دراسة مخبرية لخواص و سلوك الصخور الغضارية أثناء عملية حفر الآبار النفطية و الغازية

د. م. مصطفى المصري
جامعة البعث – كلية الهندسة الكيميائية و البترولية – قسم الهندسة البترولية

ملخص:

يدخل الغضار في كثير من الصناعات كمادة أولية مثل صناعة الإسمنت، البورسلان، السيراميك، القرميد، الاواني الفخارية، المنظفات الكيميائية. أما في هندسة حفر الآبار النفطية و الغازية فيعطى أهمية خاصة كونه يعتبر مادة أولية رئيسية في تحضير سائل الحفر، و بالتالي يعتبر عنصراً هاماً جداً في هندسة حفر الآبار. كما تصادف الطبقات الغضارية بكثرة أثناء حفر الآبار، و تكون سبباً لكثير من المشاكل والصعوبات التي تحدث أثناء إنجاز البئر.

لذلك يعتبر الإلمام بالغضاريات و أنواعها و خواصها و درجة تأثرها بالماء من الضروريات التي يجب أن يلم بها مهندس الحفر كي يتمكن من التعامل معها بشكل صحيح سواء أثناء الحفر أو أثناء إضافتها الى السائل.

من هذا المنطلق نركز في هذا البحث على الخواص الانتفاخية للغضار المتعلقة بسعة التبادل الشاردي و كمية (محتوى) الغضار الفعال، لمعرفة سلوكه و كيفية ضبط خواصه لدى إضافته لسائل الحفر أو خلال اختراق طبقات غضارية (في بعض الحقول السورية) خلال عمليات حفر الآبار النفطية والغازية.

كلمات مفتاحية: غضار، انتفاخ، تبادل شاردي، سائل الحفر، حفر الآبار.

Experimental study of clay properties and behavior during oil and gas wells drilling

Summary

We use the clay in many industrial applications as raw material, cement, porcelain, ceramic, brick, chemical. In oil and gas well drilling, we use clay as main material in MUD. The clay formations can be penetrated usually during well drilling, these formations cause enormous problems.

For these reasons, drilling engineer must know the clay properties, its types and the effect of water on the clay behavior, to use correctly this rock during drilling processes.

In this research, we focus on the swelling properties of clay, the cation exchange capacity and the efficacy content of clay in mud, to deal ideally the drilling problems attached to clay formations in Syrian oil and gas fields.

Key Words: Clay, Swelling, Cation Exchange, Mud, Well drilling.

دراسة مخبرية لخواص و سلوك الصخور الغضارية أثناء عملية حفر الآبار النفطية و الغازية

مقدمة:

أثناء جريان سائل الحفر على قاع البئر و في الفراغ الحلقي خارج مجموعة مواسير الحفر، فان هذا السائل يتلامس مع الصخور المكونة لجدران البئر، و لفترة كافية لحدوث أشكال مختلفة من التأثير المتبادل بينهما، يدوم طيلة فترة الحفر و يمكن أن يستمر حتى بعد تدعيم البئر و وضعه بالاستثمار.

التشكيلات الجيولوجية المخترقة تتأثر بسائل الحفر المستخدم أو راشحه، سيما إن لم يكن اختيار نوع سائل الحفر مناسبا لنوعية الصخر، و قد ينجم عن ذلك بعض الآثار السلبية على ثبوتية و استقرار جدران البئر (تهدم، ذوبان الملح، انتفاخ الغضار)، و ما قد ينتج عنها من مشاكل كالتهدم و الاستعصاء، و التي تنعكس عمليات حلها على زمن و كلفة حفر البئر.

نواتج حفر التشكيلات الجيولوجية تؤثر بشدة على معظم خواص سائل الحفر، سيما التداخلات الصخرية غير المتوافقة مع نوع سائل الحفر المستخدم لحفر المجالات الأساسية، و ينجم عن ذلك حدوث خلل في وظيفة أو أكثر من وظائف سائل الحفر، و بالتالي استهلاك كميات كبيرة من الإضافات الكيميائية لإصلاح هذه الخواص لتجنب المشاكل التي يمكن أن تنجم عن ذلك (تهريب، اندفاع، استعصاء).

و مما يميز هذه العلاقة المتبادلة بين سائل الحفر و جدران البئر أنها عمليات تحدث بشكل متزامن و تختلط مؤشراتها فيما بينها و بين مؤشرات بعض الظواهر الفيزيوكيميائية التي يمكن أن تحدث أيضاً. إن أي تغير يطرأ على مكونات سائل الحفر أثناء دورته في البئر، يمكن

معرفته من خلال رصد تغير خواص سائل الحفر. و يختلف تأثير نواتج حفر التشكيلات الجيولوجية حسب نوع الصخور التي يجري اختراقها، و نوع سائل الحفر المستخدم.

يتميز البنتونيت بتطبيقاته الصناعية المختلفة و الهامة، و أهم هذه التطبيقات هي استخدامه في تحضير سوائل حفر الآبار النفطية والغازية (لتمتعه بالخواص الغروية). من جهة أخرى فان الخواص الانتفاخية للغضار البنتونيتي تشكل ظاهرة سلبية خلال عمليات الحفر. كما تشكل الصخور الغضارية نسبة كبيرة من العمود الليتولوجي المخترق أثناء الحفر، فالتأثير المتبادل بين هذه الصخور و سائل الحفر يؤدي إلى تغير خواص سائل الحفر من جهة والخلل بثبوتية جدران البئر من جهة ثانية (بسبب الظواهر الانتفاخية).

الهدف من البحث:

اجراء دراسة مخبرية لتقييم الخواص الانتفاخية للغضار البنتونيتي المستخدم في تحضير سائل الحفر، و دراسة هذه الخواص لبعض التشكيلات الغضارية المخترقة ضمن العمود الليتولوجي لبعض الحقول السورية.

1. الغضاريات و خواص جملة ماء – غضار:

يعتبر الغضار مادة اولية رئيسية في تحضير سائل الحفر، و نصادف الطبقات الغضارية بكثرة اثناء حفر الآبار و التي تسبب الكثير من المشاكل التي تحدث اثناء انجاز البئر مثل:

- تلويث سائل الحفر المحضر على السطح باستعمال غضار ذو مواصفات خاصة.
- تناقص ثبوتية جدران البئر مقابل الطبقات الغضارية عند تلامسها مع الماء.

فلذلك من الضروري معرفة التركيب الكيميائي و المنرالوجي للغضار و خواصه و سلوكه لدى تماسه مع السائل، كي نتمكن من التعامل معها بشكل صحيح اثناء الحفر.

1.1. التركيب الكيميائي و المنرالوجي للغضار:

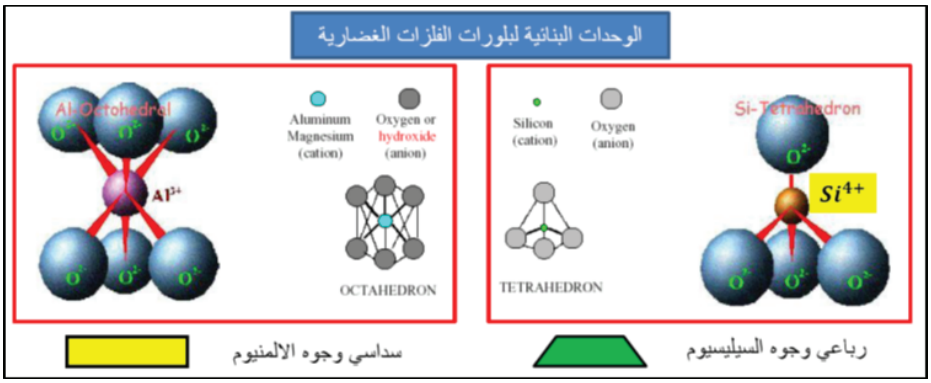
من وجهة نظر جيولوجية الغضار عبارة عن صخر رسوبي ناتج عن حت بعض الصخور و الذي تحلل بفعل الشروط السطحية. مثال نموذجي لتشكل الغضار الطبيعي

هو تحلل معدن الفلدسبار(Feldspar) بفعل الماء و ثاني اكسيد الكربون في الطبيعة وفق التفاعل التالي[1] :

$$2\,K.Al\,.Si_3O_8 + 2\,H_2O + \,CO_2 \rightarrow \,Al_2O_3\,.2\,SiO_2\,.2\,H_2O + K_2CO_3 + 4\,SiO_2$$

كربونات البوتاسيوم تنحل في الماء اما اكسيد السيليسيوم فيشكل الرمل. الناتج الأول من التفاعل يسمى الكاولينيت و هو أحد أنواع الغضار المنتشر في الطبيعة بكثرة.

تتشكل انواع مختلفة من الغضاريات ، تبعاً لنوع الصخور المتفككة و الشروط التي تصادف اثناء الترسيب. الخواص الفيزيائية و الميكانيكية للغضاريات و كيفية تصرفها عند تلامسها مع الماء لا يعتمد على تركيبها الكيميائي و المنرالوجي فقط بل على النظام الذي تتوضع فيه اكاسيد السيليسيوم و الألمنيوم في شبكة بلورات الغضار. ذرة السيليسيوم توجد داخل مجموعة مكونة من أربع ذرات أكسجين، و تشكل رباعياً منتظماً و ذا ثبوتية كبيرة. أما ذرة الألمنيوم فإنها تقع داخل مجموعة مكونة من ستة ذرات أكسجين أو ماءات، مركز هذه الذرات يقع في رأس ثماني الوجوه و الذي يتصف بأنه ذو ثبوتية أقل بكثير من ثبوتية رباعي وجوه السيليسيوم و الأكسجين. من وجهة نظر مهندس الحفر يمكن تصنيف الغضار الى المجموعات الرئيسية التالية: الكاولينيت، البنتونيت، الايليت، الاتابولغيت. نستعرض تركيب و خواص مجموعة البنتونيت كونه الغضار المضاف لسائل الحفر.

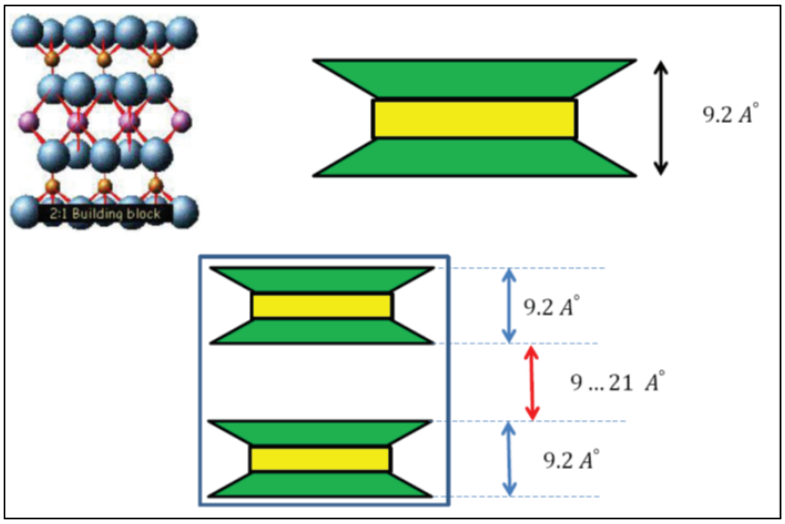


شكل (1): الوحدات البنائية لبلورات الفلزات الغضارية.

2.1. مجموعة البنتونيت:

تحوي هذه المجموعة كمعدن رئيسي المونتموريللنيت، بنية المونتموريللنيت و تركيبه الكيميائي و المنرالوجي يتميز بالخاصيتين التاليتين:

- صفيحة الغضار تتكون من طبقتين من رباعي وجوه السيليسيوم و الأكسجين و فيما بينهما طبقة من سداسي وجوه الألمنيوم و الأكسجين و الماءات (سماكة الصفيحة بحدود 9.2 أنغستروم). و بما أن وجهي الصفيحة مكونان من الأكسجين فان قوة الترابط ما بين الصفائح هي أقل بكثير من ترابط صفائح الكاولينيت و ينتج عن ذلك أن الماء يدخل بسهولة ما بين الصفائح مغيراً من المسافة بينها و التي تتراوح بين (9–21) أنغستروم.
- أثناء ترسب الغضار فان قسماً من ذرات الألمنيوم (تكافؤ ثلاثي) في سداسي وجوه الألمنيوم استبدلت بذرات ثنائية التكافؤ (مغنيزيوم) و لذلك تبقى صفائح الغضار مشحونة شحنة سالبة و يتم معادلتها بالشوارد الموجودة في المحلول (كالسيوم– صوديوم).



شكل (2): بنية المونتموريلونيت (البنتونيت).

يتمتع المونتموريللنيت (حسب بنيته و تركيبه الكيميائي و المنرالوجي) بالخصائص التالية:

1. التجاذب ما بين الصفائح هو ضعيف و ينتج عن ذلك أن حبيبات الغضار تتبعثر بسهولة في الماء.

2. المياه و المحاليل الكهرليتية تدخل بسهولة ما بين الصفائح، مسببة تباعدها و زيادة حجمها (خاصية الانتفاخ). و بالتالي فقدان الرابطة فيما بينها(التبعثر). هذه الخاصية تجعل من البنتونيت مادة أولية في تحضير سائل الحفر. لكن من جانب آخر تسبب إضعاف ثبوتية جدران البئر مقابل الطبقات من هذا النوع من الغضار و إضعاف نفوذية المكامن النفطية التي تحوي حبيبات غضارية من هذا النوع ضمن مساماتها.
3. درجة الحلمهة و بالتالي الانتفاخ لغضاريات البنتونيت تعتمد بشكل رئيسي على طبيعة الشوارد المدمصة على سطوح الصفائح (شوارد القاعدة المتغيرة).
4. تبعثر الغضار البنتونيتي بأبعاد دقيقة يؤدي الى التقليل من فاقد الرشح لسببين هما:
   - التقليل من الماء الحر بتثبيت كميات كبيرة منه على سطح الحبيبات.
   - التقليل من نفوذية القشرة الطينية المتوضعة على جدران البئر و ذلك من خلال دخولها ما بين الحبيبات الصلبة الحيادية الكون الرئيسي لهذه القشرة.

2. خواص الغضار البنتونيتي عند اضافته الى الماء:

من أجل تحضير سائل الحفر و معالجته بشكل صحيح فانه من الأهمية الإلمام بخواص الغضار البنتونيتي عند إضافته إلى الماء. من هذه الخواص:

1.2. خاصية الحلمهة و التشرد و تشكيل وحدات غروية:

الغضار البنتونيتي يحوي على سطوح شبكته البلورية بعض العناصر التي تؤمن تعادل شحنة الشبكة و هذه العناصر تتميز بضعف ارتباطها مع الشبكة و تعطي للغضار الاسم الذي يعرف به (بنتونيت صودي، بنتونيت كلسي) [7] .

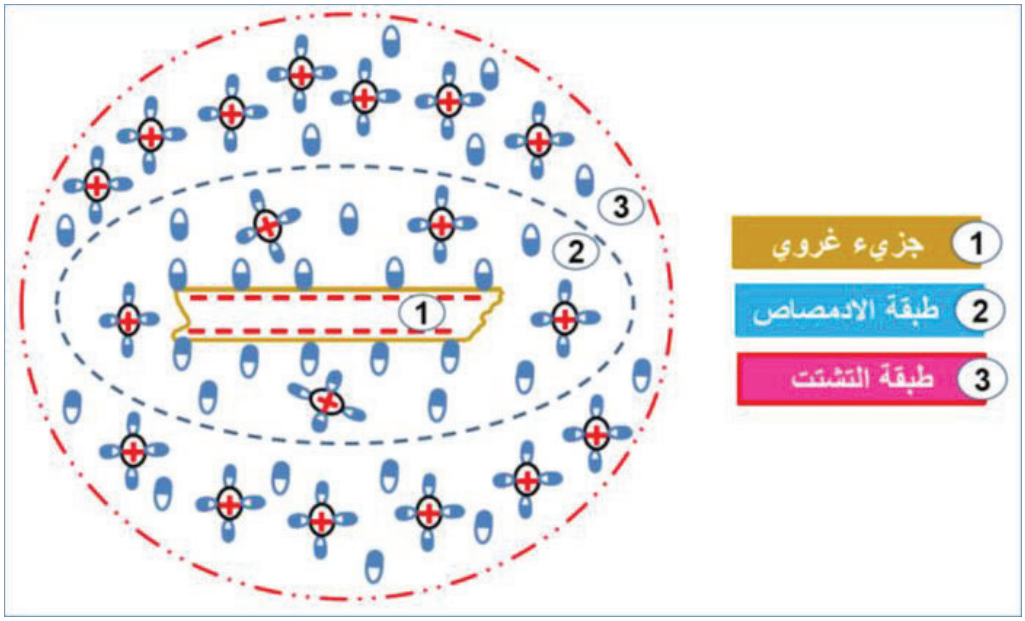
عند إضافة الغضار إلى الماء فان الجزيئات الموجبة تتحرر و تنطلق إلى الماء و نتيجة لذلك فان سطح بلورات الغضار البنتونيتي يشحن بشحنة سالبة أي تتحول الى شاردة سالبة وفق التفاعل التالي: $(Na\,Bent \rightarrow Na^{+} + (Bent)^{-})$. حيث تتعرض الجزيئات الموجبة التي تنحل في الماء (اضافة الى قوة التباعد الناتجة عن التشرد) الى قوة جاذبة

لإعادتها الى سطح حبيبة البنتونيت، و نتيجة هاتين القوتين (التشرد و التجاذب) فان الجزيئات الموجبة تأخذ وضعية ثابتة نسبياً (متعادلة) ضمن السائل و تشكل طبقة محيطة بحبيبة البنتونيت. تشرد حبيبات البنتونيت يسمح لجزيئات الماء القطبية بأن تلتصق على سطوحها مؤمنة بذلك خاصية الحلمهة.

نتيجة التشرد فانه على سطوح الفصل (صلب – سائل) يتشكل طبقتان كهربائيتان احداهما سالبة (سطح الحبيبة) و الاخرى موجبة (الجزيئات الموجبة المنحلة بالماء المحيطة بالحبيبة). حبيبة الغضار السالبة و التي تسمى بالجزيء الغروي تشكل مع الشوارد المضادة و المحيطة بها و مع الماء المدمص وحدة متعادلة كهربائياً.

الهالة الكهربائية الموجبة المحيطة بحبيبة الغضار السالبة تتألف من طبقتين هما:

- طبقة إدمصاص ثابتة و التي تحوي جزءاً من الشوارد المعاكسة التي يدفع في المحلول.
- طبقة التشتت التي تحوي باقي الشوارد المعاكسة.



شكل(3): بنية وحدة غروية بنتونيتية.

الوحدة الغروية البنتونيتية تتكون من:

- جزيء غروي (حبيبات البنتونيت السالبة).
- الجزيء الغروي مع طبقة الادمصاص يشكلان ما يسمى بالحبيبة.
- الحبيبة الغروية مع طبقة التشرد (التشتت) تشكل الوحدة الغروية البنتونيتية.

تشكل الوحدة الغروية نتيجة التشرد و الحلمهة لحبيبات الغضار البنتونيتي يعتبر هاماً من أجل تحضير سائل الحفر و تامين ثبوتية السائل الغروي (غضار + ماء).

ثبوتية السوائل الغروية تعتمد بشكل كبير على حجم الوحدات الغروية المتشكلة و على درجة حلمهة الحبيبات البنتونيتية. فكلما كان حجم الوحدات الغروية أكبر و كانت درجة الحلمهة أكبر كان السائل أكثر ثبوتية، إلا أن درجة الحلمهة للبنتونيت تعتمد بشكل أساسي على طبيعة الغضار نفسه و بشكل دقيق على طبيعة الجزيئات التي تشكل الاساس المتبدل للغضار، (البنتونيت الصودي أكثر حلمهة من البنتونيت الكلسي) و هذا يفسر حقيقة أن الغضار الصودي يتمتع بمردود مرتفع جداً قياساً مع البنتونيت الكلسي.

من المعايير الهامة في تقويم درجة الحلمهة لمختلف انواع الغضار: الكمون الكهروحركي أو كمون زيتا (ζ) و الذي يعرف بانه الفرق ما بين الكمون الكهربائي لطبقة الادمصاص الثابتة و كمون طبقة التشتت[2] .

2.2. خاصية تغيير القاعدة (التبادل الشاردي):

مجموعة الغضار البنتونيتي تختلف فيما بينها خصوصاً بقدرتها على تشكيل سوائل غروية ثابتة. و هذا الفرق ينتج عن طبيعة الجزيئات المدمصة على سطوح الشبكة البلورية.

اذا اضيفت ايونات موجبة (Cation) مختلفة عن طبيعة الايونات في محلول غروي لنوع معين من الغضار البنتونيتي فإنها يمكن ان تحل (كلياً او جزئياً) مكان الايونات الموجبة في الغضار و هذا يؤدي الى تغيير ليس فقط في تركيب الغضار بل و خواصه كالتشرد و

الحلمهة و قيمة كمون زيتا. و إذا أضيف ملح كلسي ذواب في الماء الى محلول غروي مكون من الماء مضاف اليه بنتونيت صودي، فان خاصية تغيير القاعدة تتم وفق التفاعل التالي[4] :

$$2\,Na\,Bent + Ca^{++} \rightarrow Ca\,(Bent)_2 + 2\,Na^{+}$$

أي ان الغضار البنتونيتي الصودي ذو الخواص الممتازة يتحول الى بنتونيت كلسي بخواص غروية ضعيفة (ثبوتية ضعيفة و مردود قليل).

بالاعتماد على التأثير الكتلي ايضاً، فمثلاً إذا زيد تركيز شوارد الصوديوم إلى حد معين في محلول غروي لبنتونيت كلسي فان تفاعل تغيير القاعدة السابقة يمكن ان يأخذ اتجاهاً معاكساً أي تحويل البنتونيت الكلسي سيء المواصفات الغروية الى بنتونيت ذو مواصفات غروية جيدة. وفق التفاعل التالي:

$$Ca\,(Bent)_2 + 2\,Na^{+} \rightarrow 2\,Na\,Bent + Ca^{++}$$

هذا التفاعل يستخدم في الحياة العملية و ذلك بتنشيط الغضار الطبيعي مستخدمين أملاح الصوديوم المنحلة مثل كبريتات أو كربونات الصوديوم، و كي يستمر التفاعل فانه يجب تثبيت شوارد الكلس في ملح غير قابل للانحلال. و هذا هو الهدف من إستخدام كربونات الصوديوم لأنها ترسب شوارد الكلس بشكل كربونات كالسيوم:

$$Ca\,(Bent)_2 + Na_2CO_3 \rightarrow 2\,Na\,Bent + Ca\,CO_3$$

3.2. خاصية اندماج الوحدات الغروية البنتونيتية:

عند إضافة ملح قابل للانحلال في الماء الى محلول غروي بنتونيتي يلاحظ تغير سريع و كبير لخواص المحلول (لزوجة، فاقد رشح). و يفسر ذلك بتغير تركيز المحاليل الكهرليتية و تأثير ذلك على الطبقة الكهربائية المضاعفة للوحدات الغروية البنتونيتية[3] .

لوحظ انه مع ازدياد تركيز هذه المحاليل الكهرليتية، فان جزءاً من الايونات المعاكسة في طبقة التشتت ينتقل الى طبقة الادمصاص و هذا يؤدي الى تناقص سماكة الوسط المتشرد و المحيط بالحبيبة الغضارية و يضعف كمون زيتا. و بالتالي تتناقص قوى التباعد ما بين الحبيبات الغضارية و تتحد فيما بينها و تترسب. فقدان ثبوتية السوائل الغروية بتأثير المحاليل الكهرليتية يطلق عليه اسم الاندماج الكهرليتي.

4.2. خاصية تخثر المحاليل الغروية البنتونيتية:

عند ترك السائل الغروي البنتونيتي في حالة سكون فان حبيبات البنتونيت تتجه للاقتراب من بعضها ثم الاتحاد فيما بينها من خلال الاطراف مشكلة بنية مغلقة تحصر في داخلها الماء الحر. نتيجة لذلك فان السائل الغروي يتحول الى مركب نصف صلب بخواص تركيبية و ميكانيكية هامة و الذي لا تنفصل فيه مكوناته بعضها عن بعض كما يحصل اثناء الاندماج.

هذه الخاصية لبعض السوائل الغروية و منها السائل ذو الاساس البنتونيتي تسمى خاصية التهلم او التخثر و التي تقيم بالمقاومة الميكانيكية التي يبديها السائل المتروك في حالة ساكنة لفترة معينة. عند خلط السائل فان بنيته المتخثرة تختفي و يعود لحالته الأولية كسائل غروي.

3. التأثير المتبادل بين سائل الحفر و تشكيلات جدران البئر الغضارية:

سائل الحفر هو المائع الذي يساعد في حفر الآبار، و يعتبر الماء من أقدم سوائل الحفر المعروفة، و لا يزال يستخدم حتى يومنا هذا كمكون أساسي لمعظم أنواع سوائل الحفر. يصل عمق الآبار التي تحفر بطريقة الحفر الدوراني إلى عدة آلاف من الأمتار ضمن التشكيلات الصخرية المكونة للقشرة الأرضية. و قد رافق تطور تقنيات الحفر الدوراني ظهور طريقة تدوير سائل الحفر في حفرة البئر، والتي بدورها ساهمت في اكتشاف انواع جديدة من سوائل الحفر. سائل الحفر العادي (Drilling Mud) يحضر من الماء و الغضار (البنتونيت)، في خزانات خاصة على السطح و يضخ في البئر، و من ثم تضاف

إليه أثناء الحفر ما يلزم من مواد كيماوية و غيرها لضبط خواصه، بحيث يلبي جميع المتطلبات و الوظائف المرجوة منه.

1.3. الغضار البنتونيتي في سائل الحفر:

اشتق اسمه من أول موقع تجاري للغضار في الولايات المتحدة الامريكية و هو قلعة بنتون (Benton). تتميز مجموعة الغضار البنتونيتي بخاصية التشرد و التبعثر في الماء و التبادل الشاردي. يعتبر البنتونيت مادة أولية أساسية في تحضير سائل الحفر ذي الاساس المائي العذب، عند إضافة البنتونيت إلى الماء يحقق الاهداف التالية:

1. زيادة قدرته على حمل و رفع نواتج الحفر الى السطح من خلال زيادة اللزوجة.
2. تقليل فاقد الرشح من خلال التقليل من الماء الحر.
3. رفع الوزن النوعي و التقليل من دخول السوائل الطبقية الى البئر.
4. المحافظة على نواتج الحفر عالقة به لدى التوقف عن الحركة اعتماداً على خاصية التهلم (التخثر) التي يكسبها له.
5. تلييس جدران البئر من خلال تشكيل ملاط اسمنتي ما بين الحبيبات التي تتوضع على الجدران. و بذلك يزيد من ثبوتية الطبقات ضعيفة التماسك.

2.3. تأثير الغضار على خواص سائل الحفر:

إن تأثير الغضار على خواص سائل الحفر مرتبط بنوع الغضار الذي يجري حفره و نوع سائل الحفر المستخدم. و هكذا فان دخول الغضار إلى سائل الحفر العادي يؤدي إلى تقليل فاقد الرشح (تأثير ايجابي)، بيد أنه يؤدي إلى ارتفاع اللزوجة و قوة الهلام و التوتر الديناميكي للقص، و تتم في هذه الحالة المعالجة بإضافة الماء و المرققات أو اقتراح تبديل سائل الحفر بآخر خاص، و ذلك حسب نوعية و كمية الغضار المتوقع دخوله إلى سائل الحفر. و عند تلوث سوائل الحفر الجيرية أو الجصية بالغضار الصودي فان ذلك سيؤدي إلى ارتفاع اللزوجة

و قوة الهلام، و يترافق ذلك مع نقص في تركيز شوارد الكلس و فقدان سائل الحفر لثبوتيته الترسيبية و زيادة طفيفة في فاقد الرشح. ويتم إصلاح هذه التغيرات بإضافة الجير المطفأ بالماء مع مقلل فاقد الرشح.

3.3. تأثير سائل الحفر على التشكيلات الغضارية:

إن غضاريات مجموعة المونتموريللنيت (البنتونيت) تملك القدرة العالية على امتزاز الماء و ادمصاصه و التشرد و الانتفاخ في وسط مائي، و ذلك بسبب قدرة شبكته البلورية على التبلل و الارتباط بجزيئات الماء بآلية شعرية أو تناضحية أو كليهما و التمدد بكافة الاتجاهات.

إن سائل الحفر أو راشحه المائي يؤثران بشدة على مختلف أنواع التشكيلات الغضارية و يتفاوت هذا التأثير حسب عمق توضع الغضار (درجة تراصه و مساميته). تختلف أشكال الصعوبات المرافقة لعمليات حفر الصخور الغضارية، و التي تنعكس على ثبوتية و استقرار جدران البئر.

زحف جدران البئر الغضارية: يحدث عند حفر التشكيلات الغضارية الكاولينيتية الحاوية على نسبة عالية من المونتموريللنيت. و تظهر المشكلة هنا على شكل تضيق جذع البئر و حدوث تعليق لمواسير الحفر أثناء الرفع مع ازدياد في عزم الدوران و ارتفاع ضغط الضخ. و تعالج عادة هذه المشكلة برفع كثافة سائل الحفر مع إجراء قشط دوري لجذع البئر وإصلاح دائم للخواص الجريانية و الارتشاحية لسائل الحفر[8].

4.3. الظواهر التناضحية المتبادلة بين سائل الحفر وجدران البئر:

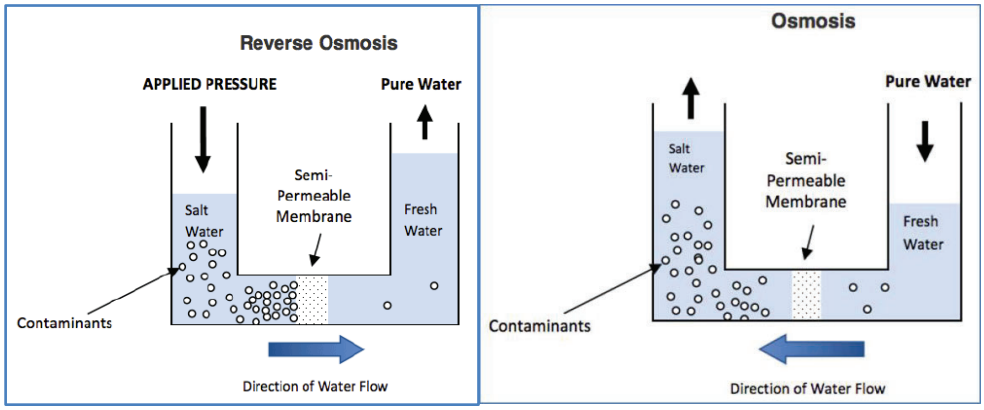
يتشكل الضغط التناضحي بين سائلين متباييني التركيز. فحسب ظاهرة الانتشار تتوزع المادة المذابة في كامل حجم المحلول بشكل متجانس، حيث تسعى المادة المذابة للانتقال من التركيز المرتفع بها إلى التركيز المنخفض حتى الوصول إلى حالة التوازن. و تتم العملية بسرعة أكبر كلما كان فارق التركيز الابتدائي أكبر. و لفهم آلية تشكل الضغط التناضحي بين محلولين

متباينيي التركيز بالملح (C_1 , C_2)، نفرض أن المحلول الأول العالي التركيز C_1 (ماء مالح) و المحلول الثاني منخفض التركيز C_2 (ماء عذب)، و يفصل بين المحلولين غشاء نصف نفوذ (حاجز مسامي يسمح بمرور الماء و لا يسمح بمرور الجزيئات الملحية المنحلة)، سنجد أن الماء سينتقل عبر الغشاء من الوسط منخفض التركيز بالملح (الماء العذب) إلى الوسط عالي التركيز بالملح (الماء المالح).

إن القوة المحركة لهذه العملية الارتشاحية تعتبر فارق التركيز، والتي تؤدي لانتقال الماء العذب إلى الوسط الأقل تركيزاً به، تستمر عملية الارتشاح التناضحي حتى الوصول إلى حالة التوازن لتساوي تركيز الماء على جانبي الغشاء، بينما يرتفع الماء في الوعاء الثاني مشكلاً ضغطاً.

عند تطبيق قوة P فوق الوعاء الحاوي على المحلول الملحي، بحيث تكون هذه القوة أكبر من الضغط التناضحي له (أي $P\rangle P_{\pi}$) فان الماء العذب سينتقل عبر الغشاء شبه النفوذ باتجاه الوعاء عالي التركيز به (منخفض التركيز بالملح ، C_1).

القوة المحركة لهذه العملية (في حال وجود غشاء نصف نفوذ مثالي)، هي فرق الضغط. تستخدم آلية التناضح العكسي في تحلية مياه البحر للشرب وتنقية المياه الملوثة بالأملاح، وذلك باستخدام أغشية شبه نفوذه صناعية (مثل خلات السيللوز) [5] .



شكل(4): آلية حدوث التناضح و التناضح العكسي.

سائل الحفر ذو الأساس المائي يوجد في البئر على تماس مع الطبقات المشبعة بالمياه الطبقية. وفي حالة وجود فارق في التركيز بين المياه الطبقية و السائل الموجود في البئر، فإن ظاهرة الانتشار يمكن أن تحدث بحرية بين الوسطين المذكورين. أما ظاهرتي التناضح الطبيعي أو العكسي فيمكن حصولهما في حال توفر غشاء نصف نفوذ على جدران البئر.

يوجود تأثير واضح للظواهر التناضحية على ثبوتية جدران البئر. حيث أن كعكة الحفر الارتشاحية المتشكلة على جدران البئر، يمكن أن تلعب دور الغشاء شبه النفوذ الذي يفصل بين محلولين متباييني التركيز (سائل الحفر ذي الأساس المائي والمياه الطبقية). تمتاز كعكة الحفر بنفوذية أقل بكثير من نفوذية الصخر الذي توضعت عليه، وتتباين بسماكتها وانضغاطيتها وخواصها الارتشاحية، بالعلاقة مع السائل الذي تشكلت منه وظروف عملية الارتشاح.

ومن وجهة نظر تكنولوجية فإن فاقد الرشح لسائل الحفر، يجب أن يكون أقل ما يمكن، بحيث لا يؤدي إلى انتفاخ جدران البئر الغضارية، أو تخريب نفوذية المجال المنتج. لذلك يفترض أن يتم توجيه العملية الارتشاحية التناضحية باتجاه البئر.

إن ارتشاح المياه العذبة باتجاه التشكيلات الغضارية (سواء تم بآلية تناضحية طبيعية أو عكسية) يمكن أن يقلل تركيز المياه الطبقية في مساماتها، وبالتالي تنشيط عملية انتفاخ حبيباتها. وتختلف أشكال التعقيدات المرافقة لعمليات حفر الصخور الغضارية (حسب نوع التشكيلة الغضارية ومدى شدة حساسيتها للماء)، سوف يتحدد سلوك هذه الطبقة أثناء الحفر. إن أهم المشاكل التي يمكن أن تنجم من ارتشاح المياه العذبة إلى التشكيلات الغضارية يمكن تلخيصها كما يلي: (تضيق جذع البئر أمام طبقات الغضار، عدم وصول مواسير التغليف إلى العمق المقرر نتيجة انتفاخ التشكيلات الغضارية).

4. الدراسة المخبرية:

العينات المستخدمة في الدراسة هي:

- عينتين من البنتونيت (الذي يستخدم في تحضير سوائل الحفر في الحقول السورية). من أجل دراسة الخواص الغروية التي يعطيها الغضار لسائل الحفر.

جدول (1): عينات الغضار البنتونيتي المدروسة.

البنتونيت	المصدر
A	سوريا
B	بنتونيت أجنبي

- عينتين من التشكيلات الصخرية المخترقة في حقول المنطقة الوسطى السورية (التي تحوي غضار ضمن تركيبها الليتولوجي)، من أجل دراسة التأثير المتبادل بين سائل الحفر و التشكيلات الغضارية المخترقة.

جدول (2): عينات التشكيلات الصخرية المدروسة.

العينة الصخرية	المصدر	العمق (m)
1	تشكيلة الكوراشينا انهدريت	2290
2	تشكيلة السيرجلو	3563

1.4. لمحة عن التشكيلات الصخرية المدروسة:

أولاً: عينات البنتونيت: تم تحديد التركيب الكيميائي للبنتونيت السوري في مخابر

المؤسسة العامة للجيولوجيا التابعة لوزارة النفط. و الجدول (3) يوضح التركيب الكيميائي للغضار البنتونيتي السوري (A):

الجدول (3): التحليل الكيميائي للبنتونيت السوري بالنسبة المئوية (%).

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	H_2O	Na_2O	CO_2	TiO_2
46.6	14.4	7.2	6.7	5.8	12.8	0.13	6.2	0.16

حسب المرجع [6]: نقوم بحساب النسبة التالية: $\frac{\mathrm{Si\,O_2}}{Fe_2\,O_3}$ ، بالنسبة للغضار الحاوي على نسبة عالية من المونتموريلونيت شديد الشراهية للماء: $\frac{\mathrm{Si\,O_2}}{Fe_2\,O_3} > 4$. كلما زادت هذه النسبة زاد محتوى المونتموريلونيت في الغضار. $\frac{\mathrm{Si\,O_2}}{Fe_2\,O_3} = \frac{46.6}{7.2} = 6.47 > 4$

بينما التركيب الكيميائي للبنتونيت المستورد (B) موضح بالجدول (4):

الجدول (4): التحليل الكيميائي للبنتونيت الأجنبي. (بالنسبة المئوية (%))

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	H_2O	Na_2O	CO_2	TiO_2
63.33	19.4	3.41	2.69	0.6	0.52	0.33	---	0.37

نقوم بحساب النسبة التالية: $\frac{\mathrm{Si\,O_2}}{Fe_2\,O_3}$ ، نجد أن: $\frac{\mathrm{Si\,O_2}}{Fe_2\,O_3} = \frac{63.33}{3.41} = 18.57 > 4$ بالمقارنة نلاحظ قلة العناصر الفعالة (أكسيد السيليسيوم وأكسيد الالمنيوم) بالبنتونيت السوري، وارتفاع نسبة الشوائب (أكسيد الكالسيوم والمغنيزيوم) هذه الشوائب تحول الغضار الصودي الجيد إلى غضار كلسي أقل جودة. لذلك يجب معالجة الغضار السوري بمركبات الصوديوم (Na_2CO_3) لتحسين مواصفاته اعتماداً على خاصية التبادل الشاردي. حيث يتميز الغضار البنتونيتي المحلي بمردوده القليل نظراً للشوائب العديدة التي يحويها.

ثانياً: التشكيلات الصخرية المدروسة:

(1) تشكيلة الكوراشينا إنهدريت (ك.إ):

<u>من الناحية الجيولوجية:</u> توضعت هذه التشكيلة في بيئة الأحواض المغلقة و اللاغونية في عصر التزياسي الأعلى و الأوسط. تتكون في جزئها العلوي ذو السماكة $(25 - 100\ m)$ من رسوبيات غضارية مع انهدريت و جص. الجزء السفلي مكون بشكل أساسي من صخور ملحية بسماكة متغيرة من $(5 - 1400\ m)$ مع وجود نطاقات غضارية بينية تتراوح سماكتها من $(15 - 30\ \%)$ من سماكة النطاق. العمق الوسطي للتشكيلة $(800 - 2400\ m)$.

الجدول (5): سماكة تشكيلة الكوراشينا إنهدريت في بعض الحقول السورية.

الحقل	أرك	البلعاس	أبو رباح	الفيض	الشومرية	أبو رجمين
سماكة ك.إ (m)	142	450	553	1460	438	357

<u>لمحة عن مشاكل الحفر في طبقة الكوراشينا إنهدريت:</u> مشاكل الزحف و الاستعصاء تزداد بازدياد سماكة الطبقة، حيث يتم الاضطرار لرفع الوزن النوعي لسائل الحفر حتى $(2.4\ g_f/cm^3)$. ففي بئر أبو رباح-1، تم حفر هذه الطبقة الواقعة على العمق $(1757 - 2390\ m)$ أي بسماكة $(633\ m)$، بسائل حفر مشبع ب $(Nacl)$. زمن حفر البئر (43 يوم): حفر فعلي (9 يوم) و زمن حل مشاكل (18 يوم) و (16 يوم) تتضمن عمليات رفع و إنزال و معالجة سائل الحفر و إجراء قياسات (MWD).

الجدول (6): التحليل الكيميائي للعينة المأخوذة من تشكيلة الكوراشينا إنهدريت.

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	H_2O	Na_2O	CO_2	TiO_2
33.13	8.81	2.71	6.15	6.58	13.13	8.41	10	0.43

نقوم بحساب النسبة التالية: $\frac{\mathrm{Si\,O_2}}{Fe_2\,O_3}$ ، نجد أن: $\frac{\mathrm{Si\,O_2}}{Fe_2\,O_3} = \frac{33.13}{2.71} = 12.22 > 4$ ، نلاحظ من هذه النسبة بأن: الفلزات الغضارية المكونة لغضار طبقة الكوراشينا انهدريت هي مونتموريلونيت شديد الشراهية للماء.

(2) تشكيلة السيرجلو:

من الناحية الجيولوجية: توضعت هذه التشكيلة في بيئة رسوبيات تعود للميزوزوييك (الجوراسي – أعلى الترياسي). تتكون من الدولوميت و الانهدريت و الغضار، تتألف من عدة نطاقات سماكتها العظمى تصل إلى $(2500\ m)$ في حقول منطقة تدمر.

الجدول (7): سماكة تشكيلة السيرجلو في بعض الحقول السورية.

الحقل	الشاعر	النجيب	السخنة	تونان
سماكة تشكيلة السيرجلو (m)	500	406	1400	450

لمحة عن مشاكل الحفر في طبقة السيرجلو: مشاكل الحفر في هذه الطبقة كانت قليلة بالمقارنة مع طبقة الكوراشينا انهدريت، تتراوح من تضيق لجدران البئر الى تعليق تشكيلة الحفر في البئر. هذه الطبقة تمتد الى معظم حقول المنطقة التدمرية و حتى حقول منخفض الفرات شرقاً حيث تخترق بسماكة كبيرة في حقل عودة. التركيب الكيميائي لعينة السيرجلو:

الجدول (8): التحليل الكيميائي للعينة المأخوذة من تشكيلة السيرجلو.

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	H_2O	Na_2O	CO_2	TiO_2
28.47	9.66	5.11	7.75	8.22	12.8	8.41	10	0.43

نقوم بحساب النسبة: : $\frac{\mathrm{Si\,O_2}}{Fe_2\,O_3}$ ، نجد أن: $4 < 5.57 = \frac{28.47}{5.11} = \frac{\mathrm{Si\,O_2}}{Fe_2\,O_3}$ ، نلاحظ أن طبقة السيرجلو تحتوي غضار مونتموريللينيت لكن أقل مما عليه في تشكيلة الكوراشينا.

2.4. التجارب المخبرية الكيميائية: تهدف هذه التجارب إلى تحديد:

- محتوى الغضار الفعال (المونتموريلونيت) في العينات المدروسة.
- مقدرة (سعة) التبادل الشاردي (CEC) للغضار في العينات المدروسة.
- نسبة شوارد الكلور و ملح كلور الصوديوم (درجة الملوحة) للعينات المدروسة.

1.2.4. تحديد محتوى الغضار الفعال (المونتموريللونيت):

تهدف هذه التجربة الى تقدير محتوى الغضار النشيط في العينة المدروسة باستخدام كاشف ازرق الميتلين الذي يمتز من قبل الجزء الفعال فقط من الغضار.

المعدات و المواد اللازمة:

- محلول أزرق الميتلين $(C_{16}H_{18}N_3\,S\,Cl)$: ($1ml = 0.01\,m\,eq$) اي ما يعادل $(3.2\,g/l)$.
- الماء الاوكسجيني و الماء مقطر.
- حمض الكبريت المخفف: حوالي (5N).
- سيرنغ (حاقن) سعة 5ml و آخر 1ml. ممص سعة 10ml. أرلينة سعة 250 ml.
- انبوب مدرج سعة 50ml. سخانة (منبع حراري). ورق نشاف.

<u>خطوات إجراء التجربة:</u>

تحديد تركيز الغضار الفعال في الجملة (سائل + غضار):

1. نضع $(100\ mgr)$ غضار على شكل محلول بحجم $(2\ ml)$ و نضيف له $(10\ ml)$ ماء مقطر مع $(0.5\ ml)$ حمض كبريت بالاضافة الى $(15\ ml)$ ماء أكسجيني.
2. نحرك المزيج و نغليه لمدة عشر دقائق حتى تمام تفاعل الحمض مع المواد الغريبة.

3. نمدد المحلول الى $(50\ ml)$ ماء مقطر.
4. المعايرة بواسطة أزرق الميتلين: نضيف $(0.5\ ml)$ من الكاشف و نحرك المزيج لمدة $(30\ Sec)$. بعد كل اضافة و تحريك نخرج قطرة بواسطة القضيب الزجاجي و نضعها على ورقة ترشيح حتى تصل الى الشكل النهائي (حلقة زرقاء مائلة للخضرة حول النقطة المركزية الزرقاء).
5. اختبار تمام التفاعل: نحرك لمدة دقيقتين ثم نخرج قطرة و نضعها على ورقة الترشيح، يجب ان تبقى الحلقة الزرقاء المائلة للخضرة، اما اذا اختفت يجب الاستمرار بالمعايرة.

طريقة الحساب: تركيز الغضار يحسب من العلاقة:

$$X = \frac{\text{المتلين أزرق } \boldsymbol{Y\ ml}}{\text{الغضاري المحلول } \boldsymbol{Z\ ml}} \times \mathbf{14.25} \qquad (1)$$

X : تركيز الغضار في المحلول المدروس (Kg/m^3).

Y : حجم أزرق المتيلين المستهلك بالمعايرة (cm^3).

Z : حجم المحلول الغضاري المدروس (cm^3).

النتائج:

الجدول (9): تركيز الغضار الفعال في عينات البنتونيت المدروس.

العينة	$Z\ (ml)$	$Y\ (ml)$	$X\ (Kg/m^3)$
بنتونيت سوري (A)	2	6	42.75
بنتونيت مستورد (B)	2	11.5	82

نلاحظ من هذا الجدول أن تركيز الغضار الفعال (المونتموريلونيت) في البنتونيت المستورد أكبر مما هو عليه في الغضار البنتونيتي السوري.

أما بالنسبة لتشكيلة الكوراشينا انهدريت فهي تحتوي غضار فعال أكثر من تشكيلة السيرجلو من خلال ما يوضح الجدول التالي:

الجدول (10): تركيز الغضار الفعال في العينات الصخرية المدروسة.

العينة	$Z\ (ml)$	$Y\ (ml)$	$X\ (Kg/m^3)$
تشكيلة ك.إ (1)	2	8	57
تشكيلة السيرجلو (2)	2	2.5	17.8

2.2.4. تحديد مقدرة التبادل الشاردي (CEC):

السعة التبادلية للغضار تساوي عددياً عدد الميلي مكافئ المستهلك من كاشف ازرق الميتلين و تحسب من اجل (100 gr) غضار. حيث يتم اتباع نفس الخطوات السابقة مع عدم اضافة الماء الاوكسجيني واضافة (1 gr) غضار إلى الماء المقطر بدلاً من المحلول الغضاري.

الجدول (11): سعة التبادل الشاردي لعينات البنتونيت المدروسة.

العينة	$CEC\ (m\ eq/100\ g)$
بنتونيت سوري (A)	65
بنتونيت مستورد (B)	100

نلاحظ أن سعة التبادل الشاردي للبنتونيت المستورد عالية و تصل الى قيمة قريبة من سعة التبادل الشاردي لفلز المونتموريلونيت ($142.5\ m\ eq/100\ g$). و بالتالي نسبة الغضار الفعال في البنتونيت المستورد تساوي: (% 70)، أما هذه النسبة في البنتونيت السوري تصل إلى (% 46). هذه الطريقة تصبح غير دقيقة في حالة الصخور الحاوية على تداخلات غير غضارية، فلذلك اتبعنا الطريقة التالية:

خطوات إجراء التجربة:

- نأخذ ($V_C = 1\ gr$) من العينة الغضارية و نضيف لها ($10\ ml$) من ($K\ OH$) ذو النظامية ($0.05\ N$).
- نحرك المزيج لمدة عشرون دقيقة فنحصل على محلول أحمر آجري.
- نعاير بواسطة ($H\ Cl$) ذو النظامية ($0.05\ N$) بوجود مشعر الفينول فتالئين (حتى يتحول المحلول الى عديم اللون).

طريقة الحساب:

بفرض ($V_{HCl}\ (ml)$) الحجم لمستهلك من (HCl) في المعايرة و هو يعبر عن كمية (KOH) المتبقية غير المتفاعلة.

- نحسب الكمية المتفاعلة من ($K\ OH$) : $V_{KOH} = 10 - V_{HCl}$
- نحسب عدد المكافئات المتبادلة من ($K\ OH$):

$$X\ (\frac{eq}{10\ ml}) = \frac{V_{KOH} \times N_{KOH}}{1000}$$

و بالتالي سعة التبادل الشاردي (CEC): $CEC\ (\frac{eq}{V_C}) = \frac{X}{V_C}$

حسب حالتنا:

$$CEC\ (m\ eq/\ g) = 0.05 \times (10 - V_{HCl}) \qquad (2)$$

الجدول (12): سعة التبادل الشاردي للعينات الصخرية المدروسة.

التشكيلة	$\mathbf{V_{HCl}}$ (ml)	CEC $(m\,eq/g)$	CEC $(m\,eq/100\,g)$
الكوراشينا انهدريت (1)	3	0.35	35
السيرجلو (2)	5.8	0.21	21

من الجدول نلاحظ أن سعة التبادل الشاردي لعينة الكوراشينا انهدريت أكبر من مقدرة التبادل الشاردي للعينة الصخرية المأخوذة من طبقة السيرجلو.

3.2.4. تحديد تركيز شوارد الكلور و ملح كلور الطعام:

1. نأخذ $(1\ ml)$ من رشاحة العينة المراد تحديد شوارد الكلور فيها و نمدد بالماء المقطر المنزوع شوارد الكلور حتى $(50\ ml)$.
2. نضيف (خمس قطرات) من كاشف كرومات البوتاسيوم.
3. نضيف محلول نترات الفضة $(0.5\ N)$ من سحاحة تنقيط و ببطء و نحرك بشكل مستمر بقضيب تحريك حتى ينقلب لون العينة من الاصفر البرتقالي الى الاحمر الآجري.

طريقة الحساب:

بفرض (V_1) و (N_1) عدد الميليمترات المستهلكة من $(Ag\ NO_3)$ و نظاميته.

و (V) حجم الرشاحة الحاوية على شوارد الكلور:

$$PPm\ Cl^- = \frac{V_1 \times N_1}{V} \times 35.5 \times 1000$$

$$PPm\ NaCl = \frac{V_1 \times N_1}{V} \times (35.5 + 23) \times 1000$$

حسب حالتنا:

$$PPm\ Cl^- = V_1 \times 17750\ \ , PPm\ NaCl = V_1 \times 29250 \qquad (3)$$

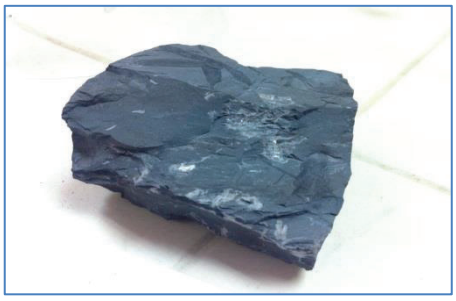
النتائج:

الجدول (13): تركيز شوارد الكلور و ملح كلور الصوديوم في العينات الصخرية المدروسة.

التشكيلة	$V_1\ (ml)$	$PPm\ Cl^-$	$PPm\ NaCl$
الكوراشينا انهدريت (1)	4	72420	119493
السيرجلو (2)	0.3	5325	8775

من الجدول نلاحظ أن تركيز الأملاح في عينة الكوراشينا انهدريت أكبر من بكثير مما عليه في العينة الصخرية المأخوذة من طبقة السيرجلو.

صور لبعض العينات المدروسة و بعض التجارب المخبرية



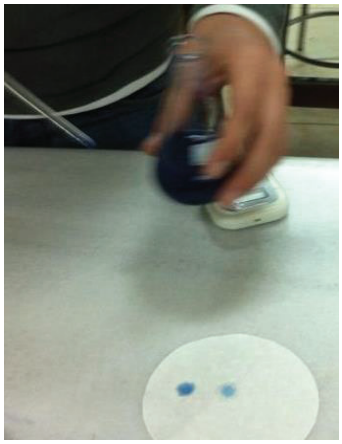
عينة السيرجلو الصخرية

عينة السيرجلو المطحونة

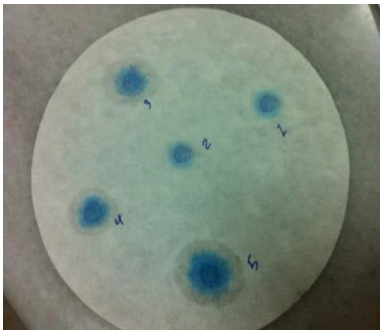
عينة الكوراشيتا انهدريت الصخرية

بعض عينات من البنتونيت المدروس

أدوات اضافة الماء المقطر للغضار و تحضير المحلول الغضاري

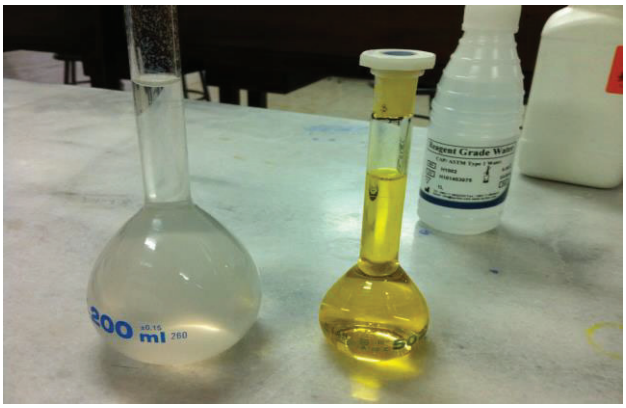


تحضير أزرق الميتلين و اضافته لمعايرة المحلول الغضاري



ورق النشاف المستخدم في تحديد تغير لون المشعر (أزرق الميتلين)

تحضير رشاحة المحلول الغضاري



اضافة كرومات البوتاسيوم لرشاحة المحلول الغضاري

5.النتائـــج و المقتـــرحـــــــات:

من خلال هذه الدراسة، يمكننا صياغة النتائج التالية ذات الأهمية التطبيقية في عمليات حفر الآبار النفطية والغازية:

1. الغضار البنتونيتي المضاف إلى سائل الحفر يعطي سائل الحفر خاصية التخثر الهامة و الضرورية لتعليق الفتاتات الصخرية المحفورة و منعها من الهبوط إلى قاع البئر عند توقف سائل الحفر عن الدوران، و هذا يمكننا من تلافي مشاكل استعصاء مواسير الحفر.
2. تعتبر الظواهر التناضحية (المباشرة و العكسية) من أهم الظواهر المسؤولة عن الخلل بثبوتية جدران البئر الغضارية أثناء الحفر، نتيجة التأثير المتبادل بين الطور المائي لسائل الحفر والفلزات الغضارية في التشكيلات الغضارية المخترقة.
3. القوة المحركة للتناضح (الحلول) الطبيعي المباشر هي فرق التركيز بالأملاح، بينما القوة المحركة للتناضح (الحلول) المعكوس هي فرق الضغط.
4. تعتبر معرفة محتوى الغضار (المضاف لسائل الحفر أو المصادف في التشكيلات المخترقة) من المونتموريللونيت ومقدرته على التبادل الشاردي، خطوة هامة و ضرورية لضبط خواص سائل الحفر بشكل يضمن قيامه بوظائفه في تعليق الفتاتات الصخرية.
5. مقدرة التبادل الشاردي العالية للغضار تزيد من زحف البنتونيت و من التأثير المتبادل بين سائل الحفر و جدران البئر الغضارية.
6. من خلال التجارب المخبرية:

- نلاحظ أن البنتونيت المستورد يحتوي كمية من الغضار الفعال أكبر من البنتونيت السوري، و كذلك قدرته على التبادل الشاردي أكبر و بالتالي مردوده أكبر لدى إضافته لسائل الحفر لإعطائه الخواص الغروية.
- كما نلاحظ أن تشكيلة الكوراشينا إنهدريت ذات محتوى من الغضار الفعال أكبر من تشكيلة السيرجلو، كما أن سعة التبادل الشاردي للغضار الموجود في تشكيلة الكوراشينا أكبر مما هي عليه في غضار تشكيلة السيرجلو و هذا ما يفسر المشاكل

الكبيرة التي تم مصادفتها خلال عمليات الحفر لدى اختراق هذه التشكيلة. هذا بالإضافة لمحتوى تشكيلة الكوراشينا انهدريت الكبير من الأملاح الذي ينشط ظاهرة التناضح التي تسبب ارتشاح كمية كبيرة من المياه الى هذه التشكيلة و بالتالي انتفاخها و زحفها باتجاه البئر، مما يسبب استعصاء تشكيلة الحفر و هذا ما لوحظ عملياً خلال عمليات الحفر.

من خلال النتائج المذكورة ذات الأهمية التطبيقية، نقترح ما يلي:

1- الحصول على عينات أكثر من التشكيلات الغضارية المخترقة في الحقول السورية و من أعماق مختلفة. للحصول على قاعدة بيانات جيدة عن الصخور الغضارية.

2- إجراء تجارب ميكانيكية بالإضافة للتجارب المخبرية الكيميائية، من أجل تقييم الخواص الانتفاخية للغضار بشكل أدق.

الاستفادة من النتائج المذكورة تكون باستثمار هذه النتائج بصياغة أو تطوير نماذج رياضية أو رقمية تربط بين المؤشرات الانتفاخية لكل أنواع الغضار البنتونيتي، و استخدام تلك النماذج في محاكاة السلوك الميكانيكي للصخور الغضارية في الشروط البئرية أثناء عملية الحفر.

المراجـــــع العربيـــــــــة:

1. نصور، ط. 1993 – سوائل حفر آبار النفط و الغاز. جامعة البعث، كلية الهندسة الكيميائية و البترولية، 200.
2. مرهج، أ. 2008 – سوائل الحفر. جامعة البعث، كلية الهندسة الكيميائية و البترولية، 208.
3. نصور، ط. سليمان، م. 2008– هندسة الحفر (3). جامعة البعث، كلية الهندسة الكيميائية و البترولية، 308.
4. تقارير الحفر اليومية لبعض آبار المنطقة الوسطى. دائرة الحفر في مديرية حقول الجبسة.2002.

المراجـــــــع الأجنبيـــــــــة:

5. BARBOUR SL, 2004 – Mechanisms of osmotic flow and volume change in clay.

6. Cours of Drilling Fluids, 2002. Heriot Watt Petroleum engineering Institute.

7. C.L.Z hang, K. Wieczorek, M. L. Xie, 2009 – Swelling experiments on mudstones, Germany.

8. Hideo Komine, 2003 – Simplified evaluation for swelling characteristics of bentonites. Japan.