الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة السورية الخاصة
كلية هندسة البترول

دراسة تطبيق تكنولوجيا النانو مع العمليات الحرارية في الاستثمار المدعم للنفط

دراسة أُعدت لنيل درجة الإجازة في هندسة البترول

إعداد:

قاسم علي عبد العزيز أحمد إبراهيم أبو رومية

إشراف الدكتور المهندس:

أيمن شقوف

العام الدراسي 2025-2024 م

كلمة شكر

لحظة أخيرة نقفها في منتصف الطريق بين ماضي نحن إليه ومستقبل غامض نتوق إليه داعين من المولى عز وجل أن يجعل كل ما عانيناه في سبيل العلم والمعرفة خلال سنين الدراسة في سجل أعمالنا التي نرجو أن تبيض بها وجوهنا يوم نلقاه.

والآن نحن على أعتاب الفراق نوجه كلمة شكر وعرفان بأسمى آيات الحب والتقدير لأولئك الذين وسعت قلوبهم لمحبتنا ووسعت عقولهم لإدراكنا فكانوا دائماً النور الذي أضاء أمامنا طريق العلم والمنارة التي اهتدينا بها إلى دروب المعرفة وساهموا بتزويدنا بكل ما لديهم من خبرة وعلم **... إلى أساتذتنا في:**

كلية الهندسة البترولية

الذين تنحني أمامهم إجلالاً وتقديراً لجهودهم الصادقة التي بذلوها من أجلنا لنكون عمادة لهذا الوطن الغالي.

ونخص بالشكر:

الدكتور أيمن شقوف

الذي تكرم علينا بالإشراف على هذا المشروع ولم يبخل علينا بعلمه لإنجاح هذا المشروع وله جزيل الشكر.

وأخيراً نشكر كل من ساهم في إنجاح هذا العمل **والسلام**

أسرة المشروع

الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿يرفع الله الذين امنوا منكم والذين أوتوا العلم درجات والله بما تعملون خبير﴾

صدق الله العظيم

الحمد لله على نعم فضله على الحمد لله حمدا طيبا كثيرا مباركا فيه لولا عون الله وجزيل فضله لما تخطينا الصعاب ولا اجتزنا الدروب الشاقة

فإلى الذين بأمثالهم تشمخ قامة العلم وتعلو راية الوطن الذين نثروا فينا بذور المعرفة والعلم نتوجه بخالص الشكر والوفاء والتقدير والعرفان بالجميل. لكم أساتذتي

(الدكتور أيمن شقوف - الدكتور أحمد سعيد - الدكتور محمد رياض الغزي - الدكتور يوسف فرج - الدكتور إدمون سلوم -الدكتور جان سعد الدكتور راتب جمول - الدكتور حسن عايد الدكتور عبد الناصر هلال - الدكتور محمود حديد - الدكتور مسلم العبد الله الدكتور حازم جنيد - الدكتورة هناء الحلواني - الدكتورة منى عسكر - الدكتور عدنان البارودي - الدكتور رياض طيفور - الدكتور هيثم حاجة - الدكتور يوسف رضوان - الدكتور إبراهيم غالي الدكتور جليل ضمد عليم - الدكتور محسن سعيد)

كلمة شكر

الى من تحقق على يده الهدف الأسمى والغاية الكبرى الى دكتور القيم والمبادئ من وضع نصب أعيننا الطريق

وعلمنا الوصول

الدكتور المهندس أيمن أحمد شقوف

فهرس المحتويات

	العنوان	الصفحة
	فهرس المحتويات	4
	مقدمة	6
A	تعريف النانو تكنولوجي (Nanotechnology)	6
B	استعمالات النانو تكنولوجي في استثمار الحقول النفطية	8
1	**الفصل الأول** **معلومات عامة عن استخلاص النفط الخام الثقيل**	**10**
2	**الفصل الثاني** **الخصائص الفيزيائية والكيميائية للنفط الخام الثقيل والثقيل جداً (البيتومين)**	**14**
3	**الفصل الثالث** **التفاعل بين أجزاء النفط الخام الثقيل والجسيمات النانوية**	**22**
4	**الفصل الرابع** **تأثير الجسيمات النانوية في عمليات الاستثمار الحراري المدعم للنفط**	**31**
1-4	تأثير الجسيمات النانوية في عملية حقن الهواء	31
1-1-4	الجسيمات النانوية المعدنية وأكسيد المعادن	31
2-1-4	الجسيمات النانوية القائمة على SiO، SiO_2	32
2-4	تأثير الجسيمات النانوية في عمليات الحقن بالبخار	35
1-2-4	جزيئات أكسيد المعادن النانوية	37
2-2-4	المواد المركبة	37
3-4	تأثير الجسيمات النانوية في تفاعلات الانحلال الحراري:	44
4-4	تأثير الجسيمات النانوية على التسخين الكهرومغناطيسي للنفط الخام الثقيل	47
5-4	خطة تنفيذ تنقية النانو في عملية حقن البخار	51
5	**الفصل الخامس** **التأثيرات البيئية لتقنية النانو والتطبيقات المستقبلية في EOR**	**53**
1-5	التأثيرات البيئية	53
2-5	التطبيقات المستقبلية في EOR	55
	النتائج والمقترحات	**59**
	المراجع [REFERENCE]	**61**

فهرس الاشكال البيانية

	الشكل	الصفحة
1-2	النماذج الجزيئية لـ: M1 (a) و M2 (b) المستخدمة لتمثيل جزيئات الإسفلتين (A1) و (A2) على التوالي	15
2-2	نموذج جزيئي لنواة إسفلتين	16
3-2	أنواع الراتنج	17
4-2	مقارنة معدل فقد الكتلة للإسفلتين تحت أجواء مختلفة عند الضغط الجوي	19
5-2	المخطط الأساسي للتفاعل المرتبط بأكسدة الإسفلتين والتأثير التحفيزي للجسيمات النانوية	20
1-3	التركيب الكيميائي للألومينا (حمضي، قلوي، محايد)	23
2-3	نموذج الجسيمات النانوية (منظر عام، جانبي، متساوي الامتزاز)	25
3-3	تفكك الإسفلتين عند تلامسه مع الجسيمات النانوية	27
4-3	مخطط لامتصاص الأسفلتين عند تلامسه مع الجسيمات النانوية	28
5-3	اللزوجة كتابع لمعدل القص في غياب ووجود جسيمات نانوية مختلفة	30
1-4	مخطط التفاعل التأكسدي وأكسدة الإسفلتين عند الضغط الجوي	33
2-4	مخطط أساسي لعملية تغويز الإسفلتين في وجود الجسيمات النانوية	36
3-4	تصميم خليط من ثلاث مكونات بسيطة مع دعم أكسيد السيريوم	40
4-4	تحليل المركبات المشبعة، العطريات، الراتنجات ومحتوى الإسفلتين قبل وبعد الاسترداد بالبخار	42
5-4	السلوك الريولوجي للنفط الخام الثقيل للغاية في سيناريوهات مختلفة	43
6-4	العلاقة بين طاقة التنشيط	46
7-4	المخطط التجريبي لعملية الاستخلاص المدعم للنفط	49
1-5	(a)تقليل استهلاك الكبريت في وجود محفزات نانوية	54
	(b)تقليل استهلاك النفثا	55
2-5	(a)استعادة النفط بعد حقن مواد مقللة للتوتر السطحي	57
	(b)استعادة النفط بعد حقن المواد الهلامية	57

فهرس الجداول

	الجدول	الصفحة
1-1	ملخص جوهر الطريقة الحرارية فيEOR	12
1-4	الاستخلاص المحسن للنفط بعد حقن المائع النانوي في غياب ووجود الموجات الكهرومغناطيسية	50

مقدمة

نتيجة الطلب المتزايد على الوقود واستنفاذ النفط الخام في السنوات القادمة ولدت الحاجة لاستثمار النفط الخام الخفيف، لمواجهة هذا التحدي، اختارت صناعة النفط والغاز تطبيق تقنيات حديثة قادرة على تحسين الكفاءة في عمليات الاستثمار المدعم للنفط (EOR)، في هذا السياق، فإن دمج تقنيات النانو من خلال تطوير تقنية الجسيمات النانوية والسوائل النانوية يعتبر تقنية رائدة لزيادة إنتاجية النفط الخام الثقيل، حيث حظيت بأهمية كبيرة ولاسيما من خلال عمليات الاستثمار المدعم للنفط بمشاركة الطرق الحرارية (TEOR).

حيث ومن خلال هذه الدراسة سيتم أخذ نظرة عامة حول التكنولوجيا النانوية المطبقة ضمن تقنيات استخلاص النفط الخام الثقيل والثقيل جداً باستخدام مواد نانوية مع التركيز على الطرق الحرارية والتي تم دراستها على وجه الخصوص لاقتراح اختبارها حقلياً.

تتضمن هذه الدراسة عدداً من الفصول، حيث أن الفصل الأول يحتوي على معلومات عامة حول عمليات الاستثمار المدعم للنفط ونقاط ضعفها وقوتها، بالإضافة إلى نظرة عامة تروج لتطبيق تقنية النانو، بينما الفصل الثاني يتضمن الخصائص الفيزيائية والكيميائية للنفط الخام الثقيل والثقيل جداً. أما الفصل الثالث فإنه يؤمن تفاعل الجسيمات النانوية مع المركبات الثقيلة مثل الإسفلتينات والراتنجات، بالإضافة إلى المتغيرات التي يمكن أن تؤثر على ظاهرة الامتزاز بالتفصيل والفصل الرابع يتضمن تأثير الجسيمات النانوية على الآليات الأخرى ذات الصلة بطرق (TEOR) مثل تغيرات اللزوجة وقابلية التبلل وتقليل التوتر السطحي، كما

تم وصف التأثير التحفيزي المتأثر بالجسيمات النانوية في عمليات الاسترداد الحراري المختلفة وخطة تنفيذ تقنية النانو لعملية الحقن البخاري، وأخيراً، يتضمن الفصل الخامس التأثيرات البيئية، النتائج والاتجاهات الحديثة

A- تعريف النانو تكنولوجي (Nanotechnology)

النانو تكنولوجي: هو مجال علمي وتقني يُعنى بدراسة وتصميم وتصنيع المواد والأجهزة على مقياس النانومتر (جزء من المليار من المتر)، للاستفادة من الخصائص الفريدة التي تظهرها المواد عند هذا الحجم المتناهي الصغر.

- أساسيات النانو تكنولوجي:

1. مقياس النانو:

1- نانومتر = 10^{-9} متر (أصغر بـ 80,000 مرة من قطر شعرة الإنسان!).

- عند هذا الحجم، تختلف خصائص المواد (ميكانيكية، كهربائية، بصرية) عن حالتها العادية.

2- التحكم في الذرات والجزيئات:

- القدرة على ترتيب الذرات والجزيئات بطريقة دقيقة لإنشاء مواد أو أجهزة جديدة ذات خصائص مذهلة.

3- مجالات تطبيق الدراسة:

- الطب: (توصيل الأدوية المستهدف، تشخيص الأمراض).

- الطاقة: (خلايا شمسية أكثر كفاءة، بطاريات عالية السعة).

- البيئة: (تنقية المياه، تحليل الملوثات).

- الإلكترونيات: (شرائح أسرع وأصغر، شاشات مرنة).

- الصناعة: (مواد أقوى وأخف وزنًا، طلاءات مضادة للخدش).

4- أمثلة ملموسة:

- أكسيد الجرافين: مادة نانوية أقوى من الفولاذ بمرات وأخف من الورق.

- النانو روبوتات: تُستخدم في الطب لإصلاح الخلايا أو مهاجمة الأورام.

5- التحديات:

- التكلفة العالية.

- مخاطر صحية أو بيئية غير معروفة بالكامل.

النانو تكنولوجي يُعتبر ثورة القرن الحادي والعشرين، ويُطلق عليه أحيانًا "الصناعة القادمة" لشمولية تطبيقاته

B- استعمالات النانو تكنولوجي في استثمار الحقول النفطية

تُعد تقنية النانو (Nanotechnology) أحدث وأهم التطورات في مجال استثمار الحقول النفطية، حيث تُساهم في تحسين كفاءة الاستخراج، وتقليل التكاليف، وحل العديد من التحديات في صناعة النفط والغاز.

- اهم استعمالات النانو تكنولوجي في استثمار الحقول النفطية:

1. الاستثمار المدعم للنفط (Enhanced Oil Recovery - EOR)

-الجسيمات النانوية (Nanoparticles) مثل أكسيد السيليكون (SiO_2) وأكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) تُستخدم لتحسين كفاءة حقن الماء أو الغاز في المكامن النفطية.

- تُقلل من التوتر السطحي بين النفط والماء، مما يُسهل استخراج النفط من الصخور المسامية.

- بعض الجسيمات النانوية (مثل النانو سيليكا) تُساعد في تغيير خصائص اللزوجة، مما يُحسن تدفق النفط.

2. تحسين حفر الآبار (Drilling Optimization)

- سوائل الحفر النانوية (Nano-Drilling Fluids) تُحسن استقرار آبار النفط وتقلل من فقدان سوائل الحفر في الصخور.

- مواد نانوية مثل الطين النانوي (Nano-Clay) تُضاف إلى سوائل الحفر لتعزيز مقاومة الحرارة والضغط.

3. مراقبة المكامن النفطية (Reservoir Monitoring)

- أجهزة الاستشعار النانوية (Nanosensors) تُستخدم لجمع بيانات دقيقة عن الضغط، ودرجة الحرارة، وخصائص السوائل في المكامن النفطية.

- بعض الجسيمات النانوية تُحقن في المكمن ثم تُتابع بواسطة أجهزة استشعار لتحديد مسارات تدفق النفط.

4. منع تلف الأنابيب والتآكل (Corrosion Prevention)

- الطلاءات النانوية (Nano-Coatings) تُطبق على أنابيب النفط لمنع التآكل والصدأ، مما يطيل عمر المعدات.

- مواد مثل أكسيد الجرافين (Graphene Oxide) تُستخدم لتعزيز متانة الأنابيب.

5. معالجة المياه المصاحبة للنفط (Produced Water Treatment)

- المرشحات النانوية (Nanofilters) تُساعد في تنقية المياه الملوثة الناتجة عن عمليات استخراج النفط.

- بعض المواد النانوية (مثل أكسيد التيتانيوم TiO_2) تُستخدم في التحفيز الضوئي لتكسير الملوثات العضوية.

○ فوائد استخدام النانو تكنولوجي في النفط:

✅ زيادة معدلات استخراج النفط بنسبة تصل إلى 10-20%.

✅ تقليل التكاليف عبر تحسين كفاءة العمليات.

✅ تقليل الأثر البيئي عبر تحسين معالجة النفايات.

✅ تحسين دقة الاستكشاف عبر أجهزة الاستشعار الذكية.

○ التحديات:

- التكلفة العالية للتقنيات النانوية.

- صعوبة تطبيقها في بعض الحقول.

- الحاجة إلى مزيد من الأبحاث لضمان سلامة الاستخدام على المدى الطويل.

○ الخلاصة:

تقنية النانو تُحدث ثورة في صناعة النفط، مما يجعل استثمار الحقول أكثر كفاءة وربحية. بدأت الدول النفطية الرائدة مثل السعودية والإمارات بالفعل في تبني هذه التقنيات لتعزيز إنتاجها.

الفصل الأول

معلومات عامة عن استخلاص النفط الخام الثقيل

وفقا لوكالة الطاقة الدولية (IEA) ، من المتوقع أن يزيد الطلب العالمي على النفط بنحو الثلث بحلول عام 2035. حيث تعد احتياطيات النفط الخام الخفيف حالياً مصدر الطاقة الرئيسي الذي يمد الطلب العالمي على الطاقة نظراً لجودتها العالية وتكلفة إنتاجها المنخفضة.

ومع ذلك، فإن احتياطات النفط الخام الخفيف أخذت في النضوب. لهذا يعتبر استثمار النفط الثقيل (HO) والنفط الثقيل جداً (EHO) إستراتيجية مثيرة للاهتمام لتزايد الطلب على الطاقة

ومع ذلك، فإن الكثافة المنخفضة وفقاً لمعهد البترول الأمريكي،

API (< 20°)، اللزوجة العالية (> 10000 cp) عند درجة حرارة 25 C°

يتميز النفط الثقيل HO والثقيل جدا EHO بوجود نسبة عالية من الإسفلتين وذلك بكسر كتلي (15% <) والراتنجات بكسر كتلي (40%) بالإضافة إلى نسبة منخفضة

نسبيا من المركبات ذات الوزن الجزيئي المنخفض إلى جانب ذلك، قد يحتوي أيضا على نسبة عالية من الملوثات مثل الكبريت، النتروجين، المعادن مثل النيكل، الفاناديوم، الحديد، الأملاح، ونسبة منخفضة من H/C وينتج أكثر من 50% من الكتلة المتبقية مع نقاط غليان أعلى من C ° 500 حيث تتسبب لزوجته العالية في تدفق متعدد الأطوار، انسداد الأنابيب، انخفاض الضغط وتوقف الإنتاج.

ضمن عمليات الرفع الصناعي المستخدمة في الآبار وذلك لإنتاج EHO وHO، تم استخدام المضخات الحلزونية اللامركزية (PCP) والمضخات الغاطسة الكهربائية (ESP) على الرغم من ذلك، تؤثر لزوجة السائل على استهلاك المحرك في ESP وعلى كفاءة التقنية بشكل مباشر مما يزيد من استهلاك الطاقة، وتتطلب أنظمة PCP وقتا أطول للتثبيت مقارنة بمعدات ESP. ومن ثم، فإن تطوير تقنيات فعالة من حيث التكلفة لاستخراج النفط الخام الثقيل يمثل تحدياً في الوقت الحاضر.

تم تطوير أساليب الاستثمار المحسن للنفط (IOR) والاستثمار المدعم للنفط (EOR) لزيادة إنتاج النفط واحتياطاته.

تستخدم استراتيجيات IOR لاستعادة النفط الخام المتحرك أو النفط الخام غير المتحرك في جوف البئر، بينما تستخدم طرق الاستثمار المدعم للنفط لاستعادة النفط الخام غير المتحرك الذي يبقى في المكمن بعد تطبيق الطرق الأولية والثانوية. ومن تقنيات الاستثمار المدعم للنفط الطرق الكيميائية، الغازية، والحرارية.

يعتبر الحقن الكيميائي للمادة المقلة للتوتر السطحي، البوليمير، والمذيبات من طرق الاستثمار المدعم للنفط المستخدمة في الغالب.

ومع ذلك فإن كفاءة الحقن الكيميائي تتأثر بشكل أساسي بالامتزاز والتحلل في الوسط المسامي مما يقلل من نسبة الكفاءة، وفي معظم الحالات هذه العمليات غير مناسبة للنفط الخام الثقيل غير المتحرك والتقيل جداً والرمال النفطية

تستخدم الطريقة الغازية الغازات الهيدروكربونية مثل C_3H_8 , CH_4

أو الغاز الطبيعي أو الغازات غير الهيدروكربونية مثل N_2 أو وCO_2 التي تذوب في النفط الخام وتحسن استعادته عن طريق تقليل لزوجة النفط وزيادة حجمه.

النظرية الكامنة وراء هذه العمليات هي تقليل لزوجة HO وEHO الناجم عن ذوبان الغاز المحقون وبالتالي تحسين كفاءة الإزاحة. ومع ذلك، فإن نسبة اللزوجة السلبية (الغير مناسبة) لثاني أكسيد الكربون والنتروجين والميتان والبروبان بالنسبة للنفط الخام الثقيل والثقيل جداً تؤدي إلى حدوث تصبع على جبهة الازاحة المتشكلة من الغاز وحصول العزل الجاذبي من خلال مناطق أكثر نفوذية مما يحقق اختراق مبكر للغاز وفي النهاية يتم استخلاص كميات أقل من النفط، وقد لوحظ نفس السلوك في الاستثمار المدعم للنفط عند حقن مخفضات التوتر السطحي.

بناء على ذلك. غالباً ما يؤدي الحقن بالغاز والمواد الكيميائية إلى ضعف التحكم بالحركة وتشكل الأصابع اللزجة بشكل رئيسي في النفوط الخام الثقيلة والثقيلة جداً بسبب اللزوجة العالية مما يؤدي إلى كفاءة كسح وإزاحة غير كافية بالإضافة إلى ذلك، تقتصر العمليات الكيميائية على التكلفة العالية للمنتجات والمصادر المحتملة للتلف وخسائر المواد الكيميائية في المكمن.

يتلخص جوهر الطرق الحرارية بإدخال الحرارة في مكامن النفط الخام الثقيل بطرق مختلفة. على سبيل المثال الحقن الدوري بالبخار والتصريف بفعل الجاذبية بمساعدة البخار (SAGD)

والتي يتم تطبيقها في الآبار الأفقية لتحسين عملية الإنتاج أو الاختراق في الموقع ويمكن تلخيص جوهر هذه الطريقة في الجدول (1-1).

الجدول رقم (11) ملخص جوهر الطريقة الحرارية في EOR

الطريقة	آلية الاستثمار المدعم للنفط	التقييد {المحددات}
الحقن الدوري للبخار (CSS)	تقليل اللزوجة	تكلفة طاقة عالية
الاحتراق في الموقع (ISC)	تقطير وكسر الأجزاء الثقيلة للنفط الخام الثقيل	تسرب الحرارة الى طبقات غير مرغوب فيها
(SAGD)	التمدد النفطي	انحلال حراري منخفض التأثير
تسخين كهربائي	تصريف بفعل الجاذبية	فقدان الحرارة من المصدر المولد للحرارة الى المكمن

تسمح هذه الطرق بحركة النفط الخام الثقيل في الخزانات عن طريق تغيير بعض الخصائص. مثل اللزوجة والكثافة.. ومع ذلك، تتضمن الطرق الحرارية انعكاساً كبيراً في منشات توليد الحرارة، الحقن، وإعادة التدوير مما يزيد من تكاليف التشغيل، لتقليل تكلفة استرداد HO، تم تطوير طرق جديدة ومبتكرة تتضمن تقنية النانو.

يظهر استخدام تكنولوجيا النانو في العمليات الحرارية كبديل للتأثير على استخراج النفط الخام الثقيل مما يؤدي إلى انخفاض في استهلاك الطاقة، تأثيرات بيئية أقل وعامل استرداد مرتفع.

في الآونة الأخيرة، تم تقييم الجسيمات النانوية المعدنية وأكاسيد المعادن (NPs) لامتصاص الإسفلتين والتحلل التحفيزي اللاحق. حيث أظهرت النتائج أن المحفزات النانوية يمكن أن تقلل إلى حد كبير درجة حرارة تحلل الإسفلتين بالإضافة إلى طاقة التنشيط الفعالة، مما يؤكد نشاطها التحفيزي اتجاه تحلل الهيدروكربونات ذات السلاسل الطويلة نحو الجزيئات الأصغر ذو الوزن الجزيئي الأقل مما يعني تقليل اللزوجة وتحسين حركة إنتاج النفط الخام الثقيل.

ترتبط عملية التأثير على النفط الخام الثقيل بالعديد من العمليات التحفيزية مثل التكسير الحراري، التحلل المائي، التكسير الهيدروجيني، الأكسدة، الانحلال الحراري والتغويز بالبخار

على الرغم من أن الاستثمار الحراري للنفط الخام الثقيل بالجسيمات النانوية هو تقنية جديدة نسبيا، فقد تم التحقيق بهذا الأمر على نطاق واسع.

ومع ذلك، لا توجد معلومات مفصلة في المواقع العلمية حول تأثير المواد النانوية على النفوط الخام الثقيلة والثقيلة جدا في تقنيات الاستثمار الحراري المدعم، لذلك يتمثل الهدف الرئيسي لهذا العمل في إظهار التأثير التحفيزي للمواد النانوية المختلفة في ظل أجواء مختلفة مثل الهواء، البخار، الضغوط الجوية الخاصة المطبقة في CSS، تصريف الجاذبية SAGD والعمليات الحرارية ISC لرفع مستوى EHO وHO

الفصل الثاني

الخصائص الفيزيائية والكيميائية للنفط الخام الثقيل والثقيل جداً (البيتومين)

تتميز النفوط الخام الثقيلة والثقيلة جداً بخصائص محددة مشكلة صعوبة في عمليات الإنتاج. النقل والتكرير هذه النفوط تتميز بقيم لزوجة عالية جداً مما يمنعها من التدفق بسهولة عبر الأوساط المسامية وخطوط الإنتاج والنقل، بالإضافة إلى نسبة منخفضة لقيم الكثافة حسب معهد البترول الأمريكي API (EHO<20 , HO <10)مما يدل على قيم كثافة نوعية أعلى بالمقارنة مع النفوط الخفيفة. السبب الرئيسي للمشاكل التي تسببها النفوط الخام الثقيلة والثقيلة جداً هو المحتوى العالي من الأجزاء الثقيلة مثل الإسفلتين والراتنجات في تركيبها الجزيئي، تصنف مكونات النفط الخام بشكل عام إلى مشبعة، عطرية، راتنجات، وإسفلتينات.

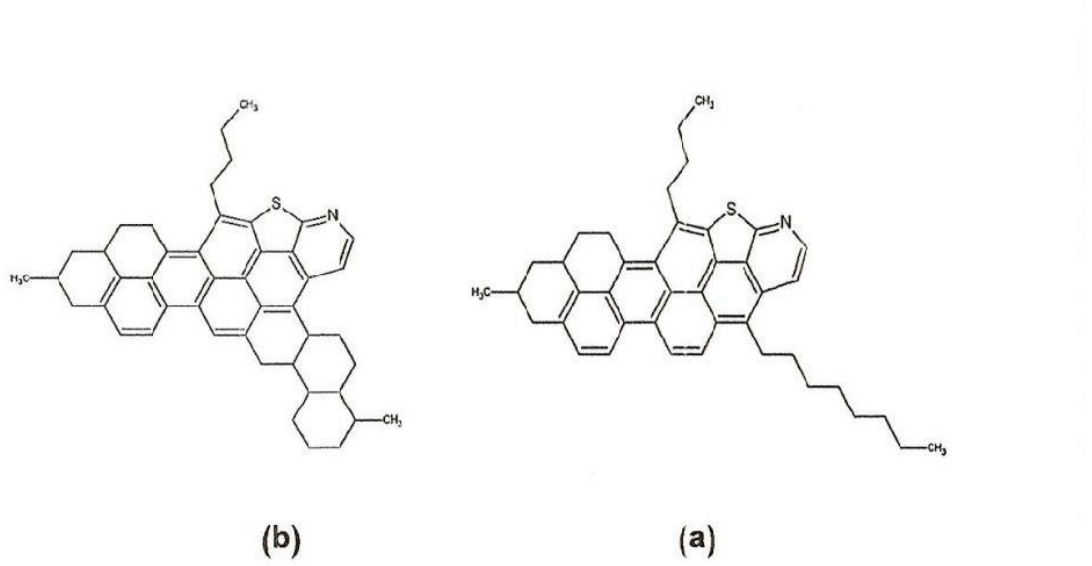
حيث المركبات المشبعة هي جزء غير قطبي وتتألف من هيدروكربونات خطية، متفرعة، وحلقية مشبعة. أما العطريات فهي الجزء غير القطبي الذي يحتوي على حلقات عطرية في تركيبه الجزيئي من ناحية أخرى، فإن الإسفلتينات هي المكون القطبي للنفط الخام

ويشكل مع الراتنجات الجزء الأثقل مما يؤدي إلى ارتفاع تكاليف الإنتاج والتكرير. تختلف الراتنجات عن الإسفلتينات، حيث أن الأول قابل للذوبان في (بارفينات -n، بنتان -n، هبتان -n) وغيرها في حين أن الإسفلتين غير قابل للذوبان في هذه المركبات وقابل للذوبان في المواد العطرية

مثل التولوين والبنزن، بالإضافة إلى ذلك، يحتوي الأسفلتين على نسبة عالية من الذرات غير المتجانسة (S , O , N) و المعادن (Ni , Fe , V) الموجودة بالقرب من بعضها البعض، مما يسمح لها بتوليد عزم ثنائي القطب مما يؤدي إلى الارتباط الذاتي لهذه الجزيئات تشير الأبحاث الحديثة إلى أن الإسفلتين. بشكل عام عبارة عن مزيج من جزيئتين رئيسين A1 و A2 حيث يمثل الجزء A1 حوالي 70% من الخليط وله قابلية منخفضة للذوبان في التولوين (90mg/L). بينما الجزء A2 يملك قابلية ذوبان عالية (57g/L) والتي تشبه إلى حد كبير قابلية الذوبان في المزيج الكلي.

وبناء على هذا، فإن الاتجاه القوي لتجمع الإسفلتين يعود إلى وجود الجزء غير القابل للذوبان A1 الموجود بكميات أقل. تشير دراسة التحلل الطيفي بالرنين المغناطيسي النووي (NAR)

جنباً إلى جنب مع التحليلات الأولية إلى وجود اختلافات هيكلية للجزيئين A1,A2 مثل تلك الموضحة في النماذج M1 و2 M ، حيث يتم إنشاء التركيب الجزيئي للنموذج M2 من افتتاح إثنين من الحلقات الأليفاتية في M1 النماذج الجزيئية المقترحة M1، M2 للوصف الرسومي لجزيئات الإسفلتين A1، A2 ، على التوالي ، موضحة في الشكل (2-1).

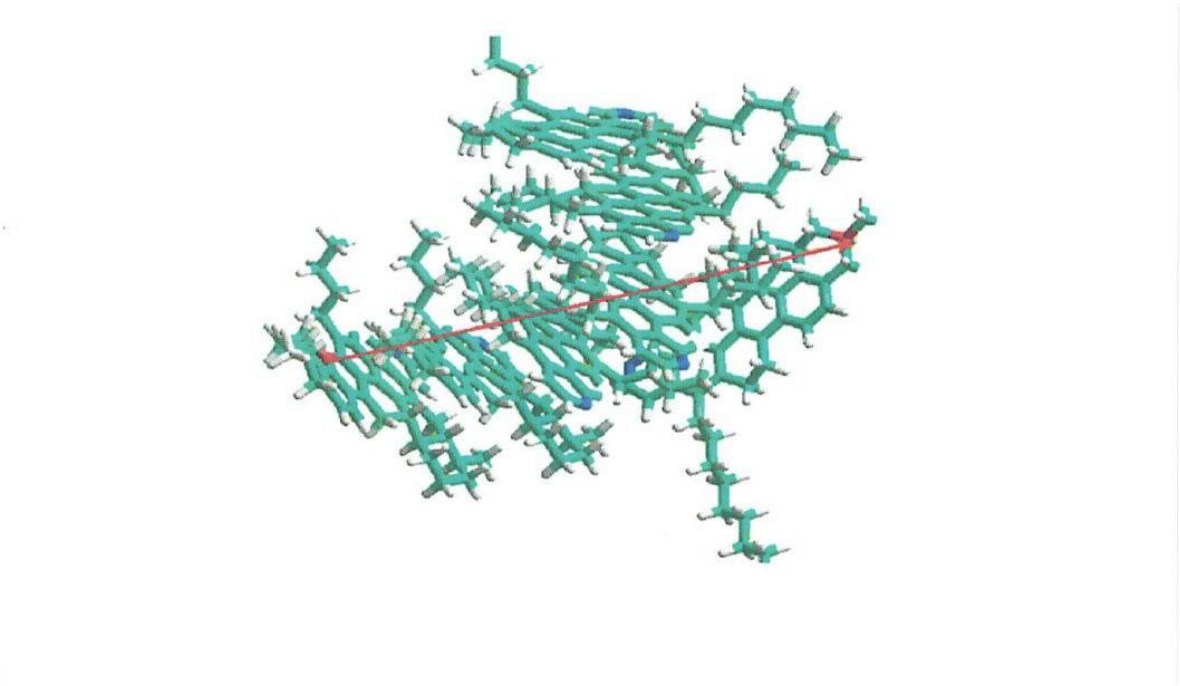


لشكل (2-1) : النماذج الجزيئية لـ : (a) M1 و (b) M2 المستخدمة لتمثيل جزيئات الإسفلتين (A1) و (A2) على التوالي

من الشكل (2-1) نلاحظ أن الجزء A1 يتكون من رابطة الحلقات العطرية والألفاتية مما يشير إلى نواة مكونة من وحدات عطرية متعددة الحلقات ونفتينية (PANU) ملتحمة في نواة مسطحة كبيرة في حالة الجزء A2 ، لوحظ عدد كبير من الكربونات العطرية ، ويقترح وجود كمية صغيرة من PANU مرتبطة بسلاسل الفاتية بهذه الطريقة ومن وجهة نظر نوعية ، يمكن توقع أن يكون للمادة التي يمثلها النموذج M2 قابلية ذوبان أكبر من النموذج M1 تماشياً مع هذه الأفكار ، تجدر الإشارة أن التجمعات القائمة على A1 تتشكل بتراكيز

منخفضة جدا وأن إضافة A2 على هذه التجمعات يمنع نموها بما يتجاوز الحجم الغروي أي يحافظ على تشتت جزيئات A1

يوضح الشكل (2-2) نموذجا للآليات الجزيئية التي تحاكي التكتلات النانوية بين أربعة جزيئات إسفلتين A1 ممثلة في النموذج M1 وثلاثة جزيئات A2 ممثلة في النموذج M2 . حيث يبلغ طول الخط الأحمر nm2.9



الشكل (2-2) : نموذج جزيئي لنواة إسفلتين

ومع ذلك، فإن استقرار الإسفلتين يعتمد إلى حد كبير على محتوى الراتنجات الموجودة في مصفوفة النفط الخام، لأنها يمكن أن تتجنب تفاعلات الإسفلتين من خلال التمركز على سطح تكتل الإسفلتين من خلال اختراق هيكله الصغير وينكسر نظام التجميع.

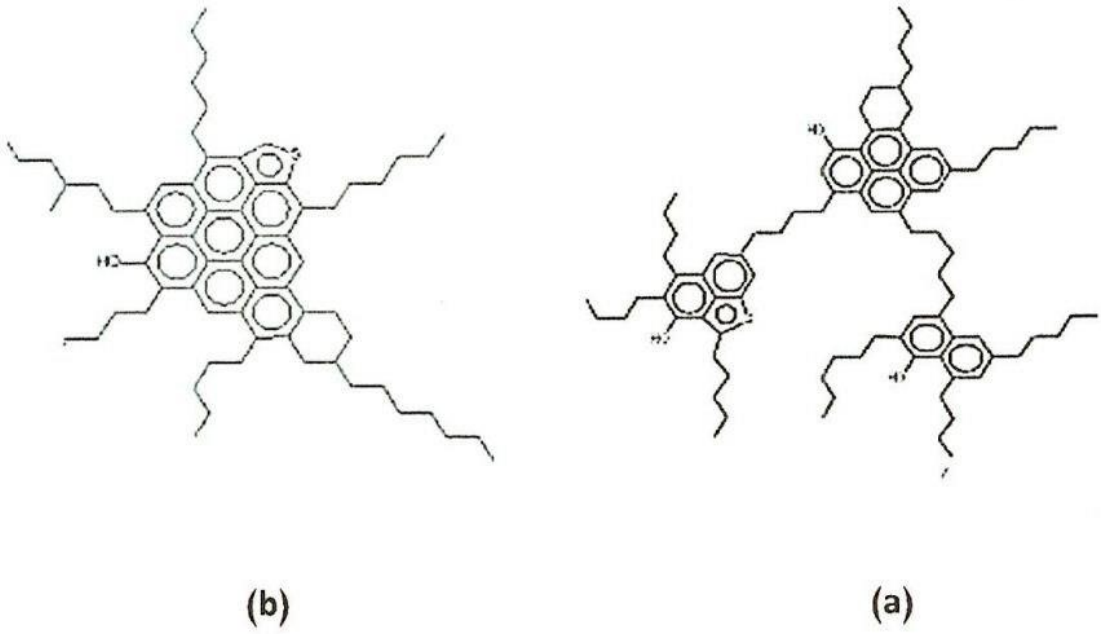
أشارت الدراسات السابقة إلى أن الامتصاص العالي للراتنجات على الجزيئات الغروية يظهر تقارباً أعلى للجزء A1 مقارنة بالجزء A2 مما يشير إلى أن تفاعلات الراتنج - A1 أكثر ملائمة من تفاعلات A1- A1في البداية ، تحافظ جزيئات A2 على تشتيت تجمعات Al بتأثير فاصل.

ومع ذلك ، بعد دخول الراتنجات إلى سطح A1 ، فإنها تولد منافسة على مواقعها النشطة مع A2 ، مما يولد عدم استقرار يؤدي إلى زعزعة استقرار التشتت الذي ينتهي عند اتحاد كتل A2 والتجميع المتتالي.

من ناحية أخرى ، يمكن تصنيف الراتنجات على أنها راتنج من النوع (1) ورانتج من النوع (II) بشكل عام ، تحتوي الراتنجات (II) على رقم كربون أعلى وهيدروجين لكل جزيء متوسط.

و مع ذلك فإن نسبة H/C أقل ، مما يشير إلى درجة أكبر من عدم التشبع بالنظر إلى ومع ذلك . الكربونات العطرية لكل جزيء ، لوحظ عدد أكبر في الراتنجات (II) مما يشير إلى أن هذه الهياكل لها خاصية عطرية أكبر.

إذا تمت مقارنة الهيدروجين العطري ، فمن الممكن التأكيد على أنه يسبب انخفاضه فإن الراتنجات لديها تكثيف عالي للبنية العطرية .



الشكل (2-3) : أنواع الراتنج

تشكل (2-3) يوضح التركيب الجزيئي لـ : (a) الراتنج (I) و (b) الراتنج (II) من نفط الكاستيلا الخام.

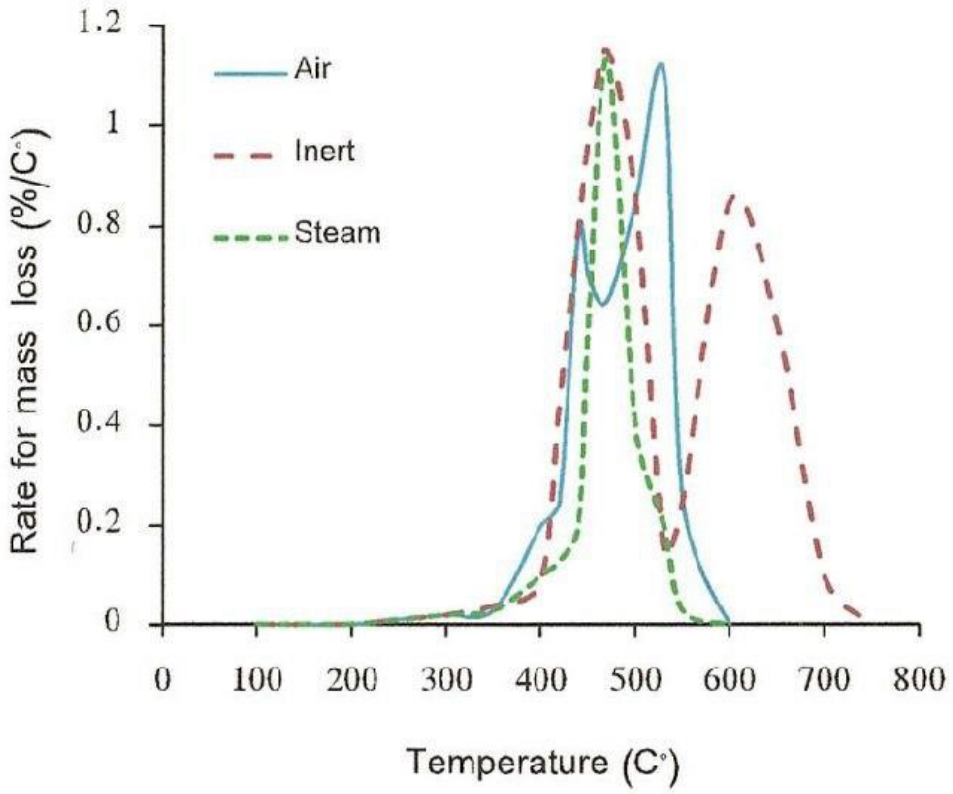
الخصائص الجزيئية : H /C = 1.49 للراتنج (I) بينما الراتنج (II) فإن

H/C=1.40

متوسط الوزن الجزيئي للراتنج (I) يتراوح بين Da(900-500) ، وللراتنج (II) فيتراوح بين Da(1300-700) عامل العطرية يساوي 0.57 للراتنج (I) ، بينما قيمته تساوي0.23 للراتنج (II)، يظهر طول سلاسل الألكيل أن الراتنجات (I) تحتوي على رقم أكبر من الكربون المرتبط مما يشير إلى طول أكبر. وفقاً لعديد من الدراسات ، يفضل الراتنج (I) الترسيب مع الإسفلت من النفط الخام. تساعد سلاسل الألكيل والذرات غير المتجانسة الموجودة في الجزيئ على توليد التفاعلات الجزيئية مع الإسفلتين، وتشكل بهذه الطريقة التكتلات حيث توجد جزيئات أخف محاصرة يتم سحبها حتماً أثناء عملية الترسيب هذه.

ومع ذلك ، فإن أنواع النفط الخام الثقيلة والثقيلة جداً تظهر عادة مشاكل الترسيب وترسب الإسفلتين بسبب المحتوى العالي من الإسفلتين والراتنجات التي تؤدي إلى تكوين شبكة لزجة مرنة تقلل من تدفق النفط الخام بسبب اللزوجة العالية ، لذلك تم تطوير طرق الاستثمار المدعم للنفط EOR لتسهيل استخراج هذا النوع من النفط الخام عن طريق العمليات الحرارية التي تسمح بتفكيك جزيئات الإسفلت أو تفكيك شبكة اللزوجة المرنة لتوليد انخفاض في اللزوجة. تتضمن العملية تحلل جزيئات الإسفلتين بتأثير درجات الحرارة المرتفعة تحت ثلاثة أجواء مختلفة مثل الهواء ، البخار ، الغازات الخاملة والهواء بخار.

يوضح الشكل (2-4) تحليل قياس الكتلة الحرارية للإسفلتين تحت أجواء مختلفة



الشكل (2-4) : مقارنة معدل فقد الكتلة للإسفلتين تحت أجواء مختلفة عند الضغط الجوي

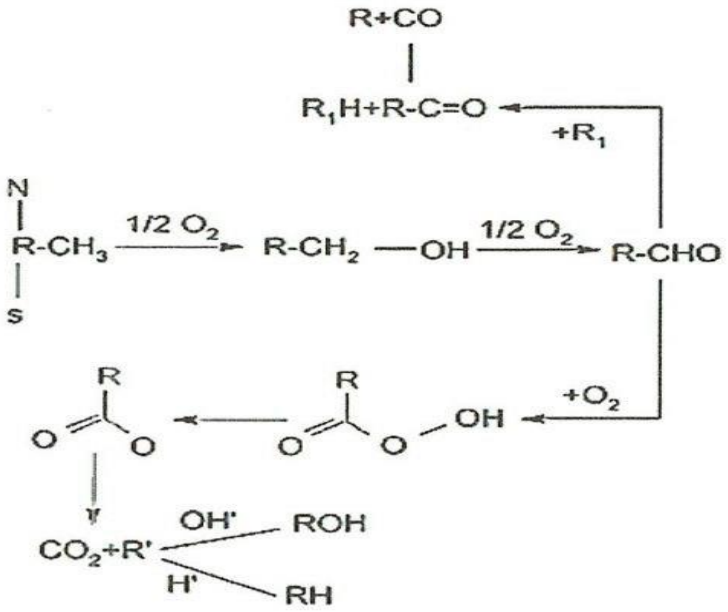
يمكن أن نلاحظ تحت الأجواء الثلاثة ، حدوث تكسير للإسفلتين على عدة مراحل ويبدأ عند (400-426-465) للأنواع الثلاثة (الخاملة ، الهواء والبخار) على التوالي، يفسر هذه الظاهرة بسبب وجود توزيع الأحجام الإسفلت ذات الوزن الجزيئي المرتفع إلى المنخفض ، حيث تتحمل الأجزاء الثقيلة عند درجات حرارة أعلى ، وتعود الكثافة المختلفة للقسم المختلفة إلى مكانية له علات الإضافة أو تجميع للإسفلتين n-c7 بعد تكسيرها الأولي، بعد تعرض جزيئات الاسفتين العمليات حرارية تتضمن الأكسدة والانحلال الحراري وتفاعلات التغويز

التي تؤدي التوب فحم الكوك ، حيث إنه في كل من الانحلال الحراري والتغويز، يمكن إنتاج فحم الكوك نسبة 61.2% و 63.3% على التوالي ، بينما الأكسدة تمنع تماماً تكوين هذه الرواسب.

لفهم هذه الظاهرة بمزيد من التفصيل ، يوضح الشكل (2-5) مخططاً أساسياً للتفاعل المرتبط بدرجة حرارة أكسدة الإسفنتين، ويصف تحلل هذه الجزيئات إلى جزيئات أخف بواسطة

طريقتين رئيستين: الأوكسجين والجذور الحرة، مجرد أن تتفاعل جزيئات الهيدروكربون مع الأوكسجين تتشكل سلاسل هيدروكربونية أخف في المرحلة الأولى ، يتم تشكيل الهيدروكربون المتفرع مع مجموعات الكحول والألدهيد، بعد ذلك ، يمكن أن يأخذ رد الفعل طريقين :

- **<u>الطريق الأول:</u>** يمكن أن يتولد أول أكسيد الكربون مما ينتج عنه جذور R-CO ومن ثم يتم إطلاق ثاني أكسيد الكربون
- **<u>الطريق الثاني:</u>** تتأكسد المجموعات - CHO إلى مركبات تحتوي على مجموعات الكربوكسيل ، ويتم فصل مجموعات الكربوكسيل عن سلاسل الهيدروكربون الرئيسية لتوليد ثاني أكسيد الكربون.



الشكل (2-5): المخطط الأساسي للتفاعل المرتبط بأكسدة الإسفلتين والتأثير التحفيزي للجسيمات النانوية

من ناحية أخرى ، تمت دراسة أكسدة الراتنجات أيضاً. على عكس الإسفلتين ، يبدأ التحلل تحت ظروف الأكسدة لجزيئات الراتنج من

6.5 APIعند درجات حرارة أقل بكثير حوالي 200 °C، لإن الراتنج يحتوي على محتوى أعلى من المركبات الألفاتية من جزيئات الإسفلتينن.

بالإضافة إلى ذلك ، تم العثور على القمة الثانية ذات الكثافة الأكبر عند حوالي 500 °C وقمم أقل كثافة بين (380-450) °C ، حيث الأكسدة تكون للجزيئات الأثقل الموجودة في التركيب الجزيئي للراتنجات.

بالإضافة إلى ذلك ، تغويز الراتنجات (II) والأنظمة المعقدة (راتنجات : إسفلتينات) تحت ظروف متساوية الحرارة وظروف غير حرارية ، عند درجات حرارة أقل من 240 °C . وقد وجد أن الزيادة في محتوى الراتنجات (II) في الأنظمة تقلل من طاقة التنشيط لإجراء تحلل النظام. بناء على ماسبق ، يجب تحلل هذه الجزيئات من أجل تغيير خصائص النفط الخام إلى خصائص أفضل من لزوجة API لتسهيل عملية الإنتاج ، التكرير والنقل. ومع ذلك ، فإن عمليات الاستثمار المدعم الحراري للنفط ، لا تنتج تحسين في جودة النفط الخام بسبب درجات الحرارة المنخفضة التي تعمل بها ، حيث يتحلل الإسفلتين والراتنجات بشكل أساسي عند درجات حرارة أعلى من 400 °C

الفصل الثالث

التفاعل بين أجزاء النفط الخام الثقيل والجسيمات النانوية

من المهم دراسة امتزاز الإسفلتين والراتنجات فوق الجسيمات النانوية

بشكل رئيسي لسببين:

اعتماداً على خاصية انجذاب هذه المواد للجسيمات النانوية ، يمكن التخلص منها من النفوط الخام الثقيلة والثقيلة جداً وبالتالي صنع الجزء المتبقي القابل للإنتاج والنقل من خلال تقليل اللزوجة وزيادة قيم API بدون مصدر حرارة خارجي في الخزان

تعمل الخصائص التحفيزية للجسيمات النانوية على تسهيل تفاعلات التحلل التحفيزي مما ينتج نسبة أكبر من مكونات أخف ضمن النفط الخام.

يمكن فهم آلية التفاعل بين الجسيمات النانوية والأجزاء الثقيلة من النفط الخام ، من خلال تراكم الإسفلتين بتراكيز منخفضة جنباً إلى جنب والنمو البطيء لهذه التراكمات فوق التركيز الأولى الذي يسمح بالوصول إلى تركيز الذوبان للجزيء A1 عند حوالي 90mg/L أي بالقرب من هذا التركيز يحدث تشكل نوى يكون الجزء الفرعي A1 محاطاً بالجزء الفرعي A2 ويسمح له بالبقاء قابلاً للذوبان. وهذا يؤدي إلى نمو الجزء الفرعي A1 الغير قابل للذوبان بشكل كبير ويمكن أن يذوب لأن الجزء A2 يحيط به مما يمنع تراكم أعلى . عندما تتلامس الجسيمات النانوية مع كسور النفط الخام الثقيل فإنها يمكن أن تعمل مباشرة في الجزء A1 مما يمنع

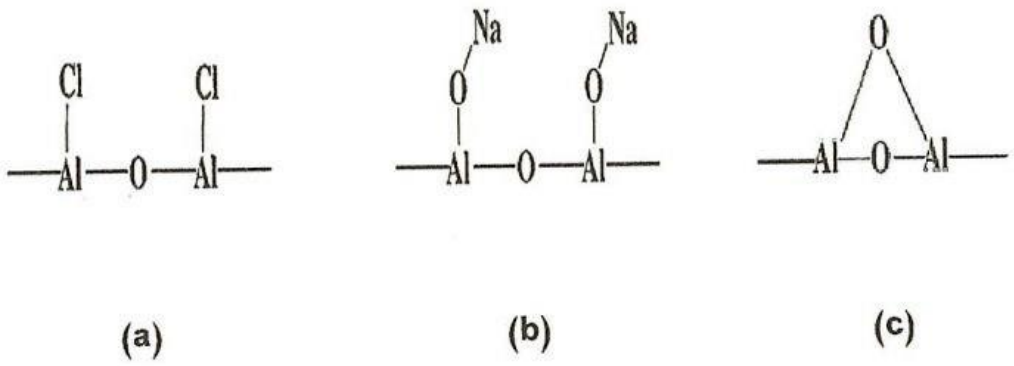
نموها عن طريق تجميع النوى لأن التفاعلات الناتجة بين الكسر A1 - NPs أقوى من تفاعلات A1-A1 من خلال وجود تفاعلات مختلفة المجموعات الوظيفية على سطح الجسيمات النانوية.

قام بعض الباحثين بدراسة تأثير العديد من المتغيرات في عمليات الامتزاز مثل زمن التلامس . نسبة هيبتان / تولوين ، التركيز الأولي للإسفلتين و الجسيمات النانوية ، الضغط درجة الحرارة وتركيز الجزيئات الأخرى مثل الراتنجات وكانت جزيئات y- AL2O3 النانوية من أولى الدراسات في استخدام الجسيمات النانوية لامتصاص الإسفلت.

حيث قدمت هذه المادة النانوية امتزازاً سريعاً للجزء الثقيل ، واقترب من التوازن في ساعتين لتركيزات مختلفة من الإسفلتين n - c1 المستخدم mg/L (100 - 500 - 1000) بالإضافة إلى ذلك ، قد تساوت في درجة الامتصاص التي تم الحصول عليها من النوع الأول ، مما يشير إلى تقارب كبير بين المادة الماصة والمادة الممتزة ، بكمية ممتصة تبلغ Mg/m 2.18لتركيز التوازن C البالغ mg/L 3200 تقريباً. أخيراً ،

، أظهرت الدراسات الديناميكية الحرارية أن الامتصاص تلقائي وطارد للحرارة بالإضافة إلى ذلك ، فإن تعديل الحموضة السطحية للجسيمات الثانوية يولد أيضا تأثيراً على التفاعلات مع الإسفلتين.

تكتسب جسيمات الألومينا النانوية عند تعديلها هياكل كيميائية على سطحها كما هو موضح في الشكل (6)



الشكل (3-1) التركيب الكيميائي للألومينا : (a) حمضي ، (b) قلوي ، (c) محايد

أظهرت النتائج أن امتصاص الإسفلتين يتبع الترتيب: أسطح حمضية > أساسية > أسطح محايدة، ويرجع ذلك أساساً إلى:

(1) الأيونات المختلفة الموجودة في سطح الجسيمات النانوية.

(2) تفاعلات الألومينا الحمضية مع الإسفلتين القطبي يمكن أن تكون قوية جداً وتؤدي إلى تشكل روابط جزيئية مثل الرابطة الكيميائية الضعيفة

بالإضافة إلى ذلك، أظهرت الدراسات المخبرية تأثير حموضة السطح في امتصاص الإسفلتين على جسيمات السيليكا النانوية ، ووجدوا تقارباً أعلى لامتصاص الإسفلتين لجسيمات السيليكا النانوية الحمضية ، القلوية والمحايدة.

تم أيضاً فحص أنواع مختلفة من أكاسيد الحديد ذات البنية النانوية، مثل أكسيد الحديد الأسود (y-Fe3O4)، الهيماتيت

(X-Fe2O3) أو أكسيد الحديد (I,II) (Fe3O4) أظهرت النتائج أن جسيمات المغنتيت الثانوية (MNP) لها قدرة امتصاص تبلغ 108.1 mg/g ، في حين أن جسيمات الهيماتيت (HNP) لها قدرة امتصاص عالية تبلغ 458 mg/g

تظهر دراسات حركية الامتزاز أن العملية في وجود HNPS تصل إلى التوازن بشكل أسرع من MNPs، مما يشير إلى أن الاختلافات الهيكلية تولد تأثيراً على عملية الامتزاز، أخيراً، فإن طبيعة ظاهرة الامتزاز وفق الجسيمات الثانوية MNP، HNP هي ناشرة للحرارة و ممتصة للحرارة ، على التوالي.

كما تم استخدام المواد النانوية التي تحتوي على النيكل أو القائمة على النيكل في هذا المجال، حيث أكدت نتائج الامتزاز التجريبية أن الجسيمات النانوية ذات الحجم الكبير 80 nm لديها أعلى قدرة على الامتصاص بينما الجسيمات ذات الحجم 5nm فتملك أقل قدرة على الامتصاص.

تشير النتائج إلى أنه من خلال تغيير الحجم النانوي بين (80، 5) : تخضع جزيئات Nio لتغييرات جذرية في الخصائص السطحية والتركيبية مما يؤثر بالتالي على سلوك الامتزاز

أظهر النيكل المدعوم بالسيليكا المدخنة ، التيتانيا ، والألومينا والجسيمات النانوية للبلاديوم التي تم الحصول عليها بكسر كتلي قدره % 1 ، كميات امتصاص قيمتها

mg/m^2 (1.67 , 3.11 , 0.52) على التوالي ، بينما تلك المدعومة بدون معادن على سطحها ، فإن الكميات القصوى الممتصة هي

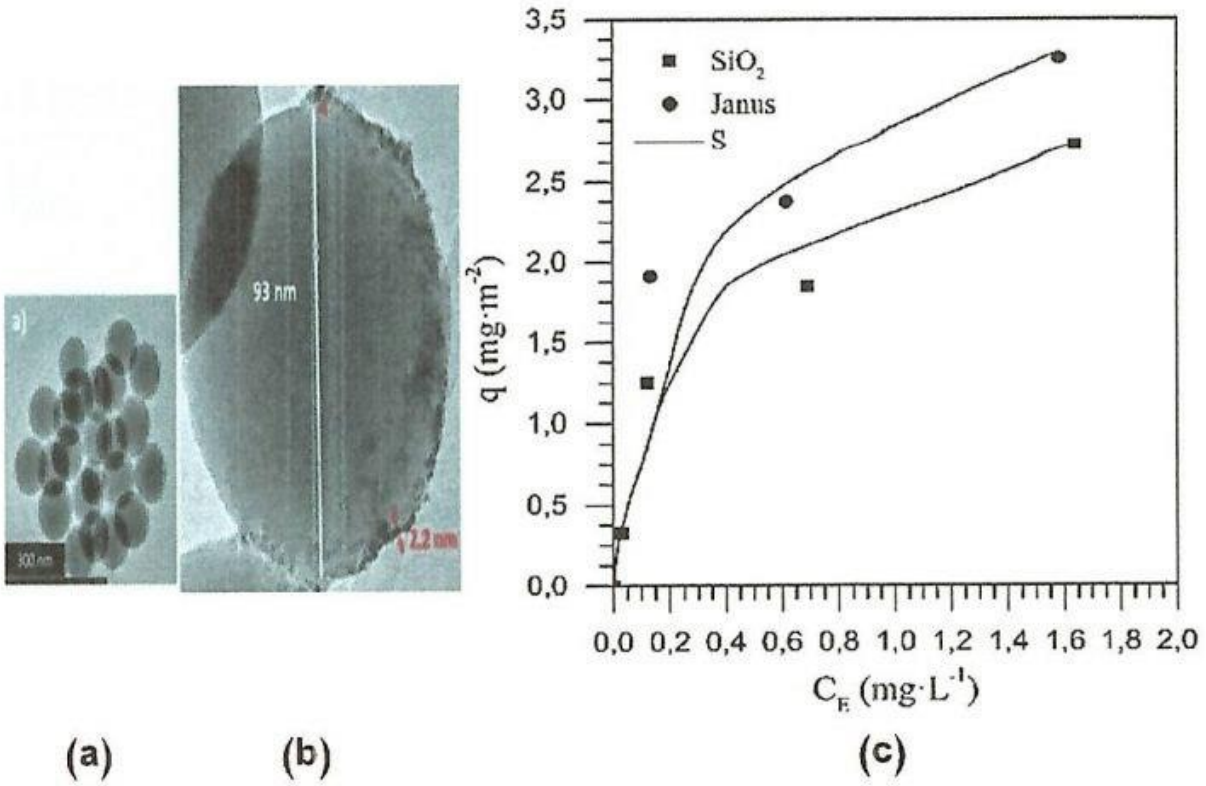
mg/m^2 (0.35، 2.78 ، 1.3) ، على التوالي . يرجع التحسن في القدرة على الامتصاص إلى تشتت وتثبيت الإسفلتين على سطح الجسيمات النانوية ، بالإضافة إلى وجود مادة ماصة غير متجانسة ذات انتقائية متعددة. إلى جانب ذلك ، تم استخدام الجسيمات النانوية من نوع Janus المشبعة بكتلة جزيئية تبلغ 15% لتقييم قدرة الامتزاز والتقارب مع جزيئات الإسفلت

.

يوضح الشكل (3-2) :

(a) صورة TEM لجسيمات Janus النانوية المركبة مع خشونة جزئية يمكن رؤيتها على نصف السطح والتي تتوافق مع أكسيد النيكل على سطح NPs.

(C) تساوي درجة حرارة الامتزاز من هذه الجسيمات النانوية .



الشكل (3-2) : نموذج TEM للجسيمات الثانوية Janus أقسامها :(a) منظر عام ، (b) منظر جانبي و (c) متساوي درجة حرارة الامتزاز من الإسفلتين على جسيمات السيليكا الثانوية ونوع Janus عند 25 °C

يلاحظ زيادة في قدرة امتصاص جسيمات Janus النانوية مقارنة مع تلك الموجودة في السيليكا ، والتي يمكن أن تعزى إلى القوى بين الجزيئات الموجودة بين المكونات الأكثر قطبية للإسفلتين وروابط NI-O ومجموعات السيلانول على سطح الجسيمات.

كما تمت دراسة الجسيمات النانوية العضوية الأخرى مثل : الجزيئات الثانوية الكربونية (CNS) التي يتأثر قدرتها على الامتصاص بنسبة الربورسينول (الفينول الشفاف) / الحفاز (R/C) ، والقيمة العالية للنسبة (R/C) تعني زيادة امتصاص الإسفلتين ، بالإضافة إلى ذلك ، فإن الإشباع بهذه المواد النانوسفيرية يزيد من قدرة امتصاص المواد النانوية وتقاربها مع الإسفلتين.

كما تمت مقارنة عدة أنواع من جسيمات السيليكا النانوية (غير متبلورة ، فوماريك بلورية وتجارية) مع جسيمات الألومينا الثانوية ، حيث أظهر SiO_2 امتصاصاً أعلى للإسفلتين ومع إضافة كسر كتلي 5% ، 15% من النيكل فإنه تزيد من قدرتها على الامتصاص.

أما بالنسبة للجسيمات النانوية الأكاسيد المعادن فإن الامتزاز يزداد بالترتيب :

$$CO_3O_4 < CaO < TiO_2 < NIO < MgO < Fe_3o_4$$

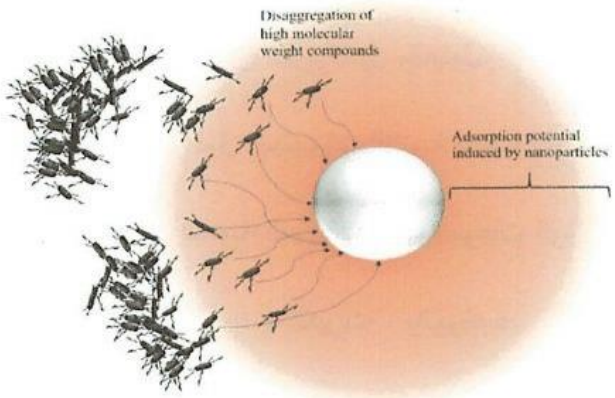
أخيراً ، من بين المتغيرات التي يمكن أن تؤثر على امتصاص الإسفلتين على الجسيمات النانوية ، هو تأثير الراتنجات (I) بالإضافة إلى ذلك ، امتزاز الراتنج وتأثير الراتنجات في امتصاص الإسفلتين فوق السيليكا ، الهيماتيت فرانكو وآخرون أظهروا أن امتصاص الراتنج كمكون فردي يعتمد على تقاربها مع الجسيمات النانوية وطبيعتها، علاوة على ذلك ، لا يتأثر امتزاز الإسفلت في وجود الراتنجات بالتغيرات في حالتها الغروية إن لم يكن هناك تقارب بين الراتنج والجسيمات النانوية الخاصية التي تسمح بفهم ظاهرة الامتزار بين الإسفلتين و الجسيمات النانوية هي إمكانات بولاني

تعرف نظرية بولاني عن الامتصاص الفيزيائي على أنها طاقة امتزاز تساوي ديناميكيا وحراريا القيمة السالبة للطاقة الحرة لتغير الإسفلتين من المرحلة الحرة إلى حالة الامتصاص ان إمكانات بولاني لحجم امتصاص معين مستقلة عن درجة الحرارة وتوصف في المعادلة (1)

$$(\frac{\partial A}{\partial T})\text{Nads} = 0 \qquad \text{.....(1)}$$

Nهي الكمية الممتصة في mg/g و A تمثل إمكانية الامتزاز وTهي درجة الحرارة حيث يسمح هذا العامل ببناء منحني تمثيلي لكل زوج من الممتزات من الكمية الممتصة كتابع للقيم المحتملة لبولاني

يوضح الشكل (3-3) تمثيلا الظاهرة تفكك الإسفلتين عندما يتلامس مع الجسيمات النانوية



الشكل (3-3) : تفكك الإسفلتين عند تلامسه مع الجسيمات النانوية

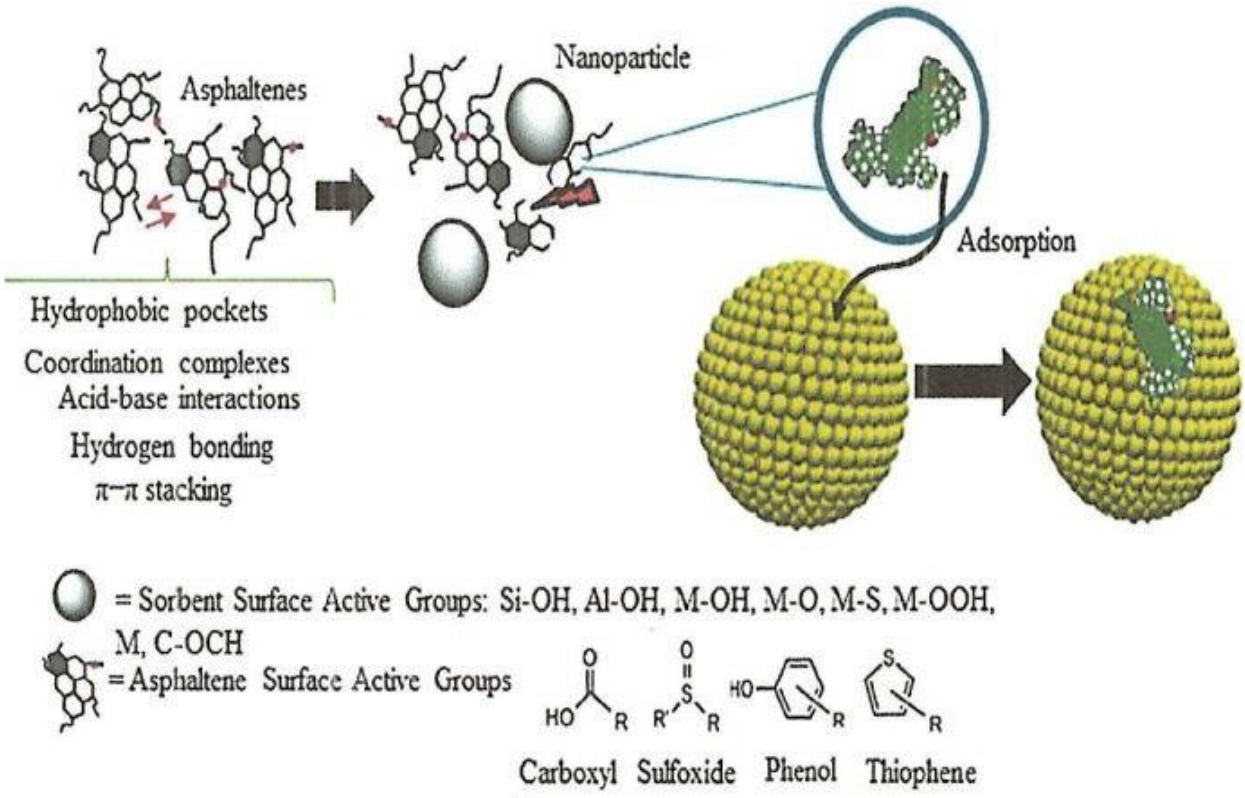
فيما يتعلق بالتركيب الجزيئي الإسفلتي عادة ما تتكون من هياكل اليفاتية وعطرية.

الجزء العطري عبارة عن جزء عطري متعدد النواة ، بينما تحتوي المنطقة الأليفاتية على سلاسل الكيل ذات أطوال متغيرة ، حيث تكون المنطقة الأولى محاطة بالثانية. وترتبط جاذبية جزيئات الإسفلتين بتفاعلات رابطة n-n و H-bond بين الهياكل العطرية

على النقيض من ذلك ، فإن السلاسل الأليفاتية تحفز التنافر بين الأوراق العطرية، وهذا يعني أن وجود المجموعات القطبية وغير القطبية يعزز من طبيعتها لكلا النوعين القطبي والغير قطبي والارتباط الذاتي.

يميل الإسفلتين إلى الامتصاص فوق الأسطح الصلبة كجزيئات فردية أو كتجمعات صمغية بأحجام مختلفة بسبب مجموعات حمض الكربوكسيل والفينول

يحدث الامتزار الإيجابي للأسفلت فوق الجسيمات النانوية بسبب القوى التي تشكلها المجموعات الوظيفية للجسيمات النانوية المستخدمة والمجموعات الوظيفية الرئيسية للإسفلتات من الكاربونيل ، البيروليك ، البيريدينيك، الكبريت، والثيوفينيك، يوضح الشكل (4-3) آلية امتصاص الإسفلتين على الجسيمات الثانوية



الشكل (4-3) : مخطط لامتصاص الإسفلتين على الجسيمات النانوية

من أجل إكمال الدراسات التجريبية رياضياً وحسابيا، تم أيضا تطوير دراسات لفهم التفاعلات الاسفلتين والجسيمات النانوية مثل نموذج التوازن الصلب والسائل (SLE) حيث هذا نموذج يسمح بوصف متساوي درجة حرارة الامتزاز الإسفلتين $n\text{-}c_7$ على أسطح صلبة مختلفة بناءً على ثلاث عوامل وهي ثابت قانون هنري (H)، ثابت تفاعلات i-mer (k)

والحد الأقصى للكمية الممتصة.

بالنظر إلى المتغيرين الأولين ، يشير H إلى تقارب الامتزاز بين الزوجين الممتزات حيث كلما رفت قيمة H انخفض التقارب ، على النقيض من ذلك يعد k مؤشراً على الارتباط السريع للإسفلتين بمجرد احتلال المواقع الأولية فوق الجسيمات النانوية ، من بين الدراسات التي تقيم تأثير تراكم الإسفلتين على امتصاصه.

وجد من خلال استخدام محاليل هيبتول بنسب مختلفة (هيبتان - تولوين) أنه مع زيادة الهيبتان في الأنظمة يتم الحصول على تقارب امتصاص أعلى.

في مصفوفة النفط الخام يمكن أن تؤدي التفاعلات بين الإسفلت والراتنجات والجسيمات النانوية إلى تقليل اللزوجة أو ما يسمى (شبكة اللزوجة المرنة).

تعتمد هذه الآلية على تفكيك شبكة اللزوجة المرنة التي تتكون من الإسفلتين والراتنجات داخل السائل ، من خلال التفاعلات بين المجموعات الوظيفية للجسيمات النانوية والإسفلتين ، لأن هذه التفاعلات أقوى من تلك الموجودة بين جزيئات الإسفلتين.

وفقاً لذلك ، أظهرت العديد من الدراسات أن إضافة الجسيمات النانوية لطبائع كيميائية مختلفة في EHO و HO تولد انخفاضاً في اللزوجة لتركيزات منخفضة من الجسيمات النانوية. تظهر الدراسات المقارنة أن جزيئات SiO_2 النانوية تقلل اللزوجة بدرجة أكبر من Al_2O_3 و الجسيمات النانوية Fe_3O_4 ذات الأحجام المختلفة وتعمل على تعديل درجة حموضة السطح.

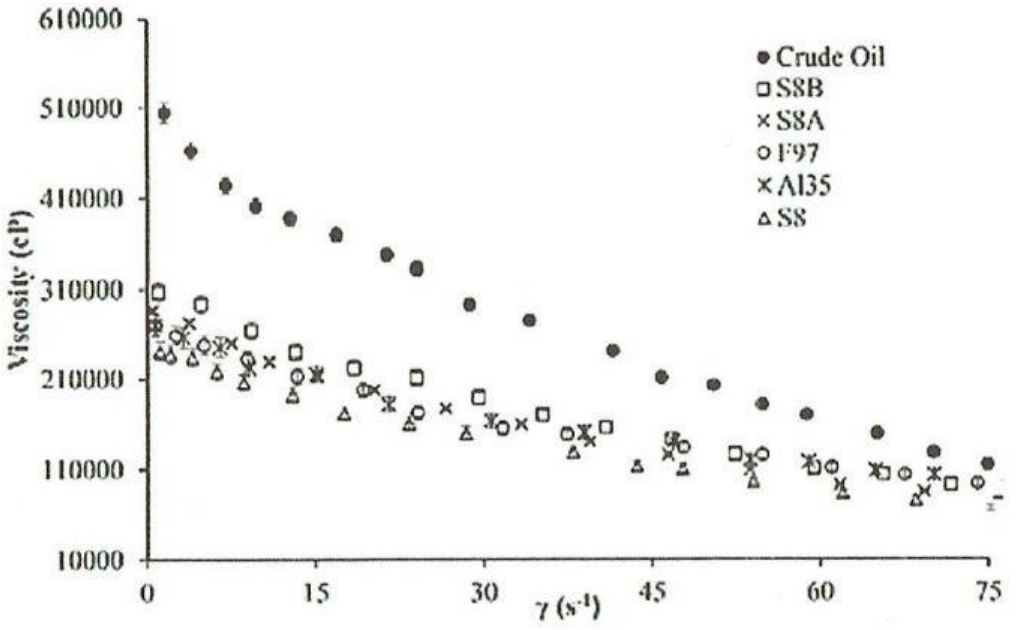
يوضح الشكل (3-5) السلوك الانسيابي لـ HO في وجود جسيمات نانوية مختلفة و درجة حرارة 25 بين (75-0) حيث لوحظ اتجاه مماثل لجميع الجسيمات النانوية ، ينعكس في انخفاض اللزوجة ، مع درجة تخفيض الزوجة أعلى للجسيمات النانوية S8.

بشكل عام ، عندما يتعرض النفط للتشوه ويزداد حجمه يتم تدمير البنية

الميكروية التي تكونت بواسطة روابط الإسفلتين ثم تضعف الروابط ويتحرك الجزيئات الإسفلتية بعيداً عن بعضها البعض حتى تصل إلى حيث يتم الحصول فيها على التوقف.

وعندما تضاف الجسيمات النانوية ، فإنه سيتبع اتجاه مماثل.

ومع ذلك ، منذ بداية امتزاز الإسفلت فإن الشبكة ثلاثية الأبعاد غير منظمة ومع زيادة معدل القص يحدث انخفاض في اللزوجة مرة أخرى حتى تصل إلى نقطة يكون فيها حجم هذه القيمة مستقلاً عن معدل القص.



الشكل (3-5) : اللزوجة كتابع المعدل القص في غياب ووجود جسيمات ثانوية مختلفة مثل (السيليكا الأساسية S8B ، السيليكا الحمضية S8A ، السيليكا المحايدة S8) وذلك بحجم 8 nm, الألومينا (AL35)بحجم 135nm, و Fe_2O_3 (F97) بحجم 97nm

الفصل الرابع

تأثير الجسيمات النانوية في عمليات الاستثمار الحراري المدعم للنفط

4-1- تأثير الجسيمات النانوية في عملية حقن الهواء :

من بين طرق الاستثمار المدعم النفط حراريا التي تستخدم حقن الهواء في الخزان الاحتراق في الموقع (ISC) ، وحقن الهواء الذي يستخدم تجارياً محفز حول بتر الإنتاج الأفقي لتسريع تفاعلات الأكسدة ، مما يسمح للخام الثقيل بالوصول إلى كثافة تبلغ API 28.

في هذا السياق ، حطي استخدام المحفزات باهتمام كبير من قبل الصناعة والباحثين ، من أجل تسريع التفاعلات المتضمنة في هذه العمليات مثل الأكسدة والتفكك التحفيزي والتقطير والبلمرة والتي تساهم بشكل متزامن مع اليات أخرى مثل الدفع البخاري والتبخير .

4-1-1- الجسيمات النانوية المعدنية وأكسيد المعادن :

من بين المواد الأكثر دراسة هي جزيئات أكسيد الفلز النانوية ، ووجد أن وجود جزيئات Nio النانوية يقلل من درجة حرارة أكسدة الإسفلتين

من C (350 ‹--- 450) .

وطاقة التنشيط من 91 kj/mol لدرجات الحرارة التي تتروح بين (467) و (514) إلى 75 kj/mol لدرجات حرارة تتراوح بين 280 و 350

بالإضافة إلى ذلك ، وجد بالنسبة لجسيمات NIO النانوية أن حجم الجسيمات الأصغر يولد تأثيرا تحفيزيا أكبر والذي لوحظ في أكسدة الكيتولين - 65 وهو جزيء نموذجي للإسفلتين وفي أكسدة الإسفلتين مقارنة أداء الجسيمات الثانوية Nio مع المواد الأخرى فإن جزيئات CO_3O_4 النانوية تقلل من درجة تحلل الإسفلتين إلى 325

ومع ذلك فإن شدة الذروة المتولدة في تحليلات قياس الوزن الحراري عند درجة الحرارة هذه تكون أقل ، وفي حالة الجسيمات النانوية Fe_3O_4 فإن ذروة التحلل الرئيسية بشكل عام تكون عند درجة الحرارة 365 فيما يتعلق بدراسات قياس السعرات الحرارية التفاضلية (DSC) .

عندما يتم امتصاص الإسفلت على الجسيمات النانوية يحدث الاحتراق والأكسدة في درجات حرارة منخفضة في حالة عدم وجود الجسيمات النانوية، لوحظ تأثيرات ناشرة للحرارة من 450، بينما عندما يتم امتصاصها على CO_3O_4, Fe_3O_4 , Nio يتطور تدفق الحرارة بشكل كبير. أظهرت الاختلافات في الجسيمات النانوية القائمة على الحديد مثل : المغميت (Y- Fe_3O_3) ، أن درجة حرارة بداية أكسدة الإسفلتين ودرجة حرارة الحد الأقصى لمعدل الأكسدة تنخفض بمقدار (203 و 123) على التوالي .

فى حالة جسيمات النحاس النانوية ، تم تقييم تأثيرها على عملية الاحتراق عن طريق قياس حركية أكسدة النفط الخام، مع ملاحظة تحسين في معدل الاحتراق بتركيز 1000 mg/Lمن الجسيمات النانوية. تسمح الجسيمات النانوية للنحاس أيضاً بتثبيط تفاعلات الأكسدة في درجات الحرارة المنخفضة ، مما يمنع زيادة لزوجة النفط الخام فى جبهة الاحتراق، بالإضافة إلى ذلك، تزيد جزيئات Cuo النانوية المقاومة للماء من متوسط معدل استهلاك الأكسجين 1.4 مرة مقارنة بالتجربة بدون جسيمات نانوية ، في درجات حرارة منخفضة (LTO) ، مما يدل على انخفاض في محتوى الأكسجين المتبقي باستخدام المسح التفاضلي لقياس السعرات الحرارية عالي الضغط (HP - DSC) وقياس معدل التسارع (ARC) تم إثبات أن هذه المادة النانوية تحسن بشكل كبير أداء أكسدة النفط الخام من خلال تقليل وقت الحت، تقليل درجة حرارة الاشتعال ، انخفاض قيم طاقة التنشيط ، وتحسين كفاءة احتراق الكوك في درجات الحرارة المنخفضة والعالية.

4-1-2- الجسيمات النانوية القائمة على SiO، SiO_2:

تمت دراسة تأثير الجسيمات النانوية SiO_2 (غير متبلور – فوماريك – بلوري – تجاري - ووظيفي) على تحلل الإسفلتين تحت ظروف مؤكسدة من خلال التغيير في حموضة سطح جسيمات السيليكا النانوية

تم إثبات أن النشاط التحفيزي يعتمد بشدة على طبيعة الحموضة السطحية للمحفزات.

حيث زادت درجة الحرارة بالترتيب التالي :

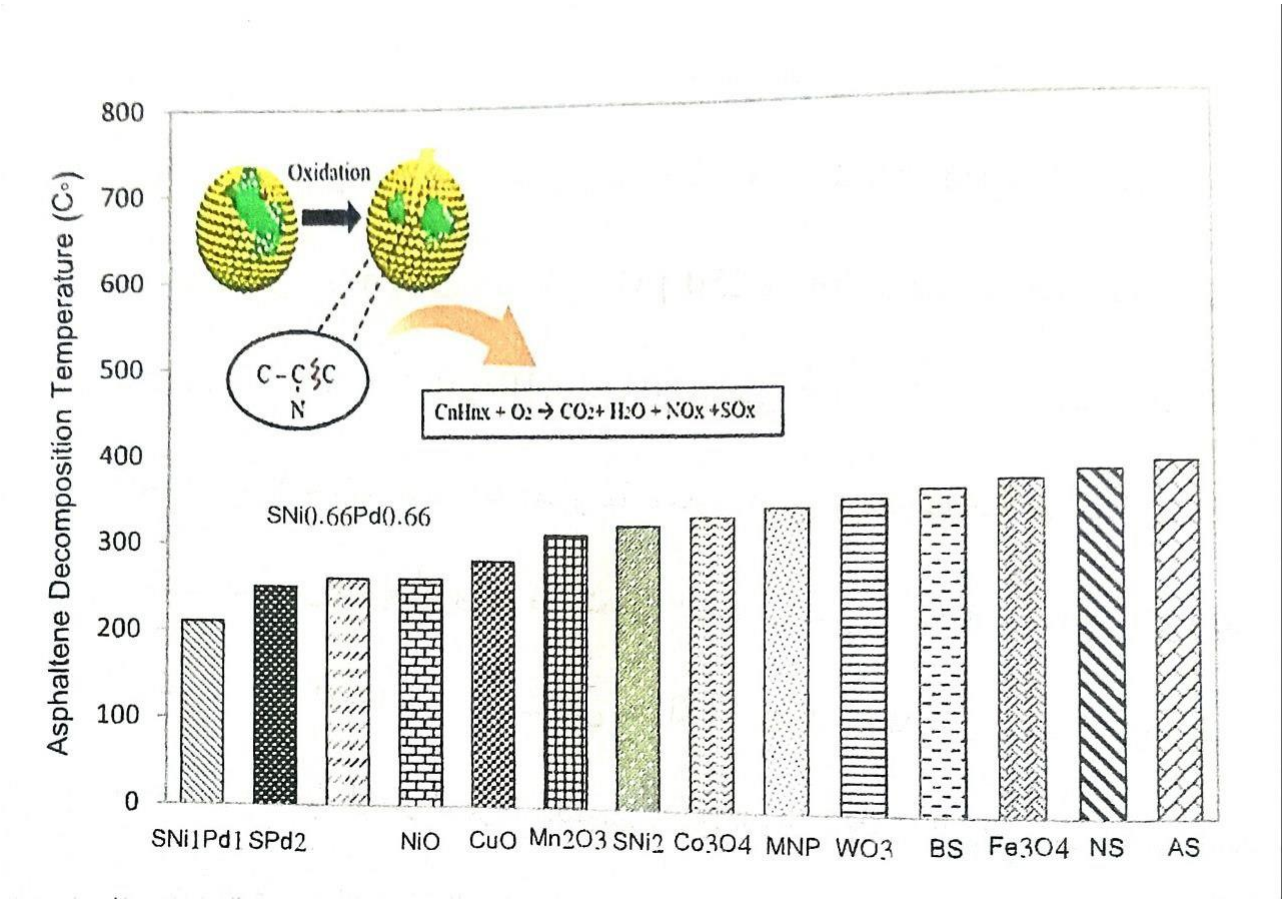
الإسفلتين الأساسي < المحايد < الحمض < البكر. بالإضافة إلى ذلك ، عززت الجسيمات النانوية الأساسية والحمضية إنتاج ثاني أكسيد الكربون و الميتان على الغازات الأخرى.

يؤدي استخدام جزيئات السيليكا النانوية كدعم للحمولات المنخفضة من النيكل و / أو أكاسيد البلاديوم إلى تحسن الكفاءة التحفيزية للجسيمات النانوية. تم العثور على نشاط تحفيزي أعلى للعينات ثنائية التكافؤ مقارنة بالعينات أحادية التكافؤ. يقلل التأثير التآزري بين الجسيمات النانوية ثنائية التكافؤ والدعم من معدل أكسدة الإسفلتين عند درجات حرارة منخفضة

(300 ^{0}c >)

يوضح الشكل (4-1) مخططاً للتفاعل التأكسدي ودرجة حرارة أكسدة الإسفلتين تحت ظروف الأكسدة التي تم الحصول عليها بواسطة العديد من المواد النانوية

حيث يلاحظ من الشكل أن تفعيل الدعم يولد أداء تحفيزياً أفضل. بهذا المعنى يعرض SNiO1Pd1 درجة حرارة تحلل الإسفلتين السفلية ويتم توليد ثاني أكسيد الكربون و H_2O و أكاسيد النيتروجين ، وأكسيد الكبريت كمنتجات للتفاعل.



الشكل (4-1) مخطط التفاعل التأكسدي و أكسدة الاسفلتين عند الضغط الجوي للهواء بواسطة العديد من المواد النانوية

حيث يظهر الشكل السابق الجزيئات النانوية الوظيفية لأكسيد السيليكا SiO_2 مع كسر كتلي 1% من Nio وأكسيد البلاديوم pdo(SNipd1) ، وكسر كتلي 0.66% من Nio و PdO (SNI0.66Pd0.66)

و كسر كتلي قيمته 2% من NiO (SNi2) من Pdo(SPd2) ، السيليكا الأساسية BS ، السيليكا الحمضية AS و السيليكا المحايدة NS.

أوضحت دراسات أخرى أنه في حالة عدم وجود الجسيمات النانوية ، فإنه ليس للراتنجات أي تاثير كبير على أكسدة الإسفلت $n\text{-}c_7$ تحت الغلاف الجوي.

ومع ذلك ، في وجود الجسيمات النانوية للبلاديوم والنيكل SNIPdi NPs ، تنخفض درجة حرارة الاسفلتين $n\text{-}c_7$ بشكل كبير حتى°C (250 و 260 و 270) لكميات مختلفة من الراشحاتmg/m^2 (0.20 و 0.10 و0.06) على التوالي، إلى جانب ذلك ، قدمت طاقة التنشيط سلوكاً مشابها حيث أنه عند وجود محتوى أعلى من الراتنجات الممتصة كانت طاقة التنشيط أقل، من ناحية أخرى، فإن تحميل الإسفلتين على سطح الجسيمات النانوية يعدل من كفاءة عملية الأكسدة. وعند انخفاض حمولة الإسفلتين ، فإنه تقل درجة الحرارة لتوليد نفس الدرجة من التحويل أي تزداد درجة التحويل بسبب التوفير الأكبر للمواقع النشطة في الجسيمات النانوية للتفاعل ، بالإضافة إلى ذلك ، تم تقييم تأثير تراكم الإسفلتين على أداء الأكسدة الحفاز للسيليكا المدخنة و Nio و Pdo المدعومين على الجزيئات النانوية للسيليكا النانوية المدخنة بواسطة امتزاز الإسفلتين على أنظمة مع خليط من التولوين والهبتان.

أظهر المؤلفون أن النشاط التحفيزي للجسيمات النانوية يتأثر بهذه الظاهرة لأن درجة التجميع

الأعلى للإسفلتين تقلل من النشاط التحفيزي للجسيمات النانوية وهو ما ينعكس في زيادة قيم طاقة التنشيط وانخفاض إنتاج ثاني أكسيد الكربون وأحادي أكسيد الكربون.

أخيراً، من المهم الإشارة إلى أنه حتى الآن لم تكن هناك دراسات في ظل الظروف الديناميكية

لعمليات حقن الهواء ، مما يتيح الفرصة لإجراء تحقيق أعمق في هذا الصدد لفهم الآثار الخلفية التي تحدثها تفاعلات الأكسدة على تحلل النفط الخام الثقيل بشكل أفضل.

2-4- تأثير الجسيمات النانوية في عمليات الحقن بالبخار :

من بين طرق الاستخلاص المدعم للنفط، هناك مجموعة واسعة من العمليات التي تستفيد من الخصائص الحرارية للبخار لتوليد تحلل الجزيئات الثقيلة من خلال التغويز، الميتان ، إصلاح البخار، الهدرجة ، التحلل المائي ، وتفاعلات تحول الغاز والماء، تبدأ تفاعلات التحلل المائي انقسام روابط C-S الموجودة في التركيب الجزيئي للإسفلتين

$n\text{-}c_7$ ، مما يؤدي إلى إنتاج كبريت الهيدروجين H_2S ، لأن روابط C-S هي روابط ذات طاقة تفكك أصغر. تظهر آلية التفاعل أدناه :

$$*\text{Asphaltenes} \rightarrow \text{Coke} + H_2S + H_2 + CH_4 + CO_2 + CO$$

$$+C_2H_6 + \text{Hydrocarbons}_{3<C} + \text{HO} + \text{LO}$$

$$*\text{HO} \rightarrow \text{Coke} + \text{LO} + CH_4 + C_2H_6 + C_{3+}$$

$$\text{LO} \rightarrow \text{Coke} + CH_4 + C_2H_6 + C_{3+}$$

حيث LO هو النفط الخفيف و HO هو النفط الخام الثقيل.

بهذه الطريقة ، فإنه سيكون هناك انخفاض في محتوى الجزء الثقيل في مصفوفة النفط الخام ونتيجة لهذه التفاعلات تزداد نسبة H/C وتحسن جودة النفط الخام ونقل لزوجته .

من بين التقنيات الأكثر استخداما الحقن المستمر بالبخار الحقن الدوري للبخار (CSS) وتصريف الجاذبية بمساعدة البخار (SAGD).

لا توفر تقنيات الحقن بالبخار عوامل استرداد أكبر من 50% ، لذلك تبحث الصناعة عن تقنيات لتحسين أداء هذه العمليات ولهذا فقد ظهرت هذه التقنيات جنباً إلى جنب مع تقنية النانو مع التحدي الرئيسي المتمثل في تقليل درجة حرارة تحلل الإسفلتين وتحسين استخلاص النفط.

يوضح الشكل (4-2) مخططاً تفصيلياً لعملية تغويز البخار التحفيزي. والتي تتم وفق الخطوات كالتالي :

1. في البداية لدينا شبكة الإسفلتين اللزجة المرنة .

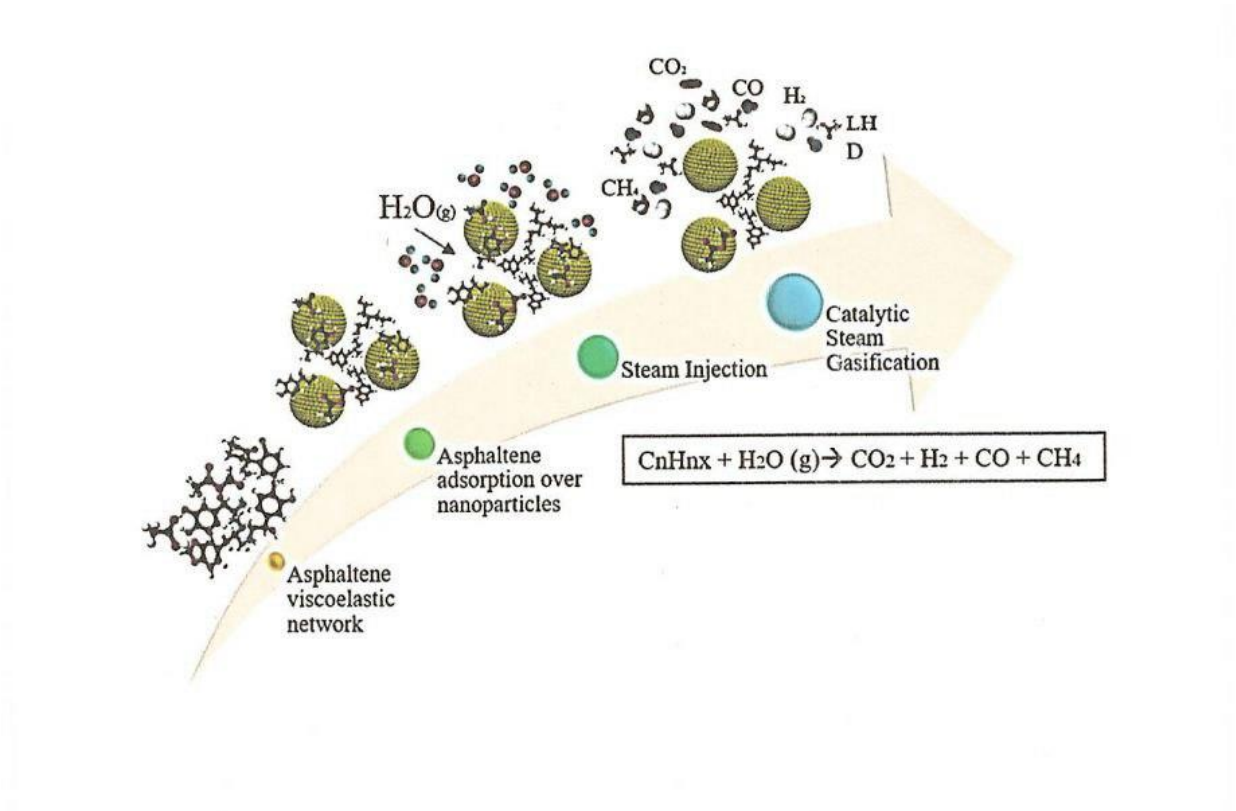
2 يتم امتصاص الإسفلتين على الجسيمات النانوية، التي تعمل على تقليل اللزوجة عن طريق تفكيك شبكة اللزوجة المرنة.

3. يتم الحقن بالبخار .

4. تحلل الإسفلتين بتأثير عملية التغويز بالبخار التحفيزي بمساعدة الجسيمات النانوية.

أخيراً ومن خلال عملية التغويز ، يتم الحصول على منتجات موضحة بالمعادلة التالية :

$$C_nH_{nx}+H_2O\ (g)\rightarrow CO_2+H_2+CO+CH_4$$



الشكل (4-2) : مخطط أساسي لعملية تغويز الإسفلتين في وجود الجسيمات النانوية

4-2-1- جزيئات أكسيد المعادن النانوية :

تقترح العديد من الدراسات استخدام جزيئات أكسيد الفلز النانوية لتحسين خواص النفط الخام الثقيل والثقيل جداً من خلال التفاعلات مع الإسفلتين، حيث بفضل الخصائص التحفيزية لجسيمات NIO النانوية ، تم تنفيذ العديد من الأساليب الفنية خاصة تفاعلات التغويز بالبخار ومن بين أفضل نتائج تطبيقات هذه الجسيمات النانوية ، خفض درجة تحلل الإسفلتين من(500 إلى 350) في وجود البخار.

تقارن دراسات أخرى النشاط التحفيزي لجسيمات Nio النانوية مع أكاسيد المعادن الأخرى مثل $Fe3O_4$ و CO_3O_4 . بشكل عام ، لوحظ انخفاض في درجة حرارة التفاعل من 500 إلى C (380 و 330 و 317) لـ

$Fe3O_4$ وFe_3O_4 و Nio على التوالي .

أثبتت الدراسات التي أجريت على تطبيق جسيمات النيكل النانوية في تجارب التحفيز بالبخار جانباً مهماً حيث :

أولاً : تعتمد درجة الاستخراج في الموقع بشدة على تركيز المعدن.

ثانياً : ترتبط الدرجة العليا من النشاط التحفيزي ب نسبة ارتفاع السطح إلى الحجم

ثالثاً : التوزيع المتجانس للجسيمات في الوسط المسامي يولد كفاءة أعلى للاستخراج

4-2-2- المواد المركبة :

يؤدي استخدام الجسيمات النانوية المختلفة كمحفزات إلى تحسين ظروف تحلل الإسفلت من خلال تفاعلات التغويز والتحلل الحراري المائي ، إلى جانب تثبيط تفاعلات الإضافة لهذا الجزء الثقيل عن طريق تقليل شدة التحلل في منطقة درجة الحرارة المرتفعة (الأعلى من 500). كما تم استخدام المواد النانوية الوظيفية في عمليات تغويز الإسفلتين ، من أجل الاستفادة من التأثير التآزري بين المواد التي يتكون منها المحفز

تم استخدام TiO_2 , CeO_2, AL_2O_3, SiO_2 كدعم لجسيمات أكسيد الفلز النانوية . على وجه الخصوص، فإن SiO_2 الوظيفي مع كسر وزني قدره 1% من Ni و 1% من Pd يولد زيادة في إنتاج الميتان على الغازات الأخرى في التغويز البخاري للإسفلتين .

تعمل جزيئات AL_2O_3 النانوية مع كسر وزني قدره 2% من Nio على خفض درجة حرارة التحلل حوالي 100 °C وتعزيز إنتاج الغازات مثل CH_4 و CO_2 ، مع إنتاج فحم الكوك حوالي 0.13%. ومع ذلك ، فإن جزيئات أكسيد التيتانيوم TiO2 مع كسر وزني قدره 2% من NiO أدى لتخفيض درجة الحرارة بحوالي 170 °C و يبدأ في إنتاج نفس الغازات عند درجة حرارة منخفضة على الرغم من أن بقايا فحم الكوك ستكون بنسبة أعلى وذلك بكسر وزني قدره .0.17%

أخيرا ، من أجل أخذ هذه الدراسات إلى تطبيق صناعي محتمل , تم تقديم استخدام المحفزات في التغويز بالبخار التحفيزي لبقايا شبكة اللزوجة المرنة في مفاعل ذو قاع ثابت تم توضيح إمكانية تحويل هذا الجزء إلى غاز بنجاح في درجات حرارة منخفضة من أجل هدرجته .

من ناحية أخرى ، فإن ($Ni - Pd/Ceo_2$) يولد 90% من تحويل الإسفلت - الذي يتم امتصاصه في جو بخاري في وقت أقل من 90 دقيقة.

أخيراً، نجد أن درجة حرارة تحلل الإسفلتين - لكل من ($Ni - Pd / TiO_2$) و(Ni-Pd/Al_2O_3) قد وصلت إلى (251 و 257) ، على التوالي

كما تمت دراسة الجسيمات النانوية من نوع Janus ، والتي تقدم سيناريو أفضل لتحسين عمليات حقن البخار لإنها تخفض درجة حرارة تحلل الإسفلتين حتى 200 بالإضافة إلى ذلك ، فإن NPS لها تأثير إيجابي على متغيرات أخرى مثل التوتر السطحي ، والذي تنخفض قيمته بسبب تعديل السطح الذي يتعرض له هذا النوع من المواد. في دراسة أخرى ، تم تطبيق الجسيمات النانوية (Core - shell) ، حيث أثبتت الجسيمات النانوية لقشرة مغنيتيت السيليكا أنها أنظمة فعالة في تحلل الإسفلتين - تحت وجود البخار .

يبدأ التحلل فوق المركب النانوي عند 200 ، وتتشكل القمة الرئيسية عند 440 ، أي بدرجة حرارة أقل من درجة الحرارة التي يتحلل فيها الإسفلتين في غياب الجسيمات النانوية بمقدار 200 . إلى جانب ذلك ، نظراً لخصائصها المغناطيسية ، يمكن استعادة هذه الجسيمات النانوية واعادة استخدامها في الحقن التي تولد تأثيرات اقتصادية وبيئية إيجابية .

تم تقييم استخدام الجزيئات النانوية لثنائي كبرتيد الموليبديوم Mos2 NPs مع قيم مختلفة من Ni وبالتالي تم تقييم تأثير محتوى هذا المعدن على النشاط التحفيزي للمادة.

نظراً لأن عمليات التغويز تنطوي على مجموعة من التفاعلات التي تنتج غازات مثل

H_2, CO, CO_2, CH_4 فقد ركزت بعض الدراسات على التحسين التحفيزي لبعض التفاعلات المحددة، حيث من إعادة التشكيل بالبخار، تم فحص كمية القطران والهيدروجين المنتجين من النفط القاري (البيتوميني) بشكل عام ، مع زيادة درجة الحرارة ، يزداد تحويل القطران إلى غاز ، وبالتالي تزداد كمية الهيدروجين.

عند تطبيق الجسيمات النانوية من (Ni/Olivine)، (Ni/Al_2O_3) ، و (Ni/Fe_2o_3) يتم التخلص من القطران بنسبة % 99، % 93.1، % 83.6 على التوالي ، عند درجة حرارة 900 °C . تمت دراسة تفاعل إزاحة الغاز المنحل بالماء (WGS) أيضاً باستخدام محفزات نانوية تعتمد على أكسيد السيريوم (CeO_2) وظيفياً بأكسيد عناصر انتقالية مختلفة (Pd, Fe, Ni, CO).

حيث تم الحصول على زيادة في إنتاج الغازات والهيدروكربونات الخفيفة مما يسهل هدرجة جزيئات الإسفلتين بسبب ثلاثة مسارات تحفيزية تتضمن تأثير

ا - التفاعلات بين المعادن و CeO_2

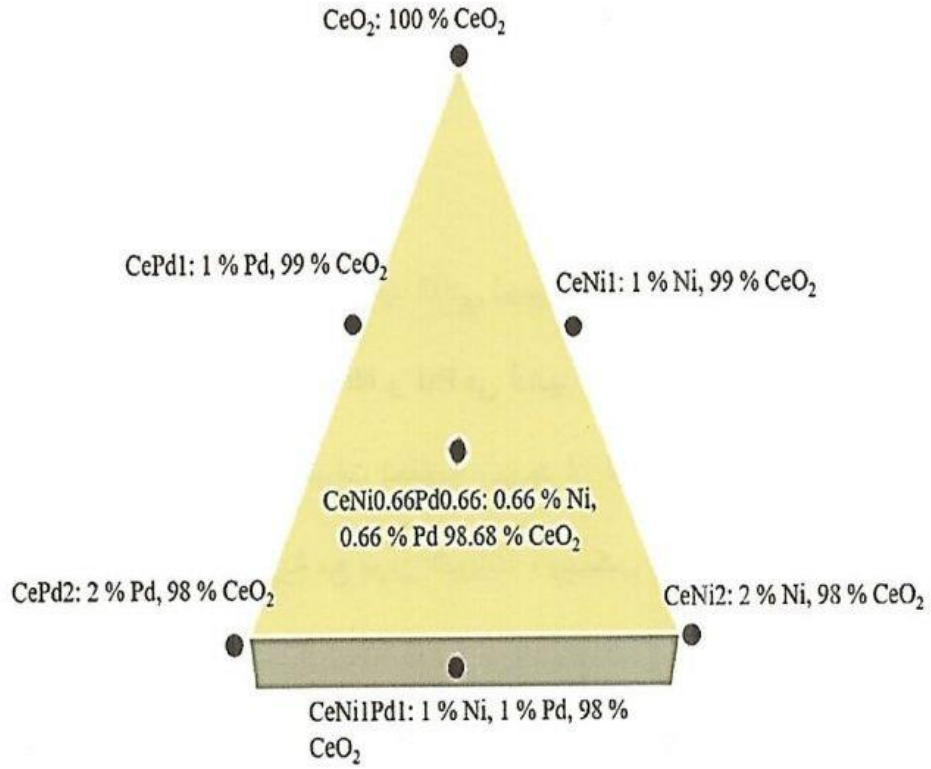
ب - دورة الأكسدة والاختزال للدعم

ج إنتاج الهيدروجين في إطار اليتين تحكمان WGSR : الأكسدة والاختزال والفورمات.

تم استخدام مركبات الأنظمة بكسر وزني قدره 1% من CO-Pd، Fe-Pd و Ni-Pd لتقدير النشاط التحفيزي للمواد النانوية لإجراء تفاعلات التغويز عند درجات حرارة منخفضة أقل من 240 . حيث تم الحصول على أداء جيد للزوجين Ni - Pd المدعومين بجزيئات Ceo النانوية ، وهو مرتبط ارتباطاً مباشراً بتأثير أكسيد النيكل كمادة تشتيت ، والتأثير المفيد الأكسيد البلاديوم وأكسيد السيريوم كمواد دعم نشطة لتسريع عملية تفاعلات التغويز.

ومن هنا ، تم استخدام التصاميم الإحصائية لتحسين كفاءة عملية التغويز وهذا ما يوضحه الشكل (4-3)

حيث تم استخدام تصميم الخليط (Simplex - centroid) لتحسين نسبة الكسر الوزني لـ Nio و Pdo على أسطح الجسيمات النانوية Ceo_2 ، ووجد أنه مع كسر وزني قدره 0.89% و 1.1% من Pdo و Nio على التوالي ، فقد تضاعف تحول الإسفلتين بنسبة 100% بأقل من 80 دقيقة.



الشكل (3-4) : تصميم خليط من ثلاثة مكونات بسيطة مع دعم أكسيد السيريوم (CeO2) الوظيفية مع أكسيد النيكل (NiO) وأكسيد البلاديوم (Pdo)

من التقييم التحفيزي للجسيمات النانوية السبعة بالتركيزات التي اقترحها التصميم الإحصائي

تم تحديد التركيز الأمثل لهذه المعادن على سطح الجسيمات النانوية، بالإضافة إلى ذلك ، من خلال العينات المستخدمة ، لوحظ زيادة في النشاط التحفيزي للجسيمات النانوية ثنائية التكافؤ فيما يتعلق بالجسيمات و هكذا زاد التحويل بالترتيب التالي :

CeO_2< CeNil < CePd1 < CeNi2 < CeNi0.66Pd0.66 < CePd2< CeNil Pd1 <CeNi0.89Pd1.1

من ناحية أخرى ، تم تقييم خاصية التجديد الذاتي لجسيمات سيريا النانوية الوظيفية CeO_2 مع الكمية الأمثل لأكاسيد المعادن لـ Ni و Pd في أدائها الممتز والحفاز لتغويز بخار الإسفلتين. لذلك، تم دراسة تسع دورات تحفيزية ، ووجد أن انجذاب الإسفلتين للامتصاص فوق الجسيمات النانوية تبقى قوية مع مرور الدورات ، وينعكس ذلك على سلوك النوع الأول المتساوي الامتزاز وانخفاض بحوالي % 2.6من قدرة بولاني على الامتصاص، بالإضافة إلى ذلك ، لا يتأثر النشاط التحفيزي للجسيمات النانوية على تجديدها ، لأنها قادرة على تحلل 100% من الكمية الممتصة في الدورات التسع ، وتزداد طاقة التنشيط فقط بمقدار Kj/mol 49.1، كل هذه الدراسات تعطي حساباً للظواهر المحفزة التي حدثت بفضل تأثير الجسيمات الثانوية مع الإسفلتين في ظروف ثابتة ، ولكن من أجل دراسة أكثر تقريبية لظروف الخزان ، فقد تم تقييم الجسيمات النانوية من السيليكا ، الألومينا، السيليكا الوظيفية ، السيريا الوظيفية مع Nio و PdO ، والألومينا الوظيفية في ظروف الضغط العالي .

بالنسبة لجسيمات السيريا النانوية، تم الحصول على زيادة في عامل الاسترداد من 63.5% إلى 75.3% في الحقن بالبخار بجودة 70% ودرجة حرارة 240 °C

في الواقع ، تم تقليل محتوى الإسفلت من % 28.7 إلى 12.9 وزادت كثافة API بحوالي 50% ، وكان انخفاض اللزوجة حوالي 78%.

يتم شرح كل هذه النتائج من خلال آليتين رئيسيتين ، حيث يحدث انخفاض اللزوجة بسبب إعادة تنظيم شبكة اللزوجة المرنة للنفط الخام من خلال التفاعلات القوية بين الإسفلت والجسيمات النانوية التي يتم إنشاؤها والنشاط التحفيزي للجسيمات النانوية.

بالنسبة للجسيمات النانوية أحادية التكافؤ وثنائية التكافؤ المدعومة على الجسيمات النانوية Al2O3 ، في المقام الأول ، تم إثبات أن اختلاف جودة البخار في غياب الجسيمات النانوية يولد تأثيراً على عامل استرداد النفط (RF) ، مما يدل على قيمة أعلى لـ (RF) مقابل جودة بخار أعلى ، ومع ذلك ، لا تتغير جودة النفط الخام .

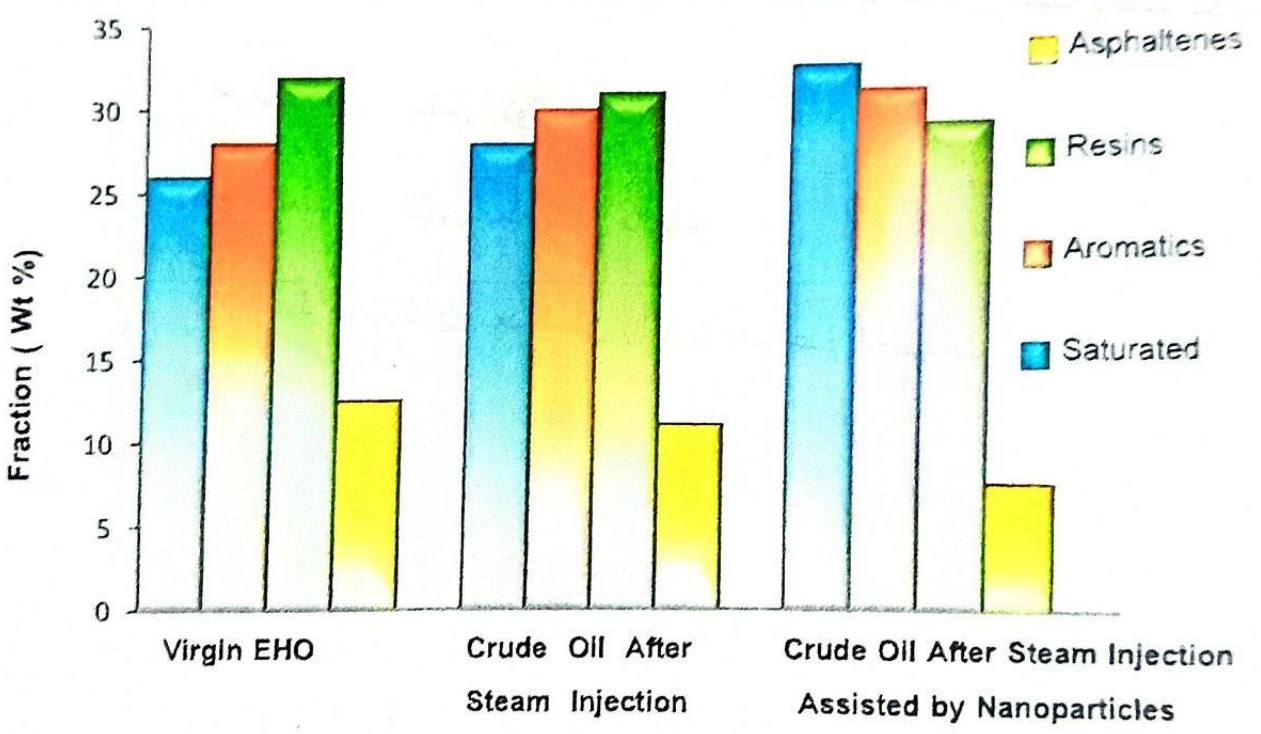
مع إضافة الجسيمات النانوية ، تم تحقيق زيادة في كثافة API بحوالي (5 و 7)API

للجسيمات النانوية ALNi2 و ALPdiNil ، على التوالي ، لذلك كان هناك تحسن دائم في جودة النفط ، بما في ذلك زيادة في الاسترداد بقيمة جودة تصل ل 50% وذلك من 20% و 13% لاستخدام الجسيمات النانوية ثنائية التكافؤ وأحادية التكافؤ على التوالي.

من ناحية أخرى ، تضمنت دراسة أخرى استخدام الموائع النانوية من Sio ، الجسيمات النانوية الوظيفية مع أكسيد النيكل والبلاديوم بكسر

وزني قدره 1% (SiNilPd1) ولوحظ استرداد بمقدار 56% .

في ظل هذه الظروف والسوائل نفسها ، يظهر توصيف البقايا السائلة بعد الحقن بالبخار زيادة في كثافة API للنفط الخام من (7.2 إلى 12.1) بالإضافة إلى ذلك ، من خلال تحليل SARA والتقطير المحاكي (SimDis) ، تم إثبات أن محتوى الإسفلت قد انخفض في مصفوفة النفط الخام وأن لزوجة المانع قد زادت وهذا ما يوضحه الشكل (4-4)



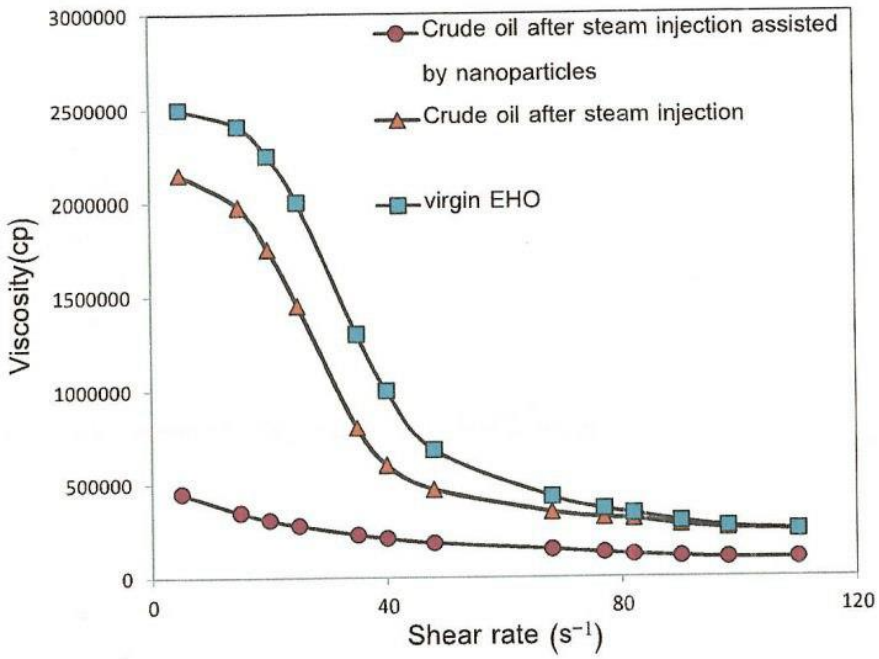
الشكر (4-4) : تحليل المركبات المشبعة ، العطريات الراتنجات ومحتوى الإسفلتين للنفط الخام الثقيل قبل وبعد الاسترداد بحقن البخار في وجود وغياب mg/l1000 من SiNilPd1 عند ضغط حقن 8,96 Mpa. ، ودرجة حرارة C 300

النتيجة المهمة الأخرى التي تم الحصول عليها من تطبيق الجسيمات النانوية هي انخفاض اللزوجة والتحول في السلوك الانسيابي للنفط الخام الثقيل ، والذي يسلك سلوك النفط النيوتوني بعد ملامسته للبخار والمحفز النانوي ..

هذا يعني أنه يمكن تحسين تقليل اللزوجة في كل من الظروف السطحية وتحت السطحية.

توضيح الشكل (4-5) السلوك الريولوجي عند درجة حرارة 25 للسيناريوهات الثلاثة :

- ✓ النفط الخام الثقيل الأولي
- ✓ النفط الخام الثقيل بعد الحقن بالبخار
- ✓ النفط الخام الثقيل بعد الحقن بالبخار بمساعدة الجسيمات النانوية



الشكل (4-5) : السلوك الريولوجي للنفط الخام الثقيل للغاية في وجود وغياب البخار بمساعدة وبدون مساعدة (1000 mg/L) من SiNild1 النانوية وذلك عند ضغط 8.96 mpa ودرجة حرارة $300\ C^{o}$

يعزز النشاط التحفيزي للمادة النانوية انخفاضاً في إنتاج الغاز المعتمد على الكبريت والنيتروجين ، ويقلل من انبعاث غازات الاحتباس الحراري ، وينتج منتجات نهائية قيمة.

في حالة التحفيز الدوري بالبخار (CSS) ، تمت محاكاته عند درجة حرارة 240C°

باستخدام رمل السيليكا ذات الارتباط مع جزيئات النيكل النانوية.

نلاحظ زيادة عامل الاسترداد بنسبة 10% بالإضافة إلى ذلك، تمت محاكاة نفس العملية لتقييم تأثير الجسيمات النانوية لتعزيز تفاعلات التحلل المائي بين C° (150و225) . في هذه التجربة بالذات ، تم خلط الجسيمات النانوية مع النفط الثقيل قبل بدء العملية ، حيث تم الوصول إلى زيادة في 14% لمعامل استرداد النفط عند C°(200).

3-4- تأثير الجسيمات النانوية في تفاعلات الانحلال الحراري :

ضمن عمليات تحلل الإسفلتين ، سواء العمليات التي تنطوي على حقن الهواء أو البخار ، هناك احتمال حدوث تفاعلات كيميائية بين منتجات تفاعلات الانحلال الحراري مثل فحم الكوك. الانحلال الحراري أو التحلل الحراري هو في الأساس التحلل الكيميائي الحراري لمكونات النفط الخام عند درجات حرارة مرتفعة في غياب الأوكسجين.

أظهرت الدراسات المبكرة أنه بفضل التكسير الحراري ، تم تحسين استخلاص النفط الخام لأن درجات الحرارة المرتفعة التي يحدث فيها هذا التفاعل تسمح بتغيير نسبة C/H ، وانخفاض

محتوى النتروجين والكبريت . لكن نظراً لارتفاع درجات الحرارة لهذا التفاعل ، فقد تمت مؤخراً دراسة استخدام محفزات نانوية لتقليل درجة الحرارة وتعزيز النفط الخام تحت التكسير الحراري لأجزائه الثقيلة ،

حيث تمت مقارنة أداء ثلاثة أكاسيد فلزية انتقالية CO_3O_4, NiO و Fe_3O_4في الانحلال الحراري للإسفلتين تحت ظروف خاملة .

فيما يتعلق بتقليب درجة حرارة التكسير للإسفلتين والطاقة اللازمة لتنشيط تفاعلات الانحلال الحراري ، تم تنفيذ أداء أفضل بواسطة جزيئات NiO النانوية تليها CO_3O_4 و Fe_3O_4

إلى جانب ذلك، أفادت الدراسة أنه أثناء الانحلال الحراري للإسفلتين ، يتم كسر روابط C-S عند درجة حرارة بين ^0C (350 - 400) ، بينما تتطلب روابط C-C درجات حرارة

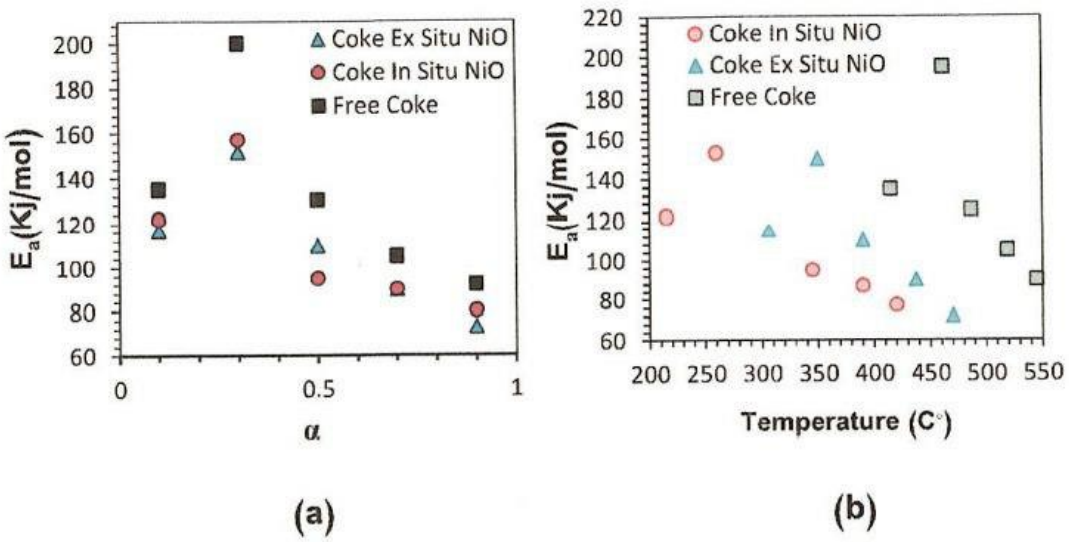
أعلى من ^0C(400)، وهي درجات مرتفعة نسبياً ، والتي يكون استخدام محفز لها ضروري ، والتي بها يتم تقليل درجات الحرارة هذه إلى حوالي ^0C (300 - 250) .

تشير الأبحاث إلى حقيقة أن النيتروجين الحلقي غير المتجانس يمكن أن يلعب دور رئيسي في تفاعلات التكسير الحراري للإسفلتين والراتنجانات ، نظراً لإن التفاعلات الأولى تنطوي على كسر روابط الألكيل العطرية من ناحية أخرى، تتضمن التفاعلات النانوية تكاثف الحلقات العطرية وأرومة التفتينات وفقاً لهذا ، فإن الخطوة الأولى لتشكيل فحم الكوك من الأجزاء الثقيلة من المادة الخام هي الحصول على الهيدروكربونات المتطايرة ، بالإضافة إلى ذلك ، بالنسبة لجسيمات NiO النانوية المحضرة خارج الموقع وفي الموقع ومن خلال فحص بقايا فحم الكوك الناتج من الانحلال والتحلل الحراري اللاحق من خلال الانحلال الحراري المبرمج بدرجة الحرارة (TPP) والأكسدة المبرمجة بدرجة الحرارة (TPO) ، وتم إثبات أن جزيئات NiO النانوية في الموقع مقارنة ب NiO خارج الموقع ، بأنها تقوم بتعديل درجة حرارة الأكسدة بحوالي 100 C أقل من الدرجة الأولى لفحم الكوك الحر ، مما أدى إلى انخفاض كبير في طاقة التنشيط

تم تأكيد هذه النتائج من خلال التحويل (a) لفحم الكوك الحر ، NiO المحضر في الموقع و خارج الموقع ، وذلك بثلاثة معادلات تسخين مختلفة ، وفي جميع الحالات ، درجة TPP الحرارة اللازمة لتحويل نفس الكسر تتبع الترتيب التالي :

فحم الكوك > فحم الكوك خارج الموقع NiO > فحم الكوك في الموقع NiO

ويوضح الشكل (4-6) العلاقة بين طاقة التنشيط و درجة حرارة / درجة التحويل



الشكل (4-6) : العلاقة بين طاقة التنشيط مع : (a) درجة التحويل (a) ، و (b) درجة الحرارة للتحلل التأكسدي الحراري لعينات الانحلال الحراري المبرمج بعد درجة الحرارة TPP في وجود وغياب جزيئات NiO النانوية في الموقع وخارجه

يؤكد الشكل 4-6- التأثير التحفيزي الأكبر لفحم الكوك على الجسيمات النانوية داخل الموقع NiO ، لأن تفاعلات تحلل فحم الكوك تبدأ عند درجات حرارة منخفضة ، مقارنة بالجسيمات الثانوية خارج الموقع ، وبدون الجسيمات النانوية. بالإضافة إلى ذلك ، تقل الطاقة اللازمة لتوليد نفس درجة التحويل لوجود الجسيمات النانوية (الشكل 4-6 (b)).

على سبيل المثال ، لتحويل 50 % ، تتبع طاقة التنشيط الترتيب : في الموقع < خارج الموقع < فحم الكوك الحر

تم تطبيق مواد نانوية مختلفة لدراسة الانحلال الحراري للإسفلتين ، وأكسدته بعد الانحلال الحراري لفحم الكوك .

يمكن الجسيمات NiO النانوية تحسين كفاءة كلتا العمليتين بما في ذلك التأثير على إنتاج النفط في موقع الخزان . تزيد جزيئات السيليكا والمغنتيت من كمية الوقود المنتجة في درجات حرارة منخفضة وعالية تحت تفاعلات الأكسدة والانحلال الحراري. تحقق هذه الجسيمات النانوية انخفاضاً في طاقة التنشيط عن طريق زيادة إنتاج النفط الخام. تشير البيانات التجريبية إلى أن التكسير الحراري للإسفلتين والراتنجانات لفحم الكوك هو عملية معقدة تحدث فيها التفاعلات التالية :

1 تكسير سلاسل الألكيل للمجموعات العطرية

2 نزع الهيدروجين من النفثينات لتكوين مركبات عطرية

3 تكثيف المواد العطرية إلى المركبات العطرية الحلقية عالية الانصهار

4. تفاعلات التثبيط

دائماً ما يصاحب فقدان سلاسل الألكيل التكسير الحراري ونزع الهيدروجين / التكثيف نتيجة لظروف نقص الهيدروجين. تعكس هذه النتائج القدرة التحفيزية للجسيمات النانوية التي تختلف

من معادن انتقالية أكاسيد معدنية وحتى قاعدة عضوية ، مما يحقق كفاءة محسنة للأكسدة و التغويز و تفاعلات الانحلال الحراري بشكل فردي أو مجتمعة مما يسمح استخراج النفوط الخام الثقيلة والثقيلة جداً من خلال تحلل الإسفلتين

4-4- تأثير الجسيمات النانوية على التسخين الكهرومغناطيسي للنفط الخام الثقيل

يتم تقسيم التسخين الكهرومغناطيسي لاستخراج النفط الخام الثقيل إلى فئات متميزة اعتماداً على نوع تردد التيار الكهربائي المستخدم لتوليد التدفئة بالنسبة للترددات المنخفضة ، يتم التسخين بالمقاومة أو الأوم، بينما يحفز التسخين الحثي تياراً ثانوياً لإنتاج الحرارة، وبالنسبة الترددات العالية (الميكروويف) فإن طريقة توليد الحرارة ترجع إلى الجزيئات التي تشكل ثنائيات الأقطاب والتي تصطف ضمن مجال كهربائي.

يتم تحفيز التيار الكهربائي بواسطة ملف موجود في بئر الحقن ، وبشكل عام يوصي باستخدام بترين أفقيين مثل تقنية (SAGD) نظراً لإن معظم الطرق التقليدية لا تقاوم العمليات التي تنطوي على ضغوط عالية ودرجات حرارة عالية (HT، Hp) ، فقد تم اختيار تطبيق الطاقة الكهرومغناطيسية بالتزامن مع تطبيق تقنية النانو ..

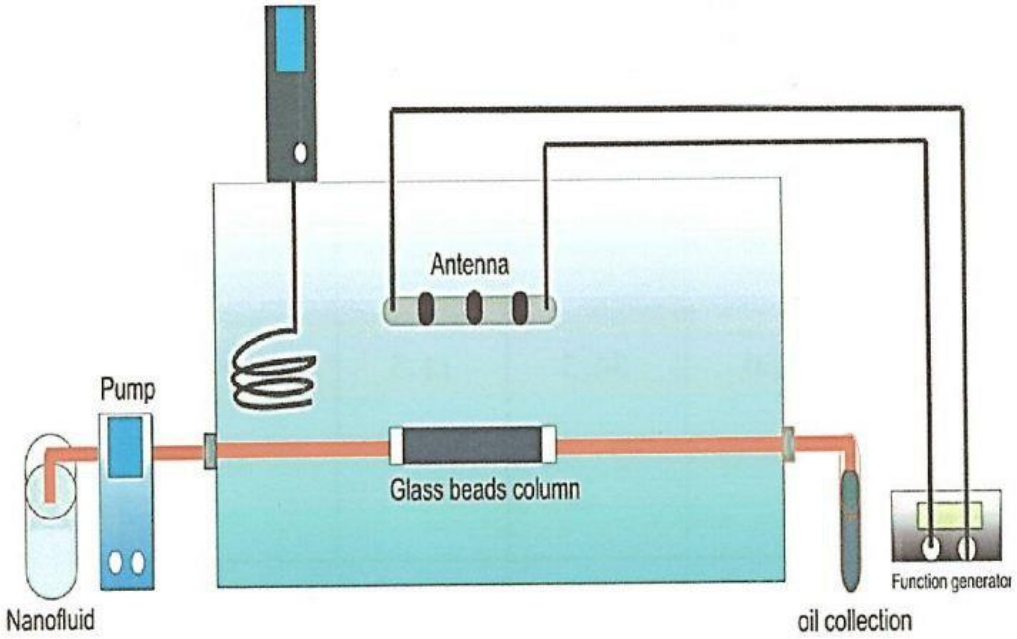
أثناء الدراسة، تم تقييم الطريقة غير الغازية من أجل حقن الإشعاع المغناطيسي في الخزان بالتزامن مع مائع نانوي عازل، وذلك من أجل زيادة إنتاج النفط من خلال الاضطرابات في جبهة الماء / نفط

بالإضافة إلى ذلك ، فقد كان العامل الرئيسي هو لزوجة الموائع النانوية العازلة للكهرباء والتي تسمح بتحسين كفاءة الكنس وبالتالي كمية النفط المستعاد ، نظراً لقدرتها على امتصاص الموجات الدقيقة ، تم دراسة جزيئات أكسيد المعادن النانوية على نطاق واسع لتحسين النفط الخام الثقيل عن طريق زيادة درجة حرارة النظام . تم استخدام أكاسيد الحديد والنيكل والنحاس بشكل تجريبي في التسخين ، حيث أدى لتقليل اللزوجة بنسبة تصل إلى % 20 للنيكل NPS والذي أظهر أفضل أداء عند طاقة الميكروويف المنخفضة.

تعمل جزيئات أكسيد الكربون والنحاس وأكسيد النيكل النانوية البالغة50nm على تعزيز استخلاص النفط ضمن صخور كربوناتية منخفضة النفوذية ، حيث يولد زيادة في استخلاص النفط بنسبة % (22 → 9) مقارنة بالاسترداد بالطرق التقليدية الأخرى مثل حقن بالمياه .

بين أكسيد النحاس (CuO) (II) ، أكسيد النيكل (II) وأكسيد الحديد (III)، تزيد جزيئات NiO النانوية من عامل الاسترداد بنسبة %80من الجسيمين النانوين الأخريين، وذلك لأن هذه الجسيمات النانوية أقل موصلية وبالتالي تنتقل ببطء أكثر من CuO و Fe_2O_3.

كما تم استخدام جزيئات الكوبالت الفريت النانوية ($CoFe_2O_3$) لتحسين هذه التقنية. هذه الجسيمات النانوية البالغة 51.17 nm يتم حقنها في عينة من الخرز الزجاجي في عمود PVC وذلك وفقا للمخطط المبين بالشكل (18) .



الشكل (4 -7) : المخطط التجريبي لعملية الاستخلاص المدعم للنفط (EOR)

يتم ضخ الجسيمات النانوية في النموذج الزجاجي والتي يتم تعريضها لموجات كهرومغناطيسية لمدة 24 ساعة من خلال المولد ثم يتم حساب عامل الاسترداد ، فكانت النتائج كما هي موضحه في الجدول (4-1).

الجدول (4-1) : الاستخلاص المحسن للنفط بعد حقن المائع النانوي في غياب و وجود الموجات الكهرومغناطيسية

الحالة	النفط الأولي في المكان (ML)	حجم النفط المستخلص بعد حقن الماء (ML)	النفط المتبقي في المكان بعد حقن الماء (ML)	النفط المستخلص بعد حقن المائع النانوي (ML)	معامل الاسترداد %
حقن مائع نانوي	46.0	43.5	11.5	1.0	8.7
الحقن مع موجات كهرومغناطيسية	42.5	33.0	9.5	3.0	31.6

بالإضافة إلى ذلك ، وعند تغيير تركيز مسحوق النانو ، وجد أن هناك تركيزاً حرجاً للجسيمات النانوية التي تولد أكبر قدر من الكفاءة في تقليل اللزوجة.

أخيراً ، تم التوصل إلى تطبيق آخر بفضل تأثير تقليل سرعة الموجات الكهرومغناطيسية عند عبور الوسائط المغناطيسية (نفاذية مغناطيسية أعلى) ، والذي يسمح برسم الخرائط داخل الخزان عن طريق تحديد موقع الجسيمات النانوية المغناطيسية ضمن السوائل المحقونة ، وبهذه الطريقة يتم رسم خرائط لتعيين مسار جبهة الإزاحة وحركة السوائل.

4-5- خطة تنفيذ تنقية النانو في عملية حقن البخار

لم تحظ تطبيقات تقنية النانو في الاستثمار المدعم للنفط باهتمام كبير في الماضي بسبب الفهم الغير الكافي للآلية والتكاليف الكيميائية المرتفعة وانخفاض أسعار النفط الخام.

ومع ذلك ، فإن تنفيذ الخطة الكاملة سيسمح باستخدام التطورات الحديثة في تكنولوجيا النانو

كونها بديل جديد وفعال من حيث الكلفة ، ويجب تطوير خطة تنفيذ التقنية بحيث توفر نتائج أفضل في الاختبارات التجريبية للتوسع اللاحق والتطبيق الناجح للجسيمات النانوية في عمليات الاستثمار الحراري المدعم للنفط.

تهدف هذه الخطة إلى توفير معايير اختبار تقلل من المخاطر المرتبطة بالتكنولوجيا القديمة ، وتطبيق تقنية النانو كوسيلة لتحسين العملية مع مراعاة المعايير الحاسمة في الأداء والقيود التقنية.

يمكن تقسيم منهجية التنفيذ خطة التنفيذ إلى ثلاث مراحل أساسية من العمل :

❖التقييم التجريبي

يسمح التقييم التجريبي بتحديد الظواهر التي ستحدث عند تنفيذ تقنية النانو على نطاق جيد . ويتم الحصول على معلومات حول كفاءة العملية من خلال استخدام تقنية النانو من خلال اختبارات مختلفة والتي يمكن تصنيفها إلى مجموعتين رئيستين:

1 - اختبارات ثابتة

2 - اختبارات ديناميكية

❖توصيف المكامن وهندسيتها

في مرحلة توصيف المكامن ، فإنه من المهم تحليل خصائص وديناميكيات إنتاج الحقل من أجل تحديد جدوى تقنية الحقن بالبخار من خلال استخدام السوائل النانوية. يجب تقييم

خصائص مختلفة مثل اللزوجة ، الكثافة مقدرة بـ API ، النفوذية ، الضغط والتشبع بالنفط وتوفر هذه المرحلة معلومات مهمة للقيام بالتنبؤات ، وتقييم خطط التنمية المختلفة التي تسمح

بتحديد أفضل سيناريو لاستثمار النفط الموجود ضمن الخزان، علاوة على ذلك ، يتم الحصول على المعلومات اللازمة لتنفيذ منهجية لاختيار البئر أو المنطقة التجريبية الأكثر ملائمة حيث يمكن تنفيذ عملية الاستثمار الحراري المدعم باستخدام تقنية النانو.

❖إدارة المرافق السطحية

تسمح هذه المرحلة بضمان التشغيل الأمثل والأمن للمرافق السطحية أثناء عمليات الإنتاج و الفصل ، التخزين والحقن للسوائل ، ويتم تحقيق خطة استراتيجية للتخلص من السوائل المنتجة والتحكم فيها. وهذا يشمل المعرفة حول السوائل ، كيفية التخلص من الجسيمات النانوية .

مراقبة الجسيمات النانوية ، التحكم ، جودة المياه ، وتصميم المرافق السطحية.

الفصل الخامس

التأثيرات البيئية لتقنية النانو والتطبيقات المستقبلية في EOR

5-1- التأثيرات البيئية

بناء على الدراسات تبين أن الجسيمات النانوية المحفزة لتخفيض لزوجة النفط الثقيل في الموقع يخفض من التكاليف ، وله تأثيرات بيئية إيجابية. من بين المزايا التي توفر استخدام NPs في عمليات استرداد النفط الحراري هي :

(1) تقليل استهلاك الحرارة ، حيث تعمل NPs التي تتلامس مع جزيئات النفط على تسريع تكسير وهدرجة الهيدروكربونات ، وتوليد المزيد من الحرارة والمنتجات الغازية التي تزيد من تحسين فصل النفط عن الصخر. لذلك، فإن إدخال NPS لتحفيز التفاعلات الكيميائية يؤدي إلى تقليل استهلاك الحرارة.

(2) إزالة الكبريت ، وذلك لتلبية الأنظمة البيئية الصارمة الخاصة بنقل الهيدروكربونات. أظهر العديد من المؤلفين تأثيراً ملحوظاً في إزالة الكبريت مما يدل على فعالية تطبيق NPs لتحسين لزوجة النفط وجودته.

(3) تقليل استهلاك المياه ، حيث أظهرت جسيمات و ZnO2 النانوية انخفاضاً في اللزوجة وزيادة استخلاص النفط الخام الثقيل.

(4) الحد من المواد الكيميائية السامة والتكلفة الرأسمالية لعملية الرفع والنقل من قاع البئر إلى مركز المصفاة تتطلب التقنيات الرئيسية الموجودة لنقل EOH , OH إضافة المذيبات (النفط الخام الخفيف ، النفثا) أو الغازات (بشكل أساسي ثاني أكسيد الكربون) لأنها تساهم في تقليل لزوجة النفط . حيث الاستهلاك العالي للمذيبات يزيد من تكاليف النقل وينتج عنه مخاطر بيئية مختلفة بسبب إنتاج الغازات الملوثة .

(5) التقليل من تأثير الغازات الدفيئة ، حيث أشارت الدراسات أنه يتم منع تسرب ثاني أكسيد الكربون من خلال تطبيق الجسيمات النانوية.

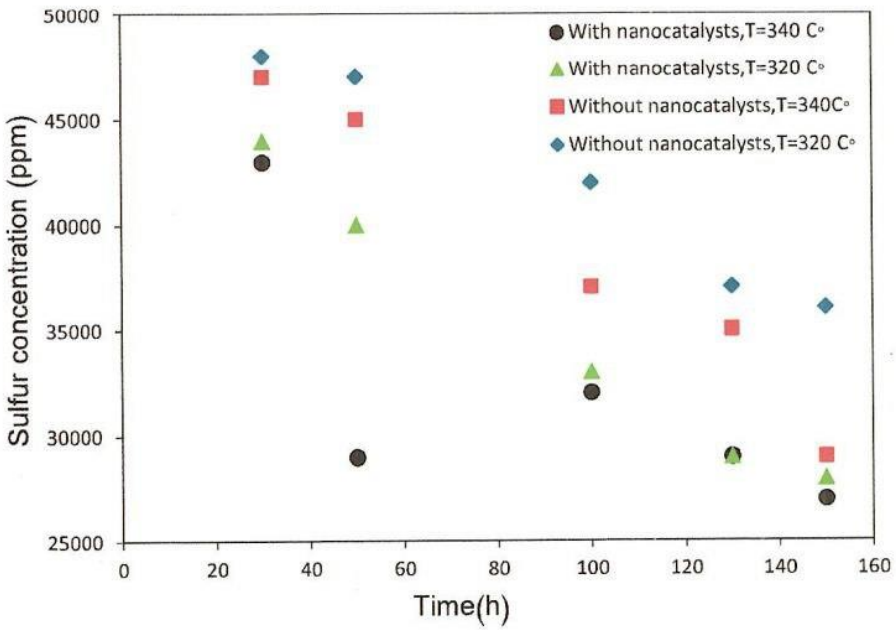
(6) تمثل الجسيمات النانوية لتكنولوجيا المعالجة البيئية جيلاً جديداً .

(7) خفض تكاليف التكنولوجيا نظراً لأن NPs يمكن أن تكون أرخص من المواد الكيميائية. على سبيل المثال : جزيئات السيليكا النانوية (SiNPs) تعمل على تحسين إنتاج النفط كونها صديقة للبيئة نظراً لأنها المكون الرئيسي للحجر الرملي ، وأن (SiNPS) رخيصة ويمكن التحكم في سلوكها الكيميائي بسهولة عن طريق تعديل السطح.

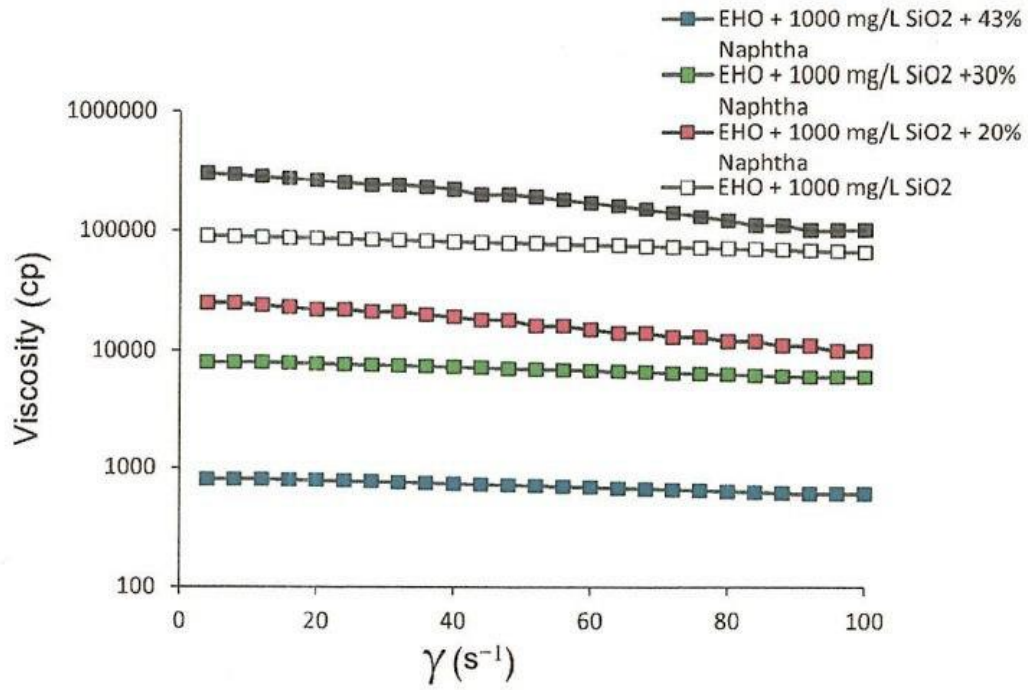
يوضح الشكل (1-5) مثالا على

a- تقليل استهلاك الكبريت في وجود محفزات نانوية

b- تقليل استهلاك النفثا



الشكل (1-5) : (a)



الشكل (1-5) : (b)

توضح جميع المزايا المذكورة أن الجسيمات النانوية المطبقة في عمليات الاستثمار المدعم للنفط لديها القدرة على تحسين إنتاج النفط كونها صديقة للبيئة وأقل تكلفة وأكثر كفاءة مقارنة بالمواد الكيميائية التقليدية.

لهذا السبب هناك حاجة إلى البحث المكثف عن المواد النانوية لعمليات الاستثمار المدعم للنفط.

5-2- التطبيقات المستقبلية في EOR

يعتبر إيقاف الغاز والماء بوساطة المواد الكيميائية وذلك عن طريق حقن المواد الهلامية أو الرغوة، المستحلب وتوليد المستحلب في وجود الجسيمات النانوية استراتيجية جديدة وحديثة تهدف على وجه التحديد إلى تحسين نسبة الحركية بين سائل الاستخلاص المحقون

والنفط الخام في الخزان . يؤدي وجود التغيرات الطبيعية مثل المناطق ذات النفوذية العالية والمتشققة إلى انخفاض كفاءة الاجتياح للغاز المحقون ، وبذلك يتم استخدام الرغوة أو حقن المواد

الهلامية أو توليد المستحلبات كبديل لسد القنوات المسامية الضيقة ، وبالتالي يتدفق السائل المحقون في المسارات الأكثر نفوذية ويضطر للتدفق عبر المناطق المتضررة . هذا السلوك يؤدي إلى إزاحة أعلى للنفط وزيادة في عملية الكسح مما يؤدي إلى تحسين استخلاص النفط.

الرغوة السائلة عبارة عن فقاعات الغاز متوزعة في طور سائل مستمر ، وهي أنظمة مستقرة طبيعتها غير مستقرة. في معظم الأحيان ، يتم تثبيت الرغوة باستخدام عوامل نشطة سطحياً مثل المواد المخفضة للتوتر السطحي، ومع ذلك فإن ظروف المكمن القاسية ودرجة الحرارة المرتفعة ، الضغط والملوحة ووجود الشوارد والمواد الجسيمية الصلبة في

الصفائح تقلل من ثبات الرغوة وغالباً ما تحد من تطبيقها في عملية حقن الغاز .

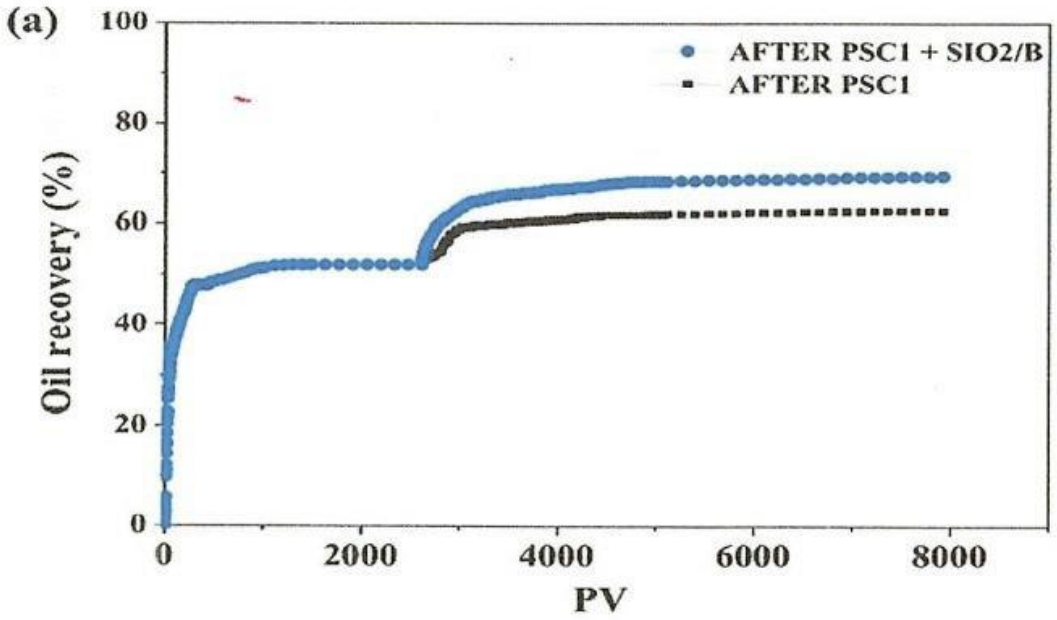
تظهر الدراسات الحديثة أن NPs قادرة على تحسين استقرار الرغوة في ظروف الخزان القاسية وبالتالي تحسين استخلاص النفط ، تم تقييم الجسيمات النانوية للأكاسيد غير العضوية مثل السيليكا ، Al_2O_3 ، الكربونات ، CuO، TiO_2 ، وجسيمات الرماد المتطاير في تثبيت الرغوة.

يوضح الشكل (2-5) استعادة النفط من خلال الحقن بالماء قبل حقن المادة المخفضة للتوتر السطحي (PSCI) وبعد حقنها في غياب ووجود الجسيمات النانوية SiO_2

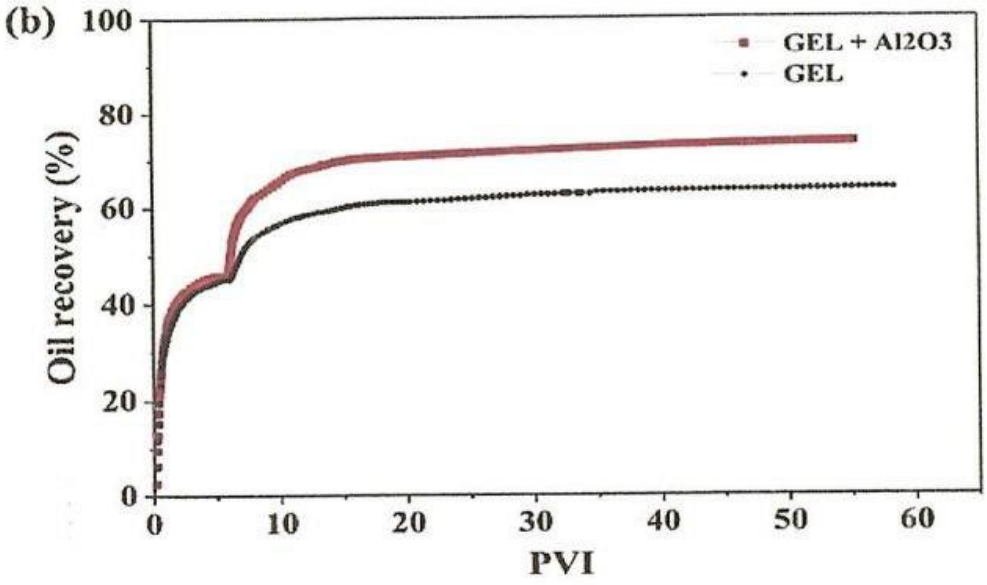
حيث يوضح:

.(a) - استعادة النفط من خلال الحقن بالماء بعد حقن المواد المخفضة للتوتر السطحي PSCI في غياب ووجود الجسيمات النانوية SiO_2

.(b) - استعادة النفط النفط من خلال الحقن بالماء بعد حقن المواد الهلامية (GEL) في غياب ووجود الجسيمات النانوية Al_2O_3



الشكل (2-5):(a)



الشكل (2-5):**(b)**

لتحسين كفاءة الكنس الحجمي يتم حقن المواد الهلامية ، حيث يتم تصنيع المواد الهلامية بشكل أساسي بواسطة رابطة بوليمير ذات وزن جزيئي مرتفع مع رابطة مشتركة في وجود مواد مضافة لتقليل حركة الماء كالبولي أكريل أميد المتحلل جزئياً (HPAM) ، والبوليمير صمغ الراتنجان، وهما البوليميران الأكثر استخداماً في تطبيقات إيقاف حركة الماء بسبب الكلفة المنخفضة ، اللزوجة العالية وتركيز منخفض.

أفادت الدراسات الحديثة أن استخدام الجسيمات النانوية في المواد الهلامية يحسن من ثباتها واستقرار خصائصها اللزجة المرنة في ظل ظروف ثابتة و ديناميكية.

بالإضافة إلى ذلك ، لوحظ ارتفاع قيم استخلاص النفط في وجود الجسيمات النانوية كما هو موضح في الشكل السابق .

أظهرت اختبارات الإزاحة أن إدراج جزيئات : Al_2O_3 النانوية في أنظمة هلام البولي أكريل أميد المتحلل بالماء ، الريسورسينول ، الفورم الدهيد تزيد بنسبة % 64 من استخلاص النفط مقارنة مع غياب الجسيمات النانوية .

النتائج والمقترحات

- **كان تطبيق الجسيمات النانوية في عملية استثمار النفط المدعم حرارياً ذو اهتمام بحثي قوي.**

- **تمتلك الجسيمات النانوية كممتزات ومحفزات تطبيق محتمل كبير لتقليل لزوجة النفط الخام الثقيل وتعزيز استخراجه.**

- **يمكن للجسيمات النانوية أن تحلل الإسفلتين تحت أجواء مختلفة مثل الهواء، البخار ، الوسط الخامل وحتى في المعالجة الكهرومغناطيسية.**

- **تستطيع تكنولوجيا النانو تحسين كفاءة جميع عمليات الاستخلاص الحراري ، ويرجع ذلك إلى الخصائص الامتصاصية والحفازة التي تتمتع بها الجسيمات النانوية ، وتقاربها العالي مع الإسفلتين وقدرتها على تسريع التفاعلات التي تحدث تحت ظروف الأكسدة ، التغويز وظروف التحلل الحراري .**

- **الاستخلاص الحراري للنفط عن طريق إضافة الجسيمات النانوية يقدم العديد من المزايا من حيث التأثيرات البيئية والتكاليف : تقليل استهلاك الحرارة ، إزالة الكبريت، تقليل استهلاك الماء ، الحد من المواد الكيميائية السامة وتكاليف رأس المال ، الحد من الغازات الدفيئة ، المعالجة الأولية وخفض تكاليف التكنولوجيا .**

لذلك نقترح

- ✓ تنفيذ أبحاث واسعة على الطريقة الصناعية لتحسين الجسيمات النانوية والتوسع بالتطبيقات التي تتواجد فيها المواد النانوية

- ✓ إمكانية تطبيق هذه الأبحاث مخبرياً في بلدنا والعمل على تطبيقها حقليا

[REFERENCE] المراجع

1- Olsson, G. Water and Energy: Threats and Opportunities. VA publishing: London, UK, 2015.

2- Shah, A.; Fishwick, R.; Wood, J.; Leeke, G., Rigby, S., Greaves, M. A review of novel techniques for heavy oil and bitumen extraction and upgrading. Energy Environ. Sci. 2010. 3. 700-714. [CrossRef]

3- International Energy Agency. World Energy Outlook 2017: International Energy Agency: Paris, France, 2017.

4- Miller, R.G.; Sorrell, S.R. The Future of Oil Supply: The Royal Society Publishing: London, UK, 2014.

5- Santos, R.; Loh, W.; Bannwart, A.; Trevisan, O. An overview of heavy oil properties and its recovery and transportation methods. Braz. J. Chem. Eng. 2014, 31, 571-590. [Cross Ref]

6- Guo, K.; Li, H.; Yu, Z. In-situ heavy and extra-heavy oil recovery: A review. Fuel 2016, 185, 886-902. [Cross Ref]

The end