

تقنية البوليمر نانو لتحسين طرق الاستخلاص المعزز للبتروول من باطن الأرض

محمد رمضان القاضي- بتروويل

يشتمل الوصف الكامل للبحث على:
(الفن السابق - المشكلة أو القصور في الفن السابق - الجديد في موضوع البحث - الوصف التفصيلي للبحث والتجارب - طريقة الاستغلال - مميزات التقنية علميا واقتصاديا - الحماية الفكرية للبحث- الشكر والعرفان- المراجع)

❖ الفن السابق:

الفن السابق هو عملية ضخ محلول البوليمر وفيه يتم استخدام نوع من أنواع البوليمرات مثل (بولي أكريل أميد) وإضافته الى الماء لزيادة لزوجة الماء ثم ضخ ذلك في آبار الحقن إلى داخل باطن الأرض (الخران الصخرى) مما يعمل على إزاحة الزيت من الخزان إلى آبار الإنتاج معتمدا على لزوجة المحلول.

❖ المشكلة أو القصور في الفن السابق:

القصور في الفن السابق وهو في طريقة ضخ البوليمر: هو أن إزاحة الزيت من الخزان الصخري كان يعتمد فقط على لزوجة الماء المضاف إليه البوليمر. لذلك هذه التقنية السابقة لا تؤثر على قوى التجاذب بين الصخر وبين الزيت بتقليلها لإتاحة تحرك الزيت وتركه الصخر بسهولة واستخراج كميات أكبر منه ولكنها تعمل فقط على قوة الازاحة الناتجة من لزوجة السائل الذي يتم ضخه.

أيضا من المشاكل في هذا الفن السابق وهو تقنية ضخ البوليمر هي مشاكل وعقبات مادية خاصة بتكلفة هذه التقنية نظرا لارتفاع سعر المواد الكيميائية مثل تلك البوليمر المستخدم.

❖ الجديد في الموضوع:

الجديد في موضوع الإختراع: تكوين محلول به البوليمر وجزيئات بحجم النانو معا (محلول البوليمر نانو) وفيه يتم إضافة نوع معين من الأكاسيد (أكسيد الألومنيوم Al_2O_3) بحجم النانو مع محلول البوليمر (البولي أكريل أميد) المذاب في الماء للتغلب على قوى التجاذب بين حبيبات العينة الصخرية وبين قطرات الزيت واطلاق عليهم مسمى (تقنية البوليمر نانو) وذلك بنسب تعمل على خفض تركيز البوليمر المستخدم سابقا إلى النصف وإضافة نسبة قليلة من حبيبات النانو بتركيز 0.02wt% ثم ضخهم على عينة من الصخر مشبعة بالزيت وبعد التجارب تبين ان نسبة استخراج الزيت من العينة زادت بنسبة تفوق ال 2% عند استخدام تقنية البوليمر نانو بعد ضخ تقنية البوليمر فقط وهذه النسبة (2%) سوف تضيف ملايين الدولارات كربح إضافي. وبعد دراسة جدولية بسيطة

وجد أنها أرخص من الطريقة المتاحة الآن وأرخص من تقنية البوليمر بمقدار يزيد عن 40% مما يتيح تطبيق هذه التقنية بصورة أكبر والتغلب على العقبات المادية السابقة.

▪ لذلك الجديد في موضوع البحث أمران:

1- زيادة معامل استخراج الزيت واستخراج كميات أكبر مما سبق.

2 - التغلب على العقبات المادية في الفن السابق مع الاحتفاظ بكفاءة عالية.

❖ الوصف التفصيلي:

أولاً: تجهيز المواد والعينات المستخدمة في التجارب:

▪ الماء المالح أو المحلول الملحي (brine):

• الماء المستخدم في كل التجارب والمحاليل ليس ماء عذب ولكنه محلول ملحي وذلك لمضاهاة الماء الموجود في الخزان الصخري.

• التركيز المستخدم: تم استخدام 3wt% من كلوريد الصوديوم (NaCl) بإذابته في ماء عذب لتحضير الماء المستخدم في كل التجارب.

تنبيه: عندما نطلق كلمة ماء في الخطوات التالية أو لتحضير المحاليل يقصد به المحلول الملحي تلك.

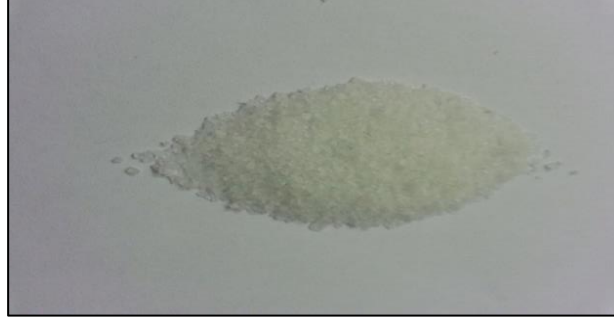
▪ البوليمر:

• تم إختيار بوليمر يسمى (بولي أكريل أميد) وهو قابل للذوبان في الماء وتتراوح درجة الحمضية له ما بين 4-6 . تم اختياره وذلك لأنه من أشهر أنواع البوليمر المستخدمة في هذا المجال بما لديه من كفاءة في ارتفاع لزوجة الماء مما يعمل على استخدام ذلك المحلول اللزج في إزاحة الزيت من الخزان الصخري بدون أن يتخلل الزيت أثناء عملية الفيضنة أو الضخ ويتم فقد كمية من الزيت لم تتم إزاحتها.

• التركيز المستخدم : تم استخدام تركيز 2000 جزء في المليون من البوليمر عند استخدامه منفردا في الماء بدون جزيئات النانو لتحضير محلول البوليمر وحينئذ يصل لزوجة محلول البوليمر إلى 26 سنتي بواز عند درجة حرارة الغرفة . وتم استخدام تركيز 1000 جزء في المليون من البوليمر في الماء عند استخدامه مع جزيئات النانو لتحضير محلول البوليمر نانو وحينئذ يصل لزوجة محلول البوليمر نانو إلى 12 سنتي بواز عند درجة حرارة الغرفة.

• تحضير محلول البوليمر: تم وضع كمية البوليمر في الماء مباشرة سواء كانت 2000 او 1000 جزء في المليون ثم يتم التقليب ميكانيكيا بجهاز مزج وتقليب لمدة ساعة وذلك حتى ذوبان كمية البوليمر تماما وذلك في ظروف المعمل الطبيعية من ضغط وحرارة.

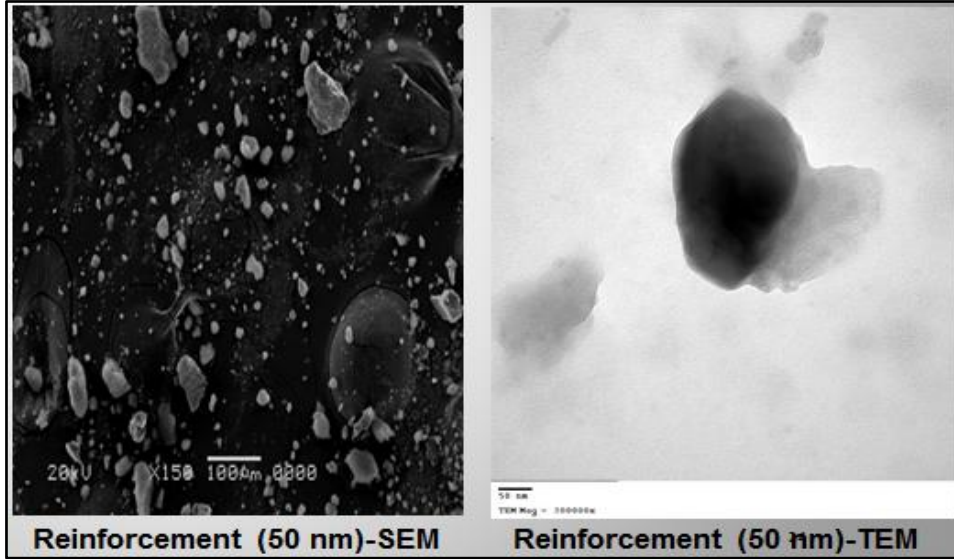
- وهذه صورة توضح شكل البوليمر اللذي تم استخدامه في التجارب.



صورة 1. البوليمر المستخدم في التجارب (بولي أكريل أميد)

■ جزيئات النانو:

- تم إختيار أكسيد الألونيوم Al_2O_3 بحجم النانو لأنه من الأكاسيد التي لها القدرة على تقليل قوى التجاذب الناتج بين قطرات الزيت و سطح الصخر (surface tension) وذلك من خلال تجارب معملية سابقة ولكن التجارب السابقة كانت تستخدم جزيئات النانو في الماء فقط - جزيئات النانو لا تذوب لانها مواد صلبة على هيئة بودر فيحدث لها انتشار فقط – وضخهم سويا على العينة الصخرية المشبعة بالزيت. أيضا تم اختيار أكسيد الألومنيوم لأنه من الأكاسيد الغير باهظة الثمن.
- التركيز المستخدم: تم استخدام تركيز 0.02wt% من أكسيد الألومنيوم بإضافته لمحلول البوليمر وذلك لتكوين محلول البوليمر نانو وذلك عند عملية الفيضنة.
- الحجم: بعد الإطلاع على حجم جزيئات النانو باستخدام Scanning Electron Microscopy (SEM) & Transmission Electron Microscopy (TEM) تبين أنهم تقريبا بمقاس 50 نانوميتر وهذه صور لجزيئات النانو باستخدام الجهازين.



صورة 2&3. جزيئات النانو أكسيد الألومنيوم باستخدام SEM & TEM

■ تحضير مخلوط البوليمر نانو:

- يتم في البداية تحضير محلول البوليمر كما ذكرنا سابقا وذلك بتركيز 1000 جزء في المليون من البوليمر ثم اضافة جزيئات النانو من أكسيد الألومنيوم بتركيز 0.02 wt.% على محلول البوليمر ووضعه في جهاز تقليب ومزج لمدة تصل الى 4 ساعات بأعلى سرعة للجهاز وذلك لضمان انتشار جزيئات النانو في المحلول. وهي بطبيعتها لن تذوب لانها صلبة ولكن حجمها الصغير جدا جدا يجعلها تنتشر مع التقليل العالي وتتعلق في المحلول بصورة لا تجعلها تترسيب أثناء عملية الضخ. تم التحضير في ظروف المعمل الطبيعية من ضغط وحرارة ولم يكن هناك تأثير ملحوظ على اللزوجة أو الحامضية عن محلول البوليمر.

■ العينة الصخرية (core sample):

- تم تنظيف العينات الصخرية من أى شوائب هيدروكربونية باستخدام الطولوين وتم تنظيفها أيضا من أى أملاح باستخدام ميثايل ألكوحول وبعد ذلك تم تجفيف العينة عند حرارة 85 درجة سيليزيوس. تمت قياسات عدة على العينة الصخرية من حيث الطول والقطر والمسامية والنفاذية وهذا جدول يوضح خواص وقياسات تلك العينة وأيضا صور لتلك العينات. تم استخدام عدد 2 عينة صخرية في التجارب.

جدول 1. خواص وقياسات العينات الصخرية المستخدمة في التجارب

| العينة | النوع | الطول | القطر | المسامية | النفاذية |
|--------|-------|-------|-------|----------|----------|
| | | | | | |

| | | | | | |
|----------------|--------|---------|---------|----------|---|
| 8266 ملي دارسي | 25.2 % | 3.76 سم | 5.53 سم | حجر رملي | 1 |
| 1317 ملي دارسي | 13.4 % | 3.76 سم | 4.27 سم | حجر رملي | 2 |



صورة 5. العينة الصخرية 2

صورة 4. العينة الصخرية 1

ثانياً: الأجهزة المستخدمة أثناء التجارب:



صورة 7. جهاز قياس المسامية للعينات الصخرية



صورة 6. جهاز قياس النفاذية للعينات الصخرية



صورة 8 و 9 . نظام ضخ او فيضنة السائل خلال العينة الصخرية.



صورة 10 جهاز لتشبع العينات الصخرية بالسائل

ثالثا: خطوات عمل التجربة:

1- تشبيع العينات الصخرية بالماء الملحي تشبع كامل بداخل جهاز تشبيع العينات وذلك لمدة 24 ساعة وارتفاع ضغطى وصل إلى 2000 رطل. وبعد ذلك تم ضخ زيت صناعي -كثافته (21 سنتى بواز)- على العينات لإزاحة ما يمكن إزاحته من الماء. الآن العينة الصخرية بداخلها زيت صخرى وكمية من الماء غير قابلة للاستخراج يرمز لها (S_{wi}) وتكون جاهزة لعمليات الضخ التالية. وتم قياس نفاذية الصخر للزيت أو قابلية الصخر لتحرك الزيت K_o خلاله عند قيمة S_{wi} . وهذا جدول يوضح تلك القياسات .

جدول 2. قياسات للعينات الصخرية

| Core sample | S_{wi} (%PV) تشبع العينة بالماء | S_{oi} (%PV) تشبع العينة بالزيت | $K_o @ S_{wi}$ (md) |
|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| 1 | 20.2 | 79.8 | 5292.9 |
| 2 | 15.1 | 84.9 | 715 |

- 2- ضخ الماء اللذى تم تحضيره سابقا (الماء الملحي 3wt% NaCl) على العينة الصخرية الأولى لرؤية ما يمكن استخراجه من الزيت وقياس النفاذية النسبية للماء وللزيت وإنشاء منحنى النفاذية النسبية.
- 3- اعادة الخطوة (1) للعينة الأولى ثم ضخ محلول البوليمر (2000 جزء فى المليون بوليمر) عليها وحساب كمية الزيت الخارجة وقياس النفاذية النسبية وإنشاء منحنى النفاذية النسبية مجددا.
- 4- ضخ محلول البوليمر نانو (1000 جزء فى المليون بوليمر + 0.02wt% جزيئات النانو) على العينة الأولى بعد الخطوة (3) وحساب كمية الزيت الخارجة.
- 5- اعادة الخطوة (1) للعينة الأولى ثم ضخ محلول البوليمر نانو (1000 جزء فى المليون بوليمر + 0.02wt% جزيئات النانو) عليها وحساب كمية الزيت الخارجة وقياس النفاذية النسبية وإنشاء منحنى النفاذية النسبية مجددا.
- 6- للتأكد من بعض النتائج: تم ضخ محلول البوليمر وبعده ضخ محلول البوليمر نانو بنفس التركيزات السابقة على العينة الثانية وحساب كمية الزيت الخارجة بعد كل عملية ضخ.

ملحوظة: تمت تجارب الضخ السابقة على العينة وهى فى وضع رأسي وضخ سائل الضخ من أسفل إلى أعلى لضمان أن عملية الضخ لا تساعد على الجاذبية اذا كان الضخ من أعلى إلى أسفل. تمت عملية الفيضنة عند درجة حرارة الغرفة ولكن تحت ضغط 400 رطل وذلك لضمان عدم تسرب سائل الضخ من أحد جوانب العينة أثناء عملية الضخ من أسفل إلى أعلى.

ثالثا: النتائج ولوحات الرسم:

جدول 3. ملخص نتائج التجارب

| رقم الجدول رقم الرسم التوضيحي | Intersection of Kro @ Krw (PV) نقطة تقاطع منحنى النفاذية النسبية | Kw @ Sor نفاذية سائل الضخ عند كمية الزيت المتبقية | R.F (% of OOIP) معامل استخراج الزيت | Sor (% PS) كمية الزيت المتبقية | Sample العينة | رقم الجدول رقم الرسم التوضيحي |
|-------------------------------------|---|---|--|--|------------------|-------------------------------------|
| جدول 4 رسم توضيحي 1 | 56.5 | 931 | 60.65 | 31.4 | 1 | جدول 4 رسم توضيحي 1 |
| جدول 5 | 68.8 | 189.03 | 67.16 | 26.2 | 1 | جدول 5 |

| | | | | | | |
|--|---|------|-------|-------|----|------------------------|
| ضخ محلول البوليمر | | | | | | رسم توضيحي 2 |
| | 2 | 27.1 | 68.08 | 49.2 | 67 | |
| At polymer-Nano flooding after polymer flooding ضخ محلول البوليمر نانو بعد البوليمر | 1 | 24.5 | 69.3 | | | |
| | 2 | 25.3 | 70.2 | | | |
| At Polymer-Nano flooding ضخ محلول البوليمر نانو | 1 | 26.9 | 66.29 | 170.3 | 70 | جدول 6 رسم توضيحي 3 |

جدول 4. حسابات النفاذية النسبية عند ضخ الماء

| Brine Saturation (% Pore Space) | Kro* | Krw* | Krw/Kro |
|---------------------------------|-------|-------|---------|
| 20.2 | 1.000 | - | - |
| 25.4 | 0.671 | 0.005 | 0.01 |
| 30.2 | 0.506 | 0.012 | 0.02 |
| 34.0 | 0.404 | 0.019 | 0.05 |
| 37.9 | 0.331 | 0.031 | 0.09 |
| 40.9 | 0.268 | 0.039 | 0.15 |
| 45.3 | 0.203 | 0.054 | 0.27 |
| 48.7 | 0.164 | 0.067 | 0.41 |
| 51.3 | 0.136 | 0.078 | 0.57 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 53.9 | 0.115 | 0.087 | 0.76 |
| 55.9 | 0.101 | 0.096 | 0.95 |
| 57.8 | 0.088 | 0.104 | 1.18 |
| 59.4 | 0.075 | 0.111 | 1.48 |
| 60.4 | 0.064 | 0.116 | 1.82 |
| 61.4 | 0.056 | 0.122 | 2.16 |
| 62.3 | 0.051 | 0.128 | 2.51 |
| 63.2 | 0.045 | 0.135 | 2.98 |
| 64.1 | 0.037 | 0.141 | 3.82 |
| 65.0 | 0.031 | 0.146 | 4.80 |
| 65.8 | 0.025 | 0.153 | 6.24 |
| 66.8 | 0.016 | 0.161 | 9.85 |
| 67.6 | 0.009 | 0.167 | 19.20 |
| 68.6 | - | 0.176 | - |

Natural water flood with formation brine

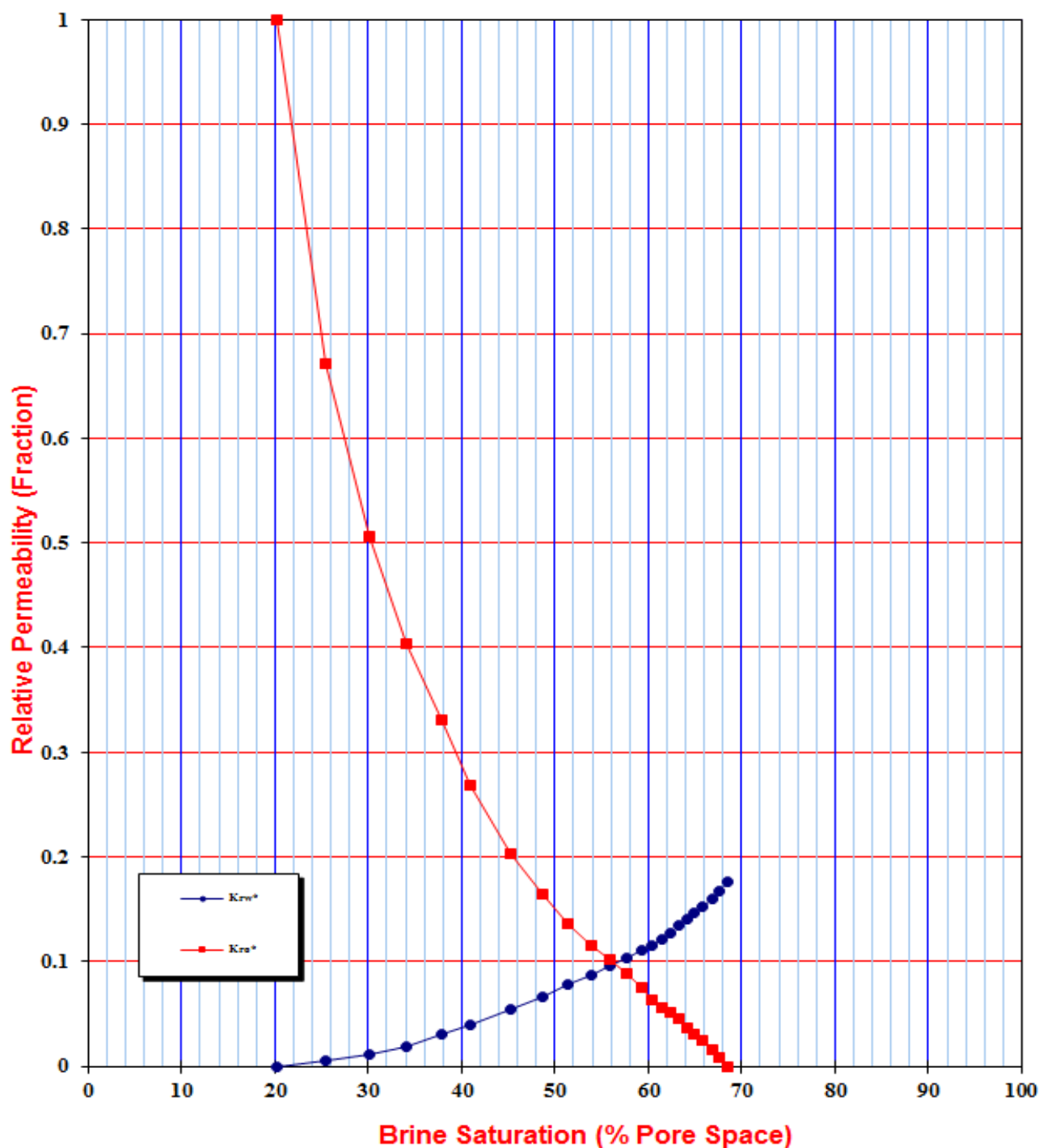
SAMPLE : 1

$K_o @ S_{wi} = 5292.9 \text{ mD}$

$S_{wi} = 20.2 \text{ (\% PS)}$

$K_w @ S_{or} = 931.19 \text{ mD}$

$S_{or} = 31.4 \text{ (\% PS)}$



رسم توضيحي 1 رسم منحنى النفاذية النسبية عند ضخ الماء

جدول 5. قياسات النفاذية النسبية عند ضخ محلول البوليمر

| Brine Saturation (% Pore Space) | Kro* | Krw* | Krw/Kro |
|------------------------------------|-------|--------|---------|
| 20.2 | 1.00 | - | - |
| 23.7 | 0.80 | 0.0015 | 0.00 |
| 27.3 | 0.65 | 0.0019 | 0.00 |
| 32.3 | 0.48 | 0.0028 | 0.01 |
| 38.1 | 0.33 | 0.0041 | 0.01 |
| 41.7 | 0.26 | 0.0052 | 0.02 |
| 44.8 | 0.22 | 0.0064 | 0.03 |
| 47.5 | 0.19 | 0.0078 | 0.04 |
| 49.9 | 0.16 | 0.0092 | 0.06 |
| 52.3 | 0.14 | 0.0105 | 0.07 |
| 54.5 | 0.12 | 0.0120 | 0.10 |
| 57.1 | 0.10 | 0.0136 | 0.14 |
| 59.0 | 0.08 | 0.0149 | 0.18 |
| 60.8 | 0.07 | 0.0162 | 0.23 |
| 62.6 | 0.06 | 0.0179 | 0.30 |
| 63.7 | 0.053 | 0.0190 | 0.36 |
| 65.1 | 0.045 | 0.0205 | 0.45 |
| 66.6 | 0.036 | 0.0224 | 0.63 |
| 68.2 | 0.027 | 0.0245 | 0.92 |
| 69.6 | 0.019 | 0.0274 | 1.42 |
| 70.9 | 0.014 | 0.0301 | 2.14 |
| 72.4 | 0.007 | 0.0330 | 4.45 |
| 73.8 | - | 0.0357 | - |

* Relative to Ko @ Swi

Water flood by using polymer

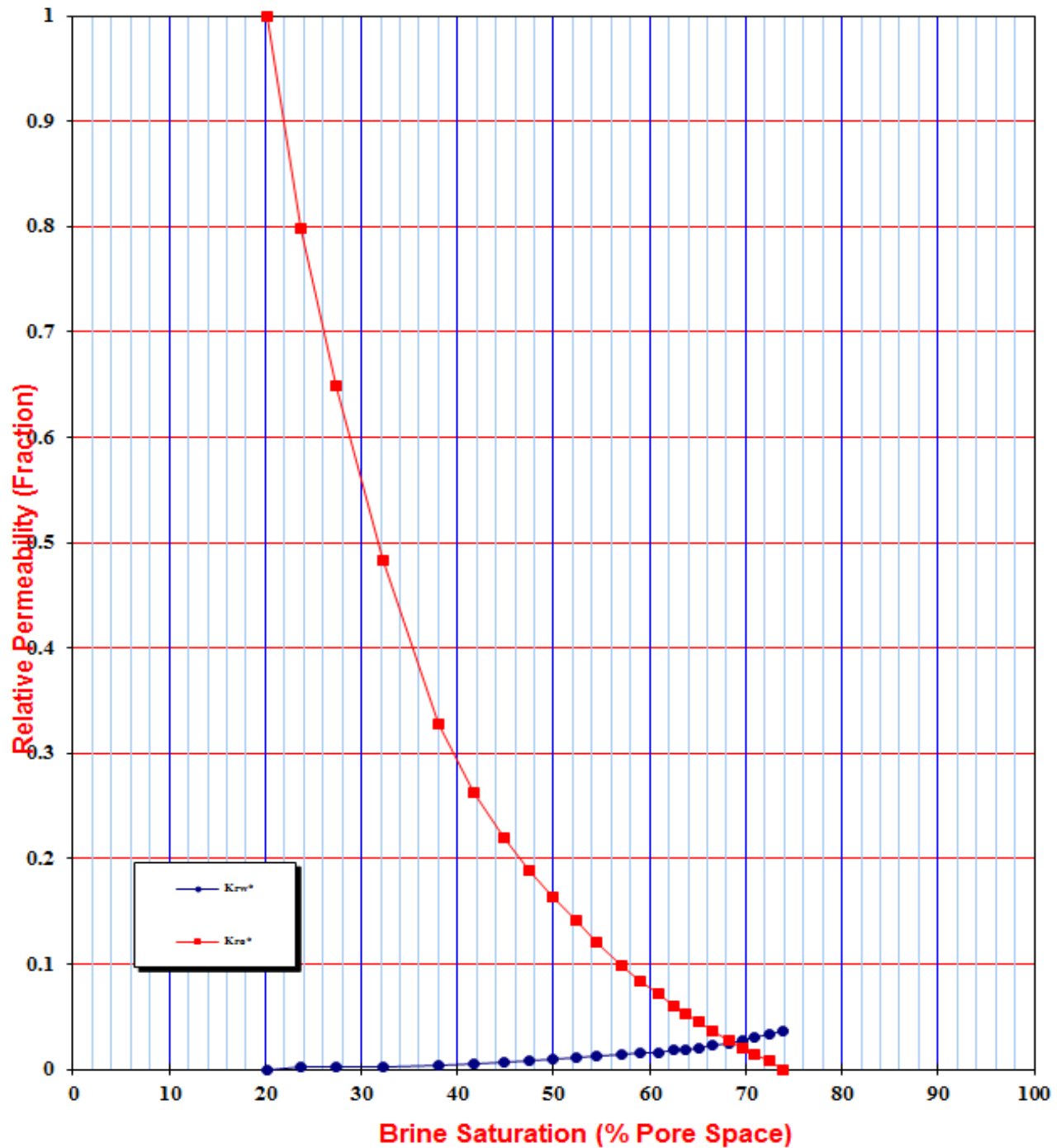
SAMPLE : 1

$K_o @ S_{wi} = 5292.9 \text{ mD}$

$S_{wi} = 20.2 \text{ (\% PS)}$

$K_w @ S_{or} = 189.03 \text{ mD}$

$S_{or} = 26.2 \text{ (\% PS)}$



رسم توضيحي 2. منحنى النفاذية النسبية عند ضخ محلول البوليمر

جدول 6. قياسات النفاذية النسبية عند ضخ محلول البوليمر ناتو

| Brine Saturation (% Pore Space) | Kro* | Krw* | Krw/Kro |
|------------------------------------|-------|--------|---------|
| | | | |
| 20.2 | 1.00 | - | - |
| 25.4 | 0.80 | 0.0005 | 0.00 |
| 30.0 | 0.64 | 0.0009 | 0.00 |
| 34.0 | 0.53 | 0.0018 | 0.00 |
| 39.7 | 0.40 | 0.0031 | 0.01 |
| 45.3 | 0.29 | 0.0042 | 0.01 |
| 49.2 | 0.23 | 0.0054 | 0.02 |
| 53.1 | 0.18 | 0.0058 | 0.03 |
| 56.1 | 0.15 | 0.0072 | 0.05 |
| 58.7 | 0.12 | 0.0101 | 0.08 |
| 61.9 | 0.09 | 0.0123 | 0.13 |
| 64.1 | 0.074 | 0.0152 | 0.20 |
| 65.8 | 0.061 | 0.0181 | 0.30 |
| 67.2 | 0.049 | 0.0204 | 0.42 |
| 68.7 | 0.035 | 0.0225 | 0.64 |
| 70.4 | 0.022 | 0.0253 | 1.17 |
| 71.9 | 0.009 | 0.0289 | 3.07 |
| 73.1 | - | 0.0322 | - |

Polymer-Nano flooding

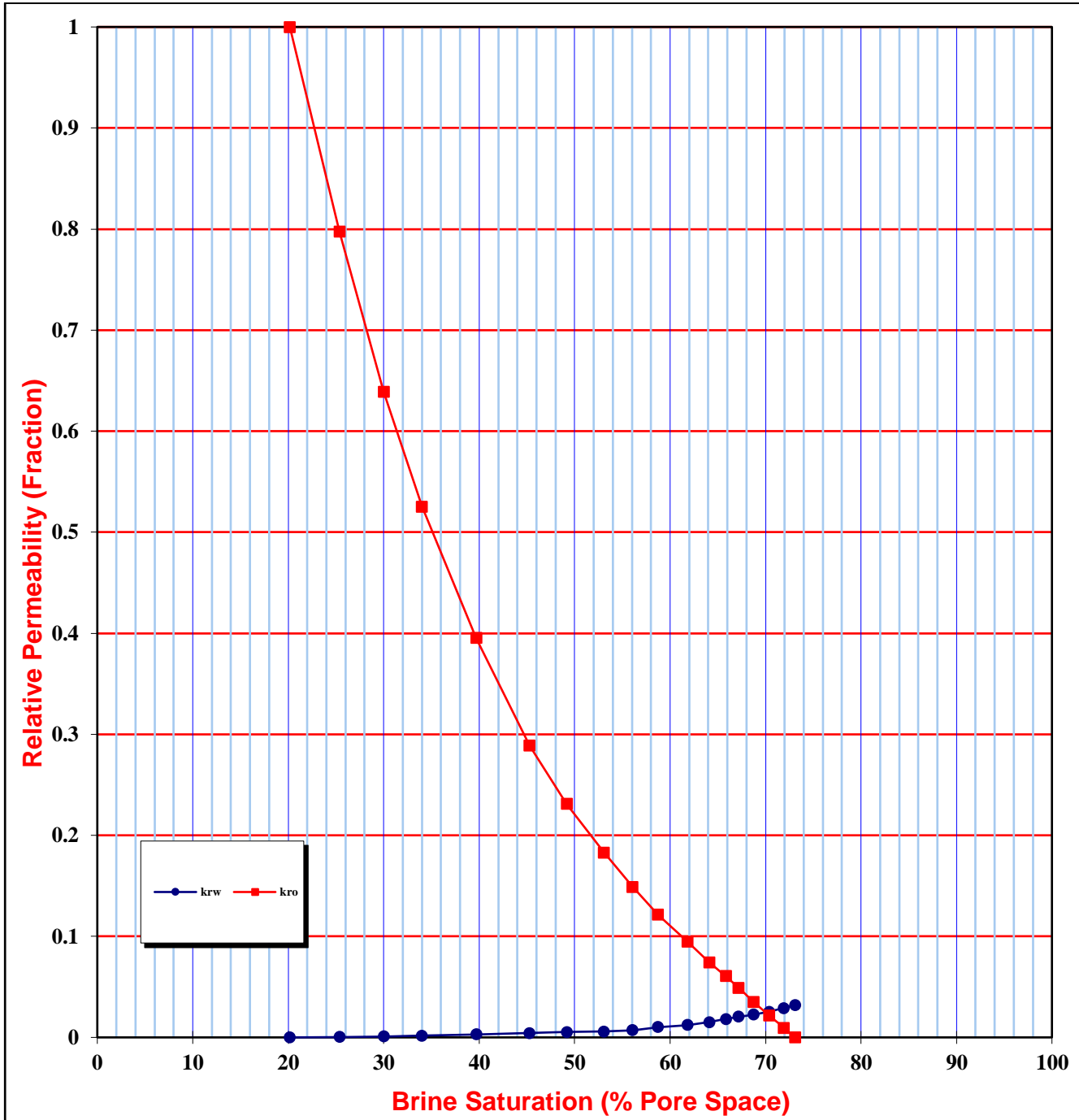
SAMPLE : 1

$K_o @ S_{wi} = 5292.9 \text{ mD}$

$S_{wi} = 20.2 \text{ (\% PS)}$

$K_w @ S_{or} = 189.03 \text{ mD}$

$S_{or} = 26.2 \text{ (\% PS)}$

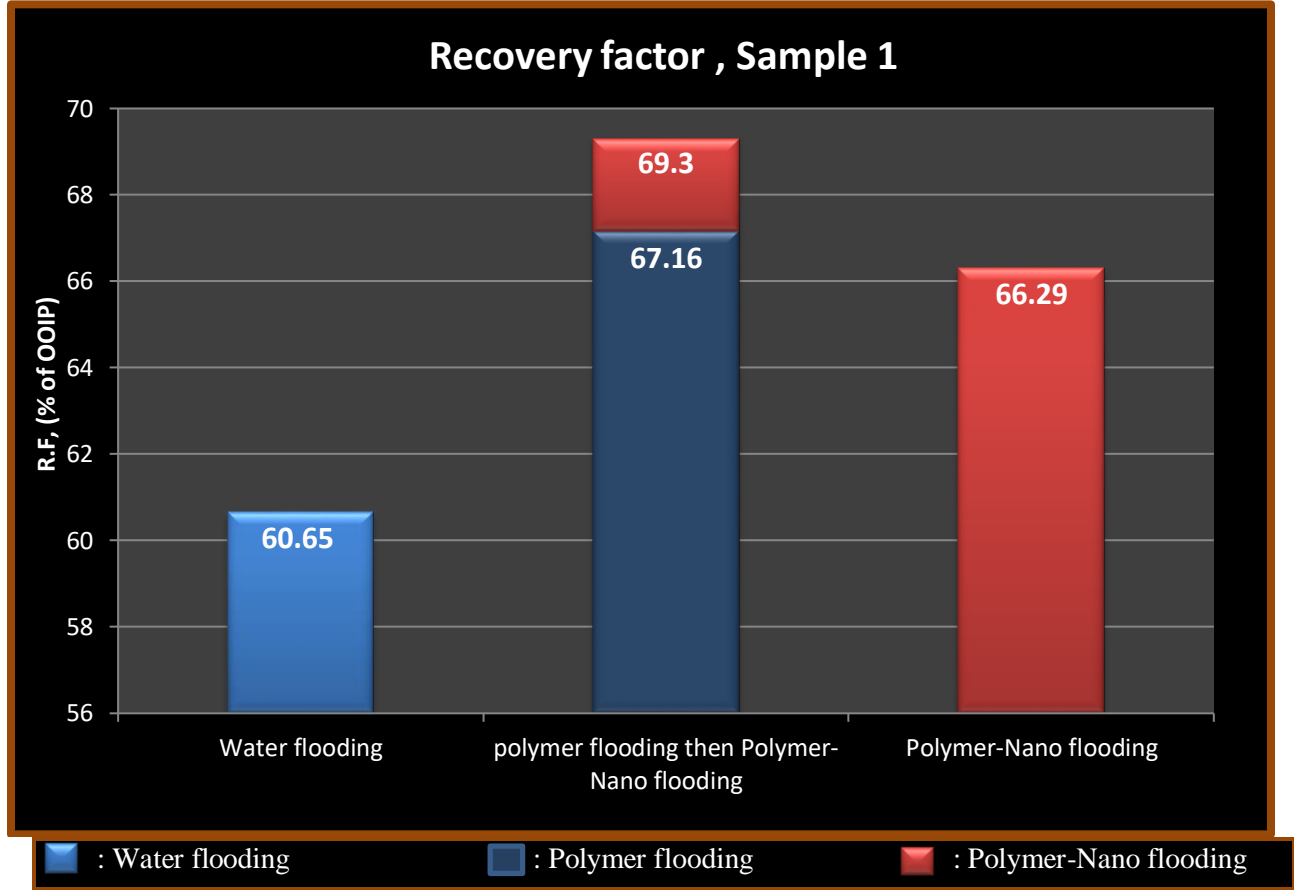


رسم توضيحي 3. منحنى النفاذية النسبية عند ضخ محلول البوليمر ناتو

شرح الرسومات والنتائج:

تم إنشاء أشكال توضيحية بعد حسابات النتائج من القياسات والرسومات السابقة لسهولة المقارنة بين النتائج النهائية وهي كما يلي:

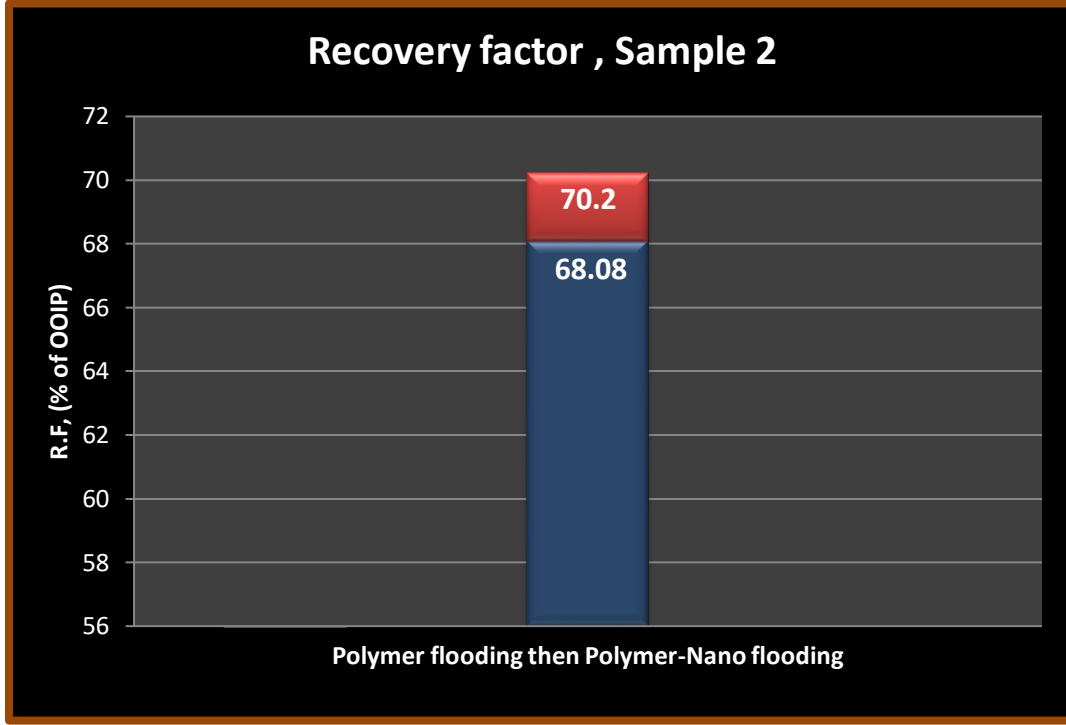
الشكل التالي يوضح نسب استخراج الزيت من العينة الأولى بعد كل عملية ضخ وهي كما يلي:



رسم توضيحي 4. وبه توضيح لنسب استخراج الزيت من العينة الأولى بعد كل عملية ضخ

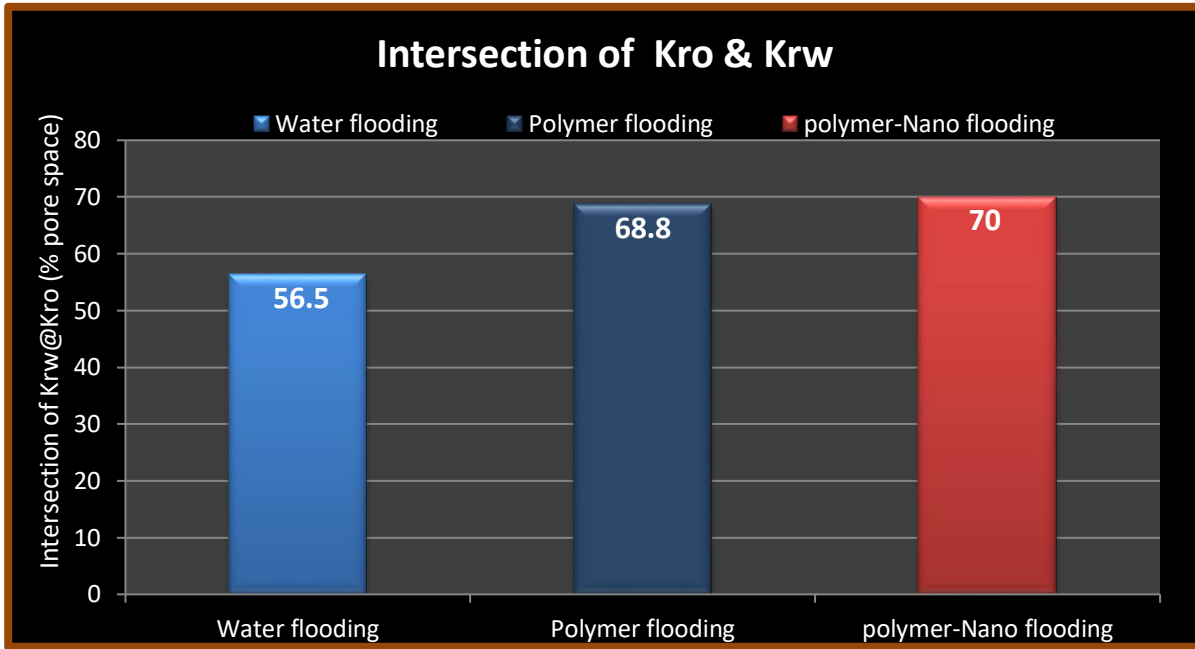
- بعد خطوة رقم (2) من خطوات التجربة و بعد عملية ضخ الماء على العينة وصل معامل استخراج الزيت إلى 60.65%.
- بعد خطوة رقم (3) و بعد عملية ضخ البوليمر على العينة وصل معامل استخراج الزيت إلى 67.16%.
- بعد خطوة رقم (4) و بعد عملية ضخ البوليمر نانو بعد ضخ البوليمر وصل معامل استخراج الزيت إلى 69.3%.
- بعد خطوة رقم (5) و بعد عملية ضخ البوليمر نانو بعد تشبع العينة مجددا وصل معامل استخراج الزيت إلى 66.29% وذلك لمقارنتها مع عملية ضخ البوليمر كما سيأتي في المناقشة.

الشكل التالي يوضح نسبة إستخراج الزيت من العينة الثانية للتأكد من بعض النتائج:

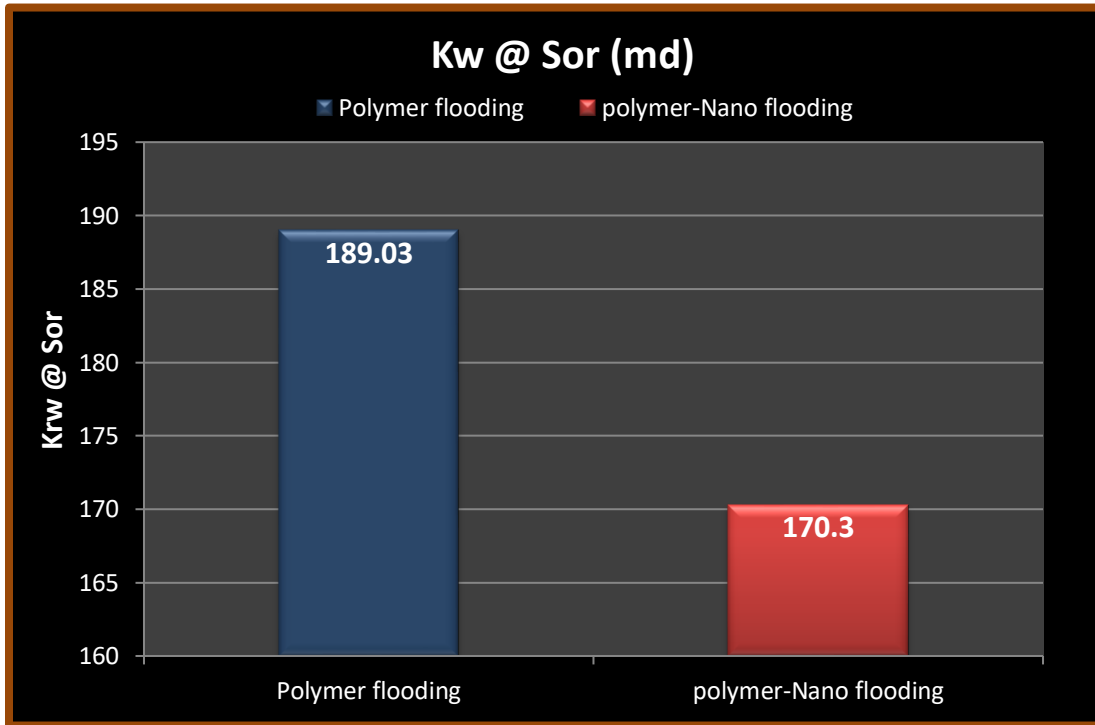


رسم توضيحي 5. وبه توضيح لنسب استخراج الزيت من العينة الثانية بعد كل عملية ضخ

- بعد خطوة رقم (6) من خطوات التجربة وبعد عملية ضخ البوليمر وصل معامل استخراج الزيت إلى 68.08% وبعد عملية ضخ البوليمر نانو إلى 70.2%.
- الشكل التالي (رسم توضيحي 6) يوضح قيمة كل من تقاطعات منحنيات النفاذية النسبية اللتي في الرسومات التوضيحية 1 و 2 و 3 السابقة. والمعنى من هذه التقاطعات هو دلالة شراهة الصخر لجذب الماء عند اخر عملية الضخ عند كمية الزيت المتبقية أو قابلية الصخر لنفاذية الماء خلاله لذلك تم عمل (رسم توضيحي 7) لقياس مدى نفاذية الماء خلال العينة الصخرية عند كمية الزيت المتبقية بعد عملية الضخ.



رسم توضيحي 6. يوضح قيمة كل من تقاطعات منحنيات النفاذية النسبية



رسم توضيحي 7. لقياس مدى نفاذية الماء خلال العينة الصخرية عند كمية الزيت المتبقية بعد عملية الضخ.

- بعد انتهاء عملية ضخ محلول البوليمر تم قياس مدى نفاذية العينة الصخرية للماء وهي 189.03 ملي دارسى.
- بعد انتهاء عملية ضخ محلول البوليمر نانو تم قياس مدى نفاذية العينة الصخرية للماء وهي 170.3 ملي دارسى.

رابعاً: تحليل النتائج والمناقشة والإستنتاج:

- أثناء عملية ضخ محلول البوليمر يتبين أن العامل المؤثر لإستخراج الزيت من العينة الصخرية هو عامل اللزوجة الخاص بسائل الضخ (محلول البوليمر) وذلك نتيجة وجود البوليمر (بولى أكريل أميد). ولكن أثناء عملية ضخ محلول البوليمر نانو نجد أن هناك عاملين يؤثران على استخراج الزيت من العينة الصخرية العامل الأول هو لزوجة ذلك المحلول وذلك لوجود البوليمر والعامل الثانى هو تقليل قوى التجاذب بين الزيت والصخر وذلك لوجود جزيئات النانو من أكسيد الألومنيوم التى لها المقدرة على ذلك . وذلك تم التأكد منه من خلال قيم نقط التقاطع لمنحنيات النفاذية النسبية الذى نجد فيه أن قيمة نقطة التقاطع بعد ضخ محلول البوليمر نانو (70) أعلى من قيمة نقطة التقاطع بعد ضخ محلول البوليمر (68.8) كما تبين فى الرسم التوضيحي (2 و 3 او 6) ومدلول هذا هو انه كلما زادت قيمة نقطة التقاطع لمنحنيات النفاذية النسبية كلما دل على جذب الصخر للماء الذى بمحلول البوليمر او البوليمر نانو مما يؤدي الى تقليل قوى الجذب بين قطرات الزيت وبين حبيبات الصخر مما يؤدي لاستخراج كمية من الزيت كانت سابقا لا تستطيع الخروج بسبب قوى الجذب تلك. وهذا التحليل تم التأكد منه وذلك بعد قياس مدى نفاذية الماء بعد عملية ضخ محلول البوليمر وبعد ضخ محلول البوليمر نانو, وتبين أن قيمة نفاذية الماء بعد ضخ البوليمر نانو (170.3 ملي دارسي) أقل من قيمة نفاذية الماء بعد ضخ البوليمر (189.03 ملي دارسي) كما فى الرسم التوضيحي (7) وهذا دلالة على أن قوى جذب الصخر للماء بعد ضخ البوليمر نانو أعلى من قوى الجذب بعد ضخ البوليمر فقط وبالتالي نفاذية الزيت بعد ضخ البوليمر نانو أعلى من نفاذيته بعد ضخ البوليمر فقط.
- تم إجراء خطوات التجارب السابقة لرؤية تأثير جزيئات النانو من أكسيد الألومنيوم عند مزجها فى محلول البوليمر وضخها فى العينة على معامل استخراج الزيت ومقارنة هذا بعملية ضخ محلول البوليمر لذلك عند المقارنة بين التقنيتين (تقنية ضخ البوليمر نانو وتقنية ضخ البوليمر) نجد ما يأتى:

1- عند ضخ محلول البوليمر نانو بعد محلول البوليمر وجد ان معامل استخراج الزيت بالنسبة للعينة الصخرية الأولى ارتفع من (67.17%) إلى (69.3%) أى زاد بمقدار 2.13% وعند التأكد من ذلك على العينة الصخرية الثانية وجد أن معامل الاستخراج ارتفع أيضا من (68.08%) إلى (70.2%) أى زاد بمقدار 2.12% أى بنفس قيمة الزيادة التى فى العينة الأولى وهذا تأكيد تام أن تقنية البوليمر نانو عند تطبيقها بعد تقنية البوليمر يرتفع معامل الاستخراج بقيمة أعلى من 2.1% من أصل كمية الزيت الأولى الموجودة فى الخزان الصخرى وهذا من شأنه زيادة فى الربح تصل إلى ملايين الدولارات.

2- عند تطبيق تقنية ضخ البوليمر نانو تعويضا عن ضخ تقنية البوليمر نجد أن معامل الاستخراج قريب بين الطريقتين فعند طريقة ضخ البوليمر كان معامل الاستخراج (67.17%) وعند طريقة ضخ البوليمر نانو كان معامل الاستخراج (66.29%) أى بفرق أقل من 0.88%.

3- الدراسة الاقتصادية لتقنية البوليمر-نانو

تقنية البوليمر نانو أثبتت ميزتها الاقتصادية العالية إذا ما قورنت بتقنية البوليمر وذلك يرجع إلى كمية المواد المستخدمة فى التقنيتين فكما لاحظنا سابقا من خلال التركيزات السابقة فى الطريقتين وجدنا اننا فى تقنية ضخ البوليمر نانو استخدمنا فقط نصف كمية البوليمر التى تم استخدامها فى تقنية ضخ البوليمر واستعصنا عنها بكمية صغيرة جدا من جزيئات النانو. وهذه دراسة اقتصادية بسيطة:

متوسط سعر 1كجم من البولى أكريل أميد هو 34 دولار ومتوسط سعر 1 كجم من اكسيد الالومنيوم بحجم النانو هو 30 دولار وهذه الاسعار ليست عند شراء هذه الكميات بل عند شراء أكثر من طن وذلك فى المشاريع الكبيرة. والمصدر من تلك الاسعار هو أحد الشركات الحقيقة التى طبقت مشروع البوليمر بالفعل ومواقع لشركات تصنيع اكسيد الالومنيوم بحجم النانو وتم التواصل معها بالفعل.

| تقنية البوليمر نانو | تقنية البوليمر | |
|-----------------------------|----------------|--------------------------------|
| 1 جم بوليمر + 0.2 جرام نانو | 2 جم بوليمر | كمية المادة المستخدمة فى 1 لتر |
| 0.0404 | 0.0688 | سعر هذه الكميات بالدولار |

$$\text{Percentage of cost reduction} = \frac{0.0688 - 0.0404}{0.0688} * 100 = \mathbf{41.28 \% \text{ cost reduction.}}$$

فيتبين مما سبق أن تقنية البوليمر نانو أرخص من تقنية البوليمر بأكثر من 40 % وذلك لاعتمادها على توفير نصف كمية البوليمر المستخدم فى تقنية ضخ البوليمر والتعويض عنه بكمية بسيطة من جزيئات النانو. وبهذا يتم التغلب على العقبات المادية التى تواجه الشركات فى تطبيق هذه التقنيات الحديثة.

❖ طريقة الاستغلال والتطبيق:

■ إن مجال استغلال هذه التقنية (ضخ البوليمر نانو) هو مجال صناعة وهندسة البترول بوجه عام وبوجه خاص فى مجال استخراج الزيت بالطرق الكيمايائية المحفزة من باطن الأرض (Chemical Enhanced Oil Recovery) ويتم تنفيذ ذلك تماما مثل تنفيذ تقنية ضخ البوليمر الموجودة مسبقا ولكن يتم الاستعاضه عن محلول البوليمر بمحلول البوليمر نانو وفيما يلي تلخيص للخطوات التنفيذية بوجه عام عند تطبيق هذه التقنية على أرض الواقع:

- 1- تجهيز ماء الحقن باستخلاص الشوائب منه وتعديل درجة الملوحة له بما يتناسب مع الماء الصخرى الموجود فى الخزان الجوفي.
- 2- إضافة البوليمر على ماء الحقن بتركيز يتناسب مع كثافة الزيت المراد إزاحته من باطن الأرض ويتم خلطهم لتكوين محلول البوليمر.
- 3- إضافة جزيئات النانو على محلول البوليمر ويتم مزجهم بصورة عالية لضمان التعلق التام لجزيئات النانو فى المحلول اثناء العملية.
- 4- تمرير هذا المحلول (محلول البوليمر نانو) على مضخات تتناسب مع هذا المحلول للزج المضاف اليه جزيئات النانو.
- 5- ضخ هذا المحلول فى آبار تسمى آبار الحقن ليتم توصيله داخل الخزان ويتم به إزاحة الزيت الخام توصلا به إلى آبار تسمى آبار الإنتاج.

■ وبهذا أيضا تتلخص الإستفادة من هذه التقنية ومميزاتها فى ما يلي:

- 1- إرتفاع معامل إستخراج الزيت وإستخراج كميات من الزيت أكبر بسبب كفاءة هذه التقنية.
- 2- زيادة فى معدل الربح المادى عوضا عن استغلال كمية الزيت الناتجة لتغطية احتياجات الصناعة.
- 3- انخفاض تكلفة هذه التقنية اذا ما قورنت بالطرق السابقة.
- 4- لا يوجد أى تعقيدات علمية أو صناعية لتطبيقها.
- 5- ليس لهذه التقنية أى أخطار على البيئة وليس لها أى أخطار خاصة بالحرائق أو ما شابه.

الحماية الفكرية لهذا البحث وتلك التقنية

❖ تمت الحماية الفكرية لهذا البحث واستخدام تلك التقنية بتسجيل براءة اختراع بأكاديمية البحث العلمي

والتكنولوجيا بوزارة التعليم العالي والبحث العلمي وتمت الحماية كالاتي:

← حماية أصل الفكرة بوجه عام وهي توظيف علم النانو مع محلول البوليمر (بإضافة جسيمات النانو على

محلول البوليمر) لتكوين مخلوط بوليمر نانو لاستخدامه في عملية الضخ أو الفيضنة بداخل الخزان

الصخري أو العينة الصخرية وتسمى تلك التقنية تقنية ضخ البوليمر نانو (Polymer-Nano

flooding).

● توظيف علم النانو أى باستخدام جسيمات النانو:

▪ النوع: أكسيد الالومنيوم Al_2O_3 الحجم: 50 نانوميتر التركيز: 0.02 wt.%.

● محلول البوليمر:

▪ النوع: بوليمر يسمى (بولي أكريل أميد). التركيز: 1000 جزء في المليون مضاف الى

ماء ملوحتة 3wt.% من NaCl.

الشكر والعرفان

خالص الشكر لمن كان وما زال لهم عليّ فضل بعد الله، ينبغي الشكر أولاً لله الذي امتن عليّ بفضله وكرمه وكذلك الشكر لأمي وأبي وكامل أهلي فهم شكرهم بعد الله واجب، ويتبع ذلك الشكر:

- . أساتذتي بجامعة الأزهر سيما الأستاذ الدكتور عبد الوهاب بيومي والدكتور سيد جمعة والدكتور وائل حذيفة وغيرهم من أصحاب الفضل.
- . معهد بحوث البترول EPRI سيما العالم الأستاذ الدكتور/ أحمد الصباغ الذي نهض علميا واقتصاديا بمعهد بحوث البترول والذي كان بمثابة الأستاذ المعلم والسند في تلك التجارب.
- . شركة بترول بلاعيم سيما من لا يفي الشكر حقه المهندس سمير زايد (مدير العمليات لشركة بترول سابقا) والذي كان له الفضل بعد الله في بداية واستمرار البحث بدعمه المستمر، وكذلك المهندس الفاضل خالد منصور (مدير عام هندسة البترول ببترول سابقا ورئيس شركة بدر الدين حاليا). وأشكر المهندس محمد يونس (رئيس الشركة المصرية الصينية لتصنيع أجهزة الحفر ومساعد رئيس الهيئة لشؤون الحفر سابقا).
- . الأستاذ الدكتور أحمد البانبي (رئيس قسم هندسة البترول بالجامعة الأمريكية بالقاهرة) مما يقدمه من دعم لإكمال ذلك البحث والتقنية.
- . وزارة الدفاع سيما الفريق كامل الوزير (رئيس الهيئة الهندسية للقوات المسلحة سابقا ووزير النقل حاليا)، والفريق صدقي صبحي وزير الدفاع السابق والعميد المهندس علي خفاجة (بديوان رئاسة الجمهورية) مما كان لهم كامل الدعم الداخلي والخارجي.

References

1. Shah, R. D., "application of NANOPARTICLES saturated injection Gasses for EOR OF heavy oils" SPE paper -129539-STU presented at The SPE technical conference and exhibition held in New Orleans Louisiana, October 2009.
2. Hamed Shokrlu, Y., & Babadagli, T., "effects of Nano sized metals on viscosity reduction of heavy oil / bitumen during thermal applications" CSUG/SPE paper 137540 presented at The SPE technical conference and exhibition held in Calgary .Alberia.canda, 1-21 October 2010.
3. Norwegian University of Science & Technology, Trondheim, Norway (NTNU), Department of Petroleum Engineering, "Comparative Study of Different EOR Methods", May 04, 2010
4. N.A. OGOLO, O.A. OLafuyi, and M.O. ONEYKNONWU, "Enhanced oil recovery using Nanoparticles" SPE paper 160847 presented at The SPE Saudi Arabia technical symposium and exhibition held in AL-KhOBAR Saudi Arabia, 8-11APRIL 2012.
5. Laura Romero-Zerón, University of New Brunswick, Chemical Engineering Department, Canada," Introduction to Enhanced Oil Recovery (EOR) Processes and Bioremediation of Oil-Contaminated Sites" puplish by In Tech, May, 2012.
6. Torsaeter, O., Li, S., & Hendraningrat, L., " Enhancing oil recovery of low – permeability Berea sand stone through optimized Nanofluids concentration " SPE paper 1625283 presented at The SPE technical conference and exhibition held in KULA LAMPOR, 2-4 JULY 2013.
7. Afzal and Amir. H. Mohammedi "Reduction of Heavy Oil Viscosity in Enhanced Oil Recovery Process Using Nanoparticles", ISBN: 978-1-63463-917-0 © 2015 Nova Science Publishers, Inc., MARCH 2015.
8. Osamah A. Alomair, Khaled M. Matar, and Yousef H. Alsaeed, Kuwait University, "Experimental study of enhanced-haevy-oil recovery in Berea sandstone cores by use of nanofluids applications", SPE reservoir evaluation & engineering, 2015.
9. Tarek, M., & El-Banbi, A. H.," Comprehensive Investigation of Effects of Nano-Fluid Mixtures to Enhance Oil Recovery", SPE paper-175835-MS, presented at the SPE North Africa Technical Conference and Exhibition held in Cairo, Egypt, 14–16 September 2015.
10. <http://ahelite.en.made-in-china.com/product/IMNEjpFYnKUr/China-Nano-Aluminium-Oxide-Nanopowder-50nm.html>.