



تأثير كل من المسامية الأولية والفعالة على نفاذية تتابعات تكوين قره جيني (الترياسي المتأخر) في

ابار مختاره شمالي العراق

د. محمد سليمان علي^{1*}، د. مهى منيب الدباغ²

¹وزارة النفط، شركة الاستكشافات النفطية / بغداد

²جامعة الموصل / كلية هندسة النفط والتعدين

*Corresponding Author E-mail: mohammad_suliaman@yahoo.com

mahamuneeb@uomosul.edu.iq

الخلاصة:

يسلط البحث الضوء على تقدير النفاذية باستخدام كل من المسامية الأولية والفعالة للتتابعات الكربونائيتية لتكوين قره جيني في ابار عين زاله-29 وبطمه-15 وعلان-2. وقد اعتمد في ذلك على طريقة حديثة نسبياً مصممة خصيصاً للصخور الكربونائيتية والمقترحة من قبل Lucia (1995). إذ عوضاً عن اعتمادها على قيم المسامية والتشبع المائي، فإن هذه الطريقة تستخدم طراز الصخرة وعلاقته بالمسامية الأولية المحسوبة من المجس الصوتي في حساب النفاذية. ونظراً لكون المجس الصوتي يتحسس فقط المسامية بين الجسيمية (interparticle)، فإن وجود نسبة من المسامية الفجوية قد يؤدي الى نتائج غير دقيقة. حيث تتأثر النفاذية بحجم وتوزيع وارتباط المسامات أكثر من تأثرها بقيم المسامية الكلية للصخرة. وعليه، فقد استخدم البحث الحالي لتقييم النفاذية المسامية الفعالة المحسوبة من مجسي النيترين والكثافة بدلاً عن المسامية الاولية (بين الجسيمية) المحسوبة من المجس الصوتي. واتضح من مقارنة نتائج كلا النفاذيتين (أي المحسوبة من المسامية الأولية والفعالة) أن هناك تباين واضح ضمن الصخور الجيرية لتكوين قره جيني لاسيما تلك الغنية بالمسامات الفجوية. وتبين أن سبب ذلك يعود الى ارتباط العديد من هذه المسامات فيما بينها بقنوات دقيقة جداً تشكلت بفعل دلمنة الارضية المحيطة بها كما في بئر بطمه أو نتيجة لعملية اعادة التبلور كما في بئري عين زاله وعلان. أما الصخور الدولومايتية للتكوين فقد أعطت قيم نفاذية مقاربة وذلك لكون المسامات بين البلورية هي المسامات الأساسية في هذه الصخور.

The Impact of Primary and Effective Porosities on the Permeability of the Kurra Chine Formation Successions (Late Triassic) in Selected Wells - Northern Iraq

Abstract:

This paper highlights of calculating the permeability by using primary and secondary porosities for carbonate successions of Kurra Chine Formation in Ain Zalah-29, Butmah-15, and Alan-1 wells. It has been based on a relatively modern method specially designed for carbonate rocks which proposed by Lucia (1995). Rather than dependence on the porosity and water saturation values in calculating permeability, this method uses the rock fabric and its relationship to the primary porosity that calculated from the sonic log. Since the sonic log only senses porosity between the interparticle, the presence of a percentage of the vuggy porosity may lead to inaccurate results. Where the permeability is affected by the size, distribution, and interconnection of pores more than by the total porosity values of the rock. Therefore, the current research is suggested to evaluate the permeability the use of the effective porosity that calculated from the neutron and density logs instead of the primary porosity (interparticles) that calculated from the sonic log. It appears from comparing the results for both permeability curves (i.e. that was calculated from the primary and effective porosities) that there is a clear contrast in the limestone rocks of Kurra Chine Formation, especially those rich with vuggy porosity. The reason for this is that many of these pores are connected to each other by micro-channels that was formed by dolomitization of the surrounding matrix as in Butmah well or as a result of recrystallization as in Ain Zalah and Alan wells. While the dolomitic rocks have convergent permeability values because the intercrystalline porosity are the basic pores in these rocks.

المقدمة:

تعد المسامية من الخصائص الصخرية المهمة في التقييم المكمني، فهي تمثل قابلية الصخرة أو طاقتها الاستيعابية على خزن الموائع. وتتصف المسامية في الصخور الكربونائيتية بتعقدتها الشديد مقارنة بمثلاتها في الصخور الرملية [1]. وكما هو معروف، فإن الانسجة الأولية في الصخور الرملية هي التي تسيطر على المسامية، في حين تتأثر المسامية النهائية للصخور الكربونائيتية بالعديد من العوامل، ولا سيما العوامل التحويرية. ونظراً لصعوبة احتفاظ الصخور الكربونائيتية بالمسامية الأولية فإن أغلبية المكامن الكربونائيتية تمتاز بمساميتها الثانوية الناتجة عن العمليات اللاحقة للترسيب. ونظراً للأهمية المكمنية للصخور الكربونائيتية، لا سيما تلك المؤلفة من

مسامات مختلفة المنشأ، فإنه من الضروري فهم علاقة هذه المسامات وكيفية ارتباطها ببعضها مع النفاذية. إذ تتأثر هذه العلاقة بالعديد من العوامل وتحديداً نسيج أو طراز الصخرة ونوع وحجم كل من الحبيبات والمسامات وطريقة ترتيبها ضمن الصخرة.

منطقة الدراسة:

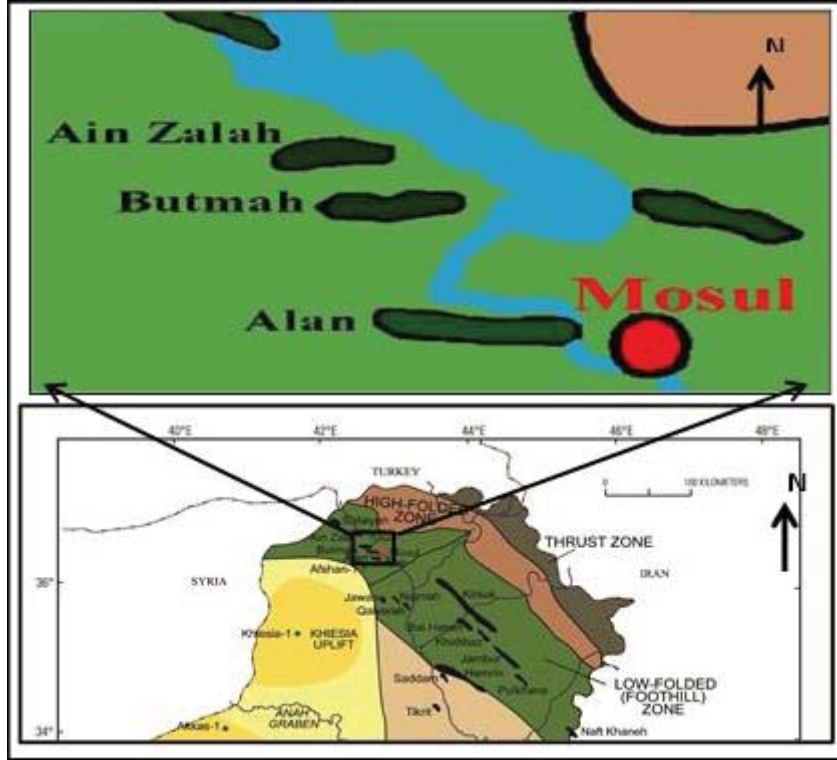
جغرافياً، تقع منطقة الدراسة شمال غربي مدينة الموصل، وتمثلت بدراسة المقاطع تحت السطحية لأبار: عين زالة (AZ-29) وبطمة (Bm-15) وعلان (Aa-2). أما تكتونياً، فإن جميع هذه الآبار تقع، وتبعاً لتقسيمات [2]، ضمن نطاق أقدام الجبال (Foothill Zone) كما في الشكل (1).

طرائق البحث:

اعتمد البحث الحالي في حساب المسامية والنفاذية على بيانات المجسات البئرية لثلاثة آبار. وتمثلت هذه المجسات بـ (GR،DT،RHOB،NPHI). وقد استعين في ذلك ببرنامجين حاسوبيين هما (NeuraLog) و (IP. V3.5). إذ يختص الأول بتحويل المجسات من صيغها الورقية أو الصورية إلى بيانات رقمية يسهل التعامل معها. بينما استخدم الثاني في حساب المسامية والنفاذية. كما اتخذ البحث من المقاطع الرقيقة المتاحة أساساً في تشخيص مسامية التكوين وتصنيفها.

تصنيف المسامية:

استند البحث الحالي في تشخيص مسامية تكوين قره جيني على تصنيف [4] الذي استخدم كمبدأ لتحديد نفاذية التكوين. إذ إن هذا النظام، وعلى خلاف نظام [1] المعتمد أساساً على أصل المسامية وزمن نشأتها، يتخذ الخصائص البتروفيزيائية للصخرة مبدأً أساسياً في تصنيف المسامية. فمثلاً يتضح من تصنيف [4] أن للمسامات القالبية وبين الحبيبية تأثيرين مختلفين على الخصائص البتروفيزيائية، رغم أن نظام تصنيف [1] قد وضعهما ضمن حقل واحد. صنف [4] المسامية على نوعين أساسيين بين الجسيمية والفجوية بافتراض أن توزيع الحجم المسامي هو الذي يهيمن على المتغيرات الهندسية للنفاذية والتشبع المرتبط بنسيج الصخرة الذي يعد الناتج النهائي لمجمل العمليات الجيولوجية. ويستخدم هذا النظام مصطلحات بتروفيزيائية – نسيجية لوصف مسامية الصخرة كما هي عليه اليوم (الصورة الحالية)، سواء كانت هذه المسامات رسوبية أم تحويرية. وفيما يلي وصفاً مفصلاً لكلا النوعين ومدى شيوعهما ضمن تتابعات التكوين:



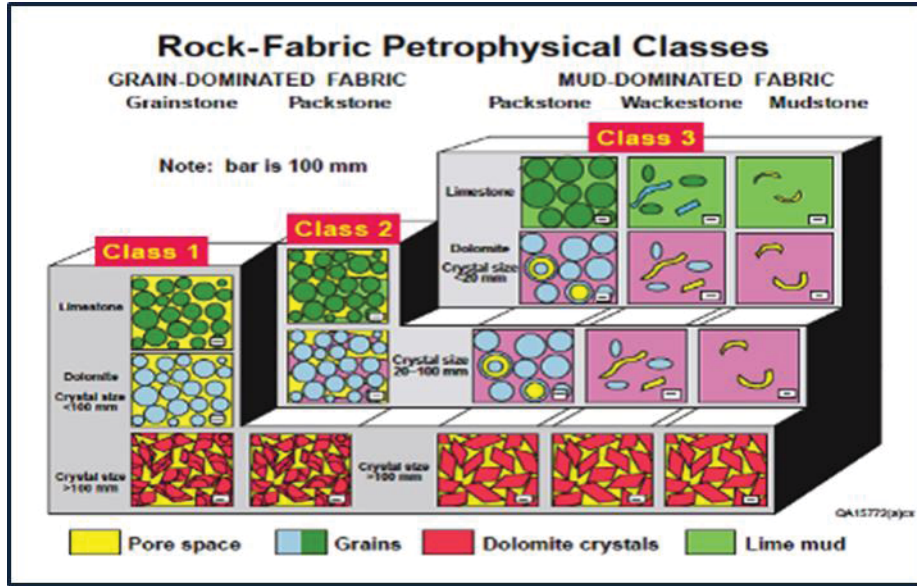
الشكل (1) خريطة تبين منطقة الدراسة ومواقع الآبار المختارة جغرافياً

أولاً: المسامية بين الجسيمية (Interparticles Porosity):

تشتمل المسامية بين الجسيمية على كل من الفراغات المسامية بين الحبيبية (Intergrain) وبين البلورية (Intercrystal). وعلى الرغم من نشأتها المختلفة، إلا أن [4] قد أدرج هذين النوعين من المسامية ضمن صنف واحد، لامتلاكهما خصائص بتروفيزيائية متشابهة والمعتمدة بالأساس على الحجم الحبيبي والفرز. إذ تبين لهذا الباحث ان هناك علاقة ما بين حجم الجسيم ومسامية ونفاذية الصخرة. لذلك فقد صنف المسامية بين الجسيمية على ثلاث رتب (Class 1,2,3) باستناده الى تصنيف [5] فيما إذا كان النسيج ذات سيادة حبيبية ام طينية كما في الشكل (2). وشُخص توارد الرتب الثلاث ضمن تتابعات تكوين قره جيني وهي كالآتي:

1- الرتبة الأولى (Class-1):

سجلت مسامية هذه الرتبة ضمن السحنات الحبيبية الدعم ذات الحجم الحبيبي الكبير نسبياً (الأكبر من $100 \mu m$) في المقاطع المختارة كافة كما في الشكل (A-4). ويلاحظ أن لعملية السمنتة تأثيراً كبيراً على اختزال الحجم المسامي في هذه السحنات، إذ تمتلئ مساماتها جزئياً أو كلياً بالسمنت الكاربوناتي أو المتبخرايتي البويكيلوتوبي. وتبعاً لـ [4] و [6] فإن هذه الرتبة تتسم بنفاذيتها العالية مقارنة مع الرتبتين الأخرتين. وعلى الرغم من النفاذية العالية لهذه الرتبة إلا ان تأثيرها محدود على الهيدروكربونات في تكوين قره جيني، ولا سيما في بئر عين زاله، والسبب في ذلك يعود بشكل اساسي لعملية السمنتة التي ادت الى غلق معظم الممرات الرابطة ما بين المسامات بين الجسيمية.



الشكل (2) المسامية بين الجسيمية والعلاقة ما بين نسيج الصخرة والأصناف البتروفيزيائية تبعاً لـ [4].

2- الرتبة الثانية (Class-2):

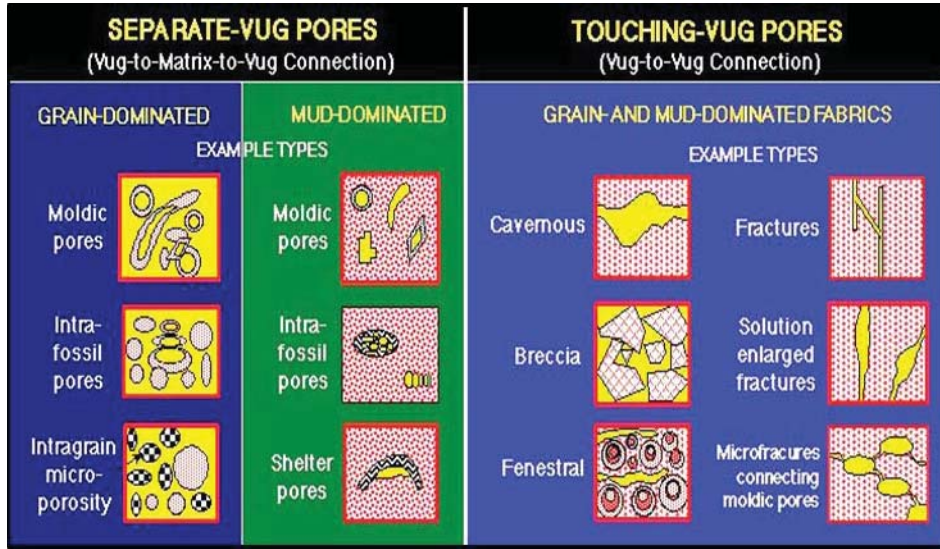
تختص هذه الرتبة بالسحنات المرصوصة الحبيبية الدعم، ذات الاحجام المختلفة والحاوية على كل من الميكرايت والسيار. وتنحصر أحجام الحبيبات او البلورات الدولومايتية لهذا النوع ما بين (20- 100 μm) (الشكل B-4). تحتل هذه الرتبة المرتبة الثانية من حيث سيادتها ضمن تتابعات التكوين. ويلاحظ انه ليس لهذا النوع من المسامية أية أهمية بتروفيزيائية في السحنات الجيرية، وذلك لامتلاء معظمها بالسمنت المتبخرايتي أو الكاربوناييتي. أما التتابعات المؤلفة من البلورات الدولومايتية المتوسطة الحجم، لاسيما تلك التي لا يزيد حجمها عن الـ (70 μm)، فإنها تمتلئ بالمواد البتيومينية في معظم تتابعات الابار المختارة، باستثناء تتابعات بئر عين زاله، حيث يملأ السمنت مسامية صخورها الدولومايتية. وتعد هذه الرتبة هي الاكثر اهمية من حيث محتواها الهيدروكاربوني في تتابعات بئري علان وبطمه، حيث تنتشر فيهما وبوضوح هذه المواد ضمن بلورات الدولومايت.

3- الرتبة الثالثة (Class-3):

تظهر هذه الرتبة في السحنات ذات السيادة الطينية التي لا يتجاوز حجم حبيباتها الـ (20 μm). وتعد هذه الرتبة الاكثر انتشارا ضمن سحنات تكوين قره جيني. وتمتاز هذه المسامية بنفاذيتها الواطئة على الرغم من مساميتها العالية، إلا انه من الممكن ان تزداد هذه النفاذية نتيجة لتعرض الطين الجيري لعملية الدلمتة. إذ تؤدي الدلمتة الى تحسين الخصائص البتروفيزيائية، لاسيما اذا كانت أحجام بلورات الدولومايت اقل من الـ 20 مايكرون كما في الشكل (C-4). وهذا ينطبق على بعض سحنات التكوين ضمن مقطعي علان وبطمه، لاسيما تلك الحاملة لاصداف الفورامينيفيرا، المتدلمتة انتقائياً. إذ تمتاز هذه الاصداف المتدلمتة بامتلاكها لغلاف ميكرايتي يطوق البلورات الدولومايتية الحاوية في مساماتها بين البلورية على مواد بتيومينية.

ثانياً: المسامية الفجوية (Vuggy Porosity):

عرف [4] المسامية الفجوية على انها الفراغات المسامية الواقعة ضمن الحبيبات أو البلورات أو التي تكون أكبر حجماً منها، ولا تنتمي للمسامات بين الجسيمية. وتتخذ هذه المسامية هياكل مختلفة مجسده للمتحجرات أو للحبيبات المذابة أو لكسور أو كهوف غير منتظمة واسعة الحجم. وبذلك فان التعريف الحالي لهذه المسامية يختلف عن التعريف التقليدي المطروح من قبل [1] الذي صنفها كنوع من المسامات غير الانتقائية النسيج المتساوية الأبعاد تقريباً وذات الأحجام الكبيرة نسبياً ($< 62.5 \mu\text{m}$)، بحيث يمكن ملاحظتها بالعين المجردة. وتبعاً لتصنيف [4] تقسم هذه المسامية الى نوعين اعتماداً على طبيعة ترابطها مع بعضها (الشكل-3)، وفيما يلي وصفاً مفصلاً لهذه المسامات:



الشكل (3) النوعان الاساسيان من المسامية الفجوية تبعاً لتصنيف [4].

1- المسامات الفجوية المنفصلة (Separate Vug Pores):

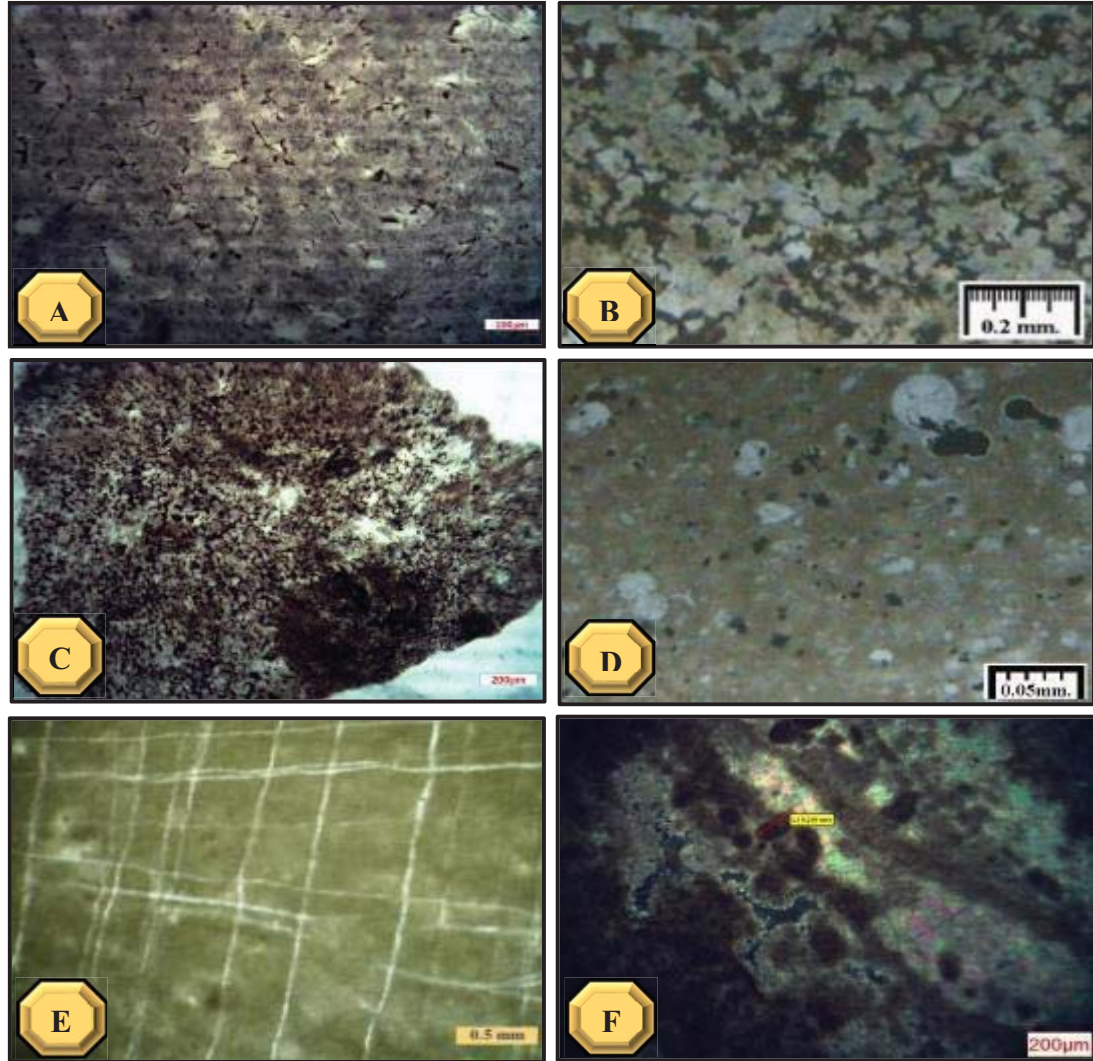
لا يختلف تعريفها عن التعريف العام للمسامات الفجوية الا في كون هذه المسامات المنفصلة ترتبط مع بعضها البعض فقط من خلال المسامات بين الجسيمية. وقد شخخص البحث الحالي توارد كل من المسامية داخل المتحجرات والقالبية. تمثلت الاولى بظهورها المحدود ضمن أصداف الكاستروبودا والفورامينيفيرا الطافية، وهي مسامات قد تكون فارغة أو ممتلئة، بالسمنت الكاربوناتي أو بالمواد البتيومينية كما في الشكل (D-4). أما المسامية القالبية فإنها أكثر توارداً ضمن تتابعات كل المقاطع المختارة. فهي تتمثل بالمسامات الناتجة عن الاذابة الانتقائية للمكونات الحبيبية، ولاسيما الاراكونايتية، أو البلورية للصخرة أو الراسب [1]. وشخصت هذه المسامية في كل من السحنات الحبيبية والطينية الدعم ممتلئة بقوالب السرئيات وبعض اصداف المتحجرات كالاوستراكوذا والبيلسيبودا والكاستروبودا والفورامينيفيرا، رغم امتلاء معظمها، جزئياً أو كلياً، بأنواع مختلفة من السمنت.

تبعاً لـ [4] فان لهذه المسامات أهمية مكمية محدودة في الصخرة، إذ انها على الرغم من زيادتها للمسامية الكلية الا انها لا تسهم في تعزيز النفاذية. وفي حالة تطور المسامية القالبية، وتحديداً في الصخور الحبيبية الدعم، فانها

ترتبط ببعضها البعض وبالتالي تكوين مسامية فعالة ومهمة مكمناً. إلا أن هذا الأمر لا ينطبق على الصخور الطينية الدعم [7]. أما البحث الحالي يرى أن عملية إعادة تبلور الميكرايت في السحنات الطينية الدعم أدت إلى تكوين ممرات رابطة ما بين المسامات القالبية المختلفة وبالتالي تعزيز نفاذية الصخرة، وهذا الأمر سيرد ذكره بالتفصيل في بند النفاذية.

2- المسامات الفجوية المتلامسة (Touching Vug Pores):

تتسم هذه المسامات الفجوية بأحجامها الكبيرة مقارنة بحجم الحبيبات أو البلورات المحيطة بها، فضلاً عن كونها تشكل نظاماً مسامياً مترابطاً بمساحات واسعة نسبياً. ويتمثل هذا الصنف بالمسامات: الكسرية واللوزية (الثغرية) والكهفية والبريشيا الانهيارية كما في الشكل (3). وقد شُخص توارد هذه المسامات وبكافة أنواعها ضمن تتابعات التكوين، إلا أن الهيمنة للمسامات الكسرية والثغرية. وتتوارد المسامات الكسرية، سواءً في الشرائح الرقيقة أم في المقاطع اللبابية، بمقاييس مختلفة، إذ قد تصل أطوالها إلى عشرات السنتيمترات مترافقة أحياناً مع عروق الستايلولايت. وتظهر هذه الكسور، وضمن مختلف سحنات التكوين، بهيئة منفردة (عمودية أو أفقية) أو على هيئة تجمعات شبكية متقاطعة مع بعضها البعض كما في الشكل (E-4). وتمتلى أغلبية هذه الكسور بالسمنت الكالسائي أو الانهيدرايتي المرافقة أحياناً للمواد البتيومينية، سيما على حافاتها، مع بقاء الكسور الأخرى فارغة. تختلف آلية تأصل هذه الكسور من موقع إلى آخر، إذ قد تكون ناتجة عن عمليات رسوبية مختلفة أو بفعل العمليات التكتونية. وقد اعتبر [8] تكوين قره جيني من الوحدات الممكنية الكسرية الجيدة ضمن تتابعات الترياسي الأعلى، وقد فسّر قيم المسامية والنفاذية العالية إلى موقعها التركيبي ضمن أنطقة الفوالق والطيات. أما المسامات اللوزية فإنها تكثر ضمن السحنات المايكروبية في تتابعات مقطعي عين زاله وبطمه. وعلى الرغم من اتخاذها أشكالاً واحجاماً مختلفة إلا أن أغلبيتها ممثلة بالسمنت الانهيدرايتي البلوكي أو البويكيلوتوبي (الشكل F-4). ولهذه المسامية الأولية المنشأ أهمية اقتصادية في العديد من المكامن الكربونائيتية لما لها من نفاذية عالية، إلا أن هذا لا ينطبق على مسامية تكوين قره جيني لامتلاء معظمها بالسمنت. فيما يتعلق بالأنواع الأخرى كمسامية البريشيا والكسرية – القنوائيتية فقد اقتصر تواردها على بعض تتابعات التكوين، لاسيما تتابعات بئر عين زاله، حيث تكون عادةً ممثلة بالسمنت الانهيدرايتي.



الشكل (4) اهم انواع المسامات المشخصة ضمن تتابعات تكوين قره جيني

- (A): المسامات بين البلورية، الرتبة الاولى، بئر علان 2، العمق (2827 م).
- (B): المسامات بين البلورية، الرتبة الثانية، بئر بطمة-15، العمق (3181 م).
- (C): المسامات بين البلورية، الرتبة الثالثة، بئر علان 2، العمق (2825 م).
- (D): المسامات الفجوية المنفصلة من نوع داخل الحبيبية، بئر بطمة-15، العمق (2995 م).
- (E): المسامات المتصلة من نوع الكسرية، بئر عين زالة 29، العمق (3945 م).
- (F): المسامات المتصلة من نوع الثغرية (Fenestral)، بئر عين زالة 29، العمق (4634 م).

حساب المسامية:

يهتم الجيولوجيين عند تقييم أي مكن نفطي أو غازي بثلاثة متغيرات أساسية، وهي: المسامية والنفاذية ووجود الموائع. وتمثل المسامية المتغير الحاسم لتقييم المكن، إذ بانعدامها تفقد باقي المتغيرات أهميتها. وتقدر المسامية بتروفيزيائياً، وبكل أنواعها، باستخدام ثلاثة مجسات تقليدية تتمثل بالنيوترون والكثافة والصوت. وتختلف قيم المسامية المستنتجة من هذه المجسات تبعاً لتغير الصخرية ونوعية المائع داخل الفراغات المسامية ومحتوى

السجيل [9]. ونظراً لتعدد صخرية تكوين قره جيني فقد اعتمد في تقدير المسامية على المجسات الثلاثة تلك للحصول على أدق النتائج.

حددت المسامية الكلية لتكوين قره جيني باستخدام كل من مجسي النيوترون والكثافة. ونظراً لتأثير مجس النيوترون كغيره من المجسات بالمعادن الطينية والمعتمدة على حجم السجيل (V_{sh})، فإنه سيعطي قراءات مسامية عالية قبالة الانطقة السجيلية. ولتصحيح قراءات قيم المسامية غير الفعالة لهذه الانطقة، والحاوية على نسبة سجيل أعلى من (10%) لبئر علان و($\leq 35\%$) لبئري عين زالة وبطمه، فقد استخدمت معادلة [10] للحصول على المسامية الفعالة، بعد أن تم تصحيحها صخرياً:

$$\phi_{NC} = \phi_N - (V_{sh} * \phi_{Nsh})$$

إذ إن: ϕ_{NC} : المسامية المصححة من تأثير السجيل، ϕ_N : مسامية النطاق السجيلي المراد تصحيح مساميته، V_{sh} : حجم السجيل، ϕ_{Nsh} : قراءة مجس النيوترون مقابل النطاق السجيلي. ولتحديد قيم المسامية من مجس الكثافة يُشترط ان تكون نوعية الحشوة معروفة لإمكانية تطبيق المعادلة التالية الخاصة بالتكوينات النظيفة:

$$\phi_D = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f}$$

إذ إن: ϕ_D : المسامية الكلية المحسوبة من مجس الكثافة، ρ_{ma} : كثافة الحشوة بوحدة (غم/سم³) (للحجر الجيري (2.71) وللدولومايت (2.87) والانهيدرايت (2.96)، ρ_b : الكثافة الحجمية المقروءة من المجس بوحدة (غم/سم³)، ρ_f : كثافة المائع (للطين العذب = 1.0 وللغاز = 0.7) (غم/سم³).

أما في حالة التتابعات السجيلية التي يزيد فيها حجم السجيل عن الـ (10%)، وكما هي في بئر علان، و ($\leq 35\%$) كما في بئري عين زالة وبطمه، فقد أُستخدمت المعادلة الخاصة بتصحيح المسامية من تأثير السجيل [9] و [11] وعلى النحو الآتي:

$$\phi_{DC} = \left(\frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f} \right) - V_{sh} * \left(\frac{\rho_{ma} - \rho_{sh}}{\rho_{ma} - \rho_f} \right)$$

إذ إن: ϕ_{DC} : المسامية المصححة من تأثير السجيل، ρ_{sh} : كثافة نطاق السجيل. وللحصول على المسامية الفعالة المصححة من تأثير الغاز تطبق المعادلة الآتية:

$$\phi_{NDC} = \sqrt{\frac{(\phi_{NC})^2 + (\phi_{DC})^2}{2}}$$

إذ إن: ϕ_{NDC} : المسامية الفعالة

أما لحساب المسامية الفعالة للانطقة الخالية من الغاز فيستخدم المعادلة التالية:

$$\phi_{NDC} = \frac{\phi_{NC} + \phi_{DC}}{2}$$

لحساب المسامية الحشوية (المتضمنة للمسامية بين الحبيبية وبين البلورية) للصخور الكربونائيتية النظيفة المنضغطة الجيدة التصلب [12] تطبق المعادلة التالية:

$$\phi_s = \frac{\Delta t_{log} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}}$$

إذ إن: ϕ_s : المسامية المشتقة من مجس الصوت، Δt_{log} : زمن انتقال الموجة في التكوين ($\mu\text{sec}/\text{ft}$)، Δt_{ma} : زمن انتقال الموجة في الحشوة بوحدة ($\mu\text{sec}/\text{ft}$) (الكالسايت = 47.6، الدولومايت = 43.5، الانهايديرايت = 50.0)، Δt_f : زمن انتقال الموجة في مانع التكوين (الماء العذب = 189 $\mu\text{sec}/\text{ft}$).
فيما يتعلق بالطبقات السجيلية القليلة الانضغاط، التي تزيد فيها نسبة السجيل عن (35%) فقد صححت من تأثير درجة الانضغاط وحجم السجيل وكما يلي [13]:

$$\phi_{sc} = \left(\frac{\Delta t_{log} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \right) * \left(\frac{100}{\Delta t_{sh}} \right) - V_{sh} * \left(\frac{\Delta t_{sh} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \right)$$

إذ إن: ϕ_{sc} : المسامية المصححة، Δt_{sh} : زمن انتقال الموجة في النطاق السجيلي.

يُفضل الباحثان استخدام مصطلح المسامية بين الجسيمية على المسامية الأولية للمسامية المحسوبة من المجس الصوتي. إذ من الممكن حساب المسامية بين البلورية للصخور الدولومايتية من المجس الصوتي، والتي طبقاً للمفاهيم الجيولوجية، فإنها ثانوية المنشأ. لذلك من الخطأ أن يتم اعتبارها أولية.

تحديد النفاذية:

يعد تقييم النفاذية من المتطلبات الأساسية في الدراسات المكمنية. فعلى الرغم من أهمية المسامية إلا أن الصخرة تفقد أهميتها المكمنية في حال انعدام النفاذية فيها. إذ تعتمد على وجود مسامات مرتبطة بقنوات تدفق تسمح بجريان المواد الهيدروكربونية إلى الآبار المحفورة، ولذلك فإن النفاذية العالية لنطاق معين تعني وجود العديد من هذه القنوات وبالتالي زيادة أهميته المكمنية.

ظهرت العديد من الأساليب التجريبية المباشرة وغير المباشرة لتقييم النفاذية. ومقارنة مع الصخور الفتاتية، فإن تقدير نفاذية الصخور الكربونائيتية من المجسات البئرية يعتبر تحدياً. إذ تتسم الصخور الكربونائيتية، وتبعاً للتغيرات في البيئة الترسيبية وما يليها من عمليات تحويرية، بعدم تجانسها، حيث تمتلك مدىً واسعاً من الأحجام الحبيبية الموزعة بشكل غير منتظم ضمن الصخرة، فضلاً عن مساماتها المختلفة الأنواع والأشكال والأحجام [14]. ومع ذلك فقد اعتمد معظم الباحثين على مجسات المقاومة في أستنتاج النفاذية لكن بأساليب مختلفة، منها ربطها بخصائص يمكن قياسها بسهولة كالمسامية والتشبع المائي ومعامل مقاومة التكوين [15].

نظراً لعدم توفر مجسات المقاومة والأجهزة الصوتية الحديثة فقد أعتد البحث الحالي في تقييم النفاذية على طريقة حديثة نسبياً ومصممة خصيصاً لمعالجة هندسية المسامات المتغايرة في الصخور الكربونائيتية وهي الطريقة المعتمدة على طراز الصخرة والمقترحة من قبل [4]. إذ اعتمد هذا الباحث على الخصائص البتروفيزيائية في تصنيف المسامية، وليس على منشأ المسامات. ولتحديد العلاقة ما بين طراز الصخرة والمتغيرات البتروفيزيائية وجب أولاً تحديد المسامية كما هي عليه اليوم لاستنتاج رتبة الصخرة بالاعتماد على

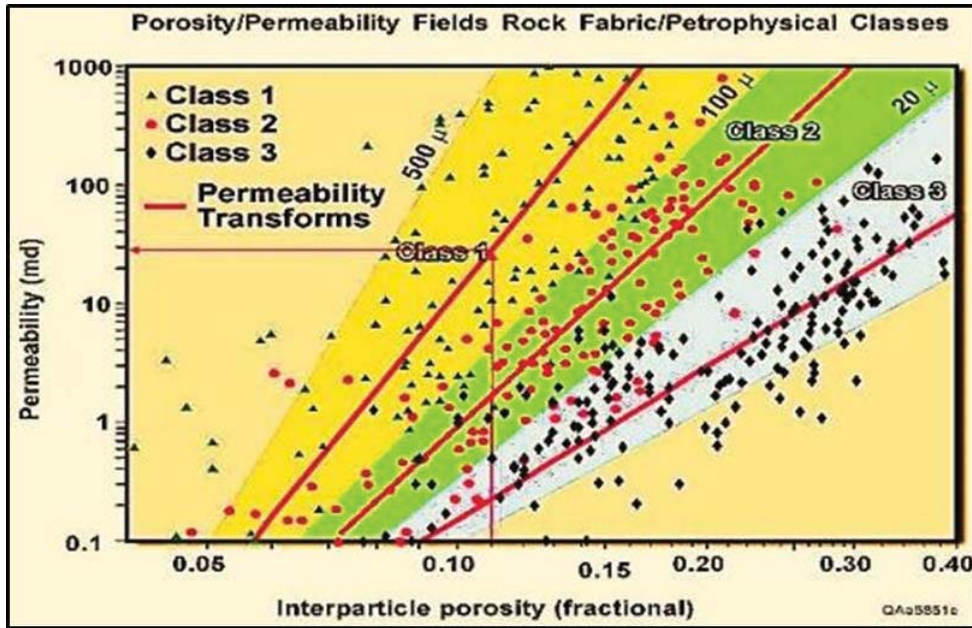
الشرائح الصخرية وكما مشار اليه سابقا. فقد استنتج هذا الباحث وجود علاقة ما بين سرعة الموجة الصوتية الانضغاطية ونوعية المسامات، لاسيما بين الجسيمية (ϕ_{ip}) المهمة في زيادة النفاذية. لذلك فإنه أستخدم هذه المسامية، والمقاسة من المجس الصوتي، في تقييم النفاذية. وتبعاً للصف البتروفيزيائي وعلاقة المسامية بين الحبيبية و/أو بين البلورية مع النفاذية فقد استخدم [4] المعادلات التالية في حساب النفاذية:

$$\text{Class 1} \quad k = (45.35 * 10^8) * \phi_{ip}^{8.537}$$

$$\text{Class 2} \quad k = (2.040 * 10^6) * \phi_{ip}^{6.38}$$

$$\text{Class 3} \quad k = (2.884 * 10^3) * \phi_{ip}^{4.275}$$

حيث تستخدم هذه المعادلات كبديل عن التسقيط المباشر على المخطط القياسي للعلاقة ما بين المسامية والنفاذية المطورة من البيانات المكتسبة من النماذج اللبابية (الشكل-5). إذ تشير هذه العلاقة الى وجود عوامل أخرى غير المسامية تؤثر على النفاذية. استنتج [4] ان النفاذية تعتمد على حجم الحبيبات وتوزيعها أكثر من اعتمادها على المسامية الكلية للصخرة.



الشكل (5) كيفية حساب النفاذية من تقاطع قيم المسامية بين الجسيمية مع رتبة الصخرة، نقلاً عن [4].

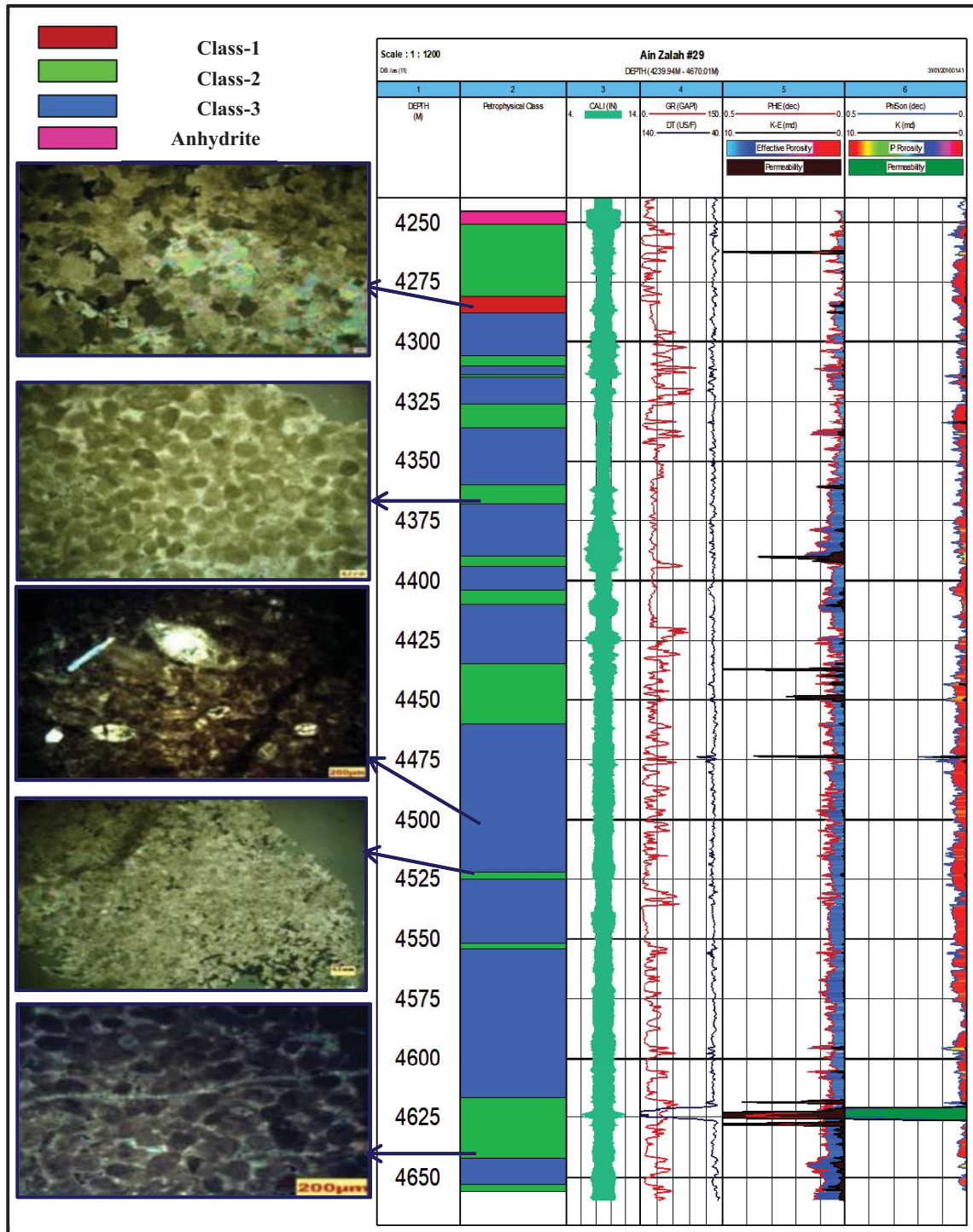
مناقشة النتائج:

تستخدم معادلة وايلي [16]، وكما هو معروف، لحساب المسامية بين الجسيمية من المجس الصوتي فقط على الصخور الكربونائيتية غير الفجوية. لذا فإن وجود نسبة عالية من المسامات الفجوية المنفصلة سيؤدي الى نتائج غير دقيقة. وان غاية [6] من استخدام المجس الصوتي الذي يتحسس فقط للمسامية بين الجسيمية هي اختزال تأثير المسامية الفجوية المنفصلة، أي انه يرغب فقط في الحصول على المسامات المتصلة. لذلك فإن البحث الحالي رجح استخدام المسامية الفعالة المحسوبة من مجسي النيترين والكثافة في تقدير النفاذية لنفاذي

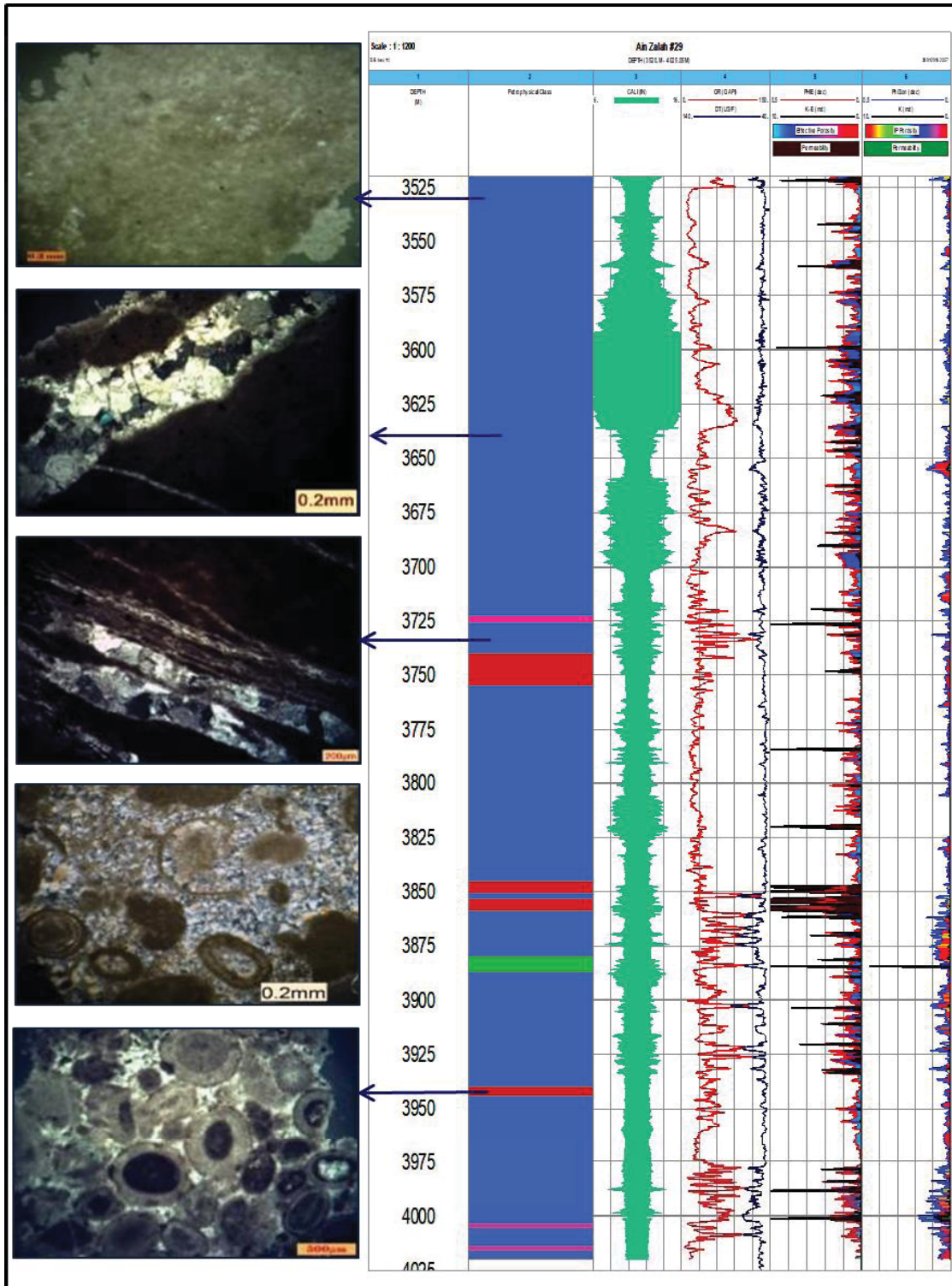
الالتباسات الناتجة عن المسامات غير المتصلة. إذ من الممكن ان تكون هذه المسامات متصلة مع بعضها البعض بممرات أو كسور دقيقة لا يتحسسها المجس الصوتي الذي يهمل المسامات الكسرية والتي تعد من الانواع المهمة في زيادة النفاذية. ولتوضيح التباين ما بين النفاذية المحسوبة من المسامية بين الجسيمية والفعالة فقد تم استخدام كلتا المساميتين لتطبيق المعادلات أعلاه (الأشكال: 6،7،8،9). ويتضح من هذه الأشكال امتلاك بعض الانطقة الصخرية لقيم نفاذية عالية نسبياً عند حسابها من المسامية الفعالة مقارنة بتلك القيم المحسوبة من المسامية بين الجسيمية، بصرف النظر عن رتبته. وتبين عند الرجوع الى المشاهدات البتروغرافية انها تحتوي على العديد من المسامات القالبية المترابطة عبر قنوات دقيقة جداً (الشكلين: 10، 11). عليه، يرجح الباحثان ان يكون سبب تشكل هذه القنوات هي دلمة الارضية المحيطة بهذه المسامات أو كنتيجة للتشكل الجديد، لا سيما إعادة تبلور الطين الجبري وتحوره الى السبار الدقيق. إذ أن عملية إعادة تبلور الميكرايت تؤدي الى زيادة كل من الحجم البلوري وحجم فوهة المسامات، الأمر الذي له تأثير قوي على مضاعفة النفاذية بعشرات المرات من دون تغيير المسامية [17].

الاستنتاجات:

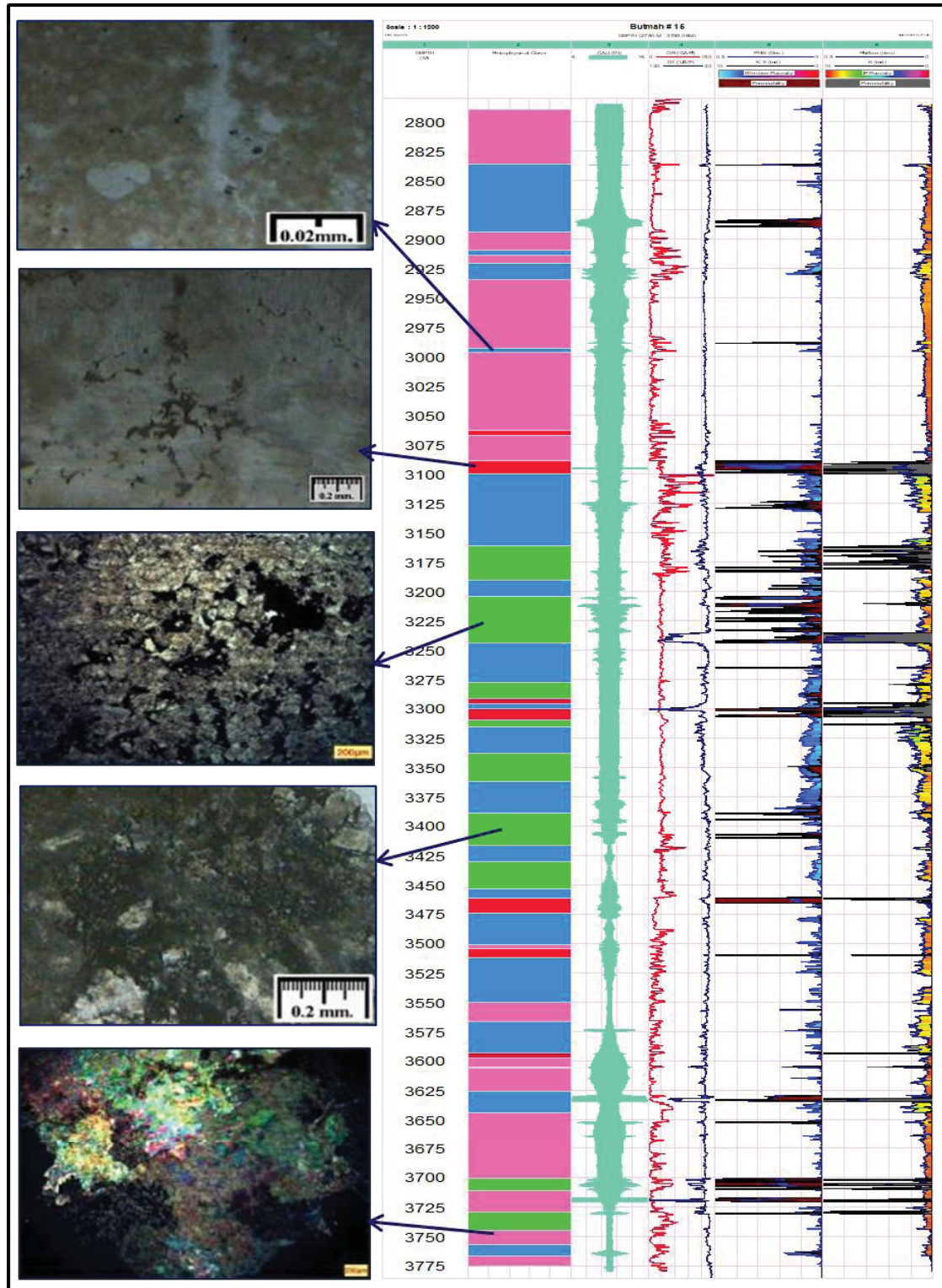
فُيتم نفاذية التكوين بالاعتماد على طراز الصخرة وعلاقته بالمسامية بدلاً من الطرق المتعارف عليها التي تعتمد معظمها على مجسات المقاومة. وقد استخدمت المسامية الفعالة لاحتساب النفاذية عوضاً عن المسامية بين الجسيمية المستنتجة من المجس الصوتي والمقترحة من قبل [6]. واستنتج البحث امتلاك بعض الأنطقة الصخرية لقيم نفاذية عالية نسبياً عند حسابها من المسامية الفعالة مقارنة بتلك القيم المحسوبة من المسامية بين الجسيمية. واتضح ان سبب ذلك يعود الى ارتباط العديد من المسامات القالبية فيما بينها بقنوات دقيقة جداً تشكلت بفعل دلمة الارضية المحيطة بهذه المسامات أو كنتيجة للتشكل الجديد، لا سيما إعادة تبلور الطين الجبري وتحوره الى السبار الدقيق.



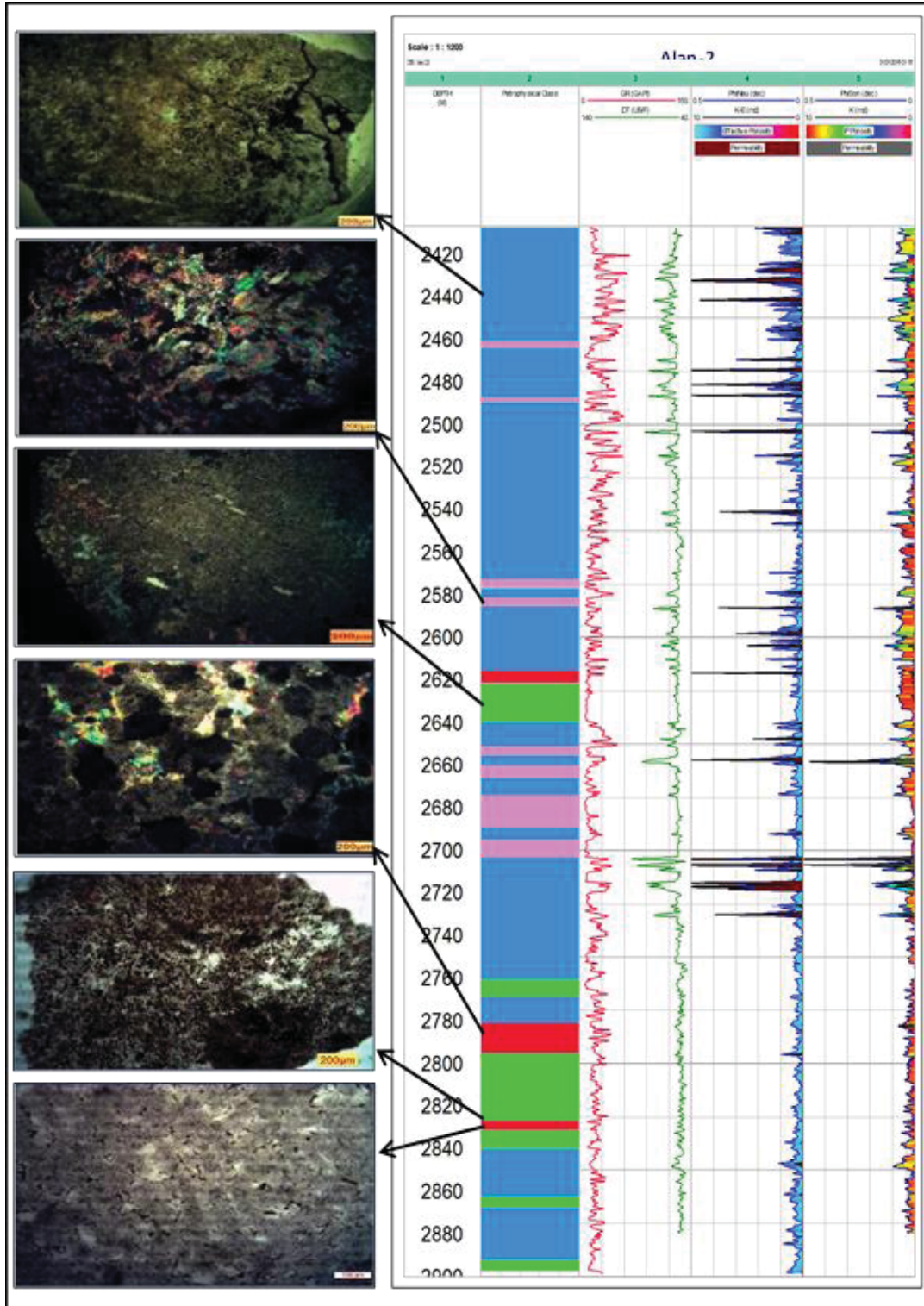
الشكل (6) يوضح منحني النفاذية المحسوبين بالاعتماد على كل من المسامية بين الجسيمية والفعالة لبنر عين زاله (AZ-29) للفترة (4240-4660) متراً.



الشكل (7) منحني النفاذية المحسوبين بالاعتماد على كل من المسامية بين الجسيمية والفعالة لبنر عين زاله (AZ-29) للفترة (3520-4020) متراً.

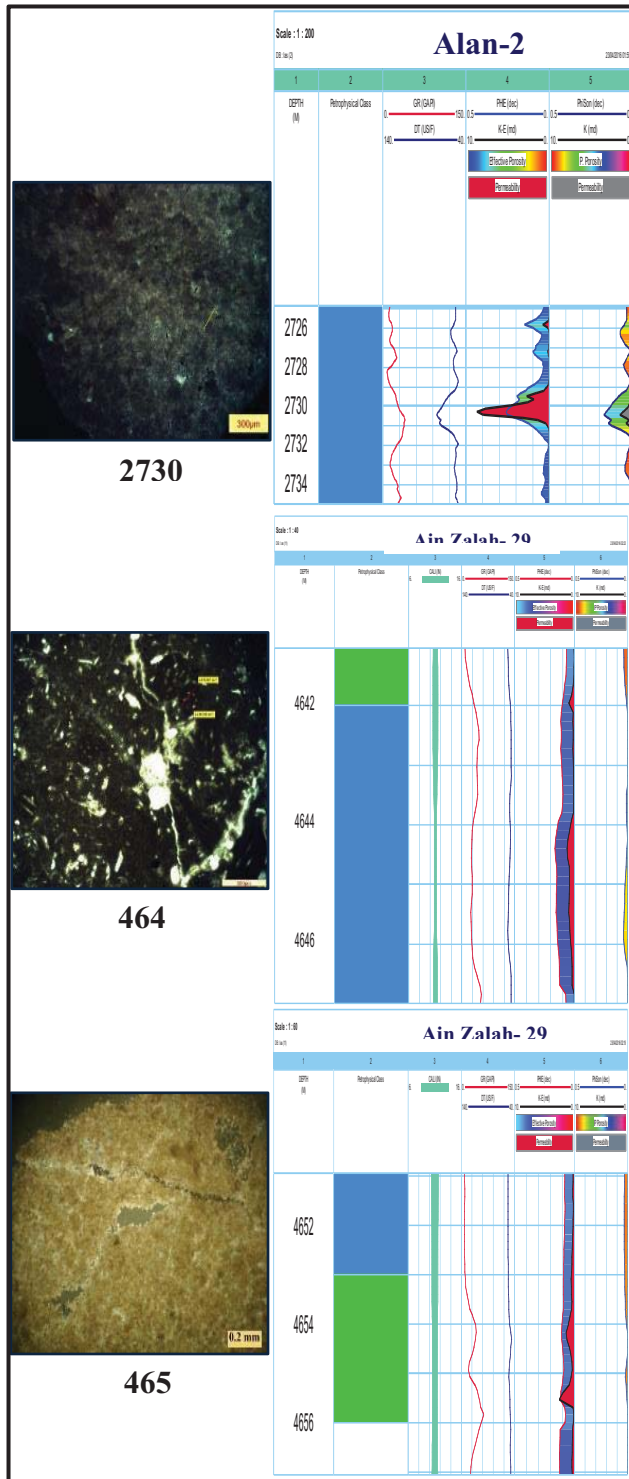


الشكل (8) منحني النفاذية المقاسين من المسامية بين البلورية والفعالة في بئر بطمة (Bm-15) تبعاً لرتبة الصخرة.

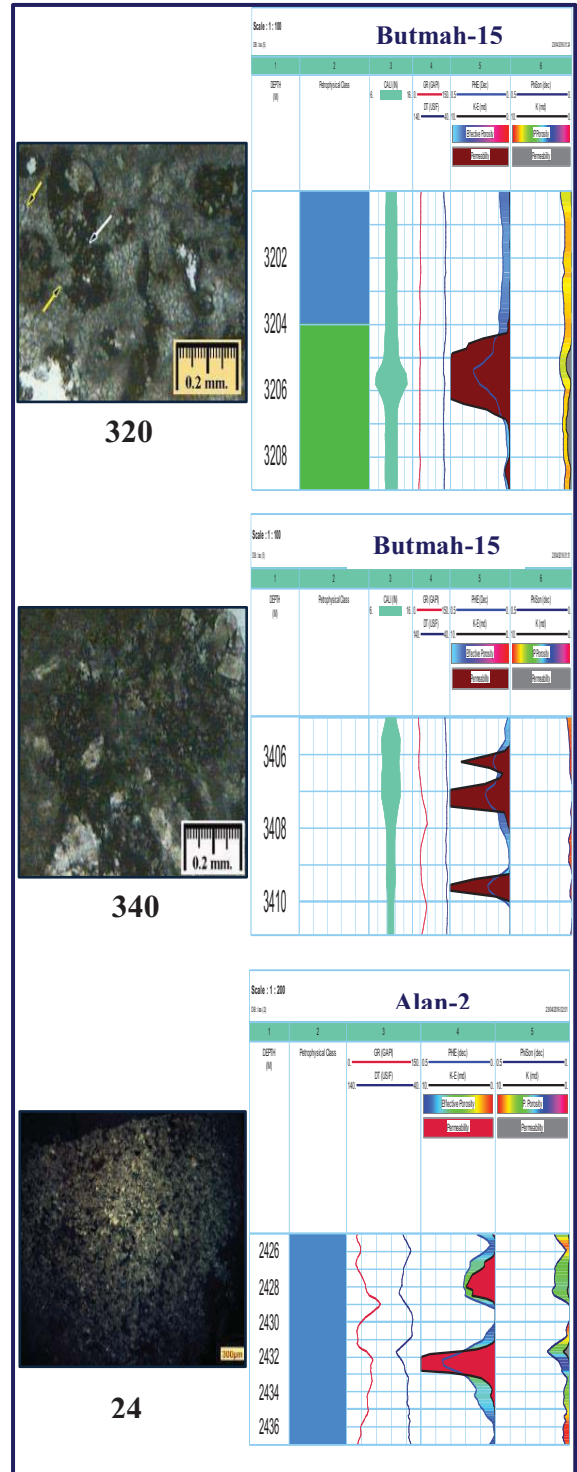


الشكل (9) منحني النفاذية المحسوبين بالاعتماد على كل من المسامية بين الجسيمية والفعالة لبئر علان Aa-

(2).



الشكل (11) تغير منحني النفاذية المشتق من المسامية الفعالة في الفترات الحاوية على مسامات فجوية متصلة مع بعضها بقنوات دقيقة.



الشكل (10) تغير منحني النفاذية في الفترات الحاوية على مسامات فجوية متصلة مع بعضها بقنوات دقيقة.

المصادر:

1. Choquette, P.W. and Pray, L.C., Geologic Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Carbonates. *AAPG. Bull.*, 54 (2): 207-250, 1970.
2. Buday, T. and Jassim, S. Z., The regional Geology of Iraq. Vol. 2, Tectonism, Magmatism and Metamorphism S. E. Geol. Surv. And Mineral Invest. Baghdad, 352 P, 1987.
3. Fox, J.E. and Ahlbrandt, T.S., Petroleum Geology and Total Petroleum Systems of the Widyan Basin and Interior Platform of Saudi Arabia and Iraq. U.S.Geological Survey Bull., in: <http://geology.cr.usgs.gov/pub/bulletins/b2202-e>, 2001.
4. Lucia, F.J., Rock Fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization. *AAPG Bull.*, 79 (9): 1275–1300, 1995.
5. Dunham, R.J., Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture. In Ham, W.E.,(eds.) Classification of Carbonate Rocks, A symposium. *AAPG. Bull. Publisher, Memoir 1. Tulasa Oklahoma*, pp108-121, 1962.
6. Lucia, F.J., Carbonate Reservoir Characterization. An Integrated Approach, (2nd ed.). *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 336 P, 2007.
7. Moore, C. H., Porosity in Carbonate Rock Sequence. In: Moore, C.H., (eds.), Geology of Carbonate Porosity. Course Note Series #11, *AAPG. Continuing Education: A1-A124*, 1979.
8. Awdal, A., Healy, D. and Alsop, G.I., Fracture patterns and petrophysical properties of carbonates undergoing regional folding: A case study from Kurdistan, N Iraq. *Marine and Petroleum Geology*, 71: 149-167, 2016.
9. Tiab, D. and Donaldson, E. C., Petrophysics, Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties. (2nd ed.), *Elsevier, INC.*, 889 P, 2004.
10. Schlumberger, Log Interpretation Charts. *Schlumberger Well Surveying Corporation, USA*. 97P, 1979.
11. Asquith, G.B. and Krygowski, D., Basic Well Log Analysis, (2nd ed), *AAPG, Oklahoma*, 239P, 2004.
12. Schlumberger, Log Interpretation–Application. 2, *Schlumberger, USA*. 116 P, 1974.

13. Tiab, D. and Donaldson, E. C., Petrophysics, Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties. (3rd ed.), *Elsevier, INC.*, 950 P, 2012.
14. Akbas, C.Y., Determination of Flow Units For Carbonate Reservoirs by Petrophysical – Based Methods. *M.Sc Thesis, Middle East Technical University*, 146P, 2005.
15. Ellis, D.V. and Singer, J.M., Well Logging for Earth Scientists. (2th ed.), *Springer, Netherlands*, 692P, 2008.
16. Wyllie, M.R.J., Gregory A.R., Gardner L.W. and Gardner G.H.F., An Experimental Investigation of Factors Affecting Elastic Wave Velocities in Porous Media, *Geophysics*, 23(3): 459–493, 1985.
17. Lucia, F.J. and Loucks, R.G., Micropores in Carbonate Mud: Early Development and Petrophysics. *GCAGS. Jour.* 2:1-10, 2013.