

عنوان الاختراع

استخدام مادة بوليميرية متراكبة لتحسين استخراج النفط المتبقي من المكامن النفطية في جنوب العراق وتطبيقها عمليا وعدديا

Using Composite Polymer Material to Enhanced Oil Recovery from South Iraq Oil Reservoir and Application it Experimentally and Numerically

المهندسة سجي حيدر محمد جبار / بابل-حلة

Email/ sajahaidr473@yahoo.com

Phone/ 07736524194

أ.د.نزار جواد هادي /جامعة بابل-كلية هندسة المواد

Email/ nizarjawadhadi@yahoo.com

Phone/07818112704

أ.د. محمد حمزة دحام /جامعة بابل-كلية هندسة المواد

Email/ mhalaamori1959@yahoo.com

Phone/ 07732941589

ر. فيزيائيين أقدم. رائد كامل بطرس/ شركة نفط البصرة-قسم البحوث والسيطرة النوعية

Email/ raid.1960@yahoo.com

Phone/ 07711913057

2-Abstract

This work studied the effect of polymer and Nano on water flow behavior to extract remain oil from porous media experimentally and numerically. Polymer polyacrylamide PAM of (1000, 1500, 2000 and 2500) ppm and ZnO Nano with (0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2 and 0.3) were mixed with tap water and brine water separately.

Rheological and physical properties of polymer aqueous solution without and with ZnO nano particles (NPs) are tested. Rheological like Viscosity behavior due to the shear rate, temperature, salt and concentrations. Physical Properties like density, surface tension and PH. Fourier Transform Infrared (FTIR) and X- ray diffraction (XRD) for PAM and ZnO NPs. also. In addition to, Scan Electron Microscopy (SEM) and ZnO NPs.

Petro physical properties like porosity and permeability for rocks cut from reservoirs of south Iraq were tested. Experimental displacement by core flooding test used to examine efficiency of injection fluids on porous media. Ansys– software used to simulate the core flooding test and visualize the flow behavior and fingering effect in contact zone between polymer solution without and with ZnO Nano and crude oil.

The results showed that the viscosity of aqueous solutions decreases with the shear rate, temperature, and salt concentrations increasing, while further increasing by ZnO Nano adding. Non-Newtonian flow was occurred and shear-thinning effect associated with the aqueous solutions behavior. Higher density and surface tension for (0.05) % ZnO aqueous solutions were obtained while polymer aqueous solutions with (0.005)%ZnO Nano, by increase concentrations decrease these properties. PH with base values for all solutions used.

(80.32)% and (84.71)% from OOIP in porous media by (2500)ppm PAM aqueous solution and (0.005)% ZnO aqueous solution with (1000)ppm PAM respectively. Volume fraction of oil shows high stability and less viscous finger in touching region between injections solution and crude oil, for the same ratio that appear clearly as qualitative contour in numerical simulation for(2500)ppm PAM aqueous solution and (0.005)% ZnO aqueous solution with (1000)ppm PAM respectively.

2-الموجز

هذا العمل يهدف الى تحسين سلوك الجريان للماء المستخدم في تحسين انتاج النفط المتبقي في الأوساط المسامية بعد المراحل الأولية للاستخراج من خلال استخدام البوليمر والمواد النانوية بطريقة عملية وعددية. لتحسين لزوجة الماء العادي والملحي من خلال خلط بوليمر البولي اكريل امايد بتركيز (1000, 1500, 2000 و2500) جزء في المليون، وأكسيد الزنك النانوي بنسب (0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2 و 0.3) % ثم نخلط المحلول النانوي مع جميع التراكيز البوليميرية.

الخواص الريولوجية ، حيث قيست من حيث تغير اللزوجة مع معدل القص ، درجة الحرارة، تركيز الملح والتراكيز المضافة. تم فحص الخواص الفيزيائية مثل الكثافة والشد السطحي وتركيز الاس الهيدروجيني. مقياس الاشعة تحت الحمراء (FTIR) و حيود الاشعة السينية (XRD) تم استعمالها لفحص بوليمير البولي اكريل امايد والزنك اوكسايد النانوي (ZnO) , مجهر الماسح الالكتروني (SEM) استعمل للتأكد من ZnO بحجم النانو.

الخواص البتروفيزيائية ، حيث تم قياس المسامية والنفاذية للصخور المقطوعة من مكامن النفط في جنوب العراق والتي تعتبر كوسط مسامي. الازاحة المختبرية تتم بواسطة استخدام جهاز فحص النفاذية النسبية لأختبار كفاءة المواد المحقونة في تقليل كمية النفط المتبقي في الأوساط المسامية. المحاكاة العددية تتم بواسطة استخدام برنامج الانسيز

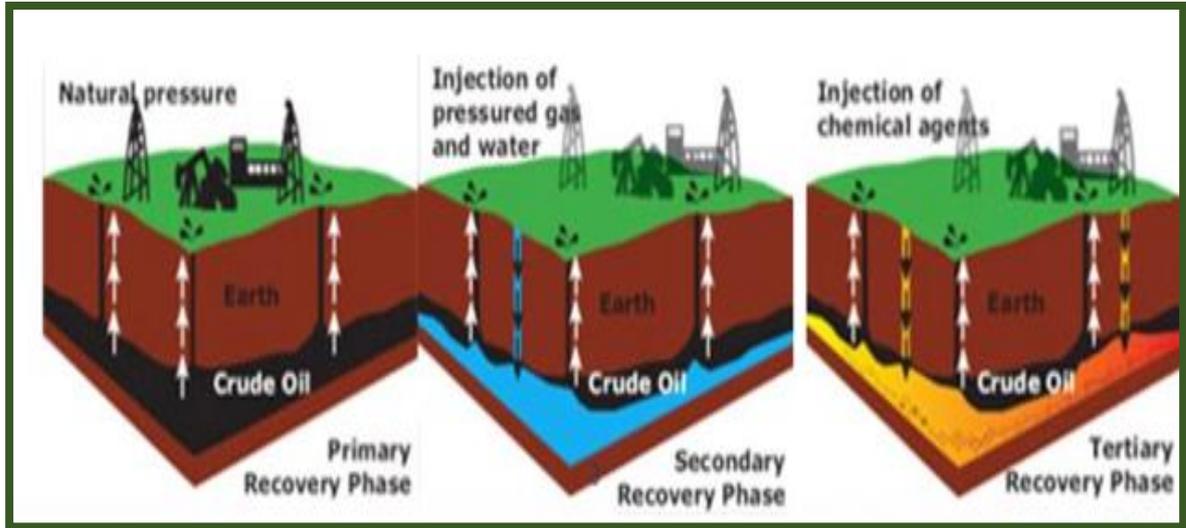
(Ansys) حيث يتم ملاحظة سلوك الجريان للمواد المحقونة وقابليتها على تقليل التراكيب الأصعبية في منطقة الاتصال ما بين النفط والمواد المحقونة لاختبار كفاءتها على تقليل النفط الموجود في الأوساط المسامية النتائج أظهرت ان لزوجة المحاليل البوليميرية المائية والمحاليل النانوية مع البوليمر تزداد مع زيادة التركيز وتقل مع زيادة معدل القص، الحرارة ووجود الملح. كثافة المحاليل البوليميرية المائية تزداد مع زيادة التركيز ويقابلها زيادة طردية للشد السطحي، تركيز (0.005) % تعطي اعلى كثافة وشد سطحي للمحاليل النانوية مع البوليمر بعدها تقل مع زيادة التركيز. جميع المحاليل المستخدمة تميل الى جعل رمز الاس الهيدروجيني يقترب نحو الاتجاه القاعدي. اما الازاحة المختبرية اثبتت فعالية المواد المحقونة على تحسين انتاج النفط بقيمة (80.32) % و(84.71) % بواسطة المحلول المائي البوليميري بتركيز (2500) جزء في المليون والمحلول النانوي بتركيز (0.005) % مضاف له (1000) جزء من المليون على التوالي. اما نتائج المحاكاة العددية فان الاشكال الكنتورية للكسر الحجمي للنفط اثبتت فعالية المواد المحقونة بزيادة التراكيز البوليميرية من المحافظة على الاستقرارية وتقليل التراكيب الاصعبية. المحلول المائي البوليميري بتركيز (2500) جزء في المليون والمحلول النانوي بتركيز (0.005) % مضاف له (1000) جزء من المليون قادران على المحافظة على استقراريه الجريان وتقليل التراكيب الاصعبية بصورة كبيرة وبعد هذه النسب تصبح المادة ذات لزوجة عالية وتحتاج ضغط وسرعة عالية لكي تكون قادرة على إزاحة النفط وهذا ليس بفائدة اقتصادية تعود للبلاد.

3-المفصل

أ-المقدمة (Introduction): -

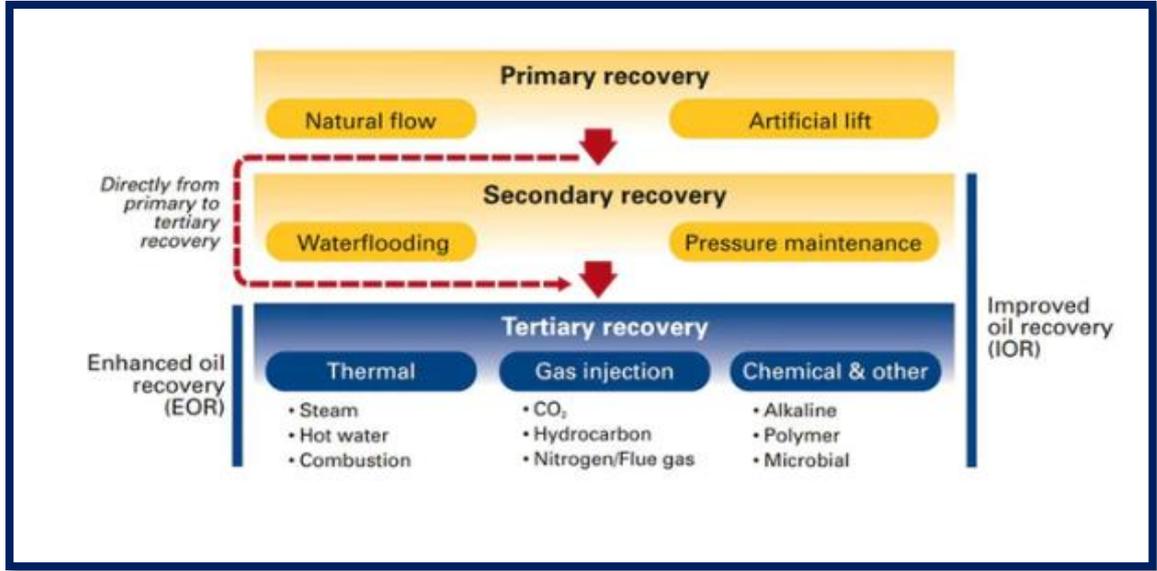
النفط يمثل عصب الحياة الحديثة حيث يستخدم في مجالات الحياة اليومية المختلفة لكن توجد مشاكل متعلقة بعمليات استخراج النفط، انخفاض الضغط المكمني مع ارتفاع كميات النفط المتبقية في الوسط المسامي بعد المراحل الأولية لاستخراج النفط، كميات الماء العالية المصاحبة للنفط عند الاستخراج والظروف المكمنية من الحرارة والملوحة العالية بالنسبة لمكامن جنوب العراق.

النفط الخام (Crude oil) هو مركب هيدروكربوني معقد (كاربون وهيدروجين) يصنف حسب المنطقة المتواجد فيها الى مالح وحامضي وفقا الى كمية الفسفور. في مكامن جنوب العراق يمتاز النفط المستخرج بارتفاع كمية الاملاح الموجودة مع الماء المصاحب للنفط المستخرج والتي تختلف من مكن الى اخر [1]. ان عملية استخراج النفط تتم على ثلاثة مراحل كما موضح في الشكل (1)



شكل 1: -مراحل استخراج النفط[2]

في المرحلة الأولى يتم استخراج ما يقارب 15% من النفط بفعل الضغط العالي الموجود في المكن [3], اما في المراحل الثانوية فيتم حقن ماء او غاز وذلك لزيادة الضغط المكمني والحصول على ما يقارب 30% من النفط [4], النسبة العالية من النفط المتبقي بعد المراحل الأولية للاستخراج بسبب انخفاض الضغط المكمني الى صورة كبيرة حيث تتم من خلال استخدام مواد كيميائية , حرارية او غازية كما موضح في شكل (2) [5] .



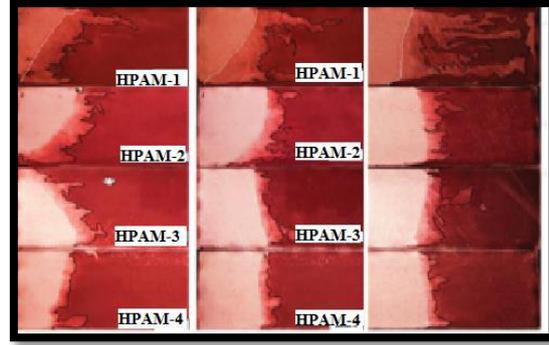
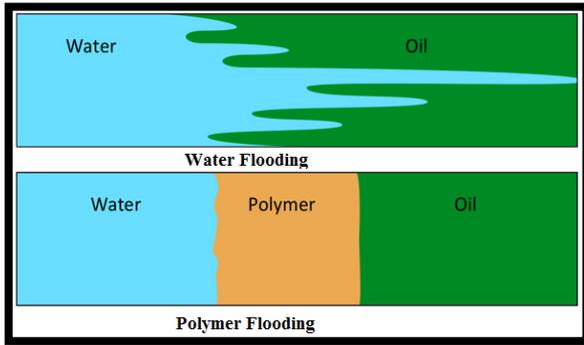
شكل 2:-مراحل واليات استخراج النفط[6]

ان استخدام الماء في عمليات تحسين انتاج النفط المتبقي تكون غير قادرة لانتاج كميات قليلة من النفط مع كميات كبيرة من الماء المصاحب , بسبب انخفاض لزوجة الماء مقارنة بلزوجة النفط مما يؤدي الى توليد تراكيب اصبعية والتي تلعب دور رئيسي في تقليل النفط المستخرج من خلال تسريع الوقت للوصول لنقطة الاختراق Break through (point) بالإضافة الى ذلك تحتاج هذه الطريقة الى كميات عالية من الماء [7]. يتم خلط مواد كيميائية مثل البوليمير، الالكانات، مانعات التوتر السطحي والنانو مع الماء وتستخدم في عمليات تحسين انتاج النفط المتبقي[8].

ان عمليات الازاحة للنفط بواسطة المحلول المائي البوليميري نجحت في تحسين انتاج النفط من الوسط المسامي الماكرو (Macro) والمايكرو(Micro). تتحدد عملية انتاج النفط من الوسط المسامي الماكرو من خلال قابلية المحلول البوليميري لتقليل الحركة النسبية التي تعمل على تقليل تكوين التراكيب الاصبعية [9] كما موضح في الشكل (3a) وذلك بسبب زيادة اللزوجة [10], تقليل النفاذية النسبية للنفط بصورة اقل مقارنة بالمحلول المحقون [11] بسبب تعديل الترطيب من نفط-رطب الذي يكون فيه النفط على اتصال مع سطح الصخور والماء بصورة حرة الى ماء-رطب الذي يكون فيه النفط بصورة حرة والماء يحيط بالصخور كما مبين في شكل (3b) [12] حيث انه من خلال الرسم نلاحظ كلما ابتعدت نقطة تقاطع المنحنين عن 50% كلما كانت عملية انتاج النفط بصورة افضل و مقاومة للجريان [13] والتي نحصل عليها بسبب اللدونة التي يمتلكها البوليمير حيث انه بزيادة اللدونة للبوليمير يؤدي الى زيادة مقاومة الجريان والمحافظة على استقرارية منطقة التلامس ما بين المائع المحقون والمتواجد داخل الوسط المسامي [14] كما مبين في الشكل (3c).

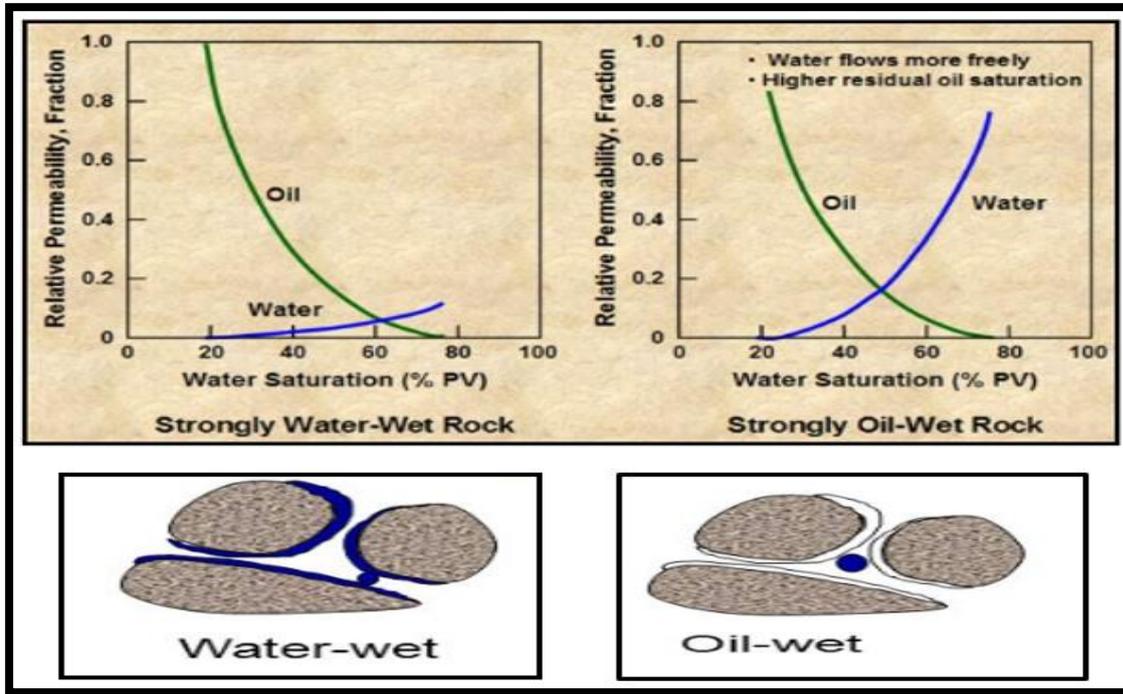
اما عملية إزالة النفط من الوسط المسامي المايكرو فتتحدد بواسطة قابلية المحلول المائي البوليميري لسحب (Pulling) النفط الموجود داخل المسام المغلقة (Dead end) كما مبين في شكل (4) حيث سوف يتولد اجهاد عمودي (Normal stress) ناتج ما بين المحلول البوليميري والنفط [16] واجهاد قصي (Shear stress) ناتج من طول السلاسل البوليميرية [17] على عكس المحاليل اللانيوتنية التي لا تتوفر بها هذين الأنواع من الاجهاد مثل الماء والكلسرين كما مبين في شكل (4a) على التوالي, الخاصية الأخرى التي تمتلكها المحاليل اللانيوتنية هي تجريد (Stripping) الأفلام النفطية المتواجدة على سطح الصخور [18] وذلك بسبب اختلاف شكل السرعة (Velocity profile) للمحاليل النيوتنية عن اللانيوتنية كما مبين في شكل (4b) حيث ان المحاليل البوليميرية يكون شكل السرعة لها اكبر عند الجدار الشعري مما يجعلها قادرة لإزاحة الأفلام النفطية المتواجدة في الوسط المسامي المايكرو [19], من الميكانيكيات الأخرى للمحاليل البوليميرية هي تثبيت الخيوط النفطية (Oil threads) [20] وذلك بسبب خاصية المرونة للمحاليل البوليميرية التي تولد اجهاد عمودي على السطح المحدب اكثر من السطح المقعر [21] وكذلك يؤدي الى زيادة Deborah number (N_{Deh}) [22] كما مبين في شكل (4c) مما يجعلها قادرة على منع تشوه الخيوط النفطية واستخراج اكبر كمية ممكنة من النفط.

ان ظاهرة الاجهاد السميك (shear thickening) تحدث داخل الوسط المسامي المايكروي [23] كما مبين في شكل (4d) حيث تحدث عندما يكون معدل الجريان للجزيئات البوليميرية داخل المحلول في الوسط المسامي عالية وليست بطيئة بحيث ان الجزيئات لا تمتلك وقت كافي لكي تسترخي [24] بالإضافة الى تعرض هذه الجزيئات الى استطالة وانكماش عند الانتقال عبر الاجسام المسامية والمسام الحلقي [25].



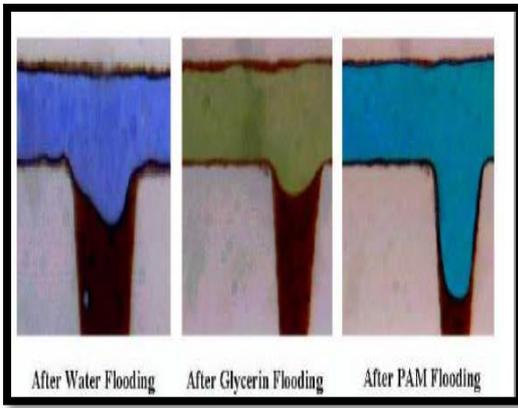
(a)

(b)

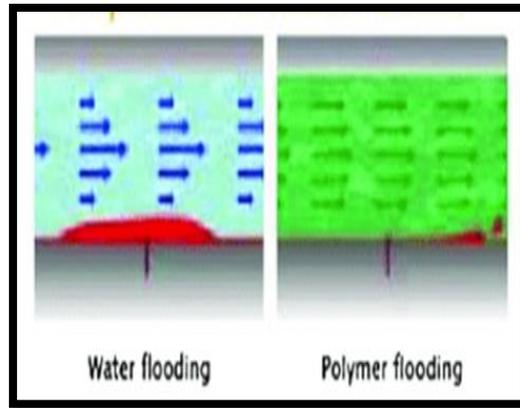


(b)

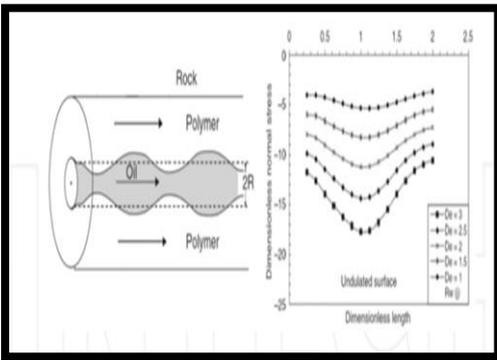
شكل 3:-يمثل كفاءة الازاحة الماكروية بواسطة الازاحة البوليميرية (a) تقليل الحركة النسبية (b) تقليل النفاذية النسبية للنفط بصورة اقل من المحلول المحقون (c) مقاومة عالية للجريان [15]



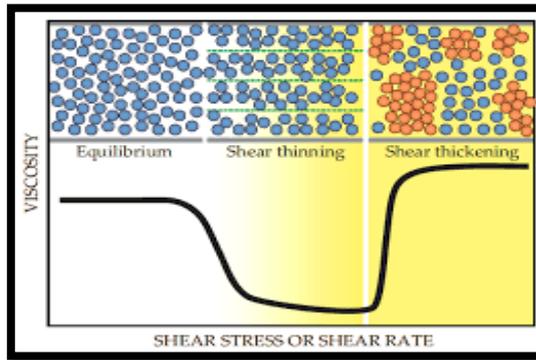
(a)



(b)

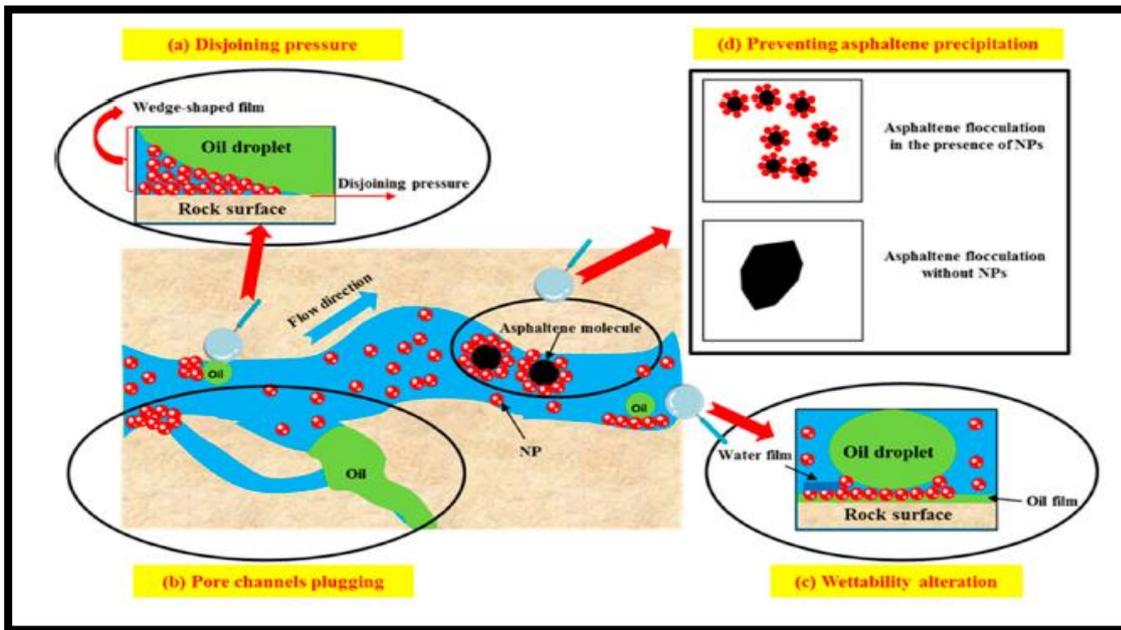


(c)

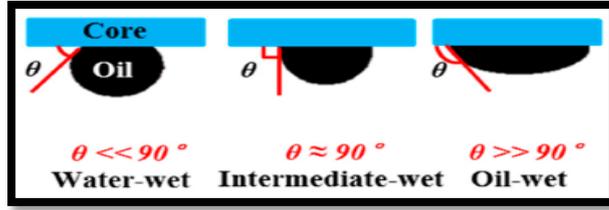


(d)

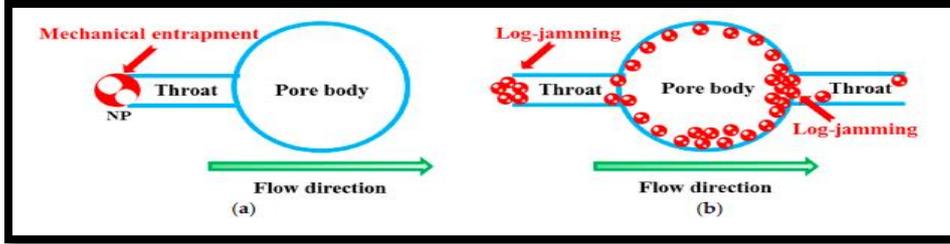
شكل 4: -يوضح كفاءة الكسح المايكروية بواسطة الازاحة البوليميرية



شكل 5: -يوضح اليات الدقائق النانوية في الوسط المسامي لإزاحة النفط



شكل6: -يوضح قابلية المحلول النانوي في تقليل زاوية التلامس لتقليل الشد البيني ما بين المائع المحقون والوسط المسامي



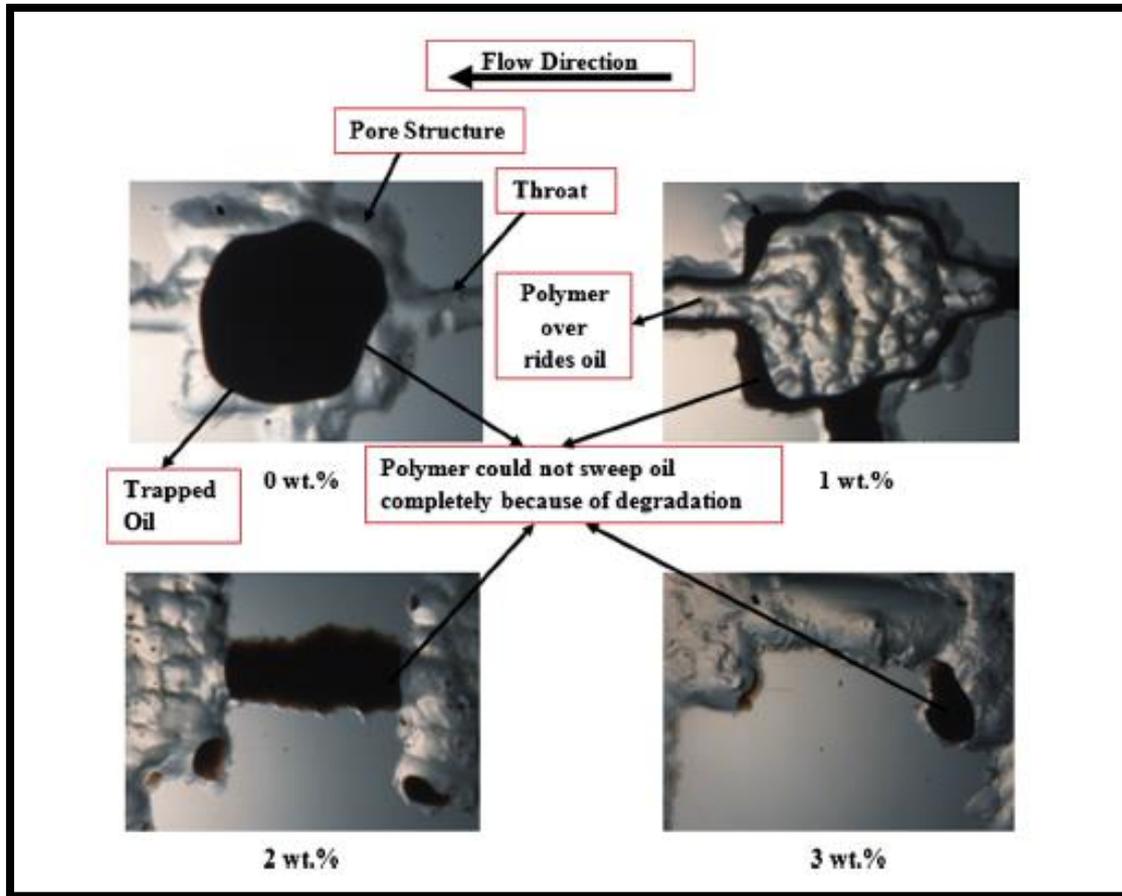
شكل 7:-توصيل القناة المسامية

ان عملية تحسين انتاج النفط المتبقي بواسطة استخدام المحلول المائي الحاوي على الدقائق النانوية تتحدد بواسطة الميكانيكيات التي يمتلكها النانو على توليد الضغط المنقطع (Disjoining pressure) [26] حيث ان هذا الضغط يتولد من الحركة البراونية وطاقات التناثر الالكتروستاتيكي ما بين الدقائق النانوية فتتولد بذلك طبقة على السطح المسامي الحاوي على النفط تمكنها من استخراج اكبر كمية ممكنة من النفط [27] كما مبين في شكل (5a), تعديل الترطيب (Wettability alteration) [28] حيث ان المحلول النانوي يقوم بتشكيل فيلم رقيق له القابلية على إزالة القطرات النفطية [29] كما مبين في شكل (5c). منع ترسب الأسفلتيني (Prevent asphaltene precipitation) [30] كما موضح في شكل (5d) حيث ان بعض الدراسات اثبتت فعالية الدقائق النانوية على الامتزاز على سطح القطرات النفطية ومنع ترسبها مما يسهل ازالتها من الوسط المسامي , تقليل الشد البيني (IFT) [31] حيث ان المحلول النانوي الذي يمتلك القابلية لتقليل زاوية التلامس لأقل من 90° يكون قادر لتحويل الترطيب من نفط-رطب الى ماء-رطب وبذلك يستخرج اكبر كمية ممكنة من النفط [32] كما مبين في شكل (6).

توصيل القنوات المسامية كما مبين في شكل (5b) [33] والذي ينتج بواسطة اما التدخل الميكانيكي (Mechanical entrapment) وذلك عندما يكون قطر الدقائق النانوية المستخدمة اكبر من قطر المسام الحلقى لذلك نقوم بعملية ضخ هواء على الوسط المسامي قبل استخدام المحلول النانوي لإزالة النفط كما مبين في شكل (7a) [34] او بواسطة (Log-jamming) حيث تعمل على غلق المسامات الحلقية من خلال تراكم وتجمع الدقائق النانوية عليها مما يؤدي الى زيادة الضغط عليها ويجبر النفط بقوة للخروج من المسام الحلقى [35] كما مبين في شكل (7b) وزيادة اللزوجة للمحلول وذلك بإضافة الدقائق النانوية له [36].

ان المحاليل البوليميرية تعاني من ظاهرة التحلل بفعل الظروف المكمنية من الملوحة، الحرارة العالية و الضغط [37]، لذلك ان عملية خلط النانو مع البوليمير لعمل محلول يستخدم لإزاحة النفط الموجود داخل الوسط المسامي ومقاومة الظروف المكمنية [38] كما مبين في شكل 8، حيث انه بزيادة التركيز النانوي المضاف يؤدي الى استخراج اكبر كمية ممكنة من النفط.

ان عمل محاكاة عددية بواسطة برنامج (Ansys) للمحاليل البوليميرية بعدم وجود وبوجود النانو لعملية إزالة النفط من المكمن النفطية عملية صعبة بسبب اختلاف الأعماق للمكمن النفطية [39]، اختلاف توزيع واشكال المسامات [40]، صعوبة عملية انتقال النفط من الجسم المسامي الى المسام الحلقى [41]، مقدرة احد السوائل لإزالة المائع الموجود داخل الوسط المسامي [42]، اختلاف النفاذية للوسط المسامي [43]، نقصان الشد البيني للمحلول المحقون الذي يؤدي لاستخراج اكبر كمية ممكنة من النفط [44] و تأثير زيادة اللزوجة للبوليمير في تحسين انتاج النفط [45].



شكل 8:- يوضح الية استخراج النفط من الوسط المسامي بواسطة البوليمير مع تراكيز مختلفة من النانووالذي يمنع التحلل الميكانيكي.

ب- الفن السابق

2016 تم استخدام البوليمير من خلال خلطه مع سوائل الحقن المستخدمة في تحسين انتاج النفط المتبقي من قبل [46]Saboorian-Jooybari and etal. 2017. تم دراسة الخواص الريولوجية والازاحة المختبرية للبوليميرات المترابطة الكارهة للماء (hydrophobically associated polyacrylamide copolymer) من قبل El-hoshoudy and etal [47]. 2018. تم خلط مانعات التوتر السطحي مع المحاليل النانوية من قبل Almahfood and etal [48] لدراسة قابليتها في تقليل الشد البييني وتعديل الترطيب لإزاحة اكبر كمية ممكنة من النفط.

في الوقت الحالي يتم استخدام الماء الملحي (Brine water) في مكامن جنوب العراق حيث ان هذه الطريقة تكون مكلفة , تحتاج كميات كبيرة من الماء , الوصول لنقطة الاختراق صورة سريعة , كمية النفط المستخرجة تكون قليلة مقارنة مع كمية الماء المصاحبة للنفط , عملية فصل الماء عن النفط تكون صعبة وتحتاج الى وقت وكلفة عالية بالإضافة الى انها عملية معقدة وانخفاض الضغط المكمني الذي يلاحظ من خلال كمية النفط القليلة المستخرجة .

ج-تفاصيل الفكرة

في البداية تم تحضير محلول ملحي (Brine water) , ثم تم تحضير خليط عبارة عن بوليمير البولي اكريل امايد بتركيز (1000,1500,2000 و2500) جزء من المليون مضاف الى كلا من الماء العادي (Tap water) والماء الملحي , بعد ذلك تم خلط بوليمير البولي اكريل امايد بتركيز (1000,1500,2000 و2500) جزء من المليون مع المحلول المائي النانوي من أكسيد الزنك بتركيز (0.005, 0.01 و0.05)% للاستفادة من الميكانيكيات التي يمتلكها البوليمر والنانو. كذلك للاستفادة منها في تقليل كمية الماء المستخرجة مع النفط، مقاومة الملوحة العالية، زيادة الضغط المكني وتقليل النفاذية النسبية للمادة البوليميرية المترابطة المستعملة بصورة أكبر من النفط. بعد تحضير الماء الملحي، المحلول المائي البوليميري والماء البوليميرية المترابطة من البوليمير والزنك او كسايدي نجرى عليها ثلاثة أنواع من الاختبارات. الاختبار الأول يعتمد على الفحوصات المختبرية لقياس الخواص الريولوجية، الفيزيائية والكيميائية للمواد المحضرة. الاختبار الثاني يعتمد على الفحوصات المكنية لقياس الخواص البتروفيزيائية للصخور المستخدمة كوسط مسامي. الاختبار الثالث الازاحة المختبرية بواسطة جهاز (Core Flooding). اما الاختبار الرابع فيعتمد على جانب المحاكاة العددية بواسطة (Ansys) وذلك لمعرفة قابلية المادة المحضرة في تقليل كمية التراكم الاصبعية المتكونة في منطقة الاتصال ما بين المائع المحقون والنفط الموجود في الوسط المسامي.

الجزء العملي

المواد المستعملة تشمل: -

- 1-بوليمر البولي اكريل امايد (Polyacrylamide)
- 2-ملح كلوريد الصوديوم Nacl salt
- 3-أكسيد الزنك النانوي (ZnO) Zinc Oxide
- 4-مانع التوتر السطحي (المشتت) Sodium Dodecyl Sulfate
- 5-الماء الملحي Brine water
- 6-النفط المختبري Experimental Oil
- 7-الصخور الرملية المستعملة كوسط مسامي

طريقة العمل

تحضير الماء الملحي

ان عملية تحضير الماء الملحي تتم من خلال خلط 20% من ملح كلوريد الصوديوم مع الماء العادي ويوضع على الخلاط المغناطيسي (Magnetic stirrer) لمدة (15-12) دقيقة للحصول على اذابة تامة. ان كمية كلوريد الصوديوم اخذت كمعدل لجميع مكامن جنوب العراق. قبل البدء بعملية خلط ملح كلوريد الصوديوم مع الماء العادي نقوم بفلتره الماء العادي لإزالة الشوائب الصغيرة العالقة التي تسبب انسداد مسامات الصخرة وتؤثر على خواصها.

تحضير النفط المختبري

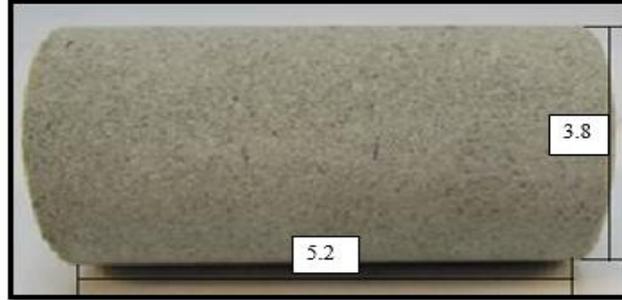
يتم تحضير النفط المختبري بلزوجة وخواص كما مبين في جدول 1، والتي تكون مشابهه للنفط الموجود في المكامن النفطية في جنوب العراق حيث يتم خلط كلا من الكيروسين والتورباين مع بعض. هذا النوع من النفط المحضر مختبريا لا يحتوي على كبريت , فوسفات ولا كازولين لأنها مواد ثقيلة تعمل على انسداد مسامات الصخور المستعملة وبالتالي صعوبة في عملية استخراج النفط. بعد التحضير نقوم بفلتره النفط بواسطة ورق الترشيح لإزالة المواد العالقة التي تسبب مشاكل للصخور المستخدمة.

جدول 1:- خواص النفط المستخدم

ASTM	API	اللزوجة (Cp)	الكثافة (g/cm ³)	النفط المختبري بدرجة
D-445	190	3.205	0.9979	25C°
D-445	190	2.835	0.9976	30C°
D-445	190	2.588	0.9951	35C°

تهيئة الصخرة

حيث اخذت نماذج صخرية من أعماق ومواصفات مختلفة من المكامن النفطية في جنوب العراق. يتم تقطيعها بأحجام مبينة في الجدول (2 و3) على التوالي وبهيئة حسب شكل9. بعد ذلك تغسل بمادة التلوين والميثانول لتنظيفها جيدا وإزالة بقايا المواد الهيدروكربونية العالقة حيث تستمر فترة التجفيف لمدة (7-10) أيام. بعدها توضع في فرن التجفيف لمدة (24) ساعة بدرجة (125) م° للحصول على تجفيف تام. خلال هذه المرحلة فإن تهيئة الصخرة لفحص المسامية والنفاذية والازاحة المختبرية تكون جاهزة.



شكل 9:- يبين شكل وابعاد الصخرة الرملية المستعملة بوحدة (cm) في جهاز الازاحة المختبرية Core Flooding

جدول 2:- خواص الصخرة الأولى (Core1)

البيانات	الخواص
رملية	نوع الصخرة
الناصرية	نوع المكنن
2020.25	العمق الذي قطعت منه الصخرة (م)
5.2	طول النموذج(سم)
3.8	قطر النموذج (سم)

جدول 3:- خواص الصخرة الثانية (Core2)

البيانات	الخواص
رملية	نوع الصخرة
الناصرية	نوع المكنن
2035.14	العمق الذي قطعت منه الصخرة (م)
5.2	طول النموذج(سم)
3.8	قطر النموذج (سم)

تحضير المحلول المائي البوليمري

يتم تحضير المحلول المائي البوليميري من البولي اكريل امايد الذي له خواص مبينة حسب جدول 4, بنسب (1000, 1500, 2000 و2500) جزء من المليون مع كل من الماء العادي والملحي ثم يوضع على الخلاط المغناطيسي لمدة (40) دقيقة للحصول على اذابة تامة لدقائق المادة. يترك المحلول لمدة يوم -يومين قبل اجراء الفحوصات المختبرية

جدول 4:- خواص البولي اكريل امايد المستخدم

البيانات	الخواص
$(C_3H_5NO)_n$	الصيغة الجزيئية
3000000	الوزن الجزيئي (غم/مول)

1.182	الكثافة (غم/سم ³)
159	نقطة التحول الزجاجي (C°)
390	نقطة الانصهار (C°)

جدول 5:- خواص أكسيد الزنك النانوي المستخدم

البيانات	الخواص
4.1	الكثافة (غم/سم ³)
98.8	النقاوة (%)
30±5	الحجم الحبيبي (nm)

جدول 6:- خواص Sodium Dodecyl Sulfate

البيانات	الخواص
CH ₃ (CH ₂) ₁₁ OSO ₃ Na	الصيغة الكيميائية
288.36	الوزن الجزيئي (غم/مول)
باوذر	الشكل
مشتت	الاستعمال
0.99	الكثافة (غم/سم ³)

تحضير المحلول المائي النانوي مع البوليمر

يتم خلط أكسيد الزنك النانوي مع كل من الماء العادي والملحي ويوضع بعدها على الخلاط المغناطيسي لمدة (20) دقيقة حيث نلاحظ انتشار الدقائق النانوية في المحلول. بعد ذلك نقوم بإضافة مشتت الدقائق النانوية SDS بنسب حسب جدول 5. بعدها يوضع المحلول على الخلاط المغناطيسي لمدة (15-20) دقيقة فنحصل على محلول حليبي ذات رغوة تملأ سطح المحلول تشير إلى حصول تشتيت للدقائق النانوية داخل المحلول. للحصول على تشتيت كامل نقوم بوضع المحلول في جهاز الموجات فوق الصوتية لمدة (30) دقيقة بطاقة (50) باسكال ودرجة حرارة مابين (25-50) س°. بعد تحضير المحلول المائي النانوي يتم خلط معه بوليمر البولي اكريل اميد بنسب (1000, 1500, 2000 و 2500) جزء من المليون ويوضع بعدها على الخلاط المغناطيسي لمدة (15-30) دقيقة.

جدول 7:- النسب الوزنية لتحضير المحلول النانوي من الزنك اوكسايدي

Aqueous Solution (50)ml	Weight Ratio (%)	ZnO (g)	SDS (g)
Tap water	0.005	0.0025	0.005
Tap water	0.01	0.005	0.01
Tap water	0.05	0.025	0.05
Tap water	0.1	0.05	0.1
Tap water	0.2	0.1	0.2
Tap water	0.3	0.15	0.3
Brine water	0.005	0.0025	0.005
Brine water	0.01	0.005	0.01
Brine water	0.05	0.025	0.05
Brine water	0.1	0.05	0.1
Brine water	0.2	0.1	0.2
Brine water	0.3	0.15	0.3

الفحوصات المختبرية

قياس الخواص الريولوجية

تم اجراء هذه الفحوصات في كلية هندسة المواد

-:Cone – plate Viscometer

يستخدم هذا الجهاز في اجراء الفحوصات الريولوجية للمحاليل المائية المحضرة من خلال الاعتماد عليه لإعطاء قيم للزوجية القصية مع زيادة معدل القص ما بين S^{-1} (25-250), مراقبة تصرف اللزوجة القصية مع كمية الملح المضافة , تأثير زيادة التراكيز على اللزوجة كما مبين في نتائج اللزوجة القصية (viscosity curve) شكل (10-15). كذلك معرفة تأثير زيادة معدل القص ما بين S^{-1} (25-250) على اجهاد القص كما مبين في نتائج منحنيات الجريان (flow curve) كما اظهرت في شكل (16-20). بالإضافة الى دراسة تأثير الحرارة على اللزوجة القصية (of effect temperature on shear viscosity) كما مبين في شكل (21-25)

قياس الخواص الفيزيائية

تم اجراء هذه الفحوصات في كلية هندسة المواد . النتائج مبينة في جدول (9و8).

- :الكثافة (Density)

يتم فحص كثافة المحاليل المحضرة بواسطة جهاز فحص الكثافة بمواصفات (-) GP-120 S based on ASTM D- (792 from China).

- :الشد السطحي (Surface tension)

يتم قياس الشد السطحي والشد البيني لجميع المحاليل المحضرة بواسطة جهاز الشد السطحي بمواصفات (-) JZYW- 200B Automatic Interface Tensiometer provided through BEING UNITED TEST CO., (LTD china)

قياس الخواص الكيميائية

تم اجراء هذه الفحوصات في كلية هندسة المواد . النتائج مبينة في جدول (9و8).

رقم الاس الهيدروجيني PH

يتم قياس رقم الاس الهيدروجيني لجميع المحاليل لمعرفة قادية او تعادل المحاليل من خلال استخدام جهاز رقم الاس الهيدروجيني بمواصفات () WTW, type Inolab 720. Technical Specification: 4X Alkaline AA, 1,5V. PH range: 2.000 to 19.99. Temperature: -5 to 105 C°. Housing (D) x (H) x (W): 23x8x21, 5cm)

الفحوصات المتقدمة

فقد تم اجراء فحوصات الاشعة تحت الحمراء وحيود الاشعة السينية للبولي اكريل امايد واوكسيد الزنك النانوي (شكل 29-26) يوضح ذلك. كما تم اجراء فحص بمجهر الماسح الالكتروني للزنك اوكساييد النانوي (شكل 30) يوضح ذلك

قياس الخواص البتر وفيزيائية (Petro physical properties) - :

تم اجراء هذه الفحوصات في شركة نفط البصرة -قسم البحوث والسيطرة النوعية / نهران عمر. النتائج مبينة في جدول (10).

Ø (porosity) فحص المسامية

بعد تحضير النماذج الصخرية يتم قياس المسامية بواسطة جهاز المسامية ذات المواصفات المبينة

1- حيث يتم قياس مسامية الصخرة عن طريق تسليط غاز الهليوم على الصخرة الجافة ويتم قياس وزنها بهذه الحالة. يستخدم غاز الهليوم بسبب صغر حجم جزيئاته بحيث تستطيع المرور من خلال ادق المسامات، ذات كتلة صغيرة بحيث يستطيع الدخول داخل أصغر المسامات حجما وقابليته على الالتصاق بسطح الصخور كبير.

2- تشبع الصخرة بواسطة الماء الملحي الذي تم تحضيره ثم توزن في الهواء.

3-يتم وضع النموذج الصخري داخل حاوية مملوءة بنفس الماء الملحي المحضر وتوزن أيضا.

حيث يتم إيجاد المسامية من المعادلات التالية: -

$$Pore Volume (PV)\% = \frac{Weight\ of\ Dried\ Stone\ in\ Air - Weight\ of\ Dried\ Stone\ unsaturated\ with\ air}{Density} \dots\dots(1)$$

Pore Volume = الحجم المسامي

Weight of dried stone in air = وزن الصخرة الجافة وهي مشبعة بالهواء

Weight of dried stone = وزن الصخرة وهي جافة

Density = كثافة

$$Total Volume = \frac{Weight\ of\ Saturated\ Dried\ Stone\ in\ Accumulative - Weight\ of\ Dried\ Stone}{Density} \dots\dots(2)$$

Total volume = الحجم الكلي للصخرة

Weight of saturated dried stone in accumulative الحاوية = وزن الصخرة الجافة المشبعة بالماء الملحي داخل الحاوية

Weight of dried stone = وزن الصخرة وهي جافة

Density = الكثافة

$$Porosity(\emptyset) = \frac{Pore\ Volume\ (PV)}{Total\ Volume} \times 100\% \dots\dots(3)$$

فحص النفاذية (Permeability) K

حيث يتم فحص النفاذية بواسطة جهاز (Ultra Perm 550) للغاز والسوائل بتطبيق قانون دارسي.

1-يتم فحص النفاذية للغاز (Ka) حيث يوضع نموذج الصخرة الجاف داخل حامل الصخرة (Core Holder) ويسلط عليه ضغط بقدر يعادل الضغط الطبقي بعدها يتم تسجيل معدل جريان الهواء (Q) داخل النموذج ثم تجري الحسابات اللازمة حسب قانون دارسي.

2-يتم قياس النفاذية للسوائل سواء كان ماء ملحي او النفط من خلال

a) يتم تشبييع نموذج الصخرة الجاف بواسطة الماء الملحي وبهذا تكون الصخرة مشبعة (100) % بواسطة الماء الملحي. يطلق على هذه الحالة للصخرة التشبييع الصخرة بالماء (Sw (Water Saturation). بعد ذلك يتم وضع نموذج الصخرة المشبعة داخل حامل الصخرة ويتم إزاحة الماء الملحي بواسطة النفط المختبري لإزالة الماء الملحي وتشبييع الصخرة بالنفط المختبري . يتم تسليط ضغط مقارب الى ضغط البطانة ويسجل معدل جريان السائل داخل النموذج ويحسب وفقا الى قانون دارسي وفقا للمعادلة التالية :-

$$K = \frac{245L\mu V}{APT} \dots \dots \dots (4)$$

=K النفاذية

=μ لزوجة المائع او الغاز

=L طول النموذج

=V حجم الغاز او السائل المزاح

=A مساحة الصخرة

=P الضغط المسلط على الصخرة

=T درجة الحرارة

(b) بعد إزاحة الماء الملحي بواسطة النفط المختبري تبقى الصخرة محتفظة بجزء من الماء لا يمكن ازالته يدعى الماء الازلي (Swi) ويمكن حسابه من المعادلة التالية

$$Swi\% = 100 - Soi\% \dots (5)$$

Swi = الماء الازلي الذي لا يمكن ازالته

Soi = التشبع الابتدائي للصخرة بالنفط

(c) يمكن حساب التشبع الابتدائي للصخرة بالنفط من خلال المعادلة التالية :-

$$Soi = \frac{Water\ Product}{Pore\ Volume(PV)} \times 100\% \dots \dots (6)$$

قياس الازاحة المختبرية بواسطة (Core Flooding test) :-

تم اجراء هذه الفحوصات في شركة نفط البصرة -قسم البحوث والسيطرة النوعية / نهران عمر. النتائج مبينة في جدول (10).

بعد قياس المسامية والنفاذية للصخرة يتم فحص قابلية السوائل المستعملة في إزاحة النفط الذي تشبعت به الصخرة. يتم استعمال ماء ملحي او أي محلول كيميائي في إزاحة النفط بطريقة تدعى بكلي ليفرت (Buckley Luvert) وهي طريقة الحالة المستقرة (steady) حيث يكون فيها ضغط الحقن ثابت وسرعة الجريان متغيرة بحيث يكون الضغط في هذه الحالة نفس الضغط الطبقي . تدعى هذه المرحلة بالتهيئة (Conditioning).

بعد بدء عملية الازاحة المختبرية وضبط الضغط بحيث يكون معدل الجريان ثابت بكمية (6) سم³/دقيقة , نحسب الوقت وكمية النفط المزاح لحين ظهور اول قطرة ماء مع النفط , عند هذه النقطة التي تدعى نقطة الاختراق (Break through) . حيث ان المواد الكيميائية المحقونة تثبت كفاءتها في زيادة الوقت لحين الوصول لهذه النقطة.

بعد هذه النقطة تستمر الازاحة حيث يكون النفط المزاح معه ماء أي يدعى نفط رطب وتستمر العملية الى ان يصبح الماء المنتج الى الحجم الكلي 99.9% وحسب العلاقة التالية :-

$$Water\ cut = \frac{Water\ read}{Total(water + oil)} \times 100\% \dots (7)$$

water cut = النسبة المئوية لمجموع الماء المستخرج من الصخرة

water read = كمية الماء المستخرج مع النفط

total (water+oil) = مجموع كمية (الماء+ النفط) المستخرج خلال الازاحة

بعد ذلك نحسب كمية النفط المنتج من خلال المعادلة التالية :-

$$Oil\ Recovery = \frac{Oil\ Production}{Initial\ Oil\ in\ Place\ (Soi)} \dots \dots (8)$$

النتائج والمناقشة

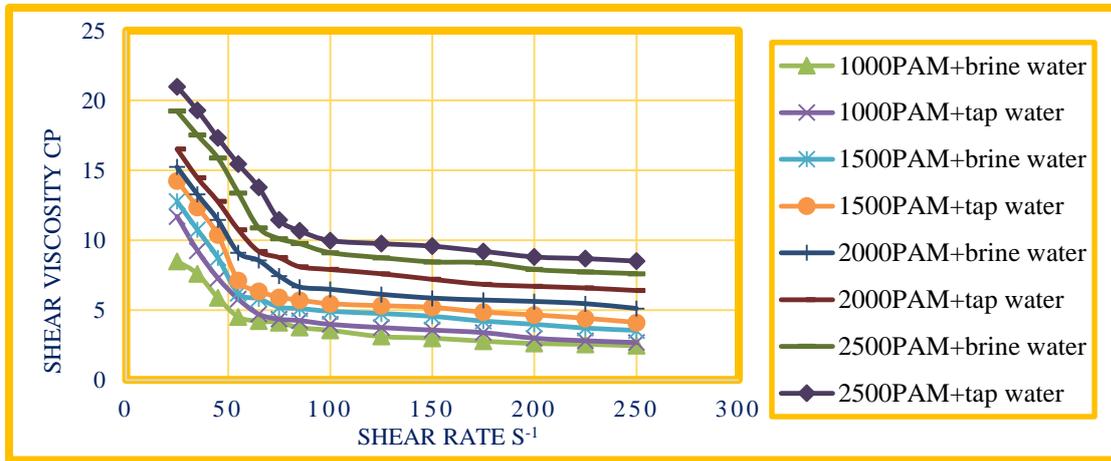
النتائج العملية

النتائج الريولوجية

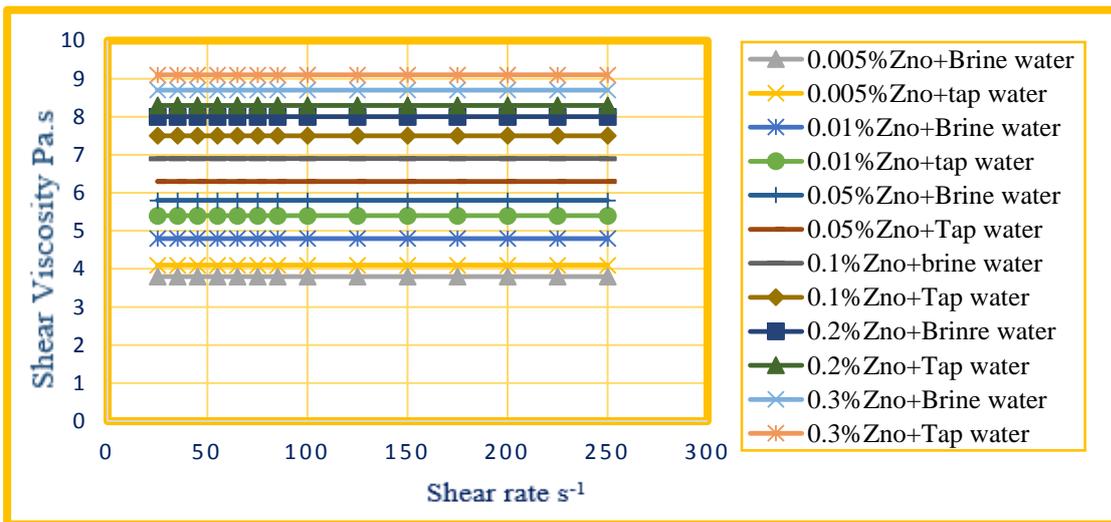
منحنيات اللزوجة القصية (Shear Viscosity Curve)

شكل 10, يوضح تصرف منحنيات اللزوجة القصية مع زيادة معدل القص للتركيز البوليمرية من البولي اكريل امايد بدرجة حرارة (35-52) س°. التصرف اللانويوني يبدو واضح بزيادة التركيز (1000, 1500, 2000, 2500) جزء من المليون من البولي اكريل امايد المضافة الى الماء العادي والملحي بسلوك (shear thinning). اللزوجة القصية تتضمن نقصان سريع ومفاجئ بزيادة معدل القص ما بين (25-100) ثانية⁻¹ بعدها يصبح تصرف منحنيات اللزوجة قريب الى المحاليل النيوتنية بزيادة معدل القص ما بين (100-250) ثانية⁻¹. ان قيم منحنيات اللزوجة القصية لمحاليل البولي اكريل امايد المذابة في الماء الملحي تبدو اقل لزوجة مقارنة بتلك المذابة في الماء العادي.

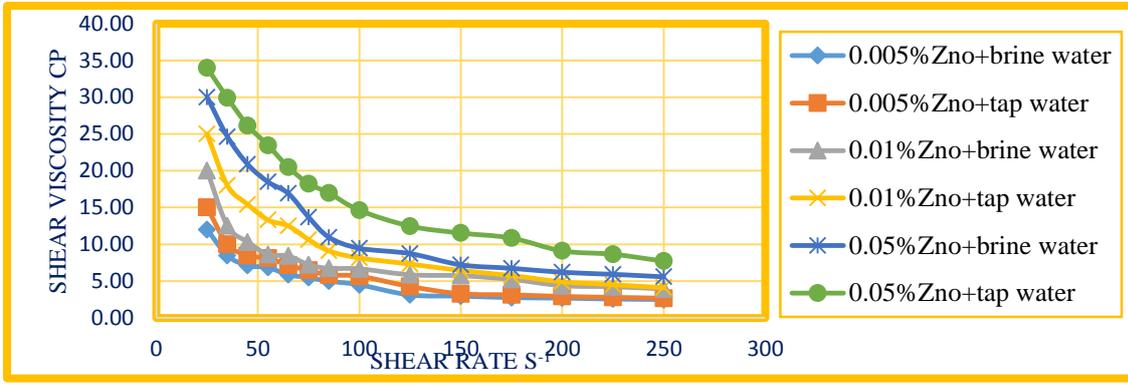
ان زيادة التركيز البوليمرية من البولي اكريل امايد تؤدي الى تكوين محلول يشبه الجل والذي يكون مفيد جدا في عمليات تحسين انتاج النفط المتبقي في الأوساط المسامية حيث يكون لها دور كبير وفعال في التقليل من تكوين التراكيب الاصعبية التي لها دور غير إيجابي في استخراج النفط. هذه النتائج الريولوجية تتوافق مع الظروف الممكنة لتحسين انتاج النفط.



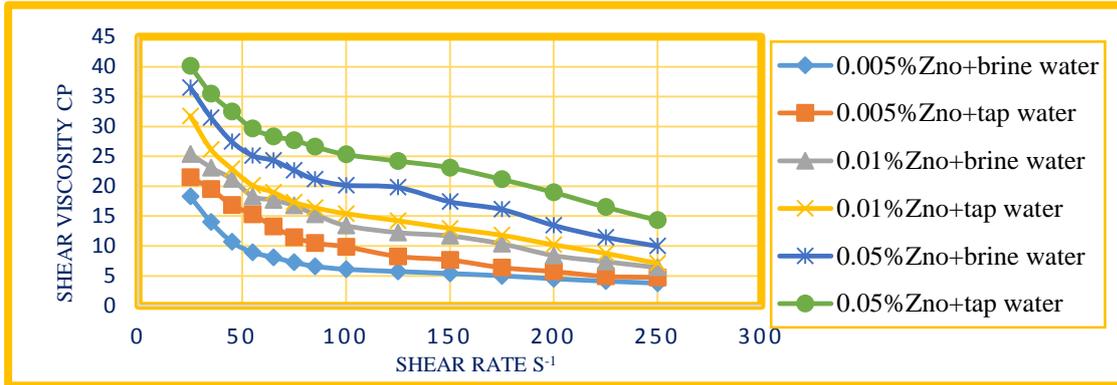
شكل 10: -منحني اللزوجة القصية مع معدل القص لمحاليل بوليميرية بتركيز مختلفة



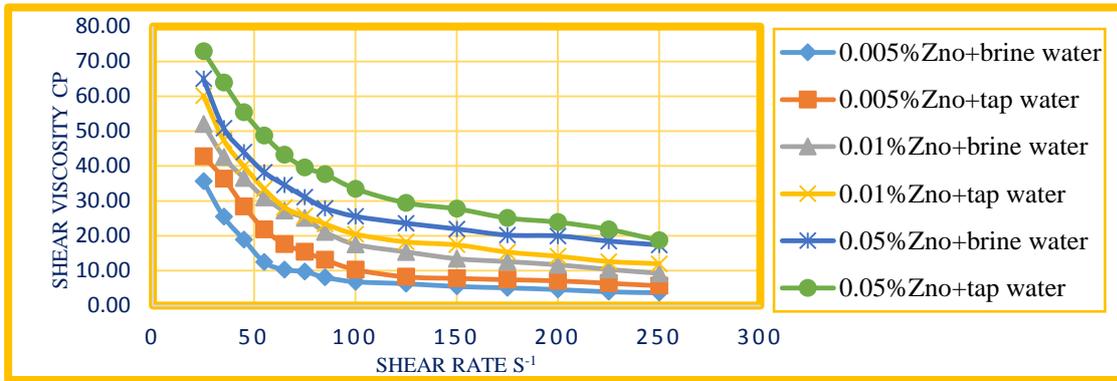
شكل 11: - منحني اللزوجة القصية مع معدل القص لمحاليل الزنك اوكسايد النانوي بتركيز مختلفة



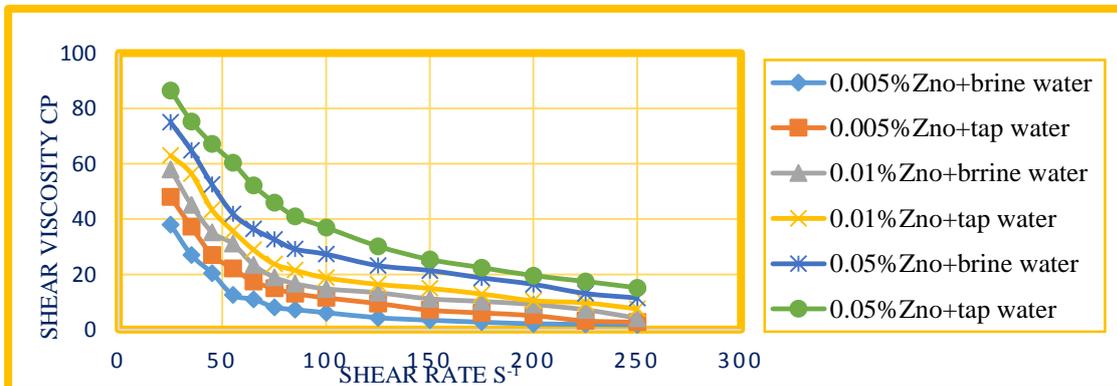
شكل 12:-منحني اللزوجة القصية مع معدل القص للبولي اكريل اميد بتركيز (1000) جزء من المليون مضاف الى محلول الزنك او كساييد بتر اكينز مؤية مختلفة



شكل 13:-منحني اللزوجة القصية مع معدل القص للبولي اكريل اميد بتركيز (1500) جزء من المليون مضاف الى محلول الزنك او كساييد بتر اكينز مؤية مختلفة



شكل 14:-منحني اللزوجة القصية مع معدل القص للبولي اكريل اميد بتركيز (2000) جزء من المليون مضاف الى محلول الزنك او كساييد بتر اكينز مؤية مختلفة



شكل 15:- منحنى الزوجة القصية مع معدل القص للبولي اكريل امايد بتركيز (2500) جزء من المليون مضاف الى محلول الزنك ووكسايد بتراكيز مؤية مختلفة

شكل 11, من خلال هذا الشكل نلاحظ اختلاف التصرف الريولوجي للمحاليل النانوية المحضرة التي تمتاز بسلوك للزوجة الثابت مع زيادة معدل القص. هذا السلوك يشير الى التصرف النيوتني والذي يختلف عن المحاليل البوليميرية المحضرة بدون إضافة النانو حسب شكل 10.

من خلال الشكل 12, نلاحظ انه عملية خلط البوليمر (1000) جزء من المليون مع المحاليل النانوية المحضرة يؤدي الى زيادة اللزوجة القصية. حيث ان عملية زيادة لزوجة المحاليل المحضرة لها دور كبير لتحسين انتاج النفط الموجود في المكامن النفطية. نلاحظ منحنيات اللزوجة القصية بتصرف قريب الى المحاليل النيوتنية يبدو واضح عند معدل القص العالي ما بين (100-250) ثانية¹ ولكن مع معدل القص القليل ما بين (25-100) ثانية¹ فان السلوك اللانويوني يبدو واضح لجميع منحنيات اللزوجة القصية بسلوك (shear thinning) والذي يزداد بزيادة اللزوجة القصية من الناحية الأخرى فان هذا التصرف مفيد في عمليات انتاج النفط حيث ان المحاليل المحضرة تدخل الى الوسط المسامي باقل معدل قص. من الناحية الأخرى نلاحظ انه اللزوجة القصية للمحاليل النانوية بوجود البوليمر المحضرة بواسطة الماء الملحي اقل من تلك المحضرة بواسطة الماء العادي. من الناحية الأخرى فان منحنى اللزوجة هذا يبدو بتصرف نيوتني ولزوجة اعلى من المحاليل البوليميرية المحضرة بدون إضافة النانو لها كما مبين في شكل 10 و 11.

الشكل (13) يوضح انه بزيادة معدل القص ما بين (25-250) ثانية¹ فان منحنيات اللزوجة القصية تنقسم الى منطقتين بالنسبة لجميع المحاليل النانوية المحضرة من الماء العادي والملحي مضاف لها نسب مختلفة من أوكسيد الزنك النانوي مع بوليمر بتركيز (1500) جزء من المليون من البولي اكريل امايد. معدل القص عندما يكون اقل (100) ثانية-افان التصرف اللانويوني يبدو واضح لجميع منحنيات اللزوجة القصية اما اكبر من (100) ثانية¹ فان التصرف النيوتني يبدو واضح لجميع منحنيات اللزوجة القصية تحضير محلول مائي من (0.05)% من أوكسيد الزنك النانوي مع (1500) جزء من المليون من البولي اكريل امايد يعطي اعلى تصرف لانويوني بسلوك (shear thinning) مقارنة بالنسب النانوية الأخرى وبالمحاليل المحضرة حسب شكل (11 و 12) على الترتيب. كما ان المحاليل النانوية الملحية المحضرة حسب شكل (13) تمتاز بلزوجة قصية اقل من تلك المحضرة بالماء العادي.

الشكل 14, يوضح ان اللزوجة القصية لا تعتمد على زيادة معدل القص ما بين (100-250) ثانية¹ حيث تتصرف بشكل اقرب لسلوك المحاليل اللانويونية. اما عندما يكون معدل القص اقل من (100) ثانية¹ تتصرف بشكل محاليل لانويونية بسلوك (shear thinning) حيث ان هذا التصرف يزداد لجميع المحاليل النانوية المحضرة من الماء العادي والملحي مضاف لها نسب مختلفة من أوكسيد الزنك النانوي مع بوليمر بتركيز (2000) جزء من المليون من البولي اكريل امايد مع ملاحظة ان المحاليل النانوية الملحية لزوجتها اقل من تلك المحضرة بواسطة الماء العادي كما مبين في الشكل (13). ان سلوك (shear thinning) لهذا المحلول اعلى من تلك المحاليل المحضرة حسب شكل (10-13) على التوالي.

هذا الشكل 15, يبين ان اللزوجة القصية تقل مع زيادة معدل القص لجميع المحاليل النانوية المحضرة من الماء العادي والملحي مضاف لها نسب مختلفة من أوكسيد الزنك النانوي مع بوليمر بتركيز (2500) جزء من المليون من البولي اكريل امايد كما مبين في الشكل (15). نلاحظ ان بزيادة معدل القص ما بين (25-100) ثانية¹ فان التصرف اللانويوني يبدو واضح لجميع منحنيات اللزوجة القصية بسلوك (shear thinning) والذي يزداد بزيادة أوكسيد الزنك النانوي المضاف ولكنه يقل عند الاذابة بواسطة المحلول الملحي لجميع التراكيز. بزيادة معدل القص (100-250) ثانية¹ نلاحظ استقرارية منحنيات اللزوجة بسلوك مقارب الى التصرف النيوتني. ان إضافة هذه النسبة من البوليمر الى المحاليل النانوية المحضرة يعطي اعلى لزوجة قصية كما ان التصرف اللانويوني بسلوك (shear thinning) ويكون اعلى من بقية التراكيز المحضرة حسب شكل (10-14) على التوالي.

منحنيات الجريان (Flow Curves)

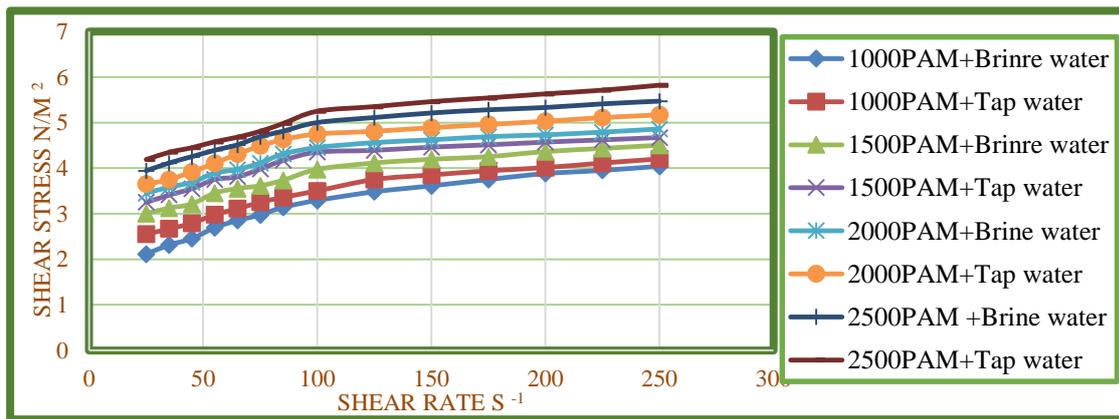
الشكل 16, الذي يوضح زيادة اجهاد القص مع زيادة معدل القص لجميع المحاليل البوليميرية المحضرة من اذابة البولي اكريل امايد بتراكيز (1000, 1500, 2000 و 2500) جزء من المليون مع الماء العادي والملحي الذي يعطي اجهاد قص اقل من تلك المحضرة بالماء العادي. مع زيادة التراكيز البوليميرية المضافة فان منحنيات الاجهاد القصي تكون اكثر مقاومة لزيادة معدل القص من اقل الى اعلى تركيز بتصرف غير خطي كما مبين في الشكل (16).

تركيز (2500) جزء من المليون من البولي اكريل امايد يعطي اعلى مقاومة لاجهاد القص مع زيادة معدل القص لذلك فهو اكثر ملائمة للاستخدام في عمليات تحسين انتاج النفط بطريقة إضافة البوليمير.

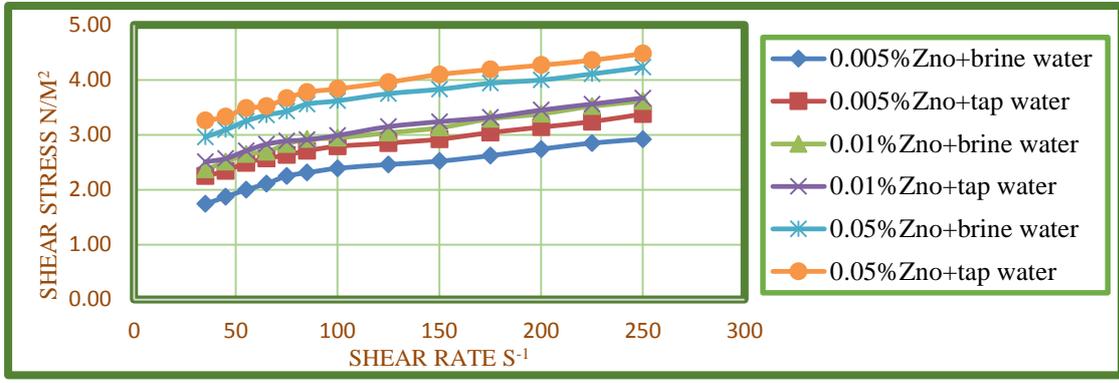
شكل (17) , يبين زيادة معدل القص فانه يؤدي الى زيادة اجهاد القص بصورة لا خطية لجميع المحاليل المحضرة من إضافة (1000) جزء من المليون من البولي اكريل امايد الى المحاليل النانوية لاوكسيد الزنك المحضرة حسب هذا الشكل مع الماء العادي والملحي , حيث نلاحظ ان المحاليل المحضرة مع الماء العادي تكون اكثر مقاومة لزيادة معدل القص مقارنة بتلك المحضرة مع الماء الملحي . السلوك اللاخطي يبدو واضح لجميع المحاليل وينقسم الى منطقتين. المنطقة الأولى تنتهي عند معدل القص (100) ثانية⁻¹ ويكون بصورة سريعة. اما المنطقة الثانية ما بين (100-250) ثانية⁻¹ تكون بصورة بطيئة وتميل ان تكون خطية.

من خلال الشكل نلاحظ ان اجهاد القص يزداد بزيادة التراكيز وان اجهاد القص القليل يبدو واضح عند معدل القص القليل وهذا يلائم عمليات استخراج النفط, كما ان قيم اجهاد القص بهذه الحالة تكون اعلى من تلك المحضرة حسب شكل (16).

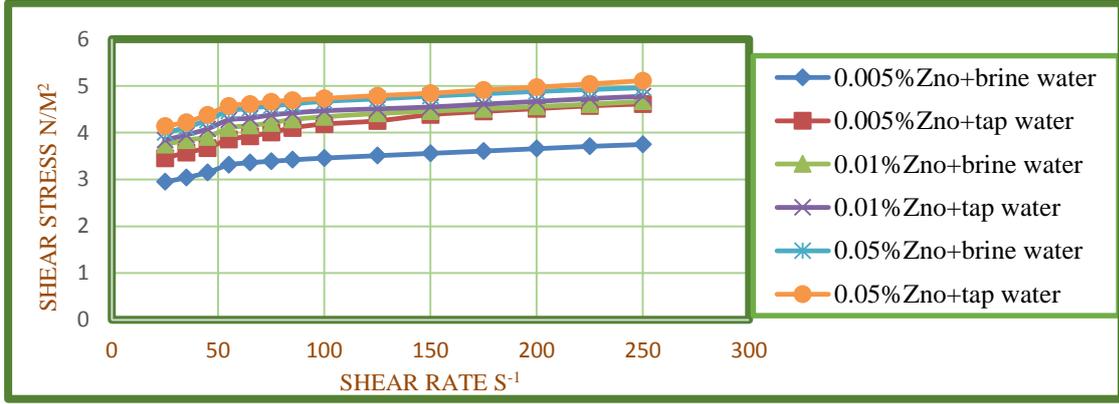
من خلال الشكل 18, يوضح انه زيادة معدل القص من (100) ثانية⁻¹ فما فوق يؤدي الى زيادة اجهاد القص للمحاليل بصورة خطية حيث ان المحاليل تميل ان تكون نيوتنية بهذه المنطقة. لكن عندما يكون معدل القص اقل من (100) ثانية⁻¹ نلاحظ ان اجهاد القص يزداد بصورة سريعة وبشكل لاخطي حيث ان هذا السلوك يرجع الى التصرف اللانيوتني للمحاليل بهذه المنطقة. ان عملية اذابة أوكسيد الزنك النانوي مع الماء العادي بنسب حسب شكل (17) ومن ثم خلطه مع البولي اكريل امايد بتركيز (1500) جزء من المليون نحصل على اجهاد قص اعلى من المحاليل المحضرة بالماء الملحي وبنفس النسب. كما ان اجهاد القص الذي نحصل عليه من المحاليل المحضرة أعلاه يكون اعلى من تلك المحضرة حسب شكل (16 و17) على الترتيب. من خلال الشكل 19, الذي يبين ان مع زيادة معدل القص ما بين (25-250) ثانية⁻¹ فانه يؤدي الى زيادة اجهاد القص بصورة لا خطية وهذه الزيادة تبدو واضحة بشكل اكثر مع إضافة البوليمر الى المحاليل النانوية. حيث ان إضافة (2000) جزء من المليون من البولي اكريل امايد للمحاليل النانوية المحضرة حسب هذا الشكل فهو يعطي اجهاد قص اعلى من تلك المحاليل النانوية المحضرة حسب شكل (16-18) على الترتيب. بالإضافة الى ذلك فان منحنيات الاجهاد القصي للمحاليل المحضرة بواسطة الاذابة بالماء الملحي اقل من تلك المحضرة بواسطة الماء العادي ولجميع التراكيز. من خلال الشكل نلاحظ زيادة سريعة ومفاجئة مع سلوك لاخطي لمنحنيات اجهاد القص عندما يكون معدل القص اقل من (100) ثانية⁻¹ حيث يشير ذلك الى التصرف اللانيوتني في تلك المنطقة , اما عندما يكون معدل القص اعلى من (100) ثانية⁻¹ نلاحظ ان جميع منحنيات اجهاد القص تزداد بصورة بطيئة وخطية حيث يشير ذلك الى وصول المادة لحالة مقاربة الى السلوك النيوتني .



شكل 16:- يبين اجهاد القص مع معدل القص لمحلول البولي اكريل امايد بتركيز مختلفة

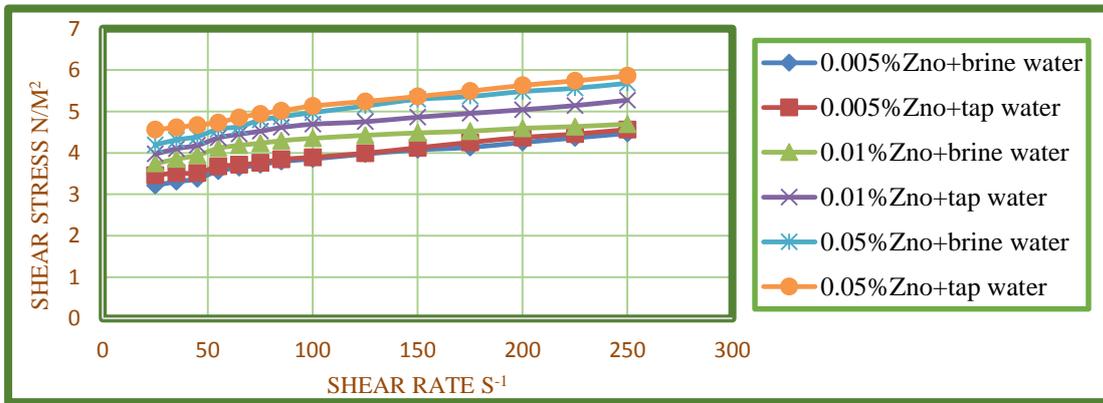


شكل 17:- يبين اجهاد القص مع معدل القص لمحلول الزنك اوكساييد النانوي مع البولي اكريل امايد بتركيز (1000) جزء من المليون

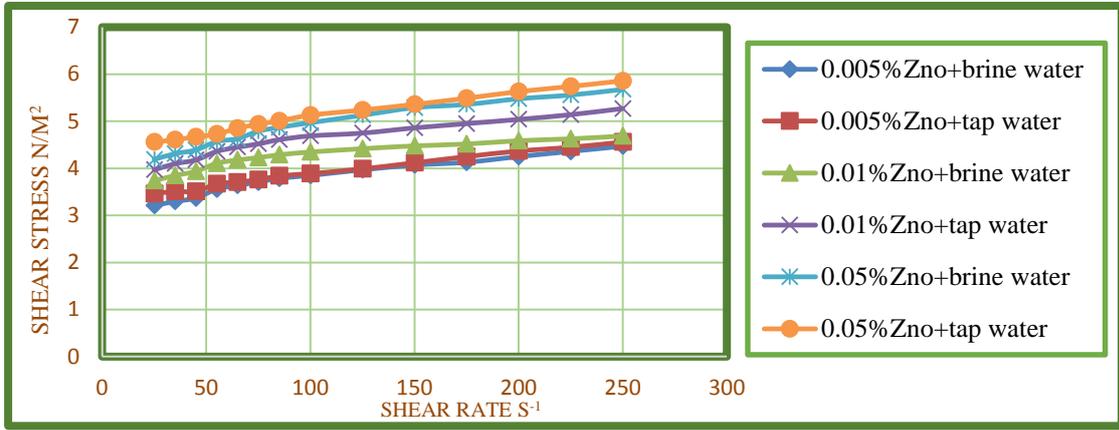


شكل 18:- يبين اجهاد القص مع معدل القص لمحلول الزنك اوكساييد النانوي مع البولي اكريل امايد بتركيز (1500) جزء من المليون

من خلال الشكل 20، نلاحظ انه التصرف الانبوتني يبدو بشكل واضح من خلال السلوك العام لجميع منحنيات الجريان حيث انه بزيادة معدل القص وصولا الى (100) ثانية⁻¹ فانه يعطي سلوك لاخطي بعد (100) ثانية⁻¹ فان السلوك الخطي يبدو واضح في تلك المنطقة. زيادة اجهاد القص لمقاومة انفعال القص تزداد مع إضافة البولي اكريل امايد بتركيز (2500) جزء من المليون الى المحاليل النانوية المحضرة من أوكسيد الزنك مع الماء العادي والملحي. ان المحاليل الملحية النانوية مع البولي اكريل امايد اقل مقاومة لانفعال القص مقارنة بتلك المحضرة مع الماء العادي. بالإضافة الى ذلك منحنيات الجريان حسب هذا الشكل تكون اعلى من بقية منحنيات الجريان بالنسبة للأشكال (16-19) على الترتيب.



شكل 19:- يبين اجهاد القص مع معدل القص لمحلول الزنك اوكساييد النانوي مع البولي اكريل امايد بتركيز (2000) جزء من المليون

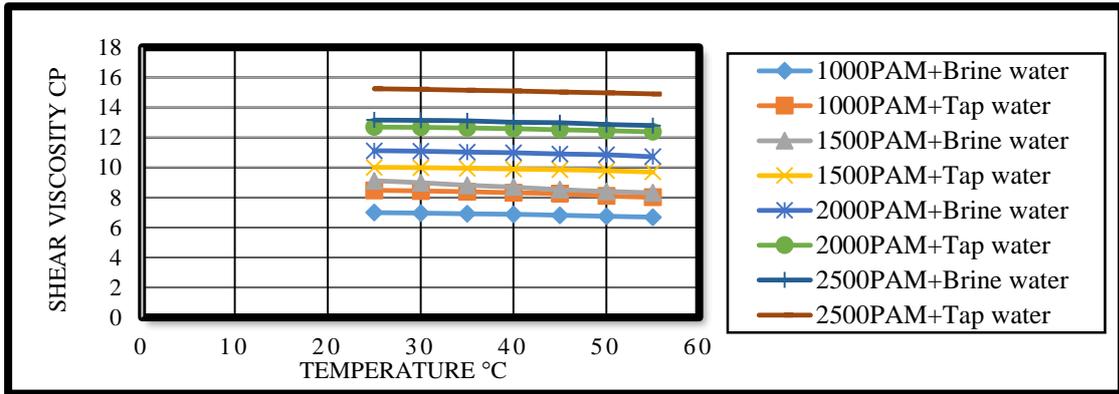


شكل 20:- يبين اجهاد القص مع معدل القص لمحلول الزنك اوكسايد النانوي مع البولي اكريل امايد بتركيز (2500) جزء من المليون

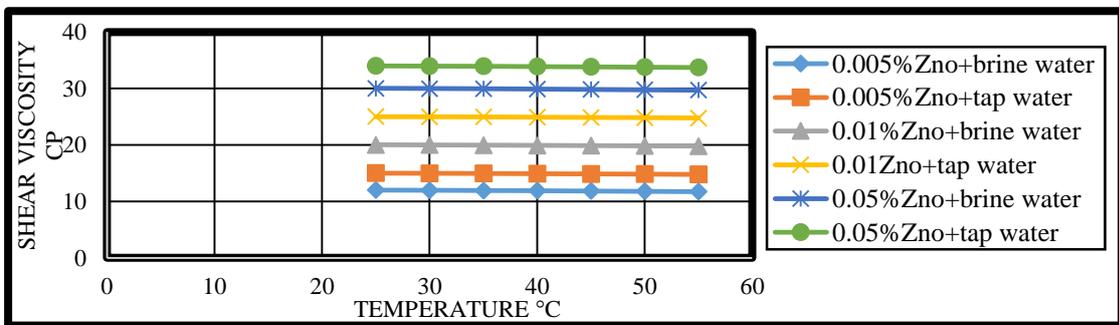
منحنيات تأثير الحرارة على اللزوجة القصية

(Effect of Temperature on Shear Viscosity Curves)

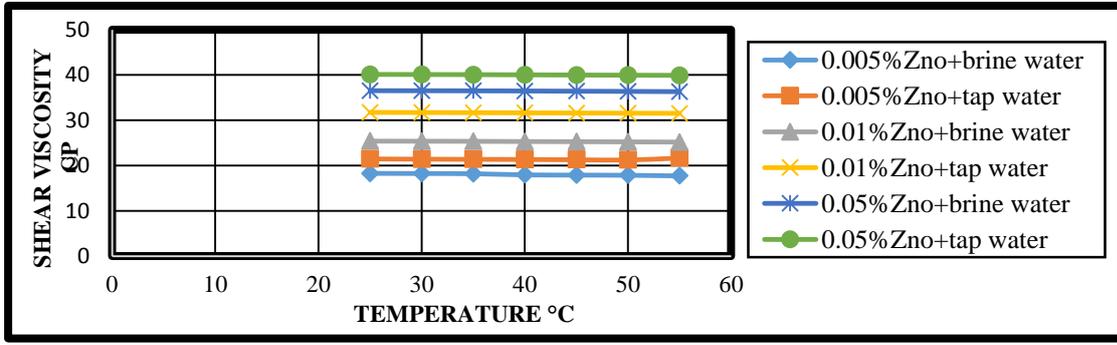
من خلال الشكل 21, نلاحظ انه مع زيادة درجة الحرارة فإنه يؤدي الى نقصان اللزوجة القصية بصورة بطيئة وقليلة وبشكل اشبه مايكون خطي. كما ان إضافة البولي اكريل امايد بتركيز (2500) جزء من المليون الى الماء العادي والملحي يعطي اعلى مقاومة لأرتفاع الحرارة مقارنة مع بقية التراكيز المحضرة حسب شكل (21), من الناحية الأخرى فان تلك المحاليل المحضرة مع الماء الملحي تكون اقل مقاومة لأرتفاع درجات الحرارة. من خلال ذلك الشكل نستنتج ان تلك المحاليل المحضرة تكون قليلة التأثير لأرتفاع درجات الحرارة وهذا مفيد في عمليات استخراج النفط في مقاومة ارتفاع درجات الحرارة للمكامن النفطية.



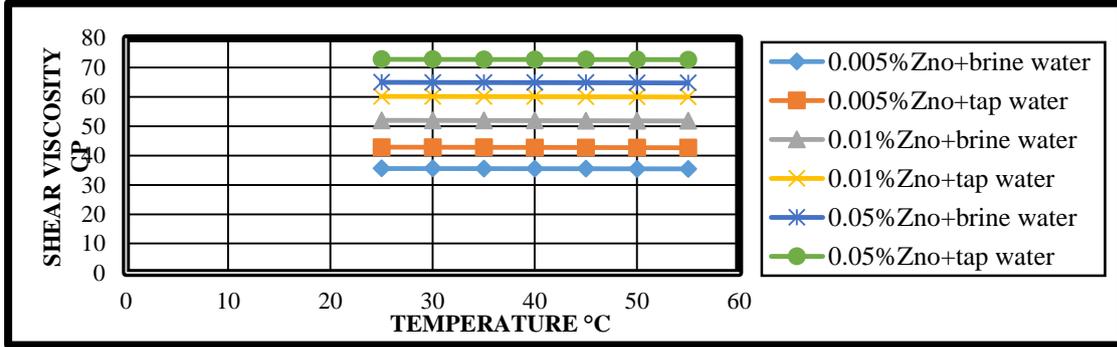
شكل 21:- يبين اللزوجة القصية مع درجات الحرارة للمحلول المائي من البولي اكريل امايد بتركيز مختلفة عند معدل قص 25 ثانية⁻¹



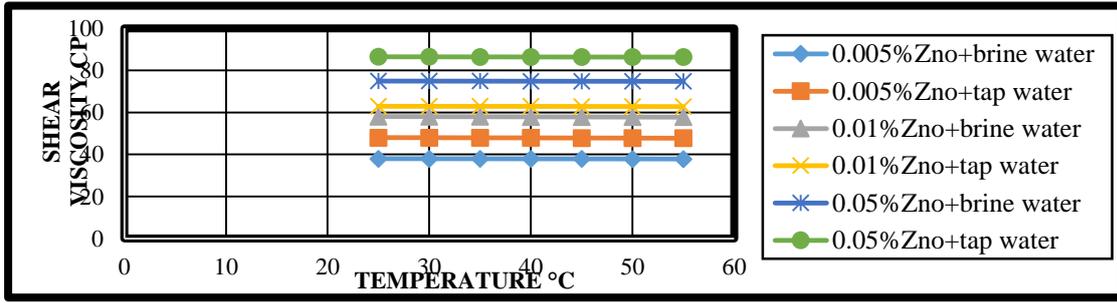
شكل 22:- يبين اللزوجة القصية مع درجات الحرارة للبولى اكريل امايد بتركيز 1000 جزء من المليون مضاف الى المحاليل النانوية من الزنك اوكسايد بنسب مختلفة لمعدل قص 25 ثانية⁻¹



شكل 23:-يبين اللزوجة القصية مع درجات الحرارة للبولي اكريل امايد بتركيز 1500 جزء من المليون مضاف الى المحاليل النانوية من الزنك او كساييد بنسب مختلفة لمعدل قص 25 ثانية¹



شكل 24:-يبين اللزوجة القصية مع درجات الحرارة للبولي اكريل امايد بتركيز 2000 جزء من المليون مضاف الى المحاليل النانوية من الزنك او كساييد بنسب مختلفة لمعدل قص 25 ثانية¹



شكل 25:-يبين اللزوجة القصية مع درجات الحرارة للبولي اكريل امايد بتركيز 2500 جزء من المليون مضاف الى المحاليل النانوية من الزنك او كساييد بنسب مختلفة لمعدل قص 25 ثانية¹

في شكل 22, سوف ندرس تأثير ارتفاع الحرارة على اللزوجة القصية. بارتفاع درجات الحرارة فان ذلك يؤدي الى زيادة حرية الحركة للجزيئات والذي يؤدي الى نقصان اللزوجة بالإضافة الى ذلك التجاذبات مابين الجزيئات كذلك يقل. ان عملية خلط البولوي اكريل امايد بتركيز (1000) جزء من المليون مع المحاليل النانوية المحضرة حسب هذا الشكل , يعطي لزوجة قصية قليلة التآثر بارتفاع الحرارة مقارنة باللزوجة القصية حسب شكل (21). بالإضافة الى ذلك فان المحاليل الملحية النانوية مع البوليمر تكون اقل مقاومة لارتفاع درجات الحرارة.

من خلال الشكل 23, الذي يوضح تأثير ارتفاع الحرارة مابين (25-55)س° على اللزوجة القصية للمحاليل النانوية مع (1500) جزء من المليون من البولوي اكريل امايد . حيث انه بارتفاع الحرارة يؤدي ذلك الى سهولة اذابة المحاليل والتي بدورها تقلل اللزوجة. ان المحاليل المحضرة حسب شكل (23) تكون اكثر مقاومة لارتفاع درجات الحرارة من تلك المحضرة حسب شكل(21 و 22) على التوالي. المحاليل النانوية الملحية مع البوليمر تكون اقل مقاومة لارتفاع درجات الحرارة.

من خلال الشكل 24, الذي يوضح المقاومة الخطية للزوجة القصية مع ارتفاع درجات الحرارة مع مقارنة نقصان تلك المقاومة للمحاليل المحضرة بخلط (2000) جزء من المليون من البولوي اكريل امايد مع المحاليل النانوية الملحية

المحضرة حسب هذا الشكل. بهذه الحالة نحصل على مقاومة لارتفاع الحرارة أكثر من المحاليل المحضرة حسب شكل (21-23) على الترتيب.

من خلال الشكل 25، الذي يوضح تأثير ارتفاع الحرارة مابين (25-55)س° على اللزوجة القصية للمحاليل النانوية مع (2500) جزء من المليون من البولي اكريل امايد . حيث انه بارتفاع الحرارة يؤدي ذلك الى مقاومة كبيرة من قبل اللزوجة القصية نتيجة الارتفاع الكبير في مستوى اللزوجة والتي بدورها تجعل المقاومة خطية لارتفاع الحرارة. ان المحاليل المحضرة حسب هذا الشكل تكون اكثر مقاومة لارتفاع درجات الحرارة من تلك المحضرة حسب شكل(21-24) على التوالي. المحاليل النانوية الملحية مع البوليمر تكون اقل مقاومة لارتفاع درجات الحرارة.

نتائج فحص الكثافة:-

ان نتائج فحص الكثافة حسب جدول(8)، بينت انه بزيادة التراكيز يؤدي الى زيادة الكثافة من اقل الى اعلى تركيز وان هذا يدل على زيادة الترابطات الداخلية للسلاسل مع ملاحظة ان المحاليل الملحية مع البوليمر تعطي اقل كثافة مقارنة بتلك المضافة للماء العادي.

اما جدول(9)، فقد اظهر انه (1000) جزء من المليون من البولي اكريل امايد مع المحلول النانوي بنسبة (0.005)% يعطي اعلى كثافة مقارنة بالتراكيز البوليمرية الأخرى مع المحاليل النانوية، حيث تكون المحاليل بهذه الحالة قد وصلت لحالة فوق مستوى الاشباع. ان المحاليل النانوية الملحية مع البوليمر تعطي اقل كثافة من تلك المحضرة مع الماء العادي

نتائج قياس رقم الاس الهيدروجيني:-

ان نتائج فحص رقم الاس الهيدروجيني للمحاليل المحضرة حسب جدول (8و9) مع الماء العادي، يؤدي الى تحويل قيم رقم الاس الهيدروجيني من المتعادل الى القاعدي اما عند اذابة هذه المحاليل بالماء الملحي فانه يؤدي الى المحافظة على قيم رقم الاس الهيدروجيني القاعدية بالرغم من إضافة المحاليل الكيميائية له.

نتائج فحص الشد السطحي والشد البيني:-

من خلال نتائج الشد السطحي والشد البيني الموضحة حسب جدول (8)، تبين انه بزيادة التركيز البوليميرية حسب مامبين في الجدول فإنه يؤدي الى زيادة الشد السطحي مع نقصان الشد البيني من اقل الى اعلى تركيز مع ملاحظة ان المحاليل البوليميرية الملحية تعطي اقل شد سطحي مع زيادة الشد البيني مقارنة بتلك المذابة بواسطة الماء الملحي. ان عملية زيادة الشد السطحي ونقصان الشد البيني تؤدي الى زيادة قابلية المحاليل على ترطيب الوسط المسامي واستخراج اكبر كمية ممكنة من النفط.

جدول 8:- يبين الكثافة، رقم الاس الهيدروجيني، الشد السطحي، الشد البيني للمحاليل المائية من البولي اكريل امايد

Aqueous solution (ppm)	Density (g/cm ³)	PH	Surface tension (mN/m)	Interfacial tension (mN/m)	Power law index (n)	Consistency K (pa .s ²)
oil	0.9993	9	35	-	-	-
Tape water	1.05	7	72	37	-	-
Brine water	0.65	9	25	20	-	-
1000ppm PAM+ tap water	0.98	8	25.8	23.7	0.3283	0.08544
1500ppm PAM+ tap water	0.9838	8	26.6	24.5	0.2731	0.1308
2000ppm PAM+ tap water	0.9952	8	27.3	25.5	0.2358	0.23003

2500ppm PAM+ tap water	0.9979	8	28.5	26.3	0.1434	0.4783
1000ppm PAM+ brine water	0.9791	9	25.1	23.1	0.4657	0.03837
1500ppm PAM + brine water	0.9799	9	25.5	23.5	0.3593	0.08093
2000ppm PAM+ brine water	0.9951	9	26.8	24.7	0.2630	0.1746
2500ppm PAM+ brine water	0.9968	9	27.7	25.5	0.1841	0.3521

ان عملية إضافة البولي اكريل امايد الى المحاليل النانوية المحضرة حسب جدول (7), حيث من خلال الجدول نلاحظ ان إضافة البولي اكريل امايد بتركيز (1000) جزء من المليون الى المحلول النانوي المحضر بتركيز (0.005)% يعطي اعلى شد سطحي مع اقل شد بيني مقارنة بالتراكيز الأخرى المحضرة . ان ذلك ينتج قابلية هذا المحلول على ترطيب الصخرة المستخدمة بشكل كبير واستخراج اكبر كمية ممكنة من النفط . مع زيادة التراكيز للمحاليل المحضرة فإن ذلك يؤدي الى نقصان الشد السطحي مع زيادة الشد البيني .

جدول 9:- يبين الكثافة, رقم الاس الهيدروجيني, الشد السطحي, الشد البيني للبولي اكريل امايد بتركيز مختلفة مضاف الى المحاليل المائية النانوية من الزنك او كسايدي بنسب مختلفة

Aqueous solution	Density (g/cm ³)	PH	Surface tension (mN/m)	Interfacial tension (mN/m)	Power law index (n)	Consistency K (pa .s ²)
oil	0.9993		35	-	-	-
Tape water	1.05	7	72	37	-	-
Brine water	0.65	9	25	20	-	-
1000 ppm PAM + 0.005% ZnO/Tap water	0.9989	8	34.4	18.9	0.3096	0.1289
1000 ppm PAM+ 0.01% ZnO/Tap water	0.9985	8	33.5	19.3	0.2643	0.2538
1000 ppm PAM+ 0.05% ZnO/Tap water	0.9981	8	32.7	19.9	0.2338	0.5053
1500 ppm PAM+ 0.005% ZnO /Tap water	0.9979	8	33.6	19.5	0.2386	0.3228
1500 ppm PAM+ 0.01% ZnO/Tap water	0.9971	8	32.5	20.2	0.2268	0.4466

1500 ppm PAM+ 0.05% ZnO/Tap water	0.9965	8	31.4	20.7	0.2116	0.6984
2000 ppm PAM+ 0.005% ZnO/Tap water	0.9961	8	32.8	21.2	0.2221	0.4934
2000 ppm PAM+ 0.01% ZnO/Tap water	0.9958	8	31.6	21.6	0.2100	0.7920
2000 ppm PAM+ 0.05% ZnO/Tap water	0.9953	8	30.4	21.9	0.1908	1.2481
2500 ppm PAM+ 0.005% ZnO/Tap water	0.9942	8	31.9	22.3	0.1258	0.7358
2500ppm PAM+ 0.01% ZnO/Tap water	0.9935	8	30.6	22.8	0.1214	1.2084
2500ppm PAM+ 0.05% ZnO/Tap water	0.9928	8	29.7	23.2	0.1008	1.5408
1000ppm PAM+ 0.005% ZnO/ Brine water	0.9981	8	33.6	19.8	0.3349	0.09830
1000ppm PAM+ 0.01% ZnO/ Brine water	0.9978	9	32.7	20.4	0.2704	0.16005
1000ppm PAM+ 0.05% ZnO/ Brine water	0.9972	9	31.8	20.8	0.2515	0.3707

1500 PAM+ 0.005% ZnO/ Brine water	0.9974	9	32.8	20.6	0.2469	0.1828
1500 PAM+ 0.01% ZnO/ Brine water	0.9966	9	31.7	21.4	0.2364	0.3905
1500ppm PAM+ 0.05% ZnO/ Brine water	0.9961	9	30.6	21.9	0.2169	0.5797
2000ppm PAM+ 0.005% ZnO/ Brine water	0.9956	9	31.9	22.4	0.2120	0.2930
2000ppm PAM+ 0.01% ZnO/ Brine water	0.9951	9	30.6	22.9	0.2105	0.7322
2000ppm PAM+ 0.05% ZnO/ Brine water	0.9947	9	29.5	23.3	0.2002	0.9421
2500ppm PAM+ 0.005% ZnO/ Brine water	0.9938	9	30.9	23.5	0.1318	0.6050
2500ppm PAM+ 0.01% ZnO/ Brine water	0.9931	9	30.7	23.9	0.1258	1.0335
2500ppm PAM+ 0.05% ZnO/ Brine water	0.9919	9	28.8	24.2	0.1160	1.4498

بالنسبة لقانون باور (power law) الذي يستفاد من محدداته مؤشر الجريان n (flow inde) ومقياس اللزوجة K (consequences viscosity) في المحاكاة العددية. حيث تم حساب هذه القيم من خلال مخططات الزوجة القصية والجريان لجميع المحاليل الكيميائية المحضرة. حيث وجد انه جميع قيم n اقل من واحد هذا يعني ان المحاليل لانيوتنية بسلك (shear thinning) مع ملاحظة انه بزيادة التراكيز البولي اكريل امايد المضافة الى الماء العادي والملحي او المحاليل النانوية يؤدي الى نقصان قيم n مع زيادة مقابلة لها في قيم K هذا يعني نقصان السلوك النيوتني وتحوله الى لانيوتني بزيادة التراكيز حيث سوف يكون شكل (velocity profile) اكثر (plug) عند زيادة التراكيز. بالإضافة الى ذلك ان المحاليل الملحية مع البوليمير او مع النانو والبوليمير تكون اقل قيم n مقارنة بتلك المحضرة مع الماء العادي.

نتائج فحص المسامية والنفذية:-

جدول(10):- يوضح المسامية والنفذية والحجم المسامي للصخور المستعملة

Samples	Pore Volume (%)	Porosity (Ø)	Permeability K (mD)		
			Ka	KI	Ko
Core1	18.20	27.9	201	30.76	4.40
Core 2	30.41	21.7	24	22.07	10.66

نتائج الازاحة المختبرية بواسطة Core Flooding:-

في هذا الفحص تم الاعتماد على زيادة اللزوجة للمحاليل الكيميائية المحضرة كعامل أساسي لتحسين عملية انتاج النفط من الأوساط المسامية بواسطة الازاحة بالبوليمر بعدم وجود ووجود النانو ومقارنتها مع الازاحة بواسطة الماء الملحي . حسب جدول (8) , الذي يبين نتائج فحص المسامية للصخور الرملية المستعملة وكذلك النفذية بالنسبة للهواء والسوائل . بالنسبة للصخرة الاولى(Core1) والثانية (Core2) فقد تم استخدام نفس طريقة الازاحة المختبرية . من خلال جدول (10) , فان المسامية Core2 اقل من Core1 .

فبعد تشبع الصخرة بالماء الملحي وازاحت الماء الملحي بواسطة النفط المختري نلاحظ ان الماء الازلي الذي لا يمكن ازالته من الصخرة (Swi) للصخرة الأولى(Core1) اكثر من الصخرة الثانية (Core2) حيث يكون % (24 و3) على التوالي وبهذا فان نسبة تشبع الصخرة بالنفط عالية جدا بقيمة (97)% كما مبين في جدول(11) .

بعد إزالة النفط المتبقي في الصخرة (Soi) بواسطة الماء الملحي من Core1 فان كمية النفط المزاح تساوي (68.68)% مع كمية كبيرة من الماء المصاحب للنفط (water cut) بنسبة (99.98)% . لاستخراج اكبر كمية ممكنة من النفط تم استخدام محلولي البولي اكريل امايد بتركيز (2500) جزء من المليون بعد نقطة الاحتراق (Break through point) اما قبل هذه النقطة فقد تم استخدام ماء ملحي فكانت نتيجة الازاحة المختبرية (80.32)% وبهذا تكون نسبة تحسين انتاج النفط بقيمة (11.64)% مع انخفاض نسبة الماء المصاحب للنفط الى (99.80) % كما مبين في جدول(11) , وبهذا تكون المادة فعالة جدا في تحسين انتاج النفط الموجود في الوسط المسامي .

ان عملية إزاحة النفط الموجود من الصخرة الثانية (Core2) يكون بنفس الطريقة المتبعة على Core1 حيث ان إزالة النفط المتبقي في الصخرة (Soi) بواسطة الماء الملحي فكانت كمية الماء المصاحب للنفط بقيمة (99.99) % مع كمية نفط المستخرجة بقيمة (52.97)% عند ذلك تكون كمية النفط المستخرجة اقل من Core1 بواسطة الماء الملحي . وعند استخدام محلول ملحي مضاف له نسبة (0.005)% من أكسيد الزنك النانوي مع البولي اكريل امايد بتركيز (1000) جزء من المليون حيث يتم استعماله بعد نقطة الاحتراق فكانت كمية النفط المستخرجة بمقدار (84.71)% مع انخفاض كمية الماء المصاحب للنفط الى (98.95)% وبهذا تكون كمية النفط الإضافي المستخرج من الوسط المسامي بمقدار (31.74)% كما مبين في جدول (11) .

جدول (11):-نتائج الازاحة المختبرية

Sample	Injection solution Brine with Water	Oil Recovery from (OOIP) %	Additional recovery (OOIP) %	Saturation (%)		
				Swi	Soi	Sor
Core1	Brine water	68.68at99.98 % water cut	-	24	76	37.13
	(2500) ppm PAM	80.32at99.80 % water cut	34.18			19.68

Core2	Brine water	52.97at 99.99% water cut	-	3	97	46
	(1000)ppm PAM+ 0.005% ZnO	84.71at98.95 % water cut	31.74			17.4

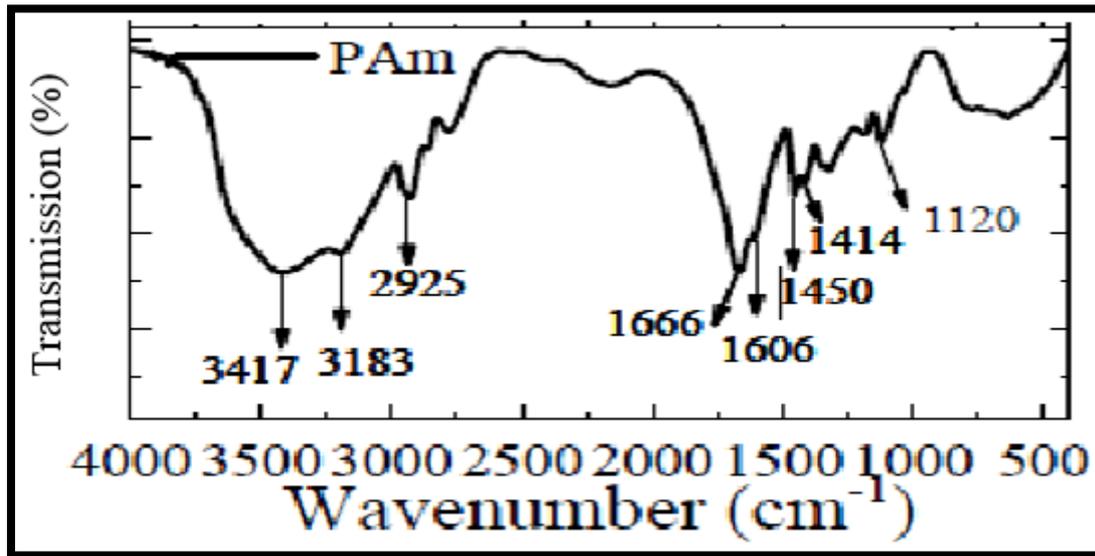
من خلال ذلك اثبتت فعالية المحلول النانوي مع البوليمر وبأقل التراكيز في استخراج اكبر كمية ممكنة من النفط مع تقليل كمية الماء المصاحب للنفط والذي يشكل مشكلة كبيرة في عمليات انتاج النفط. حيث ان كلفة شراء هذه المواد الكيميائية اقل من كلفة عمليات فصل الماء عن النفط وبهذا تكون هذه الطريقة ذات فائدة اقتصادية كبيرة تعود للبلاد عند استخدامها.

نتائج مقياس الاشعة تحت الحمراء (FTIR)

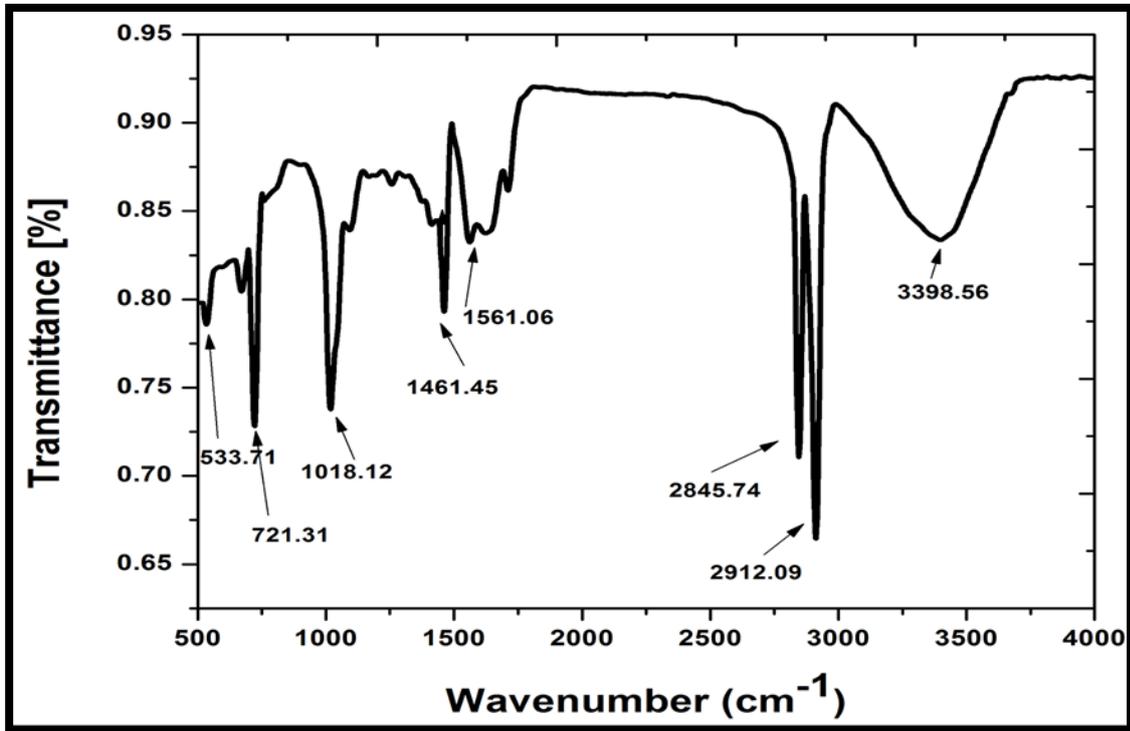
Figure 26, Peaks at 3417 cm^{-1} and 3183 cm^{-1} related to the stretching vibration of amide functional group (NH_2) and 2925 cm^{-1} stretching vibrations CH_2 .

Peaks at 1666 cm^{-1} and 1606 cm^{-1} are owing to the $\text{C}=\text{O}$ stretching and NH_2 bending vibrations, respectively.

Peaks at 1450 cm^{-1} , 1414 cm^{-1} , and 1120 cm^{-1} are related to the $-\text{CH}_2$ scissoring and CN and $\text{N}-\text{H}$ stretching vibrations.



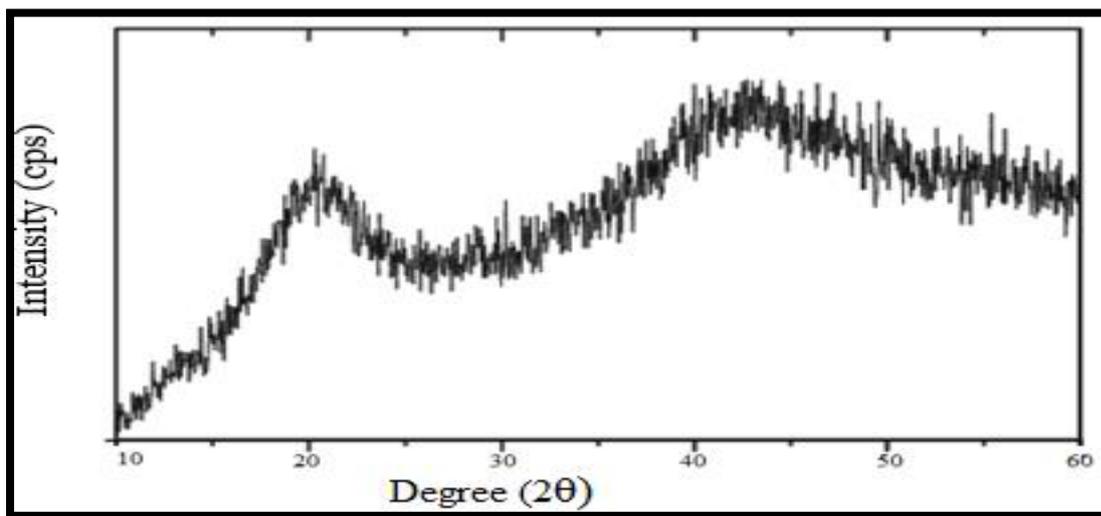
شكل 26:- الاشعة تحت الحمراء (FTIR) للبولي اكريل اميد (PAM)



شكل 27:- الاشعة تحت الحمراء (FTIR) للزنك او كسايد النانوي (ZnO)

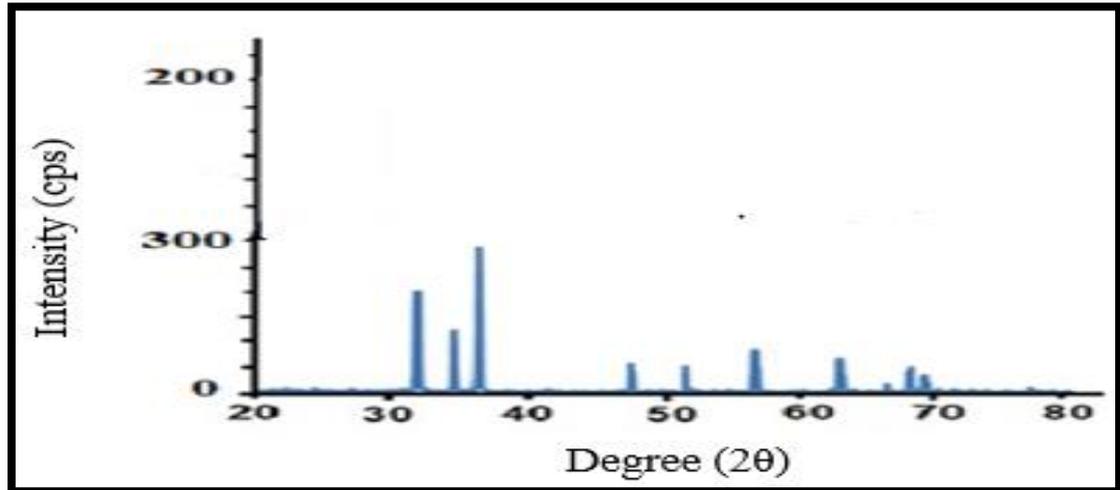
جدول (12):- يوضح التحليل لاواصر الاشعة تحت الحمراء (FTIR) :-

Frequency (cm ⁻¹)	Possible Assignment
3398.56 cm ⁻¹	OH stretching vibrations
2912.09 cm ⁻¹	The C-H stretch in alkanes
2845.74 cm ⁻¹	O-H stretch in carboxylic acid
1561.06 cm ⁻¹	C=C stretch in aromatic ring and C=O stretch in polyphenols
1461.45 cm ⁻¹	C-N stretch of amide-I in protein
1018.12 cm ⁻¹	C-O stretching in amino acid
533.71 cm ⁻¹	hexagonal phase ZnO



شكل (28):- يبين قياس حيود الاشعة السينية (XRD) للبولي اكريل امايد (PAM)

من خلال الشكل (28) تبين انه شكل شدة البيك يكون عريض في المنطقة ما بين (20=20-30) درجة والتي تزداد حدة في المنطقة (20=24.2) درجة. من خلال ذلك نستنتج طبيعة الزنك او كسايد النانوي الذي يتجه نحو العشوائية .



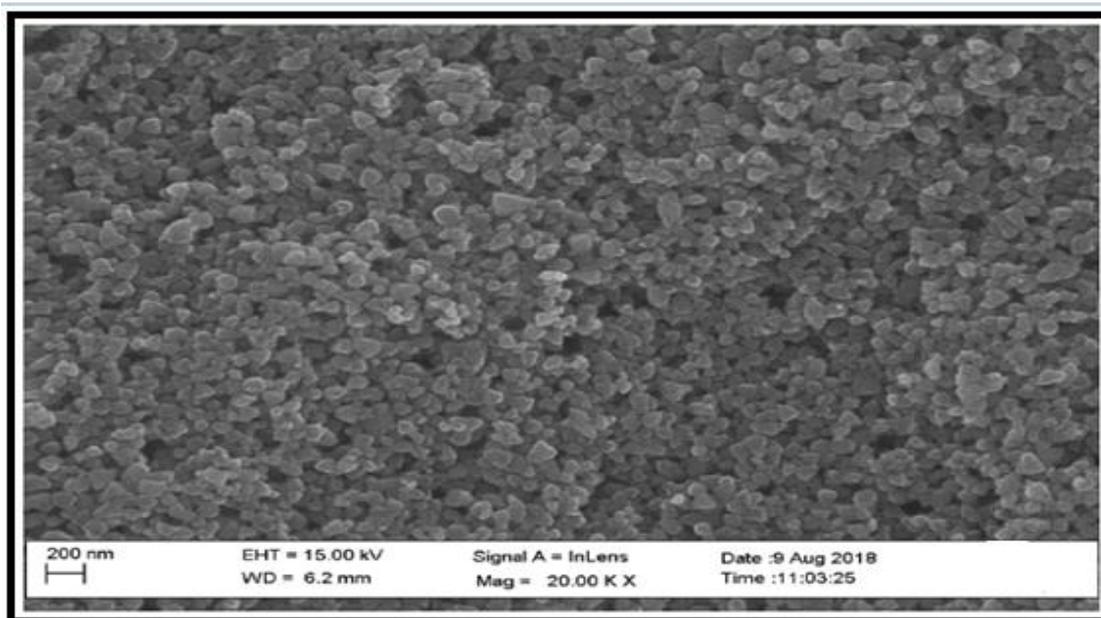
شكل (29):- نتائج قياس حيود الاشعة السينية (XRD) للزنك او كسايد النانوي

جدول (13) يوضح بيانات XRD ل ZnO

Catalyst	2Theta (deg)	FWHM	Intensity (counstant)
ZnO	31.8330	0.16860	640
	34.4856	0.16300	485
	36.3191	0.16160	1148

من أنماط XRD المذكورة أعلاه التي تم تسجيلها ل ZnO وهذه القمم كانت تزحف في الموضع 2θ وتنخفض نسبيا مع زيادة الشدة، خط الانحراف الرئيسي في ZnO عند $2\theta=36.5$.

نتائج فحص مجهر الماسح الالكتروني (SEM) للزنك او كسايد النانوي (ZnO) :-



شكل (30):- مجهر الماسح الالكتروني (SEM) للزنك او كسايد النانوي (ZnO)

من خلال شكل (30)، نلاحظ ان شكل الدقائق النانوية للزنك او كساييد يكون دائري مع قطر (200)nm من ذلك نستنتج ان المادة المستخدمة تكون ضمن مديات المادة النانوية.

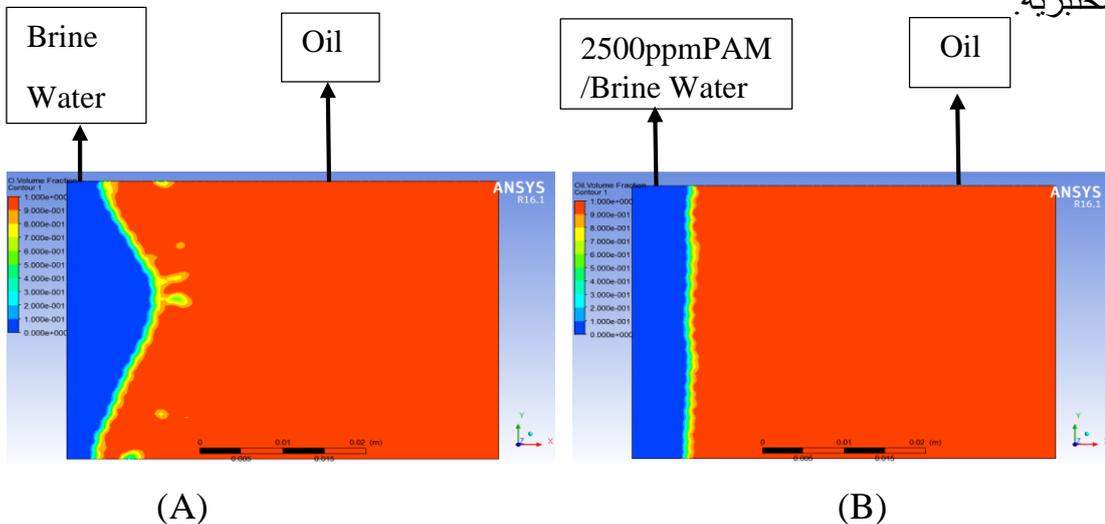
النتائج العددية

الاشكال الكنتورية للكسر الحجمي للنفط

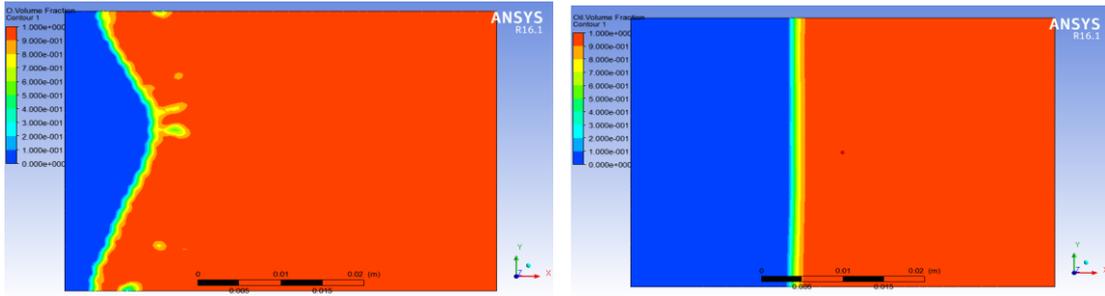
لعمل محاكاة عددية تم الاعتماد على النتائج المختبرية فيما يخص اللزوجة , حيث تم اعتماد لزوجة المحاليل المستخدمة كعامل أساسي في عمليات تحسين انتاج النفط . من خلال النتائج المختبرية فان لزوجة النفط المستخدم تكون بقيمة (3.115) سنتي بويز أكبر بكثير من لزوجة الماء الملحي (0.55) سنتي بويز. نتيجة الفرق الكبير ما بين المائع الموجود في الوسط المسامي والمائع المحقون فان هذا ينتج سرعة عالية لحركة المائع المحقون والتي تعرف بواسطة الحركة النسبية وهذا ينتج ظهور تراكيب اصبعية في منطقة التلامس ما بين المائعين والتي تقلل من كمية النفط المستخرج وهذا واضح من خلال شكل (A-31). اما عند إضافة البولي اكريل اميد بتركيز (2500) جزء من المليون الى الماء الملحي فان اللزوجة للمحلول الملحي تزداد بقيمة (13.34) سنتي بويز وبهذا فهي تمتلك لزوجة اعلى من النفط. نتيجة لذلك تقل التراكيب الاصبعية المتولدة مع تولد استقراره نوعا ما في منطقة التلامس ما بين النفط والمحلول المحقون مع زيادة كمية النفط المستخرجة كما مبين في الشكل (B-31). من خلال نتائج الفحوصات الفيزيائية للكثافة , الشد السطحي والشد البييني وجد انه بزيادة تراكيز البولي اكريل اميد المضافة يؤدي الى زيادة كلا من الكثافة والشد السطحي مع نقصان الشد البييني حيث استخدمت هذه النتائج كمدخلات في برنامج المحاكاة العددية.

من خلال الشكل (A-32) الذي يبين نتائج المحاكاة العددية للمحاليل المحضرة من إضافة البولي اكريل اميد بتركيز (1000 و 2500) جزء من المليون الى المحاليل النانوية من الزنك او كساييد بنسب (0.01, 0.005, و 0.05)% الماء الملحي . ينتج من عملية الخلط هذه زيادة كبيرة في قيم اللزوجة اكبر بكثير من لزوجة النفط المستخدم حيث يؤدي ذلك الى صعوبة عالية جدا في عملية حقن المادة داخل الوسط المسامي حيث يحتاج الى ضغط ومعدل جريان عالي جدا وهذه الطريقة غير ناجحة في عمليات انتاج النفط. من خلال نتائج الفحوصات الفيزيائية وجد انه إضافة (1000) جزء من المليون من البولي اكريل اميد الى المحلول النانوي من أوكسيد الزنك بنسبة (0.005)% مع الماء الملحي يعطي اعلى كثافة وشد سطحي وعند ملاحظة النتائج العددية لهذا المحلول في شكل (B-32), بين ظاهريا كمية النفط المزاح مقارنة بالشكل (31) بالإضافة الى ذلك مدى تولد الاستقرار الكاملة في منطقة التلامس ما بين المحلول المحقون والنفط الموجود في الوسط المسامي مع ملاحظة انعدام التراكيب الاصبعية تماما في منطقة التلامس.

إضافة 2500 جزء من المليون من البولي اكريل اميد الى محلول الزنك او كساييد بنسبة 0.005% مع الماء الملحي فان ذلك ينتج نقصان في قيم الكثافة , الشد السطحي وزيادة الشد البييني بالرغم من زيادة اللزوجة التي بدورها تؤدي الى انسداد المسامات , نقصان النفاذية للوسط المسامي مع نقصان كمية النفط المستخرجة بالإضافة الى ذلك فان منطقة التلامس ما بين المائع المزاح والمحقون تكون اكثر (Slug) كما مبين في الشكل (C-32) من خلال ذلك نستنتج مدى حصول التوافق ما بين النتائج الريولوجية , الفيزيائية والازاحة المختبرية مع النتائج العددية وبهذا تكمن أهمية الدراسة العددية في اختبار المحاليل المحضرة قبل استخدامها في المكامن النفطية كذلك نستطيع الاستفادة منها قبل اجراء فحوصات الازاحة المختبرية.

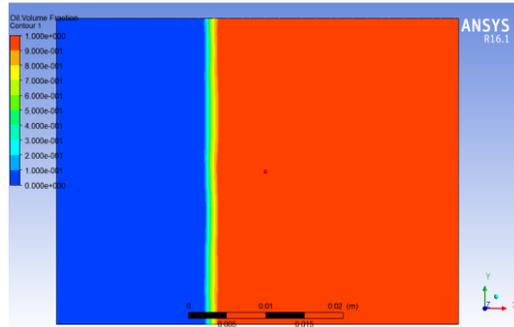


شكل 31:- يوضح الشكل الكنتوري للكسر الحجمي للنفط بالنسبة للـ (Core1) محقونة بواسطة (A) الماء الملحي و(B) بوليمير البولي اكريل اميد بتركيز 2500 جزء من المليون/الماء الملحي



(A)

(B)



(C)

شكل 32:- يوضح الشكل الكنتوري للكسر الحجمي للنفط بالنسبة للـ (Core2) محقونة بواسطة (A) الماء الملحي و(B) بوليمير البولي اكريل اميد بتركيز (1000 و2500) جزء من المليون مع أكسيد الزنك النانوي بنسبة 0.005%/الماء الملحي.

4-التطبيقات

1-يستخدم هذه الطريقة في مجال تحسين انتاج النفط المتبقي المتواجد في الأوساط المسامية بعد المراحل الأولية للاستخراج من المكامن النفطية في جنوب العراق.

2-تقليل التراكيب الاصبعية المتكونة في منطقة التلامس ما بين المائع المحقون والمائع المتواجد في الوسط المسامي من خلال المحاكاة العددية في برنامج Ansys-Fluent 16.1 والتي بدورها تقلل الوقت , الجهد والكلفة في اجراء الفحوصات المختبرية لإزاحة النفط الموجود بداخل الوسط المسامي.

5-مميزات الطريقة

1-سهولة تحضير العينات.

2-التقليل من كمية الماء المحقون في الوسط المسامي لاستخراج أكبر كمية ممكنة من النفط.

3-تحسين الخواص الريولوجية للماء المحقون في المكامن النفطية عن طريق استخدام خليط من البولي اكريل اميد مع أوكسيد الزنك النانوي.

4-ان الخليط المستخدم من البولي اكريل اميد مع أوكسيد الزنك النانوي له قابلية عالية لزيادة الشد السطحي وتقليل الشد البيني الذي بدوره يعمل على زيادة الترطيب للوسط المسامي لاستخراج أكبر كمية ممكنة من النفط وبأقل تركيز.

5-ان الخليط المستخدم من البولي اكريل اميد مع أوكسيد الزنك النانوي يعمل على مقاومة الحرارة والملوحة العالية بالنسبة لمكامن جنوب العراق.

6-طريقة صديقة للبيئة وليس فيها أي انبعاثات للروائح بالإضافة انها لا نحتاج مبالغ عالية لشراء المواد الكيميائية المستخدمة.

7-تقليل الوقت اللازم للوصول لنقطة الاختراق والذي بدورها تعمل على تقليل كمية الماء المصاحب للنفط وبالتالي تكون كمية النفط المستخرجة عالية جدا.

8-ان الخليط من البولي اكريل اميد مع أوكسيد الزنك النانوي المستخدم في هذه الطريقة له القابلية على زيادة الضغط المكثفي مما يزيد من كمية النفط المستخرج من الوسط المسامي.

9-تقليل التراكيب الاصبعية المتكونة في منطقة التلامس ما بين البولي اكريل اميد مع أوكسيد الزنك النانوي والنفط الموجود في الوسط المسامي.

6- الادعاءات

1- عنصر الحماية الأول استخدام مادة بوليميرية مترابكة لتحسين استخراج النفط المتبقي في الصخور للمكامن النفطية في جنوب العراق وتطبيقها عمليا وعدديا.

2- استنادا الى عنصر الحماية الأول تم استخدام مادة بوليميرية من البولي اكريل امايد واضافتها الى المحلول النانوي المحضر من الزنك او كسايدي في عملية تحسين انتاج النفط المتبقي بعد المراحل الأولية لاستخراج النفط (شكل 1) ومقارنتها مع المحلول المائي البوليميري بتركيز مختلف.

3- استنادا الى عنصر الحماية الأول تم قياس الخواص الريولوجية باستخدام (Cone Plate Viscometer) وذلك لمعرفة تصرف اللزوجة القصية للخليط المائي المتكون من البولي اكريل امايد مع أكسيد الزنك النانوي بمختلف التراكيز مع معدل القص (شكل 11-15) ومقارنته مع منحني اللزوجة القصية للمحلول المائي من البولي اكريل امايد بتركيز مختلفة مع معدل القص (شكل 10)، دراسة تأثير ارتفاع الحرارة على اللزوجة القصية للخليط المائي المتكون من خليط البولي اكريل امايد مع أكسيد الزنك النانوي بمختلف التراكيز شكل (22-25) ومقارنته مع (شكل 21) بالنسبة للمحلول المائي من البولي اكريل امايد بتركيز مختلفة. اما منحني اجهاد القص مع معدل القص فقد تم دراسته بالنسبة للمحلول المائي المتكون من خليط البولي اكريل امايد مع أكسيد الزنك النانوي بمختلف التراكيز شكل (17-20) ومقارنته مع (شكل 16) بالنسبة للمحلول المائي البوليميري من البولي اكريل امايد بتركيز مختلفة.

4- استنادا الى عنصر الحماية الأول فمن خلال نتائج فحص الخواص الفيزيائية فقد تبين ان المحلول المائي المتكون من خليط البولي اكريل امايد (1000) جزء من المليون مع الزنك او كسايدي النانوي بتركيز (0.005)% يعطي افضل النتائج كما مبين في (جدول 9) ومقارنته مع المحلول المائي المتكون من البولي اكريل امايد بتركيز مختلفة (جدول 8).

5- استنادا الى عنصر الحماية الأول فقد تم قياس الخواص الكيميائية مثل رقم الاس الهيدروجيني (PH) للمحلول المائي المتكون من خليط البولي اكريل امايد مع الزنك او كسايدي النانوي بمختلف التراكيز (جدول 9) ومقارنته مع المحلول المائي من البولي اكريل امايد بتركيز مختلفة (جدول 8) وقد اظهرت النتائج ان إضافة البوليمير الى المحلول النانوي يحافظ على رقم الاس الهيدروجيني.

6- استنادا الى عنصر الحماية الأول فقد تم فحص الازاحة المختبرية من خلال جهاز (Core Flooding) بواسطة المحلول المائي المتكون من خليط البولي اكريل امايد (1000) جزء من المليون مع الزنك او كسايدي النانوي بتركيز (0.005)% والذي اعطى افضل النتائج عند مقارنته مع المحلول المائي من البولي اكريل امايد بتركيز (2500) جزء من المليون (جدول 11).

7- استنادا الى عنصر الحماية الأول فقد تم التأكد من قابلية المحاليل المحضرة من خليط البولي اكريل امايد بتركيز (1000) جزء من المليون مع الزنك او كسايدي النانوي بنسبة (0.005) % في تقليل التراكيب الاصبعية المتكونة في منطقة التلامس ما بين المائع المحقون والنفط الموجود بداخل الوسط المسامي حسب برنامج المحاكاة العددية من خلال الاشكال الكنتورية للكسر الحجمي للنفط (شكل B-32) وكانت تلك افضل نتيجة عند مقارنتها مع المحلول المائي من البولي اكريل امايد بتركيز (2500) جزء من المليون (شكل B-31).

8- استنادا الى عنصر الحماية الأول فقد تم التأكد من ان استخدام هذه المادة البوليميرية المترابكة من بوليمير البولي اكريل امايد مع أكسيد الزنك النانوي لم يسبق وان استخدمت من قبل لأي باحث.

9- استنادا الى عنصر الحماية الأول فقد تم اجراء فحص الماسح الإلكتروني للتأكد من نوع الزنك النانوي المستخدم وقد تم ثبات ذلك من خلال شكل (30).

9- استنادا الى عنصر الحماية الأول فقد تم التأكد من ان استخدام هذه المادة البوليميرية المترابكة من بوليمير البولي اكريل امايد مع أكسيد الزنك النانوي لها مردود اقتصادي كبير على البلد من خلال الكميات القليلة المستخدمة لكلا من البوليمير والنانو واعطاؤها افضل النتائج بالإضافة الى الكلف القليلة جدا من المواد للاستخدام في تحضير المحاليل المختبرية.

- [1] Al-Ameri, T. K., Al-Khafaji, A. J., & Zumberge, J. (2009). Petroleum system analysis of the Mishrif reservoir in the Ratawi, Zubair, North and South Rumaila oil fields, southern Iraq. *GeoArabia*, 14(4), 91-108.
- [2] Sen, R. (2008). Biotechnology in petroleum recovery: the microbial EOR. *Progress in energy and combustion Science*, 34(6), 714-724.
- [3] Donaldson, E. C., Chilingarian, G. V., & Yen, T. F. (Eds.). (1989). *Enhanced oil recovery, II: Processes and operations*. Elsevier.
- [4] Tang, G. Q., & Morrow, N. R. (1997). Salinity, temperature, oil composition, and oil recovery by waterflooding. *SPE Reservoir Engineering*, 12(04), 269-276.
- [5] Thomas, S. (2008). Enhanced oil recovery-an overview. *Oil & Gas Science and Technology-Revue de l'IFP*, 63(1), 9-19.
- [6] Green, D. W., & Willhite, G. P. (1998). *Enhanced oil recovery* (Vol. 6, pp. 143-154). Richardson, TX: Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME, Society of Petroleum Engineers.
- [7] Hognesen, E. J., Strand, S., & Austad, T. (2005, January). Waterflooding of preferential oil-wet carbonates: Oil recovery related to reservoir temperature and brine composition. In *SPE Europec/EAGE Annual Conference*. Society of Petroleum Engineers.
- [8] Sheng, J. (2010). *Modern chemical enhanced oil recovery: theory and practice*. Gulf Professional Publishing.
- [9] Buchgraber, M., Clemens, T., Castanier, L. M., & Kavscek, A. (2011). A microvisual study of the displacement of viscous oil by polymer solutions. *SPE Reservoir Evaluation & Engineering*, 14(03), 269-280.
- [10] Luo, H., Mohanty, K. K., Delshad, M., & Pope, G. A. (2016, April). Modeling and upscaling unstable water and polymer floods: dynamic characterization of the effective finger zone. In *SPE Improved Oil Recovery Conference*. Society of Petroleum Engineers.
- [11] Wei, B., Romero-Zerón, L., & Rodrigue, D. (2014). Oil displacement mechanisms of viscoelastic polymers in enhanced oil recovery (EOR): a review. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 4(2), 113-121.
- [12] Liu, S., Zhang, D., Yan, W., Puerto, M., Hirasaki, G. J., & Miller, C. A. (2008). Favorable attributes of alkaline-surfactant-polymer flooding. *SPE Journal*, 13(01), 5-16.
- [13] Zhang, Z., Li, J., & Zhou, J. (2011). Microscopic roles of "viscoelasticity" in HPMA polymer flooding for EOR. *Transport in porous media*, 86(1), 199-214.
- [14] Manichand, R. N., Let, M. S., Kathleen, P., Gil, L., Quillien, B., & Seright, R. S. (2013). Effective propagation of HPAM solutions through the Tambaredjo reservoir during a polymer flood. *SPE Production & Operations*, 28(04), 358-368.
- [15] Meybodi, H. E., Kharrat, R., & Araghi, M. N. (2011). Experimental studying of pore morphology and wettability effects on microscopic and macroscopic displacement

efficiency of polymer flooding. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 78(2), 347-363.

[15] Fan, Y., Gao, K., Chen, J., Li, W., & Zhang, Y. (2018). Low-cost PMMA-based microfluidics for the visualization of enhanced oil recovery. *Oil & Gas Science and Technology—Revue d'IFP Energies nouvelles*, 73, 26.

[16] Zhu, H., Luo, J., Klaus, O., & Fan, Y. (2012). The impact of extensional viscosity on oil displacement efficiency in polymer flooding. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 414, 498-503.

[17] Liu, Z., Yue, X. A., Hou, J., & Zhang, L. (2002, January). Comparison of displacement oil mechanism of polymer, ASP and foam of ASP in micro pores and dead ends of pores. In *SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.

[18] Wei, B., Romero-Zerón, L., & Rodrigue, D. (2014). Oil displacement mechanisms of viscoelastic polymers in enhanced oil recovery (EOR): a review. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 4(2), 113-121.

[19] Corey, A. T. (1994). *Mechanics of immiscible fluids in porous media*. Water Resources Publication.

[20] Wang, D., Xia, H., Liu, Z., & Yang, Q. (2001, January). Study of the mechanism of polymer solution with visco-elastic behavior increasing microscopic oil displacement efficiency and the forming of steady "Oil thread" flow channels. In *SPE Asia Pacific oil and gas conference and exhibition*. Society of Petroleum Engineers.

[21] Wei, B., Romero-Zerón, L., & Rodrigue, D. (2014). Oil displacement mechanisms of viscoelastic polymers in enhanced oil recovery (EOR): a review. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 4(2), 113-121.

[22] Delshad, M., Kim, D. H., Magbagbeola, O. A., Huh, C., Pope, G. A., & Tarahhom, F. (2008, January). Mechanistic interpretation and utilization of viscoelastic behavior of polymer solutions for improved polymer-flood efficiency. In *SPE Symposium on Improved Oil Recovery*. Society of Petroleum Engineers.

[23] Maerker, J. M., & Sinton, S. W. (1986). Rheology resulting from shear-induced structure in associating polymer solutions. *Journal of Rheology*, 30(1), 77-99.

[24] Odell, J. A., & Haward, S. J. (2006). Viscosity enhancement in non-Newtonian flow of dilute aqueous polymer solutions through crystallographic and random porous media. *Rheologica acta*, 45(6), 853-863.

[25] Zhang, H., Ramakrishnan, T. S., Nikolov, A., & Wasan, D. (2016). Enhanced oil recovery driven by nanofilm structural disjoining pressure: flooding experiments and microvisualization. *Energy & Fuels*, 30(4), 2771-2779.

[26] El-Diasty, A. I., & Aly, A. M. (2015, September). Understanding the mechanism of nanoparticles applications in enhanced oil recovery. In *SPE North Africa Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.

- [27] Karimi, A., Fakhroueian, Z., Bahramian, A., Pour Khiabani, N., Darabad, J. B., Azin, R., & Arya, S. (2012). Wettability alteration in carbonates using zirconium oxide nanofluids: EOR implications. *Energy & Fuels*, 26(2), 1028-1036.
- [28] Zhang, H., Nikolov, A., & Wasan, D. (2014). Enhanced oil recovery (EOR) using nanoparticle dispersions: underlying mechanism and imbibition experiments. *Energy & Fuels*, 28(5), 3002-3009.
- [29] Mohammadi, M., Akbari, M., Fakhroueian, Z., Bahramian, A., Azin, R., & Arya, S. (2011). Inhibition of asphaltene precipitation by TiO₂, SiO₂, and ZrO₂ nanofluids. *Energy & Fuels*, 25(7), 3150-3156.
- [30] Shahrabadi, A., Bagherzadeh, H., Roostaie, A., & Golghanddashti, H. (2012, January). Experimental investigation of HLP nanofluid potential to enhance oil recovery: A mechanistic approach. In *SPE International Oilfield Nanotechnology Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- [31] Mirchi, V., Saraji, S., Goual, L., & Piri, M. (2015). Dynamic interfacial tension and wettability of shale in the presence of surfactants at reservoir conditions. *Fuel*, 148, 127-138.
- [32] Li, S., Hendraningrat, L., & Torsaeter, O. (2013, March). Improved oil recovery by hydrophilic silica nanoparticles suspension: 2 phase flow experimental studies. In *IPTC 2013: International Petroleum Technology Conference*.
- [33] Alaskar, M. N., Ames, M. F., Connor, S. T., Liu, C., Cui, Y., Li, K., & Horne, R. N. (2012). Nanoparticle and Microparticle Flow in Porous and Fractured Media--An Experimental Study. *SPE Journal*, 17(04), 1-160.
- [34] Hendraningrat, L., Shidong, L., & Torsaeter, O. (2012, January). A glass micromodel experimental study of hydrophilic nanoparticles retention for EOR project. In *SPE Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- [35] Zeyghami, M., Kharrat, R., & Ghazanfari, M. H. (2014). Investigation of the applicability of nano silica particles as a thickening additive for polymer solutions applied in EOR processes. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 36(12), 1315-1324.
- [36] Wu, L., & Ding, J. (2004). In vitro degradation of three-dimensional porous poly (D, L-lactide-co-glycolide) scaffolds for tissue engineering. *Biomaterials*, 25(27), 5821-5830.
- [37] Zheng, C., Cheng, Y., Wei, Q., Li, X., & Zhang, Z. (2017). Suspension of surface-modified nano-SiO₂ in partially hydrolyzed aqueous solution of polyacrylamide for enhanced oil recovery. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 524, 169-177.
- [38] Chavent, G., & Jaffré, J. (1986). *Mathematical models and finite elements for reservoir simulation: single phase, multiphase and multicomponent flows through porous media* (Vol. 17). Elsevier.

- [39] Pereira, G. G., Pinczewski, W. V., Chan, D. Y. C., Paterson, L., & Øren, P. E. (1996). Pore-scale network model for drainage-dominated three-phase flow in porous media. *Transport in Porous media*, 24(2), 167-201.
- [40] Xu, R., & Prodanovic, M. (2017, December). Multiscale Pore Throat Network Reconstruction of Tight Porous Media Constrained by Mercury Intrusion Capillary Pressure and Nuclear Magnetic Resonance Measurements. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.
- [41] Blunt, M. J. (2001). Flow in porous media—pore-network models and multiphase flow. *Current opinion in colloid & interface science*, 6(3), 197-207.
- [42] Naar, J., Wygal, R. J., & Henderson, J. H. (1962). Imbibition relative permeability in unconsolidated porous media. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 2(01), 13-17.
- [43] Ahmadi, M. A., & Mahmoudi, B. (2016). Development of robust model to estimate gas–oil interfacial tension using least square support vector machine: experimental and modeling study. *The Journal of Supercritical Fluids*, 107, 122-128.
- [44] Kang, P. S., Lim, J. S., & Huh, C. (2016). Artificial neural network model to estimate the viscosity of polymer solutions for enhanced oil recovery. *Applied Sciences*, 6(7), 188.
- [45] Saboorian-Jooybari, H., Dejam, M., & Chen, Z. (2016). Heavy oil polymer flooding from laboratory core floods to pilot tests and field applications: Half-century studies. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 142, 85-100.
- [46] Saboorian-Jooybari, H., Dejam, M., & Chen, Z. (2016). Heavy oil polymer flooding from laboratory core floods to pilot tests and field applications: Half-century studies. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 142, 85-100.
- [47] El-Hoshoudy, A. N., Desouky, S. E. M., Al-Sabagh, A. M., Betiha, M. A., MY, E. K., & Mahmoud, S. (2017). Evaluation of solution and rheological properties for hydrophobically associated polyacrylamide copolymer as a promised enhanced oil recovery candidate. *Egyptian journal of petroleum*, 26(3), 779-785.
- [48] Almahfood, M., & Bai, B. (2018). The synergistic effects of nanoparticle-surfactant nanofluids in EOR applications. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 171, 196-210.