Journal of Petroleum Research and Studies

Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16

P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

DOI: http://doi.org/10.52716/jprs.v11i2.500

نماذج رياضية تصف تأثير الضغط الطبقي على مسامية ونفاذية الصخور المكمنية لعضو السجيل الأعلى في حقل الرميلة الجنوبية وعضو الرمل الأعلى (مكمن العطاء الثالث) في حقل الزبير

Mathematical models describing the effect of overburden pressure on porosity and permeability of reservoir rocks of Upper shale member for South Rumelia and upper sandston (3 rd pay) member for Zubair oil field.

Ali F. Nader, Huda F. K. AL-Saad*, Kamal D. Jaber, Madhi A.R, Swadi AL- Maliki

Basra Oil Campany

*Corresponding Author Email; huda_alsaad58@yahoo.com

Received 25/2/2020, Accepted 26/7/2020, Published 20/6/2021

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

الخلاصة:

يهدف البحث الى اعطاء وصفا رياضيا جديدا اكثر واقعية لتأثير الاجهاد الطبقي على مقدار المسامية والنفاذية، أضافة الى انه يمكن الاستفادة منه في إيجاد صيغ رياضية لصفات بتروفيزيائية أخرى، وإيجاد علاقات رياضية بين متغيرات جديدة مثل المسامية والنفاذية بدلالة العمق او بين المسامية والنفاذية نفسها.

يعد قياس خاصية المسامية والنفاذية للصخور المكمنية (اللباب) مهم من ناحية الدراسات المكمنية، كونهما تدخل في الحسابات البتروفيزيائية كالتشبع المائي والنفطي وكذلك حساب مقدار المخزون الهايدروكاربوني وبالتالي تعطي صورة واضحة عن انتاجية المكمن النفطية. يعتبر الضغط الطبقي احد اهم العوامل التي تؤثرعلى مقدار المسامية والنفاذية، حيث تكون الصخور المكمنية واقعة تحت تأثير ضغط كبير ناتج عن وزن الطبقات الارضية، لذا عند استخراج نماذج اللباب من المكمن ستتمدد نتيجة لزوال الضغط الطبقي عليها مما يؤدى الى حدوث تغير في مقدار مساميتها ونفاذيتها، وبالتالي ستكون النتائج المختبرية مغايرة للمسامية والنفاذية الحقيقيتين في المكمن مما يؤدي ذلك الى حصول أخطاء في الحسابات المكمنية. تم الاعتماد على النتائج المختبرية العملية للباب عضو السجيل الأعلى في حقل الرميلة الجنوبي ولباب عضو الرمل الأعلى في حقل الزبير.

استخدمت طريقة الانحدار اللاخطي البسيط لصياغة عدة نماذج تنتمي لأربعة عوائل من الدوال الرياضية (الدالة الاسية، دالة القوى، دالة اللوغاريتم ودالة متعدد حدود)، التي تصف العلاقة بين الضغط الطبقي وبين كل من المسامية والنفاذية. اخُتير نموذج الدالة الاسية والذي يعرف ب الحالة المستقرة (SSE) كافضل نموذج يصف التغيير بسلوك المسامية والنفاذية مع الضغط الطبقي. قُيمت ادائية النموذج باستخدام معامل التحديد (R^2) حيث كانت النتائج على درجة عالية من الدقة والثقة.

توصلت الدراسة الى إمكانية تطبيق الموديل الرياضي كاداة جيدة في تخمين تاثير الضغط الطبقي على الصفات البتروفيزيائية للصخور الرملية.

Journal of Petroleum Research and Studies

Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16

P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

الكلمات المفتاحية: المسامية، النفاذية، الضغط الطبقي، النموذج الرياضي، معامل التحديد.

Abstract

The current study is giving a new, more realistic mathematical description of the effect of stress on the amount of porosity and permeability. In addition to that it can be used to find mathematical formulas for other petrophysical characteristics, and to find mathematical relationships between new variables such as porosity and permeability in terms of depth or between porosity and permeability itself.

The measurement of the porosity and permeability property of reservoir rocks (Core) is important in terms of reservoir studies, as they enter into petrophysical calculations such as water and oil saturation as well as calculating the amount of hydrocarbon reserves and thus give a clear picture of the productivity of the reservoir oil. One of the most important factors that affect the amount of porosity and permeability is the so-called over burden pressure, where the reservoir rocks are under the influence of great pressure resulting from the weight of the ground layers, so when core samples are extracted from the reservoir they will expand as a result of the disappearance of the layer pressure on them, which leads to a change in the amount of porosity and permeability, Thus, laboratory results will be different from the real porosity and permeability of the reservoir, which leads to errors in reservoir calculations.

The simple non-linear regression method was used to formulate several models belonging to four families of mathematical functions (exponential function, forces function, logarithm function and polynomial function), which describe the relationship between stratified pressure and both porosity and permeability

The stable state equation (SSE) was chosen as an optimal mathematical model describing the relationship between over burden pressure and both porosity and permeability. The model's performance was evaluated using the determination coefficient (R2), as the results were highly accurate and reliable.

The study concluded that the mathematical model can be applied as a good tool in estimating the effect of over burden pressure on the petrophysical properties of sandstones rocks.

1- المقدمة

يعد قياس الخصائص البتروفيزيائية المتمثلة بالمسامية والنفاذية للصخور المكمنية من القياسات المهمة في إعداد الدراسات المكمنية، كونها من الخواص المهمة التي تعطي صورة واضحة عن انتاجيتها النفطية، حيث تدخل هذه الخواص في حساب قيم التشبع المائي والهايدروكاربوني وكذلك تقدير مقدارالخزين الهايدروكاربوني للمكمن وبالتالي تعطي تقدير معقول للقيمة الاقتصادية للنفط والغاز المراد انتاجه من المكمن. وعليه فأن الدقة في قياس المسامية والنفاذية ضرورية جدا لأهميتها في الحسابات المكمنية. لغرض القيام بدراسات مكمنيه يتم قياس المسامية والنفاذية للهواء مختبريا وذلك عن طريق جلب نماذج من الصخور تسمى

Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16

P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

اللباب (Core) مأخوذة من المكمن المراد دراسته لابار الدراسة وعلى أعماق مختلفة تحت ضغوط خارجية تتراوح بين (400 psi – 300). هناك العديد من العوامل التي تؤثر على مسامية ونفاذية الصخرة، منها شكل الحبيبات وحجمها، طريقة ترتيب المسامات داخل الصخرة، مواد التسميت، التأثير الميكانيكي والهيدروليكي لأدوات الحفر، وضغوط السوائل المكمنية، الضغط الطبقي. فيما يخص الضغط الطبقي فمن الطبيعي إن الصخور المكمنية تكون واقعة تحت تأثير ضغط كبير ناتج عن وزن الطبقات مما يسبب جهدا معينا مسلطا عليها ويطلق عليه Compressive stress يكون تأثيره باتجاهين عمودي وافقي. ويكون التأثير بالاتجاه العمودي اكبر بكثير من الاتجاه الأفقي.

أن هذا الضغط المسلط على الصخورالمكمنية يؤثر على الخواص البتروفيزيائية لها وخاصة فيما يتعلق بنفاذيتها ومساميتها فبسبب التركيب المسامي للصخور المكمنية فان الضغط المؤثر عليها يغير من حجم المسامات pore volume ومن شكلها pore shape لذا فعند استخراج نماذج اللباب من المكمن ستكون معرضة للضغط الجوي فقط فتتمدد نتيجة لزوال الضغط الطبقي عليها مما يؤدى الى حدوث تغير في نفاذيتها ومساميتها. ولما كان الوسط الحقيقي المسلط على الصخور المكمنية اكبر بكثير من الضغط المسلط مختبريا فمن المؤكد إن تكون النتائج المختبرية النفاذية مغايرة للمسامية والنفاذية الحقيقيتين في المكمن مما يؤدي ذلك الى حصول أخطاء منهجية في حسابات هندسة المكامن [1, 6, 7, 9].

لمعرفة تأثير الضغط الخارجي المسلط على الصخور المكمنية ومساميتها و نفاذيتها أجريت العديد من الدراسات بخصوص ذلك وكان اول من لاحظ نقصان النفاذية المطلقة للصخور الرملية عند زيادة الضغط الطبقي (ضغط الحصر) هما الباحثين في [5]، ثم توالت الدراسات والبحوث التي درست تأثير الضغط الطبقي على مسامية ونفاذية الصخور والصخور الكلسية. من جهة أخرى فأن باحثين اخرين وضعوا نماذج رياضية تصف العلاقة ما بين الضغط الطبقي وكل من المسامية والنفاذية، فقد افترضوا ان العلاقة بينهما هي اسية (Exponential) واقترح اخرين ان العلاقة بينهما هي قوى (power) [13, 15].

اما بالنسبة للدراسات المحلية والخاصة بشركة نفط البصرة (شركة نفط الجنوب) فالدراسات التي اهتمت بهذا الموضوع (دراسة التأثير الطبقي على النفاذية والمسامية في الصخور المكمنية) عام 1982 (رقم الدراسة 677) و (دراسة التأثير الطبقي على الصفات البتروفيزيائية للصخور النفطية للباب حقل الرميلة الجنوبي ولباب حقل الزبير سنة 1984 (رقم الدراسة 683) وحسب ما موجود في فهرس التقارير الفنية والدراسات في قسم البحوث والسيطرة النوعية [2، 3]. حيث تضمنت هاتين الدراستين نتائج عملية لكل من المسامية والنفاذية في الهواء مقاسة عند ضغوط مختلفة (6000 – 300 psi) واعطت هاتين الدراستين بشكل عام نتائج مشابهة لسابقتها من الدراسات الأجنبية من حيث تناقص في مقدار المسامية والنفاذية عند زيادة ضغط الحصر، الا انها لم تعطي علاقة رياضية تصف ظاهرة انخفاض المسامية والنفاذية مع زيادة ضغط الحصر ولم تعطي أيضا

Journal of Petroleum Research and Studies

Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16

P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

تفسير علميا لهذا السلوك. يهدف البحث للإجابة على الأسئلة ادناه، من خلال صياغة نموذج رياضي باستخدام احدى الدوال الرياضية يصف تأثير الضغط الطبقي على كل من المسامية والنفاذية للصخور الرملية.

2- اهداف البحث:

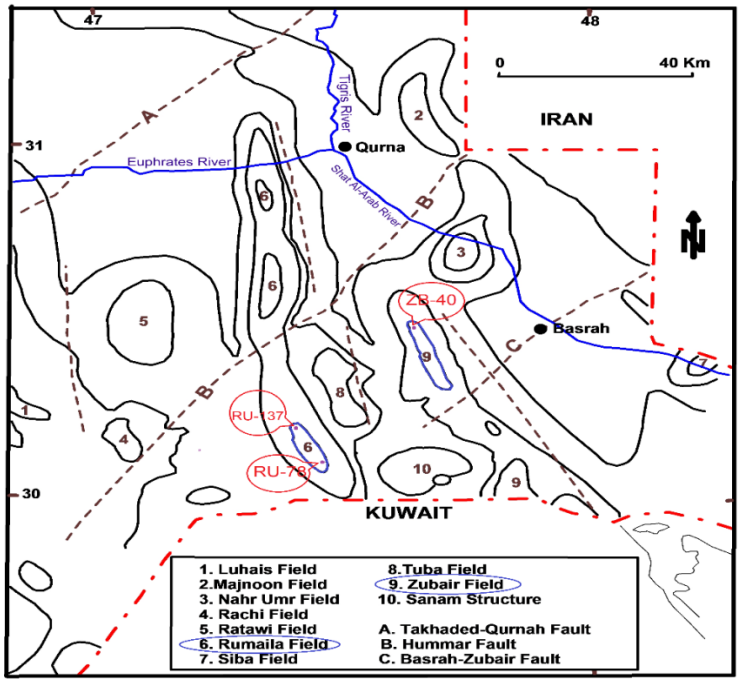
1- يهدف البحث الى بناء موديل رياضي يتنبأ بالتغير الذي يحصل لمسامية ونفاذية الصخور عند زيادة الضغط الطبقي.

2- يمكن الاستفادة من النموذج في بناء موديلات رياضية لصفات بتروفيزيائية أخرى مثل معامل الانضغاطية للصخور.

3- اختيار افضل نموذج رياضي مع شرح سبب الاختيار وتفسير سلوك هذا النموذج ومقارنته بنماذج لدراسات أخرى.

3- موقع منطقة الدراسة

يقع حقل الرميلة على مسافة (50 كم) غرب مدينة البصرة، جنوب العراق ويعتبر من الحقول النفطية العملاقة. يتكون الحقل من قبتين رملية (الشمالية والجنوبية)، اما حقل الزبير فيقع الى الشرق من حقل الرميلة الجنوبي وعلى مسافة (20 كم) غرب مدينة البصرة بين خطي طول (47° 30') و (47° 45') شرقا وبين دائرتي عرض (30° 45') و (30° 00') . تم الاعتماد على الفحوصات المختبرية لثلاث ابار نفطية تعود الى تكوين الزبير لتمثيل النموذج الرياضي (ZB-40), (RU-137, 78) كم موضحة في الشكل (1).



شكل (1) خريطة تبين موقع منطقة الدراسة

Journal of Petroleum Research and Studies

Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16

P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

4- الوضع الطباقي لمكمن الزبير النفطي

يعتبر تكوين الزبير من المكامن الرملية المهمة في جنوب العراق، يحده من الأسفل تكوين ارطاوي ومن الأعلى تكوين الشعيبة ويعود عمر التكوين الى (Hauterivian)، قدم لاول مرة من قبل (Glynn & jones) سنة 1948 في حقل الزبير النفطي [11]، يتكون التكوين بصورة اساسية من تعاقب طبقات الرمل والسجيل والسلت وفي بعض الاحيان طبقات من الكاربونيت، لقد قسم التكوين من قبل (Owen & Nasser) في 1958 الى خمسة اعضاء هي:

1- عضو السجيل الاعلى Upper shale member
2- عضو الرمل الاعلى Upper sandston member
3- عضو السجيل الوسط Middle shale member
4- عضو الرمل الاسفل Lower sandston member
5- عضو السجيل الاسفل Lower shale member

أُخذت بيانات عضو السجيل الاعلى في حقل الرميلة الجنوبية لتمثيل الموديل الرياضي باعتباره مهم من الناحية المكمنية، حيث يتواجد على معدل عمق (2950) مترا تحت سطح البحر ويقع فوق المكمن الرئيسي (عضو الرمل الأعلى) مباشرة ويبلغ طوله حوالي (45) كم وعرضه حوالي (15) كم وسمكه الكلي (100) متر ويتميز بازدياد نسبة السجيل إلى الرمل مقارنة بالمكمن الرئيسي حيث يتكون من سبعة وحدات جيولوجية، إلا إن النفط يتواجد في ثلاثة منها فقط هي (1F، 1L، 1M) ويبلغ السمك الصافي الحاوي على النفط فيها حوالي (25) مترا. اما في حقل الزبير فقد اختير عضو الرمل الأعلى والذي يسمى أيضا (مكمن العطاء الثالث) والذي يتواجد على عمق (3300) متر تحت مستوى سطح البحر، يتكون مكمن العطاء الثالث من وحدات رملية وسجيلية معقدة ، يبلغ معدل سمكها الكلي (110) م بينما يبلغ سمك الوحدات الحاوية على النفط (55) م تقريباً. يتألف مكمن العطاء الثالث من (14) وحدة جيولوجية متباينة، إلا أن الوحدات المكمنية الرئيسية فيها خمسة وهي (A+B , H , J , L , N)، وتعتبر الوحدتان (H , L) اعلى انتاج من ناحية المخزون النفطي .

5- مفهوم النموذج الرياضي

يعتبر النموذج الرياضي من ادوات البحث العلمي حيث يعمل على ادراك العلاقات والمتغيرات المتداخلة والمتشابكة للأنظمة المختلفة ووصف سلوكها او التحكم فيها وتوضيح اسباب هذا السلوك والكشف عن الحالة المستقبلية لهذه الانظمة وتحديد درجة تطورها، عن طريق صياغتها رياضيا.

أن جودة او درجة فعالية النموذج انما تقاس بدرجة تمثيلة للمشكلة محل الدراسة وليس على اساس جودة وتعقيد صياغته الرياضية، حيث لا يوجد نموذج مثالي لكل الامثلة، كما انه يمكن وصف النظام الحقيقي بأكثر من نموذج واحد وذلك لان النموذج الواحد قد يركز على جانب واحد من جوانب النظام، أي انه لا يمثل كل النظام، ويعتمد على الهدف من دراسة النظام نفسه. يجب ان يتضمن بناء النموذج الرياضي مسألة التحقق من

Journal of Petroleum Research and Studies

Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16

P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

صلاحيته الرياضية (أي مدى تمثيله للواقع بدقة عالية) وصلاحيته العملية (أي الفرق بين القيم التي يعطيها النموذج وبين النتائج العملية او بيانات الحالة العملية)، أي ضرورة اجراء نوع من التحليل للنماذج الرياضية المختارة ومدى انحرافها عن الواقع لغرض تعديلها عن طريق الحصول على معلومات اضافية الى حين الوصول الى نموذج يعبر عن الواقع بدقة كبيرة. ومن عمليات التحقق من صلاحية النموذج الرياضي هي امكانية استمرار صلاحية النموذج خارج حدود النتائج العملية المتوفرة. وبعد التأكد من صلاحية النموذج الرياضي يتم استخدامه للحصول على علاقات رياضية خاصة وحساب كميات ذات صلة بمتغيرات النظام.

تتعدد الطرق المستخدمة في بناء النموذج الرياضي، حيث يمكن ان ينشأ النموذج الرياضي (الاستقرائي) عادة من النتائج التجريبية، باستخدام طريقة ملائمة المنحني (Curve fitting)، حيث تكون نتائج التجارب (البيانات) عبارة عن مجموعة من النقاط البيانية في المستوي x,y. من الضروري ان يكون هناك مدى من التوافق بين خصائص الدالة و خصائص البيانات. نقصد بصياغة نموذج رياضي هو تعيين او تحديد افضل شكل او تعبير رياضي يربط بين متغيرات الظاهرة المدروسة. فكما ذكرنا سابقا، ان النموذج الرياضي هو وصف للعلاقة بين متغيرات الظاهرة المدروسة بصورة تجريبية و من الممكن وصف النظام الحقيقي بأكثر من نموذج واحد ويعتمد ذلك على الهدف الذي نريد من النموذج تحقيقه. تنقسم طريقة ملائمة المنحني الى نوعين هما، طريقة الاستيفاء او الاقحام او الاستكمال (interpolation) وفيه يجب ان يمر المنحني تماما في النقاط البيانية (أي استيفاء كامل النقاط في عملية الملائمة)، والنوع الثاني من ملائمة المنحني هو تحليل الانحدار (regression analysis). في هذا البحث سوف يتم استخدم طريقة الانحدار لوصف تأثير ضغط الحصر على الصفات البتروفيزيائية للصخور. يعتبر تحليل الانحدار من اكثر اساليب التحليل الاحصائي استخداما، لتحديد شكل العلاقة بين متغير تابع ومتغير مستقل او اكثر. فيعرف على انه علاقة رياضية تربط بين متغيرين كميين مثل x,y. والغرض الرئيسي من استخدام الانحدار هو تحديد شكل العلاقة بين المتغيرات رياضيا واتجاه هذه العلاقة والتنبؤ بقيمة احد المتغيرين بدلالة المتغير الاخر. ليس بالضرورة ان يمر المنحني بجميع النقاط البيانية كما في طريقة الاقحام بل من الممكن ان يمر بأغلب النقاط أو قريب من بعضها بحيث تناسب بأقرب شكل نقاط البيانات الموجودة. كما سيتم استخدام طريقة الانحدار اللاخطي البسيط لصياغة عدة نماذج تصف العلاقة بين ضغط الحصر (الضغط الطبقي) وبين كل من المسامية والنفاذية، ثم نخضعها للدراسة والتحليل. الانحدار اللاخطي البسيط هو الانحدار الذي يكون فيه شكل العلاقة بين المتغير التابع **Y** والمتغير المستقلX، (انتشار النقاط في المستوي XY) غير خطية كالدوال العائلة اللوغاريتمية $Y = a + \ln X$ والعائلة الآسية مثل $Y = a\ b^x$ و عائلة القوى $Y = aX^b$ او عائلة متعددة الحدود و التي تعد ابسطها $Y = a + b\ X$ [4], [10] $.+ c\ X^2$

6- المفاضلة بين النماذج الرياضية

ان بناء النماذج الرياضية يجب ان تتضمن مسألة التحقق من صحتها (صلاحيته)، لا سيما الانظمة التي يمكن ان تملك اكثر من تمثيل رياضي. ان التحقق من صحه نماذج الانحدار (Regression model validation)

Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16
P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

هوعملية تقرير في ما اذا كانت النتائج العددية التي تقيس العلاقة بين المتغيرين والتي تم الحصول عليها من تحليل الانحدار مقبولة كوصف للبيانات أم لا، وبمعنى اخر هل أن النموذج يتوائم مع البيانات بشكل جيد، لذلك نشأت الحاجة إلى إيجاد مقاييس تقيس درجة تجانس (تقارب او تباعد أو تشتت) مفردات البيانات عن بعضها البعض ونقصد البيانات التي يكون لأفرادها متغيران يتغيران معا في وقت واحد. يتناول البحث استخدم عدة نماذج رياضية تصف تأثير ضغط الحصرعلى مقدار المسامية والنفاذية للصخور الرملية والكلسية وبالتالي دراستها وتحليلها والتحقق من صحتها والمفاضلة بينها بمعايير احصائية واخرى فيزيائية ثم الوصول الى النموذج الامثل، هذه المعايير تتضمن ما يأتي:

اولا/ معايير احصائية، وتتمثل ب:

1- درجة جودة التوفيق أي مدى ملائمة النموذج الرياضي للبيانات او درجة التجانس (التقارب أو التباعد) بين النموذج الرياضي و مفردات البيانات.
2- قوة الارتباط بين المتغير التابع والمتغير المستقل.

ثانيا/ المعايير الفيزيائية لمتغيرات النظام وتتضمن:

1- اتجاه العلاقة (على سبيل المثال تغير طردي او عكسي)، مثال ذلك نقصان الحجم بزيادة الضغط المسلط عليه.
2- الصفات الفيزيائية للمتغيرات، مثال ذلك يجب ان يكون قيمة المتغير التابع مقدار موجبة دائما.
3- يعطي النموذج القيمة الابتدائية المطابقة للقيمة العملية لكلا المتغيرين.

يعتبر معامل التحديد R^2 من اهم المعايير الاحصائية التي تقيس درجة جودة نماذج الانحدار. حيث يعطي فكرة او تصور عن جودة توافق الموديل الرياضي المستخدم مع البيانات أي انه مؤشر إلى أن خط الانحدار يتناسب او يتلاءم تمامًا مع البيانات. اوانه يمثل مقياس إحصائي لمدى قرب خط الانحدار من نقاط البيانات الحقيقية، بمعنى أنه يقيس التباين الذي تم حسابه بواسطة نموذج الانحدار، كما انه يقيس ويشرح نسبة الانحرافات الكلية او المتغيرات التي تحدث في المتغير التابع بواسطة المتغير المستقل. لذلك يمكن الاعتماد عليه كمعيار للمفاضلة بين النماذج التي سيتم صياغتها لاحقا لوصف العلاقة بين الضغط الطبقي والصفات البتروفيزيائية للصخور الرملية والكلسية ، فالنموذج الذي يعطي اكبر قيمة لـ R^2 سيكون هو الأفضل. ان معامل التحديد هو مربع معامل الارتباط r الذي يقيس قوة الارتباط بين المتغير التابع والمتغير المستقل واتجاه هذا الارتباط وهل هو ارتباط تام او جزئي. تتراوح قيمة معامل التحديد بين الصفر والواحد الصحيح ($0 \leq R^2 \leq 1$) فكلما كانت قيمته عالية (تقترب من قيمة 1) كان نموذج الانحدار افضل تمثيلا للبيانات كما اشرنا سابقا. هناك صيغ رياضية لحساب معامل التحديد ولسنا بصددها في هذا البحث، وذلك لان البرنامج الاحصائي المستخدم سيقوم بحسابه تلقائيا عند اجراء عملية موائمة نموذج الانحدار مع انتشار نقاط البيانات المرسومة [4], [10].

Journal of Petroleum Research and Studies

Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16

P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

7- طريقة العمل

تم استخدام عدة نماذج رياضية، طبقت على النتائج المختبرية لقياسات المسامية والنفاذية للباب عضو السجيل الأعلى في حقل الرميلة الجنوبي ولباب عضو الرمل الأعلى في حقل الزبير ولثلاث ابار نفطية (RU-78, ZB-40) , (RU-137 وبواقع (10) نماذج مقاسة عند الظروف المختبرية في المختبرات المركزية (نهران عمر) لقياسات المسامية والنفاذية في الهواء عند ضغط (300 psi) الجدول رقم (1).

جدول (1) قيم المسامية والنفاذية في الهواء لنماذج اللباب عند ضغط بطانة 300 psi

Well No.	Sample No.	Depth (m)	Permeability (md)	Porosity (%)	Pore Volume (cc)
RU78	12V	3239.10	56	16.44	4.66
RU78	25V	3246.15	24.11	13.12	7.10
RU137	2H	3251.10	53.85	12.70	9.93
RU137	6H	3270.73	195	17.26	13.58
Zb40	2H	3258.17	123	21.68	17.02
Zb40	6H	3268.63	72.5	16.04	12.23
Zb40	22H	3268.85	7.62	11.73	5.77
Zb40	31H	3272.43	502	19.51	15.22
Zb40	44H	3282.15	2001	27.07	19.82
Zb40	60H	3341.50	22.6	20.11	10.8

من اجل تبسيط الإجراءات وسهولة الحسابات للوصول الى ابسط صيغة رياضية تم معالجة البيانات في الجدول أعلاه كما يلي:

1- اعتبار أول قيمة لكل من المسامية والنفاذية والضغط كقيم ابتدائية أي، ϕ_i و P_i على التوالي ولكل نموذج.

2- من اجل ان تكون جميع قيم المسامية والنفاذية الابتدائية متساوية لجميع النماذج وبدلالة النسبة المئوية، تم معايرة جميع قيم المسامية والنفاذية بدلالة المسامية والنفاذية الابتدائية على التوالي، حسب العلاقة:

$$\phi_r = \frac{\phi}{\phi_i} * 100 \qquad (1)$$

$$K_r = \frac{K}{K_i} * 100 \qquad (2)$$

3- من اجل التخلص من تأثير وحدات الضغط وجعل النموذج الرياضي عام، تم معايرة قيم ضغط الحصر (الضغط الطبقي) بدلالة الضغط الابتدائي، حسب العلاقة التالية:

$$P_r = \frac{P}{P_i} \qquad (3)$$

4- بما ان سلوك مجموعة النماذج سلوك مع تغير الضغط متشابه، لذا يفضل ان يكون التعامل مع المتوسط الحسابي لقيمها.

Journal of Petroleum Research and Studies

Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16

P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

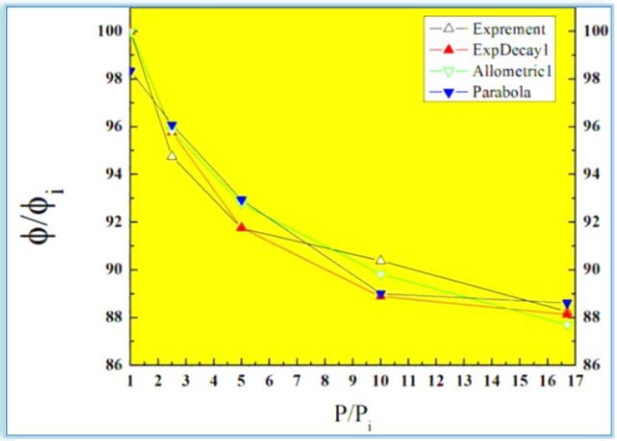
5- استخدمت عدة نماذج رياضية تنتمي لأربعة عوائل من الدوال الرياضية (الدالة الاسية، دالة القوى، دالة اللوغاريتم، دالة متعدد حدود).

6- تم استخدام برنامج (Origin Pro 8) لصياغة نماذج الانحدار اللاخطي لوصف تأثير الضغط الطبقي على الصفات البتروفيزيائية للصخور الرملية.

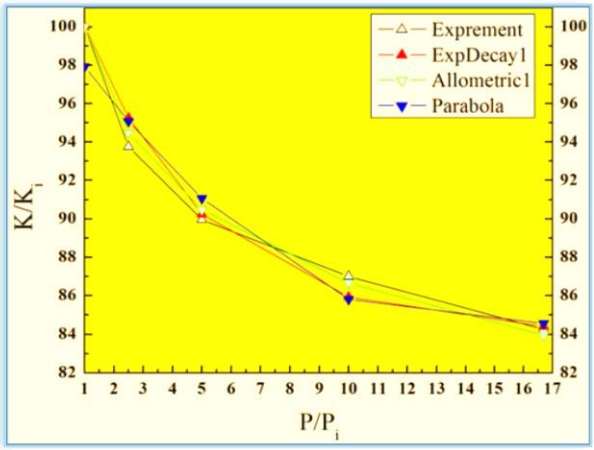
8- النتائج والمناقشة

أولا:- النماذج الرياضية لمسامية ونفاذية حقل الرميلة الجنوبي / عضو السجيل الاعلى

الشكلين (2) و (3) يمثلان مقارنة بين القيم العملية للمسامية والنفاذية للصخور المكمنية لحقل الرميلة الجنوبي وقيمها المحسوبة بواسطة نماذج الانحدار اللاخطي على التوالي. نلاحظ من الاشكال 2 و3 مدى تقارب النماذج الرياضية مع القيم العملية، حيث يبدأ الانخفاض من قيمة ابتدائية 100% لتصل الى (88 %)، بالنسبة للمسامية و(84%) بالنسبة للنفاذية عند ضغط يعادل ($P = 17\ P_i$) من الضغط الابتدائي (P_i=300 psi).



شكل (2) يمثل مقارنة بين القيم العملية وقيم نماذج الانحدار اللاخطي لمسامية حقل الرميلة



شكل (3) يمثل مقارنة بين القيم العملية وقيم نماذج الانحدار اللاخطي لنفاذية حقل الرميلة

يمثل الجدولين (2) و (3) الصيغ الرياضية للنماذج التي تم اختيارها لتمثل العلاقة التجريبيـــة (empirical formula) التي تربط بين كل من المسامية $Ø_r$ والنفاذية K_r مع الضغط الطبقي P_r للصخور المكمنية لحقل الرميلة الجنوبي على التوالي، والجدولين(4) و (5) للصخور المكمنية لحقل الزبير.

Journal of Petroleum Research and Studies

Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16

P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

جدول (2) النماذج الرياضية التي تم تطبيقها على قيم المسامية لحقل الرميلة الجنوبي

Name of model fit	Family function	Formula	a	b	c	R^2
Allometric1	Power	$y = ax^{-b}$	100	0.04659	-	99.2
ExpDecay	Exponential	$y = a + be^{-c(x-1)}$	88	12	0.23414	98.6
Parabola	Polynomial	$y = a - b\,x + cx^2$	100	3.20868	0.11604	99.1

جدول (3) يمثل النماذج الرياضية التي تم تطبيقها على قيم النفاذية لحقل الرميلة الجنوبي

Name of model fit	Family function	Formula	a	b	c	R^2
Allometric1	Power	$y = ax^{-b}$	100	0.06126	-	97.2
ExpDecay	Exponential	$y = a + be^{-c(x-1)}$	84	16	0.19002	97.2
Parabola	Polynomial	$y = a - b\,x + cx^2$	100	2.15542	0.07368	97.5

جدول (4) يمثل النماذج الرياضية التي تم تطبيقها على قيم المسامية لحقل الزبير

Name of model fit	Family function	Formula	a	b	c	R^2
Allometric1	Power	$y = ax^{-b}$	100	0.03096	-	98.9
ExpDecay	Exponential	$y = a + be^{-c(x-1)}$	90	10	0.145032	98.6
Parabola	Polynomial	$y = a - b\,x + cx^2$	100	1.0459	0.03781	99.1

جدول (5) يمثل النماذج الرياضية التي تم تطبيقها على قيم النفاذية لحقل الزبير

Name of model fit	Family function	Formula	a	B	c	R^2
Allometric1	Power	$y = ax^{-b}$	100	0.09152	-	98
ExpDecay	Exponential	$y = a + be^{-c(x-1)}$	76	24	0.23044	96.2
Parabola	Polynomial	$y = a - b\,x + cx^2$	100	3.20868	0.0.11604	94

Journal of Petroleum Research and Studies

Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16

P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

يمثل المتغير التابع (y) كل من المسامية $Ø_r$ والنفاذية K_r في الجداول على التوالي، والمتغير المستقل (x) فيمثل P_r اما الثوابت (a, b and c) تمثل ثوابت يتم حسابها في برنامج Origin Pro 8 وهي تعتمد على شكل النموذج الرياضي ونوع الصخور وخصائصها الفيزيائية. نلاحظ من الجداول أعلاه ما يأتي:

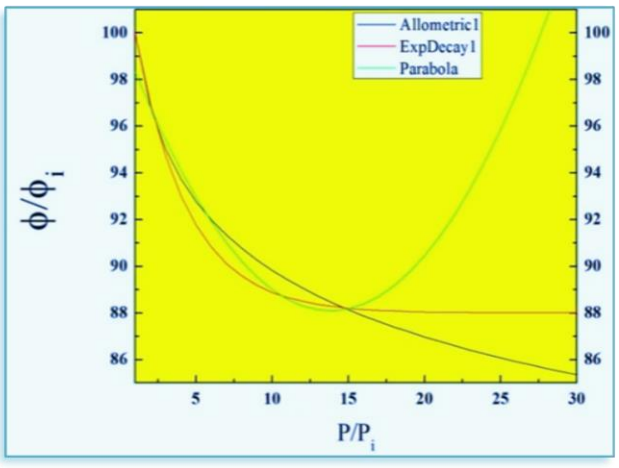
أولا: تشابه النماذج الرياضية الخاصة بالمسامية مع نظيراتها في النفاذية من حيث الشكل الرياضي من جهة وللحقلين من جهة اخرى، وهذا يدل بشكل عام على ان حدوث أي انخفاض في المسامية يصاحبه انخفاض في النفاذية.

ثانيا: قيمة معامل التحديد R^2 لجميع النماذج الرياضية عالية جدا وبالتالي فان كل نموذج رياضي يمكن ان يصلح لان يمثل العلاقة ما بين المسامية والنفاذية مع الضغط الطبقي على التوالي.

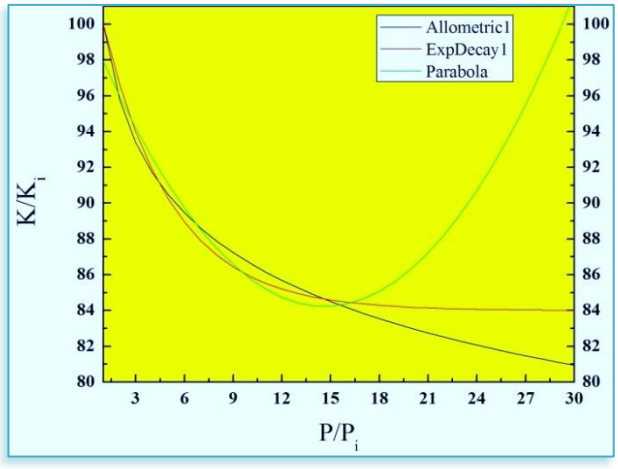
ثالثا: جميع النماذج الرياضية في الجداول أعلاه، توضح ابتداء ان هناك انحدار او انخفاض في مسامية ونفاذية الصخور عند زيادة الضغط الطبقي من خلال الإشارة السالبة التي تسبق الأس او الثابت b.

رابعا: الشكلين (2) و (3) يمثلان الرسوم البيانية للنماذج الرياضية في الجدولين (1) و(2) على التوالي لحقل الرميلة الجنوبي والتي تشابه نظيراتها لحقل الزبير في الجدول (4) و (5)، حيث نلاحظ ما يأتي:

1- جميع النماذج الرياضية متقاربة جدا في قيمها وفي شكل الانخفاض عند حدود القيم العملية، أي عند ضغط نسبي P_r يقع بين (1-17) او ضغط حصر يقع بين psi (300-5000).
2- الانخفاض في النفاذية يكون اكثر وابطئ من الانخفاض في المسامية مع زيادة الضغط الطبقي.
3- التغير بالنفاذية يستمر على الرغم من ثبوت المسامية بالنسبة للنموذج الرياضي ExpDecay1.



شكل (4) النماذج الرياضية للمسامية في الجدول (1)



شكل (5) النماذج الرياضية للنفاذية في الجدول (2)

Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16
P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

4- تشابه النماذج الرياضية الخاصة بالمسامية مع نظيراتها في النفاذية في شكل التغير والذي يمكن تقسيمه الى ثلاث حالات:

- انخفاض ثم صعود في المسامية والنفاذية.
- انخفاض مستمر بالمسامية والنفاذية.
- انخفاض ثم ثبات في المسامية والنفاذية.

النموذج الرياضي (Parabola):- يتنبأ بان مسامية الصخور ونفاذيتهما سوف تنخفض الى حد معين ثم تأخذ بالارتفاع عند الاستمرار بزيادة ضغط الحصر (الطبقي) الى مقدار اكبر بكثير من قيمتها الابتدائية (100<< $\frac{\emptyset}{\emptyset i}$) ويستمر هذا الارتفاع بشكل كبير، حيث يمكن تفسير ذلك، بان زيادة الضغط الطبقي يمكن أن يؤدي الى حدوث تشققات كبيرة او صدوع للطبقات الصخرية التي تقع تحت تأثير وزن الطبقات العليا تساعد على زيادة المسامية والنفاذية [1].

النموذج الرياضي (Allometric1):- يتنبأ بانخفاض مستمر لمسامية الصخور الرملية عند زيادة مستمرة في ضغط الحصر او الضغط الطبقي. هذا الانخفاض يستمر ويبدأ بالتباطؤ كثيرا عندما يصل الضغط الطبقي الى مقدار كبير جدا، ويفسر ذلك ان الضغط الطبقي يعمل على تقليل حجم و تغيير شكل المسامات ودرجة تراص وترتيب الحبيبات. هذا النموذج يتطابق مع النماذج الرياضية المعتمدة في الدراســات [8, 13, 18]. الانخفاض في المسامية والنفاذية يصل الى الصفر عندما يصل الضغط الطبقي الى اللانهاية ($P \rightarrow \infty$) والتي لا يمكن تحديدها عمليا

النموذج الرياضي (Expdecay):- يسمى نموذج **الحالة المستقرة** حيث يتنبأ بان المسامية والنفاذية تنخفضان عند ضغط طبقي معين ثم بعد ذلك تثبت وتستقر مهما زاد الضغط الطبقي. هذا السلوك للصخور قد يكون تم طرحه لأول مرة، حيث ان المعتاد في بقية الدراسات أنها تعاني انخفاض مستمر في قيمتها مادام الضغط الطبقي في حالة ازدياد.

يمكن تبني نموذج الحالة المستقرة بدرجة اكبر من النموذجين السابقين لعدة اعتبارات هي:

أ- هناك بعض العمليات التي تساعد على زيادة مسامية الصخور، مثل عمليات الانحلال والاستبدال او عمليات التشقق مقابل التأثير العكسي لزيادة الضغط الطبقي.

ب- العوامل الكيميائية والخصائص المعدنية للصخور تلعب دورا مهما وأساسي في مقاومة تأثير زيادة الضغط الطبقي [1, 5, 15].

ت- هناك عدد من العوامل الأخرى التي يمكن ان تعمل باتجاه معاكس لتأثير الضغط الطبقي على سبيل المثال محتوى الموائع، ضغط الموائع داخل المسامات، هجرة الحبيبات الدقائقية وانتقالها من مكان الى أخر بسبب حركة الموائع، التي تقلل من تأثير الضغط الطبقي [12].

ث- وجود النفط تحت أعماق كبيرة تحت سطح الأرض.

Journal of Petroleum Research and Studies

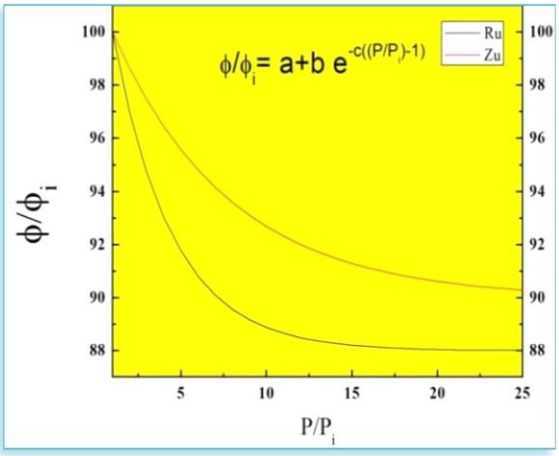
Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16

P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

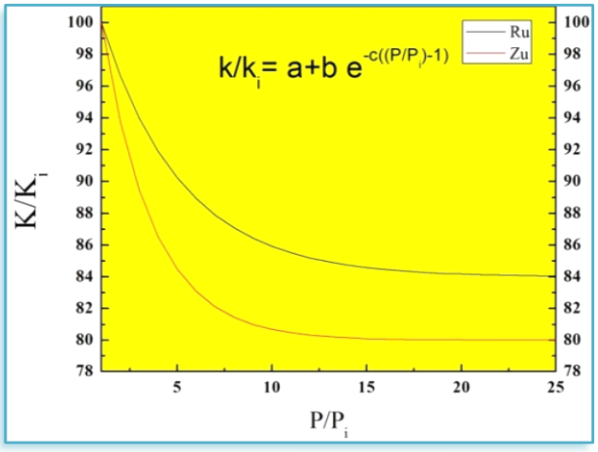
وبتعبير اخر ربما، ان المسامية والنفاذية تعانيان تغيرات وتحولات ينتج عن ذلك عمليات هدم وبناء لمسامات او قنوات، بحيث يصل النظام الصخري الى حالة ثبات او توازن يكون فيه عدد المسامات والقنوات التي تهدم تساوي عدد المسامات والقنوات التي تبنى.

ثانيا:- مقارنة بين النماذج الرياضية لحقلي الرميلة الجنوبي والزبير

يوضح الشكل (6) مقارنة بين نموذج الحالة المستقرة لكل من مسامية الحقلين، اما الشكل (7) يوضح مقارنة بين نموذج الحالة المستقرة لكل من نفاذية الحقلين.



شكل (6) مقارنة بين مسامية الصخور للحقلين



شكل (7) مقارنة بين نفاذية الصخور للحقلين

وفيهما نلاحظ ما يأتي:

1- انخفاض المسامية والنفاذية لحقل الزبير يكون اكبر واشد انحدارا من حقل الرميلة الجنوبي منها للصخور الرملية، ربما يعود ذلك الى ان حقل الرميلة اعلى تركيبيا من الزبير كما ان تقسيمات تكوين الزبير في حقل الزبير تكون مختلفة عن الرميلة واكثر نسبة للاطيان (السجيل) ومفصول بسرج وبينهما حقل الطوبة لكن ممكن هذا السبب يعود الى ايضا ان نفس العمليات التكتونية اثرت بالمنطقة.

2- وصول المسامية والنفاذية للصخور الرملية الى حالة الثبات لكلا الحقلين عند نفس الضغط الطبقي، وربما يدل ذلك ان هناك مشترك في التركيب الصخري للحقلين.

Journal of Petroleum Research and Studies

Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16

P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

9- الاستنتاجات

1- استنتجت الدراسة بأن هناك ثلاث نماذج رياضية يمكن ان تمثل تأثير الضغط الطبقي على الصفات البتروفيزيائية كالمسامية والنفاذية.

2- بينت نتائج الدراسة بأنه عند استخدام النموذج الرياضي في مجال التخمين كان على درجة عالية من الدقة والثقة، حيث تم الحصول على نتائج ممتازة لقيم معامل التحديد (R^2) لجميع النماذج الرياضية.

3- اتضح من الدراسة بأن هناك ثلاث أنواع من السلوك يمكن ان تتبعه كل من المسامية والنفاذية عند زيادة الضغط الطبقي.

4- عكست الدراسة بأن افضل نموذج يمكن اعتماده ليصف سلوك المسامية والنفاذية عند زيادة الضغط الطبقي هو نموذج الحالة المستقرة.

5- اظهرت نتائج الدراسة بأن المسامية والنفاذية لحقل الزبير تكون اكثر انحدارا من المسامية والنفاذية لحقل الرميلة الجنوبي.

Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16
P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

المصادر

1. افيديسيان، أنطوان مهران، تحليلات تسجيل الابار لتقييم المكامن البترولية والغازية. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة بغداد، 1988.
2. شاكر، نجلاء و فزع، عبد الأمير مسير، دراسة التأثير الطبقي على الصفات البتروفيزيائية للصخور النفطية للباب حقل الرميلة الجنوبي ولباب حقل الزبير. شركة نفط الجنوب (رقم الدراسة 683)، 1984.
3. ظاهر، عبد الرزاق و محمد، احمد زهرة، دراسة التأثير الطبقي على النفاذية والمسامية في الصخور المكمنية، شركة نفط الجنوب (رقم الدراسة 677)، 1982.
4. Alder, M., An Introduction to mathematical modelling. WWW. Heaven for books. Com, 2001.
5. Ali, H.S., Al-marhoun, M.A., Abu-Khamish, S.A. and Celik, M.S., The Effect of overburden Pressure on Relative Permeability. Society of Petroleum Engineers, 15730, 1987.
6. Alobaidi, D.A, Permeability prediction in one of Iraqi carbonate reservoir using hydraulic flow unit and neural networks, Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering, Vol.17, No.1: pp:1997-4884, 2016.
7. Civan, F., Reservoir formation damage (fundamental, modeling, Assessment and Mitigation). University of Oklahoma, Gulf publishing Company. Houston, Texas, 2000.
8. Dong, J.J., Hsu, J., Wu, W., Shimamoto, T., Hung, J and Yeh, E., Stress dependence of the permeability and porosity of sandstone and shale from TCDP Hole-A. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences vol.47, pp: 1141–1157, 2010.
9. Halliburton, Basic petroleum geology and log analysis, 2001.
10. Introduction to curve fitting. Statistical Software.https://ncss-wpengine.netdna-ssl.com/wpcontent/themes/ncss/pdf/Procedures/NCSS/Introduction_to_Curve_Fitting.pdf
11. Jassim, S.Z. and Goff, J. C., Geology of Iraq. Published by Dolin, Prague and Moravian museum, Brno, 2006.

Open Access
No. 31, June 2021, pp.1-16

P- ISSN: 2220-5381
E- ISSN: 2710-1096

12. Sarah, A. A, Julius, U. A and Francis, C. N, Determination of Some Petrophysical Properties of Reservoir Rocks in the Niger Delta. Journal of Scientific Research & Reports 5(5) Article no.JSRR.105, 2015.
13. Schon. J.H., Physical properties of rocks, a workbook, Elsevier, vol.8, 2011.
14. Shar, A., Mahesar, A.A. and Chandio, A.D., 2017. Impact of confining stress on permeability of tight gas sands. J Petrol Explore Prod Techno vol., 7 pp: 717-726.
15. Origin User Guide, 2016. USA. https://www.originlab.com/pdfs/Origin2017_Documentation/English/Origin_User_Guide_2017_E.pdf
16. Wangen, M., A simple model of pressure build– up caused by porosity reduction during burial. Geophys. J. Int. vol.130, pp: 757-764, 1997.
17. Zhijiao, Z., Xiaochun, l., Lu, S., Bing, B., Zhiming, F and Ying, W., Experimental study of the laws between the effective confining pressure and mudstone permeability. Energy Procedia vol.63, pp: 5654 – 5663, 2014.