوشه‌بندی بر اساس منطق و فرمول‌های ریاضی در محیط نرم‌افزاری برنامه‌نویسی و مدل می‌شود. در ژئولاگ نیز تعدادی از روش‌های خوشه‌بندی شناخته شده وجود دارد که هر کدام در نوع خود بر اساس تجربه و تحقیق بسیار، کالیبره و استانداردسازی شده‌اند. روش بکار گرفته‌شده در این تحقیق بر اساس هدف خوشه‌بندی، آزمون و خطای روش‌های مختلف و مطالعه بسیار در رابطه با هرکدام از روش‌های خوشه‌بندی انتخاب شده است و در واقع روش انتخاب شده یکی از مشهورترین مدل‌های شبکه عصبی (هوش مصنوعی) بنام SOM (Self Organization Maps) می‌باشد.

مقبولیت مدل SOM از آن جهت است که بر پایه یادگیری بدون ناظر (Unsupervised Learning) بنا شده است. بدین معنی که هیچ‌گونه مداخله‌ای از جانب ناظر در طول یادگیری مدل وجود ندارد و

تنها نیاز آن به ناظر در بررسی خصوصیات داده‌های ورودی (انتخاب نمودارهای پتروفیزیکی مرتبط با هدف مطالعه) به مدل می‌باشد (Vesanto, 1999).

بحث

در این میدان به لحاظ تنوع سنگ‌شناسی محدود و عدم وجود

جدول ۱. خوشه بندی اولیه با استفاده از روش نقشه‌های خود سازمان (SOM)

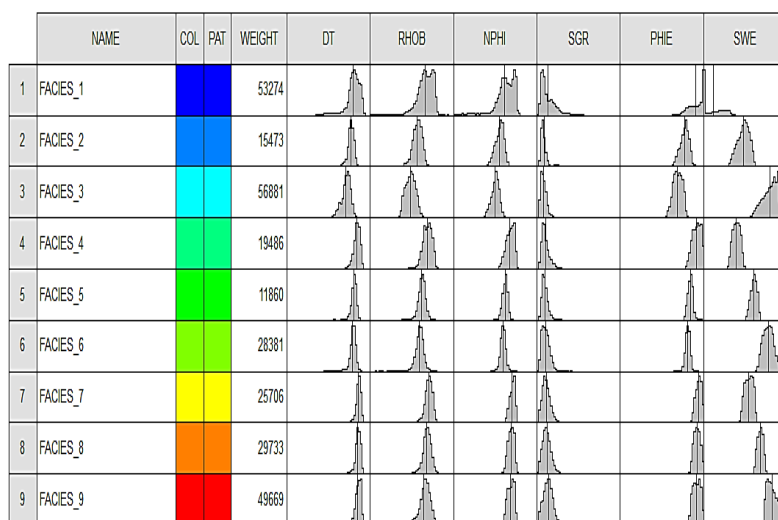
اشباع آب v/v	تخلخل ارزیابی v/v	دانسیته g/c^3	تخلخل نوترونی v/v	زمان سیر صوت Ms/f	اشعه گاما API	رخساره الکتریکی
۰/۸۸	۰/۰۴	۲/۶۵	۰/۰۸	۶۰/۱۰	۲۶/۱۶	۱
۰/۵۲	۰/۱۱	۲/۶۷	۰/۱۲	۶۳/۹۷	۱۵/۰۶	۲
۰/۲۰	۰/۱۵	۲/۷۰	۰/۱۵	۶۹/۹۳	۱۶/۴۰	۳
۰/۶۰	۰/۰۵	۲/۶۵	۰/۰۷	۵۶/۳۳	۲۳/۵۰	۴
۰/۵۴	۰/۰۷	۲/۶۸	۰/۰۷	۵۹/۶۸	۱۹/۱۶	۵
۰/۶۲	۰/۰۹	۲/۷۱	۰/۱۰	۵۴/۷۶	۱۴/۲۶	۶
۰/۹۴	۰/۰۲	۲/۶۷	۰/۰۸	۶۱/۳۷	۲۹/۵۹	۷
۰/۳۹	۰/۰۴	۲/۶۹	۰/۰۵	۵۶/۸۴	۲۱/۲۴	۸
۰/۱۷	۰/۰۴	۲/۷۰	۰/۰۰۵	۵۵/۱۷	۱۵/۲۳	۹

یکدیگر ادغام‌شده تا نتیجه بهتری حاصل شود. چرا که تعدد خوشه‌ها جهت تعیین زون‌های مخزنی مناسب نمی‌باشد. و هرچه ادغام خوشه‌ها بیشتر شود، خاصیت خوشه‌ها نسبت به یکدیگر تمایز بیشتری پیدا می‌کنند.

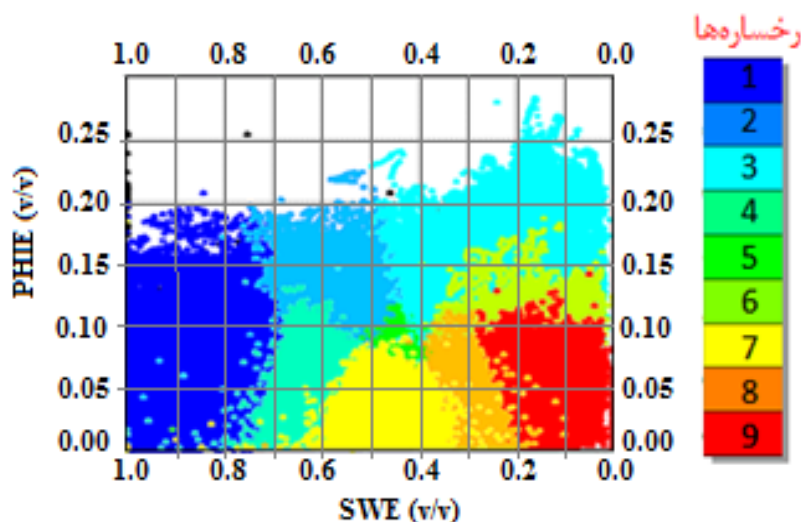
با مطالعه پیرامون ویژگی‌های مخزنی و پلات‌های موجود در محیط نرم‌افزاری، این نتیجه حاصل شد که پلات اشباع آب در مقابل تخلخل، بهتر می‌تواند گونه‌های سنگی را از یکدیگر تفکیک کند. لذا این پلات را با ۹ خوشه اولیه رنگ‌آمیزی نموده و توزیع و پراکندگی خوشه‌های خام اولیه بر روی پلات اشباع آب-تخلخل مشخص شد (شکل ۳).

در محیط نرم‌افزار ژئولاگ، کاربر توانایی این را دارد که تعدادی از خوشه‌های ایجاد شده را با دید پتروفیزیکی و زمین‌شناسی خود و یا قرار دادن خوشه‌ها در پلات‌های مختلف و مشاهده تناسب آن‌ها با یکدیگر، ادغام کند. در میدان نفتی منصوری در هفت حلقه چاه ۱، ۴، ۱۴، ۲۴، ۴۴، ۵۴ و ۹۶ عملیات مغزه گیری انجام شده است و نتایج آزمایشات معمولی آن‌ها نیز موجود می‌باشد. منتهی آزمایشات ویژه مغزه تنها بر روی مغزه چاه شماره ۱۴، ۲۵، و ۴۴ صورت گرفته و نتایج آن به صورت جداول، منحنی‌ها و همچنین پلات فشار موئینه در مقابل اشباع آب گزارش شده است.

در ابتدا تمامی خوشه‌ها با نمودارهای حاصل از نتایج آزمایشات معمولی مقایسه و تا حدودی مشخص نمود که بعضی از خوشه‌های اولیه بایستی با



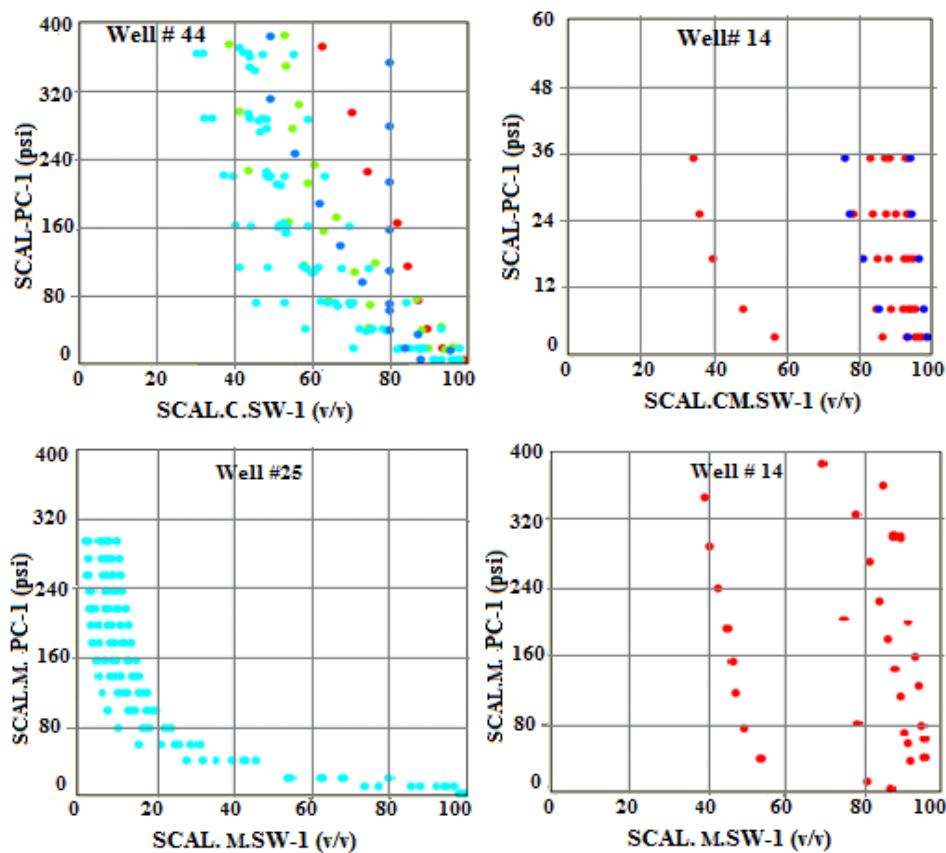
شکل ۲. نمودار فراوانی داده لاگ‌های پتروفیزیکی و ویژگی‌هایی از قبیل اسم و رنگ هر رخساره، وزن عددی داده‌های ورودی برای هر رخساره نمایش داده شده است.



شکل ۳. توزیع ۹ خوشه اولیه در نمودار اشباع آب (SWE) - تخلخل (PHIE)

رنگ آمیزی آن‌ها به وسیله ۹ خوشه اولیه، مشاهده شد که هرکدام از خوشه‌ها به صورت جداگانه و یا بعضی به‌طور مشترک در یک منحنی فشار موئینه قرار می‌گیرند (شکل ۴).

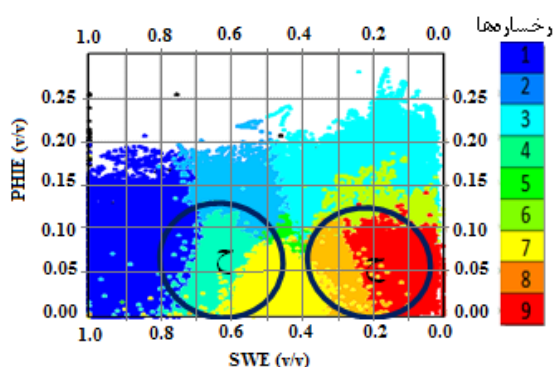
سپس نتایج آزمایشات ویژه مغزه اعم از تخلخل، فشار موئینه، اشباع آب، نفوذپذیری مطلق هوا، حجم حفرات، شماره و عمق نمونه مورد آزمایش را با متد خاصی در محیط نرم‌افزار ژئولاگ بارگزاری کرده و در ادامه با مطالعه و رسم منحنی‌های فشار موئینه در مقابل اشباع آب و نیز



شکل ۴. نمودار فشار موئینه در مقابل اشباع آب و رنگ آمیزی آن به وسیله ۹ خوشه اولیه

آب به صورت افقی، در یک محدوده از تخلخل وجود داشته باشند را در پلات فشار موئینه-اشباع آب نیز مشاهده کنید، خواهید دید که در یک منحنی فشار موئینه به صورت مشترک قرار می گیرند. بنابراین می توان این خوشه ها را یکی دانست و با یکدیگر ادغام نمود (شکل ۵ و ۶). با ادغام خوشه ها با یکدیگر، تعداد آن ها از ۹ به ۴ خوشه کاهش یافت و در نهایت خوشه بندی نهایی شکل گرفت (شکل ۷).

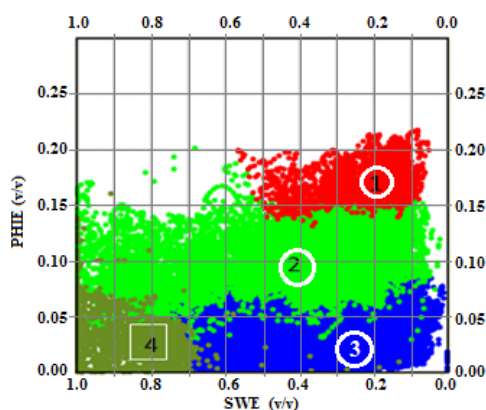
یکی از آزمایشاتی که نتایج آن در این خوشه بندی استفاده گردید، آزمایش فشار موئینه (Capillary Pressure) از مغزه بود که داده های حاصل از آن در محیط نرم افزار بارگذاری و منحنی های آن رسم شد. به طور کلی می توان گفت که فشار موئینه (P_c) به فشاری اطلاق می شود که باعث حرکت سیال در درون گلوگاه های تخلخل (Pore Throat) و نیز جابجایی (Displacement) سیال تر کننده در درون خلل و فرج (Pore Wetting Fluid) می شود (Jennings, 1987; Tiab and Donaldson, 2004). اگر ترشوندگی مخزن ثابت و اندازه گلوگاه ها یکسان فرض شود، فشار موئینه لازم برای جابجایی سیال نیز تغییری نمی کند. با این اوصاف اگر خوشه هایی که در پلات تخلخل- اشباع



شکل ۵. نمودار اشباع آب (SWE) - تخلخل (PHIE) با رنگ آمیزی خوشه های اولیه. نواحی قابل ادغام در آن نشان داده شده است.

	NAME	COL	PAT	WEIGHT	DT	NPHI	PHIE	RHOB	SWE	SGR
1	1_1			8471						
2	2			36654						
3	3			36521						
4	4			9599						

شکل ۶. ادغام خوشه های اولیه با بهره گیری از نتایج آزمایشات ویژه (نمودار فشار موئینه- اشباع آب) و رنگ آمیزی در نمودار کاربردی تخلخل- اشباع آب



شکل ۷. خوشه بندی نهایی و نمایش رخساره های الکتریکی در نمودار اشباع آب (SWE) و تخلخل (PHIE)

ویژگی رخساره‌های الکتریکی مخزن بنگستان در میدان

منصوری

نهایتاً آنچه به عنوان گونه‌های سنگی (رخساره‌های الکتریکی) مخزن مد نظر بود، شکل گرفت و مدل ادغام‌شده نیز برای تمام چاه‌های مورد مطالعه به اصطلاح نرم‌افزاری تکثیر (Propagate) یا پراکنده شد (شکل ۷). لازم به ذکر است که منظور از رخساره الکتریکی، سنگ‌شناسی بخصوصی همانند آهک یا انیدریت نیست، بلکه ممکن است دو نوع متفاوت سنگ‌شناسی (آهک و انیدریت) به لحاظ کیفیت ماتریکسی-مخزنی،



شکل ۸. درصد پراکندگی رخساره‌های الکتریکی از ۸۲ حلقه چاه در میدان نفتی منصوری

جدول ۲. میانگین داده نمودارهای پتروفیزیکی هر ۴ رخساره الکتریکی مخزن بنگستان

رخساره الکتریکی	اشعه گاما API	زمان سیر صوت $\mu s/f$	تخلخل نوترونی v/v	دانسیته g/c^3	تخلخل ارزیابی v/v	اشباع آب v/v
۱	۱۶/۲	۷۱	۰/۱۷	۲/۴	۰/۱۸	۰/۲
۲	۱۸/۴۵	۶۲	۰/۱۰	۲/۵	۰/۱۰	۰/۴۲
۳	۲۴/۵۳	۵۴	۰/۰۴	۲/۶۰	۰/۰۵	۰/۳۵
۴	۳۴/۴۸	۶۰	۰/۰۸	۲/۶۳	۰/۰۲	۰/۹۳

تعیین ناهمگنی مخزن و واحدهای جریانی سیال

تعیین واحدهای جریان سیال و ناهمگنی مخزن یکی از مباحث مهمی است که یک مهندس مخزن و زمین‌شناس نفت برای تفسیر و پیش‌بینی رفتار حرکت سیالات در بازیافت ثانویه و روش‌های ازدیاد برداشت با آن مجادله دارد، مربوط به بهبود و سامان بخشیدن به داده‌های مغزه و نحوه استفاده از آن‌هاست. تراوایی یکی از خواصی است که به دلیل تغییرات فراوان نیازمند سامان‌دهی بیشتری دارد. موضوع اصلی و هدف از این بحث در مخزن یافتن تطابق چینه‌ای یا لایه مناسب برای تراوایی در ضخامت مفید مخزن است (Ahmad, 2001).

مهم‌ترین روش برای ارزیابی دقیق‌تر و ساماندهی داده‌های یک سیستم، بیان میزان درجه ناهمگنی آن سیستم است. درجه ناهمگنی عبارت است از عددی که بتواند به وسیله آن میزان غیر یکنواختی و متغیر بودن آن خاصیت را در سرتاسر مخزن را مشخص نماید. درجه ناهمگنی برای

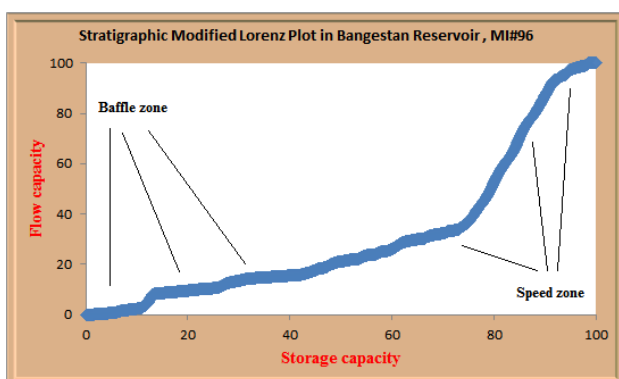
خاصیتی که در کل ضخامت یک سازند یکنواخت و ثابت است صفر در نظر گرفته می‌شود. مقدار درجه ناهمگنی با افزایش ناهمگنی افزایش می‌یابد، بطوریکه در حالت ناهمگنی کامل مقدار این درجه برابر یک خواهد بود. به بیان دیگر مقدار درجه ناهمگنی بین صفر (همگنی کامل) تا یک (ناهمگنی کامل) متغیر است. یکی از روش‌ها برای ارزیابی میزان ناهمگنی عمودی یک سازند عبارتند از روش لورنز است.

روش لورنز

لورنز در سال (Lorenz, 1905) به منظور پراکندگی میزان سلامت در جامعه آمریکا نموداری آماری را بنا کرد که پس از آن در فنون و علوم دیگر استفاده گردید. (Schmalz and Rahme, 1950) ثابت لورنز (ثابت L) را به منظور ارزیابی میزان ناهمگنی در یک ضخامت مفید از سازند تعریف نمودند. ثابت L از مقدار صفر برای سیستم همگن تا یک برای سیستم ناهمگن کامل متغیر است (Schmalz and Rahme, 1950).

تخلخل در عمق، محاسبه شده و سپس داده‌های حاصله به ۱۰۰ نرمال می‌گردد. بدین منظور پس از مجموع تجمعی داده‌ها، آخرین مجموع تجمعی داده با محاسبه مبدل به عدد صد گردید. داده‌های بدست آمده از حاصلضرب تراوایی در عمق و تخلخل در عمق، به ترتیب با عنوان ظرفیت جریان (Flow Capacity) و ظرفیت ذخیره (Storage Capacity) نامیده می‌شوند. با رسم ظرفیت جریان و ظرفیت ذخیره در مقابل یکدیگر در چاه‌های مختلف میدان منصوری می‌توان به خوبی راجع به تعدد واحدهای جریانی اظهار نظر نمود. منحنی‌های نمودار اصلاح شده چینه نگاری لورنز (SMLP)، نشانگر عملکرد جریان در مخزن می‌باشد (شکل ۱۰). پس از ترسیم نمودار مذکور در یک نظم چینه‌شناسی، بخش‌هایی از نمودار با شیب‌های متفاوت، ظرفیت ذخیره و جریان متفاوتی را نشان می‌دهند و بر این اساس می‌توان واحدهای جریان سیال را در ضخامت‌های مختلف تفکیک کرد. بخش‌های پرشیب نمودار، درصد ظرفیت جریان بیشتری نسبت به ظرفیت ذخیره داشته و بنابراین، دارای سرعت فرآیندهای مخزنی بالایی می‌باشد که اصطلاحاً زون‌های پرسرعت (Speed Zone) نامیده می‌شوند. بخش‌هایی از نمودار که دارای شیب کمتر و مسطح‌تر می‌باشند، ظرفیت ذخیره بالا و ظرفیت جریان کمی دارند که تحت عنوان زون‌های بسته (Tight Zone or Baffle Zone) نامیده می‌شوند (Chopra et al., 1989).

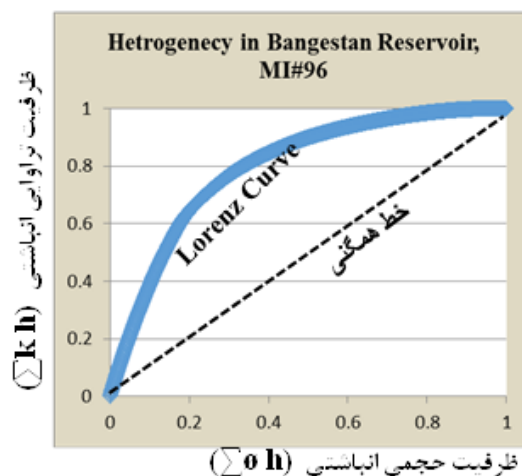
اگر داده‌ها پیوسته (Continuous) هموار (Smoothed) باشند، با استفاده از هر نمونه، می‌توان لورنز پلات را ترسیم کرد (Gunter et al., 1997). به دلیل مغزه گیری در معدودی از چاه‌ها و همچنین عدم پیوستگی مغزه‌ها، از این روش بخوبی استفاده نمی‌شود. لذا در این مطالعه، تعیین واحدهای جریانی بر پایه‌ی روش لورنز پلات، تنها در یک چاه امکان پذیر بوده است؛ زیرا در ۶ چاه دیگر فواصل مغزه‌ها بصورت پیوسته نبوده است درحالی که برای این کار پیوستگی داده‌ها (Gunter et al., 1997) لازم است. در این مطالعه، پس از محاسبه ظرفیت ذخیره و ظرفیت جریان در چاه شماره ۹۶، نمودار لورنز برای این چاه ترسیم و زون‌های پرسرعت و زون‌های بی‌نتیجه مشخص شده‌اند (شکل ۱۰). بر اساس اختلاف شیب در قسمت‌های مختلف نمودار، واحدهای جریان سیال یا HFU (Hydraulic Flow Unit) تعیین شدند (شکل ۱۱).



شکل ۱۰. نمودار اصلاح شده چینه نگاری لورنز در چاه شماره ۹۶ مخزن بنگستان میدان منصوری با استفاده از نمودارهای پیوسته مخزنی و موج استونلی و همچنین نمایش زون‌های پرسرعت (Speed zone) و زون‌های بسته (Baffle zone).

(1950; Ahmad, 2001). مراحل مختلف محاسبه ثابت L به شرح زیر است:

- گام ۱: مرتب نمودن مقادیر تراوایی به صورت نزولی.
- گام ۲: محاسبه ظرفیت تراوایی انباشتی و ظرفیت حجمی انباشتی. ظرفیت تراوایی انباشتی با $\sum kh$ و ظرفیت حجمی انباشتی با علامت $\sum \phi h$ نشان داده شده است.
- گام ۳: به منظور بیان مقادیر ظرفیت تراوایی انباشتی و ظرفیت حجمی انباشتی به صورت اعداد بین صفر و یک بایستی آن‌ها را بر مقادیر مربوط به کمترین تراوایی نرمال تقسیم نمود.
- گام ۴: در یک مقیاس معمولی، ترسیم ظرفیت تراوایی انباشتی نرمال شده را بر حسب ظرفیت حجمی انباشتی نرمال شده. برای یک سیستم کاملاً همگن، با رسم مقادیر این دو پارامتر نرمال شده یک خط راست بدست می‌آید. افزایش میزان ناهمگنی موجب تحذب منحنی به سمت گوشه بالایی سمت چپ محور مختصات می‌شود. به عبارت دیگر میزان انحراف از خط راست نشان دهنده درجه ناهمگنی است. به منظور بیان میزان ناهمگنی می‌توان از ثابت لورنز یا ثابت L استفاده نمود که چنین تعریف می‌شود. ناحیه پائین خط راست/ ناحیه پائین خط راست و منحنی محدب $L =$ در صورتی که L برابر صفر گردد سیستم همگن و اگر برابر یک، این سیستم ناهمگن است. در این مطالعه، مخزن بنگستان در چاه ۹۶ میدان منصوری تحت بررسی ناهمگنی مخزن قرار گرفت. مساحت ناحیه زیر منحنی تا خط راست برابر ۰/۲۹ و مساحت ناحیه پایین خط راست برابر ۰/۵ است که ثابت لورنز در چاه ۹۶ مخزن بنگستان میدان نفتی منصوری برابر ۰/۵۸ می‌شود (شکل ۹).



شکل ۹. نمایش ثابت L (ثابت لورنز) جهت نمایش ناهمگنی در مخزن بنگستان چاه ۹۶ میدان منصوری

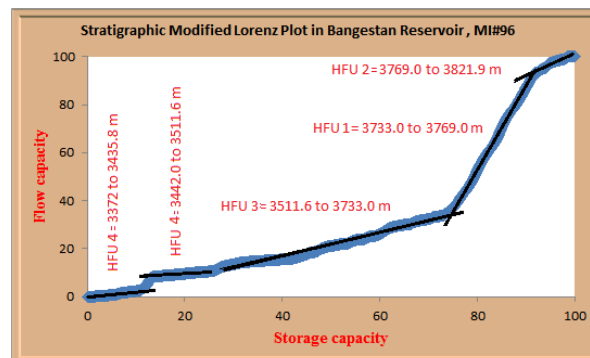
به منظور تعیین واحدهای جریانی با استفاده از نمودار لورنز (Lorenz Plot) که بهترین راه برای تعیین تعداد واحدهای جریانی در مخازن می‌باشد، استفاده از تکنیک نمودار اصلاح شده چینه نگاری لورنز (Stratigraphic Modified Lorenz Plot) است (Gunter et al., 1997). روش کار این تکنیک بدین صورت است که ابتدا تخلخل و تراوایی پیوسته در یک نظم چینه‌شناسی مرتب می‌شوند. سپس، حاصلضرب تراوایی در اعماق مربوطه ($K \times h$) و تخلخل در اعماق مربوطه ($\Phi \times h$) محاسبه می‌شوند، مجموع تجمعی داده‌های حاصل ضرب تراوایی در عمق و

(شکل ۱۱). به منظور درک بهتر واحدهای جریان، شاخص‌های آماری مهم مانند حداقل، حداکثر، انحراف از معیار، میانه و میانگین داده‌های مربوط به هر یک از هر چهار واحد جریان سیال تعیین شده (شکل ۱۱)، به طور جداگانه آورده شده است (جدول ۳) و در ادامه به تفسیر آن‌ها پرداخته شده است:

ویژگی هر کدام از واحدها مورد اشاره در زیر بیان می‌گردد:

HFU1: این واحد جریانی از لحاظ ضخامت در چاه شماره ۹۶، از عمق ۳۷۳۳ شروع و تا ۳۷۶۹ متری خاتمه میابد. بهترین نوع کیفیت مخزنی و همچنین بیشترین شیب و سهم بهره‌برداری مربوط به این واحد جریانی است. با مراجعه به (جدول ۳) مشخص می‌گردد که بیشترین مقدار تراوایی در این واحد جریانی است. میانگین مقدار تراوایی برابر ۳۰/۲۲۶۱ میلی داری و میانگین مقدار تخلخل ۱۸/۱۷ درصد است و لذا کلیه شواهد مخزنی را داراست.

HFU2: دارای شیبی نزدیک به واحد جریانی ۳ دارد لذا از واحد ۱ کیفیت مخزنی پایین‌تری دارد. از عمق ۳۷۶۹ آغاز و تا عمق ۳۸۲۱/۹ خاتمه میابد.



شکل ۱۱. واحدهای جریانی تعیین شده بر اساس تغییرات شیب در چاه شماره ۹۶ میدان نفتی منصوری بر اساس نمودار لورنز

واحدهای جریانی بر اساس تغییر در شیب نمودار جدا می‌شوند. قسمت‌های پرشیب با کیفیت مخزنی بالاتر و بخش‌های مسطح‌تر با کیفیت مخزنی پایین می‌باشند. بر این اساس تعداد چهار واحد جریانی تعیین شد

جدول ۳. پارامترهای آماری مهم واحدهای جریانی چاه شماره ۹۶ مخزن بنگستان میدان منصوری

پارامترهای آماری					واحدهای جریان
میانگین	میانه	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	
۰/۱۸۱۹۶	۰/۲۰۳۸۶	۰/۰۵۵۵۴	۰/۲۲۷۷۳	۰	تخلخل
۳۰/۲۲۶۱	۳۲/۹۶۱۹	۱۷/۱۰۳۰	۵۹/۶۷۳۸	۰	تراوایی
۰/۰۴۶۱۱۵	۰/۰۱۵۱۱	۰/۰۵۸۹۱۵	۰/۱۹۷۷۳	۰	تخلخل
۲/۲۴۱۰۵	۰/۰۰۵۶۱	۵/۲۰۸۵۱	۲۸/۶۵۲۳۸	۰	تراوایی
۰/۰۶۸۶۴	۰/۰۷۴۸۷۱	۰/۰۵۲۸۴	۰/۱۸۰۲۳	۰	تخلخل
۱/۹۱۲۲۰	۰/۶۳۱۹۵	۲/۸۷۸۷۲۸	۱۴/۶۳۶۸	۰	تراوایی
۰/۷۶۲۲۹۴	۰/۱۰۲۲۹۴	۰/۰۳۲۵۱	۰/۱۵۶۵۵	۰	تخلخل
۰/۷۸۳۲۵۰	۰/۶۸۳۲۵۰	۰/۵۲۶۶۵۷	۶/۹۵۵۲۸	۰	تراوایی

بررسی مقاطع نازک و مغزه‌ها

مقاطع نازک میکروسکوپی-پس از آنکه رخساره‌های الکتریکی در محیط نرم‌افزاری شکل یافتند، برای تأیید صحت خوشه‌بندی و درک ویژگی‌های طبیعی هر رخساره و نیز بررسی رخساره‌های سنگی و شرایط دیاژنزی آنها، مقاطع نازک میکروسکوپی مربوط به هر رخساره مورد مطالعه و توصیف قرار گرفت. از آنجاکه تعداد ۹۰۴ مقطع نازک مربوط به مغزه‌های حفاری وجود داشت و عمق دقیق هر کدام مشخص بود، بنابراین امکان قرار دادن هر مقطع نازک در مقابل رخساره مربوط به آن عمق وجود داشت. در این بین آن دسته از مقاطع که بر روی مرز عمقی دو رخساره الکتریکی قرار می‌گرفتند، برای کاهش خطای مطالعه از لیست مقاطع نازک بعنوان مقاطع مردود حذف شدند (جدول ۴). بعد از آنکه مقاطع نازک بر اساس رخساره‌ها مرتب شدند، به وسیله میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفت و توصیفات سنگ‌شناسی، بافتی و دیاژنزی آن‌ها ثبت گردید.

HFU3: واحد جریانی سوم که با شیب بیشتری نسبت به دو واحد جریانی ۱ و ۲ مشاهده می‌گردد. بخشی از تولید مخزن بنگستان این چاه به عهده این واحد جریانی است. از عمق ۳۵۱۱/۶ آغاز و در عمق ۳۷۳۳ متری خاتمه میابد. افزایش پارامترهای آماری مربوطه در جدول این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد.

HFU4: این واحد جریانی دارای شیب ملایم بوده و کیفیت مخزنی مناسبی ندارد. از عمق ۳۳۷۲/۲ آغاز و سرانجام در عمق ۳۵۱۱/۶ متری خاتمه یافته است. پارامترهای آماری ذکر شده در جدول هم گویای این موضوع می‌باشد.

بنابراین واحد ۱ بهترین کیفیت مخزنی را داراست. پس از آن واحد ۲ و ۳ و سپس واحد ۴ که کیفیت مخزنی مناسبی ندارد. یکی از مزایای واحد جریانی ۳ این است که ضخامت زیادی از مخزن را به خود اختصاص داده است و لذا فواصل بهره ده در این واحد مشاهده می‌گردد.

جدول ۴. فراوانی مقاطع نازک میکروسکوپی در هر یک از گونه‌های سنگی مخزن آسماری

شماره چاه	تعداد مقاطع نازک میکروسکوپی	تعداد مقطع در رخساره ۱	تعداد مقطع در رخساره ۲	تعداد مقطع در رخساره ۳	تعداد مقطع در رخساره ۴	تعداد مقاطع مردود
منصوری ۰۱#	۱۳۱	۳۱	۳۵	۴۸	-	۱۷
منصوری ۰۴#	۱۵۵	۱۳	۴۸	۶۷	۷	۲۰
منصوری ۲۵#	۱۶۰	۳۸	-	۱۱۱	-	۱۱
منصوری ۴۴#	۳۷	۶	۲۱	۸	-	۲
منصوری ۶۳#	۴۲۱	۹۰	۸۳	۱۲۵	۴۸	۷۷
جمع مقاطع	۹۰۴	۱۷۶	۱۸۷	۳۵۹	۵۵	۱۲۷

از بین ۴ خوشه مطرح شده در این میدان، سه خوشه ۱، ۲ به ترتیب بیشترین مقدار vuggy را دارد (شکل ۱۴ الف و ب). بیشترین مقدار شکستگی متعلق به رخساره الکتریکی شماره ۳ می‌باشد و تأثیر شکستگی در رخساره‌های ۲ و ۴ اندک و در رخساره یک بسیار پایین است (شکل ۱۵ الف). دلومیتی شدن در رخساره الکتریکی شماره ۳ به خوبی مشاهده می‌شود و اندکی در رخساره ۴ مشاهده گردید (شکل ۱۵ ب).

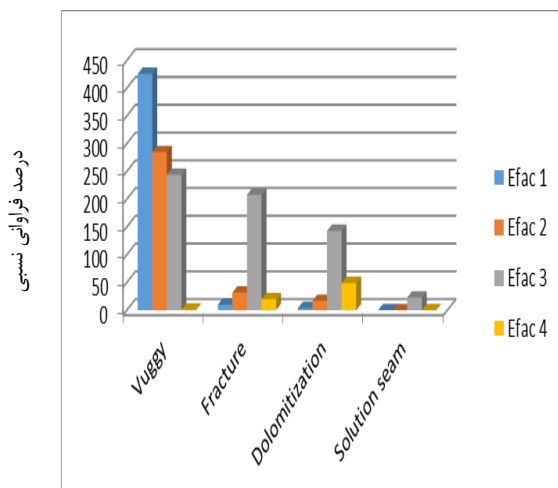
رگه‌های انحلالی در رخساره الکتریکی ۳ مشاهده شد. بطوریکه در مطالعه مقاطع مشاهده شد که مقاطع میکریتی تحت تأثیر رگه‌های انحلالی دچار تبلور دوباره و تبدیل به دولومیت شده‌اند (شکل ۱۶ الف). رخساره الکتریکی ۴ فاقد تخلخل قابل توجه و کیفیت مخزنی است. از سنگ‌های این رخساره الکتریکی بهره‌برداری صورت نمی‌گیرد (شکل ۱۶ ب).

عکسبرداری از مقاطع میکروسکوپی به صورت سیستماتیک انجام پذیرفت بطوری که بر اساس مطالعه رخساره‌ای در مقیاس‌های متفاوت و از زوایای مختلف با ذکر عمق و تعداد عکس از هر مقطع شماره‌گذاری شدند و در نهایت در محیط نرم افزار Excel حجم زیادی از عکس‌های مقاطع با روش‌های مختلف توصیف و نشانه‌گذاری شدند. مزیت این کار از آن جهت است که تمامی توصیفات بصورت کاملاً آماری قابل مطالعه و نمایش است.

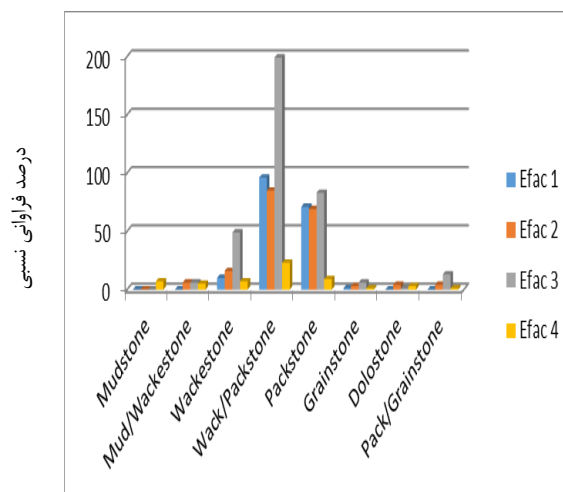
بافت‌شناسی رخساره‌های الکتریکی-مقایسه رخساره‌های الکتریکی از نقطه نظر بافتی با مطالعه مقاطع نازک مشخص گردید که اکثر سنگ‌های مخزن بنگستان و همه رخساره‌ها در میدان نفتی منصوری بیشتر وکستون / پکستون می‌باشند. در هر چهار نوع رخساره الکتریکی به وضوح مشخص است (شکل ۱۲).

توصیف دیاژنزی رخساره‌های الکتریکی

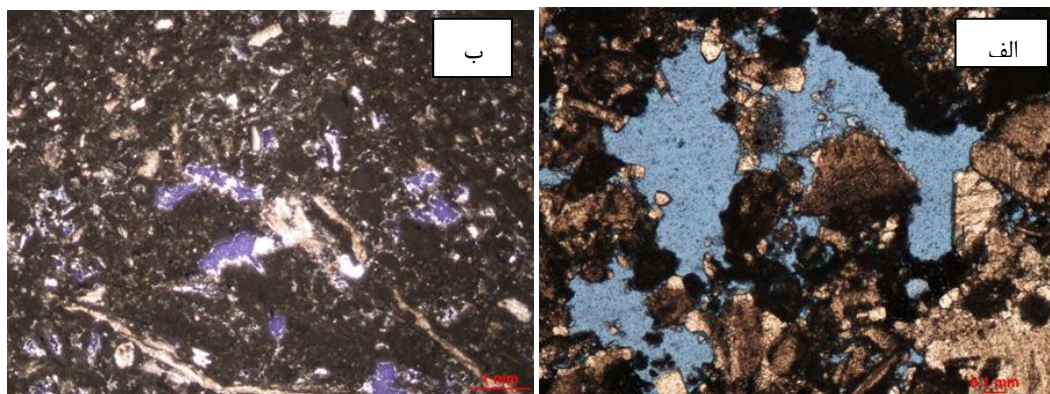
پس از بررسی مقاطع میکروسکوپی از نقطه نظر دیاژنز، برای درک بهتر خصوصیات هر رخساره الکتریکی مشاهدات هر کدام ثبت و آنها با هم مقایسه گردیدند (شکل ۱۳).



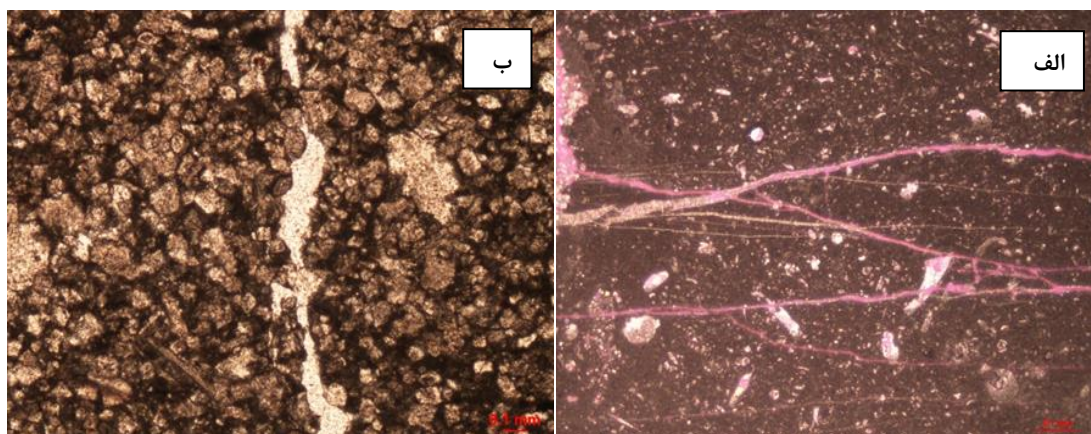
شکل ۱۳. توصیف فرایندهای دیاژنزی رخساره‌های الکتریکی



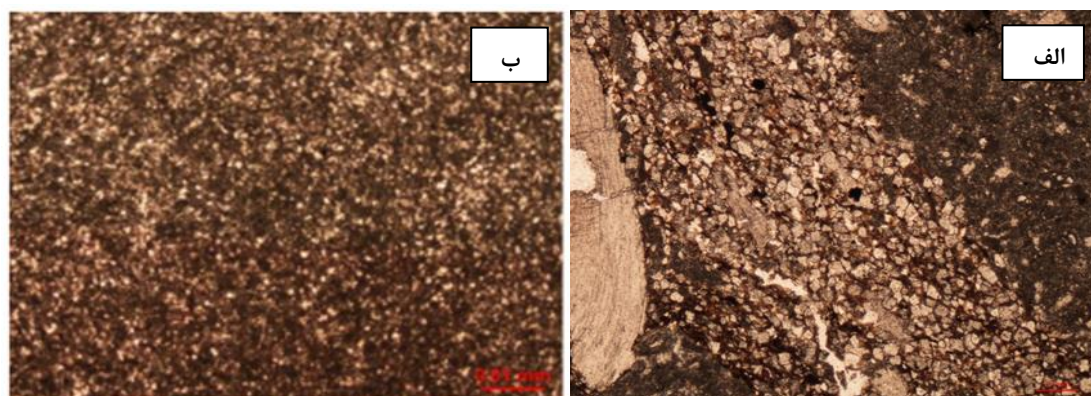
شکل ۱۲. تنوع بافتی در رخساره‌های الکتریکی بر اساس تقسیم‌بندی دانهام (۱۹۶۲) در مخزن بنگستان منصوری



شکل ۱۴. الف) وجود حفرات در رخساره شماره یک در عمق ۳۶۶۰ متری چاه شماره ۶۳؛ و ب) وجود حفرات در رخساره الکتریکی دو. عمق ۳۹۰۹ متری چاه شماره ۴ میدان منصوری



شکل ۱۵. الف) شکستگی در رخساره شماره ۳ در عمق ۳۶۵۶/۷۵ متری چاه ۲۵ و ب) دولومیتی شدن در رخساره شماره ۳ عمق ۳۴۲۸/۵ متری چاه ۶۳ میدان منصوری



شکل ۱۶. الف) رگه‌های انحلالی در رخساره شماره ۳ عمق ۳۶۷۰ متری چاه ۲۵ میدان منصوری و ب) رخساره ۴ و عدم شواهد مخزنی

آنالیز مغزه‌ها

تحلیل مغزه حفاری جهت تعیین کیفیت مخزن بکار می‌رود و از طریق تلفیق و جمع‌بندی عناصر کوچک مقیاس منفرد مخزن با یکدیگر به انجام می‌رسد (Nelson, 2001). برای استفاده از مغزه‌ها بصورت صحیح باید از یک بررسی کامل و اصولی استفاده کرد. یکی از اساسی‌ترین نکات در هنگام مطالعه مغزه‌ها تشخیص شکستگی‌های طبیعی از شکستگی‌های ایجاد شده در اثر عملیات حفاری یا شکستگی‌های مصنوعی است. در بررسی تخلخل خرده‌ها و مغزه‌های حفاری از طبقه‌بندی مشهور

(Archie, 1952) استفاده گردید. در دسته‌بندی (Archie, 1952) که

فقط برای سنگ‌های کربناته کاربرد دارد، تقسیم‌بندی جزئی‌تر به صورت زیر هست (جدول ۵)

۱) تخلخل ماتریسی - تخلخل ماتریس و غیرقابل رؤیت که به آن تخلخل بین دانه‌ای یا بین بلوری هم می‌گویند و طبق (جدول ۱) شامل انواع I، II و III می‌باشد. به فضای درون دانه‌ها و ذرات، تخلخل درون دانه‌ای و به فضای خالی بین انبوهی از دانه‌ها و ذرات نیز اصطلاحاً تخلخل بین دانه‌ای گفته می‌شود.

مقایسه رخساره‌های الکتریکی در مغزه‌ها

در بررسی و مطالعه مغزه‌های اخذ شده از مخزن بنگستان میدان نفتی منصوری با توجه به تعیین رخساره‌های الکتریکی موارد ذیل مشخص گردید (شکل ۱۷).

۱: در بین انواع تخلخل‌های نوع (Archie, 1952) از نوع ماتریسی، آهک نوع I و III مشاهده گردید. بنابراین در مخزن بنگستان در چاه‌های مورد مطالعه نوع آهک چالکی (II) مشاهده نگردید.

۲: اندازه فضاهای خالی رخساره الکتریکی ۱ و ۲ بیشتر از نوع B و قابل رؤیت با لوپ می‌باشد. اندازه فضاهای خالی در رخساره الکتریکی ۳ بیشتر از نوع A است.

۳: هر چهار رخساره دارای آغستگی نفتی هستند ولی رخساره ۴ از دیگر رخساره‌ها بشدت کمتر آغشته شده است.

۴: رگه‌های انحلالی در رخساره‌های ۳ و ۴ بیشتر از دو رخساره الکتریکی دیگر است (شکل ۱۷).

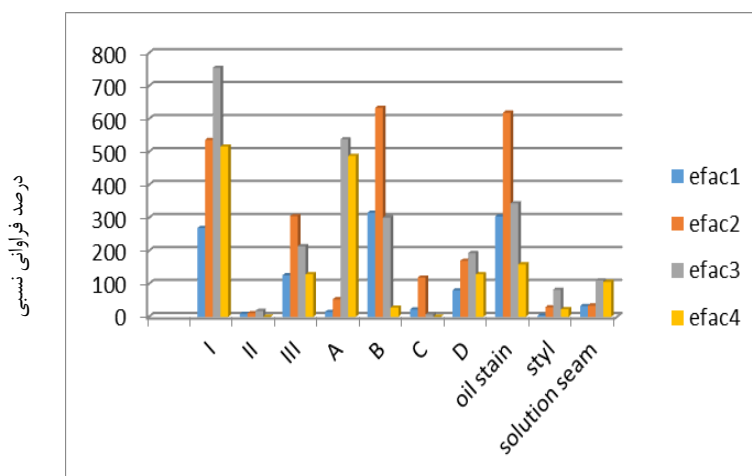
تخلخل بین بلوری نیز شامل تخلخل بین بلورهای متشکله یک سنگ می‌باشد. لازم به ذکر است که تخلخل‌های بین دانه‌ای، درون دانه‌ای و بین بلوری اغلب از نوع تخلخل اولیه متأثر از بافت می‌باشند.

۲) تخلخل حفره ای-تخلخل حفره‌ای یا قابل رؤیت که به انواع A، B، C و D تقسیم‌بندی می‌گردد. تخلخل حفره‌ای به فضاهای خالی غاری شکل و حفره‌های بزرگ گفته می‌شود. این نوع تخلخل در سنگ‌های مستعد انحلال از قبیل سنگ‌آهک رخ می‌دهد و در نتیجه جزء تخلخل ثانویه به حساب می‌آید.

در تقسیم‌بندی (Archie, 1952) برای نام‌گذاری، بطور همزمان می‌توان از دو تقسیم بندی بالا استفاده کرد. برای مثال در سنگ‌آهک سخت بدون حفرات قابل دید، نام آن Archie I-A می‌باشد و برای نام‌گذاری سنگ‌آهک سخت با حفره‌های باز به آن نام Archie I-D اختصاص می‌یابد. تمام مغزه‌های موجود از چاه‌های میدان مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند. بعضی از خصوصیات دیاژنزی و تکتونیکی آن‌ها نظیر سیمان شدگی، انحلال، شکستگی‌ها، حفرات و رگه‌های انحلالی و نیز میزان آغستگی آن‌ها به نفت ثبت و یادداشت برداری گردید.

جدول ۵. طبقه‌بندی تخلخل (Archie, 1952)

انواع ماتریکس-غیر قابل رؤیت		
I	سنگ‌های آهکی فاقد تخلخل	سنگ‌های آهکی کریستالین محکم با دانه‌های که کاملاً سیمانی شده‌اند. سخت و متراکم بوده و دارای ظاهری نوک تیز و زاویه‌دار در سطوح شکستگی‌ها که قطرات آب به سختی در آن نفوذ می‌کند.
II	آهک چالکی یا (گل سفید)	بافت چالکی-گچی، اندازه دانه‌ها کوچک‌تر از ۲۰ میکرون که زیر میکروسکوپ قابل رؤیت نمی‌باشند. قطرات آب به سرعت توسط بافت آن جذب می‌شود.
III	آهک دانه‌ای یا گرانولار	دانه‌ها به صورت بخشی سیمانی شده‌اند. اندازه دانه‌ها بزرگتر از ۲۰ میکرون است.
اندازه فضای خالی - تقسیم‌بندی تخلخل حفره‌های قابل رؤیت		
A	تخلخل غیر قابل مشاهده است.	
B	اندازه فضای خالی بین ۰/۱ تا ۰/۱ میلی‌متر است (قابل رؤیت با لوپ).	
C	اندازه فضای خالی بین ۰/۱ تا ۲ میلی‌متر است (قابل رؤیت با چشم).	
D	اندازه فضای خالی بزرگتر از ۲ میلی‌متر است (تخلخل حفره‌ای-شکستگی).	



شکل ۱۷. توصیف رخساره‌های الکتریکی در مغزه‌ها از نقطه نظر تخلخل (Archie, 1952) و مشخصات ظاهری

نتیجه گیری

در تفکیک زون مخزنی بنگستان میدان منصوری با استفاده از رخساره الکتریکی، از نمودارهای اشعه گاما، دانسیته، نوترون، صوتی و اشباع آب ۸۲ حلقه چاه، مدل میدانی بدست آمد. چهار نوع رخساره الکتریکی شناخته شد که رخساره یک تا سه به ترتیب از عالی تا متوسط می باشند. رخساره شماره چهار به عنوان رخساره غیر مخزنی شناخته شد. عامل پیدایش تراوایی بالا در رخساره یک و پس از آن در رخساره دو وجود حفرات (Vug) می باشد. کلیه فواصلی که در حال حاضر به عنوان رخساره یک و دو شناخته می شود می توان در چاه های آتی بعنوان فواصل با تراوایی بالا در نظر گرفته شود. اکثر فواصل بهره ده مخزن بنگستان در رخساره یک و دو می باشند. رخساره سه به دلیل تخلخل نوع A در رده سوم تراوایی قرار می گیرد. رخساره چهارم سهم بسزایی در تراوایی و همچنین

منابع:

- رحیمی بهار، ع. ا.، و پرهام، س.، ۱۳۹۱، تجزیه و تحلیل رخساره های الکتریکی با استفاده از رخساره های رسوبی، نشریه رخساره رسوبی، بهار-تابستان ۹۱، دوره ۵، شماره ۱، ص. ۶۱-۷۴.
- رحیمی بهار، ع. ا.، و حسین پور صیامی، ح.، ۱۳۹۱، تفکیک زون های مختلف مخزن هیدروکربنی با کمک رخساره های الکتریکی، پژوهش نفت، شماره ۷۲، ص. ۱۴۴-۱۵۳.
- زحمتکش، ا.، سلیمانی، ب.، غبیشاوی، ع.، و شیخزاده، ح.، ۱۳۹۴، شناسایی و تفسیر رخساره های الکتریکی و استفاده از آن جهت پیش بینی رخساره های رسوبی، در مخزن آسماری یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، تابستان ۹۴، شماره ۱۶، صفحه ۷۲-۸۱.
- سلیمانی، ب.، غبیشاوی، ع.، توسلی کجایی، ا. ر.، ۱۳۹۲، رخساره الکتریکی و انطباق آن ها با تراکم شکستگی ها در مخزن آسماری میدان نفتی لالی، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، زمستان ۹۲، شماره ۱۰، صفحه ۱-۹.
- سلیمانی، ب.، غبیشاوی، ع.، توسلی کجایی، ا. ر.، ۱۳۹۲، تعیین خصوصیات مخزنی با استفاده از تلفیق روش رخساره الکتریکی با داده های پتروفیزیکی و زمین شناسی یکی از میادین نفتی، اولین کنفرانس و نمایشگاه تخصصی نفت، ۹ صفحه
- کدخدایی ایلخچی، ر.، رضایی، ر.، موسوی حرمی، ر.، کدخدایی ایلخچی، ع.، ۱۳۹۳، بررسی رخساره های الکتریکی مخزنی در قالب واحدهای جریان هیدرولیکی در میدان ویچرنج مربوط به حوضه پرت واقع در استرالایای غربی، پژوهش های چینه نگاری و رسوب شناسی، جلد ۳۰، شماره ۱، صفحه ۱-۲۲.
- Abbaszadeh, M., Fujii, H., Fujimoto, F., 1996. Permeability Prediction by Hydraulic Flow Units - Theory and Applications: SPE Formation Evaluation, V. 11, P. 263-271.
- Ahmad, T., 2001. Reservoir Engineering Handbook, 2nd Edition, Gulf Professional Publishing: pp 1185.
- Al-Ibrahim, M.A., Sarg, R., Hurley, N., Cantrell, D., and Humphrey, J.D., 2015, Depositional Environments and Sequence Stratigraphy of Carbonate Mudrocks Using Edimentology, Multi-Scale Electrofacies Visualization, and Geochemical Analyses: Tuwaiq Mountain and Hanifa Formations, Saudi Arabia, AAPG Convention and Exhibition, Denver, Colorado, May 31-June 3, 2P.
- Amaefule, J.O., Altunbay, M., Tiab, D., Kersey, D.G. and Keelan, D.K., 1993, Enhanced Reservoir Description; Using Core and Log Data to Identify Hydraulic (Flow) Units and Predict Permeability in Uncored Intervals/Wells: Formation Evaluation and Reservoir Geology. Proceedings of the Society of Petroleum Engineers Annual Conference, Houston, 3-6 October 1993, 205-220.
- Archie, G. E., 1952, Classification of carbonate reservoir rocks and petrophysical considerations: AAPG Bulletin, V. 36, no 2, p. 278-298.
- Bagheri, A.M., Biranvand, B., 2006. Characterization of Reservoir Rock Types in a Heterogeneous Clastic and Carbonate Reservoir. JSUT, V.32, no.2, p.29-38
- Baldwin, J.L., Bateman, R.M., and Wheatley, C.L., 1990. Application of a neural network to the problem of mineral identification from well logs. The Log Analyst, 31 (5): 279-293.
- Baldwin, J.L., Otte, D.N., and Bateman, R.M., 1989. Computer emulation of human mental processes: application of neural network simulators to problems in well log interpretation. SPE Annual Technical Conference and Exhibition Proceedings (SPE-19619), v. omega, Formation Evaluation and Reservoir Geology: Society of Petroleum Engineers, 481-493 p.
- Busch, J.M.; Fortney, W.G., and Berry, L.N., 1987. Determination of lithology from well logs by statistical analysis. SPE Formation Evaluation, 2 (4): 412-418.
- Chautru, J.M., Chautru, E., Garner, D., Srivastava, R.M., Yarus, J.M., 2016, Using Spatial Constraints in Clustering for Electrofacies Calculation, Geostats: ManuTrak # 03-0151621-01.

تشکر و قدردانی

مؤلفین بر خود لازم می دانند از همکاری بخش پژوهشی و زمین شناسی مناطق نفت خیز جنوب در به اختیار گذاشتن داده ها و نیز زحمات کلیه همکاران و مسئولان پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز و سایر افرادی که ما را در بهبود کیفیت ارتقا این مقاله یاری نمودند به ویژه داوران محترم مقاله کمال تشکر را نمایند.

- Chopra, A. K., M. H. Stein, and J. C. Ader, 1989, Development of Reservoir Descriptions To Aid in Design of EOR Projects: SPE Reservoir Engineering, V. 4, p. 143-150.
- Correia, G.G., and Schiozer, D.J., 2016, Reservoir characterization using electrofacies analysis in the sandstone reservoir of the Norne Field (offshore Norway). *Petroleum Geoscience*, V. 19, doi:10.1144/petgeo2015-029.
- Garner, D.L., Yarus, J., and Srivastava, M. 2015, Modeling Three Ways from Electro-facies - Categorical, E-facies Probabilities, and Petrophysics with Assignment. *Petroleum Geostatistics 2015*, Biarritz, 7-11 September.
- Gunter, G. W., J. M. Finneran, D. J. Hartmann, and J. D. Miller, 1997, Early Determination of Reservoir Flow Units Using an Integrated Petrophysical Method, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, 1997 Copyright 1997, Society of Petroleum Engineers, Inc.
- Jennings, J. B., 1987, Capillary pressure techniques: application to exploration and development geology, AAPG Bull., Vol. 71, no.10, p. 1196-1209.
- Karimian Torghabeh, A., Rezaee, R., Moussavi-Harami, R., Pimentel, N., 2015, Using electrofacies cluster analysis to evaluate shale-gas potential: Carynginia Formation, Perth Basin, Western Australia, *Int. J. Oil, Gas and Coal Technology*, Vol. 10, No. 3, P.250-271.
- Krott, D., Hilgers, C., and Bucker, C., 2015, Facies delineation by using a multivariate statistical model from onshore wells in the Nile Delta, *Z. Dt. Ges. Geowiss. (German J. Geol.)*, 166 (4), p. 375–390.
- Kudryashova, L., Belozarov, V., and Pushtakov, E., 2015, Identification of electrofacies on the basis of well logging to determine sedimentation environment of horizon JK in Em-Egovskoe field (Western Siberia), *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, V. 27, P. 1-6.
- Kumar, B., Kishore, M., 2006, Electrofacies Classification – A Critical Approach, 6th International Conference and Exposition on Petroleum Geophysics. New Delhi, India
- Lorenz, M. O., 1905, Methods of measuring the concentration of wealth Publications of the American Statistical Association. V. 9 (New Series, No. 70), P. 209-219
- Lucia, J. F., 2007. Carbonate Reservoir Characterization An Integrated Approach, Springer, 332 P.
- Mwenifumbo, C.J. and Blangy, J.P., 1991. Short-term spectral analysis of downhole logging measurements from site 704, chapter 30, in Ciesielski, P.F., Kristoffersen, Y., et al., eds., *Proceedings of the Ocean Drilling Program. scientific results*, v. 114: Texas AandM University, Ocean Drilling Program, CollegeStation, Texas, 577-585 p.
- Nelson, R.A., 2001, *Geologic analysis of naturally fractured reservoirs*, 2nd ed., Gulf Professional Publishing is an imprint of Butterworth–Heinemann, 350P.
- Rabiller, P., 2005. Facies prediction and data modeling for reservoir characterization. FACIMAGE™ methodology, Illustrated user's guide of Geolog software 6.6.1 to Geolog 6.7™. Prepared by Rabiller Edited, Rabiller Geo-consulting.
- Rebelle, M., Umbhauer, F., and Poli, E., 2009. Pore to Grid Carbonate Rock-Typing, International Petroleum Technology Conference, Doha, Qatar, 2009, International Petroleum Technology Conference.
- Rezaeeparto, K., Rahimpour Bonab, H., Kadkhodaie, A., Arian, M., Hajikazemi, E., 2016, Investigation of Microfacies—Electrofacies and Determination of Rock Types on the Aptian Dariyan Formation NW Persian Gulf, *Open Journal of Geology*, V. 6, P. 58-78
- Rogers, S.J., Fang, J.H.; Karr, C.L., and Stanley, D.A., 1992. Determination of lithology from well logs using a neural network. *AAPG Bulletin*, 76 (5): 731-739.
- Schlumberger, 1989, *Log interpretation Principles/Applications*, Schlumberger Educational Services, Inc., Houston. 239P.
- Schmalz, J.P., and Rahme, H. D., 1950, The Variation of waterfld performance with Variation in Permeability Profile, *Prod. Monthly*; V.15, no. 9, p. 9-12.
- Serra, O. and Sulpice, L., 1975. Sedimentological analysis of shale-sand series from well logs. *Transactions of the SPWLA 16th Annual Logging Symposium*.
- Serra, O., and H. Abbot, 1980, The Contribution of Logging Data to Sedimentology and Stratigraphy, SPE of AIME, Transaction 55th Annual Fall Technology Conference and Exhibition, Dallas, Texas, 19p.
- Sherkati, S., and Letouzey, J., 2004, Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros Izeh zone and Dezful Embayment. *Iran, Marine and Petroleum Geology*, v. 21, p. 535–554.
- Tiab, D., Donaldson, E. C., 2004. *Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties*, 2nd Edition, Elsevier. Gulf Professional Publishing: 915 P.
- Vesanto, J., 1999, SOM-based visualization methods. *Intelligent Data Analysis*, V.3, P.111-126
- Wolff, M., and Pelissier-Combes, 1982. Automatic electrofacies determination. 23rd Annual Logging Symposium Transactions, Society of Professional Well Log Analysts, 22 p.
- Ye, S.J., and Rabiller, Ph., 2000. A new tool for electrofacies analysis: multi resolution graph based clustering. *SPWLA, 41 Annual Logging Symposium*, June 4-7.
- Zawila, J., Fluckiger, S., Hughes, G., Kerr, P., Hennes, A., Hofmann, M., Wang, H., and Titchmarsh, H., 2015, An integrated, multi-disciplinary approach utilizing stratigraphy, petrophysics, and geophysics to predict reservoir properties of tight unconventional sandstones in the Powder River Basin, Wyoming, USA, *SEG New Orleans Annual Meeting*, P. 2677-2681.