

سبب بقاء احتياطي نفطي غير قابل للإنتاج - دراسة حالة

محمد السهو

قسم الهندسة البترولية، كلية الهندسة البتروكيميائية، جامعة الفرات- سوريا

Mohamed.saho1986@gmail.com

شركة الفرات للنفط - قسم البتروفيزيا

info@alfuratuniv.edu.sy

ملخص

من خلال دراسة مخططات الإنتاج لبعض آبار شركة الفرات للنفط، نلاحظ أن معدل الإنتاج يزداد ليبلغ الذروة، ثم يعود لينخفض بشكل حاد، قد يكون لتشوّه المنطقة المحيطة بالبرّ بسبب انخفاض الضغط الطبقي (بعد الإنتاج لفترة معينة)، سبب في تغيير الخواص الخزنّية (مسامية، نفوذّية)، و بالتالي انخفاض معدل الإنتاج، لكن من وجهة نظر علم جيوميكانيك الطبقات النفطية، والذي يتضمن دراسة الحالة الإجهادية، وتأثيرها في النسيج الصخري، سنلاحظ وجود أسباب إضافية، لها دور في منع تدفق النفط نحو الآبار، كما في حالة التطبيق الذي تتعرض لها مسامات النسيج الصخري، وانخفاض المسامية، وما يرافقه من انخفاض كبير في النفوذّية، وذلك قد يكون سبباً مباشراً لحبس النفط في تلك المسامات، ما يخفض عامل المردود النهائي بشكل كبير.

من خلال هذا البحث سأقدم تفسيراً للأسباب المحتملة لهبوط الإنتاج بشكل كبير، مع بقاء احتياطي نفطي جيد في المكمن، وذلك من خلال علم جيوميكانيك الطبقات النفطية، والذي سنوضح فيه تأثير الإجهاد الفعال، الناتج عن انخفاض الضغط الطبقي في إغلاق المجال المنتج حول جدران البرّ.

ركزت على الدراسات المخبرية؛ لإثبات حالة تغير حجم الفراغ المسامي، مع ازدياد قيم الإجهاد الفعال، ودراسة قيم ذلك التغير، ومقارنتها مع قطر القنوات الواصلة بين المسامات، وما تمّ ملاحظته أنّ انخفاض قطر الفراغ المسامي بتأثير الإجهاد الفعال المؤثر في النسيج الصخري، أكبر من قطر القنوات الواصلة بين الفراغات، ما يسبب انخفاض النفوذّية حول جدران البرّ، وعزل الآبار المنتجة عن المكمن النفطي، وحدوث الهبوط الحاد في الإنتاج النفطي، وللبحث أهمية كبيرة في تفسير بقاء ما يقارب من 50% من الاحتياطي الكلي في المكمن، ويفتح الطريق نحو إيجاد الحلول المناسبة لمنع عملية حجز النفط في المسامات الضيقة.

الكلمات الدالة: الاحتياطي المتبقي، الجيوميكانيك، المسامية، الإجهادات الجيولوجية.

المقدمة

تعد مشكلة الانخفاض الحاد في الإنتاج النفطي واحدة من أهم المشاكل التي تصادف الشركات النفطية. وتم الربط بين معدل السحب من المكنن مع الانخفاض الحاد في الإنتاج النفطي [1]، وتم اعتماد التناسب بين معدل الإنتاج من المكنن مع زمن انخفاض الضغط الطبقي في المكنن، وذلك يعود لأسباب طبيعية تتعلق بانخفاض دعم الضغط الطبقي وعمليات الأماهة، التي تسيطر على المجال المنتج، وتلوث المنطقة حول جدران البئر [2].

والمخطط الطبيعي تصل فيه فترة هبوط الإنتاج النفطي إلى 8 أعوام [3]. وفي هذا البحث نلاحظ مخططاً مختلفاً، يتضمن الهبوط الحاد في معدل الإنتاج النفطي، خلال فترة عام واحد، كما أن هبوط الإنتاج النفطي قبل عملية الأماهة، وقد أجريت دراسات على الفراغ المسامي والتشوه الذي يتعرض له، وما يسببه من تطبيق للمكنن، وتم تقديمها بوصفها إحدى الطرق المسهمة في عملية الإنتاج النفطي [4]. لكنني، في هذه الدراسة، اعتمدت على موضوع الخواص الميكانيكية للنسيج الصخري وتغيراتها، وملاحظة حدوث تغير في المسامية والنفوذية مع الإنتاج النفطي؛ بسبب تأثير الإجهاد الفعال، وهي من القضايا الهامة. كما سنلاحظ وجود أسباب إضافية لانخفاض الإنتاج النفطي (إلى جانب لظاهرة تلوث المنطقة المجاورة للبئر، وانخفاض الدفع المائي والغازي)، وهي حالة تطبيق القنوات الواصلة بين الفراغات المسامية وإغلاقها، وبقاء النفط محبوساً في الطبقة، ما سبب عدم فعالية طرق الاستثمار الثانوي والثالثي، ويتطلب دراسة معمقة لتجنب هذه الظاهرة.

الدراسة المرجعية

مع استمرار عملية الإنتاج، يحدث انخفاض للضغط الطبقي، ويقابله ارتفاع في قيم الإجهاد الفعال، وبدوره يؤثر الإجهاد الفعال في الخواص الفيزيائية للنسيج الصخري، من مسامية ونفوذية مرتفعة [5]، وقد نفذ (Hubbert, 1965a). و (Voight, 1974b) عدداً من التجارب، فأثبتوا تأثير الإجهاد الفعال في النسيج الصخري ذي المسامية والنفوذية المنخفضة، والأهم من ذلك التغير الحاصل في النفوذية الأفقية والعمودية، بتأثير الإجهاد الفعال بالنسبة للطبقة الرملية، التي هي محور دراستنا، فقد أظهرت دراسات (Ruistuen, 1996) بأن التغير في قيم الإجهاد الأفقي الأصغري الفعال، يعادل نصف التغير في الإجهاد العمودي الفعال، إذاً تأثير الإجهاد العمودي الفعال في النسيج الصخري أكبر من تأثير الإجهاد الأفقي الأصغري. أما (Schutte's, 2001)، فقد استنتج أن التشوه اللدن والتغير في النفوذية، يتبع - بشكل مباشر - لتأثير الإجهاد الفعال الرئيس، وهذا دفع (Lawrence, 1991) إلى دراسة التشوه الحجمي في عدد من المكمنن النفطية، مثل EKofisk field.

أما دراسة التطبيق في الفراغ المسامي للصخور الكربوناتيية عالية المسامية، فقد أجراها (Hamilton Shafer , 1991) من خلال دراسة عملية التشقيق الهيدروليكي، وقد أوضحت دراسات (Ferreia,2002) أن قيمة الإجهاد المسبب للتطبيق في الصخر الكربوناتي ذي المسامية 30% تبلغ 40 ميغا باسكال، وهي نتيجة قريبة من النتيجة التي حصلنا عليها في هذه الدراسة، ولكن الاختلاف أننا قمنا بدراسة الصخر الرملي. لقد أشار (Tronvoll, 2001) في عدة أبحاث إلى ارتباط عملية التطبيق في الفراغ المسامي، بحدوث تشوه النسيج الصخري، ويمكن ملاحظة ذلك من خلال ظاهرة دخول الرمال مع النفط المنتج، ويمكن القول: إن تحرك الموائع عبر المسام، يتعلق بتركيب المسام، وقطر القناة الواصلة بين المسامات، وتوزع تلك القنوات، وإعدادها؛ كونها قد تم ربطها مع القياسات النترونية، التي لعبت دوراً في تحدد المسامية، ويمكن أن تستخدم - بشكل فعال - في تحديد قطر القنوات الواصلة بين المسامات في المكمن [14].

منطقة الدراسة (حقل العمر)

يقع حقل العمر النفطي في منطقة حوض الفرات، له احتياطي نفطي كبير، وصل إلى 760 مليون برميل، ويعد حقل العمر [15] من أكبر الحقول في شركة الفرات للنفط. الشكل (1). ذلك الحقل الواقع على بعد 45 كم، جنوب شرق مدينة دير الزور، الذي تم استكشافه عام 1987. ومستوى النقاء النفط بالماء 3750 م (تحت مستوى سطح البحر)، ويتم الإنتاج فيه من خلال التشكيلات الرملية الأولى، التي تعود إلى الكريتاسي (الرطبة)، والثانية تعود إلى الترياسي (الملوسة). بدأ الإنتاج الذاتي من الحقل بمعدل 80000 برميل يومياً، ثم لينخفض تدريجياً، وذلك ما دعا إلى البدء بعملية حقن المياه بتاريخ 1991. تم المحافظة على إنتاج 70000 برميل يومياً، بعد حقن المياه، مدة 5 سنوات، ثم بدأ الإنتاج بالانخفاض، ليصبح خلال الفترة (1994-1997) 20000 برميل فقط يومياً.



شكل 1: موقع حقل العمر بالنسبة لخريطة سورية [15]

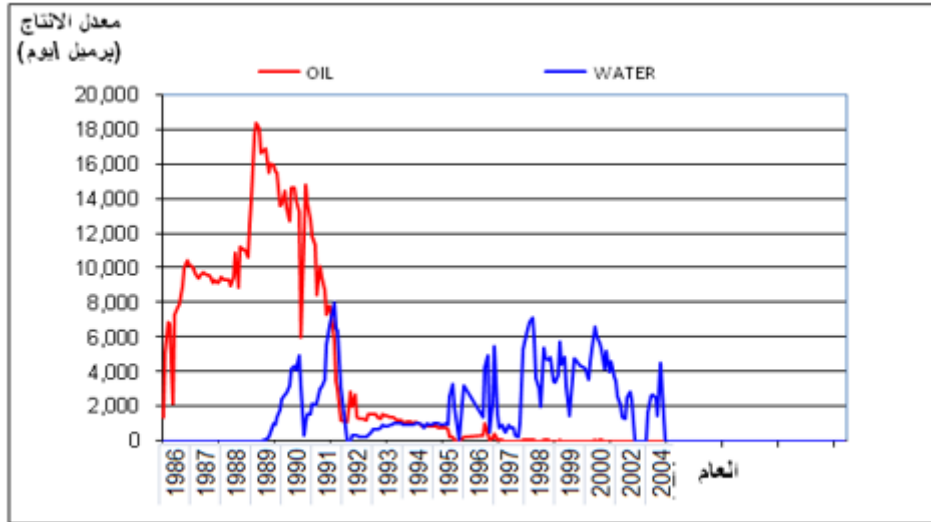
منهجية الدراسة

- 1- استخدام نتائج الدراسة المخبرية لتحديد العلاقة بين المسامية وحجم الفراغ المسامي.
- 2- استخدام نتائج الدراسة المخبرية لتحديد العلاقة بين مقدار النقص في حجم الفراغ المسامي مع مقدار النقص في قيمة المسامية عند ازدياد الإجهاد الفعال.
- 3- تحويل النتائج إلى الشروط الطباقية من خلال تطبيق نتائج العلاقات في المرحلتين السابقتين على قيم المسامية المأخوذة من القياسات البئرية، سيكون لدينا قيمة كل 15 سم وذلك حتى الوصول إلى سماكة الطبقة المنتجة كاملة (تشكيلة الرطبة) وبالباغة 160 م.
- 4- حساب قيمة الإجهاد الجيولوجي الرئيس في الشروط الطباقية.
- 5- دراسة مراحل مختلفة لانخفاض الضغط الطبقي، وتغير قيمة الإجهاد الفعال المؤثر، وبالتالي تحديد مقدار نقص المسامية مع ازدياد الإجهاد الفعال.
- 6- دراسة قطر القناة الواصلة بين المسامات المتجاورة، من خلال نتائج حقن الزئبق في العينات الأسطوانية (عينات مأخوذة من آبار حقل العمر).
- 7- تحويل مقدار النقص في حجم الفراغ المسامي إلى قيمة تعبر عن قطر بسنتمتر واحد، وذلك بتقسيم مقدار النقص في حجم الفراغ المسامي، على مساحة العينة المدروسة.

نتائج الدراسة

إذا كان مقدار النقص في قطر المسام بسبب ازدياد الإجهاد الفعال (في الشروط الطباقية حيث تؤثر الإجهادات الجيولوجية الرئيسة)، أكبر من قيمة قطر القناة الواصلة بين مسامين متجاورين (قطر عنق المسام المحسوب مخبرياً)، فهذا سيبقي النفط محتجزاً ضمن المسام، ويدعى عندها نفطاً متبقياً، ويسبب عزل منطقة البئر عن بقية المكنن، وهذا هو سبب تناقص معدل الإنتاج النفطي اليومي في كثير من آبار منطقة الدراسة، في الفترة الواقعة ما بين 1986 حتى عام 2004.

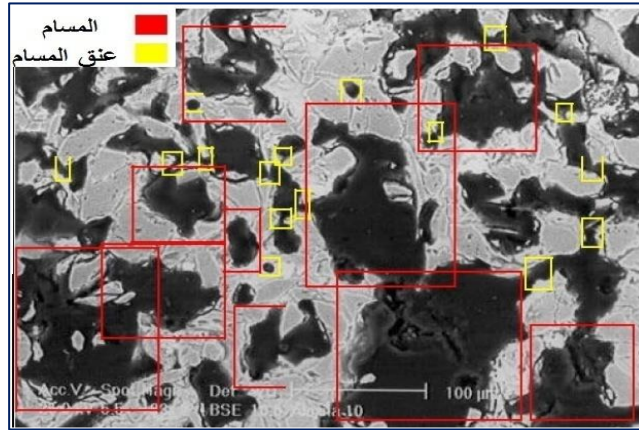
الشكل (2).



شكل 2: معدل إنتاج النفط والمياه المرافقة من بعض آبار الشركة. [15]

1- تحديد مقدار النقص في حجم الفراغ المسامي عند الإنتاج النفطي:

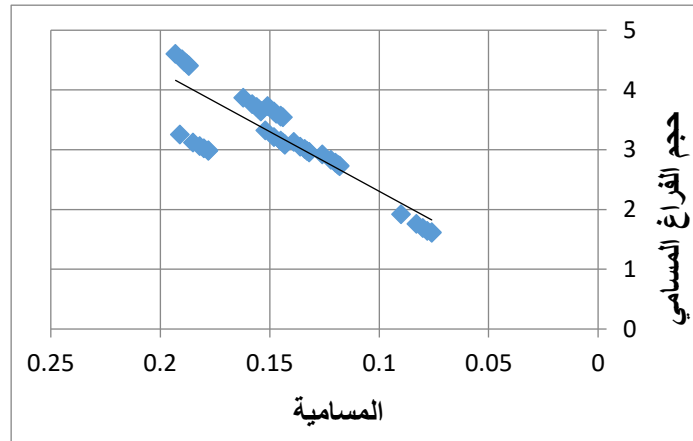
يعد حجم الفراغ المسامي من الخواص الهامة جداً، ويجب التركيز عليه في مجال استثمار المكامن النفطية، ذلك أن تشوه النسيج الصخري قد يسبب نقص حجم الفراغ المسامي بشكل كبير، وما يرافق ذلك من انخفاض حجم القناة الواصلة بين فراغين متجاورين والتي تسمى في بعض الأبحاث عنق المسام، كما في الشكل (3).



شكل 3: مثال للمقارنة بين قطر المسام (المربع باللون الأحمر) وقطر القناة الواصلة بين مسامين متجاورين (قطر عنق المسام، المربع باللون الأصفر) [15]

وهذا يسبب عزل أجزاء من المكامن وحبس النفط ضمنها. إن قطر عنق المسام صغير جداً مقارنةً بقطر المسام، ولكن له تأثير كبير في النفوذية، فالنفط يتواجد في المسام، ولكن جريانه من مسام إلى آخر، يتم عبر القناة الدقيقة، التي تصل بين فراغين متجاورين (عنق المسام).

إن حساب مقدار حجم الفراغ المسامي يتم من خلال العينات الأسطوانية، ولأن تلك العينات مأخوذة من ظروف جيولوجية مختلفة، فهي لا تُعبر عن الطبقة المنتجة كاملة، وهنا من الأفضل الانتقال إلى البيانات الطبقيّة، حيث تتوفر لدينا قيم المسامية من القياسات البئرية، لذلك سنحدد أولاً شكل العلاقة بين المسامية وحجم الفراغ المسامي، اعتماداً على الدراسات المخبرية (البئر OMA108) كما في الشكل (4) [16].

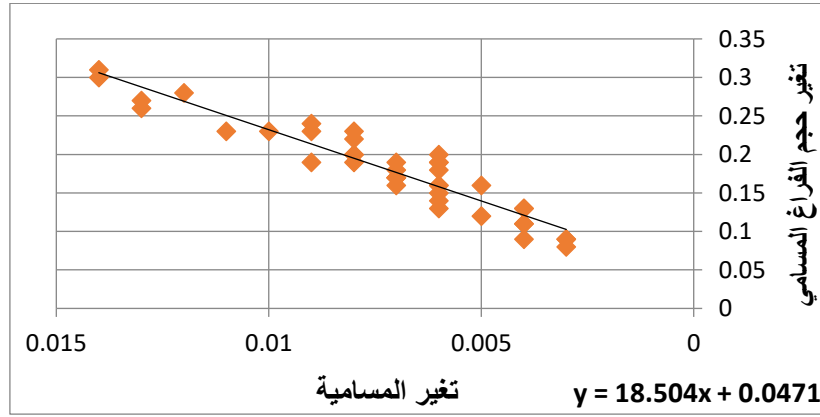


شكل 4: العلاقة بين حجم الفراغ المسامي ($سم^3$) والمسامية استناداً إلى نتائج الدراسة المخبرية على عينات البئر OMA108. كتلة الصخر والفراغات المسامية فيه تقع تحت تأثير مركبات الإجهادات الجيولوجية التي تجعله في حالة معينة من التوازن المرن، وأي خلل في أحد المركبات سيقود إلى حالة من التشوه في النسيج الصخري، التشوه الذي يتعرض له النسيج الصخري بدأ منذ المراحل الأولى لتوضع الرسوبيات، فازدياد سماكة الرسوبيات المتموضعة فوق النسيج الصخري، أدت إلى ازدياد قيمة الإجهاد العمودي، ما سبب تشوه الصخر والمسام، وحدث التراص، واستمر التشوه حتى الوصول إلى الحالة الأكثر استقراراً والتي استمرت على الوضع ذاته لملايين السنين، ويمكن القول: إن انضغاط الطبقة، وبالتالي التصاق حبيبات النسيج الصخري ببعضها البعض، وترابطها، وترابطها، ونشوء المسامات، كل ذلك يحدث بفعل الإجهادات الجيولوجية الرئيسة الثلاثة: (الإجهاد العمودي، والإجهاد الأفقي الأعظمي، والإجهاد الأفقي الأصغري)، المؤثرة بشكل طبيعي في القشرة الأرضية، وفي حال وجود مائع ما في الفراغ المسامي، فسيؤدي ذلك إلى حدوث انتقال جزء من الإجهاد المؤثر من حبيبات النسيج الصخري، إلى المائع في الفراغ المسامي، ليشكل ما يعرف بالضغط المسامي، وبالتالي فهناك علاقة بين الإجهاد الفعال والمسامية، وهذا ما تم إنجازه في الدراسة المخبرية على عينات البئر OMA108، (الطبقة المدروسة هي الرطبة، وهي تعاقبات رملية غضارية) كما في الجدول (1)، [16] والبيانات المعروضة في الجدول، هي نتيجة للدراسة المخبرية على العينات المأخوذة من أعماق محددة.

جدول 1: علاقة تغير حجم الفراغ المسامي بتغير المسامية، بسبب ازدياد قيمة الإجهاد الفعال على العينة

العمق	الإجهاد الفعال	المسامية	حجم الفراغ المسامي	نقص المسامية	نقص حجم الفراغ المسامي
M	MPA		CM ³		CM ³
3502.6	5.512	0.139	3.13		
	13.78	0.136	3.05	0.003	0.08
	20.67	0.134	3.01	0.005	0.12
	27.56	0.133	2.98	0.006	0.15
	34.45	0.132	2.96	0.007	0.17
3512.8	37.895	0.132	2.95	0.007	0.18
	5.512	0.162	3.87		
	13.78	0.158	3.76	0.004	0.11
	20.67	0.156	3.71	0.006	0.16
	27.56	0.155	3.68	0.006	0.19
3517	34.45	0.154	3.65	0.008	0.22
	37.895	0.154	3.64	0.008	0.23
	5.512	0.193	4.6		
	13.78	0.19	4.51	0.003	0.09
	20.67	0.189	4.47	0.004	0.13
3533.6	27.56	0.188	4.44	0.005	0.16
	34.45	0.187	4.41	0.006	0.19
	37.895	0.187	4.4	0.006	0.2
	5.512	0.126	2.92		
	13.78	0.122	2.83	0.004	0.09
3557	20.67	0.12	2.78	0.006	0.14
	27.56	0.119	2.75	0.007	0.17
	34.45	0.118	2.73	0.008	0.19
	37.895	0.118	2.72	0.008	0.2
	5.512	0.152	3.32		
3576	13.78	0.148	3.21	0.004	0.11
	20.67	0.145	3.15	0.007	0.17
	27.56	0.144	3.12	0.008	0.2
	34.45	0.143	3.09	0.009	0.23
	37.895	0.143	3.08	0.009	0.24
3593.55	5.512	0.09	1.92		
	13.78	0.083	1.76	0.007	0.16
	20.67	0.08	1.69	0.01	0.23
	27.56	0.078	1.64	0.012	0.28
	34.45	0.076	1.62	0.014	0.3
3593.55	37.895	0.076	1.61	0.014	0.31
	5.512	0.191	3.25		
	13.78	0.185	3.12	0.006	0.13
	20.67	0.182	3.06	0.009	0.19
	27.56	0.18	3.02	0.011	0.23
3593.55	34.45	0.178	2.99	0.013	0.26
	37.895	0.178	2.98	0.013	0.27

من خلال بيانات الجدول يمكن تحديد العلاقة بين تغير قيمة المسامية بتغير قيمة حجم الفراغ المسامي، عند قيمة ثابتة للإجهاد الفعال (القيمة 37.8 ميغا باسكال)، لكونها تعبر عن الشروط الطباقية التي استخدمتها الشركة؛ لإعادة العينات من الشروط المخبرية إلى الشروط الطباقية، لنحصل على الشكل (5).



شكل 5: العلاقة بين مقدار نقص المسامية بمقدار نقص حجم الفراغ المسامي بسبب ازدياد قيمة الإجهاد المطبق على العينة المدروسة. هذا الشكل مستخلص من بيانات الجدول (1)

لقد اخترنا نتائج دراسة عينات البئر (OMA108) لوقوعه في وسط الحقل، ولكي نتمكن من استخدام العلاقة المستنتجة منه في دراسة تغير الخواص الخزنانية (المسامية والنفاذية) للطبقة المنتجة، ومن خلال نتائج هذه الدراسة، يمكن أن نحصل على علاقة المسامية بالحجم المسامي، علاقة (1). وعلاقة تغير حجم الفراغ المسامي بتغير المسامية (2).

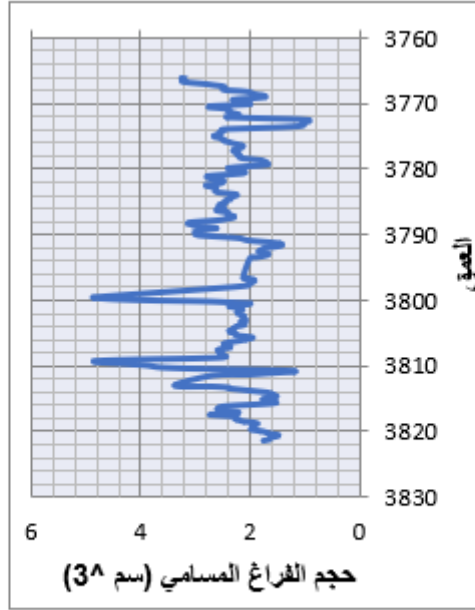
$$V_p = 19.9 * \Phi + 0.308 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\Delta V_p = 18.50 * \Delta \Phi + 0.0471 \quad \dots \dots \dots (2)$$

حيث إن V_p : حجم الفراغ المسامي. ΔV_p : تغير حجم الفراغ المسامي

Φ : المسامية. $\Delta \Phi$: تغير المسامية

ويتقسيم سماكة المكمن النفطي إلى نطاقات، لها حجم مماثل لحجم العينات الأسطوانية، وباستخدام قيم المسامية المحسوبة من القياسات البئرية مع العمق وذلك للبئر ذاته OMA108 يمكن حساب قيمة حجم الفراغ المسامي الأولي، ثم رسم العلاقة بين حجم الفراغ المسامي مع العمق، ضمن مجال سماكة المكمن النفطي المدروس (تشكيلة الرطوبة) كما في الشكل (6).



شكل 6: قيم حجم الفراغ المسامي مع العمق وذلك ضمن سماكة تشكيلية الرطبة.

أما لدراسة مقدار نقصان حجم الفراغ المسامي، فيجب أن نقوم بحساب الإجهاد الفعال، ثم ندرس مراحل مختلفة لزيادة الإجهاد الفعال، وتأثيره في قيم المسامية من خلال العلاقة (4) [17] وبعد حساب مقدار النقص في قيمة المسامية، يمكن حساب مقدار النقص في قيمة حجم الفراغ المسامي وفقاً للعلاقة (1) والتي تم استنتاجها من الدراسة المخبرية. علاقة الإجهاد الفعال الوسطي بالمسامية [17].

$$\sigma_{eff} = \frac{1}{3}(\sigma'_v + \sigma'_{Hmax} + \sigma'_{hmin}) \quad \dots (3)$$

$$\Phi = \Phi_0 * e^{-c_p * \sigma_{eff}} \quad \dots (4)$$

حيث إن Φ المسامية الحالية. Φ_0 المسامية الأولية. c_p معامل انضغاط الفراغ المسامي

σ'_{hmin} الإجهاد الأفقي الأصغري الفعال. σ'_{Hmax} الإجهاد الأفقي الأعظمي الفعال

σ'_v الإجهاد العمودي الفعال. σ_{eff} الإجهاد الفعال الوسطي

وبما أن قيمة الإجهاد الفعال σ_{eff} تتغير مع تغير الضغط الطبقي فهذا يسبب تغير في قيمة المسامية Φ وبالتالي تغير في قيمة حجم الفراغ المسامي، أي نقصان حجم الفراغ المسامي، لذلك درسنا المراحل المتلاحقة لانخفاض

الضغط الطبقي، وتأثيرها في قيم المسامية وحجم الفراغ المسامي، عند انخفاض الضغط الطبقي بمقادير مختلفة، كما هو موضح في الجداول (2) و (3) و (4) .

جدول 2: استنتاج نقصان حجم الفراغ المسامي من خلال نتائج القياسات البئرية OMA108 وذلك عند انخفاض الضغط الطبقي بمقدار 6.89 ميغا باسكال

العمق	الإجهاد الفعال الوسطي	نقص المسامية	نقص حجم الفراغ المسامي
M	MPA	-----	CM ³
3507	42	0.0082	0.1990
3600	42	0.0116	0.2624
3653	43	0.0072	0.1809
3703	43	0.0080	0.1947
3749	43	0.0006	0.0578
3783	44	0.0001	0.0498

جدول 3: استنتاج نقصان حجم الفراغ المسامي من خلال نتائج القياسات البئرية OMA108 وذلك عند

انخفاض الضغط الطبقي بمقدار 10.33 ميغا باسكال

العمق	الإجهاد الفعال الوسطي	نقص المسامية	نقص حجم الفراغ المسامي
M	MPA	-----	CM ³
3507	45	0.00885	0.21075
3600	45	0.01255	0.27922
3653	46	0.00778	0.19109
3703	46	0.00858	0.20588
3749	46	0.00062	0.05857
3783	47	0.00016	0.05001

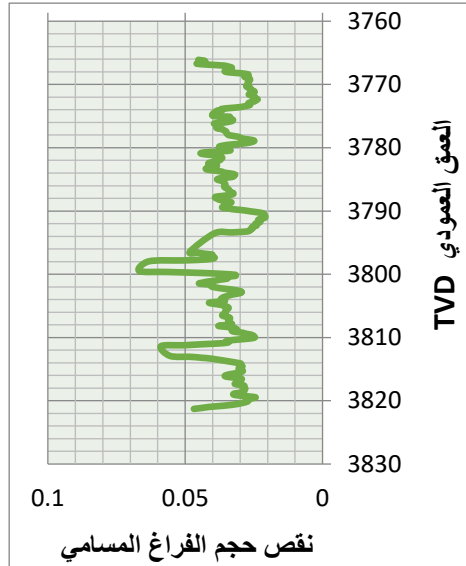
جدول 4: استنتاج نقصان حجم الفراغ المسامي من خلال نتائج القياسات البئرية OMA108 وذلك عند

انخفاض الضغط الطبقي بمقدار 13.7 ميغا باسكال.

العمق	الإجهاد الفعال الوسطي	نقص المسامية	نقص حجم الفراغ المسامي
M	MPA	-----	CM ³
3600	49	0.0133	0.2938
3653	50	0.0083	0.1999
3703	50	0.0091	0.2156
3749	50	0.0007	0.0593
3783	51	0.0002	0.0502

تم حساب مقدار النقص في حجم الفراغ المسامي للعينات في مكانها من الطبقة، استناداً إلى القياسات البئرية، وذلك

في مراحل مختلفة لانخفاض الضغط الطبقي، الشكل (7).



شكل 7: مقدار نقصان حجم الفراغ المسامي مع العمق عند انخفاض الضغط الطبقي بمقدار 4. 10 ميغا باسكال.

إن حجم الفراغ المسامي إلى المسامية، يعبر عن حجم العينة التي قمنا بدراستها. من تقارير دراسة العينات الأسطوانية لعدة آبار في حقل العمر (105-167-103-119) وجدنا أن قطر القناة الواصلة بين فراغين متجاورين (عنق المسام) تتراوح بين (10-15) ميكرومتر.

طريقة المقارنة:

للمقارنة بين مقدار النقص في حجم الفراغ المسامي بسبب ازدياد قيمة الإجهاد الفعال، مع قيمة قطر القناة الواصلة

بين مسامين متجاورين، فقدتم إتباع الخطوات التالية:

A- حساب قيمة حجم الفراغ المسامي انطلاقاً من قيمة المسامية المحسوبة من القياسات البئرية، وذلك وفقاً للعلاقة (1).
ولسماكة تشكيلة الرطبة، حصلنا على قيمة لكل 15 سم.

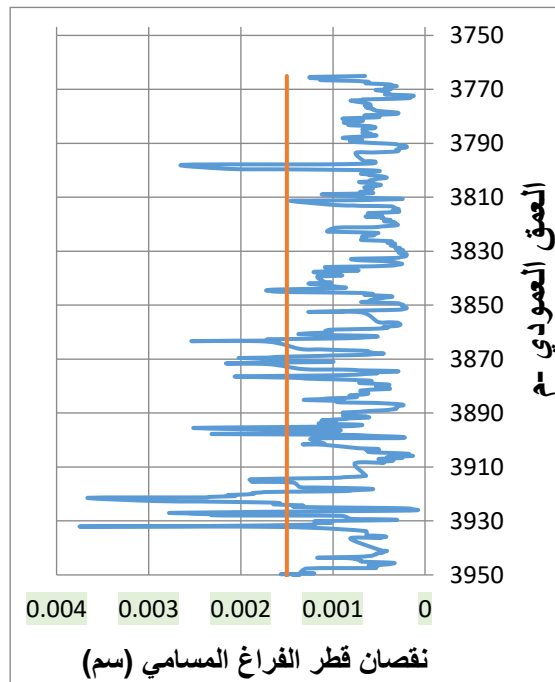
B- حساب قيمة الإجهاد الفعال وفقاً للعلاقة (3).

C- حساب قيمة الإجهاد الفعال بحسب مقدار انخفاض الضغط الطبقي وفقاً لثلاث مراحل: الأولى الانخفاض

بمقدار (3.4 ميغا باسكال). الثانية (6.8 ميغا باسكال). الثالثة (10.4 ميغا باسكال).

D- حساب قيمة المسامية في كل مرحلة من مراحل ازدياد الإجهاد الفعال وفقاً للعلاقة (4).

- E- حساب مقدار حجم الفراغ المسامي وفقاً لقيمة المسامية المحسوبة من الخطوة السابقة، وذلك عند كل مرحلة من مراحل انخفاض الضغط الطبقي، وعند كل عمق مدروس (قيمة كل 15 سم) على طول سماكة تشكيلة الرطبة.
- F- تحديد الفرق بين حجم الفراغ المسامي الجديد، بعد ازدياد الإجهاد الفعال، والحجم القديم الذي حسبناه وفقاً للمرحلة (A)، وهذا الفرق يمثل نقصان حجم الفراغ المسامي، بسبب ازدياد قيمة الإجهاد الفعال.
- G- بضرب قيمة نقصان حجم الفراغ المسامي في قيمة المسامية الجديدة لتوزيع مقدار النقص في حجم الفراغ المسامي على العينة كاملة.
- H- نقسم مقدار النقص في حجم الفراغ المسامي وفقاً للمرحلة (G) على مساحة سطح العينة المدروسة، فنحصل على قيمة مقدار النقص في حجم الفراغ المسامي بسنتيمتر واحد (1سم) ، وسنسميه مقدار النقص في قطر الفراغ المسامي.
- K- نرسم منحنى يمثل قيم نقص قطر الفراغ المسامي من المرحلة (H)، بالعلاقة مع العمق العمودي المدروس لتشكيلة الرطبة، الشكل (8)، ونرسم خطأ مستقيماً، يمثل قيمة قطر عنق المسام والذي حصلنا عليه من نتائج مقارنة الدراسات المخبرية لعدة آبار موزعة في حقل العمر، وجدنا قيمة قطر القناة بين مسامين متجاورين هي (0.0015 سم) .



شكل 8: مقارنة نقص قطر الفراغ المسامي مع قطر عنق المسام عند انخفاض الضغط الطبقي 3.4 ميغاباسكال

تم رسم قطر القناة الواصلة بين مسامين متجاورين، ذي القيمة الواحدة على شكل خط مستقيم، باللون الأحمر، أما نقصان قطر الفراغ المسامي بسبب ازدياد الإجهاد الفعال، فعبّرنا عنه بالمنحنى ذي اللون الأزرق. عدد قيم المقارنة 950 قيمةً، لدينا حالتان، في الأولى يكون مجال المنحنى أقل من الخط المستقيم، وهذا يشير إلى أن مقدار نقص قطر الفراغ

المسامي بسبب تأثير زيادة قيمة الإجهادات الفعالة، أقل من قطر عنق المسام (pore throat radius) وبالتالي فإن ازدياد قيمة الإجهادات الفعالة عند انخفاض الضغط الطبقي، لم يؤثر في خواص المكنن. والحالة الثانية قيم المنحنى أكبر من قيمة الخط المستقيم، وهذا يشير إلى أن نقص قطر الفراغ المسامي أكبر من قطر عنق المسام، وبالتالي سيحدث إغلاق القنوات الواصلة بين المسامات في المجالات المحددة، وهذا سيسبب حجز النفط في المسامات المغلقة عند أعماق محددة، ويمكن تحديد تلك المجالات، وذلك عند كل مرحلة من مراحل انخفاض الضغط الطبقي، كما في الجداول (5) و(6):

يمكن إجراء دراسات مشابهة للدراسة السابقة لبقية الحقول، في منطقة حوض الفرات؛ للتعرف إلى الأعماق التي تعرضت للتشوه وحصل فيها إغلاق للقنوات الواصلة بين المسامات، ويتحكم بتلك الإغلاقات قطر القناة الواصلة بين المسامات (عنق المسام) والتي تم تحديدها مخبرياً من خلال حقن الزئبق، وفيما يلي بعض نتائج الدراسة المخبرية لتحديد قطر تلك القنوات بمايكرومتر واحد.

• حقل الصيجان، البئر SIJ 115 :

جدول 5: قطر القناة الرابطة بين مسامين متجاورين عند أعماق مختلفة

العمق (M)	2943	2956	2968	2974	2986	2992	2998
قطر القناة (ميكرو متر)	17.7	11.8	2.6	11.8	11.8	17.7	17.7

• حقل التنك، البئر TAN112

جدول 6: قطر القناة الرابطة بين مسامين متجاورين عند أعماق مختلفة

العمق (M)	متر	2849	2883	3009	3034
قطر القناة	مايكرومتر	11.8	17.7	17.7	8.8

من دراسة نتائج الجدولين السابقين نلاحظ أن قيم قطر القناة الواصلة بين المسامات، متشابهة بين الحقول الثلاثة، ويمكن أخذ القيمة 15 مايكرومتر بصفتها قيمة وسطية.

ولكن هل تعد طريقة حقن المياه أفضل الطرق لرفع المردود النفطي؟

للإجابة عن ذلك السؤال، فيجب حساب الضغط الذي أثر في جدار تلك القنوات، وسبب إغلاقها، ومقارنته بضغط

المياه المحقونة، إذ لا بد من دراسة تأثير الإجهاد الفعال في النسيج الصخري، ذلك التأثير يتوزع - بشكل مختلف -

وفقاً لاتجاهين أفقيين، الزاوية بينهما 90 درجة؛ لأنه وفقاً لسمت الإجهاد الأفقي الأعظمي، سيؤثر الإجهاد الأفقي الأصغري الفعال، والإجهاد العمودي الفعال، ووفقاً لسمت الإجهاد الأفقي الأصغري، سيؤثر الإجهاد الأفقي الأعظمي الفعال، والإجهاد العمودي الفعال، أما تلك القنوات الشاقولية الواصلة بين المسامات، فسيكون تأثرها بالتشوه قليلاً جداً؛ ذلك لأن مصدر التشوه الأكبر يعود إلى تأثير الإجهاد العمودي، الذي يوازي اتجاه تلك القنوات الشاقولية، وهذا يسبب بقاءها مفتوحة سامحةً لعملية دخول المياه من أسفل الممكن، أما تلك القنوات الأفقية، فتخضع لتأثير إجهاد فعال وسطي، ناتج عن تأثير الإجهاد العمودي، وأحد الإجهادين الأفقيين، وذلك وفقاً لاتجاه تأثير كل إجهاد على حدا. ونعبر عن ضغط إغلاق القناة الواصلة بين المسامات وفقاً لسمت الإجهاد الأفقي الأعظمي بعلاقة الضغط الوسطي. حسب العلاقة (5)

$$p_{clos1} = \frac{\sigma_{hmin} + \sigma_v}{2} \dots \dots \dots (5)$$

نعبر عن ضغط إغلاق القناة الواصلة بين المسامات p_{clos2} وفقاً لسمت الإجهاد الأفقي الأصغري بعلاقة الضغط الوسطي. العلاقة (6)

$$p_{clos2} = \frac{\sigma_{HMAX} + \sigma_v}{2} \dots \dots \dots (6)$$

من العلاقتين (5) و (6) يمكننا استنتاج قيم ضغط إغلاق القنوات مع العمق. الجدول 7

جدول 7: ضغط إغلاق القنوات مع انخفاض الضغط الطبقي (بوحدة ميغاباسكال) وفقاً لسمت الإجهادين

الافقيين: الأصغري والأعظمي، وباستخدام بيانات البئر OMA172

p_{clos1}	p_{clos1}	p_{clos1}	p_{clos2}	p_{clos2}	p_{clos2}	العمق العمودي
$\Delta P = 10.3$	$\Delta P = 6.8$	$\Delta P = 3.4$	$\Delta P = 10.3$	$\Delta P = 6.8$	$\Delta P = 3.4$	M
MPA	MPA	MPA	MPA	MPA	MPA	M
48.5	45.5	40.7	52.3	50.9	46.1	3760
48.3	45.3	40.5	52.1	50.8	46.0	3770
48.1	45.1	40.4	52.0	50.6	45.8	3780
47.9	44.9	40.2	51.7	50.3	45.6	3790
47.8	44.8	40.0	51.6	50.3	45.5	3800
47.6	44.6	39.9	51.4	50.1	45.4	3810
47.5	44.4	39.7	51.1	49.8	45.3	3820
47.3	44.3	39.5	51.1	49.7	45.1	3830
47.1	44.1	39.3	50.9	49.5	44.9	3840

46.9	43.9	39.2	50.7	49.4	44.8	3850
46.8	43.8	39.0	50.7	49.3	44.7	3860
46.7	43.7	38.9	50.5	49.0	44.6	3870
46.5	43.5	38.7	50.3	48.9	44.5	3880
46.3	43.3	38.6	50.2	48.8	44.3	3890
46.2	43.1	38.4	50.0	48.6	44.1	3900
46.0	43.0	38.2	49.9	48.5	44.0	3910
45.9	42.9	38.1	49.7	48.4	43.9	3921
45.8	42.8	38.0	49.5	48.1	43.8	3930
45.7	42.7	37.9	49.4	48.1	43.7	3940
45.6	42.6	37.8	49.5	48.1	43.7	3950
45.5	42.5	37.7	49.3	48.0	43.6	3960
45.4	42.3	37.5	49.1	47.7	43.4	3970
45.2	42.1	37.3	49.0	47.7	43.3	3980
45.0	41.9	37.1	48.7	47.3	43.1	3990
44.8	41.7	36.9	48.4	47.1	42.9	4000
44.6	41.5	36.7	48.3	46.9	42.8	4010

3- إثبات حالة التشوه في الممكن النفطي بسبب ازدياد الإجهاد الفعال:

إن ازدياد الإجهاد الفعال المؤثر في النسيج الصخري يسبب انضغاط مساميات الصخر وتحطم المادة الإسمنتية الرابطة بين الحبيبات، وقد يحدث تحطم جزء من الحبيبات الصخرية، وبالتالي حدوث دوران لإحدى تلك الحبيبات المحيطة بالمسام، بعد كسر جزء صغير منها، وهذا يسبب تحركها نحو داخل المسام، وبالتالي إغلاق المسام، وبشكل خاص، يحدث ذلك في المكامن الرملية؛ لأن حجم المسام مساوٍ لحجم حبيبات الصخر. ولدراسة التشوه سنقوم بإسقاط معيار مور كولومب [18] على الصخر؛ أي أننا نعد أن تطور التشوه الحجمي في النسيج الصخري، بسبب ازدياد الإجهاد الفعال، يقود إلى نشوء شقوق، لها زاوية ميل معينة عن المستوى الأفقي، وهي حالة مشابهة لتلك التي تحدث مخبرياً، ولكن الفرق في أن معيار مور كولومب في دراسة العينات المخبرية، يعد الإجهاد المؤثر رئيسياً وليس فعالاً، ويدرس العينات الجافة [18] (هذا المجال له تطبيق مباشر في الهندسة المدنية، ولكن في الصناعة النفطية يحتاج إلى تعديل) بينما في حالة الممكن النفطية، حيث الطبقة مشبعة بالموائع ذات الضغوط العالية، فنستخدم الإجهاد الفعال لرسم مغلف مور كولومب، ورسم مغلف مور يتطلب قيمة الإجهاد الأعظمي (الإجهاد العمودي الفعال) والذي قمنا بحسابه، والإجهاد الأصغري (الإجهاد

الأفقي الأصغري الفعال) والذي يمكن حسابه بواسطة اختبار LOT أو طريقة المرونة الخطية، وزاوية الاحتكاك الداخلي التي قدمنا عدة طرق لحسابها مسبقاً، وإجهاد القص [19] والذي يحسب بالعلاقة (7) .

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} * SIN(2\delta) \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$2\delta = 90 - \varphi \quad \dots \dots \dots (8)$$

حيث إن σ_1 : الإجهاد الرئيس الأعظمي. σ_3 : الإجهاد الرئيس الأصغري

φ : زاوية الاحتكاك الداخلي. δ : زاوية القص

أما إجهاد القص الأعظمي [19] فيعطى بالعلاقة (9) .

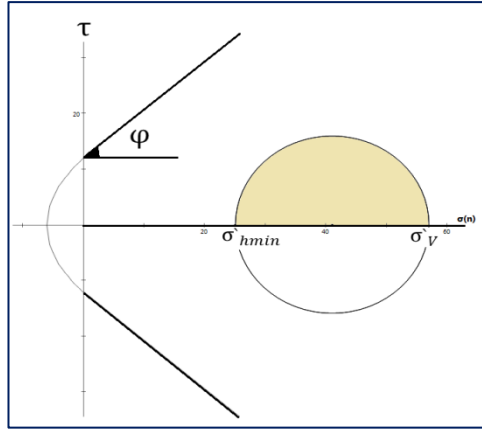
$$\tau_{MAX} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad \dots \dots \dots (9)$$

لرسم مغلف مور كولومب قمنا بجمع البيانات الرئيسة في الجدول (8)

جدول 8 : البيانات الضرورية لرسم مغلف مور وفقاً لنتائج دراسة البئر OMA172

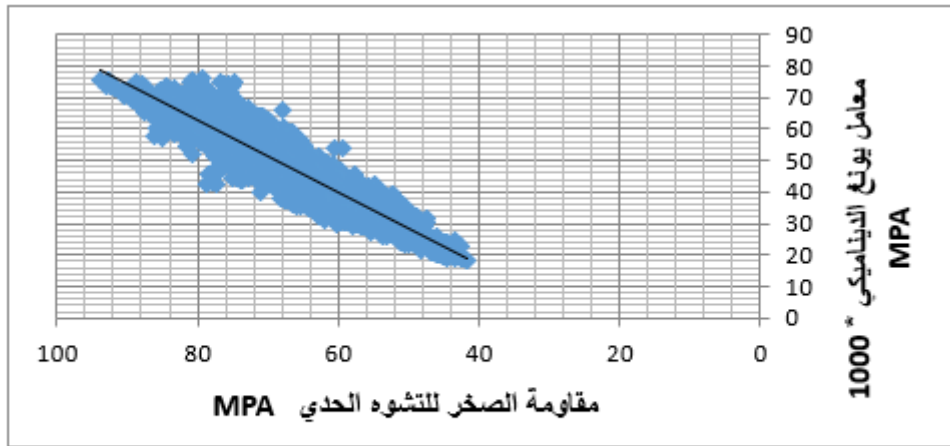
τ_{MAX}	τ	σ_N	φ	σ_{hmin}	σ_v	العمق
MPA	MPA	MPA	deg	MPA	MPA	M
15.38	11.53	50.69	41.42	25.13	55.89	3750
15.87	11.87	51.72	41.58	25.31	57.05	3775
15.96	12.28	51.71	39.72	25.55	57.47	3800
15.90	12.26	51.80	39.57	25.77	57.57	3825
15.01	11.67	50.49	39.00	26.02	56.05	3850
15.85	12.27	52.17	39.27	26.28	57.99	3875
15.78	11.46	53.26	43.41	26.63	58.20	3900
15.52	11.90	52.51	39.93	27.03	58.07	3925

نلاحظ من الشكل (9) عدم حصول انهيار للصخر، أو تشوه، ولكن هذه الحالة تناقش تشوه الصخر على شكل قصي ونشوء شقوق، وفي حالة وجود نسبة من الغضار مع الحجر الرملي كما في مكامن شركة الفرات للنقط، فلن يحصل التشوه القصي، إذا فمحنى مور كولومب يصلح في حالة كان الصخر متجانساً وذا تركيب واحد.



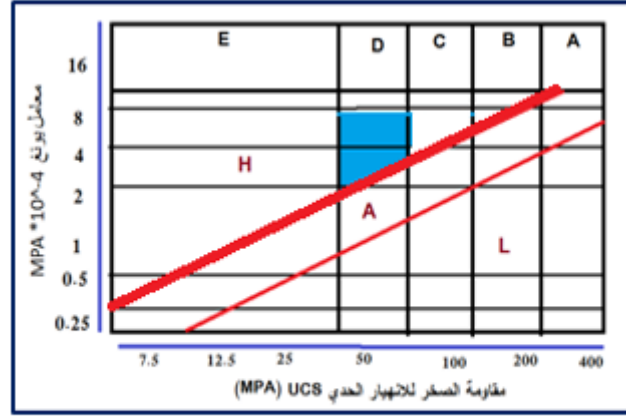
شكل 9: مغلف مور كولومب وفقاً لبيانات البئر OMA172 [20]

ويرسم العلاقة بين مقاومة الصخر للتشوه أحادي المحور مع قيم معامل يونغ الديناميكي وفقاً لنتائج دراسة البئر (OMA172) ، الشكل (10)، فنلاحظ أن مقاومة الصخر للتشوه، تتراوح بين 45 ميغاباسكال إلى 85 ميغاباسكال، ويشكل مقابل لها قيم معامل يونغ الديناميكي بين (20-75) * 10³ ميغاباسكال.



شكل 10: العلاقة بين مقاومة الصخر للتشوه ومعامل يونغ الديناميكي، وذلك لتحديد نوع الصخر وفقاً لنتائج دراسة البئر OMA172.

وبمقارنة هذه النتائج مع المخطط العام لدراسة نوع الصخر من حيث المتانة وفق الشكل (11) المعتمد عالمياً لتحديد قساوة الصخر (Rock strength) [راجع الملحق]، وهنا لا بد من طريقة أخرى تصف تشوه الصخر مع انخفاض الضغط الطبقي، بما أن التشوه في معظمه هو تشوه عمودي ولأننا نعلم تغير الإجهاد العمودي الفعال مع تغير الضغط الطبقي. وقد قمنا بحساب مقاومة الصخر للتشوه الحدي. إذاً من خلال الفرق بين مقاومة الصخر للتشوه، وازدياد الإجهاد العمودي الفعال بسبب انخفاض الضغط الطبقي، فيمكن تحديد حالة الصخر لدراسة قدرته على تحمل تلك الإجهادات، ثم تحديد بداية حالة تشوه الصخر وقيمة الضغط الطبقي عندها.



شكل 11: تحديد نوع الصخر من خلال العلاقة بين معامل يونغ الديناميكي ومقاومة الصخر للتشوه الحدي

وتشير الرموز في الشكل السابق إلى تدرج صلابة الصخر كمايلي :

جدول 9: تقسيم أنواع الصخور بحسب الرمز

E	D	C	B	A
منخفض الصلابة جداً	منخفض الصلابة	متوسط الصلابة	عالي الصلابة	صلابة عالية جداً

نلاحظ أن الصخر المشكل لمكمن الرطوبة، والمكون من حجر رملي غضاري، يقع بين النطاقين: (D)؛ أي أنه

منخفض الصلابة، وفقاً للجدول (9)، وبالتالي تغير الإجهاد الفعال الصخري ويسبب تشوّهه.

وكما نلاحظ من الجدول (10)، فإن قيم مقاومة الصخر للتشوه الحدي قريبة من قيم الإجهاد العمودي الفعال، لذلك

فإن انخفاض الضغط الطبقي بمقدار (6.8 ميغاباسكال) سبب تشوّه النسيج الصخري عند بعض الأعماق، في حين أن

انخفاض الضغط الطبقي بمقدار (10.3 ميغاباسكال) سبب تشوّهاً على نطاق واسع في سماكة المكمن النفطي، وذلك في

موقع البئر OMA172.

جدول 10: الفرق بين الإجهاد الحدي للانهيار، والإجهاد العمودي الفعال، OMA172

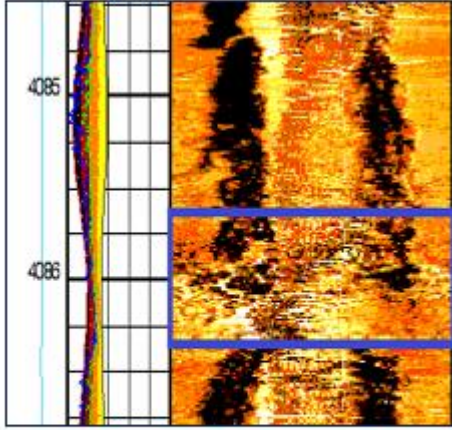
$\sigma_c - \sigma_{v4}$	$\sigma_c - \sigma_{v3}$	$\sigma_c - \sigma_{v2}$	$\sigma_c - \sigma_{v1}$	العمق المقاس
$\Delta P_F = 10.3$	$\Delta P_F = 6.8$	$\Delta P_F = 3.45$	MPA	M
-5.42	-1.97	1.47	4.27	4004.1
-5.21	-1.76	1.68	4.48	4004.3
-5.91	-2.46	0.98	3.78	4004.5
-7.71	-4.26	-0.82	1.97	4004.7
-8.77	-5.32	-1.88	0.92	4004.8
-9.18	-5.73	-2.29	0.51	4005.0
-8.42	-4.97	-1.53	1.27	4005.1
-7.37	-3.92	-0.48	2.32	4005.3
-5.96	-2.51	0.93	3.73	4005.5
-4.73	-1.28	2.16	4.96	4005.6

وللتأكد من دقة النتائج سنجري دراسة مقارنة بين العلاقة ($\sigma_c - \sigma_v$) في مراحل انخفاض الضغط الطبقي مع صورة الأمواج فوق الصوتية للبئر المفتوح (UBI) للبئر ذاته، وذلك للمقارنة بين نطاقات التشوه و النطاقات السليمة . ومن خلال نتائج الجدول (10) نلاحظ وجود تشوه عند العمق (4004.7)م، وذلك لأن الإجهاد العمودي الفعال أكبر من مقاومة الصخر للتشوه الحدي. بدأ التشوه عند انخفاض الضغط الطبقي بمقدار (3.4) MPA، بدراسة العمق السابق على صور الصخر (UBI) كما في الشكل (12) نلاحظ ذلك التشوه عند العمق المتوقع له. وبشكل مشابه عند العمق (4085) م تكون مقاومة الصخر للتشوه أقل من الإجهاد العمودي الفعال والذي يزداد مع انخفاض الضغط، الجدول (11) .

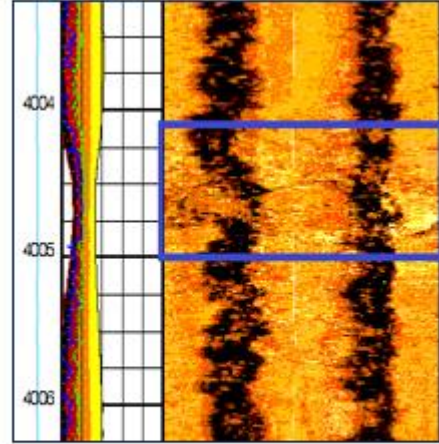
جدول 11: الفرق بين الإجهاد الحدي للانهيار، والإجهاد العمودي الفعال، وفقاً لنتائج البئر 172

$\sigma_c - \sigma_{v4}$	$\sigma_c - \sigma_{v3}$	$\sigma_c - \sigma_{v2}$	$\sigma_c - \sigma_{v1}$	العمق المقاس
$\Delta P_F = 10.3$	$\Delta P_F = 6.8$	$\Delta P_F = 3.45$	MPA	M
-0.45	3.00	6.44	9.19	4084.5
-0.84	2.61	6.05	8.80	4084.7
-4.77	-1.32	2.12	4.88	4084.9
-9.35	-5.90	-2.46	0.29	4085.0
-10.15	-6.70	-3.26	-0.51	4085.2
-7.76	-4.31	-0.87	1.89	4085.4
-6.39	-2.94	0.50	3.26	4085.5
-5.07	-1.62	1.82	4.57	4085.8

وبدراسة هذا العمق على صورة (UBI)، نلاحظ وجود ذلك التشوه الذي قد توقعنا حدوثه، كما في الشكلين (12) و(13). لقد أحصينا 15 مثلاً شبيهاً بالمثالين السابقين، وذلك على طول المجال المدروس، وجميعها أعطت نتائج متطابقة، تثبت إمكانية التنبؤ بعمق التشوه .



شكل 13: صورة لتسجيل الأمواج فوق الصوتية UBI في البئر OMA172 ويظهر عليها التشوه عند النطاق المدروس



شكل 12: صورة لتسجيل الأمواج فوق الصوتية UBI للبئر OMA172

نتائج البحث ومناقشتها

وفقاً لنتائج الدراسة، فنلاحظ أنه يحدث تشوه للنسيج الصخري بسبب إغلاق القناة الرابطة بين فراغين (pore throat radius) وذلك عند انخفاض الضغط الطبقي بشكل كبير (1500-1000) PSI ، وهذا يمنع المياه القادمة من النطاق المائي من الدخول إلى تلك الفراغات، لإزاحة النفط منها، ولذلك يبقى جزء كبير من الاحتياطي النفطي الأولي على شكل احتياطي متبقٍ، أما بالنسبة لعملية الحقن، فقد وصل ضغط المياه المحقونة في حقل العمر إلى (46 ميغاسكال، لعام 2010)، إذاً هو أكبر من ضغط إغلاق القنوات وفقاً لسمت الإجهاد الأفقي الأعظمي، ولذلك سيدفع النفط الموجود فيها، ولكنه أقل من ضغط إغلاق القنوات الواصلة بين المسامات وفقاً لسمت الإجهاد الأفقي الأصغري، وذلك يعني أنه لن يقوم بفتح تلك القنوات المغلقة، ولعل هذه الفكرة تعطي التفسير الدقيق لوصول المياه من آبار الحقن إلى آبار الإنتاج وفقاً لسمت الإجهاد الأفقي الأعظمي (كما ورد في بعض الأبحاث العلمية، فقد تم تفسير وصول المياه وفقاً لسمت الإجهاد الأفقي الأعظمي إلى عملية تشقيق ذاتي للمكمن بسبب حقن المياه [21] [22])، إذاً فالمياه المحقونة تمكنت من إبقاء القنوات الواصلة بين المسامات مفتوحة، وهذا سمح بدخول المياه وفقاً لسمت محدد (سمت الإجهاد الأفقي الأعظمي)، ما سبب

الوصول السريع لتلك المياه نحو أقرب بئر إنتاج واقع وفقاً لسمت الإجهاد الأفقي الأعظمي، لذلك يجب أن يتم توقيع آبار حقن المياه وفقاً لسمت الإجهاد الأفقي الأصغري بالنسبة لآبار الإنتاج النفطي .

وبالنسبة للمياه المحقونة، ولكي تتمكن من فتح القنوات المغلقة، سنعود إلى سبب عزل المسامات، وهو حدوث انزياح طفيف جداً للحبيبات المكونة للنسيج الصخري، حدث بسببها إغلاق القنوات الواصلة بين المسامات، و أدى إلى حجز كمية من النفط داخل كل مسام مغلق، وهذا سبب بقاء احتياطي نفطي غير قابل للإنتاج، وهنا - لكي تتمكن المياه المحقونة من فتح القناة الواصلة بين المسامات - فلن يحصل ذلك بضغط حقن ثابت، وإنما يمكننا مواجهة الإغلاق بفعل ميكانيكي؛ أي أن نستغل موضوع التشوه الذي حصل سابقاً، والذي يعني بأن النسيج الصخري قابل للتشوه، وهنا سنحدث تشوهاً من نوع آخر، لنسبب انزياحاً طفيفاً جداً، يسمح لضغط المياه المحقونة بأن يقوم بدوره في دفع المياه؛ للدخول إلى تلك المسامات وإخراج النفط منها وتحركه تدريجياً نحو الآبار، ويمكن أن نقترح طريقة حقن المياه على شكل نبضات (الطرق المستمر)، وستؤثر تلك النبضات - بشكل مستمر - في الحبيبات التي تغلق المسام، وإلى جانب ضغط الحقن فيمكن إحداث تشوه من نوع جديد، من خلاله يحدث انزياح طفيف جداً للحبيبات؛ ليتم فتح القناة الواصلة بين المسام، وفي هذه الحالة سيتم الاستفادة من الاحتياطي غير القابل للإنتاج، وتحريكه من جديد نحو آبار الإنتاج.

التوصيات والدراسات المستقبلية

- 1- دراسة امكانية استخدام طريقة حقن المياه على شكل نبضات لمعالجة مشكلة حبس النفط بعد حدوثها .
- 2- معدل الإنتاج النفطي اليومي من الآبار يجب أن يتوافق مع حسابات كمية المياه الداخلة من النطاق المائي إلى النطاق النفطي .
- 3- رفع حرارة المياه المحقونة لتصبح مساوية لحرارة المكن قبل عملية الحقن، وذلك لمنع التشوه الناتج عن تأثير الإجهاد الحراري في المكن.

معاني الرموز المستخدمة في البحث

Φ	المسامية
ΔV_p	انخفاض قيمة حجم الفراغ المسامي
$\Delta \Phi$	انخفاض قيم المسامية
Φ'	المسامية الحالية
Φ'_0	المسامية الأولية
c_p	معامل انضغاط الفراغ المسامي
ΔP	مقدار انخفاض الضغط الطبقي بسبب الإنتاج النفطي
σ_{eff}	الإجهاد الفعال الوسطي
σ'_v	الإجهاد العمودي الفعال
σ'_{hmin}	الإجهاد الأفقي الأصغري الفعال
σ'_{Hmax}	الإجهاد الأفقي الأعظمي الفعال
σ_c	الإجهاد الحدي للانتهيار

المصادر والمراجع

المصادر باللغة الأجنبية

1. Satter A, Iqbal GM, Buchwalter JL.(2008) Practical enhanced reservoir engineering. Tulsa, OK: Pennwell Books.
2. Mikael Höök¹ , Simon Davidsson¹ , Sheshti Johansson¹ (2013) Decline and depletion rates of oil production: a comprehensive investigation The Author(s) Published by the Royal Society.
3. Florida Department of Environmental Protection.(2012) Oil, gas and water production data compiled by field and region. Tallahassee, FL: Florida Department of Environmental Protection.
4. Peter Schutjens .(2012) On the pore volume compressibility and its application as a petrophysical parameter *, SHELL, and Wolfgang Heidug Shell Technology Center Bangalore, RMZ Centennial Campus B, #8B, Kundanahalli Main Road, Bangalore 560048, India.
5. Hadi belhaj ,(2007).Reservoir rock behavior pre and post pore collapse during production .internationat petroleum technology conference .
6. Hubbert and willis . (1956) mechanics of hydraulic fracturing . American institute of mining , metallurgical and engineers petroleum transaction

7. Voight . (1974) stress history and rock stress proc third intl. congress of the society of rock mechanics
8. Ruistune .teufel . (1996) inflence of reservoir stress on deformation and permeability of weakly cement sandstone reservoir spe
9. Schutjens .(2001)completion induced porosity /permeability reduction in sandstone reservoir . spe71337. Annual technical conference . loisiana
10. Lawrence .douglas . (1991) effect of reservoir depletion and pore pressure drawdown on in situ stress and deformation in ekofisk field Rock mechanical and multidisciplinary scince balkema rotterdam.
11. Hamilton .shafer . (1991) measurement of pore compressibility charachteristics in rock exhibiting pore collapse and volumetric creep .Sca conference paper number 9124.
12. Ferreira . (2002)an experimental study for mechanical formation and exhibition on formation damage control lafayette . spe international symponisum and exhibiton on formation damage control Lafayette .louisiana.
13. Tronvol . (2001)the tools of sand management . spe71673 new Orleans Louisiana
14. Mohammad esmaili (2017)., behrooz noruzi-masir , puyan bakhshiquantification of pore size distribution in reservoir rocks using mri logging;a case study of south pars gas fieldjalal neshat ghogh. applied radiation and isotopes
15. Ali elsaeenbaia illiya amalina binti ahmad ramdzani, (2014) poresizeand geometry of reservoir rocks used as key factor for drillingand completion fluid designof oil wells european scientific journal may
16. Western atlas international .(1997) core laboratories . special core anylysis for al-furat petroleum company-petrophysiac department.spe
17. Vahid a tashbdri . mark tingay . hosseinzareian .(2012) .compressibility method for pore pressure prediction , society of petroleum engineer.
18. Dariush javani. barnt adnoy. (2017) . failre criterion effect solid production predication and selection of completaion **solution** journal of rock mechanics and geotechnical
19. Jermy j meyer b.sc hors.(2002) . the determination and application of in situ stress in petroleum exploration and production, the university of adelaide
20. Gundewar .(2014) application of rock mechanics in surface and underground mining . controller genera l indian bureau of mines Arvaudetche copar .(2013) Borehole images for assessing present day stresses. Bull. Soc. géol. France, , t. 184, no4-5

21. Mohammadreza Zare Reisabadi and Seyyed Saeed Ghorashi*(2017) The Effect of Fault Plane on the Horizontal In Situ Stresses Orientation: a Case Study in one of Iranian Oilfield . Journal of Petroleum Science and Technology 7(1), 35-41 © Research Institute of Petroleum

الملاحق

1- استخدام النمذجة في إثبات حالة التشوه في القنوات الواصلة بين المسامات:

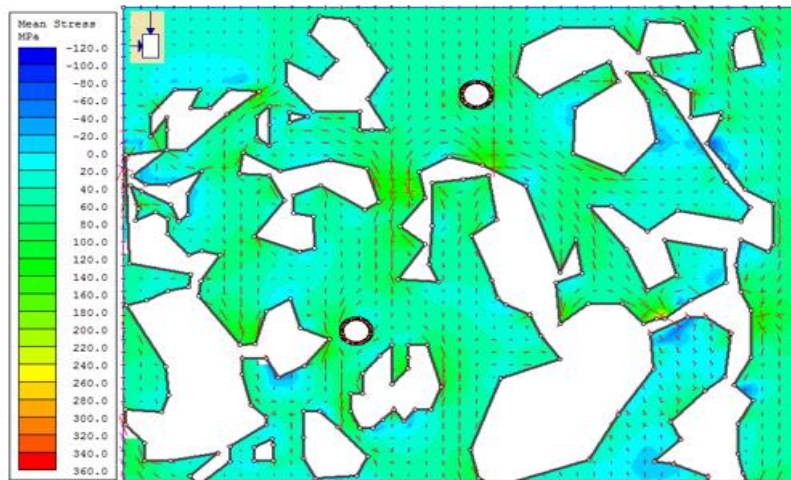
A- قمت بإنشاء نموذج في برنامج *Examine-2D* والذي يأخذ بعين الاعتبار الإجهاد الرئيس الأعظمي والأصغري (في هذه الدراسة هما الإجهاد العمودي والإجهاد الأفقي الأصغري) والضغط الطبقي، ومعامل يونغ السكوني، ومعامل بواسون، ومتانة الصخر، وزاوية الاحتكاك الداخلي، قمت بإدخال تلك المعطيات وفقاً للعمق (3849 م) ، وبيانات البئر .OMA172

جدول 1 المدخلات لبرنامج *Examine-2 D* لإنشاء النموذج

معامل بواسون	معامل الترابط	زاوية الاحتكاك الداخلي	الإجهاد الأفقي الأصغري الفعال	الإجهاد العمودي الفعال	العمق العمودي
---	MPA	درجة	MPA	MPA	M
0.18	13	36	31	65	3849

يلي ذلك تحديد خيار الإجهاد الرئيس والذي يحدد تركز الإجهاد مع قيمتها، كما حددنا خيار اتجاه خطوط الإجهاد،

وكانت النتيجة الشكل (1).



الشكل (1): اختلاف تأثير الإجهاد الرئيس بين جسم المسام والقناة الواصلة بين مسامين متجاورين.

نلاحظ أن قيم الإجهاد الرئيس المؤثر في القنوات الواصلة بين المسامات، أكبر من قيمة الإجهاد المؤثر في جسم المسام، وبلغ مقدار الفرق بينهما: الإجهاد الرئيس المؤثر في جدار المسام، والإجهاد المؤثر في القنوات الواصلة بين المسامات، 30 ميغا باسكال، وهذا التفاوت يزيد احتمال تطبق تلك القنوات، كما أن خطوط الإجهاد حول القنوات الواصلة بين المسامات، تميل للتجمع والتمركز، وتشير إلى احتمال كبير لحدوث التشوه.

Reasons why oil reserves remain unproductive-a case study

Mohamed AL-Saho

Department of Petroleum Engineering, College of Petrochemical Engineering, Al-Furat
University- Syria

Mohamed.saho1986@gmail.com

Al Furat Oil Company - Department of Petrophysics
info@alfuratuniv.edu.sy

Abstract

By studying the production plans of some wells of Al Furat Petroleum Company, the researcher noticed that the rate of production increases to reach a peak and then falls back sharply. The deformation of the area around the well due to the decrease in the formation pressure (after production for a certain period) may have caused a change in the storage properties (porosity, permeability) and thus lower production rate. However, from the point of view of the geomechanics of the oil formation, which includes the study of the stress situation and its effect on the rock tissue, we will notice the presence of additional reasons that have a role in preventing the flow of oil towards the wells as in the case of the delamination in which the pores of the rock tissue are exposed to reduced porosity and its accompanying significant decrease in permeability and so it may be a direct cause of the retention of oil in the pores, thereby reducing the final yield is a big factor. Through this research, the researcher will provide an explanation of the possible causes for the drop in the production significantly with a good oil reserve remaining in the reservoir through the geomechanics of the oil strata, in which we will explain the effect of the effective stress resulting from the decrease in stratigraphic pressure in closing the produced field around the walls of the well. The research is of great importance in explaining the survival of approximately 50% of the total reserves in the reservoir and opens the way towards finding appropriate solutions to prevent the process of oil sequestration in narrow pores

Keywords: reserves remain, geomechanics, porosity, geology stress.