منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول
أوابك

النفط والتعاون العربي

المجلد الرابع و الأربعون 2018 - العدد 166

الأبحاث

- تطور استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء وآفاقه المستقبلية *الجزء الأول*

الطاهر الزيتوني

- تقنية تحويل الفحم إلى سوائل وإنعكاساتها علي صناعة تكرير النفط

تركي الحمش

البيبليوغرافيا

مجلة فصلية محكمة تصدر عن الأمانة العامة لمنظمة الاقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)

النفط والتعاون العربي

مجلة فصلية محكمة تصدر عن الأمانة العامة لمنظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

الاشتراك السنوي : 4 أعداد (ويشمل أجور البريد)

البلـــدان العـــربيـــة

للأفراد : 8 د. ك أو 25 دولاراً أمريكياً

للمؤسسات : 12 د.ك أو 45 دولاراً أمريكياً

البلدان الأخرى

للأفراد : 30 دولاراً أمريكياً

للمؤسسات : 50 دولاراً أمريكياً

الاشتراكات باسم : منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

جميـع حقـوق الطبـع محفوظـة ويجوز الاقتبـاس مع ذكر اسم المجلة!.

النفط والتعاون العربي

رئيس التحرير
عباس علي النقي

نائب رئيس التحرير
عبد الكريم عايد

هيئة التحرير

د. سمير القرعيش
عبد الفتاح دندي
د. اسامة الجمالي
د. سعد عكاشة
د. احمد الكواز
عماد مكي

قواعد النشر في المجلة

تعريف بالمجلة واهدافها

النفط والتعاون العربي مجلة فصلية محكمة تعني بشؤون النفط والغاز والطاقة حيث تستقطب نخبة من المتخصصين العرب والأجانب لنشر أبحاثهم وتعزيز التعاون العلمي في المجالات التي تغطيها المجلة، كما تقوم على تشجيع الباحثين على إنجاز بحوثهم المبتكرة والأسهام في نشر المعرفة والثقافة البترولية وتلك المتعلقة بالطاقة وتعميمها والعمل على متابعة التطورات العلمية في مجال الصناعة البترولية.

الأبحاث

كافة الابحاث التي تتعلق بالنفط والغاز والطاقة والتي تهدف إلى الحصول على إضافات جديدة في حقل الفكر الإقتصادي العربي.

مراجعة الأبحاث والكتب

تقوم المجلة بنشر المقالات التي تقدم مراجعة تحليلية لكتب أو دراسات تم نشرها حول صناعة النفط والغاز والطاقة عموماً، بحيث تكون هذه المقالات مرجعاً للباحثين حول أحدث وأهم الإصدارات المتعلقة بالصناعة البترولية.

التقارير

تتناول التقارير وقائع مؤتمر أو ندوة حضرها الكاتب، شريطة أن تكون مواضيعها ذات صلة بالنفط والغاز والطاقة، كما يشترط استئذان الجهة التي أوفدته للمؤتمر أو المؤسسات المشرفة عليه لكي تسمح له بنشرها في مجلتنا. وان لا تزيد عدد صفحات التقرير عن 10 صفحات مع كافة الاشكال والخرائط والجداول ان وجدت.

شروط البحث

- نشر الأبحاث العلمية الأصيلة التي تلتزم بمنهجية البحث العلمي وخطواته المتعارف عليها دوليا ومكتوبة باللغة العربية.
- ان لا يتجاوز البحث العلمي المنشور على 40 صفحة، (متن البحث، الجداول والاشكال) بدون قائمة المراجع، ويرسل إلكترونيا كاملاً إلى المجلة على شكل word document.
- ترسل الاشكال، الخرائط والصور في ملف اضافي على شكل JPEG.
- استخدام خط Times New Roman في الكتابة وبحجم 12، وان تكون المسافة بين الاسطر 1.5. وان تكون تنسيق الهوامش الكلمات بطريقة Justified.
- ان يتم الاشارة الى مصادر المعلومات بطريقة علمية واضحة.

- عند اقتباس اي معلومات من اي مصدر (اذا كانت المعلومات رقميه او رؤية معينة او تحليل ما) يجب ان لا يتم الاقتباس الحرفي وانما يتم اخذ اساس الفكرة واعادة صياغتها بأسلوب الباحث نفسه، والاشارة الى مصدر الإقتباس. أما في حالات الإقتباس الحرفي فتضع المادة المقتبسة بين علامتي الإقتباس ("...").
- يفضل ان تذكر المدن ومراكز الابحاث والشركات والجامعات الاجنبية الواردة في سياق البحث باللغة الانجليزية ولا تكتب باللغة العربية.
- أرفاق نسخة من السيرة العلمية إذا كان الباحث يتعاون مع المجلة للمرة الأولى.
- تعبر جميع الافكار المنشورة في المجلة عن آراء كاتبيها ولا تعبر بالضرورة عن وجهة نظر جهة الإصدار ويخضع ترتيب الأبحاث المنشورة وفقاً للاعتبارات الفنية.
- البحوث المرفوضة يبلغ اصحابها من دون ابداء الأسباب.
- يمنح لكل كاتب بحث خمسة أعداد من العدد الذي نشر فيه بحثه.

ترسل المقالات والمراجعات باسم رئيس التحرير، مجلة النفط والتعاون العربي، أوابك،
ص. ب: 20501 الصفاة- الرمز البريدي: 13066 دولة الكويت
الهاتف: 24959000 -00965 أو 24959779-00965
الفاكس: 24959755 - 00965
البريد الالكتروني oapec@oapecorg.org
موقع الأوابك على الانترنت www.oapecorg.org

المحتويات

الأبحاث

تطور استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء وآفاقه المستقبلية الجزء الأول

الطاهر الزيتوني 7

تقنية تحويل الفحم إلى سوائل وإنعكاساتها علي صناعة تكرير النفط

تركي الحمش 111

مجلة عربية تهتم بنشر المعرفة والثقافة البترولية وتلك المتعلقة بالطاقة وتعميمها والعمل على متابعة التطورات العلمية في مجال الصناعة البترولية

المقالات المنشورة في هذه المجلة تعكس آراء مؤلفيها ولا تعبر بالضرورة عن رأي منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول - أوابك

البحـــث الأول

تطور استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء وآفاقه المستقبلية

الجزء الأول

الطاهر الزيتوني *

* محلل طاقة – الإدارة الاقتصادية، أوابك – الكويت

ملخص تنفيذي

تهدف الدراسة إلى تحليل واقع استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)، وأهم المتغيرات الاقتصادية المؤثرة في دالة الاستهلاك، ومن تم استشراف الآفاق المستقبلية للطلب على مصادر الطاقة الأولية حتى عام 2040 من خلال بناء نماذج اقتصادية تتلاءم مع أوضاع الطاقة في الدول الأعضاء ونوعية البيانات المتوفرة.

تنقسم الدراسة الى جزأين رئيسيين، استعرض الجزء الأول أنماط واتجاهات استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة 1980 – 2016، حيث شهد اجمالي الاستهلاك ارتفاعاً بنحو أربعة أضعاف حجمه، من حوالي 2.7 مليون برميل مكافئ نفط يوميا عام 1980 إلى 13.2 مليون ب م ن/ي عام 2016، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 4.5% خلال هذه الفترة. ويعتبر التزايد في حصة الدول الأعضاء من اجمالي الاستهلاك العالمي لمصادر الطاقة الأولية، بسبب نمو الطلب المحلي على مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء بمعدلات عالية مقارنة مع المجموعات الدولية الأخرى، وكذلك ارتفاع معدلات استهلاك الفرد من الطاقة، نتيجة تسارع النمو في إجمالي استهلاك الطاقة بالدول الأعضاء بوثيرة تجاوزت النمو السكاني، بالإضافة إلى زيادة حصة الاستهلاك المحلي من مصادر الطاقة الأولية إلى إجمالي إمداداتها، بسبب التسارع الملحوظ في حجم استهلاك الطاقة بالدول الأعضاء مقارنة بحجم انتاجها، من العلامات البارزة لتطور استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء خلال الفترة 1980-2016. كما يعتبر تباين معدلات النمو في استهلاك الطاقة بين الدول الأعضاء من أبرز علامات تطور استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء خلال هذه الفترة.

وبالمقابل، يعتبر الاعتماد شبه الكامل على النفط والغاز الطبيعي مقابل تواضع مساهمة الطاقات الأخرى، أهم السمات الأساسية لاستهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء، حيث شكل هذان المصدران نسبة تراوحت بين 97% - 98% من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة خلال الفترة (1980 – 2016). كما يعتبر تزايد الاعتماد على الغاز الطبيعي من أبرز علامات تطور هيكل استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء خلال تلك الفترة، حيث تزايدت حصة الغاز الطبيعي من مزيج الطاقة المستهلكة بصورة تدريجية في مقابل تناقص حصة النفط الخام، ليشهد عام 2011 بداية احتلال الغاز الطبيعي للمركز الأول بين مصادر الطاقة المستهلك.

ويعد النمو السكاني والنمو الاقتصادي وهيكل الأسعار المحلية للوقود، أهم المتغيرات الاقتصادية المؤثرة في دالة استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء، حيث شهدت الدول الأعضاء نمواً كبيراً في عدد السكان بلغ معدله 2.4%، ونمواً قوياً في الناتج المحلي الإجمالي حسب تعادل القوة الشرائية بلغ معدله 2.9% خلال الفترة (1980 - 2016)، في حين تعد أسعار المنتجات النفطية والغاز الطبيعي في الأسواق المحلية في أغلب الدول الأعضاء منخفضة بشكل كبير، إذا ما قورنت بنظيراتها على المستوى العالمي.

وتناول **الجزء الثاني** توقعات استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء في أوابك حتى عام 2040، حيث تم تقدير دالة استهلاك المصادر الأولية للطاقة على أسس منهجية تتلاءم مع أوضاع الطاقة في الدول الأعضاء ومع نوعية البيانات المتوفرة، واستخدام النموذج الذي تم تقديره لاستقراء التوقعات المستقبلية لإجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بالدول الأعضاء حتى عام 2040.

وتوخت الدراسة استشراف الآفاق المستقبلية لاستهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء من خلال خمس سيناريوهات (أو بدائل) رئيسية، يمثل أولها سيناريو الإشارة وثانيها سيناريو النمو المرتفع، والثالث سيناريو النمو المنخفض، والرابع سيناريو الرفع التدريجي للأسعار المحلية للوقود (المنتجات النفطية والغاز الطبيعي)، والسيناريو الخامس والأخير هو

سيناريو الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة والنووية، حيث يتوقع أن يتراوح استهلاك مصادر الطاقة الأولية بالدول الأعضاء ما بين 19.4 و24 مليون ب م ن ي عام 2040، بحسب سيناريوهي النمو المنخفض والنمو المرتفع تباعاً، بينما يتوقع سيناريو الإشارة أن يشهد إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء نمواً معدله 2.1% خلال الفترة (2016- 2040)، ليبلغ حوالي 21.5 مليون ب م ن ي عام 2040. كما يتوقع سيناريو الإشارة أن تستمر هيمنة النفط والغاز الطبيعي على مزيج الطاقة المستهلكة في الدول الأعضاء خلال الفترة الممتدة حتى عام 2040، حيث يتوقع أن يلبي هذان المصدران أكثر من 89% من إجمالي الزيادة المتوقعة في استهلاك مصادر الطاقة الأولية خلال الفترة (2016 – 2040)، وأن تبلغ حصتهما نسبة 94.6% من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة عام 2040.

بالمقابل، توقعت الدراسة أن يؤدي الرفع التدريجي المقترح للمتوسط الموزون للأسعار المحلية للمنتجات النفطية والغاز الطبيعي إلى تراجع توقعات استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء في أوابك إلى حوالي 19.6 مليون ب م ن ي لعام 2040، لتشكل انخفاض يبلغ نحو 1.9 مليون ب م ن ي عن توقعات سيناريو الإشارة، كما خلصت الدراسة إلى أن الرفع التدريجي للأسعار المحلية للوقود سوف ينعكس في كبح جماح النمو في حجم استهلاك النفط والغاز الطبيعي بكل الدول الأعضاء بدون استثناء، وان انعكاسه يزداد تدريجياً بمرور الزمن، بينما يكون التفاوت في حجم التأثير على كل دولة على عوامل عدة تشمل حجم استهلاك الدولة ومرونات الطلب على الطاقة وعوامل أخرى.

ومن جهة أخرى، خلصت الدراسة إلى أن المضي قدماً في خيار العمل على استغلال مصادر الطاقة المتجددة المتاحة في الدول الأعضاء، والتحول نحو استخدام الطاقة النووية في انتاج الكهرباء، سوف يؤدي حتماً إلى الأهداف الوطنية المتوخاة منه في تأمين وتنويع مصادر الطاقة، وخلق رافد قوي للمصادر البترولية ليساهم في تعزيز مصادر الدخل عبر تحرير المزيد من النفط والغاز من أجل التصدير، حيث وجدت الدراسة أن نجاح الدول الأعضاء في تنفيذ أهدافها المعلنة (والتي لم تترجم بعد إلى مشاريع تحت الإنجاز أو خططاً معتمدة) في مجال

التوسع في استخدام الطاقات المتجددة و إضافة الطاقة النووية لمزيج الطاقة بدولها، سوف يؤدي إلى تغيرات جذرية على الآفاق المستقبلية لمزيج الطاقة وتوقعاته المستقبلية خلال الفترة الممتدة حتى عام 2040، حيث يتوقع سيناريو الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة والنووية أن تنخفض مساهمة النفط والغاز الطبيعي مجتمعين في إجمالي الزيادة المتوقعة في استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء خلال الفترة (2016 – 2040) إلى نسبة 54% ، وأن تتراجع حصتهما من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة عام 2040 إلى نسبة 81%.

كما خلصت الدراسة إلى أن خيارات التوسع في استخدام الطاقات المتجددة والتحول نحو الطاقة النووية سوف تنعكس في كبح جماح النمو في حجم استهلاك النفط والغاز الطبيعي بالدول الأعضاء، حيث يتوقع أن تنخفض توقعات سيناريو الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة والنووية لاستهلاك النفط والغاز الطبيعي في الدول الأعضاء في أوابك عن مثيلاتها في سيناريو الإشارة بأكثر من 2.9 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم بحلول عام 2040، وان انعكاسات هذا التنوع في مصادر الإمدادات في كبح جماح النمو في حجم استهلاك النفط والغاز الطبيعي بالدول الأعضاء سوف يزداد تدريجياً بمرور الزمن، وتبرز آثاره أكثر في الأمد الطويل، بينما يعتمد التفاوت في حجم التأثير على كل دولة على حجم المشاريع المستهدفة والاستثمارات المخصصة لها.

تطور استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء وآفاقه المستقبلية

مقدمة

تهدف الدراسة أولاً إلى تحليل اتجاهات وأنماط استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك) للفترة 1980-2016، والعوامل الرئيسية المؤثرة على مستويات الاستهلاك كالنمو الاقتصادي والسكاني والأسعار المحلية للطاقة، وثانياً إلى تقدير الطلب الإجمالي المتوقع على مصادر الطاقة الأولية حتى عام 2040 من خلال بناء نماذج اقتصادية تتلاءم مع أوضاع الطاقة في الدول الأعضاء ونوعية البيانات المتوفرة.

تنقسم الدراسة الى جزأين رئيسيين، يستعرض **الجزء الأول** أنماط واتجاهات استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة 1980 – 2016، حيث يهدف هذا الجزء إلى تقديم لمحة موجزة عن أهم السمات الرئيسية لتطور الاستهلاك المحلي من مصادر الطاقة الأولية ومعدلات نموه بالدول الأعضاء، وتطور مزيج الطاقة الأولية وأنماط استهلاكها في الدول الأعضاء، وكثافة استهلاك الطاقة الأولية، كما يستعرض هذا الجزء كذلك العوامل الاقتصادية والاجتماعية الرئيسية المؤثرة على استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء مثل النمو الاقتصادي والنمو السكاني والأسعار المحلية للطاقة لما لذلك من أهمية على دقة التوقعات المستقبلية.

ويتناول **الجزء الثاني** توقعات استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء في أوابك حتى عام 2040، حيث سيتم تقدير دالة استهلاك المصادر الأولية للطاقة على أسس منهجية تتلاءم مع أوضاع الطاقة في الدول الأعضاء ومع نوعية البيانات المتوفرة، واستخدام النموذج الذي تم تقديره لاستقراء التوقعات المستقبلية لإجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بالدول الأعضاء حتى عام 2040.

ويدور هذا الجزء حول محورين رئيسيين، يتطرق أولهما إلى منهجية إعداد التوقعات المستقبلية لاستهلاك مصادر الطاقة الأولية، ويشمل البيانات المستخدمة في الدراسة وطرق معالجتها، وأساليب التنبؤ المستخدمة في الدراسة والعلاقات الإحصائية والنماذج الرياضية المعتمدة للتوقع، ثم يستعرض الفرضيات الأساسية الخاصة بالتوقعات المستقبلية حيث تتوخى الدراسة استشراف الآفاق المستقبلية لاستهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء من خلال خمس سيناريوهات (أو بدائل) رئيسية، يمثل أولها سيناريو الإشارة وثانيها سيناريو النمو المرتفع، والثالث سيناريو النمو المنخفض، والرابع سيناريو الرفع التدريجي للأسعار المحلية للوقود (المنتجات النفطية والغاز الطبيعي)، والسيناريو الخامس والأخير هو سيناريو الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة والنووية. وفي المحور الثاني، سيتم استعراض النتائج النهائية للتوقعات المستقبلية المتعلقة بإجمالي استهلاك الطاقة الأولية، ومصادرها الرئيسية المتمثلة في النفط والغاز الطبيعي والفحم والطاقات المتجددة والطاقة النووية، حسب السيناريوهات آنفة الذكر.

الجزء الأول: أنماط واتجاهات استهلاك الطاقة الأولية في الدول الأعضاء

أولا: استعراض عام لتطور استهلاك الطاقة الأولية في الدول الأعضاء

شهد اجمالي استهلاك الطاقة بالدول الأعضاء في أوابك تطوراً ملحوظاً خلال الفترة (1980– 2016)، وكان الباعث الرئيسي لهذا التطور هو النمو السكاني المتسارع في الدول الأعضاء، والتوسع في قدرات الصناعات الكثيفة الاستهلاك للطاقة في بعض الدول ما أدى إلى زيادة الطلب على الطاقة بشكل لافت.

ويعتبر كل من التزايد في حصة الدول الأعضاء من اجمالي الاستهلاك العالمي لمصادر الطاقة الأولية، بسبب نمو الطلب المحلي على مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء بمعدلات عالية مقارنة مع المجموعات الدولية الأخرى، وارتفاع معدلات استهلاك الفرد من الطاقة، نتيجة تسارع النمو في إجمالي استهلاك الطاقة بالدول الأعضاء بوثيرة تجاوزت النمو السكاني، و زيادة حصة الاستهلاك المحلي من مصادر الطاقة الأولية إلى إجمالي إمداداتها، بسبب التسارع الملحوظ في حجم استهلاك الطاقة بالدول الأعضاء مقارنة بحجم انتاجها، من العلامات البارزة لتطور استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء خلال الفترة 1980-2016.

كما يعتبر تباين معدلات النمو في استهلاك الطاقة بين الدول الأعضاء من أبرز علامات تطور استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء خلال هذه الفترة.

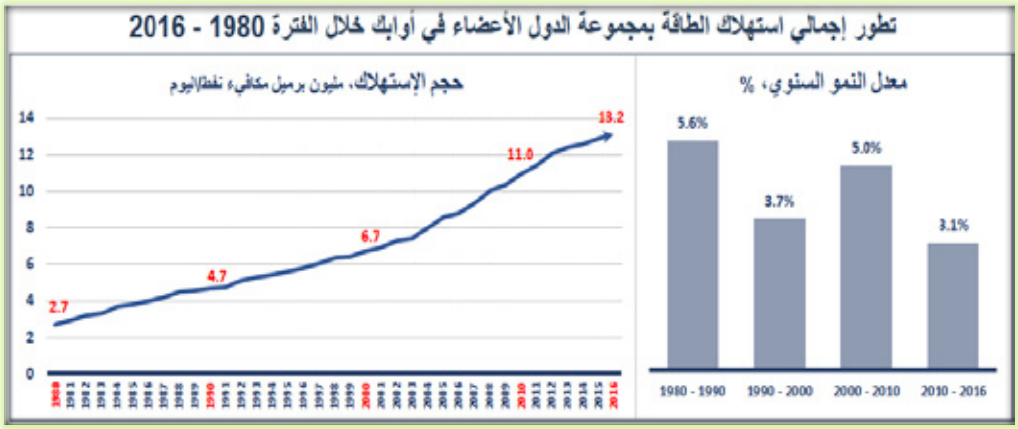
1. تطور الاستهلاك المحلي من مصادر الطاقة الأولية

شهد اجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بالدول الأعضاء في أوابك ارتفاعاً بنحو أربعة أضعاف حجمه خلال الفترة (1980 - 2016)، حيث ارتفع من 2.7 مليون برميل مكافئ نفط يوميا (ب م ن/ي) عام 1980 إلى 13.2 مليون ب م ن/ي عام 2016، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 4.5% خلال هذه الفترة.

ولقد نما اجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء في منظمة أوابك بمعدلات متباينة خلال هذه الفترة، حيث شهد انخفاضاً في فترات وارتفاعاً في فترات أخرى. فعلى سبيل المثال، شهدت الفترة (1990- 2000) انخفاضاً في معدل نمو إجمالي استهلاك الطاقة الأولية ليصل إلى 3.7% سنوياً مقارنة مع معدل نمو بلغ 5.6% خلال الفترة (1980–1990)، ويعود ذلك بشكل أساسي إلى انخفاض العائدات البترولية نتيجة لانخفاض أسعار النفط بدءاً من عام 1986 وما ترتب على ذلك من انخفاض في استهلاك الطاقة.

وبعد ذلك شهدت الفترة (2000 – 2010) عودة النمو المتزايد لإجمالي استهلاك الطاقة الأولية بالدول الأعضاء، حتى بلغ معدل النمو السنوي 5% مدفوعاً بمعدلات النمو القوية التي شهدتها الفترة (2003 – 2008)، والتي شهدت انتعاشاً ملحوظاً في أسعار النفط وتراكم العائدات البترولية، والذي أدى بدوره إلى انتعاش النشاط الاستثماري الذي دفع بعجلة النمو الاقتصادي وما ترتب على ذلك من تزايد وثيرة النمو في استهلاك الطاقة، ثم عاود الاستهلاك التراجع بمعدل 3.1% خلال الفترة (2010 – 2016)، متأثراً بعدة عوامل كان في مقدمتها الأحداث التي شهدتها بعض الدول الأعضاء وارتداداتها المباشرة على استقرار المنطقة، بالإضافة إلى التراجع الحاد في أسعار النفط منذ منتصف عام 2014، والذي ألقى بظلاله على بيئة الاستثمار وساهم في كبح جماح النمو الاقتصادي وما ترتب على ذلك من انخفاض في استهلاك الطاقة، كما هو مبين بالشكل (1):

الشكل (1)



المصدر: الجدول (1) في الملحق

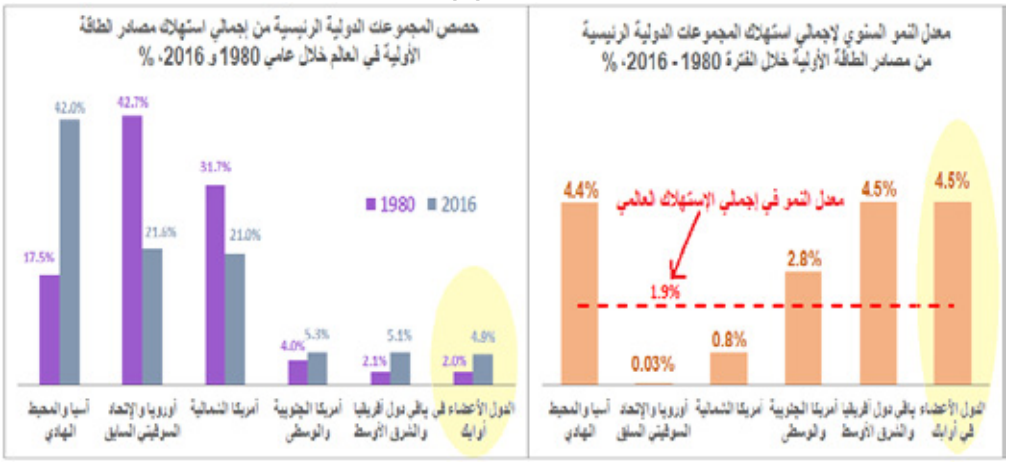
2. تطور حصة الدول الأعضاء من اجمالي الاستهلاك العالمي

بالمقارنة مع المجموعات الدولية الأخرى، يلاحظ أن معدل النمو في اجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية خلال الفترة (1980 – 2016) في مجموعتي الدول الأعضاء في أوابك وباقي دول أفريقيا والشرق الأوسط كان الأعلى خلال هذه الفترة حيث وصل إلى 4.5%، يليه معدل النمو في اجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية لمجموعة دول آسيا والمحيط الهادي التي قادت النمو في الطلب العالمي على الطاقة خلال الفترة قيد الدراسة بمساهمتها بنحو ثلثي الزيادة في اجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية خلال الفترة (1980 – 2016)[1]، بمعدل نمو سنوي بلغ 4.4%، وقد تجاوزت معدلات النمو لهذه المجموعات بالإضافة إلى مجموعة أمريكا الجنوبية والوسطى معدل النمو في اجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في العالم البالغ نحو 1.9% خلال الفترة (1980 – 2016)، في حين تباطأ معدل النمو في مجموعتي أمريكا الشمالية ودول أوروبا والاتحاد السوفيتي السابق عن المعدل العالمي.

[1] BP statistical review 2017

وكنتيجة لذلك، تزايدت حصة الدول الأعضاء من اجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في العالم أسوة بالمجموعات الدولية الأخرى التي تسارعت وثيرة النمو في استهلاكها عن المعدل العالمي، في المقابل تراجعت حصة المجموعات الدولية الأخرى التي تباطأت وثيرة النمو في استهلاكها عن المعدل العالمي، حيث ارتفعت حصة الدول الأعضاء من اجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في العالم من حوالي 2% فقط في عام 1980 لتصل إلى 4.9% في عام 2016، كما هو موضح بالشكل (2):

الشكل (2)



المصدر: الجدول (1) في الملحق، BP statistical review 2017

3. توزيع استهلاك الطاقة على مستوى الدول الأعضاء فرادى والتباين في معدلات النمو

برز التباين بين معدلات النمو السنوية لاستهلاك الطاقة بالدول الأعضاء خلال الفترة (1980 – 2016)، حيث شهد معدل النمو السنوي لإجمالي استهلاك الطاقة في دولة الإمارات العربية، وقطر، والسعودية، ومصر، قفزات كبيرة تجاوزت متوسط معدل النمو السنوي لمجموعة الدول الأعضاء والبالغ حوالي 4.5% خلال هذه الفترة. فإجمالي استهلاك الطاقة بدولة الإمارات العربية ارتفع من 183.1 ألف ب م ن/ي عام 1980 إلى أكثر من 2.1 مليون ب م ن/ي عام 2016، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 7%، وهو الأعلى بين الدول الأعضاء خلال هذه

الفترة، بينما سجل إجمالي استهلاك الطاقة في قطر معدل نمو سنوي بلغ 6.1% ليرتفع استهلاكها من 103.8 ألف ب م ن/ي عام 1980 إلى 869.2 ألف ب م ن/ي عام 2016، في حين ارتفع إجمالي استهلاك الطاقة بالسعودية من 768.9 ألف ب م ن/ي عام 1980 إلى أكثر من 4.5 مليون ب م ن/ي عام 2016، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 5.1%، كما سجل إجمالي استهلاك الطاقة في مصر معدل نمو سنوي بلغ 4.9%، ليرتفع استهلاكها من 329.2 ألف ب م ن/ي عام 1980 إلى ما يقارب من 1.9 مليون ب م ن/ي عام 2016.

وبالمقابل، تراوحت معدلات النمو السنوية لإجمالي استهلاك الطاقة بباقي الدول الأعضاء خلال هذه الفترة ما بين 1.6% في ليبيا وسورية إلى 3.7% في البحرين، كما هو موضح بالجدول (1) والشكل (3):

الجدول (1)

إجمالي استهلاك الطاقة بالدول الأعضاء في أوابك خلال عامي 1980 و2016

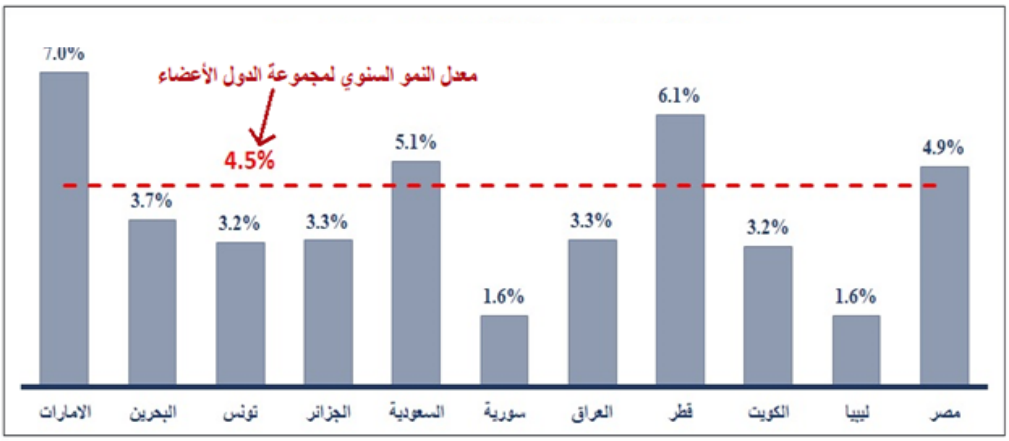
ألف برميل مكافئ نفط / اليوم

	الامارات	البحرين	تونس	الجزائر	السعودية	سورية	العراق	قطر	الكويت	ليبيا	مصر	الإجمالي
1980	183.1	82.2	60.7	353.1	768.9	131.4	278.6	103.8	223.3	182.1	329.2	2696.6
2016	2126.8	309.3	190.5	1128.3	4540.6	232.8	898.4	869.2	683.2	323.6	1857.3	13160.2

المصدر: الجدول (1) في الملحق

الشكل (3)

معدلات النمو السنوي في الدول الأعضاء للاستهلاك خلال الفترة 1980 – 2016، %

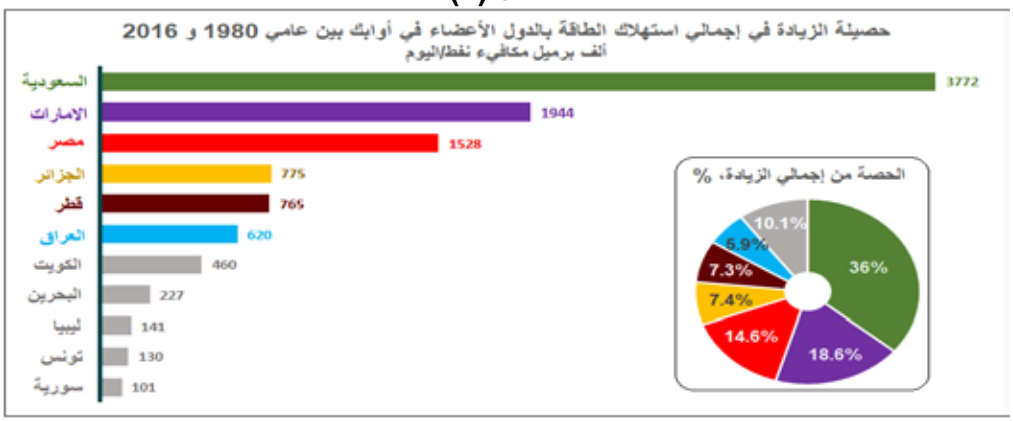


المصدر: الجدول (1) في الملحق.

يذكر أن ثلاث دول وهي السعودية ودولة الإمارات العربية ومصر قد استحوذت على أكثر من 69% من إجمالي الزيادة في حجم استهلاك الطاقة بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك والبالغة نحو 10.5 مليون ب م ن/ي بين عامي 1980 و 2016، حيث تزايد إجمالي استهلاك الطاقة بالسعودية بحوالي 3.8 مليون ب م ن/ي، مستأثرة بحوالي 36% من إجمالي الزيادة في استهلاك الطاقة بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك خلال هذه الفترة، بينما تزايد إجمالي استهلاك الطاقة بدولة الإمارات العربية بأكثر من 1.9 مليون ب م ن/ي، مستأثرة بحوالي 18.6%، في حين تزايد إجمالي استهلاك الطاقة بمصر بأكثر من 1.5 مليون ب م ن/ي، مستأثرة بحوالي 14.6% من إجمالي الزيادة في استهلاك الطاقة بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك.

وبالمقابل، ساهمت الجزائر و قطر والعراق بأكثر من خمس الزيادة في إجمالي استهلاك الطاقة بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك بين عامي 1980 و 2016، حيث تزايد إجمالي استهلاك الطاقة بالجزائر بحوالي 775 ألف ب م ن/ي، مستأثرة بحوالي 7.4% من إجمالي الزيادة في استهلاك الطاقة بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك خلال هذه الفترة، بينما تزايد إجمالي استهلاك الطاقة في قطر بحوالي 765 ألف ب م ن/ي، مستأثرة بحوالي 7.3%، في حين تزايد إجمالي استهلاك الطاقة بالعراق بنحو 620 ألف ب م ن/ي، مستأثرة بحوالي 5.9%، وبلغت حصة باقي الدول الأعضاء والتي تشمل الكويت والبحرين وليبيا وتونس وسورية نحو 10.1% من إجمالي الزيادة في استهلاك الطاقة بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة 1980 – 2016، كما هو مبين بالشكل (4):

الشكل (4)



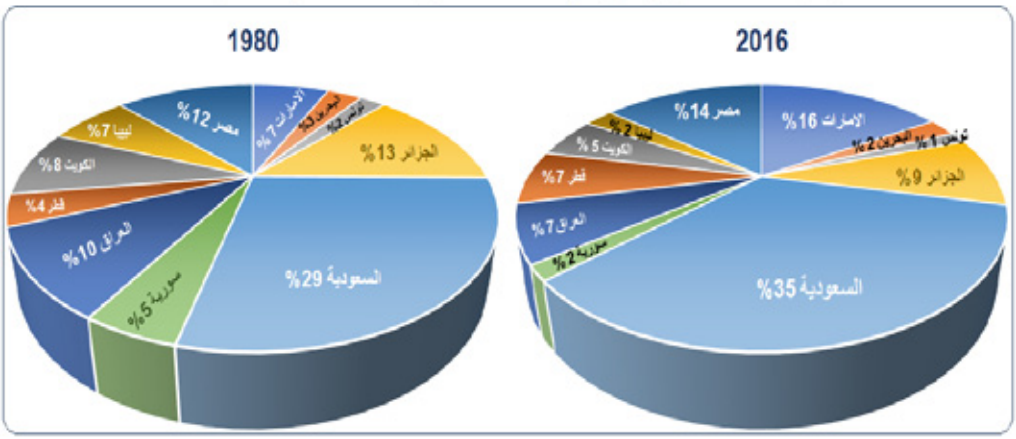
المصدر: الجدول (1) في الملحق

وكانت المحصلة ارتفاع حصص الدول الأعضاء الأربع - التي شهدت معدلات نمو سنوية في اجمالي استهلاك الطاقة تجاوزت متوسط معدل النمو السنوي لمجموعة الدول الأعضاء، وهي دولة الإمارات العربية، وقطر، والسعودية، ومصر – من إجمالي استهلاك الطاقة لمجموعة الدول الأعضاء، حيث ارتفعت حصة دولة الإمارات العربية من 7% عام 1980 إلى 16% عام 2016، بينما ارتفعت حصة قطر من 4% عام 1980 إلى 7% عام 2016، في حين ارتفعت حصة السعودية من 29% عام 1980 إلى 35% عام 2016، كما ارتفعت حصة مصر من 12% عام 1980 إلى 14% عام 2016.

وبالمقابل، شهدت حصص باقي الدول الأعضاء - التي شهدت معدلات نمو سنوية في اجمالي استهلاك الطاقة دون متوسط معدل النمو السنوي للمجموعة – من إجمالي استهلاك الطاقة لمجموعة الدول الأعضاء تراجعاً خلال الفترة (1980 – 2016)، حيث تراجعت حصة الجزائر من 13% عام 1980 إلى 9% عام 2016، وتراجعت حصة العراق من 10% عام 1980 إلى 7% عام 2016، في حين تراجعت حصة الكويت من 8% عام 1980 إلى 5% عام 2016، كما تراجعت حصة ليبيا من 7% عام 1980 إلى 2% عام 2016، كما هو موضح بالشكل (5):

الشكل (5)

حصص الدول الأعضاء من إجمالي استهلاك الطاقة للمجموعة خلال عامي 1980 و2016، %



المصدر: الجدول (1) في الملحق

الجدير بالذكر أن حوالي 65% من اجمالي استهلاك الطاقة في مجموعة الدول الأعضاء في أوابك يتركز في ثلاث دول هي السعودية والإمارات ومصر حيث تجاوز اجمالي استهلاكها مجتمعة 8.5 مليون ب م ن/ي عام 2016، وشكلت بالإضافة لدولة قطر القوة الدافعة للنمو في اجمالي استهلاك الطاقة في مجموعة الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة (1980 – 2016)، لتساهم بأكثر من 69% من إجمالي الزيادة في حجم استهلاك الطاقة بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك بين عامي 1980 و2016.

4. ارتفاع متوسط استهلاك الفرد من مصادر الطاقة الأولية

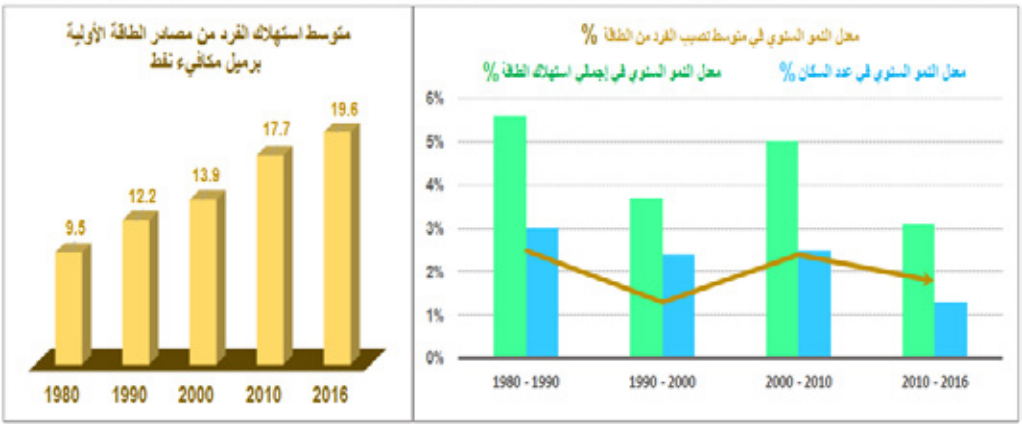
أدى النمو المتزايد في استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء خلال الفترة (1985- 2016) إلى ارتفاع متوسط استهلاك الفرد من 9.5 برميل مكافئ نفط عام 1980 إلى 19.6 برميل مكافئ نفط عام 2016 أي بمعدل نمو سنوي بلغ 2%.

وقد شهدت كامل الفترة (1980-2016) تسارعاً للنمو في إجمالي استهلاك الطاقة بالدول الأعضاء تجاوز وثيرة النمو السكاني خلال تلك الفترة، حيث تجاوز معدل النمو السنوي في إجمالي استهلاك الطاقة بالدول الأعضاء معدل النمو السنوي لإجمالي عدد السكان بالدول الأعضاء، وحقق النمو السنوي في متوسط نصيب الفرد من الطاقة معدلات موجبة.

وبينما كان النمو السكاني يسير بوثيرة مستقرة، كان معدل النمو السنوي في متوسط نصيب الفرد من الطاقة يجاري النمو المتزايد في استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء، ليحقق قفزات ملحوظة خلال الفترات التي انتعش خلالها النمو السنوي في إجمالي استهلاك الطاقة، وخاصة خلال الفترتين (1980 – 1990) و(2000 – 2010)، حيث بلغ النمو نحو 2.5% خلال الفترة (1980 – 1990) مما أدى إلى ارتفاع متوسط استهلاك الفرد بحوالي 28.4%، أي من 9.5 برميل مكافئ نفط عام 1980 إلى 12.2 برميل مكافئ نفط عام 1990، ثم بلغ معدل النمو السنوي في متوسط نصيب الفرد من الطاقة 2.4% خلال الفترة (2000 – 2010) فتزايد متوسط استهلاك الفرد بحوالي 27% من 13.9 برميل مكافئ نفط عام 2000 إلى 17.7 برميل مكافئ نفط عام 2010 كما هو موضح بالشكل (6) والجدول(2):

الشكل (6)

تطور متوسط نصيب الفرد من إجمالي إستهلاك مصادر الطاقة الأولية بالدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة 1980 - 2016



الجدول(2)
معدلات النمو السنوية لمتوسط نصيب الفرد من الطاقة،1980-2016

	1990 - 1980	2000 - 1990	2010 - 2000	2016 - 2010
معدل النمو السنوي في إجمالي استهلاك الطاقة	5.6%	3.7%	5.0%	3.1%
معدل النمو السنوي في عدد السكان	3.0%	2.4%	2.5%	1.3%
معدل النمو السنوي في متوسط نصيب الفرد من الطاقة	2.5%	1.3%	2.4%	1.8%

المصدر: الجدول (1) في الملحق، صندوق النقد الدولي / قاعدة بيانات تقرير آفاق الاقتصاد العالمي، أكتوبر 2017

5. تزايد حصة الاستهلاك المحلي من إجمالي الإمدادات

تزايدت نسبة الاستهلاك المحلي للطاقة إلى إجمالي انتاجها في الدول الأعضاء من حوالي 12.1% في عام 1980 إلى 34.5% في عام 2016، نتيجة للتسارع الملحوظ في حجم استهلاك الطاقة بالدول الأعضاء مقارنة بحجم انتاجها، حيث تجاوزت معدلات النمو السنوية في اجمالي استهلاك الطاقة معدلات النمو السنوية في اجمالي انتاجها في أغلب هذه الفترة باستثناء النصف الثاني من عقد الثمانينات. فقد ارتفعت نسبة الاستهلاك المحلي للطاقة إلى إجمالي انتاجها من 12.1% في عام 1980 إلى 29% في عام 1985، عندما سجل إجمالي استهلاك الطاقة نمواً بمعدل 7.1% بينما انكمش الإنتاج بمعدل 10%، ثم تراجعت نسبة الاستهلاك المحلي للطاقة إلى إجمالي انتاجها إلى 23.7% في عام 1990، عنما تباطأ النمو في إجمالي استهلاك الطاقة إلى 4.2% بينما تسارع نمو الإنتاج بمعدل 8.5%.

وشهدت الفترة (1990-2000) تصاعداً طفيفاً في نسبة الاستهلاك المحلي للطاقة إلى إجمالي انتاجها، بسبب التقارب في معدلات نمو الاستهلاك والإنتاج خلال هذه الفترة، إلا أن نسبة الاستهلاك المحلي للطاقة إلى إجمالي انتاجها عادت لترتفع مجدداً إلى 33.5% في عام 2010 بسبب النمو القوي الذي سجله الاستهلاك خلال الفترة (2000 - 2010) أي بمعدل 5% مقابل نمو الاستهلاك بمعدل 3.3% ثم تباطؤه إلى 0.7% خلال النصف الأول والثاني على التوالي. وتجاوزت معدلات النمو السنوية في اجمالي استهلاك الطاقة معدلات النمو السنوية في

اجمالي انتاجها من هذه الفترة، كما واصلت نسبة الاستهلاك المحلي للطاقة إلى إجمالي انتاجها الارتفاع إلى 34.5% في عام 2016 بسبب مواصلة النمو في استهلاك الطاقة بمعدلات أعلى من النمو في إجمالي انتاجها، كما هو موضح بالجدول (3) والشكل (7):

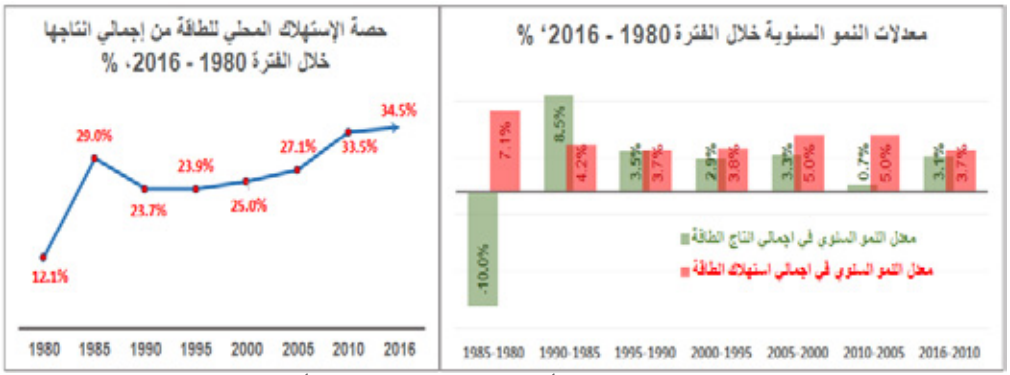
الجدول (3)

إجمالي الاستهلاك المحلي للطاقة وإجمالي إمداداتها في الدول الأعضاء خلال الفترة 1980-2016

(مليون برميل مكافئ نفط / اليوم)

	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2016
إجمالي الإمدادات	22.2	13.1	19.7	23.4	27.0	31.7	32.8	38.2
إجمالي الاستهلاك المحلي	2.7	3.8	4.7	5.6	6.7	8.6	11.0	13.2

الشكل(7)

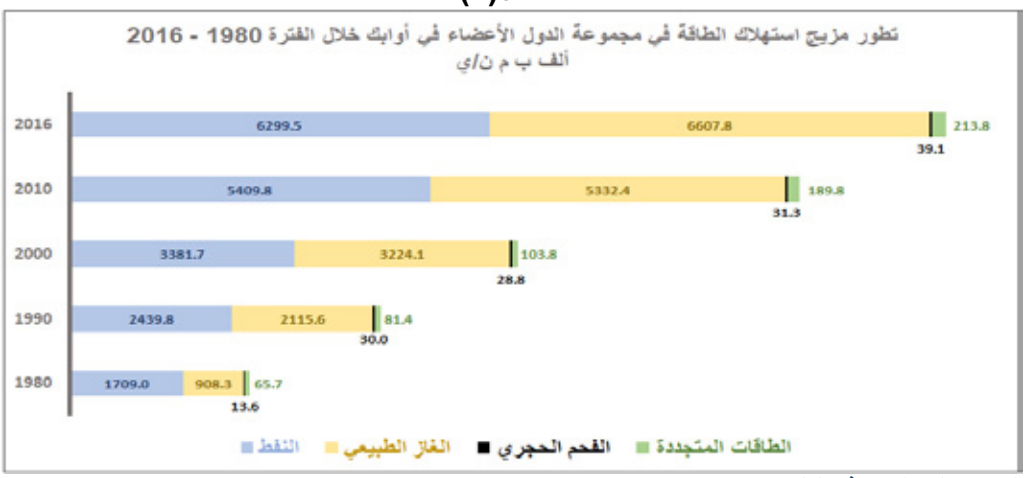


المصدر: الجدول (1) في الملحق، بنك المعلومات / منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)

ثانياً: تطور مزيج الطاقة الأولية المستهلكة في الدول الأعضاء

يهيمن النفط والغاز الطبيعي على مزيج الطاقة المستهلكة بمجموعة الدول الأعضاء في منظمة أوابك بشكل عام، حيث شكل هذان المصدران نسبة تراوحت بين 97% - 98% من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة خلال الفترة (1980 – 2016). وحقق الغاز الطبيعي أسرع معدلات نمو سنوية مقارنة بباقي المصادر، حيث نما إجمالي استهلاكه بمجموعة الدول الأعضاء في منظمة أوابك بمعدل 5.7% خلال الفترة (1980 – 2016)، ليرتفع من 908 ألف ب م ن/ي عام 1980 إلى أكثر من 5.3 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم ليقترب من مستوى استهلاك النفط الذي يمثل المصدر الرئيسي للطاقة بمجموعة الدول الأعضاء خلال عام 2010، ليتجاوزه بعد ذلك ويصل اجمالي استهلاك الغاز الطبيعي إلى أكثر من 6.6 مليون ب م ن/ي عام 2016، ليحل محل النفط كمصدر أول للطاقة بمجموعة الدول الأعضاء في منظمة أوابك، يليه النفط الذي نما إجمالي استهلاكه بمعدل 3.7% خلال الفترة (1980 – 2016)، ليرتفع من 1.7 مليون ب م ن/ي عام 1980 إلى حوالي 6.3 مليون ب م ن/ي عام 2016، كما هو موضح بالشكل (8):

الشكل(8)

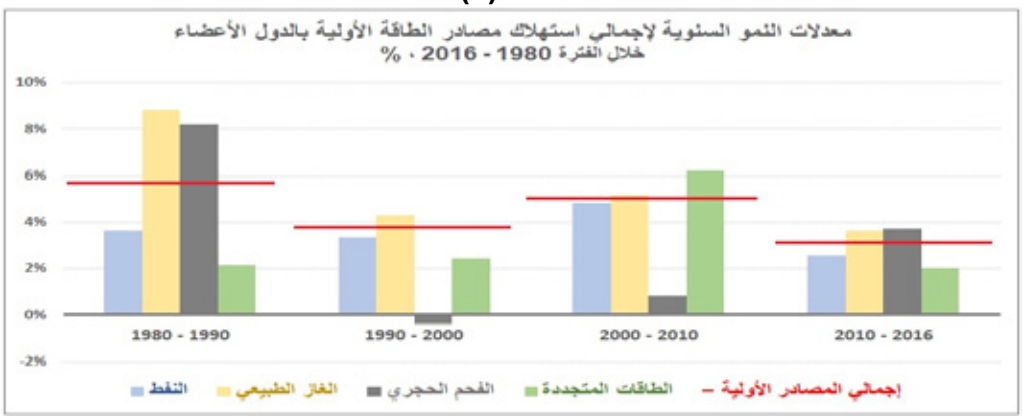


المصدر: الجدول (6) في الملحق

وقد حصلت زيادة كبيرة في استهلاك الغاز الطبيعي وتوسعت استخداماته بصورة لافتة للنظر، وبالأخص خلال عقد الثمانينات من القرن الماضي، عندما بلغ معدل النمو السنوي بالدول الأعضاء نحو 8.8%، ليزداد اجمالي استهلاكه بنسبة 230% أي من حوالي 908 ألف ب م ن/ي عام 1980 إلى أكثر من 2.1 مليون ب م ن/ي عام 1990. ويعزى ذلك إلى تنامي الاهتمام بالغاز الطبيعي والنظر إليه كمصدر طاقة مستقل وليس كمنتج ثانوي للنفط، نظراً للميزة البيئية الجيدة للغاز، ولكونه مصدر طاقة نظيف، وللتقدم التكنولوجي الذي أفضى إلى انخفاض في تكاليف إنتاج ونقل الغاز، وبسبب التطور التقني الذي حصل في مجال محطات توليد الكهرباء ذات الدورة المركبة، ما نتج عنه من زيادة مهمة في مستوى الكفاءة وتخفيض تكاليف مثل تلك المحطات مما زاد من اقتصاديات استخدامات الغاز فيها، هذا بالإضافة إلى الانطلاقة التصنيعية القوية في مجال صناعة البتروكيماويات التي شهدتها بعض الدول الأعضاء خلال عقد الثمانينات والتي تعد من مصادر الطلب الرئيسية على الغاز الطبيعي.

لقد تضافرت العوامل السابقة، في ظل وفرة الغاز الطبيعي بعد اكتشاف احتياطيات غازية كبيرة بالدول الأعضاء في دعم النمو القوي في استهلاك هذا المصدر الذي واصل مسيرته في قيادة النمو على استهلاك الطاقة فتصدر معدلات النمو على مصادر الطاقة الأولية خلال الفترة (1990 – 2000) بحوالي 4.3% فارتفع اجمالي استهلاكه بنسبة 150% ليصل إلى أكثر من 3.2 مليون ب م ن/ي عام 2000، ثم تسارعت وثيرة نموه إلى نحو 5.2% خلال الفترة (2000 – 2010)، ليصطف بمحاذاة النفط – المصدر الأول للطاقة بالدول الأعضاء- متجاوزاً مستوى 5.3 مليون ب م ن/ي عام 2010، لتخف بعد ذلك وثيرة النمو خلال الفترة 2010 – 2016 إلى نحو 3.6% ولكنها لا تزال أعلى من معدل النمو في استهلاك النفط مما أدي إلى تجاوز حجم استهلاك الغاز الطبيعي لحجم استهلاك النفط فتصدر الغاز الطبيعي المصادر الأولية للطاقة في الدول الأعضاء متجاوزاً حاجز 6.6 مليون ب م ن/ي عام 2016، كما هو موضح بالشكل (9) والجدول (4):

الشكل(9)



الجدول (4)

معدلات النمو السنوية لاستهلاك مصادر الطاقة في الدول الأعضاء، 1980-2016

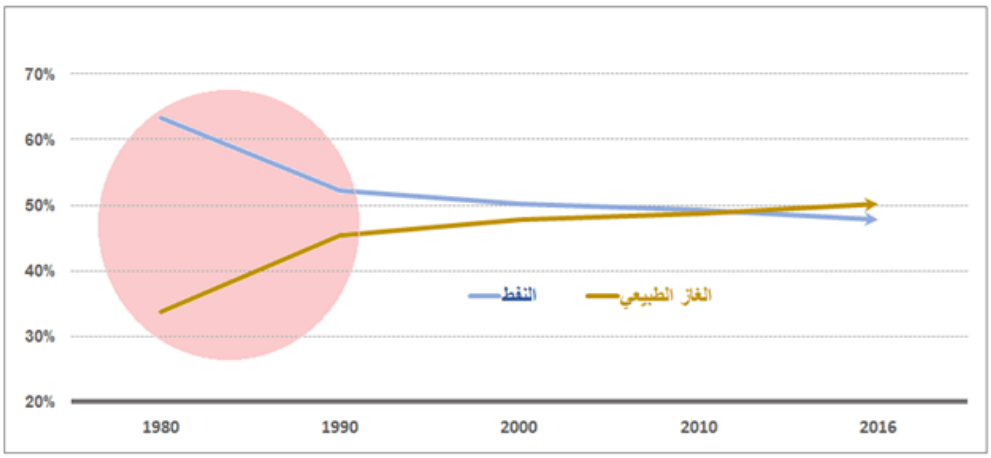
	النفط	الغاز الطبيعي	الفحم الحجري	الطاقات المتجددة	إجمالي المصادر الأولية
1990 - 1980	3.6%	8.8%	8.2%	2.2%	5.6%
2000 - 1990	3.3%	4.3%	-0.4%	2.5%	3.7%
2010 - 2000	4.8%	5.2%	0.8%	6.2%	5.0%
2016 - 2010	2.6%	3.6%	3.7%	2.0%	3.1%

المصدر: الجدول (6) في الملحق

وبالنظر إلى حجم القاعدة التي يمثلها النفط والغاز الطبيعي في مزيج الطاقة المستهلكة بالدول الأعضاء في أوابك خلال عام 1980، فإن معدلات النمو المرتفعة التي شهدها استهلاك الغاز الطبيعي خلال الفترة (1980 – 2016)، والتي تجاوزت خلال كامل الفترة معدلات النمو في اجمالي استهلاك المصادر الأولية للطاقة، تشير إلى أن النمو في اجمالي استهلاك المصادر الأولية للطاقة في الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة (1980 – 2016)، كان مقاداً بالنمو في استهلاك الغاز الطبيعي الأمر الذي انعكس بشكل جلي في تغير هيكل مزيج الطاقة المستهلكة بالدول الأعضاء. فحصة الغاز الطبيعي من إجمالي استهلاك المصادر الأولية للطاقة في الدول الأعضاء ارتفعت من 33.7% عام 1980 إلى أكثر من 45.3% خلال عام 1990، وذلك على حساب تراجع حصة النفط في مزيج الطاقة المستهلكة من 63.4% عام 1980 إلى أقل من

52.3% عام 1990، ثم واصلت حصة الغاز الطبيعي تزايدها مقابل تراجع حصة النفط في مزيج الطاقة المستهلكة حتى حلَ الغاز الطبيعي محل النفط كمصدر أول من مصادر الطاقة الأولية بعد عام 2010، على حساب تراجع حصة النفط إلى المركز الثاني، كما هو موضح بالشكل (10) والجدول (5):

الشكل(10)
تطور حصة النفط والغاز الطبيعي من إجمالي استهلاك المصادر الأولية للطاقة في الدول الأعضاء خلال الفترة 1980 – 2016، %



الجدول (5)
تطور حصص مصادر الطاقة من إجمالي استهلاكها في الدول الأعضاء خلال الفترة 1980-2016، %

	النفط	الغاز الطبيعي	الفحم الحجري	الطاقات المتجددة
1980	63.38%	33.68%	0.50%	2.44%
1990	52.28%	45.33%	0.64%	1.74%
2000	50.19%	47.85%	0.43%	1.54%
2010	49.34%	48.64%	0.29%	1.73%
2016	47.87%	50.21%	0.30%	1.62%

المصدر: الجدول (7) في الملحق.

ومما تجدر الإشارة إليه أيضاً، أن معدلات النمو السنوية لإجمالي استهلاك الطاقة المتجددة بالدول الأعضاء منذ عام 1980 كانت أبطأ من نظيراتها للغاز الطبيعي والنفط باستثناء

الفترة (2000-2010) التي شهدت انطلاقة قوية لمعدلات النمو السنوية في إجمالي استهلاك الطاقة المتجددة بالدول الأعضاء بلغت نحو 6.2%، إلا أنه نظراً لقاعدتها البسيطة في مزيج الطاقة المستهلكة لم تتجاوز إجمالي حصتها نسبة 1.73% من إجمالي استهلاك المصادر الأولية للطاقة في الدول الأعضاء خلال عام 2010.

1. استهلاك النفط

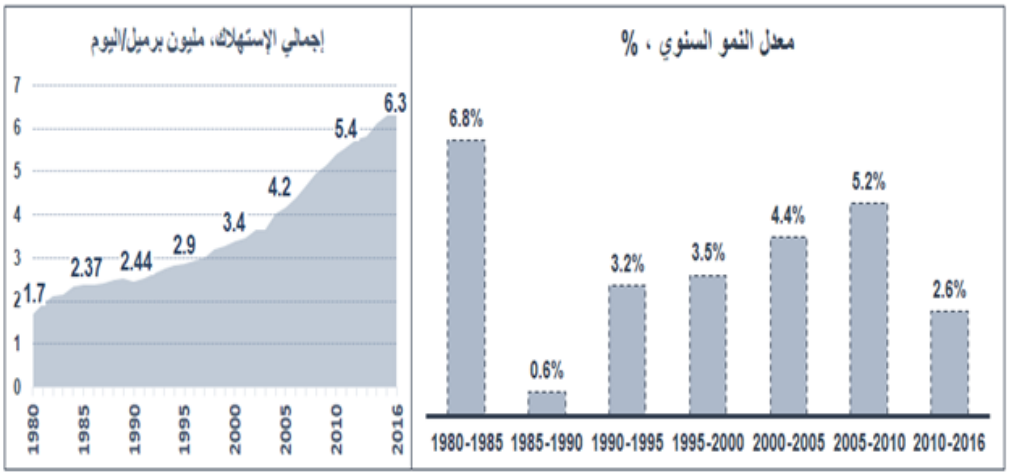
يشكل النفط مصدراً أساسياً للطاقة في الدول الأعضاء، واستمر لفترة طويلة المصدر الأول للطاقة، ثم حل ثانياً بعد الغاز الطبيعي منذ عام 2011 حيث تراجع نصيبه من إجمالي الاستهلاك من 63.4% في مطلع الثمانينات إلى 47.9% عام 2016 كما أسلفنا.

ومن الناحية الكمية، ارتفع اجمالي استهلاك الدول الأعضاء من النفط (شاملاً استهلاك المنتجات النفطية والاستهلاك المباشر للنفط الخام) من 1.7 مليون ب م ن/ي عام 1980 إلى 6.3 مليون ب م ن/ي عام 2016، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 3.7%.

وعلى مستوى فترات متقطعة، بلغ النمو السنوي في اجمالي استهلاك الدول الأعضاء من النفط ذروته خلال الفترة (1980- 1985) نحو 6.8% ليصل إلى 2.37 مليون ب م ن/ي عام 1985، ثم تباطأ النمو خلال الفترة اللاحقة (1985- 1990) إلى 0.6% لتصل الكميات المستهلكة إلى 2.44 مليون ب م ن/ي عام 1990، ولكنه سرعان ما عاود النمو بمعدل 3.2% خلال الفترة (1990- 1995)، ثم بمعدل 3.5% خلال الفترة (1995- 2000)، ليصل استهلاكه إلى 3.4 مليون ب م ن/ي عام 2000. وخلال الفترة (2000- 2005)، واصل اجمالي استهلاك الدول الأعضاء من النفط النمو بوثيرة أسرع، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 4.4%، ثم ارتفعت وثيرة النمو مجدداً إلى معدل 5.2% خلال الفترة (2005- 2010)، ليعاود النمو

تباطؤه مجدداً إلى حوالي 2.6% خلال الخمس سنوات الأخيرة ليصل بذلك اجمالي استهلاك الدول الأعضاء من النفط إلى 6.3 مليون ب م ن/ي عام 2016، كما هو موضح بالشكل (11):

الشكل(11)
تطور استهلاك النفط في الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة 1980 - 2016



المصدر/ الجدول (2) في الملحق

ويتركز أكثر من ثلاثة أرباع اجمالي استهلاك النفط بالدول الأعضاء في أربع دول، وهي بالترتيب، السعودية ومصر والإمارات والعراق، حيث استأثرت السعودية بحصة بلغت 42% من اجمالي استهلاك النفط بالدول الأعضاء عام 2016، وإجمالي استهلاك تجاوز 2.6 مليون ب م ن/ي. وحلت مصر في المرتبة الثانية بحصة بلغت 14%، وإجمالي استهلاك بلغ حوالي 869 ألف ب م ن/ي، ثم الإمارات والعراق بحصة 13% و10% على التوالي، وبإجمالي استهلاك بلغ 799 ألف ب م ن/ي للإمارات و659 ألف ب م ن/ي للعراق.

ويوضح الجدول (6) والشكل (12) حجم استهلاك النفط في الدول الأعضاء لعام 2016 وحصة كل دولة من الإجمالي:

الجدول (6)

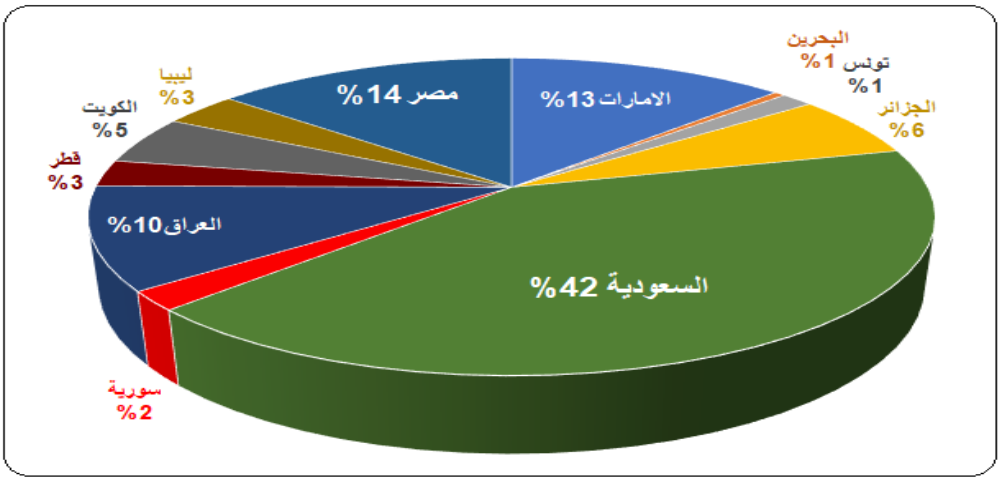
استهلاك النفط في الدول الأعضاء خلال عام 2016

(ألف برميل مكافئ نفط/اليوم)

الامارات	البحرين	تونس	الجزائر	السعودية	سورية	العراق	قطر	الكويت	ليبيا	مصر
799.2	31.2	93.6	399.0	2627.0	124.1	659.2	170.6	310.0	217.0	868.5

الشكل(12)

حصة كل دولة من اجمالي استهلاك النفط في الدول الأعضاء، %



المصدر/ الجدول (2) في الملحق

2. استهلاك الغاز الطبيعي

تركز الاهتمام في العقود السابقة بصورة رئيسية على النفط الذي كان هدفاً لعمليات الاستكشاف والتطوير، ولم يلق الغاز الطبيعي اهتماماً مماثلاً، حتى أن العثور على بئر غازي كان يعتبر فشلاً استكشافياً، وكانت مثل تلك الآبار تغلق وتهجر. أما بالنسبة للغاز الطبيعي المصاحب لإنتاج النفط، فقد كان يستخدم، لأغراض عمليات إنتاج النفط وما زاد عن ذلك كان يهدر أو يحرق في معظمه.

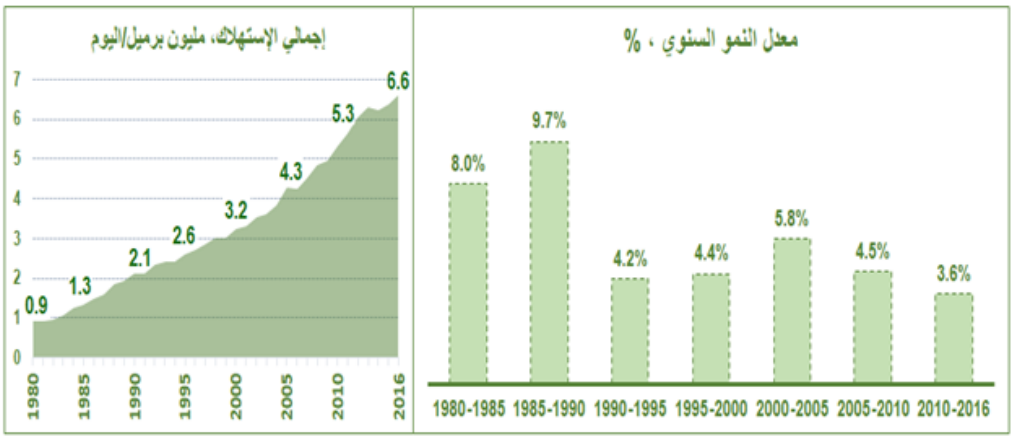
ومع تنامي الاهتمام بالغاز الطبيعي والنظر إليه كمصدر طاقة مستقل وليس كمنتج ثانوي للنفط، نظراً للميزة البيئية الجيدة للغاز، ولكونه مصدر طاقة نظيف، وللتقدم التكنولوجي الذي أفضى إلى انخفاض في تكاليف إنتاج ونقل الغاز، بدأت الدول الأعضاء توجهاً نحو استغلال مصادرها الوفيرة من الغاز الطبيعي بعد موجة اكتشافات لاحتياطيات غازية كبيرة خلال النصف الثاني من عقد السبعينات وعقد الثمانينات، ولقد تظافرت مجموعة من العوامل في مقدمتها التطور التقني الذي حصل في مجال محطات توليد الكهرباء ذات الدورة المركبة، الذي ساهم في رفع مستويات الكفاءة وتخفيض تكاليف توليد الكهرباء من تلك المحطات مما زاد من اقتصاديات استخدامات الغاز فيها، بالإضافة إلى انطلاقة التصنيع القوية في مجال صناعة البتروكيماويات التي شهدتها بعض الدول الأعضاء خلال عقد الثمانينات والتي تعد من مصادر الطلب الرئيسية على الغاز الطبيعي بالدول الأعضاء، حيث ساهمت هذه العوامل مجتمعة في دعم النمو القوي في استهلاك الغاز الطبيعي، الذي توسعت استخداماته بصورة لافتة للنظر، وبالأخص خلال عقد الثمانينات من القرن الماضي، عندما بلغ معدل النمو السنوي في إجمالي استهلاك الغاز الطبيعي بالدول الأعضاء نحو 8% خلال الفترة (1980-1985)، ثم تسارع ليصل معدله إلى 9.7% خلال الفترة (1985-1990)، ليرتفع اجمالي استهلاكه بنسبة 233%، أي من حوالي 908 ألف ب م ن/ي عام 1980 إلى أكثر من 2.1 مليون ب م ن/ي عام 1990.

ونظراً لتوفر الغاز الطبيعي في الكثير من الدول الأعضاء من جهة، وللفوائد الناجمة عن استهلاكه من جهة أخرى، فقد لجأت الدول الأعضاء إلى الحد من كميات الغاز التي كانت تهدر حرقاً بسبب تدني الأسعار في الأسواق العالمية، الأمر الذي أتاح كميات من الغاز الطبيعي للاستهلاك المحلي سواء كلقيم في صناعة البتروكيماويات أو كوقود في محطات الكهرباء، فتزايد الطلب المحلي على استهلاك هذا المصدر الذي واصل مسيرته في قيادة النمو في استهلاك الطاقة بمعدلات تراوحت بين 4.2% إلى 5.8% خلال الفترة (1990-2010)، ليصطف بمحاذاة النفط – المصدر الأول للطاقة بالدول الأعضاء- متجاوزاً مستوى 5.3 مليون ب م ن/ي عام 2010،

ثم خفت وثيرة النمو خلال الفترة (2010 – 2016) إلى نحو 3.6% ولكنها لا تزال أعلى من معدل النمو في استهلاك النفط مما أدي إلى تجاوز حجم استهلاك الغاز الطبيعي لحجم استهلاك النفط فتصدر الغاز الطبيعي المصادر الأولية للطاقة في الدول الأعضاء متجاوزاً حاجز 6.6 مليون ب م ن/ي عام 2016، كما هو موضح بالشكل (13):

الشكل(13)

تطور استهلاك الغاز الطبيعي في الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة 1980 – 2016



المصدر/ الجدول (3) في الملحق

يذكر أن نحو ثلاثة أرباع اجمالي استهلاك الغاز الطبيعي بالدول الأعضاء يتركز في أربع دول هي بالترتيب، السعودية والإمارات ومصر والجزائر، حيث استأثرت السعودية على أكثر من ربع اجمالي استهلاك الغاز الطبيعي بالدول الأعضاء عام 2016 بحصة بلغت 29%، وإجمالي استهلاك تجاوز 1.9 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم، وحلت الإمارات في المرتبة الثانية بحصة بلغت 20% وإجمالي استهلاك بلغ حوالي 1.3 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم، ثم مصر والجزائر بحصة 13% و 11% على التوالي، وإجمالي استهلاك بلغ حوالي 885 ألف برميل مكافئ نفط/اليوم لمصر، و715 ألف برميل مكافئ نفط/اليوم للجزائر، ويوضح الجدول (7)

والشكل (14) حجم استهلاك الغاز الطبيعي في الدول الأعضاء لعام 2016 وحصة كل دولة من الإجمالي:

الجدول (7)

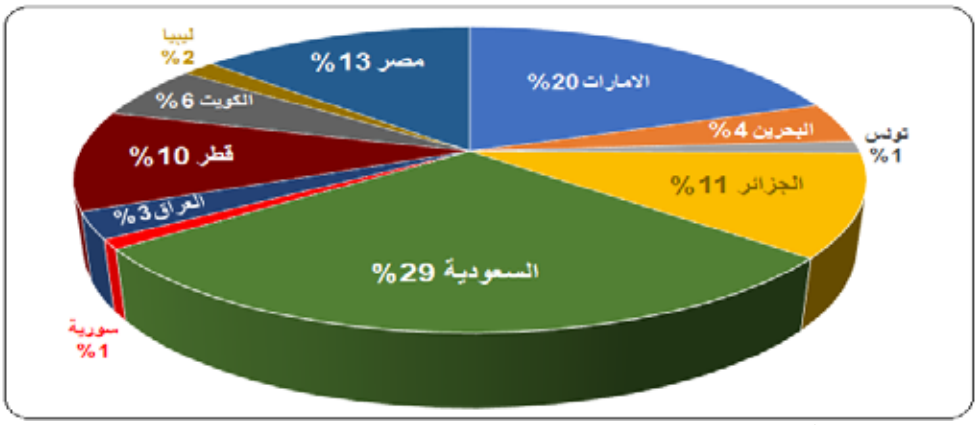
استهلاك الغاز الطبيعي في الدول الأعضاء خلال عام 2016

(ألف برميل مكافئ نفط/اليوم)

الامارات	البحرين	تونس	الجزائر	السعودية	سورية	العراق	قطر	الكويت	ليبيا	مصر
1298.7	278.0	89.0	714.8	1910.4	67.1	188.6	697.5	372.3	106.5	884.9

الشكل(14)

حصة كل دولة من اجمالي استهلاك الغاز الطبيعي في الدول الأعضاء، %



المصدر/ الجدول (3) في الملحق

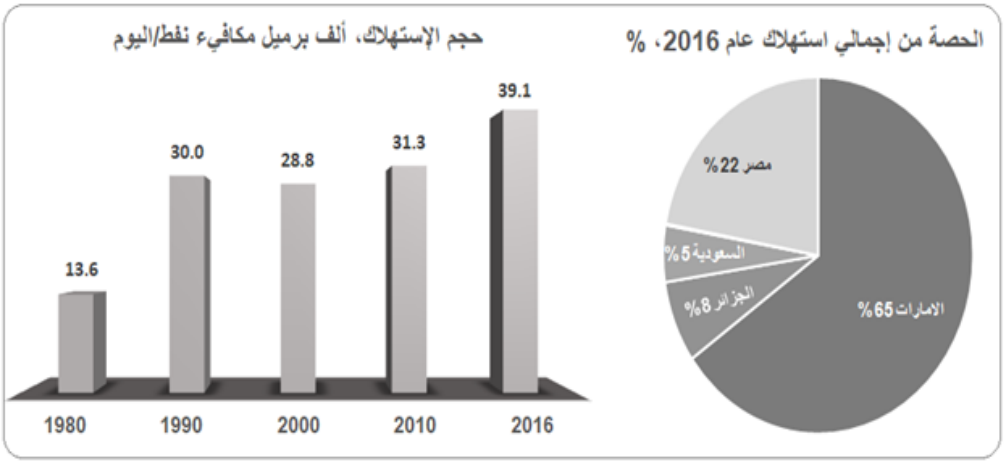
3. استهلاك المصادر الأخرى

لم تشكل مساهمة الطاقات الأخرى (وتشمل الفحم والطاقات المتجددة) في إجمالي الطاقة المستخدمة في الدول الأعضاء أكثر من 1.9% عام 2016 مقارنة بمساهمة بلغت 2.9% في عام 1980. وسجل إجمالي استهلاك الفحم في الدول الأعضاء في أوابك نمواً بمعدل 3% خلال الفترة (1980-2016)، ليرتفع إجمالي استهلاكه من 13.6 ألف برميل مكافئ نفط/اليوم خلال

عام 1980 إلى نحو 39.1 ألف برميل مكافئ نفط/اليوم خلال عام 2016، ولم تشكل مساهمة حصته من مزيج الطاقة المستهلك في الدول الأعضاء سوى نسبة 0.3% عام 2016.

ويتركز استهلاك الفحم في الدول الأعضاء بصورة أساسية في الإمارات ومصر وبدرجة أقل في الجزائر والسعودية، حيث بلغ استهلاك الإمارات من الفحم عام 2016 حوالي 25.5 ألف برميل مكافئ نفط/اليوم، لتبلغ حصتها نحو 65% من إجمالي استهلاك الدول الأعضاء، بينما بلغ استهلاك مصر من الفحم عام 2016 حوالي 8.6 ألف برميل مكافئ نفط/اليوم، لتبلغ حصتها نحو 22%، في حين بلغت حصة الجزائر والسعودية نحو 8% و5% من إجمالي استهلاك الفحم في الدول الأعضاء على التوالي، كما هو موضح بالشكل (15):

الشكل(15)
تطور استهلاك الفحم في الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة 1980 – 2016



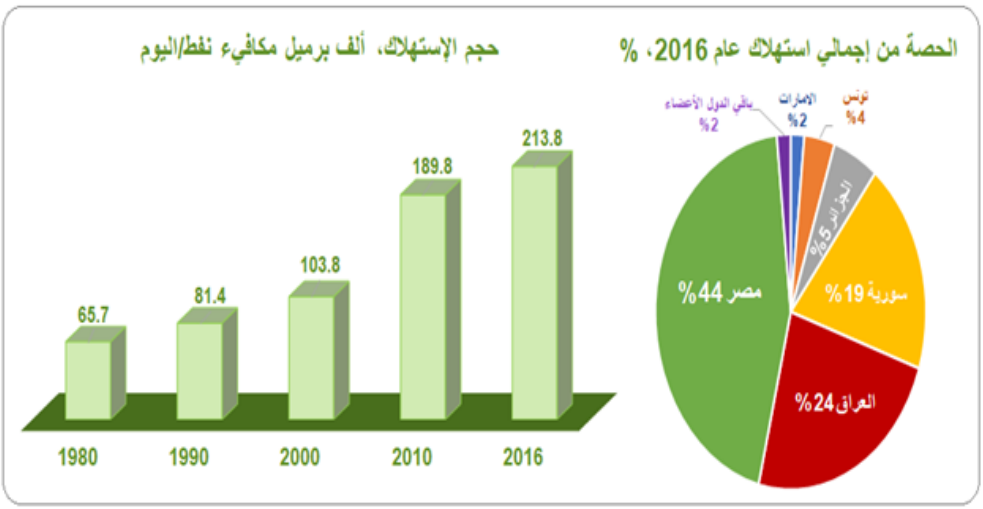
المصدر/ الجدول (4) في الملحق

وسجل استهلاك مصادر الطاقات المتجددة في الدول الأعضاء في أوابك نمواً بمعدل 3.3% خلال الفترة (1980-2016)، ليرتفع إجمالي استهلاكها من 65.7 ألف برميل مكافئ نفط/اليوم خلال عام 1980 إلى نحو 214 ألف برميل مكافئ نفط/اليوم خلال عام 2016، لتبلغ

حصتها حوالي 1.6% في مزيج الطاقة المستهلك في الدول الأعضاء عام 2016. ويتركز استهلاك مصادر الطاقة المتجددة في الدول الأعضاء بصورة أساسية في الدول التي تمتلك موارد الطاقة الكهرومائية التي تشكل السواد الأعظم من مصادر الطاقة المتجددة المستهلكة في الدول الأعضاء، وفي مقدمتها مصر والعراق وسوريا، التي استأثرت مجتمعة بحصة 87% من إجمالي استهلاك الدول الأعضاء من مصادر الطاقة المتجددة عام 2016، حيث بلغ استهلاك مصر حوالي 95.2 ألف برميل مكافئ نفط/اليوم، لتبلغ حصتها 44% من إجمالي استهلاك الدول الأعضاء من مصادر الطاقة المتجددة عام 2016، بينما بلغ استهلاك العراق حوالي 50.6 ألف برميل مكافئ نفط/اليوم، لتبلغ حصتها 24%، في حين يقدر استهلاك سوريا بحوالي 41.5 ألف برميل مكافئ نفط/اليوم، لتبلغ حصتها 19%. كما يتركز استهلاك مصادر الطاقة المتجددة في الدول الأعضاء بدرجة أقل في الجزائر وتونس والامارات، التي استأثرت مجتمعة بحصة 11% من إجمالي استهلاك الدول الأعضاء من مصادر الطاقة المتجددة عام 2016، كما هو موضح بالشكل (16):

الشكل(16)

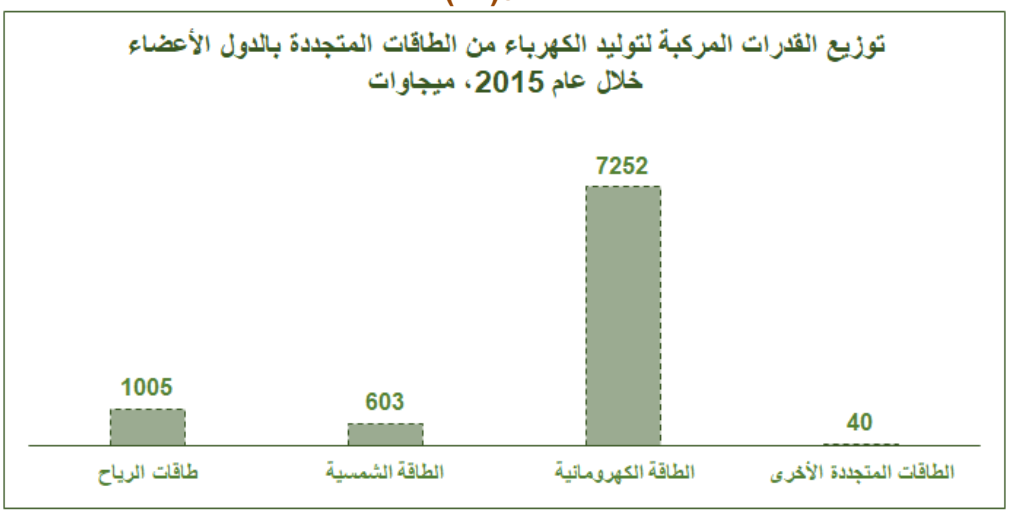
تطور استهلاك مصادر الطاقة المتجددة في الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة 1980 – 2016



المصدر/ الجدول (5) في الملحق

وتمتلك الدول الأعضاء موارد وفيرة من مصادر الطاقات الشمسية والرياح، لا يمثل الجزء المستغل منها حصة تذكر أمام الامكانات الضخمة، وتشكل الطاقة الكهرومائية السواد الأعظم من مصادر الطاقة المتجددة المستهلكة في الدول الأعضاء، ويرجع تواضع مساهمة الطاقات الشمسية والرياح في مزيج الطاقة بالدول الأعضاء بشكل أساسي إلى عامل الكلفة الاقتصادية بالمقارنة مع الوقود البترولي المتوفر بأسعار مدعومة، والتكاليف الاستثمارية العالية نسبياً لتقنيات الطاقات الشمسية والرياح المتوفرة، حيث تعتمد فرص هذه التقنيات النظيفة والمتطورة على التكلفة الاقتصادية لها والفرص التي ستجعلها تتقدم عالمياً وفي الدول الأعضاء، ويوضح الشكل (17) توزيع القدرات المركبة لتوليد الكهرباء من الطاقات المتجددة بالدول الأعضاء خلال عام 2015:

الشكل(17)



المصدر: Renewable Energy in the Arab Region: Overview of developments, IRENA & RECREEE & League of Arab States, 2016

وبالنسبة للطاقة الحيوية، فبالرغم من جهود بعض الدول الأعضاء في مشاريع إعادة تدوير النفايات التي يلقى جزء كبير منها في مناطق مخصصة (مكبات)، لا زالت جهود إنشاء محطات تحويل نفايات إلى طاقة في طور الأفكار التي تطرح من حين لآخر كحلول لتقليل عدد

المكبات ومشاكلها المتعلقة بالتلوث الأرضي والهوائي. ولا تتوفر الطاقة النووية في الدول الأعضاء حتى الوقت الحاضر، ولكنها بعضها يسعى لإضافة الطاقة النووية في مزيج الطاقة لديها خلال السنوات القادمة، ولدى دولة الإمارات العربية عدد أربعة مفاعلات تحت الإنجاز لمحطات توليد الكهرباء باستخدام الطاقة النووية يتوقع أن يدخل أولها العمل خلال سنة 2018.

ثالثاً: كثافة استهلاك الطاقة الأولية ومعدل استهلاك الفرد في الدول الأعضاء

1. مؤشر كثافة الطاقة الأولية

من المؤشرات الهامة المستخدمة في قياس كفاءة ترشيد الطاقة في جميع الدول هو مؤشر كثافة الطاقة الأولية Primary Energy Intensity (PEI)، ويقصد بكثافة الطاقة الأولية إجمالي استهلاك الطاقة الأولية بالنسبة لإجمالي الناتج المحلى للدولة، ويعبر مؤشر كثافة الطاقة الأولية عن إجمالي استهلاك الطاقة لكل ألف دولار من إجمالي الناتج المحلى، ويدل انخفاض هذا المؤشر على الجودة في كفاءة ترشيد استهلاك الطاقة.

والجدير بالذكر أن الدول العربية بشكل عام والدول الأعضاء بشكل خاص، قد أولت اهتماماً متزايداً لمجال تحسين كفاءة الطاقة وترشيد استهلاكها من خلال وضع مجموعة من البرامج والاستراتيجيات المستقبلية، غير أن تسارع النمو في اجمالي استهلاك الطاقة بالدول الأعضاء خلال الفترة (1980 - 2016) بوثيرة تجاوزت النمو في الناتج المحلى الإجمالي المقاس بتعادل القوة الشرائية، أدى إلى ارتفاع ملحوظ في مؤشر كثافة الطاقة الأولية بمجموعة الدول الأعضاء من 0.5 برميل مكافئ نفط / ألف دولار في عام 1980 إلى 0.9 برميل مكافئ نفط / ألف دولار في عام 2016.

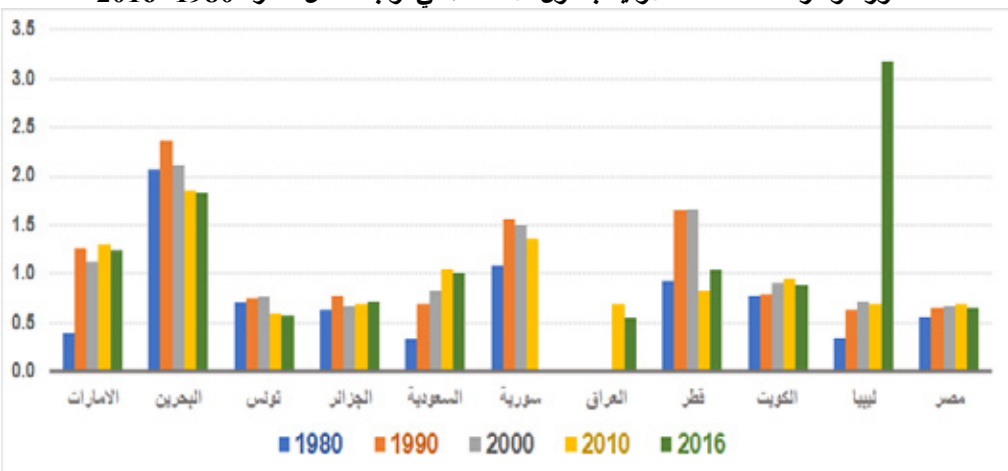
وقد ارتفع مؤشر كثافة الطاقة الأولية بأغلب الدول الأعضاء بمعدلات متفاوتة، باستثناء البحرين وتونس التي شهدت مؤشرات كثافة الطاقة الأولية بها انخفاضاً خلال الفترة (1980-

2016)، في حين قفز مؤشر كثافة الطاقة الأولية في ليبيا من 0.7 برميل مكافئ نفط / ألف دولار في عام 2010 إلى 3.2 برميل مكافئ نفط / ألف دولار في عام 2016، بسبب الانخفاض الحاد في إجمالي الناتج المحلي الليبي خلال هذه الفترة نظراً للأحداث التي تمر بها البلاد، كما هو موضح بالجدول (8) الشكل (18):

الجدول (8)
تطور مؤشر كثافة الطاقة الأولية بالدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة 1980 -2016 برميل مكافئ نفط/ ألف دولار من الناتج المحلي الإجمالي[2]

	الامارات	البحرين	تونس	الجزائر	السعودية	سورية	العراق	قطر	الكويت	ليبيا	مصر	أوابك
1980	0.4	2.1	0.7	0.6	0.3	1.1	NA	0.9	0.8	0.3	0.6	**0.5**
1990	1.3	2.4	0.8	0.8	0.7	1.6	NA	1.7	0.8	0.6	0.6	**0.8**
2000	1.1	2.1	0.8	0.7	0.8	1.5	NA	1.7	0.9	0.7	0.7	**0.9**
2010	1.3	1.9	0.6	0.7	1.1	1.4	0.7	0.8	1.0	0.7	0.7	**0.9**
2016	**1.2**	**1.8**	**0.6**	**0.7**	**1.0**	**NA**	**0.5**	**1.0**	**0.9**	**3.2**	**0.6**	**0.9**

الشكل(18)
تطور مؤشر كثافة الطاقة الأولية بالدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة 1980 -2016

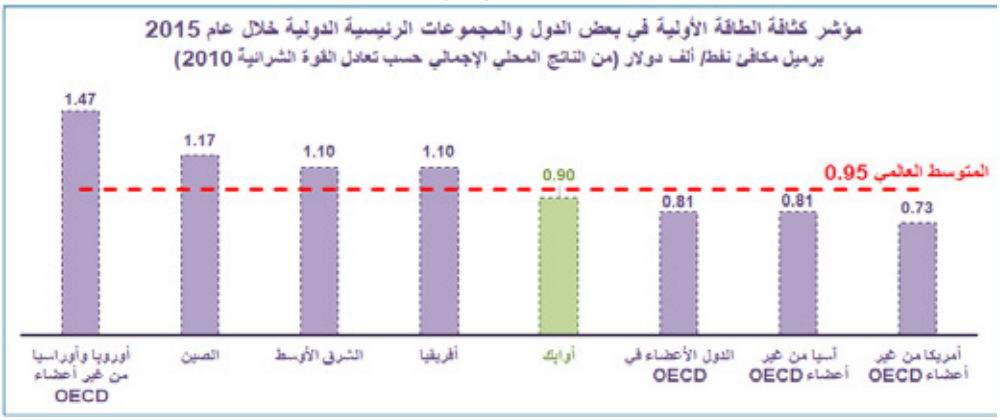


المصدر: مشتق عن بيانات الجدول (1) في الملحق، وبيانات الناتج المحلي الإجمالي حسب تعادل القوة الشرائية من قاعدة بيانات تقرير آفاق الاقتصاد العالمي، صندوق النقد الدولي، يناير 2018

[2] تم حساب مؤشر كثافة الطاقة الأولية للناتج المحلي الإجمالي حسب تعادل القوة الشرائية (GDP PPP) لأنه أكثر أهمية ودقة حساب مؤشر كثافة الطاقة الأولية للناتج المحلي الإجمالي بأسعار الصرف السائدة في مقارنة استهلاك الطاقة بالنسبة إلى المستوى الحقيقي للنشاط الاقتصادي وأساليب الحياة (WEC: World Energy Perspectives, Energy efficiency policies /2016) ، (IEEJ: Energy Intensity of GDP as Index of Energy Conservation, Shigeru Suehiro, August 2007)

وعند المقارنة مع المجموعات الدولية الأخرى في العالم، نلاحظ أن مجموعة الدول الأعضاء تتوسط المجموعات الدولية الرئيسية في العالم في مؤشر كثافة الطاقة الأولية، فبينما قلَّ مؤشر كثافة الطاقة الأولية بمجموعة الدول الأعضاء لعام 2015 عن نظيره في مجموعة دول أوروبا وأوروواسيا من غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD والصين ومجموعة بلدان الشرق الأوسط ومجموعة دول أفريقيا وهي المجموعات التي ارتفع فيها المؤشر عن المتوسط العالمي لعام 2015 والمقدر بنحو 0.95 برميل مكافئ نفط / ألف دولار، جاء مؤشر كثافة الطاقة الأولية بمجموعة الدول الأعضاء لعام 2015 دون المتوسط العالمي و لكنه ظل مرتفعاً عن نظيره في المجموعات الدولية الرئيسية الأخرى مثل مجموعة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD و مجموعتي دول آسيا وأمريكا من غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD، كما هو موضح بالشكل (19):

الشكل(19)

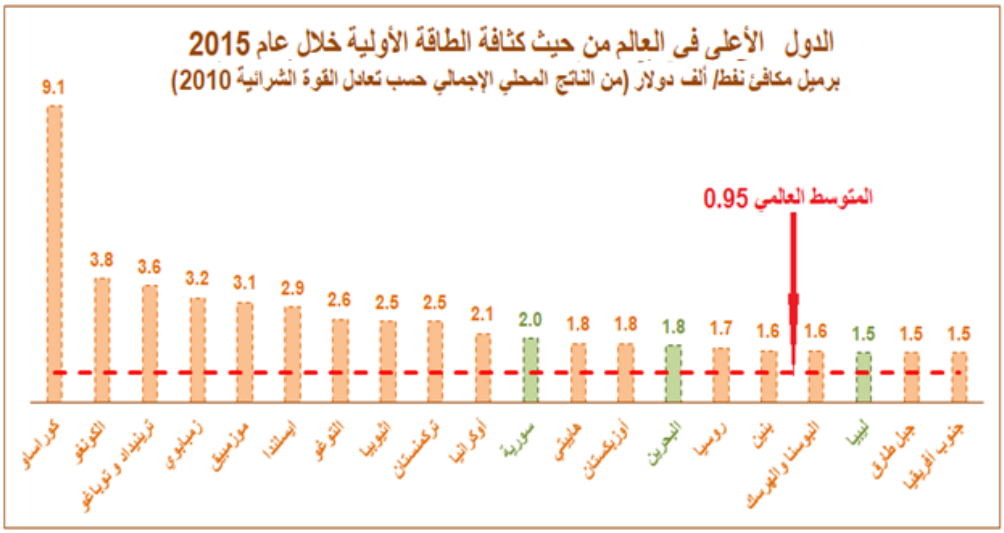


المصدر: مشتق عن بيانات الجدول (1) في الملحق وبيانات الناتج المحلي الإجمالي حسب تعادل القوة الشرائية من قاعدة بيانات مؤشرات التنمية العالمية، البنك الدولي، يناير 2018 بالنسبة لمجموعة أوابك، IEA, Key world energy statistics 2017 بالنسبة للمجموعات الدولية الأخرى

وعلى صعيد الدول فرادي، جاءت ثلاث دول أعضاء في أوابك من ضمن قائمة الدول العشرين الأعلى في العالم من حيث كثافة الطاقة الأولية خلال عام 2015 بالنسبة للناتج المحلي الإجمالي حسب تعادل القوة الشرائية لعام 2010، وهي سورية والبحرين وليبيا. والجدير

بالإشارة أن ارتفاع مؤشر كثافة الطاقة الأولية بالنسبة للناتج المحلي الإجمالي لعام 2015 لسوريا وليبيا كان نتيجة مباشرة للتراجع الكبير الذي شهده الناتج المحلي الإجمالي لهاتين الدولتين خلال السنوات الأخيرة نتيجة للظروف التي تمر بها هاتين الدولتين، مما انعكس في ارتفاع مؤشر كثافة الطاقة الأولية بالنسبة للناتج المحلي الإجمالي خلال السنوات الأخيرة، ويوضح الشكل (20) الدول العشرين الأعلى في العالم من حيث كثافة الطاقة الأولية خلال عام 2015 بالنسبة للناتج المحلي الإجمالي حسب تعادل القوة الشرائية لعام 2010:

الشكل(20)



المصدر: IEA, Key world energy statistics 2017

2. متوسط استهلاك الفرد من مصادر الطاقة الأولية

انعكس ارتفاع استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء في أوابك على متوسط استهلاك الفرد منها خلال الفترة (1980 - 2016)، حيث شهد متوسط استهلاك الفرد من مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء ارتفاعاً من 9.5 برميل مكافئ نفط في عام 1980 إلى 19.6 برميل مكافئ نفط في عام 2016، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 2%.

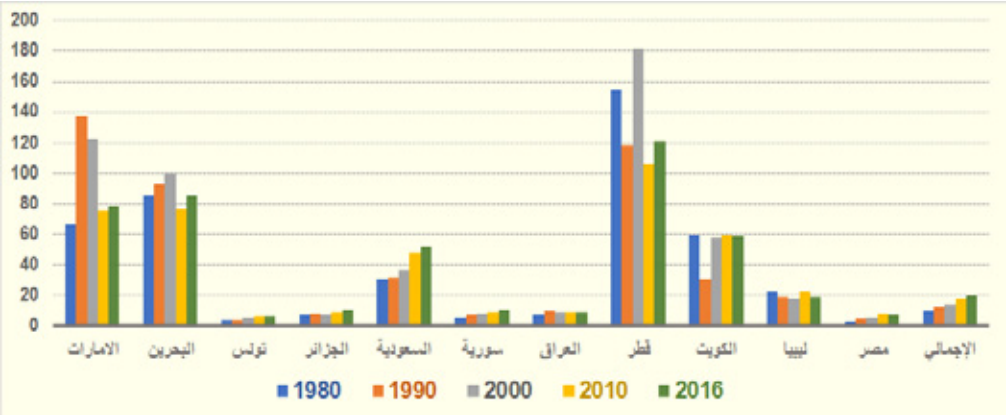
يذكر أن معدلات نمو متوسط استهلاك الفرد من الطاقة تتباين من دولة لأخرى، حيث ارتفع متوسط استهلاك الفرد من الطاقة في السعودية بنسبة 73.4% خلال الفترة (1980 – 2016) أي من حوالي 30.1 برميل مكافئ نفط في عام 1980 إلى 52.2 برميل مكافئ نفط في عام 2016، بينما تراجع متوسط استهلاك الفرد من الطاقة في دولة قطر بنسبة 21.6% خلال الفترة (1980 – 2016) أي من حوالي 154.6 برميل مكافئ نفط في عام 1980 إلى 121.2 برميل مكافئ نفط في عام 2016.

ويبرز تأثير اختلاف الهياكل الاقتصادية بين الدول الأعضاء، واختلاف توزيع مصادر الطاقة المتاحة من دولة إلى أخرى في التباين الكبير بين معدلات استهلاك الفرد من الطاقة من دولة لأخرى، حيث انخفض متوسط استهلاك الفرد من الطاقة عام 2016 عن 20 برميل مكافئ نفط في كل من تونس والجزائر وليبيا ومصر والعراق وسورية، في حين تجاوز متوسط استهلاك الفرد من الطاقة 50 برميل مكافئ نفط في كل السعودية والكويت والإمارات والبحرين، وبلغ 121.2 برميل مكافئ نفط في قطر، كما هو موضح بالجدول (9) والشكل (21):

الجدول (9)
تطور متوسط استهلاك الفرد من الطاقة الأولية بالدول الأعضاء في أوابك
خلال الفترة 1980 -2016، برميل مكافئ نفط

	الامارات	البحرين	تونس	الجزائر	السعودية	سورية	العراق	قطر	الكويت	ليبيا	مصر	الإجمالي
1980	66.2	85.0	3.5	6.9	30.1	5.3	7.4	154.6	59.5	22.2	3.0	9.5
1990	137.2	92.9	4.2	8.3	31.4	6.9	9.6	118.4	30.1	18.4	4.4	12.2
2000	122.4	99.1	5.8	6.9	36.1	8.2	8.5	181.6	58.2	17.9	5.6	13.9
2010	75.3	75.9	6.3	8.9	47.5	8.9	8.7	106.4	59.2	22.1	7.6	17.7
2016	78.8	85.6	6.2	10.1	52.2	10.3	8.7	121.2	59.0	18.5	7.5	19.6

الشكل(21)
تطور متوسط استهلاك الفرد من الطاقة الأولية بالدول الأعضاء في أوابك
خلال الفترة 1980 -2016، برميل مكافئ نفط

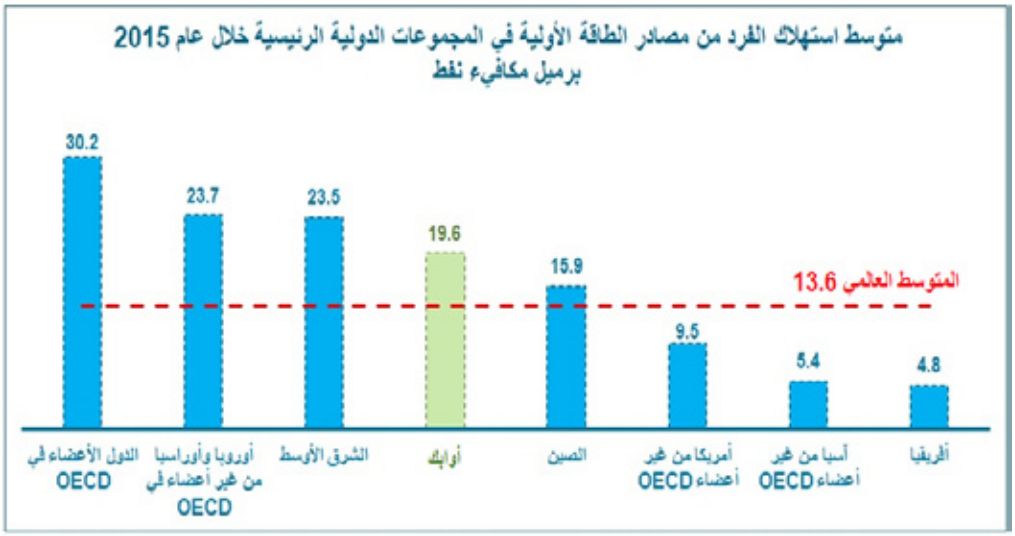


المصدر: مشتق عن بيانات الجدول (1) في الملحق، وبيانات عدد السكان من قاعدة بيانات تقرير آفاق الاقتصاد العالمي، صندوق النقد الدولي، أكتوبر 2017.

وعند المقارنة مع المجموعات الدولية الأخرى في العالم، نلاحظ أن مجموعة الدول الأعضاء تتوسط المجموعات الدولية الرئيسية في العالم في متوسط استهلاك الفرد من مصادر الطاقة الأولية، فبينما قلَّ متوسط استهلاك الفرد بمجموعة الدول الأعضاء لعام 2015 عن نظيره في مجموعة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD و مجموعة دول أوروبا وأوروآسيا من غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD، ومجموعة بلدان الشرق الأوسط، ارتفع متوسط استهلاك الفرد من مصادر الطاقة الأولية بمجموعة الدول الأعضاء لعام 2015 عن نظيره في الصين ومجموعتي دول أمريكا

وآسيا من غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD، ومجموعة دول أفريقيا، كما ظل متوسط استهلاك الفرد بمجموعة الدول الأعضاء أعلى المتوسط العالمي المقدر بنحو 13.6 برميل مكافئ نفط في عام 2015، هو موضح بالشكل (22):

الشكل(22)

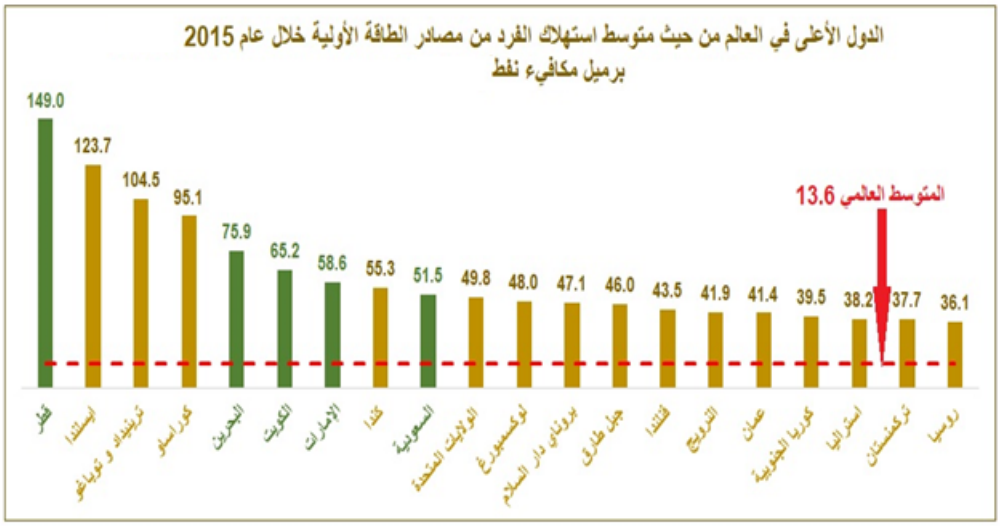


المصدر: مشتق عن بيانات الجدولين (1& 8) في الملحق، IEA, Key world energy statistics 2017

وعلى صعيد الدول فرادى، جاءت خمس دول أعضاء في أوابك من ضمن قائمة الدول العشرين الأعلى في العالم من حيث متوسط استهلاك الفرد من مصادر الطاقة الأولية خلال عام 2015، وهي قطر والبحرين والكويت والإمارات والسعودية. حيث تصدرت قطر قائمة دول العالم من حيث متوسط استهلاك الفرد من مصادر الطاقة الأولية خلال عام 2015 بمتوسط بلغ 149 برميل مكافئ نفط، وجاءت البحرين والكويت والإمارات والسعودية في مراكز متقدمة ضمن الدول العشر الأعلى في متوسط استهلاك الفرد من مصادر الطاقة الأولية خلال عام 2015. الجدير بالذكر أن سياسات الدعم وتسعير الطاقة في السوق المحلية لعبت دوراً هاماً في ارتفاع متوسط استهلاك الفرد من الطاقة في الدول الأعضاء، حيث تنخفض الأسعار المحلية للطاقة في الدول الأعضاء نظراً لتوفر مصادرها من جهة، ولسياسات الدول الأعضاء الهادفة

إلى تعزيز التنمية الاقتصادية، ويوضح الشكل (23) الدول العشرين الأعلى في العالم من حيث متوسط استهلاك الفرد من مصادر الطاقة الأولية خلال عام 2015:

الشكل(23)



المصدر: IEA, Key world energy statistics 2017

رابعاً: العوامل الرئيسية المؤثرة على استهلاك الطاقة الأولية في الدول الأعضاء

يتأثر استهلاك الطاقة بكل دولة عموماً بعدد من المتغيرات الاقتصادية والسكانية والاجتماعية، بالإضافة إلى الدور الذي تلعبه الأسعار المحلية للوقود ومدى توافر مصادر الطاقة في هذه الدولة، كما أن لاختلاف الهياكل الاقتصادية من دولة لأخرى دوراً مهماً في تحديد أنماط استهلاك الطاقة وتطورها، حيث كان لإقامة المصانع كثيفة الاستخدام للطاقة حصة لا يمكن إغفالها في تطور استهلاك الطاقة ببعض الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة (1980 – 2016). ويعد النمو السكاني والنمو الاقتصادي وهيكل الأسعار المحلية للوقود، من العوامل الرئيسية المؤثرة على استهلاك الطاقة الأولية في الدول الأعضاء في أوابك، وفيما يلي استعراض لتأثير كل عامل من تلك العوامل على استهلاك الطاقة الأولية:

1. النمو السكاني

تعرف العلاقة بين الزيادة السكانية واستهلاك الطاقة بأنها علاقة طردية، إذ تؤدى الزيادة في عدد السكان في العادة إلى ارتفاع الطلب على الطاقة سواء بصورة مباشرة أو غير مباشرة .فمن ناحية يؤدي إلى زيادة الطلب على الطاقة لأغراض مثل الإنارة والتدفئة والنقل ولا سيما مع التوسع العمراني وارتفاع معدلات النمو الحضري، ومن ناحية أخرى يعمل النمو السكاني على زيادة الطلب على السلع والخدمات التي يتطلب إنتاجها استخدام مصادر مختلفة من الطاقة، مثل السلع الزراعية والسلع المصنعة والكهرباء والاتصالات وما شابه ذلك.

وشهدت الدول الأعضاء نمواً كبيراً في عدد السكان خلال الفترة (1980 - 2016)، حيث ارتفع من 103.7 مليون نسمة في عام 1980 إلى 244.5 مليون نسمة في عام 2016، ليشكل ارتفاعاً بنسبة 135.8%، وفي المقابل ارتفع إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية من 2.7 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم في عام 1980 إلى حوالي 13.2 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم في عام 2016، ليشكل بذلك ارتفاعاً بأكثر من ثلاثة أضعاف حجمه، كما هو موضح بالجدول (10):

الجدول (10)
إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية وعدد السكان في الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة 1980 – 2016

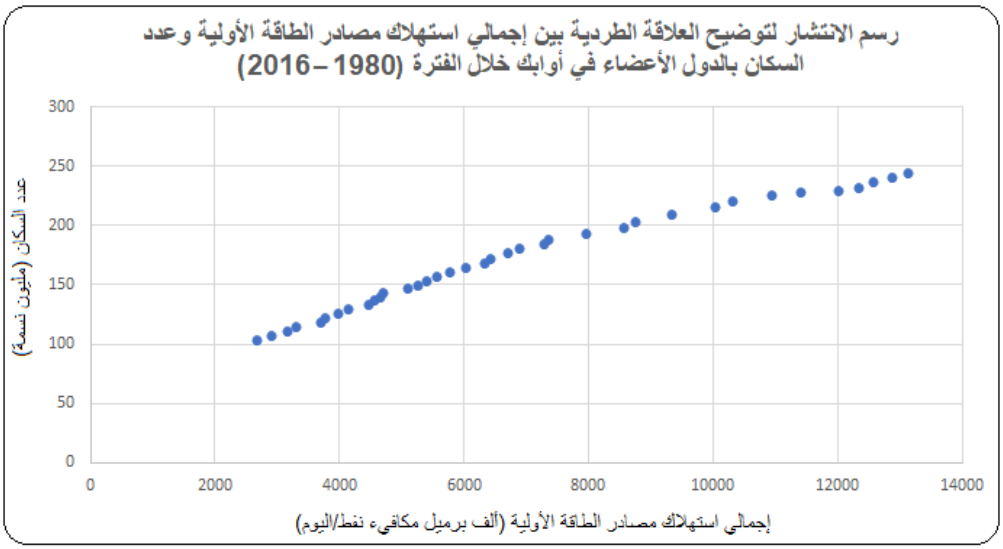
	1980	1990	2000	2010	2016	معدل النمو المركب (1980 – 2016)
إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية (مليون برميل مكافئ نفط/اليوم)	2.7	4.7	6.7	11.0	13.2	4.5%
عدد السكان (مليون نسمة)	103.7	139.7	176.5	226.0	244.5	2.4%

المصدر: الجدولين (1 & 8) في الملحق

كما تشير البيانات إلى أن معدل النمو المركب لإجمالي سكان الدول الأعضاء في أوابك بلغ نحو 2.4% خلال الفترة (1980-2016)، بينما بلغ معدل النمو المركب لإجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية نحو 4.5% خلال هذه الفترة، أي أن مرونة الطلب على مصادر الطاقة الأولية إلى عدد السكان بالدول الأعضاء تبلغ نحو 1.9%، وهو ما يعنى أن نمو السكان بمعدل

1% يؤدى إلى نمو اجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بمعدل 1.9%، وهو ما يعنى وجود علاقة طردية (موجبة) بين إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية وعدد السكان في الدول الأعضاء، يؤكد على وجودها الشكل (24):

الشكل(24)



المصدر: الجدولين (1 & 8) في الملحق.

2. النمو الاقتصادي

تعرف العلاقة بين النمو الاقتصادي والناتج المحلي الإجمالي من جهة، واستهلاك الطاقة من جهة أخرى بأنها علاقة طردية، فزيادة الناتج المحلي الإجمالي تؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة بشكل عام وذلك في ظل عدم التغير في الهيكل الاقتصادي، وكثافة استهلاك الطاقة، ودرجة الإشباع في استهلاك القطاعات الاقتصادية المختلفة، والأسعار وسياسات ترشيد الطاقة. وبالتالي فإن ارتفاع الناتج المحلى الإجمالي يؤدى إلى ارتفاع استهلاك الطاقة بافتراض ثبات العوامل الأخرى.

وشهدت الدول الأعضاء نمواً كبيراً في الناتج المحلي الإجمالي خلال الفترة (1980 - 2016)، حيث ارتفع الناتج المحلي الإجمالي حسب تعادل القوة الشرائية بأسعار 2011 لمجموعة الدول الأعضاء من حوالي 1.9 تريليون دولار في عام 1980 إلى 5.3 تريليون دولار في عام 2016، ليشكل ارتفاعاً بما يقارب ضعفي حجمه، بينما قفز إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية من 2.7 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم في عام 1980 إلى حوالي 13.2 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم في عام 2016، ليشكل ارتفاعاً بأكثر من ثلاثة أضعاف حجمه، كما هو موضح بالجدول (11):

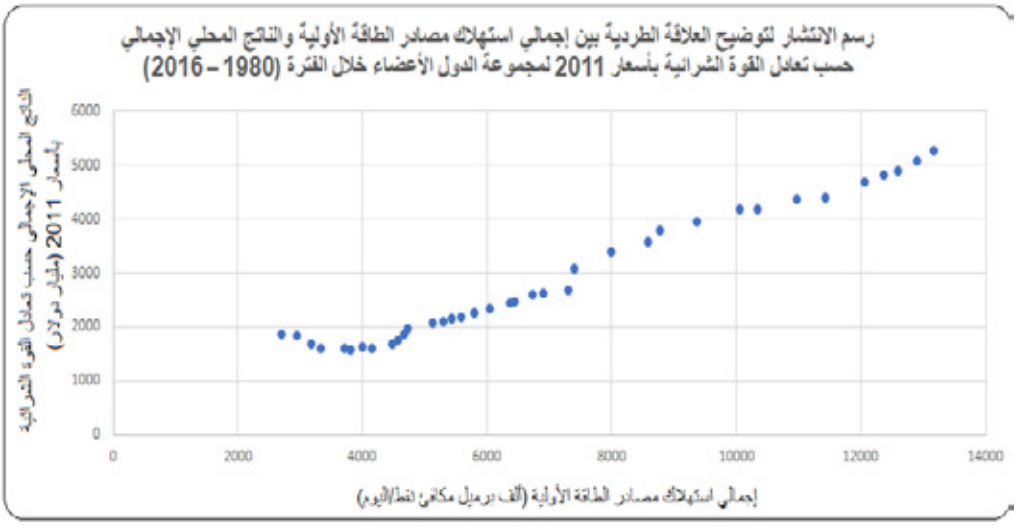
الجدول (11)
إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية والناتج المحلي الإجمالي في الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة 1980 – 2016

	1980	1990	2000	2010	2016	معدل النمو المركب (1980 – 2016)
إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية (مليون برميل مكافئ نفط/اليوم)	2.7	4.7	6.7	11.0	13.2	4.5%
الناتج المحلي الإجمالي PPP، بأسعار 2011، تريليون دولار	1.9	1.9	2.6	4.4	5.3	2.9%

المصدر: بيانات استهلاك الطاقة من الجدول (1) في الملحق، وبيانات الناتج المحلي الإجمالي حسب تعادل القوة الشرائية من قاعدة بيانات تقرير آفاق الاقتصاد العالمي، صندوق النقد الدولي، يناير 2018

كما تشير البيانات إلى أن معدل النمو المركب في الناتج المحلي الإجمالي حسب تعادل القوة الشرائية بأسعار 2011 لمجموعة الدول الأعضاء بلغ نحو 2.9% خلال الفترة (1980 - 2016)، أي أن نمو الناتج المحلي الإجمالي بمعدل 1% يؤدى إلى نمو اجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بمعدل 1.6%، وهو ما يعنى وجود علاقة طردية (موجبة) بين الناتج المحلي الإجمالي وإجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية، وما يؤكد على وجودها الشكل (25):

الشكل(25)



المصدر: بيانات استهلاك الطاقة من الجدول (1) في الملحق، وبيانات الناتج المحلي الإجمالي حسب تعادل القوة الشرائية من قاعدة بيانات تقرير آفاق الاقتصاد العالمي، صندوق النقد الدولي، يناير 2018

3. الأسعار المحلية للوقود

تعرف العلاقة بين الأسعار المحلية لمصادر الطاقة واستهلاكها بأنها علاقة عكسية وذلك بافتراض ثبات العوامل الأخرى (الاقتصادية والسياسية والاجتماعية) التي ترتبط بسياسات تسعير مصادر الطاقة، فارتفاع أسعار مصادر الطاقة يؤدى إلى ارتفاع تكلفة استخدامها وبالتالي انخفاض الطلب عليها.

ويتميز متغير السعر من الناحية النظرية بضعفه تأثيره في المدى القصير، لانخفاض مرونة الطلب السعرية للطاقة حالة كونها من السلع الضرورية التي لا يمكن للمستهلك التنازل عنها أو تغيير نمط استهلاكه لها، وخاصة في المدى القصير للاعتماد الكبير عليها في كل القطاعات الخدمية والإنتاجية، إلا أن الأسعار تؤثر حتما على نمط الاستهلاك في المدى الطويل. والجدير بالذكر أن أغلب الدول الأعضاء في منظمة أوابك تدعم أسعار الطاقة بهدف مساعدة قطاعات المجتمع من ذوي الدخل المحدود بغرض تحقيق التكافؤ الاجتماعي، والمساعدة في

توسعة القطاع الصناعي لتحقيق معدلات أعلى من النمو الاقتصادي. فالوقود يباع بسعر أقل من السعر المرجعي في الأسواق العالمية، وهو ما يضعف تأثير الأسعار على الاستهلاك بالرغم من وجود العلاقة العكسية بين متغير السعر وحجم الاستهلاك.

وتتباين اتجاهات الأسعار المحلية للطاقة من دولة لأخرى ومن مصدر لأخر وفقاً للسياسات الاقتصادية وهيكل الاقتصاد المحلى السائد إضافة إلى مدى توافر مصادر الطاقة، مما يجعل من الصعوبة بمكان التوصل إلى تقييم عام موحد لسياسات تسعير الطاقة، والذي يعد حالياً الأمر أكثر إلحاحاً ضمن السياق العام لدعم الطاقة المنتشر في جميع انحاء العالم والذي يكلف مبالغ طائلة ويعيق مبادرات رفع كفاءة استهلاك الطاقة وترشيد استخدامها.

إن سياسات دعم أسعار الوقود وبيعه بسعر أقل من السعر المرجعي في الأسواق العالمية، أي دون فرض ضرائب عليه، أدى إلى تشجيع الإسراف في استهلاك الوقود الذي ترتب عليه عدة نتائج سلبية على رأسها النقص في كفاءة استخدام الطاقة، وكانت من الأسباب المباشرة في تقليل تنافسية الطاقة المتجددة التي تمتلك الدول الأعضاء مصادر وفيرة منها، كما ساهمت سياسات الدعم في عجز الموازنة العامة في بعض الدول الأعضاء المستوردة للوقود والتي تواجه صعوبات في تعاملها مع تقلبات الأسعار العالمية الدولية، وهو الأمر الذي لا يمكن تحمله في المستقبل، ويعتبر تعديل تلك السياسات المدخل الرئيسي لإحداث الترشيد المطلوب.

وتعد أسعار المنتجات النفطية والغاز الطبيعي في الأسواق المحلية بالدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك) منخفضة بشكل كبير، إذا ما قورنت بنظيراتها على المستوى العالمي، فلقد جاءت سبع دول أعضاء في أوابك، وهي بالترتيب ليبيا والسعودية والكويت والبحرين وقطر والجزائر والعراق ضمن الدول العشر الأقل أسعاراً للغازولين في أسواقها المحلية، ولم يتجاوز متوسط الأسعار المحلية للغازولين بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك عام 2014 ما نسبته 44.3% من متوسط الأسعار المحلية للغازولين في

أمريكا الشمالية (أقل متوسطات المجموعات الدولية الأخرى في العالم)، ولم تتجاوز الزيادة في متوسط الأسعار المحلية للغازولين بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة (1998-2014) نصف الزيادة في متوسط الأسعار المحلية للغازولين في أمريكا الشمالية (أقل المجموعات الدولية الأخرى في العالم زيادة في متوسط الأسعار المحلية للغازولين)، وما نسبته 43.5% من مقدار الزيادة في متوسط الأسعار الفورية للغازلين بالأسواق الرئيسية في العالم (الخليج الأمريكي وسنغافورة وروتردام والبحر المتوسط) خلال ذات الفترة.

وفي المقابل، جاءت سبع دول أعضاء في أوابك، وهي بالترتيب ليبيا والسعودية والجزائر والكويت وتونس وقطر والبحرين ضمن الدول العشر الأقل أسعاراً لوقود الديزل في أسواقها المحلية، ولم يتجاوز متوسط الأسعار المحلية لوقود الديزل بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك عام 2014 ما نسبته 29.5% من متوسط الأسعار المحلية لوقود الديزل في مجموعة دول أمريكا اللاتينية والكاريبي (أقل متوسطات المجموعات الدولية الأخرى في العالم)، ولم تتجاوز الزيادة في متوسط الأسعار المحلية لوقود الديزل بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة 1998-2014 خمس الزيادة في متوسط الأسعار المحلية لوقود الديزل في مجموعات دول أمريكا الشمالية ودول أمريكا اللاتينية والكاريبي ودول أفريقيا جنوب الصحراء (أقل المجموعات الدولية الأخرى في العالم زيادة في متوسط الأسعار المحلية لوقود الديزل)، وربع مقدار الزيادة في متوسط الأسعار الفورية لوقود الديزل بالأسواق الرئيسية في العالم (الخليج الأمريكي وسنغافورة وروتردام والبحر المتوسط) خلال الفترة ذاتها.

وعند الحديث عن الأسعار المحلية للغاز الطبيعي فيلاحظ شحة البيانات في أغلب دول العالم عموماً مقارنة بأسعار المنتجات النفطية، إلا أن المعلن منها يشير أيضاً إلى انخفاض الأسعار المحلية للغاز الطبيعي بالدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك) مقارنة بدول العالم والأسعار المرجعية في السوق العالمي. فمستويات الأسعار المحلية للغاز الطبيعي في خمس دول أعضاء هي بالترتيب ليبيا والجزائر والسعودية والإمارات وتونس

تنخفض عن المتوسط الشهري للسعر الفوري للغاز الطبيعي المسجل في مركز هنري بالسوق الأمريكي لعام 2016، كما تنخفض الأسعار المحلية للغاز الطبيعي في ليبيا والجزائر والسعودية والإمارات وتونس عن متوسط أسعار الغاز المنقول بواسطة الأنابيب في كندا خلال عام 2016، كما انخفضت الأسعار المحلية للغاز الطبيعي في هذه الدول الأعضاء الخمس بالإضافة للكويت والعراق عن متوسط أسعار الغاز المنقول بواسطة الأنابيب في ألمانيا والمملكة المتحدة خلال عام 2016.

وفيما يلي استعراض للأسعار المحلية لأهم المنتجات النفطية الأعلى استهلاكاً في الدول العربية وهي الديزل والغازولين والغاز الطبيعي، وذلك بعد معادلة أسعارها المحلية بالدولار الأمريكي وفقاً لسعر الصرف السائد في كل دولة ومقارنتها بالأسعار الدولية:

- **الأسعار المحلية للغازولين**

تراوحت الأسعار المحلية للغازولين بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك عام 2014، بين أدني مستوياتها عند حوالي 12 سنت أمريكي/لتر في ليبيا واعلى مستوياتها عند 59 سنت أمريكي/لتر في تونس (باستثناء سورية التي تمر بظروف استثنائية بلغ معها سعر الغازولين حوالي 1.54 دولار أمريكي/لتر عام 2014)، وبلغ متوسط الأسعار المحلية للغازولين في الدول الأعضاء مجتمعة حوالي 43 سنت أمريكي/لتر، حيث انخفض سعر لتر الغازولين في عدد ثماني دول أعضاء، وهي بالترتيب: ليبيا، السعودية، الكويت، البحرين، قطر، الجزائر، العراق، ومصر عن متوسط سعر اللتر بالمجموعة، بينما ارتفع سعر لتر الغازولين في الإمارات وتونس وسوريا عن متوسط سعر اللتر بالمجموعة.

وبمقارنة مستويات الأسعار المحلية للغازولين بالدول الأعضاء في أوابك مع دول العالم الأخرى، يتضح انخفاض مستويات سعر لتر الغازولين بالدول الأعضاء بين دول العالم، حيث جاءت سبع دول أعضاء في أوابك، وهي بالترتيب ليبيا والسعودية والكويت والبحرين وقطر

والجزائر والعراق، ضمن الدول العشر الأقل أسعاراً للغازولين في أسواقها المحلية، ولم يتجاوز سعر لتر الغازولين في ليبيا والسعودية نسبة 26% من نظيره في الإكوادور مثلاً، ونسبة 20% من نظيره في أنغولا (الدول الأعضاء في منظمة أوبك)، كما لم يتجاوز سعر لتر الغازولين في ليبيا والسعودية والكويت والبحرين وقطر والجزائر نسبة 29.3% من نظيره في روسيا و نسبة 22.8% من نظيره في الأردن ، بينما ظل دون نسبة 13.9% من نظيره في تركيا.

وعلى مستوى المجموعات الدولية، بلغ متوسط الأسعار المحلية للغازولين بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك عام 2014 حوالي 43 سنت أمريكي/لتر، لتتراوح نسبته بين حوالي 44.3% من متوسط الأسعار المحلية للغازولين في أمريكا الشمالية وهو أدنى هذه المتوسطات، وحوالي 24.1% متوسط الأسعار المحلية للغازولين في منطقة الاتحاد الأوروبي وهو أعلى المتوسطات، كما هو موضح بالجدول (12) والشكل (26):

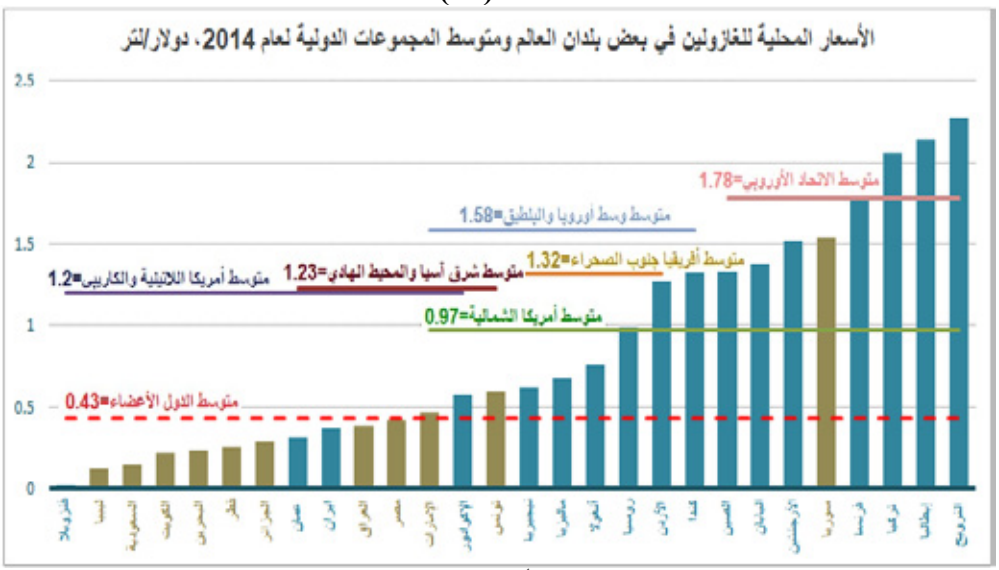
الجدول (12)

الأسعار المحلية للغازولين في بعض دول العالم لعام 2014، دولار/لتر

الدولة	فنزويلا	ليبيا	السعودية	الكويت	قطر	البحرين	الجزائر	عمان	إيران	العراق
السعر	0.02	0.12	0.15	0.22	0.25	0.24	0.29	0.31	0.37	0.39
الدولة	الإمارات	الإكوادور	نيجيريا	ماليزيا	أنغولا	سوريا	مصر	تونس	روسيا	
السعر	0.47	0.58	0.62	0.68	0.76	1.54	0.42	0.59	0.99	
الدولة	الأردن	كندا	الصين	اليابان	الأرجنتين	فرنسا	تركيا	إيطاليا	النرويج	
السعر	1.27	1.32	1.37	1.38	1.52	1.79	2.06	2.14	2.27	

المصدر: قاعدة بيانات مؤشرات التنمية، البنك الدولي/ بنك المعلومات، أوابك

الشكل(26)



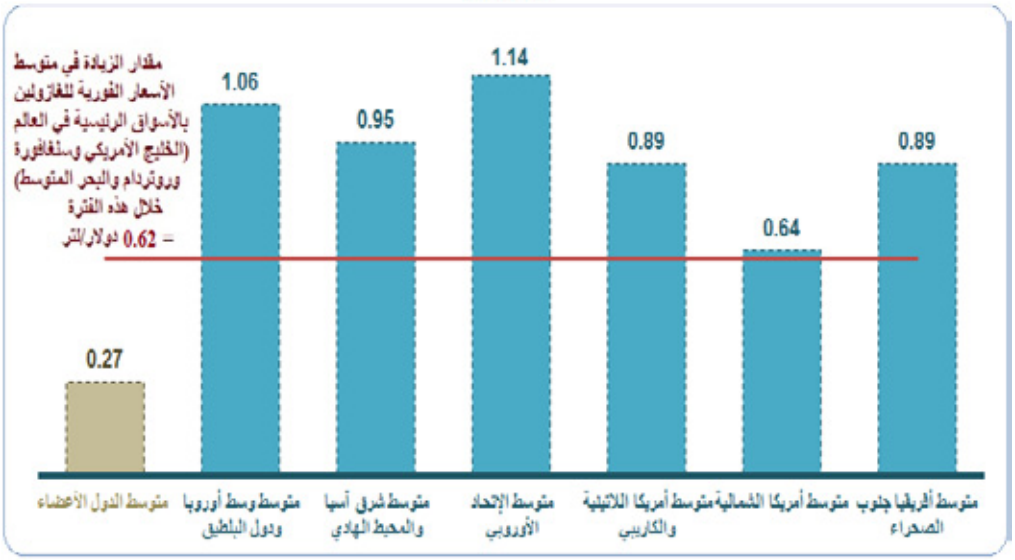
المصدر: قاعدة بيانات مؤشرات التنمية، البنك الدولي/ بنك المعلومات، أوابك

وقد شهدت الأسعار المحلية للغازولين بمختلف المجموعات الدولية ارتفاعات متفاوتة خلال الفترة (1998 – 2014)، كانت في مجملها محصلة التأثيرات المتتابعة للتغيرات التي شهدتها أسواق النفط خلال تلك الفترة، بحيث تجاوزت في المجموعات الدولية الأخرى (عدا مجموعة الدول الأعضاء في أوابك) مقدار الزيادة في متوسط الأسعار الفورية للغازولين بالأسواق الرئيسية في العالم (الخليج الأمريكي، سنغافورة، وروتردام، والبحر المتوسط) خلال تلك الفترة. وقد تراوحت تلك الزيادة بين حوالي 64 سنت أمريكي/لتر في متوسط الأسعار المحلية للغازولين في مجموعة دول أمريكا الشمالية، وحوالي 1.14 دولار/لتر في متوسط الأسعار المحلية للغازولين في مجموعة دول الاتحاد الأوروبي، بينما لم يتجاوز الارتفاع في متوسط سعر لتر الغازولين في مجموعة الدول الأعضاء في أوابك 27 سنت أمريكي خلال الفترة (1998 – 2014)، لتمثل أقل من نصف الزيادة في متوسط الأسعار المحلية للغازولين في مجموعة دول أمريكا الشمالية، وأقل من ربع الزيادة في متوسط الأسعار المحلية للغازولين في مجموعة دول الاتحاد الأوروبي خلال ذات الفترة، كما لم تتجاوز الزيادة في متوسط الأسعار المحلية للغازولين

في مجموعة الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة (1998 – 2014) ما نسبته حوالي 43.5% من مقدار الزيادة في متوسط الأسعار الفورية للغازولين بالأسواق الرئيسية في العالم (الخليج الأمريكي وسنغافورة وروتردام والبحر المتوسط) والبالغة حوالي 62 سنت أمريكي/لتر، كما هو موضح بالشكل (27):

الشكل(27)

مقدار الزيادة في متوسط الأسعار المحلية للغازولين وفق المجموعات الدولية خلال الفترة 1998-2014 (دولار/لتر)



المصدر: قاعدة بيانات مؤشرات التنمية، البنك الدولي/ بنك المعلومات، أوابك

وما بين عامي 2014 و 2017، شهدت الأسعار المحلية للغازولين بالعملات المحلية بجميع الدول الأعضاء في أوابك (باستثناء ليبيا) ارتفاعات بنسب متفاوتة تراوحت بين 12.2% في الإمارات و 125% في سوريا، واستقرت عند نفس مستوياتها في ليبيا، بينما تراوحت نسب الزيادات في الأسعار المحلية للغازولين بالدولار الأمريكي في هذه الدول بين 10.3% في الجزائر و 91.7% في البحرين، في حين يبدو تراجع الأسعار المحلية للغازولين بالدولار الأمريكي في سوريا بنسبة 70.8% بين عامي 2014 و 2017 نتيجة للتدهور الذي شهدته أسعار

صرف الليرة السورية مقابل العملات الأخرى ومن ضمنها الدولار الأمريكي خلال الأوضاع الاستثنائية التي تمر بها سورية، كما هو موضح بالجدول (13) و الشكل (28):

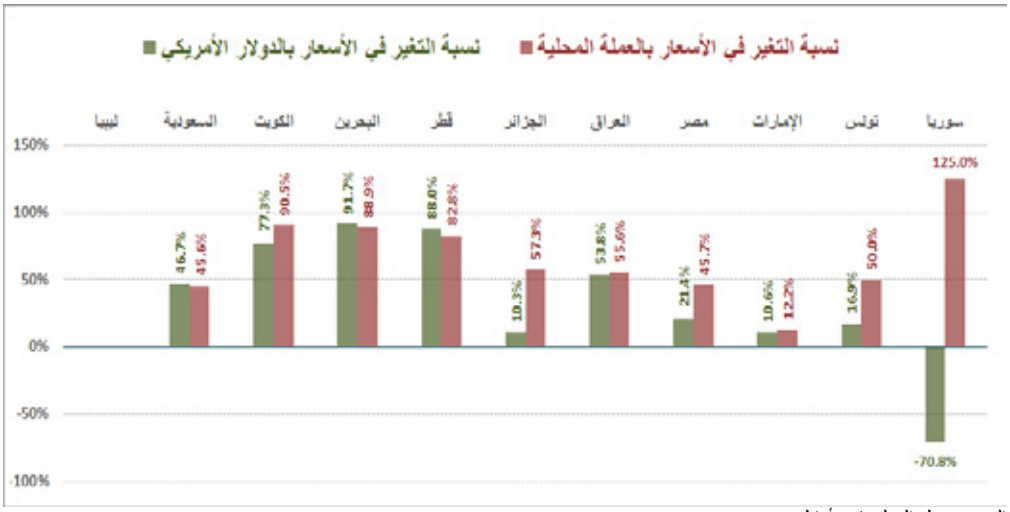
الجدول (13)

تطور الأسعار المحلية للغازولين بالدول الأعضاء في أوابك خلال عامي 2014 و2017

		ليبيا	السعودية	الكويت	البحرين	قطر	الجزائر	العراق	مصر	الإمارات	تونس	سوريا
دولار/لتر	2017	0.11	0.22	0.39	0.46	0.47	0.32	0.6	0.51	0.52	0.69	0.45
	2014	0.11	0.15	0.22	0.24	0.25	0.29	0.39	0.42	0.47	0.59	1.54
عملة محلية/لتر	2017	0.15	0.83	0.12	0.17	1.7	34.6	700	5.1	1.93	1.5	225
	2014	0.15	0.57	0.063	0.09	0.93	22	450	3.5	1.72	1	100

الشكل(28)

نسبة التغير في الأسعار المحلية للغازولين في الدول الأعضاء في أوابك ، عامي 2014 و2017 (%)



المصدر: بنك المعلومات، أوابك

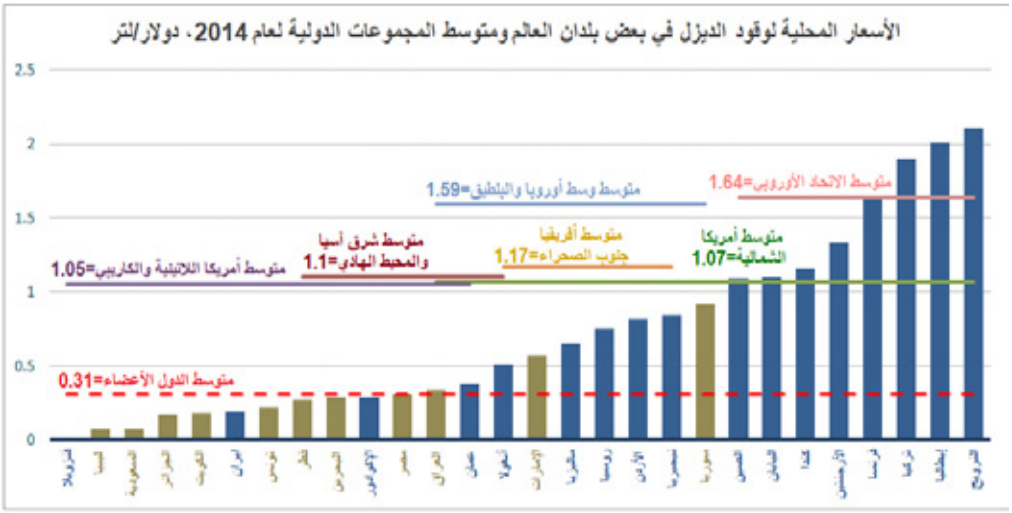
- **الأسعار المحلية لوقود الديزل**

تراوحت الأسعار المحلية لوقود الديزل بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك عام 2014، بين أدني مستوياتها عند حوالي 7 سنت أمريكي/لتر في ليبيا واعلى مستوياتها عند 57 سنت أمريكي/لتر في الإمارات (باستثناء سورية التي تمر بظروف استثنائية بلغ معها سعر وقود الديزل حوالي 92 سنت أمريكي/لتر عام 2014)، وبلغ متوسط الأسعار المحلية لوقود الديزل في الدول الأعضاء مجتمعة حوالي 31 سنت أمريكي/لتر، حيث انخفض سعر لتر وقود الديزل في عدد ثماني دول أعضاء، وهي بالترتيب ليبيا، السعودية، الجزائر، الكويت، تونس، قطر، البحرين، ومصر عن متوسط سعر اللتر بالمجموعة، بينما ارتفع سعر لتر وقود الديزل في العراق والإمارات وسوريا عن متوسط سعر اللتر بالمجموعة.

وبمقارنة مستويات الأسعار المحلية لوقود الديزل بالدول الأعضاء في أوابك مع دول العالم الأخرى، يتضح انخفاض مستويات سعر لتر الديزل بالدول الأعضاء بين دول العالم، حيث جاءت سبع دول أعضاء في أوابك، هي بالترتيب: ليبيا، السعودية، الجزائر، الكويت، تونس، قطر، والبحرين ضمن الدول العشر الأقل أسعاراً لوقود الديزل في أسواقها المحلية، ولم يتجاوز سعر لتر الديزل في ليبيا والسعودية نسبة 24.1% من نظيره في الإكوادور مثلاً، ونسبة 13.7% من نظيره في أنغولا (الدول الأعضاء في منظمة أوبك)، كما لم يتجاوز سعر لتر الديزل في ليبيا والسعودية والجزائر والكويت وتونس وقطر والبحرين نسبة 26.6% من نظيره في الصين و نسبة 35.4% من نظيره في الأردن ، بينما ظل دون نسبة 13.8% من نظيره في النرويج.

وعلى مستوى المجموعات الدولية، بلغ متوسط الأسعار المحلية لوقود الديزل بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك عام 2014 حوالي 31 سنت أمريكي/لتر، لتتراوح نسبته بين حوالي 29.5% من متوسط الأسعار المحلية لوقود الديزل في مجموعة دول أمريكا اللاتينية والكاريبي وهو أدنى هذه المتوسطات وحوالي 18.9% متوسط الأسعار المحلية لوقود الديزل في مجموعة دول الاتحاد الأوروبي وهو أعلى المتوسطات، كما هو موضح بالشكل (29) والجدول (14):

الشكل(29)



الجدول (14)

الأسعار المحلية لوقود الديزل في بعض دول العالم لعام 2014، دولار/لتر

الدولة	فنزويلا	ليبيا	السعودية	الجزائر	الكويت	ايران	تونس	قطر	البحرين	الإكوادور
السعر	0.01	0.07	0.07	0.17	0.18	0.19	0.22	0.27	0.29	0.29
الدولة	مصر	العراق	عمان	أنغولا	الإمارات	ماليزيا	روسيا	الأردن	نيجيريا	
السعر	0.3	0.34	0.38	0.51	0.57	0.65	0.75	0.82	0.84	
الدولة	سوريا	الصين	اليابان	كندا	الأرجنتين	فرنسا	تركيا	إيطاليا	النرويج	
السعر	0.92	1.09	1.1	1.16	1.33	1.63	1.9	2.01	2.11	

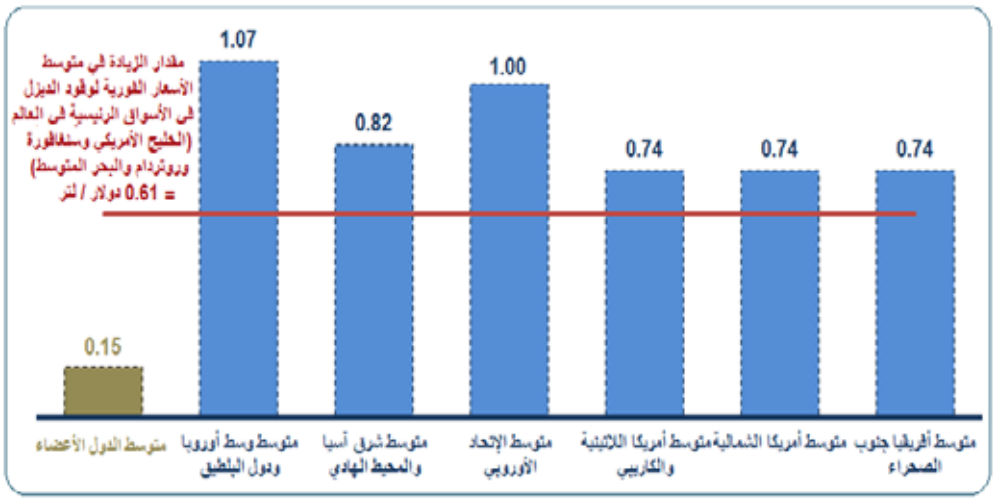
المصدر: قاعدة بيانات مؤشرات التنمية، البنك الدولي/ بنك المعلومات، أوابك

وقد شهدت الأسعار المحلية لوقود الديزل بمختلف المجموعات الدولية ارتفاعات متفاوتة خلال الفترة (1998- 2014)، كانت في مجملها محصلة التأثيرات المتتابعة للتغيرات التي شهدتها أسواق النفط خلال تلك الفترة، بحيث تجاوزت في المجموعات الدولية الأخرى (عدا مجموعة الدول الأعضاء في أوابك) مقدار الزيادة في متوسط الأسعار الفورية للديزل بالأسواق الرئيسية في العالم (الخليج الأمريكي، سنغافورة، روتردام، والبحر المتوسط) خلال تلك الفترة. وقد تراوحت تلك الزيادة بين حوالي 74 سنت أمريكي/لتر في متوسط الأسعار المحلية لوقود الديزل في مجموعات دول أمريكا الشمالية ودول أمريكا اللاتينية والكاريبي ودول أفريقيا جنوب الصحراء، وحوالي 1.07 دولار/لتر في متوسط الأسعار المحلية لوقود الديزل في مجموعة دول

وسط أوروبا والبلطيق، بينما لم يتجاوز الارتفاع في متوسط سعر لتر الديزل في مجموعة الدول الأعضاء في أوابك 15 سنت أمريكي خلال الفترة (1998- 2014)، لتمثل نحو خمس الزيادة في متوسط الأسعار المحلية لوقود الديزل في مجموعات دول أمريكا الشمالية ودول أمريكا اللاتينية والكاريبي ودول أفريقيا جنوب الصحراء، ونحو 14% من الزيادة في متوسط الأسعار المحلية لوقود الديزل في مجموعة دول وسط أوروبا والبلطيق خلال ذات الفترة، كما لم تتجاوز الزيادة في متوسط الأسعار المحلية لوقود الديزل في مجموعة الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة 1998-2014 ربع مقدار الزيادة في متوسط الأسعار الفورية لوقود الديزل بالأسواق الرئيسية في العالم (الخليج الأمريكي وسنغافورة وروتردام والبحر المتوسط) والبالغة حوالي 61 سنت أمريكي/لتر، كما هو موضح بالشكل (30):

الشكل(30)

مقدار الزيادة في متوسط الأسعار المحلية لوقود الديزل وفق المجموعات الدولية خلال الفترة 1998-2014 (دولار/لتر)



المصدر: قاعدة بيانات مؤشرات التنمية، البنك الدولي/ بنك المعلومات، أوابك

وما بين عامي 2014 و 2017، شهدت الأسعار المحلية لوقود الديزل بالعملات المحلية في تونس والسعودية وقطر ومصر والجزائر والبحرين وسوريا ارتفاعات بنسب متفاوتة تراوحت

بين 9.1% في الإمارات و 289.4% في تونس، واستقرت عند نفس مستوياتها في ليبيا والكويت والعراق والإمارات، بينما تراوحت نسب الزيادات في الأسعار المحلية لوقود الديزل بالدولار الأمريكي في هذه الدول بين 10.3% في البحرين و 195.5% في تونس بين عامي 2014 و 2017، في حين يبدو تراجع الأسعار المحلية لوقود الديزل بالدولار الأمريكي في سوريا بنسبة 60.9% بين عامي 2014 و 2017 نتيجة للهبوط الذي شهدته أسعار صرف الليرة السورية مقابل العملات الأخرى ومن ضمنها الدولار الأمريكي خلال الأوضاع الاستثنائية التي تمر بها سورية، كما هو موضح بالجدول (15) والشكل (31):

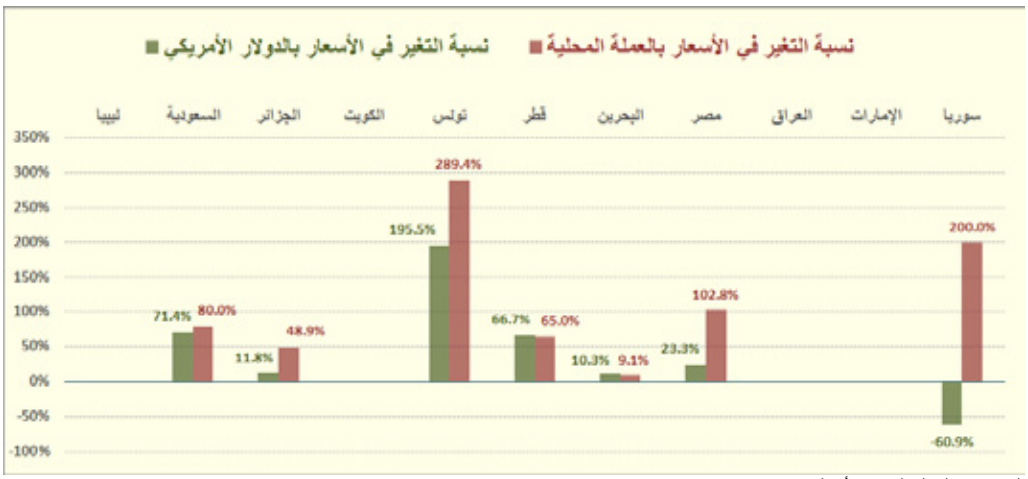
الجدول (15)

تطور الأسعار المحلية لوقود الديزل بالدول الأعضاء في أوابك خلال عامي 2017 و2014

		ليبيا	السعودية	الجزائر	الكويت	تونس	قطر	البحرين	مصر	العراق	الإمارات	سوريا
دولار/لتر	2017	0.07	0.12	0.19	0.18	0.65	0.45	0.32	0.37	0.34	0.57	0.36
	2014	0.07	0.07	0.17	0.18	0.22	0.27	0.29	0.3	0.34	0.57	0.92
عملة محلية/لتر	2017	0.09	0.45	20.4	0.055	1.39	1.65	0.12	3.65	400	2.1	180
	2014	0.09	0.25	13.7	0.055	0.357	1	0.11	1.8	400	2.1	60

الشكل(31)

نسبة التغير في الأسعار المحلية للديزل في الدول الأعضاء في أوابك ، عامي 2014 و2017 (%)



المصدر: بنك المعلومات، أوابك.

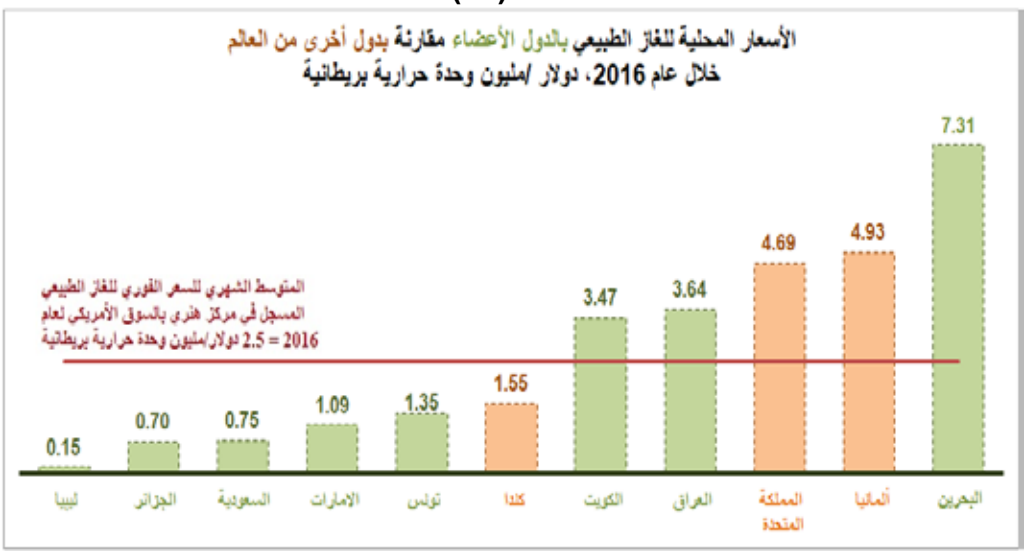
- **الأسعار المحلية للغاز الطبيعي**

بالرغم من شح البيانات المتوفرة عن الأسعار المحلية للغاز الطبيعي في أغلب دول العالم عموماً مقارنة بأسعار المنتجات النفطية، إلا أن المعلن منها يشير أيضاً إلى انخفاضها في الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك) مقارنة بدول العالم والأسعار المرجعية في السوق العالمي، فقد انخفضت الأسعار المحلية للغاز الطبيعي في خمس دول أعضاء هي بالترتيب ليبيا، الجزائر، السعودية، الإمارات، وتونس، عن المتوسط الشهري للسعر الفوري للغاز الطبيعي المسجل في مركز هنري بالسوق الأمريكي لعام 2016 والبالغ حوالي 2.5 دولار/مليون وحدة حرارية بريطانية، حيث تراوحت الأسعار المحلية للغاز الطبيعي بهذه الدول الخمس بين حوالي 0.15 دولار/مليون وحدة حرارية بريطانية في ليبيا أي ما نسبته حوالي 6% من المتوسط الشهري للسعر الفوري للغاز الطبيعي المسجل في مركز هنري بالسوق الأمريكي لعام 2016، وحوالي 1.35 دولار/مليون وحدة حرارية بريطانية في تونس أي ما نسبته حوالي 54% من المتوسط الشهري للسعر الفوري للغاز الطبيعي المسجل في مركز هنري بالسوق الأمريكي لعام 2016.

وبالمقارنة مع دول أخرى من العالم، يتضح انخفاض الأسعار المحلية للغاز الطبيعي في ليبيا والجزائر والسعودية والإمارات وتونس عن متوسط أسعار الغاز المنقول بواسطة الأنابيب في كندا خلال عام 2016، كما انخفضت الأسعار المحلية للغاز الطبيعي في هذه الدول الأعضاء الخمس بالإضافة للكويت والعراق عن متوسط أسعار الغاز المنقول بواسطة الأنابيب في ألمانيا والمملكة المتحدة خلال عام 2016، ولم يتجاوز سعر المليون وحدة حرارية بريطانية من الغاز الطبيعي في ليبيا ما نسبته حوالي 3% من نظيره في ألمانيا، وحوالي 3.2% من نظيره في المملكة المتحدة، كما لم يتجاوز سعر المليون وحدة حرارية بريطانية من الغاز الطبيعي في الجزائر ما نسبته حوالي 14.2% من نظيره في ألمانيا، وحوالي 14.9% من نظيره في المملكة المتحدة، بينما لم يتجاوز سعر المليون وحدة حرارية بريطانية من الغاز الطبيعي في السعودية ما نسبته

حوالي 15.1% من نظيره في ألمانيا، وحوالي 15.9% من نظيره في المملكة المتحدة، في حين لم يتجاوز سعر المليون وحدة حرارية بريطانية من الغاز الطبيعي في الإمارات وتونس ما نسبته حوالي 27.4% من نظيره في ألمانيا، وحوالي 28.8% من نظيره في المملكة المتحدة، كما هو موضح بالشكل (32):

الشكل(32)



المصدر: التقرير الإحصائي السنوي لأوابك 2017 والنشرة الإحصائية السنوية لشركة بريتش بتروليوم 2017

- بيانات الجزائر آخر تحديث من عام 2015، والكويت من عام 2014 والإمارات وليبيا من عام 2008، والسعودية من عام 1998، وتونس من عام 1986، ولعدم وجود بيانات رسمية منشورة تم افتراض استمرار الأسعار عند مستوياتها
- بيانات باقي الدول محدثة في عام 2016

الجزء الثاني: توقعات استهلاك الطاقة الأولية في الدول الأعضاء (2017-2040)

تعد عمليات التنبؤ باستهلاك مصادر الطاقة المختلفة بمثابة العين النافذة التي يطل منها صناع القرار على أوضاع الطاقة المستقبلية في دولهم، وتساعد على تحقيق الأهداف المرسومة للخطط الاستراتيجية الوطنية للطاقة. فمن اجل وضع مخططات وبرامج مستقبلية وطنية فاعلة لتحقيق الاستخدام الأمثل لمصادر الطاقة المختلفة في شتى القطاعات الاقتصادية، ثمة حاجة ملحة لمتخذي القرار في دولنا الأعضاء بأن يكونوا على دراية كاملة بالوضع المستقبلي الذي سيؤول إليه وضع الطاقة في كل دولة عضو ليتسنى لهم وضع الخطط الملائمة والكفيلة بتسريع عجلة التنمية الاقتصادية والاجتماعية التي تعد مصادر الطاقة المختلفة المحرك الرئيسي لها. ومن الصعب التفكير بأي نشاط اقتصادي ما لم تتوفر له مصادر الطاقة اللازمة لتسييره، وفي حين لا يمكن لأي عملية التنبؤ بالمستقبل بيقين تام، إلا أنها تظل أساسية في تقدير الآفاق المستقبلية.

وكما هو معلوم بأنه من خلال عمليات التنبؤ لأي مؤشر يمكن تحديد التوقعات المستقبلية والسيناريوهات المتعلقة به، وهذا ما سيتم التطرق إليه في هذا الجزء من الدراسة الذي سيستعرض التوقعات المستقبلية وفق السيناريوهات المختلفة المتعلقة بكميات وأشكال الطاقة المتوقع استهلاكها في الدول الأعضاء خلال الفترة 2017-2040.

أولا: منهجية اعداد التوقعات المستقبلية لاستهلاك مصادر الطاقة الأولية

1. البيانات المستخدمة في الدراسة

تتمثل البيانات المستخدمة في الدراسة في خمس سلاسل زمنية لبيانات الاستهلاك الفعلي لإجمالي الطاقة، وبيانات الاستهلاك الفعلي للنفط، وبيانات الاستهلاك الفعلي للغاز الطبيعي، وبيانات الاستهلاك الفعلي للفحم، وبيانات الاستهلاك الفعلي لمصادر الطاقة المتجددة على أساس وحدة قياس (ألف ب م ن ي) لكل دولة عضو في منظمة أوابك، وهي بيانات سنوية للفترة الممتدة من عام 1980 إلى عام 2016.

وتمثل بيانات استهلاك النفط اجمالي استهلاك المنتجات النفطية مثل الغازولين ووقود الديزل وغاز البترول المسال والكيروسين بالإضافة إلى المنتجات الأخرى مضافاً إليها إجمالي الاستهلاك المباشر للنفط الخام. في حين تقتصر أرقام استهلاك الغاز الطبيعي المتضمنة في إجمالي استهلاك الطاقة على استعمالاته كوقود في النشاطات الاقتصادية المختلفة مع استبعاد الكميات التي يعاد حقنها في الآبار أو التي يتم حرقها، كما تمثل بيانات استهلاك مصادر الطاقة المتجددة إجمالي استهلاك الطاقة الكهرومائية والشمسية وطاقات الرياح وغيرها من المصادر المتجددة المتوفرة في الدول الأعضاء، ويمثل إجمالي استهلاك الطاقة وإجمالي استهلاك النفط وإجمالي استهلاك الغاز الطبيعي وإجمالي استهلاك الفحم وإجمالي استهلاك مصادر الطاقة المتجددة وإجمالي استهلاك الطاقة النووية المتغيرات التابعة (Dependent Variables) المراد التنبؤ بقيمها المستقبلية حتى عام 2040.

ومن جهة أخرى توجد المتغيرات المستقلة (Independent Variables) أو المتغيرات التفسيرية (Explanatory Variables) **وهي الناتج المحلى الإجمالي وعدد السكان والمتوسط الموزون للأسعار المحلية للوقود واستهلاك السنة السابقة** وهي سلاسل زمنية لبيانات فعلية للفترة الممتدة من عام 1980 إلى عام 2016. واستنادا إلى النظرية

الاقتصادية، فإن استهلاك أي دولة من الطاقة يعتمد كمتغير تابع لمتغيرات تفسيرية تفسر سُلوكه، يأتي في مقدمتها الناتج المحلى الإجمالي وعدد السكان وأسعار الطاقة، إلى جانب عدة عوامل أخرى، مثل كفاءة استهلاك الطاقة بهذه الدولة التي يمكن التعبير عنها بمستويات الاستهلاك للسنوات السابقة. واستنادا لنظرية الطلب تم صياغة العلاقة على شكل نموذج رياضي قابل للتقدير.

2. أساليب التنبؤ المستخدمة في الدراسة

تنقسم أساليب أو نماذج التنبؤ تبعا لمعيار المنهجية المعتمدة إلى نماذج كمية (Quantitative Models) ونماذج نوعية (Qualitative Models). وتعتمد النماذج النوعية على الأساليب التي تستثمر الحكمة والتجربة والخبرة والحدس باستخدام أساليب التناظر والمقارنة وأراء ذوي الشأن للقيام بالتنبؤ ويتم اللجوء إليها عادة عندما لا تتوفر البيانات التاريخية اللازمة في بناء النماذج الكمية، ومنها أساليب تقديرات الإدارة ولجان الخبراء وبحوث التسويق وطريقة دلفي.

وفي المقابل، هناك أساليب النماذج الكمية أو الرياضية (Mathematical or Quantitative methods) والتي تعتمد على طرق علمية وتتسم بالموضوعية، بحيث تعتمد نتائج التنبؤات على المعلومات المستخدمة وليس على آراء القائمين بها، وتنقسم النماذج الكمية إلى نماذج سببية وغير سببية (Causal and Non Causal Models).

وتتضمن النماذج السببية (Causal Models) نماذج الاقتصاد القياسي، وفي مقدمتها نموذج الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression)، والذي يفترض انحدار للمتغير التابع (Y) على العديد من المتغيرات المستقلة X1 , X2 ,...XK، وحد عشوائي E_i. ويعتمد المتغير موضوع البحث على متغيرات تفسيرية توضح سلوكه، وبالاعتماد على نظرية معينة في تفسير الظاهرة يتم صياغة العلاقة على شكل نموذج رياضي قابل للتقدير،

حيث يتم تفسير استهلاك الطاقة (Y) اعتماداً على الناتج المحلي الإجمالي (GDP)، ومعدل النمو السكاني (POP)، ومتوسط الأسعار المحلية للطاقة (P)، واستهلاك السنة السابقة (YP-1). واستناداً إلى نظرية الطلب تتم صياغة النموذج:

$$y = d_0 + d_1\ YP_{-1} + d_2GDP + d_3POP + d_4P + E$$

ثم تقدير معاملات النموذج di باستخدام الوسائل الإحصائية المتوافرة، وقد تم اختيار طريقة المربعات الصغرى (Least Squares Method - LSM) لتقدير نموذج الانحدار الخطي المتعدد وقياس وتحليل هيكل العلاقة التي تربط استهلاك الطاقة أو أحد مصادرها الأولية كمتغير تابع مع المتغيرات المستقلة المتمثلة في أسعار الطاقة والناتج المحلى الإجمالي وعدد السكان، وتقدير المتغير التابع على هيئة دالة في المتغيرات المستقلة خلال الفترة (1980 – 2016). وتعتبر طريقة المربعات الصغرى من أبرز الطرق المستعملة في تقدير معلمات النموذج حيث تقلل الفرق بين القيم الفعلية والمقدرة وتحقق النهاية الصغرى لمجموع مربعات الأخطاء العشوائية، وقد تم مراعاة الشروط الواجب توافرها من حيث صحة تقدير نموذج الانحدار الخطي المتعدد باستخدام طريقة المربعات الصغرى.

وبالمقابل، تتضمن النماذج غير السببية (Non Causal Models) والمعروفة أيضاً بنماذج السلاسل الزمنية (Time Series Models) أسلوب التمهيد الأسي (Exponential Smoothing)، وأسلوب بوكس – جنكنز (Box-Jenkins) الإحصائي الذي يستخدم نماذج الأوساط المتحركة المنحدرة ذاتياً المتكاملة (ARIMA Models)، حيث تعد هذه النماذج من أكثر الأساليب دقة وشيوعا في توقعات الطلب على الطاقة.

ويعتمد أسلوب التمهيد الأسي (Exponential Smoothing) على ترجيح أو تمهيد القيم التاريخية للسلسلة الزمنية من أجل التنبؤ بالمستقبل باستخدام معدل الأخطاء الحسابية، وقد تم استخدام طريقة هولت الأسي الخطي ذو المعلمتين (α، γ) حيث أن بيانات استهلاك مصادر

الطاقة الأولية هي سلسلة زمنية ذات نزعة اتجاهية، أما الاتجاه الموسمي فقد تم اهماله كون البيانات المستخدمة في الدراسة هي بيانات سنوية مما لا يظهر اثراً للموسمية.

وبالمقابل، تطلق عادةً حزمة بوكس جينكز (Box-Jenkins) الإحصائي على نماذج الأوساط المتحركة المنحدرة ذاتياً المتكاملة (ARIMA Models) التي تعتبر اختصاراً لمصطلح (Auto regressive Integrated Moving Average)، وتعد من أهم الطرق كفاءة للتعامل مع مختلف أنواع السلاسل الزمنية، وتشتمل نماذج (ARIMA) على نماذج الانحدار الذاتي AR(p) حيث تمثل p درجة الانحدار الذاتي، و نماذج الأوساط المتحركة MA(q) حيث تمثل q درجة المتوسطات المتحركة، ويتم تكامل النموذج بالعامل I الذي يمثل درجة استقرار أو سكون السلسلة الزمنية بعد أخذ الفرق d الذي يمثل درجة استقرار السلسلة الزمنية التي يتم تحديدها باستخدام الاختبارات الإحصائية المعروفة، وبالتالي يمكن الوصول إلى تشخيص النموذج ARIMA(p,d,q).

ومن أجل توخي دقة النتائج، اعتمدت منهجية اعداد الدراسة اختبار النماذج الثلاثة وهي نموذج الانحدار الخطي المتعدد ضمن نماذج الاقتصاد القياسي، ونموذج هولت الأسي الخطي ذو المعلمتين ونماذج بوكس جينكز ضمن نماذج السلاسل الزمنية لتقدير دالة استهلاك مصادر الطاقة الأولية بكل دولة عضو في أوابك (ما أمكن ذلك). وبعد ذلك تمت المفاضلة بين نتائج هذه النماذج لتعيين النموذج الأفضل باستخدام معيار متوسط مربعات الخطأ (Mean - MSE Square Error)، وهو اختبار معروف لقياس دقة نموذج الانحدار الخطي، ويحسب بتربيع الخطأ لكل مشاهدة في مجموعة البيانـات. كما تم المفاضلة بين نتائج التوقعات المستقبلية باستخدام مقياس جذر متوسط مربعات الخطأ (Root Mean Squared Error-RMSE)، ومقياس متوسط الخطأ المطلق (Mean Absolute Error-MAE)، ومقياس متوسط الخطأ المئوي المطلق (Mean Absolute Percent Error-MAPE). ولمزيد من التفاصيل حول منهجية الدراسة، يرجى الاطلاع على الملحق (2).

3. الافتراضات الخاصة بالتوقعات والسيناريوهات

فيما يخص الفرضيات الخاصة بالتوقعات المستقبلية للطلب على الطاقة للفترة الممتدة من عام 2017 حتى عام 2040، فقد تم اعداد خمسة سيناريوهات لاستشراف الآفاق المستقبلية لاستهلاك مصادر الطاقة الأولية بالدول الأعضاء في أوابك في الأجلين؛ الأجل المتوسط والذي يغطي الفترة (2016 - 2025)، والأجل البعيد والذي يغطي الفترة (2025 - 2040)، وقد تمثلت السيناريوهات الخمس في الاتي:

أ. سيناريو الإشارة:

يفترض مساراً للنمو الاقتصادي في الدول الأعضاء يتماشى مع نمو الاقتصاد العالمي من جهة، ومع معدلات النمو التاريخية التي شهدتها اقتصاديات الدول الأعضاء خلال فترة الدراسة من جهة أخرى، ومن ناحية مزيج الطاقة، يراعي سيناريو الإشارة مشاريع الطاقات المتجددة تحت التنفيذ والمخطط لها في الدول الأعضاء حسب بيانات المصادر الوطنية والتقرير المشترك للوكالة الدولية للطاقات المتجددة وجامعة الدول العربية والمركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة لعام 2016، كما أخد في الاعتبار أيضاً مشاريع الطاقة النووية تحت التنفيذ والمخطط لها حسب المصادر الوطنية وتقرير الرابطة النووية العالمية حول مفاعلات الطاقة النووية العالمية ومتطلبات اليورانيوم الصادر في ديسمبر 2017، لبيان انعكاساتها المتوقعة على هيكل استهلاك الطاقة وفق المصدر بالدول الأعضاء.

ب. سيناريو النمو المنخفض:

يفترض معدلات نمو أقل بالنسبة للناتج المحلى الإجمالي والنمو السكاني من تلك المفترضة في سيناريو الإشارة، مع ثبات الأسعار عند مستوياتها الحالية، كما افترض استمرار العوامل الأخرى مثل الهياكل الاقتصادية والكميات المتاحة من بدائل مصادر الطاقة دون تغير.

ج. سيناريو النمو المرتفع:

يفترض معدلات نمو أعلى من تلك المفترضة في سيناريو الإشارة بالنسبة للناتج المحلي الإجمالي والنمو السكاني، مع ثبات الأسعار عند مستوياتها الحالية، كما افترض استمرار العوامل الأخرى مثل الهياكل الاقتصادية والكميات المتاحة من بدائل مصادر الطاقة دون تغير.

د. سيناريو الرفع التدريجي لأسعار الوقود:

نتيجة لسياسات الدعم في أسعار الطاقة التي تنتهجها مجموعة الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)، حيث ظلت الأسعار الاسمية ثابتة لمدة طويلة في أغلبها، في حين قامت بعض هذه الدول بتعديل أسعار بعض المنتجات النفطية وفي مقدمتها الغازولين والديزل، وبقيت أسعار أنواع الوقود الأخرى دون تغيير، جاء السيناريو الرابع ليختبر تخفيض نسبة الدعم عن طريق افتراض رفع تدريجي للمتوسط الموزون لأسعار الوقود، على مراحل خلال الفترة الممتدة من عام 2020 حتى عام 2040، لمحاولة تبيان انعكاس ذلك على التوقعات المستقبلية لحجم الاستهلاك.

هـ. سيناريو الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة والنووية:

شهدت السنوات الأخيرة منذ مطلع العقد السابق، تنامي الاهتمام المتزايد في الدول الأعضاء بأهمية التوجه نحو تنويع مصادر الطاقة، إذ أثبتت الدراسات الصادرة في هذا الخصوص أن المنطقة تتمتع بمصادر وفيرة من الطاقة المتجددة خاصة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، لذلك برزت التوجهات نحو خيار العمل على استغلال مصادر الطاقة المتجددة المتاحة، ونقل التقنيات الخاصة بها إلى الدول الأعضاء كخيار استراتيجي للدول الأعضاء لتأمين وتنويع مصادر الطاقة لديها، وإرساء صناعتها محلياً استرشادًا بالمواصفات العالمية ومن ثم تسويقها إقليميًا في بادئ الأمر فعالميًا في مرحلة لاحقة؛ لتشكل بذلك رافداً قوياً للمصادر البترولية وتساهم في تعزيز مصادر الدخل عبر تحرير المزيد من النفط والغاز من أجل التصدير. وقد أعلنت

بعض الدول الأعضاء أهدافها المستقبلية لمساهمة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة، حيث تراوح نطاق تحقيق هذه الأهداف بين سنوات مختلفة خلال الفترة (2020 – 2040)، كما أعلنت بعض الدول الأعضاء مؤخراً عن رغبتها في إضافة الطاقة النووية إلى مزيج الطاقة في بلدانها، وذلك لمواجهة الطلب المتنامي على الكهرباء، وتنويع مزيج الطاقة وتحرير المزيد من النفط والغاز للتصدير، حيث تراوح نطاق تحقيق هذه الأهداف بين سنوات مختلفة خلال الفترة (2018 – 2040)، لذلك تم تضمين الدراسة السيناريو الخامس لبيان انعكاساتها المتوقعة على مزيج الطاقة المستقبلي بالدول الأعضاء.

وفيما يلي الافتراضات الخاصة بمعدلات النمو في كل من الناتج المحلي الإجمالي، وعدد السكان والأسعار وجانب السياسات وفقاً للسيناريوهات الخمسة المشار إليها أعلاه:

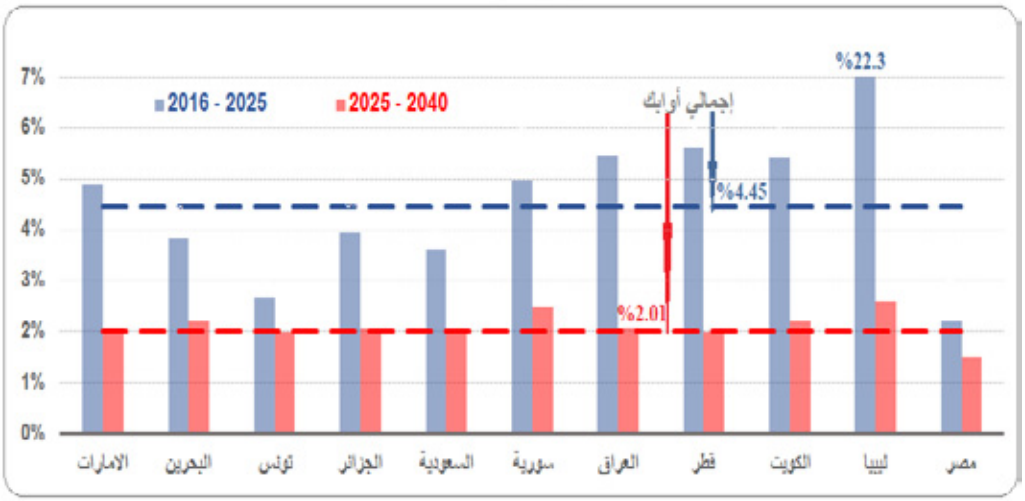
فرضيات سيناريو الإشارة

يفترض **سيناريو الإشارة نمو الناتج المحلي الإجمالي** للدول الأعضاء في الأجل المتوسط خلال الفترة (2016 – 2025) بمعدل 4.5%، وعلى مستوى الدول يفترض أن نمو الناتج المحلي الإجمالي بالدول الأعضاء في أوابك سوف يتراوح ما بين 2.2% في مصر، و5.6% في قطر، بينما يفترض سيناريو الإشارة أن يبلغ معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي في ليبيا بحوالي 22.3% خلال هذه الفترة بافتراض تحسن البيئة السياسية ونجاح الجهود المبذولة في مشروع التوافق الوطني وانعكاساته على الوضع الاقتصادي للبلاد.

وعلى المدى البعيد، أي خلال الفترة (2025 – 2040)، يفترض **سيناريو الإشارة نمو الناتج المحلي الإجمالي** للدول الأعضاء بمعدل 2%، وعلى مستوى الدول فرادى يفترض أن نمو الناتج المحلي الإجمالي سوف يتراوح ما بين 1.5% في مصر، و2.6% في ليبيا خلال ذات الفترة كما هو موضح بالشكل (33):

الشكل(33)

معدلات النمو المفترضة للناتج المحلي الإجمالي، %
سيناريو الإشارة



المصدر/ الجدول رقم (9) في الملحق

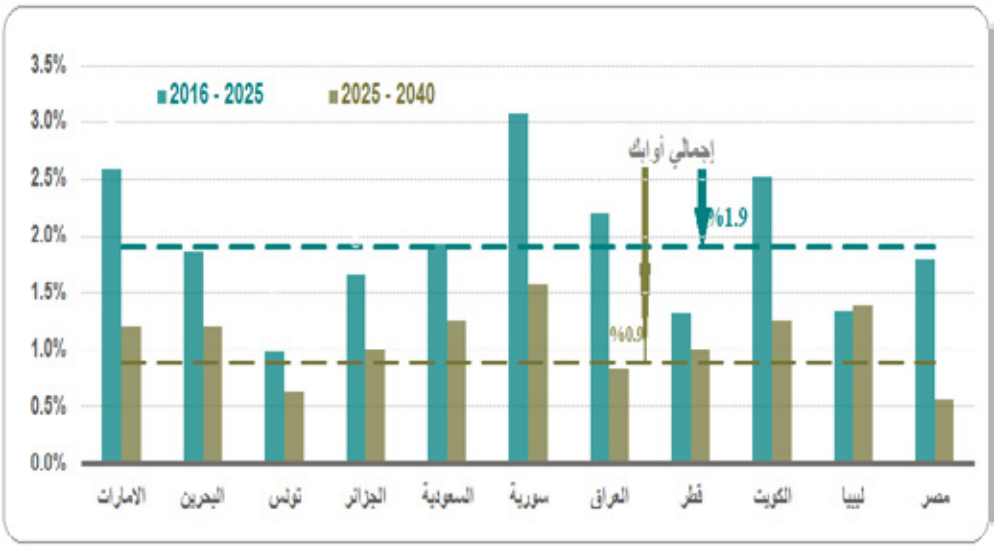
أما فيما يتعلق بالنمو السكاني، فيفترض سيناريو الإشارة أن يرتفع عدد السكان بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة (2016 – 2025) بمعدل 1.9%، وعلى مستوى الدول يفترض أن النمو السكاني سوف يتراوح ما بين 0.98% في تونس، و3.1% في سورية.

وعلى المدى البعيد، أي خلال الفترة (2025 – 2040)، يفترض **سيناريو الإشارة نمو السكان** في مجموعة الدول الأعضاء في أوابك بمعدل 0.9%، وعلى مستوى الدول فرادى يفترض أن النمو السكاني سوف يتراوح ما بين 0.6% في مصر، و1.6% في سوريا خلال ذات الفترة كما هو موضح بالشكل (34):

الشكل(34)

معدلات النمو السكاني المفترضة ، %

سيناريو الإشارة



المصدر/ الجدول رقم (9) في الملحق

ومن ناحية مزيج الطاقة، يأخذ سيناريو الإشارة بعين الاعتبار مشاريع الطاقات المتجددة تحت التنفيذ والمخطط لها في الدول الأعضاء حسب بيانات المصادر الوطنية، والتقرير المشترك للوكالة الدولية للطاقات المتجددة وجامعة الدول العربية والمركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة لعام 2016، والتي يتوقع أن تضيف عند إنجازها أكثر من 17.7 جيجاوات من القدرات المركبة لتوليد الطاقة الكهربائية، تمثل مشاريع الطاقة الشمسية منها نحو 10 جيجاوات، أي نسبة 56.7% من إجمالي القدرات المركبة لمشاريع توليد الكهرباء من الطاقات المتجددة تحت الإنجاز والمخطط لها بالدول الأعضاء، بينما تمثل مشاريع طاقات الرياح نحو 7.7 جيجاوات، أي نسبة 43.2% من إجمالي القدرات المركبة لمشاريع توليد الكهرباء من الطاقات المتجددة تحت الإنجاز والمخطط لها بالدول الأعضاء، كما هو موضح بالجدول (16):

الجدول (16)
القدرات المركبة لمشاريع توليد الكهرباء من الطاقات المتجددة تحت الإنجاز والمخطط لها بالدول الأعضاء، ميجاوات

	طاقات الرياح	الطاقة الشمسية	الطاقة الكهرومائية	الطاقات المتجددة الأخرى	الإجمالي
*الامارات	30	2400	-	-	2430
البحرين	-	-	-	-	0
تونس	-	-	-	-	0
الجزائر	5030	416	-	5	5451
السعودية	-	165	-	-	165
سورية	-	-	-	-	0
العراق	-	-	-	-	0
قطر	-	110	-	-	110
*الكويت	10	4610	-	-	4620
ليبيا	260	68	-	-	328
مصر	2340	2300	-	-	4640
الإجمالي	**7670**	**10069**	**0**	**5**	**17744**

المصدر: Renewable Energy in the Arab Region: Overview of developments, IRENA & RECREEE & League of Arab States, 2016
* مصادر وطنية

كما أخذ في الاعتبار أيضاً مشاريع الطاقة النووية تحت التنفيذ بدولة الإمارات العربية والمتمثلة في عدد أربعة مفاعلات لتوليد الكهرباء من الطاقة النووية تحت الإنجاز بقدرات مركبة إجمالية تبلغ 5.6 جيجاوات، والمخطط لها في مصر بعدد مفاعلين لتوليد الكهرباء من الطاقة النووية بقدرات مركبة إجمالية تبلغ 2.4 جيجاوات، حسب المصادر الوطنية وتقرير الرابطة النووية العالمية حول مفاعلات الطاقة النووية العالمية ومتطلبات اليورانيوم الصادر في ديسمبر 2017. ويفترض سيناريو الإشارة أيضاً ثبات معدلات أسعار الطاقة عند معدلاتها الحالية خلال كامل الفترة 2018 – 2040، **(حيث أخذ سيناريو الإشارة في الاعتبار التعديلات الأخيرة في أسعار بعض المنتجات النفطية في بعض الدول الأعضاء خلال عام 2017 ومطلع عام 2018).**

ويوضح الجدول (9) بالملحق معدلات النمو للناتج المحلي الإجمالي والنمو السكاني المفترضة على مستوى الدول الأعضاء فرادى لسيناريو الإشارة.

فرضيات سيناريو النمو المرتفع

يفترض سيناريو النمو المرتفع نمو الناتج المحلي الإجمالي لمجموعة الدول الأعضاء بمعدل 5.7% خلال الفترة (2016 – 2025)، حيث تتراوح معدلات النمو على مستوي الدول فرادى بين 2.5% في مصر و8.9% في سوريا، بينما يبلغ في ليبيا 34.5%، **وعلى المدى البعيد يفترض سيناريو النمو المرتفع**، أن يواصل الناتج المحلي الإجمالي للدول الأعضاء نموه بمعدل 2.5% خلال الفترة (2025 – 2040)، حيث تتراوح معدلات النمو على مستوي الدول فرادى بين 1.9% في مصر و4.5% في سورية.

أما فيما يتعلق بالنمو السكاني فيفترض سيناريو النمو المرتفع أن يرتفع عدد السكان بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة (2016 – 2025) بمعدل 2.3%، حيث تتراوح معدلات النمو على مستوي الدول فرادى بين 1.6% في تونس، و3.4% في الامارات، **وعلى المدى البعيد يفترض سيناريو النمو المرتفع** أن يواصل إجمالي سكان الدول الأعضاء في أوابك نموه بمعدل 1.3% خلال الفترة (2025 – 2040)، حيث تتراوح معدلات النمو على مستوي الدول فرادى بين 0.7% في مصر، و3.6% في سورية.

فرضيات سيناريو النمو المنخفض

يفترض سيناريو النمو المنخفض نمو الناتج المحلي الإجمالي لمجموعة الدول الأعضاء خلال الفترة (2016 – 2025) بمعدل 3.5%، حيث تتراوح معدلات النمو على مستوي الدول فرادى بين 0.6% في سوريا، و5.1% في قطر، بينما يبلغ في ليبيا 13.2%، **وعلى المدى البعيد**

يفترض سيناريو النمو المنخفض أن يواصل الناتج المحلي الإجمالي للدول الأعضاء نموه بمعدل 1.5% خلال الفترة (2025 – 2040)، حيث تتراوح معدلات النمو على مستوي الدول فرادى بين 1.1% في مصر، و2% في البحرين.

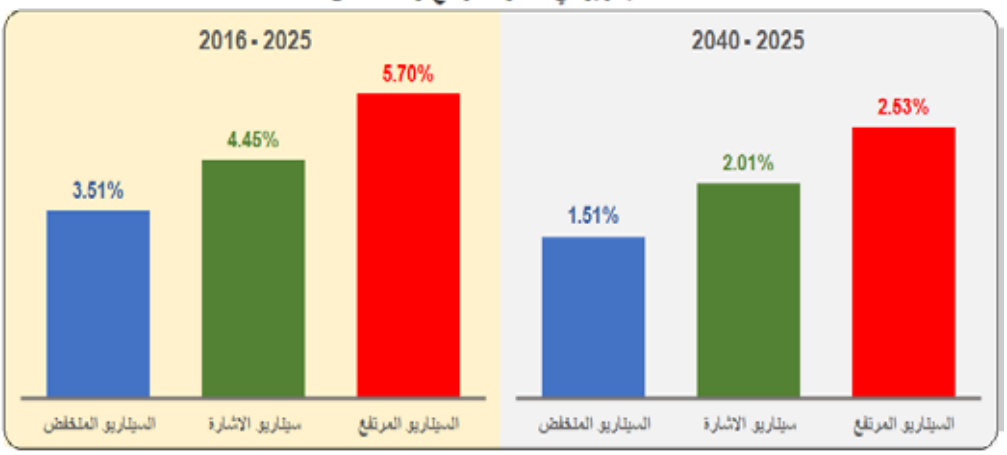
أما فيما يتعلق بالنمو السكاني فيفترض سيناريو النمو المنخفض أن يرتفع عدد السكان بمجموعة الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة (2016 – 2025) بمعدل 1.5%، وتتراوح معدلات النمو للدول فرادى بين 0.8% في تونس، و2.2% في الكويت، بينما ينكمش في سورية بمعدل 1.2%. **وعلى المدى البعيد يفترض سيناريو النمو المنخفض** أن يواصل إجمالي سكان الدول الأعضاء في أوابك نموه بمعدل 0.6% خلال الفترة (2025 – 2040)، حيث تتراوح معدلات النمو على مستوي الدول فرادى بين 0.4% في تونس، و1% في البحرين.

ويوضح الجدول رقم (9) في الملحق والشكل (35) معدلات النمو المفترضة للناتج المحلي الإجمالي في سيناريوهي النمو المرتفع والنمو المنخفض بالمقارنة مع سيناريو الإشارة:

الشكل(35)

معدلات النمو المفترضة للناتج المحلي الإجمالي، %

سيناريوهي النمو المرتفع والمنخفض



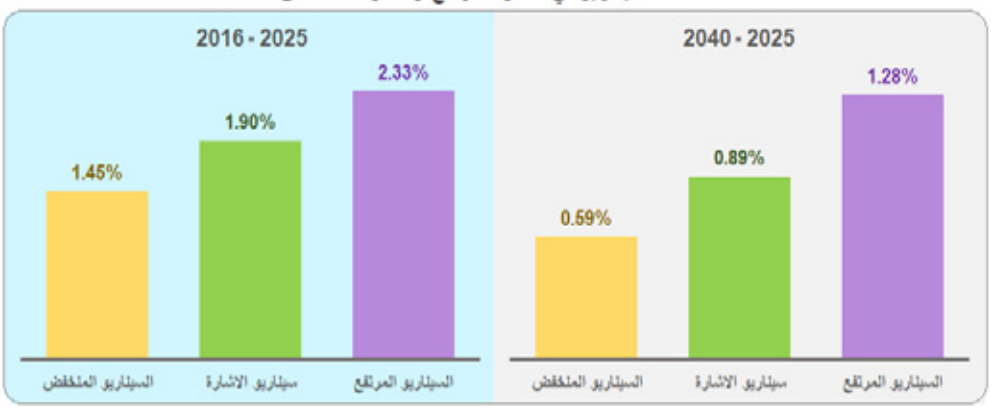
المصدر/ الجدول رقم (9) في الملحق

كما يوضح الجدول رقم (9) في الملحق والشكل (36) معدلات النمو المفترضة لإجمالي سكان الدول الأعضاء في أوابك في سيناريوهي النمو المرتفع والنمو المنخفض بالمقارنة مع سيناريو الإشارة:

الشكل(36)

معدلات النمو السكاني المفترضة، %

سيناريوهي النمو المرتفع والنمو المنخفض



المصدر/ الجدول رقم (9) في الملحق

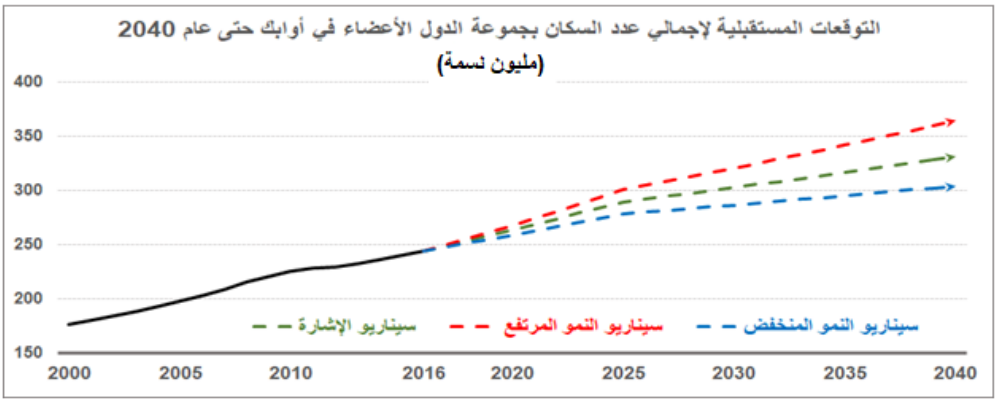
ومن ناحية مزيج الطاقة، يحافظ سيناريوهي النمو المرتفع والنمو المنخفض على فرضيات سيناريو الإشارة من حيث الأخذ بعين الاعتبار مشاريع الطاقات المتجددة تحت التنفيذ والمخطط لها في الدول الأعضاء، وكذلك مشاريع الطاقة النووية تحت التنفيذ بدولة الإمارات العربية، والمخطط لها في مصر، كما يحافظ سيناريوهي النمو المرتفع والنمو المنخفض على فرضيات سيناريو الإشارة من حيث ثبات معدلات أسعار الطاقة عند معدلاتها الحالية خلال كامل الفترة (2018 – 2040).

واستناداً لذلك، يتوقع أن يتراوح إجمالي عدد سكان الدول الأعضاء في أوابك ما بين 278 مليون نسمة و300 مليون نسمة بحلول عام 2025 حسب توقعات سيناريوهي النمو المنخفض والنمو المرتفع على التوالي، وبين ذلك يتوقع سيناريو الإشارة أن يبلغ إجمالي عدد

سكان الدول الأعضاء 290 مليون نسمة بحلول عام 2025، أي بزيادة قدرها 18.4% عن مستوياته المقدرة للعام 2016 والبالغة حوالي 245 مليون نسمة.

ويتوقع أن يشهد عدد السكان بالدول الأعضاء نمواً موجباً ولكن بوتيرة أخف على المدى البعيد حتى عام 2040، بحيث يتراوح إجمالي عدد سكان الدول الأعضاء ما بين 304 مليون نسمة و364 مليون نسمة حسب توقعات سيناريوهي النمو المنخفض والنمو المرتفع تباعاً، وبين ذلك يتوقع سيناريو الإشارة أن يبلغ إجمالي عدد سكان الدول الأعضاء حوالي 331 مليون نسمة بحلول عام 2040، أي بزيادة قدرها 35.3% عن مستوياته المقدرة للعام 2016، كما يوضح الشكل (37) والجدول (17):

الشكل(37)



الجدول (17)

التوقعات المستقبلية لإجمالي عدد سكان الدول الأعضاء في أوابك حتى عام 2040، مليون نسمة

	2000	2016	2020	2025	2030	2035	2040
سيناريو الإشارة	176.5	244.5	263.6	289.6	302.7	316.4	330.8
سيناريو النمو المرتفع	176.5	244.5	268.1	300.8	320.5	341.6	364.0
سيناريو النمو المنخفض	176.5	244.5	259.0	278.3	286.6	295.1	304.0

المصدر: الجدولين (8 & 9) بالملحق

فرضيات سيناريو الرفع التدريجي للأسعار المحلية للمنتجات النفطية والغاز الطبيعي

الجدير بالذكر، أن الدول الأعضاء في أوابك، التي تتمتع بمصادر وفيرة من النفط والغاز الطبيعي، انتهجت سياسات واسعة لدعم أسعار المنتجات النفطية والغاز الطبيعي بهدف مساعدة قطاعات المجتمع من ذوي الدخل المحدود لتحقيق التكافؤ الاجتماعي، والمساعدة في توسعة القطاع الصناعي لتحقيق معدلات أعلى من النمو الاقتصادي. حيث يباع الوقود بسعر أقل من السعر المرجعي في الأسواق العالمية، وتعد أسعار المنتجات النفطية والغاز الطبيعي في الأسواق المحلية في أغلب الدول الأعضاء منخفضة بشكل كبير، إذا ما قورنت بنظيراتها على المستوى العالمي ، مما أدى إلى تشجيع الإسراف في استهلاك الوقود الذي يترتب عليه عدة نتائج سلبية على رأسها النقص في كفاءة استخدام الطاقة، وكانت من الأسباب المباشرة في تقليل تنافسية الطاقة المتجددة التي تمتلك أيضاً الدول الأعضاء على مصادر وفيرة منها، وساهم في عجز الموازنة العامة في بعض الدول الأعضاء المستوردة للوقود والتي تواجه صعوبات في تعاملها مع تقلبات الأسعار العالمية الدولية، وهو الأمر الذي لا يمكن تحمله على نحو متزايد في المستقبل، ويعتبر تعديلها المدخل الرئيسي لإحداث الترشيد المطلوب.

ونظراً لصعوبة وضع فرضيات لتطور الأسعار في السنوات القادمة، ولعدم وجود سياسات معلنة للدول الأعضاء في هذا الشأن، جاء **سيناريو الرفع التدريجي للأسعار المحلية للمنتجات النفطية والغاز الطبيعي** ليختبر تأثير تخفيض نسبة الدعم عن طريق منهجية **("ماذا لو؟" سيناريو)** أو **("What If?" Scenario)** على التوقعات المستقبلية لسيناريو الإشارة، وذلك بتثبيت كل الفرضيات الأخرى على سيناريو الإشارة مع افتراض رفع تدريجي للمتوسط الموزون للأسعار المحلية للمنتجات النفطية والغاز الطبيعي على مراحل خلال الفترة (2018 – 2040)، لتبيان انعكاس ذلك على التوقعات المستقبلية لحجم الاستهلاك ومزيج الطاقة المستهلكة بالدول الأعضاء.

ومما تجدر الإشارة إليه هنا، هو أن بعض الدول الأعضاء بدأت فعلاً في التوجه نحو إصلاح أنظمة الدعم، وفي مقدمتها دعم الأسعار المحلية للطاقة، وترشيد استخدامها في خطط لخفض الإنفاق في مواجهة تراجع المداخيل النفطية. وقد اتخذت بعض الدول الأعضاء قرارات فيما يتعلق بتعديل أسعار المنتجات خاصة بعد عام 2014، وفرض ضرائب القيمة المضافة على أسعار الوقود المحلية كان آخرها في السعودية والإمارات وقطر اعتباراً من مطلع عام 2018. وقد لوحظ أن الغالبية العظمى من القرارات التي اِتُخِذَتْ خلال السنوات الماضية كانت تستهدف تحديداً الأسعار المحلية لمنتجي الغازولين والديزل، وبالرغم من أهمية هذه التصحيحات إلا أن من الأهمية بمكان الإشارة إلى الحصة المتواضعة لمساهمة كل من منتج الغازولين ومنتج الديزل من إجمالي استهلاك المنتجات النفطية والغاز الطبيعي تقلل من أهمية هذه الإصلاحات في الأسعار وانعكاسها على أهداف الترشيد المتوخاة، حيث تشير البيانات إلى أن منتج الغازولين ومنتج زيت الغاز والديزل يمثلان نسباً متفاوتة من اجمالي استهلاك النفط والغاز الطبيعي في الدول الأعضاء ولكنها متواضعة، أي ما يمثل أقل من ربع اجمالي الاستهلاك في أقصى تقديراتها، مما يعني تواضع التأثيرات الفعلية المتوقعة من اقتصار الزيادة في الأسعار على هذين المنتجين، ويوضح الجدول (18) والشكل (38) حصص منتج الغازولين ومنتج زيت الغاز والديزل في الدول الأعضاء من إجمالي استهلاك المنتجات النفطية والغاز الطبيعي خلال عام 2016:

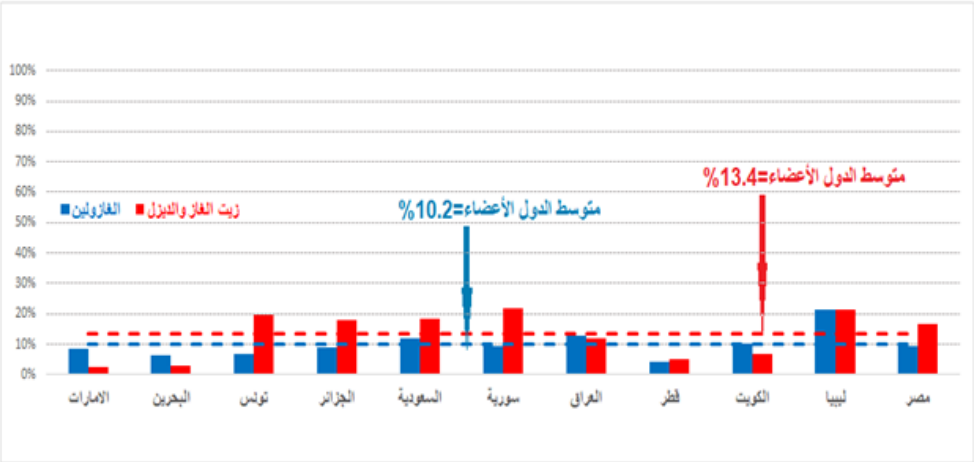
الجدول (18)

حصص منتج الغازولين ومنتج الديزل من إجمالي استهلاك النفط والغاز الطبيعي في الدول الأعضاء في منظمة أوابك خلال عام 2016، %

	الامارات	البحرين	تونس	الجزائر	السعودية	سورية	العراق	قطر	الكويت	ليبيا	مصر	أوابك
الغازولين	8.4%	6.2%	6.8%	8.8%	11.9%	9.3%	12.9%	4.1%	10.2%	21.5%	9.6%	10.2%
زيت الغاز والديزل	2.7%	2.8%	19.8%	18.1%	18.4%	21.7%	11.8%	5.0%	6.8%	21.5%	16.5%	13.4%

المصدر: مشتق من بيانات التقرير الإحصائي أوابك 2017، وبيانات التقرير الإحصائي أوبك 2016

الشكل(38)
حصة الغازولين والديزل من إجمالي استهلاك النفط والغاز الطبيعي في الدول الأعضاء خلال عام 2016/ %



المصدر: مشتق من بيانات التقرير الإحصائي أوابك 2017، وبيانات التقرير الإحصائي أوبك 2016

لذلك افترضت الدراسة أن يتم الرفع التدريجي في المتوسط الموزون للأسعار، أي ليشمل كل أنواع المنتجات النفطية والغاز الطبيعي في الأسواق المحلية على النحو المبين في الجدول (18) أدناه اعتبارا من عام 2020، بحيث تمثل حصيلة الرفع التدريجي للأسعار، نمواً بمعدل سنوي مركب للأسعار المحلية للوقود بنسبة 3.1% اعتباراً من عام 2020، لتبلغ حصيلة الزيادة في متوسط أسعار الوقود نحو 89.3% خلال عام 2040 مقارنة بمستوياتها لعام 2019، في كل الدول الأعضاء باستثناء ليبيا التي تتدنى الأسعار المحلية فيها كثيراً عن مستوياتها بالمقارنة بالدول الأعضاء الأخرى، ولم تتخذ أي خطوات لتعديل الأسعار خلال الفترة الماضية بخلاف الدول الأعضاء الأخرى، ولذلك افترضت الدراسة زيادات بنسب أعلى من الدول الأخرى في الأسعار المحلية للسوق الليبي على النحو المبين في الجدول (18) أدناه اعتبارا من عام 2020، بحيث تمثل حصيلة الرفع التدريجي للأسعار، نمواً بمعدل سنوي مركب للأسعار المحلية للوقود

بنسبة 9.5% اعتباراً من عام 2020، لتبلغ حصيلة الزيادة في متوسط أسعار الوقود نحو 579% خلال عام 2040 مقارنة بمستوياتها لعام 2019:

الجدول (19)

الزيادة المفترضة في المتوسط الموزون للأسعار المحلية للمنتجات النفطية والغاز الطبيعي بالدول الأعضاء في أوابك، سيناريو الرفع التدريجي للأسعار

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ليبيا	50%	10%	20%	30%	40%	10%	2%	4%	6%	8%	5%
باقي الدول الأعضاء	5%	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%
	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	
ليبيا	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	
باقي الدول الأعضاء	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%	

ومن جانب آخر، يفترض سيناريو الرفع التدريجي للأسعار نفس مسار النمو الذي افترضه سيناريو الاشارة فيما يتعلق بالناتج المحلي الإجمالي وعدد السكان بالدول الأعضاء، كما افترض أيضاً استمرار العوامل الأخرى مثل الهياكل الاقتصادية والكميات المتاحة من بدائل مصادر الطاقة دون تغيير أسوة بالسيناريوهات الأخرى للدراسة.

فرضيات سيناريو الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة والنووية

شهدت السنوات الأخيرة منذ مطلع العقد السابق، تنامي الاهتمام المتزايد في الدول الأعضاء بأهمية التوجه نحو تنويع مصادر الطاقة، إذ أثبتت الدراسات الصادرة في هذا الخصوص أن المنطقة تتمتع بمصادر وفيرة من الطاقة المتجددة خاصة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، لذلك برزت التوجهات نحو خيار العمل على استغلال مصادر الطاقة المتجددة المتاحة، ونقل التقنيات الخاصة بها إلى الدول الأعضاء كخيار استراتيجي للدول الأعضاء لتأمين وتنويع مصادر الطاقة لديها، وإرساء صناعتها محلياً استرشادًا بالمواصفات العالمية ومن ثم تسويقها إقليميًا في بادئ الأمر فعالميًا في مرحلة لاحقة؛ لتشكل بذلك رافداً قوياً للمصادر البترولية وتساهم في تعزيز مصادر الدخل عبر تحرير المزيد من النفط والغاز من أجل التصدير.

وقد أعلنت بعض الدول الأعضاء أهدافها المستقبلية لمساهمة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة، حيث تراوح نطاق تحقيق هذه الأهداف بين سنوات مختلفة خلال الفترة (2020 – 2040)، كما أعلنت بعض الدول الأعضاء مؤخراً عن رغبتها في إضافة الطاقة النووية إلى مزيج الطاقة في بلدانها، وذلك لمواجهة الطلب المتنامي على الكهرباء، وتنويع مزيج الطاقة وتحرير المزيد من النفط والغاز للتصدير، حيث تراوح نطاق تحقيق هذه الأهداف بين سنوات مختلفة خلال الفترة (2018 – 2040)، ويشير تقرير الرابطة النووية العالمية حول مفاعلات الطاقة النووية العالمية ومتطلبات اليورانيوم الصادر في ديسمبر 2017، إلى عزم مصر إضافة مفاعلين نوويين لتوليد الطاقة الكهربائية بقدرات مركبة إجمالية تبلغ 2.4 جيجاوات، بالإضافة إلى المفاعلين المخطط لهما واللذان تم تضمينهما في سيناريو الإشارة، كما يشير تقرير الرابطة النووية العالمية أن السعودية تهدف إلى بناء عدد 16 مفاعلاً نووياً لتوليد الطاقة الكهربائية بقدرات مركبة إجمالية تبلغ 17 جيجاوات، وأن دولة الإمارات العربية تهدف إلى إضافة عدد 10 مفاعلات نووية لتوليد الطاقة الكهربائية بقدرات مركبة إجمالية تبلغ 14.4 جيجاوات، بالإضافة إلى الأربعة مفاعلات تحت الإنجاز والتي تم تضمينها في سيناريو الإشارة، لذلك تم تضمين الدراسة السيناريو الخامس وهو **سيناريو الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة والنووية**، لبيان انعكاساتها المتوقعة على مزيج الطاقة المستقبلي بالدول الأعضاء. ويوضح الجدول (20) أدناه الأهداف الوطنية المعلنة للتوسع في استخدام الطاقات المتجددة بالدول الأعضاء خلال الفترة 2018 – 2040:

الجدول (20)
الأهداف الوطنية المعلنة للتوسع في استخدام الطاقات المتجددة، ميجاوات

	طاقات الرياح	الطاقة الشمسية	الكتلة الحيوية	الحرارة الجوفية	الإجمالي	بحلول عام
*الامارات	-	5000	-	-	5000	2030
البحرين	-	-	-	-	250	2030
تونس	1755	1970	-	-	3725	2030
الجزائر	1010	3000	350	5	4365	2020
	5010	15575	1000	15	21600	2030
السعودية	9000	41000	3000	1000	54000	2040
سورية	1000	3300	250	-	4550	2030
العراق	-	300	-	-	300	2020
قطر	-	-	-	-	1800	2030
*الكويت	700	10300	-	-	11000	2030
ليبيا	600	469	-	-	1069	2020
	1000	1219	-	-	2219	2025
مصر	7200	2300	-	-	9500	2022
الإجمالي	**27275**	**84433**	**4600**	**1020**	**116308**	

المصدر: Renewable Energy in the Arab Region: Overview of developments, IRENA & RECREEE & League of Arab States, 2016
* مصادر وطنية

وقد اتبعت الدراسة في السيناريو الخامس المتعلق بالأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة والنووية منهجية السيناريوهات التراجعية (Backcasting Scenarios)، وهي منهجية تخطيط للسياسات، حيث تمثل الأهداف الوطنية صورة مستهدفة لمزيج الطاقة في المستقبل، ثم يتم إجراء تحليل الوضع الحالي وتحديد معدلات النمو المستهدفة للوصول لهذه الغاية، أي أن أسلوب السيناريوهات التراجعية يحدد مزيج الطاقة المستهدف في المستقبل، ويسعى لتحديد معدلات النمو والسياسات اللازمة لبلوغ هذا الهدف.

ثانياً: نتائج توقعات استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء حتى عام 2040 بحسب السيناريوهات الخمس المختلفة

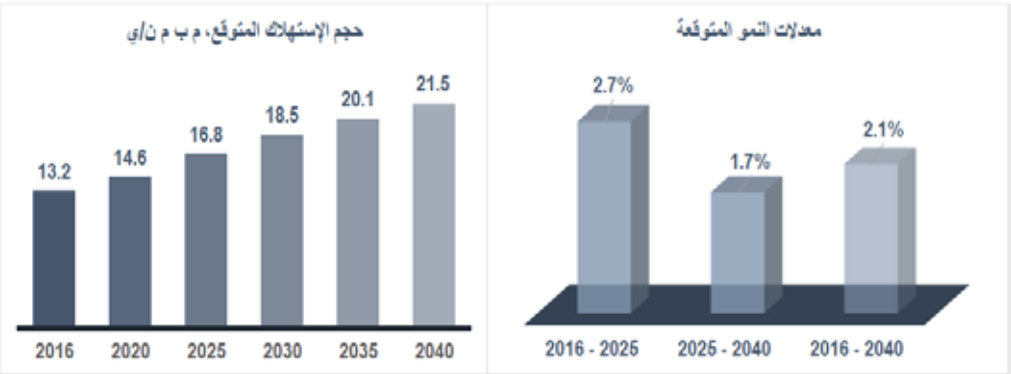
1. سيناريو الإشارة

1.1. توقعات إجمالي استهلاك الطاقة الأولية في الدول الأعضاء حتى عام 2040

وفق سيناريو الإشارة، من المتوقع أن يشهد إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء نمواً معدله 2.7% خلال الفترة (2016- 2025)، ليبلغ حوالي 16.8 مليون ب م ن ي عام 2025، وعلى المدى البعيد، سوف تنخفض وتيرة النمو في إجمالي استهلاك الطاقة بالدول الأعضاء مقارنة بالمدى المتوسط، حيث يتوقع أن يشهد الاستهلاك نمواً بنحو 1.7% خلال الفترة (2025-2040)، ليبلغ حوالي 21.5 مليون ب م ن ي عام 2040، وبذلك تكون حصيلة النمو المتوقعة خلال الفترة (2016 – 2040) في إجمالي استهلاك الدول الأعضاء من الطاقة حوالي 2.1%، كما هو موضح بالجدولين (1 و10) في الملحق والشكل (39):

الشكل(39)

التوقعات المستقبلية لإجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء حتى 2040، سيناريو الإشارة

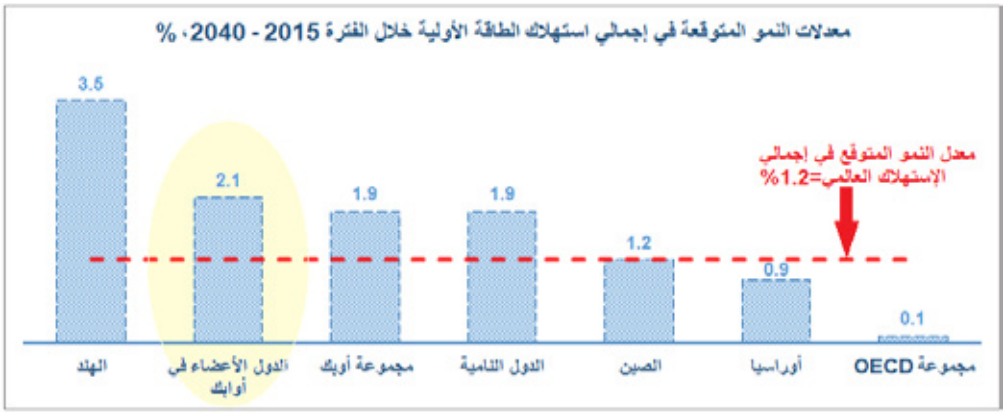


المصدر: الجدولين رقم (1 & 10) في الملحق

❖ توقعات حصة الدول الأعضاء من اجمالي الاستهلاك العالمي للطاقة حتى عام 2040

من المتوقع بحسب توقعات سيناريو الإشارة أن يبلغ معدل النمو في إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء نحو 2.1% ليتجاوز بذلك المعدل العالمي خلال الفترة (2015 – 2040)، كما يتوقع أن يتجاوز تسارع النمو في إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في مجموعة الدول الأعضاء نظيره في أغلب المجموعات الدولية الأخرى خلال ذات الفترة. وبذلك تحتل الدول الأعضاء المرتبة الثانية بعد الهند التي يتوقع أن تحقق أسرع معدلات النمو على الإطلاق بين المجموعات الرئيسية بمعدل يصل إلى 3.5% خلال الفترة (2015 – 2040) بحسب توقعات منظمة أوبك الواردة في تقرير آفاق النفط العالمي لعام 2017، كما هو موضح في الشكل (40):

الشكل(40)



المصدر: - الجداول رقم (1 & 10) في الملحق
- منظمة أوبك، تقرير آفاق النفط العالمي ، 2017

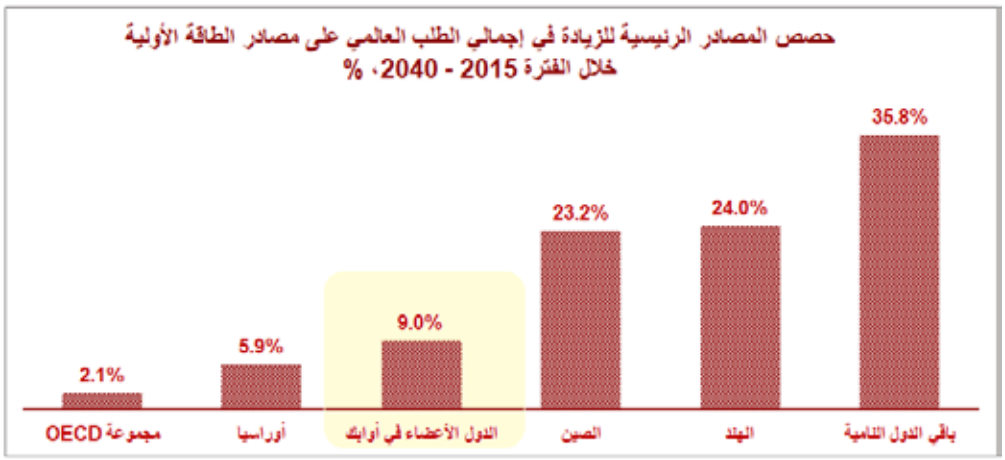
بناء عليه يتوقع أن يرتفع إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء في منظمة أوابك بنحو 8.6 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم ما بين عامي 2015 و2040، لتساهم بنحو 9% من الزيادة المتوقعة في إجمالي الطلب العالمي على مصادر الطاقة الأولية خلال ذات الفترة والمتوقع أن تبلغ حوالي 95.6 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم بحسب توقعات منظمة أوبك الواردة في تقرير آفاق النفط العالمي لعام 2017.

وبذلك يتوقع أن تحل مجموعة الدول الأعضاء في المرتبة الرابعة بين أهم المصادر الرئيسية للزيادة في إجمالي الطلب العالمي على مصادر الطاقة الأولية خلال الفترة (2015 – 2040)، بعد الهند والصين اللتان يتوقع أن تساهما بما يناهز نصف الزيادة المتوقعة في إجمالي الطلب العالمي على مصادر الطاقة الأولية، ومجموعة باقي الدول النامية التي يتوقع أن تساهم بنحو ثلث الزيادة في إجمالي الطلب العالمي على مصادر الطاقة الأولية خلال الفترة (2015 – 2040)، ويلاحظ تقدم الدول الأعضاء على مجموعتي دول أوروآسيا والدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD، كما هو موضح بالجدول (21) والشكل (41):

الجدول (21)
الطلب العالمي على مصادر الطاقة الأولية خلال عام 2015 وتوقعاته المستقبلية لعام 2040، مليون برميل مكافئ نفط

	مجموعة OECD	أوراسيا	الدول الأعضاء في أوابك	الصين	الهند	باقي الدول النامية	العالم
2015	110.0	22.2	12.9	62.7	16.8	51.4	276.0
2040	112.0	27.8	21.5	84.9	39.7	85.6	371.6

الشكل(41)



المصدر: - الجداول رقم (1 & 10) في الملحق
- منظمة أوبك، تقرير آفاق النفط العالمي ، 2017

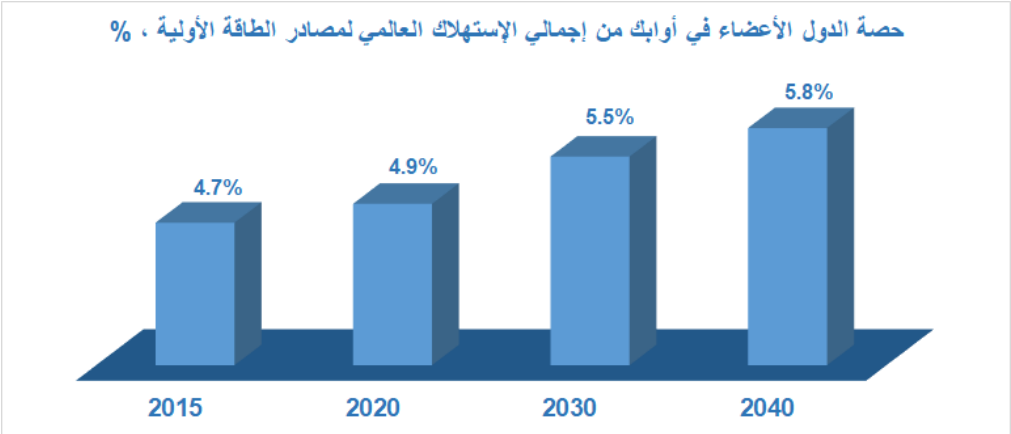
ونتيجة لذلك، يتوقع أن ترتفع حصة الدول الأعضاء في أوابك من اجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في العالم من 4.7% عام 2015 إلى حوالي 5.8%، كما هو موضح بالجدول (22) والشكل (42):

الجدول (22)

التوقعات المستقبلية لإجمالي الاستهلاك العالمي من مصادر الطاقة الأولية، مليون ب م ن/ي

	2015	2020	2030	2040
العالم	276.0	298.2	339.4	371.6
الدول الأعضاء في أوابك	12.9	14.6	18.5	21.5

الشكل(42)



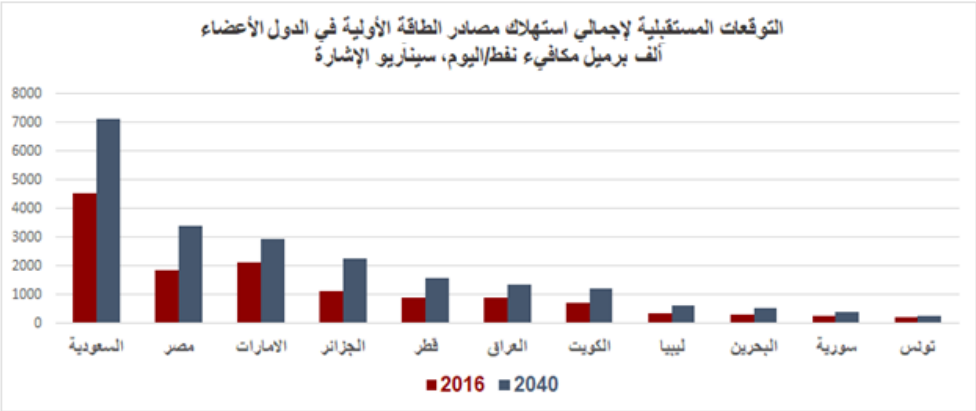
المصدر: - الجداول رقم (1 & 10) في الملحق
- منظمة أوبك/ تقرير آفاق النفط العالمي ، 2017

❖ توقعات استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء فرادى حتى عام 2040

من المتوقع أن تتصدر السعودية مجموعة الدول الأعضاء من حيث حجم الاستهلاك، حيث يتوقع أن يبلغ إجمالي استهلاكها من الطاقة حوالي 7.1 مليون ب م ن ي عام 2040 ، يليها مصر ، التي يتوقع أن يصل إجمالي استهلاكها حوالي 3.4 مليون ب م ن ي عام 2040، ثم دولة الإمارات العربية التي يتوقع أن يصل إجمالي استهلاكها حوالي 2.9 مليون ب م ن ي عام 2040، ويوضح الشكل (43) والجدول (23) حجم الاستهلاك المتوقع من إجمالي الطاقة

على مستوى الدول الأعضاء فرادى عام 2040، مقارنة بحجم الاستهلاك في عام 2016، وفقاً لسيناريو الإشارة:

الشكل(43)



الجدول (23)

التوقعات المستقبلية لإجمالي استهلاك الدول الأعضاء من مصادر الطاقة الأولية، ألف ب م ن/اي

	السعودية	مصر	الامارات	الجزائر	قطر	العراق	الكويت	ليبيا	البحرين	سورية	تونس
2016	4540.6	1857.3	2126.8	1128.3	869.2	898.4	683.2	323.6	309.3	232.8	190.5
2040	7127.6	3372.7	2940.5	2238.3	1565.9	1345.4	1189.7	604.9	502.6	364.3	253.4

المصدر/ الجداول رقم (1 & 10) في الملحق

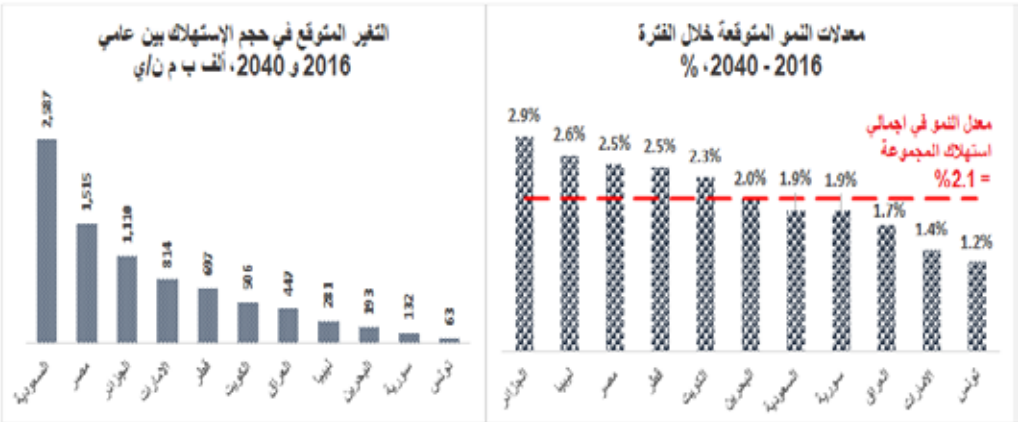
ومن المتوقع أن تأتي أغلب الزيادة المتوقعة في حجم استهلاك الدول الأعضاء من مصادر الطاقة الأولية من كل من السعودية ومصر والجزائر والإمارات، حيث يتوقع أن تساهم هذه الدول الأربع مجتمعة بما يقارب ثلاثة أرباع الزيادة المتوقعة في إجمالي استهلاك الدول الأعضاء من مصادر الطاقة الأولية والمقدرة بنحو 8.3 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم خلال الفترة (2016-2040). فمن المتوقع أن يرتفع إجمالي استهلاك السعودية من مصادر الطاقة الأولية بحوالي 2.6 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم لتساهم بنحو 31% من إجمالي الزيادة المتوقعة في استهلاك مجموعة الدول الأعضاء من مصادر الطاقة الأولية خلال الفترة 2016-2040، بينما يتوقع أن يرتفع إجمالي استهلاك مصر بحوالي 1.5 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم لتساهم بنحو

18.2%، في حين يتوقع أن يرتفع إجمالي استهلاك الجزائر ودولة الإمارات العربية بحوالي 1.1 و 0.8 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم تباعاً لتساهما بنحو 13.3% و 9.8%.

وبالمقابل، يتوقع أن تكون معدلات النمو الأسرع في إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بين دول المجموعة في الجزائر وليبيا ومصر وقطر والكويت، التي يتوقع أن يتسارع استهلاكها بمعدلات تتجاوز متوسط معدل نمو إجمالي استهلاك مجموعة الدول الأعضاء المتوقع بنحو 2.1% خلال نفس الفترة، حيث يتوقع أن يبلغ معدل النمو في إجمالي استهلاك الجزائر من مصادر الطاقة الأولية 2.9%، بينما يتوقع أن يبلغ معدل النمو في إجمالي استهلاك ليبيا من مصادر الطاقة الأولية 2.6%، في حين يتوقع أن يبلغ معدل النمو 2.5% في مصر ودولة قطر حوالي 2.5%، وفي الكويت 2.3% خلال الفترة (2016 - 2040)، ويوضح الشكل (44) توقعات سيناريو الإشارة للنمو في استهلاك الدول الأعضاء في أوابك من مصادر الطاقة الأولية خلال الفترة 2016-2040:

الشكل(44)

النمو المتوقع في استهلاك الدول الأعضاء في أوابك من مصادر الطاقة الأولية خلال الفترة 2016 - 2040
سيناريو الإشارة



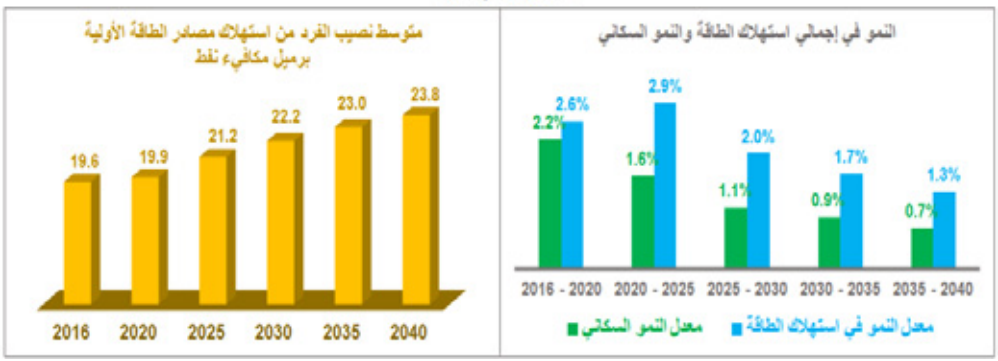
المصدر/ الجداول رقم (1 & 10) في الملحق

❖ توقعات متوسط استهلاك الفرد من الطاقة في الدول الأعضاء حتى عام 2040

من المتوقع أن يتجاوز تسارع النمو في إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية النمو السكاني في مجموعة الدول الأعضاء خلال الفترة (2016 – 2040)، مما سيؤدي إلى تزايد متوسط نصيب الفرد من استهلاك مصادر الطاقة الأولية خلال هذه الفترة، حيث يتوقع أن يبلغ معدل نمو السكان في مجموعة الدول الأعضاء حوالي 2.2% خلال الفترة 2016 – 2020، بينما يبلغ معدل النمو في إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية نحو 2.6% خلال ذات الفترة، ليرتفع بذلك متوسط استهلاك الفرد في الدول الأعضاء من 19.6 برميل مكافئ نفط عام 2016 إلى 19.9 برميل مكافئ نفط عام 2020، ثم يتوقع أن يتباطأ النمو السكاني ليصل إلى 1.6% خلال الفترة (2020 – 2025). وفي المقابل يتوقع أن يتسارع النمو في إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية إلى 2.9% خلال نفس الفترة، ليرتفع بذلك متوسط استهلاك الفرد إلى 21.2 برميل مكافئ نفط عام 2025. ثم سيشهد معدل النمو تباطؤاً خلال باقي الفترة حتى عام 2040، على الرغم من أن النمو في إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية سيظل أعلى من النمو السكاني خلال هذه الفترة فيواصل بذلك متوسط استهلاك الفرد ارتفاعه حتى يصل إلى 23.8 برميل مكافئ نفط عام 2040، كما هو موضح بالشكل (45):

الشكل(45)

التوقعات المستقبلية لحصة الفرد من إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في مجموعة الدول الأعضاء في أوابك حتى عام 2040
سيناريو الإشارة



المصدر: الجداول رقم (1 & 8 & 9 & 10) في الملحق

❖ توقعات استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء بحسب المصدر حتى عام 2040

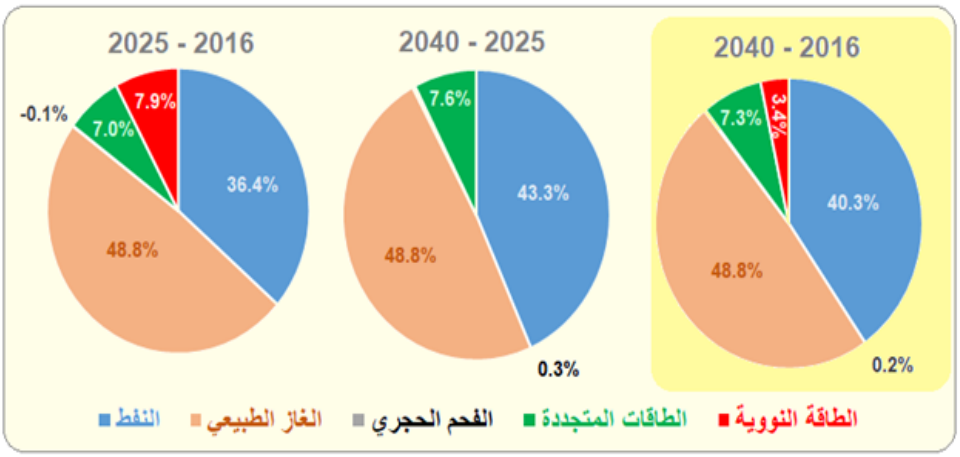
من المتوقع أن يلبي النفط والغاز الطبيعي أكثر من 89% من إجمالي الزيادة المتوقعة في استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء خلال الفترة (2016 – 2040) والبالغة نحو 8.3 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم، بينما يتوقع أن تساهم الطاقات المتجددة والنووية بتلبية النسبة المتبقية وهي 11%، ومن المتوقع أن يساهم الغاز الطبيعي بالحصة الأكبر بين جميع المصادر الأولية من الزيادة المتوقعة في استهلاك الطاقة ما بين عامي 2016 و2040، بنسبة تناهز نصف إجمالي الزيادة المتوقعة، يليه النفط الذي يتوقع أن تتجاوز حصته 40% من إجمالي الزيادة المتوقعة، بينما يتوقع أن تبلغ حصة الطاقات المتجددة نحو 7.3% والطاقة النووية 3.4%.

وفي الأجل المتوسط (2016 – 2025)، يتوقع أن تبلغ إجمالي الزيادة في استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء حوالي 3.6 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم. ويتوقع أن تشكل حصة الغاز الطبيعي منها نحو 48.8%، بينما يتوقع أن تمثل حصة النفط من هذه الزيادة نحو 36.4%، والطاقات المتجددة نحو 7%، والطاقة النووية 7.9%.

أما في الأجل الطويل (2025 – 2040)، يتوقع أن تبلغ إجمالي الزيادة في استهلاك مصادر الطاقة الأولية في مجموعة الدول الأعضاء حوالي 4.7 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم. ويتوقع أن تستقر حصة الغاز الطبيعي منها عند 48.8%، بينما يتوقع أن ترتفع حصة النفط من هذه الزيادة إلى نحو 43.3%، والطاقات المتجددة إلى نحو 7.6%، بينما لا يتوقع سيناريو الإشارة أي تغير في اجمالي استهلاك الطاقة النووية في مجموعة الدول الأعضاء خلال الفترة ذاتها، كما هو موضح بالشكل (46) والجدول (24):

الشكل(46)

حصص المصادر الأولية من الزيادة المتوقعة في إجمالي استهلاك الطاقة ما بين عامي 2016 و 2040
سيناريو الإشارة



الجدول (24)

التوقعات المستقبلية لإجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء في أوابك بحسب المصدر، سيناريو الإشارة، ألف ب م ن /ي

	النفط	الغاز الطبيعي	الفحم الحجري	الطاقات المتجددة	الطاقة النووية	إجمالي المصادر الأولية
2016	6299.5	6607.8	39.1	213.8	0.0	13160.1
2025	7617.1	8373.2	36.6	465.6	284.7	16777.3
2040	9665.3	10678.7	52.0	824.6	284.7	21505.3

المصدر: الجداول رقم (6 & 16) في الملحق

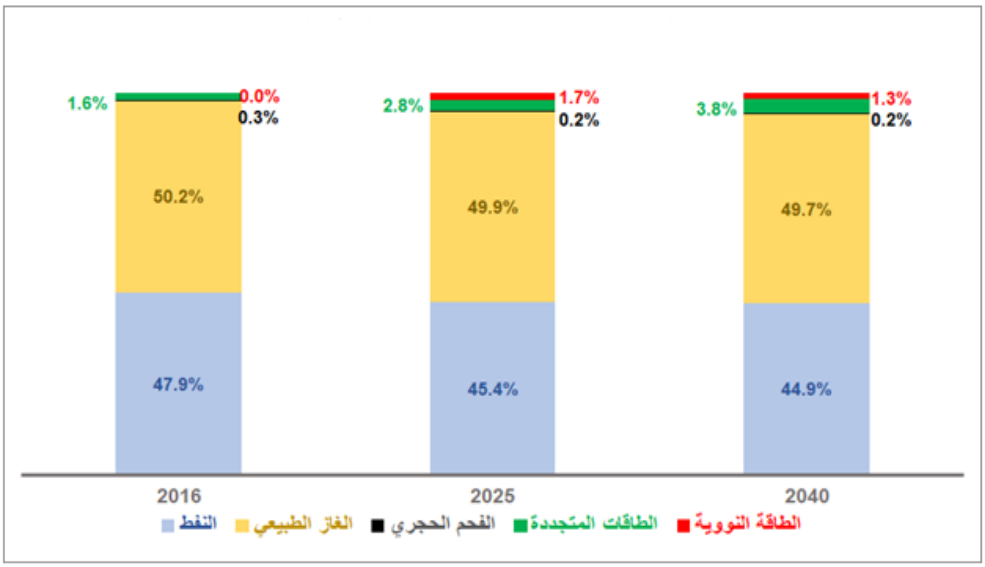
❖ توقعات مزيج الطاقة الأولية المستهلكة في الدول الأعضاء حتى عام 2040

من المتوقع أن تستمر هيمنة النفط والغاز الطبيعي على مزيج الطاقة المستهلكة في الدول الأعضاء بمنظمة أوابك خلال الفترة الممتدة من عام 2016 حتى عام 2040 بحسب سيناريو الإشارة، حيث يتوقع أن يشكل هذان المصدران نسبة 94.6% من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة عام 2040، مقارنة بحصة بلغت نحو 98.1% من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة عام 2016. ويتوقع أن تتراجع حصة النفط من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة

بحوالي 2.5% ما بين عامي 2016 و2025، بينما تتراجع حصة الغاز الطبيعي بحوالي 0.3%، والفحم بحوالي 0.1% لصالح ارتفاع حصة الطاقات المتجددة بحوالي 1.2% ودخول الطاقة النووية إلى هيكل مزيج الطاقة المستهلكة في الدول الأعضاء بمنظمة أوابك بحصة 1.7% عام 2025.

وخلال عام 2040، يتوقع سيناريو الإشارة أن ترتفع حصة الطاقات المتجددة إلى نحو 3.8%، في حين تتراجع حصة الغاز الطبيعي إلى نحو 49.7%، كما تتراجع حصة النفط إلى نحو 44.9%، بينما تتراجع حصة الطاقة النووية إلى 1.3%، كما هو موضح بالشكل (47):

الشكل(47)
حصة كل مصدر من إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية، %



المصدر: الجداول رقم (7 & 17) في الملحق

وبالمقارنة مع توقعات المزيج العالمي، تشير توقعات منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك) إلى تراجع حصة النفط من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة عالمياً بنحو 4.2% من حوالي 31.3% عام 2015 إلى نحو 27.1% عام 2040، وبالمقابل تشير توقعات

سيناريو الإشارة لمنظمة أوابك بتراجع حصة النفط من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة في الدول الأعضاء بنحو 3.8% من حوالي 48.8% عام 2015 إلى نحو 44.9% عام 2040، بينما تشير توقعات أوبك إلى ارتفاع حصة الغاز الطبيعي من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة عالمياً بنحو 3.6% من حوالي 21.5% عام 2015 إلى نحو 25.1% عام 2040، في حين يتوقع سيناريو الإشارة لمنظمة أوابك أن ترتفع حصة الغاز الطبيعي من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة في الدول الأعضاء بنحو 0.3% أي من حوالي 49.3% عام 2015 إلى نحو 49.7% عام 2040.

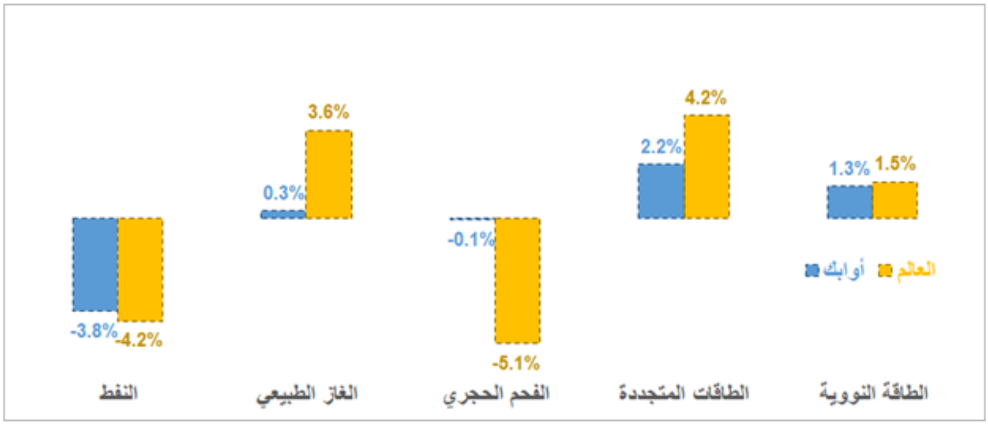
وستظل حصة الطاقات المتجددة في مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة في الدول الأعضاء متواضعة مقارنة مع حصتها في المزيج العالمي، حيث يتوقع أن ترتفع حصة الطاقات المتجددة من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة عالمياً بنحو 4.2% من 14% عام 2015 إلى نحو 18.2% عام 2040 بحسب توقعات أوبك، بينما ترتفع هذه الحصة في الدول الأعضاء بنحو 2.2% أي من 1.6% عام 2015 إلى نحو 3.8% عام 2040 بحسب سيناريو الإشارة لمنظمة أوابك، كما هو موضح بالجدول (25) والشكل (48):

الجدول (25)
التوقعات المستقبلية لحصة مصادر الطاقة الأولية من إجمالي استهلاكها، %

		النفط	الغاز الطبيعي	الفحم الحجري	الطاقات المتجددة	الطاقة النووية
2015	أوابك	48.8%	49.3%	0.3%	1.6%	0.0%
	العالم	31.3%	21.5%	28.3%	14.0%	4.9%
2040	أوابك	44.9%	49.7%	0.2%	3.8%	1.3%
	العالم	27.1%	25.1%	23.2%	18.2%	6.4%

المصدر: - الجداول رقم (7 & 17) في الملحق،
- منظمة أوبك، تقرير آفاق النفط العالمي ، 2017

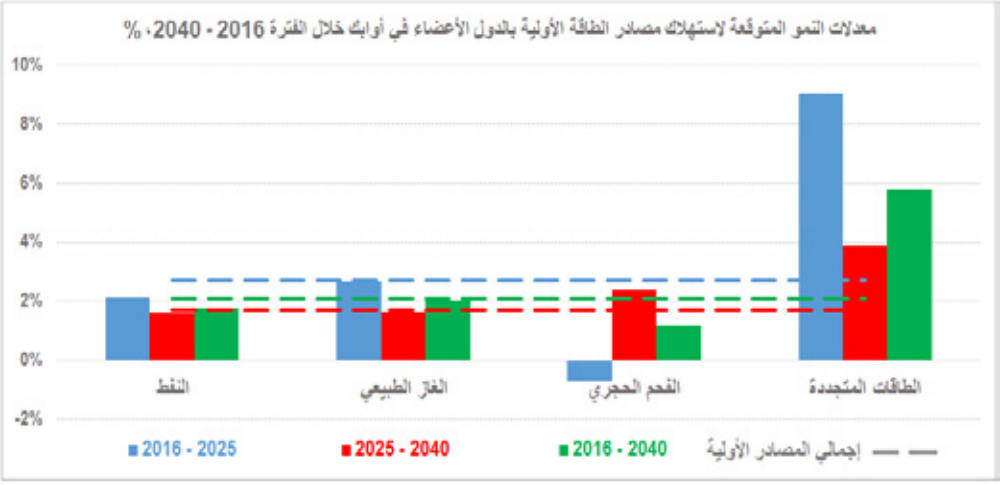
الشكل(48)
التغير في حصة كل مصدر من مصادر الطاقة بين عامي 2015 و 2040، %



المصدر: - الجداول رقم (7 & 17) في الملحق،
- منظمة أوبك، تقرير آفاق النفط العالمي ، 2017

ويتوقع سيناريو الإشارة أن يحقق استهلاك الطاقات المتجددة أسرع معدلات النمو بين المصادر الأولية الأخرى في الدول الأعضاء في أوابك خلال الفترة (2016 – 2040)، حيث تشير التوقعات إلى نمو إجمالي استهلاك الطاقات المتجددة في الدول الأعضاء في أوابك بحوالي 9% على المدى المتوسط (2016 – 2025)، ويواصل نموه بمعدل 3.9% على المدى البعيد (2025 – 2040)، لتبلغ حصيلة النمو نحو 5.8% خلال الفترة (2016 – 2040). وفي المقابل، يتوقع أن يبلغ نمو إجمالي استهلاك النفط في الدول الأعضاء في أوابك بحوالي 2.1% على المدى المتوسط (2016 – 2025)، ويواصل نموه بمعدل 1.6% على المدى البعيد (2025 – 2040)، لتبلغ حصيلة النمو نحو 1.8% خلال الفترة (2016 – 2040)، في حين يتوقع أن يبلغ نمو إجمالي استهلاك الغاز الطبيعي في الدول الأعضاء في أوابك بحوالي 2.7% على المدى المتوسط (2016 – 2025)، ويواصل نموه بمعدل 1.6% على المدى البعيد (2025 – 2040)، لتبلغ حصيلة النمو نحو 2% خلال الفترة (2016 – 2040)، كما هو موضح بالشكل (49) والجدول (26):

الشكل(49)



الجدول (26)

معدلات النمو المتوقعة لإجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بالدول الأعضاء في أوابك

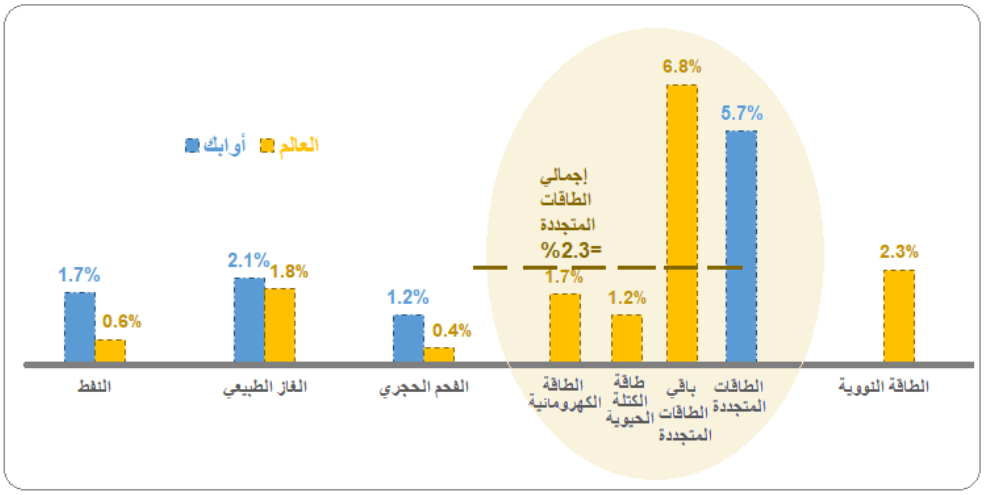
	النفط	الغاز الطبيعي	الفحم الحجري	الطاقات المتجددة	الطاقة النووية	إجمالي المصادر الأولية
2025 - 2016	2.1%	2.7%	-0.7%	9.0%	/	2.7%
2040 - 2025	1.6%	1.6%	2.4%	3.9%	0.0%	1.7%
2040 - 2016	1.8%	2.0%	1.2%	5.8%	/	2.1%

المصدر: الجداول رقم (6 & 16) في الملحق

وعلى المستوى العالمي، تشير توقعات منظمة أوبك إلى أن استهلاك الطاقات المتجددة واستهلاك الطاقة النووية سوف يحققا أسرع معدلات للنمو بين المصادر الأولية الأخرى خلال الفترة (2015 – 2040) أي بمعدل 2.3% لكليهما. وفيما يخص الطاقات المتجددة، تتوقع منظمة أوبك أن تحقق باقي المصادر المتجددة (من غير الكهرومائية وطاقة الكتلة الحيوية) وفي مقدمتها الطاقة الشمسية وطاقة الرياح أسرع معدلات النمو بين كل مصادر الطاقة الأولية خلال الفترة (2015 – 2040) أي عند 6.8%، بينما تشير توقعات سيناريو الإشارة لمنظمة أوابك إلى نمو إجمالي استهلاك الطاقات المتجددة في الدول الأعضاء بحوالي 5.7% خلال الفترة (2015 – 2040)، وهي أسرع معدلات النمو بين المصادر الأولية الأخرى للطاقة، كما هو موضح بالشكل (50) والجدول (27):

الشكل(50)

معدلات النمو المتوقعة في استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء في أوابك وعالمياً خلال الفترة 2015 - 2040، %



الجدول (27)

معدلا النمو المتوقعة لاستهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء وعالمياً خلال الفترة (2015 – 2040)، %

	النفط	الغاز الطبيعي	الفحم الحجري	الطاقة الكهرومائية	طاقة الكتلة الحيوية	باقي الطاقات المتجددة	إجمالي الطاقات المتجددة	الطاقة النووية
أوابك	%1.7	%2.1	%1.2	غ م	غ م	غ م	%5.7	غ م
العالم	%0.6	%1.8	%0.4	%1.7	%1.2	%6.8	%2.3	%2.3

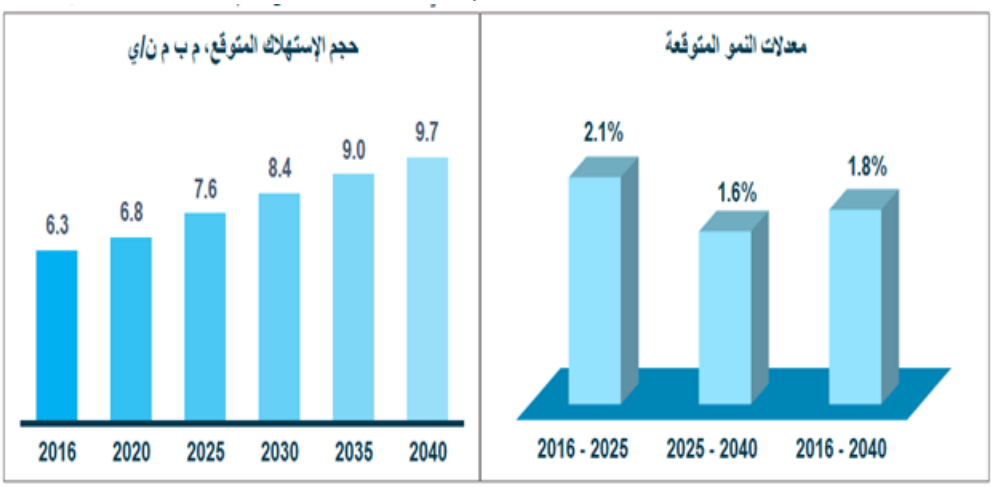
المصدر: - الجداول رقم (6 & 16) في الملحق،
- منظمة أوبك، تقرير آفاق النفط العالمي ، 2017

2.1. توقعات استهلاك النفط في الدول الأعضاء حتى عام 2040

بحسب سيناريو الإشارة، من المتوقع أن يشهد استهلاك النفط في الدول الأعضاء في منظمة أوابك نمواً بنحو 2.1% على المدى المتوسط (2016 – 2025)، ليبلغ حوالي 7.6 مليون ب ي عام 2025. وعلى المدى البعيد، سوف تنخفض وتيرة النمو في إجمالي استهلاك النفط بالدول الأعضاء مقارنة بالمدى المتوسط، حيث يتوقع أن يشهد استهلاك النفط بالدول الأعضاء نمواً بنحو 1.6% خلال الفترة (2025-2040)، ليبلغ استهلاك النفط نحو 9.7

مليون ب ي عام 2040، وبذلك تكون حصيلة النمو المتوقعة خلال الفترة (2016- 2040) في استهلاك الدول الأعضاء من النفط حوالي 1.8%، كما هو موضح بالجدولين (2 و11) في الملحق والشكل (51):

الشكل(51)
التوقات المستقبلية لإستهلاك النفط بالدول الأعضاء في منظمة أوابك حتى عام 2040، سيناريو الإشارة

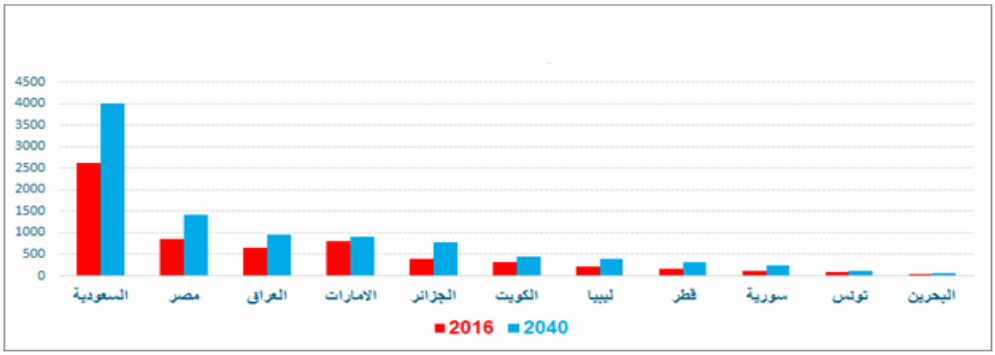


المصدر: الجداول رقم (2 & 11) في الملحق

❖ التوقعات المستقبلية لاستهلاك النفط في الدول الأعضاء فرادى

من المتوقع أن تتصدر السعودية مجموعة الدول الأعضاء من حيث حجم الاستهلاك، حيث يتوقع أن يصل استهلاكها من النفط حوالي 4 مليون ب ي عام 2040. يليها مصر، والتي يتوقع أن يصل استهلاكها إلى 1.4 مليون ب ي عام 2040. ثم العراق التي يتوقع أن يصل استهلاكها إلى 958 ألف ب ي عام 2040، فدولة الإمارات العربية والتي يتوقع أن يصل استهلاكها إلى حوالي 920 ألف ب ي عام 2040، ويوضح الشكل (52) والجدول (28) الاستهلاك المتوقع من النفط على مستوى الدول الأعضاء فرادى عام 2040 مقارنة بحجم الاستهلاك في عام 2016، وفقاً لسيناريو الإشارة:

الشكل(52)
التوقعات المستقبلية لإستهلاك النفط في الدول الأعضاء على المستوى القطري
ألف برميل مكافئ نفط/اليوم، سيناريو الإشارة



الجدول (28)
استهلاك النفط في الدول الأعضاء فرادى خلال عام 2016 وتوقعاته المستقبلية لعام 2040، ألف برميل/اليوم

	السعودية	مصر	العراق	الامارات	الجزائر	الكويت	ليبيا	قطر	سورية	تونس	البحرين
2016	2627.0	868.5	659.2	799.2	399.0	310.0	217.0	170.6	124.1	93.6	31.2
2040	4016.8	1428.1	958.0	920.5	779.2	452.7	393.6	310.6	229.9	118.6	57.2

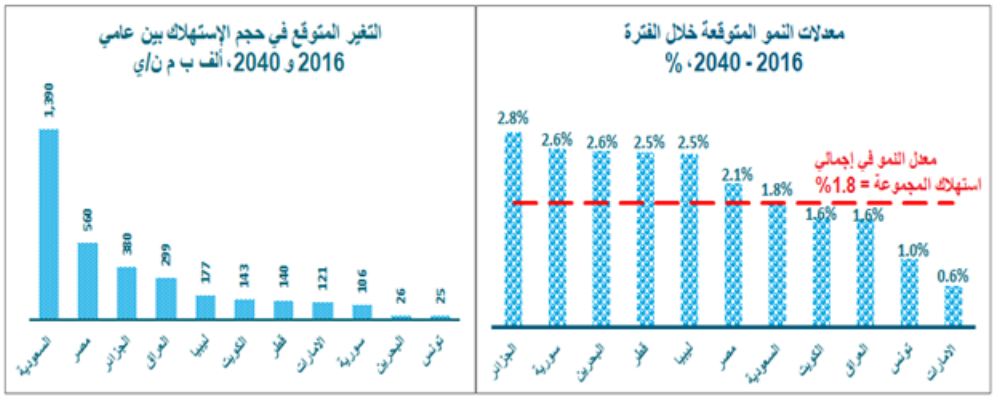
المصدر: الجداول رقم (2 & 11) في الملحق

ومن المتوقع أن تأتي أغلب الزيادة في حجم استهلاك الدول الأعضاء من النفط من السعودية ومصر والجزائر والعراق، حيث يتوقع أن تساهم الدول الأربع مجتمعة بأكثر من ثلاثة أرباع الزيادة المتوقعة في استهلاك الدول الأعضاء من النفط خلال الفترة (2016- 2040) والمقدرة بنحو 3.4 مليون برميل/اليوم. فمن المتوقع أن يرتفع استهلاك السعودية من النفط بحوالي 1.4 مليون برميل/اليوم لتساهم بأكثر من 41% من إجمالي الزيادة المتوقعة في استهلاك الدول الأعضاء من النفط خلال الفترة (2016- 2040)، بينما يتوقع أن يرتفع استهلاك مصر بحوالي 560 ألف برميل/اليوم لتساهم بنحو 16.6%، في حين يتوقع أن يرتفع استهلاك الجزائر والعراق بحوالي 380 و300 ألف برميل/اليوم على التوالي لتساهما بنسبة 11.3% و8.9% على التوالي.

وبالمقابل، يتوقع أن تكون معدلات النمو الأسرع في إجمالي استهلاك النفط بين دول المجموعة في الجزائر وسورية والبحرين وقطر وليبيا ومصر، التي يتسارع استهلاكها بمعدلات تتجاوز متوسط معدل نمو استهلاك مجموعة الدول الأعضاء خلال الفترة (2016-2040) والذي يتوقع أن يصل إلى 1.8%، فمعدل النمو في استهلاك الجزائر من النفط سيصل إلى 2.8%، بينما يتوقع أن يبلغ معدل النمو في استهلاك سورية والبحرين من النفط 2.6% لكل منهما، في حين يتوقع أن يبلغ معدل النمو 2.5% في دولتي قطر و ليبيا، وفي مصر 2.1%، في حين يتوافق النمو المتوقع في استهلاك السعودية مع معدل المجموعة المتوقع بنحو 1.8%، ويوضح الشكل (53) توقعات سيناريو الإشارة للنمو في استهلاك الدول الأعضاء في أوابك من النفط خلال الفترة (2016 - 2040):

الشكل(53)

النمو المتوقع في استهلاك الدول الأعضاء في أوابك من النفط خلال الفترة 2016 – 2040 سيناريو الإشارة



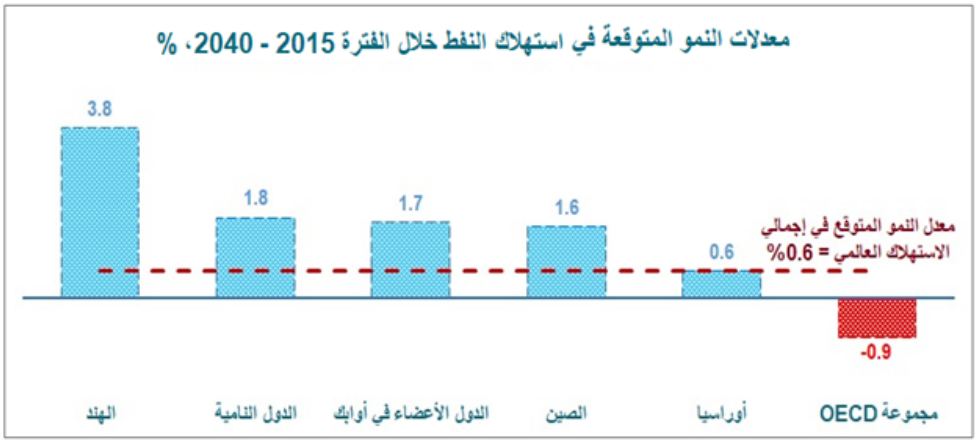
المصدر: الجداول رقم (2 & 11) في الملحق

❖ التوقعات المستقبلية لحصة الدول الأعضاء في أوابك من الاستهلاك العالمي للنفط حتى عام 2040

من المتوقع أن يتجاوز معدل النمو في استهلاك النفط في الدول الأعضاء في منظمة أوابك المعدل العالمي خلال الفترة (2015 – 2040)، كما يتوقع أن يتجاوز تسارع النمو في

استهلاك النفط في الدول الأعضاء نظيره في أغلب المجموعات الدولية الأخرى خلال ذات الفترة ليبلغ 1.7% خلال الفترة (2015 – 2040) بحسب توقعات سيناريو الإشارة لمنظمة أوابك، لتحل بذلك في المرتبة الثالثة بعد الهند التي يتوقع أن تحقق أسرع معدلات النمو على الإطلاق بين المجموعات الرئيسية بمعدل نمو يبلغ 3.8% خلال ذات الفترة ، ومجموعة الدول النامية التي يتوقع أن يبلغ متوسط النمو بها 1.8% خلال ذات الفترة بحسب توقعات منظمة أوبك الواردة في تقرير آفاق النفط العالمي لعام 2017، كما هو موضح في الشكل (54):

الشكل(54)



المصدر: - الجداول رقم (2 & 11) في الملحق،
- منظمة أوبك، تقرير آفاق النفط العالمي ، 2017

وبذلك يتوقع أن يرتفع استهلاك النفط في الدول الأعضاء في منظمة أوابك بنحو 3.4 مليون برميل/اليوم ما بين العامين 2015 و2040، لتساهم الدول الأعضاء بما يقارب من ربع الزيادة الصافية المتوقعة في إجمالي الطلب العالمي على النفط خلال هذه الفترة والمتوقعة بنحو 14.2 مليون برميل/اليوم بحسب توقعات منظمة أوبك الواردة في تقرير آفاق النفط العالمي لعام 2017.

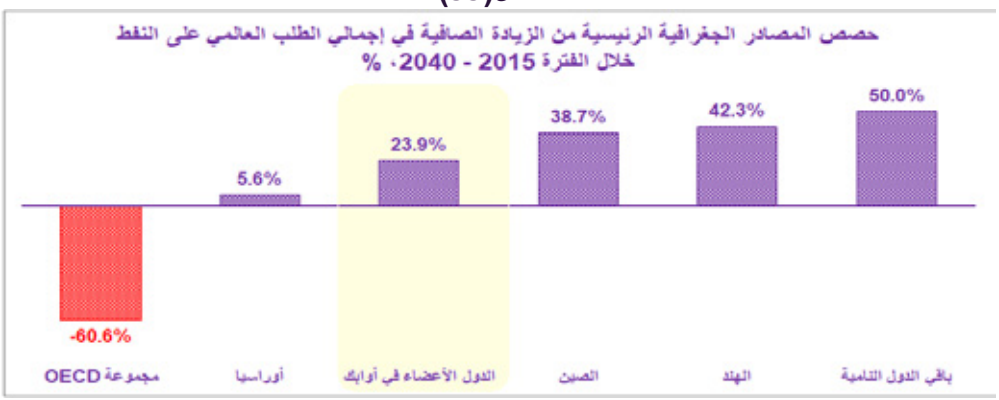
وبذلك يتوقع أن تحتل الدول الأعضاء المرتبة الرابعة بين أهم المصادر الرئيسية للزيادة في إجمالي الطلب العالمي على النفط خلال الفترة (2015 – 2040)، بعد الهند والصين اللتان

يتوقع أن تساهما بأكثر من 80% من إجمالي الزيادة الصافية المتوقعة في إجمالي الطلب العالمي على النفط خلال هذه الفترة، ومجموعة باقي الدول النامية التي يتوقع أن تساهم بنحو نصف الزيادة الصافية. والجدير بالإشارة أن التوقعات تشير إلى تراجع الطلب على النفط من مجموعة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD بنحو 60% من إجمالي الزيادة الصافية المتوقعة في إجمالي الطلب العالمي على النفط خلال الفترة (2015 – 2040)، كما هو موضح بالجدول (29) والشكل (55):

الجدول (29)
الطلب العالمي على النفط خلال عام 2015 وتوقعاته المستقبلية لعام 2040، مليون برميل مكافئ نفط

	مجموعة OECD	أوراسيا	الدول الأعضاء في أوابك	الصين	الهند	باقي الدول النامية	العالم
2015	41.5	5.0	6.3	11.0	3.9	18.8	86.5
2040	32.9	5.8	9.7	16.5	9.9	25.9	100.7
التغير	**-8.6**	**0.8**	**3.4**	**5.5**	**6.0**	**7.1**	**14.2**

الشكل(55)



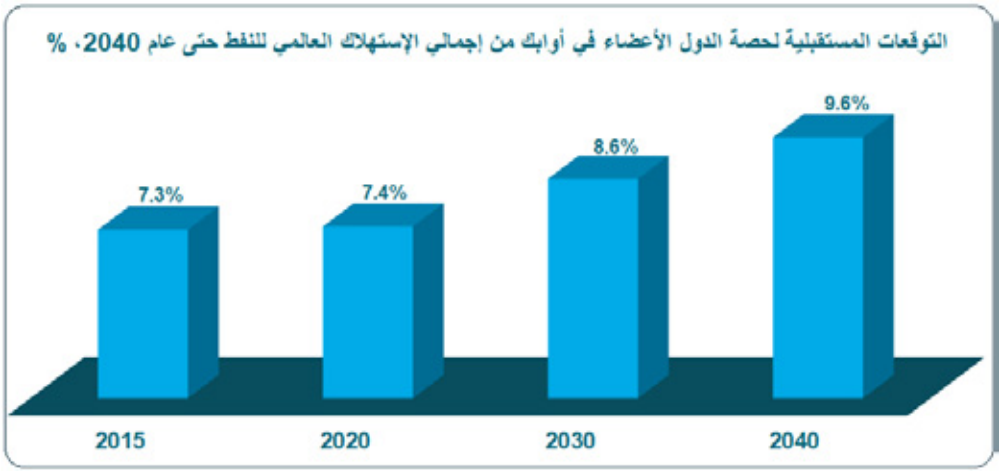
المصدر: - الجداول رقم (2 & 11) في الملحق،
- منظمة أوبك، تقرير آفاق النفط العالمي ، 2017

وكنتيجة لذلك، يتوقع أن ترتفع حصة الدول الأعضاء في أوابك من الاستهلاك العالمي للنفط من حوالي 7.3% عام 2015 إلى حوالي 9.6%، كما هو موضح بالجدول (30) والشكل (56):

الجدول (30)
التوقعات المستقبلية للاستهلاك العالمي من النفط، مليون ب م ن/ي

	2015	2020	2030	2040
العالم	86.5	92.3	97.9	100.7
الدول الأعضاء في أوابك	6.3	6.8	8.4	9.7

الشكل(56)

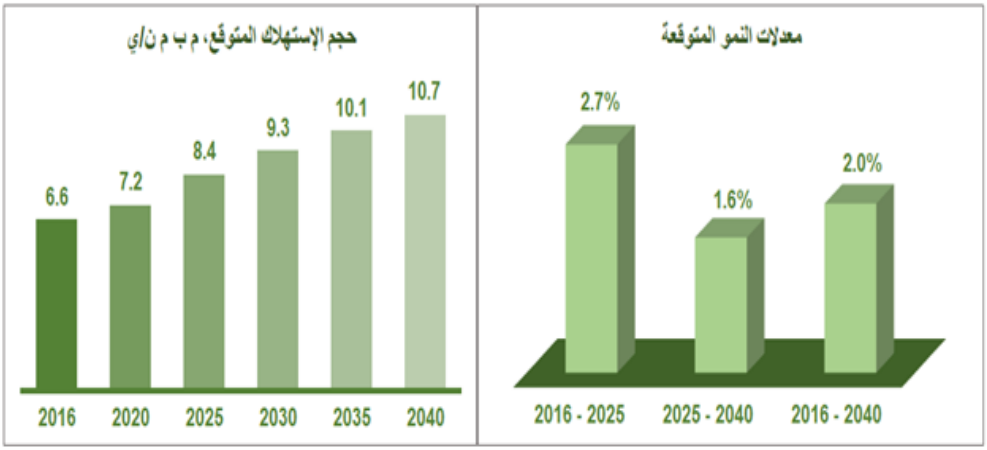


المصدر: - الجداول رقم (2 & 11) في الملحق،
- منظمة أوبك، تقرير آفاق النفط العالمي ، 2017

3.1. توقعات استهلاك الغاز الطبيعي في الدول الأعضاء حتى عام 2040

بحسب سيناريو الإشارة، من المتوقع أن يشهد استهلاك الغاز الطبيعي في الدول الأعضاء في منظمة أوابك نمواً بنحو 2.7% على المدى المتوسط (2016 – 2025)، ليبلغ حوالي 8.4 مليون ب م ن ي عام 2025. وعلى المدى البعيد، سوف تنخفض وتيرة النمو في استهلاك الغاز الطبيعي بالدول الأعضاء مقارنة بالمدى المتوسط، حيث يتوقع أن يشهد استهلاك الغاز الطبيعي بالدول الأعضاء نمواً بنحو 1.6% خلال الفترة (2025 – 2040)، ليبلغ استهلاك الغاز الطبيعي حوالي 10.7 مليون ب م ن ي عام 2040، وبذلك تكون حصيلة النمو المتوقعة خلال الفترة (2016- 2040) في استهلاك الدول الأعضاء من الغاز الطبيعي حوالي 2%، كما هو موضح بالجدولين (3 و12) في الملحق والشكل (57):

الشكل(57)
التوقعات المستقبلية لإستهلاك الغاز الطبيعي بمجموعة الدول الأعضاء في منظمة أوابك حتى عام 2040، سيناريو الإشارة

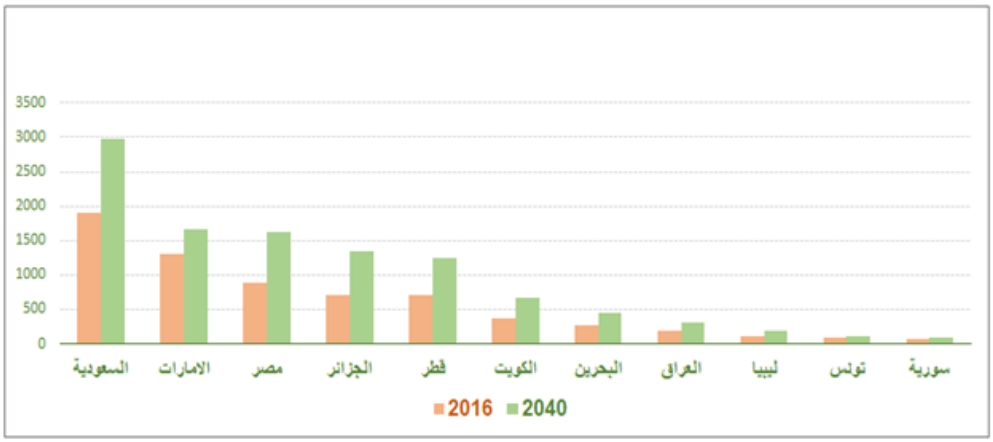


المصدر: الجداول رقم (3 & 12) في الملحق

❖ التوقعات المستقبلية لاستهلاك الغاز الطبيعي في الدول الأعضاء فرادى حتى عام 2040

من المتوقع أن تتصدر السعودية مجموعة الدول الأعضاء من حيث حجم الاستهلاك، حيث يتوقع أن يبلغ استهلاكها من الغاز الطبيعي ما يناهز 3 مليون ب م ن ي عام 2040. يليها دولة الإمارات العربية، والتي يتوقع أن يصل استهلاكها إلى 1.7 مليون ب م ن ي عام 2040، ثم مصر التي يتوقع أن يصل استهلاكها إلى 1.6 مليون ب م ن ي عام 2040، فالجزائر التي يتوقع أن يصل استهلاكها إلى 1.3 مليون ب م ن ي عام 2040، ودولة قطر التي يتوقع أن يصل استهلاكها إلى 1.2 مليون ب م ن ي عام 2040، ويوضح الشكل (58) والجدول (31) الاستهلاك المتوقع من الغاز الطبيعي على مستوى الدول الأعضاء فرادى عام 2040 مقارنة بحجم الاستهلاك في عام 2016، وفقاً لسيناريو الإشارة:

الشكل(58)
التوقعات المستقبلية لإستهلاك الغاز الطبيعي في الدول الأعضاء
ألف برميل مكافئ نفط/ اليوم، سيناريو الإشارة



الجدول (31)
الاستهلاك المتوقع من الغاز الطبيعي على مستوى الدول الأعضاء فرادى عام 2040 مقارنة بحجم الاستهلاك في عام 2016، وفقاً لسيناريو الإشارة

	السعودية	الامارات	مصر	الجزائر	قطر	الكويت	البحرين	العراق	ليبيا	تونس	سورية
2016	1910.4	1298.7	884.9	714.8	697.5	372.3	278.0	188.6	106.5	89.0	67.1
2040	2984.6	1668.2	1622.3	1345.5	1238.5	670.1	445.0	310.1	197.9	110.6	85.8

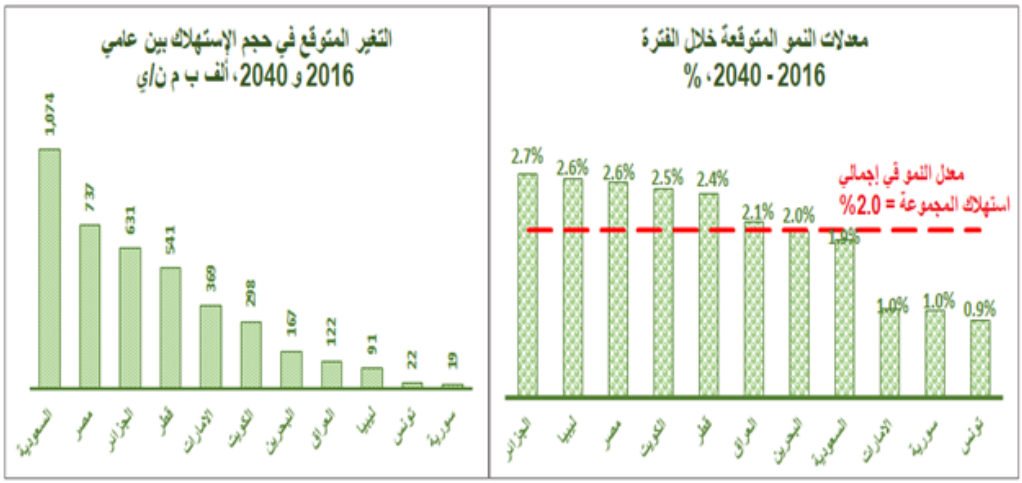
المصدر: الجداول رقم (3 & 12) في الملحق

ومن المتوقع أن تأتي أغلب الزيادة المتوقعة في حجم استهلاك الدول الأعضاء من الغاز الطبيعي من كل من السعودية ومصر والجزائر وقطر، حيث يتوقع أن تساهم الدول الأربع مجتمعة بما يناهز ثلاثة أرباع الزيادة المتوقعة في استهلاك الدول الأعضاء من الغاز الطبيعي خلال الفترة (2016- 2040) والمقدرة بنحو 4.1 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم. فاستهلاك السعودية من الغاز الطبيعي يتوقع أن يرتفع بحوالي 1.1 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم لتساهم بأكثر من 26% من إجمالي الزيادة المتوقعة في استهلاك الدول الأعضاء، بينما يتوقع أن يرتفع استهلاك مصر بحوالي 737 ألف برميل مكافئ نفط/اليوم لتساهم بنحو 18.1%، في حين يتوقع أن يرتفع إجمالي استهلاك الجزائر ودولة قطر بحوالي 631 و541 ألف برميل مكافئ نفط/اليوم على التوالي لتساهما بنحو 15.5% و13.3%.

وبالمقابل، يتوقع أن تشهد الجزائر وليبيا ومصر والكويت وقطر والعراق معدلات للنمو هي الأسرع في استهلاك الغاز الطبيعي بين الدول الأعضاء، حيث يتسارع استهلاكها بمعدلات تتجاوز متوسط معدل نمو استهلاك مجموعة الدول الأعضاء خلال الفترة (2016- 2040) المتوقع بنحو 2%. فمن المتوقع أن يبلغ معدل النمو في استهلاك الجزائر من الغاز الطبيعي 2.7% خلال الفترة (2016- 2040)، بينما يتوقع أن يبلغ معدل النمو في استلاك ليبيا ومصر من الغاز الطبيعي 2.6% لكل منهما، في حين يتوقع أن يبلغ معدل النمو 2.5% في دولة الكويت، و2.4% في دولة قطر، وفي العراق نحو 2.1%، في حين يتوافق النمو المتوقع في استهلاك البحرين مع معدل مجموعة الدول الأعضاء المتوقع بنحو 2%، ويوضح الشكل (59) توقعات سيناريو الإشارة للنمو في استهلاك الدول الأعضاء في أوابك من الغاز الطبيعي خلال الفترة 2016-2040:

الشكل(59)

النمو المتوقع في استهلاك الدول الأعضاء في أوابك من الغاز الطبيعي خلال الفترة 2016 - 2040
سيناريو الإشارة

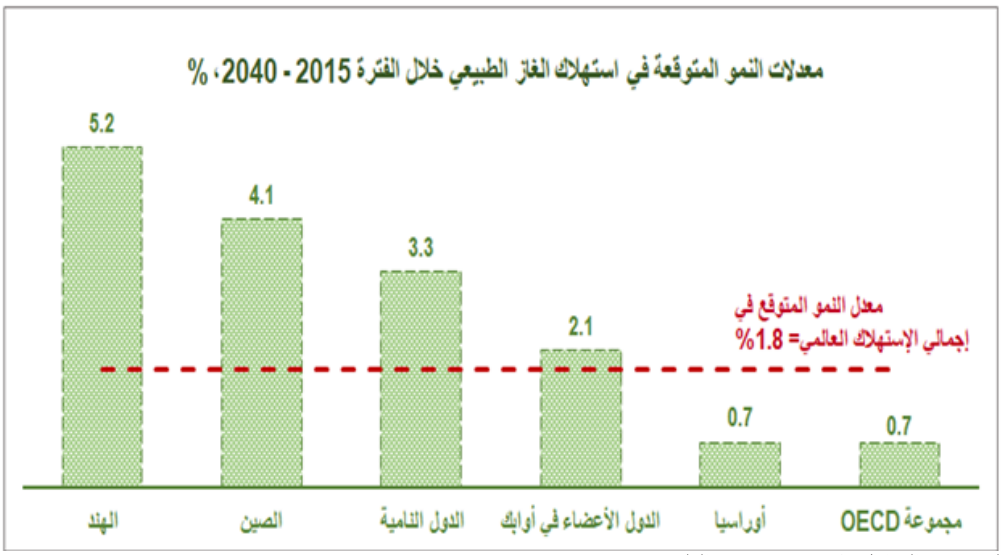


المصدر/ الجداول رقم (3 & 12) في الملحق.

❖ التوقعات المستقبلية لحصة الدول الأعضاء من الاستهلاك العالمي للغاز الطبيعي حتى عام 2040

من المتوقع أن يتجاوز معدل النمو في استهلاك الغاز الطبيعي في الدول الأعضاء في منظمة أوابك المعدل العالمي خلال الفترة (2015 – 2040)، كما يتوقع أن يتجاوز تسارع النمو في استهلاك الغاز الطبيعي في مجموعة الدول الأعضاء نظيره في مجموعتي أوراسيا والدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD خلال ذات الفترة بمعدل نمو يبلغ 2.1% بحسب توقعات سيناريو الإشارة، لتحتل المرتبة الرابعة بعد الهند التي يتوقع أن تحقق أسرع معدلات النمو على الإطلاق بين المجموعات الرئيسية بمعدل نمو يبلغ 5.2%، والصين التي يتوقع أن يبلغ معدل النمو بها 4.1%، ثم مجموعة الدول النامية التي يتوقع أن يبلغ متوسط النمو بها 3.3% حسب توقعات منظمة أوبك الواردة في تقرير آفاق النفط العالمي لعام 2017، كما هو موضح في الشكل (60):

الشكل(60)



المصدر: - الجداول رقم (3 & 12) في الملحق،
- منظمة أوبك، تقرير آفاق النفط العالمي ، 2017

وبذلك يتوقع أن يرتفع استهلاك الغاز الطبيعي في الدول الأعضاء في منظمة أوابك بنحو 4.3 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم ما بين عامي 2015 و2040، لتساهم الدول الأعضاء بنحو 12.6% من الزيادة المتوقعة في إجمالي الطلب العالمي على الغاز الطبيعي خلال الفترة ذاتها والمتوقعة بنحو 34 مليون برميل مكافئ نفط/اليوم حسب توقعات منظمة أوبك الواردة في تقرير آفاق النفط العالمي لعام 2017.

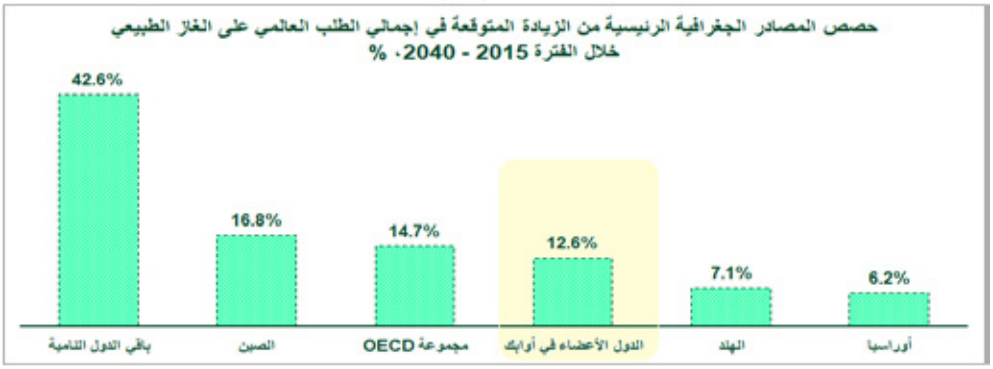
بناء على ما تقدم، يتوقع أن تحل مجموعة الدول الأعضاء في المرتبة الرابعة بين أهم المصادر الرئيسية للزيادة في إجمالي الطلب العالمي على الغاز الطبيعي خلال الفترة (2015 – 2040)، بعد مجموعة باقي الدول النامية (وهي مجموعة الدول النامية من دون الصين والهند والدول الأعضاء في أوابك) التي يتوقع أن تساهم بنحو 42.6% من الزيادة في إجمالي الطلب العالمي على الغاز الطبيعي خلال الفترة (2015 – 2040)، ثم الصين التي يتوقع أن تساهم وحدها بنحو 16.8% من الزيادة في إجمالي الطلب العالمي على الغاز الطبيعي خلال نفس الفترة، ومجموعة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD التي يتوقع أن تساهم بنحو 14.7% من الزيادة في إجمالي الطلب العالمي على الغاز الطبيعي خلال الفترة (2015 – 2040)، كما هو موضح بالجدول (32) والشكل (61):

الجدول (32)
الطلب العالمي على الغاز الطبيعي خلال عام 2015 وتوقعاته المستقبلية لعام 2040، مليون برميل مكافئ نفط

	باقي الدول النامية	الصين	مجموعة OECD	الدول الأعضاء في أوابك	الهند	أوراسيا
2015	10.7	3.3	27.5	6.4	0.9	10.5
2040	25.2	9.0	32.5	10.7	3.3	12.6
التغير	**14.5**	**5.7**	**5.0**	**4.3**	**2.4**	**2.1**

المصدر: - الجداول رقم (3 & 12) في الملحق،
- منظمة أوبك، تقرير آفاق النفط العالمي ، 2017

الشكل(61)



المصدر: - الجداول رقم (3 & 12) في الملحق،
- منظمة أوبك، تقرير آفاق النفط العالمي ، 2017

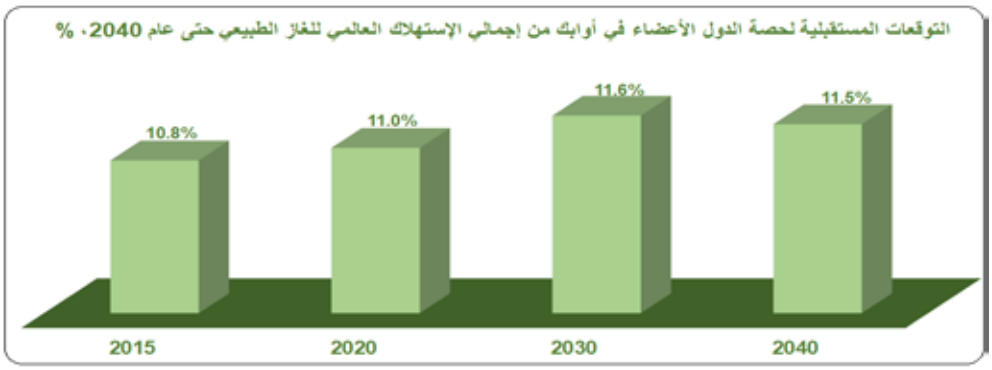
وكنتيجة لذلك، يتوقع أن ترتفع حصة الدول الأعضاء في أوابك من الاستهلاك العالمي للغاز الطبيعي من حوالي 10.8% عام 2015 إلى حوالي 11.5%، كما هو موضح بالجدول (33) والشكل (62):

الجدول (33)

التوقعات المستقبلية للاستهلاك العالمي من الغاز الطبيعي، مليون ب م ن/ي

	2015	2020	2030	2040
العالم	59.2	65.2	79.9	93.2
الدول الأعضاء في أوابك	6.4	7.2	9.3	10.7

الشكل(62)



4. المصدر: - الجداول رقم (3 & 12) في الملحق،
5. - منظمة أوبك، تقرير آفاق النفط العالمي ، 2017

يتبع العدد القادم

البحث الثاني

تقنية تحويل الفحم إلى سوائل وإنعكاساتها علي صناعة تكرير النفط

تركي الحمش *

* خبير اقتصادي – إدارة الشؤون الفنية، أوابك – الكويت

ملخص تنفيذي

تقنية تحويل الفحم إلى سوائل وانعكاساتها على صناعة تكرير النفط

انطلقت فكرة تطبيق تقنية تحويل الفحم البترولي إلى سوائل في عمليات تكرير النفط بتأثير عاملين أساسيين، أولهما ارتفاع معدل تكرير النفوط الخام الثقيلة والحامضية، نتيجة تراجع جودة النفط الخام في الأسواق العالمية، وثانيهما تنامي صرامة متطلبات التشريعات التي تمنع طرح انبعاثات أكاسيد الكبريت الناتجة عن استخدام الوقود الثقيل في محطات توليد الطاقة الكهربائية.

التطور التاريخي لعمليات تحويل الفحم إلى سوائل

تعود بداية تطبيق تقنية تحويل الفحم إلى منتجات سائلة إلى القرن الثامن عشر، في كل من أوروبا والولايات المتحدة، حيث كانت تطبق لإنتاج غاز المدينة Town Gas من الفحم المنتج محلياً. ثم أثناء الحرب العالمية الثانية في ألمانيا لتأمين وقود بديل للنفط الخام، لكنها تراجعت بعد انتهاء الحرب، نتيجة الهبوط الحاد لأسعار النفط في عقد الخمسينيات، باستثناء جنوب أفريقيا، وذلك في ظل صعوبة الحصول على النفط الخام أو المنتجات النفطية من الخارج نتيجة الحصار الاقتصادي الذي كان مفروضاً عليها في ذلك الوقت.

في السنوات الأولى للقرن الحادي والعشرين ازدهرت صناعة تحويل الفحم إلى سوائل من جديد، مدفوعة بارتفاع أسعار النفط، وتنامي الطلب على المنتجات البترولية، وصدور تشريعات حظر استخدام الوقود الثقيل الحاوي على نسبة عالية من الكبريت.

أنواع عمليات تحويل الفحم إلى سوائل

تصنف عمليات تحويل الفحم إلى سوائل ضمن ثلاث مجموعات، الأولى مجموعة عمليات التحلل الحراري Pyrolysis، أو الكربنة Carbonization، والثانية مجموعة عمليات التسييل المباشر Direct Liquification، والثالثة مجموعة عمليات التسييل غير المباشر Indirect Liquification.

يتركز الفرق بين عمليات التسييل المباشر وغير المباشر في أن عملية التسييل المباشر تبدأ بمرحلة إذابة الفحم بمذيب، في شروط قاسية من درجات الحرارة والضغط، تتبعها مرحلة التكسير الهيدروجيني. أما عملية التسييل غير المباشر فتبدأ بمرحلة تحويل الفحم إلى مزيج غازي يتكون من الهيدروجين H_2، وأول أوكسيد الكربون CO، يطلق عليه اسم الغاز الاصطناعي Synthetic Gas، ثم يحول هذا الغاز إلى سوائل هيدروكربونية بعملية تسمى "فيشر تروبش".

أنواع مفاعلات التغويز

تصنف مفاعلات التغويز تبعاً لمكان دخول اللقائم السائلة، أو الغازية، أو الصلبة إلى جسم المفاعل، وطريقة التماس فيما بينها، أو حسب التصميم الهندسي لبنية المفاعل إلى ثلاث أنواع. مفاعلات السرير الثابت Fixed-Bed أو المتحرك Moving-Bed، ومفاعل السرير المميع Fluidized-Bed، ومفاعل الجريان المحمول Entrained Flow.

عمليات معالجة وتنقية الغاز الاصطناعي

يحتوي الغاز الاصطناعي على بعض الغازات التي يمكن أن تخفض من قيمته الحرارية، علاوة على الشوائب الأخرى، كالجسيمات الدقيقة التي يمكن أن تؤدي إلى حدوث أضرار جسيمة في وحدات استغلال ومعالجة الغاز الاصطناعي.

يدخل الغاز الاصطناعي البارد إلى عمود امتصاص يحتوي على محلول أميني Amine solution لامتصاص معظم كمية كبريتيد الهيدروجين وجزء من غاز ثاني أوكسيد الكربون. أما الغاز الحامضي المنزوع من المحلول فيسحب إلى وحدة استرجاع الكبريت[1]SRU. يتم في هذه العملية تحويل الكبريت الموجود في الغاز الحامضي على شكل غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S إلى كبريت سائل Liquid sulfur وماء. ويطلق على هذه العملية اسم تفاعل كلاوس Claus، نسبة إلى العالم الذي اخترعها في أواخر القرن التاسع عشر.

ولخفض نسبة غاز أول أوكسيد الكربون في الغاز الاصطناعي يمرر على وحدة تحويل الغاز بالماء[2] ، حيث يتفاعل غاز أول أوكسيد الكربون مع الماء ليشكل الهيدروجين وغاز ثاني أوكسيد الكربون، في مفاعل يحتوي على عامل حفاز مصنوع من الحديد والكروم، ويعمل في درجات حرارة وضغط عاليين.

كما يمكن فصل الجسيمات الصلبة من الغاز الاصطناعي بطريقتين، الأولى طريقة المرشحات الساخنة الجافة[3] تركب قبل دخول الغاز الاصطناعي إلى منظومة التبريد. والثانية هي طريقة الكاشطات المائية، تركب على خط الغاز الاصطناعي الخارج من منظومة التبريد.

العمليات المساندة لمجمعات تحويل الفحم

تتكون العمليات المساندة من عدد من الوحدات التي توفر الخدمات اللازمة لإتمام عملية تحويل الفحم والزيوت الثقيلة إلى منتجات عالية القيمة. بعض هذه الوحدات تتعلق بمجمع تحويل الفحم إلى سوائل، مثل منظومة تحضير اللقيم، ومنظومة فصل الخبث

---

[1] Sulfur Recovery Unit

[2] Water Gas Shift Reactor

[3] Dry hot filters

والسخام، وبعضها الآخر مشترك بين مجمع التغويز وعمليات التكرير في المصفاة كوحدة فصل الهواء، ووحدة معالجة المياه الملوثة.

العوامل المؤثرة في كفاءة عملية تحويل الفحم إلى سوائل

تعتمد كفاءة عملية تحويل الفحم إلى سوائل على عدة عوامل، أهمها سعر كل من الفحم والنفط الخام في الأسواق العالمية. فعندما تنخفض أسعار النفط الخام تنخفض تكلفة التكرير، وبالتالي تصبح المصادر الأخرى للوقود غير مجدية اقتصاديا. كما يؤثر في ربحية عمليات تحويل الفحم إلى سوائل عوامل تقنية تتعلق بنوع اللقيم، ونوع المنتجات المطلوبة، وحجم المفاعل، ونوع المادة المؤكسدة.

فوائد عملية تحويل الفحم إلى سوائل

أدى صدور التشريعات البيئية الخاصة بالحد من طرح الملوثات الناتجة عن حرق الوقود الثقيل الحاوي على نسبة عالية من الكبريت والشوائب الملوثة للبيئة، إلى تراجع نسبة استهلاك الفحم كوقود في محطات توليد الطاقة الكهربائية بشكل ملحوظ في العديد من مناطق العالم. وكان لهذا التوجه دور في ازدهار عملية تغويز الفحم باعتبارها تساهم في خفض الانبعاثات الملوثة للبيئة، وذلك من خلال توفير فرصة فصل الملوثات من الغاز الاصطناعي المنتج من عملية التغويز قبل استخدامه كوقود.

وفي ضوء سعي دول العالم إلى تعزيز الاستفادة من مواردها المحلية لتلبية الطلب المتنامي على الطاقة وتقليص اعتمادها على الاستيراد من الأسواق الخارجية، يعتبر الفحم أحد المصادر الهامة للطاقة بالنسبة للدول التي تمتلك احتياطيات كبيرة.

من أهم الخصائص التي تميز صناعة تحويل الفحم إلى سوائل مرونة استخدام أنواع عديدة من اللقائم. فبالإضافة إلى الفحم الحجري يمكن استخدام الفحم البترولي والمخلفات الثقيلة المنتجة من مصافي النفط، والكتلة الحيوية. كما تتميز تقنية تحويل الفحم بمرونة إنتاج طيف واسع من المنتجات من خلال تحويل الغاز الاصطناعي المنتج إلى

كيماويات، أو وقود سائل أو وقود غازي اصطناعي نظيف يستخدم كوقود في محطات توليد الطاقة الكهربائية.

كما أن لتطبيق تقنية تحويل الفحم إلى سوائل فوائد أخرى غير مباشرة، حيث أنها تساهم في تعزيز الاقتصاد القومي من خلال استغلال الموارد الطبيعية، وتلبية حاجة السوق المحلية من الطاقة، إضافة إلى توفير فرص عمل لتشغيل وصيانة مجمعات تحويل الفحم.

تحديات صناعة تحويل الفحم إلى سوائل

على الرغم من التطورات المهمة التي شهدتها صناعة تحويل الفحم إلى سوائل خلال العقود الماضية، إلا أنها لا تزال تعاني من تحديات كثيرة منها تقنية، ومنها بيئية، وأخرى اقتصادية.

من المشكلات التقنية التي تواجه عمليات تحويل الفحم إلى سوائل تأثر ظروف تشغيل العملية باختلاف خصائص الفحم اللقيم. حيث أن لكل نوع من أنواع الفحم خصائص مختلفة عن الأنواع الأخرى مما يستدعي الالتزام بنوع واحد من أنواع الفحم بما يتلاءم مع تصميم المفاعل تفادياً لوقوع مشكلات تشغيلية قد تؤدي إلى توقف العملية. من جهة أخرى تواجه صناعة تحويل الفحم إلى سوائل تحديات بيئية ناتجة عن ارتفاع معدل استهلاك المياه في كل من عمليات استخراج الفحم وعمليات التحويل إلى سوائل.

أما التحديات الاقتصادية فتتركز أسبابها في تقلبات أسعار النفط والمنتجات النفطية في الأسواق العالمية، إضافة إلى ارتفاع تكاليف التشغيل والاستثمار.

انعكاسات تطبيق تقنية تغويز الفحم البترولي على مصافي النفط

شهدت فكرة تطبيق عملية تغويز الفحم البترولي والزيوت الثقيلة اهتماماً ملحوظاً من قبل القائمين على صناعة تكرير النفط في العقدين الماضيين، وذلك نظراً للفوائد الاقتصادية والتقنية العديدة التي يمكن الحصول عليها، علاوة على اعتبار هذه التقنية أحد الحلول الواعدة لمشكلة تصريف النفايات الخطرة الناتجة عن تكرير النفط الثقيل.

مكونات مجمع تحويل الفحم إلى سوائل في مصافي النفط

تتشابه عملية تحويل الفحم البترولي في مصافي النفط، أو ما يطلق عليه علمياً بتقنية التغويز، مع عملية تحويل الفحم إلى سوائل في العديد من المكونات، حيث يتكون مجمع تغويز الفحم البترولي من مفاعل التغويز، وعمليات معالجة الغاز الاصطناعي، والعمليات اللاحقة التي تهدف إلى استغلال الغاز الاصطناعي وتحويله إلى منتجات قابلة للاستهلاك في المصفاة، أو للمزج مع المنتجات النهائية.

يتوقف اختيار مكونات مجمع التغويز على طبيعة عمل المصفاة ومدى حاجتها إلى منتجات عملية التغويز، فقد يحتوي على واحدة أو أكثر من هذه الوحدات، كوحدة دورة التغويز المتكاملة المدمجة[1] IGCC. وقد تحتوي على وحدة لإنتاج الهيدروجين، أو إنتاج السوائل الهيدروكربونية بعملية فيشر- تروبش، أو إنتاج الميثانول.

تنتج مصافي النفط مخلفات رخيصة الثمن، تتوقف كميتها وخصائصها على نوع عمليات التكرير، ونوع النفط الخام المكرر. ومن أهم هذه المخلفات الفحم البترولي، والزيوت الثقيلة كمخلفات التقطير الفراغي، والقار المنتج من وحدة كسر اللزوجة Visbreaker tar، وقار عملية نزع الأسفلتينات بالمذيب De-asphalter pitch. وتعتبر تقنية التغويز أحد الخيارات الممكنة لتحويل هذه المخلفات إلى منتجات عالية القيمة.

خيارات استغلال الغاز الاصطناعي في مصافي النفط

يمكن تصنيف خيارات استغلال الغاز الاصطناعي المنتج من مجمع التغويز في مصافي النفط ضمن المجموعات الرئيسية التالية:

- توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء
- إنتاج غاز طبيعي اصطناعي

---

[1] Integrated Gasification Combined Cycle

- إنتاج زيوت اصطناعية ووقود وسائل النقل
- الكيماويات الأساسية لإنتاج البتروكيماويات
- إنتاج الهيدروجين

تساهم عملية تغويز الفحم البترولي في تزويد المصفاة بالسوائل الهيدروكربونية من خلال تحويل الغاز الاصطناعي المنتج من مفاعل التغويز إلى مفاعل فيشر- تروبش، حيث يتم تحويل الغاز إلى سوائل هيدروكربونية ويتم فصلها في وحدات التكرير في المصفاة. أو تحويل الغاز الاصطناعي إلى ميثانول، ثم تحويل الميثانول إلى غازولين. كما يمكن إنتاج الأوليفينات التي تتكون بشكل رئيسي من الإيثلين والبروبيلين بعملية التكسير بالعامل الحفاز Catalytic Cracking للميثانول المنتج من الغاز الاصطناعي.

دوافع تطبيق تقنية تحويل الفحم في صناعة تكرير النفط

أدى تنامي الطاقة الإنتاجية لوحدات التفحيم المؤجل في مصافي العالم إلى ارتفاع نسبة المخلفات الثقيلة التي تنتج من تكرير النفط الخام الثقيل، كالفحم البترولي والقار والأسفلت، وبالتالي ازدادت الحاجة إلى تطوير تقنيات حديثة لتحسين الاستفادة من هذه المنتجات وتحويلها إلى منتجات عالية القيمة، يمكن أن تساهم في تحسين الأداء الاقتصادي لصناعة تكرير النفط بطريقة آمنة وغير ضارة بالبيئة.

كما ساهم توجه العديد من مصافي النفط في العالم نحو تكرير نفوط ثقيلة وحامضية تحتوي على نسب مرتفعة من الشوائب الكبريتية في مضاعفة معدلات استهلاك الهيدروجين. وهذا ما دفع المصافي إلى الاهتمام بتقنية تغويز الفحم البترولي باعتبارها وسيلة اقتصادية لتوفير الهيدروجين بتكاليف أدنى مقارنة بعمليات إنتاج الهيدروجين بعملية التهذيب البخاري[1] للغاز الطبيعي أو النافثا.

---

[1] Naphtha Steam Reformer

من الدوافع الأخرى لتطبيق تقنية التغويز في مصافي النفط ما تساهم به من خفض للأثر البيئي لمحطات توليد الطاقة الكهربائية، من خلال تطبيق دورة التغويز المتكامل المدمجة IGCC التي تتميز بكفاءة حرارية عالية عند استخدام الغاز الاصطناعي كوقود في العنفة الغازية مقارنة بتقنيات توليد الطاقة الكهربائية الأخرى التي تستخدم الفحم المسحوق كوقود Pulverized Coal.

تجدر الإشارة إلى أن مجمع التغويز يتكامل مع وحدات مصفاة النفط من خلال عدة مجالات، مثل التكامل مع عمليات التكرير، والتي تساهم في تحسين الأداء التشغيلي والاقتصادي لمصافي النفط، من خلال تحسين كفاءة استخدام الطاقة، وخفض التكاليف الاستثمارية والتشغيلية نتيجة المشاركة في الوحدات المساندة، كوحدة استرجاع الكبريت، ووحدة معالجة الغاز الحامضي، ووحدة إنتاج الهيدروجين.

قائمة المصطلحات والمختصرات

List of Terms & Abbreviations

English	عربي
Air Emission	انبعاثات هوائية
Atmospheric Distillation	تقطير جوي
Anode Coke	فحم الأقطاب
Ash	رماد
Barrel per Day, b/d	برميل/اليوم، (ب/ي)
British Coal Corporation, BCC	مؤسسة الفحم البريطانية
Carbonization	كربنة
Catalytic Reforming	تهذيب بالعامل الحفاز
Catalytic Hydrocracking	تكسير هيدروجيني
Catalytic Two-Stage Liquefication, CTSL	عملية التسييل المباشر بمرحلتين بوجود العامل الحفاز
Calcined Petcoke	فحم بترولي مكلسن
Catalyst	محفز/عامل حفاز
Charcoal	فحم نباتي
Coal Fluidized Bed Gasifier, CFB	مغوز فحم بالسرير المميع
Coke	فحم الكوك
Co-Processing	عمليات مشتركة
Coal To Liquid, CTL	تحويل الفحم إلى سوائل
Coal Liquification	تسييل الفحم
Deactivation	إخماد
De-Asphalter Pitch	قار نزع الأسفلتينات بالمذيب
Delayed Coking	تفحيم مؤجل
Direct Liquification	تسييل مباشر
Dissolver	مفاعل إذابة
Ebullated-bed reactor	مفاعل سرير نبضي
Endothermic Reaction	تفاعل ماص للحرارة
Enhanced Oil Recovery, EOR	الاستخلاص البترولي المعزز
Entrained Flow Reactor	مفاعل الجريان المحمول
Exxon donor solvent process, EDS	عملية إكسون للتسييل المباشر للفحم
Fluidized Bed Reactor	مفاعل السرير المميع
Fluidized Catalytic Cracking	التكسير بالعامل الحفاز المائع
Gasification	تغويز

English	عربي
Hybrid Conversion	عملية تحويل هجينة
Hydrogen Transfer Membrane, HTM	أغشية نقل الهيدروجين
Hydrotreating	هدرجة/ معالجة هيدروجينية
Hydrofinishing	الإصلاح الهيدروجيني
Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC	دورة التغويز المتكامل المدمجة
Isomerization	أزمرة
Liquid Solvent Extraction, LSE	الاستخلاص بالمذيب السائل
Methyl Tertiary Butyl Ether MTBE	ميثيل ثلاثي بيوتيل إيثير
Non-Integrated Tow-Stage Liquefication, NTSL	عملية التسييل غير المتكاملة بمرحلتين
Olefinic Hydrocarbons	هيدروكربونات أوليفينية
Paraffins	بارافينات
Part Per Million	جزء في المليون
Particulate Matter	الجسيمات الدقيقة
Pounds per square inch gauge, psig	رطل على البوصة المربعة
Pressure Swing Absorption Unit, PSA	وحدة الامتزاز بالضغط المتأرجح
Propane Extraction	الاستخلاص بالبروبان
Pyrolysis	تحلل حراري
Quench tower	برج تبريد مائي
Slag	خبث
Slurry Coal	فحم طيني
Smog	ضباب دخاني
Solvent Coal Reactor, SRC	عملية الفحم المكرر بالمذيب
Stripper	عمود نزع
Sulphur Recovery Unit, SRU	وحدة استرجاع الكبريت
Synthetic Gas, Syngas	غاز اصطناعي
Synthetic Natural Gas, SNG	غاز طبيعي اصطناعي
Thermal Cracking	تكسير حراري
Thermal power plant	محطة حرارية
Vacuum Distillation	تقطير فراغي
Variable Speed Screw Feeder	ملقم حلزوني متغير السرعة
Vis-breaker Tar	قار عملية كسر اللزوجة

الفصل الأول

عمليات تحويل الفحم إلى سوائل

1-1: التطور التاريخي لتقنيات تحويل الفحم إلى سوائل

2-1: خصائص وأنواع الفحم

3-1: أنواع عمليات تحويل الفحم إلى سوائل

4-1: خيارات استغلال الغاز الاصطناعي

5-1: العوامل المؤثرة في كفاءة عملية تحويل الفحم إلى سوائل

6-1: فوائد وتحديات تقنية تحويل الفحم إلى سوائل.

الفصل الأول

عمليات تحويل الفحم إلى سوائل

مقـدمة

انطلقت فكرة تطبيق تقنية تحويل الفحم إلى سوائل في عمليات تكرير النفط بتأثير عاملين أساسيين، أولهما ارتفاع معدل تكرير النفوط الخام الثقيلة والحامضية، نتيجة تدهور جودة النفط الخام في الأسواق العالمية، وثانيهما تنامي صرامة متطلبات التشريعات التي تمنع طرح انبعاثات أكاسيد الكبريت الناتجة عن استخدام الوقود الثقيل في محطات توليد الطاقة الكهربائية، حيث تصل نسبة الكبريت في بعض أنواع زيت الوقود إلى 4% وزناً، وفي الفحم البترولي إلى 5-7% وزناً، ونسبة المعادن إلى 300 جزء في المليون (ج.ف.م).

يتناول هذا الفصـــل مراحل تطور عملية تحويل الفحم إلى ســـوائل هيدروكربونية قابلة للاســتخدام، والدوافع التي أدت إلى ازدهارها أو تراجعها. كما يتضـمن هذا الفصـل شـــرحاً لأهم التقنيات المســـتخدمة في تحويل الفحم إلى ســـوائل، مع الإشـــارة إلى مزايا وسلبيات كل تقنية من هذه التقنيات من حيث ظروف التشـغيل، وتكاليف الإنشـاء، والأداء التشغيلي، والمردود الاقتصادي.

1-1: التطور التاريخي لعمليات تحويل الفحم إلى سوائل

تعود بداية تطبيق تقنية تحويل الفحم إلى منتجات سائلة إلى القرن الثامن عشر، في كل من أوروبا والولايات المتحدة، حيث كانت تطبق لإنتاج غاز المدينة Town Gas من الفحم المنتج محلياً.

في بداية القرن العشـــرين طورت تقنية تحويل الفحم في كل من ألمانيا، والمملكة المتحدة، فأصبحت تنتج السوائل الهيدروكربونية على شكل منتج ثانوي من عملية تحويل الفحم الحجري إلى فحم الكوك Coke. وكانت هذه السـوائل تسـتخدم في مجالات متعددة،

إما على شكل وقود، أو مذيبات، أو مواد حافظة للخشب، أو مواد أساس لصناعة الأصباغ المشتقة من قار الفحم الحجري. (Bartis, J., et al, 2008)

ازدهرت صناعة تحويل الفحم إلى سوائل هيدروكربونية أثناء الحرب العالمية الثانية في ألمانيا لتأمين وقود بديل للنفط الخام، لكنها تراجعت بعد انتهاء الحرب، وتوقفت جميع وحدات تسييل الفحم في ألمانيا وبقية مناطق العالم عن العمل، حيث أصبحت غير مجدية اقتصادياً بعد الهبوط الحاد لأسعار النفط في عقد الخمسينيات نتيجة اكتشاف كميات كبيرة من احتياطيات النفط في منطقة الشرق الأوسط. إلا أنه حدث استثناء لهذه القاعدة في جنوب أفريقيا، وذلك بهدف تأمين الوقود السائل من الفحم الحجري الذي يتوفر لديها بكميات كبيرة بينما لا تمتلك احتياطيات للنفط الخام، وخصوصاً في ظل صعوبة الحصول على الوقود أو النفط الخام أو المنتجات النفطية من الخارج نتيجة الحصار الاقتصادي الذي كان مفروضاً عليها منذ عقد الخمسينيات وحتى منتصف الثمانينيات من القرن الماضي. (DTI, 1999)

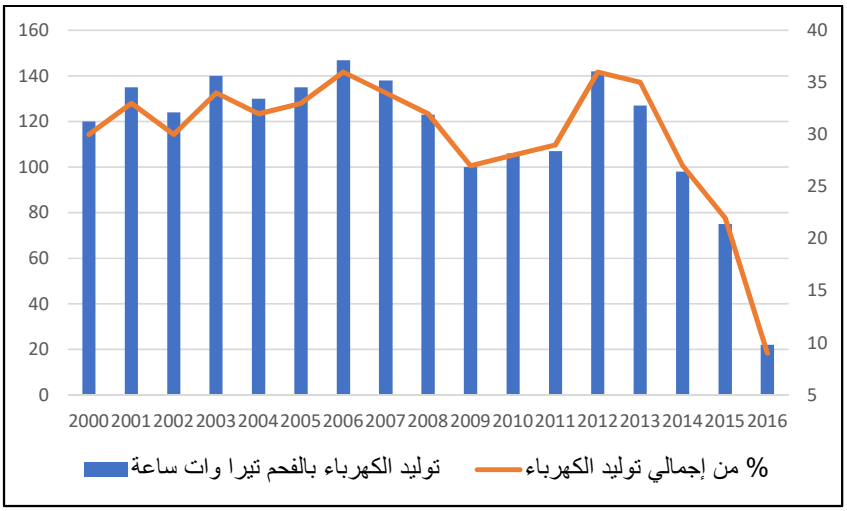
وفي مطلع عقد السبعينيات استعادت صناعة تحويل الفحم إلى سوائل دورها في جذب اهتمام بعض الدول، نتيجة ارتفاع أسعار النفط الخام، فبدأ تطبيق العديد من برامج البحث والتطوير لتحسين الأداء التشغيلي والاقتصادي لعمليات التحويل في كل من الولايات المتحدة الأمريكية، والمملكة المتحدة، وألمانيا، واليابان. وفي منتصف الثمانينيات تراجعت الصناعة مرة أخرى بتأثير انخفاض أسعار النفط في الأسواق العالمية.

في السنوات الأولى للقرن الحادي والعشرين ازدهرت صناعة تحويل الفحم إلى سوائل من جديد، مدفوعة بارتفاع أسعار النفط، وتنامي الطلب على المنتجات البترولية، وصدور تشريعات الحد من الانبعاثات الملوثة للبيئة التي تحظر استخدام الوقود الثقيل الحاوي على نسبة عالية من الكبريت، حيث سجل استخدام الفحم كوقود في محطات توليد الطاقة الكهربائية تراجعاً في السنوات الأخيرة الماضية، وتركز التراجع في كل من أوروبا الغربية، والولايات المتحدة الأمريكية. يبين الشكل 1-1 تطور استخدام الفحم

كوقود في محطات توليد الطاقة الكهربائية في المملكة المتحدة خلال الفترة 2000-2016. (The Economist, 2017)

وحيث أن البنية التحتية لاقتصاد الدول المتقدمة تعتمد بشكل كبير على استهلاك النفط ومشتقاته، فقد اعتبرت صناعة تحويل الفحم إلى سوائل أحد المصادر الرديفة للحصول على وقود محركات وسائل النقل في حال حدوث أي نقص في إمدادات المنتجات البترولية إلى الأسواق العالمية. (DTI, 1999)

الشكل 1-1: تطور استخدام الفحم كوقود في توليد الطاقة الكهربائية في المملكة المتحدة خلال الفترة 2000-2016



المصدر: The Economist, 2017

1-2: خصائص وأنواع الفحم

الفحم وقود أحفوري صلب، تشكل نتيجة تحول بقايا النباتات المتجمعة بين طبقات الصخور العميقة بتأثير الضغط والحرارة لملايين السنين، ولهذا سمي بالفحم الحجري. يحتوي الفحم الحجري على نسبة عالية من الكربون، ونسبة منخفضة من الهيدروجين لا تتجاوز 5%، وهي نسبة متدنية مقارنة ببعض أنواع المنتجات البترولية، حيث تصل في الغازولين، على سبيل المثال، إلى 12.5%، وفي وقود الطائرات إلى 14.5%.

يصنف الفحم الحجري تبعاً لدرجة الصلابة إلى الليغنيت، والفحم البيتوميني، وفحم الأنثراسيت. (Hurd, D., Park, S., & Kan, J., 2014)

- **الليغنيت Lignite**، أو (الفحم البني) ويصنف على أنه من أدنى أنواع الفحم جودة، نظراً لانخفاض قيمته الحرارية، واحتوائه على نسبة عالية من الماء تصل إلى 65% وزناً، مما يجعل عملية نقله غير اقتصادية، وبالتالي يستخدم بشكل واسع لتوليد الطاقة الكهربائية، أو كلقيم لمشاريع تحويل الفحم إلى كيماويات في موقع قريب من المنجم.
- **الفحم البيتوميني Bitominous**، وهو ذو جودة أعلى من اللغنيت، ولكنه أدنى من الأنثراسيت، حيث تتراوح نسبة المياه فيه ضمن المجال 3-16% وزناً، ويقسم إلى نوعين، فحم حراري وآخر يسمى فحم الكوك، يستخدم الفحم البيتوميني الحراري كوقود في محطات توليد الطاقة الكهربائية، أما فحم الكوك فيستخدم في صناعة الفولاذ.
- **الأنثراسيت Anthracite**، يصنف عالمياً على أنه من أجود أنواع الفحم الحجري، نظراً لارتفاع قيمته الحرارية، وانخفاض محتواه من الماء.

يبين الجدول 1-1 مقارنة خصائص أنواع الفحم المنتج من حوض إيلونويز Illinois، في ولاية إنديانا الأمريكية.

الجدول 1-1: مقارنة خصائص أنواع الفحم المنتج من حوض إيلونويز- ولاية إنديانا الأمريكية

% وزناً	أنثراسيت	بيتومين	ليغنيت
الرطوبة Moisture	16.3-2.8	15.9- 2.2	39
الكربون الثابت Fixed Carbon	85.7- 80.5	78.2- 44.9	31.4
رماد Ash	20.2- 9.7	11.7- 3.3	4.2
كبريت Sulphur	0.77- 0.6	4- 0.7	0.4
الكثافة الكلية (رطل/قدم^3) Density	58- 50	57- 42	54- 40

المصدر: Bowen, B., Irwin, M., & Canchi, D., 2008

3-1: أنواع عمليات تحويل الفحم إلى سوائل

شـــهدت عمليات تحويل الفحم إلى ســـوائل العديد من التطورات في الســـنوات الماضية، مستفيدة من تقنيات تكرير النفط الخام، أهمها:

- المعالجة الهيدروجينية.
- الاستخلاص بالمذيب للفحم ثم المعالجة الهيدروجينية للمواد المستخلصة منه.
- تحويل الفحم إلى غاز اصـــطناعي Synthetic Gas، ثم تحويل الغاز إلى وقود سائل وكيماويات.

تصنف عمليات تحويل الفحم إلى سوائل ضمن ثلاث مجموعات، الأولى مجموعة عمليات التحلل الحراري Pyrolysis، أو الكربنة Carbonization، والثانية مجموعة عمليات التسـييل المباشـر Direct Liquification، والثالثة مجموعة عمليات التسـييل غير المباشر Indirect Liquification. (Kozak, M., 2007)

يتركز الفرق بين عمليات التسييل المباشر وغير المباشر في أن عملية التسيـــيل المباشـر تتكـون من خطـوتين رئيسيتـين، أولهما إذابـة كمية كبيرة من الفحم بمذيب، في شـروط قاسـية من درجات الحرارة والضـغط، تتبعها مرحلة التكسـير الهيدروجيني. أما عملية التسـييل غير المباشـر فتبدأ أولاً بمرحلة تحويل الفحم إلى مزيج غازي يتكون من غاز الهيدروجين H_2، وأول أوكســيد الكربون CO، يطلق عليه اســم غاز اصــطناعي Synthetic Gas، ثم يحول هذا الغاز إلى سـوائل هيدروكربونية بعملية تسـمى "فيشـر تروبش". كما طورت عمليات تعتمد على دمج كلا عمليتي التسييل المباشر وغير المباشر في عملية واحدة، أطلق عليها اســم العمليات الهجينة، وذلك بهدف تعظيم الاســتفادة من مزايا الطريقتين والحد من سلبياتهما. (Bajura, A., & Eyring, E., 2016)

1-3-1: عملية التحلل الحراري

تعتبر عملية التحلل الحراري Pyrolysis من أقدم تقنيات الحصول على السوائل الهيدروكربونية من الفحم، وهي عملية مشابهة لعملية إنتاج فحم الكوك التي ينتج عنها سائل يشبه القار كمنتج ثانوي، حيث يسخن الفحم في وعاء مغلق إلى درجات حرارة عالية، تصل إلى 950 °م، وتساهم الحرارة في تفكيك المركبات الطيارة وسحبها خارج الوعاء، مما يؤدي إلى رفع نسبة الكربون في الفحم المتبقي.

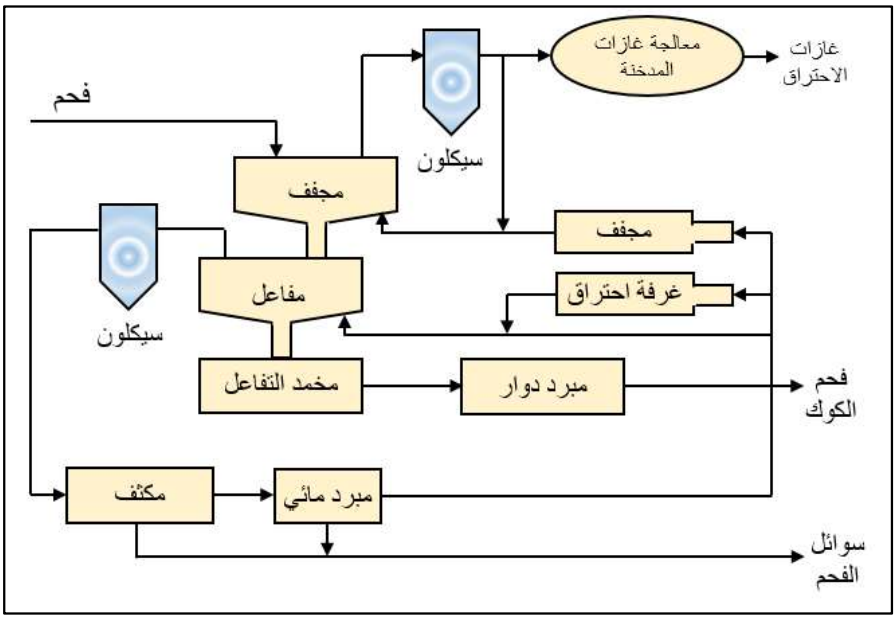
تصنف عملية التحلل الحراري بأنها عالية التكلفة، مقارنة بعمليات التحويل الأخرى، كما أن كمية السوائل الهيدروكربونية (قار الفحم Coal Tar) الناتجة عنها قليلة جداً، وتنحصر استخداماتها في تصنيع منتجات العزل المائي، أو كمادة خام في صناعة الأصبغة، أو صناعة الأدوية، والدهانات، حيث لا يمكن استخدامها كوقود في وسائل النقل إلا بعد إخضاعها لعمليات معالجة في مصافي تكرير النفط لتعديل خصائصها.

بعض عمليات التحلل الحراري تجري في درجات حرارة معتدلة، وتسمى بعمليات التحلل الحراري المخفف، وتطبق غالباً لتحسين خصائص بعض أنواع الفحم الرديء، وذلك بخفض محتواه من الكبريت ورفع قيمته الحرارية. أما المنتجات الرئيسية لهذه العملية فهي فحم الشوي Charcoal، أو فحم الكوك Coke، أو الفحم شبيه الكوك Semi-coke. وجميع هذه الأنواع تصنف على أنها وقود صلب عديم الدخان Smokeless Solid Fuel. (Hook, M., & Aleklett, K., 2009)

من الأمثلة العملية على تقنية التحلل الحراري المخفف عملية إنكول Encoal التي طورت في العام 1992 من قبل شركة SGI International في الولايات المتحدة الأمريكية، ولا تزال قائمة حتى الآن لإنتاج فحم عالي القيمة الحرارية ومنخفض محتوى الكبريت لاستخدامه كوقود، إضافة إلى إنتاج كمية من السوائل الهيدروكربونية. وتبلغ

طاقتها القصـــوى ألف طن من فحم الكوك يومياً. يبين الشـــكل 1-2 مخطط عملية إنكول لتحويل الفحم بطريقة التحلل الحراري. (DTI, 1999)

الشكل 1-2: مخطط عملية إنكول لتحويل الفحم بطريقة التحلل الحراري



المصدر: Hook, M. & Aleklett, K., 2009

تبـدأ عمليـة إنكول بطحن الفحم اللقيم ثم غربلتـه قبـل إدخـالـه إلى مجفف دوار لتسخينه بتيار من الغاز الساخن، وذلك بهدف نزع الرطوبة من الفحم دون أن تصل درجة حرارته إلى القيمة التي تبدأ فيها عملية تغيير بنيته التركيبية. بعد ذلك يمرر الفحم الجاف إلى مسـخن دوار رئيسـي لرفع درجة حرارته إلى 540 °م، بواسـطة تيار الغاز السـاخن الراجع. ويجب في هذه المرحلة ضبط درجة الحرارة حتى لا تتغير خصائص الفحم.

يمرر الفحم الخـارج من المســـخن إلى مبرد، ومنـه إلى مرحلـة الإخمـاد Deactivation التي تتكون من عملية معالجة بتيار من الغاز مع نســبة محددة من الأوكسـجين في سـرير مميع هزاز Vibrating Fluidized Bed. تهدف عملية الإخماد إلى تثبيت الفحم المنتج بواسطة الأكسدة الخفيفة لخفض احتمالات حدوث مخاطر الاشتعال

الذاتي. يسحب بعد ذلك الفحم المثبَّت إلى مبرد ثم إلى التخزين لاستخدامه كوقود صلب على شكل مسحوق ناعم يحتوي على نسبة منخفضة من الكبريت، وصالح للاستخدام كوقود في محطات توليد الطاقة الكهربائية.

أما تيار الغاز الخارج من المسخن فيسحب إلى برج تبريد مائي Quench tower لتكثيف السوائل المشتقة من الفحم، مع إبقاء الماء في الطور الغازي، أما الغاز غير المتكاثف فيعاد الجزء الأكبر منه إلى المسخن، والباقي يستخدم كوقود لتأمين الحرارة اللازمة لكل من المسخن والمجفف.

يمكن رفع كمية السوائل الهيدروكربونية المنتجة من عملية التحلل الحراري بتخفيض درجة حرارة المفاعل، حيث تطبق في هذه الحالة عملية التحلل الحراري المخفف التي يمكن من خلالها الحصول على كمية أكبر من السوائل الهيدروكربونية، بنسبة تصل إلى أعلى من 20% مقارنة بعملية التحلل الحراري في درجات الحرارة المرتفعة. (DTI, 1999)

2-3-1: عملية التسييل المباشر Direct Liquefication

طورت عملية التسييل المباشر للفحم في عام 1913 من قبل العالم الألماني فريدريك بيرغيوس Friedrich Bergius. بعد ذلك تم تطوير العملية خلال عشرينيات القرن العشرين لتعديل خصائص ونوع منتجاتها بما يتناسب مع تغيرات الطلب .

في عام 1935 أنشئت أول وحدة على نطاق تجاري تعتمد على عملية التسييل المباشر في مدينة بيلينغهام Billingham في المملكة المتحدة، وكان الهدف منها إنتاج 150 ألف طن/السنة من السوائل الهيدروكربونية المكونة من الغازولين وزيت الفحم Creosote Oil. ومع بداية الحرب العالمية الثانية ازدهرت هذه العملية في كل من ألمانيا والمملكة المتحدة، ووصل عدد الوحدات في ألمانيا إلى ثمانية عشر وحدة تسييل مباشر، مقارنة بتسع وحدات تسييل غير مباشر، وبلغ إجمالي إنتاجها في أربعينيات القرن العشرين

حوالي أربعة ملايين طن من الغازولين سنوياً، أو ما يعادل 90% من إجمالي استهلاك ألمانيا. (Minchener, J., 2011)

يطحن الفحم في عملية بيرغيوس إلى حبيبات دقيقة، بحيث يمكن مزجه مع الزيت الثقيل المشتق من الفحم والسوائل الثقيلة المتبقية من عملية التسييل ليشكل لقيم طيني Slurry Feed تصل نسبة الفحم فيه إلى حوالي 30-50%. ثم يسحب اللقيم بعد ذلك إلى مرحلة التفاعل بوجود الهيدروجين والعامل الحفاز. أما السوائل الهيدروكربونية الناتجة فتسحب إلى مرحلة التكرير لفصلها إلى منتجات قابلة للاستهلاك.

تصلح عملية التسييل المباشر لمعالجة أنواع عديدة من اللقائم، منها الفحم البيتوميني الحاوي على نسبة عالية من المركبات الطيارة[1]، وفحم الليغنيت ذو الرماد المنخفض. يبين الشكل 1-3 مخطط عملية التسييل المباشر لتحويل الفحم إلى سوائل.

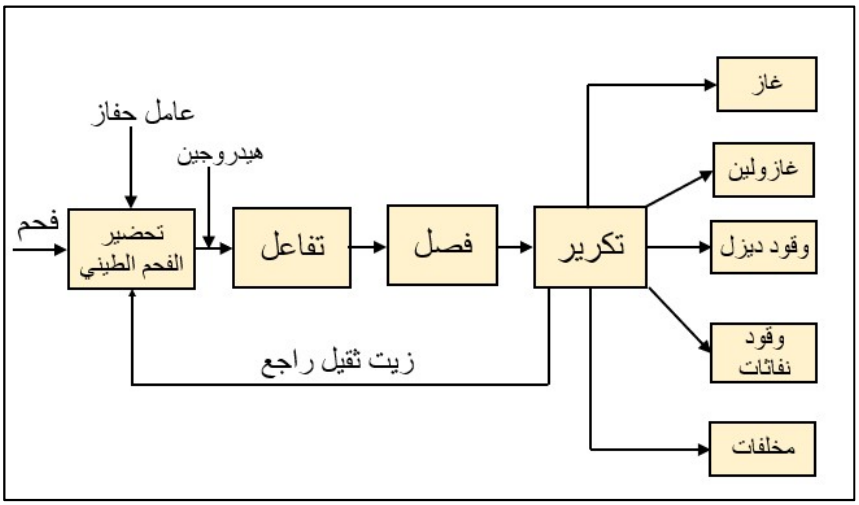
تصنف عملية التسييل المباشر على أنها التقنية الأعلى كفاءة مقارنة بالعمليات الأخرى، حيث تصل الكفاءة الحرارية الإجمالية[2] للعملية ضمن المجال 60-70%. (DTI, 1999). وتصل نسبة إنتاج المقطرات السائلة في بعض الوحدات العاملة إلى 70% وزناً من الفحم الجاف الخالي من المعادن. كما أن جودة منتجاتها أعلى بكثير من جودة منتجات عمليات التحلل الحراري، ويمكن استخدامها كوقود في محطات توليد الطاقة الثابتة مباشرة دون الحاجة إلى عمليات معالجة إضافية، ويمكن مزجها مع النفط الخام اللقيم الداخل إلى مصافي النفط لتعزيز إنتاج المقطرات السائلة في المصفاة، حيث أنها تحتوي على نسب أخفض من الكبريت والنيتروجين والفينولات والعطريات، وغيرها، وذلك بسبب استخدام الهيدروجين في العملية، ولكنها تحتاج إلى عمليات معالجة لتصبح قابلة للاستخدام كوقود في وسائل النقل. (Höök, M., et al., 2014)

---

[1] High volatile bitominous coals

[2] Overall thermal efficiency

الشكل 1-3: مخطط عملية التسييل المباشر لتحويل الفحم إلى سوائل



المصدر: NETL, 2007

تقسم عمليات التسييل المباشر إلى مجموعتين، الأولى مجموعة عمليات التسييل المباشر بمرحلة واحدة، والثانية مجموعة عمليات التسييل المباشر بمرحلتين. تحتوي عمليات التسييل المباشر بمرحلة واحدة على مفاعل واحد رئيسي، أو مجموعة مفاعلات على التسلسل لإنتاج المقطرات، إضافة إلى عمليات معالجة هيدروجينية للمقطرات المنتجة لتحسين جودة مواصفاتها. أما عمليات التسييل المباشر بمرحلتين فتحتوي على مفاعلين، أو مجموعتي مفاعلات على التسلسل، يتم في المفاعل الأول تسييل الفحم، إما بدون عامل حفاز، أو بوجود عامل حفاز منخفض الفعالية، يستخدم لمرة واحدة. ثم تسحب سوائل الفحم الثقيلة الناتجة من المرحلة الأولى إلى المفاعل الثاني لمعالجتها بالهيدروجين، بوجود عامل حفاز عالي الفعالية لإنتاج مقطرات ذات مواصفات عالية الجودة.

كانت عمليات التسييل المباشر بمرحلة واحدة هي الأكثر شيوعاً، إلى أن أضيفت المرحلة الثانية في منتصف عقد السبعينيات من القرن العشرين، وذلك بهدف زيادة كمية المقطرات المنتجة من عملية التسييل وتحسين خصائصها. (NETL, 2007)

1-2-3-1: عمليات التسييل المباشر بمرحلة واحدة

مع تنامي الاهتمام بحماية البيئة من التلوث في منتصف عقد الستينيات بدأ التركيز على إجراءات تطوير عمليات تحويل الفحم إلى سوائل لتخفيف أثرها الضار على البيئة. وعلى الرغم من نجاح إجراءات تطوير بعض العمليات في كل من المملكة المتحدة واليابان، إلا أنها أثمرت بشكل ملحوظ في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث نجح الباحثون في تطوير عملية التحلل الحراري "بوت بروخ" Pott-Broche القديمة التي تعمل بدون عامل حفاز لتحسين خصائص الفحم، وخفض محتواه من الكبريت والرماد مقارنة بالفحم اللقيم، وذلك لاستخدامه كوقود أنظف في محطات توليد الطاقة الكهربائية. وسميت العملية المطورة بعملية الفحم المكرر بالمذيب SRC-I[1]، ثم صدرت بعدها عملية ثانية SRC-II التي تتميز بنسبة إنتاج أعلى للسوائل الهيدروكربونية. كما تم تطوير تقنيتين أخريين في نفس الفترة في الولايات المتحدة الأمريكية، تعتمدان على مبدأ التسييل المباشر بمرحلة واحدة، الأولى هي عملية EDS[2]، والثانية عملية H-coal.

- **عملية الفحم المكرر بالمذيب SRC-I**

طورت عمليات الفحم المكرر بالمذيب SRC-I من قبل شركة سبنسر للكيماويات Spencer Chemical Co. في عام 1962، ثم انتقلت إلى شركة غولف أويل Gulf Oil الأمريكية في عام 1967 والتي قامت بإنشاء وحدة تجريبية مصغرة طاقتها 0.5 طن/اليوم، ثم استبدلت هذه الوحدة بوحدتين في عام 1974، الأولى في ويلسونفيل Wilsonville، تبلغ طاقتها 6 طن/اليوم، والثانية في مدينة فورت لويس Fort Lewis بولاية واشنطن طاقتها 50 طن/اليوم. وكان الهدف من عملية الفحم المكرر بالمذيب هو تحويل الفحم الرديء إلى وقود صلب نظيف لاستخدامه كوقود في محطات

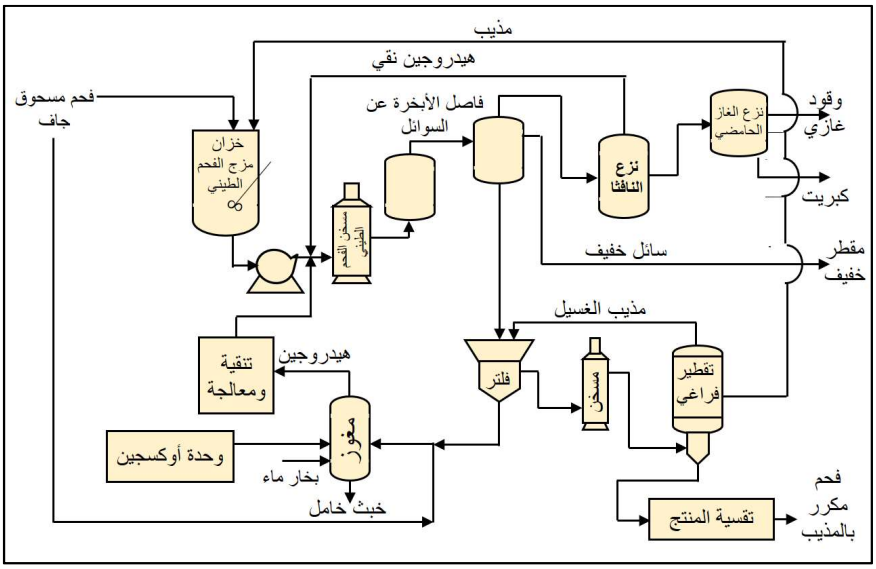
---

[1] Solvent Refined Coal
[2] Exxon Donor Solvent

توليد الطاقة الكهربائية. كما تمتاز عملية SRC-I بإمكانية إنتاج كمية أعلى من السوائل مقارنة بعمليات التسييل المباشر الأخرى.

تعتمد عملية SRC-I على مبدأ مزج كل من الفحم والهيدروجين والمذيب في مفاعل الإذابة Dissolver لإنتاج وقود ثقيل غير قابل للتقطير، لكنه يصلح للاستخدام كوقود في محطات توليد الطاقة الكهربائية بعد تنقيته من الرماد. ونظراً لعدم استخدام عامل حفاز في العملية فإن معدلات الهدرجة تكون منخفضة، كما أن نسبة الهيدروجين إلى الكربون H/C في السائل الثقيل المنتج متماثلة تقريباً مع النسبة في الفحم اللقيم. يبين الشكل 1-4 مخطط عملية الفحم المكرر بالمذيب SRC-I

الشكل 1-4 : مخطط عملية الفحم المكرر بالمذيب SRC-I



المصدر: Lee, S., Speight, J., & Loyulka, S., 2015

من سلبيات عملية SRC-I عدم إمكانية فصل الرماد من المنتج الثقيل بواسطة عملية التقطير الفراغي، وقد طورت عملية خاصة لنزع الرماد تعتمد على مبدأ الاستخلاص بالمذيب الخفيف لترسيب المكونات الثقيلة غير القابلة للانحلال بالتولوين،

وكامل كمية الرماد، فضلاً عن الفحم غير المحول. يبين الجدول 1-2 أهم مزايا وسلبيات طريقة تسييل الفحم المكرر بالمذيب SRC-I.

الجدول 1-2: مزايا وسلبيات طريقة تسييل الفحم المكرر بالمذيب SRC-I

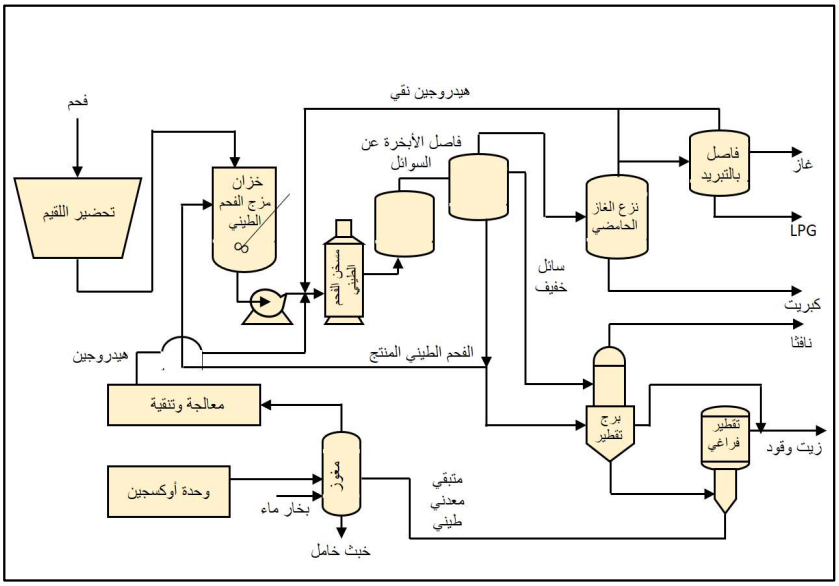
المزايا	السلبيات
الحصول على وقود ذي مواصفات جيدة لمحطات توليد الطاقة الكهربائية يمتاز بقيمة حرارية عالية	ضعف جودة المذيب المقطر
ظروف تشغيل العملية معتدلة	تكرار حالات اختلاط المذيب بالمنتج
العملية سهلة التشغيل ولا تحتوي على عامل حفاز	عدم إمكانية تجزئة منتج العملية بالتقطير الفراغي

- **عملية الفحم المكرر بالمذيب الثانية SRC-II**

طورت عملية الفحم المكرر بالمذيب الثانية SRC-II بهدف الحصول على منتجات هيدروكربونية سائلة بدلاً من المنتجات الثقيلة التي يتم الحصول عليها في العملية الأولى SRC-I، وهي أيضاً عملية حرارية تستخدم المواد المعدنية الموجودة في الفحم كعامل حفاز وحيد، وتتم المحافظة على تركيز عال من المعادن في المفاعل من خلال تدوير الطمي الزيتي الثقيل. كما تتميز عملية الفحم المكرر بالمذيب الثانية SRC-II بشدة قساوة ظروف التشغيل مقارنة بالعملية SRC-I، إضافة إلى توفر إمكانية استخدام عملية التقطير الفراغي لفصل الرماد من المنتج الثقيل، كما أن متبقي عملية التقطير الفراغي بما في ذلك الرماد يحول إلى وحدة التغويز لتوليد الهيدروجين اللازم للعملية.

من الخصائص الأخرى التي تميز عملية SRC-II مقارنة بالعملية SRC-I ارتفاع نسبة الهيدروجين إلى الكربون في المنتجات، وبالتالي يمكن استخدامها كوقود في وسائل النقل بعد معالجتها بالهيدروجين. يبين الشكل 1-5 مخطط عملية الفحم المكرر الثانية SRC-II.

الشكل 1-5: مخطط عملية الفحم المكرر الثانية SRC-II



المصدر: DTI, 1999

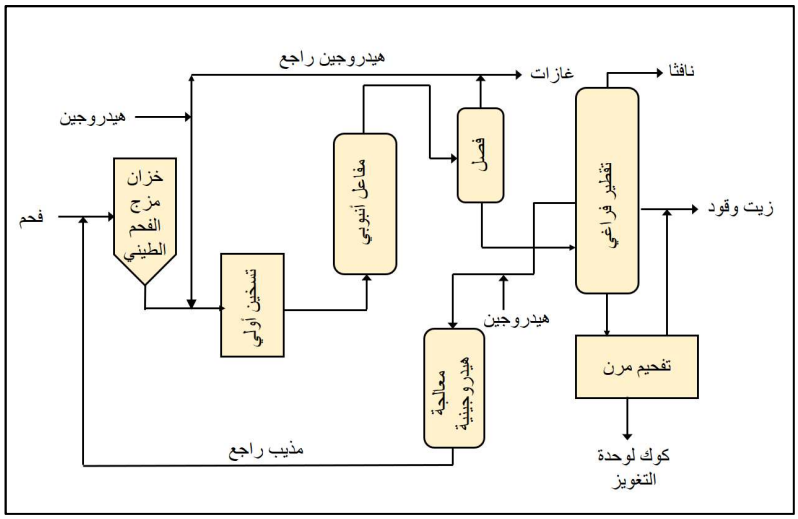
- **عملية التسييل المباشر EDS**

بدأت شركة إكسون بتطوير عملية EDS في منتصف سبعينيات القرن الماضي، وتمكنت في العام 1980من إنشاء وحدة تجريبية مصغرة Pilot Plant طاقتها 250 طن/اليوم في مدينة بايتاون في ولاية تكساس الأمريكية، واستمرت عمليات البحث والتطوير على هذه الوحدة لغاية عام 1985، وذلك بهدف تحسين كفاءة إنتاج المقطرات السائلة وتخفيض تكاليف الإنشاء. (DTI, 1999)

يحضر الفحم الطيني بمزج الفحم المسحوق مع المذيب الراجع، ثم يمزج معه الهيدروجين قبل إدخاله إلى مسخن أولي، بعد ذلك يسحب المزيج إلى مفاعل أنبوبي بسيط يتدفق فيه السائل من الأسفل إلى الأعلى، بدرجة حرارة تتراوح بين 425-450 °م، وضغط 2575 رطل على البوصة المربعة psig، ولا يحتوي على عامل حفاز. ينتج من أعلى المفاعل الأنبوبي مركبات تتكون من نافثا ومقطرات وسطى ومقطرات ثقيلة. تسحب المقطرات الثقيلة الحاوية على نسبة من المقطرات الوسطى إلى مفاعل معالجة

هيدروجينية يحتوي على عامل حفاز مصنوع من النيكل والموليبديوم أو الكوبالت والموليبديوم المحمول على الألومينا، بسرير ثابت يعمل بدرجة حرارة 370 °م، وضغط 1600 رطل على البوصة المربعة. أما المنتجات الخفيفة فتسحب إلى أبراج الفصل للحصول على النافثا وزيت الوقود، والبواقي الثقيلة التي تستخدم كلقيم لوحدة التفحيم المرن Flexy coking لتحويلها إلى مقطرات خفيفة. يبين الشكل 1-6 مخطط عملية EDS. (NETL, 2007)

الشكل 1-6: مخطط عملية EDS



المصدر: Mourit, F., & Kelly, J., 2014

تعتمد كفاءة عملية EDS ونسبة إنتاج المقطرات السائلة بشكل كبير على نوعية الفحم اللقيم، حيث يمكن أن تصل إلى 36% في حالة فحم الليغنيت، وإلى 38% للفحوم شبه البيتومينية، وإلى 39-46% في حالة الفحوم البيتومينية (جميع النسب على أساس الفحم الجاف والخالي من الرماد). كما يمكن زيادة نسبة المقطرات إلى حوالي 60% في حالة الفحوم البيتومينية، وذلك من خلال تعديل ظروف تشغيل العملية، كإرجاع جزء من متبقي التقطير الفراغي إلى مرحلة الفحم الطيني.

- **عملية H-Coal**

طورت عملية التسييل المباشر بمرحلة واحدة H-Coal من قبل شركة HRI اعتماداً على مبدأ عملية H-oil المستخدمة لتحسين خصائص الزيوت الثقيلة، حيث قامت الشركة بإنشاء وحدة تجريبية مصغرة طاقتها 200 طن/اليوم في كاتليتسبورغ Catlettsburg بولاية كنتاكي Kentucky عام 1980، واستمرت لغاية 1983 حيث تم إنشاء وحدة تجارية في بريكينريدج Breckinridge بنفس الولاية. (Winslow, J., & Schmetz, E., 2011)

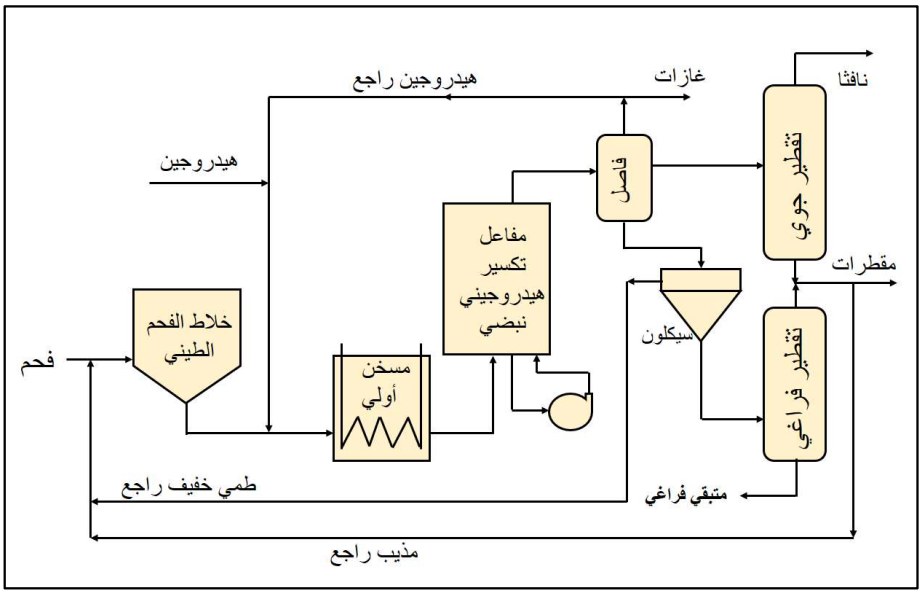
في هذه العملية يضاف الهيدروجين إلى الفحم الطيني المكون من مزيج الفحم المسحوق مع المذيب الراجع من عملية فصل المنتجات الهيدروكربونية. وبعد تسخين المزيج يدخل إلى مفاعل تكسير هيدروجيني يحتوي على عامل حفاز مصنوع من النيكل والموليبديوم، أو الكوبالت مع الموليبديوم المحمول على الألومينا، بسرير نبضي[1]، في درجة حرارة تصل إلى 425-455 °م، وضغط 2900 رطل على البوصة المربعة.

تسحب منتجات المفاعل إلى أبراج فصل، حيث تكثف المنتجات العلوية ثم تسحب إلى عمود تقطير جوي لإنتاج النافثا والمقطرات الوسطى، بينما يسحب المنتج السفلي إلى سلسلة من السيكلونات، حيث يعاد جزء منه إلى مرحلة الفحم الطيني. أما التيار الخارج من أسفل السيكلونات فيسحب إلى عمود تقطير فراغي، حيث يمكن فصل الذرات الصلبة مع منتج أسفل العمود، بينما تسحب مقطرات التقطير الفراغي كمنتج للتصدير إلى خارج الوحدة. يبين الشكل 1-7 مخطط سير عملية H-Coal.

---

[1] Ebullated-bed reactor

الشكل 1-7: مخطط سير عملية H-Coal



المصدر: Mourit, F., & Kelly, J., 2014

تتميز عملية H-Coal بخصائص السرير النبضي الذي يوفر كفاءة مزج عالية، حيث يمكن التحكم بدرجة الحرارة داخل المفاعل، ومراقبتها بشكل أفضل من طريقة المفاعل ذي السرير الثابت، وبالتالي يمكن تفادي الارتفاع الكبير في درجات الحرارة الناتج عن تفاعل التكسير الهيدروجيني الناشر للحرارة Exothermic، فضلاً عن أن المفاعل النبضي يوفر إمكانية استبدال العامل الحفاز التالف أثناء وجود الوحدة في العمل، وبذلك يمكن المحافظة على استمرار فعالية عالية للعامل الحفاز، وبالتالي يمكن أن تصل كفاءة التحويل في عملية H-Coal إلى 95%، ونسبة إنتاج المقطرات إلى 50% من كمية الفحم الجاف. يلخص الجدول 1-3 مزايا وسلبيات عملية H-Coal (Hook, M., & Aleklett, K., 2010)

الجدول 1-3: مزايا وسلبيات عملية H-Coal

مزايا	سلبيات
تسييل الفحم وإنتاج المقطرات يتم في مفاعل واحد	ارتفاع درجة حرارة التفاعل تؤدي إلى ارتفاع نسبة الغازات 12-15% نتيجة زيادة التكسير الحراري
المنتجات تحتوي على نسبة هيدروجين/كربون عالية	ارتفاع نسبة استهلاك الهيدروجين
طاقة إنتاج عالية نتيجة سرعة تفاعلات التكسير الهيدروجيني	ارتفاع نسبة انتاج زيت الغاز الفراغي 345-540 م° الذي يحتاج إلى عمليات معالجة صعبة في المصافي
إمكانية إزالة الرماد من خلال تغويز متبقي التقطير الفراغي لإنتاج الهيدروجين اللازم للعملية	ارتفاع كمية منتج زيت الغاز الفراغي تفرض وجود غلاية مستقلة للتقطير الفراغي

المصدر: Lee, S., Speight, J., & Loyulka, S., 2015

على الرغم من التطور الذي وصلت إليه عمليات التسييل المباشر بمرحلة واحدة إلا أنها بقيت تعاني من السلبيات التالية:

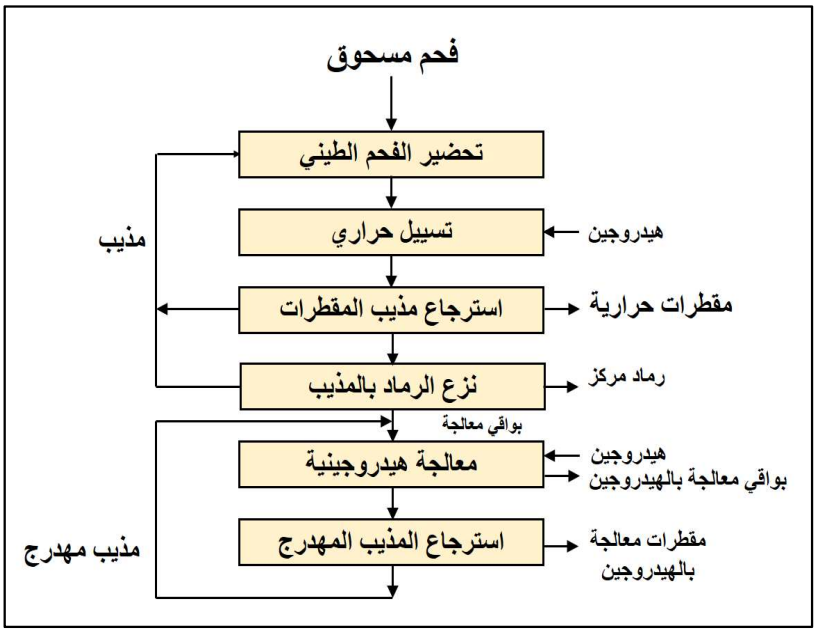
- قساوة ظروف التشغيل، كارتفاع درجة حرارة التفاعل إلى المجال 430-460 °م، وطول زمن البقاء إلى 20-26 دقيقة، وهي الشروط التي يجب تحقيقها للوصول إلى كفاءة تحويل مقبولة للفحم، أو نسبة المواد القابلة للإذابة في محلول تتراهيدروفوران Tetrahydrofuran إلى أعلى من 90%.
- انخفاض نسبة المقطرات المنتجة من هذه العمليات، حيث لا تتجاوز 50% عندما يكون اللقيم من الفحم البيتوميني، وتنخفض النسبة إلى أدنى من ذلك في حال استخدام لقيم من الفحم شبه البيتوميني Semi-Bituminous Coal.
- ارتفاع تكاليف الإنشاء والتشغيل.

1-3-2-2: عمليات التسييل المباشر بمرحلتين

تهدف عمليات التسييل المباشر بمرحلتين إلى تحسين أداء عمليات التسييل المباشر بمرحلة واحدة، وتعظيم إنتاج المقطرات العالية القيمة، كالسوائل الهيدروكربونية المستخدمة كوقود في وسائل النقل، وذلك من خلال إدخال عملية التكسير الهيدروجيني LC-Fining إلى البواقي الثقيلة المنتجة من عملية الفحم المكرر بالمذيب SRC-I

وتحويلها إلى مقطرات سائلة، وسميت العملية المطورة بعملية التسييل غير المتكاملة بمرحلتين NTSL [1]. يبين الشكل 1-8 مراحل عملية التسييل غير المتكاملة بمرحلتين.

الشكل 1-8: مراحل عملية التسييل غير المتكاملة بمرحلتين



المصدر: Lee, S., Speight, J & Loyulka, S., 2015

على الرغم من التطور الذي طرأ على عملية التسييل غير المتكاملة بمرحلتين NTSL بإضافة عملية المعالجة الهيدروجينية إلى عملية الفحم المكرر بالمذيب SRC-I ، بقيت العملية ضعيفة الكفاءة بسبب صعوبة قابلية منتجاتها لتفاعلات التكسير الهيدروجيني، فضلاً عن حاجتها إلى درجة حرارة تفاعل مرتفعة تصل إلى أعلى من 430 °م، وسرعة فراغية منخفضة حتى تكتمل تفاعلات التحويل إلى سوائل. كل هذه النواقص دفعت الباحثين إلى تطوير هذه العملية إلى عملية التسييل المباشر الحرارية المتكاملة بمرحلتين.

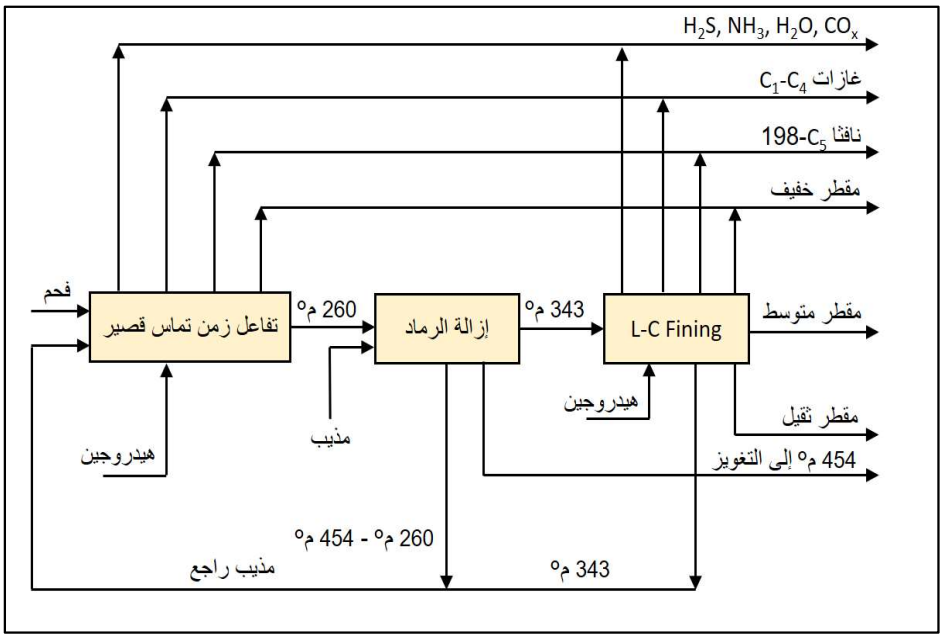
[1] Non-Integrated Two Stage Liquification

طورت عملية التسييل المباشر الحرارية المتكاملة بمرحلتين في سبعينيات القرن العشرين من قبل مجموعة شركات مكونة من كونسول Consol، وموبيل Mobil، وويلسونفيل Wilsonville، حيث أظهرت دراسة تفاعلات التحلل الحراري للفحم التي قامت بها هذه الشركات أنه يمكن تطوير عملية تحويل الفحم إلى سوائل هيدروكربونية من خلال تسريع قابلية الانحلال في محلول تتراهيدروفوران بشكل كامل، وخلال مدة زمنية قصيرة جداً تتراوح بين 1-5 دقائق فقط، حيث يمكن في هذه الفترة القصيرة إهمال حدوث تفاعلات الهدرجة في الطور الغازي، وبالتالي فإن معظم كمية الهيدروجين تأتي من المذيب في الطور السائل. وقد أطلق على هذه العملية اسم عملية التسييل في زمن تماس قصير SCT[1]

في مطلع ثمانينيات القرن العشرين طورت شركة لوماس Lumus الأمريكية عملية التسييل المباشر الحرارية المتكاملة بمرحلتين بحيث تتكون من ثلاث عمليات أساسية هي، عملية التسييل في زمن تماس قصير SCT، وعملية نزع الرماد Deashing، وعملية التكسير الهيدروجيني للبواقي الثقيلة LC-Fining. يبين الشكل 1-9 مخطط عملية التسييل المباشر الحرارية المتكاملة بمرحلتين ITSL.

[1] Short Contact Time

الشكل 1-9: مخطط عملية التسييل المباشر الحرارية المتكاملة بمرحلتين ITSL



المصدر: Mourit, F., & Kelly, J., 2014

- **عملية التسييل المباشر بمرحلتين بالعامل الحفاز CTSL**

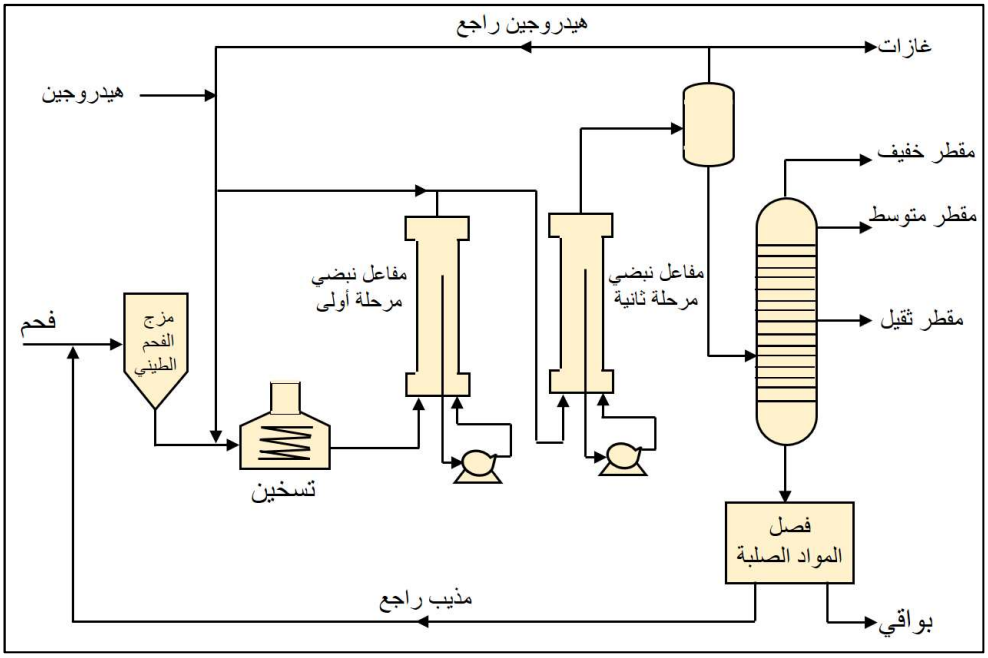
طورت عملية التسييل المباشر بمرحلتين بالعامل الحفاز CTSL[1] من قبل شركة USDOE الأمريكية، وهي نسخة مطورة من عملية H-Coal ذات المرحلة الواحدة التي طورتها شركة HRI في ويلسونفيل الأمريكية. (DTI, 1999)

تحتوي عملية التسييل المباشر بمرحلتين بوجود العامل الحفاز CTSL على مفاعلين أو مجموعتين من المفاعلات على التسلسل. يتم في المفاعل الأول تسييل الفحم، إما بالطريقة الحرارية بدون عامل حفاز، أو بوجود عامل حفاز منخفض الفعالية مماثل للعامل الحفاز المستخدم في عمليات التسييل بمرحلة واحدة. ثم تسحب سوائل الفحم الثقيلة الناتجة من المرحلة الأولى إلى المفاعل الثاني لمعالجتها بالهيدروجين، بوجود عامل حفاز

[1] Catalytic Two-stage Liquefication

عالي الفعالية، للحصول على مقطرات بمواصفات متوافقة مع القيم المطلوبة. يبين الشكل 1-10مخطط عملية التسييل المباشر بمرحلتين بوجود العامل الحفاز CTSL.

الشكل 1-10: مخطط عملية التسييل المباشر بمرحلتين بوجود العامل الحفاز CTSL



المصدر: DTI, 1999

في عملية التسييل المباشر بمرحلتين بوجود العامل الحفاز CTSL يضاف الهيدروجين إلى الفحم الطيني المكون من مزيج الفحم المسحوق مع المذيب الراجع من عملية فصل المنتجات الهيدروكربونية. بعد ذلك يسخن المزيج ثم يدخل إلى مفاعل تكسير هيدروجيني يحتوي على عامل حفاز من النيكل مع المولبيديوم المحمول على الألومينا، حيث يميع المزيج في مفاعل ذي سرير نبضي Ebullated-Bed Reactor، وبدرجة حرارة تصل إلى 400-410 °م، وضغط 17 بار في حال استخدام لقيم من الفحم البيتوميني، وترتفع درجة الحرارة إلى أعلى من هذه القيمة في حال معالجة الفحم شبه البيتوميني. يقوم العامل الحفاز بدور منح الهيدروجين، وإذابة الفحم لتجزئة بنيته إلى مركبات أصغر.

تنطلق منتجات المفاعل الأول مباشرة إلى أسفل المفاعل الثاني الذي يعمل تحت ضغط مماثل لضغط المفاعل الأول، لكن بدرجة حرارة أعلى تصل إلى 430-440°م، ويحتوي أيضاً على عامل حفاز، ولكن ليس بالضرورة مماثل للعامل الحفاز المستخدم في المرحلة الأولى. بعد ذلك تسحب السوائل الهيدروكربونية الناتجة من المفاعل الثاني إلى عمود تقطير جوي لفصل المقطرات ذات درجة الغليان الأدنى من الدرجة 400 °م. أما منتج قاع عمود التقطير الجوي فيحتوي على مذيب وفحم غير متفاعل ومركبات معدنية، حيث يسحب إلى وحدة فصل المواد الصلبة، ثم يعاد جزء منه أو كله إلى مرحلة تحضير الفحم الطيني. (DTI, 1999)

تصل نسبة إنتاج المقطرات الهيدروكربونية من عملية التسييل المباشر بمرحلتين بوجود العامل الحفاز CTSL حتى 65% وزناً من إجمالي كمية الفحم اللقيم الجاف، وقد تزيد عن هذه القيمة في بعض الحالات.

- **عملية الاستخلاص بالمذيب السائل**

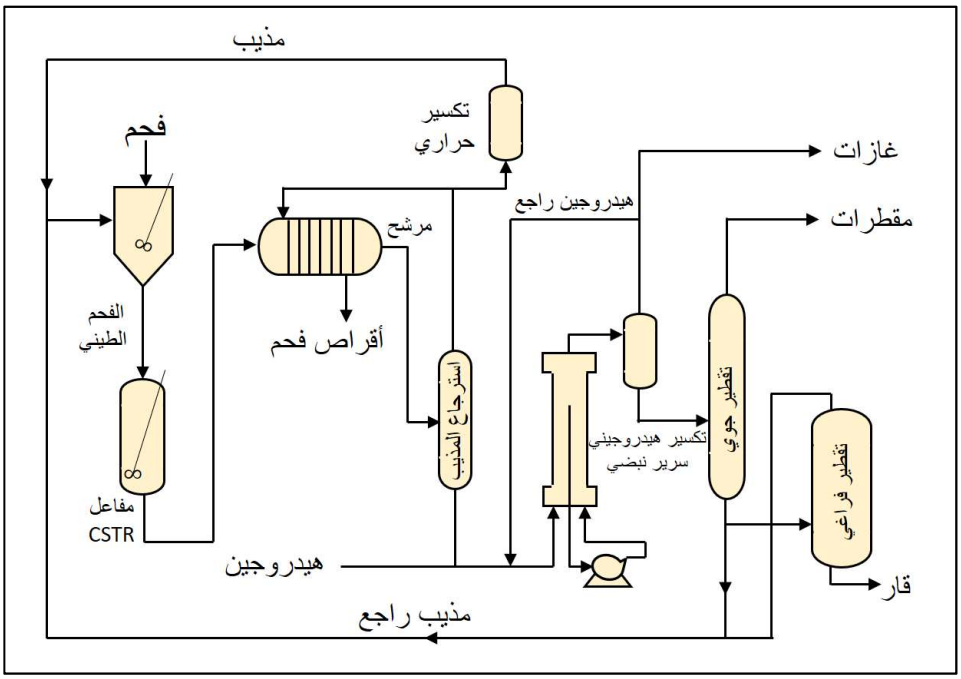
طورت عملية الاستخلاص بالمذيب السائل LSE[1] من قبل مؤسسة الفحم البريطانية BCC [2] خلال الفترة ما بين عامي 1973-1995، حيث تم إنشاء وحدة تجريبية مصغرة طاقتها 2.5 طن/اليوم في منطقة شمال ويلز، عملت مدة أربع سنوات متواصلة إلى أن تم إيقافها. وعلى الرغم من قيام الشركة بإعداد تصاميم تفصيلية لوحدة تجريبية طاقتها 65 طن/اليوم، إلا أنه لم تظهر أية خطط لإنشاء مثل هذه الوحدة حتى هذا التاريخ. يبين الشكل 1-11 مخطط عملية الاستخلاص بالمذيب السائل LSE.

---

[1] Liquid Solvent Extraction

[2] British Coal Corporation

الشكل 1-11: مخطط عملية الاستخلاص بالمذيب السائل LSE



المصدر: Mourit, F., & Kelly, J., 2014

في عملية LSE يحضر الفحم الطيني بمزج الفحم المسحوق مع المذيب الراجع من عملية فصل المنتجات الهيدروكربونية. ثم يمرر المزيج بعد ذلك إلى مرحلة الاختزال Digestion بدون عامل حفاز، والتي تتكون من مفاعلين أو أكثر على التسلسل، يحتوي كل منهما على خلاط للتحريك المستمر بدرجة حرارة تصل إلى 400-440 °م، وضغط يتراوح بين 10-20 بار، وهذا الضغط يهدف إلى تخفيف عملية تبخر المذيب، ولا يستخدم الهيدروجين في هذه المرحلة، حيث أن العامل الحفاز يقوم بدور مانح للهيدروجين بنسبة تصل حتى 2% وزنا من كمية الفحم. (DTI, 1999)

يبرد المنتج الخارج من مرحلة الاختزال جزئياً ثم ينقل إلى مرحلة الترشيح لفصل الفحم غير المتفاعل والرماد. ولفصل السوائل الهيدروكربونية تغسل حشوات المرشح بالزيت الخفيف ثم تجفف تحت الضغط الفراغي. أما السوائل المنزوعة من حشوات

المرشح فتسحب إلى مرحلة التقطير لاسترجاع زيت الغسيل الخفيف، ثم يعاد تسخينه ويمزج معه الهيدروجين ليسحب إلى مفاعل نبضي، أو عدة مفاعلات موصولة على التسلسل.

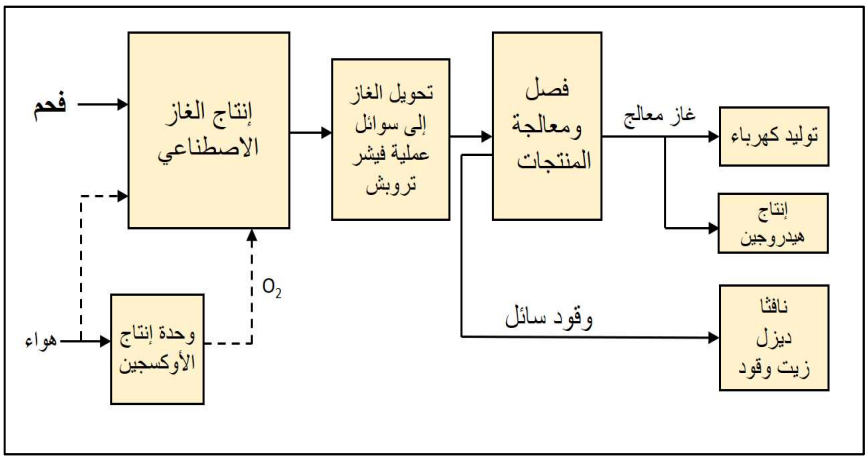
تبرد المنتجات الخارجة من المفاعل ويخفض ضغطها، ثم تسحب إلى برج تقطير جوي للحصول على المقطرات الخفيفة التي تعاد إلى برج التقطير الرئيسي، ويعاد الباقي إلى مرحلة الفحم الطيني كمذيب. أما منتج أسفل برج التقطير فيسحب جزء منه إلى برج تقطير فراغي لنزع المركبات الخفيفة منه، وذلك لتحسين مواصفات القار المنتج وإعادة جزء منه إلى مرحلة التكسير الحراري لاستخدامه كمذيب.

3-3-1: عملية التسييل غير المباشر

تتكون عملية التسييل غير المباشر Indirect Liquification من مرحلتين أساسيتين، يتم في المرحلة الأولى تحويل الفحم إلى غاز اصطناعي (مرحلة التغويز)، ثم تأتي عملية معالجة وتنقية الغاز الاصطناعي لتخليصه من المركبات الكبريتية التي تؤدي إلى تسمم العامل الحفاز في العمليات اللاحقة. أما المرحلة الثانية فتتكون من مفاعل يحتوي على عامل حفاز لتحويل الغاز الاصطناعي إلى منتجات هيدروكربونية سائلة في عملية فيشر- تروبش Fisher& Tropsh، التي طورت من قبل العالمين الألمانيين فيشر وتروبش في العام 1925، ودخلت في طور الإنتاج التجاري في العام 1930.

يعمل مفاعل تحويل الغاز الاصطناعي إلى سوائل في ظروف منخفضة من درجات الحرارة والضغط لإنتاج السوائل الهيدروكربونية. ويمكن التحكم بنوعية المنتجات النهائية تبعاً لنوع العامل الحفاز المستخدم وظروف تشغيل المفاعل. فهي إما أن تكون من البارافينات Paraffins أو الهيدروكربونات الأوليفينية Olefinic Hydrocarbons ، أو الكحولات Alcohols كالميثانول. يبين الشكل 1-12 مخطط عملية تسييل الفحم غير المباشر (Bartis, J., et al., 2008)

الشكل 1-12: مخطط عملية تسييل الفحم غير المباشر



المصدر: Bartis, J., et al., 2008

طبقت تقنية التسييل غير المباشر في مناطق عديدة من العالم، وأشهرها مجمع ساسول SASOL في جنوب أفريقيا الذي يعمل منذ عام 1956، ويتكون من ثلاث وحدات تنتج الغازولين ووقود الديزل، ولقائم الصناعات البتروكيماوية، والشموع.

تعتمد نسبة غاز الهيدروجين H_2 إلى غاز أول أوكسيد الكربون CO في الغاز الاصطناعي المنتج من مفاعل التغويز على كل من تركيز الهيدروجين والكربون في اللقيم، ونوع المغوز، ونوع العامل الحفاز المستخدم فيه. (Kerester, A., 2014)

تتكون عملية التغويز من خطوتين أساسيتين. في الخطوة الأولى تسخن المواد الكربونية لفصل الهيدروكربونات والقار والمواد الطيارة الأخرى، لتشكل الفحم النباتي Charcoal أما الخطوة الثانية فيجري فيها تحويل الفحم الخالي من المواد الطيارة إلى غاز اصطناعي، وهي عملية أكسدة جزئية، حيث يتفاعل الأوكسجين، أو الهواء الغني بالأوكسجين، مع المواد الكربونية الصلبة على النحو التالي: (EPRI, 2010)

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

$$C + O_2 \rightarrow 2CO$$

أما التفاعل مع البخار فيتم على النحو التالي:

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$$

يمكن توجيه التفاعل في شـــروط من درجات حرارة مرتفعة وضـــغط منخفض، للحصول على الميثان كما يلي:

$$C + 2\ H_2 \rightarrow CH_4$$

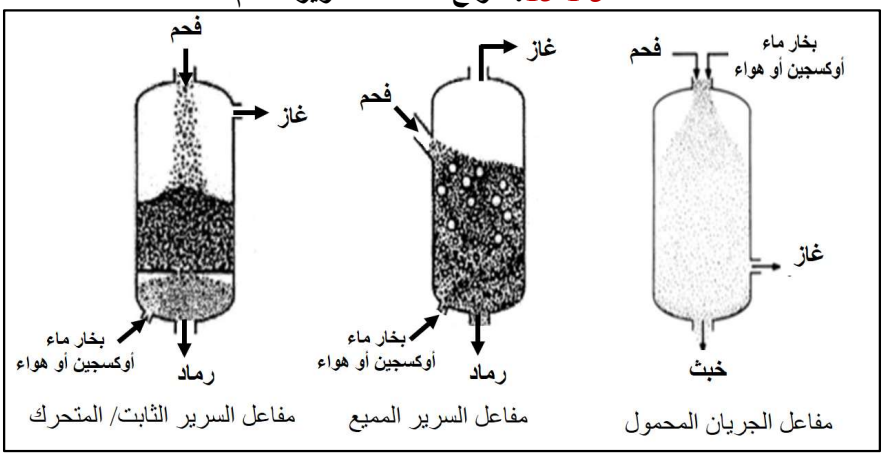
$$CO + 3\ H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$$

1-3-4: أنواع مفاعلات التغويز

يشكل مفاعل التغويز Gasifier الجزء الرئيسي من عملية تحويل الفحم والزيوت الثقيلة إلى غاز اصطناعي، وهو على شكل وعاء تتفاعل فيه اللقائم مع الأوكسجين أو الهواء في درجات حرارة مرتفعة. (Kerester, A., 2014)

يوجد أنواع عديدة من مفاعلات التغويز تختلف فيما بينها من حيث ظروف التشغيل، والتصميم الهندسي. كما تصنف مفاعلات التغويز تبعاً لمكان دخول اللقائم السائلة، أو الغازية، أو الصلبة إلى المفاعل، وطريقة التماس فيما بينها، أو حسب التصميم الهندسي لبنية المفاعل إلى ثلاث أنواع، مفاعلات السرير الثابت Fixed-Bed أو المتحرك Moving-Bed، ومفاعل التغويز بالسرير المميع Fluidized-Bed، ومفاعل التغويز بالجريان المحمول Entrained Flow. يبين الشكل 1-13 أنواع مفاعلات التغويز. كما يبين الجدول 1-4 مقارنة بين خصائص أنواع مفاعلات تغويز الفحم.

الشكل 1-13: أنواع مفاعلات تغويز الفحم



المصدر: Mathew, T., 2013

الجدول 1-4: مقارنة بين خصائص أنواع مفاعلات تغويز الفحم

	السرير الثابت	السرير المميع	سرير الجريان المحمول
زمن البقاء	3-1 ساعة	150-20 دقيقة	2-0.4 ثانية
حجم حبيبات الفحم	50-6 مم	10-6 مم	أصغر من 100 ميكرون
O2/فحم	0.081-0.14	0.97-0.25	1.17-0.28
بخار ماء/فحم	3.09-0.28	1.93-0.11	1.20-0.10
نوع الفحم	معظم الأنواع - بدون حبيبات ناعمة	كافة الأنواع غير القوالب	كافة الأنواع
مجال درجة الحرارة °م	650-420	1050-900	1600-1250
مجال الضغط (جوي)	10-1	30-10	80-30
نسبة الغازات المنتجة (مول %)			
CO + H2	70-40	80-60	95-65
CH4	15-5	5-3	2-0.1
القيمة الحرارية (وحدة بريطانية/ قدم مكعبة)	320-250	400-300	550-300
الكفاءة	منخفضة	متوسطة	عالية

المصدر: Mathew, T., 2015

- **مفاعل السرير الثابت أو المتحرك**

في مفاعل السـرير الثابت يوضـع الفحم على حوامل ثابته بينما تمر مادة التغويز (البخار، أو الهواء، أو الأوكسـجين) من الأسـفل إلى الأعلى عبر الأسـرة المثبتة، وتخرج الغازات المنتجة من قمة المفاعل. ويشـترط في هذا النوع من المفاعلات أن تكون حبيبات الفحم خشنة لتأمين النفاذية الكافية لعبور مادة التغويز.

أما في مفاعل السـرير المتحرك فينتقل الفحم ومادة التغويز باتجاهين متعاكسـين، أي أن الفحم يتسـاقط من الأعلى بينما يتصـاعد الغاز إلى الأعلى عبر أسـرة الفحم. ويقسـم المفاعل إلى جزئين رئيسـيين، يتم في الجزء العلوي تجفيف الفحم (منطقة التجفيف) بينما يتم في الجزء السـفلي تفاعلات التغويز (منطقة التغويز)، وبما أن درجة الحرارة في قمة المفاعل أخفض من الجزء السفلي يتولد من هذا المفاعل كمية سوائل هيدروكربونية أعلى نسبياً. وفي كلا النوعين من المفاعلات يكون زمن بقاء الفحم طويل نسبياً مقارنة بالأنواع الأخرى، وبالتالي يتوفر زمن طويل للتفاعل والتماس بين المواد داخل المفاعل. ينزع الرماد من أسفل المفاعل على شكل رماد جاف أو خبث. تتميز مفاعلات السرير الثابت أو المتحرك بالخصائص التالية: (Ratafia-Brown, J., et al., 2002)

- ✓ انخفاض معدل استهلاك المادة المؤكسدة.
- ✓ إمكانية معالجة لقائم مختلفة من السوائل الهيدروكربونية كالقار والزيوت.
- ✓ ارتفاع الكفاءة الحرارية.
- ✓ لا يمكن معالجة فحم على شكل قوالب إلا بعد إجراء بعض التعديلات على تصميم المفاعل، كما توجد صعوبة في إمكانية معالجة الفحم الناعم.

- **مفاعل الجريان المحمول Entrained Flow**

لا يحتوي هذا المفاعل على سـرير تحمل عليه المواد الصـلبة، حيث يمزج الفحم المطحون على شكل حبيبات ناعمة مع تيار الغاز قبل حقنه في المفاعل، فيحدث الاحتراق

وتفاعل التغويز داخل حبيبات الفحم المحمولة في تيار الغاز. ولتحقيق متطلبات شروط تعليق ذرات الفحم في تيار الغاز يجب تأمين سرعة فراغية عالية للغاز الداخل، وضمان أبعاد متناهية الصغر لقطر حبيبات الفحم.

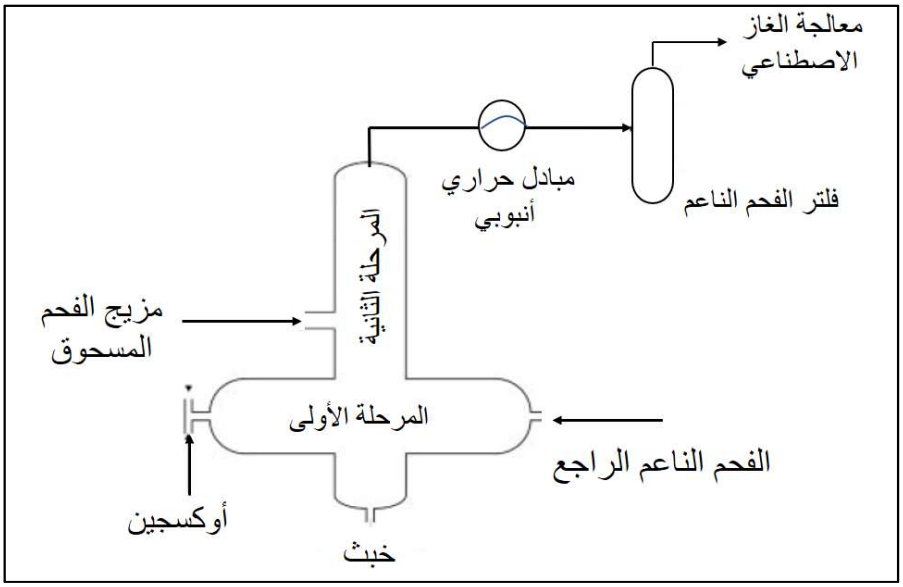
من خصائص مفاعل تغويز الجريان المحمول بأن زمن بقاء المواد المتفاعلة قصير جداً، لا يتجاوز بضعة ثواني، وهذا يستوجب العمل بدرجات حرارة مرتفعة للوصول إلى كفاءة التحويل المطلوبة في هذا الزمن القصير، وبالتالي تتطلب العملية استهلاك كمية أعلى من الأوكسجين.

يتميز مغوز الجريان المحمول أنه لا يتطلب أية شروط خاصة لمواصفات اللقيم المستخدم، على الرغم من أن ارتفاع نسبة الرطوبة والرماد في اللقيم يؤدي إلى ارتفاع نسبة استهلاك الأوكسجين إلى الحد الذي يجعل العملية غير اقتصادية مقارنة بالتقنيات الأخرى. (Lee, S., Speight, J., & Loyulka, S., 2015)

تعمل كافة مغوزات الجريان المحمول في درجة حرارة مرتفعة تصل إلى المجال 1330-1650°م، ويمكن أن يكون لها عدة تصاميم منها ما هو بمرحلة واحدة، ومنها ما هو بمرحلتين، ومنها ما يكون اتجاه الجريان من الأسفل إلى الأعلى أو بالعكس. (EPRI, 2010)

يهدف تصميم مغوز الجريان المحمول بمرحلتين إلى تحسين كفاءة التفاعل وخفض معدل استهلاك الهيدروجين، حيث أن الفحم الداخل إلى المرحلة الثانية يخفض درجة حرارة الغاز الاصطناعي الخارج، وبالتالي يسمح بتوجيه التفاعل نحو إنتاج كمية أعلى من الميثان. وتزداد نسبة إنتاج الميثان كلما زادت كمية الفحم الداخلة إلى المرحلة الثانية. يبين الشكل 1-14 مخطط مفاعل تغويز الجريان المحمول بمرحلتين.

الشكل 1-14: مخطط مفاعل تغويز الجريان المحمول بمرحلتين



المصدر: Nurthy, B., 2014 p.10

- **مفاعل التغويز بالسرير المميع**

يعمل مفاعل التغويز بالسرير المميع Fluidized Bed Gasifier على لقيم جاف ومطحون عند درجات حرارة منخفضة نسبياً (550-1000 °م) وذلك لتفادي حدوث ظاهرة تكتل الرماد التي تؤدي إلى عدم انتظام حالة التميع في السرير. لهذا يجب أن تكون درجة انصهار رماد الفحم اللقيم أعلى من درجة حرارة التفاعل في مفاعل التغويز.

تشير الأبحاث العلمية إلى أن نوعي مفاعلات التغويز بالسرير الثابت والمميع غير مناسبين لتغويز الفحم البترولي، بينما يتميز مفاعل الجريان المحمول بكفاءة أعلى ونسبة تحويل عالية للكربون، وذلك للأسباب التالية: (Nurthy, B. et al, 2014)

- ✓ شدة الحساسية لتغير حجم حبيبات الفحم، حيث أن مفاعلي السرير الثابت والمميع يشترط فيهما أن يكون الفحم اللقيم على شكل حبيبات كبيرة الحجم وذات قابلية تفاعل عالية، وذلك للمحافظة على النفاذية Permeability عبر السرير الثابت،

كما تتطلب شروطاً صارمة بالنسبة لخاصتي المتانة الفيزيائية وسلوك التحول إلى فحم الكوك Coking لحبيبات الفحم اللقيم.

✓ بما أن المفاعلين يعملان في درجات حرارة منخفضة فإنهما مناسبين للفحم الذي يتميز بقابلية تفاعل أعلى، كالليغنيت والفحم البني، أو الأنواع التي تحتوي على مركبات طيارة لا عضوية ضارة يمكن أن تسبب تآكل المعادن عند درجات الحرارة المرتفعة.

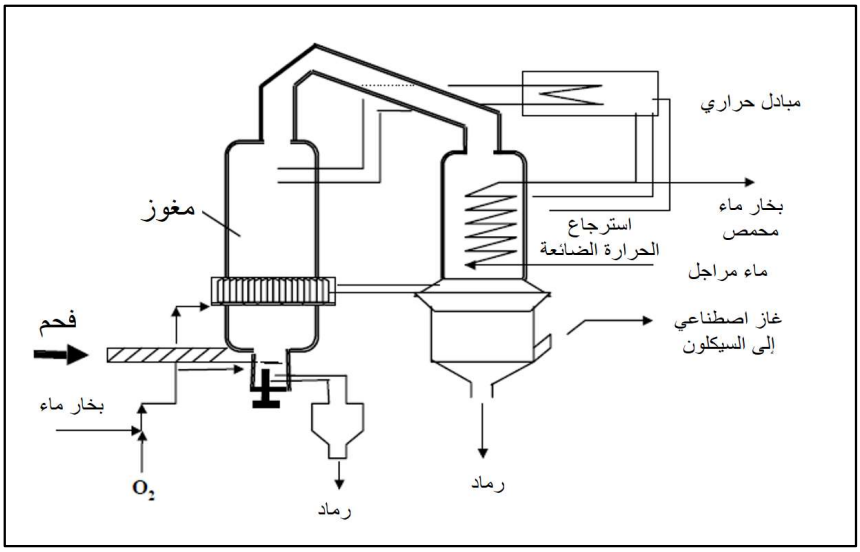
- **عمليات التغويز بمفاعل السرير المميع**

تعتبر عملية وينكلر Winkler من أقدم عمليات تحويل الفحم التي تستخدم مفاعل التغويز بالسرير المميع منذ أن طورت في أوروبا في عشرينيات القرن العشرين. في هذه العملية يجفف الفحم المسحوق قبل إدخاله إلى المفاعل بواسطة ملقم حلزوني متغير السرعة Variable Speed Screw Feeder. يعمل المفاعل في مجال درجة حرارة 815-1000°م، وتحت الضغط الجوي، فتتفاعل ذرات الفحم مع الأوكسجين وبخار الماء لتنتج غاز غني بالهيدروجين وأول أوكسيد الكربون، ونظراً لارتفاع حرارة التفاعل فإن كمية السوائل والقار الناتجة تكون قليلة جداً.

يحول الغاز المنتج إلى وحدة غسيل بالماء، ثم إلى سيكلون ومنه إلى مرسب كهروستاتيكي، وذلك لتخليصه من الرماد العالق فيه، والذي يشكل حوالي 70% من كمية الرماد الناتج من العملية. (Harris, D., and Roberts D., 2013)

لتفادي انصهار ذرات الرماد بتأثير درجة الحرارة المرتفعة، ومنع تراكم الرواسب في مخرج المفاعل يبرد الغاز إلى الدرجة 150-205 °م بواسطة مبادل حراري. ويستفاد من الحرارة الضائعة في توليد بخار الماء. بعد ذلك يسحب الغاز الاصطناعي النظيف إلى خارج الوحدة. يبين الشكل 1-15 مخطط عملية تغويز وينكلر.

الشكل 1-15: مخطط عملية تغويز وينكلر



المصدر: Lee, S., Speight., & Loyalka, S. 2015

تتميز عملية وينكلر بالخصائص التالية:

- ✓ إمكانية معالجة لقائم متنوعة من الفحم، تتدرج من فحم اللغنيت إلى الفحم البترولي.
- ✓ إمكانية تغويز الفحم الحاوي على نسبة عالية من الرماد دون مواجهة صعوبات. فعلى الرغم من أن استخدام فحم يحتوي على نسبة عالية من الرماد يؤدي إلى زيادة نسبة الرواسب والمواد غير القابلة للاحتراق، إلا أن انخفاض ثمنها يعطي للعملية ميزة اقتصاديه.
- ✓ إمكانية تغويز لقائم سائلة كالزيوت الثقيلة إضافة إلى الفحم، حيث أن إضافة الوقود السائل يساهم في تحسين القيمة الحرارية للغاز الاصطناعي المنتج، وبالتالي تعزيز المردود الاقتصادي للعملية.
- ✓ مرونة التشغيل عند نطاق واسع من معدلات الطاقة الإنتاجية، حيث يمكن تخفيض معدل الطاقة الإنتاجية إلى الحد الذي يحافظ على تمييع الفحم، والحد الأقصى الذي يضمن صهر كامل كمية الرواسب المتبقية.

- ✓ سهولة توقيف العملية خلال دقائق معدودة من خلال قطع تيار الأوكسجين والفحم الداخل.
- ✓ سهولة إجراء عمليات الصيانة لمفاعل التغويز، وذلك لبساطة تركيبه حيث أنه يتكون من الداخل من جدار مبطن بالقرميد يحتوي على محقن لغاز التفاعل قابل للفك بسهولة.

- **عمليات التغويز بمفاعل السرير الثابت**

تعتبر عمليات التغويز التي تستخدم مفاعل التغويز بالسرير الثابت من العمليات القديمة التي صممت لتغويز أنواع رخيصة من الفحم لإنتاج غاز منخفض القيمة الحرارية، يصلح للاستخدام كوقود للتدفئة أو لتوليد الطاقة الكهربائية. أحد الأمثلة على عمليات التغويز التي تستخدم مفاعل السرير الثابت عملية ويلمان غالوشا.

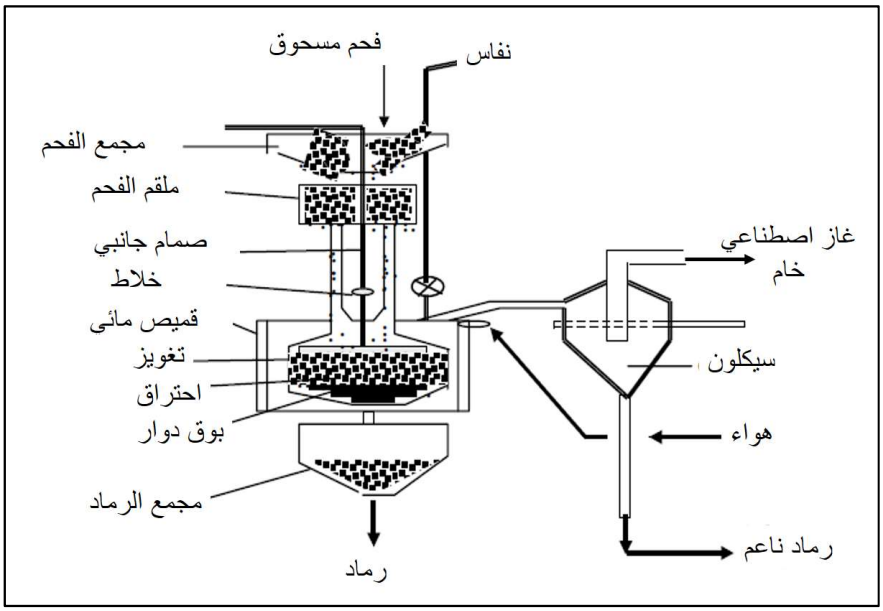
تطبق عملية تغويز ويلمان غالوشا Wellman-Galusha على نطاق تجاري منذ أكثر من أربعين عاماً، ويمكن أن تنتج نوعين من الغاز، الأول غاز منخفض القيمة الحرارية عند استخدام الهواء كمادة تغويز، والثاني غاز اصطناعي متوسط القيمة الحرارية عند استخدام الأوكسجين كمادة تغويز. تصنف عملية ويلمان غالوشا تحت مجموعة عمليات التغويز التي تستخدم مفاعل السرير الثابت، وقد طور المفاعل بإضافة خلاط لتحريك المواد وتعزيز كفاءة التفاعل. يغلف هيكل المفاعل بقميص مائي، وبالتالي لا يحتاج السطح الداخلي للمفاعل إلى تبطين بالقرميد.

يعمل المفاعل بدرجة حرارة 540-650 °م وتحت الضغط الجوي. يلقم الفحم المسحوق إلى أعلى المفاعل عبر أنبوب عمودي، بينما يدخل الهواء وبخار الماء من أسفل السرير الثابت، عبر فوهات نفخ. يحتوي المفاعل على حاجز حديدي في الأسفل لإزالة الرماد بشكل منتظم، حيث يدخل مزيج بخار الماء والهواء من أسفل الحاجز المعدني إلى

السـرير الثابت لينتشـر عبر الرماد، مروراً بمنطقة الاحتراق ثم عبر منطقة التغويز. كما يمرر الغاز المنتج عبر فاصل على شكل سيكلون لتخليصه من ذرات الرماد العالقة.

يتكون الغاز الاصـطناعي المنتج من الهيدروجين وأول أوكسـيد الكربون والميثان والنيتروجين وثاني أوكسـيد الكربون، وذلك عند اسـتخدام الهواء كمادة تغويز، أما عند اسـتخدام الأوكسـجين فتنخفض نسـبة النيتروجين ويتحول الغاز من منخفض القيمة الحرارية إلى متوسط القيمة الحرارية. يبين الشكل 1-16 مخطط عملية التغويز بالسرير الثابت ويلمان غالوشا.

الشكل 1-16: مخطط عملية التغويز بالسرير الثابت ويلمان غالوشا



المصدر: Visagie, J. 2008

- **عمليات التغويز بمفاعل الجريان المحمول**

يوجد عدة أنواع لعمليات التغويز بالجريان المحمول تمنح المستخدم إمكانية اختيار النوع الذي يناسبه من حيث الأداء الاقتصادي والتشغيلي، ومدى تلبية متطلبات التشريعات البيئية. بعض العمليات تعمل على مبدأ اللقيم الجاف مثل عمليات شـركة شـل Shell،

وسـمينز Siemens ، وأهدي Uhde، وتي بي آر أي TPRI ، وبعضـها الأخر يعمل بطريقة اللقيم الطيني مثل عمليات شـركة تكسـاكو، Texaco، و جي إي GE، وكونوكو فيليبس Conoco Philips. تعتبر عمليـات التغويز بمفـاعـل الجريـان المحمول الأكثر ملاءمة للقائم المنتجة من مصـــافي النفط، وذلك نظراً لإمكانية عملها في درجات حرارة مرتفعة، حيث يمكنها تغويز لقائم ذات قابلية تفاعل منخفضـــة مثل الفحم البترولي، والفحم المنتج من عمليات تكرير رمال القار. (Nurthy, B., 2014)

- **عملية تغويز شركة كونوكو فيليبس E-Gas**

تطبق عملية التغويز E-Gas على نطاق تجاري منذ أكثر من ثلاثين عاماً، كإحدى التقنيات المتطورة لتحويل الفحم إلى غاز طبيعي اصطناعي SNG[1] يستخدم كوقود لتوليد الطاقة الكهربائية، وإنتاج هيدروجين، إضـــافة إلى إنتاج مواد كيماوية. طورت هذه التقنية من قبل شـــركة كونوكو فيليبس وأدخلت عليها العديد من التطورات تركز معظمها في تحسين كفاءة العملية وتعزيز إجراءات خفض الأثر البيئي. (CBI, 2015)

يطحن الفحم اللقيم مع الماء لتحويله إلى الشكل الطيني، ثم يسحب بواسطة مضخة، ويلتقي مع تيار أوكسجين عالي النقاوة بواسطة خلاط، ثم يحقن المزيج في المرحلة الأولى لمفاعل الجريان المحمول، حيث يخضـع لدرجات حرارة عالية إلى الحد الكافي للوصـول برماد اللقيم الصلب إلى أعلى من درجة الانصهار Melting Point.

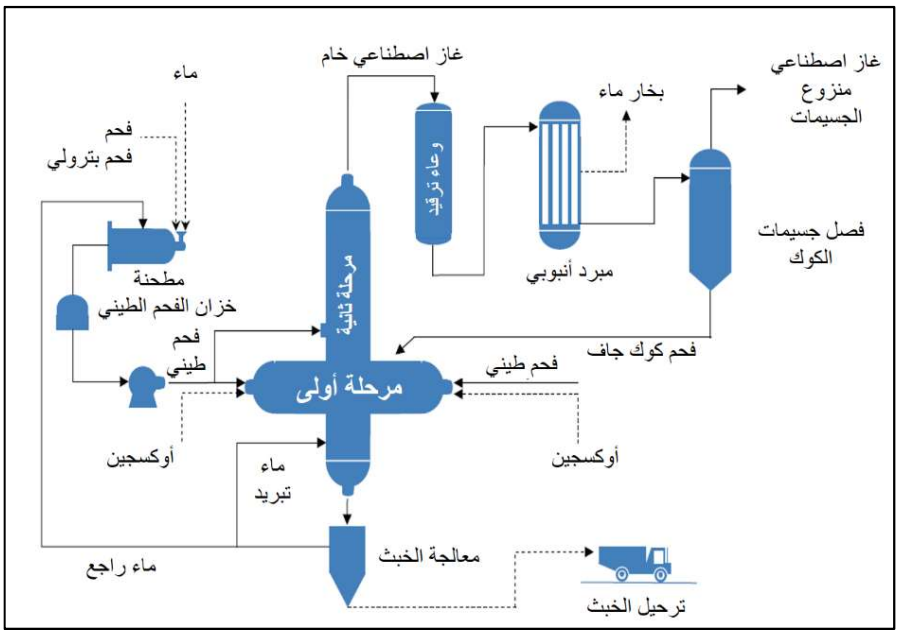
يتســاقط الرماد المائع عبر فوهات متمركزة في أسـفل المرحلة الأولى من المفاعل إلى مبرد مائي Water Quench فيتحول إلى خبث زجاجي خامل، حيث يتم فصـــله بطريقة مستمرة من أسفل المفاعل، بينما يفصل الكربون الراسب في مياه الخبث لإرجاعه إلى منطقة التغويز بهدف إخضاعه لعملية تحويل مرة ثانية.

[1] Synthetic Natural Gas

ينطلق الغاز الاصـــطناعي المنتج من المرحلة الأولى إلى المرحلة الثانية للمفاعل، حيث تحقن كمية إضـــافية من مزيج الفحم الطيني، فيتحلل الفحم حرارياً بتأثير الحرارة المرتفعة للغاز الاصطناعي في تفاعل ماص للحرارة Endothermic reaction، وذلك لتحسين كفاءة التحويل الإجمالية لعملية التغويز.

ينطلق الغاز الاصطناعي المنتج من المرحلة الثانية للمفاعل إلى مبرد، حيث تتم الاستفادة من الحرارة الممتصة في توليد بخار ماء عالي الضغط، ثم يمرر الغاز البارد عبر مرشح أنبوبي لتخليصه من الجسيمات الفحمية الناعمة، وإعادتها إلى مفاعل التغويز لتحويل الكربون الموجود في هذه الجسيمات إلى غاز اصطناعي. أما الغاز الاصطناعي الخارج من المرشح فيسحب إلى وعاء غسيل بالماء لتخليصه من الكلوريدات، ثم يرحل إلى خارج حدود الوحدة للاستفادة منه كوقود أو إخضاعه لعمليات تصنيع أخرى. يبين الشكل 1-17 مخطط عملية تغويز مفاعل الجريان المحمول بمرحلتين E-Gas

الشكل 1-17: مخطط عملية تغويز مفاعل الجريان المحمول بمرحلتين E-Gas



المصدر: CBI, 2015

تتميز عملية التغويز E-Gas بالعديد من الخصائص التي تجعلها إحدى أكثر عمليات تحويل الزيوت الثقيلة إلى غاز اصطناعي كفاءة وانتشاراً. من أهم هذه الخصائص ما يلي: (Faegh, A., et al., 2015)

- ✓ تحتوي عملية E-Gas على منظومة متطورة لتحضير اللقيم تساهم في رفع كفاءة تحويل الكربون إلى أعلى من 99%.
- ✓ وجود حراقات دائمة الاشتعال للمحافظة على درجة حرارة مفاعل التغويز في حالة جاهزية، ولضمان سلامة وسهولة عمليات تشغيل أو إعادة تشغيل المجمع.
- ✓ استمرار عملية إزالة الخبث بواسطة منظومة بسيطة، ولا تحتاج إلى عمليات صيانة مكلفة.
- ✓ دور خصائص تصميم مفاعل التغويز بمرحلتين في تحسين القيمة الحرارية للغاز الاصطناعي المنتج، إضافة إلى تحسين كفاءة استخدام الطاقة.
- ✓ دور التصميم الفريد لمبرد الغاز الاصطناعي في تعظيم الاستفادة من الحرارة الضائعة من خلال إنتاج بخار ماء عالي الضغط كمنتج عالي القيمة، مما يؤدي إلى خفض تكاليف التشغيل الإجمالية للعملية.
- ✓ ميزات عملية إزالة الجسيمات الصلبة الدقيقة والجافة واسترجاعها إلى منظومة التغويز التي تساهم في تحسين كفاءة تحويل الكربون، وتفادي تشكل الماء الأسود أو الرمادي، وبالتالي عدم تشكل مياه ملوثة تحتاج إلى عمليات معالجة مكلفة.
- ✓ إمكانية تدوير المياه الملوثة المنتجة من عمليات أخرى خارج مجمع عملية التغويز، إلى مفاعل التغويز.

- **عملية تغويز شركة شل بمفاعل الجريان المحمول**

طورت عملية شل لتغويز الفحم SCGP[1] في عقد الخمسينيات من القرن الماضي، ثم بدأ إنشـــاء الوحدات التجريبية في الســـبعينيات والثمانينيات في كل من هولندا وألمانيا والولايات المتحدة الأمريكية إلى أن وصـــل عدد الوحدات العاملة على نطاق تجاري إلى 28 وحدة في عام 2015. (Berg, R., Chen, Z., & Chua, S. 2015)

يستخدم غاز النيتروجين الخامل كوسط حامل لنقل مسحوق الفحم الجاف، بقطر حبيبات لا يزيد عن 90 ميكرو متر، إلى مفاعل التغويز ذي الجريان المحمول، المزود بتصـــميم خاص لاحتوائه على حراقات عديدة، وجدار مكون من أنابيب عالية الضـــغط تساهم في فصل آمن للرماد والغاز الاصطناعي بكفاءة عالية، بأقل تكاليف صيانة ممكنة.

يلتقي مزيج مسحوق الفحم الجاف مع الأوكسجين والبخار قبل دخوله إلى المغوز، حيث تصل درجة حرارة اللهب إلى 1800- 2000 °م، وضغط تشغيلي حوالي 30 بار، فيتفاعل المزيج، ويتساقط الرماد المنصهر إلى الأسفل ليمر عبر حمام مائي، حيث يمكن استخلاصه على شكل صلب، وبالتالي يمكن خفض نسبة الملوثات في المياه الخارجة من المفاعل. (Shell, 2010)

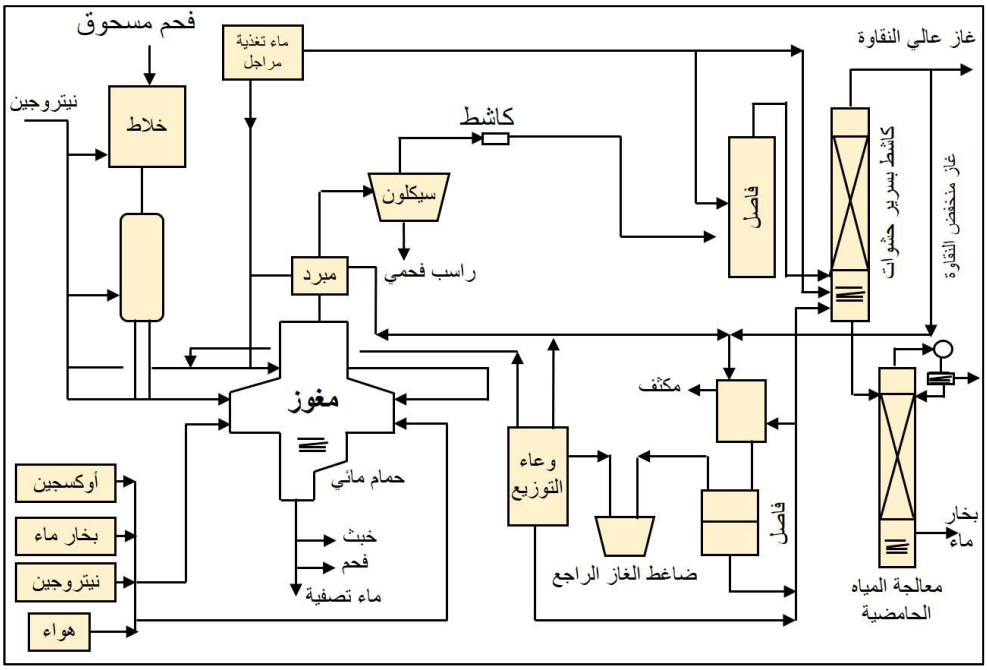
قبل خروج الغاز الاصـــطناعي من قمة المغوز يخضـــع لعملية تبريد بالماء إلى الدرجة 900 °م، ثم يبرد ثانية في مبرد خارجي، حيث يســـتفاد من الحرارة الكامنة في توليد بخار ماء عالي ومتوســـط الضـــغط كمنتج ثانوي عالي القيمة، بعد ذلك يمرر الغاز الاصـطناعي المنتج عبر كاشـط وسـيكلونات لتخليصـه من الرماد العالق فيه، حيث يعاد الرماد مع الكربون غير المتفاعل إلى قسم التغويز.

---

[1] Shell Coal Gasification Process

يتكون الغاز الاصطناعي من أول أوكسيد الكربون بنسبة 62-63%، وهيدروجين بنسبة 28%، مع كمية بسيطة من ثاني أوكسيد الكربون. يبين الشكل 1-18 مخطط عملية تغويز شل بمفاعل الجريان المحمول.

الشكل 1-18: مخطط عملية تغويز شل بمفاعل الجريان المحمول



المصدر: Berg, R., Chen, Z., & Chua, S. 2015

ساهمت أعمال البحث والتطوير في ابتكار تقنيتين لتغويز الفحم بطريقة Shell ، سميت الأولى عملية تغويز شل SGP[1] تهدف إلى تحويل مخلفات التكرير الثقيلة إلى غاز اصطناعي، والثانية عملية شل لتغويز الفحم SCGP، وتهدف إلى تحويل اللقائم الهيدروكربونية الصلبة مثل الفحم البترولي والفحم البيتوميني وفحم الأنتراسيت

[1] Shell Gasification Process

وفحم الليغنيت (الفحم البني) إلى غاز اصطناعي. وتتميز عملية شل بالخصائص التالية: (Lee, S., Speight, J., & Loyalka, S. 2015)

- ✓ ارتفاع الكفاءة الحرارية إلى المجال 75-80%
- ✓ ارتفاع كفاءة استرجاع الطاقة الحرارية الضائعة من خلال إنتاج بخار ماء محمص عالي الضغط[1].
- ✓ إنتاج غاز اصطناعي نظيف، وبأقل كمية من المنتجات الثانوية.
- ✓ إمكانية إنشاء وحدات ذات طاقة إنتاجية عالية تساهم في تخفيض تكاليف الإنشاء والتشغيل من خلال الاستفادة من اقتصاد الحجم.
- ✓ ذات أثر بيئي متوافق مع متطلبات التشريعات الخاصة بحماية البيئة من التلوث.

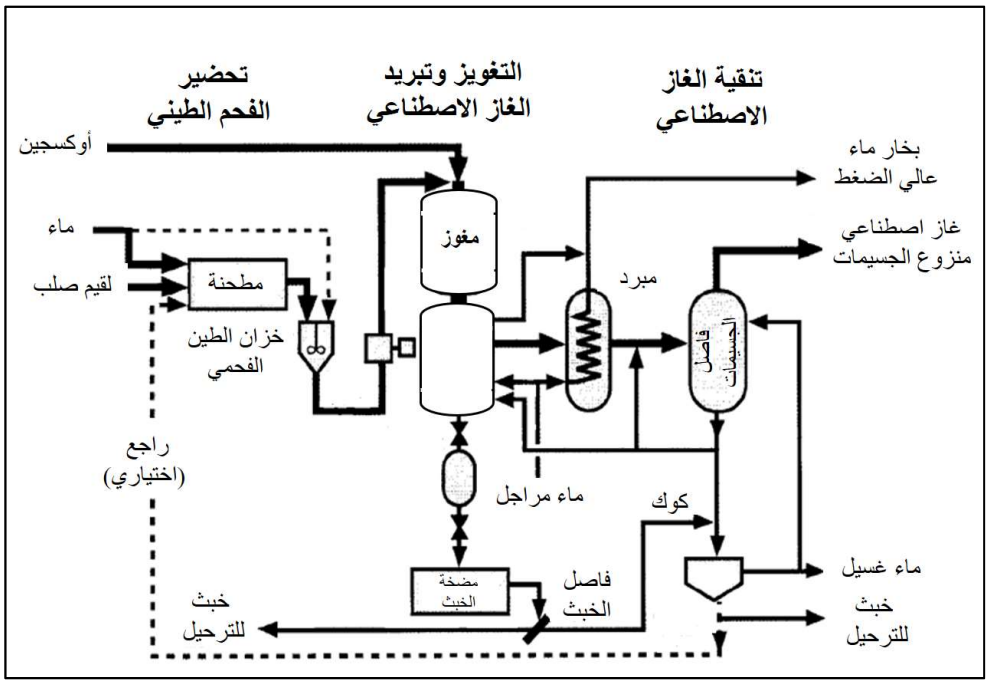
- **عملية تغويز تكساكو بمفاعل الجريان المحمول**

تستخدم عملية تغويز تكساكو Texaco مغوز من نوع الجريان المحمول تحت ضغط عال نسبياً بواسطة حقن الأوكسجين أو الهواء مع بخار الماء بجريان متوافق. يمزج الفحم المسحوق بالزيت أو الماء ليصبح على شكل مزيج طيني قابل للضخ. يحقن المزيج الطيني في أعلى مغوز عمودي يتكون من وعاء يعمل بضغوط عالية، ومبطن بجدار قرميدي. تطبق هذه العملية بشكل أساسي للحصول على غاز اصطناعي غني بغاز أول أوكسيد الكربون إضافة إلى ثاني أوكسيد الكربون، والهيدروجين، وكمية قليلة من الميثان، بينما لا يحتوي على زيت أو قار نظراً لأن العملية تتم في درجة حرارة مرتفعة. يبين الشكل 1-19 مخطط عملية تغويز تكساكو.

---

[1] High Pressure Superheated Steam

الشكل 1-19: مخطط عملية تغويز تكساكو



المصدر: Shilling, N., 2010

يعمل مغوز تكساكو في درجة حرارة تتراوح ضمن المجال 1100-1370 °م، وضغط 20-85 بار، وهو نسخة مطورة من عملية الأكسدة الجزئية التي طورتها الشركة، وأثبتت كفاءة عالية في تغويز النفط الخام والهيدروكربونات الأخرى. الخاصة الرئيسية التي تميز عملية تكساكو هي استعمال الفحم اللقيم على شكل طيني مما يساهم في تبسيط إجراءات تشغيل عملية تحضير اللقيم الداخل إلى المغوز.

يتكون مغوز تكساكو من وعاء عمودي يحتوي في الأعلى على غرفة أكسدة جزئية مبطنة بالقرميد الحراري، وفي الأسفل يحتوي على مبرد مائي لتبريد الخبث المنصهر والغازات الناتجة. كما يستفاد من الحرارة الضائعة في توليد كمية كبيرة من بخار الماء، مما يساهم في تحسين الكفاءة الحرارية للعملية. كما تتميز عملية تكساكو بخاصة أخرى تساهم في تعزيز الكفاءة الحرارية للمغوز، وهي انخفاض نسبة الماء في

الفحم الطيني التي تساعد على خفض استهلاك الأوكسجين اللازم لتبخير المياه في اللقيم المكون من الماء ومسحوق الفحم.

يسحب الخبث الخارج من مرحلة التبريد إلى عمليات معالجة أخرى. أما الغاز الاصطناعي المنتج فيسحب من مرحلة الفصل إلى مرحلة المعالجة لتخليصه من ذرات الكربون والرماد، حيث يتم إرجاعها إلى منظومة تحضير الطين الفحمي، ثم يسحب الغاز النظيف إلى وحدات المعالجة.

1-3-5: مقارنة بين عمليات التسييل المباشر وغير المباشر

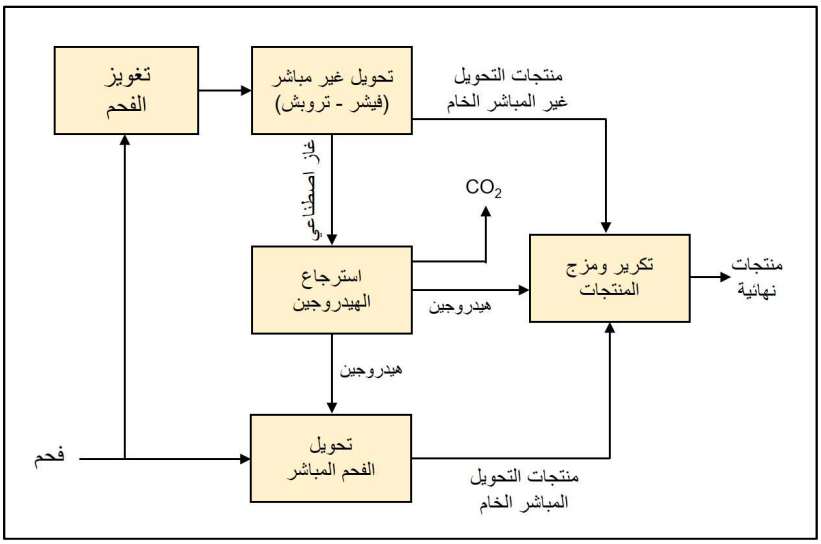
على الرغم من تعقيد عمليات التسييل غير المباشر إلا أن لها مزايا وخصائص تجعلها أفضل من عمليات التسييل المباشر، وذلك للأسباب التالية: (Minchener, A., 2011)

- يستخدم الأوكسجين وبخار الماء في عملية التسييل غير المباشر لكي تتم تفاعلات تكسير جزيئات الفحم وتحويلها إلى سوائل، بينما تحتاج عملية التسييل المباشر إلى الهيدروجين.
- يمكن نزع المواد غير المرغوبة من الغاز الاصطناعي المنتج، كالمركبات الكبريتية بسهولة في عملية التسييل غير المباشر.
- تتميز عملية التحويل غير المباشر بإمكانية استخدام لقائم متنوعة أخرى كالفحم البترولي والمخلفات البترولية الثقيلة، والغاز الطبيعي، والكتلة الحيوية.
- تصل قيم الضغط ودرجة حرارة التفاعل في عملية التسييل المباشر إلى مستويات أعلى من عملية التسييل غير المباشر.
- على الرغم من سهولة وبساطة تطبيق تقنيات التقاط وتخزين غاز ثاني أوكسيد الكربون المنبعث من عملية التسييل غير المباشر إلا أن عملية التسييل المباشر تتميز بكفاءة حرارية أعلى، ونسبة انبعاثات أدنى.

- تتكون منتجات عملية التحويل المباشر للفحم من النافثا والمقطرات الوسطى، لكنها تختلف عن منتجات عملية التحويل غير المباشر في أنها غير قابلة للاستهلاك المباشر إلا بعد معالجتها وتحسين خصائصها، نظراً لاحتوائها على نسبة عالية من العطريات والهيدروكربونات الحلقية، ونسبة منخفضة من الهيدروجين.
- تتميز عملية التسييل غير المباشر بإمكانية الحصول على مواد كيميائية يمكن استخدامها كلقائم في صناعة البتروكيماويات، علاوة على إنتاج وقود النقل.

ولتعظيم الاستفادة من مزايا الطريقتين، وتفادي سلبياتهما، صممت عملية سميت بعملية التحويل الهجينة Hybrid Conversion، وذلك من خلال دمج كلا عمليتي التسييل المباشر وغير المباشر. يبين الشكل 1-20 مخطط عملية التحويل الهجينة.

الشكل 1-20: مخطط عملية التحويل الهجينة



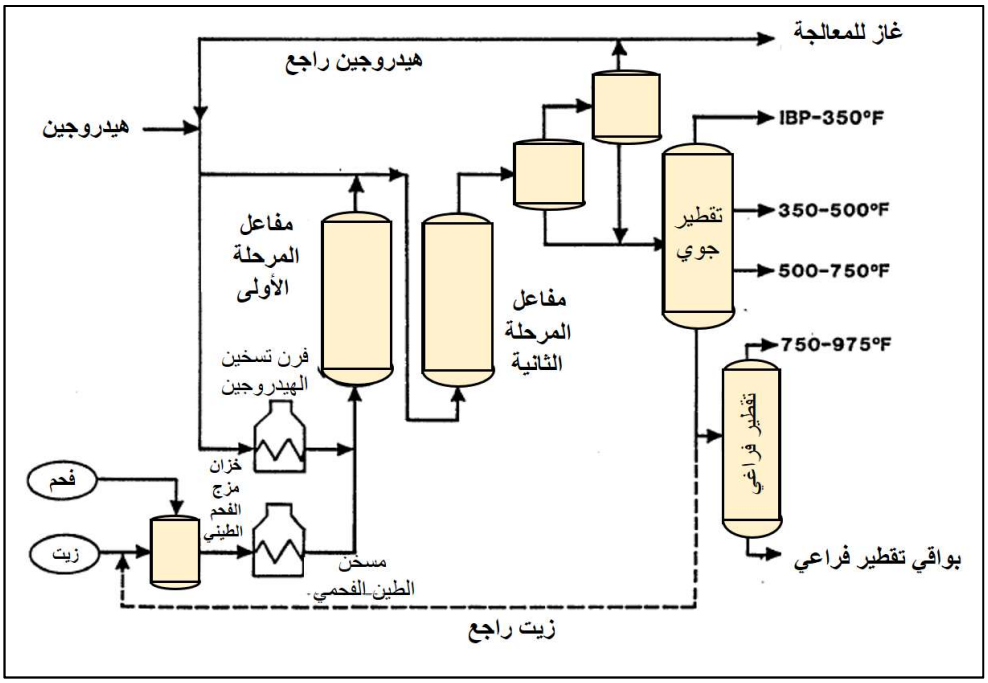
المصدر: Miller, C., 2007

1-3-6: عمليات التحويل المشتركة

تختلف العمليات المشتركة Co-Processing عن عمليات تسييل الفحم العادية من حيث إمكانية تحويل لقائم تتكون من سوائل هيدروكربونية مشتقة من مصادر أخرى

غير الفحم إضـافة إلى عملية تحسـين خصـائص الفحم في آن واحد. كما تختلف العمليات المشتركة عن غيرها من العمليات في أنها تستخدم في معظم الحالات لقائم هيدروكربونية ثقيلة ذات درجات غليان مرتفعة، أو منتجات نفطية منخفضـة القيمة مثل البيتومين، والقار، أو النفط الخام الثقيل جداً، أو مخلفات عمليات تقطير النفط التقليدية، لتقوم بدور العامل المساعد على تكوين الطور الطيني، إضافة إلى دورها كوسط ناقل للفحم بدلاً من المذيب المستخدم في عمليات التسييل الأخرى، ويمكن أن تكون العملية بمرحلة واحدة أو مرحلتين، وبالتالي يمكن القول أن معظم السوائل الهيدروكربونية الناتجة من هذه العمليات مشتقة من النفط أكثر من الفحم، وهذا ما يجعل الهدف الرئيسي لعمليات التحويل المشتركة هو تكامل عمليات تسـييل الفحم مع عمليات تحويل مخلفات التكرير الثقيلة إلى منتجات عالية القيمة في مصافي النفط. يبين الشكل 1-21 مخطط عملية التحويل المشتركة.

الشكل 1-21: مخطط عملية التحويل المشتركة



المصدر: (Gillis, D., VanWees, D., Zimmerman, P., 2009)

تتميز عمليات التحويل المشتركة بانخفاض التكاليف الاستثمارية، كما أن إضافة الهيدروكربونات المشتقة من النفط تحسن من اقتصادية العملية من خلال خفض سعر اللقيم. (Duddy, J., McLean, J., and. Smith, T., 2007)

- **عملية لوماس كريست المشتركة Lummus Crest Co-processing**

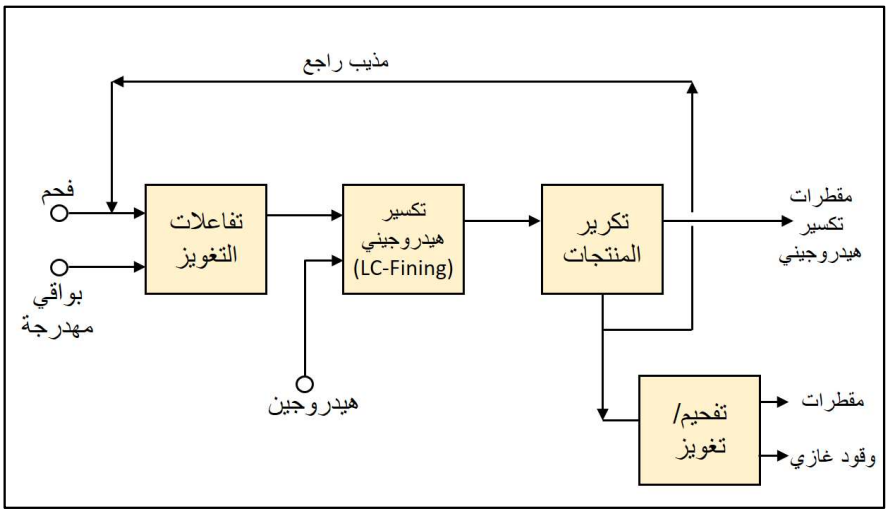
طورت عملية لوماس كريست المشتركة في النصف الأول من عقد الثمانينيات، بإنشاء وحدة تجريبية مصغرة طاقتها 0.25 طن/اليوم، وهي عملية مقتبسة من عملية التحلل الحراري المتكاملة بمرحلتين ITSL [1] التي طورتها شركة لوماس كريست. كما تتميز هذه التقنية في أن المنتجات البترولية الثقيلة تهدرج قبل استخدامها كمذيب ووسط حامل للفحم الطيني. وهذه الخاصة تساهم في توفير الهيدروجين الذي يؤدي إلى تحلل الفحم وخفض فرص حدوث تفاعلات التفحيم وإعادة البلمرة.

يمزج الفحم الناعم مع المخلفات البترولية المهدرجة، ثم يسحب المزيج إلى مفاعل لا يحتوي على عامل حفاز، حيث أن زمن التفاعل فيه قصير، ويعمل بدرجة حرارة 430-450 °م، وضغط 140 بار. تؤخذ نواتج التفاعل إلى مفاعل بسرير نبضي يعمل بظروف مماثلة من درجة الحرارة والضغط بوجود عامل حفاز للمعالجة الهيدروجينية.

تصل نسبة تحويل الفحم في هذه العملية إلى 95% وزناً من كمية الفحم الجاف الخالي من الرماد. أما كفاءة تحويل المخلفات البترولية الثقيلة فلا تتجاوز 70-80%. كما تتراوح نسبة إنتاج المقطرات الهيدروكربونية ضمن المجال 50-55% من كمية اللقيم. يبين الشكل 1-22 مخطط عملية التحويل المشتركة لوماس كريست.

[1] THERMAL INTEGRATED TWO-STAGE LIQUEFACTION

الشكل 1-22: مخطط عملية التحويل المشتركة لوماس كريست



المصدر: Miller, C., 2007

- **عملية التحويل المشتركة CANMET**

طبقت عملية CANMET لأول مرة على نطاق تجاري في عام 1985 كوحدة تكسير هيدروجيني للزيوت الثقيلة في مصفاة شركة بتروكندا Petro-Canada في مونتريال بطاقة قدرها 5000 برميل/اليوم. ثم حولت الوحدة بعد ذلك إلى عملية تحويل مشتركة بتمويل من ثلاث شركات هي رينبرون أ.ج Rheinbraun A.G، ومؤسسة أموكو Amoco Corporation، وهيئة ألبرتا لأبحاث وتكنولوجيا رمال القار AOSTRA.

يمزج الفحم المطحون مع العامل الحفاز القابل للاستخدام مرة واحدة، ومخلفات التقطير الفراغي المنتجة من المصفاة أو البيتومين، ثم يضاف الهيدروجين إلى المزيج الناتج ليدخل بعد ذلك إلى مفاعل ذي مرحلة واحدة يعمل بدرجة حرارة ضمن المجال 440-460 °م، وضغط 100-150 بار، وتبلغ نسبة الفحم حوالي 30-40% وزناً من إجمالي اللقيم. تسحب السوائل الخارجة من المفاعل الى برج تقطير لفصلها إلى مقطرات قابلة للتقطير ومخلفات غير قابلة للتقطير. يمكن أن تصل كفاءة تحويل الفحم في هذه

العملية إلى 98% على إجمالي كمية الفحم الجاف الخالي من الرماد. كما يمكن أن تصل كفاءة تحويل مخلفات التقطير الفراغي والبيتومين حتى 70%. ويمكن أن تصل نسبة إنتاج المقطرات من العملية لغاية 80% من إجمالي اللقيم على أساس الفحم الجاف والخالي من الرماد.

4-1: عمليات معالجة وتنقية الغاز الاصطناعي

يحتوي الغاز الاصطناعي المنتج من عملية تحويل الفحم على العديد من الغازات غير المرغوبة التي يمكن أن تخفض من قيمته الحرارية، علاوة على الشوائب الأخرى كالجسيمات الدقيقة Particulates التي يمكن أن تؤدي إلى حدوث أضرار جسيمة في وحدات استغلال الغاز الاصطناعي. وتتوقف نسبة الشوائب والغازات غير المرغوبة على عوامل عديدة كخصائص اللقيم أو ظروف تشغيل عملية التغويز. فعلى سبيل المثال، تزداد نسبة غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S، الذي يعتبر من أكثر المركبات غير المرغوبة في الغاز الاصطناعي، بارتفاع نسبة الكبريت في الفحم اللقيم. وفيما يلي شرح مبسط لأهم عمليات المعالجة.

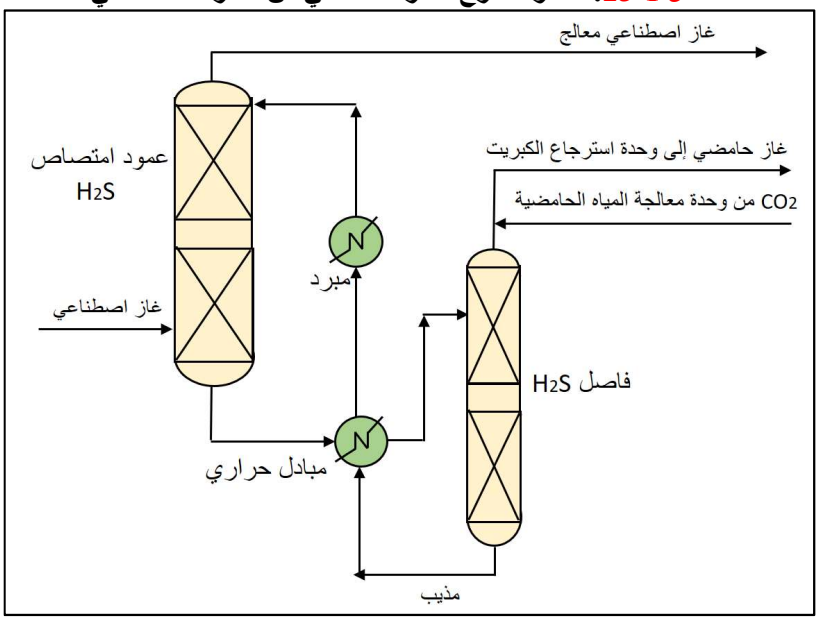
1-4-1: منظومة فصل الغاز الحامضي

تستخدم عملية فصل الغاز الحامضي على نطاق واسع في صناعة تكرير النفط ومعالجة الغاز الطبيعي منذ عقود طويلة. وفي مجمع تحويل الفحم إلى سوائل تطبق عملية فصل غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S من الغاز الاصطناعي المنتج. أما كبريتيد الكربونيل COS فلا يمكن فصله إلا بعد تحويله إلى كبريتيد الهيدروجين بعملية التحلل المائي Hydrolysis، حيث يتفاعل كبريتيد الكربونيل مع الماء بوجود عامل حفاز ليتحول إلى غاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2 وكبريتيد الهيدروجين H_2S. يدخل الغاز الاصطناعي البارد بعد ذلك إلى عمود امتصاص يحتوي على محلول أميني Amine solution لامتصاص معظم كمية كبريتيد الهيدروجين وجزء من غاز ثاني أوكسيد الكربون.

بعض العمليات تستخدم مذيب فيزيائي مثل سيليكسول Selexol (ثنائي ميثيل إيثير، أو بولي إيثيلين غليكول)، أو ريكتيسول Rectisol، بدلاً من محلول الأمين، وتتميز المذيبات الفيزيائية بعدم قابليتها للتفاعل مع الغاز، وبالتالي لا تتشكل الأملاح الثابتة حرارياً والتي يمكن أن تسبب حدوث مشكلات في منظومة المعالجة (Denton, D., 2005)

يسحب محلول الأمين الغني (أو المذيب الفيزيائي) من أسفل عمود الامتصاص إلى عمود نزع Stripper، لنزع الغازات الحامضية الممتصة، ثم إعادة استخدام المحلول مرة أخرى. أما الغاز الحامضي المنزوع من المحلول فيسحب إلى وحدة استرجاع الكبريت SRU[1]. يبين الشكل 1-23 منظومة نزع الغاز الحامضي من الغاز الاصطناعي.

الشكل 1-23: منظومة نزع الغاز الحامضي من الغاز الاصطناعي



المصدر: Hurd, D., Park, S., & Kan, J. 2014

[1] Sulfur Recovery Unit

1-4-2: وحدة تحويل أول أوكسيد الكربون

يحتوي الغاز الاصطناعي على نسبة عالية من غاز أول أوكسيد الكربون CO الذي يؤدي عند احتراقه إلى تشكيل غاز ثاني أوكسيد الكربون CO2 حسب التفاعل التالي:

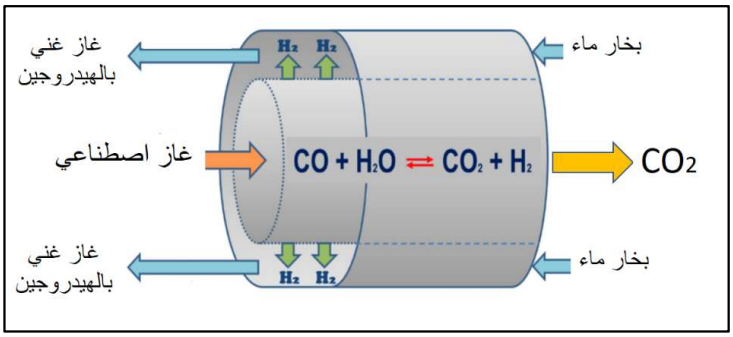
$$CO + O_2 \rightarrow CO_2$$

ولخفض نسبة غاز أول أوكسيد الكربون يمرر الغاز الاصطناعي على وحدة تحويل الغاز بالماء[1] حيث يتفاعل غاز أول أوكسيد الكربون مع الماء ليشكل الهيدروجين وغاز ثاني أوكسيد الكربون، في مفاعل يحتوي على عامل حفاز مصنوع من الحديد والكروم، ويعمل في درجات حرارة وضغط عاليين، حسب التفاعل التالي:

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$$

تكمن أهمية هذه العملية في توفير فرصة فصل غاز ثاني أوكسيد الكربون قبل انطلاقه إلى الغلاف الجوي نتيجة الحرق، كما تساهم في تحسين القيمة الحرارية للغاز الاصطناعي المنتج، من خلال رفع تركيز غاز الهيدروجين. يبين الشكل 1-24 مفاعل وحدة تحويل غاز أول أوكسيد الكربون بالماء. (Killmeyer, R., et al., 2003)

الشكل 1-24: مفاعل وحدة تحويل غاز أول أوكسيد الكربون بالماء



المصدر: Radcliffe, A., et al., 2016

[1] Water Gas Shift Reactor

1-4-3: وحدة استرجاع الكبريت

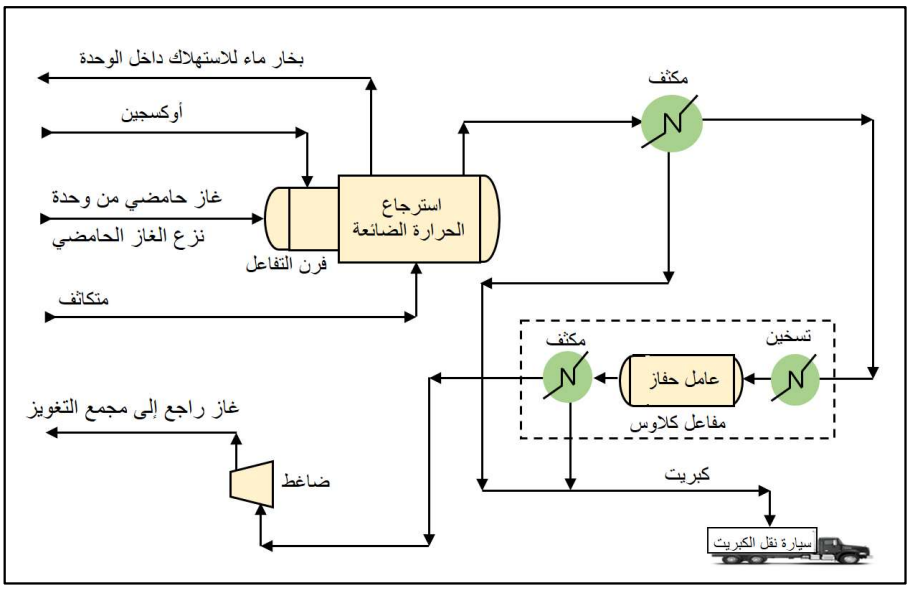
يتم في هذه العملية تحويل الكبريت الموجود في الغاز الحامضي على شكل غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S إلى كبريت سائل Liquid sulfur وماء. ويطلق على هذه العملية اسم تفاعل كلاوس Claus، نسبة إلى العالم الذي اخترعها في أواخر القرن التاسع عشر. يبين الشكل 1-25 مخطط سير عملية استرجاع الكبريت.

يعتمد مبدأ عملية كلاوس على حرق ثلث كمية غاز H_2S لتحويله إلى غاز ثاني أوكسيد الكبريت SO_2 الذي يتفاعل مع الجزء المتبقي من H_2S بوجود عامل حفاز مصنوع من الكوبالت والموليبديوم المحمول على سرير ثابت من الألومينا الفعالة، لينتج الكبريت الحر حسب التفاعلين الكيميائيين التاليين:

$$2\,H_2S + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,SO_2 + 2\,H_2O \quad \text{(احتراق)}$$

$$2\,H_2S + SO_2 \longrightarrow 3\,S + 2\,H_2O \quad \text{(تحويل)}$$

الشكل 1-25: سير عملية استرجاع الكبريت

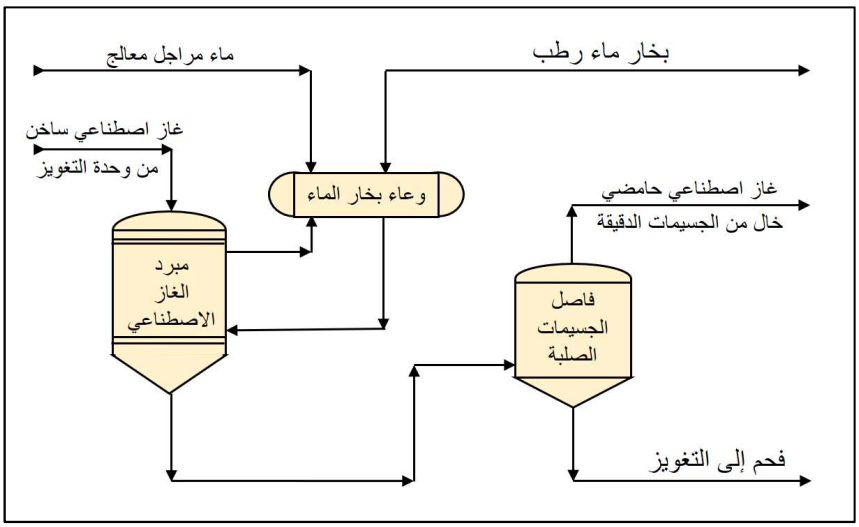


المصدر: Orhan, O., et al., 2014

1-4-4: وحدة نزع الجسيمات الدقيقة

يحتوي الغاز الاصطناعي الخارج من مفاعل التغويز على جسيمات دقيقة من الرماد والفحم، وهناك طريقتان لفصل الجسيمات الصلبة من الغاز الاصطناعي، الأولى طريقة المرشحات الساخنة الجافة[1] تركب قبل دخول الغاز الاصطناعي إلى منظومة التبريد. والثانية هي طريقة الكاشطات المائية [2]، وهي الأكثر شيوعاً، تركب على خط الغاز الاصطناعي الخارج من منظومة التبريد. وتتميز الطريقة الثانية بإمكانية فصل الكلوريدات الموجودة في الغاز الاصطناعي بواسطة الماء، والتي يمكن أن تسبب حدوث مشكلات تآكل في أوعية ومعدات عمليات استغلال الغاز الاصطناعي اللاحقة. أما الجسيمات الدقيقة المنزوعة من الغاز الاصطناعي في منظومة الكاشطات المائية فيتم تدويرها إلى مفاعل التغويز. يبين الشكل 1-26 منظومة نزع الجسيمات الدقيقة من الغاز الاصطناعي.

الشكل1-26: منظومة نزع الجسيمات الدقيقة من الغاز الاصطناعي



المصدر: Amick, P., 2006

---

[1] Dry hot filters

[2] Water scrubbers

1-5: العمليات المساندة لمجمعات تحويل الفحم

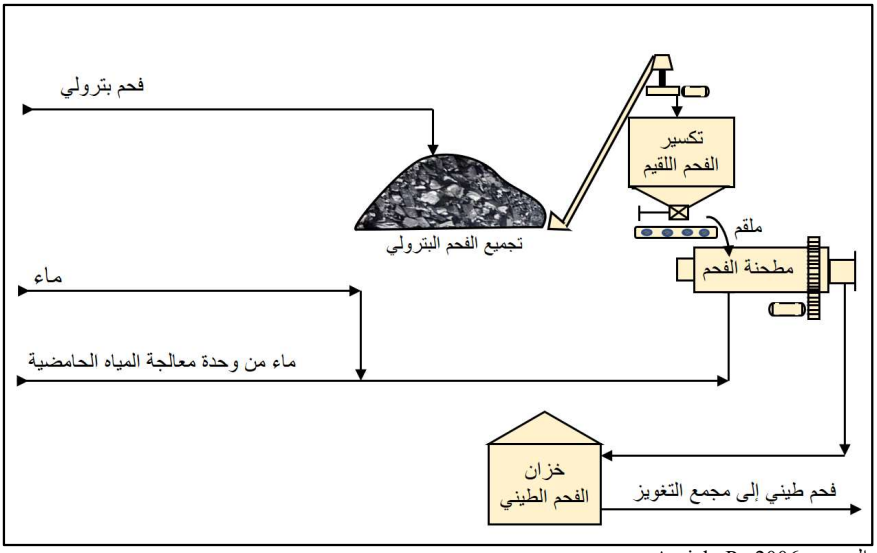
تتكون العمليات المساندة من عدد من الوحدات التي توفر الخدمات اللازمة لإتمام عملية تحويل الفحم والزيوت الثقيلة إلى منتجات عالية القيمة. بعض هذه الوحدات خاصة بمجمع تحويل الفحم إلى سوائل، مثل منظومة تحضير اللقيم، ومنظومة فصل الخبث والسخام، وبعضها الآخر مشترك بين مجمع التغويز وعمليات التكرير في المصفاة كوحدة فصل الهواء، ووحدة معالجة المياه الملوثة.

1-5-1: منظومة تحضير اللقيم

تختلف طبيعة عمليات تحضير لقائم مجمع التغويز في مصافي النفط حسب نوع اللقيم المستخدم، فعندما يكون اللقيم سائلاً تكون عمليات التحضير بسيطة بالنسبة للمصفاة، أما إذا كان اللقيم صلباً كالفحم البترولي فتكون عمليات التحضير أكثر تعقيداً.

تتكون عمليات تحضير اللقيم الرطبة من طحن اللقيم، ثم مزج المسحوق مع الماء لتشكيل مزيج يحتوي على نسبة مياه تتراوح بين 60-65%، وذلك لضخه إلى مفاعل التغويز عندما يكون المفاعل من النوع الذي يستقبل اللقيم على شكل مزيج طيني، مثل مفاعل تكساكو. أما إذا كان المفاعل من النوع الذي يستقبل اللقيم جافاً مثل مفاعل شركة شل SHELL، عندئذ تبدأ عملية تحضير اللقيم بطحن الفحم، ثم نقله إلى خزان توزيع لضخه إلى مفاعل التغويز بواسطة غاز ناقل مثل النيتروجين N_2، أو غاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2. وقد يستخدم الزيت كمادة حاملة لذرات الفحم المسحوق في الفحم الطيني بدلاً من الماء. يبين الشكل 1-27 منظومة تحضير الفحم اللقيم في مجمع التغويز.

الشكل 1-27: منظومة تحضير الفحم اللقيم في مجمع التغويز



المصدر: Amick, P., 2006

1-5-2: وحدة فصل الهواء

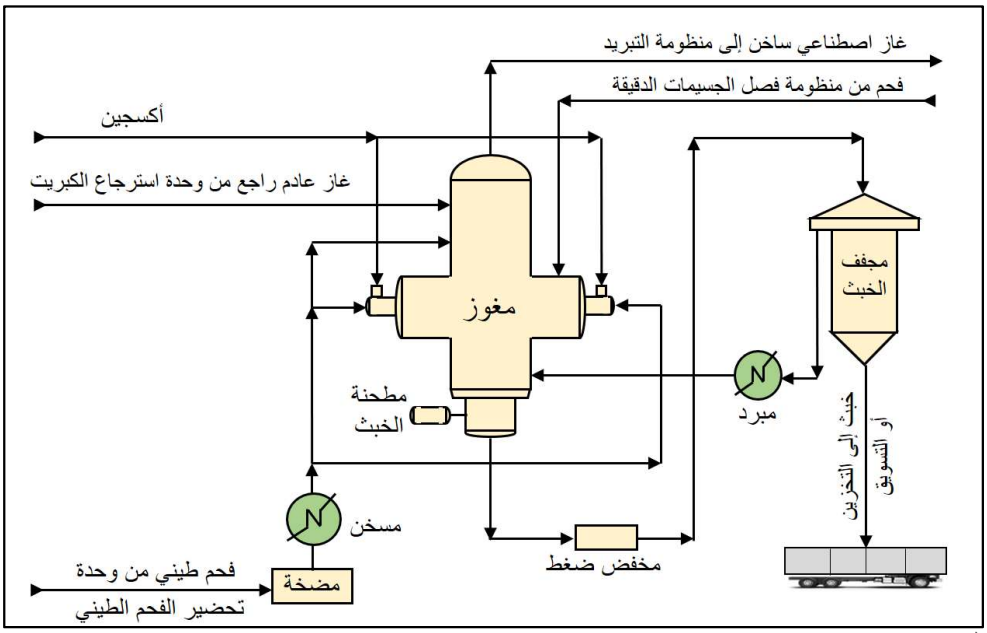
يحصل مجمع التغويز على الأوكسجين اللازم من وحدة فصل الهواء بطريقة التبريد، حيث يتحول الهواء الجوي المضغوط إلى سائل، ثم يفصل إلى أوكسجين ونيتروجين. تعتمد نقاوة الأوكسجين المنتج من وحدة فصل الهواء على كفاءة عملية تجزئة الهواء السائل، والتي يشترط أن تكون نقاوته أعلى من 95% حتى يصبح صالحاً للاستخدام في مجمع التغويز. (Marano, J. 2003)

يسحب الأوكسجين المنتج من وحدة الهواء إلى مجمع التغويز لرفع ضغطه إلى القيمة المناسبة لضغط المغوز. أما النيتروجين المنتج من وحدة فصل الهواء فيستخدم لأغراض عديدة في المصفاة، كتنظيف الأوعية من الغازات القابلة للاشتعال قبل إجراء عمليات الصيانة واللحام باللهب المفتوح، أو الحقن في الأوعية الفارغة لمنع دخول الأوكسجين الجوي بهدف حمايتها من التآكل.

1-5-3: منظومة فصل الخبث/ السخام

عندما يتعرض الفحم لدرجات الحرارة المرتفعة في عملية التغويز ينصـــهر الرماد مشـكلاً الخبث المنصـهر الذي يجب إزالته من المغوز. وتختلف طريقة فصـل الخبث تبعاً لنوع عملية التغويز. فعلى ســبيل المثال، في مغوز تكســاكو يتجمع الخبث على الجدران الداخلية للمغوز، ثم يتدفق باتجاه الأســفل إلى غرفة منفصــلة ليتم تبريده باســتخدام الماء الراجع ويتصــلب ، ثم يزال بشــكل دوري من الغرفة لينقل إلى خارج المصــفاة للتخلص منه. وقد يستفاد من الخبث باستخدامه كمادة بناء. يبين الشكل 1-28 مخطط منظومة نزع الخبث من مغوز تكساكو.

الشكل 1-28: منظومة فصل الخبث في مغوز تكساكو



المصدر: Amick, P., 2006

تعتمد كمية الخبث المتكون على نوع اللقيم الداخل إلى المغوز، فالزيوت الثقيلة لا تحتوي على رمـاد، وقد يحتوي الفحم البترولي على كميـة قليلـة غير كـافيـة من الرمـاد فيصبح تجمعه غير ممكن على الجدران الداخلية للمغوز، عندئذ تستخدم بعض الإضافات

لزيادة كمية الرماد وتعزيز قدرته على التجمع، وبالتالي تسهيل عملية فصله وجريانه إلى غرفة نزع الخبث. (Marano, J. 2003)

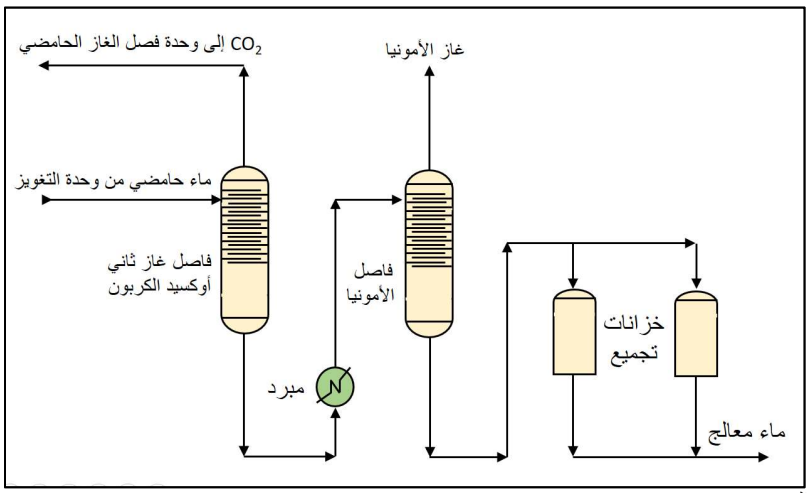
كما يحتوي الخبث على ذرات كربون غير محوله Unconverted Carbons إضافة إلى الرماد المنصهر من اللقيم الصلب، وآثار من المعادن المنصهرة التي توجد عادة في الزيوت الثقيلة مثل الفناديوم والنيكل.

يمكن استرجاع المعادن من الخبث بطرق عديدة منها طريقة الاستخلاص بالنافثا، حيث تفصل المعادن من الخبث بينما يعاد الكربون إلى المغوز.

1-5-4: معالجة المياه الحامضية

ينتج عن مجمع التغويز مياه حامضية تحتاج إلى معالجة لتصبح قابلة لإعادة الاستخدام. تتكون عملية المعالجة من مرحلتين أساسيتين، يجري في الأولى نزع غاز ثاني أوكسيد الكربون، بينما يتم في المرحلة الثانية نزع الأمونيا. يبين الشكل 1-29 معالجة المياه الحامضية في مجمع تحويل الفحم إلى سوائل.

الشكل 1-29: معالجة المياه الحامضية في مجمع تحويل الفحم إلى سوائل



المصدر: Amick, P., 2006

1-6: العوامل المؤثرة في كفاءة عملية تحويل الفحم إلى سوائل

تعتمد كفاءة عملية تحويل الفحم إلى سوائل على عدة عوامل، أهمها سعر كل من الفحم والنفط الخام في الأسواق العالمية. فعندما تنخفض أسعار النفط الخام تنخفض تكلفة التكرير، وبالتالي تصبح المصادر الأخرى للوقود غير مجدية اقتصاديا. كما يؤثر في ربحية عمليات تحويل الفحم إلى سوائل عوامل تقنية تتعلق بنوع اللقيم، ونوع المنتجات المطلوبة، وحجم المفاعل، ونوع المادة المؤكسدة.

1-6-1: نوع اللقيم

يتأثر مردود عملية تحويل الفحم إلى سوائل بخصائص ونوع اللقيم المستخدم في العملية، حيث أشارت دراسة أجريت في جامعة باهانغ Pahang الماليزية إلى أن مكونات الغاز الاصطناعي المنتج من المغوز تختلف باختلاف نسبة الفحم البترولي في اللقيم المكون من مزيج الفحم والفحم البترولي، باستخدام الهواء كمادة تغويز. فعندما تكون نسبة الفحم البترولي صفر يلاحظ أن نسبة الهيدروجين في الغاز الاصطناعي تصل إلى 38.35% مول، بينما تنخفض النسبة إلى 4.26% مول عندما تكون نسبة الفحم البترولي في مزيج اللقيم 100% مول. يبين الجدول 1- 5 تغير مكونات الغاز الاصطناعي عند نسب مختلفة من مزيج لقيم عملية التغويز.

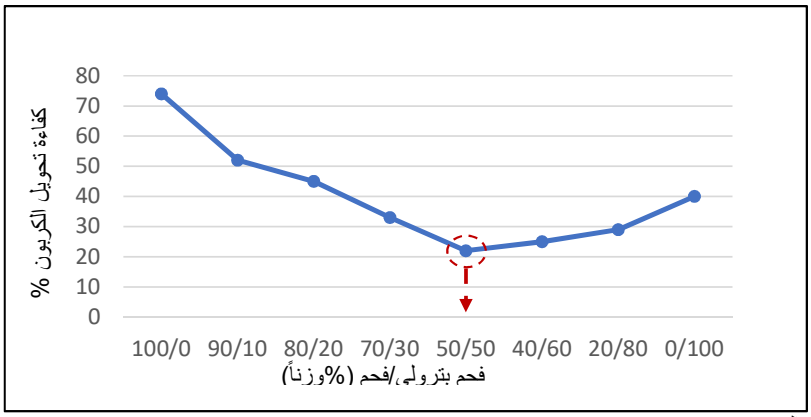
الجدول 1-5: تغير مكونات الغاز الاصطناعي عند نسب مختلفة من مزيج لقيم عملية التغويز

مكونات الغاز الاصطناعي % مول	نسبة المزيج (فحم: فحم بترولي)					
	(0 :100)	(10 :90)	(40 :60)	(50 :50)	(70 :30)	(100 :0)
H_2	38.35	37.7	21.89	5.74	2.28	4.26
CO	4.92	4.28	2.2	0.22	1.27	0.61
O_2	0.29	0.44	7.88	15.78	8.64	6.57
CO_2	6.92	6.53	4.57	2.82	7.09	8.43
CH_4	0.84	1.14	1.16	0.1	0.41	0.67
C_2H_4	0.14	0.17	0.13	0	0.11	0.02
C_2H_6	0.01	0.01	0.02	0	0.01	0
C_2H_2	0.01	0	0.01	0	0.01	0

المصدر: Muda, N., & Boosraha, M., 2013

من جهة أخرى، أشـــارت الدراســـة إلى أن كفاءة تحويل الكربون تنخفض كلما ارتفعت نســبة الفحم البترولي في اللقيم إلى أن تصــل حتى 50% وزناً، ثم تعود للارتفاع كلما زادت نسبة الفحم البترولي. يبين الشكل 1-30 تغير كفاءة تحويل الكربون بتغير نسبة الفحم البترولي في اللقيم.

الشكل 1-30: تغير كفاءة تحويل الكربون بتغير نسبة الفحم البترولي في اللقيم



المصدر: Muda, N., & Boosraha, M., 2013

1-6-2: حجم حبيبات الفحم اللقيم

قام العالمان تايلور وسـميث بدراســة تأثير حجم حبيبات الفحم البترولي على كفاءة التفاعل في عدة أنواع من مفاعلات التغويز، وأظهرت النتائج أن لحجم الحبيبات تأثير مهم على كفاءة التفاعل، وخصـوصـاً في المفاعلات التي تسـتخدم عوامل حفازة، حيث أن حجم الحبيبات يؤثر على مســـاحة ســـطح التماس بين الفحم وحبيبات العامل الحفاز. (Murthy, B., et al, 2014)

1-6-3: نوع المنتجات المطلوبة من مجمع التغويز

تختلف كفاءة عملية التغويز تبعاً لنوع المنتجات المطلوب إنتاجها من العملية. فإذا كان الهدف من المشـــروع هو إنتاج الهيدروجين، أو الأمونيا، أو الميثانول، أو ســـوائل عملية فيشر تروبش، فيفضل في هذه الحالة أن تحتوي مكونات الغاز الاصطناعي المنتج

من عملية التغويز على أعلى نسبة ممكنة من أول أوكسيد الكربون والهيدروجين. ويعتبر وجود الميثان في هذه الحالة مادة غير مرغوبة، ويؤثر سلباً على اقتصادية المشروع. أما إذا كان هدف المشروع هو الحصول على غاز لتشغيل وحدة دورة التغويز المتكامل المدمجة IGCC لتوليد الطاقة الكهربائية بدون منظومة التقاط غاز ثاني أوكسيد الكربون فوجود الميثان في هذه الحالة يعزز كفاءة المشروع، ويخفض معدل استهلاك الأوكسجين. ولكن عندما يكون الهدف هو إنتاج الطاقة الكهربائية والحصول على أكبر كمية ممكنة من CO_2 لاستخدامه في عمليات الاستخلاص البترولي المعزز EOR فوجود الميثان في الغاز الاصطناعي في هذه الحالة يخفض من كفاءة منظومة التقاط غاز CO_2.

1-6-4: ظروف تشغيل عملية التغويز

تتغير مكونات الغاز الاصطناعي المنتج من مجمع التغويز بتغير ظروف التشغيل، فعلى سبيل المثال، تعتمد نسبة الميثان في الغاز الاصطناعي على قيمة الضغط في المغوز، حيث ترتفع النسبة كلما ارتفعت قيمة الضغط. بينما لدرجة الحرارة تأثير معاكس، حيث يتعزز إنتاج الميثان مع انخفاض درجة حرارة التفاعل. يبين الشكل 1-31 تأثير رفع الضغط في المغوز على نسبة الميثان في الغاز الاصطناعي.

الشكل 1-31: تأثير رفع الضغط في المغوز على نسبة الميثان في الغاز الاصطناعي

المصدر: EPRI, 2010

كما تؤثر ظروف التشغيل على نسبة الكبريت في الغاز الاصطناعي المنتج، فعند خفض درجة الحرارة في مفاعل التغويز يتحول الكبريت الموجود في الفحم إلى غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S، كما يتحول حوالي 3-10% من الكبريت إلى كبريتيد الكربونيل [1] COS. في هذه الحالة يجب إضافة مفاعل لتحويل كبريتيد الكربونيل إلى كبريتيد الهيدروجين قبل إدخاله إلى وحدة معالجة الغاز الحامضي التقليدية التي يتم فيها نزع كبريتيد الهيدروجين من الغاز الاصطناعي.

ويؤثر رفع شدة ظروف تشغيل عملية التغويز في تحويل الروابط النيتروجينية الموجودة في الوقود إلى نيتروجين غازي وأمونيا NH_3، وهذا يؤدي إلى تعزيز تفاعلات تكسير الأمونيا إلى هيدروجين ونيتروجين. (EPRI, 2010)

1-6-5: حجم المغوز

لحجم المفاعل دور مهم في كفاءة عملية التغويز، فبالإضافة إلى دوره في تحسين ربحية العملية من خلال الاستفادة من اقتصاد الحجم، يساهم الحجم الكبير في الحصول على كفاءة أعلى وتوفير القدر الكافي من الغاز اللازم لاستقرار عمل العنفات الغازية في وحدات توليد الطاقة بدورة التغويز المتكامل المدمجة IGCC. (EPRI, 2010)

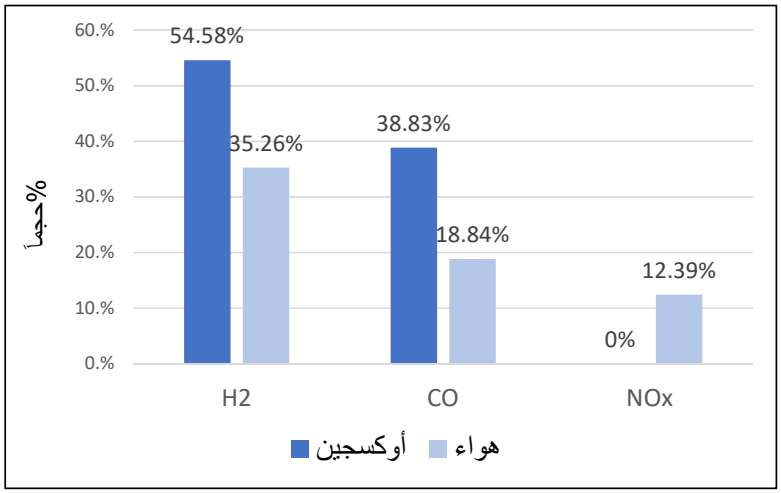
1-6-6: نوع المادة المؤكسدة

يساهم استخدام الأوكسجين بدلاً من الهواء في تعزيز كفاءة تحويل الكربون من خلال رفع نسبة الهيدروجين وأول أوكسيد الكربون، وخفض أكاسيد النيتروجين في الغاز الاصطناعي المنتج. يبين الشكل 1-32 تأثير نوع المادة المؤكسدة في مكونات الغاز الاصطناعي. (Aghahosseini, S., Dincer, I., Naterer, G., 2011)

---

[1] Carbonyl Sulfide

الشكل 1-32: تأثير نوع المادة المؤكسدة في مكونات الغاز الاصطناعي



المصدر: Aghahosseini, S., Dincer, I., Naterer, G., 2011

1-6-7: نوع العامل الحفاز في عملية فيشر تروبش

تختلف مكونات وخصائص منتجات عملية التغويز باختلاف نوع العامل الحفاز المستخدم. فعلى سبيل المثال يستخدم في عملية فيشر تروبش ثلاث أنواع من العوامل الحفازة. وعندما يستخدم عامل حفاز من الكوبالت بدرجة حرارة منخفضة CLTFT[1]، تشكل الألكينات النسبة العظمى في مكونات الغاز الاصطناعي المنتج، في حين ترتفع نسبة الأوليفينات والأوكسجينات عند استخدام الحديد في درجات الحرارة المنخفضة ILTFT[2]، أما عند استخدام الحديد في درجات الحرارة المرتفعة IHTFT[3] فتزداد نسبة العطريات في المنتج (Gibson, P., 2007). يبين الشكل 1-33 تأثير نوع العامل الحفاز في نسب مكونات منتج عملية فيشر تروبش.

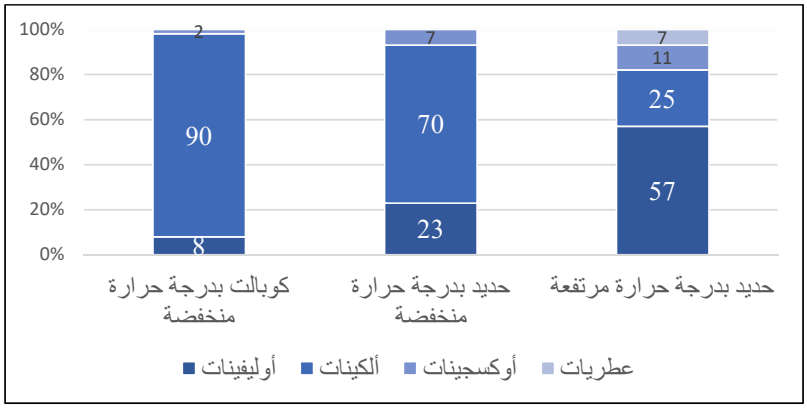
---

[1] Cobalt Low Temperature Fisher-Tropsch

[2] Iron Low Temperature Fisher-Tropsch

[3] Iron High Temperature Fisher-Tropsch

الشكل 1-33: تأثير نوع العامل الحفاز في تغيير مكونات منتج عملية فيشر تروبش



المصدر: Gibson, P., 2007

1-6-8: الطاقة الإنتاجية لمجمع التغويز

يرتفع المردود الاقتصادي لمجمع التغويز كلما كانت الطاقة الإنتاجية مرتفعة، حيث تنخفض التكاليف الاستثمارية وتكاليف التشغيل، وذلك من خلال الاستفادة من مبدأ اقتصاد الحجم. (IEA, 2009)

1-6-9: موقع المشروع

يكتسب موقع مشروع تغويز الفحم أهمية كبيرة من حيث دوره في توفير أجور نقل اللقائم عندما يكون قريب من موقع حقول الإنتاج، أو تكلفة نقل المنتجات عندما يكون قريباً من الأماكن التي يرتفع فيها الطلب على المنتجات، أو من موانئ التصـــدير إلى الأسواق الخارجية.

1-7: فوائد عملية تحويل الفحم إلى سوائل

على الرغم من توفر الفحم بكميات كبيرة في العديد من مناطق العالم إلا أن دوره في مزيج الطاقة قد تراجع مقارنة بمصـــادر الطاقة الأخرى كالنفط والغاز الطبيعي، وذلك نظراً لصـــعوبة نقله ومناولته، ومحدودية اســتخدامه، علاوة على ارتفاع تكلفة إجراءات تلبية متطلبات التشريعات البيئية التي تضبط كمية الانبعاثات الناتجة عن استخدامه كوقود.

وتعتبر تقنية تحويل الفحم إلى سوائل أحد الطرق التي تساعد على تخفيف انعكاسات صعوبة نقل الفحم من منطقة لأخرى، إضافة إلى تأمين فرصة إنتاج سوائل هيدروكربونية يمكن الاعتماد عليها في حال حدوث نقص في إمدادات مصادر الوقود الأخرى.

تشير العديد من الدراسات الاستشرافية إلى توقع ازدهار صناعة تحويل الفحم إلى سوائل في العقدين القادمين في معظم مناطق العالم، وستتركز الزيادة في الدول التي تمتلك احتياطيات مهمة من الفحم، مدفوعة بعوامل عديدة منها ما يعتمد على تلبية متطلبات التشريعات الخاصة بالحد من طرح الملوثات إلى البيئة، ومنها ما يتعلق بالتوجه نحو الاعتماد على الموارد الذاتية في تأمين الطلب المحلي المتنامي على الطاقة.

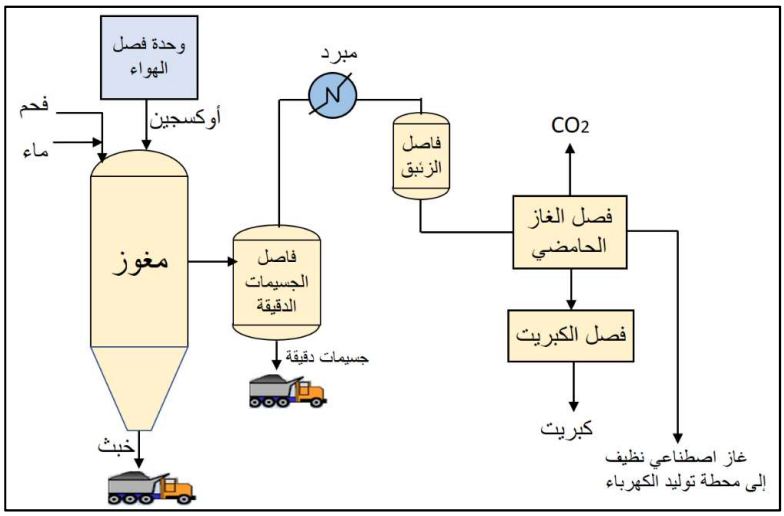
1-7-1: تلبية متطلبات التشريعات البيئية

أدى صدور التشريعات البيئية الخاصة بالحد من طرح الملوثات الناتجة عن حرق الوقود الثقيل الحاوي على نسبة عالية من الكبريت والشوائب الملوثة للبيئة، إلى تراجع نسبة استهلاك الفحم كوقود في محطات توليد الطاقة الكهربائية بشكل ملحوظ في العديد من مناطق العالم، وخصوصاً في أوروبا الغربية. وعلى الرغم من إعلان كل من ألمانيا وبولندا عن إنشاء محطتين تعملان على الفحم الحجري بطاقة إجمالية تصل إلى 5 جيجا وات، إلا أن أكثر من ثلثي محطات توليد الطاقة العاملة في أوروبا يعود تاريخ إنشاؤها إلى أكثر من ثلاثين عاماً، وسيتم إغلاقها قريباً. أما في أوروبا الشرقية فلا تزال كل من بلغاريا وجمهورية التشيك واليونان تعتمد على الفحم كوقود بنسبة 40% من إجمالي محطات توليد الطاقة الكهربائية، على الرغم من عدم وجود خطط لإنشاء محطات جديدة.

(The Economist, 2017)

من جهة أخرى، تساهم عملية تغويز الفحم في خفض الانبعاثات الملوثة للبيئة، وذلك من خلال توفير فرصة فصل الملوثات من الغاز الاصطناعي المنتج من عملية التغويز قبل استخدامه كوقود. يبين الشكل 1-34 فرص معالجة الملوثات البيئية من الغاز الاصطناعي.

الشكل 1-34: فرص معالجة الملوثات البيئية من الغاز الاصطناعي



المصدر: Denton, D., 2005

1-7-2: تعزيز الاستفادة من الموارد المحلية للطاقة

في ضوء سعي دول العالم إلى تعزيز الاستفادة من مواردها المحلية لتلبية الطلب المتنامي على الطاقة وتقليص اعتمادها على الاستيراد من الأسواق الخارجية، يعتبر الفحم أحد المصادر الهامة للطاقة بالنسبة للدول التي تمتلك احتياطيات كبيرة. فعلى سبيل المثال، أطلقت دول الاتحاد الأوروبي مبادرة الفحم النظيف التي تسعى من وراء تطبيقها إلى تحقيق تقدم ملموس في استغلال مواردها الذاتية، وفي نفس الوقت خفض اعتمادها على استيراد النفط الغاز من الخارج، علاوة على تلبية متطلبات الاتفاقيات الدولية للحد من الانبعاثات الملوثة للبيئة، وذلك من خلال تطبيق تقنية التقاط وخزن غاز الكربون لاستخدامه في عمليات الاستخلاص البترولي المعزز في حقول بحر الشمال CCS. تتكون المبادرة من مرحلتين أساسيتين: (Bezdek, R., 2015)

- **المرحلة الأولى**، وهي المرحلة التي يمكن تنفيذها على المدى القريب، وتتضمن إعادة تشغيل محطات توليد الطاقة الكهربائية التي كانت تعمل على حرق الفحم كوقود، والتي أوقفت بسبب ارتفاع معدل انبعاثات الكربون عن القيم المسموحة،

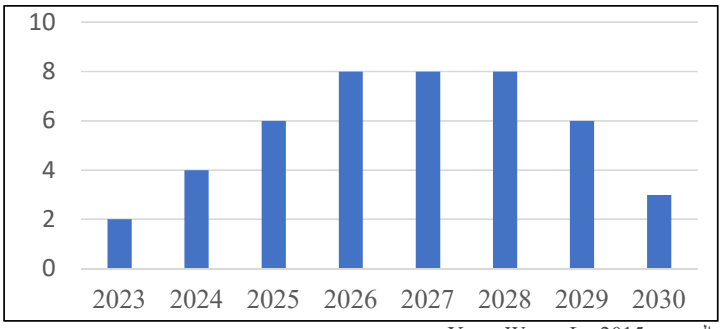
ويبلغ إجمالي طاقتها حوالي 21 جيجا وات/الساعة، وذلك بعد تزويدها بمعدات التحكم بانبعاثات الكربون والكبريت. وسيوفر تشغيلها حوالي 2-3 مليار قدم مكعب من الغاز المستورد من روسيا. يبين الجدول 1-6 توزع طاقة وحدات توليد الطاقة الكهربائية المتوقفة التي تعمل على حرق الفحم كوقود في دول أوروبا الغربية.

الجدول 1-6: توزع طاقة وحدات توليد الطاقة الكهربائية بالفحم المتوقفة في دول أوروبا الغربية

الدولة	الوحدات المتوقفة (ميغاوات)	النسبة من الإجمالي %
فرنسا	1155	5
ألمانيا	7977	37
إيطاليا	383	2
هولندا	2658	12
اسبانيا	345	2
المملكة المتحدة	8856	41
الإجمالي	21374	100

- **المرحلة الثانية**، وهي المرحلة التي ستنفذ على المدى البعيد، وتتضمن إنشاء وحدات تحويل الفحم إلى غاز لإنتاج غاز طبيعي اصطناعي لاستخدامه كبديل للغاز الطبيعي المستورد، ومن المتوقع أن تبدأ الإنتاج في عام 2023، ثم تدخل تباعاً لغاية 2030. يبين الشكل 1-35 عدد وحدات تحويل الفحم إلى غاز اصطناعي المتوقع تشغيلها في أوروبا الغربية خلال الفترة 2023-2030.

الشكل 1-35: عدد وحدات تحويل الفحم إلى غاز اصطناعي المتوقع تشغيلها في أوروبا الغربية خلال الفترة 2023-2030



المصدر: Yong-Wang, L., 2015

كما تســـاهم عملية تحويل الفحم في الحصـــول على أنواع متعددة من الســـوائل الهيدروكربونية التي يمكن اســـتخدامها كوقود، وخصـــوصـــاً عند دمجها مع تقنية دورة التغويز المتكاملة المدمجة IGCC لتوليد الطاقة الكهربائية وإنتاج ســـوائل هيدروكربونية أو كيماويات في عملية واحدة. أحد أهم المشاريع التي توضح دور عملية تحويل الفحم إلى سوائل في تنويع مصادر الطاقة هو مشروع ساسول لتحويل الفحم إلى سوائل في جنوب أفريقيا، حيث كان الهدف الأساسي من إنشائه هو الاستفادة من الكميات الكبيرة من الفحم المتوفر في جنوب أفريقيا لتلبية الطلب المحلي على وقود وســـائل النقل، كبديل عن النفط الخام الذي كان اســـتيراده محظوراً على جنوب أفريقيا في خمســـينيات القرن الماضـــي. (Hook, M. & Aleklett, K., 2009)

بدأ مشروع ساسول في عام 1955 بإنشاء وحدة لإنتاج 6000 ب/ي من الغازولين في مدينة ســـاســـولبيرغ Sasolburg . وفي عامي 1981 و 1982 تم تشـــغيل الوحدتين الأخريين Sasol-II وSasol-III في مدينة ســـيكوندا Secunda ، طاقة كل منهما 40 ألف ب/ي من السوائل الهيدروكربونية باستخدام نفس التقنية، مع إدخال بعض التطورات على جودة العامل الحفاز المستخدم. يبين الجدول 1-7 موقع وطاقة وتكلفة إنشاء، وحدات تحويل الفحم إلى ســـوائل ســـاســـول. كما يبين الجدول 1-8 توزع كمية منتجات وحدة Sasol-II (Lee, S., Spight, J., & Loyalka, S. 2015)

الجدول 1-7: موقع وطاقة وتكلفة إنشاء وحدات ساسول لتسييل الفحم

الوحدة	الموقع	تاريخ بدء الإنتاج	الفحم اللقيم طن/اليوم	السوائل برميل/اليوم	تكاليف الإنشاء مليار دولار
ساسول-I	ساسولبرغ/ جنوب أفريقيا	1955	6600	6000	-
ساسول-II	سيكوندا/جنوب أفريقيا	1981	30000	40000	2.9
ساسول-III	سيكوندا/جنوب أفريقيا	1982	30000	4000000	3.8

المصدر: Lee, S., Speight, J., & Loyalka, S. 2015

الجدول 1-8: توزع كمية منتجات وحدة ساسول-II

المنتج	طن/السنة
وقود محركات	1650000
إثيلين	204000
كيماويات	94000
منتجات قار	204000
أمونيا	110000
كبريت	99000
إجمالي	2361000

المصدر: Perineau, S., 2013

حقق مشروع ساسول نجاحاً ملحوظاً جعله نموذجاً مثالياً ومتميزاً، وذلك للأسباب التالية:(Gibson, P., 2007)

- توفر احتياطي كبير من الفحم الحجري والغاز الطبيعي، يزيد عن مليار طن.
- توفر كميات كافية من الموارد المائية في موقع المشروع.
- انخفاض تكاليف الإنشاء.
- وجود بنية تحتية جيدة كالطرقات البرية، وخطوط السكك الحديدة، إلخ....
- الدعم الحكومي لمشاريع الصناعة وبشكل خاص مشاريع الطاقة.
- وجود قوانين مشجعة للاستثمار ودافعة للمستثمرين.

1-7-3: مرونة استخدام لقائم متنوعة

من أهم الخصائص التي تميز صناعة تحويل الفحم إلى سوائل مرونة استخدام أنواع عديدة من اللقائم. فبالإضافة إلى الفحم الحجري يمكن استخدام الفحم البترولي والمخلفات الثقيلة المنتجة من مصافي النفط، والكتلة الحيوية.

1-7-4: مرونة تغيير أنواع المنتجات

تتميز تقنية تحويل الفحم بمرونة إنتاج طيف واسع من المنتجات من خلال تحويل الغاز الاصطناعي المنتج إلى كيماويات، أو وقود سائل أو وقود غازي طبيعي اصطناعي نظيف يستخدم كوقود في محطا ت توليد الطاقة الكهربائية.

1-7-5: فوائد غير مباشرة

لتطبيق تقنية تحويل الفحم إلى سوائل فوائد أخرى غير مباشرة، حيث أنها تساهم في تعزيز الاقتصاد من خلال استغلال الموارد الطبيعية، وتلبية حاجة السوق المحلية من مصادر الطاقة، إضافة إلى توفير فرص عمل جديدة لتشغيل وصيانة مجمعات تحويل الفحم.

1-8: تحديات صناعة تحويل الفحم إلى سوائل

على الرغم من التطورات المهمة التي شهدتها صناعة تحويل الفحم إلى سوائل خلال العقود الماضية، وخصوصاً في الدول التي تمتلك احتياطيات كبيرة من الفحم، وتعتمد على الاستيراد في تأمين حاجتها من النفط الخام أو المنتجات النفطية، إلا أنها لا تزال تعاني من تحديات كثيرة منها تقنية، ومنها بيئية، وأخرى اقتصادية.

1-8-1: تحديات تقنية

من المشكلات التقنية التي تواجه عمليات تحويل الفحم إلى سوائل تأثر ظروف تشغيل العملية باختلاف خصائص الفحم اللقيم. حيث أن لكل نوع من أنواع الفحم خصائص مختلفة عن الأنواع الأخرى مما يستدعي الالتزام بنوع واحد من أنواع الفحم بما يتلاءم مع تصميم المفاعل تفادياً لوقوع مشكلات تشغيلية قد تؤدي إلى توقف العملية. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تحدث مشكلة انسداد مخرج الغاز في المفاعل في حال تحطم قطع الفحم إلى حبيبات صغيرة الحجم، مما يؤدي إلى حدوث اضطراب في ظروف عمل المفاعل يمكن ان ينتج عنه توقيف اضطراري للوحدة.

يمكن تفادي انعكاسات المشكلات التقنية من خلال تعديل تصميم معدات الوحدة بما يتوافق مع خصائص ومواصفات اللقيم المستخدم، علاوة على ضرورة تعزيز جهود البحث العلمي لتحسين الأداء التشغيلي للعمليات وتحسين مردودها الاقتصادي.

2-8-1: تحديات بيئية

تواجه صناعة تحويل الفحم إلى سوائل تحديات بيئية ناتجة عن ارتفاع معدل استهلاك المياه في كل من عمليات استخراج الفحم وعمليات التحويل إلى سوائل هيدروكربونية. كما ينتج عن عمليات التحويل انبعاثات ملوثة للبيئة، علاوة على الجسيمات الدقيقة التي تنتج عن مناولة الفحم ونقله من المنجم إلى موقع وحدات التحويل. وفيما يلي أهم التحديات البيئية والحلول الممكنة لمواجهتها.

- **ارتفاع معدل استهلاك المياه**

يعتبر الماء جزءاً حيوياً بالنسبة لعملية تحويل الفحم إلى سوائل، سواء كماء ساخن لتوليد بخار الماء اللازم كلقيم في وحدة إنتاج الهيدروجين، أو لعمليات التبريد. فعلى سبيل المثال يبلغ استهلاك وحدة تحويل فحم إلى سوائل طاقتها الإنتاجية 50 ألف برميل/اليوم في الولايات المتحدة الأمريكية حوالي 40-50 ألف متر مكعب في اليوم. وهذه الكمية لا تتضمن استهلاك الماء اللازم لعملية طحن الفحم ومزجه بالماء قبل إدخاله إلى مفاعل التغويز. كما تستهلك عملية تحويل الفحم إلى سوائل كمية كبيرة من المياه في تبريد ومعالجة الغاز الاصطناعي المنتج، علاوة على كمية المياه المعالجة اللازمة لتوليد بخار الماء اللازم لمفاعل تحويل الفحم إلى غاز اصطناعي. (IEA, 2009)

- **ارتفاع معدل انبعاثات مجمع تحويل الفحم**

يحتاج إنتاج برميل واحد من المنتجات الهيدروكربونية السائلة في عملية تحويل الفحم إلى سوائل إلى حوالي نصف طن من الفحم، وبالتالي فإن إنشاء وحدة ذات طاقة إنتاجية كبيرة سيؤدي إلى زيادة الطلب على الفحم الحجري الذي ينتج عنه أضرار جسيمة للبيئة نظراً لما تطرحه عمليات الاستخراج من كميات كبيرة من المياه الحامضية الضارة بالتربة، والتي يمكن أن تلوث طبقات المياه الجوفية الصالحة للشرب. إضافة إلى أن عمليات استخراج الفحم تتطلب إزالة الغلاف الأخضر للتربة. (NRDC, 2008)

أشـارت نتائج دراسـة نشـرها مجلس حماية الموارد الطبيعية في الولايات المتحدة NRDC[1] في عام 2008 لبحث الأثر البيئي لصـناعة تحويل الفحم إلى سـوائل أن إجمالي انبعاثات غاز ثاني أوكسـيد الكربون الناتجة عن دورة حياة غالون واحد من الغازولين المنتج من مصافي النفط، بدءاً من البئر وحتى الاستهلاك في وسائل النقل، يبلغ 25 رطل، بينما تبلغ كمية انبعاثات الكربون الناتجة عن دورة حياة السوائل المنتجة من عملية تحويل الفحم إلى سـوائل حوالي 50 رطل. أما في حال تركيب معدات التقاط انبعاثات الكربون في وحدات تحويل الفحم فإن كمية الانبعاثات تقترب من كمية انبعاثات الغازولين المنتج من المصافي.

1-8-3: تحديات اقتصادية

شهدت صناعة تحويل الفحم إلى سوائل تغيرات متكررة منذ نشوئها تراوحت بين الازدهار والتراجع، وتركزت معظم أسـباب هذه التغيرات في تقلبات أسـعار النفط والمنتجات النفطية في الأسواق العالمية. فعندما ترتفع أسعار النفط يبدأ البحث عن مصادر بديلة للحصـول على السـوائل الهيدروكربونية، وتصـبح الصـناعات الأخرى كصـناعة تحويل الفحم إلى سـوائل مجدية اقتصـاديا، بينما تصـبح خاسـرة عندما يتراجع سـعر النفط الخام، وتتراجع معه أسعار المنتجات النفطية.

- **ارتفاع تكاليف التشغيل والاستثمار**

لا تقتصـر التحديات الاقتصـادية على تأرجح أسـعار النفط الخام، بل هناك أسـباباً أخرى، كارتفاع تكاليف التشـغيل والاسـتثمار، وهذا يسـتدعي تدخل الحكومات لدعم مثل هذه المشاريع. (IEA, 2009)

أشـارت دراسـة أجرتها جامعة أوبسـالا Uppsala السـويدية في عام 2008 حول الجدوى الاقتصـادية لوحدات تحويل الفحم إلى سـوائل أن سـعر تعادل إنتاج النفط

[1] Natural Resources Defense Council

الاصـطناعي[1] بعملية التسـييل غير المباشـر في الولايات المتحدة الأمريكية مقابل سـعر النفط يتراوح ضـمن المجال 25-40 دولار أمريكي للبرميل، وذلك تبعاً لحجم الإجراءات البيئية المتبعة في الوحدة. كما أشـارت دراسـات سـابقة أن ربحية الوحدة تبدأ عندما يكون سـعر النفط الخام حوالي 35 دولار أمريكا للبرميل. أما في الصـين فبلغ سـعر تعادل إنتاج النفط الاصـطناعي بطريقة التحويل المباشر للفحم عند سعر النفط الخام يقارب 24 دولار أمريكي. إلا أن التطورات الاقتصـادية والتغيرات التي طرأت على أسـعار النفط الخام في السـنوات الأخيرة قد رفعت سـعر التعادل إلى المجال 48-75 دولار أمريكي للبرميل، وبالتالي فقد توصـلت الدراسـات إلى نتيجة تؤكد على ضـرورة تعزيز جهود البحث والتطوير لخفض تكاليف التشـغيل والاسـتثمار، والاعتماد على تقنيات تحسـين الأداء، واختيار الموقع الملائم، واللقيم المناسب. (Hook, M.& Aleklett, K., 2010)

- **عدم اليقين في استقرار أسعار النفط المستقبلية**

تسود حالة من عدم اليقين في مدى استقرار أسعار النفط الخام نتيجة الاضطرابات السياسية في العديد من مناطق العالم، إضافة إلى عدم إفصاح المستهلكين عن الخطط المستقبلية لمعدلات الطلب على الطاقة. وهذه الحالة تزيد من مخاوف المستثمرين على ربحية المشروع. فعلى سبيل المثال، خططت الصين لإنشاء عدد من وحدات تحويل الفحم إلى وقود ديزل في عام 2013 بهدف إنتاج ما يعادل 10% من إجمالي كمية زيت الديزل التي تستورده من الخارج بحلول عام 2020، بكلفة استثمارية تقدر بحوالي خمسة عشر مليار دولار، لكنها أوقفت تنفيذ بعض هذه المشاريع في عام 2014 بسبب ضعف الجدوى الاقتصادية بعد تراجع أسعار النفط. (ExxonMobil, 2014)

---

[1] سعر التعادل Break-even هو القيمة التي تتساوى فيها كلفة إنتاج النفط الاصطناعي مع سعر النفط الخام التقليدي في الأسواق العالمية، وهي طريقة لحساب ربحية مشروع إنتاج بدائل النفط من مصادر غير تقليدية.

الفصـــل الثانـي

" انعكاسات تطبيق تقنية تحويل الفحم إلى سوائل على مصافي النفط"

2-1: مكونات مجمع تحويل الفحم إلى سوائل في مصافي النفط

2-2: لقائم مجمع تحويل الفحم إلى سوائل في مصافي النفط

2-3: خيارات استغلال الغاز الاصطناعي في مصافي النفط

2-4: دوافع تطبيق تقنية تحويل الفحم في صناعة تكرير النفط

2-5: تحديات تطبيق تقنية تحويل الفحم إلى سوائل في مصافي النفط

الفصل الثاني

انعكاسات تطبيق تقنية تحويل الفحم على مصافي النفط

مقدمة

شهدت فكرة تطبيق عملية تحويل الفحم البترولي والزيوت الثقيلة إلى سوائل اهتماماً ملحوظاً من قبل القائمين على صناعة تكرير النفط في العقدين الماضيين، وذلك نظراً للفوائد الاقتصادية والتقنية العديدة التي يمكن الحصول عليها، علاوة على اعتبار هذه التقنية أحد الحلول الواعدة لمشكلة تصريف النفايات الخطرة الناتجة عن تكرير النفط الخام الثقيل.

يستعرض هذا الفصل المكونات الرئيسية لمجمع تحويل الفحم إلى سوائل في مصافي النفط، وأنواع اللقائم المستخدمة، وخيارات استغلال الغاز الاصطناعي المنتج من مجمع التغويز، وأهم دوافع ومبررات تطبيق هذه التقنية، وانعكاساتها على الأداء التشغيلي والاقتصادي لمصافي تكرير النفط، مع الإشارة إلى أهم التحديات التي تواجه هذه التقنية، وسبل مواجهتها.

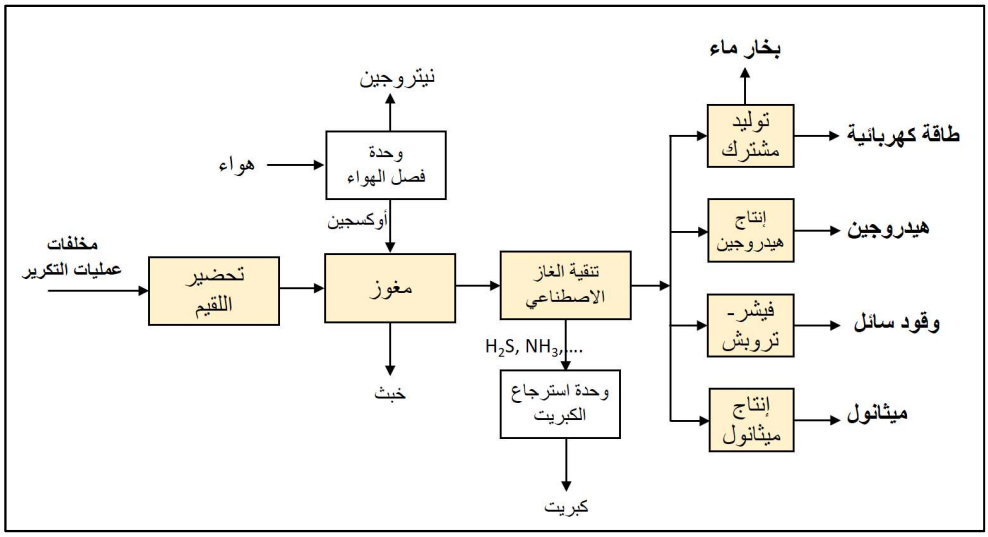
2-1: مكونات مجمع تحويل الفحم إلى سوائل في مصافي النفط

تتشابه عملية تحويل الفحم في مصافي النفط مع عملية تحويل الفحم إلى سوائل في العديد من المكونات، ويطلق عليها إسم عملية التغويز Gasification حيث يتكون مجمع تحويل الفحم من مفاعل التغويز، وعمليات معالجة الغاز الاصطناعي، والعمليات اللاحقة التي تهدف إلى استغلال الغاز الاصطناعي وتحويله إلى منتجات قابلة للاستهلاك أو للمزج مع المنتجات النهائية للمصفاة.(Sethi, N., Bakishi, V., Kumar, M., 2015)

يتوقف اختيار مكونات مجمع تحويل الفحم على طبيعة عمل المصفاة ومدى حاجتها إلى منتجات عملية التغويز، فقد يحتوي على واحدة أو أكثر من هذه الوحدات. وقد تحتوي

على وحدة لإنتاج الهيدروجين عندما تحتاج المصفاة إلى هذه المادة، أو إنتاج السوائل الهيدروكربونية بعملية فيشر- تروبش، أو إنتاج الميثانول، أو وحدة دورة التغويز المتكاملة المدمجة IGCC عندما تحتاج المصفاة إلى الكهرباء وبخار الماء. يبين الشكل 2-1 مخطط عملية تحويل الفحم إلى سوائل في مصفاة النفط.

الشكل 2-1: مخطط عملية تحويل الفحم إلى سوائل في مصفاة تكرير النفط



المصدر: Chhoa, T., 2005

2-2: لقائم مجمع تحويل الفحم إلى سوائل في مصافي النفط

تنتج مصافي النفط مخلفات رخيصة الثمن، تتوقف كميتها وخصائصها على نوع عمليات التكرير، ونوع النفط الخام المكرر. ومن أهم هذه المخلفات الفحم البترولي، والزيوت الثقيلة كمخلفات التقطير الفراغي، والقار المنتج من وحدة كسر اللزوجة Visbreaker tar، وقار عملية نزع الأسفلتينات بالمذيب De-asphalter pitch. وتعتبر تقنية التغويز أحد الخيارات الممكنة لتحويل هذه المخلفات إلى منتجات عالية القيمة. يبين الجدول 2-1 خصائص لقائم تقنية التغويز في مصافي النفط (Marano, J., 2003)

الجدول 2-1: خصائص لقائم تقنية التغويز في مصافي النفط

الخصائص	وحدة القياس	فحم بترولي	مخلفات تقطير فراغي	قار كسر اللزوجة	قار نزع الأسفلتينات
كربون	% وزناً	88.6	84.9	86.1	85.1
هيدروجين	% وزناً	2.8	10.4	10.4	9.1
نيتروجين	% وزناً	1.1	0.5	0.6	0.7
كبريت	% وزناً	7.3	4.2	2.4	5.1
أوكسجين	% وزناً	0.0		0.5	
رماد	% وزناً	0.2	0.0		0.1
هيدروجين/كربون	جزيء/جزيء	0.188	0.727	0.720	0.640
الكثافة النوعية	15.5 °C	0.863	1.028	1.008	1.070
درجة الكثافة	°API	-	6.2	8.88	0.8
القيمة الحرارية العليا HHV (جاف)	مليون وحدة حراري بريطانية/رطل	14.85	17.72	18.6	17.28
القيمة الحرارية الدنيا LHV (جاف)	مليون وحدة حرارية بريطانية/رطل	14.48	16.77	17.6	16.45

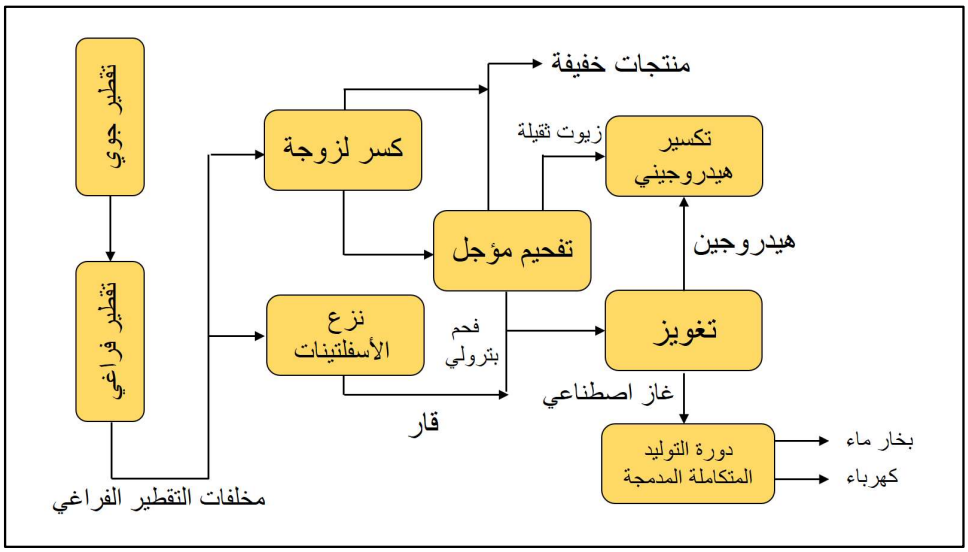
المصدر: Marano, J., 2003

2-2-1: الفحم البترولي

الفحم البترولي هو أحد المنتجات الثانوية لعملية التفحيم، وهي عملية تكسير حراري تهدف إلى تحويل المخلفات الثقيلة لعملية تقطير النفط إلى منتجات خفيفة.

تصنف عملية التفحيم المؤجل Delayed coking على أنها من أكثر العمليات التحويلية نمواً في العالم، نظراً لما تتمتع به من كفاءة عالية في تحويل طيف واسع من مخلفات التقطير الثقيلة إلى منتجات خفيفة عالية القيمة قابلة للاستخدام كوقود في وسائل النقل، كالغازولين، والديزل، ووقود الطائرات، إضافة إلى زيوت التزييت والشموع. يبين الشكل 2-2 مخطط ارتباط عمليات التكرير مع مجمع التغويز في مصفاة النفط.

الشكل 2-2: مخطط ارتباط عمليات التكرير مع مجمع التغويز في مصفاة النفط



المصدر: Beeston, S., 2014

تعتمد جودة الفحم البترولي المنتج على محتوى الشوائب في النفط الخام المكرر، حيث تصل نسبة الكبريت في بعض الأنواع إلى 5-7% وزناً، ونسبة معادن كالفناديوم والنيكل إلى أكثر من 500 جزء في المليون، علاوة على ارتفاع محتواه من الراسب الكربوني[1] (Santos, A., Jose da Silva, R., & Reino, M., 2015)

وعلى الرغم من انخفاض قابليته للتفاعل (التحول إلى غاز) Reactivity، يتميز الفحم البترولي بارتفاع قيمته الحرارية التي تبلغ 30.25-34.91 ألف جول/كغ، وهي أعلى بحوالي 20% من الفحم الحجري الذي تبلغ قيمته الحرارية ضمن المجال 24.45-30.25 ألف جول/كغ. كما يحتوي الفحم البترولي على نسبة منخفضة من الرماد ضمن المجال 0.1-0.3% وزناً، بينما تصل في الفحم الحجري إلى 8-20% وزناً. يبين الجدول 2-2 مقارنة بين خصائص الفحم البترولي والفحم شبه البيتوميني

[1] Conradson Carbon Residue

الجدول 2-2: مقارنة بين خصائص الفحم البترولي والفحم شبه البيتوميني

الخصائص	وحدة القياس	فحم بترولي	فحم شبه بيتوميني
الرطوبة	% وزناً	6.23	19.0
الكبريت الكلي	% وزناً	6.94	0.22
القيمة الحرارية HHV	ألف جول/كغ	35	21.5
رماد	% وزناً	0.34	7.6
مواد طيارة	% وزناً	12.88	46.8
كربون ثابت	% وزناً	86.78	45.6
التحليل الجاف			
كربون C	% وزناً	89.45	65.6
هيدروجين H	% وزناً	2.8	4.53
نيتروجين N	% وزناً	0.05	0.83
كلور CL	% وزناً	0.01	0.1
كبريت S	% وزناً	7.48	0.18
رماد	% وزناً	0.2	7.61
أوكسجين O2	% وزناً	0.01	21.15

المصدر: Nurthy, B., 2014

يستخدم الفحم البترولي الأخضر Green Petroleum Coke في صناعة الألمنيوم بعد معالجته بعملية الكلسنة، ويسمى بالفحم البترولي المكلسن Calcined Petroleum Coke، أو فحم الأقطاب Anode Coke. تهدف عملية الكلسنة إلى تخليص الفحم البترولي من المركبات الهيدروكربونية الطيارة بتسخينه إلى درجات حرارة مرتفعة، حيث تسحب المواد الطيارة الناتجة لاستخدامها كوقود لتوليد الطاقة وبخار الماء. يبين الجدول 2-3 مقارنة بين الفحم البترولي الأخضر والفحم المكلسن (فحم الأقطاب).

كما يستخدم الفحم البترولي كوقود في محطات توليد الطاقة الكهربائية في العديد من مناطق العالم، مثل الهند، والصين، واليابان، وروسيا، وألمانيا، والمملكة المتحدة، وفرنسا، والولايات المتحدة الأمريكية، وكندا، وفنزويلا، والمكسيك، والأرجنتين والبرازيل، إلا أن استخدامه تراجع في العقدين الماضيين بسبب إصدار تشريعات حظر حرق الوقود الحاوي على نسب عالية من الشوائب الملوثة للبيئة.

على الرغم من استخدامات الفحم البترولي العديدة، لكنه بقي يصنف بأنه منتج ثانوي منخفض القيمة، فعلى سبيل المثال، تعتمد بعض المصافي على تصدير الفحم البترولي إلى الأسواق الخارجية، وقد تتحمل المصفاة خسائر كبيرة ناتجة عن تكاليف التخزين عندما تتعثر قنوات التصريف المعتادة، وذلك نظراً لصرامة التشريعات التي تفرض اتخاذ إجراءات مكلفة في موقع النقل والتخزين لضمان عدم تطاير ذرات الفحم الناعم إلى الهواء الجوي، أو انجراف الفحم إلى المجاري المائية الطبيعية. (API, 2014)

الجدول 2-3: مقارنة بين الفحم البترولي الأخضر والفحم المكلسن (فحم الأقطاب)

المكونات	وحدة القياس	فحم بترولي أخضر	فحم مكلسن (فحم أقطاب)
مواد طيارة	% وزناً	10.5-9.0	0.15-0.08
رطوبة	% وزناً	14-8	0.4-0.2
رماد	% وزناً	0.14-0.09	0.18-0.10
كبريت	% وزناً	0.85-0.70	0.78-0.7
فناديوم	ج.ف.م	230-180	250-200
نيكل	ج.ف.م	200-180	220-200
سيليكون	ج.ف.م	80-40	60-20
حديد	ج.ف.م	120-80	100-60
صوديوم	ج.ف.م	90-70	100-50
كالسيوم	ج.ف.م	40-20	40-20
مؤشر قابلية الطحن [1]		70-80	20-40

المصدر: Santos, A., Jose da Silva, R., & Reino, M., 2015

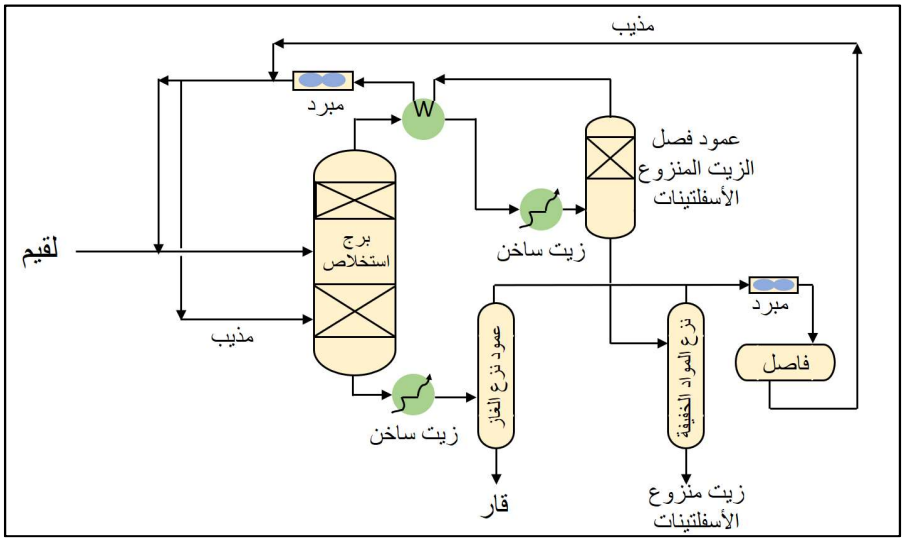
2-2-2: القار

يعتبر القار Pitch أحد المنتجات الثانوية لعملية نزع الأسفلتينات بالمذيب، وعملية كسر اللزوجة.

[1] **Hardgrove Grindability Index HGI** مؤشر قابلية الطحن ليس له وحدة قياس، يستخدم لقياس جودة الفحم المكلسن ومدى قساوته، وكلما كان الرقم صغيراً يؤشر ذلك على جودة أفضل. (ASTM, 2011)

تهدف عملية نزع الأسفلتينات بالمذيب[1] إلى تحويل بواقي التقطير الفراغي الثقيلة إلى زيت قابل للاستخدام كلقيم في وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC[2]، أو وحدات إنتاج زيوت التزييت الأساس. أما القار الثقيل فيستخدم كلقيم في وحدات التفحيم، أو في صناعة مواد العزل، أو لتعبيد الطرقات. (Beeston, S., 2014). يبين الشكل 2-3 مخطط عملية نزع الأسفلتينات بالمذيب.

الشكل 2-3: مخطط عملية نزع الأسفلتينات بالمذيب



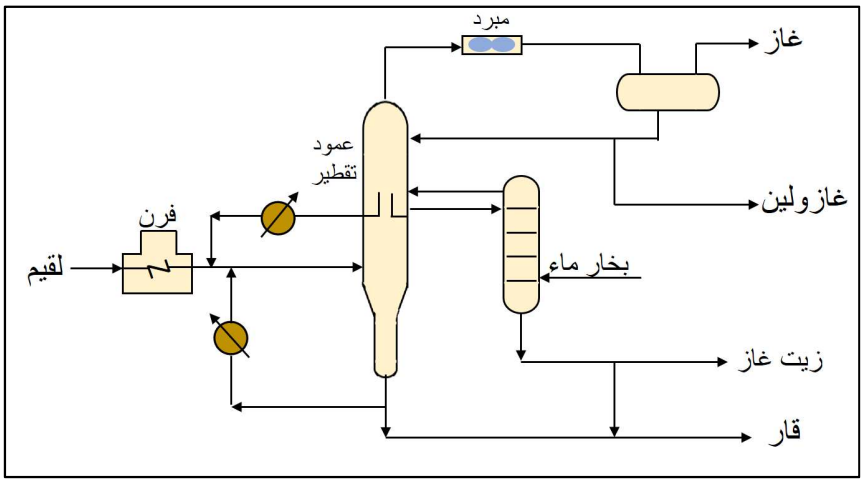
المصدر: Beeston, S., 2014

كما ينتج القار الثقيل من عملية كسر اللزوجة Visbreaker، التي تهدف إلى نزع المواد الخفيفة والمقطرات الوسطى من بواقي التقطير الفراغي الثقيلة، وفي نفس الوقت خفض لزوجته، وخفض كمية المادة المذيبة اللازمة لتعديل مواصفاته بما يتوافق مع المعايير المطلوبة. (Castaneda, L., Munoz, J., Ancheyta, J., 2013) يبين الشكل 2-4 مخطط عملية كسر اللزوجة

[1] Solvent De-asphalting

[2] Fluidized Catalytic Cracking

الشكل 2-4: مخطط عملية كسر اللزوجة



المصدر: Wallace, P., 1998

2-3: خيارات استغلال الغاز الاصطناعي في مصافي النفط

ساهمت الأبحاث العلمية في تطوير فرص الاستفادة من الغاز الاصطناعي المنتج من عملية التغويز في مصافي النفط. من هذه الفرص إنتاج أنواع عديدة من السوائل الهيدروكربونية مثل الغازولين، ووقود الديزل، ووقود النفاثات، والشموع، وإنتاج الهيدروجين، أو الوقود الغازي الاصطناعي، والكيماويات كالأمونيا، والميثانول، والإيثلين، والبروبيلين، والبوليمر، والكحول، وغيرها.(Chemik, T., 2010) .

يصنف الغاز الاصطناعي المنتج من عملية التغويز ضمن ثلاث مجموعات، منخفض، ومتوسط، ومرتفع القيمة الحرارية، وذلك تبعاً لنسب المكونات الداخلة في تركيبه. (Lee, S. Speight, J., Loyalka, S., 2015)

- **غاز منخفض القيمة الحرارية**، يتكون بشكل رئيسي من أول أوكسيد الكربون والهيدروجين، وبعض الغازات الأخرى، حيث تبلغ قيمته الحرارية من 150 إلى 300 وحدة بريطانية/القدم المكعبة. ويعود سبب انخفاض قيمته الحرارية إلى احتوائه على نسبة مرتفعة من الغازات غير المرغوبة مثل النيتروجين أو المركبات

الحاوية على النيتروجين، وغاز ثاني أوكسيد الكربون، والماء، إضافة إلى غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S الذي يعتبر من أكثر الشوائب غير المرغوبة، ويجب نزعه من الغاز الاصطناعي قبل إدخاله إلى عمليات لاحقة.

تعتمد نسبة غاز كبريتيد الهيدروجين في الغاز الاصطناعي على نسبة الكبريت في لقيم مجمع التغويز، كما يعود سبب انخفاض القيمة الحرارية إلى استخدام الهواء كمادة مؤكسدة في عملية التغويز بدلاً من الأوكسجين النقي.

- **غاز متوسط القيمة الحرارية**، يتكون بشكل رئيسي من أول أوكسيد الكربون، والهيدروجين ونسبة من الميثان وثاني أوكسيد الكربون، إضافة إلى غازات أخرى مختلفة، وتتراوح قيمته الحرارية ضمن المجال 300-700 وحدة حرارية بريطانية/قدم المكعبة. ويستخدم الأوكسجين الحر في مفاعل التغويز لإنتاج الغاز المتوسط القيمة الحرارية. يستخدم هذا النوع من الغاز الاصطناعي في معظم الحالات لإنتاج الميثانول والهيدروكربونات العالية القيمة بواسطة عملية فيشر تروبش، وإنتاج أنواع عديدة من الكيماويات. كما يمكن استخدامه أيضاً كوقود لتوليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء.
- **غاز عالي القيمة الحرارية**، يتكون بشكل رئيسي من الميثان، وتبلغ قيمته الحرارية حوالي 900- 1000 وحدة حرارية بريطانية /القدم المكعبة، ويمكن استخدامه كبديل للغاز الطبيعي نظراً لاقتراب مواصفاته من مواصفات الغاز الطبيعي.

كما يمكن تصنيف خيارات استغلال الغاز الاصطناعي المنتج من مجمع التغويز في مصافي النفط ضمن المجموعات الرئيسية التالية: (Denton, D., 2005)

- توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء
- إنتاج غاز طبيعي اصطناعي
- إنتاج زيوت اصطناعية ووقود وسائل النقل
- الكيماويات الأساسية لإنتاج البتروكيماويات

- إنتاج الهيدروجين

يبين الجدول 2-4 خيارات استغلال الغاز الاصطناعي المنتج من مجمع التغويز في مصافي النفط.

الجدول 2-4: خيارات استغلال الغاز الاصطناعي المنتج من مجمع التغويز في مصافي النفط

غاز اصطناعي				
توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء	غاز طبيعي اصطناعي	هيدروجين	زيوت اصطناعية	ميثانول وكحولات
• دورة التوليد المتكاملة المدمجة • التوليد المشترك	• ميثان • وقود غازي	• معالجة هيدروجينية • تكسير هيدروجيني • تصنيع الأمونيا • تصنيع اليوريا • تصنيع الأسمدة • خلايا الوقود	• مقطرات خام • غازولين • ديزل • وقود نفاثات • نافثا • إثيلين • بروبيلين • أوليفينات • زيوت أساس	• غازولين • ديزل • إثيلين • بروبيلين • فورم ألدهايد • ميثيل أمين • حمض الخل • ثنائي ميثيل إثير

المصدر: Hook, M., & Aleklett K., 2009

2-3-1: توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء

يعتبر مشروع إنشاء مجمع توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء أحد الخيارات المهمة لاستغلال الغاز الاصطناعي المنتج من مجمع التغويز في مصافي النفط.

يعتمد مبدأ استغلال الغاز الاصطناعي في توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء على تكامل تقنية التغويز مع تقنية توليد الطاقة في عنفات غازية وبخارية، وتسمى بدورة التغويز المتكاملة المدمجة IGCC [1]، وتتكون من ثلاث وحدات أساسية، وهي:

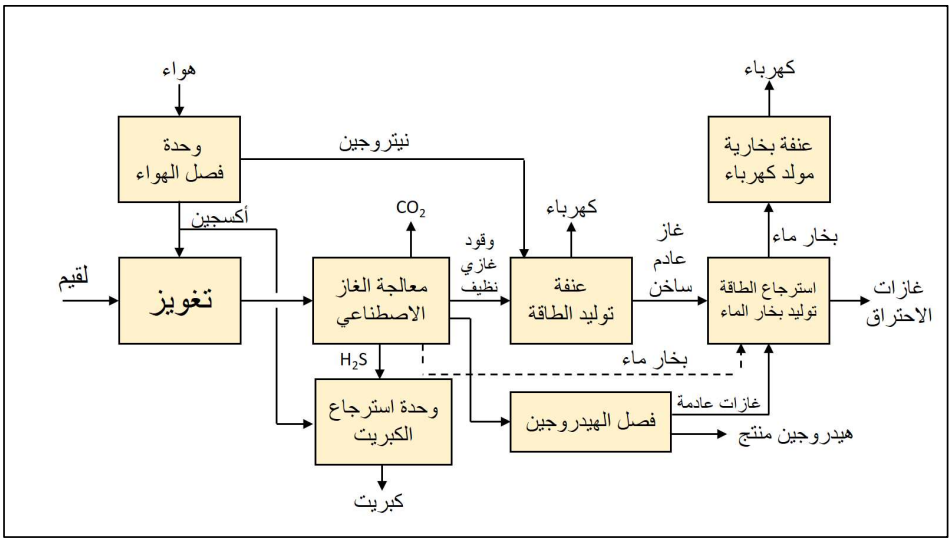
(ESCAP, 2014)

[1] Integrated Gasification Combined Cycle.

- عنفة غازية Gas Turbine التي تحرق الوقود وتنتج الطاقة الكهربائية بواسطة إفلات ضغط غازات العادم.
- مولد بخار استرجاع الحرارة العادمة HRSG الذي يولد بخار الماء بالاستفادة من حرارة غازات الاحتراق الضائعة من العنفة الغازية
- عنفة بخارية لتوليد طاقة كهربائية إضافية بإفلات ضغط بخار الماء المنتج من مولد بخار استرجاع الحرارة العادمة.

يتوقف اختيار نموذج محطة توليد الطاقة الأنسب على مدى حاجة المصفاة لكل من الكهرباء وبخار الماء. فإذا كانت حاجة المصفاة إلى الكهرباء فقط بدون بخار الماء فإن نموذج الدورة المتكاملة مع وجود عنفة بخارية للاستفادة من بخار الماء الفائض في توليد الطاقة الكهربائية هو الأنسب. أما في حالة الحاجة إلى بخار الماء فيمكن عندئذ الاستغناء عن العنفة البخارية، وتحويل كامل كمية بخار الماء إلى الشبكة. يبين الشكل 2-5 مخطط دورة التغويز المتكاملة المدمجة لتوليد الطاقة في مصافي النفط.

الشكل 2-5 مخطط دورة التغويز المتكاملة المدمجة لتوليد الطاقة في مصافي النفط



المصدر: Koppel, P., and Lorden, D., 2009

2-3-2: إنتاج غاز طبيعي اصطناعي

يمكن استغلال الغاز الاصطناعي المنتج من وحدة التغويز في إنتاج غاز بمواصفات مماثلة للغاز الطبيعي. فبعد معالجة الغاز الاصطناعي وتخليصه من الشوائب يمرر على مرحلة تفاعل تعزيز نسبة الميثان Methanation Reaction، الذي يتم بين الهيدروجين وأول أوكسيد الكربون بوجود عامل حفاز على النحو التالي:

$$3H_2 + CO = CH_4 + H_2O$$

$$2H_2 + 2CO = CH_4 + CO_2$$

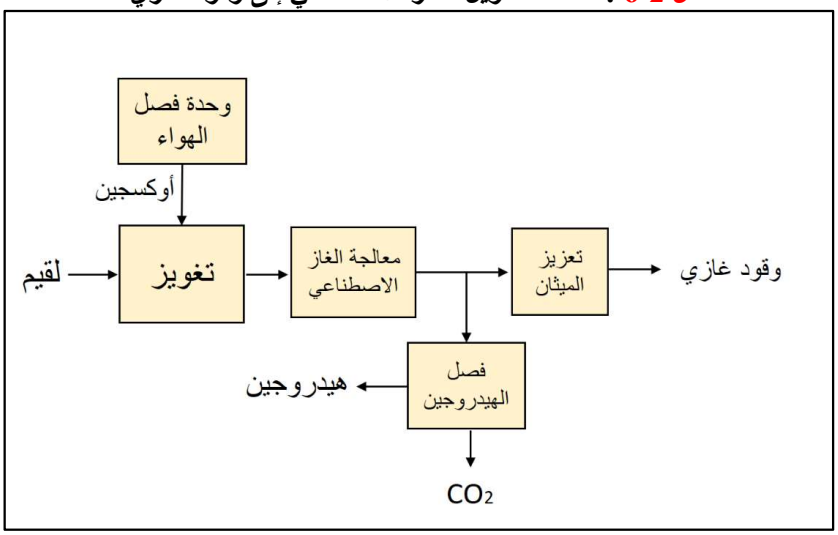
$$4H_2 + CO_2 = CH_4 + 2H_2O$$

$$2CO = C + CO_2$$

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2$$

تستخدم عوامل حفازة عديدة في تفاعل تعزيز الميثان، وتختلف فعاليتها حسب نوع المعدن المصنوع منها، وذلك حسب الترتيب التالي: الرينيوم، والنيكل، والكوبالت، والحديد، والموليبديوم. يبين الشكل 2-6 مخطط تحويل الغاز الاصطناعي إلى وقود غازي.

الشكل 2-6 : مخطط تحويل الغاز الاصطناعي إلى وقود غازي



المصدر: Amick, P., 2006

2-3-3: إنتاج الهيدروجين

عند إنشاء مجمع التغويز في مصافي النفط، يمكن الاستفادة من اللقائم الرخيصة الثمن التي تعتبر منتجات ثانوية لتحويلها إلى هيدروجين بتكلفة منخفضة نسبياً، مقارنة بعمليات إنتاج الهيدروجين الأخرى، حيث تستهلك مصافي النفط كميات كبيرة من الهيدروجين لاستخدامه في عمليات المعالجة الهيدروجينية والتكسير الهيدروجيني. (Jacobs, 2015)

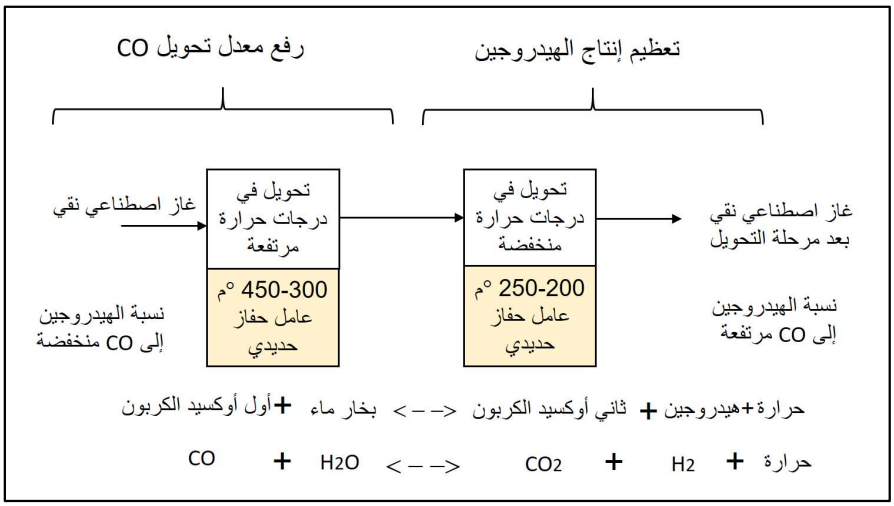
عندما يصمم مجمع التغويز لإنتاج الهيدروجين في المصفاة يصبح مخطط سير عملية التغويز أكثر تعقيداً، حيث يضاف إلى المجمع وحدات فصل الهيدروجين من الغاز الاصطناعي، علاوة على تعديل ظروف تشغيل المغوز لتعظيم نسبة الهيدروجين في الغاز الاصطناعي المنتج.

يوجد أكثر من طريقة لفصل الهيدروجين من الغاز الاصطناعي، أهمها طريقة تحويل غاز أول أكسيد الكربون إلى هيدروجين وثاني أوكسيد الكربون CO_2، وتصل كفاءتها إلى حوالي 98% أو أكثر، وذلك حسب التفاعل التالي:

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$$

تتكون وحدة تحويل الماء والغاز من مفاعلين يحتويان على عامل حفاز من الحديد. يدخل الغاز الاصطناعي الحاوي على نسبة منخفضة من الهيدروجين إلى المفاعل الأول ذي درجة الحرارة المرتفعة 300-450 °م، ثم إلى المفاعل الثاني ذي درجة الحرارة المنخفضة 200-250 °م. يبين الشكل 2-7 مراحل عملية تحويل الغاز والماء لرفع تركيز الهيدروجين في الغاز الاصطناعي.

الشكل 2-7: مراحل عملية تحويل الغاز والماء لرفع تركيز الهيدروجين في الغاز الاصطناعي



المصدر: Hurd, D., Park, S., & Kan, J., 2014

بعد تحويل غاز أول أوكسيد الكربون إلى هيدروجين وغاز ثاني أوكسيد الكربون يسحب الغاز الناتج إلى وحدة تنقية بواسطة الأغشية Membrane، وذلك لفصل غاز ثاني أوكسيد الكربون. (Evenson, C., & Waters, D., 2011)

كما يمكن رفع درجة نقاوة الهيدروجين المنتج من وحدة التحويل باستخدام طريقة الامتزاز بالضغط المتأرجح[1] PSA، وطريقة أغشية نقل الهيدروجين[2] HTM، وقد يحتوي المجمع على نوع أو أكثر من هذه الطرق للحصول على النقاوة المطلوبة.

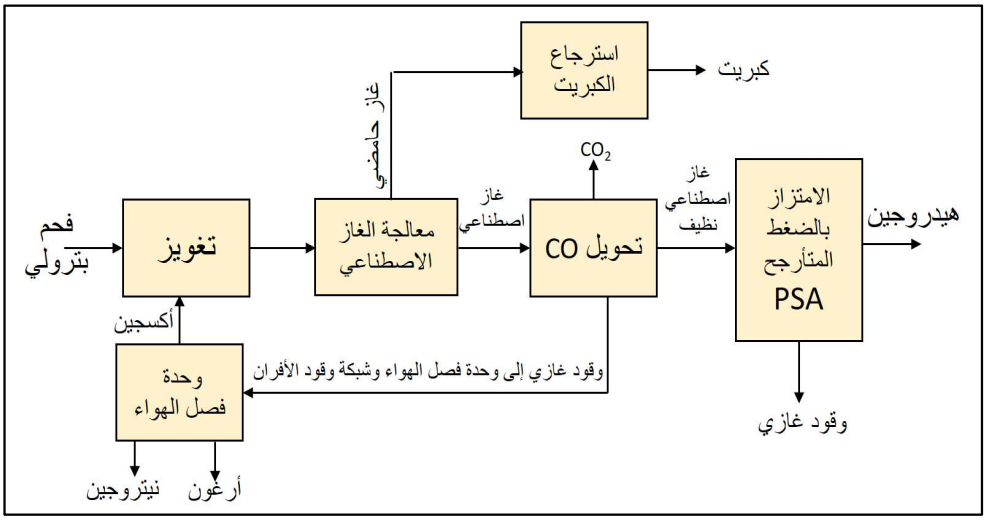
تتكون وحدة الامتزاز بالضغط المتأرجح PSA من وعائين يحتويان على أسرة من مادة ذات خاصية امتصاص انتقائية للميثان وغاز أول أكسيد الكربون CO، وثاني أكسيد الكربون CO_2، والماء H_2O، تحت الضغط المرتفع. ثم تنزع المواد الممتصة بتخفيض الضغط في وعاء الامتزاز، بعد أن يحول الغاز اللقيم إلى الوعاء الثاني. تتم العملية بشكل

[1] Pressure Swing Adsorption

[22] Hydrogen Transfer Membrane

دوري لينتج عنها وقود غازي منخفض إلى متوسط القيمة الحرارية. أما الهيدروجين المنتج من وحدة الامتزاز بالضغط المتأرجح فيمكن أن تبلغ نقاوته حوالي 99.8% باستخدام عدد مناسب من أسرة مادة الامتزاز في الوعاء. كما يمكن أن تصل كفاءة فصل الهيدروجين من الغاز الاصطناعي اللقيم إلى 90%. يبين الشكل 2-8 وحدات تنقية الهيدروجين من الغاز الاصطناعي المنتج من مجمع تغويز المصفاة. (Gupta, S., et al., 2015)

الشكل 2-8: وحدات تنقية الهيدروجين من الغاز الاصطناعي المنتج من مجمع تغويز المصفاة



المصدر: Gupta, S., et al., 2015

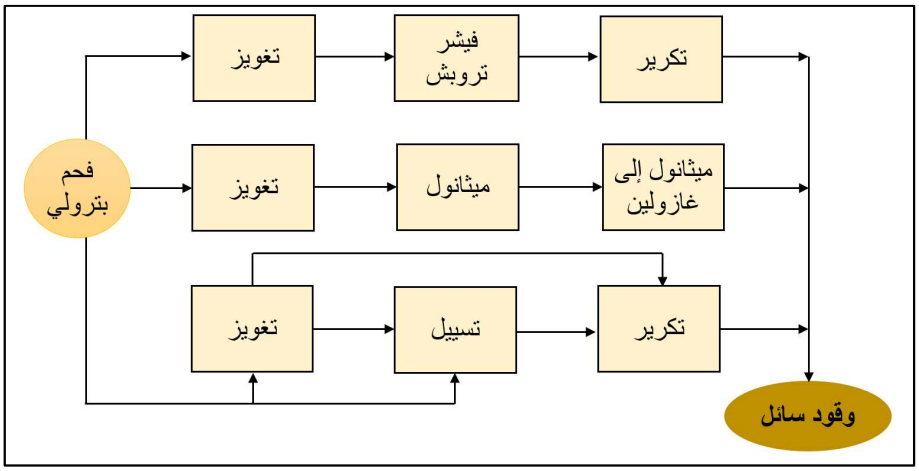
2-3-4: تحويل الغاز الاصطناعي إلى سوائل

يمكن الحصول على السوائل الهيدروكربونية من مجمع تغويز الفحم البترولي في مصفاة النفط من خلال الخيارات المبينة في الشكل 2-9، وهي:

- **مسار عملية فيشر - تروبش**، وذلك بتحويل الغاز الاصطناعي المنتج من مفاعل التغويز إلى مفاعل فيشر- تروبش، حيث يتم تحويل الغاز إلى سوائل هيدروكربونية، ويتم فصلها في وحدات التكرير في المصفاة.
- **مسار تحويل الغاز الاصطناعي إلى غازولين**، يتم فيه تحويل الغاز الاصطناعي المنتج من مفاعل التغويز إلى ميثانول، ثم تحويل الميثانول إلى غازولين.

- **مسار عملية التحويل المشتركة**، حيث يتم تطبيق عمليتي التسييل والتغويز معاً، ثم تحول منتجات العمليتين إلى وحدات التكرير في المصفاة لفصل السوائل إلى منتجات ذات مواصفات متوافقة مع مواصفات منتجات تكرير النفط.

الشكل 2-9: خيارات إنتاج الوقود السائل من مجمع تغويز الفحم البترولي في المصفاة



المصدر: ExxonMobil, 2014

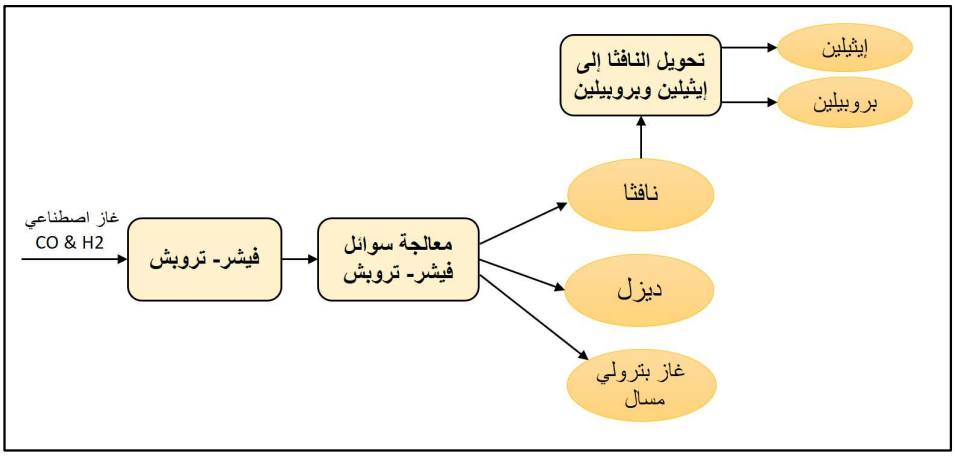
2-3-4-1: إنتاج السوائل الهيدروكربونية بطريقة فيشر تروبش

اكتشفت عملية فيشر - تروبش في عشرينيات القرن العشرين من قبل العالمين فيشر وتروبش، وتعتمد على مبدأ إدخال الغاز الاصطناعي المكون من أول أوكسيد الكربون CO، والهيدروجين H_2 إلى مفاعل يحتوي على عامل حفاز مصنوع من الحديد، أو الكوبالت. وتتكون منتجات عملية فيشر - تروبش من مزيج من الهيدروكربونات التي تخضع لعملية فصل إلى منتجات تتكون من ميثان وبروبان، ونافثا، وديزل، ووقود نفاثات، إضافة إلى مركبات ثقيلة تصنف على أنها شموع. يبين الشكل 2-10 مخطط عملية فيشر – تروبش لتحويل الغاز الاصطناعي إلى سوائل.

لكي تصبح منتجات عملية فيشر تروبش قابلة للاستخدام كوقود في محركات وسائل النقل يجب معالجتها لتحسين خصائصها. فعلى سبيل المثال يبلغ الرقم الأوكتاني للنافثا

المنتجة حوالي 40 بطريقة البحث، وهي قيمة منخفضة، لهذا تحول إلى وحدة تهذيب بالعامل الحفاز لرفع الرقم الأوكتاني المناسب.(Elangovan, S., 2012)

الشكل 2-10: مخطط عملية فيشر – تروبش لتحويل الغاز الاصطناعي إلى سوائل



المصدر: INL, 2013

ينتج عن تفاعلات البلمرة في عملية فيشر- تروبش مجموعة من السلاسل الهيدروكربونية التي تحتوي على ذرات الكربون. ولأطوال هذه السلاسل الكربونية دور في تحديد نسب المكونات التي ستنتج من العملية، وهي الغازات الخفيفة، والنافثا والديزل والشموع. ويمكن التحكم بهذه النسب من خلال تعديل ظروف تشغيل العملية، أو تغيير نوع العامل الحفاز المستخدم في المفاعل. إلا أن فعالية عملية التحكم محدودة، وبالتالي لا يمكن تفادي تشكل بعض المنتجات غير المرغوبة. فعلى سبيل المثال، يمكن تعظيم نسبة إنتاج الغازولين، وخفض نسبة إنتاج الديزل، إلا أن هذا النظام من التشغيل يرافقه ارتفاع كبير في نسبة الغازات الخفيفة لا يمكن تفاديه، وخصوصاً الميثان. وقد جرت محاولات لتفادي إنتاج كمية كبيرة من الميثان، وذلك من خلال تعظيم إنتاج الشموع التي يمكن تكسيرها لإنتاج سوائل تستخدم كوقود في وسائل النقل.

تساهم الخصائص العالية الجودة التي تميز منتجات عملية فيشر- تروبش في حصولها على أسعار تفضيلية تفوق أسعار منتجات مصافي النفط التقليدية، حيث أن

استخدامها للمزج مع منتجات المصفاة الحاوية على نسب مرتفعة من الكبريت يمكن المصفاة من توفير التكاليف الاستثمارية الباهظة اللازمة لإنشاء وحدات المعالجة الهيدروجينية. فعلى سبيل المثال يتميز وقود الديزل المنتج من عملية فيشر- تروبش باحتوائه على نسبة منخفضة جداً من الكبريت، لا تزيد عن 1 ج.ف.م، وهي أدنى بكثير من النسبة المحددة في المعايير الأوروبية والأمريكية الخاصة بمواصفات الديزل المستخدم في محركات وسائل النقل، والتي تبلغ 10 ج.ف.م. كما يتميز وقود الديزل المنتج من عملية فيشر- تروبش بأنه خال تقريباً من المركبات العطرية، ويحتوي على نسبة مرتفعة من البارافينات، وبالتالي فإن رقمه السيتاني مرتفع جداً[1]، وقد يصل في بعض أنواع وقود الديزل المنتج من عمليات التغويز إلى المجال 70-80، وهذه القيمة أعلى بكثير من قيمة الرقم السيتاني للديزل المنتج من تكرير النفط التي تتراوح قيمته ضمن المجال 40-55. (Radom, I., 2008)

تجدر الإشارة إلى أن الرقم السيتاني المرتفع يساهم في خفض انبعاثات وقود النقل الملوثة للبيئة، وذلك نتيجة تحسين عملية إقلاع المحرك عند درجات الحرارة المنخفضة، والتي تؤدي إلى خفض كمية السخام والهيدروكربونات الملوثة للبيئة التي تنبعث من المحرك أثناء الدقائق الأولى لعمل المحرك قبل ارتفاع درجة حرارته. كما يساهم ارتفاع الرقم السيتاني في خفض معدل انبعاثات أكسيد النيتروجين والجسيمات الدقيقة التي تنطلق من المحرك إلى البيئة بعد ارتفاع درجة حرارته.

أشارت نتائج دراسات أجريت على بعض مجمعات تحويل الفحم إلى سوائل، كمجمع ساسول في جنوب أفريقيا، إلى إمكانية مزج وقود النفاثات المنتج من وحدة فيشر- تروبش مع الوقود Jet A أو Jet A-1 المنتج من مصافي النفط حتى 50%. فضلاً عن أن اختبارات الأداء التي قامت بها إدارة القوى الجوية الأمريكية أثبتت سلامة استخدام وقود النفاثات من

[1] الرقم السيتاني هو قياس مقدار قابلية وقود الديزل للاشتعال. وكلما كان الرقم كبيراً كانت سرعة اشتعال الوقود عند دخوله إلى غرفة احتراق الوقود في المحرك أسرع.

تقنية فيشر- تروبش للمزج مع وقود النفاثات JP-8 المستخدم في معظم الطائرات الحربية الأمريكية. إلا أن بعض هذه الدراسات أشارت إلى وجود مشكلتين في مزج وقود النفاثات المنتج من عملية فيشر- تروبش مع وقود النفاثات التقليدي المنتج في مصافي النفط، الأولى تتعلق باللدائن المطاطية Elastomers التي تستخدم كمادة مانعة للتسرب في منظومة وقود محركات بعض الطائرات القديمة، حيث أنها تنتفخ عند تعرضها للهيدروكربونات العطرية، لكن عندما تتعرض هذه المادة إلى وقود فيشر- تروبش الحاوي على نسبة منخفضة من العطريات فإن ذلك يؤدي إلى انكماشها، وبالتالي احتمال حدوث تسرب للوقود من خزان وقود الطائرة. المشكلة الثانية هي أن كثافة الطاقة الحجمية لوقود النفاثات المنتج من فيشر- تروبش أدنى بمعدل 3.7% من الوقود التقليدي المنتج من النفط. وحيث أن الحد الأقصى المسموح لكمية الوقود في الطائرة يتحدد بحجم خزان الوقود، فإن استخدام وقود فيشر تروبش يؤدي إلى خفض مجال المسافة المتاحة للطيران، إلا أن الانخفاض يعتبر طفيفاَ.

أما انخفاض نسبة الكبريت في وقود فيشر- تروبش فليس له تأثير يذكر على القيمة السعرية لهذا المنتج، حيث أن المعايير البيئية الدولية لا تزال متساهلة في الحد من نسبة الكبريت في وقود النفاثات التي تصل إلى 3000 جزء في المليون. وبالتالي فإنه من غير المتوقع أن يكتسب المنتج أهميته قبل صدور تشريعات جديدة تفرض خفض نسبة الكبريت في وقود النفاثات.

تتراوح نسبة النافثا المنتجة من عملية فيشر- تروبش ضمن المجال 20-40% من إجمالي منتجات العملية. وتشير الدراسات الاقتصادية إلى أن قيمة النافثا أدنى من قيمة الديزل بحوالي 30%، وذلك بسبب انخفاض رقمها الأوكتاني (40 إلى 50 بطريقة البحث) وصعوبة تحويلها إلى غازولين في مصافي النفط التقليدية، مما يجعلها ملائمة أكثر للاستخدام كلقيم في وحدات صناعة البتروكيماويات.

2-4-3-2: تحويل الغاز الاصطناعي إلى غازولين

ابتكرت عملية تحويل الميثانول إلى غازولين في سبعينيات القرن العشرين من قبل مؤسسة موبيل للبحث والتطوير، والتي تحول اسمها إلى مؤسسة إكسون موبيل للبحث والتطوير[1]، حيث وجد الباحثون أن بنية وحجم فراغات حبيبات بعض أنواع العوامل الحفازة المصنوعة من الزيوليت يمكنها تعزيز عملية تحويل الهيدروكربونات إلى مركبات هيدروكربونية مماثلة في تركيبها لمكونات الغازولين مثل الأوليفينات Olefins، والبارافينات المتفرعة Branched Paraffins، والعطريات Aromatics والتي لها دور مهم في رفع الرقم الأوكتاني للمزيج الهيدروكربوني. كما يتميز الغازولين المنتج من عملية تحويل الميثانول بخلوه من الكبريت. يبين الجدول 2-5 مقارنة بين مواصفات الغازولين المنتج من مصافي النفط والغازولين المنتج من الميثانول في الولايات المتحدة الأمريكية. (ExxonMobil, 2014)

الجدول 2-5: مقارنة بين مواصفات الغازولين المنتج من مصافي النفط والغازولين المنتج من الميثانول في الولايات المتحدة الأمريكية

	صيف 2009	غازولين من الميثانول
أوكسجين (%وزناً)	3.7	0
عطريات (%حجماً)	35	26.5
بنزين عطري (%حجماً)	1	0.3
أوليفينات (%حجماً)	18	12.6
كبريت (ج.ف.م)	10	0

المصدر: ExxonMobil, 2014

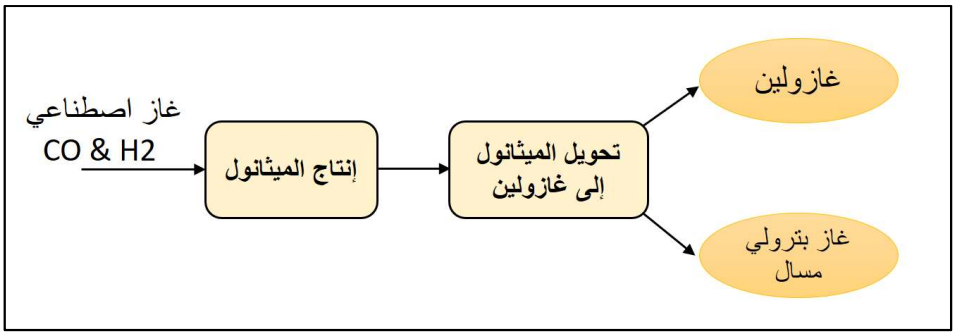
في ثمانينيات القرن العشرين أنشئت أول وحدة تجريبية لإنتاج الغازولين من الميثانول في ألمانيا، طاقتها 100 ب/ي، بالتعاون بين كل من إدارة الطاقة الأمريكية والحكومة الألمانية. بينما بدأت أول وحدة تجارية بالعمل عام 1985 في موتونوي

[1] ExxonMobil Research &Development Corporation

Motunui- نيوزيلاندا، بدعم من الحكومة النيوزيلاندية، طاقتها 14500 ب/ي، واستمرت في العمل لأكثر من عشر سنوات، ثم توقفت بسبب هبوط أسعار النفط إلى مستويات منخفضة، إلى أن أعيد تشغيلها من جديد بعد ارتفاع الأسعار في عام 2008. (ExxonMobil, 2016)

تتكون عملية تحويل الغاز الاصطناعي المنتج من عملية التغويز إلى غازولين من مرحلتين، يتم في المرحلة الأولى تحويل الغاز الاصطناعي إلى ميثانول، وفي المرحلة الثاني يحول الميثانول إلى غازولين. يبين الشكل 2-11 مراحل عملية تحويل الغاز الاصطناعي إلى غازولين.

الشكل 2-11: مراحل عملية تحويل الغاز الاصطناعي إلى غازولين

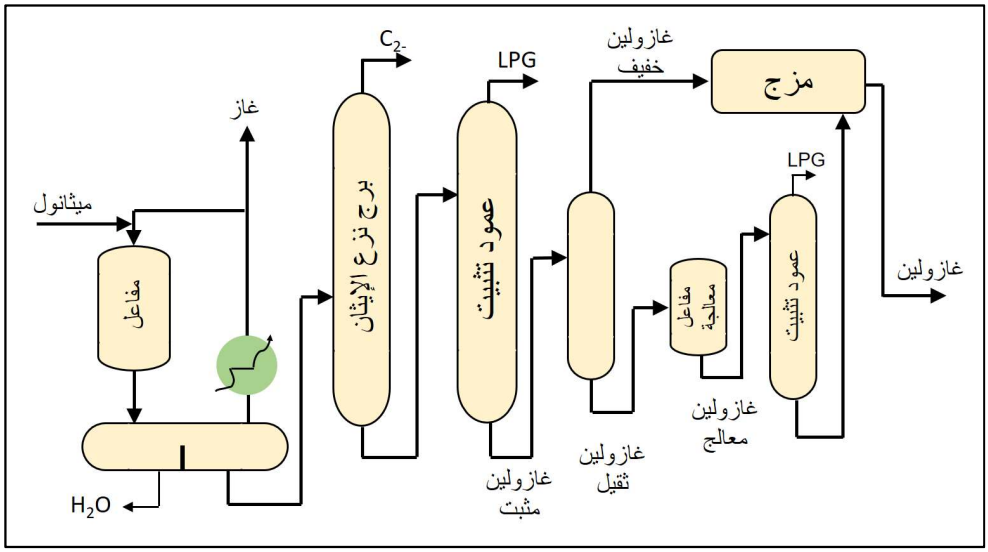


المصدر: INL, 2013

بعد مرحلة تحضير وتنقية الغاز الاصطناعي لتعديل نسبة الهيدروجين إلى أول أكسيد الكربون إلى القيمة الملائمة لإنتاج الميثانول تأتي مرحلة تحويل الغاز الاصطناعي النظيف إلى ميثانول في ظروف تشغيل معتدلة من درجات الحرارة تبلغ 200 °م والضغط حوالي 750 رطل/البوصة المربعة، في تفاعل ناشر للحرارة بشكل طفيف. أما المرحلة الثانية التي يتم فيها تحويل الميثانول إلى غازولين فتتم في مفاعل ذي سرير ثابت يحتوي على عامل حفاز مصنوع من النحاس، وفي شروط مرتفعة من درجات الحرارة تصل

ضمن المجال 300- 400 °م، والضغط 25 -35 ميغا باسكال. يبين الشكل 2-12 مخطط سير عملية تحويل الميثانول إلى غازولين.

الشكل 2-12: مخطط عملية تحويل الميثانول إلى غازولين



المصدر: Helton, T., & Hindman, M., 2014

يكتسب المفاعل الحرارة الأولية اللازمة للتفاعل من مصدرين، أولهما خارجي، والثاني من تفاعل الغاز الاصطناعي على سطح العامل الحفاز الناشر للحرارة، حيث يتم التحكم بحرارة المفاعل من خلال إرجاع الغاز غير المتفاعل إلى المفاعل.

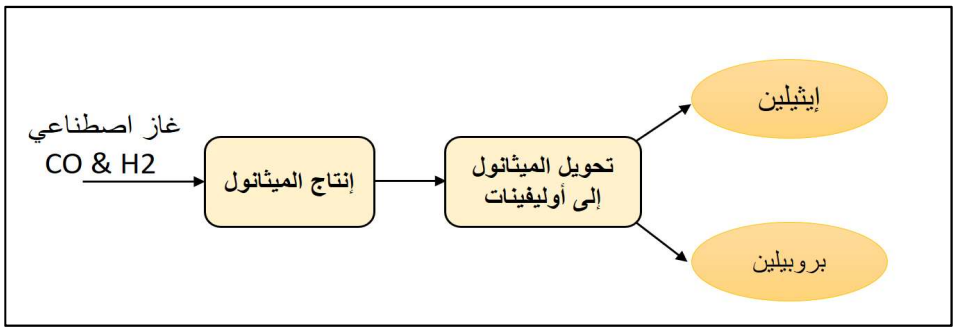
يسحب الغازولين المنتج من المفاعل إلى عملية التجزئة التي تبدأ بعملية التثبيت لنزع المركبات الخفيفة المكونة من الإيثان والغازات الخفيفة، إضافة إلى الغاز البترولي المسال LPG الذي يعتبر منتجاً ثانوياً من عملية تحويل الميثانول إلى غازولين، بنسبة تتراوح بين 10 إلى 12% من إجمالي منتجات العملية، حيث يصدر للاستخدام كوقود منزلي بديل عن الغاز الطبيعي، أو كوقود لمحركات وسائل النقل. أو إعادته إلى مفاعل تحويل الغاز الاصطناعي للحصول على مزيد من الغازولين، أو مزجه مع الغازولين

المنتج. أما الغازولين المثبت فيسحب إلى مرحلة التقطير لفصل الغازولين الخفيف عن الثقيل.

2-3-4-3: تحويل الغاز الاصطناعي إلى أوليفينات

يمكن إنتاج الأوليفينات التي تتكون بشكل رئيسي من الإيثلين والبروبيلين بعملية التكسير بالعامل الحفاز Catalytic Cracking للميثانول المنتج من الغاز الاصطناعي. يبين الشكل 2-13 مراحل تحويل الغاز الاصطناعي إلى أوليفينات.

الشكل 2-13: مراحل تحويل الغاز الاصطناعي إلى أوليفينات



المصدر: INL, 2013

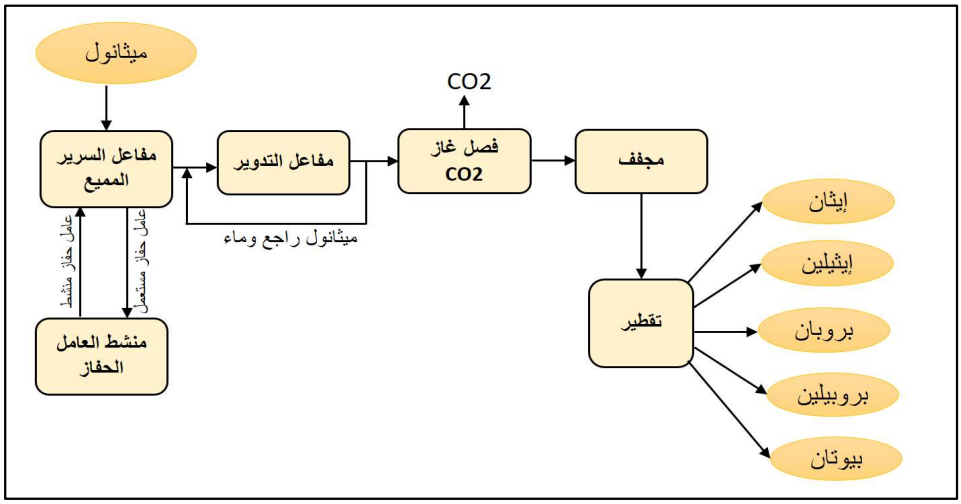
يدخل الميثانول إلى مفاعل السرير المميع، حيث تتحرك جزيئات العامل الحفاز بشكل حر داخل المفاعل، ولا تتجمع في منطقة محددة، كما يزود المفاعل بدارة تنشيط للعامل الحفاز ليعاد استخدامه.

يعمل المفاعل في درجة حرارة تصل إلى 350 °م، وضغط 0.2 ميغا باسكال. تتكون منتجات المفاعل من مزيج من الإثيلين C_2H_4، والبروبيلين C_3H_6، والميثانول غير المتفاعل CH_3OH، والماء H_2O، وغاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2، وبعض الهيدروكربونات الأخرى، مثل الإيثان C_2H_6، والبروبان C_3H_8، والبيوتان C_4H_{10}، وسلاسل هيدروكربونية أثقل من البيوتان (C_4+) .

يسحب الميثانول غير المتفاعل الممزوج بالماء إلى عملية تبريد وتكثيف لتحويله إلى سائل، ثم يعاد المزيج المتكاثف إلى مفاعل السرير المميع لتحويله إلى أوليفينات مرة أخرى. أما العامل الحفاز المستعمل فيسحب من المفاعل إلى وعاء تنشيط لحرق فحم الكوك المترسب عليه بواسطة الهواء الساخن، ثم يعاد إلى مفاعل السرير المائع. وتتكرر هذه العملية باستمرار. (Hurd, D., Park, S., & Kan, J., 2014)

تخضع الأوليفينات الخارجة من مفاعل التدوير لعمليات معالجة أخرى بهدف تخليصها من ثاني أوكسيد الكربون وضغطها بعد ذلك لتحويلها إلى الحالة السائلة، ثم يتم إدخالها إلى مرحلة الفصل بالتقطير، لفصلها إلى إيثان، وبروبان، وبيوتان، وبروبيلين، وإيثيلين. يبين الشكل 2-14 مخطط عملية تحويل الميثانول إلى أوليفينات.

الشكل 2-14: مخطط عملية تحويل الميثانول إلى أوليفينات



المصدر: Hurd, D., Park, S., & Kan, J., 2014

2-4: دوافع تطبيق تقنية تحويل الفحم في صناعة تكرير النفط

أدى تراجع جودة النفط الخام ، وازدياد الأنواع الثقيلة والحاوية على نسب عالية من الشوائب، وما رافقه من تنامي الطلب على المنتجات الخفيفة والعالية الجودة، إلى توجه معظم مصافي النفط في العالم نحو توظيف استثمارات باهظة في مشاريع إنشاء عمليات

تحويل المنتجات الثقيلة غير المرغوبة، الناتجة عن تكرير النفوط الثقيلة، إلى منتجات خفيفة تلبي متطلبات التشريعات الخاصة بحماية البيئة من التلوث. (Gupta, S., et al., 2015)

كما أدى لجوء مصافي النفط إلى توسيع طاقة العمليات التحويلية، لتعظيم الاستفادة من مخلفات التقطير الثقيلة، إلى ظهور كميات فائضة من مخلفات التكرير المنخفضة القيمة كالفحم البترولي والقار، والتي أصبحت تشكل عبئاً على مصافي النفط نظراً لصعوبة تصريفها، علاوة على ظهور التشريعات التي تمنع استخدامها كوقود بسبب احتوائها على نسب عالية من الشوائب الملوثة للبيئة، مما دفع القائمين على صناعة التكرير إلى البحث عن سبل لتصريف هذه المخلفات بطرق آمنه.

حظيت فكرة تطبيق عملية تغويز الفحم البترولي والزيوت الثقيلة اهتماماً ملحوظاً كإحدى الوسائل الممكنة لتصريف مخلفات التكرير الثقيلة، وذلك نظراً للفوائد العديدة التي يمكن أن تحصل عليها صناعة تكرير النفط، منها ما هو تقني، ومنها ما هو اقتصادي. (Sudero, M., et al., 2009)

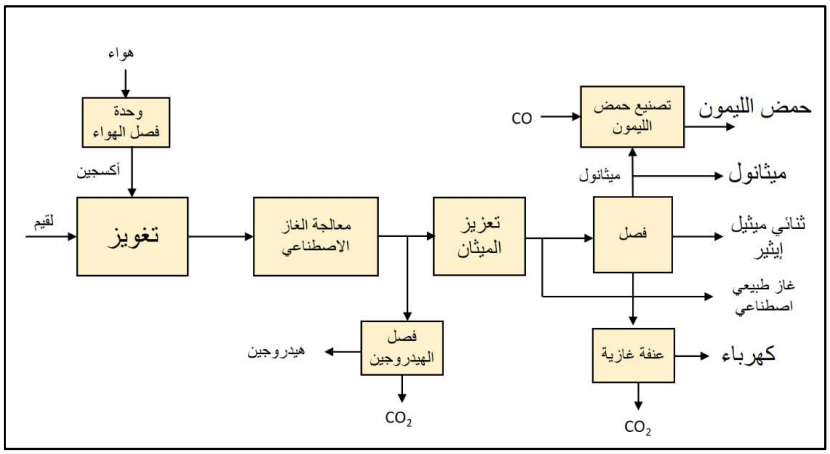
2-4-1: تحسين ربحية صناعة تكرير النفط

أدى ارتفاع تكاليف الإنشاء إلى تصنيف تقنية تحويل الفحم إلى سوائل على أنها غير مجدية اقتصاديا منذ عقود طويلة، في معظم مناطق العالم، وخصوصاً في المناطق التي تمتلك احتياطيات كبيرة من الغاز الطبيعي، إلا أن الدراسات الإحصائية التي أجريت في العقدين الماضيين أشارت إلى حدوث ارتفاع ملحوظ في عدد وحدات تحويل الفحم إلى سوائل في العالم، وأن حوالي 15% من إجمالي طاقة عمليات التغويز، المخطط إنشاؤها في السنوات الخمس القادمة، تعتمد على الفحم البترولي كلقيم باعتبارها إحدى الطرق الواعدة لتحويل بواقي التقطير الثقيلة غير المرغوبة إلى منتجات عالية القيمة.

تعود الفوائد الاقتصادية لتطبيق تقنية التغويز في مصافي النفط إلى المرونة العالية في تحويل أنواع عديدة من اللقائم الأحفورية أوالمتجددة، أو المخلفات الصلبة إلى غاز

اصطناعي (Abadie, L., & Chamorro, J., 2009) ، فقد أدى تنامي الطاقة الإنتاجية لوحدات التفحيم المؤجل في مصافي العالم إلى وجود فائض في إنتاج الفحم البترولي، فأصبح يعتبر أحد المنتجات الثانوية التي تشكل عبئاً ثقيلاً على البلدان المنتجة، إلا أن هذه الحالة تغيرت بعد تطبيق تقنية تحويل الفحم إلى سوائل التي أتاحت الفرصة أمام مصافي النفط لتحويل الفحم البترولي إلى منتجات خفيفة عالية القيمة قابلة للاستخدام كوقود في وسائل النقل، علاوة على إمكانية تحويله إلى غاز طبيعي اصطناعي نظيف يمكن استخدامه كوقود بديل للغاز الطبيعي لتوليد الطاقة الكهربائية، وبخار الماء، وإنتاج الهيدروجين، وإنتاج الكيماويات في مجمع واحد، أو ما يسمى بالتوليد المتعدد الأهداف Polygeneration يبين الشكل 2-15 مخطط عمليات التوليد المتعدد الأهداف.

الشكل 2-15: مخطط عمليات التوليد المتعدد الأهداف



المصدر: Bajura, A., & Eyring, E., 2016

قامت شركة أميك فوستر ويلر AMEK-FosterWheeler بإجراء دراسة مقارنة بين ربحية عدد من خيارات استغلال الفحم البترولي في مشروع إنشاء مجمع تغويز الفحم البترولي المنتج من وحدة التفحيم في إحدى مصافي النفط في منطقة الشرق الأوسط، تبلغ طاقتها 100 ألف برميل في اليوم، وكمية الفحم البترولي المنتج 5.75 طن/اليوم، وبفرض سعر زيت الوقود الثقيل 80 دولار أمريكي للبرميل، وسعر الفحم البترولي 60 دولار

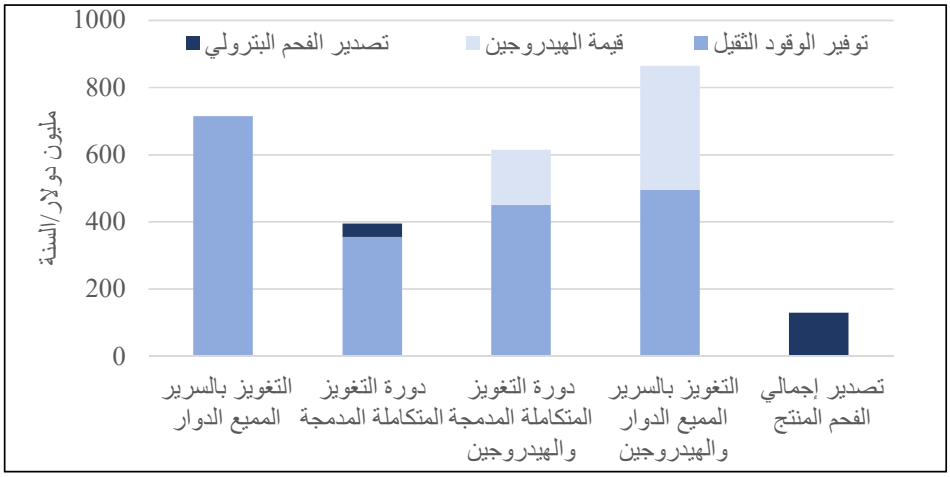
أمريكي للطن، وسعر الهيدروجين 2000 دولار أمريكي للطن، حيث تم حساب مقدار الوفر الناتج من تكلفة زيت الوقود الثقيل من خلال الخيارات التالية:

- "حالة الأساس" توليد الطاقة الكهربائية بمحطة تعتمد على حرق الوقود الثقيل، وبيع الفحم البترولي المنتج للتصدير.
- توليد الطاقة الكهربائية في محطة التغويز بالسرير المميع الدوار [1]
- توليد الطاقة الكهربائية في محطة التغويز بالسرير المميع الدوار، وإنتاج الهيدروجين.
- توليد الطاقة الكهربائية بدورة التغويز المتكاملة المدمجة IGCC.
- توليد الطاقة الكهربائية بدورة التغويز المتكاملة المدمجة IGCC وإنتاج الهيدروجين.

أشارت نتائج الدراسة إلى أن توليد الطاقة الكهربائية بدورة التغويز المتكاملة المدمجة IGCC وإنتاج الهيدروجين هو الخيار الأكثر ربحية مقارنة بالخيارات الأخرى. (Beeston, S., 2015) يبين الشكل 2-16 مقارنة اقتصادية لخيارات استغلال الفحم البترولي في مصافي النفط.

[1] Circulating Fluidized Bed Gasifier

الشكل 2-16: مقارنة اقتصادية بين خيارات استغلال الفحم البترولي



المصدر: Beeston, S., 2015

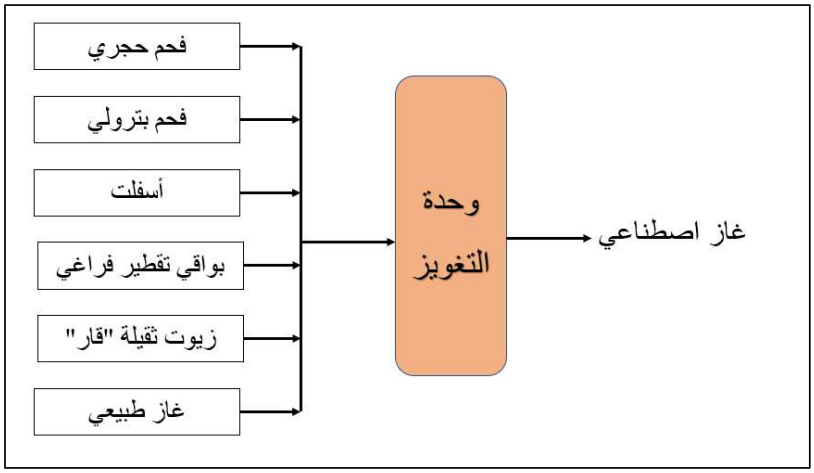
2-4-2: تعزيز مرونة تكرير النفوط الثقيلة

أدى ارتفاع إمدادات الأنواع الثقيلة من النفط الخام، وتراجع معدل إنتاج أنواع النفط الخام الخفيف في الأسواق العالمية إلى دفع العديد من مصافي النفط في معظم مناطق العالم إلى تعزيز قدرتها على تكرير هذه الأنواع للاستفادة من فارق السعر في تحسين الربحية. ونظراً لارتفاع نسبة المخلفات الثقيلة التي تنتج من تكرير النفط الخام الثقيل، كالفحم البترولي والقار والأسفلت، ازدادت الحاجة إلى تطوير تقنيات حديثة لتحسين الاستفادة من هذه المنتجات وتحويلها إلى منتجات عالية القيمة، يمكن أن تساهم في تحسين الأداء الاقتصادي لصناعة تكرير النفط بطريقة آمنة وغير ضارة بالبيئة.

(Santos, A., da Silva, R., & Reino, M., 2015)

كما يعزز أهمية دور تقنية تحويل الفحم في صناعة التكرير إمكانية استخدام لقائم أخرى رخيصة من خارج المصفاة كالفحم الحجري، والغاز الطبيعي. يبين الشكل 2-17 أنواع لقائم عملية التغويز في مصفاة النفط. (Bajura, A., & Eyring, E., 2016)

الشكل 2-17: لقائم وحدة التغويز في مصفاة النفط



المصدر: Huskey, T., 2009

تجدر الإشارة إلى أن دمج عملية تحويل الفحم البترولي إلى سوائل مع عمليات مصافي النفط لا يتطلب إجراء تعديلات جوهرية على سير عمليات التكرير، علاوة على أن تقنية التغويز تساهم في تحسين العائد الاقتصادي لمشاريع تطوير المصفاة من خلال تعزيز فرص تكرير أنواع ثقيلة من النفط الخام.

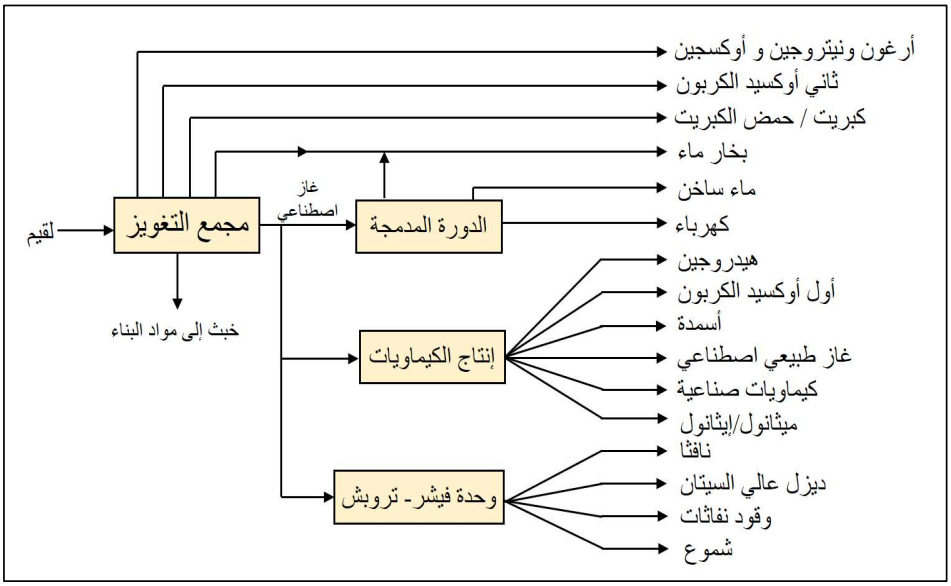
2-4-3: الحصول على منتجات عالية القيمة

تتميز عملية التغويز بإمكانية إنتاج سوائل هيدروكربونية عالية القيمة يمكن إضافتها إلى منتجات المصفاة، نظراً لتطابق مواصفاتها وخصائصها مع مواصفات الوقود المنتج من تكرير النفط، علاوة على ما تقدمه هذه العملية من منتجات متنوعة ذات أهمية كبيرة للمصفاة، كالهيدروجين، وبخار الماء، والكهرباء، والمنتجات الكيماوية (ميثانول، أمونيا، وغيرها.....).

ساهمت التطورات الحديثة في تنويع منتجات تقنية التغويز في مصافي النفط ومجالات استخدامها. فبعد أن كان الدور الرئيسي للغاز الاصطناعي المنتج من عمليات تحويل الفحم في العقود الأولى للقرن الماضي هو الحصول على وقود لتدفئة المنازل،

أصبح من الممكن تحويل الغاز إلى وقود سائل يستخدم في وسائل النقل بعملية فيشر-تروبش، ثم تطورت عملية التحويل بحيث يمكن إنتاج لقائم لصناعة البتروكيماويات، أو لإنتاج الهيدروجين اللازم لعمليات المعالجة الهيدروجينية في مصافي النفط، إضافة إلى توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الغاز الاصطناعي كوقود في وحدات دورة التغويز المتكامل المدمجة IGCC. (Jacobs, 2015) يبين الشكل 2-18 أنواع منتجات مجمع التغويز في مصافي تكرير النفط.

الشكل 2-18: منتجات مجمع التغويز في مصافي تكرير النفط



المصدر: Shilling, N., 2010

يمكن لعملية التغويز أن تعزز إنتاج مصافي النفط من المنتجات البترولية الخالية من الشوائب الملوثة للبيئة، وذلك من خلال تحويل الغاز الاصطناعي المنتج من مفاعل التغويز إلى سوائل هيدروكربونية، كالميثانول، والأمونيا، والهيدروكربونات البارافينية الخالية من الكبريت، والتي تصنف على أنها وقود ديزل يحتوي على نسبة منخفضة جداً من الكبريت ULSD، ويمكن مزجها مع منتج المصفاة للمساعدة في تلبية متطلبات التشريعات البيئية التي تحظر استخدام الوقود الحاوي على نسب عالية من الشوائب

الكبريتية الملوثة للبيئة. كما يمكن لتقنية التغويز أن تساهم في تعويض النقص الذي يحصل في كمية بعض المنتجات المهمة في المصافي نتيجة تطبيق بعض متطلبات التشريعات البيئية، مثل قرار حظر استخدام مركبات الرصاص كمادة مضافة لتعزيز الرقم الأوكتاني الذي أدى إلى حدوث نقص في كمية إنتاج المصفاة من الغازولين.

كما يمكن لتقنية تحويل الفحم البترولي والزيوت الثقيلة الرخيصة الثمن في المصفاة إلى منتجات سائلة خفيفة أن تساهم في مواجهة مشكلة النقص في نسبة إنتاج الغازولين والمنتجات الخفيفة الأخرى التي تعاني منها بعض المصافي، علاوة على أن عملية التغويز تمتاز بمرونة عالية في إمكانية تغيير نوع المنتجات، بتطبيق تعديلات بسيطة على الوحدة. فعلى سبيل المثال يمكن تغيير نوع مكونات منتج عملية فيشر تروبش بتغيير نوع العامل الحفاز المستخدم في المفاعل.

2-4-4: توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء

تستهلك مصافي النفط كميات كبيرة من الغاز الطبيعي كوقود لتوليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء اللازمين لعمليات التكرير. وقد أثبتت التجارب العملية أن تطبيق تقنية دورة التغويز المتكاملة المدمجة IGCC تساهم في تحسين ربحية المصفاة من خلال استبدال الغاز الطبيعي المستخدم كوقود في العنفة بالغاز الاصطناعي المنتج من وحدة التغويز، حيث أن استبدال نوع الوقود لا يحتاج سوى إلى تعديلات بسيطة لتتناسب مع الفرق في القيمة الحراري بين الغاز الطبيعي والغاز الاصطناعي.

لا تقتصر فوائد دمج تقنية التغويز في عمليات مصافي النفط على توفير إمكانية حصول المصفاة على معظم كمية الوقود اللازمة لعمليات التكرير من منتجات عملية تحويل الفحم البترولي والمخلفات الثقيلة الثانوية بل تساهم أيضاً في خفض استهلاك الطاقة وترشيد استخدامها، علاوة على الاستفادة من عوائد تصدير الطاقة الكهربائية الفائضة التي توفرها دورة التوليد المتكاملة المدمجة إلى الشبكة العامة. (Goldhammer, B., et al., 2008)

2-4-5: الحصول على الهيدروجين بتكلفة منخفضة

تواجه مصافي النفط في العالم منذ مطلع تسعينيات القرن العشرين ضغوطاً متنامية لإجراء تعديلات صارمة على منتجاتها، مثل خفض نسبة الكبريت في الوقود المستخدم في وسائل النقل مثل الغازولين والديزل إلى مستويات منخفضة جداً تصل إلى أقل من 5 جزء في المليون ، وذلك في إطار تلبية متطلبات التشريعات البيئية التي تفرض مواصفات خاصة للمنتجات البترولية بحيث تكون خالية من الشوائب الملوثة للبيئة، مما أدى إلى تنامي حاجة مصافي النفط إلى إنشاء وحدات معالجة هيدروجينية جديدة، وبالتالي ارتفع معدل استهلاك المصافي من الهيدروجين الباهظ التكلفة. وقد أدى ذلك إلى تحميل المصافي أعباء مالية ضخمة نتيجة ارتفاع تكلفة إنتاج الهيدروجين. كما ساهم توجه العديد من مصافي النفط في العالم نحو تكرير نفوط ثقيلة وحامضية تحتوي على نسب مرتفعة من الشوائب الكبريتية في مضاعفة معدلات استهلاك الهيدروجين. كل هذه العوامل ساهمت في تنامي الاهتمام بتقنية تغويز الفحم البترولي باعتبارها وسيلة اقتصادية لتوفير الهيدروجين بتكاليف أدنى مقارنة بعمليات التهذيب البخاري[1] للغاز الطبيعي أو النافثا. (Kerester, A., 2014)

أشارت دراسة اقتصادية، لتقييم جدوى إنشاء مجمع تغويز مخلفات التكرير في مصفاة نفط لإنتاج الهيدروجين إضافة إلى الطاقة الكهربائية. أجريت الدراسة بالتعاون بين جامعة هاجيتيب التركية، وجامعة ووترلو الكندية. (Orhan , O., et al, 2014)

يتكون مجمع التغويز من مرحلة تحضير اللقيم، حيث يطحن البترولي الفحم إلى مسحوق ناعم ثم يخلط مع الماء لتشكيل المزيج الطيني. يدخل المزيج إلى المغوز بدرجة حرارة 1371 °م وضغط 44.8 بار، ثم يسحب الغاز الاصطناعي الخارج من المغوز إلى مبرد، حيث يستفاد من الحرارة في إنتاج بخار الماء. بعد ذلك يمرر الغاز الاصطناعي إلى مرحلة فصل الجسيمات الدقيقة ثم مرحلة نزع الأمونيا، ومنها إلى مفاعل تعظيم نسبة

---

[1] Naphtha Steam Reformer

الهيدروجين من خلال تفاعل غاز أول أوكسيد الكربون مع الماء، ثم مرحلة نزع كبريتيد الهيدروجين وغاز ثاني أوكسيد الكربون، ومنها إلى في وحدة استرجاع الكبريت (كلاوس) حيث يتم تحويل الغاز الحامضي إلى كبريت حر. بعد ذلك يحول الغاز المعالج إلى مرحلة تحسين جودة الهيدروجين المنتج والتي يتم فيها تنقية الهيدروجين وتحويل الكمية المتبقية من أول أوكسيد الكربون إلى ميثان.

يسحب الغاز الاصطناعي النظيف إلى مرحلة الحرق لتوليد الطاقة الكهربائية، وتؤخذ غازات الاحتراق الناتجة إلى عنفة لتوليد الطاقة الكهربائية، ويستفاد من حرارة غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة في توليد بخار الماء. أما البخار المنتج فيسحب إلى مجموعة عنفات بخارية لتوليد الطاقة الكهربائية.

تبلغ الطاقة الإنتاجية للمجمع 175 طن/اليوم من الفحم البترولي بكلفة استثمارية إجمالية 1.07 مليار دولار أمريكي، لإنتاج الكهرباء بمعدل 437 ميغا وات/ساعة، وهيدروجين بمعدل 12850 كغ/الساعة.

بلغت التكلفة الاستثمارية المباشرة وغير المباشرة للمشروع حوالي 1.07 مليار دولار أمريكي، وتكاليف التشغيل 115.58 مليون دولار في السنة.

أشارت الدراسة إلى أن كلفة إنتاج الطاقة الكهربائية من دورة التغويز المتكاملة المدمجة تبلغ 3.45 سنت أمريكي لكل كيلو وات ساعة، وكلفة الهيدروجين 1.38 دولار أمريكي لكل كيلو غرام. يبين الجدول 2-6 المؤشرات الاقتصادية لحالتي تشغيل مشروع تغويز الفحم البترولي.

الجدول 2-6: المؤشرات الاقتصادية لحالتي تشغيل مشروع تغويز الفحم البترولي

	100% كهرباء	50:50 كهرباء: هيدروجين
الأرباح (دولار أمريكي/السنة)	127580000	153475000
زمن استرداد رأس المال (سنة)	8.3	6.9

المصدر: Orhan , O., et al, 2014

2-4-6: تحسين التزام المصفاة بمتطلبات التشريعات البيئية

أشارت العديد من الدراسات إلى أن كمية الانبعاثات المنطلقة من تغويز الفحم البترولي في مجمع توليد الطاقة الكهربائية أدنى مقارنة بحالة استخدام نفس كمية الفحم البترولي كوقود في محطات توليد الطاقة الكهربائية، وذلك بسبب توفر إمكانية تحويل الكبريت الموجود في اللقيم إلى كبريت حر يمكن نقله بسهولة إلى خارج المصفاة. (Middleton, D., 2014)

كما أن الخبث المكون من الكربون غير المتفاعل والمعادن الثقيلة والرماد، يمكن فصله بشكل مباشر من المغوز، والاستفادة منه في استرجاع المعادن الثمينة بطريقة أسهل من منظومة الاحتراق المباشر، فضلاً عن إمكانية التقاط أكثر من 95% من الزئبق الموجود في اللقيم. (Khosravi, M., & , Anil Khadse, A., 2013)

تساهم تقنية التغويز في خفض الأثر البيئي لمحطات توليد الطاقة الكهربائية، من خلال تطبيق دورة التغويز المتكامل المدمجة IGCC التي تتميز بكفاءة حرارية عالية عند استخدام الغاز الاصطناعي كوقود في العنفة الغازية مقارنة بتقنيات توليد الطاقة الكهربائية الأخرى التي تستخدم الفحم المسحوق كوقود Pulverized Coal، وبالتالي ينعكس ذلك على خفض نسبة انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون، علاوة على أن انبعاثات أكاسيد الكبريت SOx تكون أخفض من خلال نزع الكبريت من الغاز الاصطناعي قبل إدخاله إلى العنفة.

كما يساهم تطبيق تقنية دورة التغويز المتكامل المدمجة IGCC في حفظ الموارد الطبيعية بما تتميز به من انخفاض في معدل استهلاك الماء مقارنة بتقنية حرق الفحم المباشر كوقود، حيث أن إمكانية نزع الكبريت من الغاز الاصطناعي قبل دخوله إلى محطة دورة التغويز المتكاملة المدمجة يلغي الحاجة إلى تركيب منظومة نزع أكاسيد الكبريت من غازات الاحتراق التي تستهلك كميات كبيرة من المياه. (Barnes, I., 2011)

2-4-6-1:الانبعاثات الهوائية

أشارت مجموعة من التقارير التي أصدرتها مراكز أبحاث استشارية في عام 2010، وأخرى صادرة عن شركات تشغيل مجمعات تغويز الفحم، في كل من الولايات المتحدة الأمريكية واليابان، أن معدل الانبعاثات التي تطلقها معظم مجمعات تغويز الفحم البترولي التي أنشئت في مصافي النفط خلال العقود الثلاث الماضية كانت متوافقة مع متطلبات المعايير الخاصة بضبط الانبعاثات الهوائية الملوثة للبيئة، مقارنة بمحطات توليد الطاقة الكهربائية التي تستخدم حرق الوقود بشكل مباشر. (Tiefenbacher, J., 2010)

تجدر الإشارة إلى أن كفاءة توليد الطاقة الكهربائية في وحدات دورة التغويز المتكامل المدمجة IGCC أعلى مقارنة بالطرق الأخرى، علاوة على سهولة تركيب منظومة التقاط وخزن غاز ثاني أوكسيد الكربون، يمكن التقاط أكثر من 90% من غاز ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الغاز الاصطناعي المنتج من عملية تغويز الفحم ونقله إلى أماكن الاستهلاك أو التخزين. كما أن عملية حرق الوقود ينتج عنها نفايات صلبة ضارة بالبيئة، بينما في عملية التغويز يمكن فصل كامل كمية المركبات الكبريتية الموجودة في اللقيم تقريباً من خلال معالجة الغاز الاصطناعي المنتج من تقنية التغويز بطريقة كلاوس وتحويلها إلى كبريت حر قابل للتصدير بشكل آمن لاستخدامه في الصناعة، كإنتاج حمض الكبريت، أو كمبيد حشري زراعي. ولتقييم الأثر البيئي لوحدة إنتاج الطاقة الكهربائية بطريقة دورة التغويز المتكامل المدمجة مع وحدات توليد الكهرباء بتقنيات أخرى مثل وحدة الاحتراق بالسرير المميع تحت الضغط الجوي AFBC[1] بوجود وحدة خفض انتقائي بدون عامل حفاز SNCR[2]، ووحدة الاحتراق بالسرير المميع المضغوط PFBC[3] بوجود وحدة

---

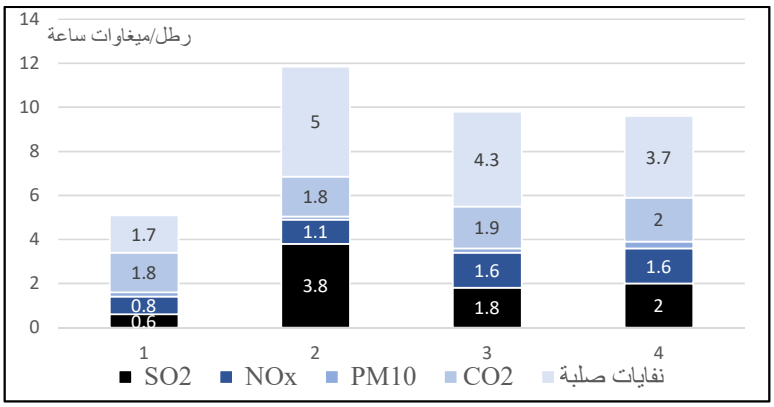
[1] Atmospheric Fluidized Bed Combustion

[2] Selective Non-Catalytic Reduction

[3] Pressurized Fluidized Bed Combustion

خفض انتقائي بدون عامل حفاز SNCR[1]، ووحدة توليد كهرباء بالفحم المسحوق بوجود وحدة نزع كبريت FGD[2] ومنظومة خفض انتقائي بالعامل الحفاز SCR تبين أن كمية الانبعاثات والملوثات الصلبة التي تنتج من وحدة إنتاج الطاقة الكهربائية بطريقة دورة التغويز المتكامل المدمجة بدون منظومة خفض انتقائي بالعامل الحفاز هي أدنى من الوحدات الأخرى. يبين الشكل 2-19 مقارنة كمية الانبعاثات والنفايات الصلبة من أنواع محطات توليد الطاقة الكهربائية.

الشكل 2-19: مقارنة كمية الانبعاثات والنفايات الصلبة من أنواع محطات توليد الطاقة الكهربائية



المصدر: (Ratafia, J., et al., 2002)

1. وحدة دورة التغويز المتكامل المدمجة IGCC بوجود منظومة خفض انتقائي بالعامل الحفاز SCR[3] .
2. وحدة الاحتراق بالسرير المميع بالضغط الجوي AFBC[4] بوجود وحدة خفض انتقائي بدون عامل حفاز SNCR[5]
3. وحدة الاحتراق بالسرير المميع المضغوط PFBC[6] بوجود وحدة خفض انتقائي بدون عامل حفاز SNCR[7]
4. وحدة توليد كهرباء بالفحم المسوق بوجود وحدة نزع كبريت FGD[8] ومنظومة خفض انتقائي بالعامل الحفاز SCR

---

[1] Selective Non-Catalytic Reduction
[2] Flue Gas Desulfurization
[3] Selective Catalytic Reduction
[4] Atmospheric Fluidized Bed Combustion
[5] Selective Non-Catalytic Reduction
[6] Pressurized Fluidized Bed Combustion
[7] Selective Non-Catalytic Reduction
[8] Flue Gas Desulfurization

2-4-6-2: النفايات الصلبة

لتقنية التغويز دور مهم في خفض كمية النفايات الصلبة التي تنتج عن عمليات التكرير، حيث أن كمية النفايات الصلبة والمياه الملوثة الناتجة عن وحدة دورة التغويز المتكامل المدمجة أدنى بمعدل 30-50% مقارنة بمحطات توليد الطاقة الكهربائية الأخرى، وذلك نظراً لإمكانية نزع هذه النفايات في عملية التغويز بمعدات أقل تعقيداً من المعدات المستخدمة في نزع المعادن في عملية الحرق المباشر للفحم كوقود، فضلاً عن أن الرماد الناتج عن عملية التغويز يمكن تصريفه بسهولة دون أي أثر سلبي على البيئة. فعلى سبيل المثال، يمكن التقاط أكثر من 95% من كمية الزئبق باستخدام مفاعل بسرير ثابت يحتوي على الكربون المنشط Activated Carbon. (Kerester, A., 2014)

كما لتقنية التغويز دور في توفير التكاليف التي تدفعها مصافي النفط لتصريف النفايات المنتجة من عمليات التكرير، كالحمأة المنتجة من وحدات معالجة المياه الملوثة، والرواسب الزيتية الناتجة عن تنظيف قاع خزانات النفط والمنتجات البترولية الثقيلة، والعوامل الحفازة التالفة[1].(Orr, D. ,& Maxwell, D., 2000)

يساهم تطبيق تقنية تغويز الفحم البترولي في مصافي النفط في خفض الأثر البيئي للمصفاة الناتج عن نقل ومناولة الفحم البترولي المنتج من عمليات التفحيم المؤجل وتصريفه بطريقة آمنة، كما تخفف من تكاليف الإجراءات الوقائية أثناء عمليات النقل والتخزين.

تجدر الإشارة إلى أنه يمكن الاستفادة من نفايات عملية التغويز، كالرماد والخبث بدلاً من دفنهما في التربة، وذلك من خلال استرجاع المعادن الثمينة، كالفناديوم والنيكل، وبالتالي لا يبقى من العملية مخلفات صلبة تحتاج إلى عمليات مكلفة للتخلص منها.

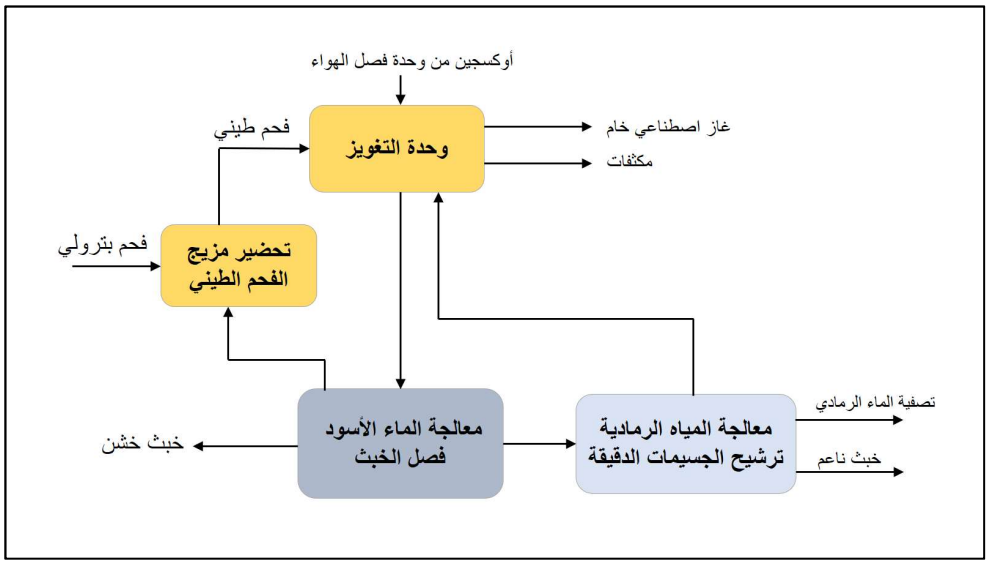
---

[1] Spent Catalysts

2-4-6-3: المياه الملوثة

تنتج عن عمليات مناولة ونقل وتخزين الفحم البترولي في المصفاة كمية كبيرة من المياه الملوثة بذرات الفحم الدقيقة، يعاد استخدام الجزء الأكبر منها، بينما يتم التخلص من الجزء الباقي بعد إخضاعها لعمليات ترشيح ومعالجة مكلفة حتى تصل إلى مواصفات متوافقة مع متطلبات التشريعات البيئة. أما في حال وجود وحدة تغويز في المصفاة فيمكن التخلص من المياه الملوثة بطريقة آمنة باستخدامها في عملية تحضير الفحم الطيني الداخل إلى مفاعل التغويز بعد ترشيحها وفصل الجسيمات الدقيقة منها. يبين الشكل 2-20 مخطط تصريف مياه مناولة الفحم البترولي في وحدة التغويز. (Gupta, S., et al., 2015)

الشكل 2-20: مخطط تصريف مياه مناولة الفحم البترولي في وحدة التغويز



المصدر: Gupta, S., et al., 2015

2-4-7: الاستفادة من فرص تكامل مجمع التغويز مع عمليات المصفاة

يتكامل مجمع التغويز مع وحدات مصفاة النفط من خلال عدة مجالات، أولها التكامل مع عمليات التكرير، والتي تساهم في تحسين الأداء التشغيلي والاقتصادي لمصافي النفط، من خلال تحسين كفاءة استخدام الطاقة، وخفض التكاليف الاستثمارية والتشغيلية نتيجة

المشاركة في الوحدات المساندة، كوحدة استرجاع الكبريت، ووحدة معالجة الغاز الحامضي، ووحدة إنتاج الهيدروجين. (Penrose, C., et al., 1999)

تتوقف الاستفادة من فرص تكامل مجمع التغويز مع عمليات مصفاة النفط على مدى توفر الطاقة الإنتاجية لبعض العمليات الموجودة في المصفاة. فعلى سبيل المثال، في حال وجود طاقة إنتاجية احتياطية كافية من وحدة استرجاع الكبريت، أو توفر إمكانية تطويرها لرفع طاقتها الإنتاجية، يمكن في هذه الحالة ربط مجمع التغويز مع الوحدة القائمة بدلاً من إنشاء وحدة جديدة خاصة بالمجمع. من العمليات الأخرى التي يمكن أن تشترك فيها مع وحدات المصفاة، منها وحدة معالجة المياه الملوثة، ووحدة مياه التبريد، والوحدات الخدمية الأخرى.

2-4-7-1: تكامل مجمع التغويز مع عمليات تحويل مخلفات التكرير الثقيلة

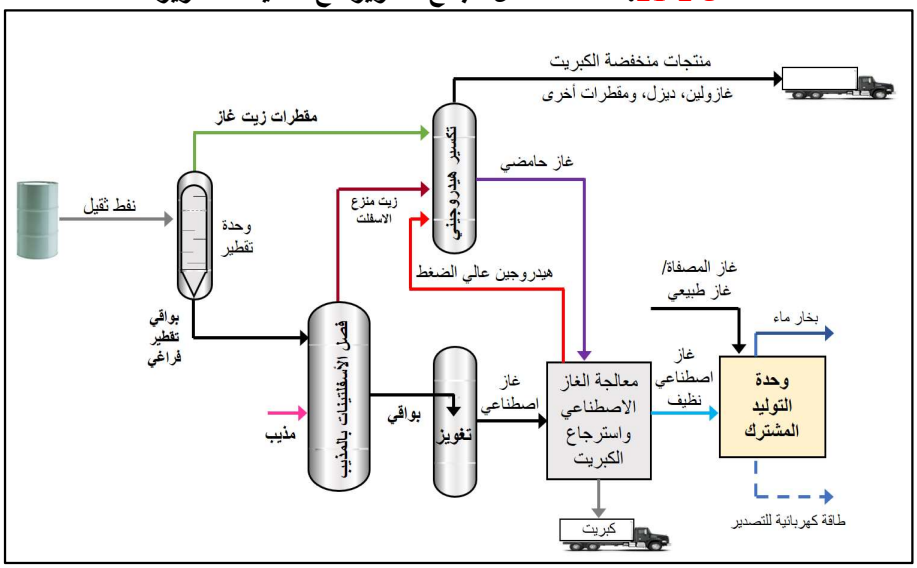
تساهم العمليات التحويلية في تحسين الأداء الاقتصادي للمصفاة من خلال تحويل مخلفات التكرير الثقيلة إلى منتجات خفيفة عالية القيمة. وقد أشارت دراسة أجرتها شركة شل غلوبال سوليوشنز[1] ، إلى أن إنشاء وحدة تكسير حراري عميق[2] في إحدى المصافي الهولندية أدى إلى رفع هامش الربح الإجمالي Gross Margin من 28 إل ى 34 دولار أمريكي. وعند إضافة وحدة التغويز أدى إلى رفع هامش الربح الإجمالي إلى 97 دولار أمريكي لكل طن من مخلفات التكرير الثقيلة الداخلة إلى وحدة التكسير الحراري العميق، مستفيدة من القيمة المضافة التي جاءت من تكامل مجمع التغويز مع وحدة التكسير الحراري. يبين الشكل 2-21 مخطط تكامل مجمع التغويز مع عمليات التكرير في مصفاة تكرير النفط. كما يبين الشكل 2-22 مقارنة بين هامش الربح الإجمالي لتكامل مجمع التغويز مع العمليات التحويلية.

---

[1] Shell Global Solutions

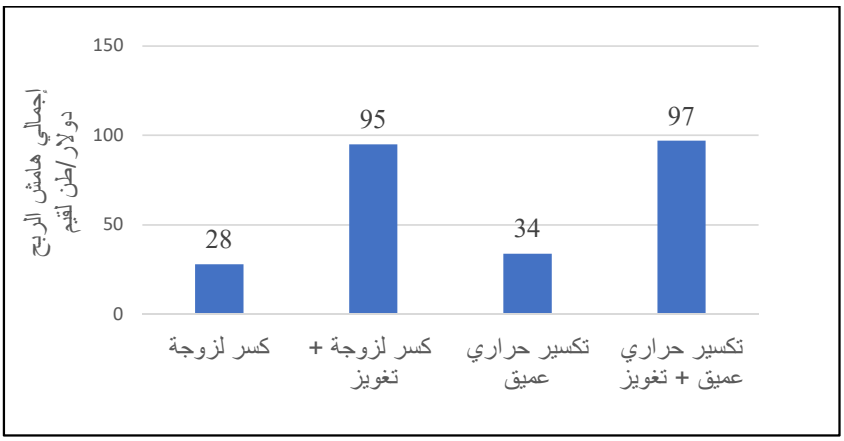
[2] Deep Thermal Cracking

الشكل 2-21: مخطط تكامل مجمع التغويز مع عمليات التكرير



المصدر: Penrose, C., et al., 1999

الشكل 2-22: مقارنة بين هامش الربح الإجمالي لتكامل مجمع التغويز مع العمليات التحويلية



المصدر: Zuideveld, P., Chen, Q., and Bosch, P., 2000

2-7-4-2: تكامل الوحدات المساندة

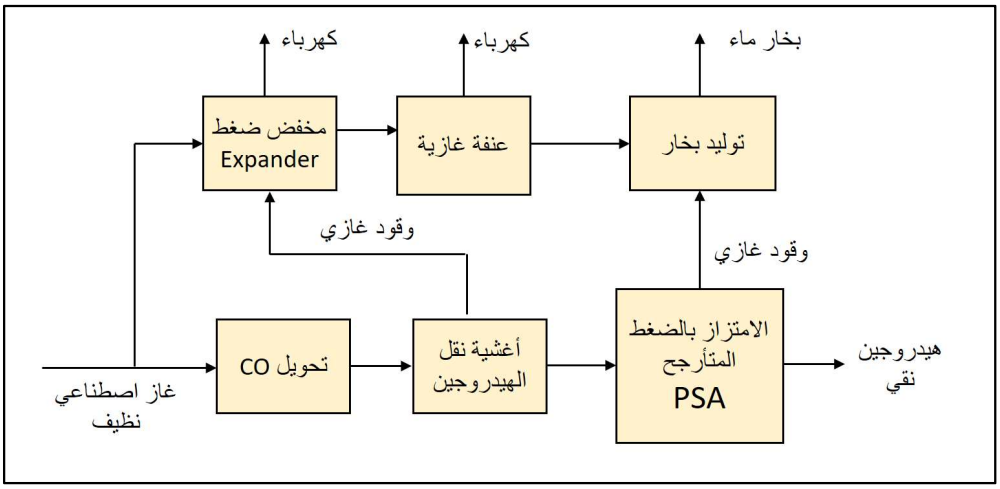
تشترك كل من عمليات التكرير في مصفاة النفط ووحدات مجمع التغويز في حاجتها إلى العديد من الوحدات المساندة، كوحدات تنقية الهيدروجين، ووحدة فصل الهواء، ووحدات معالجة المياه الملوثة، وبالتالي فإن إنشاء مجمع التغويز في مصفاة النفط يعزز

إمكانية خفض التكاليف الاستثمارية، وتكاليف التشغيل والصيانة من خلال الاستفادة من التكامل بين الوحدات المساندة، أو استغلال الطاقة الفائضة في الوحدات القائمة في المصفاة إن وجدت. (Marano, J., 2003)

- **تكامل وحدات تنقية الهيدروجين**

يساهم التكامل بين مجمع التغويز ووحدات إنتاج الهيدروجين القائمة في المصفاة في تعزيز الاستفادة من الغازات الفائضة عن عملية تنقية الهيدروجين من الغاز الاصطناعي المنتج من مجمع التغويز بطريقة الامتصاص بالضغط المتأرجح من خلال استخدامه كوقود في وحدة إنتاج بخار الماء. كما يمكن تحويل الغاز غير القابل للنفاذ من الغشاء Non-Permeate في وحدة غشاء نقل الهيدروجين HTM إلى وحدة إفلات الضغط Expander للاستفادة منه في توليد الطاقة الكهربائية. يبين الشكل 2-23 تكامل وحدات تنقية الهيدروجين مع وحدات توليد الطاقة.

الشكل 2-23 تكامل وحدات تنقية الهيدروجين مع وحدات توليد الطاقة



المصدر: Marano, J., 2003

- **تكامل وحدات فصل الهواء**

تستهلك المصفاة كمية كبيرة من النيتروجين لعمليات عزل وتنظيف المعدات والخزانات قبل تسليمها لعمليات الصيانة، أما الأوكسجين فيعتبر منتجاً ثانوياً حيث أن فرص استخدامه محدودة في عمليات التكرير، بينما يعتبر من المواد الأساسية في تفاعلات عملية التغويز، وبالتالي فإن إنشاء مجمع التغويز في المصفاة يوفر فرصة الاستفادة من الأوكسجين الفائض بدلاً من تصريفه إلى الهواء الجوي.

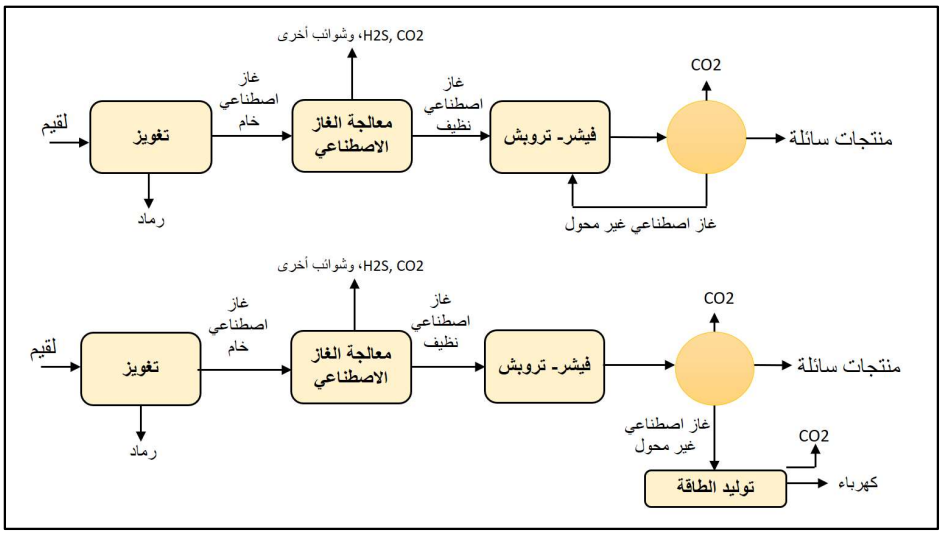
- **تكامل وحدة معالجة المياه الحامضية**

تعتبر وحدة معالجة المياه الحامضية في مصافي النفط من الوحدات المساندة الضرورية لنزع الشوائب والملوثات من المياه الخارجة من عمليات التكرير. وفي حال إنشاء مجمع التغويز في المصفاة يمكن تحويل المياه الحامضية الخارجة منه إلى وحدة معالجة المياه التابعة للمصفاة ، أما في حال عدم توفر طاقة استيعاب فائضة فيمكن دمج الوحدتين في وحدة كبيرة الحجم، وبذلك يمكن خفض تكاليف التشغيل والاستثمار اللازمة عند إنشاء وحدتي معالجة منفصلتين.

- **تكامل المنتجات الثانوية لعملية فيشر- تروبش**

يتأثر مستوى كفاءة عملية فيشر- تروبش بعوامل عديدة منها ما يتعلق بخصائص اللقيم، ومنها ما يتعلق بنوعية العامل الحفاز المستخدم. ولتحسين الكفاءة الإنتاجية للعملية ورفع معدل إنتاج السوائل يتم إرجاع الغاز غير المحول Unconverted gas إلى المفاعل. وقد تلجأ بعض المصافي إلى مسار آخر، يسمى مسار هيكل التوليد المتعدد الأهداف Polygeneration، حيث يتم استخدام الغاز الاصطناعي غير المحول كوقود في محطة دورة التوليد المتكاملة المدمجة لإنتاج الطاقة الكهربائية بدلاً من إرجاعه إلى مفاعل فيشر- تروبش. يبين الشكل 2-24 خيارات استغلال الغاز الاصطناعي غير المحول الخارج من مفاعل عملية فيشر– تروبش.

الشكل 2-24 خيارات استغلال الغاز الاصطناعي غير المحول المنتج من مفاعل فيشر– تروبش



المصدر: Mantripragadaa, H., & Rubina, E., 2009

2-5: تحديات تطبيق تقنية تغويز الفحم البترولي في مصافي النفط

تواجه تقنية التغويز بعض التحديات عند تطبيقها في مصافي النفط، منها تحديات اقتصادية كارتفاع تكاليف الإنشاء والتشغيل، ومنها تقنية تتعلق بخصائص الفحم البترولي، وأخرى بيئية ناتجة عن ارتفاع معدل استهلاك المياه اللازمة لتفاعلات التغويز.

2-5-1: صعوبة تغويز الفحم البترولي

يتطلب اكتمال تفاعلات تغويز الفحم البترولي درجات حرارة أعلى، مقارنة بدرجة حرارة تفاعلات الفحم البيتوميني، ولمواجهة هذه المشكلة تلجأ بعض الشركات إلى مزج الفحم البترولي بنسبة من أنواع الفحم الأخرى. كما أثبتت دراسة قام بها العالمان تايلر وسميث Tyler & Smith أنه يمكن تحسين كفاءة عملية تغويز الفحم البترولي بخفض حجم حبيبات الفحم الداخل إلى المفاعل، وبالتالي يمكن خفض درجة الحرارة اللازمة لإتمام تفاعلات التغويز. (Khosravi, M., & Anil Khadse, A., 2013)

2-5-2: ارتفاع تكاليف الإنشاء والتشغيل

تختلف تكاليف إنشاء وتشغيل مجمع تحويل الفحم إلى سوائل في مصافي النفط تبعاً لنوع عملية التحويل وموقع المشروع، لكنها بشكل عام تعتبر عالية وزمن استرداد رأس المال يصل إلى 7-9 سنوات.

كما ترتبط الجدوى الاقتصادية لمشروع تحويل الفحم إلى سوائل هيدروكربونية بأسعار النفط الخام . فقد أشارت دراسة قامت بإعدادها جامعة ويست فيرجينيا في الولايات المتحدة الأمريكية عام 2016 إلى أن تكلفة إنتاج السوائل الهيدروكربونية من عملية تحويل الفحم البترولي إلى سوائل تبلغ حوالي 25 دولار أمريكي للبرميل، وبالتالي حتى يكون المشروع مجد اقتصادياً يجب أن يكون سعر برميل النفط الخام أعلى من 30 دولار أمريكي.

تجدر الإشارة إلى أنه على الرغم من التطورات المهمة التي أدخلت على تقنية التغويز في العقود الماضية، إلا أنها لا تزال بحاجة إلى المزيد من التحسين، من خلال تطبيق التكنولوجيا المتطورة في المجالات الرئيسية التالية: (Berg, R., 2015)

- خفض تكاليف الاستثمار والتشغيل في وحدات مجمع التغويز.
- ابتكار عوامل حفازة متطورة ذات فعالية أعلى وتكلفة أقل.
- تعظيم الاستفادة من فرص التكامل بين منظومات مجمع التغويز ووحدات المصفاة.
- اختبار منتجات مجمع التغويز، والعمل على تحسين خصائصها، وتعزيز فرص ومجالات استخدامها.
- ابتكار تقنيات فصل جديدة، كالأغشية المرنة Membranes ذات كفاءة أعلى للاستفادة منها في استغلال الغاز الاصطناعي وإنتاج مركبات متنوعة.

الفصـــل الثالث

أمثلة لمشاريع تحويل الفحم إلى سوائل في العالم

3-1: مجمع تغويز مصفاة شل برنيس الهولندية

3-2: مجمع تغويز مصفاة فوجيان

3-2: مجمع تغويز مصفاة إلدورادو -ولاية كنساس- الولايات المتحدة الأمريكية

3-3: مشروع تغويز الفحم البترولي في مصفاة كوفيفيل - كنساس- الولايات المتحدة الأمريكية

3-4: مشروع تغويز مصفاة فاليرو في ولاية ديلاور

3-5: مشروع تغويز كاليفورنيا

3-6: مشروع تغويز مصفاة جامناغار- الهند

3-7: مجمع تغويز فوجيان-الصين

3-8: مجمع التغويز في مصفاة جازان -المملكة العربية السعودية

الفصـــل الثالث

أمثلة لمشاريع تحويل الفحم إلى سوائل في العالم

مقدمة

شـهدت فكرة تطبيق تقنية تحويل الفحم البترولي في مصـافي النفط اهتماماً واسـعاً في تسـعينيات القرن العشـرين، وعلى الرغم من بعض التحديات التي تواجه هذه التقنية كارتفاع تكاليف الإنشـاء والتشـغيل، إلا أنها اعتبرت في تلك الفترة "إحدى تقنيات المستقبل"، نظراً لما تقدمه من فوائد تساهم في تحسين هامش ربحية المصـافي، وتعزيز مرونتها في تكرير أنواع ثقيلة وحامضـية من النفط الخام، علاوة على تمكينها من تلبية الطلب المتنامي على وقود وسائل النقل.

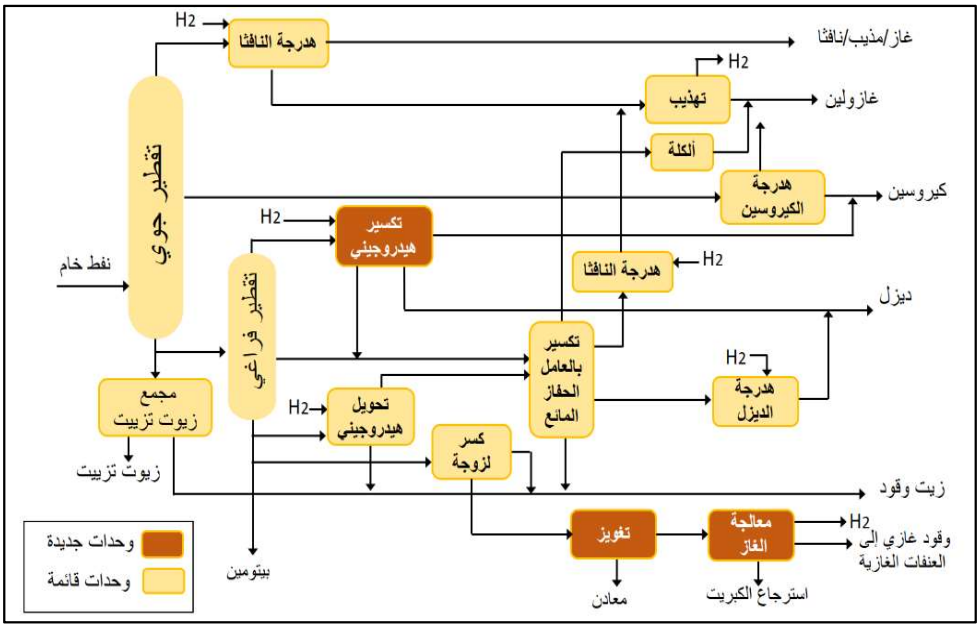
من أكثر العوامل التي ساهمت في انتشار تطبيق تقنية تحويل الفحم إلى سوائل في مصافي النفط كان صدور التشريعات الخاصة بالحد من حرق الوقود الحاوي على نسبة عالية من الشوائب الملوثة للبيئة، مما دفع القائمين على صناعة تكرير النفط إلى البحث عن حلول اقتصادية لتصريف مخلفات التكرير الثقيلة مع المحافظة على الالتزام بمتطلبات التشريعات البيئية الصارمة.

يعرض هذا الفصل بعض الأمثلة العملية لمشاريع تطبيق تقنية تغويز الفحم البترولي في مصافي النفط في مناطق مختلفة من العالم، مع الإشارة إلى الفوائد التي حققها تنفيذ المشروع للمصفاة، والتحديات التي واجهت تنفيذ المشروع، والطرق التي اتبعت لحلها.

3-1: مجمع تغويز مصفاة شل برنيس الهولندية

أنشئ مجمع تغويز مصفاة "شل- برنيس" Shell-Pernis كجزء من مشروع إنشاء وحدة تكسير هيدروجيني، وذلك في إطار خطة خفض إنتاج المصفاة من المخلفات الثقيلة إلى الصفر. يبين الشكل 3-1 مخطط تكامل مشروع التغويز مع وحدات مصفاة برنيس.

الشكل 3-1: مخطط تكامل مشروع التغويز مع الوحدات القائمة في مصفاة برنيس



المصدر: Higman, C., & Eppinger, M., 1994

يعتبر مجمع تغويز مصفاة برنيس أحد أهم المشاريع النموذجية لتقنية التغويز متعدد الأهداف Polygeneration، تبلغ طاقته حوالي 1650 طن/اليوم من المخلفات الثقيلة لوحدة كسر اللزوجة، والحاوية على نسبة عالية من الكبريت والنيتروجين والمعادن. يبين الجدول 3-1 مواصفات لقيم مجمع تغويز مصفاة برنيس.

يهدف مجمع تغويز مصفاة برنيس إلى إنتاج 285 طن/اليوم من الهيدروجين اللازم لوحدات التكسير الهيدروجيني والمعالجة الهيدروجينية، وغاز طبيعي اصطناعي يحتوي على نسبة منخفضة جداً من الكبريت لاستخدامه كوقود بديل للغاز الطبيعي في عنفات

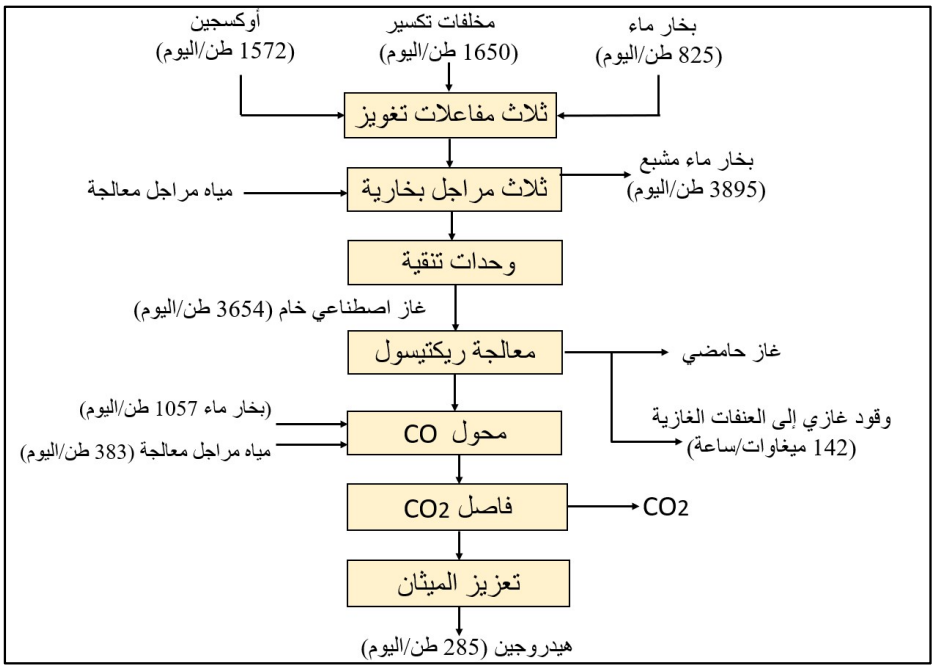
غازية وبخارية لإنتاج الطاقة الكهربائية بمقدار 142 ميجاوات/ ساعة، إضافة إلى بخار الماء اللازم لعمليات التكرير. (Simbeck, D., & Johnson, H., 2001)

الجدول 3-1: مواصفات لقيم مجمع تغويز مصفاة برنيس الهولندية

تحليل مكونات اللقيم	مخلفات كسر اللزوجة	أسفلت
كربون C (%وزناً)	85.42	84.37
هيدروجين H (%وزناً)	9.93	9.67
كبريت S (%وزناً)	4.00	5.01
نيتروجين N (%وزناً)	0.30	0.52
أوكسجين O (%وزناً)	0.20	0.35
رماد (%وزناً)	0.15	0.08
المجموع	**100**	**100**
فناديوم	270	300
نيكل	120	75
صوديوم	30	30
اللزوجة عند الدرجة 100 °م (سنتي ستوك)	10000	2000
الكثافة عند الدرجة 15 °م (غ/سم^2)	1.10	1.07

يتكون مجمع تغويز مصفاة برنيس من ثلاث وحدات تغويز من تصميم شركة شل الهولندية، اثنتان لإنتاج الهيدروجين، والثالثة لتوليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء باستخدام دورة التغويز المتكاملة المدمجة IGCC. كما يحتوي المجمع على وحدة معالجة من نوع (ريكتيسول) لنزع الغاز الحامضي من الغاز الاصطناعي، ووحدة فصل غاز ثاني أوكسيد الكربون من الغاز الاصطناعي، ووحدة تحويل أول أوكسيد الكربون إلى ثاني أوكسيد الكربون، ووحدة تعزيز الميثان لتعظيم إنتاج الهيدروجين، إضافة إلى الوحدات المساندة، كوحدة فصل الهواء، ووحدة تحضير اللقيم. يبين الشكل 3-2 مخطط مجمع تغويز مصفاة شل برنيس.(Walter, S., 2014)

الشكل 3-2: مخطط مجمع تغويز مصفاة شل برنيس



المصدر: Walter, S., 2014

نتائج تنفيذ المشروع

ساهم تنفيذ مشروع تغويز مصفاة برنيس في تحقيق النتائج التالية:

- رفع نسبة إنتاج المشتقات الخفيفة العالية القيمة من 78% إلى 85%، وخفض نسبة إنتاج زيت الوقود الثقيل بمعدل 40% مقارنة بما كانت عليه قبل تنفيذ المشروع، حيث ارتفعت كمية المنتجات البيضاء من 12.8 إلى 14 مليون طن/السنة، بينما انخفضت كمية زيت الوقود من 3.5 إلى 2.1 مليون طن /السنة.
- رفع معدل إنتاج الكبريت الحر في المصفاة من 0.11 إلى 0.33 مليون طن/السنة.
- رفع نسبة تكرير النفط الخام الثقيل الحاوي على نسبة عالية من الكبريت من 63% إلى 84% من إجمالي الطاقة التكريرية للمصفاة، حيث تم رفع كمية النفط الثقيل من 11.3 إلى 15 مليون طن/السنة، وخفض كمية النفط الخام الخفيف من 4.5 إلى

2.8 مليون طن/السنة. يبين الجدول 3 -2 التوازن المادي لمصفاة "برنيس" قبل وبعد تنفيذ مشروع التغويز.

- خفض اعتماد المصفاة على استيراد الغاز الطبيعي من الخارج. (Shell, 2010)
- خفض كمية انبعاثات المصفاة من ثاني أوكسيد الكبريت إلى الهواء الجوي من 35 إلى 24 ألف طن/السنة، وخفض أكاسيد النيتروجين من 12 إلى 7 ألف طن/السنة، وخفض كمية انبعاثات الجسيمات الدقيقة من 4 إلى 1.9 ألف طن/السنة. أما إجمالي كمية انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون فقد ارتفع من 5 إلى 6.1 مليون طن/السنة.

(Higman, C., & Eppinger, M., 1994) يبين الجدول 3-3 مقارنة بين انبعاثات مصفاة برنيس قبل وبعد تنفيذ مشروع التغويز.

الجدول 3-2: التوازن المادي لمصفاة برنيس قبل وبعد مشروع التغويز

	قبل مشروع التغويز (مليون طن/السنة)	بعد مشروع التغويز (مليون طن/السنة)
المدخلات		
نفط خام عالي الكبريت	11.3	15.0
نفط خام منخفض الكبريت	4.5	2.8
لقائم أخرى	2.1	0.1
مجموع المدخلات	17.9	17.9
المخرجات		
المنتجات البيضاء	12.8	14.0
زيت الوقود	3.5	2.1
مجموع المخرجات	16.4	16.4

الجدول 3-3: مقارنة كمية انبعاثات مصفاة برنيس قبل وبعد مشروع التغويز

	قبل مشروع التغويز	بعد مشروع التغويز
SO2 (ألف طن/السنة)	35	24
NOx (ألف طن/السنة)	12	7
جسيمات دقيقة PM (ألف طن/السنة)	4.0	1.9
CO2 (مليون طن/السنة)	5.0	6.1

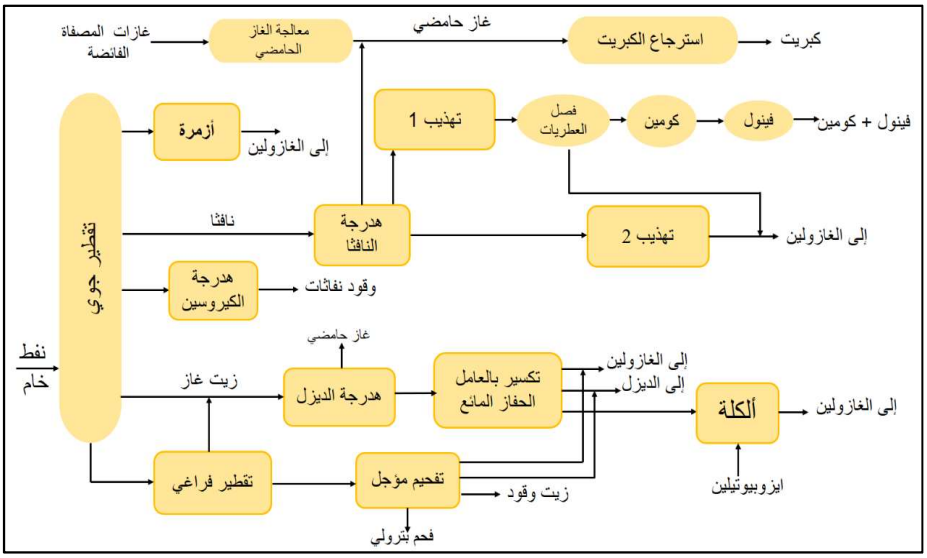
3-2: مجمع تغويز مصفاة إلدورادو - ولاية كنساس

تعود بداية تشغيل مصفاة إلدورادو El-Dorado، في ولاية كنساس Kansas الأمريكية، إلى عام 1917 بطاقة تكريرية قدرها 2000 ب/ي، ثم خضعت لعدة مشاريع تطوير وتوسيع إلى أن وصلت طاقتها التكريرية إلى 100 ألف ب/ي. وتتكون المصفاة حالياً من العمليات التالية:

- وحدات تقطير جوي وفراغي
- وحدات تهذيب للنافثا بالعامل الحفاز وأزمرة وألكلة
- وحدة تكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، ووحدة تفحيم Delayed Coking
- وحدة إنتاج هيدروجين
- وحدة استرجاع كبريت
- مجمع إنتاج عطريات وفينول وأسيتون

يبين الشكل 3-3 مخطط سير عمليات التكرير في مصفاة إلدورادو

الشكل 3-3: مخطط سير عمليات التكرير في مصفاة إلدورادو-كنساس

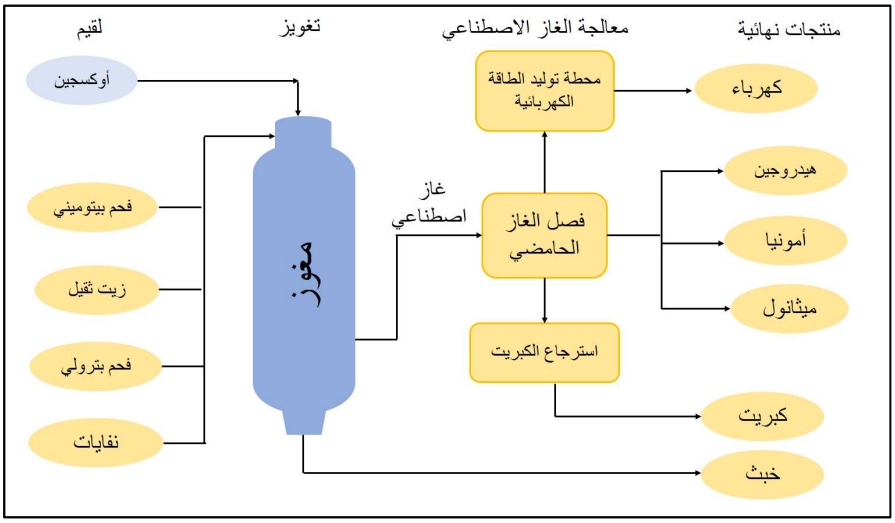


المصدر: Rhodes, A. 2010

أنشئ مجمع التغويز في مصفاة إلدورادو عام 1996 كجزء من مشروع تطوير المصفاة الذي يهدف إلى تعظيم إنتاج المقطرات الخفيفة من خلال عملية التفحيم التي تهدف إلى تكسير مخلفات التقطير الثقيلة لتحويلها إلى منتجات خفيفة عالية القيمة.

يتكون مجمع تغويز مصفاة الدورادو من مغوز، ووحدات معالجة الغاز الاصطناعي التي تتكون من وحدة فصل الغاز الحامضي ووحدة استرجاع الكبريت، إضافة إلى العنفة الغازية التي تحول الغاز الاصطناعي المعالج إلى طاقة كهربائية. ويشترك المجمع مع الوحدات المساندة القائمة في المصفاة، كوحدة معالجة المياه الملوثة، ووحدة فصل الهواء لإنتاج الأوكسجين اللازم لتفاعلات التغويز. يبين الشكل 3-4 مكونات مجمع تغويز مصفاة إلدورادو- كنساس.

الشكل 3-4: مكونات مجمع تغويز مصفاة إلدورادو- كنساس



المصدر: Rhodes, A. 2010

تتكون لقائم مجمع تغويز مصفاة إلدورادو من 150 ألف طن/اليوم من الفحم البترولي المنتج من وحدة التفحيم المؤجل المكون من 90% كربون، و4% هيدروجين، و4% كبريت، و1.5% نيتروجين، و0.5 % أوكسجين، و0.5% رماد مكون من مجموعة

معادن يعود مصدرها إلى النفط الخام المكرر. إضافة إلى مجموعة من المخلفات الأخرى المنتجة من عمليات التكرير تبلغ كميتها حوالي 15 ألف طن/اليوم ، وتتكون مما يلي:

- 0.1 طن/اليوم من الحمأة الناتجة من أحواض فصل الزيت API Separators في وحدة معالجة المياه الملوثة. وعلى الرغم من أنها تحتوي على نسبة 75% من الماء إلا أن الجزء الجاف منها يتكون من 60% رماد، و35% كربون، وكميات قليلة من الهيدروجين والنيتروجين والكبريت.
- 4.5 طن/اليوم مواد قابلة للانحلال بالزيت، وهي بوليمرات ثقيلة تنتج من وحدة الألكلة HF Alkylation، حيث كانت تصدر سابقاً لاستخدامها كوقود في أفران صناعة الإسمنت.
- 0.6 طن في اليوم حمأة زيتية من أحواض ترقيد المياه الزيتية في وحدة معالجة المياه الملوثة لفصل الرواسب الزيتية من المياه قبل دخولها إلى أحواض الفصل API، ورواسب زيتية ناتجة من تنظيف قاع خزانات النفط والمشتقات النفطية.
- كمية قليلة من الرواسب الفينولية المنتجة من وحدة إنتاج الفينول.

نتائج تنفيذ المشروع

صنف مشروع تغويز مصفاة إلدورادو على أنه نموذجاً مثالياً لمشاريع تحويل المنتجات الثانوية لمصافي النفط إلى منتجات عالية القيمة، حيث أنه حقق العديد من المكاسب للمصفاة يمكن تلخيصها على النحو التالي:

- تلبية حاجة المصفاة من الطاقة الكهربائية وبخار الماء
- توفير نفقات تصريف النفايات الزيتية التي كانت تنقل إلى أماكن بعيدة للتخلص منها بطريقة غير ضارة بالبيئة.
- خفض معدل انبعاثات الكربون الناتجة عن منتجات المصفاة من خلال تغويز الفحم البترولي بدلاً من حرقه كوقود.

أما منتجات مجمع التغويز فتتكون من المواد التالية:

- حوالي 6 مليون قدم مكعب قياسي من الغاز الاصطناعي، يستخدم كوقود في عنفة غازية يبلغ إجمالي استهلاكها 9 مليون قدم مكعب قياسي، ويعوض الباقي من الغاز الطبيعي المستورد.
- 81.6 طن/الساعة بخار ماء منتج من الطاقة الفائضة عن تبريد الغاز الاصطناعي الخارج من المغوز.
- 35 ميغاوات طاقة كهربائية تنتج من العنفة البخارية.
- 200 طن/اليوم أوكسجين يستهلك في المغوز، و800 طن/اليوم نيتروجين يحقن في العنفة الغازية لخفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين، والباقي يستخدم في تلبية حاجة المصفاة لأغراض العزل وتنظيف الأوعية والخزانات.

3-3: مشروع تغويز الفحم البترولي في مصفاة كوفيفيل -كنساس الأمريكية

يهدف مجمع تغويز مصفاة كوفيفيل Coffeyville في ولاية كنساس إلى تحويل الفحم البترولي إلى أمونيا، ويوريا نترات الأمونيوم Urea Ammonium Nitrate، وهو المجمع الوحيد في أمريكا الشمالية الذي يستخدم الفحم البترولي كلقيم لإنتاج الأسمدة. تبلغ الطاقة التصميمية للمجمع 1300 طن/اليوم. ويبلغ معدل إنتاجه السنوي 1225 طن/اليوم من الأمونيا التي تستخدم لإنتاج 3000 طن/اليوم من يوريا نترات الأمونيوم. كما ينتج المجمع 84 مليون متر مكعب قياسي في اليوم من الهيدروجين.

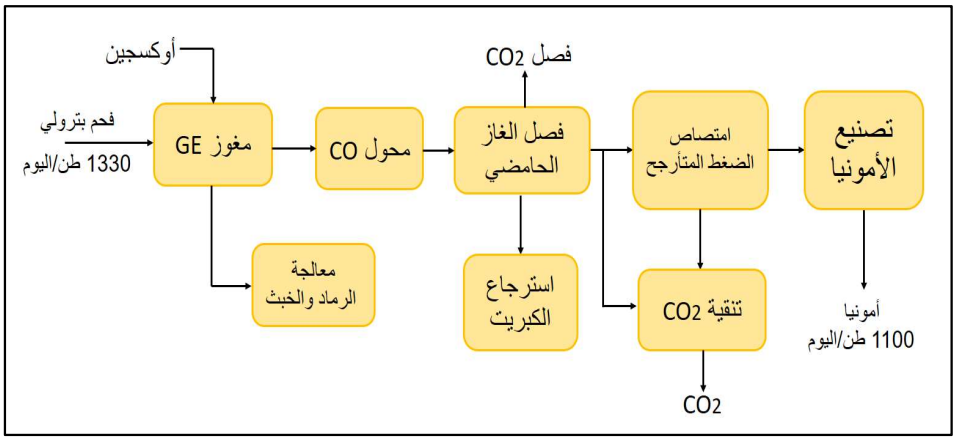
يتكون مجمع تغويز مصفاة كوفيفيل من الوحدات التالية:(GE, 2008)

- وحدة تحضير اللقيم على شكل مزيج فحم طيني Slurry Coke
- مغوز

- وحدة غسيل ومعالجة الغاز الاصطناعي المنتج من المغوز في وحدة فصل الغازات الحامضية بطريقة سيليكسول، لفصل كبريت الهيدروجين وغاز ثاني أوكسيد الكربون.
- وحدة فصل الهواء لتغذية المغوز بالأوكسجين اللازم لتفاعل التغويز، أما النيتروجين المنتج من وحدة فصل الهواء فيستخدم في وحدة إنتاج الأمونيا.
- وحدة امتصاص بالضغط المتأرجح PSA لفصل الهيدروجين من الغاز الاصطناعي النظيف الذي يتفاعل مع النيتروجين في وحدة إنتاج الأمونيا، حيث تحول الأمونيا إلى وحدة إنتاج اليوريا نترات الأمونيوم.
- منظومة فصل غاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2 بمعدل 850 ألف طن في السنة، حيث يضغط ليستخدم جزء منه في وحدة إنتاج اليوريا والباقي يصدر إلى حقول النفط في ولاية أوكلاهوما التي تبعد حوالي 70 كم لاستخدامه في عملية الاستخلاص البترولي المعزز EOR. (NETL, 2016)

يبين الشكل 3-5 مخطط وحدات مجمع تغويز الفحم البترولي في مصفاة كوفيفيل.

الشكل 3-5: مخطط وحدات مجمع تغويز الفحم البترولي في مصفاة كوفيفيل



المصدر: Tse, D., 2013

3-4: مشروع تغويز مصفاة موتيفا في ولاية ديلاور

صمم مجمع تغويز مصفاة "موتيفا" Valero لتحويل 2100 طن في اليوم من الفحم البترولي إلى غاز اصطناعي يستخدم كوقود في دورة التغويز المتكاملة المدمجة IGCC لتوليد الطاقة الكهربائية، بمعدل 250 ميغاوات/ ساعة، إضافة إلى بخار الماء.

يهدف المشروع تغويز إلى تحقيق الفوائد التالية: (Hawley, R. 2000)

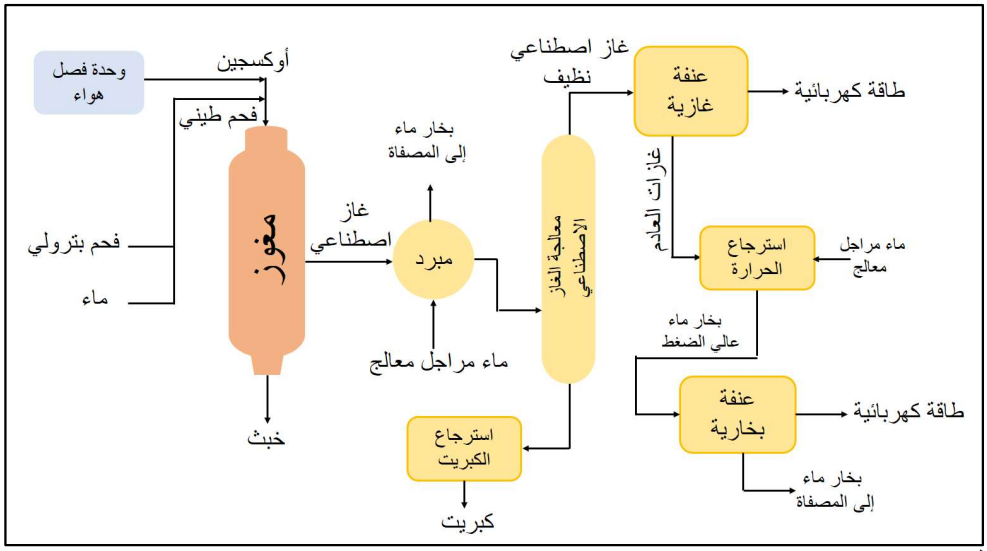
- تصريف الفحم البترولي المنتج من وحدة التفحيم في المصفاة، والتخلص من النفقات التي كانت تدفع لنقله خارج المصفاة.
- توفير الكمية الكافية من بخار الماء اللازم لعمليات التكرير في المصفاة، والاستغناء عن المرجل البخاري القديم ذي الكفاءة المنخفضة.
- تحسين ربحية المصفاة من خلال الحصول على وقود غازي اصطناعي لتوليد الطاقة الكهربائية من لقيم رخيص الثمن.

يتكون مجمع التغويز في مصفاة "موتيفا" من خطين إنتاجيين، يتكون كل خط من مغوزين وعنفتين غازيتين، تبلغ طاقة الأولى 90 ميغاوات ساعة تعمل على الغاز الاصطناعي المنتج من المغوز، والثانية 75 ميغاوات تعمل على زيت الغاز. وتنتج كل عنفة كمية من بخار الماء قدرها 136200 كغ/الساعة بضغط 83 بار، و68000 كغ/الساعة بضغط 12 بار. يبين الشكل 3-6 مكونات مجمع تغويز الفحم البترولي في مصفاة موتيفا. أما الوحدات المساندة فتتكون مما يلي:

- وحدة فصل هواء طاقتها 2500 طن/اليوم، تنتج الأوكسجين اللازم لتفاعلات التغويز، بنقاوة 99%، إضافة إلى النيتروجين والأرغون، حيث يحقن النيتروجين في منظومة معالجة غازات المدخنة في وحدة استرجاع الكبريت لخفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين، أما الأرغون فيصدر للبيع خارج المصفاة.

- وحدة نزع الغاز الحامضي، لمعالجة الغاز الاصطناعي المنتج من المغوز، وخفض محتواه من الكبريت إلى أدنى من 350 ج.ف.م.

الشكل 3-6: مكونات مجمع تغويز الفحم البترولي في مصفاة موتيفا



المصدر: Valero, 2007

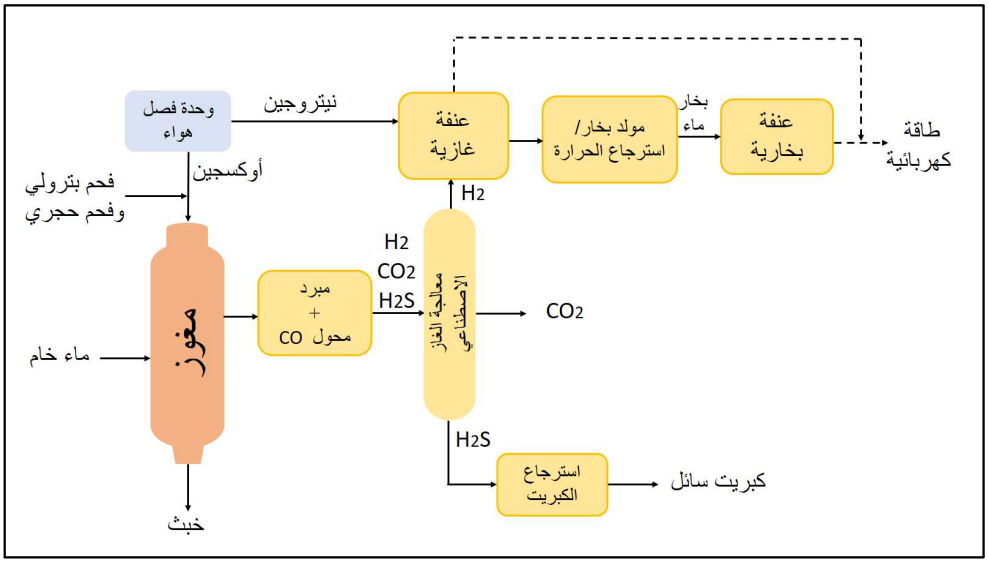
3-5: مشروع تغويز كاليفورنيا

في عام 2007 تقدمت شركة "هيدروجين إنيرجي كاليفورنيا HECA بطلب موافقة على إنشاء مشروع مجمع تغويز في مصفاة كارسون القريبة من لوس أنجلوس، لتغويز حوالي 5-6 ألف طن في اليوم من الفحم البترولي باستخدام ثلاث مغوزات من تصميم شركة جنرال إلكتريك GE، بهدف إنتاج الهيدروجين، وغاز ثاني أوكسيد الكربون لاستخدامه في عمليات الاستخلاص البترولي المعزز EOR، إضافة إلى إنتاج غاز اصطناعي يستخدم بدلاً عن الغاز الطبيعي في دورة تغويز متكاملة مدمجة IGCC لإنتاج حوالي 250 ميغاوات/ ساعة، وبخار ماء لتلبية حاجة المصفاة، باستخدام عنفة غازية. ونظراً لمرور خط غاز ثاني أوكسيد الكربون عبر المناطق السكنية فقد تقرر نقل موقع المشروع إلى منطقة أخرى قريبة من مصادر المياه وآبار النفط الناضبة التي سيحقن فيها غاز ثاني أوكسيد الكربون المنتج. (HECA, 2012)

صمم المشروع ليعمل بكامل طاقته على الفحم البترولي المنتج من مصافي نفط كاليفورنيا، بمحتوى كبريت يصل إلى 3.4% وزناً، مع مرونة ليعمل حتى 75% من الفحم البيتوميني المنتج من الولايات المجاورة لولاية كاليفورنيا، يحتوي على كبريت بمعدل 1% وزناً. كما يزود المشروع بأحدث نظم التحكم بالانبعاثات بحيث يلبي متطلبات قانون الهواء النظيف. ويحصل المشروع على المياه اللازمة من المياه الجوفية المالحة. ويتكون من الوحدات الرئيسية المبينة في الشكل 3-7 وهي كما يلي: (Marasigan, J., 2010)

- وحدة تحضير اللقيم المكون من مزيج الماء والفحم البترولي والفحم البيتوميني.
- ثلاث مغوزات من تصميم شركة جنرال إلكتريك.
- وحدة فصل هواء لإنتاج الأوكسجين بنقاوة 95%.
- مفاعلات تحويل غاز أول أوكسيد الكربون إلى ثاني أوكسيد الكربون .
- وحدة فصل الزئبق.
- وحدة نزع الغاز الحامضي (ريكتيسول) لفصل غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S وكبريتيد الكربونيل COS، ووحدة فصل غاز ثاني أوكسيد الكربون من الغاز الاصطناعي.
- وحدة استرجاع الكبريت (كلاوس)، وتحتوي على وحدة معالجة بمحلول الأمين لفصل غاز ثاني أوكسيد الكربون من الغازات العادمة الخارجة من مفاعل كلاوس، وإرساله إلى وحدة ضغط غاز ثاني أوكسيد الكربون.
- وحدة تجفيف ورفع ضغط غاز ثاني أوكسيد الكربون.
- وحدة تسخين الغاز الاصطناعي، وخفض ضغطه في آلة تمدد Expander قبل دخوله إلى عنفة الاحتراق
- عنفة احتراق مزودة بآلية حقن للنيتروجين.
- وحدة استرجاع الحرارة لإنتاج بخار الماء.
- عنفة بخارية.

الشكل 3-7: مخطط وحدات مجمع تغويز كاليفورنيا



المصدر: Mahasenan, N., 2010

يهدف المشروع إلى تحقيق ما يلي: (Marasigan, J., 2010)

- تعزيز الاعتماد على الموارد الطبيعية المحلية من خلال استغلال المنتجات الثانوية الرخيصة الثمن وتحويلها إلى غاز اصطناعي يستخدم كوقود بديل للغاز الطبيعي.
- تلبية الطلب المستقبلي على الطاقة الكهربائية بطريقة آمنة بيئياً، ومتوافقة مع متطلبات خفض انبعاثات غازات الدفيئة، من خلال التقاط غاز ثاني أوكسيد الكربون، واستخدامه في تعزيز إنتاج آبار النفط الناضبة.
- تأمين أكثر من 200 فرصة عمل دائمة، وحوالي 1500 فرصة مؤقتة خلال فترة الإنشاء.

على الرغم من تعهد الشركة بالالتزام بكافة معايير وتشريعات حماية البيئة الصادرة عن هيئة المعايير البيئية في كاليفورنيا، لم يحصل المشروع على الموافقة النهائية حتى نهاية عام 2017 ولا تزال المشاورات قائمة. تعود معظم أسباب تأخر إصدار الموافقة على

ترخيص المشروع، والتي استغرق أكثر من عشر سنوات، إلى الأسباب التي وردت في تقرير هيئة النظر في ترخيص الإنشاء، وأهمها:

(Issod, A. Romanini, C., and Frantz, T., 2015)

- فشل الشركة المصممة للمشروع في تقديم ضمانات كافية تؤكد عدم وجود أثر سلبي على البيئة نتيجة استنزاف المياه الجوفية اللازمة للمشروع.
- عدم رد الشركة على العديد من ملاحظات الجمهور المتعلقة بالأثر المحتمل للمشروع على البيئة.

3-6: مشروع تغويز مصفاة جامناغار- الهند

تعود ملكية مشروع تغويز مصفاة جامناغار Jamnagar إلى شركة ريليانس إندستريز المحدودة Reliance Industries Limited (RIL). تبلغ الطاقة التكريرية الإجمالية لمصفاة جامناغاز 1.3 مليون ب/ي، حيث تعتبر أحد أكبر مجمعات تكرير النفط في العالم . وتنتج حوالي 18500 طن/اليوم من الفحم البترولي.

تأخر إنجاز دراسة الجدوى الاقتصادية لمشروع تغويز مصفاة جامناغار لأكثر من خمس سنوات، حيث لم تكن النتائج مشجعة، وكانت المصفاة في تلك الفترة تبيع الفحم المنتج من وحدة التفحيم إلى الأسواق العالمية. أما عندما ارتفعت أسعار الغاز الطبيعي المسال LNG وأصبح وجود الغاز الطبيعي يشكل تحدياً للمصفاة، أعيد النظر في دراسة جدوى مشروع التغويز، وتقييم أفضل الحلول الممكنة لاستغلال الفحم البترولي من بين الخيارات المحتملة التالية: (Scholz, M., & Payrhuber, K., 2009)

- استخدام الفحم كوقود مباشر في محطة حرارية Thermal power plant
- تغويز الفحم البترولي لإنتاج الهيدروجين اللازم لعمليات المعالجة الهيدروجينية في المصفاة.
- بيع الفحم البترولي المنتج إلى الأسواق العالمية.

صمم مشروع تغويز جامناغار لتحويل الفحم البترولي المنتج من مصفاتي نفط جامناغار إلى غاز طبيعي اصطناعي، وهيدروجين، وكيماويات، وذللك لتحقيق الأهداف التالية: (Mathew, T., 2016)

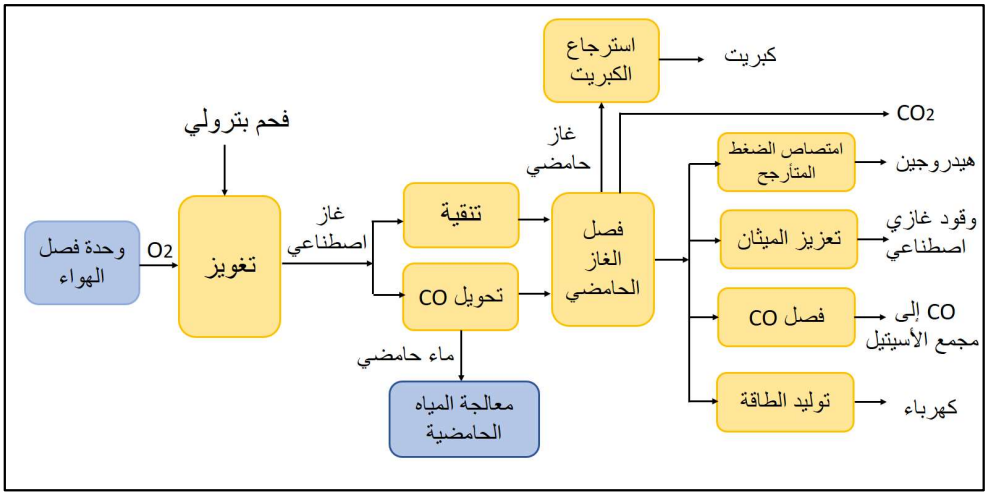
- تعزيز قدرة المصفاة على تصريف مخلفات التكرير الثقيلة الناتجة عن تكرير النفط الثقيل
- الاستفادة من فارق السعر بين الغاز الطبيعي والفحم البترولي
- تحسين ربحية المصفاة من خلال تأمين وقود غازي نظيف ورخيص لأفران المصفاة ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء
- تعظيم الأداء التشغيلي للمصفاة من خلال استغلال الهيدروجين المنتج من مجمع التغويز لتلبية حاجة وحدات المعالجة الهيدروجينية في المصفاتين
- الاستفادة من الإيثان والبروبان المفصول من الغاز الاصطناعي كلقيم في صناعة البتروكيماويات.
- الاستفادة من غاز أول أوكسيد الكربون المنتج من معالجة الغاز الاصطناعي في إنتاج كيماويات الأسيتيل Acetyl Chemicals
- تعزيز قدرة المصفاة على خفض انبعاثات غازات الدفيئة من خلال استغلال فرصة التقاط وخزن غاز ثاني أوكسيد الكربون.

يتكون مشروع تغويز جامناغار من الوحدات الرئيسية المبينة في الشكل 3-8 على النحو التالي:

- عشر مغوزات gasifiers من نوع E-Gas طاقة كل منها 2900 طن من الفحم لإنتاج 2.35 مليون قدم مكعب قياسي في اليوم من الغاز الاصطناعي، أو ما يعادل 272 ألف متر مكعب/الساعة. تمتلك الوحدة مرونة تغويز مزيج من الفحم البترولي 65% والفحم الحجري 35%.
- خمس وحدات فصل هواء لإنتاج 5250 طن/اليوم أوكسجين بنقاوة 99%.

- وحدة تحويل غاز أول أوكسيد الكربون إلى هيدروجين Water Gas Shift
- وحدة معالجة الغاز الحامضي، تهدف إلى تخليص الغاز الاصطناعي من غاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2، وغاز كبريتيد الهيدروجين H_2S.
- وحدة الامتزاز بالضغط المتناوب PSA[1] لاسترجاع الهيدروجين من الغاز الاصطناعي المعالج.
- وحدة تحويل الغاز الاصطناعي إلى ميثان.
- وحدة تبريد الغاز الاصطناعي.
- وحدة استرجاع الكبريت لتحويل غاز كبريتيد الهيدروجين إلى كبريت حر.
- وحدة تحويل الكبريت الحر إلى حبيبات.
- وحدة معالجة المياه الحامضية لتخليصها من كبريتيد الهيدروجين H_2S، وغاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2، والأمونيا NH_3.

الشكل 3-8: مكونات مجمع تغويز مصفاة جامناغاز



المصدر: Mathew, T., 2016

[1] Pressure Swing Adsorption

استخدامات الغاز الاصطناعي المنتج من مشروع تغويز جامناغار

يستخدم الغاز الاصطناعي المنتج من وحدات تغويز جامناغار في المجالات التالية:

- 12 مليون متر مكعب مكافئ غاز طبيعي يحول إلى محطة توليد مشترك Co-generation لإنتاج الطاقة الكهربائية 1300ميغاواط ساعي، و1700طن/اليوم من بخار الماء.
- 5.4 مليون متر مكعب مكافئ غاز طبيعي لإنتاج الهيدروجين في وحدة تكسير بخاري بمعدل 1.160 طن/اليوم من الهيدروجين، أو ما يعادل 2-4 مليون متر مكعب في اليوم.
- 5.8 مليون متر مكعب مكافئ غاز طبيعي، على شكل غاز طبيعي اصطناعي لتغذية أفران المصفاة بالوقود.

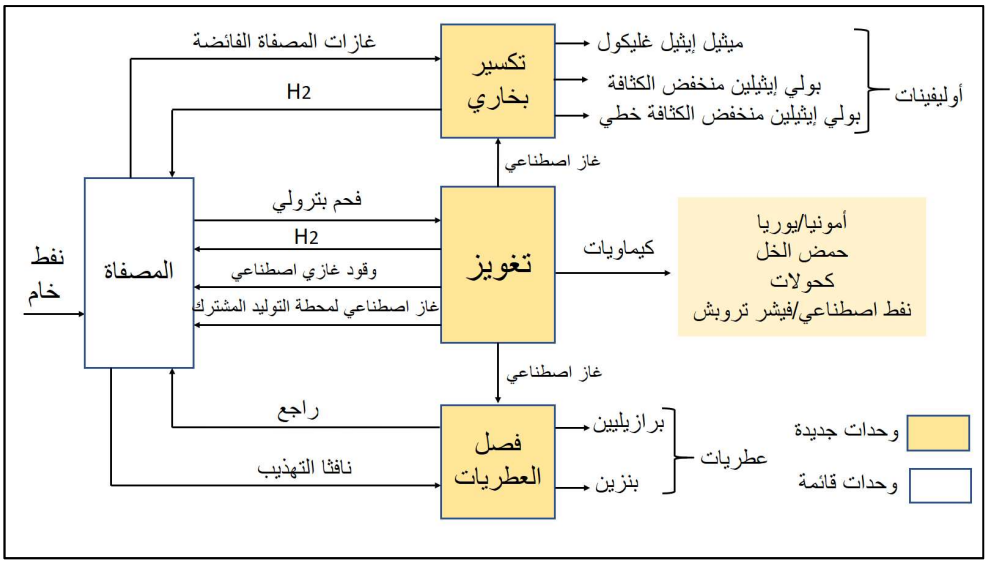
يبين الجدول 3-4 توزع مجالات استهلاك الغاز الاصطناعي المنتج من مجمع تغويز مصفاة جامناغاز، كما يبين الشكل 3-9 مخطط تكامل مجمع التغويز مع عمليات المصفاة.

الجدول 3-4: توزع مجالات استهلاك الغاز الاصطناعي المنتج من مجمع تغويز مصفاة جامناغاز

الغاز الاصطناعي	مليون متر مكعب/اليوم مكافئ غاز طبيعي	النسبة المئوية	مجال الاستهلاك
وقود لمحطة التوليد المشترك	12	52	طاقة كهربائية وبخار ماء
هيدروجين	5.4	23	وحدات المعالجة الهيدروجينية
غاز طبيعي اصطناعي	5.8	25	وقود أفران المصفاة
المجموع	23.2	100	

المصدر: Mathew, T. 2016

الشكل 3-9: مخطط تكامل مجمع التغويز مع عمليات مصفاة جامناغاز



المصدر: Mathew, T., 2016

3-7: مجمع تغويز مصفاة فوجيان

بدأ تشغيل مجمع تغويز مصفاة فوجيان في عام 2009، وذلك في إطار مشروع رفع الطاقة التكريرية للمصفاة من 80 إلى 240 ألف ب/ي، وتعزيز قدرة المصفاة على تكرير النفط الخام العربي الحامضي، وإنشاء وحدة تكسير بخاري لإنتاج الإيثلين طاقتها 800 ألف طن/السنة، ووحدتي بولي إيثيلين وبولي بروبيلين، ووحدة بارازايلين طاقتها 700 ألف طن/السنة. (Exxon Mobile, 2009)

يشترك في ملكية مشروع تطوير مصفاة فوجيان كل من شركة بتروكيماويات فوجيان[1] بحصة 50%، وشركة إكسون موبيل الصين[2] بحصة 25% وشركة أرامكو السعودية سينو [3] بحصة 25%.

يهدف مجمع التغويز إلى الاستفادة من الأسفلت الفائض في إنتاج الهيدروجين اللازم لعمليات المعالجة الهيدروجينية في المصفاة، إضافة إلى توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء لتلبية حاجة المصفاة.

مكونات مشروع تغويز مصفاة فوجيان

يتكون مجمع تغويز مصفاة فوجيان من ثلاث مغوزات من تصميم شركة شل، طاقة كل منها 1200 طن من الأسفلت. اثنان في دارة العمل والثالث احتياط ساخن. جهز كل مغوز بمبرد للغاز الاصطناعي يمكنه توليد بخار ماء عالي الضغط يصل إلى 120 بار. كما يحتوي المجمع على وحدتين لإنتاج الأوكسجين بنقاوة 99.8%، طاقة كل منهما 1200 طن/اليوم.

ينتج المجمع حوالي 4850 طن/اليوم غاز اصطناعي، تحول منه كمية 2630 طن/اليوم إلى وحدات معالجة وفصل لإنتاج الهيدروجين بمعدل 80 ألف متر مكعب قياسي في الساعة، أما بقية الغاز الاصطناعي الخام المنتج فترحل إلى وحدة معالجة ريكتيسول Rectisol لنزع الغاز الحامضي، ثم إلى وحدة توليد مشترك تتكون من ثلاث عنفات غازية، وعنفتين بخاريتين.

---

[1] Fujian Petrochemical Company

[2] Exxon-Mobil China

[3] Saudi Aramco Sino Company

3-8: مجمع التغويز في مصفاة جازان -المملكة العربية السعودية

يجري حالياً إنشاء مصفاة في منطقة جازان الصناعية طاقتها التكريرية 400 ألف ب/ي، ويتوقع أن تبدأ الإنتاج في عام 2019. صممت المصفاة وفق أحدث المعايير التكنولوجية، وتحتوي على مجمع لتحويل مخلفات التقطير الثقيلة إلى غاز اصطناعي سيستخدم جزء منه في إنتاج الهيدروجين النقي اللازم لتلبية حاجة وحدات المصفاة، والباقي سيستهلك كوقود في وحدة دورة التغويز المتكاملة المدمجة لإنتاج طاقة كهربائية بمعدل 4000 ميغاوات/الساعة. وسيكون المجمع الأول في العالم من حيث حجم الطاقة الإنتاجية لمحطة توليد الطاقة الكهربائية اعتماداً على تقنية التغويز.(Arabian Gazette, 2013)

يهدف مجمع التغويز في مصفاة جازان إلى تحويل 90 ألف ب/ي من مخلفات التقطير الفراغي الثقيلة Vacuum residue لإنتاج حوالي 2.4 مليار قدم مكعب في اليوم من الغاز الاصطناعي، ويتكون من الأجزاء الرئيسية التالية:

- وحدة فصل هواء لإنتاج 75 ألف طن/ اليوم من الغازات الصناعية المكونة من 20 ألف طن/اليوم أوكسجين، و55 ألف طن/اليوم نتروجين.
- مغوز من تصميم شركة شل لتحويل مخلفات التقطير الفراغي إلى غاز اصطناعي.
- وحدة معالجة الغاز الاصطناعي لتخليصه من المركبات الكبريتية.
- وحدة استرجاع كبريت لتحويل المركبات الكبريتية المنتجة من وحدات معالجة الغاز الاصطناعي إلى كبريت حر.
- عشر عنفات غازية مصممة لتعمل على الغاز الاصطناعي المنتج من وحدة التغويز، مع إمكانية العمل على زيت الديزل كوقود، وخمس عنفات بخارية، وعشر مولدات بخار لاسترجاع الحرارة الضائعة، و خمسة عشر مولد طاقة كهربائية.

يعتبر مشروع تغويز مصفاة جازان أحد الخيارات الاستراتيجية لخفض استهلاك النفط الخام في محطات توليد الطاقة الكهربائية (Giglio, R., 2013)

الخلاصة والاستنتاجات

أدى تراجع جودة النفط الخام ، وازدياد الأنواع الثقيلة والحاوية على نسب عالية من الشوائب، وما رافقه من تنامي الطلب على المنتجات الخفيفة والعالية الجودة، إلى توجه معظم مصافي النفط في العالم بتوظيف استثمارات باهظة في مشاريع إنشاء عمليات تحويل المنتجات الثقيلة غير المرغوبة الناتجة عن تكرير النفوط الثقيلة إلى منتجات خفيفة تلبي متطلبات التشريعات الخاصة بحماية البيئة من التلوث.

كما أدى تنامي طاقة العمليات التحويلية في مصافي النفط إلى ظهور كميات فائضة من مخلفات التكرير المنخفضة القيمة كالفحم البترولي والقار، والتي أصبحت تشكل عبئاً على مصافي النفط نظراً لصعوبة تصريفها، علاوة على ظهور التشريعات التي تمنع استخدامها كوقود بسبب احتوائها على نسب عالية من الشوائب الملوثة للبيئة، مما دفع القائمين على صناعة التكرير إلى البحث عن سبل لتصريف هذه المخلفات بطرق آمنه.

حظيت فكرة تطبيق عملية تغويز الفحم البترولي والزيوت الثقيلة اهتماماً ملحوظاً كإحدى الوسائل الممكنة لتصريف مخلفات التكرير الثقيلة، وتحويلها إلى منتجات عالية القيمة.

ارتبط ازدهار صناعة تحويل الفحم إلى سوائل في العقود الماضية بتقلبات أسعار النفط والمنتجات النفطية في الأسواق العالمية. فعندما ترتفع أسعار النفط تزدهر فرص البحث عن مصادر أخرى للحصول على السوائل الهيدروكربونية، وتصبح الصناعات الأخرى كصناعة تحويل الفحم إلى سوائل مجدية اقتصاديا، بينما تصبح خاسرة عندما يتراجع سعر النفط الخام، وتتراجع معه أسعار المنتجات النفطية.

يؤثر في ربحية عمليات تحويل الفحم إلى سوائل عوامل تقنية تتعلق بنوع اللقيم، ونوع المنتجات المطلوبة، وحجم المفاعل، ونوع المادة المؤكسدة.

على الرغم من التطورات المهمة التي شـــهدتها تقنية تغويز الفحم البترولي خلال العقود الماضية، إلا أنها لا تزال تعاني من بعض التحديات التقنية، والبيئية، والاقتصادية، وهذا يســتوجب ضــرورة تعزيز جهود البحث العلمي لتحســين الأداء التشــغيلي للعمليات وتحسين مردودها الاقتصادي.

قائمـــة المراجـــع

Abadie, L., & Chamorro, J., (2009) **"The Economics of Gasification: A Market-Based Approach"** Available at: www.mdpi.com/journal/energies

Aghahosseini, S., Dincer, I., Naterer, G., (2011) **"Environmental Impact Assessment of Sustainable Hydrogen, Steam and Electricity Trigeneration Through Integrated Gasification and Cu-Cl Cycle"** Proceeding of the Global Conference on Global Warming, 11-14 July, 2011, Lisbon, Portugal.

Amick, P., (2000) **"Gasification of Petcoke Using the E-Gas Technology at Wabash River"** Global Energy Inc., Houston, Texas. Paper presented at 2000 Gasification Technology Conference.

Amick , P., (2006) **"E-Gas Technology Coal & Petcoke Gasification"** Paper presented at the conference of Asia-Pacific Partnership on Clean Development and Climate. Columbus, Ohio, November 1, 2006.

Andrews, A., & Lattanzio, R., (2013) **"Petroleum Coke: Industry and Environmental Issues"** Congressional Research Service. Available at: www.crs.gov

API, (2014) **"Guidance Document for the Storage and Handling of Petroleum Coke"** American Petroleum Institute**.**

Arabian Gazette, (2013) **"Shell Licenses Gasification Technology to Jazan Power Project in Saudi Arabia"** https://arabiangazette.com/shell-licenses-gasification-technology-jazan-power-project-saudi-arabia/

ASTM, (2011) **"D5003-06a Standard Test Method for Hardgrove Grindability Index (HGI) of Petroleum Coke"** ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011. Available at: www.astm.org

Bajura, A., & Eyring, E., (2016) **"Coal and Liquid Fuels"** University of Utah, GCEP Advanced Coal Workshop, March 15-16, Provo, Utah. USA.

Barnes, I., (2011) **"Next Generation Coal Gasification Technology"** IEA Clean Coal Centre**.**

Bartis, J., et al., (2008) **"Producing Liquid Fuels from Coal- Prospects and Policy Issues"** Available at: www.rand.org

Beeston S., (2015) **"Successful Start-Up of Delayed Coking Unit Petron RMP-2 Project"** Amec Foster Wheeler. Pre-Conference Workshop at ME-TECH 2015, Dubai, 16 February 2015.

Beeston, S., (2014) "Solvent De- asphalting Options, How SDA Can Increase Residue Upgrading Margins " ,Foster Wheeler. Paper presented at Middle East Technology Conference, Februray,18-19, 2014. Dubai, UAE.

Berg, R., 2015 "**Shell Coal Gasification Process- An Integrated Solution for Efficient Coal-to-Products Value Chains"** Shell Global Solutions International B.V. Paper presented at Freiberg Conference Inner Mongolia, June 7-11, 2015.

Berg, R., Chen, Z., & Chua, S. 2015 **"The Shell Coal Gasification Process for Reliable Chemicals, Power, and Liquids Production"** Shell Global Solutions.

Bezdek, R., (2015) **"A Coal-Based Strategy to Reduce Europe's Dependence on Russian Energy Imports"** The Official Journal of the Coal Industry.

Bowen, B., Irwin, M., & Canchi, D., (2008) **"Coal-To-Liquids (CTL) & Fischer-Tropsch Processing (FT)"** The Energy Center at Discovery Park, Purdue University. Available at: http://www.purdue.edu/dp/energy/CCTR/

Bressan, L. ,et al., (2009) **"Integration Between Petcoke Gasification and CFB Combustion to Meet the Refinery Needs of Hydrogen and Electricity Power"** Foster Wheeler Energy. Paper presented at Bottom of the Barrel Technology Conference, Moscow 22nd & 23rd April 2009.

Castaneda, L., Munoz, J., Ancheyta, J., (2013) "Current situation of emerging technologies for upgrading of heavy oils" Elsevier. Available at: www.elsevier.com/locate/cattod

CBI, (2015) **"E-Gas Gasification Technology"** Chicago Bridge & Iron Company. Available at: www.CBI.com

Chhoa, T., (2005) **"Shell Gasification business in action"** Shell Global Solutions International BV. Available at: http://www.globalsyngas.org/uploads/eventLibrary/05CHHO.pdf

Chemik, T., 2010 **"Technical and Economic Conditions of new Technologies that Use Coal"** Institute for Chemical Processing of Coal, Zabrze.

Denton, D., (2005) **"Eastman Gasification Overview"** APPA New Generation Workshop, February 17, 2005. Available at: http://www.eastman.com/Pages/Home.aspx

Driscoll D., (2007) "**Coal to Liquids (CTL): An Overview"** National Energy Technology Laboratory, NETL. Brazil. Available at: www.netl.doe.gov

DTI, (1999) **"Coal Liquification- Cleaner Technology Program"** Technology Status Report. Department of Trade and Industry. UK. Available at: www.dti.gov.uk/ent/coal

Duddy, J., McLean, J., and Smith, T., 2007 **"Coal/Oil CO-Processing"** Hydrocarbon Research, Inc. UOP. Ltd.

Elangovan, S., (2012) **"Modular Fischer Tropsh for Wyoming Coal to Liquid Fuels"** Final Executive Summary Report Submitted to: School of Energy Resources, University of Wyoming

EPRI, (2010) **"Gasification Technology Status-December 2010"** Electric Power Research Institute, California, USA.

ESCAP, (2014) **"Shaping the Future of Sustainable Energy in Asia and the Pacific. Prospects for Cleaner and More Efficient Coal Production and Utilization Technologies in North-East Asia"** The Economic and Social Commission for Asia and Pacific (ESCAP) . Available at: www.unescap.org

Evenson, C., & Waters, D., (2011) **"High Temperature, Hydrogen Separation A Carbon Capture Process Technology"** Eltron Research & Development Inc.

ExxonMobil, (2009) **"ExxonMobil Celebrates China's Fujian Facility Completion"** Available at: http://news.exxonmobil.com/press-release/exxonmobil-celebrates-chinas-fujian-facility-completion

ExxonMobil, (2014) **"Methanol to Gasoline (MTG) Production of Clean Gasoline from Coal"** ExxonMobil Research and Engineering. Virginia, USA. Available at: www.exxonmobil.com/refiningtechnologies

Faegh, A., et al., (2015) **"Petcoke Gasification on the Upswing"** Hydrocarbon Engineering Magazine. February 2014.

GE, (2008) **"Coffeyville Resources- Case study"** Available at: http://files.gecompany.com/gecom/de/summit/case_studies/Case%20Study_GE%20Energy_Coffeyville%20Resources.pdf

Dan Gillis, D., VanWees, M., Zimmerman, M., (2009) **"Upgrading Residues to Maximize Distillate Yields"** UOP LLC, A Honeywell Company. Des Plaines, Illinois, U.S.A.

Gibson, P., 2007 **"Coal To Liquids at Sasol"** Paper presented at Kentucky Energy Security Summit. CAER's 30th Anniversary. October 11, 2007.

Giglio, R., (2013) **"Petcoke to Power – A Strategic Energy Option for the Middle East"** Foster Wheeler. Paper Presented at Power-Gen Middle East 2013 4-6 February **2013,** Qatar National Convention Centre. Doha, Qatar.

Gillis, D., VanWees, D., Zimmerman, P., 2009 **"Upgrading Residues to Maximize Distillate Yields"** UOP LLC, A Honeywell Company Des Plaines, Illinois, U.S.A.

Goldhammer, B., et al., (2008) **"Gasification/IGCC to Improve Refinery Operation"** Hydrocarbon Publishing Company. Available at: www.digitalrefining.com/article/1000647

Gupta, S., et al., 2015 **"Value Addition through Coke Gasification: Case Study"** Knowledge Sharing Program, 18th Feb.15 TAKREER Research Centre, Abu Dhabi, UAE.

Harris, D., and Roberts D. (2013) **"The Coal Handbook-Coal gasification and conversion"** Csiro Energy Technology, Australia. Woodhead Publishing Limited.

Harris, D., Beath, A., and Roberts, D.(2015) **"Coal-to-Liquids in Australia, Overview of Drivers and Status of Developments"** Csiro Energy. Paper presented at 7th International Frelberg/Inner Mongolia Conference-Coal Conversion and Syngas 7-11 June 2015 Mongolia, China.

Hawley, R. (2000) **"Motiva Enterprises LLC Delaware City Refinery-Repowering Project Overview and Project Status"** Paper presented at: 2000 Gasification Technologies Conference, San Francisco, California. October 9-11, 2000.

HECA, (2012) "**Hydrogen Energy California Commercial Demonstration of Advanced IGCC With Full Carbon Capture"** Hydrogen Energy California Information Centre. Available at: http://www.heca.com

Helton, T., & Hindman, M., 2014 **"Methanol To Gasoline Technology, An Alternative for Liquid Fuel Production"** ExxonMobil Research and Engineering Company. Paper presented at Morris Conference, Houston, Texas. USA. July 30-31 2014.

Higman, C., (2016) **"State of the Gasification Industry: Worldwide Gasification and Syngas Databases, 2016 Update"** Higman Consulting gmbh. Paper presented at Gasification & Syngas Technologies Conference, Vancouver, 19th October, 2016.

Higman, C., & Eppinger, M., (1994)"The Zero-residue Refinery" Paper presented at ACHEMA, Frankfurt, 8th June 1994.

Höök, M., Fantazzini, D., Angelantoni, A., Snowden, S. (2014**) "Hydrocarbon liquefaction: viability as a peak oil mitigation strategy"** Philosophical Transactions. Series A: Mathematical, physical, and engineering science. http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2012.0319

Höök, M., & Aleklett K., (2009) **"A Review on Coal-to-Liquid Fuels and its Coal Consumption"** International Journal of Energy Research. Published online in Wiley InterScience. Available at: www.interscience.wiley.com

Hurd, D., Park, S., & Kan, J., (2014) **"Coal, to Syngas, to Methanol, to Olefins"** China Coal to Olefin Industry. Deutsche Bank Markets Research.

Huskey, T., (2009) **"Gasification Solutions IGCC"** General Electric Energy.

IEA, (2009) **"Review of Worldwide Coal To Liquids R, D&D Activities and the Need for Further Initiatives within Europe"** IEA Clean Coal Center.

IEA, (2008) **"COAL–TO–LIQUIDS An Alternative Oil Supply?"** International Energy Agency Coal Industry Advisory Board - CIAB. Workshop Report, Paris Cedex. Available at: www.iea.org/ciab

INL, (2013) **"Options for Kentucky's Energy Future"** Idaho National Laboratory. Kentucky Energy and Environment Cabinet NGNP Industry Alliance Limited. Available at: http://www.inl.gov

Issod, A. Romanini, C. and Frantz, T., (2015) **"Intervenors Motion to Terminate Application for Certification for the Hydrogen Energy California Project"** Energy Resources Conservation and Development Commission, California, USA. Available at: www.hydrogenenergycalifornia.com

Jacobs, (2015) "**Technology Opportunities to Improve the Competitiveness of Alberta's Oil Sands for U.S. Refineries"** Jacobs Consultancy Canada Inc.

Kerester, A., (2014) **"Gasification can Help Meet the World's Growing Demand for Cleaner Energy and Products"** World Coal Association. Corner Stone, The Official Journal of World Coal Industry. Volume2, Issue 3. Available at: www.worldcaol.org

Killmeyer, R., et al., (2003) **"Water-Gas Shift Membrane Reactor Studies"** National Energy Technology Laboratory. Pittsburgh, PA 15236

Koppel, P., and Lorden, D., (2009) **"Gasification: Converting Low Value Feedstocks to High Value Products"** Fluor Canada Ltd. Presented at the 18th Symposium on Industrial Application of Gas Turbines (IAGT) Banff, Alberta, Canada - October 19-21, 2009.

Khosravi, M., & Khadse, A., (2013) **"Review of Worldwide Coal to Liquids R, D &D Activities and the Need for Further Initiatives Within Europe"** Project carried out with a financial grant of the Research Program of the Research Fund for Coal and Steel. IEA Clean Coal Centre.

Kong, Z., et al., (2015) "**EROI Analysis for Direct Coal Liquefaction without and with CCS: The Case of the Shenhua DCL Project in China"** Available at: www.mdpi.com/journal/energies

Kozak, M., (2008) **"Can Synthetic Fuels Help Alleviate Europe's Petroleum Dependence? An Overview of Coal-to-Liquids in Poland" Prepared for ENERGY CHARTER SECRETARIAT ,** Brussels, Belgium

Lee, S., Speight., & Loyalka, S. 2015 **"handbook of Alternative Fuel Technologies"** Taylor & Francis Group, LLC Available at: http://www.taylorandfrancis.com

Mahasenan, N., 2010 " **The Hydrogen Energy California (HECA) Project**" Paper presented at the International Advanced Coal Conference, Laramie, WY June 23, 2010.

Mantripragadaa, H., & Rubina, E., (2009) **"CO2 reduction potential of coal-to-liquids (CTL) plants"** Department of Engineering and Public Policy, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA. Available at: www.elsevier.com/locate/procedia

Marasigan, J., (2010) "**Hydrogen Energy California Preliminary Design Specification"** Electric Power Research Institute EPRI. USA

Marano, J., (2003) **"Refinery Technology Profiles: Gasification and Supporting Technologies"** National Energy Technologies Laboratory, U.S. Department of Energy/Energy Information Administration, Washington, DC, June 2003.

Mathew, T., (2016) "**Update on Jamnagar Gasification Project"** Reliance Industries Ltd. Paper presented at a conference on gasification in India, Held in February 11th – 12th. 2016. Delhi, India.

Mathew, T., (2013) **"Coal/Petcoke Gasification and Reliance's Jamnagar Gasification Project"** Reliance Industries Ltd.

Middleton, D., (2014) **"The Future of Clean Coal"** U.S. Department of Energy. National Conference of State Legislatures. Office of Clean Coal & Carbon Management. Available at: http://www.ncsl.org/documents/energy/Middleton.EPA.pdf

Miller, C., (2007) **"Coal Conversion – Pathway to Alternate Fuels"** Office of Fossil Energy U.S. Department of Energy. EIA Energy Outlook Modeling and Data Conference, Washington, DC, March 28, 2007.

Minchener, A., (2011) "**Coal-to-oil, gas and chemicals in China"** IEA Clean Coal Centre. Available at: https://www.usea.org/sites/default/files/022011_Coal-to-oil,%20gas%20and%20chemicals%20in%20China_ccc181.pdf

Moirit, F., & Kelly, J., (2014) **"Coal liquefaction"** Department of Chemical Engineering , Faculty of Diponegoro University Semarang.

Murthy, B., et al., (2014) **"Petroleum Coke Gasification: A Review**. The Canadian Journal of Chemical Engineering. March 2014. Available at: https://www.researchgate.net/publication/262849791

Muda, N., & Boosroh, M., (2013) "**Gasification of Coal-Petcoke Blends in a Pilot Scale Gasification Plant"** International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. Available at: http://dx.doi.org/10.15282/ijame.8.2013.32.0120

Navarroa, C., Shang, Z., & Weib, H., (2005) "**Optimisation of Integrated Gasification Combined Cycles in Refineries"** Elsevier Science, B.V.

NETL, (2016) **"Coffeyville Resources Nitrogen Fertilizers Plant"** National Energy Technology Laboratory. Available at: https://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/fertilizer-commercial-examples

NRDC, (2008) **"Why Liquid Coal Is a Viable Option to Move America Beyond Oil"** Natural Resources Defense Council- NRDC. Available at: www.nrdc.org/policy

Orhan, O., et al., (2014) **"gasification of Oil Refinery Waste for Power and Hydrogen Production"** Proceeding of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Bali Indonesia, January 7-9, 2014.

Orr, D.,& Maxwell, D., (2000) "**A Comparison of Gasification and Incineration of Hazardous Wastes"** U.S. Department of Energy National Energy Technology Laboratory (NETL) 3610 Collins Ferry Road Morgantown, West Virginia.

Penrose, C., et al., (1999) **"Enhancing Refinery Profitability by Gasification, Hydro processing & Power Generation"** TEXACO Power & Gasification Texas.

Radcliffe, A., et al., 2016 **"Modeling and Optimization of High-Performance Polymer Membrane Reactor Systems for Water–Gas Shift Reaction Applications" MDPI Journal. Available at:** www.mdpi.com/journal/processes

Radom, (2008) **"Synthetic Fuels as Substitutes to Conventional Fuels"** Technical University of Radom Paper presented at conference on Ecology and Safety as a Driving Force in the Development of Vehicles. IP Radom, March , 2008.

Ratafia-Brown, J., et al., (2002) **"Major Environmental Aspects of Gasification-Based Power Generation Technology"** Gasification Technologies Program at the National Energy Technology Laboratory (NETL), U.S. Department of Energy. Available at: www.netl.doe.gov

Rhodes, A. 2010 "**Kansas refinery starts up coke gasification unit"** Oil and Gas Journal

Roger Bezdek, R., (2015) **"A Coal-Based Strategy to Reduce Europe's Dependence on Russian Energy Imports"** President, Management Information Services, Inc. The Official Journal of the Coal Industry.

Santos, A. Jose da Silva, R., & Reino, M., (2015) **"Analysis of Petroleum Coke Consumption in Some Industrial Sectors"**

Scholz, M., & Payrhuber, K., (2009) **"Gas Turbine Fuel Flexibility for IGCC"** Paper presented at the conference on "Sustainable Energy" Rome, Italy July 07, 2009.

Sethi, N., Bakishi, V., Kumar, M., (2015) "**Gasification & LNG Integration: Alternate feedstock Options & Value-addition Opportunities - Case study"** Engineers India Limited, India.

Shell, (2010) **"Gasification: Converting the Bottom of the Barrel into Valuable Products"** Shell Global Solutions. Available at: www.shell.com/globalsolutions

Shilling, N., (2010) **"IGCC and Gasification, Cleaner Coal Solution"** General Electric Company.

Simbeck, D., & Johnson, H., (2001) "World Gasification Survey: Industrial Trends & Development. Paper presented at the Gasification Technologies 2001 Conference, October 8, 2001, San Francisco, California.

Sudero, M. et al., (2009) **"Synthetic Natural Gas (SNG) from Petcoke: Model Development and Simulation"** AIDIC Conference Series, Vol.9, 2009.

Tennant, J., (2014) **"Overview of Coal and Coal-Biomass to Liquids (C & CBTL) Program"** National Energy Technology Laboratory. Available at: http://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/fuels/coal-and-biomass-to-liquids/

The Economist, (2017) **"The Role of Coal in Europe's Power Mix- Outlook for Coal-Fired Generation"** The Economist Intelligence. Unit Limited 2017. Available at: www.endcoal.org

Tiefenbacher , J., (2010) **"The Environmental and Health Implications of Petcoke Energy Production"** Texas State University.

Tse, D., (2013) **"GE's Petcoke Gasification Technology Ready to Meet Today's Feedstock Challenge"** General Electric Company.

Yuzhuo, Z. (2014) **"Clean Coal Conversion: Road to Clean and Efficient Utilization of Coal Resources in China**" Cornerstone Magazine, The Official Journal of the Coal Industry. http://cornerstonemag.net/

US. EPA, (2009) **"Coal-to-Liquids Products Industry Overview"** Proposed Rule for Mandatory Reporting of Greenhouse Gases**.** Office of Air and Radiation. U.S. Environmental Protection Agency.

Valero, (2007) "Delaware City Refinery Tour" Valero Energy Corporation. Available at: www.valero.com

Visagie, J. (2008) **"University of Pretoria Generic gasifier modelling: Evaluating model by gasifier type"** University of Pretoria

Wallace, P.; Anderson, M.; Rodarte, A.; Preston, W., (1998) **"Heavy Oil Upgrading by the Separation and Gasification of Asphaltenes,"** 1998 Gasification Technologies Conference, San Francisco, CA. USA.

Walter, S., (2014) **"Heavy Residue Gasification with Poly-generation Hydrogen Sourcing for Refineries"** Air Liquide Global E&C Solutions. Paper Presented at The 12th European Gasification Conference 10-13 March 2014, Rotterdam, The Netherlands.

Winslow, J., & Schmetz, E., (2011) **"Direct Coal Liquefaction Overview"** National Energy Technology Laboratory.

Zuideveld, P., Chen, Q., and Bosch, P., (2000) **"Integration of Gasification with Thermal Residue Conversion in Refineries"** Shell Global Solutions International B.V. Amsterdam, The Netherlands. Paper presented at Gasification Technologies Conference 8-11 October 2000, San Francisco, California.

البيبليوغرافيا

إعداد
محمد سامي
إدارة الإعلام والمكتبة

يشمل هذا القسم بيليوغرافيا بالمواضيع التي تطرقت إليها أحدث الكتب والوثائق ومقالات الدوريات العربية الواردة إلى مكتبة أوابك، مدرجة تحت رؤوس الموضوعات التالية:

الاقتصاد والتنمية

أوابك

أوبك

البتروكيماويات والأسمدة

البترول

التجارة والعلاقات الاقتصادية الدولية

تلوث البيئة وحمايتها

الطاقة

الغاز الطبيعي

المالية والمالية العامة

موضوعات أخرى

الاقتصاد والتنمية

الأحوال الاقتصادية

5356.. احتجاجات العراق بين الدوافع الاقتصادية وخطة الاستجابة الحكومية.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.30 (2018/7/29).-- ص. 23-29.

5370.. بناء العلاقات النفطية بين العراق و"حكومة إقليم كردستان" على أسس قانونية متينة.—تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.30 (2018/7/30).-- ص. 45-49.

5359.. التأثيرات الاقتصادية للعقوبات الأمريكية على تركيا.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.33 (2018/8/18).-- ص. 22-29.

5361.. تهديدات الإصلاح : مستقبل ارتفاع المديونية في المغرب.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.35 (2018/9/2).-- ص. 24-29.

5368.. الدعم الثلاثي الخليجي وتداعياته على الاقتصاد البحريني.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.28 (2018/7/16).-- ص. 34-45.

5365.. قراءة تحليلية في تطور حجم وأدوات الدين العام الكويتي منذ أزمة النفط.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.39 (2018/9/29).-- ص. 6-12.

5373.. قراءة في أداء الموازنة السعودية خلال النصف الأول من 2018، واستشراف لأداء الاقتصاد خلال 2019.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.33 (2018/8/18).-- ص. 35-46.

5357.. قراءة في مكاسب الاقتصاد الإماراتي بدعم من سياسة التنويع حتى عام 2017.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.31 (2018/8/6).-- ص. 6-16.

5362.. كيف حققت الكويت فائضا في الحساب الجاري للربع الأول من 2018؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.36 (2018/9/8).-- ص. 6-11.

5360..ما وراء تراجع الروبل الروسي.--تقرير الاقتصاد والأعمال.--ع.34 (2018/8/26).-- ص. 23-29.

5353.. هل تحقق المساعدات الخليجية الاستقرار الاقتصادي للمملكة البحرينية؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.27 (2018/7/9).-- ص. 6-12.

5365.. هل تسهم التجارة البينية العربية في إنقاذ اقتصاد الأردن؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.39 (2018/9/29).-- ص. 20-27.

الاستثمار

5378.. الاستثمارات الخليجية في قطاع الطاقة المتجددة : السعودية نموذجا.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.38 (2018/9/22).-- ص. 28-39.

5355.. بين الدوافع والتحديات : مصر تؤسس صندوقها السيادي.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.29 (2018/7/22).-- ص. 24-31.

5370.. تعديلات قانون الاستثمار التعديني في السعودية : الجدوى والتحديات.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.30 (2018/7/30).-- ص. 29-40.

5386.. 3 مليارات دولار استثمارات جديدة لإيني الإيطالية في قطاع البترول.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 27.

5360.. قراءة في تطور الاستثمارات السعودية بالخارج في ضوء رؤية المملكة 2030.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.34 (2018/8/26).-- ص. 6-13.

5363.. مقومات وتحديات : قانون جديد يعزز من سنغافورة كوجهة للاستثمار العالمي.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.37 (2018/9/15).-- ص. 23-30.

5383.. مناخ الاستثمار في الدول العربية لعام 2018.-- الاقتصادي الكويتي.-- ع. 556 (2018/7).-- ص. 47-51.

5386.. المهندس طارق الملا وزير البترول في مؤتمر صحفي : خفض مستحقات الشركاء الأجانب إلى مستوى قياسي.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 8-9.

5369.. هل تتجه المملكة العربية السعودية للاستثمار في سوق الفورموسا؟.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.29 (2018/7/22).-- ص. 29-37.

5363.. هل تنجح استثمارات قطر الخارجية في مجال الطاقة في التغلب على التحديات الداخلية والخارجية؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.37 (2018/9/15).-- ص. 40-46.

الإفلاس

5375.. قراءة في قانون الإفلاس الجديد في السعودية، وجدواه الاقتصادية.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.35 (2018/9/2).-- ص. 27-37.

البنوك

5377.. اندماج بنوك أو ظبي التجاري والاتحاد الوطني والهلال الخاص : الدوافع والجدوى المتوقعة.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.37 (2018/9/16).-- ص. 27-37.

5383.. بنك الكويت المركزي -- مسيرة ريادية على مدى نصف قرن.-- الاقتصادي الكويتي.-- ع. 556 (2018/7).-- ص. 32-34.

5372.. توجه المصارف الخليجية نحو عمليات الاندماج والاستحواذ : الدوافع والجدوى.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.32 (2018/8/12).-- ص. 32-45.

البورصات

5377.. اندماج بنوك أو ظبي التجاري والاتحاد الوطني والهلال الخاص : الدوافع والجدوى المتوقعة.--تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.37 (2018/9/16).-- ص. 27-37.

5366.. جدوى انضمام سوق الأسهم السعودية لمؤشر MSCI للأسواق الناشئة.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.26 (2018/7/2).-- ص. 28-39.

التنمية الاقتصادية

5354.. تحديات النمو الاقتصادي في تونس.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.28 (2018/7/16).--ص. 24-29.

5357.. قراءة في مكاسب الاقتصاد الإماراتي بدعم من سياسة التنويع حتى عام 2017.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.31 (2018/8/6).-- ص. 6-16.

الديون العامة

5365.. قراءة تحليلية في تطور حجم وأدوات الدين العام الكويتي منذ أزمة النفط.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.39 (2018/9/29).-- ص. 6-12.

السياسة الاقتصادية

5362.. احتدام التنافس : الصين تسعى للفوز الاقتصادي في أفريقيا.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.36 (2018/9/8).-- ص. 20-28.

5374.. استراتيجية المملكة لمواجهة البطالة بين السعوديات.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.34 (2018/8/26).-- ص. 31-42.

5377.. اندماج بنوك أو ظبي التجاري والاتحاد الوطني والهلال الخاص : الدوافع والجدوى المتوقعة.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.37 (2018/9/16).-- ص. 27-37.

5386.. البنك الدولي -- التجربة المصرية لإصلاح قطاع الطاقة -- قصة نجاح كبيرة.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 23.

5355.. بين الدوافع والتحديات : مصر تؤسس صندوقها السيادي.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.29 (2018/7/22).-- ص. 24-31.

5370.. تعديلات قانون الاستثمار التعديني في السعودية : الجدوى والتحديات.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.30 (2018/7/30).-- ص. 29-40.

5361.. تهديدات الإصلاح : مستقبل إرتفاع المديونية في المغرب.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.35 (2018/9/2).-- ص. 24-29.

5372.. توجه المصارف الخليجية نحو عمليات الاندماج والاستحواذ : الدوافع والجدوى.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.32 (2018/8/12).-- ص. 32-45.

5366.. جدوى انضمام سوق الأسهم السعودية لمؤشر MSCI للأسواق الناشئة.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.26 (2018/7/2).-- ص. 28-39.

5360.. قراءة في تطور الاستثمارات السعودية بالخارج في ضوء رؤية المملكة 2030.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.34 (2018/8/26).-- ص. 6-13.

5375.. قراءة في قانون الإفلاس الجديد في السعودية، وجدواه الاقتصادية.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.35 (2018/9/2).-- ص. 27-37.

5357.. قراءة في مكاسب الاقتصاد الإماراتي بدعم من سياسة التنويع حتى عام 2017.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.31 (2018/8/6).-- ص. 6-16.

5360.. قطاع الطاقة في مصر بين تكثيف جهود التنقيب والتوسع في الإنتاج -- هل تحقق مصر المعادلة وتتحول من مستورد للنفط إلى مصدر له؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.34 (2018/8/26).-- ص. 38-46.

5379.. المشروعات الصغيرة والمتوسطة في دولة الإمارات بين الواقع والمأمول.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.39 (2018/9/29).-- ص. 31-42.

5363.. مقومات وتحديات : قانون جديد يعزز من سنغافورة كوجهة للاستثمار العالمي.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.37 (2018/9/15).-- ص. 23-30.

5371.. المكاسب المتوقعة جراء إتمام صفقة استحواذ أرامكو على حصة استراتيجية في سابك.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.31 (2018/8/6).-- ص. 32-42.

5386.. المهندس طارق الملا وزير البترول في مؤتمر صحفي : خفض مستحقات الشركاء الأجانب إلى مستوى قياسي.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 8-9.

5363.. هل تتجه الكويت نحو خفض الدعم المالي لموظفي القطاع الخاص في ضوء قرارات العلاوة الاجتماعية؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.37 (2018/9/15).-- ص. 6-16.

5369.. هل تتجه المملكة العربية السعودية للاستثمار في سوق الفورموسا؟.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.29 (2018/7/22).-- ص. 29-37.

أوابك

5385.. الاجتماع ال 151 للمكتب التنفيذي لمنظمة أوابك : اختيار مجال "البحوث البيئية ذات العلاقة بالبترول والطاقة" لجائزة منظمة أوابك، للبحث العلمي لعام 2020.-- أوابك.-- مج. 44، ع.8-10 (2018/8).-- ص. 32.

5386.. الأمين العام لمنظمة الأوابك : مكانة هامة للدول المنتجة والمصدرة للبترول في صناعة البترول العالمية.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 24-25.

5385.. سعادة الأستاذ عباس علي النقي : جهود مشتركة ساهمت في إنجاح مؤتمر الطاقة العربي الحادي عشر.-- أوابك.-- مج. 44، ع.8-10 (2018/8). -- ص. 15.

أوابك--جوائز ومكافآت

5385.. الاجتماع ال 151 للمكتب التنفيذي لمنظمة أوابك : اختيار مجال "البحوث البيئية ذات العلاقة بالبترول والطاقة" لجائزة منظمة أوابك، للبحث العلمي لعام 2020.-- أوابك.-- مج. 44، ع.8-10 (2018/8).-- ص. 32.

أوابك--مؤتمرات

5385.. الاجتماع التنسيقي السنوي السابع والأربعون للشركات العربية المنبثقة عن المنظمة.-- أوابك.-- مج. 44، ع.8-10 (2018/8).-- ص. 33.

5385.. الاجتماع ال 151 للمكتب التنفيذي لمنظمة أوابك : اختيار مجال "البحوث البيئية ذات العلاقة بالبترول والطاقة" لجائزة منظمة أوابك، للبحث العلمي لعام 2020.-- أوابك.-- مج. 44، ع.8-10 (2018/8).-- ص. 32.

5385.. النقي : سعداء بمشاركتنا في مؤتمر الطاقة العالمي الرابع والعشرون.-- أوابك.-- مج. 44، ع.8-10 (2018/8).-- ص. 34.

البتروكيماويات

5386.. توقيع عقد إنشاء مجمع جديد للبتروكيماويات في العين السخنة.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 26.

5376.. في ظل الحرب التجارية بين الصين وأمريكا : هل تستطيع دول الخليج أن تكون بديلا مثاليا لواردات الصين من المنتجات البتروكيماوية؟.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.36 (2018/9/8).-- ص. 30-41.

5371.. المكاسب المتوقعة جراء إتمام صفقة استحواذ أرامكو على حصة استراتيجية في سابك.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.31 (2018/8/6).-- ص. 32-42.

البترول (النفط والغاز)

البترول--أسعار

5365.. يبقى الحال على ما هو عليه -- قراءة مختلفة من أوبك لأسواق النفط العالمية.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.39 (2018/9/29).-- ص. 35-42.

البترول--اقتصاديات

5386.. تصحيح منظومة تسعير المنتجات البترولية.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 6-7.

5384.. التطورات البترولية في الأسواق العالمية والدول الأعضاء.-- أوابك.-- مج. 44، ع. 7 (2018/7).-- ص. 12-32.

5385.. التطورات البترولية في الأسواق العالمية والدول الأعضاء.-- أوابك.-- مج. 44، ع.8-10 (2018/8).-- ص. 38-58.

5359.. التطورات في السوق النفطية بين منتفع ومتضرر.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.33 (2018/8/18).-- ص. 37-44.

5386.. 3 مليارات دولار استثمارات جديدة لإيني الإيطالية في قطاع البترول.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 27.

5384.. العراق : ارتفاع معدل الإيرادات المتحققة عن تصدير النفط الخام في النصف الأول من 2018.-- أوابك.-- مج. 44، ع. 7 (2018/7).-- ص. 7.

5354.. هل الإمارات هي الأقل تأثرا بين دول الخليج بأزمة النفط الأخيرة؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.28 (2018/7/16).-- ص. 6-15.

البترول--إنتاج

5384.. الرشيدي : دولة الكويت ستزيد انتاجها النفطي بما يحفظ استقرار الأسواق.-- أوابك.-- مج. 44، ع. 7 (2018/7).-- ص. 8.

البترول--تكرير

5386.. توقيع عقد تنفيذ توسعات معمل تكرير ميدور.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).--ص. 29.

5385.. القمة الأوروبية السنوية الثانية عشر للتكرير.-- أوابك.-- مج. 44، ع.8-10 (2018/8).--ص. 35.

البترول--تنقيبات

5381.. الشارقة تطلق مفاوضات امتيازات حقول برية.-- التجارة.-- مج. 47، ع. (2018/7).-- ص.4.

البترول--صناعة وتجارة

5362.. أرامكو بين الإعلان عن الطرح في الأسواق العالمية وقرار الإلغاء -- هل يؤثر ذلك سلبا على أداء الشركة؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.36 (2018/9/8).-- ص. 37-44.

5354.. أسواق النفط العالمية بين تأثير متزايد للعوامل السياسية الأمنية تاثر أكبر على معطيات العرض والطلب.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.28 (2018/7/16).-- ص. 38-46.

5386.. الأمين العام لمنظمة الأوابك : مكانة هامة للدول المنتجة والمصدرة للبترول في صناعة البترول العالمية.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 24-25.

5361.. تأثير متعدد الأبعاد للولايات المتحدة الأمريكية على أسواق النفط العالمية -- هل يستمر طويلا؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.35 (2018/9/2).-- ص. 37-44.

5386.. تصحيح منظومة تسعير المنتجات البترولية.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 6-7.

5384.. التطورات البترولية في الأسواق العالمية والدول الأعضاء.-- أوابك.-- مج. 44، ع. 7 (2018/7).-- ص. 12-32.

5385.. التطورات البترولية في الأسواق العالمية والدول الأعضاء.-- أوابك.-- مج. 44، ع.8-10 (2018/8).-- ص. 38-58.

5359.. التطورات في السوق النفطية بين منتفع ومتضرر.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.33 (2018/8/18).-- ص. 37-44.

5367.. التهديدات الإيرانية بإغلاق مضيق هرمز -- : رؤية تحليلية.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.27 (2018/7/8).-- ص. 20-31.

5386.. دعم التعاون المشترك بين مصر وبريطانيا في مجالات البترول والغاز.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 29.

5381.. سلطان بن أحمد يفتتح مشروع الغاز النفطي المسال وتحميله في "الصجعة".-- التجارة.-- مج. 47، ع. (2018/7).-- ص. 5.

5380.. شركة نفط الكويت احتفلت بتخريج الدفعة الأولى من برنامج "عامل حفر - آبار بترولية".-- نبض.-- ع. (2018/5).-- ص. 20-23.

5386.عبد الحميد، وليد.. شباب سيدبك يتحدى الصعوبات.-- البترول.-- مج. 55، ع. (2018/9-8).-
- ص. 32.

5384.. الفالح : توقعات بارتفاع الطلب العالمي على النفط خلال النصف الثاني من عام 2018.-- أوابك.-- مج. 44، ع. 7 (2018/7).-- ص. 6.

5386.. مشروع تطوير وتحديث قطاع البترول : نتائج ملموسة.-- البترول.-- مج. 55، ع. (2018/9-8).-- ص. 10-14.

5386.. المهندس طارق الملا وزير البترول في مؤتمر صحفي : خفض مستحقات الشركاء الأجانب إلى مستوى قياسي.-- البترول.-- مج. 55، ع. (2018/9-8).-- ص. 8-9.

5380.. نفط الكويت حصدت جائزة أفضل عرض تقديمي لورقة عمل في مؤتمر جنوب شرق آسيا
لتكنولوجيا قياس تدفق النفط والغاز.-- نبض.-- ع. (2018/5).-- ص. 12-15.

5358.. نقل النفط بين المنتجين والمستهلكين ومستقبل استقرار الأسواق في ضوء دخول حزمة العقوبات الأمريكية على إيران حيز التنفيذ.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.32 (2018/8/13).--ص. 38-46.

5370.وهاب، بلال.. بناء العلاقات النفطية بين العراق و"حكومة إقليم كردستان" على أسس قانونية متينة.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.30 (2018/7/30).-- ص. 45-49.

5365.. يبقى الحال على ما هو عليه -- قراءة مختلفة من أوبك لأسواق النفط العالمية.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.39 (2018/9/29).-- ص. 35-42.

البترول--مؤتمرات

5385.. القمة الأوروبية السنوية الثانية عشر للتكرير. -- أوابك.-- مج. 44، ع.8-10 (2018/8).--ص. 35.

البترول--نقل

5367.. التهديدات الإيرانية بإغلاق مضيق هرمز -- : رؤية تحليلية.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.27 (2018/7/8).-- ص. 20-31.

5380.. «ناقلات النفط " : العنصر البشري على رأس أولوياتنا -- وكوادرنا البحرية تتميز بالكفاءة العالية.-- نبض.-- ع. (2018/5).-- ص. 16-19.

5358.. نقل النفط بين المنتجين والمستهلكين ومستقبل استقرار الأسواق في ضوء دخول حزمة العقوبات الأمريكية على إيران حيز التنفيذ.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.32 (2018/8/13).-- ص. 38-46.

البترول والعلاقات الدولية

5361.. تأثير متعدد الأبعاد للولايات المتحدة الأمريكية على أسواق النفط العالمية -- هل يستمر طويلا؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.35 (2018/9/2).-- ص. 37-44.

5353.. السعودية، إيران، الولايات المتحدة : علاقات متوترة وشراكة استراتيجية وتأثير متزايد على الأسواق.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.27 (2018/7/9).-- ص. 35-42.

5357.. الصين وتعاون لا محال منه مع منتجي النفط -- دول الخليج نموذجا.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.31 (2018/8/6).-- ص. 38-45.

شركات البترول

5385.. الاجتماع التنسيقي السنوي السابع والأربعون للشركات العربية المنبثقة عن المنظمة.-- أوابك.-- مج. 44، ع.8-10 (2018/8).-- ص. 33.

5362.. أرامكو بين الإعلان عن الطرح في الأسواق العالمية وقرار الإلغاء -- هل يؤثر ذلك سلبا على أداء الشركة؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.36 (2018/9/8).-- ص. 37-44.

5386.. 3 مليارات دولار استثمارات جديدة لإيني الإيطالية في قطاع البترول.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 27.

5384.. سوناطراك توقع مع توتال وريبسول عقد بقيمة 324 مليون دولار.-- أوابك.-- مج. 44، ع. 7 (2018/7).-- ص. 11.

5380.. شركة نفط الكويت احتفلت بتخريج الدفعة الأولى من برنامج "عامل حفر - آبار بترولية".-- نبض.-- ع. (2018/5).-- ص. 20-23.

5384.. قطر للبترول توقع اتفاقية شراء 30 % في شركتين لإكسون موبيل.-- أوابك.-- مج. 44، ع. 7 (2018/7).-- ص. 11.

5380.. «ناقلات النفط " : العنصر البشري على رأس أولوياتنا -- وكوادرنا البحرية تتميز بالكفاءة العالية.-- نبض.-- ع. (2018/5).-- ص. 16-19.

5380.. نفط الكويت حصدت جائزة أفضل عرض تقديمي لورقة عمل في مؤتمر جنوب شرق آسيا لتكنولوجيا قياس تدفق النفط والغاز.-- نبض.-- ع. (2018/5).-- ص. 12-15.

غاز البترول المسال

5381.. سلطان بن أحمد يفتتح مشروع الغاز النفطي المسال وتحميله في "الصجعة".-- التجارة.-- مج. 47، ع. (2018/7).-- ص. 5.

منتجات البترول

5386.. تصحيح منظومة تسعير المنتجات البترولية.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 6-7.

الوقود

5380.. «البترول الوطنية» : 19 محطة تعبئة وقود بتصاميم عصرية متطورة تضاهي المحطات العالمية.-- نبض.-- ع. (2018/5).-- ص. 6-9.

الغاز الطبيعي

5384.. توقيع اتفاق نهائي مع مبادلة الإماراتية لشراء 10 % من حصة إيني في امتياز شروق.- - أوابك.- مج. 44، ع. 7 (2018/7).-- ص. 9.

5380.. خليل إسماعيل: خط الغاز الخامس يتوافق مع خطة الشركة الهادفة إلى التوسّع في المشتقات المربحة.-- نبض.-- ع. (2018/5).-- ص. 24-27.

5386.. دعم التعاون المشترك بين مصر وبريطانيا في مجالات البترول والغاز.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 29.

5386.. مشروع الغاز ببورسعيد نموذج ناجح لاستغلال ثروات مصر من الغاز الطبيعي.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 18-19.

التجارة والعلاقات الاقتصادية الدولية

5357.. دعم التجارة الحرة : اليابان والاتحاد الأوروبي يوقعان إتفاقية أكبر تبادل تجاري حر.—تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.31 (2018/8/6).-- ص. 25-31.

5382.. موانئ دبي العالمية تدير 78 محطة بحرية وبرية في 42 دولة.-- التجارة.-- مج. 47، ع. (2018/8).-- ص. 26-28.

5383.. هل أطلقت أولى رصاصات أكبر حرب تجارية عالمية؟.-- الاقتصادي الكويتي.-- ع. 556 (2018/7).-- ص. 61-63.

5365.. هل تسهم التجارة البينية العربية في إنقاذ اقتصاد الأردن؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.39 (2018/9/29).-- ص. 20-27.

الشركات

5383.. أكبر 100 شركة في المملكة العربية السعودية : الواقع والمتغيرات.-- الاقتصادي الكويتي.-- ع. 556 (2018/7).-- ص. 40-46.

5383.. تقييم العلامات التجارية للشركات الكويتية : دراسة حول قيمة الأصول غير الملموسة.-- الاقتصادي الكويتي.-- ع. 556 (2018/7).-- ص. 74-75.

العقوبات الاقتصادية

5359.. التأثيرات الاقتصادية للعقوبات الأمريكية على تركيا.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.33 (2018/8/18).-- ص. 22-29.

5373.. شروط فاعلية "العقوبات الاقتصادية الثانوية" في العلاقات الدولية.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.33 (2018/8/18).-- ص. 47-53.

العلاقات الاقتصادية

5359.. التأثيرات الاقتصادية للعقوبات الأمريكية على تركيا.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.33 (2018/8/18).-- ص. 22-29.

5386.. دعم التعاون المشترك بين مصر وبريطانيا في مجالات البترول والغاز.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 29.

5384.. سوناطراك توقع مع توتال وريبسول عقد بقيمة 324 مليون دولار.-- أوابك.-- مج. 44، ع. 7(2018/7).-- ص. 11.

5376.. العلاقات المصرية البحرينية في ضوء زيارة الرئيس المصري للمنامة.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.36 (2018/9/8).-- ص. 22-29.

5364.. قراءة في تطور العلاقات الاقتصادية بين السودان والسعودية.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.38 (2018/9/23).-- ص. 6-15.

5359.. قراءة في تطور العلاقات الاقتصادية بين كندا والسعودية في ظل الخلاف الأخير.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.33 (2018/8/18).-- ص. 6-12

5355.. قراءة في تطور العلاقات الاقتصادية الكويتية -- الصينية في ظل الاتفاقيات الثنائية الأخيرة.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.29 (2018/7/22).-- ص. 6-13.

5384.. قطر للبترول توقع اتفاقية شراء 30 % في شركتين لإكسون موبيل.-- أوابك.-- مج. 44، ع. 7 (2018/7).-- ص. 11.

5383.. منتدى تونسي -- ليبي لإنعاش العلاقات التجارية والاقتصادية.-- الاقتصادي الكويتي.-- ع. 556 (2018/7).-- ص. 54-55.

5358.. نقل النفط بين المنتجين والمستهلكين ومستقبل استقرار الأسواق في ضوء دخول حزمة العقوبات الأمريكية على إيران حيز التنفيذ.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.32 (2018/8/13).--ص. 38-46.

العلاقات الاقتصادية الدولية

5362.. احتدام التنافس : الصين تسعى للفوز الاقتصادي في أفريقيا.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.--
ع.36 (2018/9/8).-- ص. 20-28.

5377.. التوجه السعودي نحو القارة الإفريقية -- : رؤية تحليلية.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.37 (2018/9/16).-- ص. 18-26.

5372.. توجه المصارف الخليجية نحو عمليات الاندماج والاستحواذ : الدوافع والجدوى.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.32 (2018/8/12).-- ص. 32-45.

5368.. الدعم الثلاثي الخليجي وتداعياته على الاقتصاد البحريني.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.28 (2018/7/16).-- ص. 34-45.

5376.. في ظل الحرب التجارية بين الصين وأمريكا : هل تستطيع دول الخليج أن تكون بديلا مثاليا لواردات الصين من المنتجات البتروكيماوية؟.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.--
ع.36 (2018/9/8).--
ص. 30-41.

5353.. الملفات الاقتصادية على طاولة القمة الأفريقية بنواكشوط.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.27 (2018/7/9).-- ص. 23-29.

5383.. الملتقى الاقتصادي العربي -- الألماني، برلين 25-27 يونيو 2018.-- الاقتصادي الكويتي.--ع. 556 (2018/7).-- ص. 6-13.

5353.. هل تحقق المساعدات الخليجية الاستقرار الاقتصادي للمملكة البحرينية؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.27 (2018/7/9).-- ص. 6-12.

المعونات الاقتصادية

5368.. الدعم الثلاثي الخليجي وتداعياته على الاقتصاد البحريني.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.28 (2018/7/16).-- ص. 34-45.

5353.. هل تحقق المساعدات الخليجية الاستقرار الاقتصادي للمملكة البحرينية؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.27 (2018/7/9).-- ص. 6-12.

قضايا حماية البيئة

تلوث البيئة وحمايتها

5385.. الاجتماع ال 151 للمكتب التنفيذي لمنظمة أوابك : اختيار مجال "البحوث البيئية ذات العلاقة بالبترول والطاقة" لجائزة منظمة أوابك، للبحث العلمي لعام 2020.-- أوابك.-- مج. 44، ع.8-10 (2018/8).-- ص. 32.

الطاقة

الطاقة--اقتصاديات

5378.. الاستثمارات الخليجية في قطاع الطاقة المتجددة : السعودية نموذجا.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.38 (2018/9/22).-- ص. 28-39.

الطاقة--تنمية

5355.. إندونيسيا بين آمال العودة لعضوية أوبك وفرص التغلب على التحديات في قطاع الطاقة.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.29 (2018/7/22).-- ص. 39-48.

5360.. قطاع الطاقة في مصر بين تكثيف جهود التنقيب والتوسع في الإنتاج -- هل تحقق مصر المعادلة وتتحول من مستورد للنفط إلى مصدر له؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.34 (2018/8/26).-- ص. 38-46.

الطاقة--سياسة

5356.. استراتيجية روسيا في مجال الطاقة بين تحالفات إقليمية ودولية ومحاولات التغلب على الضغوط الأمريكية.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.30 (2018/7/29).-- ص. 36-44.

5386.. البنك الدولي -- التجربة المصرية لإصلاح قطاع الطاقة -- قصة نجاح كبيرة.-- البترول.-- مج. 55، ع. (8-2018/9).-- ص. 23.

5360.. قطاع الطاقة في مصر بين تكثيف جهود التنقيب والتوسع في الإنتاج -- هل تحقق مصر المعادلة وتتحول من مستورد للنفط إلى مصدر له؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.34 (2018/8/26).-- ص. 38-46.

5363.. هل تنجح استثمارات قطر الخارجية في مجال الطاقة في التغلب على التحديات الداخلية والخارجية؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.37 (2018/9/15).-- ص. 40-46.

الطاقة--مؤتمرات

5385.. سعادة الأستاذ عباس علي النقي : جهود مشتركة ساهمت في إنجاح مؤتمر الطاقة العربي الحادي عشر.-- أوابك.-- مج. 44، ع.8-10 (2018/8).-- ص. 15.

5384.. مؤتمر الطاقة العربي الحادي عشر : الطاقة والتعاون العربي.-- أوابك.-- مج. 44، ع. 7 (2018/7).-- ص. 4-5.

5385.. مؤتمر الطاقة العربي الحادي عشر : مخرجات ونتائج إيجابية....-- أوابك.-- مج. 44، ع. 8-10 (2018/8).-- ص. 4-5.

5385.. مؤتمر الطاقة العربي الحادي عشر "مراكش 2018" : الطاقة والتعاون العربي.-- أوابك.-- مج. 44، ع.8-10 (2018/8).-- ص. 6-31.

5385.. النقي : سعداء بمشاركتنا في مؤتمر الطاقة العالمي الرابع والعشرون.-- أوابك.-- مج. 44، ع. 8-10 (2018/8).-- ص. 34.

الطاقة الكهربائية

5384.. د. النيادي : الاحتياطي الدوار للربط الكهربائي يمنع حالات انقطاع التيار بدول التعاون.-- أوابك.-- مج. 44، ع. 7 (2018/7).-- ص. 10.

مصادر الطاقة المتجددة

5378.. الاستثمارات الخليجية في قطاع الطاقة المتجددة : السعودية نموذجا.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.38 (2018/9/22).-- ص. 28-39.

5364.. الطاقة المتجددة في إفريقيا هل تمثل بديلا اقتصاديا للنفط والغاز لتلبية احتياجات القارة من الطاقة.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.38 (2018/9/23).-- ص. 40-47.

المالية والمالية العامة

المالية العامة

5362.. كيف حققت الكويت فائضا في الحساب الجاري للربع الأول من 2018؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.36 (2018/9/8).-- ص. 6-11.

5360.. ما وراء تراجع الروبل الروسي.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.34 (2018/8/26).-- ص. 23-29.

الميزانية

5356.. رؤية تحليلية لانخفاض العجز المالي في سلطنة عمان في النصف الأول من 2018.--

تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.30 (2018/7/29).-- ص. 6-13.

5373.. قراءة في أداء الموازنة السعودية خلال النصف الأول من 2018، واستشراف لأداء الاقتصاد خلال 2019.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.33 (2018/8/18).-- ص. 35-46.

5383.. مصر تبدأ تنفيذ أكبر موازنة في تاريخها.-- الاقتصادي الكويتي.-- ع. 556 (2018/7).--ص. 52-53.

5363.. هل تتجه الكويت نحو خفض الدعم المالي لموظفي القطاع الخاص في ضوء قرارات العلاوة الاجتماعية؟.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.37 (2018/9/15).-- ص. 6-16.

النقود

5360.. ما وراء تراجع الروبل الروسي.-- تقرير الاقتصاد والأعمال.-- ع.34 (2018/8/26).-- ص. 23-29.

موضوعات أخرى

5377.. التوجه السعودي نحو القارة الإفريقية -- : رؤية تحليلية.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.37 (2018/9/16).-- ص. 18-26.

5367.. التهديدات الإيرانية بإغلاق مضيق هرمز -- : رؤية تحليلية.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.27 (2018/7/8).-- ص. 20-31.

5373.. شروط فاعلية "العقوبات الاقتصادية الثانوية" في العلاقات الدولية.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.33 (2018/8/18).-- ص. 47-53.

5376.. العلاقات المصرية البحرينية في ضوء زيارة الرئيس المصري للمنامة.-- تقرير الخليج الاستراتيجي.-- ع.36 (2018/9/8).-- ص. 22-29.

Bibliograply

Prepared by :
Muhammad Sami
Information and Library Dept.

The bibliography presents a subject compilation of books, serials, documents, and periodical articles newly acquired by OAPEC's library. The entries are classified under the following subject headings.

Commerce & international economic relations
Economic development
Energy policy
Energy--Economic aspects
Finance & public finance
Global warming
Miscellaneous
Natural gas
Petrochemicals and fertilizer
Petroleum
Pollution & environmental protection
Power resources
Renewable energy sources
Shales oil oil-shales

Commerce & international economic relations

5057.UNCTAD. Handbook of statistics 2017.-- New York: United Nations 102 .2017 , , ,p. ; 30 cm .-- R058:31:339 HAN

5036.UNCTAD. Review of maritime transport 2017.-- New York: United Nations, , , 2017.--114 p. ; 29cm .-- R058: 387 REV

Economic development

Economic conditions

5395 . .Algeria Halves Trade Deficit, Thanks To Higher Oil Prices.-- MEES--. Vol. 61, no. 35 (31/08/2018).-- P. 16-17 . .

5389 . .Bahrain's Troubled Banking Sector Set For Turbulent Times --.MEES.-- Vol. 61, no. 29 (20/07/2018).-- P. 4-5 . .

5391 . .Kuwait Fiscal Deficit Falls By 19% To $16bn For 2017-18.-- MEES--. Vol. 61, no. 31 (03/08/2018).-- P. 12 . .

5394 . .Libya: Fractured Institutions Fail To Distribute Oil Revenue Gains --.MEES.-- Vol. 61, no. 34 (24/08/2018).-- P. 5 . .

5390 . .Oman Deficit Halved As Export Revenues Soar.-- MEES.-- Vol. 61 ,no. 30 (27/07/2018).-- P. 3 . .

5393 . .Oman: Oil Prices Bolster Economy, For Now.-- MEES.-- Vol. 61, no --.(17/08/2018) 33 .P. 10-11 . .

5389. . Saudi Products Exports At Record Highs.-- MEES.-- Vol. 61, no. 29 (20/07/2018).-- P. 10. .

Economic development

5056.FAO. Commodities and development report 2017.-- New York: United Nations, , , 2017.--80 p. ; 30cm .-- R058: 382. 6 COM

5032.Japan Statistics Bureau. Statistical handbook of Japan 2017.-- Tokyo :Ministry of Internal Affairs and Communications, , , 2017.--197 p. ; 21 cm--. R058:31(520) J35

5033 .Shehabi, Manal . Assessing Kuwait energy pricing reforms.-- Oxford : Oxford Institute for Energy Studies, , , 2017.-- 37 p. ; 29 cm .-- 665. 6 (8 .536) ASS

Economic policy

5434 . .Final Fate of Aramco IPO Hangs In the Balance.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 34 (27/08/2018).-- P. 1, 4 . .

5394 . .Record Products Sales And VAT Bolster Saudi Economy.-- MEES--. Vol. 61, no. 34 (24/08/2018).-- P. 14 . .

5389 . .Saudi Arabia Struggling To Reform Economy Despite Ambitious Plans.-- MEES.-- Vol. 61, no. 29 (20/07/2018).-- P. 12-13 . .

5438 . .Saudi Arabia's Oil Policy Tug of War.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 38 (24/09/2018).-- P. 1-2 . .

Economic sanctions

5429 . .Kurdistan Eyes Oil Revival as Iran Sanctions Bite.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 29 (23/07/2018).-- P. 2-3 . .

5436 . .Sanctions Drop Hammer on Iranian Oil Exports.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 36 (10/09/2018).-- P. 1, 4 . .

5437 . .Traders Cut Iran Exposure as Sanctions Loom.-- Petroleum Intelligence-Weekly.-- Vol. 57 , no. 37 (17/09/2018).-- P. 3-4 . .

Energy

Biomass energy

5403 . .US Biofuels Policy: How Broken Can It Get?.-- New Energy.-- Vol. 7, no. 30 (26/07/2018).-- P. 2 . .

Electric power

5399 . .Iraq Aims To End Blackouts As Protests Rage On.-- MEES.-- Vol. 61,no. 39 (28/09/2018).-- P. 11 . .

5387 . .Oman Reduces Peak Electricity Load Forecast, Targets Lower Gas Burn.-- MEES.-- Vol. 61, no. 27 (06/07/2018).-- P. 10-11 . .

5402 . .BP Seeks Careful Balance in EV Charging Bets.-- New Energy.-- Vol , 7 .no. 29 (19/07/2018).-- P. 3 . .

5401 . .Shell Sees Added Value in Offering EV Choice.-- New Energy.-- Vol , 7 .no. 28 (12/07/2018).-- P. 2 . .

5401 . .Total Looking Beyond Stations in EV Strategy.-- New Energy.-- Vol. 7 ,no. 28 (12/07/2018).-- P. 3 . .

Energy--Economic aspects

5001.Poudineh, Rahmatallah; Peng, Donna and Mirnezami, Seyed Reza . Electricity networks: Technology, future role and economic incentives for innovation.-- Oxford: Oxford Institute for Energy Studies, , , 2017.-- 672 p 311 .621 --. سم 24 ; .ELE

Energy development

5391 . .Egypt's New CCGTs Take Pressure Off Power Generators.-- MEES--. Vol. 61, no. 31 (03/08/2018).-- P. 10 . .

Energy policy

5388 . .Egypt Pledges To End Energy Subsidies Within 12 Months.-- MEES-. -Vol. 61, no. 28 (13/07/2018).-- P. 13 . .

5404 . .EnBW: Energy Transition a Big Opportunity for Utilities.-- New Energy.-- Vol. 7 , no. 31 (02/08/2018).-- P. 2 . .

5391 . .Saudi Power Capacity Tops 90GW As Planning Shifts To 'Clean 'Energy.-- MEES.-- Vol. 61, no. 31 (03/08/2018).-- P. 10 . .

5392 . .Saudi Power Capacity Tops 90GW As Planning Shifts To 'Clean 'Energy.-- MEES.-- Vol. 61, no. 32 (10/08/2018).-- P. 10 . .

5397 . .SEC Takes First Steps Toward Saudi Power Sector Shake-Up --.MEES.-- Vol. 61, no. 37 (14/09/2018).-- P. 11 . .

5433 . .Uncertainties Build as Saudi Oil Policy Gets Political.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 33 (20/08/2018).-- P. 2-3 . .

Finance & public finance

5393 . .Libya's Financial Black Hole.-- MEES.-- Vol. 61, no. 33-.(17/08/2018) -P. 6-7 . .

Miscellaneous

5070.Asia Pacific InfoSer Pty. Who's who in Kuwait 2017-18.-- Sydney ,Australia: Asia Pacific infoserv pty ltd., , , 2018.--196 p ; 29cm --. R092(536-.8) WHO

Natural gas

Gas industry

5403 . .Big Gas Producers Eye Transport as Saving Outlet.-- New Energy--. Vol. 7 , no. 30 (26/07/2018).-- P. 5 . .

5425 . .Cost-Cutting Drive Hits Speed Bumps.-- World Gas Intelligence --.

Vol. 29 , no. 39 (26/09/2018).-- P. 3-4 . .

5390 . .Egypt Completes 14.4GW Gas-Fired Megaproject In Record Time-. -MEES.-- Vol. 61, no. 30 (27/07/2018).-- P. 14 . .

5416 . .Gas Storage Lags Alarmingly in US, Climbs in EU.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 30 (25/07/2018).-- P. 7 . .

5398 . .Kuwait Gets Jurassic Gas Boost, Eyes Further 2020 Gains.-- MEES--. Vol. 61, no. 38 (21/09/2018).-- P. 2 . .

5423 . .Volatility, Weather Boost European Gas Hub Trade.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 37 (12/09/2018).-- P. 5-6 . .

Liquefied natural gas

5437 . .Australia's LNG Exports Caught in Political Crosshairs.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 37 (17/09/2018).-- P. 4-5 . .

5437 . .East Med Gas Ambitions Remain Unrealized.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 37 (17/09/2018).-- P. 5-6 . .

5420 . .Egypt Export Plans Look a Step Too Far.-- World Gas Intelligence--. Vol. 29 , no. 34 (22/08/2018).-- P. 5-6 . .

5432 . .Escalating US-China Trade War Rattles US LNG.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 32 (13/08/2018).-- P. 5-6 . .

5420 . .EU Promises On US LNG Ring Hollow.-- World Gas Intelligence --.Vol. 29 , no. 34 (22/08/2018).-- P. 4-5 . .

5034.Gomes, Ieda and Lambert, Martin . The potential market for LNG in the Caribbean and Central America.-- Oxford: Oxford Institute for Energy Studies 37--.2017 , ,,p. ; 29 cm .-- 662. 69 (729 + 1-927.1) POT

5419 . .How Important is US LNG To China?.-- World Gas Intelligence.-- Vol, 29. n o. 33 (15/08/2018). -- P. 3-4 . .

5434 . .In Historic Shift, Saudi Gas Plans Branch Into LNG.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 34 (27/08/2018).-- P. 6 . .

5414 . .Japanese LNG Buyers Step Up European Partnerships.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 28 (11/07/2018).-- P. 7 . .

5438 . .LNG Producers Rush to Cut Costs To Avoid Shortfall.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 38 (24/09/2018).-- P. 5-6 . .

5432 . .LNG Ripples Spread as IMO Sulfur Rules Loom.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 32 (13/08/2018).-- P. 3-4 . .

5426 . .LNG's Biggest Risk? Stranded Assets, Not Supply.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 26 (02/07/2018).-- P. 5-6 . .

5418 . .LNG Wave Keeps Retreating as Projects Run Late.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 32 (08/08/2018).-- P. 3-4 . .

5418 . .Low Storage Levels Finally Spook US Gas Market.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 32 (08/08/2018).-- P. 7 . .

5396 . .Oman Eyes LNG Expansion As It Deals With Newfound Gas Abundance.-- MEES.-- Vol. 61, no. 36 (07/09/2018).-- P. 4 . .

5399 . .Qatar Enlarges LNG Expansion, Drilling Expected Imminently --.MEES.-- Vol. 61, no. 39 (28/09/2018).-- P. 12 . .

5416 . .Shell, Total Plug Role for Gas In Transport.-- World Gas Intelligence --.Vol. 29 , no. 30 (25/07/2018).-- P. 6 . .

5413 . .Strong Demand Pulls up LNG Tanker Rates.-- World Gas Intelligence --.Vol. 29 , no. 27 (04/07/2018).-- P. 5 . .

5418 . .Trump's EU Sales Pitch May Fall Flat.-- World Gas Intelligence --.Vol. 29 , no. 32 (08/08/2018).-- P. 5-6 . .

5422 . .US Looks to Pick Up Slowing LNG Pace.-- World Gas Intelligence --.Vol. 29 , no. 36 (05/09/2018).-- P. 2 . .

5418 . .US May Miss Out on China Gas Bonanza.-- World Gas Intelligence --.Vol. 29 , no. 32 (08/08/2018).-- P. 2-3 . .

5430 . .What Commodity Status Means For LNG.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 30 (30/07/2018).-- P. 3-4 . .

5415 . .Will LNG Stay Out of US-China Trade War?.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 29 (18/07/2018).-- P. 2 . .

Liquefied natural gas--Prices

5425 . .Arbitrage Window Closes as Asian Spot Prices Slump.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 39 (26/09/2018).-- P. 7-8 . .

5420 . .Asian Price Bulls Set for Winter Stampede.-- World Gas Intelligence--. Vol. 29 , no. 34 (22/08/2018).-- P. 2-3 . .

5416 . .Asian Prices Drop as More Cargoes Offered, Europe Stays Quiet --. World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 30 (25/07/2018).-- P. 7-8 . .

5419 . .Asian Spot Prices Jump on Tight Fundamentals.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 33 (15/08/2018).-- P. 7-8 . .

5417 . .Commodity Traders Become Disruptive Influence in LNG Business --.World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 31 (01/08/2018).-- P. 7-8 . .

5420 . .High European Gas Prices to Spill Into 2019.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 34 (22/08/2018).-- P. 8-9 . .

5438 . .LNG Producers Rush to Cut Costs To Avoid Shortfall.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 38 (24/09/2018).-- P. 5-6 . .

5421 . .Low Storage Splits Price Direction in US, Europe.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 35 (29/08/2018).-- P. 7 . .

5416 . .Sellers Raise Price Ideas for Post-2020 Supply.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 30 (25/07/2018).-- P. 2 . .

5413 . .Spot LNG Prices Start to Stabilize in Asia and Europe.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 27 (04/07/2018).-- P. 9 . .

5424 . .Spot Prices Dip in Asia on More Prompt LNG Supply.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 38 (19/09/2018).-- P. 7-8 . .

Natural gas

5389 . .Abu Dhabi, Dubai Push Power Capacity, Diversify From Gas Fuel-. -MEES.-- Vol. 61, no. 29 (20/07/2018).-- P. 11 . .

5422 . .China's Big 3 Face Battle to Raise Output.-- World Gas Intelligence --.Vol. 29 , no. 36 (05/09/2018).-- P. 4 . .

5437 . .East Med Gas Ambitions Remain Unrealized.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 37 (17/09/2018).-- P. 5-6 . .

5397 . .Egypt Gas Output At Record High As Zohr Hits 2bn cfd.-- MEES-. -Vol. 61, no. 37 (14/09/2018).-- P. 2 . .

5395 . .Egypt's Gas Surge Enables Planning Beyond Powergen Needs --.MEES.-- Vol. 61, no. 35 (31/08/2018).-- P. 15 . .

5411 . .Gas Will Dominate, But No Endless Summer: Report.-- New Energy --.Vol. 7 , no. 39 (27/09/2018).-- P. 6 . .

5388 . .Pearl Steps On The Gas In Iraqi Kurdistan. -- MEES. -- Vol. 61, no . 28 --.(13/07/2018) P. 2. .

5059 .Petroleum Economist and Chevron . World gas map 2018 edition -- .London: Petroleum Economist, , , 2018.--V.p ; map .-- Doc. 5663

5397 . .Qatar Secures New Long Term LNG Sales Deal With China.-- MEES -.Vol. 61, no. 37 (14/09/2018).-- P. 5 . .

5413 . .Sharjah Joins Push to Cut Gas Imports.-- World Gas Intelligence --. Vol. 29 , no. 27 (04/07/2018).-- P. 6 . .

Natural gas--Prospecting

5393 . .Egypt Gas Exploration Focus Shifts East As Output Record Nears --.MEES.-- Vol. 61, no. 33 (17/08/2018).-- P. 2-3 . .

5388 . .Egypt Gas Output Hits New Record As Eni Targets 'More Zohr' Off Sinai.-- MEES.-- Vol. 61, no. 28 (13/07/2018).-- P. 3 . .

Petrochemicals and fertilizer

538711$ . .bn Egypt Petchems Project Belatedly Green Lighted.-- MEES --. Vol. 61, no. 27 (06/07/2018).-- P. 12 . .

Petroleum

Petroleum

5060.Petroleum Economist. PE outlook, 2018.-- London: Petroleum Economist, , , 2018.--106 p. ; 26cm .-- 665.6: 338 PET

Petroleum--Prospecting

5391. . Egypt Goes West And Digs Deep In Quest For Oil Output Boost.-- MEES.-- Vol. 61, no. 31 (03/08/2018).-- P. 3. .

Petroleum—Refining

5435 . .African Refinery Pushes Ahead Despite Challenges.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 35 (03/09/2018).-- P. 5-6 . .

5391 . .Cash-Rich Gulf State Refiners Seek Overseas Capacity, Integration --.MEES.-- Vol. 61, no. 31 (03/08/2018).-- P. 8-9 . .

5435 . .IMO Spurs Big Investments From Asian Refiners.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 35 (03/09/2018).-- P. 4-5 . .

5397 . .Iraq's Baiji Refinery Restarts Amid Security Concerns.-- MEES --. Vol. 61, no. 37 (14/09/2018).-- P. 8-9 . .

5431 . .Pipe Bottlenecks Good News for US Refiners.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 31 (06/08/2018).-- P. 6 . .

5428 . .Refiners Come to Terms With Iran Sanctions.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 28 (16/07/2018).-- P. 4 . .

5429 . .Refiners Grapple With Zombie US Biofuels Policy.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 29 (23/07/2018).-- P. 6 . .

Petroleum--Transportation

5416 . .Shell, Total Plug Role for Gas In Transport.-- World Gas Intelligence -.Vol. 29 , no. 30 (25/07/2018).-- P. 6 . .

Petroleum & international economic relation

5432 . .Escalating US-China Trade War Rattles US LNG.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 32 (13/08/2018).-- P. 5-6 . .

5415 . .Will LNG Stay Out of US-China Trade War?.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 29 (18/07/2018).-- P. 2 . .

Petroleum & international relation

5420 . .EU Promises On US LNG Ring Hollow.-- World Gas Intelligence --. Vol. 29 , no. 34 (22/08/2018).-- P. 4-5 . .

5419 . .How Important is US LNG To China?.-- World Gas Intelligence.-- Vol , 29.no. 33 (15/08/2018).-- P. 3-4 . .

5414 . .Japanese LNG Buyers Step Up European Partnerships.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 28 (11/07/2018).-- P. 7 . .

5436 . .Sanctions Drop Hammer on Iranian Oil Exports.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 36 (10/09/2018).-- P. 1, 4 . .

5387 . .Saudi-Kuwait Neutral Zone: Supply Concerns Spur Restart Rumors --.MEES.-- Vol. 61, no. 27 (06/07/2018).-- P. 3 . .

5426 . .US-Saudi Alliance Risks Market Tumult in Iran Push.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 26 (02/07/2018).-- P. 1-2 . .

5418 . .Trump's EU Sales Pitch May Fall Flat.-- World Gas Intelligence --. Vol. 29 , no. 32 (08/08/2018).-- P. 5-6 . .

5418 . .US May Miss Out on China Gas Bonanza.-- World Gas Intelligence --.Vol. 29 , no. 32 (08/08/2018).-- P. 2-3 . .

Petroleum industry and trade

5399 . .Abu Dhabi Field Startp Paves Way For New Crude Grade Launch. --MEES.-- Vol. 61, no. 39 (28/09/2018).-- P. 3 . .

5429 . .Aramco IPO: Hibernating or Dead on Arrival?.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 29 (23/07/2018).-- P. 4 . .

5394 . .Aramco JV Takes Saudi Petchems To 'Next Era' With Bigger Projects Planned.-- MEES.-- Vol. 61, no. 34 (24/08/2018).-- P. 9-11 . .

4975.BMI. Middle East monitor: Gulf, Jan. 2018.-- London: BMI, , , 2018.--16 p. ; 29 cm (56) 6 .665 --. MID

5438 . .Brent Signals Cheap Oil May Be Over.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 38 (24/09/2018).-- P. 1, 4 . .

5436 . .Carbon Price Cons Outweigh Pros for Gas.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 36 (10/09/2018).-- P. 1-2 . .

5422 . .China's Big 3 Face Battle to Raise Output.-- World Gas Intelligence --.Vol. 29 , no. 36 (05/09/2018).-- P. 4 . .

5407 . .China's Rise to EV Leadership Poses Oil Threat.-- New Energy.-- Vol , 7 .no. 34 (23/08/2018).-- P. 2 . .

5417 . .Commodity Traders Become Disruptive Influence in LNG Business --.World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 31 (01/08/2018).-- P. 7-8 . .

5431 . .Crude Buyers Get Used to Libya's Instability.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 31 (06/08/2018).-- P. 5-6 . .

5428 . .Despite Capex Austerity, IOCs Flock to Oman.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 28 (16/07/2018).-- P. 5-6 . .

5406 . .Divestment Looms Large for Traditional Oil Projects.-- New Energy --.Vol. 7 , no. 33 (16/08/2018).-- P. 2 . .

5405 . .Electric Bus Gains Point to Deeper Oil Demand Destruction.-- New Energy.-- Vol. 7 , no. 32 (09/08/2018).-- P. 3 . .

5420 . .Egypt Export Plans Look a Step Too Far.-- World Gas Intelligence --.Vol. 29 , no. 34 (22/08/2018).-- P. 5-6 . .

5415 . .European Border Prices Climb on Storage Refills, Oil.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 29 (18/07/2018).-- P. 8 . .

5434 . .Final Fate of Aramco IPO Hangs In the Balance.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 34 (27/08/2018).-- P. 1, 4 . .

5420 . .High European Gas Prices to Spill Into 2019.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 34 (22/08/2018).-- P. 8-9 . .

5430 . .Higher Oil Price a Mixed Blessing for NOCs.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 30 (30/07/2018).-- P. 2-3 . .

5427 . .Industry Targets Weak Links On Reputation.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 27 (09/07/2018).-- P. 3-4 . .

5396 . .Iraq Crude Exports Smash Record As Protests Grip Basra.-- MEES --. Vol. 61, no. 36 (07/09/2018).-- P. 5 . .

5387 . .Iraq Oil Revenues Soar But Stretched Southern Export Capacity Caps Gains.-- MEES.-- Vol. 61, no. 27 (06/07/2018).-- P. 2 . .

5398 . .Iraq: Soaring Domestic Oil Demand Will Test Next Government --.MEES.-- Vol. 61, no. 38 (21/09/2018).-- P. 3 . .

5395 . .Kurdistan Oil Sector Outperforming Expectations in 2018.-- MEES --.

Vol. 61, no. 35 (31/08/2018).-- P. 2-3 . .

5396 . .Libya: Exports Up But Loading Uncertainty Means More Goes Long-Haul.-- MEES.-- Vol. 61, no. 36 (07/09/2018).-- P. 9-10 . .

5387 . .Libya: Oil Output, Revenue Losses Mount. -- MEES.
-- Vol. 61, no. 27 --. (06/07/2018) P. 4-5 . .

5426 . .Libya's Wild Card Supplier Status Returns.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 26 (02/07/2018).-- P. 3-4 . .

5429 . .Liquidity Woes Shake Up Saudi Pricing to Asia.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 29 (23/07/2018).-- P. 4-5 . .

5418 . .LNG Wave Keeps Retreating as Projects Run Late.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 32 (08/08/2018).-- P. 3-4 . .

5418 . .Low Storage Levels Finally Spook US Gas Market.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 32 (08/08/2018).-- P. 7 . .

5435 . .Lost Barrels Shake Up Western Heavy Crude Market.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 35 (03/09/2018).-- P. 6 . .

5433 . .NOC Maintains Grip on Libya's Troubled Oil Sector.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 33 (20/08/2018).-- P. 6 . .

5434 . .Non-Crude Liquids Growth Requires Oil Market Rethink.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 34 (27/08/2018).-- P. 4-5 . .

5435 . .Obstacles Abound For Aramco- Sabic Deal.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 35 (03/09/2018).-- P. 1-2 . .

5405 . .Oil Businesses Eyes Strategies in Electricity.-- New Energy.-- Vol. 7 , no. 32 (09/08/2018).-- P. 6 . .

5402 . .Oil Demand in Freight Transport Also Shaky: Experts.-- New Energy --.Vol. 7 , no. 29 (19/07/2018).-- P. 4 . .

5400 . .Oil Industry Underestimating EV Impact, Report Says.-- New Energy --.Vol. 7 , no. 27 (05/07/2018).-- P. 2 . .

5428 . .Oil Market Seeks Solutions for IMO Sulfur Rules.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 28 (16/07/2018).-- P. 3-4 . .

5437 . .Oil Price Consensus Masks Persistent Risks.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 37 (17/09/2018).-- P. 1, 4 . .

5437 . .Oil Price Consensus Masks Persistent Risks.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 37 (17/09/2018).-- P. 4 . .

5396 . .Oman Eyes Exciting Oil Potential As Production Limits Ease --.MEES.-- Vol. 61, no. 36 (07/09/2018).-- P. 2-3 . .

5406 . .Peak Oil Demand Looms — With Immediate Impacts.-- New Energy--. Vol. 7 , no. 33 (16/08/2018).-- P. 6 . .

5432 . .Peak Oil Demand Threats Both Real And Immediate.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 32 (13/08/2018).-- P. 4 . .

5429 . .Permian Constraints Expose E&Ps' Herd Mentality.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 29 (23/07/2018).-- P. 5-6 . .

5427 . .Price Fears Force Shippers to Act on Sulfur Rules.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 27 (09/07/2018).-- P. 4-5 . .

5391 . .Qatar Export Revenues Hit Three-Year High Despite Continued Embargo.-- MEES.-- Vol. 61, no. 31 (03/08/2018).-- P. 11 . .

5438 . .Saudi Arabia's Oil Policy Tug of War.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 38 (24/09/2018).-- P. 1-2 . .

5391 . .Saudi Petchems Firms Report Best Profits Since Crude Price Collapse.-- MEES.-- Vol. 61, no. 31 (03/08/2018).-- P. 8, 11 . .

5392 . .Saudi Petchems Firms Report Best Profits Since Crude Price Collapse --.MEES.-- Vol. 61, no. 32 (10/08/2018).-- P. 8, 11 . .

5431 . .Saudis Shine Light On Mideast Oil Chokepoints.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 31 (06/08/2018).-- P. 1-2 . .

5437 . .Services Collaboration Push All Bark, No Bite.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 37 (17/09/2018).-- P. 1-2 . .

5433 70$ . .Oil Fails to Jolt Return to Frontier Exploration.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 33 (20/08/2018).-- P. 4-5 . .

5434 . .Trade Wars Pose Systemic Long-Term Risk to Oil.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 34 (27/08/2018).-- P. 1-2 . .

5437 . .Traders Cut Iran Exposure as Sanctions Loom.-- Petroleum Intelligence-Weekly.-- Vol. 57 , no. 37 (17/09/2018).-- P. 3-4 . .

5429 . .Trump's Trade War Mires Industry in Uncertainty.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 29 (23/07/2018).-- P. 3-4 . .

5433 . .Uncertainties Build as Saudi Oil Policy Gets Political.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 33 (20/08/2018).-- P. 2-3 . .

5403 . .US Big Oil Suits Rage On With New Threats for Both Sides.-- New Energy.-- Vol. 7 , no. 30 (26/07/2018).-- P. 4 . .

5423 . .Volatility, Weather Boost European Gas Hub Trade.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 37 (12/09/2018).-- P. 5-6 . .

5406 . .Will ESG Pressures Split The Oil Industry Apart?.-- New Energy --.Vol. 7 , no. 33 (16/08/2018).-- P. 5 . .

5430 . .Will Price Hikes Kill Off Upstream Recovery?.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 30 (30/07/2018).-- P. 5-6 . .

Petroleum law and legislation

5401 . .US State Courts Are Chief Obstacle in Big Oil Suits.-- New Energy --.Vol. 7 , no. 28 (12/07/2018).-- P. 4 . .

Petroleum products

5404 . .Fuel Cells Still in the Race and Making Strides.-- New Energy.-- Vol. 7 ,no. 31 (02/08/2018).-- P. 3 . .

5409 . .Fuel Cells: What Will It Take to Slash Costs?.-- New Energy.-- Vol. 7 ,no. 36 (06/09/2018).-- P. 2 . .

5403 . .Oil Majors Eye Sustainable Jet Fuel Taking Off in UK.-- New Energy-. -Vol. 7 , no. 30 (26/07/2018).-- P. 6 . .

Gasoline

5035.Sen, Anupama; Meidan, Michal and Mahesh, Miswin . Gasoline demand in transport in non-OECD Asia.-- Oxford: Oxford Institute for Energy Studies 16--.2017 , ,,p. ; 29 cm .-- 665. 73 (5) GAS

5399 . .Egypt Starts Up Gasoline Unit As Part Of Plan To Slash Fuel Imports --.MEES.-- Vol. 61, no. 39 (28/09/2018).-- P. 10 . .

Pollution & envirnmental protection

5412 . .Australia: Climate Focus Shifts to States.-- New Energy.-- Vol. 7 , no . --.(2009/2018) 38P. 4 . .

5427 . .Big Oil Faces Growing Web of US Climate Suits.-- Petroleum Intelligence Weekly.-- Vol. 57 , no. 27 (09/07/2018).-- P. 5-6 . .

5407 . .Canada Readies Weakened Carbon Tax Launch.-- New Energy.-- Vol . , 7no. 34 (23/08/2018).-- P. 5 . .

5403 . .China: Wins and Losses in Pollution Fight.-- New Energy.-- Vol. 7 , no. 30 (26/07/2018).-- P. 3 . .

5407 . .Climate Legislation Shelved in Australia Political Battle.-- New Energy.-- Vol. 7 , no. 34 (23/08/2018).-- P. 3 . .

5411 . .US Electric Utilities Take Initiative in Climate Reporting.-- New Energy.-- Vol. 7 , no. 39 (27/09/2018).-- P. 2 . .

5401 . .US High Court Shift to Impact Climate Rulings.-- New Energy.-- Vol . , 7no. 28 (12/07/2018).-- P. 5 . .

5411 . .US Oil Giants Narrow Climate Divide.-- New Energy.-- Vol. 7 , no. 39 --.(27/09/2018)P. 3 . .

Power resources

Power resources

5411 . .Hydrogen Gets EU Support But Costs Remain a Barrier.-- New Energy.-- Vol. 7 , no. 39 (27/09/2018).-- P. 4 . .

5410 . .Impacts of Peak Fossil Fuel Demand Coming Sooner, CTI Warns. --New Energy.-- Vol. 7 , no. 37 (13/09/2018).-- P. 5 . .

Renewable energy sources

5409 . .California's 100% Renewable Target Would Displace Gas, Face Obstacles.-- New Energy.-- Vol. 7 , no. 36 (06/09/2018).-- P. 5 . .

5400 . .China: Wind, Solar PV Near Ambitious Cost Goal.-- New Energy --. Vol. 7 , no. 27 (05/07/2018).-- P. 4 . .

5405 . .China Renewables Still Outpacing Coal, Gas.-- New Energy.-- Vol. 7 , no. 32 (09/08/2018).-- P. 4 . .

5401 . .Danes Join EU Peers Eyeing Big Offshore Wind Expansion.-- New Energy.-- Vol. 7 , no. 28 (12/07/2018).-- P. 6 . .

5407 . .Europe's Utilities Eye Careful Renewables Growth as Returns Mount--. New Energy.-- Vol. 7 , no. 34 (23/08/2018).-- P. 6 . .

5408 . .In Brief: California Eyes 100% Renewables.-- New Energy.-- Vol. 7 , no. 35 (30/08/2018).-- P. 7 . .

5404 . .Japan's Tepco Eyes Renewables As Reactor Politics Rage On.-- New Energy.-- Vol. 7 , no. 31 (02/08/2018).-- P. 6 . .

5410 . .Nigeria: Africa's Top Oil Producer Eyes Solar Mini-Grids.-- New Energy. -- Vol. 7 , no. 37 (13/09/2018).-- P. 6 . .

5426 . .Renewables Pose Major Threat to Gas.-- Petroleum Intelligence Weekly. -- Vol. 57 , no. 26 (02/07/2018).-- P. 6 . .

5402 . .Saudi Renewables Drive Undeterred by Higher Oil Price.-- New Energy. -- Vol. 7 , no. 29 (19/07/2018).-- P. 2 . .

5416 . .Trading Giant Vitol Follows Majors Into Renewables.-- World Gas Intelligence.-- Vol. 29 , no. 30 (25/07/2018).-- P. 8 . .

5400 . .World Bank: Renewables in Emerging Nations Not So Risky.-- New Energy.-- Vol. 7 , no. 27 (05/07/2018).-- P. 3 . .

OIL AND ARAB COOPERATION

Refereed Journal Published Quarterly by the Organization of Arab Petroleum Exporting Countries (OAPEC)

Prices

Annual Subscription (4 issues including postage)

Arab Countries:
Individuals: KD 8 or US $25
Institutions: KD 12 or US$45

Other Countries:
Individuals: US$ 30
Institutions: US$ 50

All Correspondences should be directed to:
Editor-in-Chief of Oil and Arab Cooperation Journal

Volume 44 - 2018 - Issue 166 3

OIL AND ARAB COOPERATION

Editor - in - Chief Abbas Ali Al-Naqi

Deputy Editor - in - Chief Abdul Kareem Kh. Ayed

Editorial Board

D. Samir El Kareish Ahmed Al-Kawaz

Abdul Fattah Dandi Ahmed Al-Kawaz

Saad Akashah Emad Makki

PUBLICATION RULES

DEFINITION AND PURPOSE

OIL AND ARAB COOPERATION is a refereed quarterly journal specialized in oil, gas, and energy. It attracts a group of elite Arab and non- Arab experts to publish their research articles and enhance scientific cooperation in the fields relevant to the issues covered by the journal. The journal promotes creativity, transfers petroleum and energy knowledge, and follows up on petroleum industry developments.

RESEARCH ARTICLES

The journal welcomes all research articles on oil, gas, and energy aiming at enriching the Arab economic literature with new additions.

BOOK AND RESEARCH REVIEWS

The journal publishes articles presenting analytical reviews on books or studies published on oil, gas, and energy in general. These reviews work as references for researchers on the latest and most important petroleum-industry-related publications.

REPORTS

They tackle a conference or seminar attended by the author on the condition that they are relevant to oil, gas, and energy. Also, the author should obtain the permission of the institution that delegated or sponsored him/her to attend that event allowing him/her to publish their article in our journal. The report should not exceed 10 pages including figures, charts, maps, and tables if available.

RESEARCH CONDITIONS

- Publication of authentic research articles in Arabic which observe internationally recognized scientific research methodology.
- Articles should not exceed 40 pages (including text, tables, and figures) excluding the list of references. The full text of the article should be sent electronically as a Word document.
- Figures, maps, and pictures should be sent in a separate additional file in JPEG format.
- “Times New Roman” should be used with font size 12. Line spacing should be 1.5. Text alignment should be “justified”.

- Information sources and references should be referred to/enlisted in a clear academic method.
- When citing information from any source (digital, specific vision, or analysis), plagiarism should be avoided. Such information should be rephrased by the researcher's own words while referring to the original source. For quotations, quotation marks ("…") should be used.
- It is preferred to write the foreign names of cities, research centres, companies, and universities in English not Arabic.
- The researcher's CV should be attached to the article if it was the first time he/she cooperates with the journal.
- Views published in the journal reflect those of the authors and do not necessarily represent the views of OAPEC. The arrangement of the published articles is conditioned by technical aspects.
- Authors of rejected articles will be informed of the decision without giving reasons.
- The author of any published article will be provided with 5 complementary copies of the issue containing his/her article.

Articles and reviews should be sent to:
The Editor-in-Chiref, Oil and Arab Cooperation Journal, OAPEC

P.O.Box 20501 Safat -13066 Kuwait
Tel.: (+965) 24959000 - (+965) 24959779
Fax : (+965) 24959755
E-mail : oapec@oapecorg.org - www.oapecorg.org

Contents

Articles

Energy consumption outlook in OAPEC member countries to 2040 Part 1 7

Eltaher ElZetoni - Abstract 7

Coal to Liquid Technology and its Impacts on Petroleum Refining Ingustry 111

Torki Hemsh - Abstract 8

Oil and Arab Cooperation is an Arab journal aiming at spreading petroleum and energy knowledge while following up the latest scientific developments in the petroleum industry

Articles published in this journal reflect the opinions of their authors and not necessarily those of OAPEC.

Abstract

Energy consumption outlook in OAPEC member countries to 2040

* Eltaher ElZetoni

The study aims at analyzing the trends and patterns of consumption of primary energy sources in OAPEC members and highlights the main factors affecting the consumption. It also aims to estimate the future consumption of primary energy sources until 2040 by constructing economic models suitable to the energy situation in the member countries on one hand, and to the quality of available data on the other.

For this purpose, the study is divided into two main parts. The first part provides a brief overview of the main features of the development of primary energy consumption and its growth rates in member countries, and illustrates the evolution of the primary energy mix and the intensity of primary energy consumption in OAPEC members.

The second part deals with the future energy consumption in the member countries until 2040. The consumption function of the primary sources of energy has been estimated on a systematic basis in accordance with the energy conditions of each member country and with the quality of the available data. Five scenarios have been adopted to predict future prospects for the consumption of primary energy sources in member countries. The first one is the reference scenario, the second one is the high growth scenario, the third one is the low growth scenario and the fourth one is high domestic fuel prices scenario, and the last scenario takes in account the increasing use of renewable and nuclear energy in OAPEC member countries.

One of the main findings of the study is that moving ahead with the option of exploiting the available renewable energy resources in OAPEC member countries will inevitably lead to achieving the national objectives of securing and diversifying the energy sources and releasing big quantities of Oil and gas for export, and will lead to radical changes in the future prospects of the energy mix.

*Energy Analyst, Economics Department, OAPEC - Kuwait

COAL TO LIQUID TECHNOLOGY AND ITS IMPACTS ON PETROLEUM REFINING INGUSTRY

Torki Hemsh *

Refineries worldwide have been facing several challenges affect its margin resulted from the environmental legislation, decline in crude oil quality, and changing product demand patterns. To cope with these challenges, refiners have been forced to look for an efficient, economical, and environmentally safe utilization of low value by-products, such as petroleum coke, refinery wastes and heavy petroleum residue, that are peaking up as a result of the increase of processing heavy crude oils.

The **purpose of this study** is to explain the benefits of applying Coal To Liquid technology in refineries, as one of the attractive solutions to convert the refinery wastes and heavy residues to a variety of valuable products, include electricity, steam, hydrogen, chemicals and liquid fuels.

The **first chapter** describes principles, technical status, and performance of coal to liquid processes that are available for producing liquids from coal, the environmental issues associated with the technology and the challenges faced the early commercial experience.

The **second chapter** highlights the main features and benefits of integrating gasification technology with the petroleum refinery processes, such as the ability to produce a high-quality syngas product that can be used for energy production or as a building block for other chemical manufacturing processes and flexibility to use several types of feedstocks, such as petroleum coke, heavy refinery residuals, and secondary oil-bearing refinery materials.

The **third chapter** presents a series of successful case studies of applying gasification technology in petroleum refineries worldwide and in OAPEC member countries. A great emphasis is placed on the advantages and lessons learned from each case study.

The study **concludes** that, the use of gasification technology in petroleum refineries is expected to increase due to the significant benefits. Furthermore, there is a need for more continued technology advances on improving the economics and minimizing the environmental impacts of petroleum coke gasification technologies and processes.

*Petroleum Expert - Technical Affairs Department, OAPEC - Kuwait

ORGANIZATION OF ARAB PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES
OAPEC

OIL & ARAB COOPERATION

Volume 44 - 2018 - Issue 166

Articles

Energy consumption outlook in OAPEC member countries to 2040
Part 1
Eltaher ElZetoni

Coal to Liquid Technology and its Impacts on Petroleum Refining Ingustry
Torki Hemsh

Bibliography

Refereed Journal Published Quarterly by the Organization of Arab Petroleum Exporting Countries (OAPEC)