



# الطاقة والتعاون العربي مؤتمر الطاقة العربي العاشر

أبوظبي - دولة الإمارات العربية المتحدة

21 - 23 كانون الأول / ديسمبر 2014

## الأوراق الفنية

### تكرير النفط الثقيل : التحديات والفرص

إدارة الشؤون الفنية

منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)



## **مؤتمر الطاقة العربي العاشر**

### **الطاقة والتعاون العربي**

23-21 كانون الأول / ديسمبر 2014

أبوظبي - دولة الإمارات العربية المتحدة

### **ورقة بعنوان**

## **تكرير النفط الثقيل: التحديات والفرص**

إدارة الشؤون الفنية

منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)

## فهرس المحتويات

	الموضوع
1	تصنيف النفط الخام
7	1- تقنيات تطوير وتحسين النفوط الثقيلة
9	1-1: تقنيات نزع الكربون Carbon-rejection
13	2-1: تقنيات إضافة الهيدروجين Hydrogen-addition
15	3-1: مقارنة بين تقنيات تحسين خصائص النفوط الثقيلة
17	4-1: خيارات موقع إجراء عمليات تحسين خصائص النفط الثقيل
19	5-1: عوامل اختيار موقع تحسين خصائص النفوط الثقيلة
20	2- إجراءات تهيئة المصافي لتكرير النفوط الخام الثقيلة
21	1-2: تعديل وحدات التقطير
21	2-2: تعديل وحدات إنتاج الغازولين
21	3-2: تعديل وحدات المعالجة الهيدروجينية
22	4-2: تعديل وحدات تحويل مخلفات التقطير الثقيلة
22	5-2: تعديل الوحدات المساندة
23	3- عوامل اختيار العملية الأنسب لتكرير النفوط الثقيلة
25	4- التحديات التي تواجه استغلال وتكرير النفوط الثقيلة
26	1-4: صعوبة نقل النفوط الثقيلة بالأنابيب
27	2-4: التباين بين طاقة الوحدات الإنتاجية ونسب المنتجات في النفط الثقيل
28	3-4: تغير نسب ومواصفات المنتجات
30	4-4: اضطراب ظروف تشغيل عمليات التكرير
32	5-4: ارتفاع تكاليف التشغيل
33	6-4: تغير طاقة الوحدات المساندة
35	7-4: الانعكاسات السلبية على البيئة
36	5- مشاريع تطوير المصافي لتكرير النفوط الثقيلة في الدول العربية
36	1-5: المملكة العربية السعودية
38	2-5: الجمهورية العربية السورية
38	3-5: دولة الكويت
38	4-5: جمهورية العراق
39	5-5: سلطنة عمان
39	6- الاستنتاجات والتوصيات
40	المراجع

## فهرس الأشكال

رقم الصفحة	الموضوع
3	الشكل (1): تصنيف أنواع النفط الثقيل
6	الشكل (2): توقعات تغير جودة النفط المنتج في العالم (2012-2035)
9	الشكل (3): تصنيف تقنيات تحسين خصائص النفوط الثقيلة
11	الشكل (4): مخطط تقنية نزع الأسفلتينات بالمذيب
12	الشكل (5): مخطط عملية كسر اللزوجة
13	الشكل (6): مخطط عملية التفحيم المؤجل
14	الشكل (7): نموذج عملية التكسير الهيدروجيني
16	الشكل (8): نموذج تكامل طريقتي نزع الكربون وإضافة الهيدروجين لتحسين النفط الثقيل
18	الشكل (9): خيارات تحسين خصائص النفوط الخام الثقيلة في موقع حقول الإنتاج
19	الشكل (10): خيارات تحسين خصائص النفوط الثقيلة في موقع المصفاة
20	الشكل (11): إجراءات تهيئة المصفاة لتكرير النفوط الثقيلة
26	الشكل (12): تحديات تكرير النفوط الثقيلة
28	الشكل (13): مخطط عمليات تكرير النفط الخام في المصفاة

## فهرس الجداول

رقم الصفحة	الموضوع
4	الجدول (1): مقارنة بين مكونات النفط الثقيل جدا والنفط الخفيف
30	الجدول (2): علاقة كمية ومواصفات الديزل المنتج بنوع عمليات التكرير

## تكرير النفط الثقيل: التحديات والفرص

تختلف النفوط الخام في تركيبها الكيميائي وخصائصها الفيزيائية، حيث يتكون النفط الخام من مزيج معقد من الهيدروكربونات، مع كمية قليلة من المركبات الكيميائية الأخرى التي تحتوي على الكبريت والأوكسجين والنتروجين، إضافة إلى أجزاء بسيطة من المعادن كالفاناديوم والنيكل والحديد، ويختلف تركيب النفط اعتماداً على مكان وكيفية تكوينه. يطلق مصطلح النفط الثقيل على النفط الخام الذي لا يتدفق بسهولة عند درجة حرارة الغرفة، وهو يختلف عن النفط الخام الخفيف الذي يتدفق بحرية عند نفس درجة الحرارة بسبب انخفاض كثافته.

### تصنيف النفط الخام

- تصنف النفوط الخام طبقاً لمعهد البترول الأمريكي حسب درجة جودتها إلى أنواع مختلفة:
- النفط الخفيف: بدرجة جودة أعلى من 31.1° أي أن كثافته النوعية أقل من 0.87
  - النفط المتوسط: بدرجة جودة بين 22.3° إلى 31.1° أي أن كثافته النوعية بين 0.92-0.87
  - النفط الثقيل: بدرجة جودة أقل من 22.3° أي أن كثافته النوعية أعلى من 0.92 ويتصف النفط الثقيل علاوة على كثافته العالية وانخفاض درجة جودته، بارتفاع لزوجته والتي تكون عادة فوق 10 سنتي بواز.

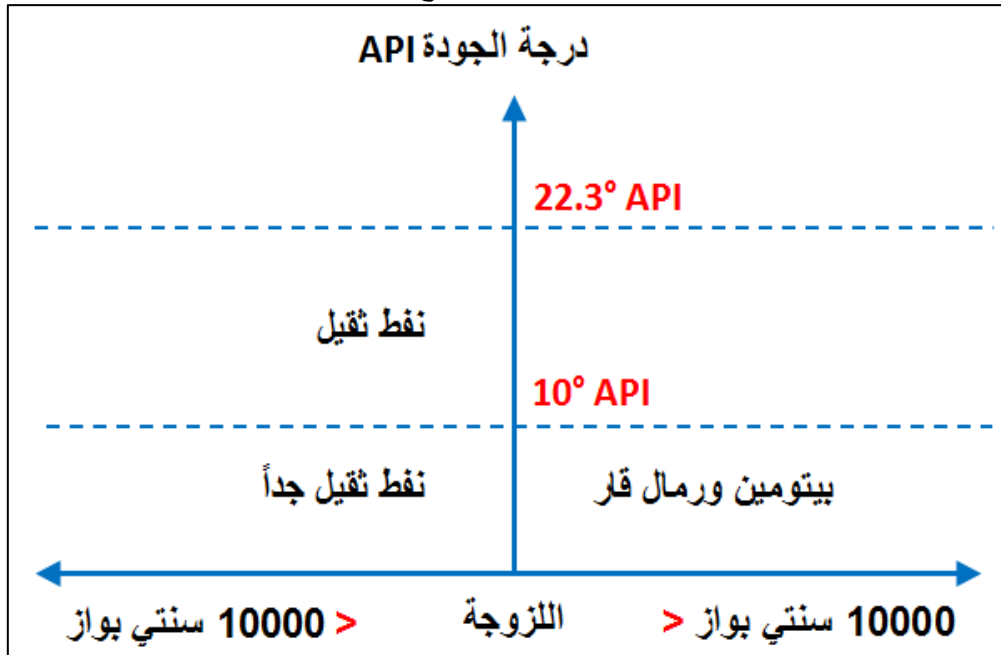
يلاحظ أن هناك تعاريف مختلفة للنفط الثقيل حسب المصدر المستخدم. والتعريفان الرئيسيان المستخدمان هما لمعهد البترول الأمريكي السابق ذكره، وذلك المستخدم بواسطة كونجرس البترول العالمي أو هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية التي تنص على أن النفط الثقيل هو الذي تقل درجة جودته عن 20°. ومن البديهي كذلك أن لكل شركة تعريفها الخاص الذي تشير إليه بالنفط الثقيل. وعلاوة على ذلك فإن المتخصصين في الصناعة لديهم تعاريف مختلفة، حيث أن المتخصصين في الاستكشاف والتكرير لديهم مفاهيم مختلفة لمعنى النفط الثقيل، لذلك من الضروري تحديد تعريف النفط الثقيل قبل البدء في التعامل معه.

يصنف المركز الكندي للطاقة The Canadian Center for Energy النفط الثقيل نفسه إلى تصنيفات مختلفة طبقاً لكثافته النوعية، ولزوجته في الظروف المكمئية.

- النفط الثقيل: الذي تزيد درجة جودته عن 10°، ولزوجته أقل من 10 آلاف سنتي بواز ويتدفق عند الظروف المكمئية.
- النفط الثقيل جداً: الذي تقل درجة جودته عن 10°، وتبلغ لزوجته في المكان أقل من 10 آلاف سنتي بواز، أي أن له بعض السيولة عند الظروف المكمئية.
- البيتومين الطبيعي: يتواجد مصاحباً مع الرمال ويشار إليه برمال القار أو الرمال النفطية وتقل درجة جودته عن 10°، وتبلغ لزوجته في المكان أكبر من 10 آلاف سنتي بواز، ولا ينساب عند الظروف المكمئية.

كما يلاحظ أن النفط الثقيل جداً، والبيتومين لهما درجة جودة أقل من 10°، مما يعني أن كثافتها النوعية أعلى من 1، أي أنهما أثقل من الماء النقي. كما يتضح في الشكل (1).

الشكل (1): تصنيف أنواع النفط الثقيل



يتكون معظم النفط الثقيل نتيجة للتأثير البكتيري على النفط التقليدي داخل صخور المكن. ويتصف بخصائص فيزيائية وكيميائية مختلفة، ويكون عادة أدنى من الخام الخفيف، حيث يتسم بلزوجته العالية، والمحتوى العالي من الأسفلتينات، والمعادن الثقيلة، والكبريت والنيتروجين. كما يتضح في الجدول (1).

### الجدول (1): مقارنة بين مكونات النفط الثقيل جدا والنفط الخفيف

النفط الخام		الخواص
برنت	زويتا	
38.5	8.5	درجة الجودة API <sup>o</sup>
4	4000	اللزوجة سنتي ستوك عند 60 ° م
0.4	4.1	نسبة الكبريت % وزن
1	94	النيتروجين (جزء في المليون)
5	450	الفانديوم (جزء في المليون)
0.05	4.3	الحموضة (ملجم بوأيد/جم)

تتطلب تلك الخواص الخاصة للنفط الثقيل حولا تقنية خاصة لاستخدامها خلال سلسلة تطوير هذه الخامات متضمنة عمليات الاستخلاص، والتطوير والنقل والتكرير.

يشكل نقل وتكرير النفط الخام الثقيل مخاطر أكبر من تلك التي يسببها نقل وتكرير النفط الخام الخفيف، نظرا لاحتوائه على نسب عالية من الكربون علاوة على العديد من الشوائب الأخرى، لذلك فإنه يطلق المزيد من ثاني أكسيد الكربون أثناء إنتاجه، واستخدامه، مما يؤثر سلبا على البيئة، حيث أن كمية ثاني أكسيد الكربون التي تتولد أثناء عملية إنتاج النفط الثقيل تعادل ثلاثة أضعاف الكمية التي تتولد أثناء إنتاج النفط الخفيف.

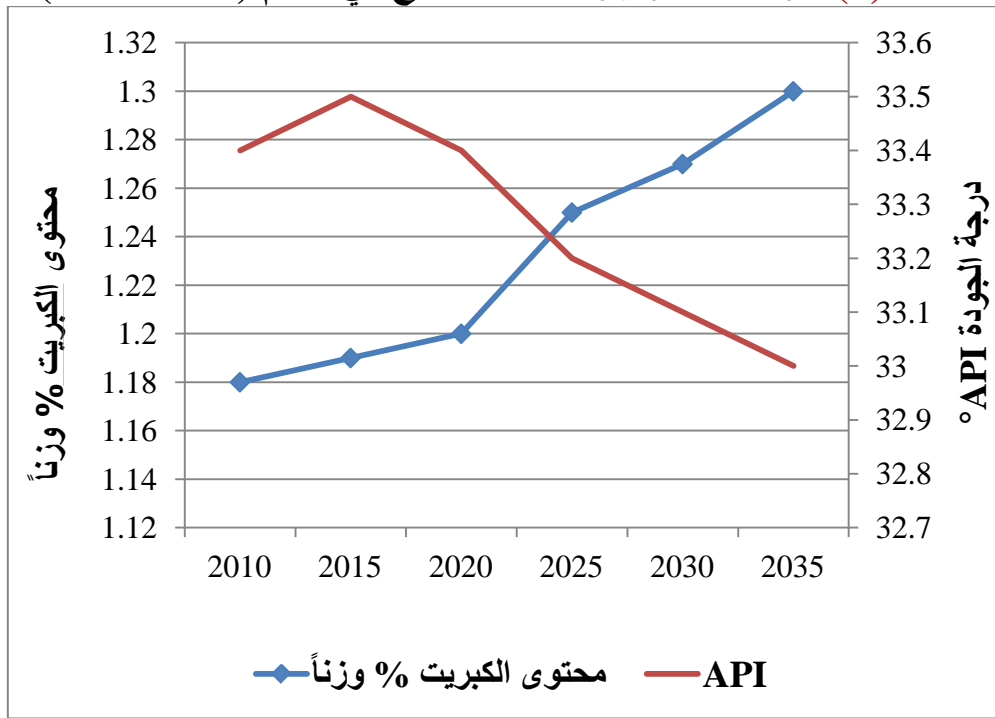


يتم تسعير النفط الخام الثقيل بأقل من النفط الخام الخفيف، نظرا لارتفاع تكلفة استخراجة ونقله. وعلى الرغم من أن النفط الثقيل غالبا ما يتواجد على أعماق أقل بكثير من النفط الخفيف – والتي يفترض أن تقلل بشكل كبير من تكلفة الاستخراج – إلا أن إنتاج النفط الخام الثقيل يكلف نفقات إضافية. وقد ثبت أن العديد من الطرق التقليدية لاستخراج ونقل النفط الخام الخفيف تكون غير فعالة عند التعامل مع الكثافة المتزايدة للنفط الثقيل، مما يستلزم تعديلات باهظة التكاليف في البنية التحتية.

على الرغم من تواجد احتياطات من النفط الثقيل في أكثر من 30 دولة على مستوى العالم، فإن أكبر كمية من تلك الاحتياطات توجد في فنزويلا بالقرب من نهر أورينوكو. وتقدر هذه الرواسب بأكثر من 500 مليار برميل من النفط، مما يجعلها أكبر رواسب قابلة للاستخراج في العالم.

ظهرت الحاجة إلى تكرير النفوط الثقيلة مع تنامي الطلب العالمي على المشتقات البترولية، وازدياد فرق السعر بين أنواع النفوط الثقيلة والخفيفة الذي نتج عن ارتفاع الطلب على الأنواع الخفيفة لتلبية متطلبات التشريعات البيئية المتعلقة بإنتاج الوقود النظيف، وفي نفس الوقت توفر كميات كبيرة من الأنواع الثقيلة في معظم بلدان العالم، ومنها الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك). ويبين الشكل (2) توقعات تغير جودة النفط المنتج في العالم (2012-2035).

**الشكل (2): توقعات تغير جودة النفط المنتج في العالم (2012-2035)**



تمثل النفوط الثقيلة، والثقيلة جداً، والبيتومين مصدراً بديلاً مغرباً، وربما لا مفر منه للمساعدة في تلبية الطلب العالمي على النفط والغاز في ظل الانخفاض المستقبلي المتوقع في إنتاج النفوط التقليدية.

وقد تم تحقيق تحسينات كبيرة في تقنيات استغلال النفوط الثقيلة خلال العقود الماضية، منها على سبيل المثال، تقنيات الإنتاج في الموقع، وتسهيل عملية النقل عبر خطوط الأنابيب، وعمليات تحسين الخصائص.

تخطط الدول الرئيسية المنتجة للنفط الثقيل مثل كندا وفنزويلا لتعزيز مشاريع النفط الثقيل في المستقبل القريب، حيث تبذل جهوداً حثيثة واسعة لتحقيق هذا الهدف لدعم عمليات البحث والتطوير في المجالات التقنية والبيئية.

وبالنظر في الخصائص الفيزيوكيميائية، يجب أن يتم تحويل هذه الزيوت الخام جزئياً في البلد المنتج. ويمكن استخدام أحد المستويات المختلفة التالية من التحسين وفقاً للغرض المستهدف:

- عملية تحسين بسيطة لتسهيل نقل النفط الخام الثقيل.
- إنشاء مجمع لإنتاج خامات اصطناعية ذات جودة عالية.
- عمليات تحسين فائقة معقدة بهدف إنتاج منتجات مطابقة للمواصفات المطلوبة في السوق.

على الرغم من الفوائد الاقتصادية التي يمكن أن تحصل عليها صناعة تكرير النفط عند تكرير النفوط الثقيلة، إلا أنها تواجه تحديات وصعوبات هامة تستوجب اتخاذ إجراءات صارمة لتفادي الانعكاسات السلبية التي يمكن أن تؤدي إلى حدوث مشكلات خطيرة على الممتلكات والبيئة.

## 1- تقنيات تطوير وتحسين النفوط الثقيلة

توجد خيارات مختلفة يمكن استخدامها لتحسين وترقية جودة الخامات النفطية غير التقليدية بحيث تسهل عملية بيعها ومعالجتها في المصفاة التقليدية. ويمكن أن تتكامل بعض وحدات التحسين مع المصافي، بينما يصمم البعض الآخر لمجرد إنتاج المادة التي تلبى أدنى متطلبات جودة معينة لجعل الخام مادة قابلة للتسويق. ويكون القرار في النهاية على أساس التكلفة، والقيمة، والتكنولوجيا التي تحدد الهيكل المستخدم لترقية النفط الخام غير التقليدي.

يمكن إضافة مواد تخفيف إلى النفوط الثقيلة حتى يسهل ضخها في خطوط الأنابيب. وتوجد خيارات أخرى يمكن أخذها في الاعتبار لإنتاج

خامات بجودة أفضل، ولكنها ستحتاج إلى معدات أكثر وتكلفة أعلى. كما يمكن كذلك إضافة الهيدروجين لترقية الخام الثقيل إلى خام تخليقي خفيف، وتزداد قيمة الخام بزيادة إضافة الهيدروجين ولكن يحتاج ذلك إلى تكلفة رأسمالية ومصاريف تشغيلية أعلى. وهناك توازن بين القيمة المضافة بإضافة هيدروجين أكثر، وسعر بيع الخام المحسن.

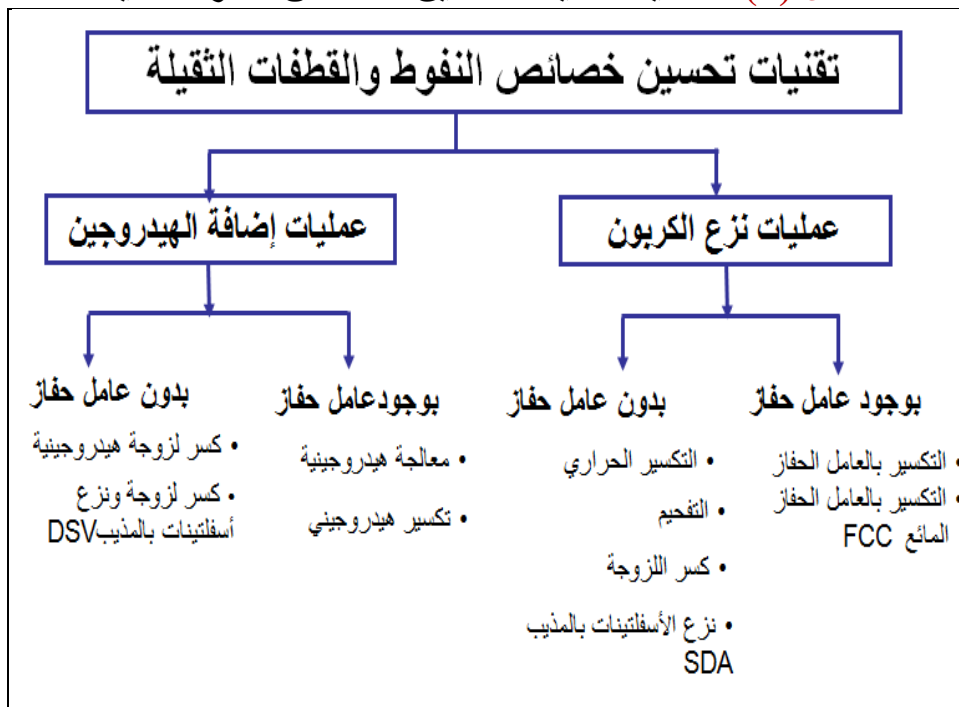
تتصف النفوط الثقيلة بنقص الهيدروجين، واحتوائها على نسب عالية من الشوائب مثل الكبريت، والنيتروجين، والأحماض العضوية، والفانديوم، والنيكل، والسيلاكا والأسفلتينات. تتضمن خيارات تحسين الجودة لإنتاج منتجات نهائية أو نפט خام قابل للتسويق، عمليات طرح الكربون مثل التفحيم أو عمليات إضافة الهيدروجين.

تعد عمليات التخفيف أحد طرق تحسين النفوط الثقيلة وأقلها تكلفة، حيث يتم استخدام نפט بجودة أعلى وذلك لإنتاج منتج يمكن تحسينه أكثر في وسيلة أخرى. ويحتاج إلى كميات كبيرة من مواد التخفيف وذلك لتحسين النفط الثقيل إلى النقطة التي عندها يمكن معالجته في وسيلة تقليدية. ويمكن طرح بعض الكربون والشوائب في المتبقي. ومن الممكن أن تكون مواد الخفيف متوفرة محلياً مثل النفط الخام الخفيف أو منتجات من وحدة تحسين خام ثقيل أو وجود متكثفات خفيفة.

تهدف عمليات تحسين خصائص النفوط الخام الثقيلة (Upgrading) إلى تغيير بعض المواصفات التي تعيق عمليات النقل والتكرير، كارتفاع كل من درجة كثافتها النوعية ولزوجتها، واحتوائها على نسبة عالية من ذرات الكربون إلى الهيدروجين، فضلاً عن ارتفاع نسبة الشوائب.

تصنف تقنيات تحسين خصائص النفوط الثقيلة في مجموعتين رئيسيتين، الأولى تعتمد على نزع الكربون Carbon-rejection، والثانية تعتمد على إضافة الهيدروجين Hydrogen-addition. **الشكل (3)** يبين تصنيف تقنيات تحسين خصائص النفوط الثقيلة.

**الشكل (3): تصنيف تقنيات تحسين خصائص النفوط الثقيلة**



### 1-1: تقنيات نزع الكربون Carbon-rejection

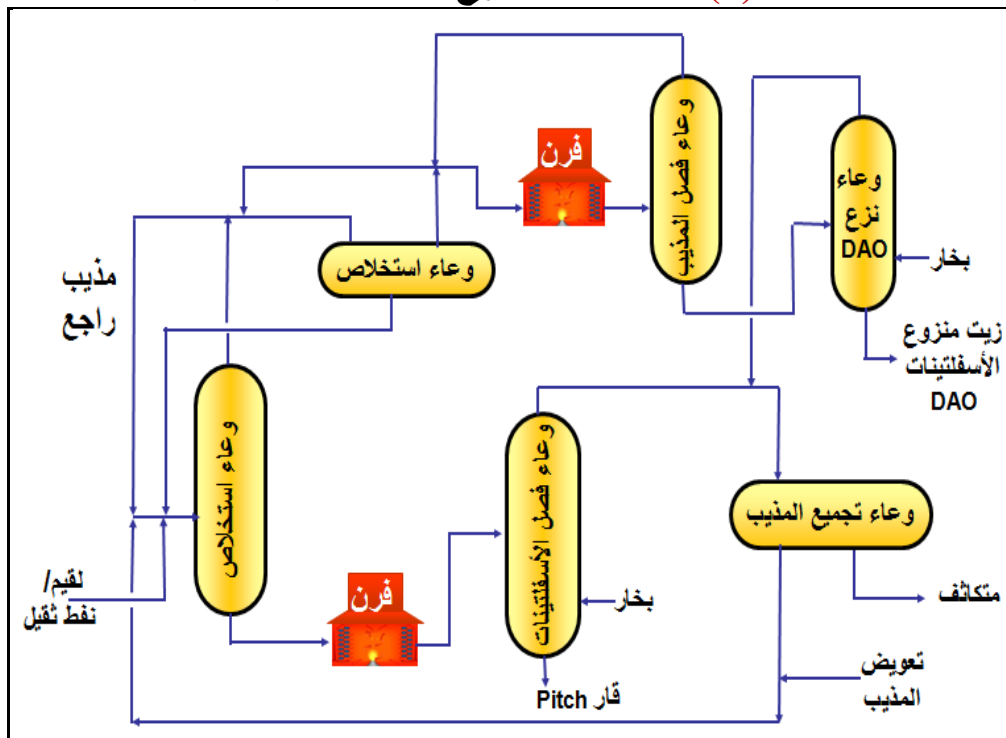
تعتمد تقنيات نزع الكربون على مبدأ إزالة الجزيئات الكبيرة كالأسفلتينات من النفط، إما بفصلها باستخدام مذيب، كطريقة نزع الأسفلتينات بالمذيب (Solvent De-asphalting)، أو بتحويلها إلى فحم بعملية التكسير الحراري، كعملية التفحيم (Coking)، أو بالتكسير بوجود عامل حفاز، كعملية التكسير بالعامل الحفاز المائع (Fluidized Catalytic Cracking (FCC)).

تجري عملية التكسير الحراري في أوعية كبيرة الحجم لتسخين الهيدروكربونات الثقيلة تحت الضغط إلى أن تتكسر الجزيئات الكبيرة حرارياً إلى مكونات ذات جزيئات صغيرة. يمكن أن تتم عمليات التكسير الحراري بوجود أو بدون عامل حفاز، ومن الأمثلة على عمليات التكسير الحراري بدون عامل حفاز عمليات التفحيم Coking، وكسر اللزوجة Visbreaking، ونزع الأسفلتينات بالمذيب Solvent De-Asphalting. أما عمليات التكسير بوجود عامل حفاز فأهمها عملية التكسير بالعامل الحفاز Catalytic Cracking، والتكسير بالعامل الحفاز المائع Fluidized Catalytic Cracking (FCC). تعتبر تقنيات نزع الكربون (التكسير الحراري، والتفحيم، ونزع الأسفلتينات بالمذيب) أكثر استخداماً بسبب انخفاض تكاليفها مقارنة بعمليات إضافة الهيدروجين، وخاصة بعد التطورات الجوهرية التي حصلت في تقنيات الاستفادة من المنتجات الثانوية لهذه التقنيات، كالفحم البترولي والقار الناتج عن وحدات نزع الأسفلتينات بالمذيب في توليد الطاقة الكهربائية وإنتاج البخار والهيدروجين في موقع المصفاة. إلا أنه بالمقابل ازدادت أيضاً أهمية تقنيات المعالجة الهيدروجينية، نظراً للتطورات الحديثة التي أدخلت على تحسين خصائص العوامل الحفازة ورفع مقاومتها للتسمم بالشوائب المصاحبة للنفوط الثقيلة، فضلاً عن أن منتجات عمليات نزع الكربون تحتاج إلى معالجة لاحقة لتخليصها من الكبريت والشوائب الأخرى للوصول إلى المواصفات المطلوبة.

### 1-1-1: نزع الأسفلتينات بالمذيب Solvent De-asphalting

يعتمد مبدأ عملية نزع الأسفلتينات بالمذيب على ترسيب الأجزاء الأثقل من النفط (الأسفلتينات وجزء كبير من الراتنجات) باستخدام مذيب بارافيني يقوم بدور كسر الروابط بين هذه الأجزاء ودفعها إلى الترسيب، حاملة معها الشوائب الأخرى كالمركبات الكبريتية والنتروجينية والمعادن. أما المقطر الخفيف الناتج الذي يسمى بالزيت منزوع الأسفلتينات (De-asphalted Oil) فيحتوي على نسبة عالية من الهيدروجين، والمركبات المشبعة، والنافتينات، والهيدروكربونات العطرية، مع نسبة منخفضة جداً من المعادن والكبريت والنتروجين. ويعاد تدوير المذيب لاستخدامه مرة أخرى مع اللقيم بعد فصله في وعاء التبخير. يبين الشكل (4) مخططاً مبسطاً لتقنية نزع الأسفلتينات بالمذيب.

الشكل (4): مخطط تقنية نزع الأسفلتينات بالمذيب

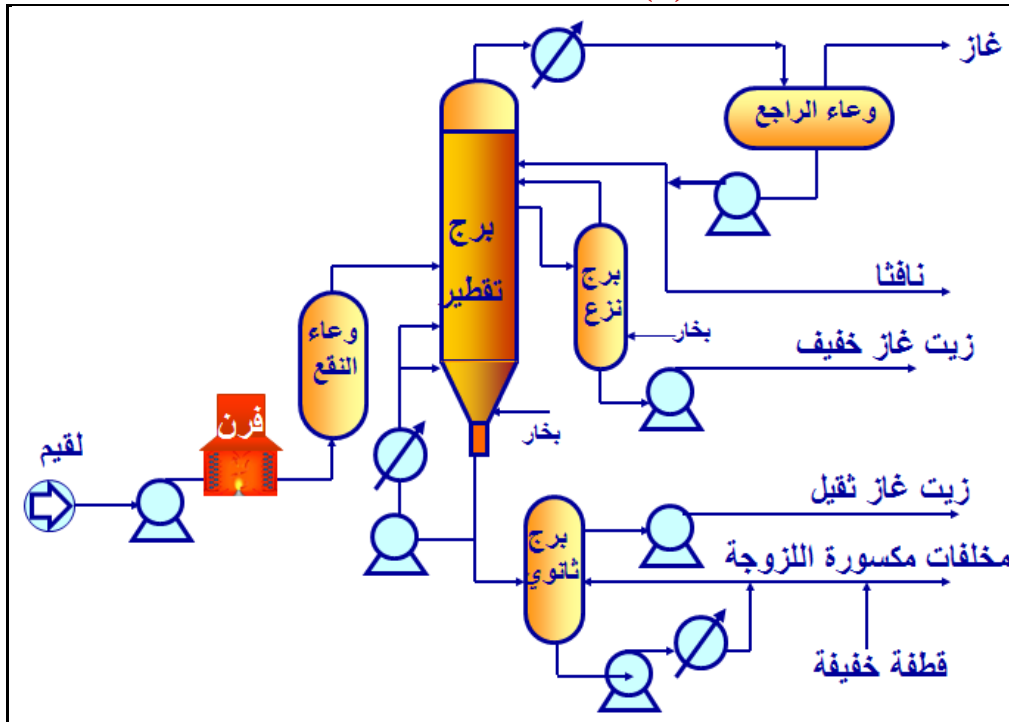


تكرير النفط الثقيل: التحديات والفرص

### 2-1-1: كسر اللزوجة Visbreaking

يسخن النفط الخام الثقيل في فرن، ثم يدخل إلى وعاء لتأمين زمن بقاء ضمن ظروف مناسبة من الحرارة والضغط لعملية تكسير الجزيئات الكبيرة إلى أخرى صغيرة. بعد ذلك يؤخذ ناتج التفاعل إلى برج تقطير لفصله إلى منتجات منخفضة اللزوجة تتألف من الغاز، والمقطرات الوسطى، ومنتجات مكسورة اللزوجة. يبين الشكل (5) مخطط مبسط لتقنية كسر اللزوجة.

#### الشكل (5): مخطط عملية كسر اللزوجة



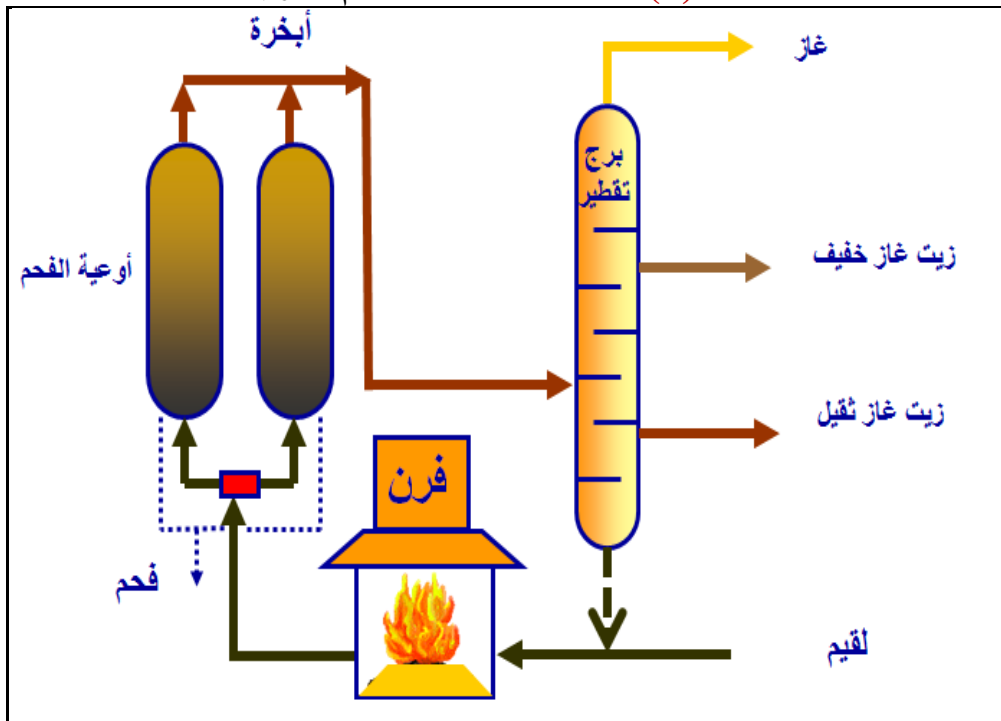
### 3-1-1: التفحيم Coking

تهدف عملية التفحيم إلى فصل المقطرات الغنية بالهيدروجين عن المكونات الصلبة على شكل فحم يتجمع فيه معظم كمية الشوائب الكبريتية والنيتروجينية والمعادن بواسطة التكسير الحراري، وبدون عامل حفاز.



يوجد عدة أنواع من عمليات التفحيم، إلا أن أكثرها شيوعاً عملية التفحيم المؤجل المبينة في الشكل (6)، حيث يسخن اللقيم في أفران لرفع درجة حرارته إلى 500 م° ثم يدخل المزيج إلى أحد الأوعية لترسيب الفحم في الأسفل، بينما تنطلق الأبخرة الخفيفة من أعلى الوعاء لتدخل إلى برج تقطير وتفصل فيه إلى منتجات (غاز، ونافتا، وزيت غاز خفيف وثقيل).

الشكل (6): مخطط عملية التفحيم المؤجل



## 2-1: تقنيات إضافة الهيدروجين Hydrogen-addition

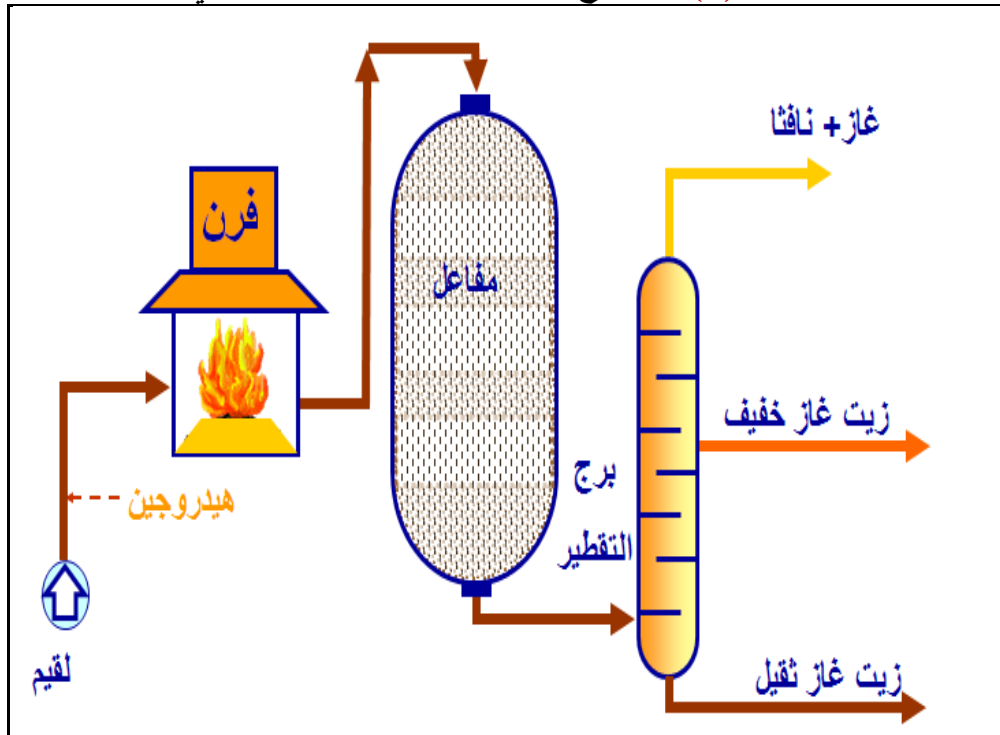
تعتمد تقنيات إضافة الهيدروجين على تحويل القطرات الثقيلة إلى منتجات خفيفة ذات وزن جزيئي أقل، ومحتوى هيدروجين أعلى. وتتميز هذه التقنيات بأنها تنتج مشتقات ثمينة تحتوي على نسب منخفضة من الكبريت والشوائب، إلا أن من أهم مساوئها ارتفاع تكاليفها الاستثمارية والتشغيلية،

نظراً لحاجتها إلى معدات خاصة تتحمل الضغوط العالية، وإلى كميات كبيرة من الهيدروجين الباهظ التكلفة.

تتشابه عمليات إضافة الهيدروجين، كعملية التكسير الهيدروجيني مع عملية التكسير بالعامل الحفاز من حيث المبدأ، باستثناء وجود الهيدروجين، الذي يقوم بدور تثبيط عملية تشكل الفحم على سطح العامل الحفاز، وبالتالي يمكن المحافظة على استمرار عمل الوحدة لمدة زمنية أطول، دون الحاجة إلى إجراء عملية التنشيط Catalyst Regeneration

تختلف فعالية وكفاءة التفاعلات الكيميائية لتقنية إضافة الهيدروجين تبعاً لنوعية العامل الحفاز المستخدم ونوع وعدد المفاعلات التي تجري فيها التفاعلات. يبين الشكل (7) أحد النماذج المطبقة لعملية التكسير الهيدروجيني.

الشكل (7): نموذج عملية التكسير الهيدروجيني



### 1-3: مقارنة بين تقنيات تحسين خصائص النفوط الثقيلة

تختلف تقنيتي نزع الكربون وإضافة الهيدروجين من حيث ظروف التشغيل، والمردود الاقتصادي، وتكاليف الإنشاء والتشغيل.

- **ظروف التشغيل:** تجري عمليات نزع الكربون في درجات حرارة عالية، وضغوط منخفضة نسبياً، بينما تتم عمليات إضافة الهيدروجين بدرجات حرارة أخفض، وضغوط تتراوح بين المنخفضة في حالة المعالجة الهيدروجينية والمرتفعة جداً في عمليات التكسير الهيدروجيني.

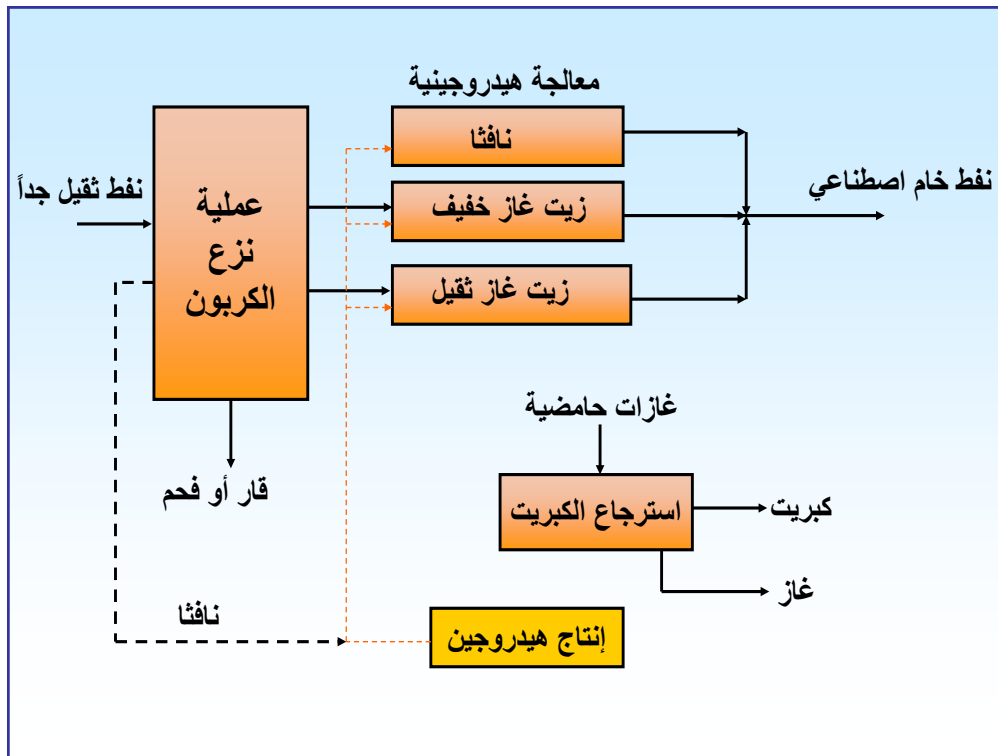
- **المردود الاقتصادي:** يختلف المردود الاقتصادي لعمليتي نزع الكربون وإضافة الهيدروجين باختلاف الظروف المحيطة بالمشروع، مثل خصائص النفط الثقيل المراد تحسين خصائصه، والفرق بين سعر كل من النفط الثقيل والخفيف.

- **مواصفات المنتجات:** تتميز منتجات عمليات إضافة الهيدروجين بأنها ذات جودة أفضل لانخفاض نسبة الكبريت والشوائب الأخرى، مقارنة بمنتجات عمليات نزع الكربون التي تحتاج إلى معالجة لاحقة.

- **تكاليف الإنشاء والتشغيل:** تحتاج عمليات إضافة الهيدروجين إلى استثمارات باهظة، نظراً لاستخدامها معدات خاصة تعمل في ظروف قاسية من الضغط ودرجات الحرارة، كما أن تكاليف التشغيل أعلى من عمليات نزع الكربون بسبب استخدامها لكميات كبيرة من العوامل الحفازة والهيدروجين الذي يحتاج إنتاجه إلى عمليات عالية الكلفة.

على الرغم من أن لكل طريقة من طريقتي نزع الكربون وإضافة الهيدروجين إيجابياتها وسلبياتها، فقد أثبتت التجربة العملية أنه يمكن الحصول على مردود أفضل لتحسين خصائص النفوط الثقيلة والثقيلة جداً (البيتومين) أو مخلفات التقطير الثقيلة التي تحتوي على نسب عالية من الشوائب بتطبيق الطريقتين معاً. يبين الشكل (8) نموذجاً لتكامل طريقتي نزع الكربون وإضافة الهيدروجين لتحسين خصائص النفط الثقيل.

**الشكل (8): نموذج تكامل طريقتي نزع الكربون وإضافة الهيدروجين لتحسين خصائص النفط الثقيل**



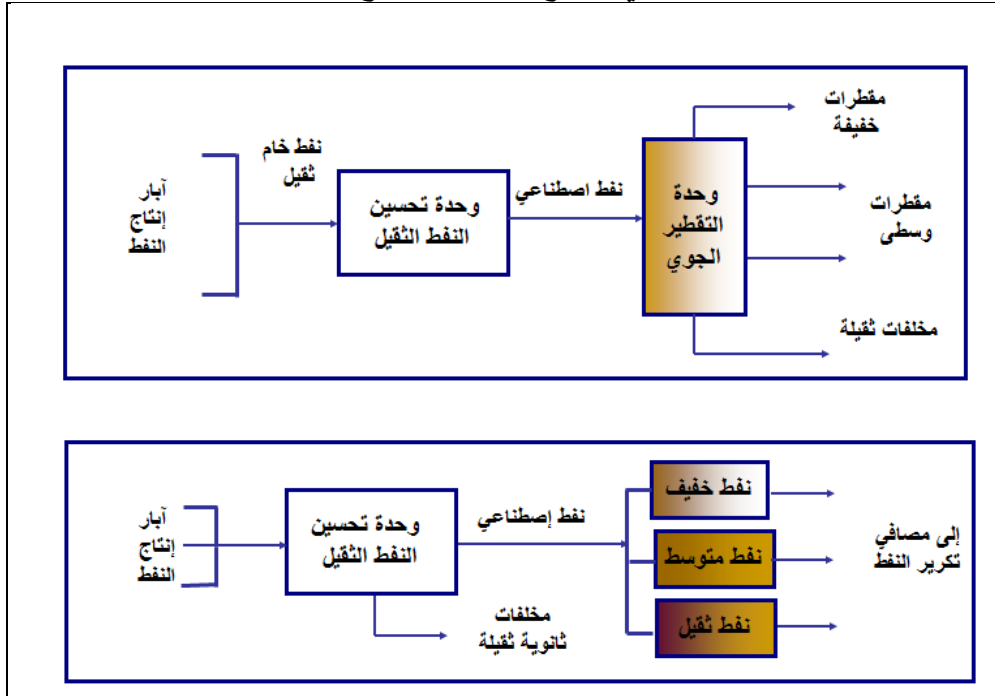
#### 1-4: خيارات موقع إجراء عمليات تحسين خصائص النفط الثقيل

يمكن إجراء عمليات تحسين خصائص النفط الثقيل وتحويله إلى نפט اصطناعي في موقع حقول الإنتاج، أو في مصافي التكرير. ويعتمد اختيار الموقع المناسب لإجراء عملية تحسين النفوط الثقيلة على عدة عوامل، أهمها خصائص النفط كالكتافة ودرجة اللزوجة، وبعد المسافة عن مصافي التكرير.

#### 1-4-1: خيارات تحسين خصائص النفوط الثقيلة في موقع آبار النفط

تقام وحدات تحسين خصائص النفط الثقيل في موقع حقول النفط عندما تتوفر الخدمات اللازمة لعملية التحسين، أو عندما تكون لزوجة النفط الخام عالية لدرجة يصعب فيها نقله بالأنابيب. وفي هذه الحالة يتم تجميع النفط الثقيل المنتج من الآبار وضخه مباشرة إلى فاصل أملاح، ثم إلى وحدة التحسين التي ينتج عنها نפט خام محسن اصطناعي (Syn crude)، ذو خصائص مناسبة لنقله بسهولة بواسطة خطوط الأنابيب أو السيارات الصهرجية إلى المصافي. أما المنتجات الثانوية الثقيلة كالفحم أو الأسفلت (حسب الطريقة المتبعة في عملية التحسين) فترحل إلى أسواق الاستهلاك أو إلى التصدير. يبين الشكل (9) خيارات تحسين خصائص النفوط الخام الثقيلة في موقع حقول الإنتاج.

### الشكل (9): خيارات تحسين خصائص النفوط الخام الثقيلة في موقع حقول الإنتاج



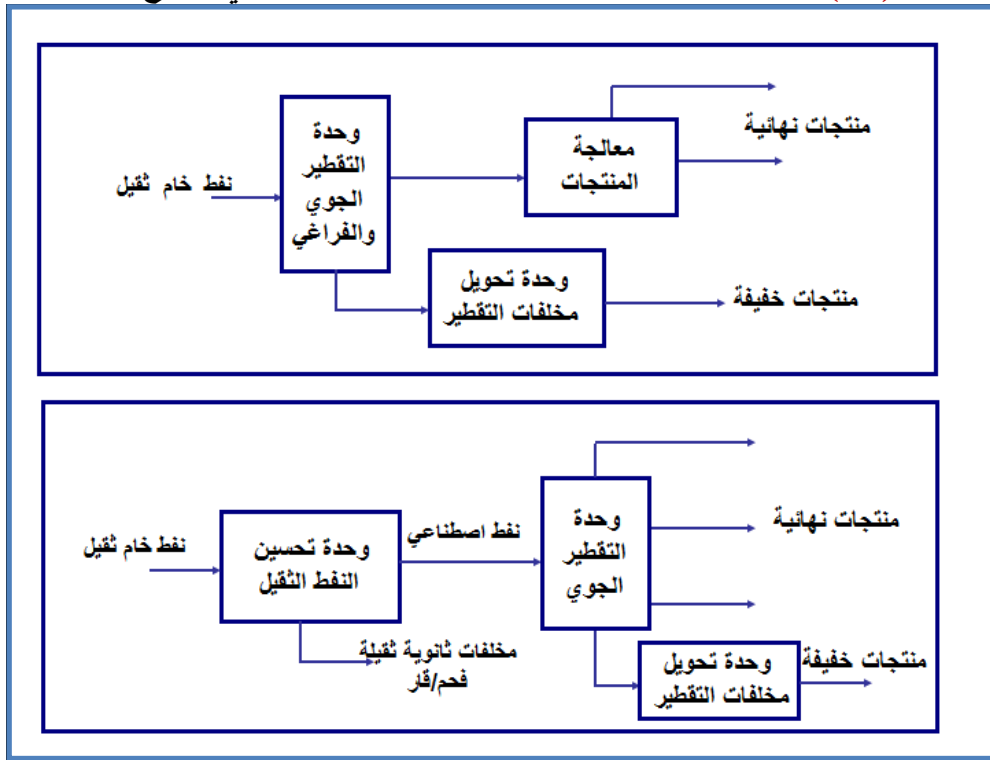
#### 1-4-2: خيارات تحسين خصائص النفوط الثقيلة في موقع المصافي

عندما يكون النفط الثقيل قابلاً للنقل إلى موقع المصفاة يتوفر عندئذ خياران لتحسين خصائصه وتهيئته لعمليات التكرير، هما على النحو التالي،

الشكل (10):

- إدخال النفط الثقيل إلى وحدات التقطير الأولية لتكثيره مباشرة في وحدات المصفاة القائمة.
- إجراء عمليات تحسين لخصائص النفط قبل إدخاله إلى عمليات المصفاة الأساسية، وتحويل نواتج عملية التحسين إلى الوحدات القائمة.

**الشكل (10): خيارات تحسين خصائص النفوط الثقيلة في موقع المصفاة**



**5-1: عوامل اختيار موقع تحسين خصائص النفوط الثقيلة**

يمكن تلخيص العوامل المؤثرة في اختيار الموقع الأنسب لتحسين خصائص النفوط الثقيلة على النحو التالي:

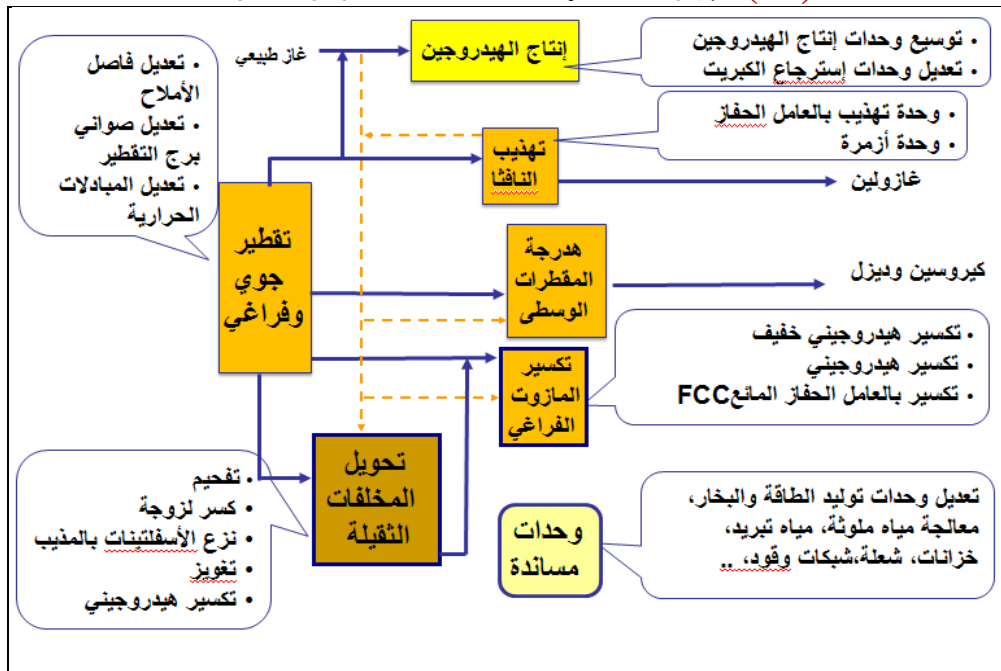
- البعد عن مصدر النفط الذي يؤثر على تكاليف النقل، فتجرب عندئذ مقارنة بين تكاليف نقل كل من النفط الخام الثقيل والنفط الاصطناعي والمنتجات الثانوية الثقيلة.
- لزوجة وكثافة النفط الثقيل المنتج، فالأنواع الثقيلة جداً لا يمكن نقلها، إلا إذا مزجت بمواد مذيبيّة، أو بنفوط خفيفة لتخفيض لزوجتها، وهذه العمليات تكون في الغالب مكلفة.

- نسبة الشوائب الموجودة في النفط الخام الثقيل، والقيمة المضافة التي يمكن الحصول عليها من خلال التحسين في كلا الحالتين.
- مقدار تكاليف التشغيل، والتكاليف الاستثمارية اللازمة لإنشاء الوحدات الإنتاجية والوحدات المساندة لها، في كل من الموقعين.

## 2- إجراءات تهيئة المصافي لتكرير النفوط الخام الثقيلة

يعتمد اختيار التقنية الأنسب لتكرير النفوط الثقيلة على طبيعة الوحدات القائمة في المصفاة، ونوع النفط الثقيل المراد تكريره، فعلى سبيل المثال قد يكون أحد أنواع العوامل الحفازة فعالاً في عملية التكسير الهيدروجيني لنفط خام محدد، بينما قد ينشأ عنه مشكلات خطيرة لنفط خام آخر. وفيما يلي أهم الإجراءات اللازمة لتأهيل مصافي النفط القائمة لتكرير النفوط الثقيلة. **الشكل (11)** مخططاً مبسطاً لإجراءات تهيئة المصفاة لتكرير النفوط الثقيلة.

### الشكل (11): إجراءات تهيئة المصفاة لتكرير النفوط الثقيلة





## 1-2: تعديل وحدات التقطير

ينتج عن اختلاف التركيب الكيميائي للنفوط الخام الثقيلة واحتوائها على نسبة أعلى من المخلفات اختلال التوازن المادي على صواني أبراج التقطير، لهذا يجب تعديل معدات وحدة التقطير بما يتناسب مع الظروف الجديدة، كإعادة تصميم سلسلة المبادلات الحرارية الأولية لتسخين النفط الخام بما يتناسب مع لزوجة النفط الثقيل، وذلك لتفادي مشكلة انخفاض كفاءة التبادل الحراري، وتعديل تصميم الأجزاء الداخلية لبرج التقطير بما يتناسب مع تغير نسبة المشتقات في النفط الخام الثقيل.

## 2-2: تعديل وحدات إنتاج الغازولين

ينتج عن زيادة طاقة وحدات تحويل المخلفات عند تكرير النفوط الثقيلة ارتفاع في معدل إنتاج المصفاة من الناftا بنوعيهما الثقيلة والخفيفة. وفي هذه الحالة يجب النظر في تنفيذ خيار أو أكثر من الخيارات التالية لتصريف الناftا الفائضة، إما من خلال إنشاء وحدات جديدة لتهديب الناftا بالعامل الحفاز، أو وحدة أزمره للناftا الخفيفة، أو تطوير الوحدة القائمة، أو إنشاء مجمع بتروكيماوي يعتمد على استخدام الناftا ككقيم.

## 3-2: تعديل وحدات المعالجة الهيدروجينية

عند تكرير النفوط الحامضية والثقيلة يتوزع الكبريت والشوائب الأخرى في منتجات وحدة التقطير، مما يؤدي إلى عجز طاقة وحدات المعالجة الهيدروجينية القائمة في المصفاة عن القيام بدورها في الوصول إلى القيم المطلوبة في مواصفات المنتج النهائي. ولكي تتمكن المصفاة من الالتزام بمتطلبات التشريعات البيئية الخاصة بحماية البيئة من التلوث، والتي تفرض تكرير النفط الثقيل: التحديات والفرص

وجود نسبة منخفضة جداً من الكبريت في المشتقات البترولية النهائية، يجب إعادة النظر في إمكانية تعديل وحدات المعالجة الهيدروجينية القائمة لرفع طاقتها أو إنشاء وحدات جديدة.

#### 4-2: تعديل وحدات تحويل مخلفات التقطير الثقيلة

إن من أهم انعكاسات تكرير النفوط الثقيلة على مصافي النفط هي انخفاض نسبة إنتاج المقطرات الخفيفة وازدياد المخلفات الثقيلة الناتجة عن عملية التقطير، لهذا يجب تركيز الاهتمام على تحويل هذه المخلفات إلى مشتقات خفيفة ثمينة يمكن تسويقها بسهولة وتساهم في تحسين ربحية المصفاة.

يتوقف اختيار التقنية الأنسب لتحويل مخلفات التقطير الثقيلة على نوع الوحدات الإنتاجية القائمة ودرجة تعقيد المصفاة، والمواصفات المطلوبة للمنتجات النهائية. وهي إما أن تكون عملية واحدة كالتفحيم أو التكسير الهيدروجيني، أو أن تكون أكثر من عملية لتحقيق الهدف النهائي في تعظيم معدل إنتاج المشتقات الخفيفة على حساب المخلفات الثقيلة.

#### 5-2: تعديل الوحدات المساندة

إن زيادة عدد الوحدات الإنتاجية والمساندة، وخاصة وحدات تحويل مخلفات التقطير الثقيلة، ينتج عنه زيادة في استهلاك المرافق العامة والخدمية، وهذا يتطلب إعادة النظر في كافة الوحدات المساندة للتأكد من أنها تتوافق مع التغيرات المحتملة الناتجة عن تغيير نوع النفط المكرر، وأهم هذه الوحدات هي كما يلي:

- **تطوير وحدات إنتاج الهيدروجين،** حيث تزداد حاجة المصفاة إلى الهيدروجين كلما ارتفعت نسبة الكبريت في النفط الخام المكرر، لذلك عند تهيئة المصفاة لتكرير النفوط الخام الثقيلة يجب إعادة النظر في كمية الهيدروجين المنتجة ومدى تغيرها بتأثير تكرير النفوط الثقيلة.
- **تعديل منظومة استرجاع الكبريت،** بما يتناسب مع ارتفاع نسبة الكبريت في النفط المكرر.
- **إعادة النظر في سعة منظومة تخزين المنتجات** بما يتلاءم مع التغيرات المتوقعة في نسب المنتجات.
- **تعديل طاقة وحدات معالجة المياه الملوثة،** وشبكات الوقود السائل والغازي اللازم لتشغيل الأفران في الوحدات الإنتاجية الجديدة، وشبكات الطاقة الكهربائية.

### **3- عوامل اختيار العملية الأنسب لتكرير النفوط الثقيلة**

- لتحديد العملية الأنسب لنوع محدد من النفط الخام لابد من إعداد دراسة جدوى فنية واقتصادية لكافة الخيارات المتاحة، التي تحقق أعلى ربحية، وتعطي منتجات ذات قيمة عالية بأقل الاستثمارات الممكنة، مع المحافظة على الالتزام بالتشريعات البيئية الخاصة بحماية البيئة من التلوث.
- وفيما يلي أهم العوامل المؤثرة في اختيار العملية الأنسب للمصفاة:
- نسبة الشوائب الموجودة في النفط الثقيل ودرجة التحسين المطلوبة، حيث يمكن أن تبلغ كفاءة نزع الشوائب إلى 95% في تقنية إضافة الهيدروجين، بينما لا تتجاوز 37% في تقنية التفحيم.

- نوع المنتجات النهائية المطلوبة، وذلك تبعاً لحاجة الأسواق المحلية أو الخارجية لنوع محدد من المنتجات، و يؤثر ذلك على اتخاذ القرار في اختيار نوع التقنية المختارة، حيث تختلف كل تقنية عن الأخرى في نوع المشتقات النهائية التي تنتج عنها، فمثلاً تزيد نسبة إنتاج المشتقات الوسطى كزيت الغاز الخفيف في تقنية الهدرجة مقارنة بتقنية التفحيم.
- المواصفات المطلوبة للمنتجات النهائية، تحتاج منتجات تقنية التفحيم إلى عمليات معالجة هيدروجينية لاحقة للوصول بمواصفاتها إلى القيم المطلوبة، بينما ينتج عن تقنية التكسير الهيدروجيني منتجات تحتوي على نسبة منخفضة من الكبريت والشوائب الأخرى.
- مدى صرامة التشريعات البيئية، وتعقيد المعايير المطلوب مراعاتها في الحد من طرح الملوثات إلى البيئة، حيث أن تقنية نزع الكربون ينتج عنها ملوثات للبيئة بنسبة أعلى من تقنية إضافة الهيدروجين.
- حجم الاستثمارات المخصصة للمشروع، حيث أن مقدار الاستثمارات اللازمة لتقنية التفحيم منخفضة، مقارنة بتقنية التكسير الهيدروجيني التي تحتاج إلى معدات باهظة الثمن، فضلاً عن ارتفاع تكاليف التشغيل نتيجة استخدام عوامل حفازة وكميات كبيرة من الهيدروجين.
- مدى توفر فرص تسويق المخلفات الثانوية كالفحم البترولي أو القار.

#### 4- التحديات التي تواجه استغلال وتكرير النفوط الثقيلة

تختلف خصائص ومكونات النفوط الثقيلة عن النفوط الخفيفة مما يؤثر إلى صعوبات أثناء النقل عبر الأنابيب أو التكرير مباشرة في مصافي النفط التقليدية، كارتفاع درجة كثافتها API، ولزوجتها، واحتوائها على نسبة عالية من الشوائب، أهمها:

- **المركبات النيتروجينية**، يؤدي وجود المركبات النيتروجينية في لقيم وحدات الهدرجة إلى إضعاف فعالية العامل الحفاز.
- **المركبات الأوكسجينية**، التي تتميز بتأثيرها الأكال للمعادن، كما أنها تعزز من تشكل الصمغ في المنتجات النفطية.
- **المعادن**، تقوم المعادن بدور إفساد الخاصة الانتقائية للعامل الحفاز في وحدات المعالجة الهيدروجينية.
- **المركبات ذات الوزن الجزيئي المرتفع**، إن احتواء النفط الخام الثقيل على المركبات ذات الوزن الجزيئي المرتفع (كالأسفلتينات) التي تتركز في مخلفات التقطير ينتج عنه مشكلات خطيرة في عمليات المعالجة الهيدروجينية، حيث تعتبر السبب الرئيسي لمشكلة انسداد مداخل السطوح الفعالة لحبيبات العامل الحفاز بالرواسب الفحمية، وبالتالي تخفيض فعاليته.
- **المركبات الكبريتية**، يعتبر ارتفاع نسبة الكبريت من أكثر المشكلات التي تعيق المصافي عن تكرير النفوط الخام الثقيلة، في ظل تنامي متطلبات التشريعات البيئية لإنتاج وقود منخفض الكبريت، حيث يعتمد ذلك على مدى توفر طاقة فائضة لوحدات نزع الكبريت من

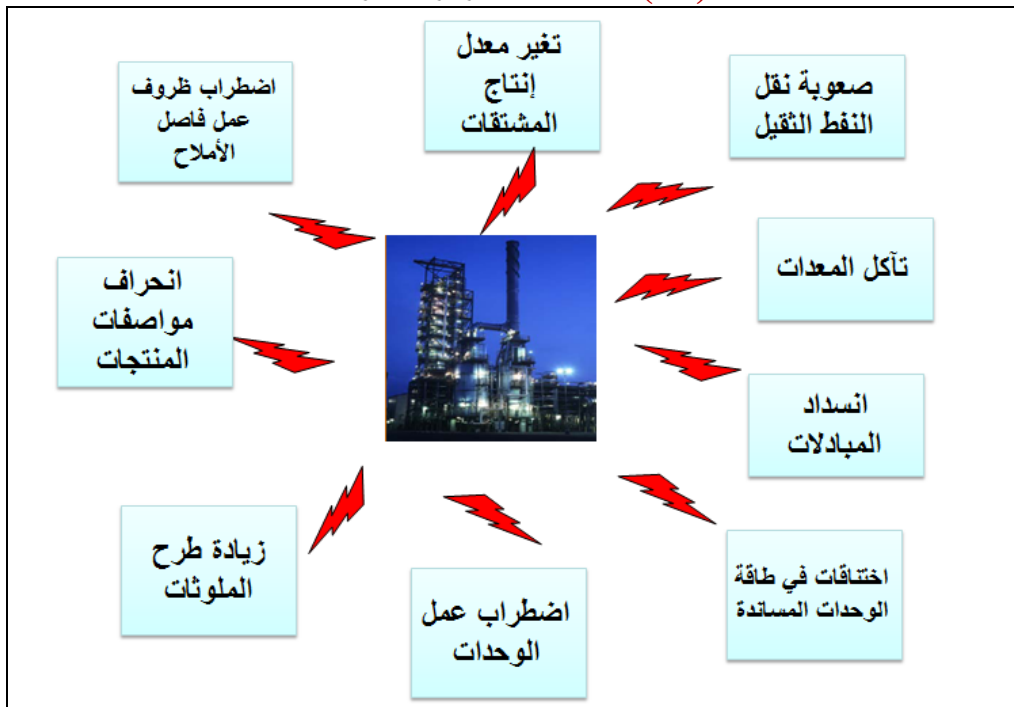
المقطرات بالمعالجة الهيدروجينية، وعلى توفر الهيدروجين اللازم لهذه العملية.

ينشأ عن هذه الشوائب صعوبات تعترض عمليات نقل وتكرير النفوط الثقيلة، يبين الشكل (12) أهم التحديات التي تواجه مصافي النفط عند تكرير النفوط الثقيلة، ويمكن تلخيصها بما يلي:

#### 1-4: صعوبة نقل النفوط الثقيلة بالأنابيب

تزداد صعوبة نقل النفط الخام كلما ارتفعت درجة لزوجته. ولتفادي هذه المشكلة تتبع عدة تقنيات تحتاج إلى تكاليف باهظة، كالتقنيات الحرارية أو المزج مع محاليل منخفضة اللزوجة، أو باستخدام طريقة الاستحلاب بالماء، أو من خلال تعديل طريقة الجريان في الخط لتخفيف قوة الاحتكاك على سطح الأنابيب.

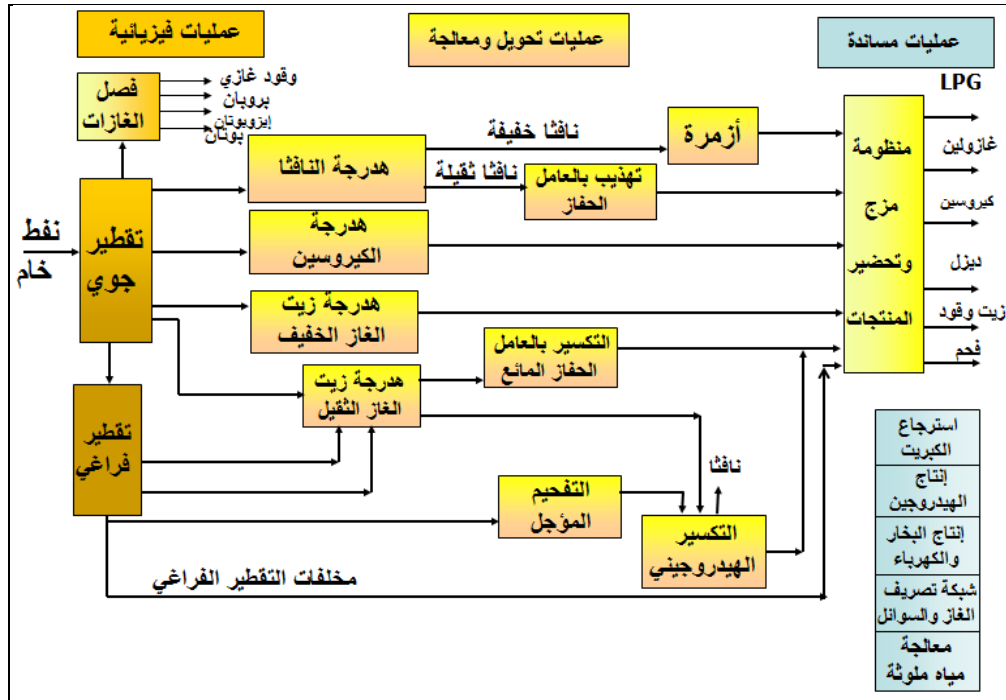
#### الشكل (12): تحديات تكرير النفوط الثقيلة



#### 4-2: التباين بين طاقة الوحدات الإنتاجية ونسب المنتجات في النفط الثقيل

تحتاج القطفات التي تنتج عن عملية التقطير الابتدائي للنفط الخام الثقيل إلى عمليات معالجة لاحقة لتحسين مواصفاتها، كالمعالجة الهيدروجينية لنزع الكبريت والشوائب الأخرى، وعمليات التهذيب بالعامل الحفاز والأزمرة لتحسين الرقم الأوكتاني للغازولين، لذلك تصمم الطاقة الإنتاجية للوحدات اللاحقة تبعاً لنسب هذه القطفات، والتي تختلف حسب نوع النفط الخام المكرر. فعلى سبيل المثال، عند تكرير نفط ثقيل يحتوي على كمية أقل من النافثا (التي تتألف من نافثا خفيفة تستخدم لقيم لوحدة الأزمرة، ونافثا ثقيلة تستخدم لقيم لوحدة التهذيب بالعامل الحفاز)، ونسبة أعلى من المخلفات الثقيلة (مخلفات التقطير الجوي والفراغي) التي تستخدم كقيم للوحدات التحويلية، مثل التفحيم المؤجل ووحدة كسر اللزوجة Visbreaking، فإن ذلك يؤدي إلى حدوث خلل في تحميل الوحدات الإنتاجية. فإذا كانت طاقة وحدات الأزمرة والتهذيب بالعامل الحفاز في المصفاة كبيرة، وطاقة الوحدات التحويلية صغيرة فإن تكرير هذا النوع من النفط الثقيل سيؤدي إلى حدوث اختناق في وحدات تحويل المخلفات الثقيلة، وفي نفس الوقت فائض في طاقة وحدات إنتاج الغازولين. يبين الشكل (13) مخطط سير عمليات التكرير في مصفاة النفط.

### الشكل (13): مخطط عمليات تكرير النفط الخام في المصفاة



#### 3-4: تغير نسب ومواصفات المنتجات

بما أن المركبات الكبريتية والمعدنية والشوائب الأخرى الموجودة في النفط الخام المكرر تتوزع في المشتقات الناتجة عن عمليات التكرير، فإن ارتفاع نسبة تلك الشوائب في النفوط الثقيلة يؤدي إلى ارتفاعها في كافة المنتجات، وخاصة المقطرات الوسطى كالديزل والكيروسين ومخلفات التقطير الجوي والفراغي Atmospheric and Vacuum Residue مسببة ابتعادها عن المواصفات المعيارية المطلوبة. كما تتأثر مواصفات المنتجات بالخصائص الكيميائية للنفط الخام المكرر، فعلى سبيل المثال، عند تكرير نفوط بارافينية فإن رقم السيتان للديزل الناتج عن عملية التقطير يكون أقل من حالة تكرير نفوط خام نافثينية، إضافة إلى أن درجة الانسكاب تكون أعلى،



وبالتالي تحتاج عملية مطابقة مواصفات بعض المشتقات كالديزل والكيروسين للمعايير المطلوبة إلى تكاليف عالية وعمليات معالجة مكلفة. يختلف التوازن المادي لمنتجات المصفاة عند تكرير النفط الثقيل، فتزداد المخلفات الثقيلة غير المرغوبة، وتنقص القطفات الخفيفة عالية القيمة، وبالتالي ينتج عن ذلك حدوث تباين بين هيكل إنتاج المصفاة وهيكل الطلب على المشتقات النفطية في الأسواق التي صممت المصفاة أصلاً لتلبية حاجتها.

تختلف شدة انعكاسات تكرير النفوط الخام الثقيلة على كمية المنتجات النهائية الثمينة للمصفاة حسب نوع عمليات التكرير الموجودة فيها ودرجة تعقيدها، والتقنية المطبقة. فعلى سبيل المثال، تزيد نسبة إنتاج الديزل في عملية التكسير الهيدروجيني لمقطر التقطير الفراغي Vacuum Distillate بمعدل ضعف نسبتها في عملية التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، يبين [الجدول \(2\)](#) علاقة كمية ومواصفات الديزل المنتج في المصفاة بنوع عمليات التكرير.

كما ينتج عن تكرير النفوط الثقيلة زيادة كمية المنتجات الثانوية الصلبة الناتجة عن عمليات تحويل مخلفات التقطير الثقيلة، والتي تشكل عبئاً كبيراً على المصفاة بسبب صعوبة تسويقها أو التخلص منها، مثل الفحم البترولي، والقار الناتج عن عمليات نزع الأسفلتينات بالمذيب.

## الجدول (2): علاقة كمية ومواصفات الديزل المنتج بنوع عمليات التكرير

مقتر فراغي		مخلفات تقطير فراغي		مخلفات تقطير جوي منزوعة الاسفلتينات	اللقيم
تكسير العامل الحفاز المانع	تكسير هيدروجيني	كسر لزوجة	تفحيم	تكسير هيدروجيني	العملية
10-15	30-40	5-15	35	20	نسبة المنتجات، %وزناً
0.930	0.814	0.845	0.900	0.807	الكثافة كغ/ليتر عند الدرجة 15 °م
					التقطير °م
170	220	170	170	260	بداية الغليان
370	370	370	370	380	نهاية الغليان
-5	-17	-4	-8	-13	درجة التبخش °م
-14	-20	-18	-20	-18	درجة الانسكاب °م
24	64	40	28	70	الرقم السيتاني
2.8	0.001	2.33	2.10	0.05	نسبة الكبريت، % وزناً

### 4-4: اضطراب ظروف تشغيل عمليات التكرير

تعاني وحدات التكرير في مصافي النفط، وخاصة وحدات المعالجة الهيدروجينية للقطفات النفطية الثقيلة من اضطراب في ظروف تشغيلها نتيجة احتواء هذه القطفات على نسبة عالية من الشوائب، وفيما يلي بعض الأمثلة على الانعكاسات السلبية التي تنشأ نتيجة وجود الشوائب في لقيم وحدات المعالجة الهيدروجينية:

- **تخفيض معدل انتقال الحرارة في المبادلات الحرارية، نتيجة ترسب الأملاح على سطوح الأنابيب.**
- **تحفيز تشكل الفحم على سطوح أنابيب أفران عمليات التكرير، وتشكل النقاط الملتهبة Hot spot التي تؤدي إلى إحماء معدن الأنبوب وتشققه.**
- **تثبيط فعالية العوامل الحفازة المستخدمة في وحدات المعالجة الهيدروجينية، والتهذيب، والتكسير، وغيرها.**
- **ارتفاع نسبة المواد الهيدروكربونية في المياه الخارجة من فاصل الأملاح، التي ترحل إلى وحدة معالجة المياه الملوثة، فيؤدي ذلك إلى اضطراب عملها، وبالتالي عجزها عن الوصول بمواصفات المياه المعالجة إلى القيم التي تحددها متطلبات المعايير والتشريعات البيئية.**
- **زيادة معدل تآكل المعادن في المعدات اللاحقة لفاصل الأملاح، نتيجة ارتفاع نسبة المياه والأملاح في النفط الخام الداخل إلى برج التقطير Fractionator، مما يؤدي إلى تسرب المواد الهيدروكربونية الخطرة من أماكن الإهتراء، يمكن أن تتسبب في حدوث حرائق أو توقفات غير مبرمجة.**
- **ارتفاع الضغط في أنابيب أفران ومسخنات وحدات التكرير، وذلك في حال ارتفاع نسبة المياه في النفط الخام الخارج من فاصل الأملاح، نتيجة صعوبة فصل المياه من النفط الخام الثقيل، مما يؤدي إلى إعاقة دخول اللقيم إلى الفرن، وبالتالي انخفاض الطاقة التكريرية للمصفاة.**

- ارتفاع فرق الضغط عبر المبادلات الحرارية التي تستخدم بشكل واسع في كافة عمليات مصافي التكرير لتخفيض استهلاك الطاقة اللازمة لتسخين أو تبريد النفط الخام والمنتجات، حيث تترسب الشوائب على سطوح الأنابيب فتقوم بدور العازل الحراري مسببة انخفاض مردود انتقال الحرارة في هذه المبادلات. فعلى سبيل المثال، يسخن النفط الخام قبل دخوله إلى الفرن في وحدة التقطير الجوي من درجة حرارة الجو إلى قيمة تتراوح ما بين 200-280م° بواسطة سلسلة من المبادلات الحرارية التي تكتسب الحرارة من خطوط أخرى في الوحدة تحتاج إلى تبريد. وتبلغ نسبة الحرارة التي يمكن الحصول عليها من هذه العملية ما يعادل 60-70% من كمية الحرارة اللازمة لعملية التقطير، إلا أن هذه النسبة تنخفض تدريجياً عندما تتوضع الرواسب على سطوح أنابيب المبادلات الحرارية إلى أن تصل إلى الحد الذي يستوجب إخراج المبادل من دائرة العمل لإجراء عملية التنظيف. ويزداد تفاقم المشكلة كلما زاد محتوى النفط الخام المكرر من الأسفلتينات والمعادن والشوائب الأخرى.
- تلف أقطاب الشبكة الكهربائية لفاصل الأملاح، وبالتالي انخفاض كفاءة الفصل، مما يؤدي إلى دخول الأملاح إلى معدات وأوعية الوحدات الإنتاجية.

#### 4-5: ارتفاع تكاليف التشغيل

ترتفع تكاليف التشغيل في مصافي النفط عند تكرير النفوط الثقيلة لأسباب عديدة أهمها:

- زيادة معدل استهلاك الهيدروجين اللازم لنزع الكبريت من المشتقات النهائية.
- ضرورة استبدال المعادن المستخدمة في تصنيع المعدات بخلائط ذات خصائص مقاومة للتآكل.
- ارتفاع معدل استهلاك الطاقة الذي ينشأ عن ارتفاع معدل الرواسب في أنابيب المبادلات الحرارية وعلى السطوح الداخلية لخطوط أنابيب نقل النفط.
- ارتفاع تكاليف تنظيف الأوعية والمبادلات الحرارية من الرواسب التي يحتوي عليها النفط الثقيل.

#### 4-6: تغير طاقة الوحدات المساندة

إن أي تغير في خصائص النفط الخام المكرر يستوجب إعادة النظر في الطاقة الإنتاجية لكافة الوحدات المساندة في المصفاة، لتقييم الانعكاسات والتغيرات المحتملة، واتخاذ الإجراءات المناسبة. وفيما يلي أهم الانعكاسات المتوقعة على الوحدات المساندة.

- **وحدات استرجاع الكبريت Sulphur Recovery Units:** وهي الوحدات التي تحول المركبات الكبريتية التي يتم نزعها من المنتجات في وحدات المعالجة الهيدروجينية، حيث تتعرض هذه الوحدات إلى زيادة في كمية اللقيم الداخل إليها، وذلك نتيجة ارتفاع نسبة الكبريت في النفوط الخام الثقيلة والحامضية، والحاجة إلى إضافة وحدات معالجة جديدة للوصول إلى مواصفات المشتقات النهائية إلى القيم النظامية.

- **وحدات معالجة المياه الملوثة Waste Water Treatment Plants:** وهي الوحدات التي تعالج المياه الناتجة عن عمليات التكرير في قبل طرحها خارج المصفاة، والتي تتغير مواصفاتها بتغير خصائص النفط الخام، من حيث احتوائها على المركبات الكبريتية، والأملاح وغيرها من الملوثات إلى الزيادة المحتملة في كمية المياه الداخلة إلى الوحدة نتيجة التوسع في عدد وطاقة وحدات التكرير والمعالجة بما يتناسب مع متطلبات تكرير النفوط الثقيلة الحامضية.
- **وحدات إنتاج الهيدروجين:** حيث أن استهلاك الهيدروجين يزداد نتيجة لزيادة نسبة المركبات الكبريتية في النفط الخام.
- **خزانات النفط الخام والمشتقات Storage Tanks:** إن تغيير نوع النفط الخام الداخل إلى المصفاة يؤدي إلى اختلاف التوازن بين كمية المشتقات الخفيفة والثقيلة حسب تركيب النفط الخام المكرر، وبالتالي ينتج عن ذلك حدوث خلل في معدلات الطاقة التخزينية لكل نوع من أنواع المشتقات بما يتناسب مع التغير المحتمل.
- **محطات توليد الطاقة الكهربائية والبخار Steam & Power Generators:** حيث تزداد حاجة المصفاة إلى البخار والطاقة الكهربائية نتيجة إدخال الوحدات الإنتاجية الجديدة اللازمة لمعالجة المشتقات وتخليصها من الشوائب الكبريتية كوحدات المعالجة الهيدروجينية، ووحدات تكسير المخلفات الثقيلة.
- **منظومة تجميع وحرق الغازات الفائضة Flare System:** إن اختلاف تركيب النفط الخام المكرر يؤدي إلى تغير نسبة المركبات الغازية

التي ستحرق في منظومة الشعلة، فضلاً عن الزيادة الناتجة عن الوحدات الجديدة.

- **منظومة مياه التبريد Cooling Water System**: وذلك بما يتوافق مع الزيادة المتوقعة للوحدات الإنتاجية في المصفاة.
- **محطات تحميل وتفريغ المشتقات Loading/Uploading System**: وذلك بما يتناسب مع تغيرات محتوى النفط الخام الثقيل من المشتقات، وطبيعة الوحدات التحويلية الجديدة وطاقاتها الإنتاجية.

#### 7-4: الانعكاسات السلبية على البيئة

إن ارتفاع نسبة المركبات الكبريتية والشوائب في النفط الخام الثقيل يؤدي إلى ارتفاع نسبتها في المنتجات النهائية، وهذا يستلزم إنشاء وحدات معالجة هيدروجينية إضافية لنزع الكبريت من المشتقات النهائية، للوصول بها إلى المواصفات المطابقة للمعايير المعتمدة، إضافة إلى التوسع في وحدات تحويل المخلفات الثقيلة لتحويلها إلى مشتقات خفيفة قابلة للتسويق، وهذه الوحدات الإضافية تحتاج إلى طاقة ووقود لتشغيلها، مما يساهم في رفع إجمالي كمية انبعاثات المصفاة من الغازات الملوثة للهواء. إضافة إلى ارتفاع نسبة الملوثات في المياه الخارجة من وحدات المصفاة، وزيادة النفايات الصلبة الناتجة عن تكرير المخلفات الثقيلة، كالعوامل الحفازة المستهلكة في وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع، أو وحدات التكسير الهيدروجيني.

كما تزداد فرص تسرب المواد الهيدروكربونية من خطوط الأنابيب، وذلك نظراً لتعرضها إلى إجهادات شديدة ناتجة عن وجود نسبة عالية من المواد الأكالمة، تؤدي إلى تلوين التربة والمجري المائية، وانطلاق الأبخرة

إلى الجو، فضلاً عن الأعباء التي تترتب عن العمليات المعقدة لمعالجة التربة الملوثة بالمواد النفطية الثقيلة، لتخليصها من الملوثات الخطرة.

## 5- مشاريع تطوير المصافي لتكرير النفط الثقيلة في الدول العربية

تشهد معظم الدول العربية توجهاً ملحوظاً نحو تنفيذ مشاريع تطوير للمصافي القائمة أو إنشاء مصاف جديدة بهدف تحسين مرونة المصافي لتكرير النفط الثقيلة، مدفوعة بالعوامل التالية:

- توفر النفط الخام الثقيلة والمتوسطة والحامضية محلياً في (الكويت، العراق، عمان، السعودية، سورية).
  - الاستفادة من ارتفاع فارق السعر بين النفط الثقيلة والخفيفة في الأسواق العالمية.
  - تحسين القيمة المضافة لصناعة النفط والغاز من خلال تكرير النفط الثقيلة وتصدير النفط الخفيفة إلى الأسواق الخارجية.
  - الاستفادة من التقنيات المتطورة والخبرة المتراكمة في تكرير النفط الصعبة بطريقة يمكن أن تؤدي إلى ربحية عالية للمصافي.
- فيما يلي أهم مشاريع تكرير النفط الثقيلة والحامضية في الدول العربية:

### 1-5: المملكة العربية السعودية

تنفذ المملكة العربية السعودية حالياً خطة استثمارية لإنشاء أربع مصافي لتكرير النفط الخام الثقيل والمتوسط المنتج محلياً، بحيث يرتفع



إجمالي الطاقة التكريرية من 2107 ألف ب/ي إلى 3707 ألف ب/ي بحلول عام 2018 ، تشمل الخطة على المشاريع التالية:

- مجمع أرامكو توتال للتكرير والبتروكيماويات (ساتورب) في مدينة الجبيل، وهو شركة مشتركة بين شركة أرامكو السعودية وشركة توتال الفرنسية، يتكون المجمع من مصفاة متكاملة مع وحدات بتروكيماويات، وقد بدأ تشغيل المشروع في مطلع عام 2014 بطاقة تكريرية قدرها 400 ألف ب/ي من النفط الثقيل المنتج من حقل السفانية ومنيفة بدرجة جودة حوالي API 27.
- مصفاة ياسرف (YASREF) في مدينة ينبع، وهي شركة مشتركة بين شركة أرامكو السعودية، وشركة سينوبيك الصينية، صممت لتكرير 400 ألف ب/ي من النفط الخام المنتج من حقل منيفة. ويتوقع أن تبدأ التشغيل في عام 2016.
- مصفاة جازان بطاقة 400 ألف ب/ي والتي من المقرر أن تكون فيها العمليات التحويلية متوسطة الحجم، وستقوم بتكرير النفط العربي الثقيل والمتوسط المنتج محلياً، ويتوقع أن تبدأ التشغيل نهاية عام 2017.
- مصفاة رابغ-2، طاقتها الإنتاجية 400 ألف ب/ي، وهي شركة مشتركة بين أرامكو السعودية وشركة سوميتومو اليابانية، وهي امتداد لمصفاة رابغ القائمة المتكاملة مع وحدات إنتاج بتروكيماويات، صممت لتكرير النفوط الخفيفة، مع إمكانية تحسين مرونتها لتكرير النفوط المتوسطة في المستقبل، ويتوقع البدء بتشغيلها بداية عام 2015.

## 2-5: الجمهورية العربية السورية

تمتلك الجمهورية العربية السورية احتياطات من النفط الثقيل تفوق احتياطات النفط الخام الخفيف، وهذا ما دفع الحكومة السورية إلى التخطيط لاستغلال النفط الثقيل المنتج محلياً من خلال تحسين مرونة المصفاةين القائمتين (حمص، بانياس) على تكرير نسبة أعلى من النفوط الثقيلة والحامضية، إضافة إلى إنشاء مصفاة جديدة في المنطقة الوسطى بطاقة تكريرية قدرها 140 ب/ي.

## 3-5: دولة الكويت

يجري حالياً إنشاء مصفاة جديدة طاقتها التكريرية 615 ألف ب/ي لتكرير النفط الثقيل المنتج محلياً ويتوقع بدء تشغيلها في عام 2019.

## 4-5: جمهورية العراق

في عام 1998 قامت وزارة النفط العراقية بإعداد دراسة لاختيار التقنية الأنسب لتكرير النفط الثقيل الذي يشكل حوالي 3% من إجمالي الاحتياطي النفطي العراقي، وتتراوح درجة كثافته ما بين (11-17) API، ومحتواه من الكبريت 6-7.5% وزناً. كما تنفذ الحكومة العراقية حالياً خطة لإنشاء أربع مصاف جديدة يبلغ إجمالي طاقتها التكريرية حوالي 740 ألف ب/ي في السنوات الخمس القادمة، صممت معظمها لتكرير النفوط العراقية الثقيلة والمتوسطة، وهي: مصفاة ميسان 150 ألف ب/ي، والناصرية 300 ألف ب/ي، وكربلاء 140 ألف ب/ي، وكركوك 150 ألف ب/ي.

## 5-5: سلطنة عمان

يجري حالياً تنفيذ مشروع تطوير وتوسيع الطاقة التكريرية لمصفاة صحار من 116 ألف ب/ي إلى 197 ألف ب/ي. يهدف المشروع إلى تمكين المصفاة من تكرير النفوط الخام الثقيلة المنتجة محلياً، إضافة إلى رفع طاقة الوحدات التحويلية اللاحقة وإضافة وحدات جديدة تتكون الوحدات الجديدة من وحدة تقطير جوي جديدة طاقتها 71.5 ألف ب/ي، ووحدة تقطير فراغي طاقتها 96.8 ألف ب/ي، ووحدة تكسير هيدروجيني طاقتها 66.45 ألف ب/ي، ووحدة نزع أسلفتينات بالمذيب طاقتها 42.4 ألف ب/ي.

## 6- الاستنتاجات والتوصيات

- تواجه مصافي النفط الثقيل تحديات عديدة عند تكرير النفط الثقيل.
  - تساهم التكنولوجيا المتقدمة في مساعدة مصافي النفط على تذليل الصعوبات التي تعترضها عند تكرير النفط الخام الثقيل، وتحسين قدرتها على تحويل النفوط الرخيصة إلى منتجات ذات قيمة عالية.
  - تتميز مصافي النفط التي تمتلك مرونة في إمكانية تكرير النفوط الثقيلة والحامضية بحصولها على ربحية عالية.
- تسعى الدول العربية إلى تطوير مصافي النفط القائمة وتوسيع الطاقة التكريرية لتعزيز قدرتها على تكرير الأنواع الثقيلة من النفط الخام.

## المراجع

1. Ancheyta Jorge, Speight, J.G, 2007 ”**Hydroprocessing of Heavy Oils and Residue**” Taylor & Francis, Group. LLC.
2. Douglas Lanier, 1998 “**Heavy Oil – A Major Energy Source for the 21st Century**” Chevron Petroleum Technology Company.
3. E. VEITH , 2006 “**Releasing the Value of Heavy Oil and Bitumen: HTL Upgrading of Heavy to Light Oil**” Ivanhoe Energy Inc., Bakersfield, California, USA .
4. Jeremy Glunt, 2005 “**Turning Sour Crude Into Sweet Profits**”, World Refining, March 2005.
5. IFP, 2011 “**Heavy Crude Oils from Geology to Upgrading, an Overview**” Institute Francis du Petrole. France.
6. Rashid Iqbal, et al. “**Unlocking Refinery Constraint**” PTQ, Q2, 2008 P(31-36).
7. Robert A. Meyers, 2009 “**Handbook of Petroleum Refining Processes**” Third Edition. France.
8. Yen, T.F. 2012, “**Correlation Between Heavy Crude Sources and Types and Their Refining and Upgrading Methods**, University of Southern California, Los Angeles, California, USA.

