بررسی لایه‌های زغالی درون ماسه‌سنگ‌های گازی میدان ویچررنج واقع درحوضه پرت، استرالیای غربی

رحیم کدخدائی ایلخچی[1*]، رضا رضایی[2]، سیدرضا موسوی حرمی[3] و علی کدخدائی ایلخچی[4]

۱- پژوهشکده علوم زمین، پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی نفت، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۲- دپارتمان مهندسی نفت، دانشگاه کرتین استرالیا

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۴- دانشکده علوم طبیعی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۴

چکیده

ماسه‌سنگ‌های مخزن گازی میدان ویچررنج در حوضه پرت به‌عنوان بخشی از مخازن نامتعارف، متشکل از ماسه‌سنگ، سیلتستون، شیل و میان لایه‌های نازک زغالی هستند که در یک سیستم رودخانه مئاندری تشکیل شده‌اند. میان لایه‌های نازک زغالی در تناوب با رسوبات دانه‌ریز سیلتی و شیلی به‌عنوان منشاء گاز درون این ماسه سنگ‌ها محسوب می‌شوند. در این مطالعه با هدف شناسایی این میان لایه‌های زغالی براساس مشخصه‌های لاگ آنها، لاگ‌های پرتو گاما، چگالی و صوتی یک چاه در میدان مورد مطالعه در تطابق با مشخصه‌های مغزه بررسی شدند. نتایج نشان می‌دهد که این واحدها به‌طورکلی با مقادیر لاگ چگالی پایین، لاگ صوتی بالا و گامای متوسط نسبت به دیگر واحدهای سنگی مخزن (ماسه‌های تمیز، ماسه‌های شیلی و شیل) مشخص می‌شوند. با توجه به نازک لایه بودن و نیز همراهی و تناوب واحدهای زغالی با رسوبات دانه‌ریز شیلی سیلتی، مقادیر لاگ گاما و لاگ صوتی آنها تا حدودی تحت تاثیر قرار گرفته و دارای همپوشانی با سایر واحدهای سنگی است. لذا در مطالعه آنها لاگ چگالی پاسخ مطمئن‌تری را فراهم می‌کند. همچنین در مطالعات مخزنی میدان بهتر است که این واحدها برای تفکیک‌پذیر بودن به‌صورت توالی‌های نازک زغال‌دار در نظر گرفته شوند. از نتایج این مطالعه می‌توان در ارزیابی دقیق‌تر ویژگی‌های پتروفیزیکی و مطالعات چینه‌نگاری سکانسی ماسه‌سنگ‌های مخزنی میدان استفاده کرد.

کلمات کلیدی: ماسه‌سنگ‌های گازی، میان لایه‌های زغالی، لاگ‌های چاه‌پیمایی، میدان ویچررنج، حوضه پرت.

*مسؤول مکاتبات
آدرس الکترونیکی kadkhodaier@ripi.ir

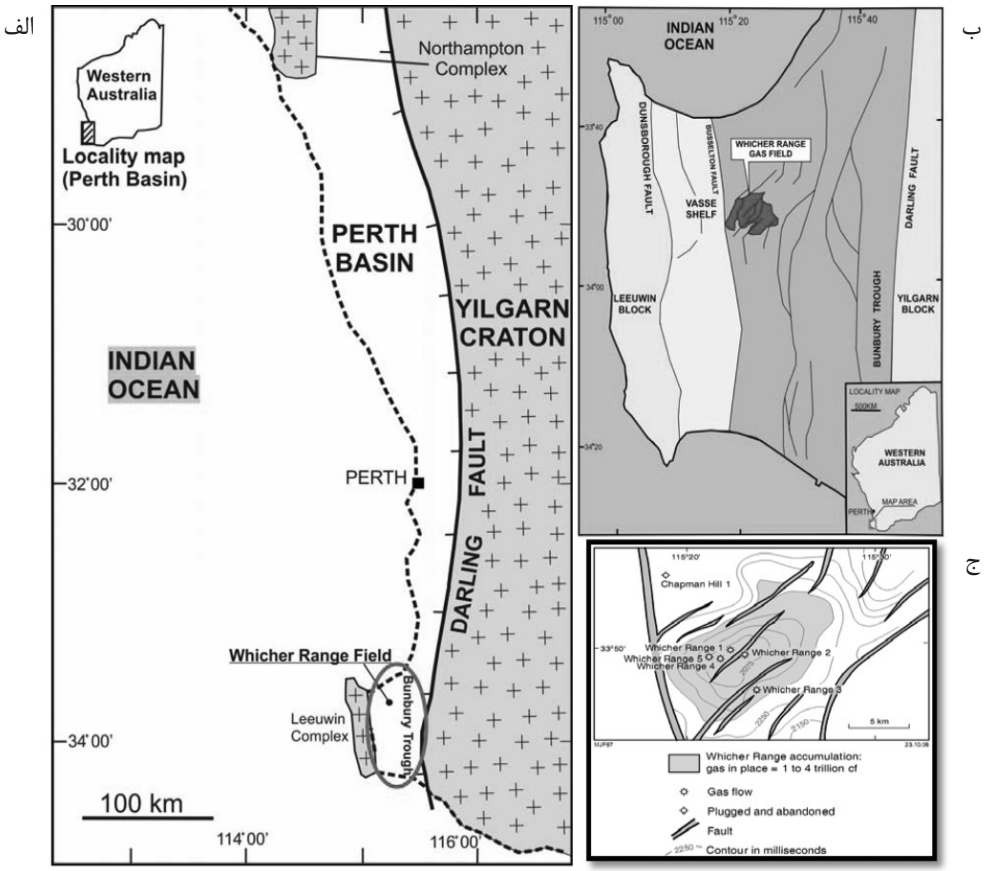
مقدمه

لایه‌هـای زغالـی درون رسـوبات و سـنگ‌های رسـوبی بـه لحـاظ اقتصـادی از گذشـته تاکنـون مـورد توجـه قـرار گرفته‌انـد. چنانچـه کاربـرد مسـتقیم زغـال به‌عنـوان یـک کانـه معدنـی در صنعـت و نیزنقـش آن به‌عنـوان سـنگ منشـاء گاز درون توالی‌هـای رسـوبی بیانگـر ایـن موضـوع اسـت.همچنین در دهه‌هـای اخیر،تولیـد و اسـتخراج گاز از زغال‌هـا به‌صـورت مخـازن لایـه زغالـی[1] و به‌عنـوان بخشـی از مخـازن نامتعـارف[2] آنهـا را به‌عنـوان یـک منبـع مهـم انـرژی در آمریـکا، کانـادا، اسـترالیا و دیگـر کشـورها تبدیـل نمـوده اسـت. لـذا لایه‌هـای زغالـی بـا توجـه بـه اهمیـت اقتصـادی کـه دارنـد در حوضه‌هـای مختلـف دنیـا توسـط افـراد مختلفـی مـورد مطالعـه قـرار گرفته‌انـد [۱-۹]. واحدهـای زغالـی درون توالی‌هـای رسـوبی به‌عنـوان واحدهـای مشـخص و منحصـر به‌فـردی هسـتند کـه می‌تواننـد به‌عنـوان شـاخصی در بررسـی محیـط رسـوبی و شـرایط آب و هوایـی دیرینـه و نیـز به‌عنـوان واحدهـای کلیـدی در انطبـاق واحدهـای سـنگی و مطالعـات چینه‌نـگاری اسـتفاده شـوند. از طرفـی مطالعـات چینه‌نـگاری سکانسـی می‌توانـد نقـش موثـری در شناسـایی و بررسـی توزیـع لایه‌هـای زغالـی درون توالی‌هـای رسـوبی داشـته باشـد. ماسه‌سـنگ‌های گازی میـدان ویچررنـج در حوضـه پـرت واقـع در اسـترالیای غربـی، کـه به‌عنـوان بخشـی از مخـازن نامتعـارف مـد نظـر قـرار می‌گیرنـد دارای میـان لایه‌هـای نـازک زغالـی هسـتند کـه به‌عنـوان منشـائی بـرای تولیـد گاز در ایـن سـازند مطـرح می‌باشـند. در مطالعـات مخـزن و بررسـی ویژگی‌هـای پتروفیزیکـی ماسـه سـنگ‌های ایـن میـدان، بـا توجـه بـه ایـن کـه واحدهـای زغالـی ضخامـت قابـل توجهـی ندارنـد و عمدتـا در همراهی با سـایر رخساره‌های مخزنـی ماننـد سیلتسـتون و شـیل هسـتند تفکیـک دقیق آنهـا ممکـن نمی‌باشـد. لـذا در ایـن مطالعـه بـه بررسـی لایه‌هـای نـازک زغالـی درون ماسـه سـنگ‌های میـدان براسـاس مشـخصه‌های سـنگ شناسـی و انطبـاق آنهـا بـا لاگ‌هـای چاه‌پیمایی‌میـدان می‌پردازیـم.

موقعیـت زمین‌شناسـی و چینه‌شناسـی حوضـه پـرت و میـدان ویچررنـج

اسـترالیای غربـی دارای بیـش از ۶۵ میـدان گازی و نفتـی اسـت کـه بیـش از ۸۰ ٪ منابـع گاز طبیعـی شـناخته شـده در اسـترالیا را در بـر می‌گیـرد [۱۰].حوضـه پـرت در جنـوب غـرب اسـترالیا بـا مقادیـر قابـل توجهـی از ذخایـر هیدروکربـوری شـناخته شـده می‌باشـدکه سـهم ویـژه‌ای از مخـازن گازی نامتعـارف را بـه خـود اختصـاص داده اسـت. مطالعـه سیسـتم نفتـی در حوضـه پـرت بیانگـر سـنگ‌های منشـاء بالـغ گسـترده، سـنگ‌های مخـزن فـراوان و سـاختارهای بـا گسـترش زمانـی مناسـب بـرای تله‌هـای نفتـی اسـت [۱۱]. ایـن حوضـه به‌صـورت یـک تـراف نامتقـارن[3] طویـل و باریـک بـا رونـد شـمالی- جنوبـی اسـت کـه بیـش از ۱۰۰۰ km از خـط سـاحلی را در جنـوب غـرب اسـترالیا شـامل می‌شـود [۱۲و ۱۳] (شـکل۱- الـف). گسـل دارلینـگ[4] کـه ایـن حوضـه را از سـمت شـرق محـدود کـرده اسـت کنتـرل عمـده‌ای در شـکل‌گیری و تکامـل حوضـه داشـته اسـت. در واقـع تشـکیل و تکامـل حوضـه متاثـر از دو فـاز اصلـی تکتونیکـی بـا سیسـتم کششـی اسـت. اولیـن فـاز کـه در پرمیـن پسـین به‌وقـوع پیوسـته اسـت همـراه بـا ایجـاد یـک حوضـه ریفتـی بـوده اسـت. واقعـه تکتونیکـی بعـدی طـی ژوراسـیک پسـین تـا کرتاسـه پیشـین بـا شکسـتگی و جدایـش صفحـه اسـترالیا از هنـد همـراه بـوده اسـت [۱۴-۱۶]. توالـی ضخیمـی از رسـوبات آواری متشـکل از ماسه‌سـنگ، سیلتسـتون و مادسـتون بـا مقادیـر کمتـری کنگلومـرا، سـنگ‌های کربناتـه و زغـال از زمـان پرمیـن پسـین تـا کرتاسـه در ایـن حوضـه ته‌نشـین شـده اسـت. میـدان ویچررنـج[5] در بخـش جنوبـی حوضـه پـرت، به‌عنـوان یکـی از میادیـن مهـم، سـهمی از مخـازن ماسـه سـنگی کـم تـراوا[6] را در ایـن حوضـه شـامل می‌شـود [۱۷ و ۱۸].

1. CoalBed
2. Unconventional Reservoirs
3. Asymmetrical Trough
4. Darling
5. Whicher Range
6. Tight Sand



شکل ۱ الف- طرح کلی از حوضه پرت واقع در استرالیای غربی با تغییراتی اقتباس از [۱۹]). ب- موقعیت میدان گازی ویچر رنجدر حوضه پرت [۱۳]. ج- نقشه ساختاری تاقدیس میدان ویچررنج و گسل‌های موجود درآن باروند به سمت شمال شرق که موقعیت چاه‌ها در آن نشان داده شده است [۱۹].

این میدان یک ساختار تاقدیسی بزرگ در تراف بانبری[1] است که در نتیجه حرکات امتداد لغز شدید در حین جدایش قاره‌ای شکل گرفته است [۱۳و ۱۹] (شکل ۱- ب). تاکنون ۵ حلقه چاه در این میدان و درون ساختار فوق حفر شده است شکل ۱- ج).

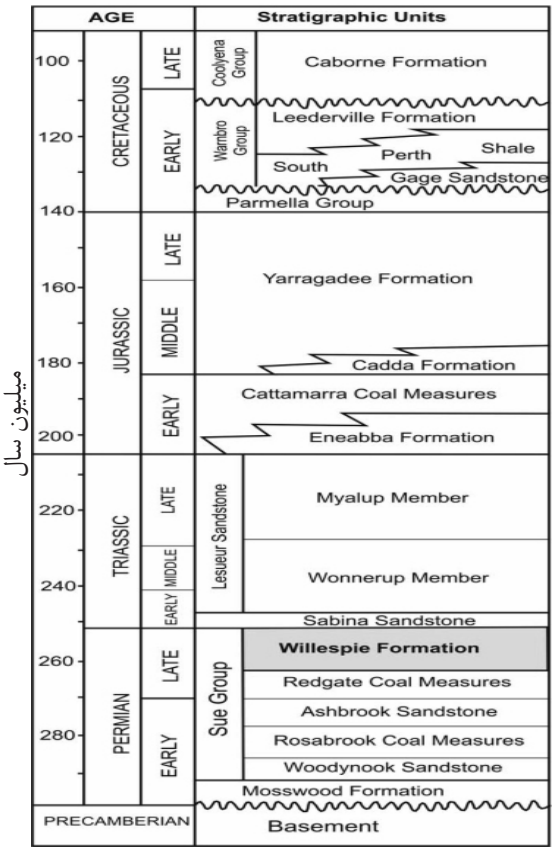
داده‌ها و روش مطالعه

در این تحقیق با هدف بررسی لایه‌های نازک زغالی درون ماسه‌سنگ‌های مخزنی میدان ویچررنج، در ابتدا مشخصه‌های سنگ‌شناسی (بافتی و دیاژنزی) این ماسه‌سنگ‌ها براساس مطالعات مغزه و مقاطع نازک میکروسکوپی یک چاه در میدان توصیف گردید. بر این اساس انواع واحدهای سنگ‌شناسی شامل ماسه سنگ‌ها، سیلتستون‌ها، شیل‌ها و میان لایه‌های نازک زغالی تفکیک شدند. بر مبنای نتایج حاصل از مطالعات قبلی [۲۰]، واحدهای سنگی مخزن براساس مقادیر لاگ گاما به سه دسته کلی ماسه سنگ‌های تمیز به‌عنوان واحدهای اصلی مخزن (GR < ۱۰۰)، ماسه‌سنگ‌های شیلی (۱۵۰ > GR > ۱۱۰) و واحدهای شیلی (GR> ۱۵۰) تفکیک شدند. به منظور بررسی و تفکیک دقیق‌تر لایه‌های زغالی درون توالی مخزن، از داده لاگ‌های چاه‌پیمایی میدان شامل لاگ گاما (GR)، چگالی (RHOB) و صوتی (DT) استفاده گردید. این داده‌ها قبل از اینکه مورد استفاده قرار گیرند پردازش شده و به لحاظ کشش لاگ و ریزش دیواره چاه تصحیح شدند. سپس با تلفیق داده‌های لاگ و نتایج حاصل از مطالعات مغزه،لایه‌های نازک زغالی درون توالی مخزن شناسایی و توصیف شدند.

1. Bunbury Trough

مشخصه‌های سنگ‌شناسی و محیط رسوبی ماسه سنگ‌های مخزن

بخش مخزنی میدان ویچررنج درون طبقات ماسه‌سنگی سازند ویلسپی[1] از گروه سو[2] با سن پرمین پسین قرار دارد که قبلا به‌عنوان Sue Coal Measures شناخته می‌شد (شکل۲). این طبقات در واقع یک توالی ریزشونده به سمت بالا متشکل از ماسه سنگ‌های فلدسپاتی با جورشدگی ضعیف، سیلتستون‌ها، شیل‌ها و زغال درون کانال‌های رودخانه‌ای هستند که ماسه‌سنگ‌های دانه درشت‌تر و متخلخل‌تر در قاعده کانال‌ها قرار دارند. ضخامت رگه‌های نازک زغال عدسی شکل درون این سازند عمدتا کمتر از m ۰/۵ است [۲۱]. ماسه‌سنگ‌ها مخزن به‌عنوان بخشی از مخازن نامتعارف، دارای نفوذپذیری کم تا خیلی کم (در حد میلی دارسی تا میکرودارسی) هستند به‌طوری‌که گاز موجود در آنها به‌طور طبیعی و در حد اقتصادی با روش‌های متداول حفاری قابل استحصال نیست. زغال‌ها و شیل‌های کربن‌دار درون توالی Sue Coal Measures به‌عنوان منشاء هیدروکربن‌های همراه با طبقات ماسه‌سنگی شناخته می‌شوند. شیل‌ها، سیلتستون‌های کربن‌دار و زغال‌های مربوط به این توالی به‌عنوان پوش‌سنگ‌های درون سازندی و سدهای تراوا[3] برای طبقات ماسه‌سنگی عمل نموده‌اند. ماسه سنگ‌های سازند ویلسپی به لحاظ بافتی از خیلی دانه‌ریز تا خیلی دانه درشت و در مواردی گراولی متغیرند. کوارتز (عمدتا تک بلوری و مقداری چند بلوری) و فلدسپات‌ها (پتاسیم‌دار و پلاژیوکلاز) جزء اصلی ذرات هستند و خرده‌سنگ‌ها، میکاها (بیوتیت و مسکویت) و کانی‌های سنگین (گارنت، زیرکن، تورمالین، اپیدوت، مگنتیت، گوتیت) فراوانی کمتری دارند. خرده‌سنگ‌ها شامل انواع آتشفشانی، دگرگونی و مقادیر کمتری چرت و انواع رسوبی هستند. ذرات عمدتا به‌صورت نیمه زاویه‌دار تا نیمه‌گرد شده و در مواردی زاویه‌دار و گردشده هستند. ماسه‌سنگ‌ها غنی از رس بوده و جورشدگی ذرات عمدتا ضعیف است. این ماسه‌سنگ‌ها به لحاظ بلوغ بافتی و کانی‌شناسی نابالغ تا نیمه بالغ بوده و طبق طبقه‌بندی فولک در گروه ماسه‌سنگ‌های فلدسپاتیک آرنایت تا ساب فلدسپاتیک آرنایت قرار می‌گیرند [۲۲]. ماسه‌سنگ‌های سازند ویلسپی، براساس مطالعات مغزه (مشخصه‌های سنگ‌شناسی و عوارض رسوبی)، توالی عمودی و زمین‌شناسی ناحیه‌ای، در یک محیط رودخانه مئاندری با پیچش کم تا متوسط همراه با نهشته‌های دریاچه‌ای/مردابی نهشته شده‌اند که در این محیط رخساره‌های مخزن در ارتباط با زیرمحیط‌های کانالی، نهشته‌های کرواس پهن و خاکریز کانال، نهشته‌های دشت سیلابی و نهشته‌های دریاچه‌ای-مردابی قابل تفکیک هستند.



شکل ۲ ستون چینه‌شناسی بخش جنوبی حوضه پرت [۲۴]. دراین توالی، سازندویلسپی (Willespie)، به‌عنوان سنگ مخزن میدان ویچررنج با سن پرمین پسین مشخص شده است.

1. Willespie Formation
2. Sue Group
3. Permeability Barriers

فرآیندهای دیاژنزی همچون تراکم عمدتا فیزیکی، سیمانی‌شدن توسط سیلیس، کلسیت و کانی‌های رسی طی مراحل دیاژنز اولیه و تدفینی ماسه‌سنگ‌های مخزن را به شدت متاثر ساخته‌اند [۲۳]. در جدول ۱، ویژگی‌های بافتی، عوارض دیاژنزی و مشخصه‌های پتروفیزیکی ماسه‌سنگ‌های سازند ویلسپی به‌طور کلی و خلاصه مشخص شده است.

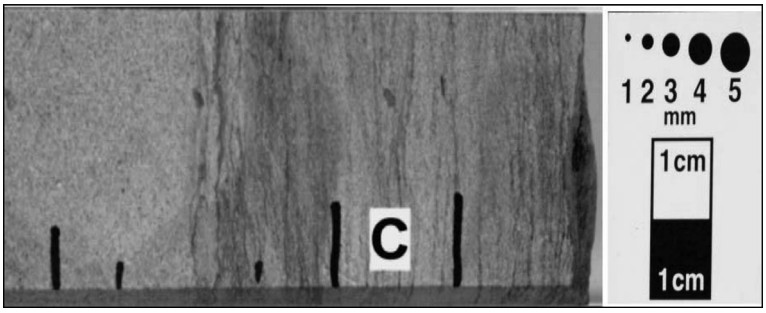
بررسی مشخصه‌های لایه‌های زغالی درون ماسه‌سنگ‌های میدان

ویژگی‌های سنگ‌شناسی و محیط رسوبی

یکی از مشخصه‌های سازند ویلسپی، حضور و همراهی لایه‌های زغالی با ماسه‌سنگ‌های آن است. همان‌طور که قبلا مورد بحث قرار گرفت رخساره‌های مخزنی سازند ویلسپی در زیرمحیط‌های مختلف یک رودخانه مئاندری شامل رسوبات پرکننده کانال، حاشیه کانال، دشت سیلابی و محیط‌های تالابی- دریاچه‌ای درون دشت سیلابی گسترش پیدا کرده‌اند. رسوبات دانه‌ریز سیلتستونی و مادستونی دشت سیلابی که همراه با رگچه‌ها و میان لایه‌های نازک زغالی هستند در قسمت بالای توالی ماسه‌سنگ‌های پرکننده کانال و حاشیه کانال قرار دارند و در نهایت به رخساره‌های دانه‌ریز و غنی از زغال نهشته‌های مردابی تبدیل می‌شوند. در واقع حضور زغال‌ها که به‌طور غالب در تناوب با رسوبات دانه‌ریز شیلی و سیلتستونی دیده می‌شوند (شکل ۳) در بخش‌های انتهایی توالی‌های ریزشونده به سمت بالای ماسه‌سنگ‌های مخزن بیانگر یک محیط کم‌انرژی و غنی از مواد گیاهی درون دشت سیلابی (مانند محیط تالابی) برای نهشته شدن آنهاست. ضخامت این لایه‌ها کم بوده و از چند سانتی‌متر تا حداکثر چند متر (m ۲-۱) متغیر است. زغال‌ها عمدتا سیاه رنگ بوده و از نوع بیتومین تا ساب‌بیتومین هستند [۲۵]. تولید گاز از سازند ویلسپی به حضور میان لایه‌های زغالی و شیل‌های کربن‌دار درون این سازند نسبت داده می‌شود. این واحدها دارای تمرکز بالایی از کربن آلی هومیک غیر دریایی هستند [۱۱ و ۱۳].

جدول ۱ مشخصه‌های بافتی، ساخت رسوبی، عوارض دیاژنزی و ویژگی‌های پتروفیزیکی سازند ویلسپی در میدان ویچررنج.

عوارض رسوبی و دیاژنزی	توصیف مشخصه‌ها
سنگ‌شناسی	ماسه‌سنگ فلدسپاتی، سیلتستون و شیل زغالی و کربن‌دار، زغال
اندازه ذرات ماسه‌سنگ	ماسه خیلی ریز تا خیلی درشت و در مواردی گراولی
جورشدگی	ضعیف تا متوسط و در مواردی خوب (به ویژه در ماسه‌های دانه‌ریز)
گردشدگی	عمدتا نیمه گردشده تا نیمه زاویه‌دار و در مواردی گرد شده و زاویه‌دار
ساخت‌های رسوبی	طبقه‌بندی و لامیناسیون مورب، توالی به سمت بالا ریز شونده، آثار آشفتگی زیستی، سطوح فرسایشی، ساخت‌های تغییرشکل هم‌زمان با رسوب‌گذاری
بلوغ بافتی و ترکیبی	نابالغ تا نیمه بالغ
محیط رسوبی	رودخانه مئاندری با پیچش کم تا متوسط- دریاچه‌ای/ مردابی
فرآیندهای دیاژنزی	تراکم، سیمانی شدن، انحلال، جانشینی، دگرسانی
نوع سیمان	رسی، کربناته (عمدتا کلسیتی) و سیلیسی
نوع منافذ تخلخل	منافذ تخلخل ثانویه (انحلالی مجزا)، ریزتخلخل مرتبط با کانی‌های رسی و مقادیری منافذ بین‌دانه‌ای اولیه
میزان تخلخل	۵ تا ۱۶٪
میزان تراوایی	کوچکتر ۱۰ md



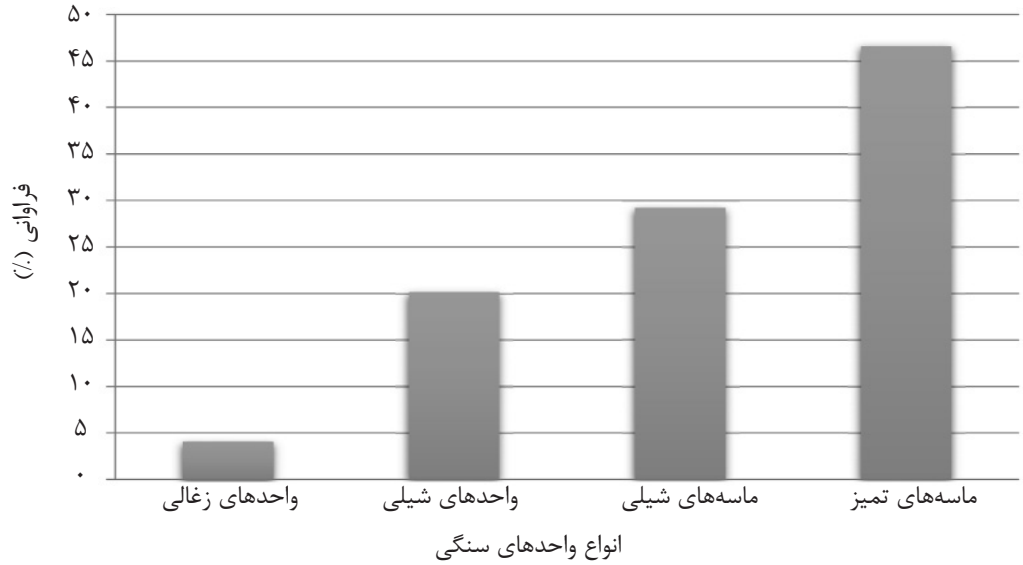
شکل ۳ تصویر نمونه مغزه ازمیان لامیناسیون‌هایی از زغال (C) وسیلتستون کربن‌دار. این رخساره در قسمت‌های کم انرژی محیط دشت سیلابی (محیط تالابی) نهشته شده است.

ویژگی‌های پتروفیزیکی

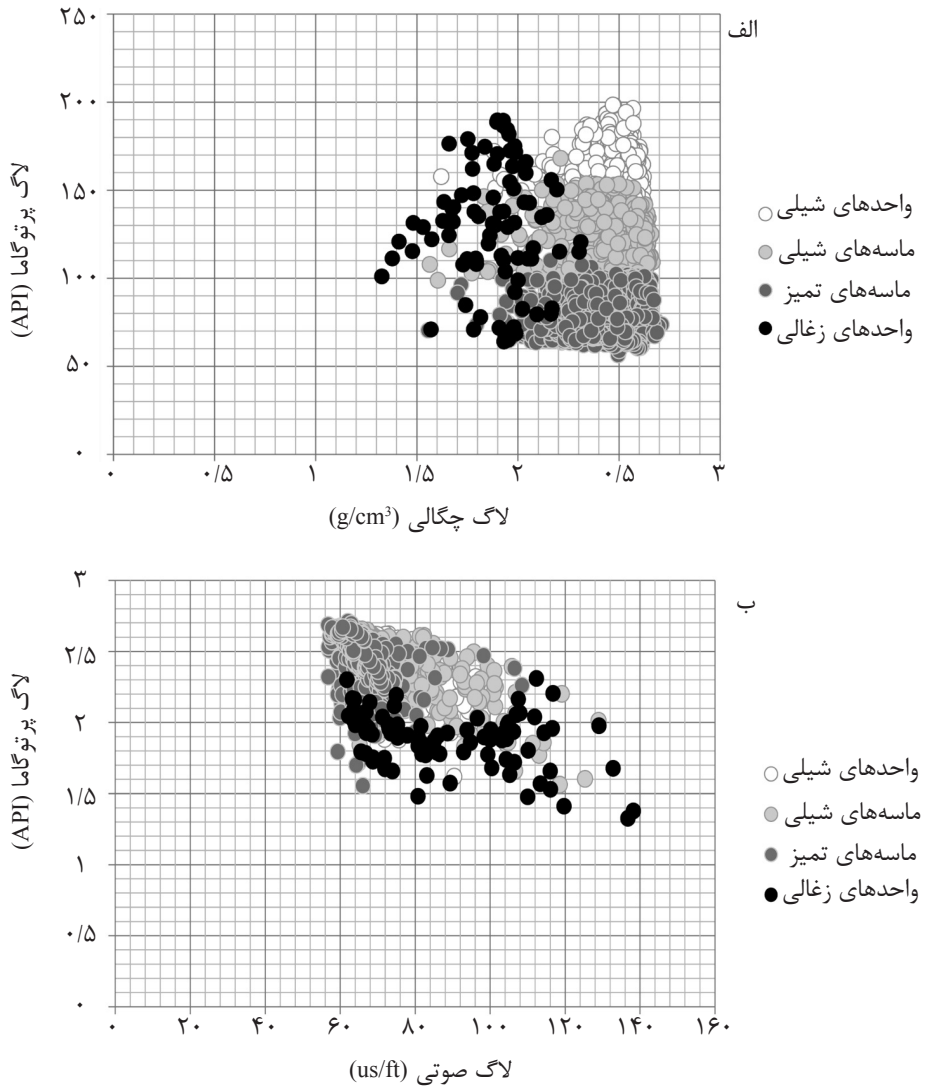
اگرچه ویژگی‌های فیزیکی زغال‌ها با توجه به نوع آنها (آنتراسیت، بیتومین و لیگنیت) متغیر است اما پاسخ‌های لاگ آنها عمدتا با مقادیر گامای پایین، نوترون بالا، چگالی پایین، لاگ صوتی بالا و مقاومت بالا مشخص می‌شود [۲۶]. میان لایه‌های نازک زغالی درصد ناچیزی (کمتر از ۵٪) از واحدهای سنگ‌شناسی درون توالی مخزن مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند (شکل۴). از این رو شناسایی آنها براساس مطالعات لاگ با توجه به نازک لایه بودن و نیز درصد ناچیز آنها باید با دقت بالایی صورت گیرد. از طرفی بخش عمده زغال‌ها همراه با رسوبات دانه‌ریز مادستونی و سیلتستونی درون مخزن یا در ترکیب با آنها وجود دارند که می‌توانند بر پاسخ لاگ‌های ثبت‌شده توسط آنها تاثیرگذار باشد. در این مطالعه از لاگ‌های پرتوگاما، چگالی و صوتی در شناسایی مشخصه‌های لاگ میان لایه‌های نازک زغالی درون مخزن استفاده گردید. لذا مشخصه‌های لاگ این لایه‌ها در مقایسه با سه واحد یا گونه سنگی رسوبی مشخص شده براساس مطالعات قبلی [۲۰] بررسی شد که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. همچنین از نمودار پراکندگی داده‌های لاگ گاما در مقابل لاگ چگالی و نیز لاگ چگالی در مقابل لاگ صوتی برای نمایش بهتر نتایج استفاده شده است (شکل۵). چنانچه از جدول ۲ مشخص است میان لایه‌های نازک زغالی درون مخزن با مقادیر متوسط چگالی پایین (۱/۸۸ g/cm^3)، لاگ صوتی بالا (۸۸ us/ft) و گامای متوسط (۱۲۸ API) نسبت به سایر واحدهای سنگی مشخص می‌شوند. با توجه به نمودارهای شکل ۵، واحدهای زغالی به‌صورت میان لایه‌های نازک و نیز در ترکیب با واحدهای دانه‌ریز شیلی- سیلتی براساس مقادیر لاگ چگالی پایین‌تر نسبت به دیگر واحدهای رسوبی برروی نمودار قابل تفکیک هستند. اما نسبت به مقادیر لاگ گاما و نیز لاگ صوتی دارای طیف گسترده‌تری بوده و با دیگر واحدهای سنگی رسوبی همپوشانی نشان می‌دهند. واحدهای ماسه سنگی تمیز با مقادیر گامای پایین که رخساره‌های ماسه سنگی دانه‌درشت تا دانه‌متوسط و دانه‌ریز کانالی را شامل می‌شوند با توجه به تاثیر فرآیندهای دیاژنزی مانند سیمانی‌شدن توسط سیلیس و کلسیت عمدتا دارای مقادیر لاگ صوتی پایین‌تری نسبت به سایر واحدهای سنگی و از جمله واحدهای زغالی هستند.

بحث و نتایج

میان لایه‌های زغالی همراه با طبقات ماسه‌سنگی میدان ویچررنج که به‌عنوان سنگ منشاء درجا و نیز پوش‌سنگ‌های درون سازندی در میدان ویچررنج عمل نموده‌اند به‌دلیل ضخامت کم و نیز همراهی با واحدهای دانه‌ریز شیلی و سیلتستونی، به‌صورت واحدهای کاملا مجزا و مشخص در راستای اهداف مطالعات پتروفیزیکی قابل تمایز نیستند. چنانچه در تفکیک آنها براساس لاگ‌های چاه‌پیمایی، لاگ‌های گاما و صوتی تحت تاثیر رخساره‌های دانه‌ریز همراه قرار می‌گیرند.



شکل ۴ نمودار هیستوگرام فراوانی انواع واحدهای سنگی درون توالی ماسه‌سنگ‌های مخزنی سازند ویلسپی.

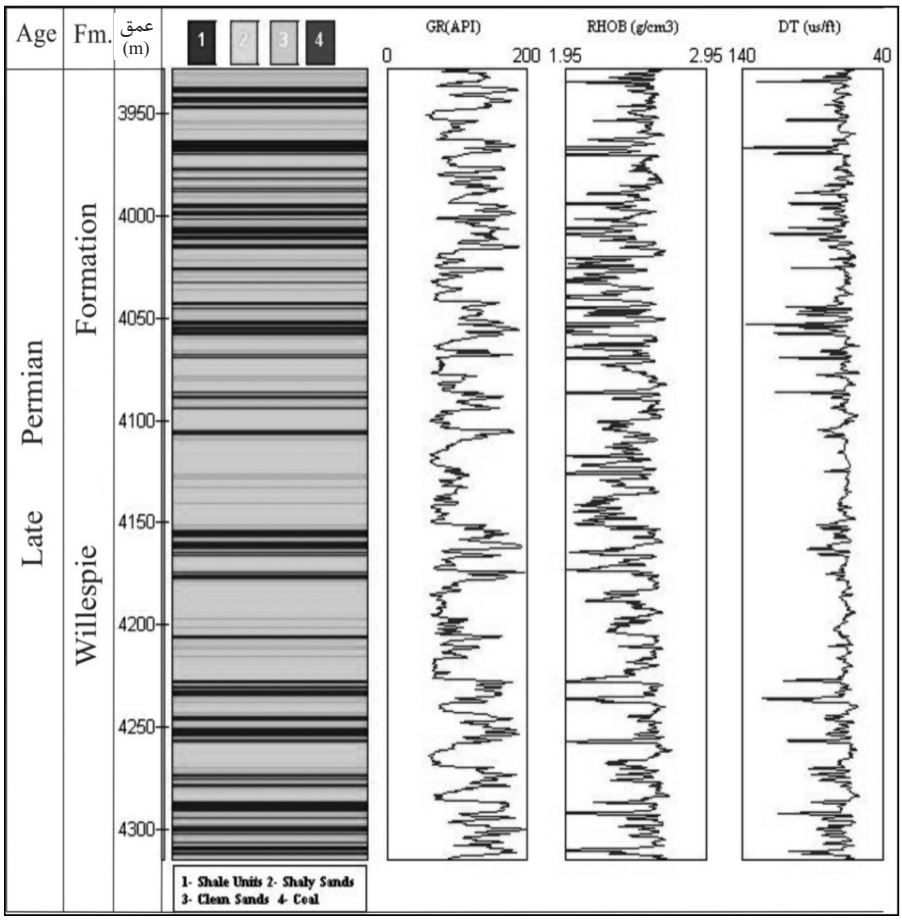


شکل ۵ (الف) نمودار پراکندگی داده‌های لاگ پرتو گاما در مقابل چگالی و (ب) نمودار چگالی در مقابل لاگ صوتی برای انواع واحدهای سنگی درون مخزن.

جدول ۲ مقادیر کمی لاگ برای واحدهای مختلف سنگ‌شناسی درون مخزن مورد مطالعه.

Lithological Units		GR (API)	DT(us/ft)	RHOB (g/cm^3)
Shale Units	Min	۱۴۱/۹۱	۶۳/۷۴	۱/۶۲
	Average	۱۶۲/۳۶	۷۳/۱۸	۲/۴۷
	Max	۱۹۸/۴۱	۱۰۱/۲۲	۲/۶۳
Shaly Sands	Min	۹۸/۷۰	۵۹/۹۶	۱/۵۶
	Average	۱۲۳/۴۱	۷۱/۰۲	۲/۴۷
	Max	۱۶۸/۱۸	۱۲۸/۹۲	۲/۶۶
Clean Sands	Min	۵۶/۴۹	۵۶/۷۷	۱/۵۶
	Average	۸۱/۳۵	۶۶/۱۴	۲/۴۲
	Max	۱۱۰/۱۲	۱۰۸/۴۹	۲/۷۱
Coal Units	Min	۶۴/۱۷	۶۱/۷۷	۱/۳۳
	Average	۱۲۸/۶۵	۸۸/۷۹	۱/۸۸
	Max	۱۸۹/۷۶	۱۳۸/۱۷	۲/۳۱

در مقایسه، لاگ چگالی پاسخ مطمئن‌تر و توان تفکیک بالاتری را فراهم می‌نماید. نتایج حاصل از بررسی مشخصه‌های رخساره‌ای و پتروفیزیکی در میدان مورد مطالعه نشان می‌دهد که میان لایه‌های زغالی نازک لایه که عمدتا در بخش‌های فوقانی توالی‌های ریزشونده به سمت بالا همراه با شیل‌ها و سیلتستون‌های محیط دشت سیلابی، درون یک سیستم رودخانه مئاندری گسترش پیدا کرده‌اند به لحاظ کاربردی و از دیدگاه مطالعات رسوبی و مخزنی بهتر است به‌صورت توالی‌های رسوبی نازک زغال‌دار در نظر گرفته شوند. این دیدگاه هم در شناسایی و انطباق آنها در میدان مفید بوده و هم به لحاظ تفکیک گونه‌های سنگی مخزن و نیز مطالعات چینه‌نگاری سکانسی کمک موثری می‌نماید. واحدهای زغالی با توجه به گستردگی و نیز نقشی‌که برای آنها در تولید گاز در اکثر میدان‌های حوضه پرت و از جمله در میدان مورد مطالعه در نظر گرفته شده است [۱۱ و ۱۳] به لحاظ مخزنی و اقتصادی حائز اهمیت فوق العاده‌ای هستند. همچنین این واحدها به‌عنوان سطوح چینه‌شناسی مشخص و کلیدی در انطباق طبقات و مطالعات چینه‌نگاری سکانسی میدان ویچرنج مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲۷] نتایج این مطالعه می‌توانند در شناسایی میان لایه‌های زغالی میدان به منظور مطالعات پتروفیزیکی و ارزیابی مخزنی کمک موثری نماید. در شکل ۶ توالی سنگ‌شناسی انواع واحدهای رسوبی درون مخزن در تطابق با لاگ‌های مورد استفاده در این مطالعه نشان داده شده است. چنانچه از این شکل مشخص است واحدهای نازک زغالی درصد ناچیزی از توالی مخزن را تشکیل می‌دهند..



شکل ۶ انطباق توالی ماسه‌سنگ‌های مخزن سازند ویلسپی بر مبنای چهار واحد سنگی مختلف شامل واحدهای شیلی، ماسه‌سنگ‌های شیلی، ماسه‌سنگ‌های تمیز و واحدهای زغالی با لاگ‌های چاه‌پیمایی (گاما، چگالی و صوتی) در چاه مورد مطالعه در میدان ویچررنج.

نتیجه‌گیری

ماسه‌سنگ‌های مخزن گازی سازند ویلسپی در میدان ویچررنج به‌عنوان بخشی از مخازن نامتعارف محسوب می‌شوند. این ماسه‌سنگ‌ها متشکل از ماسه‌سنگ، سلیتستون، شیل و زغال هستند که در زیرمحیط‌های مختلف یک سیستم رودخانه مئاندری تشکیل شده‌اند. میان لایه‌های نازک زغالی که در یک محیط کم‌انرژی و غنی از مواد گیاهی درون دشت سیلابی (محیط تالابی) تشکیل شده‌اند. در تناوب و همراه با رسوبات دانه‌ریز شیلی و سیلتستونی کربن‌دار به‌عنوان منشاء گاز درون این سازند محسوب می‌شوند نتایج حاصل از بررسی لاگ‌های چاه‌پیمایی نشان می‌دهد که میان لایه‌های زغالی با مقادیر میانگین چگالی پایین، لاگ صوتی بالا و گامای متوسط نسبت به سایر واحدهای سنگی درون مخزن شامل ماسه‌سنگ‌های تمیز، ماسه‌سنگ‌های شیلی و شیل‌ها مشخص می‌شوند. همراهی این میان لایه‌ها در ترکیب و نیز در تناوب با رسوبات دانه‌ریز سیلتی و شیلی بر مقادیر لاگ‌های گاما و صوتی آنها تاثیر گذار بوده است. لذا در شناسایی این واحدها براساس مشخصه‌های لاگ آنها، لاگ چگالی دقیق‌تر است. همچنین این واحدها با توجه به نازک لایه بودن و نیز تناوب آنها با واحدهای دانه‌ریز مخزن، باید به‌صورت توالی‌های نازک زغال‌دار در نظر گرفته شوند. نتایج این مطالعه می‌تواند در بررسی پتروفیزیکی ماسه‌سنگ‌های مخزن و نیز مطالعات چینه‌نگاری سکانسی مفید باشد.

مراجع

[1]. Ayers Jr. W. B., *"Coalbed gas systems, resources, and production and a review of contrasting cases from the San Juan and Powder River basins,"* AAPG Bulletin, Vol. 86, No. 11, pp.1853-1890, 2002.

[2]. Montgomery S. L., Barker C. E., Seamount D., Dallegge T. A. and Swenson R. F., *"Coalbed methane, Cook Inlet, south-central Alaska: A potential giant gas resource,"* AAPG Bulletin, Vol. 87, No. 1, pp.1-13, 2003.

[3]. Zhang E., Hill R. J., Katz B. J. and Tang Y., *"Modeling of gas generation from the Cameo coal zone in the Piceance Basin, Colorado,"* AAPG Bulletin, Vol. 92, No. 8, pp. 1077-1106, 2008.

[4]. Deisman N., Gentzis T. and Chalaturnyk R. J., *"Unconventional geomechanical testing on coal for coalbed reservoir well design: The Alberta Foothills and Plains,"* International Journal of Coal Geology, Vol. 75, pp. 15-26, 2008.

[5]. Karacan C.Ö., *"Reservoir rock properties of coal measure strata of the Lower Monongahela Group," Greene County (Southwestern Pennsylvania), from methane control and production perspectives,"* International Journal of Coal Geology, Vol. 78, pp. 47-64, 2009.

[6]. Petersen H. I., Lindström S., Nytoft H. P. and Rosenberg P., *"Composition, peat-forming vegetation and kerogen paraffinicity of Cenozoic coals: Relationship to variations in the petroleum generation potential (Hydrogen Index),"* International Journal of Coal Geology, Vol. 78, No.2, pp. 119-134, 2009.

[7]. Tang X., Zhang J., Shan Y. and Xiong J., *"Upper Paleozoic coal measures and unconventional natural gas systems of the Ordos Basin, China,"* Geoscience Frontiers, Vol. 3, No. 6, pp. 863-873, 2012.

[8]. Petersen H. I., Lindström S., Therkelsen J. and Pedersen G. K., *"Deposition, floral composition and sequence stratigraphy of uppermost Triassic (Rhaetian) coastal coals, southern Sweden,"* International Journal of Coal Geology, Vol. 116-117, pp.117-134, 2013.

[9]. Towler B., Firouzi M., Underschultz J., Rifkin W., Garnett A., Schultz H., Esterle J., Tyson S. and Witt K., *"An overview of the coal seam gas developments in Queensland,"* Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol. 31, pp. 249-271, 2016.

[10]. "Geological Survey of Western Australia and Petroleum and Royalties Division," Summary of petroleum prospectivity, Western Australia 2007: Bonaparte, Bight, Canning, Officer, Perth, Northern Carnarvon, and Southern Carnarvon Basins: Western Australia Geological Survey," p. 32, 2007.

[11]. Owad-Jones D. and Ellis G., "*Atlas of petroleum fields, onshore Perth Basin*," Petroleum Division, DMEWA, Vol. 1, p.122, 2000.

[12]. Cadman S. J., Pain L. and Vuckovic V., "*Perth Basin, W.A., Australian Petroleum Accumulations*," Report 10, p.116, Bureau of Resource Sciences, Canberra, 1994.

[13]. Crostella A. and Backhouse J., *"Geology and petroleum exploration in the central and southern Perth Basin: Western Australia Geological Survey,"* Report 57, p. 85, 2000.

[14]. Marshall J. F., Lee C. S., Ramsay D. C. and Moore A. M. G., *"Tectonic controls on sedimentation and maturation in the offshore north Perth Basin,"* Australian Society of Exploration Geophysicists Journal, Vol. 29, pp. 450-465, 1989.

[15]. Mory A. J. and Iasky R. P., *"Stratigraphy and structure of the onshore northern Perth basin,"* Western Australia: Western Australia Geological Survey, Report No. 46, pp. 101, 1996.

[16]. Quaife P., Rosser J. and Pagnozzi S., *"The structural architecture and stratigraphy of the offshore northern Perth Basin,"* Western Australia. In: Purcell, P.G, Purcell, R.R. (Eds.), The Sedimentary Basins of Western Australia, Proceedings of Petroleum Exploration Society of Australia Symposium. Petroleum Exploration Society of Australia, pp. 811-822, 1994.

[17]. Manifold C., Dholkawala Z., Skinner M., Braddock J. and Tamke R., "*Tight Gas, a Western Australian perspective,"* SPE NEWS, pp. 17-21, 2009.

[18]. Ingrid Campbell, Lakes Oil, *"An overview of Tight Gas Resources in Australia,"* Petroleum Exploration Society of Australia NEWS, pp. 95-100, 2009.

[19]. Sharifzadeh A., "*Tight-gas resources in the Northern Perth Basin*," Petroleum W.A Magazine, pp. 41-44, 2008.

[20]. Kadkhodaie-Ilkhchi R., Rezaee R., Moussavi Harami R. and Kadkhodaie-Ilkhchi A., *"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, Vol. 111, pp.106-120, 2013.

[21]. Le Blanc Smith G. and Kristensen S., *"Geology and Permian coal resources of the Vasse River Coalfield, Perth Basin,"* Western Australia, Western Australia Geological Survey, Record 1998/7, pp. 49, 1998.

[22]. Folk R. L., Andrews P. B. and Lewis D. W., *"Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand,"* New Zealand Journal of Geology and Geophysics,Vol.13, pp. 937-968, 1980.

[23]. Kadkhodaie Ilkhchi R., Moussavi Harami Rezaee R., and Kadkhodaie Ilkhchi A., *"An Integrated Rock Typing Approach for Unraveling the Reservoir Heterogeneity of Tight Sands in the Whicher Range Field of Perth Basin, Western Australia,"* Open Journal of Geology, Vol. 4, pp. 373-385, 2014.

[24]. Playford P. E., Cockbain A. E. and Low G. H., *"Geology of the Perth Basin,"* Western Australia, Geological Survey of Western Australia Bulletin, Vol. 124, pp. 311, 1976.

[25]. Amity Oil Limited, "*Well completion report, Whicher Range-5,"* Report No. AYO 519, p. 73, 2004.

[26]. Saha S. and Corbin S., *"Coaly sandstones: reservoir evaluation problems and solutions,"* SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, DOI 10.2118/68663-MS, 2001.

[27]. Orsini C. and Rezaee R., *"Depositional Systems: Sequence stratigraphy frameworks and geological modeling of fluvial bodies, Western Australian energy research alliance,"* Report 112, pp. 409, 2012.