مطالعه خواص مخزنی و غیر مخزنی در سنگ مخزن هیدروکربنی

جمشید رودساز*، سیدعلی معلمی و عزت‌اله کاظم‌زاده
پژوهشگاه صنعت نفت، مرکز مطالعات اکتشاف و تولید
Roodsazj@yahoo.com

پژوهش نفت
سال هفدهم
شماره ۲-۵۶
صفحه ۱۴۶-۱۴۰، ۱۳۸۶

چکیده

تنوع بافت نوع سنگ مخزن در مخازن هیدروکربنی، تأثیر مهمی در کنترل تولید نفت دارد و این تأثیر به نحوی است که فشار جابه‌جایی سیال را به هنگام تولید کنترل می‌کند. مناطقی از سنگ مخزن که ارتباط بین منافذ شبکه ضعیفی را تشکیل می‌دهد، دارای بازدهی مؤثر کمی هستند، مطالعه نمودارهای فشار موئینه و مقاطع حاصل از نمونه‌های سنگ مورد مطالعه نشان می‌دهد که در سه نوع تخلخل موجود در سنگ مخزن، تخلخل‌های نوع حفره‌ای و قالبی از کیفیت مخزنی خوب تا متوسطی برخوردار هستند و در نواحی از مخزن که تخلخل از نوع ریز بلوری است، به سبب ارتباط ضعیف بین منافذ و مجاری ارتباطی، سنگ مخزن دارای بازدهی مؤثر کمی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فشار موئینگی، بافت، تخلخل، سنگ مخزن هیدروکربنی

مقدمه

در ارزیابی سنگ‌های مخازن هیدروکربنی به منظور محاسبه میزان بازدهی مؤثر و تخمین مقدار هیدروکربن قابل برداشت از مخازن، تراوایی، تخلخل و درصد اشباع سیالات درون منافذ سنگ در نظر گرفته می‌شود، کنترل این عوامل در تنوع نوع بافت و ویژگی‌های سیستم تخلخل سنگ مخزن می‌باشد. در چند دهه گذشته پیرامون توصیف و شناخت بهتر سنگ‌های کربناته که دارای محیطی هتروژن با خواص فیزیکی غیریکنواخت می‌باشند، مطالعات بسیاری انجام شده تا بتوان ضمن شناخت نواحی مخزنی از غیر مخزنی، شیوه مناسبی برای تولید از آن‌ها ارائه کرد.

یکی از ابزار کمی برای توصیف خواص مخزنی در مخازن هیدروکربنی، نمودارهای فشار موئینه است. نمودارهای فشار موئینه که توسط تزریق جیوه به سنگ مخزن در فشارهای متفاوت به‌دست می‌آیند، توصیفی از منافذ و مجاری ارتباطی سنگ مخزن را بیان می‌کند [۱]. فاز جیوه که به‌عنوان عامل ترکننده برای کلیه سنگ‌ها نمی‌باشد منافذ و مجاری ارتباطی در سنگ را اشغال می‌کند [۲]. مفهوم فشار موئینه در سنگ‌های مخازن نخستین بار توسط لورت[1] مطرح شد. او نشان داد فشار موئینه ارتباط مستقیمی با درصد اشباع نفت در منافذ سنگ دارد و عامل مهمی در برداشت اولیه و ثانویه از مخازن نفتی است [۳]. کاربرد این مفهوم در زمین‌شناسی نفت و ارتباط آن با پارامترهای فیزیکی در سنگ مخزن با توجه به ویژگی‌های کیفی سنگ، توسط

1. Leveret

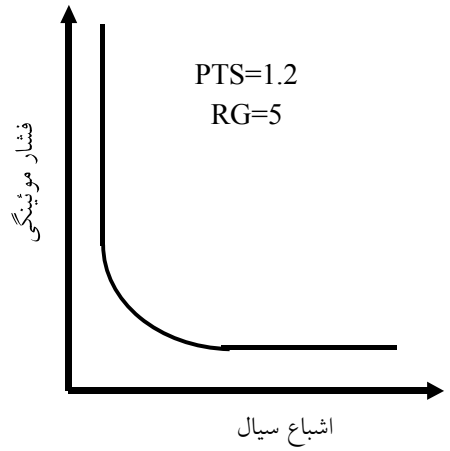
محققین دیگری نیز مطرح شده است. اندازه دانه‌های تشکیل‌دهنده بافت سنگ به‌طور محسوس فشار موئینه را در منافذ و مجاری ارتباطی هدایت می‌کند، به علاوه شکل هندسی منافذ و مجاری نیز عامل مهمی در کنترل فشار موئینه است [۴و۵]. از کاربردهای دیگر نمودارهای فشار موئینه در سنگ‌هایی با ترشوندگی آب‌دوست، توصیف مهاجرت نفت در مخازن است که با توجه به اندازه منافذ و مجاری ارتباطی و خصوصیات فیزیکی سنگ و نیز عامل ترشوندگی، مورد مطالعه قرار می‌گیرد [۶]. در بررسی به عمل آمده بر روی سنگ مخزن دولومیتی هم تافت نیز عامل شکل هندسی منافذ، سبب کنترل پارامترهای پتروفیزیکی (تخلخل، نفوذپذیری و فشار موئینه) می‌شود. در شرایطی که شکل هندسی منافذ پیچیده می‌شود پارامترهای فوق بسیار متغیرند و در این نوع سنگ‌ها فشار موئینه متفاوتی، متناسب با ویژگی‌های سنگ، به‌دست خواهد آمد [۷]. نمودارهای فشار موئینه یکی از مناسب‌ترین ابزار برای توصیف خصوصیات فیزیکی سنگ و نیز بررسی توان تولید در سنگ‌های مخازن هیدروکربنی است. از پارامترهای مهمی که از نمودارهای مذکور محاسبه می‌شود درجه جورشدگی[1] در سنگ مخزن است [۸ و۹]. عامل دیگری که توسط این نمودارها با توجه به کیفیت سنگ مخزن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، درجه مرغوبیت[2] است، این پارامتر بیان‌کننده توصیف اندازه منافذ و مجاری ارتباطی در سنگ است [۱۰].

نمودارهای فشار موئینه

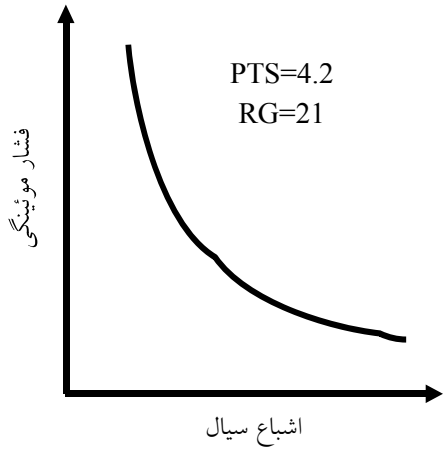
نمودارهای فشار موئینه که حاصل آزمایش‌های تزریق جیوه (سیال غیر ترکننده) به منافذ سنگ مخزن است، می‌تواند پراکندگی اندازه قطر منافذ و مجاری ارتباطی را بیان کند. از پارامترهایی که توسط این نمودارها می‌توان محاسبه کرد، میزان جورشدگی (PRT) و درجه مرغوبیت (GR) سنگ مخزن است، دامنه تغییرات ضریب جورشدگی برای سنگ‌های متخلخل، از ۱ الی ۸ است و برای بیشتر سنگ‌های مخازن، این دامنه از ۱ الی ۵ متغیر است. از پارامترهای دیگری که توسط نمودارهای فشار موئینه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، درجه مرغوبیت سنگ مخزن است که کیفیت سنگ را از نظر توانایی تولید مورد بررسی قرار می‌دهد و دامنه تغییرات آن از صفر الی ۱۰۰ متغیر است. عدد صفر برای سنگ‌های با درجه مرغوبیت عالی است. در شکل‌های ۱ و ۲ میزان درجه جورشدگی و مرغوبیت با توجه به خصوصیات نمودارها مورد محاسبه قرار گرفته است. در شکل ۱، سنگ مخزن از کیفیت مخزنی بسیار خوبی نسبت به شکل ۲ برخوردار است.

بحث

مطالعه شکل‌های فشار موئینه (شکل‌های۳ الی ۱۰) و انواع تخلخل در نمونه‌های مغزه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که سنگ مخزن دارای ترکیبی از تخلخل‌های بین ریز بلوری، حفره‌ای و تخلخل قالبی است. در نمونه‌هایی با



شکل۱- نمودار فشار موئینگی بر حسب اشباع سیال



شکل۲- نمودار فشار موئینگی بر حسب اشباع سیال

1. Pore Throat Sorting
2. Reservoir Grad

تخلخل بین ریز بلوری در اثر نئومورفیسم، بلورهای نسبتاً هم اندازه طی پدیده دولومیتی شدن ثانویه به‌وجود آمده و میزان دولومیتی شدن ثانویه روی بافت و میزان تخلخل و تراوایی و فشار موئینه اثر گذاشته است و سبب شده که شبکه ارتباطی ضعیفی بین منافذ ریز و درشت به‌وجود آید که این نواحی دارای آب همزاد زیاد می‌باشد. در تخلخل حفره‌ای که این نوع تخلخل اکثراً شکل نامنظم دارند و همراه با بافت‌های گوناگون بلوری و غیر بلوری در بافت هموژن (دولومیتی یا آهکی) دیده می‌شوند، این نوع تخلخل به‌صورت ثانویه در اثر انحلال تمام یا قسمت‌هایی از دانه به‌وجود آمده است. در این نوع تخلخل، فشار جابه‌جایی کمتری برای به حرکت درآوردن سیال درون منافذ نیاز است. فشار جابه‌جایی کم، بیانگر کیفیت مناسب سنگ مخزن از نظر بازدهی مؤثر است و سطوح زیر نمودار فشار موئینه در این نوع تخلخل نیز کاهش می‌یابد که نمایانگر ارتباط خوب سیستم تخلخل است. در تخلخل قالبی، نوع دیگری از تخلخل که در فواصلی از ستون مغزه‌ها ملاحظه شد به‌صورت غلاف میکریتی محاط بر تخلخل حفظ شده است. این قالب‌ها معمولاً در اثر ناپایدار بودن و حل شدن دانه‌ها در متن سنگ به‌وجود می‌آیند. در شکل‌های ۳ الی ۱۰، ویژگی‌های سنگ‌های مورد مطالعه با بافت‌های متفاوت نشان داده شده است. در جدول ۱ نیز ویژگی‌های کمی نمونه‌های مورد مطالعه گزارش شده است که از ارزیابی نمودارهای فشار موئینه برای بررسی خواص مخزنی و غیر مخزنی بافت‌های مختلف به‌دست آمده‌اند.

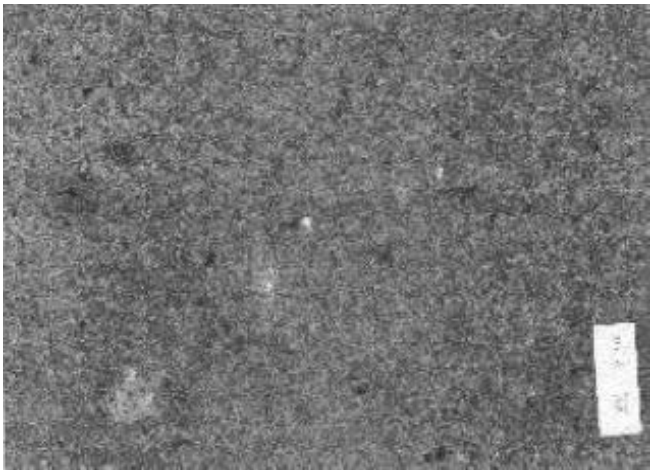
جدول۱- نتایج حاصل از ارزیابی سنگ مخزن

نوع بافت	درجه مرغوبیت	ضریب جورشدگی
A	۷۰	۳/۱
B	۴۰	۲/۸
C	۷	۱/۸
D	۲۶	۲/۱

نواحی با تخلخل ریزبلوری با بافت A، دارای درجه جورشدگی و مرغوبیت ضعیفی می‌باشند. در این نواحی شبکه ارتباطی ضعیفی بین منافذ ریز و درشت وجود دارد و سبب شده فشار جابه‌جایی زیادی برای به حرکت درآوردن نفت، نیاز باشد. در قسمت‌هایی با تخلخل حفره‌ای (بافت‌های C و D) سنگ مخزن دارای کیفیت بسیار خوبی است، کیفیت خوب سنگ مخزن نشان دهنده ارتباط مؤثر بین منافذ و مجاری ارتباطی است. در نواحی از سنگ مخزن با تخلخل قالبی (بافت نوع B) کیفیت سنگ مخزن متوسط تا ضعیف است و این نواحی، ترکیبی از منافذ ریز و درشت است که فراوانی منافذ ریز در آن‌ها بیشتر می‌باشد.

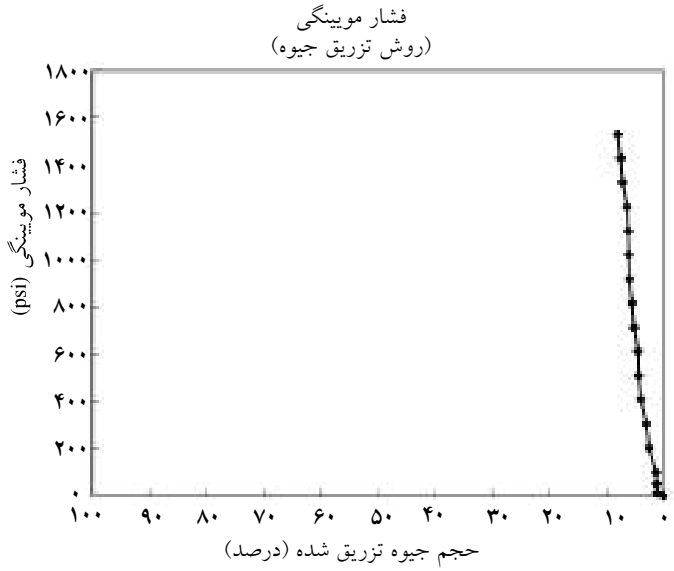
بافت دولومادستون کریستالین[1] (A)

این نوع بافت بیشترین فراوانی را در سنگ مخزن دارد و بسیار ریز بلور و تماماً از بلورهایی در حد ۵ میکرون و یا کمتر تشکیل شده است. تخلخل موجود بیشتر به‌صورت میکرونی (بین بلوری) است (شکل‌های ۳ و ۴).



شکل۳- بافت نوع A بسیار ریز بلور

1. Crystalline Dolomudstone



شکل۴- نمودار فشار موئینگی در بافت A

بافت دولووکستون کریستالین[1] (B)

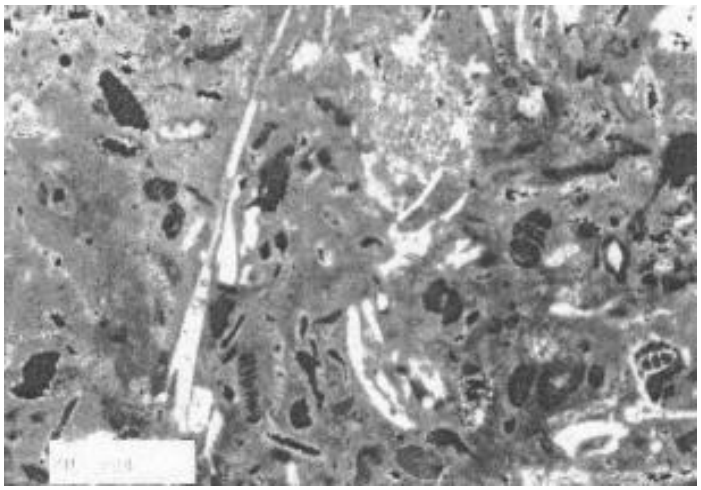
این نوع بافت با اندازه بلورهای ۵۰ تا ۸۰ میکرون می‌باشد و تخلخل موجود قالبی است که متناسب با سطح اتکای بلورها، میزان تخلخل تغییر می‌کند و به علت وجود سیمان انیدریت در بین بلورها، دولومیت باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای از تخلخل در بعضی از قسمت‌های بافت شده است (شکل‌های ۵ و ۶).

بافت دولوپکستون دانه پشتیبان[2] (C)

این نوع بافت از نظر مشخصات مخزنی در حد خوب است و تخلخل موجود در بافت انحلالی و بین بلوری است. ذرات آلوکم در این رخساره همراه با زمینه دولومیتی همراه شده‌اند، اندازه بلورهای دولومیت در حدود ۳۰ الی ۴۰ میکرون است (شکل‌های ۷ و ۸).

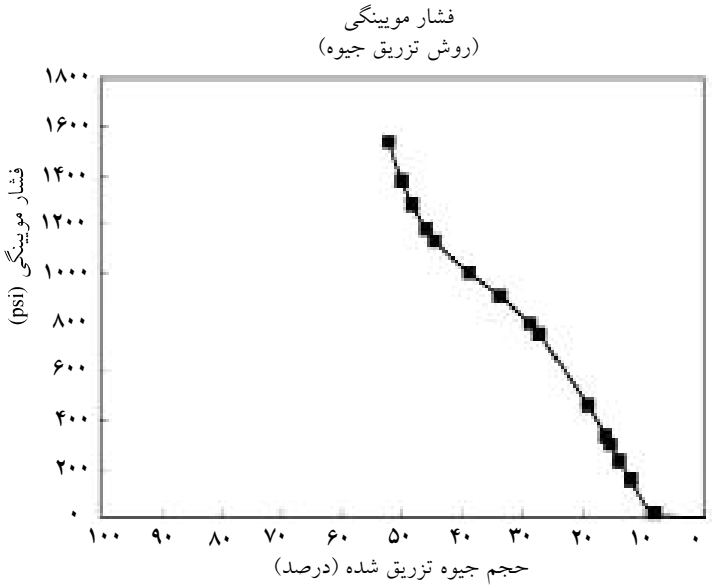
بافت گرینستون - دولوپکستون[3] (D)

این نوع بافت کمترین فراوانی را در سنگ مخزن دارد و تخلخل به‌صورت حفره‌ای است و ذرات آلوکم در این رخساره در زمینه‌ای از بلورهای ریز دولومیتی با اندازه حدود ۱۰ میکرون وجود دارد (شکل‌های ۹ و ۱۰).

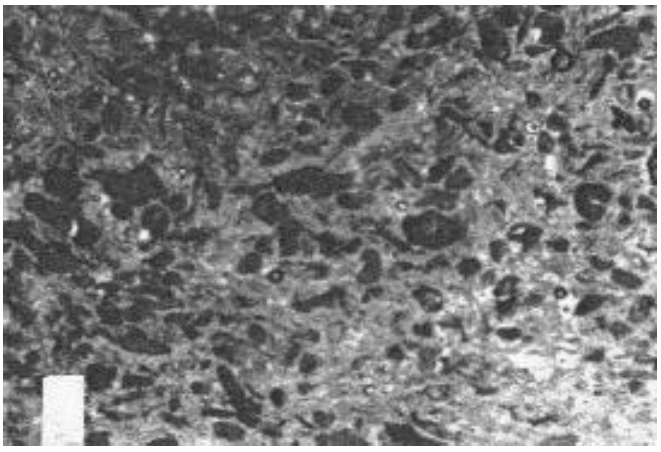


شکل۵- بافت نوع B با تخلخل قالبی

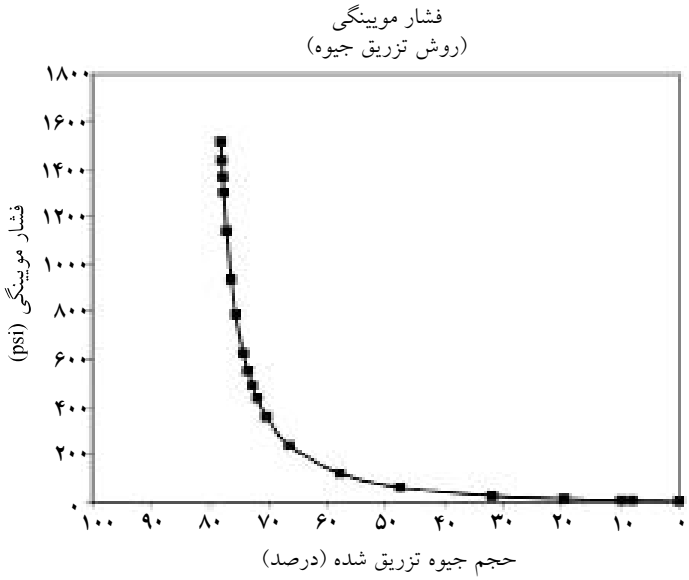
1. Crystalline Dolowackestone
2. Grain-Dominated Dolopackstone
3. Dolopackstone Grainstone



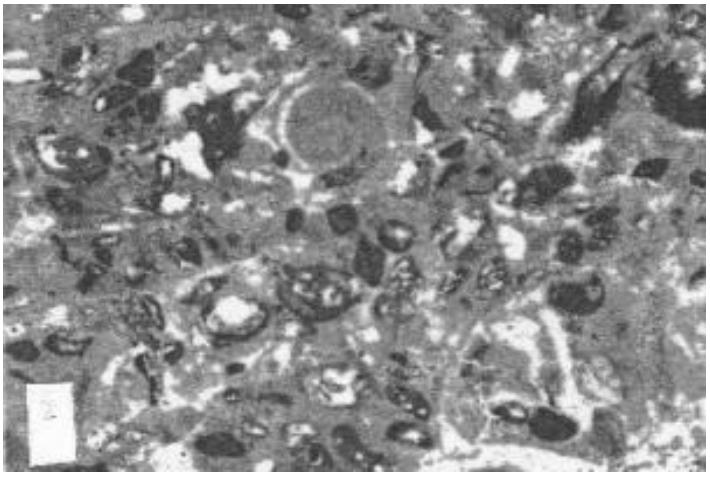
شکل۶- نمودار فشار موئینگی در بافت B



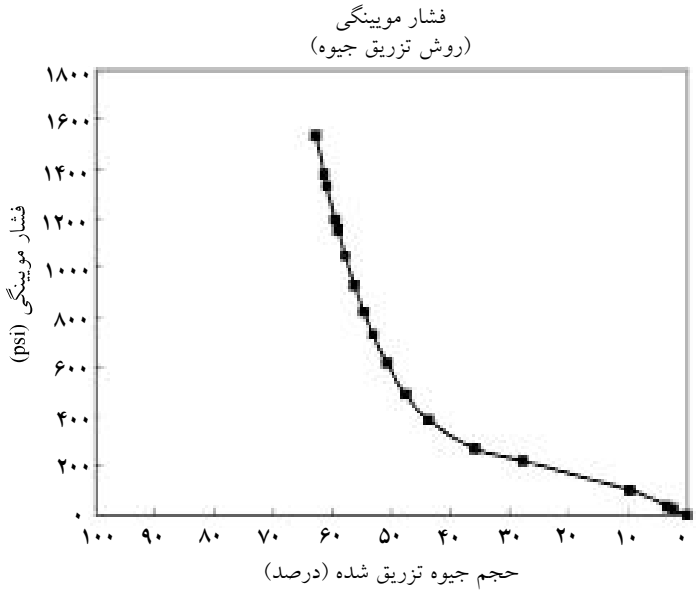
شکل۷- بافت نوع C با تخلخل حفره‌ای



شکل۸- نمودار فشار موئینگی در بافت C



شکل۹- بافت نوع D با تخلخل حفره‌ای



شکل۱۰- نمودار فشار موئینگی در بافت D

نتیجه‌گیری

نمودارهای فشار موئینه یکی از ابزارهای مناسب برای مقایسه کیفیت و کمیت سنگ‌های مخازن هیدروکربنی است. بررسی به عمل آمده از چهار نوع سنگ مخزن مورد مطالعه نشان می‌دهد بافت‌های C و D به ویژه بافت C از کیفیت مخزنی خوب برخوردار بوده در این نوع بافت‌ها ارتباط منافذ و مجاری ارتباطی سبب شده است که فشار جابه‌جایی کمتری برای تولید نفت از سنگ مخزن نیاز باشد و فشار جابه‌جایی کم، بیانگر کیفیت مناسب سنگ مخزن از نظر بازدهی مؤثر است. در نمونه B با تخلخل قالبی، میزان اشباع آب همزاد، درصد بیشتری نسبت به نمونه‌های با تخلخل حفره‌ای دارد و این نوع سنگ مخزن دارای کیفیت متوسط تا ضعیفی می‌باشد. در نوع بافت A که از تخلخل ریز بلوری تشکیل شده است به سبب فاصله کم منافذ و مجاری ارتباطی، فشار جابه‌جایی بیشتری برای حرکت نفت نیاز است و میزان اشباع آب همزاد در این نوع بافت بیشتر از بافت B است و سنگ مخزن دارای کیفیت ضعیفی از نظر تولید می‌باشد.

علائم و نشانه‌ها

Pore throat Sorting (PRT) = [3rd Quartile Pressure / 1st Quartile Pressure] 1/2

Reservoir grade (RG) = The Percentage of Linear area Integrated under the Capillary Pressure Curve.

منابع

[1] Ehrich R., Crabtree S.J., Horkowitz K.O. & Horkowitz J.P., *"Petrography and reservoir physics",* AAPG Bulletine Vol. 75, No. 10, 1991.

[2] Purcell W.R., *"Capillary pressure their measurement and the calculation of permeability",* .Journal of Petroleum Technology, Vol. 1, 1949.

[3] Leveret M.C., *"Capillary behavior in porous solids"*, AIME Trans, Vol. 142, 1941.

[4] *"Capillary pressure in stratigraphic traps",* AAPG Bulletin, Vol. 59, 1975.

[5] *"Classification of carbonate reservoir rocks and petrophysical considerations",* AAPG Bulletin, Vol. 36, 1952.

[6] Aschenbrenner B.C., Achaver C.W., *"Minimum conditions for migration of oil in water-wet carbonate rock",* AAPG Bull., IV. 44, 1960.

[7] Integrated geological and petrophysical characterization of Permian shallow-water Dolostone SPE Reservoir Evaluation & Engin, Feb. 2004.

[8] *"Capillary pressure techniques: Application to exploration and development geology",* American Association of Petroleum Geologists Bull., Oct. 1987.

[9] Trask P.D., *Origin and environment of source sediments of petroleum,* Houston Gulf Publishing Company, 1932.

[10] Tnomeer J.H.M., *Introduction of a pore geometrical factor defined by the capillary pressure curve,* AIME 1960.