Derna Academy Journal for Applied Sciences

E-ISSN: 3006-3159

DAJAS

سوائل الحفر وأثرها في كفاءة الحفر وسلامة البئر: تجربة تطبيقية في الحقول الليبية

محمد منصور الجهاني [1], مصطفى أحمد بن حكومة [*2], عدنان عمران أخليف [1]

[1] القسم الهندسة النفطية, أكاديمية بتروليبيا للتعليم العالي والتدريب، بنغازي، ليبيا

[2] مركز أبحاث التنمية المستدامة, زليتن, ليبيا

[3] أكاديمية بتروليبيا للتعليم العالي والتدريب. بنغازي، ليبيا

Drilling Fluids and Their Impact on Drilling Efficiency and Wellbore Integrity: An Applied Experience in Libyan Fields

Mohamed Mansour Aljehani [1], Mustafa Ahmed Ben Hkoma [2*], Adnan Omran Akhleef [3]

[1] Petroleum Engineering Department, PetroLibya Academy for Higher Education and Training, Benghazi, Libya

[2*] Sustainable Development Research Center, Zletun, Libya

[3] Petro Libya Academy for Higher Education and Training, Benghazi, Libya

*Corresponding author: E-mail address: m_hkoma2017@yahoo.com

Volume: 8 **Issue: 1** **Page Number: 54 - 60**

الملخص :

تتناول هذه الورقة دور سوائل الحفر في رفع كفاءة حفر الآبار النفطية وصون سلامتها في ظل الظروف الجيولوجية والتشغيلية التي تواجه الحقول الليبية. اعتمدت الدراسة منهجاً وصفياً تحليلياً جمع بين مراجعة منظمة للأدبيات المحكّمة الحديثة في الريولوجيا واستقرار البئر وفقد الدورة والإضافات المستحدثة، وبين قراءة تحليلية للخبرة التشغيلية للباحث التي تمتد عشرين عاماً في هندسة سوائل الحفر على الحفارات. وخلصت الورقة إلى أن عدم استقرار البئر في التكوينات الطينية ينشأ عن تفاعل ميكانيكي كيميائي لا يعالجه السائل وحده، بل يتطلب تصميمه في ضوء نموذج جيوميكانيكي للتكوين؛ وأن الخصائص الريولوجية للسائل تتغير بتغير الحرارة والضغط، فلا يكفي الاعتماد على القياسات السطحية؛ وأن اختيار نوع السائل مفاضلة بين الأداء والتكلفة والأثر البيئي. وتقدم الورقة إطاراً عملياً يربط المشكلات الشائعة بإجراءات سوائلية محددة، وتوصي ببناء نماذج جيوميكانيكية للآبار الجديدة، واختبار السوائل في ظروف القاع، وتوثيق بيانات الآبار المجاورة، وإجراء تجارب حقلية محدودة قبل تعميم الإضافات الحديثة.

الكلمات المفتاحية: سوائل الحفر؛ استقرار البئر؛ الريولوجيا؛ فقد الدورة؛ التكوينات الطينية؛ الحقول الليبية

Copyright: © 2026 by the authors. Licensee: The Derna Academy Journal for Applied Science (DAJAS). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) .

Received: 03\10\2026
Accepted: 09\10\2026
Published: 10\10\2026

https://doi.org/10.71147/9agz9n28

Aabstract
This paper examines the role of drilling fluids in improving drilling efficiency and preserving wellbore integrity under the geological and operational conditions of Libyan oil fields. It follows a descriptive-analytical approach that combines a structured review of recent peer-reviewed literature on rheology, wellbore stability, lost circulation, and emerging additives with an analytical reading of the author's twenty years of rig-site drilling fluids experience. The findings indicate that wellbore instability in shale formations results from coupled mechanical and chemical processes that a drilling fluid cannot resolve on its own; that fluid rheology changes with temperature and pressure, so surface measurements alone are insufficient; and that fluid selection is a trade-off between performance, cost, and environmental impact. The paper proposes a practical framework linking common drilling problems to specific fluid-related actions and recommends building geomechanical models for new wells, testing fluids under downhole conditions, documenting offset-well data, and running limited field trials before adopting new additives widely.

Keywords: Drilling Fluids; Wellbore Stability; Rheology; Lost Circulation; Shale formations; Libyan oil fields.

مقدمة:

تُعدّ سوائل الحفر من أهم عناصر منظومة حفر الآبار النفطية، فهي لا تقتصر على رفع القطع الصخرية إلى السطح وتبريد رأس الحفر وتزييته، بل تؤدي دوراً حاسماً في موازنة ضغط التكوين والحفاظ على سلامة جدار البئر .(Wakeel et al., 2025) ويؤدي أي خلل في خصائصها أو في اختيار نوعها إلى مشكلات تشغيلية مكلفة، مثل انهيار جدران البئر وانحشار السلسلة وفقد الدورة وتأخر الحفر. وتبقى عدم استقرار البئر في التكوينات الطينية من أكثر التحديات حضوراً في الميدان. فالطفل يشكّل، بحسب ما يورده Yan et al. (2013)، نحو خمسة وسبعين في المئة من التكوينات المحفورة، وتقع فيه الغالبية العظمى من مشكلات الاستقرار. وسبب ذلك التفاعل بين سائل الحفر والصخور الحساسة للماء، وما ينتج عنه من تشبّع وانتفاخ وضعف في تماسك الصخر ,.Zhang et al) .(2015ولهذا تطورت إضافات تثبيط الطفل وأنظمة السوائل المائية تطوراً كبيراً في السنوات الأخيرة(Li et al., 2025) ، كما برزت المواد النانوية بوصفها اتجاهاً واعداً لتحسين خصائص السوائل المائية وتعزيز استقرار البئر.(Abdullah et al., 2022) , وفي السياق الليبي، تتنوع الأحواض والتكوينات الجيولوجية، وتختلف معها ظروف الحفر وما تفرضه من متطلبات على تصميم السوائل وإدارتها، وتزداد الحاجة إلى توثيق التجارب التطبيقية المحلية. وتنطلق هذه الورقة من خبرة ميدانية تمتد عشرين عاماً في هندسة سوائل الحفر على الحفارات، وتهدف إلى تحليل أثر خصائص السوائل واختيارها في كفاءة الحفر وسلامة البئر، وإلى الخروج بتوصيات عملية تفيد المشغّلين والباحثين.

مشكلة البحث وأسئلته:

تتكرر في حفر الآبار مشكلات ترتبط بالسائل ارتباطاً مباشراً أو غير مباشر، وتبرز الحاجة إلى ربط تصميم السائل بفهم جيوميكانيكي للتكوين، وباختبارات تعكس الحرارة والضغط الفعليين في القاع، وبمعطيات الآبار المجاورة. وتسعى الورقة إلى الإجابة عن الأسئلة الآتية:

1 -كيف تؤثر خصائص سوائل الحفر ونوعها في استقرار البئر، ولا سيما في التكوينات الطينية؟
2 -ما أثر الحرارة والضغط في الخصائص الريولوجية للسائل وفي دقة حسابات الهيدروليكا؟
3 -كيف تتم المفاضلة بين الأنظمة المائية والزيتية من حيث الأداء والتكلفة والأثر البيئي؟
4 -ما الإجراءات السوائلية المناسبة للمشكلات التشغيلية الشائعة في الآبار الليبية؟

أهداف البحث وأهميته:

يهدف البحث إلى تلخيص ما استقرت عليه الأدبيات الحديثة في شأن العلاقة بين خصائص سوائل الحفر وكفاءة الحفر وسلامة البئر، وإلى توظيف هذه المعرفة في قراءة التجربة الميدانية الليبية، وصياغة إطار عملي يربط المشكلات بإجراءات سوائلية محددة، وتقديم توصيات قابلة للتطبيق. وتنبع أهميته من أن تكلفة الحفر وزمنه يتأثران مباشرة بمشكلات يمكن الحد منها بحسن تصميم السائل وإدارته، ومن قلة الدراسات التي تجمع بين الأدبيات المحكّمة والخبرة التشغيلية على الحفارات في السياق الليبي.

منهجية البحث:

اتبع البحث منهجاً وصفياً تحليلياً يقوم على مسارين متكاملين. المسار الأول مراجعة منظمة للأدبيات، اقتصرت على دراسات محكّمة منشورة في مجلات علمية ولها معرّفDOI ، وتتصل مباشرة بسوائل الحفر واستقرار البئر والريولوجيا وفقد الدورة والإضافات الحديثة، مع إدراج الدراسات التأسيسية القديمة نسبياً التي لا تزال مرجعاً في نمذجة التفاعل بين السائل والطفل. وبلغ عدد المراجع المعتمدة خمسة عشر مرجعاً، منها دراسة ميدانية وجيوميكانيكية على تكوين ليبي.

والمسار الثاني قراءة تحليلية للخبرة التشغيلية للباحث في هندسة سوائل الحفر. وتُعرض الملاحظات الميدانية في هذه الورقة بوصفها تحليلاً نوعياً لتجربة مهنية، لا بوصفها بيانات إحصائية مفصلة عن آبار بعينها، وقد جرى ربطها بما ورد في الأدبيات لتأكيدها أو تقييد تعميمها.

الإطار النظري:

وظائف سوائل الحفر:

يُناط بسائل الحفر التحكم في ضغط الحفرة ونقل القطع الصخرية وتزييت رأس الحفر والحفاظ على استقرار جدار البئر (Wakeel et al., 2025). وتتعارض هذه الوظائف أحياناً، فالكثافة اللازمة لموازنة ضغط التكوين قد تتجاوز ما يحتمله التكوين من ضغط قبل أن يتشقق، واللزوجة التي تحسّن حمل القطع قد ترفع الضغط الدوراني في القاع. ومن هنا كان تصميم السائل عملية موازنة مستمرة لا إعداداً لمرة واحدة.

أنظمة السوائل: المائية والزيتية:

تُستخدم الأنظمة المائية على نطاق واسع بسبب انخفاض كلفتها وسهولة التعامل معها، وتعتمد في التكوينات الطينية على مثبطات كيميائية تحدّ من ترطيب الطفل وانتفاخه (Li et al., 2025). أما الأنظمة الزيتية فتتميز بفاعليتها في الحفاظ على استقرار البئر والتزييت، وتناسب الآبار الطويلة المنحرفة، لكنها مرتفعة الكلفة ومحدودة التوافق مع الاعتبارات البيئية (Belayneh & Aadnøy, 2022). وقد قارنت دراسة Belayneh و Aadnøy بين نظامين زيتيين بنسبتين مختلفتين للزيت إلى الماء، فوجدتا أن النظامين يثبطان انتفاخ الطفل بالقدر نفسه، وأن النسبة الأقل للزيت أفضل في ترسب الباريت وفقد الترشيح وأداء السدّ.

الخصائص الريولوجية والحرارة والضغط:

تتأثر الخصائص الريولوجية للسائل بالحرارة والضغط تأثراً معقداً، وتبيّن المراجعة الشاملة لـ Agwu et al. (2021) أن العلاقة بين الريولوجيا والحرارة والضغط في الآبار شديدة الحرارة والضغط لا تزال معقدة، وأن في الوقت ذاته إضافات ثابتة حرارياً وريولوجياً يمكن توظيفها. وتتناول مراجعة Gautam et al. (2022) العلاقة بين تركيب إضافات السوائل وأدائها في هذه الظروف. وتشير دراسة Ye et al. (2023) إلى أن الريولوجيا المقاسة عند ظروف السطح وحدها لا تمثل حال السائل في البئر تمثيلاً صحيحاً، وأن ذلك ينعكس على دقة حسابات الهيدروليكا، إذ بلغ خطأ تقدير الكثافة الدورانية المكافئة في بئر الدراسة نحو 0.02 غ/سم^3 بطريقتهم مقابل 0.06 غ/سم^3 بالطريقة التقليدية. كما قارنت دراسة Anawe و Folayan (2018) دقة نماذج ريولوجية متعددة عند الحرارة المحيطة وعند درجات مرتفعة، وهو ما يؤكد أن اختيار النموذج جزء من المشكلة وليس تفصيلاً حسابياً. وفي الاتجاه نفسه، بيّنت قياسات Ofei et al. (2023) على سائل زيتي أن اللزوجة عند معدل قص نموذجي تزداد نحو ثلاثة أضعاف بوجود الباريت مع ارتفاع الحرارة والضغط، وأن أثر الحرارة يغلب على أثر الضغط عند معدلات القص العالية.

استقرار البئر في التكوينات الطينية:

ينتج عدم استقرار البئر عن عوامل ميكانيكية وكيميائية معاً، ويتولد الترطيب في الطفل بتأثير الخصائص الكيميائية للسائل (Yan et al., 2013). وتستعرض مراجعة Zhang et al. (2015) نظريات الاقتران الميكانيكي الكيميائي، وتخلص إلى أن نشاط الماء وكفاءة الغشاء ومحتوى الطين ونوع السائل عوامل مؤثرة، وأن التفاعل بين السائل والطفل قد يكون العامل الحاسم. وقد بيّن Chen et al. (2003) أن الضغوط الأسموزية تنشأ داخل الطفل عند تعرضه لسوائل مختلفة، وأن الانتشار الحراري إلى الطفل أسرع من الانتشار الهيدروليكي، فيهيمن على تغيرات ضغط المسام في الأزمنة المبكرة. وأظهرت نمذجة Shokir et al. (2024) أن الأثر الحراري هو الأوضح بسبب ارتفاع الانتشارية الحرارية للطفل، وأن رفع ملوحة الطين يقلص منطقة الانهيار المتوقعة ويحسّن الاستقرار، بينما يؤدي انخفاض الملوحة إلى العكس. وتنبغي الإشارة إلى أن هذه نتائج نمذجة عددية، وليست قياسات حقلية.

فقد الدورة وترسب الباريت:

يُعد فقد الدورة وترسب الباريت من أكثر المشكلات المرتبطة بالسائل إزعاجاً، وقد يفضي ترسب الباريت إلى تدفق غازي غير مرغوب (Ofei et al., 2023). وتبيّن دراسة Ofei et al. أن العينات تحت الضغط العالي أقل ميلاً إلى الترسب، بينما تعزز الحرارة المرتفعة الترسب تعزيزاً ملحوظاً، وهو ما يفسر ظهور المشكلة في الآبار الحارة. أما مواد سدّ الفاقد فتؤثر فعاليتها بنوع السائل الحامل وتركيبه؛ إذ تحسّن أداء إحدى المواد حين خُلطت مع الميكا في السوائل الزيتية المختبَرة.(Belayneh & Aadnøy, 2022)

المواد الحديثة: النانوية والبوليمرية:

تستعرض مراجعة Abdullah et al. (2022) أثر الجسيمات النانوية في السوائل المائية واستقرار البئر في الطفل، بينما تلخص مراجعة Wakeel et al. (2025) ما حققته المركبات النانوية البوليمرية من تحسّن في الخصائص الريولوجية وانخفاض في فقد الترشيح وكبح لانتفاخ الطفل، مع التنبيه إلى أن البوليمرات الطبيعية تتحلل حرارياً عند درجات تبلغ نحو 150 درجة مئوية أو أعلى. وهذه الحدود الحرارية تستوجب اختبار أي مادة محلياً قبل اعتمادها.

تكامل السائل مع تقنيات الحفر:

تُظهر دراسة Ashena et al. (2020) على حقل في الشرق الأوسط أن مشكلات الاستقرار في تكوين معقد أدت إلى فقد حاد للطين وتدفقات وانحشار، وأن الجزء الجيوميكانيكي من التأخير يمثل نحو ثلاثين في المئة من متوسط سبعة وسبعين يوم حفر لكل بئر. واقترح الباحثون تقنيات مثل الحفر بالتغليف ونظام الدورة المستمرة بوصفها وسيلة لتقليص هذا التأخير. وتفيد هذه النتيجة بأن السائل المصمَّم جيداً لا يغني عن تقنيات الحفر المناسبة، وأن الأمرين يُعالجان معاً.

السياق الليبي: حالة تكوين وان كاسا في حوض غدامس:

تضم ليبيا عدة أحواض رسوبية كبرى، منها سرت ومرزق وغدامس والكفرة، وتتباين فيها الخصائص الصخرية وظروف الضغط والحرارة. وتقدم دراسة Amir et al. (2026) حالة موثقة في حوض غدامس، إذ تناولت خزان وان كاسا الرملي الطيني الذي يطرح تحديات للحفر بسبب عدم استقرار البئر. واعتمدت الدراسة على بيانات بئرين، وأنشأت نماذج أرض ميكانيكية أحادية البعد لتقييم استقرار التكوين وتحديد نافذة مثلى لوزن الطين.

وأظهرت النتائج أن تكوين وان كاسا يتسم باستقرار ميكانيكي منخفض بسبب ارتفاع محتواه الطيني وطبيعته اللدنة، وأوصت الدراسة بنطاق لوزن الطين يتراوح بين 11.2 و14.5 رطلاً للغالون لتفادي الانهيار القصي وضمان سلامة البئر. وتبيّن أن المنظومة الديفونية تخضع لنظام إجهاد من نوع الفالق الاعتيادي، مع اتجاه للإجهاد الأفقي الأقصى من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي. ووصفت الدراسة نفسها بأنها أول تقييم جيوميكانيكي متكامل لهذا الخزان. وتبرز دلالة هذه الحالة في أنها تربط بين تحديد وزن الطين وبين فهم الإجهادات والخصائص الميكانيكية، وهو ما يتسق مع ما ورد في الأدبيات عن حدود دور السائل وحده.

التحليل والمناقشة:

يتبين من تقاطع الأدبيات مع الخبرة الميدانية أن مشكلات الحفر المرتبطة بالسوائل لا تُحل بإجراء واحد، وإنما بسلسلة قرارات مترابطة تبدأ بفهم التكوين وتنتهي بالمراقبة اليومية للسائل على الحفارة. وتؤكد الخبرة التشغيلية أن متابعة خصائص السائل بانتظام، وتحليل القطع الصخرية الصاعدة، والتنسيق بين مهندس السوائل ومهندس الحفر والجيولوجي، من أكثر ما يحدّ من تفاقم المشكلات في بدايتها. ويلخص جدول (1) إطاراً عملياً يربط المشكلات الشائعة بالإجراءات السوائلية المناسبة والمصادر التي تدعمها .

جدول (1): إطار يربط المشكلات التشغيلية بالإجراءات السوائلية

المشكلة التشغيلية وآليتها	الإجراء المتعلق بالسائل	المصادر
عدم استقرار جدار البئر في الطفل (تشبّع وانتفاخ وضعف في التماسك)	اعتماد سائل مثبّط للطفل وضبط الملوحة ونشاط الماء، وتحديد الكثافة ضمن نافذة وزن الطين المحسوبة جيوميكانيكياً	(Li et al., 2025; Shokir et al., 2024; Zhang et al., 2015)
تغيّر الخصائص الريولوجية في الآبار العميقة والحارة	اختبار السائل تحت الحرارة والضغط الفعليين، واختيار إضافات ثابتة حرارياً	(Agwu et al., 2021; Gautam et al., 2022; Ye et al., 2023)
ترسّب الباريت	ضبط صيغة السائل ومراقبة كثافته عند الحرارة العالية، مع الانتباه إلى أثر الباريت في اللزوجة	(Ofei et al., 2023; Belayneh & Aadnøy, 2022)
فقد الدورة	اختيار مواد سدّ الفاقد بما يتوافق مع نوع السائل وتدرّج أحجام الجسيمات	(Belayneh & Aadnøy, 2022)
الخطأ في اختيار النموذج الريولوجي لحسابات الهيدروليكا	مقارنة عدة نماذج بالقياسات المخبرية قبل اعتماد أحدها في الحسابات	(Anawe & Folayan, 2018; Ye et al., 2023)
تعقّد التكوينات وتأخر الحفر لأسباب جيوميكانيكية	دمج تقنيات الحفر الحديثة مع تصميم السائل بدل معالجة كل منهما بمعزل عن الآخر	(Ashena et al., 2020)
الحاجة إلى تحسين الترشيح وتثبيط الطفل	اختبار المواد النانوية والبوليمرية مخبرياً ثم في تجارب حقلية محدودة قبل التعميم	(Abdullah et al., 2022; Wakeel et al., 2025)

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على الدراسات المحكّمة المدرجة في قائمة المراجع

ويلاحَظ من الجدول أن عدداً من الإجراءات يستند إلى اختبارات تحت ظروف القاع لا إلى القياسات السطحية وحدها، وهو ما تدعمه نتائج Ye et al. (2023) و Ofei et al. (2023). ويلاحَظ كذلك أن المفاضلة بين النظام المائي والزيتي لا تُحسم بالأداء الفني وحده، فالكلفة والاعتبارات البيئية جزء أصيل من القرار (Belayneh & Aadnøy, 2022). أما الإضافات الحديثة، فتبدو واعدة بحسب المراجعات(Abdullah et al., 2022; Wakeel et al., 2025) ، غير أن حدودها الحرارية وتفاوت أدائها بين التكوينات يوجبان التدرج في اعتمادها.

النتائج:

1 -استقرار البئر في الطفل نتاج اقتران ميكانيكي كيميائي، ولذا لا يكفي السائل المثبط وحده، بل ينبغي تحديد وزن الطين في ضوء نموذج جيوميكانيكي للتكوين.(Amir et al., 2026; Zhang et al., 2015)

2 -تتغير الخصائص الريولوجية للسائل مع الحرارة والضغط، والقياسات السطحية قد تضلل حسابات الهيدروليكا (Ye et al., 2023; Agwu et al., 2021).

3 -اختيار نوع السائل مفاضلة بين الأداء الفني والكلفة والأثر البيئي، ولكل نظام مجال استخدام أنسب (Belayneh & Aadnøy, 2022; Li et al., 2025).

4 -ترسب الباريت أكثر ارتباطاً بالحرارة المرتفعة منه بالضغط، ويتطلب مراقبة خاصة في الآبار الحارة.(Ofei et al., 2023)

5 -تحتاج الإضافات النانوية والبوليمرية إلى تقييم محلي قبل التعميم بسبب حدودها الحرارية وتفاوت أدائها (Abdullah et al., 2022; Wakeel et al., 2025).

6 -يزداد أثر السائل حين يُدمج مع تقنيات الحفر الحديثة في التكوينات المعقدة.(Ashena et al., 2020)

التوصيات:

1 -بناء نموذج أرض ميكانيكي أحادي البعد على الأقل لكل بئر استكشافي أو تطويري جديد قبل اعتماد برنامج السائل، والاستفادة من تجربة وان كاسا في هذا الشأن.

2 -اختبار السوائل مخبرياً تحت درجات الحرارة والضغط المتوقعة في القاع، ومقارنة أكثر من نموذج ريولوجي قبل اعتماد حسابات الهيدروليكا.

3 -اختيار نظام السائل في التكوينات الطينية بالموازنة بين التثبيط الكيميائي والكلفة والاعتبارات البيئية، وضبط الملوحة ونشاط الماء ضمن البرنامج.

4 -مراقبة ترسب الباريت بصفة خاصة في الآبار الحارة، وتصميم مواد سدّ الفاقد بما يتوافق مع نوع السائل.

5 -إجراء تجارب حقلية محدودة ومراقَبة للمواد النانوية والبوليمرية قبل تعميم استخدامها.

6 -توثيق بيانات الآبار المجاورة وتبادلها بين الجهات المشغلة والأكاديمية، وإنشاء قاعدة بيانات محلية لمشكلات الحفر وأنظمة السوائل المستخدمة.

7 -دعم المختبرات الجامعية والتشغيلية في اختبار السوائل، وبناء قدرات المهندسين الليبيين في الجيوميكانيكا وإدارة السوائل.

حدود البحث والدراسات المستقبلية:

تقتصر الورقة على مراجعة مصادر محكّمة مختارة وعلى قراءة نوعية للخبرة المهنية، ولا تقدم بيانات كمية مفصلة عن آبار ليبية محددة سوى ما ورد في دراسة Amir et al. (2026). كما أن بعض النتائج المستشهد بها مصدرها نمذجة عددية أو قياسات مخبرية، لا يصح تعميمها مباشرة على كل الحقول. ويُقترح في الدراسات المقبلة جمع بيانات حقلية كمية من حقول ليبية في أحواض مختلفة، ومقارنة أداء أنظمة سوائل متعددة في تكوينات متماثلة، وتقييم الجدوى الاقتصادية والبيئية للأنظمة البديلة، واختبار الإضافات الحديثة ضمن الظروف الليبية.

الخاتمة:

خلصت الورقة إلى أن سلامة البئر وكفاءة الحفر تعتمدان على تصميم السائل في ضوء فهم التكوين، وعلى اختباره في ظروف تشبه ظروف القاع، وعلى إدارته إدارة يومية منضبطة على الحفارة. ولا يمكن لأي إضافة أو نظام أن يعوّض غياب نموذج جيوميكانيكي أو ضعف المتابعة الميدانية. وتبقى حالة وان كاسا في حوض غدامس مثالاً على قيمة ربط وزن الطين بالتحليل الجيوميكانيكي. وتأمل الورقة أن تسهم في تشجيع توثيق التجارب التطبيقية الليبية ومشاركتها بين الأكاديميين والمشغّلين.

قائمة المراجع:

Abdullah, A. H., Ridha, S., Mohshim, D. F., Yusuf, M., Kamyab, H., Krishna, S., & Maoinser, M. A. (2022). A comprehensive review of nanoparticles: Effect on water-based drilling fluids and wellbore stability. *Chemosphere, 308*, Article 136274. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136274

Agwu, O. E., Akpabio, J. U., Ekpenyong, M. E., Inyang, U. G., Asuquo, D. E., Eyoh, I. J., & Adeoye, O. S. (2021). A comprehensive review of laboratory, field and modelling studies on drilling mud rheology in high-temperature, high-pressure (HTHP) conditions. *Journal of Natural Gas Science and Engineering, 94*, Article 104046. https://doi.org/10.1016/j.jngse.2021.104046

Amir, H. S., Omar, A. E., Abdel-Fattah, M. I., Amir, M. A., Al-Hashim, M. H., Bendawi, A. S., & Reda, M. (2026). Towards successful drilling operations through geomechanical modelling and wellbore stability analysis: A case study on the Ouan Kasa reservoir in the Ghadames Basin, Libya. *Petroleum Geoscience, 32*(1), Article petgeo2024-069. https://doi.org/10.1144/petgeo2024-069

Anawe, P. A. L., & Folayan, J. A. (2018). Data analyses on temperature-dependent behaviour of water based drilling fluid rheological models. *Data in Brief, 21*, 289–298. https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.09.100

Ashena, R., Elmgerbi, A., Rasouli, V., Ghalambor, A., Rabiei, M., & Bahrami, A. (2020). Severe wellbore instability in a complex lithology formation necessitating casing while drilling and continuous circulation system. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 10*, 1511–1532. https://doi.org/10.1007/s13202-020-00834-3

Belayneh, M., & Aadnøy, B. (2022). Bridging performances of lost circulation materials (LC-LUBE and mica) and their blending in 80/20 and 60/40 oil-based drilling fluids. *Frontiers in Physics, 10*, Article 1042242. https://doi.org/10.3389/fphy.2022.1042242

Chen, G., Chenevert, M. E., Sharma, M. M., & Yu, M. (2003). A study of wellbore stability in shales including poroelastic, chemical, and thermal effects. *Journal of Petroleum Science and Engineering, 38*(3–4), 167–176. https://doi.org/10.1016/S0920-4105(03)00030-5

Gautam, S., Guria, C., & Rajak, V. K. (2022). A state of the art review on the performance of high-pressure and high-temperature drilling fluids: Towards understanding the structure-property relationship of drilling fluid additives. *Journal of Petroleum Science and Engineering, 213*, Article 110318. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.110318

Li, Q., Zhu, D.-Y., Zhuang, G.-Z., & Li, X.-L. (2025). Advanced development of chemical inhibitors in water-based drilling fluids to improve shale stability: A review. *Petroleum Science, 22*(5), 1977–1996. https://doi.org/10.1016/j.petsci.2025.03.012

Ofei, T. N., Ngouamba, E., Opedal, N. v. d. T., Lund, B., & Saasen, A. (2023). Rheology assessment and barite sag in a typical North Sea oil-based drilling fluid at HPHT conditions. *Korea-Australia Rheology Journal, 35*, 81–94. https://doi.org/10.1007/s13367-023-00055-0

Shokir, E. M., Sallam, S., & Abdelhafiz, M. M. (2024). Comprehensive wellbore stability modeling by integrating poroelastic, thermal, and chemical effects with advanced numerical techniques. *ACS Omega, 9*(52), 51536–51553. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c09013

Wakeel, S., Aslam, A., & Zhang, J. (2025). Advances in polymer nanocomposites for drilling fluids: A review. *Materials, 18*(20), Article 4809. https://doi.org/10.3390/ma18204809

Yan, C., Deng, J., & Yu, B. (2013). Wellbore stability in oil and gas drilling with chemical-mechanical coupling. *The Scientific World Journal, 2013*, Article 720271. https://doi.org/10.1155/2013/720271

Ye, Y., Fan, H., & Liu, Y. (2023). A new approach for predicting the rheological properties of oil-based drilling fluids under high temperature and high pressure based on a parameter-free method. *Applied Sciences, 13*(15), Article 8592. https://doi.org/10.3390/app13158592

Zhang, Q., Jia, W., Fan, X., Liang, Y., & Yang, Y. (2015). A review of the shale wellbore stability mechanism based on mechanical–chemical coupling theories. *Petroleum, 1*(2), 91–96. https://doi.org/10.1016/j.petlm.2015.06.005