زونبندی مخزن با استفاده از روش تفکیک تخلخل مفید و غیرمفید در یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران؛ با نگرش ویژه به نمودارهای مقاومت

جواد هنرمند^۱*، ژیلا رضائیان دلوئی^۲، و ارسلان زینلزاده^۳ ^۱ استادیار پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی، پژوهشگاه صنعت نفت ^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال ^۳ مربی پژوهشی گروه پژوهش ژئوشیمی نفت، پژوهشگاه صنعت نفت (دریافت: تیر ۱۳۹۲، پذیرش: تیر۱۳۹۳) Honarmandj@ripi.ir

چکیدہ

در این مقاله نمونههای مغزه از بخش کربناته بالایی (به سن میوسن) سازند آسماری متعلق به یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران مورد مطالعات ماکروسکوپی و میکروسکوپی قرار گرفت. سپس نتایج مطالعات بر روی نمونههای مغزه و مقاطع نازک با دادههای تخلخل و تراوایی مغزه و نمودارهای پتروفیزیکی، به ویژه نمودارهای مقاومت، مقایسه گردید. تنوع بافت (مادستون تا گرینستون) و پدیدههای دیاژنزی (دولومیتی شدن، انحلال و گسترش سیمانهای کلسیتی و انیدریتی) باعث تغییرات زیادی در مقدار و نوع تخلخل در این سازند گردیده است. این مطالعه نشان داد که نمودارهای مقاومت می توانند به عنوان ابزاری کارآمد در تفکیک زونهای دارای تخلخلهای مفید و غیرمفید مورد استفاده قرار گیرند. بازههای عمقی با تراوایی بالا از مقادیر نسبتاً بالای مقاومت عمیق یا مقاومت منطقه دستنخورده و جدایش خوب بین لاگهای مقاومت این منطقه و منطقه کم عمق یا شسته شده برخوردارند در حالیکه در بازههای عمقی غیرمخزنی مقاومت پایین بوده و جدایش بین لاگهای مقاومت این دو بخش کم است. بر این اساس توالی کربناته مورد مطالعه از سازند آسماری به ۱۳ زون تفکیک گردید. با استفاده از جدایش لاگهای مقاومت کم عمق و عمیق می توان این واحدهای جریای را در سراسر میدان مورد مطالعه با استفاده از جدایش لاگهای مقاومت کم عمق و عمیق می توان این واحدهای جریانی را در سراسر میدان مورد مطالعه با در یکی را در این در این این اساس توالی کربناته مورد مطالعه از سازند آسماری به ۱۳ زون تفکیک گردید. با در مقاومت این در این مقاومت کم عمق و عمیق می توان این واحدهای جریانی را در سراسر میدان مورد مطالعه با

كلمات كليدى: سازند أسماري، تخلخل مفيد، نمودار مقاومت، زونبندى مخزني.

۱. مقدمه

در مخازن کربناته، ارتباط بین تخلخل و تراوایی از پیچیدگی زیادی برخوردارست. این پیچیدگی به دلیل مکانیسمهای مختلف تشکیل و گسترش انواع تخلخل (شامل مکانیسمهای رسوبی و دیاژنزی) در این سنگهاست. به این ترتیب، پیشبینی عملکرد یک مخزن کربناته هتروژن و برآورد مقدار ذخیره و تولید آن نیازمند درک صحیح و دقیقی از ویژگیهای پتروفیزیکی این مخازن است. اندازه گیری و یا تخمین پارامترهای پتروفیزیکی مخزن نظیر تخلخل، تراوایی، فشار موئینه و ناهمگنی مخزن³ مستلزم استفاده از روشهای آزمایشگاهی و مطالعاتی است. از جمله این روشها می توان به روشهای آنالیز مغزه (معمولی و ویژه)، تلفیق روشهای پتروگرافی و آنالیز تصویری و استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی اشاره نمود (Moore, 2001; Ahr, 2006; Lucia, 2007; Ahr, 2008; Honarmand and Amini, 2012)

با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی نظیر نمودارهای چگالی، صوتی و نوترون، اگرچه میتوان مقدار کل تخلخل و همچنین درصد تخلخل ثانویه یا حفرات بزرگ غیرمرتبط (تفاضل تخلخل حاصل از لاگهای صوتی و چگالی) را تعیین نمود اما از آنجا که فضاهای خالی بین دانهای^۷، فضاهای خالی قالبی و حفرهای^۸ و ریزتخلخل^۹ تاثیر مشابهی روی لاگهای چگالی و نوترون داشته و لاگ صوتی نیز عمدتاً فضاهای خالی ثانویه (از نوع انحلالی) را نشان نمیدهد ,Anselmetti, and Eberli (Anselmetti, and Eberli, انشان نمیدهد , از فوع انحلالی) را نشان میدهد ,Anselmetti, and Eberli) و ریزتخلخل (رویزتخلخل موجود در آهکهای با بافت گلپشتیبان و ریزتخلخل بین بلوری در دولستونهای ریزبلور) میباشد با استفاده از نمودارهای تخلخل از تخلخلهای مفید قابل تفکیک نمیباشد (Serra, 1986; Ellis and Singer, 2008).

باتوجه به تأثیر تخلخل و بویژه تراوایی بر الگوی تغییرات مقاومت در سازندهای نفتدار، در این مطالعه به منظور تفکیک انواع تخلخل مفید از غیرمفید از نمودارهای مقاومت مخصوص ^۱ استفاده گردید. در ادامه، تغییرات مقدار مقاومت با نتایج مطالعات ماکروسکوپی و میکروسکوپی زمینشناسی مقایسه و زونبندی مخزنی ارائه گردید.

۲. موقعیت جغرافیایی

میدان مارون در بخش شرقی فروافتادگی دزفول، در شمالشرقی شهر اهواز و در مجاورت میادین کوپال از شمال و آغاجاری از شرق قرار دارد (شکل ۱). میدان مورد مطالعه با روند شمال غربی-جنوب شرقی در قسمت غربی تا مرکزی و روند شمال شرقی-جنوب غربی در قسمت انتهای شرقی امتداد یافته و دارای ۶۵ کیلومتر طول و بطور متوسط ۷ کیلومتر عرض میباشد.

⁶ Reservoir heterogeneity

⁷ Interparticle Pores

⁸ Moldic and Vuggy Pores

⁹ Microporosity

¹⁰ Resistivity Logs



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه

سازند آسماری در این میدان از یک توالی مخلوط کربناته- آواری تشکیل شده است (شکل ۲). در توالیهای کربناته این سازند به دلیل تأثیر فرآیندهای دیاژنزی متنوع، به ویژه دولومیتی شدن و انحلال، افزون بر تخلخلهای بیندانهای و دروندانهای اولیه، انواع تخلخل ثانویه مانند بینبلوری، قالبی و حفرهای به فراوانی مشاهده می شود.



شکل ۲: ستون سنگشناسی سازند آسماری در چاه مورد مطالعه در میدان مارون

۳. روش مطالعه

در این مطالعه حدود ۱۰۰ متر نمونه مغزه از بخش کربناته سازند آسماری در میدان نفتی مارون مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۲). در مطالعه ماکروسکوپی پارامترهایی همچون سنگشناسی، آغشتگی به نفت، نوع و مقدار تخلخل قابل رویت برداشت شد. به منظور استفاده از پارامترهای کوچک مقیاس، تعداد ۳۰۰ مقطع نازک از نمونههای مغزه تهیه و با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعات پارامترهای سنگشناسی، بافت، اندازه دانهها و بلورها، تعیین دقیق تر مقدار تخلخل و نوع تخلخل توصیف گردیدند (Choquette and Pray, 1970).

در ادامه با استفاده از روشهای تخلخل هلیم^{۱۱} و تراوایی نسبت به هوا^{۱۲}، به ترتیب، مقادیر تخلخل و تراوایی تعداد ۳۰۰ نمونه پلاگ اندازهگیری شد. این دادهها در طی این تحقیق با دادههای تخلخل حاصل از مطالعات پتروگرافی و نمودارهای پتروفیزیکی مقایسه گردیدند (Lucia, 2007).

به منظور تعیین درصد تخلخل و نوع آن (اولیه یا ثانویه) میتوان از نمودارهای اندازه گیری تخلخل مانند نمودار وزن مخصوص یا چگالی"، صوتی^۱، نوترون^{۵۱} و تلفیق آنها استفاده نمود (Serra, 1986; Ellis and Singer, 2008). مبنای اندازه گیری تخلخل در نمودارهای مذکور با یکدیگر متفاوت است. اما هیچکدام از نمودارهای تخلخل به منظور تفکیک تخلخل مفید از غیرمفید به طور کامل قابل استفاده نیستند. نمودارهای چگالی و نوترون مجموع انواع تخلخل اعم از تخلخل بین دانهای، قالبی، حفرهای و ریز تخلخل را اندازه گیری می نمایند که در واقع مجموع انواع تخلخل مفید و غیرمفید می باشند ,Asquith, 1985; Serra (Asquith, 1985; Serra مور کامل قابل استفاده نیستند. نمودارهای چگالی و نوترون مجموع انواع تخلخل مفید و غیرمفید می باشند ,Asquith, 1985; Serra (ماد) موج تراکمی قابلیت عبور از محیط سیال را ندارد، لذا درصورت وجود فضاهای خالی از نوع حفرهای، قالبی و شکستگی در سازند، موج صوتی تمایل به نادیده گرفتن آنها را داشته و این گونه فضاها را در محاسبه مقدار تخلخل درنظر نمی گیرد (2009) (Anselmetti, and Eberli, 1993; Lucia, 2007; Ellis and Singer, 2008; Weger et al., 2009). از نمودار صوتی از تخلخل سازند بدون درنظر گرفتن تخلخل ثانویه می باشد. بنابراین با کم کردن مقدار تخلخل حاصل از نمودار صوتی از تخلخل سازند بدون درنظر گرفتن تخلخل ثانویه می باشد. بنابراین با کم کردن مقدار تخلخل حاصل از نمودار صوتی از تخلخل سازند بدون درنظر گرفتن تخلخل ثانویه می باشد. بنابراین با کم کردن مقدار تخلخل حاصل از نمودار صوتی از تخلخل بدست آمده از هریک از نمودارهای چگالی یا نوترون می توان مقدار تخلخل حاصل از نمودار موتی از تخلخل غانویه می باشد. بنابراین با کم کردن مقدار تخلخل حاصل از نمودار صوتی از تخلخل بدست آمده از هریک از نمودارهای چگالی یا نوترون می توان مقدار تخلخل حاصل از مودار مقدار تخلخل حاصل ماند بند را را نیز شامل می شود که با استفاده از نمودارهای تخلخل خل غانویه ریز انویه ریز تخلخل حاصل از نمودار موتی دانداره از مودارهای از مودارهای بخلی یا نوترون می توان مقدار تخلخل حاصل از نمودار حوتی از تخلخل غیرمفید علاص می زمین مقدار تخلخل موجود در ماتریکس

$$\phi_{\text{secondary}} = \phi_{\text{Density}}(or\phi_{\text{Neutron}}) - \phi_{\text{Sonic}} \tag{1}$$

چرخش گل حفاری و سپس نفوذ آن به درون سازند باعث زونبندی دیواره چاه نسبت به میزان نفوذ گل می گردد. بطور کلی در نتیجه این نفوذ در دیواره چاه سه منطقه قابل تفکیک میباشد که از دیوارهٔ چاه به داخل سازند عبارتند از: (۱) منطقه اشغالی یا شستهشده^۱۶، (۲) منطقه عبوری^{۱۷} و (۳) منطقه دستنخورده یا بکر^{۱۸} (Serra, 1986).

¹⁴ Sonic

¹¹ Helium Porosity

¹² Air Permeability

¹³ Density

¹⁵ Neutron

¹⁶ Flashed Zone

¹⁷ Transition Zone

¹⁸ Uninvaded Zone

مقدار نفوذ گل به داخل سازند یا ضخامت هر یک از بخشهای سه گانه فوق تابع تخلخل و تراوایی سازند و ویژگیهای سیال سازندی می باشد، بطوریکه در سازندهای متخلخل و تراوا به دلیل ضخامت زیاد اندود گل^{۱۹} در مقابل سازند، عمق نفوذ گل کمتر می باشد. درصورتیکه سازند دارای هیدروکربن باشد مقداری از هیدروکربن باشد مقداری از هیدروکربن باقی مانده معمول بین ۱۰ تا ۲۰ سانتیمتر می باشد. درصورتیکه سازند دارای هیدروکربن باشد مقداری از هیدروکربن توسط تراویده گل^{۲۰} به عقب رانده خواهد شد. اشباع هیدروکربن باقی مانده معمولا بین ۱۰ تا ۲۰ باشد مقداری از هیدروکربن توسط تراویده گل ۲۰ به عقب رانده خواهد شد. اشباع هیدروکربن باقی مانده معمولا بین ۱۰ تا ۲۰ درصد (برحسب نوع تخلخل یا تراوایی سازند) خواهد بود ما.

نمودارهای مقاومت الکتریکی مقدار مقاومت بخشهای مختلف دیواره چاه را برمبنای میزان اشباعشدگی آنها از آب و یا هیدروکربن اندازهگیری مینماید. بنابراین با توجه به: ۱) مقاومت گل حفاری (تابع نوع گلهای حفاری: نوع نفتی، آب شیرین یا آب شور)، ۲) مقاومت سیال درونسازندی (تابع نوع سیال سازندی: آب، نفت یا گاز) و ۳) درصد و نوع تخلخل سازندی، نمودار تغییرات مقاومت سازندی در نواحی سه گانه دیواره چاه متفاوت خواهد بود ;Asquith, 1985; Smith et al., 2003) Verwer et al., 2011). از أنجا که در این مطالعه گل حفاری آب شور (Rm=0.01 ohm m) و سیال سازندی نفت می باشد، بنظر مىرسد ضمن اينكه مقاومت منطقه شسته شده (Rxo) يا كمعمق بايستى كمتر از مقاومت منطقه دست نخورده (Rt) يا عميق باشد (شکل ۳)، مقادیر مقاومت در این دو بخش و اختلاف آنها با یکدیگر در بازههای عمقی مختلف دیواره چاه نشاندهنده تغییر در درصد و نوع تخلخل سازند است. بطوریکه در بخشهای گل-پشتیبان^{۲۱} که تخلخل عمدتاً از نوع ریزتخلخل ماتریکس و یا ریزتخلخل بین ریزبلورهای دولومیت است، فیلتره گل حفاری قابلیت حرکت در این فضاهای خالی کوچک را نداشته و لذا نفوذ خیلی کم فیلتره گل حفاری در این سازند باعث می شود که R_t به دلیل وجود نفت در فضاهای خالی منطقه دستنخورده بالا بوده و R_{xo} نیز همچنان بالا باقی بماند. برعکس در زونهای حاوی تخلخلهای مفید بیندانهای و بين بلوري كه ارتباط فضاها با يكديگر مناسب مي باشد، نفوذ فيلتره گل به اين بخش سازند خوب بوده و مقاومت منطقه شستهشده نسبت به منطقه دستنخورده کمتر خواهد بود. بعبارت دیگر در زونهای دانه ریز با تراوایی کم، ضمن بالابودن مقادیر R_t و R_t ، اختلاف مقدار این دو مقاومت کم است، درصورتیکه در زونهای تراوا با تخلخل مفید بالا، مقادیر R_t زیاد و Rxo کم بوده بنابراین اختلاف این دو مقدار مقاومت بالا است (Smith et al, 2003). البته وجود شکستگیها در زونهای با تخلخل و تراوایی پایین باعث می شود که مقدار مقاومت، به ویژه در منطقه عمیق (R_t)، به شکل غیرقابل انتظاری افزایش یابد که این موضوع در زونبندی مخازن شکافدار^{۲۲} بایستی مورد توجه قرار گیرد. در این مطالعه باتوجه به این ویژگی زونهای متشکل از انواع تخلخل مفید و غیرمفید از یکدیگر متمایز گردیدند (Smith et al., 2003; Verwer et al., 2011)).

¹⁹ Mud Cake

²⁰ Mud Filtrate

²¹ Mud-dominated

²² Fractured Reservoirs



شکل ۳: (A) نمودار شماتیک مقدار مقاومت در مناطق یا زونهای سهگانه اشغالی، عبوری و دستنخورده (در حالتی که مقاومت فیلتره گل حفاری به مراتب کمتر از سیال سازندی است) و (B) تغییرات مقدار نمودار مقاومت مناطق کم عمق و عمیق، مقدار جدایش آنها و ارتباط آن با کیفیت مخزنی.

۴. زونبندی افق کربناته مورد مطالعه

پس از انجام مطالعات زمینشناسی، نتایج این مطالعات در مقابل ویژگیهای پتروفیزیکی افق مورد مطالعه ترسیم گردید (شکلهای ۴ و ۵). در این شکلها، تغییرات سنگشناسی، درصد کانیهای تشکیلدهنده، مقادیر تخلخل و تراوایی مغزه، تخلخل حاصل از نمودارهای پتروفیزیکی و نمودار مقاومت در بخشهای شستهشده (R_{xo}) و دست نخورده (R_t) به تصویر کشیده شد.

نمودارهای تخلخل چگالی، صوتی و اختلاف تخلخل چگالی و صوتی که معرف درصد فضاهای خالی بزرگ غیرمر تبط ۲۲ می باشد، در شکل های مذکور، نشان داده شده است. همانطور که در بخش روش مطالعه اشاره گردید، نمودار تغییرات اختلاف تخلخل چگالی و صوتی، فراوانی بخشی از تخلخل غیرمفید (انواع قالبی، حفرهای و شکستگی) مخزن را نشان می دهد در صورتی که ریز تخلخل موجود در ماتریکس سنگ آهک یا بین بلورهای ریز دولومیت، بویژه در بافتهای گل-پشتیبان نیز بخش دیگری از تخلخل غیرمفید (غیرمر تبط) در مخزن به شمار می رود که با مقایسه مقادیر مقاومت در دو بخش شسته شده و دست نخورده قابل شناسایی می باشد (Smith et al., 2007; Verwer et al., 2011). بنابراین مقادیر مقاومت در این دو بخش می تواند مبنایی برای تفکیک زونهای تراوا و ناتراوا یا شناخت انواع تخلخل (مفید و غیرمفید) در مخزن باشد. در این مطالعه نیز براساس مقادیر این مقاومتها و میزان جدایش نمودار تغییرات آنها (شکلهای ۴ و۵) و تلفیق آنها با مقادیر تخلخل و تراوایی مغزه و نمودارهای پتروفیزیکی و مطالعات زمین شناسی، تعداد ۱۳ زون مخزنی شناسایی گردید (معادیر مقادیر این مطالعه نیز براساس مقادیر این مقاومتها و میزان جدایش نمودار تغییرات آنها (شکلهای ۴ و۵) و تلفیق آنها با در این دو از می راد این می باشاسایی و پتروفیزیکی و مطالعات زمین شناسی، تعداد ۱۳ زون مخزنی شناسایی گردید را در این موادیم ویژگی های زمین شناسی و پتروفیزیکی هر یک از این زونها ارائه میگردد.

²³ Separated Vugs



شکل۴: ستون لیتولوژی، کانیشناسی، تخلخل-تراوایی مغزه و لاگ و مقادیر مقاومت در بازه های ۷–۱



شکل۵: ستون لیتولوژی، کانیشناسی، تخلخل-تراوایی مغزه و لاگ و مقادیر مقاومت در بازه های ۱۳–۸

دون۱. متوسط مفادير تحلحل، دراوايي، مفاومت، ليتونوري و أنواع تحلحل در باره هاي مورد مطالعه	خلخل در بازه های مورد مطالعه	مقاومت، لیتولوژی و انواع ت	توسط مقادير تخلخل، تراوايي،	جدول۱: م
---	------------------------------	----------------------------	-----------------------------	----------

وضعیت مخزنی	انواع تخلخل	متوسط تخلخل قابل روئيت (٪)	متوسط تراوایی مغزہ (mD)	متوسط درصد تخلخل مغزه	Rt- Rxo	Rt	R _{xo}	ليتولوژى	بازه
زون تراوای مخزنی	بینبلوری، قالبی و حفرهای	17.90	106.90	13.61	34.43	37.90	3.47	دولستون	1
زون ناتراوا	ريزتخلخل بينبلوري	3.95	13.14	7.60	209.46	256.5	47.09	دولستون	2
زون تراوای مخزنی	بینبلوری، قالبی و حفرہای	7.94	6.45	15.75	27.54	32.02	4.48	دولستون	3
زون ناتراوا	بينبلورى	1.57	1.94	8.42	24.62	39.82	15.20	دولستون	4
زون ناتراوا	ريزتخلخل ماتريكس	5.40	5.45	12.11	8.57	17.82	13.38	سنگ آهک	5
زون تراوای مخزنی	بینبلوری، قالبی و حفرہای	21.20	11.70	14.90	12.47	16.24	3.77	دولستون	6
زون ناتراوا	ريزتخلخل ماتريكس	2.10	1.28	1.04	23.22	37.99	17.32	سنگ آهک	7
زون تراوای مخزنی	بینبلوری، قالبی و حفرہای	10.50	2.64	10.60	72.36	90.13	20.30	دولستون	8
زون ناتراوا	ريزتخلخل بينبلوري	4.46	0.53	9.50	3.10	6.40	3.30	دولستون	9
زون ناتراوا	ریزتخلخل بینبلوری و ریزتخلخل ماتریکس	2.40	1.10	5.10	14.89	35.32	32.56	سنگ آهک دولومیتی، سنگ آهک و دولوستون	10
زون تراوای مخزنی	بینبلوری، قالبی و حفرہای	9.10	12.70	11.90	12.86	20.20	7.82	دولوستون آهکی	11
زون ناتراوا	ريزتخلخل بينبلوري	2.80	1.10	4.88	12.58	26.14	15.25	سنگ آهک دولومیتی و دولستون آهکی	12
زون تراوای مخزنی	بینبلوری، قالبی و حفرہای	12.95	40.00	19.47	22.38	24.77	2.40	دولستون	13

مطالعهٔ نمونههای مغزه و مقاطع نازک متعلق به زونهای ۱، ۳ و ۶، نشان میدهد که این زونها عمدتا از دولستون تشکیل شده و فضاهای خالی ثانویه شامل انواع قالبی و حفرهای موجود در آنها از طریق تخلخلهای اولیه از نوع بینبلوری^{۱۹} (شکلهای ۶–A و ۶–B) (تا ۵ درصد) به یکدیگر مرتبط شدهاند. در این زونها بدلیل اینکه فضاهای خالی ثانویه تا حدودی توسط فضاهای خالی بینبلوری با یکدیگر ارتباط پیدا نمودهاند، تخلخل و تراوایی مخزن افزایش یافته است (جدول ۱). شکل ۴ نیز اختلاف مقادیر میم و ₁R را در این سه بازهٔ عمقی، که مؤید نفوذپذیری بیشتر این بخشها در مخزن میباشد، را نشان میدهد. نمودارهای صوتی و چگالی نشان میدهد که بخشی از فضاهای خالی در این دولستونها از نوع ثانویه (حفرهای و قالبی) میباشد (شکلهای ۶–C و ۶–C) که توسط فضاهای خالی بین بلوری با هم ارتباط دارند.

¹⁹ Intercrystalline Porosity

مطالعه مقاطع نازک تهیه شده از نمونه های متعلق به این سه بازه (شکل ۴) نیز نشان می دهد که: ۱) تخلخل در این نمونه های دولومیتی از انواع بین دانه ای، بین بلوری، حفره ای و قالبی بوده و ۲) مقدار متوسط تخلخل قابل روئیت در زون های ۱، ۳ و ۶، به ترتیب، ۱۷/۹، ۷/۹۴ و ۲۱/۲ درصد می باشد.

زونهای دولومیتی ۲ و ۴ مقادیر تخلخل و تراوایی مغزه کمتری را نشان می دهند. از طرفی مقادیر R_t ، R_{xo} و اختلاف کم این دو مقاومت در این دو بازهٔ عمقی حاکی از این است که تخلخل کم موجود در این زونها از نوع ریزتخلخل بین بلوری بوده که تراوایی کمی به سنگ می دهد. شکل ۴ نیز نشان می دهد که در این زونها تخلخل حاصل از لاگ که مقدار آن کمتر از ۲ درصد می باشد از نوع ریزتخلخل بین بلوری است. مطالعه مقاطع نازک تهیه شده از این زونها (شکل ۶–E) نیز مؤید همین موضوع است، به طوری که متوسط درصد تخلخل قابل روئیت در بازه ۲ و ۴، به ترتیب، ۳۹۵۵ و ۱/۵۷ درصد می باشد. نمونه های مغزه از زون ۲ نشان داد که بالا بودن خیلی زیاد مقدار ₁R در این زون به دلیل وجود شکستگی ها در دولومیت های ریز بلور آن می باشد. بنابراین بایستی نقش شکستگی ها را در ایجاد عدم انطباق بین مقدار تراوایی ماتریکس سنگ با مقدار ₁R

زونهای ۵ و ۷ که متشکل از آهکهای اسکلتی با بافت پکستون می باشند (شکل ۶-G) مقادیر تخلخل و تراوایی مغزه پائینی را نشان می دهند. مقادیر مقاومت R_t ، R_{xo} و اختلاف کم آنها در این دو بازه حکایت از این دارد که سنگ فاقد تخلخل مفید بوده و تخلخلهای کم موجود عمدتاً از نوع ریز تخلخل می باشند. بنابراین زونهای آهکی مذکور به عنوان زونهای ناتراوا در مخزن محسوب می شوند. مطالعه مقاطع نازک تهیه شده از نمونه ها (شکل ۶-G) نشان می دهد که مقدار متوسط ریز تخلخل موجود در نمونه های متعلق به زونهای ۵ و ۷، به ترتیب، ۵/۴ و ۲/۱ درصد می باشد.

زون های ۱۸ ۱۱ و ۱۳ (شکل ۵) که متشکل از دولستون ها و دولستون های آهکی با بافت گل-پشتیبان می باشند اختلاف نسبتا" زیادی بین مقادیر Rxo و Rx شان می دهند. بعلاوه مقدار متوسط تخلخل مغزه در بازه ۱۸ ۱۱ و ۱۳، به ترتیب، ۱۱۰۶، ۱۱۹ و ۱۹/۴۷ درصد و مقدار متوسط تراوایی مغزه، به ترتیب، ۱۲/۴ و ۴۰ میلی دارسی می باشد. شکل ۵ نشان می دهد که از مجموع تخلخل لاگ موجود در زون های مذکور (تا ۱۲ درصد)، تخلخل نوع بین بلوری و ثانویه نوع حفره ای و قالبی، به ترتیب، تا ۸ و ۵ درصد را تشکیل می دهند. در این زون ها، فضاهای خالی بین بلوری ارتباط نسبتاً مناسبی بین حفرات ثانویه موجود ایجاد کرده که باعث افزایش نسبی تراوایی در این مناطق گردیده است. شکل ۶ تصاویر مربوط به مقاطع ناز کی که از نمونه های مربوط به این زون ها تهیه شده را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود تخلخل غالباً از نوع بین بلوری، حفره ای و قالبی می باشد. متوسط مقدار تخلخل قابل روئیت در زون های ۱۸ ۱۱ و ۱۳، به ترتیب، ۱۰، ۱۸ و ۱۵ ۱۸ درصد می باشد. می باید. با توجه به نحوه تغییرات مقادیر مقاومت در این زون مادستون دولومیتی به نظر می رسب کره ۱۷، او می تر کاهش می باید. با توجه به نحوه تغییرات مقادیر مقاومت در این زون مادستون دولومیتی به نظر می رسد که تخلخل عمدتاً از نوع می باید. با توجه به نحوه تغییرات مقادیر مقاومت در این زون مادستون دولومیتی به نظر می رسد که تخلخل عمدتاً از نوع میدهد که تخلخل بین بلوری بوده که ار تباط چندان خوبی نداشته و نهایتاً با یک زون ناتراوای غیر مخزنی مواجه باشیم. شکل ۴ نشان می دوده ۱۰- درصد تغییر می کند. مطالعات میکروسکوپی مقاطع ناز کنیز نشاندهنده درصد کم تخلخل عمدتاً از نوع محدوده ۱- درصد تغییر می کند. مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک نیز نشاندهنده درصد کم تخلخل (متوسط تخلخل کمتر از ۲۵ ۲ درصد) از نوع ریز تخلخل بین بلوری و سیار کم از نوع حفرهای می باشد.

در زون ۱۰ که از قاعده به سمت بالا متشکل از دولستونهای آهکی، آهک و دولستون میباشد اختلاف خیلی کم مقادیر مقاومت R_xo و R_i نشاندهنده تخلخل ناچیز موجود در این بازه از نوع ریزتخلخل میباشد. بنابراین این زون به عنوان یک بازه ناتراوای غیرمخزنی محسوب میشود. شکل ۵ نشان میدهد که در زون ۱۰ فضاهای خالی موجود از نوع ریزتخلخل مقدار بسیار کم حفرهای میباشد. تصاویر میکروسکوپی تهیهشده از نمونههای متعلق به زون ۱۰ (شکل ۶–H) نیز نشان میدهد که تخلخل در این رخسارههای پکستونی دانه افزون^{۲۰} بسیار کم (با متوسط تخلخل قابل روئیت ۲٫۴ درصد) و از نوع ریزتخلخل میباشد.



شکل ۶: تصویر مربوط به مقاطع نازک تهیه شده از نمونه های مورد مطالعه. A) دولستون با بلورهای درشت (زون های ۱ و ۱۳). تخلخل و تراوایی مغزه، به ترتیب ۱۴/۵ درصد و ۷۵/۷ میلی دارسی؛ B) نمایی نزدیک تر از نمونه دولستون شکل A؛ C) دولستون با بافت وکستون اسکلتی (زون ۶)؛ درصد بالایی از تخلخل آن از نوع قالبی و حفرهای است. تخلخل و تراوایی، به ترتیب، ۱۰/۶ درصد و ۱۷/۳۲ میلی دارسی؛ D) نمایی نزدیک تر از نمونه دولستون شکل C ؛ E) دولستون با بلورهای ریز دولومیت و بافت وکستون اسکلتی (زون های ۲، ۴ و ۹). در این نمونه ها بدلیل ارتباط ضعیف فضاهای ریز بین بلوری تراوایی نیز کم می باشد.

Archive of SID

²⁰ Grain-dominated

تخلخل و تراوایی، به ترتیب ۵/۱۳ درصد و ۱/۶۱ میلیدارسی؛ F) دولستون ریز بلور (زون ۹)؛ تخلخل عمدتاً از نوع بینبلوری و بعضا قالبی است. تخلخل و تراوایی، به ترتیب ۷/۲ درصد و ۰/۹ میلیدارسی؛ G) آهک دولومیتی با بافت وکستون اسکلتی (زونهای ۷ و ۱۰)؛ فضاهای خالی آن از نوع ریزتخلخل ماتریکس. تخلخل و تراوایی خیلی کم است. تخلخل و تراوایی، به ترتیب ۲/۸۵ درصد و ۰/۵۳ میلیدارسی؛ H) آهک دانه ریز با بافت وکستون اسکلتی (زون ۱۰)تخلخل عمدتاً ریزتخلخل است. کیفیت مخزنی در این نمونه بسیارپائین است. تخلخل و تراوایی مغزه، به ترتیب ۱/۷۴ درصد و ۱/۰ میلیدارسی.

ماهیت متفاوت ریزتخلخلهای موجود در سنگ آهک و دولستون به گونهای است که ریزتخلخلهای بینبلوری در دولستونها شبکه فضای خالی بهتری را نسبت به ریزتخلخلهای موجود در ماتریکس آهکی، جهت ارتباط فضاهای خالی ثانویه از نوع حفرهای و قالبی ایجاد می نماید. بنابراین با در نظر گرفتن این پیش فرض، در زون ۱۰، به تدریج که از قاعده زون به سمت بخش میانی می رسیم با افزایش درصد آهک، تخلخل و تراوایی مغزه و لاگ کاهش پیدا کرده و مقدار Rxo و Rx افزایش و اختلاف آنها به شدت کم می شود. با افزایش درصد دولومیت از بخش میانی به سمت بخش بالایی زون، ضمن افزایش تخلخل بینبلوری شاهد کاهش مقدار هx و اختلاف مقادیر Rxo و R

بازه ۱۲ نیز که متشکل از آهک دولومیتی و دولستون آهکی با بافت وکستون تا پکستون میباشد ضمن افزایش مقدار R_{xo} نسبت به بازه مخزنی زیر آن (بازه ۱۳)، کاهش مقدار تخلخل و تراوایی را نشان میدهد (شکل ۵). افزایش مقدار R_{xo} به سمت بخش بالای این زون، همراه با افزایش درصد آهک، کاهش درصد تخلخل و کاهش تراوایی است. مقایسه مقادیر سمت بخش بالای این زون، همراه با افزایش درصد آهک، کاهش درصد تخلخل و کاهش تراوایی است. مقایسه مقادیر تخلخل حاصل از نمودارهای چگالی و صوتی (شکل ۵) و همچنین تصاویر میکروسکوپی نمونهها نشان میدهد که به دلیل اینکه تخلخل در این رخسارهای چگالی و صوتی (شکل ۵) و همچنین تصاویر میکروسکوپی نمونهها نشان میدهد که به دلیل اینکه تخلخل در این رخسارهای گلهی و این زون را در رود رود رود رود و در زمره زونهای غیرمخزنی قرار میدهد.

در شکل ۷، ابتدا و انتهای هر یک از خطوط رسم شده نشاندهنده متوسط مقادیر R_{xo} و R_t در هر زون می باشد. از طرف دیگر شیب این خطوط متوسط اختلاف مقادیر R_{xo} و R_t در زونهای مختلف می باشد. مقایسه مقادیر مقاومت و همچنین شیب خطوط با متوسط مقادیر تخلخل و تراوایی مغزه در هر زون (جدول ۱) نشان می دهد که بهترین زونهای مخزنی زونهایی هستند که R_{xo} در آنها کمتر از ۱۰ اهم متر بوده و R_t بیشتر از ۱۰ اهم متر باشد. با افزایش اختلاف R_{xo} و R_t نیز کیفیت مخزنی بهبود می یابد. بنابراین مطابق شکل ۵ زونهای ۱، ۱۳، ۱۵، ۶ و ۳ به ترتیب بهترین زونهای مخزنی محسوب می شوند.



شکل ۷: ارتباط بین متوسط مقادیر مقاومت در منطقه شستهشده و دست نخورده با متوسط مقادیر تخلخل و تراوایی مغزه در زونهای مختلف مخزن

کاهش کیفیت مخزنی از زون ۱ به سمت زون ۳ ارتباط مستقیم با کاهش شیب خط R_t - R_{xo} در این زونها دارد. در بازه ۹ از طرفی مقدار R_xo کمتر از ۱۰ اهممتر است و از طرفی دیگر مقدار R_t نیز خیلی کم میباشد. بنابراین بازه ۹ به عنوان زون فاقد هیدروکربور با ریزتخلخل موجود در ماتریکس محسوب می شود. شیب کم خط R_t - R_{xo} در بازه های ۵، ۱۲، ۷ و ۱۰ نشاندهنده ناتراوا بودن این زونها می باشد. مطالعه مقاطع نازک مربوط به این زونها (شکل ۶) نیز تائیدکننده این موضوع است.

۵. نتايج

این مطالعه نشان داد که نمودارهای مقاومت به عنوان ابزاری کارآمد در تفکیک تخلخل مفید و غیرمفید، شاسایی زونهای تراوا و در نتیجه زونبندی مخزن قابل استفاده میباشاند. روشهای پتروفیزیکی تعیین تخلخل اعم از نمودارهای چگالی، صوتی و نوترون، مقادیر تخلخل کل و درصد تخلخل ثانویه (شامل انواع حفرهای، قالبی و شکستگی) را تعیین میکنند اما از آنجا که رفتار این لاگها نسبت به فضاهای خالی بیندانهای، بینبلوری و ریزتخلخل ماتریکس مشابه میباشد قادر به تعیین بخشی از تخلخل غیرمفید، که نوع ریزتخلخل میباشد، نیستند. با توجه به اینکه فضاهای خالی ریز موجود در ماتریکس سنگ آهک، در رخسارههای گل-پشتیبان، و یا ریزتخلخل بینبلوری در دولستونهای دانهریز ارتباط مناسبی با یکدیگر ندارند، نقش چندان مهمی در افزایش تراوایی سانگ ایفا نخواهند کرد. با استفاده از نفوذ متفاوت فیلتره گل حفاری در بخشهای تراوا و ناتراوای مخزن، میتوان زونهای حاوی تخلخل های غیرمفید و مفید را از یکدیگر تفکیک نمود. بنابراین در مواردی که دسترسی به نمونههای مغزه ممکن نیست، با تلفیق نمودارهای پتروفیزیکی مذکور میتوان در گستره مورد مطالعه زونبندی مخزنی انجام داد. البته توجه به نتایج مطالعه انواع تخلخل در بررسیهای ماکروسکوپی و میکروسکوپی

منابع

Archive of SID

نمونههای مغزه و همچنین توجه به زونهای دارای شکستگی میتواند نقش مهمی در ارزیابی دقیقتر این روش در زونبندی مخزن داشته باشد. " هیئت تحریریه مجله از آقایان دکتر علی معلمی و دکتر رضا موسوی حرمی و دکتر محمد کرامتی که داوری مقاله را به عهده داشته اند، تشکر و قدردانی مینماید "

- [1] Ahr, W. M., 2008, Geology of carbonate reservoirs: The identification, description, and characterization of hydrocarbon reservoirs in carbonate rocks, John Wiley and Sons publication, 277 p.
- [2] Anselmetti, F. S., and G. P. Eberli, 1993, Controls on sonic velocity in carbonates: Pure and Applied Geophysics, v. 141, p. 287–323.
- [3] Asquith, G. B., 1985, Handbook of log evaluation techniques for carbonate reservoirs: AAPG methods in exploration series, no. 5, 47 p.
- [4] Choquette P. W., and L. C. Pray, 1970, Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates, AAPG Bulletin, v. 54, no. 2, p. 207-250.
- [5] Ellis, D. V., and J. M. Singer, 2008, Well Logging for Earth Scientists, Springer, 692 p.
- [6] Ehrenberg, S. N., Eberli, G. P., Keramati, M. and S. A. Moallemi, 2006, Porosity-permeability relationships in interlayered limestone-dolostone reservoirs, AAPG Bulletin, v. 90, no. 1, p. 91-114.
- [7] Honarmand, J. and A. Amini, 2012, Diagenetic processes and reservoir properties in the ooid grainstones of the Asmari Formation, Cheshmeh Khush Oil Field, SW Iran, Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 81 p. 70-79.
- [8] Lucia, F. J., 1987, Rock-fabric, permeability, and log relationships in an upward-shallowing vuggy carbonate sequence: Bureau of economic geology, Geological circular 87, 22p.
- [9] Lucia, F. J., 2007, Carbonate Reservoir Characterization: An Integrated Approach, Springer-Verlag, 336 p.
- [10] Moore, C. H, 2001, Carbonate Reservoirs: Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework, Elsevier, Amsterdam, Developments in Sedimentology, no. 55, 444 p.
- [11] Serra, O., 1987, Fundamentals of Well-Log Interpretation: The Interpretation of Logging Data, Developments in Petroleum Science, Elsevier, 684 p.
- [12] Smith, L. B., Eberli, G. P., Masaferro, J. L. and S. Al-Dhahab, 2003, Discrimination of effective from ineffective porosity in heterogeneous Cretaceous Carbonates, AlGhubar Field, Oman: AAPG Bulletin, v. 87, no. 9, pp. 1509-1529.
- [13] Verwer, k., Eberli, G. P., and R. J. Weger, 2011, Effect of pore structure on electrical resistivity in carbonates: AAPG Bulletin, v. 95, no. 2, pp. 175-190.
- [14] Weger, R. J., G. P. Eberli, G. T. Baechle, J.-L. Massaferro, and Y. F. Sun, 2009, Quantification of pore structure and its effect on sonic velocity and permeability in carbonates: AAPG Bulletin, v. 93, p. 1297– 1317.