استخدام المحاكاة في دراسة تشوه مواسير التغليف في الآبار النفطية

اعداد : أ.م.د نضال ابراهيم[1]

ملخص:

تعتبر الإجهادات الجيولوجية الرئيسية المؤثر الحقيقي على مجمل العمليات النفطية المنجزة بهدف استثمار الحقول النفطية (حفر، انتاج....). تعتبر مشكلة تشوه مواسير التغليف في الآبار النفطية من المشاكل الصعبة و من أهم أسبابها هو القيم الشاذة و المرتفعة للإجهادات الجيولوجية. إن دراسة هذه الظاهرة يعتبر من الأمور الصعبة نظراً لصعوبة تحديد تشوهات المواسير في ظل وجود مؤثرات أخرى كسائل الحفر و في الظروف البئرية.

قدمنا في هذا البحث محاولة لدراسة تشوه مواسير التغليف في الآبار النفطية مستعينين بعلم النمذجة و المحاكاة لما له من أهمية تجعلنا قادرين على التحليل و استنباط النتائج التابعة لفرضيات مختلفة تعطينا تصورا عما يحدث او من الممكن حدوثه. قمنا ببناء النموذج الهندسي(الجيومتري) 2D للظاهرة المدروسة معبر عنها بمقطع أفقي في مواسير التغليف في البئر النفطية، و بعد تحميل القوى و الاجهادات المؤثرة درسنا النتائج(التشوهات) لهذه المواسير.

الكلمات المفتاحية: تشوه، محاكاة، مواسير تغليف.

1- أستاذ مساعد في كلية الهندسة الكيميائية والبترولية – جامعة البعث

Use of simulation in the study of the deformation of casing in oil wells

Summary:

geological stresses are considered the main factor affecting the total field oil operations (exploration, drilling, production ...). The problem of deformations of casing in oil wells is one of the most difficult problems. The most important reasons are the abnormal and high values of geological stress. The study of this phenomenon is difficult because of the difficulty of identifying the deformation of casing in the presence of others effects such as drilling fluids and in the real conditions of the wells. In this paper, we tried to study the deformation of casing in the oil wells, using the modeling and simulation science because of its importance, which enables us to analyze and derive the results of different hypotheses, giving us a perception of what is happening or possible. We have built a 2D geometry of the studied phenomenon, expressed by a horizontal section of the casing in the oil well. After loading the forces and stresses, we studied the results of the deformation.

Keywords: deformation, simulation, casing

1- مقدمة :

يتم حفر الآبار النفطية على عدة مراحل(سطحية، وسطية، انتاجية)، تتميز هذه الطريقة بضرورتها و ذلك كي نتمكن من متابعة عملية الحفر وصولاً للطبقة الهدف.

تعتبر عملية تدعيم الآبار من العمليات الهامة جداً، و تتلخص بوضع مواسير تغليف داخل البئر و من ثم سمنتتها و بالتالي يتم عزل الصخور عن داخل البئر، و منعها من التهدم أو التشقق، و بالتالي توفير ثباتية جيدة للبئر تمكننا من متابعة الحفر و انجاز المرحلة اللاحقة.

تختلف مواسير التغليف في مواصفاتها الميكانيكية و يتم تصميمها لكل مرحلة من المراحل وفقاً للإجهادات التي تتعرض لها(شد، ضغط خارجي...). و لكن و بالرغم من ذلك تتعرض مواسير التغليف في المراحل الوسطية و الانتاجية لإجهادات إضافية (حتى بعد سمنتتها) ناتجة عن الإجهادات الجيولوجية.

كما نعلم تتشكل الإجهادات الجيولوجية من نشاط القشرة الأرضية و تتكون من ثلاث مركبات رئيسية و هي الإجهاد الشاقولي $\sigma_1 = \sigma_v = S_v$ و الناتج بشكل مباشر من وزن الطبقات الصخرية ويتأثر بالتضاريس الأرضية(جبال- وديان- بحار..)، و إجهادين أفقيين أحدهما يسمى الإجهاد الأفقي الأصغري $\sigma_3 = \sigma_{hmin} = S_{Hmin}$ و الثاني يسمى الإجهاد الأفقي الأعظمي $\sigma_2 = \sigma_{Hmax} = S_{Hmax}$ و ينتجان من حركة صفائح القشرة الأرضية و علاقتها المتبادلة فيما بينها. تتعامد هذه الإجهادات الثلاث فيما بينها و تشكل معاً ما يسمى تنسور الإجهادات الجيولوجية ، و هو تنسور رئيسي و يتميز هذا التنسور بقيمة و اتجاه خاص و يؤثر وفق مقياس إقليمي في اليابسة أو تحت البحار و المحيطات.

تمت سابقا [1] دراسة تأثير الاجهادات الجيولوجية على زحف الطبقات الصخرية، و تم التوصل لنتائج مهمة من حيث تشوه الطبقات الصخرية بقيم كبيرة، مما يؤدي إلى تضيق قطر البئر مقابل هذه الطبقات، وينتج عن ذلك صعوبة في إنزال أو رفع مجموعة مواسير

الحفر والذي يلاحظ من خلال زيادة الوزن على الخطاف أثناء الرفع وتناقصه عند الإنزال، و أيضاً صعوبة في عمليات التغليف، فقد يحصل استعصاء لمواسير التغليف أثناء الانزال، بل وتقويضها بعد عمليات التغليف.

سوف نستخدم علم المحاكاة لدراسة و توقع ماذا يحصل لمواسير التغليف عند تعرضها لهذه الاجهادات، و ما مقدار تشوهها الحاصل.

سنقوم باعتبار أن مواسير التغليف تتعرض بشكل مباشر لتأثير الاجهادات الجيولوجية (**لا يوجد حجر اسمنتي خلفها و لا يوجد سائل حفر أيضاً**)، نفترض هذه الفرضية لتقدير الاثر الأعظمي على المواسير(حالة فشل عملية السمنتة و عدم وجود حجر اسمنتي خلف التغليف) باعتبار أن وجود الحجر الاسمنتي أو سائل الحفر سوف يخفف من التشوهات الحاصلة.

2- هدف البحث:

يهدف البحث لدراسة تشوه مواسير التغليف(أنواع مختلفة) في الآبار النفطية و ذلك عند القيم الأعظمية لتنسور الإجهادات الجيولوجية (القيم التي أعطت تشوهات أعظمية للجدران [**1**])، و بالتالي معرفة ما يحدث لمواسير تغليف البئر النفطية.

3 - مواد و طرائق البحث:

استخدمنا في هذا البحث علم المحاكاة و ذلك من خلال تصميم و بناء حيز هندسي(جيومتري) ثنائي البعد لمواسير التغليف ثم تطبيق المؤثرات المختلفة(الإجهادات الجيولوجية الرئيسية و ضغط سائل الحفر) على هذا النموذج حيث استخدمنا نموذج مرن – لدن لمواسير التغليف يتمتع بلدونة تامة متوفر في بيئة النمذجة المستخدمة(ABAQUS).

حصلنا على المواصفات الميكانيكية لمواسير التغليف من الجداول القياسية لها(API) [2] [5].

4- أساسيات علم النمذجة[3]،[4] :

يعتبر النموذج أو الموديل هو أساس النمذجة و أخذت اسمها منه و يعبر النموذج عن عملية أو ظاهرة فيزيائية أو نظام ميكانيكي بشكل يسمح بالاستعاضة عن النظام الحقيقي أو الظاهرة الحقيقية. إن تطبيقات وفوائد النمذجة كثيرة نذكر منها:

- وصف الظواهر والأنظمة الحقيقية حيث يتم من خلال ذلك فهم كيفية حدوث الظواهر وبالتالي نصل إلى محاولة فهم الأشياء أو الظواهر التي ندرسها.
- التأكد من فرضية أو نظام محدد(ثباتية جدران البئر، زحف الطبقات)
- القدرة على التنبؤ بردة فعل النظام أو الظاهرة وذلك من خلال المعرفة الدقيقة للظاهرة.
- تحديد أبعاد و قيم مثالية و المساعدة في التصميم و البناء مثلاً(تصميم مجموعات مواسير الحفر بحيث نحافظ على المتانة خلال النظام الساكن و الديناميكي للعمل على الحفارة).

سوف نعتمد في هذا البحث على **النماذج الرياضية للتعبير عن الظاهرة الفيزيائية**، ومن أهم مزايا هذه النماذج بساطتها وإمكانية تطبيقها وإيجاد البارامترات (المجاهيل) لهذه الموديلات من خلال عدد قليل من التجارب، أخذين بعين الاعتبار وجود نماذج رياضية معقدة كي تعبر قدر الإمكان عن تعقيدات الظاهرة الفيزيائية.

وتجدر الإشارة إلى أنه يجب اختيار النموذج الرياضي بدقة وعناية لما له من أهمية في نوعية النتائج.

- إن **المبدأ العام لعملية المحاكاة** [3] [4] ممثل من خلال الشكل (1):

شكل(1) المبدأ العام لعملية المحاكاة

حيث نلاحظ أن النموذج يعبر عن الظاهرة من حيث ردة فعلها لتعطينا النتائج على شكل أثر ناتج عن المؤثرات المختلفة على الموديل أو الظاهرة. إن آلية حل النموذج الرياضي تحليلياً هي آلية معقدة جداً وخاصة في حال كون النموذج فراغي(**3D**)، لذلك يتم اللجوء إلى طرق حل رقمية وهذه الطرق تتمثل بقدرتها على معالجة المشكلة المطروحة رقمياً ، حيث يُصار إلى تجزئة المشكلة إلى مراحل رقمية يتم التعامل معها حيث تعطينا نتائج جزئية ومن خلال مراكمة هذه النتائج الجزئية والجمع بينها نحصل على نتيجة عامة أو رد فعل النموذج النهائي.

5- القسم العملي:

لقد استخدمنا بيئة للمحاكاة تسمى (ABAQUS) و تعتبر من البيئات الجيدة لإجراء عمليات النمذجة و المحاكاة. اعتبرنا أن لدينا بئراً نفطياً يتم الحفر عند العمق(2000 متر) و بقطر للدقاق 12.25 إنش .

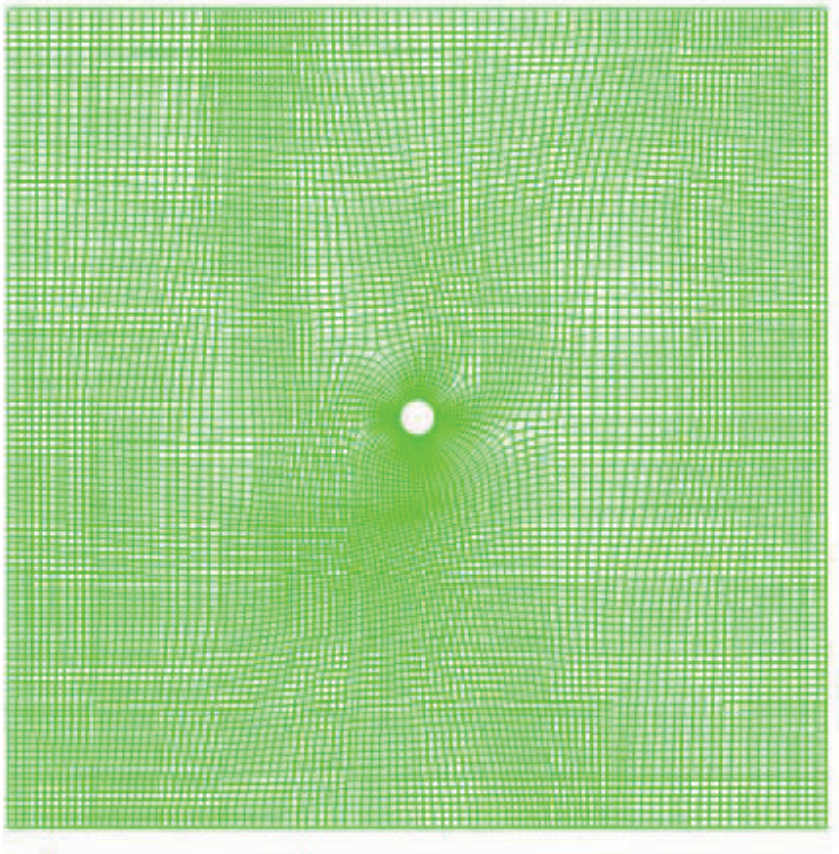
في **الخطوة الأولى** تم اختيار الحيز الهندسي (2D)، وهو عبارة عن مقطع أفقي في البئر و مواسير التغليف المستخدمة قطرها يساوي 244.5 مم وفق الجدول ملحق رقم 3 **د. طاهر نصور هندسة الحفر(2)**. [2] [5]

سنقوم لاحقاً بتغيير نوعية المواسير عند السماكات الأعظمية لكل نوع. يظهر الشكل(2) الشبكة الهيكلية (Mesh) للحيز الهندسي بشكل كامل، و الشكل(3) يظهر بشكل أكثر تفصيلاً مواسير التغليف و الشبكة الهيكلية لها.

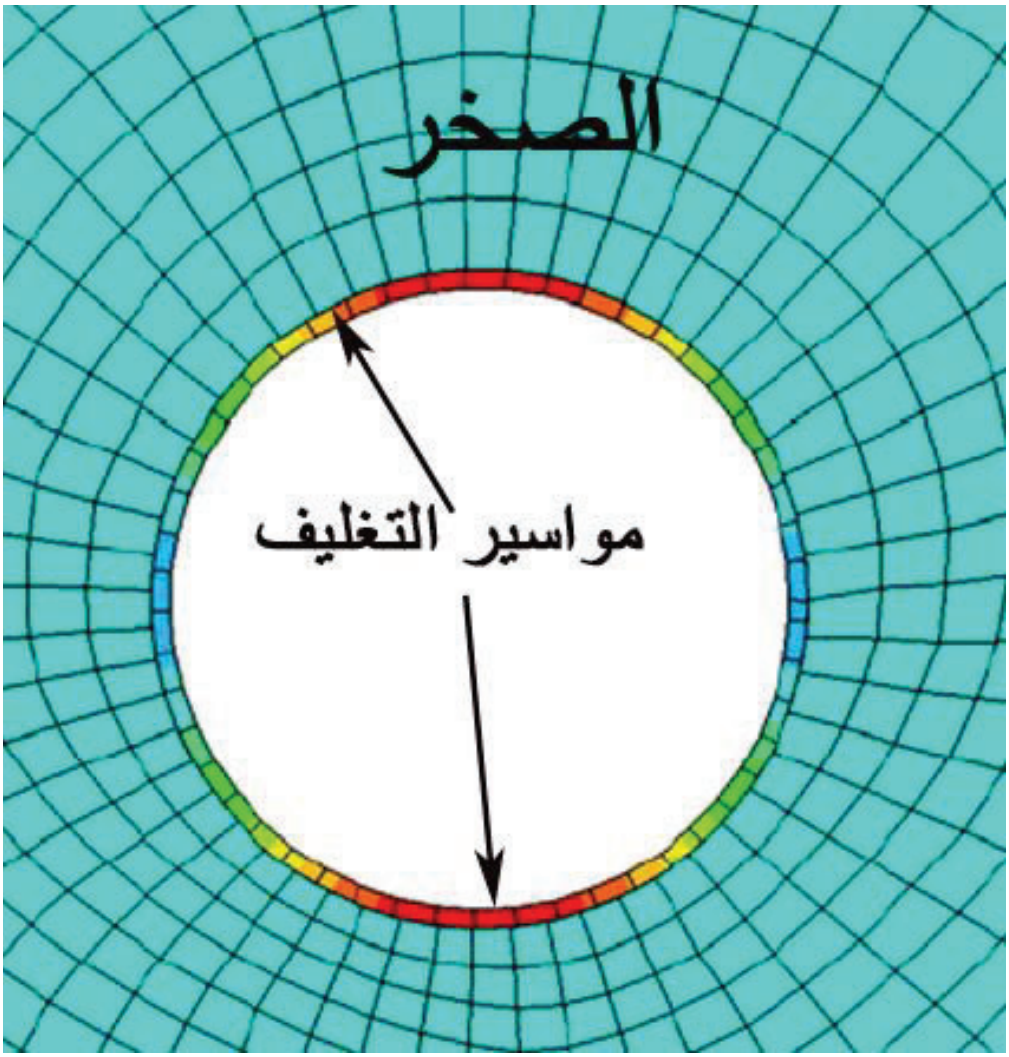
كي نستطيع دراسة فقط مواسير التغليف سوف نهمل وجود حجر اسمنتي أو سائل حفر في الفراغ الحلقي و نعتبر أن الصخور على تماس مباشر مع مواسير التغليف.

في **الخطوة الثانية** قمنا باختيار خواص المادة (Material) للصخر حيث اعتبرنا صخراً يخضع لحالة اللدونة التامة تحدث بعد المرحلة المرنة بقيمة حد للمرونة (حد الخضوع) يساوي 20 ميغاباسكال و معامل يونغ 9000 ميغا باسكال ومعامل بواسون(0.23). **[1]**

أما من أجل مواسير التغليف فرتبنا في الجدول (1) مواسير التغليف المستخدمة في عملية النمذجة (نوعها و سماكة الجدران) و مواصفاتها الميكانيكية اللازمة لعملية النمذجة.



شكل(2) يوضح الشبكة الهيكلية (Mesh) للحيز الهندسي المعتمد



الشكل(3) يظهر مواسير التغليف و الشبكة الهيكلية لها

الجدول(1) أنواع و مواصفات مواسير التغليف المستخدمة في عملية المحاكاة

إجهاد الخضوع	معامل بواسون	معامل يونغ	سماكة الجدار	نوع المواسير	القطر الخارجي

		مم	GPa		الأصغري MPa
9.625in =244.5mm	H-40	8.94	201	0.29	275
	J-55	10.03	204	0.29	380
	K-55	10.03	204	0.29	380
	C-75	13.84	208	0.28	517
	N-80	13.84	213	0.28	552
	P-110	13.84	220	0.28	758
	S-125	13.84	239	0.27	862

إن النموذج المستخدم ضمن البرنامج (ABAQUS) يحتاج لقيمة معامل يونغ و معامل بواسون إضافة لتحديد بداية المجال اللدن عن طريق إجهاد الخضوع.

يتم التعبير عن المرونة بقانون هوك و مرحلة اللدونة التامة تتطور فيها التشوهات دون أي تقسية موجبة أو سالبة(يمكن الرجوع للوثائق الخاصة ببرنامج المحاكاة لتفصيل أكثر أو الرجوع للنماذج إجهاد تشوه في المرجع رقم 3)

في **الخطوة الثالثة** طبقنا الشروط الحدية و المؤثرات على الحيز الهندسي الشكل(4) حيث :

1- **الضغط الناتج عن سائل الحفر** على عمق البئر(2000 متر) بفرض أن كثافة سائل الحفر هي :

$$\rho_{mud} = 1.25 \ g / cm^3$$

$$P_{mud} = 1.25 \times 10^3 \times 10 \times 2000 = 25 \ \ MPa$$

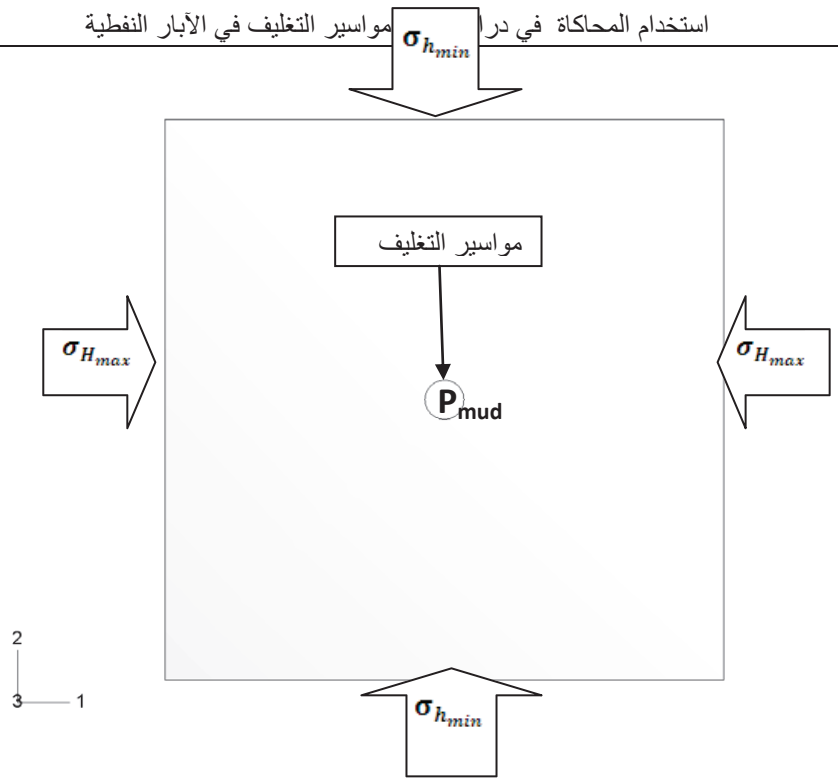
يتم تطبيق هذه القيمة داخل البئر لاحظ الشكل(4)

2- سوف نطبق الحالة الإجهادية الأعظمية[1]، و التي أعطت أكبر قيمة للتشوهات في الطبقات الصخرية.

رتبنا في الجدول(2) قيم الإجهادات الجيولوجية و ضغط سائل الحفر المستخدم في عملية النمذجة.

الجدول(2) قيم الإجهادات الجيولوجية و سائل الحفر المطبقة في عملية المحاكاة

P_{mud}(MPa)	σ_v(MPa)	$\sigma_{H_{max}}$(MPa)	$\sigma_{h_{min}}$(MPa)
25	**50**	**65**	**15**

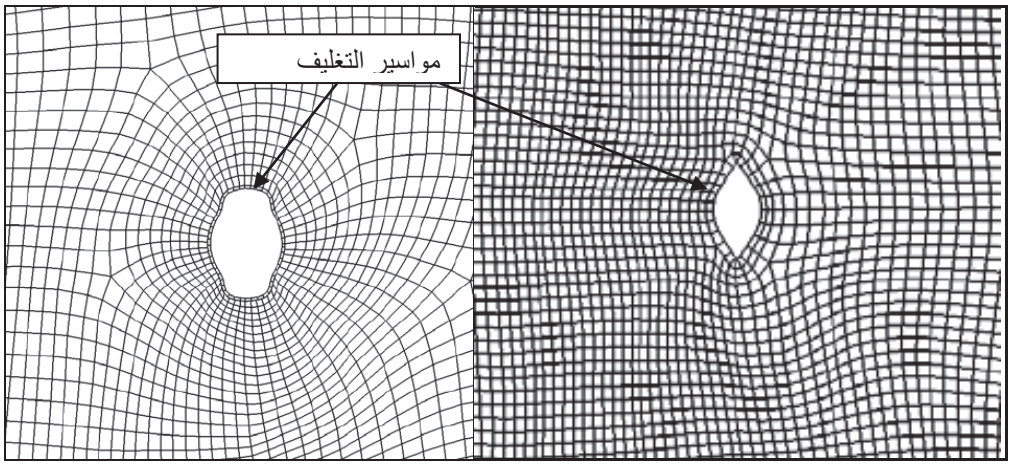


الشكل(4) تطبيق الشروط الحدية على الحيز الهندسي

في **الخطوة الرابعة** قمنا بتنفيذ عملية المحاكاة لكل نوع من أنواع المواسير ثم نظهر النتائج و نناقشها. نختار إظهار نوعين من النتائج:

1- شكل البئر بعد الخضوع للحالة الإجهادية:

نلاحظ أن البئر يأخذ شكلاً مفلطحاً قطره الكبير باتجاه الاجهاد الأفقي الأصغري حيث يظهر الشكل(5) تضيق البئر بدون مواسير تغليف و تضيق البئر بوجود مواسير تغليف. نلاحظ و بشكل واضح تأثير وجود مواسير التغليف، حيث تخفف مواسير التغليف من تشوه البئر و تغير قطره و أيضاً تؤثر على شكل هذا التغيير إذ تبقى في منتصف البئر فتحة شبه دائرية تسمح بمتابعة العمليات منها.



الشكل (5) يظهر شكل البئر نتيجة الحالة الإجهادية الجيولوجية عند الفرضية رقم 5.

2- استخراج قيم الانتقالات الناتجة وفق المحور 1 و 2 ، و بالتالي المعرفة الكمية لتضيق قطر البئر و تشوه مواسير التغليف، الجدول(3).

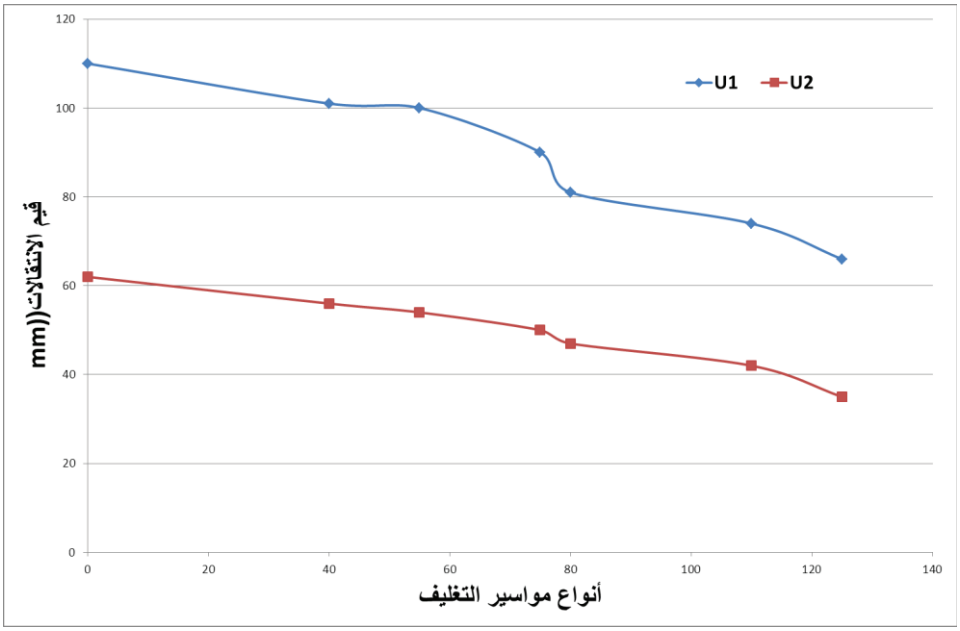
يوضح الجدول تغير قيم الانتقالات لجدران البئر عند غياب التغليف ثم و بوجود تغليف بأنواع مختلفة.

الجدول(3) قيم الانتقالات الناتجة عند أنواع مختلفة من التغليف

قيم الانتقالات	القطر الأساسي 244.5mm	بدون تغليف	H-40	K-55	C-75	N-80	P-110	S-125
U_1 (mm)	0	110	101	100	90	81	74	66
النسبة المئوية %	0	45	41.3	40.9	36.8	33.1	30.2	27
U_2 (mm)	0	62	56	54	50	47	42	35
النسبة المئوية%	0	25.3	23	22	20.4	19.2	17.1	14

يظهر الشكل (6) توضيحياً بيانياً للمعطيات في الجدول(3)، حيث نلاحظ أن مواسير التغليف تخفف بشكل كبير من تشوه البئر و يعتمد ذلك على نوع المواسير المستخدمة و مواصفاتها الميكانيكية.

تم التعبير عن نوع المواسير بالرقم الخاص فيها فمثلا المواسير ذات النوع H-40 تم التعبير عنها بالرقم 40 فقط، و عند عدم استخدام مواسير تغليف تم اعطاء قيمة الصفر لهذه الحالة.

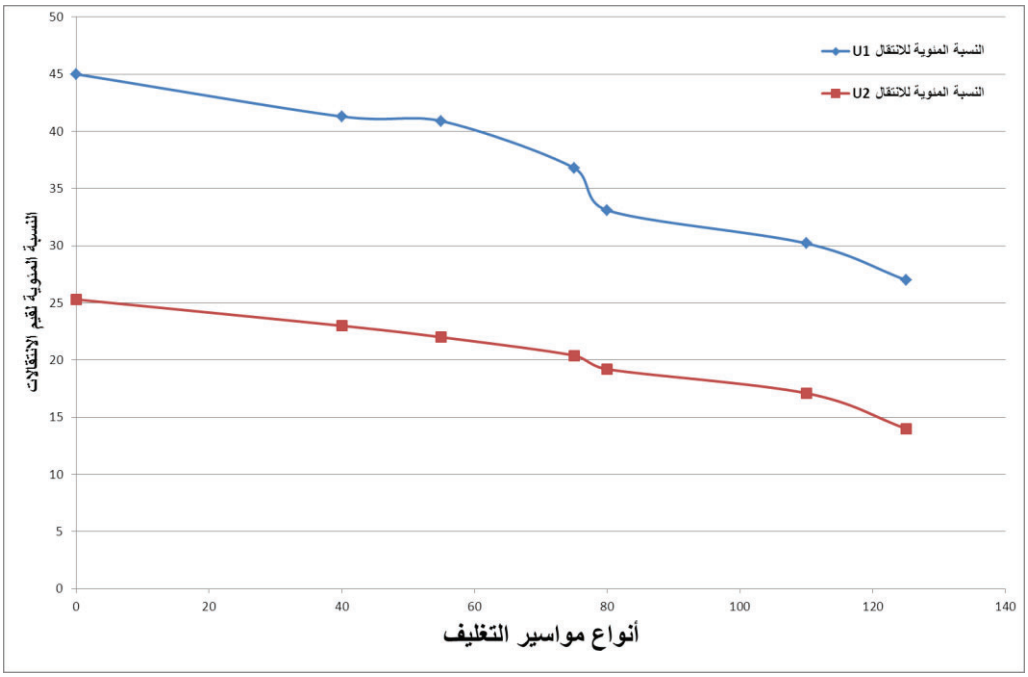


الشكل(6) يوضح تغير قيم الانتقالات مع تغير نوع مواسير التغليف

يوضح الشكل (6) كيفية تغير الانتقالات وفق المحورين 1 و 2 بالعلاقة مع تغير نوع المواسير، و نلاحظ أن الانتقالات وفق محور تأثير الإجهاد الأفقي الأعظمي(المحور 1) أكبر بشكل واضح من الانتقالات وفق المحور الثاني(المحور 2).

نلاحظ أيضاً انخفاض مقدار تضيق قطر البئر باستخدام مواسير تغليف ذات مواصفات ميكانيكية أفضل، و لكن بالرغم من ذلك نلاحظ أن قيمة التشوه ظلت قيمة معتبرة نظراً لاعتمادنا على قيم قصوى للحالة الإجهادية و التي تحاكي منطقة استثمار نفطية ذات فوالق عكسية ناتجة عن الاجهاد الأفقي الأعظمي.

للحصول على استنتاج أفضل لمقدار تشوه المواسير قمنا بحساب و تمثيل التغير النسبي الذي طرأ على قطر البئر على الشكل (7) و نلاحظ أنه و في **غياب مواسير التغليف** كانت قيمة التغير بحدود 45% وفق المحور 1 و بحدود 25 % بالنسبة للمحور 2 و تعتبر هذه القيم كبيرة جداً و كافية تماما لحصول استعصاء لتشكيلة الحفر أو المعدات في البئر.



الشكل(7) يوضح التغير النسبي لقطر البئر مع تغير نوع مواسير التغليف

أما عند استخدام مواسير تغليف بدأ تشوع القطر و تضيقه يقل وصولاً الى انخفاض النسبة عند استخدام مواسير تغليف نوع S-125 إلى 27 % من القطر الأساسي وفق المحور 1 و 14 % وفق المحور 2.

الاستنتاجات والتوصيات :

مما سبق يمكن أن نخلص إلى جملة من الاستنتاجات:

1- إن الإجهادات الجيولوجية الرئيسية تعتبر سبباً مهماً لظاهرة تضيق قطر البئر أثناء عملية الحفر.

2- إن استخدام مواسير تغليف ذو مواصفات ميكانيكية عالية يعتبر مهماً جداً في المناطق ذات الاجهادات الأفقية الكبيرة..

3- خففت مواسير التغليف من تضيق البئر و لكنها لم تقاومها بشكل نهائي(كانت النسبة بحدود 27 % عند استخدام النوع S-125).

4- يجب تخطيط عمليات التغليف للقطاعات التي عانت من زحف طبقي بشكل جيد و نوعية تغليف مقاومة للضغوط الى أقصى حد ممكن.

5- يوصى للباحثين بأخذ عامل الزمن بعين الاعتبار لمعرفة كيفية تغير التشوه لفترات زمنية طويلة.

المراجع:

1– د. نضال إبراهيم،2018، **استخدام المحاكاة في دراسة تأثير الاجهادات الجيولوجية على تشوه الطبقات الصخرية**. مجلة جامعة البعث. المجلد 41

2– د. طاهر نصور، **هندسة الحفر (2)** منشورات جامعة البعث–كلية الهندسة الكيميائية و البترولية.2009

3- Springman S-2009- **Modelling in geotechnics**. Institute of Geotechnical Engineering, 175p.

4-Schechter.R, 1992- **Oil well simulation** , University of Texas,312p.

5- جداول مواصفات مواسير التغليف وفق معيار (API).2009