دراسة وتحليل استخدام التقنيات النانوية في الاستثمار المدعم للنفط

م. باسل عبد القادر – ماجستير هندسة مخزون ونقل وإنتاج النفط

كلية الهندسة البتروكيميائية – جامعة الفرات

الملخص

بهدف الاستثمار الأفضل للمكمن النفطي غالباً ما يتم تطبيق طرق الاستثمار المدعم للنفط في المراحل الأخيرة للإنتاج بهدف الحصول على اكبر مردود نفطي ممكن من المكمن، ومع ذلك هناك احتياطي كبير من النفط لا يمكن استخراجه من المكمن لذلك تستمر الأبحاث والدراسات للحصول على افضل مردود، وتعتبر التقنية النانوية من احدث التقنيات التي أعطت نتائج واعدة في زيادة المردود النفطي، لذلك تم اجراء مسح مرجعي لتوضيح كيفية الحصول على المواد النانوية باستخدام الطرق الفيزيائية والكيميائية والتجهيزات المستخدمة في دراسة المواد ذات القياسات النانوية، كما تم توضيح المبادئ التي تقوم عليها المواد النانوية في الاستثمار المدعم للنفط، وذكر اهم المواد النانوية المستخدمة في هذا المجال وكيفية التكتل والترسيب لهذه المواد النانوية ضمن الموائع، كما تم تسليط الضوء على الطرق النانوية (الغمر المائي النانوي، الغمر البولميري النانوي ، استخدام المواد النانوية مع مخفضات التوتر السطحي، استخدام المواد النانوية مع الطرق الحرارية بالإضافة الى توضيح تأثير الأمواج الكهرومغناطيسية على المواد النانوية) ، واخيراً تم توضيح المخاطر الممكنة لاستخدام هذه المواد لضرورة الامن والسلامة.

الكلمات المفتاحية: الاستثمار المدعم للنفط، المواد النانوية، عامل المردود، المكمن النفطي.

1- المقدمة

مع تزايد الطلب على الطاقة نتيجة التطور الصناعي والسكاني اصبح هناك واجب لزيادة كمية النفط المنتجة مع مرور الزمن، و بالرغم من كل الإجراءات المتبعة من اجل الاعتماد على الطاقات البديلة للنفط الا ان دور النفط سيبقى رائداً لفترة ليست قليلة من الزمن لذلك من الواجب السعي بكامل الامكانيات المتوفرة الى استثمار النفط بالشكل الامثل، ولا تزال هناك كميات كبيرة من النفط تبقى ضمن أجزاء المكمن النفطي لا يتم استخراجها، وهذا يدفع الباحثين في السعي للبحث عن افضل الطرق من اجل استخراج هذه الكميات المتبقية او تقليل كميتها وهو ما يتم التركيز عليه باستخدام طرق الاستثمار المدعم للنفط، والذي تنوعت طرقه حسب مواصفات المكمن والنفط الموجود فيه، فعندما يتم حفر مكمن نفط جديد، فإن كمية النفط التي يتم الحصول عليها منه تكون حوالي 20-40٪ من الإحتياطات، وبالتالي لا يزال هناك 60-80٪ نفط متبقي في المكمن. [1] وبسبب النجاح الكبير الذي اثبتته المواد النانوية في مختلف المجالات من طب وهندسة وزراعة وأجهزة ومعالجة المياه .....[2] جعل هناك تركيز على هذه المواد بهدف الاستفادة منها في المجالات النفطية، وقد تم اجراء العديد من الأبحاث في السنوات الماضية حول كيفية الاستفادة من المواد النانوية في مجال الاستثمار المدعم للنفط وقد أبدت هذه المواد نتائج واعدة في زيادة المردود النفطي، وسنتعرف في هذا المقال عن اهم الدراسات السابقة في هذا المجال.

2- أهمية البحث (اهداف البحث)

ضرورة اجراء مسح مرجعي لاستخدام التقنيات النانوية في الاستثمار المدعم للنفط، من اجل معرفة آخر ما توصلت له الأبحاث ضمن هذا المجال الحديث.

3- مواد البحث

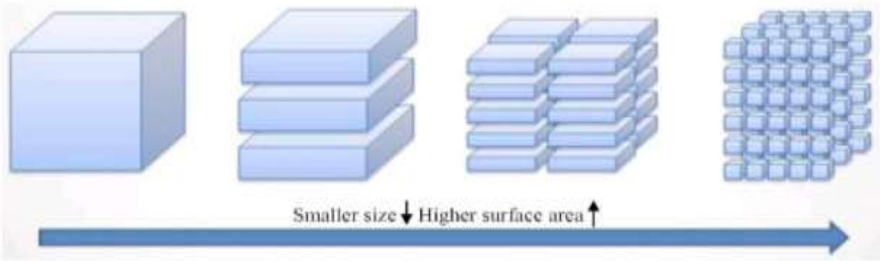
تم الاعتماد على مراجع علمية حديثة موثقة في نهاية المسح المرجعي.

4- بناء ودراسة الجسيمات النانوية

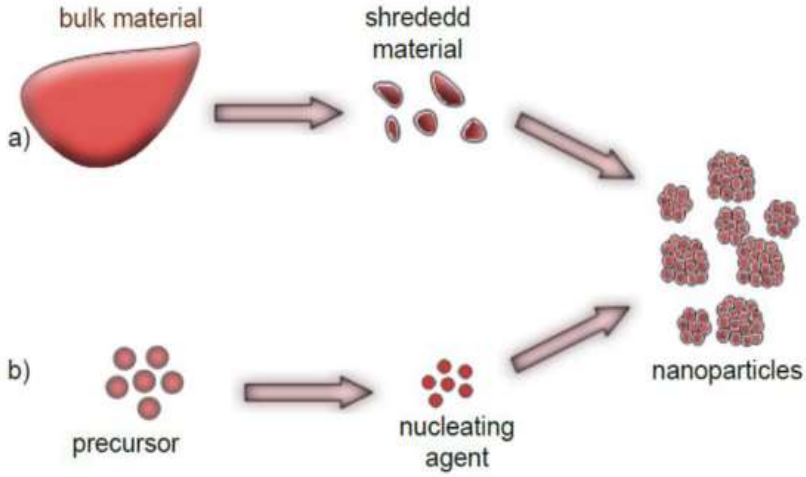
من المعلوم انه كلما صغر حجم الجزيئات ازدادت مساحة السطح لها، وهذا ما يحدث للجسيمات النانوية صغيرة الحجم، حيث تمتع العينة الصغيرة منها بسطوح كبيرة ويمكن توضيح ذلك بالشكل (1).

وهناك طريقتان عامتان للحصول على جزيئات أكسيد المعادن النانوية:

- الطريقة الفيزيائية (من أعلى إلى أسفل): تشمل الطرق الفيزيائية التفكك التدريجي للمواد الضخمة باستخدام طرق مختلفة (مثل: الطحن...)، لا يمكن استخدام الأساليب الفيزيائية للحصول على جسيمات نانوية ذات أشكال متطابقة.
- والكيميائية (من الأسفل إلى الأعلى): تتضمن الطرق الكيميائية تكوين الهياكل النانوية نتيجة تفاعلات الترسيب بين سلائف الأيونات وهيدروكسيدات مختلفة لتتشكل انوية، تندمج نوى التبلور المتكونة في المرحلة الأولى من تفاعل الترسيب في أنظمة أكبر تسمى البلورات التي تنمو لتشكل الجزيئات النانوية، ويمكن توضيح الطريقة الفيزيائية والكيميائية لتشكل الجزيئات النانوية بالشكل(2). [3]



الشكل(1): يوضح تأثير تناقص حجم الجزيئات على زيادة مساحة السطح [4]



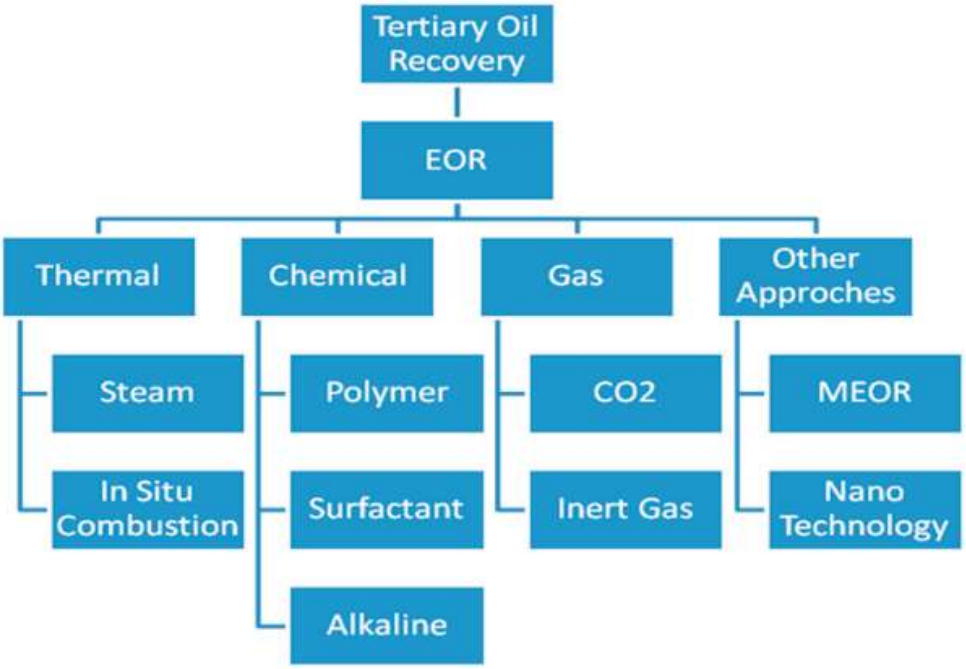
الشكل(2):يوضح كيفية تشكل الجزيئات النانوية الجسيمات النانوية [3]

من الأدوات المستخدمة في دراسة الجزيئات النانوية والتأكد من قياسها:

1. الفحص المجهري الالكتروني (SEM) وتعتبر الطريقة الأكثر موثوقية لتقييم ما إذا كانت المادة مادة نانوية وفقًا للتعريف من قبل المفوضية الأوروبية[5]
2. مجهر القوة الذرية (AFM)
3. التحليل لطيفي الالكتروني بالأشعة السينية (XPS) .[6].
4. هناك تقنيات اخرى للقياس تعتمد على تنقل الجسيمات. [7]

5- استخدام الجسيمات النانوية في الاستثمار المدعم للنفط

تتمتع تقنيات الاستثمار المدعم للنفط (EOR) بالقدرة على زيادة المردود من مكامن النفط. وفي الآونة الاخيرة اكتسب استخدام الجزيئات النانوية اهتماماً كبيراً في مجال هندسة النفط، ويمكن توضيح طرق الاستثمار المدعم للنفط بما فيها الطرق النانوية بالشكل(3)



الشكل(3): يوضح طرق الاستثمار المدعم للنفط.[4]

يرجع تفوق استخدام جسيمات بحجم النانو في السوائل إلى أنها تزيد من التلامس بين جزيء المادة المتفاعلة والمحفز،[8] حيث تعتبر الجسيمات المستخدمة ضمن القياسات النانوية اذا كانت اقطارها من 1 إلى 100 نانومتر، اذ توفر الطريقة النانوية خصائص حرارية وبصرية وكهربائية وانسيابية وبينية مفيدة لتحرير النفط المحصور في المسام.[6]

عندما تكون صخور المكمن مبللة بالنفط، هذا يعني أن النفط سيبقى ملاصق لسطح الصخر، حيث يظل النفط الموجود في هذا النوع من المكامن محصوراً في المسامات عند استخدام الغمر المائي، لذلك يجب تغيير قابلية تبلل الصخور من مبلل بالنفط الى مبلل بالماء. [6] ويمكن تلخيص آلية الغمر النانوي على أنه تغيير قابلية البلل ، وتقليل التوتر السطحي ، والتحكم باللزوجة ، وضغط الفصل لإزاحة النفط ، والرغوة المستقرة والمستحلب.[9] يعتمد تغيير قابلية التبلل باستخدام الجسيمات النانوية(NPs) على عدة عوامل مثل طبيعة

NPs، والكره للماء، وطبيعة المكمن، وتركيز NPs.[10] الخواص الفيزيائية والكيميائية الهامة لأسطح الجسيمات النانوية مثل الشحنة والكراهية المائية تتأثر بالبيئة الموجودة فيها مثل الرقم الهيدروجيني المحلي PH.[11]

يقلل المائع النانوي من درجة التشبع بالنفط المتبقي ويزيد من كفاءة الإزاحة، كما تتحسن كفاءة الإزاحة مع زيادة درجة الحرارة.[12] كما ان حقن المواد النانوية علاج واعد لمشكلة حركة الجسيمات الغروية التي تنقص نفوذية المنطقة المجاورة للبئر[13]

6- المواد النانوية المستخدمة في الاستثمار المدعم للنفط

تم تصنيف الجسيمات النانوية بناء على الوظائف الاساسية التي تقوم بها الى جسيمات تقوم بتخفيض اللزوجة و أخرى لتقليل التوتر البيني وقسم متخصص بتغيير قابلية التبلل والأخيرة متخصصة بتحسين كفاءة الازاحة بينما لاتزال هناك جسيمات تحتاج لدراسة اكثر، ويجب اثناء تطبيق الطرق النانوية التركيز على الصحة والبيئة و التكلفة. ويمكن توضيح تصنيف الجسيمات النانوية وفق الالية الرئيسية لعملها بالجدول(1). [14]

وسنتحدث عن استخدام احد المواد النانوية (والمستخدمة بكثرة) في الاستثمار المدعم للنفط:

6-1- ثنائي أكسيد السيليكون النانوي SIO2

تم اجراء دراسة لتحاكي حالة المكمن استخدمت فيها الكوارتز، الميكا والمسكوفيت لتمثل صخور المكمن، حيث أوضحت النتائج أن التوزيعات المائية لجسيمات ثاني أكسيد السيليكون النانوية المحبة للماء تغير قابلية التبلل نحو حالة تبلل اقل للصخر بالنفط. [15] كما أظهرت دراسة اخرى أن المعلقات النانوية من السيليكا يمكن أن تغير بشكل فعال تبلل الكالسيت بالنفط إلى تبلل بالماء، ويتم تعزيز هذه القدرة عن طريق زيادة التركيز والوقت والملوحة.[16] كما ان امتزاز السيليكا النانوية على سطح الكالسيت المبلل بالنفط يكون لا رجوع فيه. [17] تعتبر السوائل النانوية للسيليكات فعالة للغاية كعوامل محسّنة لاستعادة الهيدروكربون ويمكن استخدامها لتحسين كفاءة التخزين لثاني أكسيد الكربون تحت الارض.[18]

الجدول (1): يوضح تصنيف المواد النانوية وفق الالية الرئيسية لعملها في الاستثمار المدعم للنفط.

الالية الأساسية	الجسيمات النانوية المستخدمة
تخفيض اللزوجة هي الالية الأساسية	• Aluminum Oxide (Al2O3) • Copper(II) oxide, CuO • Iron oxide, (Fe2O3/Fe3O4) • Nickel Oxide (Ni2O3) • ethanol and magnesium oxide • Polymer Coated Nano Particles IFT
تخفيض التوتر البيني IFT هو الالية الأساسية	• SiO2 Nanoparticles • HLP • Polyacrylamide Micro-gel Nano-spheres • Polymer Coated Nano Particles • Ferrofluid
تغيير قابلية التبلل هي الآلية الرئيسية	• Tin Oxide (SnO2) • SiO2 Nanoparticles • Alumina Coated Silica Nanoparticles • Hydrophobic Silicon oxide (SiO2) • Spherical Fumed Silica Nanoparticles • NWP • LHPN • Polymer Coated Nano Particles
كفاءة الازاحة والكسح هي الالية الرئيسية	• Nano-Sized Colloidal Dispersion Gels (CDG) • Polymer Nano Particles • Polymer Coated Nano Particles

7- استقرار وترسيب الجزيئات النانوية

يعتبر استقرار الجسيمات النانوية خلال تطبيق طرق الاستثمار المدعم للنفط امراً هاماً، وذلك لتجنب تشكل تكتلات من شأنها ان تساهم بإغلاق المسامات، أظهرت الدراسات التي أجريت حتى الآن أن كمية وشحنة الجسيمات النانوية في السائل النانوي، وكذلك التفاعل بين الجسيمات والمشتت يؤثر بشكل مباشر على استقرار الجسيمات النانوية المعلقة.[19] كما ان نوع المشتت يعتبر عامل رئيسي يمكنه تغيير استقرار الجسيمات النانوية تماماً،[20] جزيئات الماء الصغيرة تتحرك أسرع من الجسيمات النانوية اثناء الحقن، وزيادة سرعة الحقن يؤدي إلى تكتل الجزيئات النانوية التي تسد المسام.[21]

تمتلك الجسيمات النانوية غير المعالجة مساحات سطحية ضخمة مقارنة بكتلتها، مما يؤدي إلى تفاعلات قوية بين الجسيمات في المياه المالحة، وبالتالي ميل قوي لتكتل الجسيمات، والترسيب السريع، الامر الذي يؤدي الى

تقليل حركة الجسيمات النانوية في البيئة المائية.[22] كما اشارت دراسة الى ان معظم الجسيمات النانوية تتجمع بمجرد ترطيبها ، مما يؤثر بشكل كبير على معدلات الترسيب.[23]

يتطلب الترسيب مراقبة لفترة طويلة، ولكن يمكن تقليل وقت المراقبة عن طريق الطرد المركزي، كما يمكن قياس متوسط نصف قطر الجزيئات النانوية المعلقة في محلول بتقنية تشتت الضوء الديناميكي، جهد زيتا. [24]

8- الغمر المائي النانوي

استخدام المواد النانوية المعلقة في السوائل بمفرده دون أي مواد كيميائية أو حرارة والتي يشار إليها عادة باسم nanoflooding، حيث تشير الدراسات الى ان الغمر المائي النانوي له مزايا عديدة بالمقارنة مع حقن المواد الكيميائية.[24] [9] كما تشير دراسة الى ان استخدام جزيئات ثنائي أكسيد التيتانيوم النانوية TiO2 لإنتاج النفط الثقيل من الحجر الرملي الى انه يمكن تحسين عامل المردود بشكل كبير.[25]

9- السوائل النانوية البولميرية

البوليمر الأكثر استخدامًا في الاستثمار المدعم للنفط هو البولي أكريل اميد polyacrylamide [1] حيث تعمل البولميرات على تحسين إزاحة النفط، ويتم التعبير عن حركة السوائل المزيحة والمزاحة باستخدام معادلة نسبة الحركية حيث تكون إزاحة النفط افضل عندما تكون نسبة الحركية اقل من الواحد. [24]

يمكن أن تؤدي زيادة كمية البوليمر في المحلول إلى زيادة لزوجة محلول البوليمر، ولكن المشكلة المهمة هي إمكانية انسداد المسام في الوسط المسامي بسبب تراكم البوليمر في المحلول البوليمر، في حين أن النسب العالية من الجسيمات النانوية ليس لها أي تأثير على سد المسام بسبب حجمها الدقيق في محلول البوليمر. [26]

الجزيئات النانوية المغلفة بالبوليمر تكون متفوقة على الجسيمات النانوية غير المغلفة بسبب تحسين استقرار الجسيمات، بالإضافة الى زيادة استقرار الرغاوى والمستحلبات، وزيادة سهولة الحركة عبر المسامات الصخرية.[27]

تم استخدام جزيئات أكسيد الألومنيوم النانوية مع البولي أكريل اميد، حيث يمكن أن يؤدي غمر البوليمر–النانو بعد غمر البوليمر إلى زيادة عامل المردود لاكثر من 2٪، مع تخفيض التكلفة بأكثر من 40٪.[28]

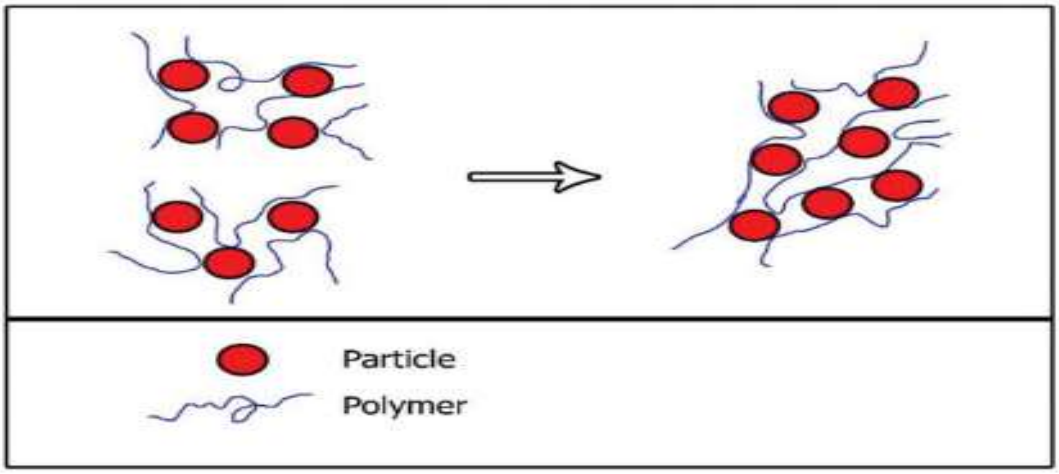
من المعروف أن البوليمرات القابلة للذوبان في الماء تُستخدم في عمليات الاستثمار المدعم للنفط الكيميائية، ولكن تطبيقاتها محدودة في مكامن النفط ذات درجة الحرارة العالية والملوحة العالية بسبب ضعف تحملها الملحي واستقرارها الحراري الضعيف، لذلك تم دراسة ربط البولي أكريل اميد مع جسيمات السيليكا النانوية ودراستها في ظروف المكمن النفطي ذو الحرارة والملوحة المرتفعة، حيث وجد أن اللزوجة الظاهرية ومعامل المرونة لمحاليل البولمير (البولي اكريل اميد) تزداد مع إضافة جزيئات السيليكا النانوية ، كما أن هجين البولي اكريل اميد / السيليكا النانوية يُظهر مقاومة قص أفضل واستقراراً حرارياً طويل المدى مقارنة بالبولي اكريل اميد لوحده في محلول ملحي اصطناعي، كما تُظهر اختبارات الازاحة أن هجين البولي اكريل اميد / السيليكا النانوية له عامل مردود نفط أعلى من محلول البولي اكريل اميد لوحده.[29]

تم تعزيز أداء الجسيمات النانوية لتعديل قابلية ترطيب الصخور بواسطة بوليمر صمغ الزانثان Xanthan gum polymer حيث تم الحصول على حالة ترطيب شديدة بالماء وحالة توازن أسرع من الحالة التي يتم الحصول عليها من استخدام السوائل النانوية الخالية من البوليمر. [30]

تشير النتائج إلى أن في وجود الجسيمات النانوية (السيليكا) مع البولمير يمكن ان تحقق تحسن بنسبة 10% في المردود النهائي للنفط، ويرجع ذلك إلى تعزيز لزوجة السائل المحقون. كما تبين أن الجسيمات النانوية لديها القدرة على تغيير قابلية التبلل إلى تبلل بالماء في بعض أجزاء النموذج المستخدم في الدراسة.[31]

كما بينت الدراسة التجريبية أن جزيئات السيليكا النانوية يمكنها زيادة لزوجة المحلول البولميري وتقليل كمية امتصاص البوليمر بشكل ملحوظ.[32]

يعزى تحسين الأداء بوجود البولميرات مع الجسيمات النانوية إلى تكوين بنية جزيئية معقدة. يتم امتصاص البولمير (البولي اكريل اميد) على سطح السيليكا النانوية بسبب الترابط الهيدروجيني، ويعمل جسيم السيليكا النانوي كوصلة فيزيائية رابطة بين السلاسل البوليمرية ، مما يؤدي إلى تحسين اللزوجة ويمكن توضيح ذلك بالشكل(4) [33]



الشكل(4): يوضح الترابط نتيجة الترابط الهيدروجيني بين السيليكا النانوية والسلاسل البولميرية للبولي اكريل اميد.[33]

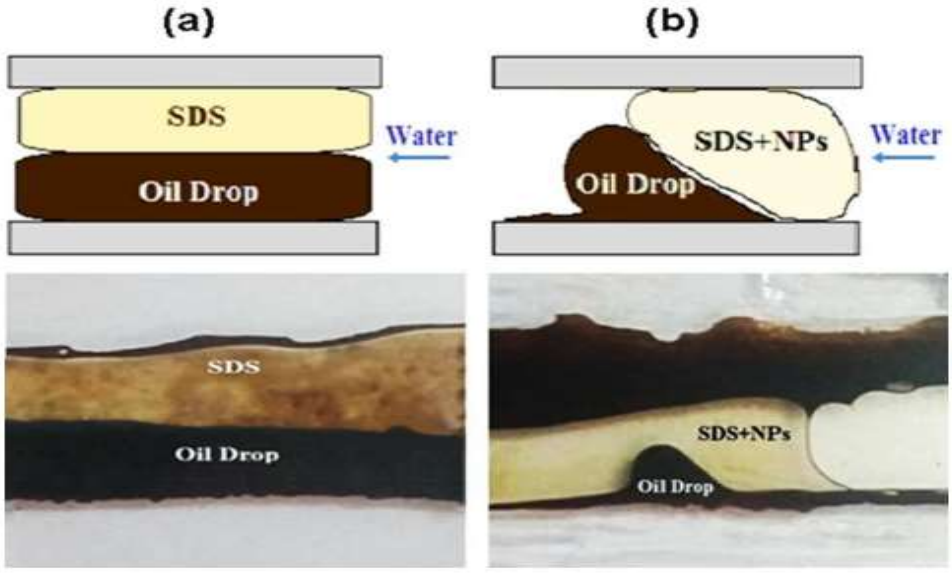
من أجل أن يكون ازاحة النفط الثقيل بالبوليمر فعالاً ، يجب أن يتجاوز تركيز السيليكا النانوية في محلول البوليمر قيمة حدية (التركيز الذي اوضحته الدراسة يبلغ حوالي 0.9٪ بالوزن)، كما بين اختبار الغمر للنفط الثقيل زيادة بنسبة 5٪ في استخلاص النفط الثقيل لمحلول البوليمر النانوي مقارنة بمحلول البوليمر.[34]

تم دراسة دور جزيئات TiO2 النانوية على لزوجة البوليمر وتحسين عامل المردود في استثمار النفط الثقيل، حيث أوضحت النتائج التي تم الحصول عليها تحسن سلوك التدفق وأداء محسن لاستخلاص النفط مقارنة بالبوليمرات لوحدها. كما اظهر اختبار الازاحة زيادة بنسبة 4٪ في استخلاص النفط من أجل محلول البوليمر النانوي مقارنة بمحلول البوليمر.[35]

10- السوائل النانوية مع مخفضات التوتر السطحي

تشير الدراسات الى فشل المواد الخافضة للتوتر السطحي بمفردها في ظروف المكمن القاسية في تثبيت الرغوة، في حين تظهر الجسيمات النانوية ثباتًا حرارياً أعلى.[36] حيث يمكن للموائع النانوية ذات مخفضات التوتر السطحي ان تحسن كفاءة الإزاحة المجهري عن طريق تقليل IFT وتغيير قابلية التبلل، كما يمكن استخدام هذه

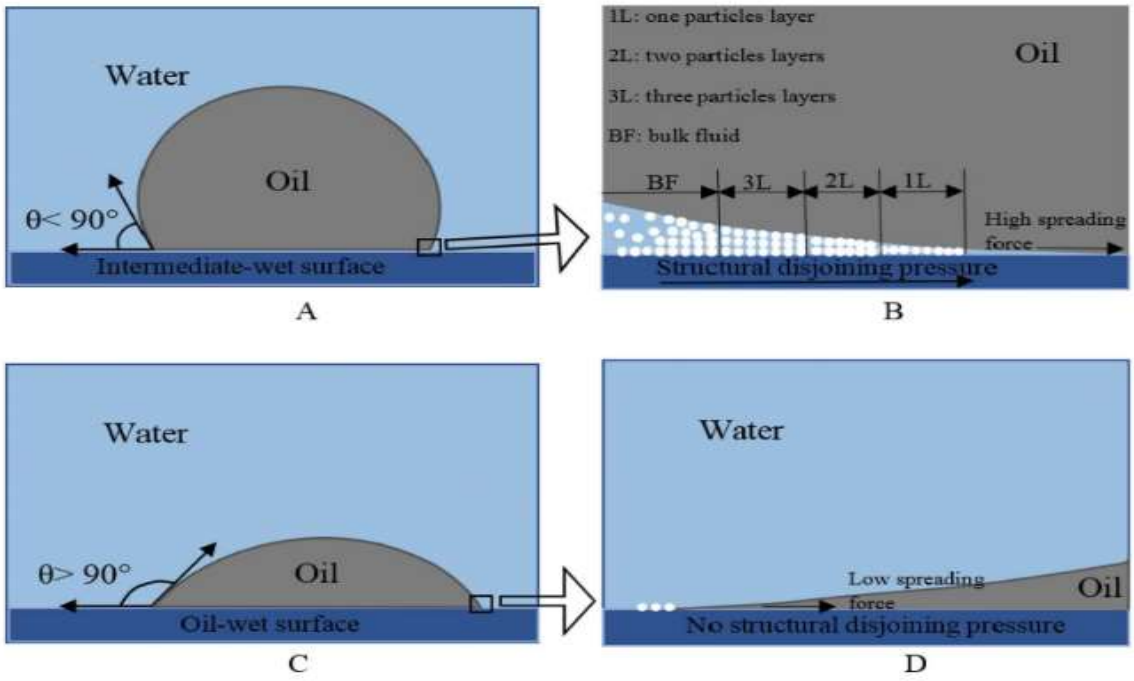
الموائع النانوية الحاوية على مخفضات التوتر السطحي لإنشاء رغاوي ومستحلبات مستقرة.[37] حيث ان الانخفاض الملحوظ في التوتر السطحي هو نتيجة لوجود الجسيمات النانوية في الطبقات البينية.[38]
تم تقييم التأثيرات التآزرية للجسيمات النانوية بالاشتراك مع عامل التوتر السطحي كبريتات دوديسيل `الصوديوم (SDS) كعوامل مناسبة لإزاحة النفط في الاستثمار المدعم للنفط (EOR) باستخدام نموذج زجاجي، بينت الدراسة ان إضافة جسيمات السيليكا النانوية المدخنة (Si–NPs) تتيح تعزيزاً إضافيا بنسبة 13٪ في استخلاص النفط بالإضافة إلى تأخير الاختراق، ويمكن توضيح الفرق بين تأثير مخفضات التوتر السطحي لوحدها بالمقارنة مع مخفضات التوتر السطحي بوجود السيليكا النانوية بالشكل(5).[39]
استخدام مخفضات التوتر السطحي لمعالجة الجسيمات النانوية تؤدي لاستقرار تشتت الجسيمات النانوية في المحاليل. ونتيجة لذلك، فإن أسطح الجسيمات النانوية تكون معالجة أي تضع دروع حولها من مخفضات التوتر السطحي، حيث تمنع وسائل الحماية هذه من التفاعل بين الجسيمات ، وبالتالي تقلل من احتمال تراكم الجسيمات النانوية.[40] يعتمد اختيار المواد الخافضة للتوتر السطحي المستخدمة بشكل أساسي على خصائص الجسيمات النانوية والمحلول[41]



الشكل(5): يوضح الفرق بين الازاحة بوجود مخفضات التوار السطحي لوحدها(a) بالمقارنة مع مخفضات التوتر السطحي بوجود السيليكا النانوية (b). [39]

تؤدي الزيادة في تركيز مخفضات التوتر السطحي إلى انخفاض زاوية تبلل السطح بالقطرة النفطية، وعندما تصبح قيمة زاوية التبلل أقل من 90 درجة، يبدأ التأثير الهيكلي للفصل للجسيمات النانوية NP في العمل (تبدأ الجسيمات النانوية بالدخول اسفل القطرة النفطية) وذلك بشكل تآزري مع مخفضات التوتر السطحي مما يؤدي إلى انخفاض حاد في زاوية التبلل ويمكن توضيح ذلك بالشكل(6)[42]
زاوية التبلل تعتمد بشدة على حجم الجسيمات النانوية، وتتناقص زاوية التلامس مع انخفاض حجم الجسيمات، كما يختلف تأثر زاوية التبلل لقطرة بوجود الموائع النانوية باختلاف نوع القطرة.[43]

تشير الدراسات الى ان ثبات الرغوة المشكلة باستخدام مخفضات التوتر السطحي SDS ينخفض مع زيادة درجة الحرارة، في حين اثبتت الرغوة المشكلة بواسطة استخدام مخفضات التوتر السطحي والسيليكا النانوية SDS / SiO2 تحملاً أفضل لدرجة الحرارة، بسبب امتزاز الجسيمات النانوية على سطح الفقاعة، حيث حافظت جميع الفقاعات تقريباً على شكل كروي أو بيضاوي لوقت طويل بسبب زيادة المرونة لها، والتي كانت مختلفة عن رغوة SDS.[44]



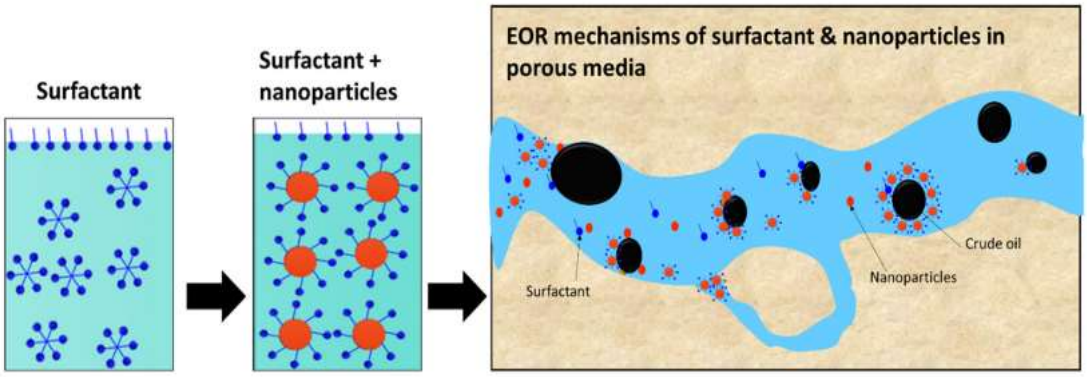
الشكل(6): يوضح تأثير الجسيمات النانوية في عملية الفصل عندما تكون زاوية التبلل اكبر من 90 درجة الاشكال (C,D) وعندما تصبح زواية التبلل اقل من 90 درجة الاشكال (A,B).[42]

أظهرت دراسات أن لجسيمات ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية أداء افضل في محلول مخفضات التوتر السطحي بالقرب من التركيز المذيلي، كما أوضحت نتائج التجارب تحسن استخلاص النفط الثقيل في اختبار النماذج الدقيقة باستخدام ثنائي أكسيد التيتانيوم النانوية.[45] وأشارت دراسة أخرى الى ان عملية امتصاص المحاليل النانوية المكونة من مخفضات التوتر السطحي والجسيمات النانوية لاكسيد التيتانيوم تتم بشكل سريع على سطح الصخر خلال فترة قصيرة، تليها فترة طويلة من الامتصاص البطيء.[46]

ويمكن توضيح تفاعل مخفضات التوتر السطحي مع الجسيمات النانوية عند التركيز المذيلي الحدي، وكيفية احاطة الجسيمات النانوية مع مخفضات التوتر السطحي بالقطرة النفطية بالشكل(7)، حيث ينتج عنه تغيير قابلية التبلل ونقص التوتر السطحي والاستحلاب.[47]

كما تم تصنيع العديد من السوائل النانوية من جزيئات ZrO2 النانوية ومخاليط من المواد الخافضة للتوتر السطحي، حيث اشارت النتائج الى انه يمكن أن تغير هذا السوائل بشكل كبير قابلية التبلل للصخر الكربوناتي من حالة تبلل شديد بالنفط إلى حالة تبلل شديد بالماء. [48] كما ان منحنيات النفوذية النسبية يحصل لها انزياح نحو اليمين بوجود السوائل النانوية مع مخفضات التوتر السطحي مقارنة بوجود مخفضات التوتر

السطحي لوحدها.[47] تم تطوير جسيمات بولميرية نانوية مطلية بمخفضات التوتر السطحي حيث أعطت نتائج واعدة بزيادة المردود.[49]



الشكل(7): يوضح تفاعل الجسيمات النانوية مع مخفضات التوتر السطحي لتوفير آليات الاستثمار المدعم للنفط.[47]

11- المواد النانوية مع الطرق الحرارية

يُعرَّف النفط الخام الثقيل بأنه أي نوع من النفط قيمة درجة الكثافة (API) منخفضة، ولزوجة النفط مرتفعة، وغالباً ما يتم انتاجه باستخدام الطرق الحرارية.[50] حيث تنخفض لزوجة النفط وحركية الماء عند ارتفاع درجة الحرارة، كما تتناقص درجة التشبع بالنفط المتبقية بارتفاع درجة الحرارة ولكن تزداد درجة التشبع بالماء المتبقية. [51] وبشكل عام فان منحنيات النفوذية النسبية للنفط والماء يحصل لها انزياح نحو اليمين نتيجة زيادة التبلل بالماء وتقليل تبلل الصخر بالنفط. [52]

يتم تحسين استخلاص النفط عن طريق حقن البخار بسبب تطاير الهيدروكربونات الخفيفة ، وتقليل اللزوجة ، والتمدد الحراري للموائع والهيكل الصخري ، وتغير النفوذية النسبية والضغط الشعري ، والفصل الثقالي، اما حقن البخار بوجود الجزيئات النانوية فإنها تزيد المردود، نتيجة تغير قابلية النظام للبلل ليصبح أكثر تبلل بالماء.[53]

تشير دراسة مخبرية الى انه يمكن للجسيمات النانوية من النيكل والتي تم اضافتها للعينة المدروسة أن تعمل كمحفزات أثناء عملية حقن البخار الدوري، ومع ذلك، يميل التأثير التحفيزي للنيكل إلى التناقص بمرور الوقت، بل ويختفي في المراحل المتأخرة جداً، و قد يكون هذا مرتبطًا بانخفاض تركيز النيكل في العينة المدروسة (حزمة الرمل) في دورات لاحقة.[54]

أجريت دراسة لحقن السوائل الساخنة للنفط الثقيل بوجود محفزات نانوية ثلاثية الفلزات في مستحلب، أظهرت النتائج فعالية المحفزات النانوية في تعزيز أداء الاستثمار مقارنة مع حالات عدم استخدام الجسيمات النانوية.[55] كما استخدمت السوائل النانوية في تحسين الناقلية الحرارية للموائع مقارنة بالسوائل غير الحاوية على المعلقات او المعلقات بإحجام كبيرة [19]

تم دراسة تأثير تراكيز مختلفة من جزيئات Fe2O3 وWO3 النانوية عند درجات حرارة مختلفة على لزوجة النفط الثقيل، حيث تظهر الاختبارات التجريبية أن هذه الجسيمات النانوية تقلل لزوجة النفط الثقيل بشرط الا تكون التراكيز مرتفعة عندها ستزيد اللزوجة، كما تمت دراسة تأثير خليط جزيئات Fe2O3 وWO3 النانوية

على عملية الحقن بالبخار، حيث اظهرت نتائج اختبارات الحقن بالبخار أن حقن خليط جزيئات Fe_2O_3 و WO_3 النانوية يزيد من استخلاص النفط الثقيل.[56] كما ان استخدام العوازل الحرارية النانوية يؤدي إلى تقليل فقدان الطاقة وزيادة توصيل الحرارة الى المكمن.[57]

12- المواد النانوية مع الأمواج الكهرومغناطيسية

يؤدي الحقل الكهرومغناطيسي إلى حدوث تشوه في شكل قطرة النفط، مما يسمح بامتصاص الجسيمات النانوية من قبل النفط بشكل افضل. [58] كما يمكن للجسيمات النانوية، عند تنشيطها بواسطة المجال المغناطيسي أن تصل لمسافات اكبر ضمن المكمن، من اجل اخراج النفط المحصور[59]

تشير دراسة الى ان حقن المائع النانوي لاكسيد الالمنيوم وتعريضه لموجة كهرومغناطيسية أدى الى استرداد 54.2% من النفط الموجود بالمكمن في حين ان عامل المردود كان 32.88% دون وجود الأمواج الكهرومغناطيسية، حيث ثبت أن المجال الكهربائي لموجات كهرومغناطيسية قد يحفز المائع النانوي ليكون أكثر لزوجة [60] كما تشير دراسة اخرى الى ان استخدام الموائع النانوية العازلة لاكسيد الزنك أدى الى للحصول على عامل مردود قدره 50% ولدى استخدام الأمواج الكهرومغناطيسية مع هذه الموائع ازداد عامل المردود الى 73.3% [61]، كما ان استخدام الموائع النانوية المغناطيسية (Fe_2O_3) يؤدي الى تخفيض التوتر البيني بشكل افضل من الموائع النانوية العازلة بوجود الحقل الكهرومغناطيسي وبالتالي استخلاص النفط بشكل افضل.[62]

13- تنويه هام

تقوم العديد من الصناعات مثل تصنيع الأغذية ومستحضرات التجميل والأصباغ والدهانات والإلكترونيات..... بإنتاج واستخدام جزيئات أكسيد المعادن النانوية (NPs)، ولكن يجب الإشارة الى ان إطلاقها وتراكمها في البيئة له تأثيرات ضارة على الكائنات المائية مثل الميكروبات والطحالب والأسماك واللافقاريات، حيث تم تصنيف أكسيد المعادن النانوية وخاصة Al_2O_3 و TiO_2 على أنها مادة مسرطنة للإنسان من قبل الوكالة الدولية لأبحاث السرطان (IARC)[63]

يجب أن يكون تصميم المواد النانوية الجديدة مصحوباً دائمًا بتقييم شامل للمخاطر، حيث تعتمد سمية الجسيمات النانوية على الكائنات الحية على الخصائص الهيكلية المختلفة (الخصائص الجوهرية)، مثل: التركيب الكيميائي، والشكل البلوري، والحجم، والشكل، والمسامية، ومساحة السطح، وكيمياء السطح.[64]

النتائج والمقترحات

نلاحظ من الدراسة السابقة أهمية استخدام المواد النانوية في تطبيق طرق الاستثمار المدعم للنفط فقد أدى استخدام هذه المواد الى تغيرات مهمة في آلية إزاحة النفط، تغيير قابلية البلل، تقليل التوتر السطحي، التحكم باللزوجة، ضغط الفصل لإزاحة النفط، الرغوة المستقرة والمستحلبات بالإضافة الى تحسين كفاءة الكسح والازاحة كل هذه الاليات تؤدي الى تقليل درجة التشبع بالنفط المتبقي ضمن المكمن وزيادة المردود النفطي الناتج عن عملية الاستثمار المدعم للنفط النانوي.

اجراء دراسة تجريبية لتطبيق الطرق النانوية على عينات من مختلف الحقول السورية.

اجراء دراسة اقتصادية لمعرفة الجدوى الاقتصادية من تطبيق الطرق النانوية.

المراجع

[1] A. Z. Abidin, T. Puspasari, and W. A. Nugroho, "Polymers for Enhanced Oil Recovery Technology," *Procedia Chem.*, vol. 4, pp. 11–16, 2012, doi: 10.1016/j.proche.2012.06.002.

[2] P. K. Sharma *et al.*, "Nanotechnology and its application: a review," *Nanotechnol. Cancer Manag.*, pp. 1–33, Jan. 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-818154-6.00010-X.

[3] M. Fiedot, O. Rac, P. Suchorska-Woźniak, I. Karbownik, and H. Teterycz, "Polymer-surfactant interactions and their influence on zinc oxide nanoparticles morphology," *Manuf. Nanostructures*, no. June 2015, pp. 108–128, 2014.

[4] H. Panchal, H. Patel, J. Patel, and M. Shah, "A systematic review on nanotechnology in enhanced oil recovery," *Pet. Res.*, vol. 6, no. 3, pp. 204–212, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.PTLRS.2021.03.003.

[5] L. Crouzier, A. Delvallée, S. Ducourtieux, L. Devoille, C. Tromas, and N. Feltin, "A new method for measuring nanoparticle diameter from a set of SEM images using a remarkable point," *Ultramicroscopy*, vol. 207, no. July, p. 112847, 2019, doi: 10.1016/j.ultramic.2019.112847.

[6] S. Ayatollahi, "Nanotechnology-assisted EOR techniques: New solutions to the old challenges," *World Pet. Congr. Proc.*, vol. 6, pp. 4127–4138, 2014.

[7] H. Rauscher *et al.*, "Recommendation on a Revision of the EC Definiton of Nanomaterial Based on Analytical Possibilities, updated. Nanodefine Technical Report D7.11," p. 71, 2017.

[8] F. Iskandar, E. Dwinanto, M. Abdullah, Khairurrijal, and O. Muraza, "Viscosity reduction of heavy oil using nanocatalyst in aquathermolysis reaction," *KONA Powder Part. J.*, vol. 2016, no. 33, pp. 3–16, 2016, doi: 10.14356/kona.2016005.

[9] B. Peng *et al.*, "A review of nanomaterials for nanofluid enhanced oil recovery," *RSC Adv.*, vol. 7, no. 51, pp. 32246–32254, 2017, doi: 10.1039/c7ra05592g.

[10] M. S. Kamal, A. A. Adewunmi, A. S. Sultan, M. F. Al-Hamad, and U. Mehmood, "Recent advances in nanoparticles enhanced oil recovery: Rheology, interfacial tension, oil recovery, and wettability alteration," *J. Nanomater.*, vol. 2017, 2017, doi: 10.1155/2017/2473175.

[11] C. Pfeiffer *et al.*, "Interaction of colloidal nanoparticles with their local environment: The (ionic) nanoenvironment around nanoparticles is different from bulk and

determines the physico-chemical properties of the nanoparticles," *J. R. Soc. Interface*, vol. 11, no. 96, 2014, doi: 10.1098/rsif.2013.0931.

[12] L. Hendraningrat and O. Torsæter, "Effects of the initial rock wettability on silica-based nanofluid-enhanced oil recovery processes at reservoir temperatures," *Energy and Fuels*, vol. 28, no. 10, pp. 6228–6241, 2014, doi: 10.1021/ef5014049.

[13] Y. Assef, P. Pourafshary, and H. Hejazi, "Controlling interactions of colloidal particles and porous media during low salinity water flooding and alkaline flooding by MgO Nanoparticles," *Soc. Pet. Eng. - SPE EOR Conf. Oil Gas West Asia, OGWA 2016*, 2016, doi: 10.2118/179768-ms.

[14] C. Negin, S. Ali, and Q. Xie, "Application of nanotechnology for enhancing oil recovery – A review," *Petroleum*, vol. 2, no. 4, pp. 324–333, 2016, doi: 10.1016/j.petlm.2016.10.002.

[15] D. Afekare, J. Garno, and D. Rao, "Enhancing oil recovery using silica nanoparticles: Nanoscale wettability alteration effects and implications for shale oil recovery," *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 203, no. April, p. 108897, 2021, doi: 10.1016/j.petrol.2021.108897.

[16] A. Dehghan Monfared, M. H. Ghazanfari, M. Jamialahmadi, and A. Helalizadeh, "Potential Application of Silica Nanoparticles for Wettability Alteration of Oil-Wet Calcite: A Mechanistic Study," *Energy and Fuels*, vol. 30, no. 5, pp. 3947–3961, 2016, doi: 10.1021/acs.energyfuels.6b00477.

[17] S. Al-Anssari, M. Arif, S. Wang, A. Barifcani, M. Lebedev, and S. Iglauer, "Wettability of nanofluid-modified oil-wet calcite at reservoir conditions," *Fuel*, vol. 211, no. October 2016, pp. 405–414, 2018, doi: 10.1016/j.fuel.2017.08.111.

[18] S. Al-Anssari, A. Barifcani, S. Wang, L. Maxim, and S. Iglauer, "Wettability alteration of oil-wet carbonate by silica nanofluid," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 461, pp. 435–442, 2016, doi: 10.1016/j.jcis.2015.09.051.

[19] X. Li, D. Zhu, and X. Wang, "Evaluation on dispersion behavior of the aqueous copper nano-suspensions," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 310, no. 2, pp. 456–463, 2007, doi: 10.1016/j.jcis.2007.02.067.

[20] R. Marsalek, "Particle size and Zeta Potential of ZnO," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 9, pp. 13–17, 2014, doi: 10.1016/j.apcbee.2014.01.003.

[21] Y. Kazemzadeh, S. Shojaei, M. Riazi, and M. Sharifi, "Review on application of nanoparticles for EOR purposes: A critical review of the opportunities and challenges," *Chinese J. Chem. Eng.*, vol. 27, pp. 237–246, 2019, doi:

10.1016/j.cjche.2018.05.022.

[22] M. Adil, H. M. Zaid, L. K. Chuan, and N. R. A. Latiff, "Effect of Dispersion Stability on Electrorheology of Water-Based ZnO Nanofluids," *Energy and Fuels*, vol. 30, no. 7, pp. 6169–6177, 2016, doi: 10.1021/acs.energyfuels.6b01116.

[23] A. A. Keller *et al.*, "Stability and Aggregation of Metal Oxide Nanoparticles in Natural Aqueous Matrices," vol. 44, no. 6, pp. 1962–1967, 2010.

[24] M. Y. Rezk and N. K. Allam, "Impact of Nanotechnology on Enhanced Oil Recovery: A Mini-Review," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 58, no. 36, pp. 16287–16295, 2019, doi: 10.1021/acs.iecr.9b03693.

[25] H. Ehtesabi, M. M. Ahadian, V. Taghikhani, and M. H. Ghazanfari, "Enhanced heavy oil recovery in sandstone cores using TiO2 nanofluids," *Energy and Fuels*, vol. 28, no. 1, pp. 423–430, 2014, doi: 10.1021/ef401338c.

[26] A. Maghzi, A. Mohebbi, R. Kharrat, and M. H. Ghazanfari, "An experimental investigation of silica nanoparticles effect on the rheological behavior of polyacrylamide solution to enhance heavy oil recovery," *Pet. Sci. Technol.*, vol. 31, no. 5, pp. 500–508, 2013, doi: 10.1080/10916466.2010.518191.

[27] H. Shamsijazeyi, C. A. Miller, M. S. Wong, J. M. Tour, and R. Verduzco, "Polymer-coated nanoparticles for enhanced oil recovery," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 131, no. 15, pp. 1–13, 2014, doi: 10.1002/app.40576.

[28] M. Elkady, "Application of Nanotechnology in EOR, Polymer-Nano Flooding the Nearest Future of Chemical EOR," pp. 1–20, 2016, doi: 10.2118/184746-stu.

[29] D. Zhu, L. Wei, B. Wang, and Y. Feng, "Aqueous hybrids of silica nanoparticles and hydrophobically associating hydrolyzed polyacrylamide used for EOR in high-temperature and high-salinity reservoirs," *Energies*, vol. 7, no. 6, pp. 3858–3871, 2014, doi: 10.3390/en7063858.

[30] A. Keykhosravi, M. B. Vanani, and C. Aghayari, "TiO2 nanoparticle-induced Xanthan Gum Polymer for EOR: Assessing the underlying mechanisms in oil-wet carbonates," *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 204, no. April, p. 108756, 2021, doi: 10.1016/j.petrol.2021.108756.

[31] H. Yousefvand and A. Jafari, "Enhanced Oil Recovery Using Polymer/nanosilica," *Procedia Mater. Sci.*, vol. 11, no. 2010, pp. 565–570, 2015, doi: 10.1016/j.mspro.2015.11.068.

[32] S. S. Khalilinezhad, G. Cheraghian, E. Roayaei, H. Tabatabaee, and M. S. Karambeigi, "Improving heavy oil recovery in the polymer flooding process by

utilizing hydrophilic silica nanoparticles," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 00, no. 00, pp. 1–10, 2017, doi: 10.1080/15567036.2017.1302521.

[33] N. K. Maurya and A. Mandal, "Studies on behavior of suspension of silica nanoparticle in aqueous polyacrylamide solution for application in enhanced oil recovery," *Pet. Sci. Technol.*, vol. 34, no. 5, pp. 429–436, 2016, doi: 10.1080/10916466.2016.1145693.

[34] G. Cheraghian and S. S. Khalilinezhad, "Effect of Nanoclay on Heavy Oil Recovery during Polymer Flooding," *Pet. Sci. Technol.*, vol. 33, no. 9, pp. 999–1007, 2015, doi: 10.1080/10916466.2015.1014962.

[35] G. Cheraghian, "Effect of nano titanium dioxide on heavy oil recovery during polymer flooding," *Pet. Sci. Technol.*, vol. 34, no. 7, pp. 633–641, 2016, doi: 10.1080/10916466.2016.1156125.

[36] Q. Sun, N. Zhang, Z. Li, and Y. Wang, "Nanoparticle-Stabilized Foam for Effective Displacement in Porous Media and Enhanced Oil Recovery," *Energy Technol.*, vol. 4, no. 9, pp. 1053–1063, 2016, doi: 10.1002/ente.201600063.

[37] A. Sircar, K. Rayavarapu, N. Bist, K. Yadav, and S. Singh, "Applications of nanoparticles in enhanced oil recovery," *Pet. Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 77–90, 2022, doi: 10.1016/j.ptlrs.2021.08.004.

[38] G. Cheraghian and L. Hendraningrat, "A review on applications of nanotechnology in the enhanced oil recovery part A: effects of nanoparticles on interfacial tension," *Int. Nano Lett.*, vol. 6, no. 2, pp. 129–138, 2016, doi: 10.1007/s40089-015-0173-4.

[39] G. Cheraghian, S. Kiani, N. N. Nassar, S. Alexander, and A. R. Barron, "Silica Nanoparticle Enhancement in the Efficiency of Surfactant Flooding of Heavy Oil in a Glass Micromodel Silica Nanoparticle Enhancement in the Efficiency of Surfactant Flooding of Heavy Oil in a Glass Micromodel," 2017, doi: 10.1021/acs.iecr.7b01675.

[40] A. Ahmed, I. M. Saaid, R. M. Pilus, A. Abbas, A. H. Tunio, and M. K. Baig, "Development of surface treated nanosilica for wettability alteration and interfacial tension reduction," *J. Dispers. Sci. Technol.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1080/01932691.2017.1417133.

[41] M. Almahfood and B. Bai, "The synergistic effects of nanoparticle-surfactant nanofluids in EOR applications," *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 171, no. May, pp. 196–210, 2018, doi: 10.1016/j.petrol.2018.07.030.

[42] S. Al-anssari, L. N. Nwidee, and M. Arif, "SPE-189203-MS Wettability Alteration of Carbonate Rocks via Nanoparticle-Anionic Surfactant Flooding at Reservoirs Conditions," 2017.

[43] A. M. Munshi, V. N. Singh, M. Kumar, and J. P. Singh, "Effect of nanoparticle size on sessile droplet contact angle," *J. Appl. Phys.*, vol. 103, no. 8, pp. 10–15, 2008, doi: 10.1063/1.2912464.

[44] Q. Sun, Z. Li, S. Li, L. Jiang, J. Wang, and P. Wang, "Utilization of surfactant-stabilized foam for enhanced oil recovery by adding nanoparticles," *Energy and Fuels*, vol. 28, no. 4, pp. 2384–2394, 2014, doi: 10.1021/ef402453b.

[45] G. Cheraghian, "Effects of titanium dioxide nanoparticles on the efficiency of surfactant flooding of heavy oil in a glass micromodel," vol. 6466, no. March, 2016, doi: 10.1080/10916466.2015.1132233.

[46] A. Shahrabadi, A. Daghbandan, and M. Arabiyoun, "Experimental investigation of the adsorption process of the surfactant-nanoparticle combination onto the carbonate reservoir rock surface in the enhanced oil recovery (EOR) process," *Chem. Thermodyn. Therm. Anal.*, vol. 6, p. 100036, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.CTTA.2022.100036.

[47] A. Omidi, A. K. Manshad, S. Moradi, J. A. Ali, S. M. Sajadi, and A. Keshavarz, "Smart- and nano-hybrid chemical EOR flooding using Fe3O4/eggshell nanocomposites," *J. Mol. Liq.*, vol. 316, p. 113880, 2020, doi: 10.1016/j.molliq.2020.113880.

[48] A. Karimi *et al.*, "Wettability alteration in carbonates using zirconium oxide nanofluids: EOR implications," *Energy and Fuels*, vol. 26, no. 2, pp. 1028–1036, 2012, doi: 10.1021/ef201475u.

[49] Y. Zhou *et al.*, "Polymer nanoparticles based nano-fluid for enhanced oil recovery at harsh formation conditions," *Fuel*, vol. 267, no. December 2019, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2020.117251.

[50] A. Nabilou, "EOR Methods Best Method for Enhanced Oil Recovery from Sarvak Reservoir and Analyse Sensitive Parameters," *Tecnico*, 2016.

[51] Z. Pang, Y. Jiang, B. Wang, G. Cheng, and X. Yu, "Experiments and analysis on development methods for horizontal well cyclic steam stimulation in heavy oil reservoir with edge water," *J. Pet. Sci. Eng.*, May 2020, doi: 10.1016/j.petrol.2020.106948.

[52] L. hui Zhang, J. Tong, Y. Xiong, and Y. long Zhao, "Effect of temperature on the

oil–water relative permeability for sandstone reservoirs," *Int. J. Heat Mass Transf.*, pp. 535–548, 2017, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.10.029.

[53] C. A. Franco, L. Cardona, S. H. Lopera, J. M. Mejía, and F. B. Cortés, "Nanoparticle catalysts upgrade heavy oil for continuous-steam-injection recovery," *JPT, J. Pet. Technol.*, vol. 69, no. 3, pp. 66–67, 2017, doi: 10.2118/0317-0066-jpt.

[54] S. Yi, T. Babadagli, and H. A. Li, "Use of nickel nanoparticles for promoting aquathermolysis reaction during cyclic steam stimulation," *SPE J.*, vol. 23, no. 1, pp. 145–156, 2018, doi: 10.2118/186102-pa.

[55] R. Hashemi, N. N. Nassar, and P. Pereira Almao, "Enhanced heavy oil recovery by in situ prepared ultradispersed multimetallic nanoparticles: A study of hot fluid flooding for Athabasca bitumen recovery," *Energy and Fuels*, vol. 27, no. 4, pp. 2194–2201, 2013, doi: 10.1021/ef3020537.

[56] S. Afzal, M. R. Ehsani, M. Nikookar, and E. Roayaei, "Effect of Fe2O3 and WO3 nanoparticle on steam injection recovery," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 40, no. 3, pp. 251–258, 2018, doi: 10.1080/15567036.2013.870612.

[57] M. Afra, S. M. Peyghambarzadeh, K. Shahbazi, and N. Tahmassebi, "Thermo-economic optimization of steam injection operation in enhanced oil recovery (EOR) using nano-thermal insulation," *Energy*, vol. 226, p. 120409, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.120409.

[58] M. Adil, H. Mohd Zaid, and L. Kean Chuan, "Electromagnetically-induced change in interfacial tension and contact angle of oil droplet using dielectric nanofluids," *Fuel*, vol. 259, no. September 2019, p. 116274, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2019.116274.

[59] H. Ali *et al.*, "Enhanced oil recovery by using electromagnetic-assisted nanofluids: A review," *J. Mol. Liq.*, vol. 309, p. 113095, 2020, doi: 10.1016/j.molliq.2020.113095.

[60] H. M. Zaid, N. Rasyada, A. Latiff, and N. Yahya, "The Effect of Zinc Oxide and Aluminum Oxide Nanoparticles on Interfacial Tension and Viscosity of Nanofluids for Enhanced Oil Recovery," vol. 1024, pp. 56–59, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1024.56.

[61] M. S. Alnarabiji *et al.*, "Nanofluid enhanced oil recovery using induced ZnO nanocrystals by electromagnetic energy: Viscosity increment," *Fuel*, vol. 233, no. June, pp. 632–643, 2018, doi: 10.1016/j.fuel.2018.06.068.

[62] F. A. Wahaab *et al.*, "Electromagnetic wave-induced nanofluid-oil interfacial tension reduction for enhanced oil recovery," *J. Mol. Liq.*, vol. 318, p. 114378, 2020, doi: 10.1016/j.molliq.2020.114378.

[63] A. Esfandyari Bayat, R. Junin, S. Shamshirband, and W. Tong Chong, "Transport and retention of engineered Al2 O3, TiO2, and SiO2 nanoparticles through various sedimentary rocks," *Sci. Rep.*, vol. 5, no. August, pp. 1–12, 2015, doi: 10.1038/srep14264.

[64] A. Mikolajczyk *et al.*, "Zeta potential for metal oxide nanoparticles: A predictive model developed by a nano-quantitative structure-property relationship approach," *Chem. Mater.*, vol. 27, no. 7, pp. 2400–2407, 2015, doi: 10.1021/cm504406a.

Study and analysis of the use of nanotechnology in Enhanced Oil Recovery

Engineer Basel Abdulkader – Master in Reservoir, Production and Transportation Engineering of Oil and Gas

College of Petrochemical Engineering – Al-Furat University

ABSTRACT

In order to better invest the oil reservoir, Enhanced oil recovery methods are often applied in the last stages of production in order to obtain the largest possible oil recovery from the reservoir, however there is a large reserve of oil that cannot be extracted from the reservoir, so research and studies continue to obtain the best recovery, and the technology is considered Nanoscale is one of the latest technologies that has given promising results in increasing oil recovery, so a reference survey was conducted to clarify how to obtain nanomaterials using physical and chemical methods and equipment used in the study of materials with nanoscale measurements. The principles underlying nanomaterials in Enhanced oil recovery were also clarified. The most important nanomaterials used in this field and how to agglomerate and deposit these nanomaterials within fluids were mentioned. The nano methods (nano flooding, nanopolymer flooding, nanosurfactant flooding, Using nanomaterials with thermal methods, in addition to clarifying the effect of electromagnetic waves on nanomaterials) were also highlighted, and finally the possible risks of using nanomaterials have been clarified for security and safety.

Keywords: Enhanced oil recovery, nanomaterials, recovery factor, oil reservoir.