



مجلس التعاون العربي المصدرة للبتروول  
أوابك

# النفط والتعاون العربي



المجلد السادس والأربعون 2020 - العدد 173

الأبحاث

■ تطور استهلاك الطاقة الأولية  
في دولة الكويت وآفاقه المستقبلية

الظاهر الزيتوني

■ ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها  
في صناعة تكرير النفط في الدول العربية

عماد مكي





# النفط والتعاون العربي

الاشتراك السنوي : 4 أعداد (ويشمل أجور البريد)

#### البلدان العربية

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

# النفط والتعاون العربي



علي سبت بن سبت

عبد الكريم عايد

رئيس التحرير

نائب رئيس التحرير

هيئة التحرير

د. سعد عكاشة

د. احمد الكواز

عماد مكي

د. سمير القرعيش

عبد الفتاح دندي

د. اسامة الجمالي

## قواعد النشر في المجلة

### تعريف بالمجلة واهدافها

**النفط والتعاون العربي** مجلة فصلية محكمة تعنى 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 والإسهام في نشر المعرفة والثقافة البترولية وتلك المتعلقة بالطاقة وتعميمها والعمل على متابعة التطورات العلمية في مجال الصناعة البترولية.

### الأبحاث

كافة الأبحاث 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. وأن لا تزيد عدد صفحات التقرير عن 10 صفحات مع كافة الأشكال والخرائط والجداول إن وجدت.

### شروط البحث

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

- عند اقتباس أي معلومات من أي مصدر (إذا كانت المعلومات رقميه أو رؤية معينة أو تحليل ما) يجب أن لا يتم الاقتباس الحرفي وإنما يتم أخذ أساس الفكرة وإعادة صياغتها بأسلوب الباحث نفسه، والإشارة إلى مصدر الإقتباس. أما في حالات الإقتباس الحرفي فتضع المادة المقتبسة بين علامتي الإقتباس ("...").
- يفضل أن تذكر المدن ومراكز الأبحاث والشركات والجامعات الاجنبية الواردة في سياق البحث باللغة الانجليزية ولا تكتب باللغة العربية.
- إرفاق نسخة من السيرة العلمية للباحث مع البحث المرسل.
- تعبر جميع الأفكار المنشورة في المجلة عن آراء كاتبها ولا تعبر بالضرورة عن وجهة نظر جهة الإصدار ويخضع ترتيب الأبحاث المنشورة وفقا للاعتبارات الفنية.
- البحوث المرفوضة يبلغ أصحابها من دون ابداء الأسباب.

ترسل المقالات والمراجعات باسم رئيس التحرير، مجلة النفط والتعاون العربي، أوابك،

ص.ب: 20501 الصفاة- الرمز البريدي: 13066 دولة الكويت

الهاتف: 00965- 24959000 أو 00965-24959779

الفاكس: 00965 - 24959755

البريد الالكتروني [oapec@oapecorg.org](mailto:oapec@oapecorg.org)

موقع الأوابك على الانترنت [www.oapecorg.org](http://www.oapecorg.org)

## المحتويات

## الأبحاث

**تطور استهلاك الطاقة الأولية  
في دولة الكويت وآفاقه المستقبلية**

7

الطاهر الزيتوني

**ترشييد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها  
في صناعة تكرير النفط في الدول العربية**

113

عماد مكي



## البحث الأول

# تطور استهلاك الطاقة الأولية في دولة الكويت وآفاقه المستقبلية

الطاهر الزيتوني \*

## تطور استهلاك الطاقة الأولية في دولة الكويت وآفاقه المستقبلية

### مقدمة

تهدف الدراسة أولاً إلى تحليل اتجاهات وأنماط استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت، وبيان سماته الرئيسية خلال الفترة (1995-2018)، والعوامل الرئيسية المؤثرة على مستويات الاستهلاك كالنمو الاقتصادي والسكاني والأسعار المحلية للطاقة، وثانياً إلى تقدير الاستهلاك المتوقع على مصادر الطاقة الأولية حتى عام 2040.

تنقسم الدراسة إلى جزئين رئيسيين، يستعرض الجزء الأول تطور استهلاك مصادر الطاقة الأولية دولة الكويت خلال الفترة (1995 - 2018)، ويقدم لمحة موجزة عن أهم السمات الرئيسية لتطور الاستهلاك المحلي من مصادر الطاقة الأولية ومعدلات نموه بدولة الكويت، وتطور مزيج الطاقة الأولية المستهلكة، ومؤشر كثافة الاستهلاك، كما يستعرض هذا الجزء العوامل الاقتصادية والاجتماعية الرئيسية المؤثرة على استهلاك الطاقة في دولة الكويت كالنمو الاقتصادي والنمو السكاني والأسعار المحلية للطاقة لما لذلك من أهمية على دقة التوقعات المستقبلية.

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

وتطرق الجزء الثاني إلى محورين رئيسيين، أولهما يتعلق بمنهجية 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 دولة الكويت من خلال أربعة سيناريوهات رئيسية، وهي سيناريو الإشارة وسيناريو النمو المرتفع، وسيناريو النمو المنخفض، وسيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة. وفي المحور الثاني، يتم استعراض النتائج النهائية للتوقعات المستقبلية المتعلقة بإجمالي استهلاك الطاقة الأولية، ومصادرها الرئيسية المتمثلة في النفط والغاز الطبيعي والفحم والطاقات المتجددة، حسب السيناريوهات سالفة الذكر.

## الجزء الأول: أنماط واتجاهات استهلاك الطاقة الأولية في دولة الكويت

### أولاً: استعراض عام لتطور استهلاك الطاقة الأولية

من العلامات البارزة لتطور استهلاك الطاقة في دولة الكويت خلال الفترة (1995-2018) هو التزايد في حصة دولة الكويت من إجمالي استهلاك الدول الأعضاء لمصادر الطاقة الأولية، نتيجة النمو في الاستهلاك المحلي لمصادر الطاقة بمعدلات عالية مقارنة مع معدلات النمو بمجموعة الدول الأعضاء، وارتفاع معدلات استهلاك الفرد من الطاقة نتيجة لتسارع النمو في إجمالي استهلاك الطاقة بدولة الكويت بوثيرة تجاوزت النمو السكاني، وزيادة حصة الاستهلاك المحلي لمصادر الطاقة الأولية من إجمالي الإنتاج.

ومن أهم السمات الرئيسية للاستهلاك المحلي من الطاقة الأولية في دولة الكويت خلال الفترة (1995-2018)، هو الاعتماد شبه الكامل على النفط والغاز الطبيعي في مزيج الطاقة المستهلكة، واستحواذ قطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه على أكثر من نصف إجمالي الطاقة المستهلكة بسبب الظروف المناخية في الكويت التي تشكل فيها ساعات النهار في الصيف أوقات الذروة،

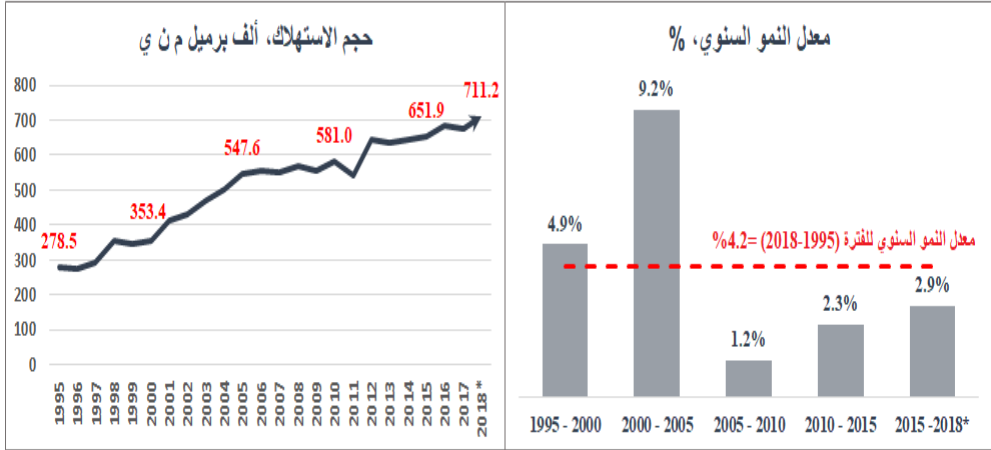
ولضرورات تلبية الطلب المتنامي على المياه العذبة التي يشكل قطاع التحلية أهم مصادرها الرئيسية.

### 1. تطور الاستهلاك المحلي من مصادر الطاقة الأولية

شهد إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت ارتفاعاً بأكثر من 430 ألف برميل مكافئ نفط في اليوم (ب م ن ي) خلال الفترة (1995 - 2018)، حيث ارتفع من 278.5 ألف ب م ن ي عام 1995 إلى 711 ألف ب م ن ي عام 2018، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 4.2%، كما يوضح الشكل (1):

#### الشكل (1)

#### تطور استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت خلال الفترة (2018-1995)



المصدر: الجدول رقم (1) في الملحق.  
\*بيانات تقديرية.

وتعتبر الفترة (1995-2005) فترة استثنائية للنمو في استهلاك مصادر الطاقة الأولية بدولة الكويت، حيث شهد إجمالي الاستهلاك نمواً بمعدل 4.9% خلال الفترة (1995 - 2000) ليرتفع من 278.5 ألف ب م ن ي عام 1995 إلى 353.4 ألف ب م ن ي عام 2000، ثم تسارع النمو بمعدلات مرتفعة بلغت 9.2% خلال الفترة (2000- 2005) ليرتفع إجمالي الاستهلاك

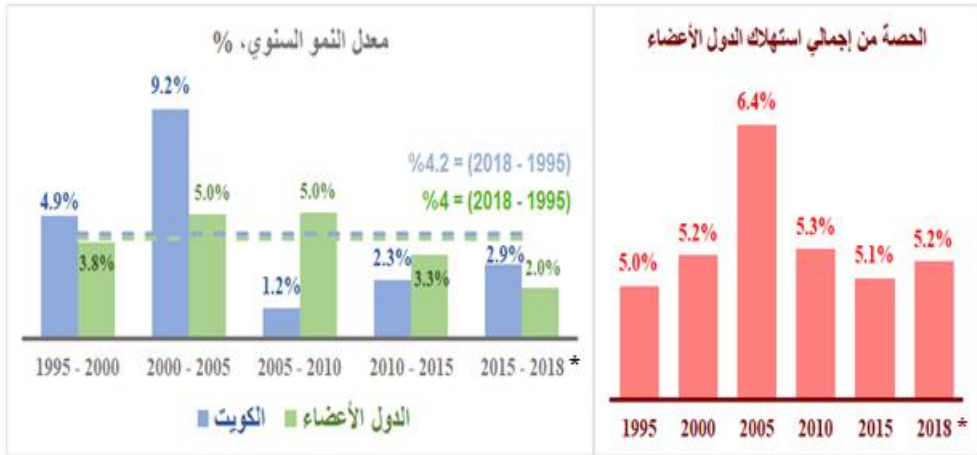
إلى 547.6 ألف ب م ن ي عام 2005، نتيجة للنمو الاقتصادي القوي عقب الأحداث المؤسفة التي مرت بها دولة الكويت خلال مطلع فترة التسعينيات، كما أن التحسن الذي طرأ على أسعار النفط خلال هذه الفترة قد انعكس على معدلات النمو الاقتصادي وكان دافعاً وراء تزايد الإنفاق الاستثماري العام مدعوماً بزيادة إنفاق القطاع الخاص والذي انعكس على الانطلاقة القوية للمشاريع الإنشائية الضخمة. ثم تباطأت معدلات النمو بصورة ملحوظة خلال الفترة (2005 – 2010) لتصل إلى 1.2% وإلى 2.9% خلال الفترة (2015 – 2018) ليبلغ إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بدولة الكويت حوالي 711 ألف ب م ن ي عام 2018.

## 2. تطور حصة دولة الكويت من إجمالي استهلاك الدول الأعضاء في منظمة أوبك

تسارع النمو في استهلاك الطاقة بدولة الكويت بمعدل تجاوز المعدل العام لمجموعة الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوبك) خلال الفترة (1995 – 2005) مما أدى إلى ارتفاع حصة الكويت من إجمالي استهلاك الدول الأعضاء لمصادر الطاقة الأولية من 5% عام 1995 إلى 6.4% عام 2005، ثم أدى تباطؤ النمو في استهلاك الطاقة بدولة الكويت عن المعدل العام للدول الأعضاء خلال الفترة (2005 – 2015) إلى تراجع حصة الكويت من إجمالي استهلاك الدول الأعضاء لمصادر الطاقة الأولية إلى 5.1% عام 2015، لتعاود الحصة الارتفاع بشكل طفيف مجدداً إلى 5.2% مع ارتفاع معدل النمو بدولة الكويت عن المتوسط العام للمجموعة خلال الفترة (2015 – 2018)، كما هو موضح بالشكل (2):

## الشكل (2)

النمو السنوي لإجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بدولة الكويت ومجموعة الدول الأعضاء في أوبك  
وحصة الكويت من إجمالي استهلاك الدول الأعضاء



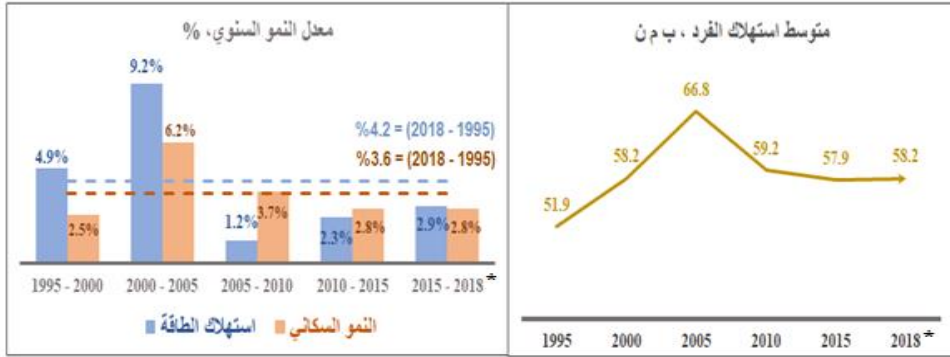
المصدر: الجدول رقم (1) في الملحق.  
بيانات تقديرية.

### 3. ارتفاع متوسط استهلاك الفرد من مصادر الطاقة الأولية

تجاوز معدل نمو إجمالي استهلاك مصادر الطاقة في دولة الكويت معدلات نموها السكاني خلال الفترة (1995 – 2005)، مما أدى إلى ارتفاع متوسط استهلاك الفرد فيها من 51.9 برميل مكافئ نפט عام 1995 إلى 66.8 برميل مكافئ نפט عام 2005، ثم أدى تباطؤ النمو في استهلاك الطاقة عن معدل النمو السكاني خلال الفترة (2005 – 2015) إلى تراجع متوسط استهلاك الفرد إلى 57.9 برميل مكافئ نפט عام 2015، ليعود المتوسط إلى الارتفاع مجدداً إلى 58.2 برميل مكافئ نפט مع ارتفاع معدل نمو استهلاك الطاقة بدولة الكويت عن معدل النمو السكاني مرة أخرى خلال الفترة (2015 – 2018)، كما هو موضح بالشكل (3):

## الشكل (3)

النمو في استهلاك الطاقة والنمو السكاني في دولة الكويت خلال الفترة (1995 - 2018)



\*بيانات تقديرية.

المصدر: - الجدول رقم (1) في الملحق.

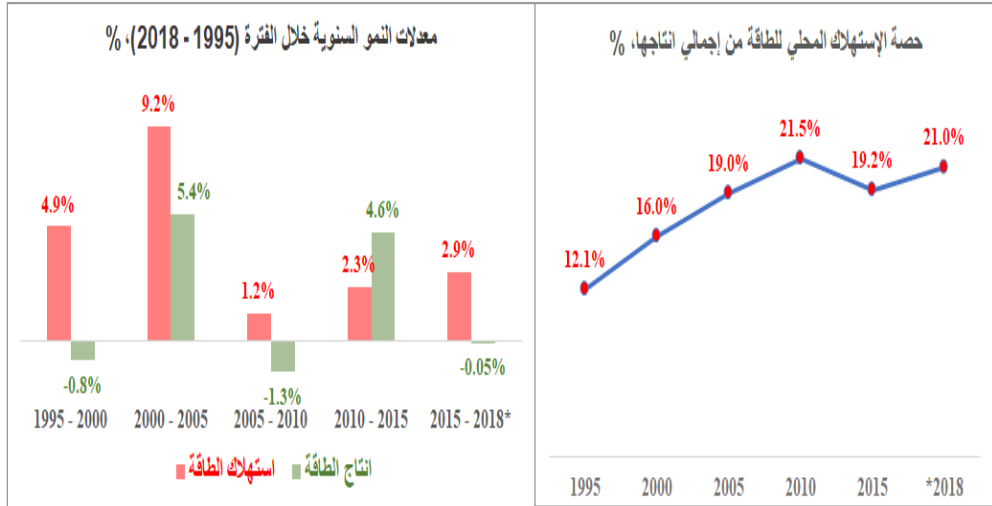
- قاعدة بيانات تقرير آفاق الاقتصاد العالمي- صندوق النقد الدولي أكتوبر 2018.

## 4. تزايد حصة الاستهلاك المحلي من إجمالي الإنتاج

أدى تسارع النمو في إجمالي استهلاك الطاقة في دولة الكويت بمعدلات أعلى من النمو في إجمالي إنتاجها خلال الفترة (1995-2018) إلى ارتفاع مضطرد لحصة الاستهلاك المحلي للطاقة من إجمالي الإنتاج، مما يعني تقييد القدرات التصديرية مستقبلاً إذا قُدِرَ لهذا المسار مواصلة الارتفاع بنفس الوتيرة السابقة، حيث تجاوزت معدلات النمو السنوية لاستهلاك مصادر الطاقة معدلات النمو السنوية لإنتاجها بدولة الكويت لكامل الفترة باستثناء الفترة (2005-2015)، مما أدى إلى تزايد نسبة الاستهلاك المحلي للطاقة إلى إجمالي الإنتاج في دولة الكويت من 12.1% في عام 1995 إلى 21% في عام 2018، كما يوضح الشكل (4):

#### الشكل (4)

النمو في الاستهلاك المحلي للطاقة وإجمالي إنتاجها في دولة الكويت خلال الفترة (1995 - 2018)



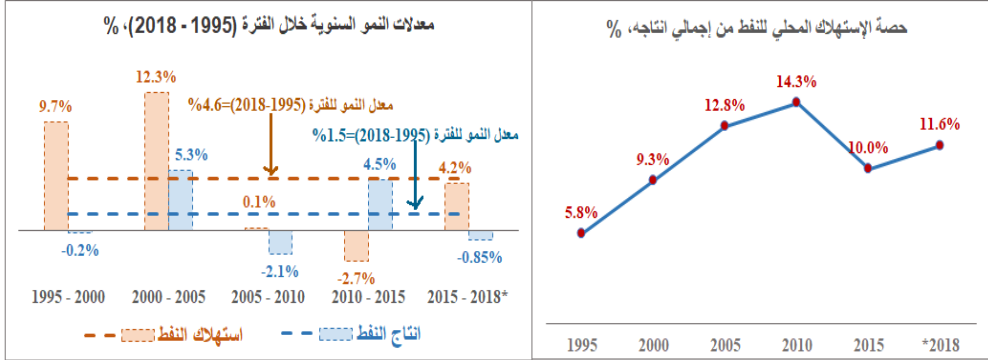
\*بيانات تقديرية.  
المصدر: - الجدول رقم (1) في الملحق.  
- بنك المعلومات، منظمة أوبك.

وفيما يخص النفط فقد تسارعت معدلات النمو في استهلاكه عن معدلات النمو في إنتاجه، وخاصة خلال الفترة (1995-2005)، مما أدى إلى تزايد نسبة الاستهلاك المحلي للنفط إلى إجمالي إنتاجه في دولة الكويت حتى بلغت أعلى مستوياتها عام 2010 عندما وصلت إلى 14.3%، ثم انخفضت وثيرة النمو في الاستهلاك خلال الفترة اللاحقة التي شهدت زيادة في معدلات الإنتاج، فتراجعت حصة الاستهلاك المحلي من إجمالي إنتاجه إلى 11.6% في عام 2018، كما يوضح الشكل (5):



## الشكل (5)

النمو في إجمالي الاستهلاك المحلي من النفط وإجمالي إنتاجه بدولة الكويت خلال الفترة (1995-2018)



\*بيانات تقديرية.

\*\*إنتاج النفط يمثل إنتاج النفط الخام ولا يشمل سوائل الغاز الطبيعي.

المصدر: - الجدول رقم (1) في الملحق.

- بنك المعلومات، منظمة أوبك.

## 5. كثافة استهلاك الطاقة الأولية في دولة الكويت

على الرغم من إيلاء دولة الكويت اهتماماً متزايداً لمجال تحسين كفاءة الطاقة وترشيد استهلاكها، إلا أن تسارع النمو في إجمالي استهلاك الطاقة فيها خلال الفترة (1995 - 2018) بؤثرية تجاوزت النمو في الناتج المحلي الإجمالي، المقاس بتعادل القوة الشرائية، أدى إلى ارتفاع ملحوظ في مؤشر كثافة الطاقة الأولية في دولة الكويت، حيث ارتفع هذا المؤشر من 0.8 برميل مكافئ نفط / ألف دولار في عام 1995 إلى 1.0 برميل مكافئ نفط / ألف دولار في عام 2005، ثم تراجع إلى 0.9 برميل مكافئ نفط / ألف دولار في عام 2017، كما يوضح الجدول (1):

## الجدول (1)

تطور مؤشر كثافة الطاقة الأولية في دولة الكويت خلال الفترة (1995 - 2017)

برميل مكافئ نفط / ألف دولار من الناتج المحلي الإجمالي حسب تعادل القوة الشرائية 2010

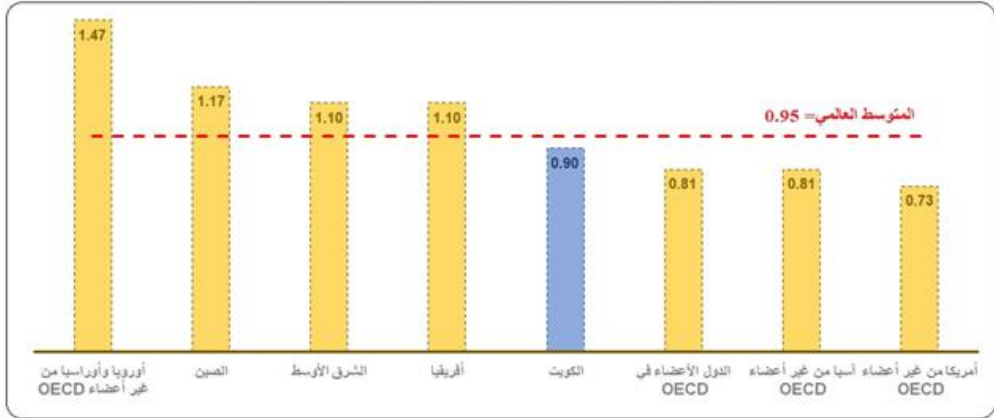
2017	2010	2005	2000	1995
0.9	1.0	1.0	0.9	0.8

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.

وقد انخفض مؤشر كثافة الطاقة الأولية في دولة الكويت عن المتوسط العالمي المقدر بنحو 0.95 عام 2017، وجاءت الكويت في مركزاً وسطاً بين المجموعات الدولية الرئيسية في العالم من حيث مؤشر كثافة الطاقة الأولية كما هو موضح بالشكل (6):

### الشكل (6)

مؤشر كثافة الطاقة الأولية في دولة الكويت وبعض الدول والمجموعات الرئيسية الدولية خلال عام 2017  
برميل مكافئ نفط/ ألف دولار (من الناتج المحلي الإجمالي حسب تعادل القوة الشرائية 2010)



المصدر: - مشتق عن بيانات الجدول (1) في الملحق.

- قاعدة بيانات مؤشرات التنمية العالمية، البنك الدولي، يناير 2018 بالنسبة للكويت.

- IEA, Key world energy statistics 2017.

### ثانياً: تطور مزيج الطاقة الأولية المستهلكة في دولة الكويت

يهيمن النفط والغاز الطبيعي على مزيج الطاقة المستهلكة في دولة الكويت، حيث شكل هذان المصدران نسبة تراوح ما بين 99.7% و100% من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة خلال الفترة (1995-2018).

وقد ارتفع استهلاك دولة الكويت من النفط (متضمناً استهلاك المنتجات النفطية والاستهلاك المباشر للنفط الخام) من 118.6 ألف ب ب ي عام 1995 إلى 332.5 ألف ب ب ي

عام 2018، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 4.6%. وشهد استهلاك الغاز الطبيعي في دولة الكويت نمواً سنوياً بمعدل 3.8% خلال الفترة (1995 – 2018)، ليرتفع من 159.9 ألف ب م ن ي عام 1995 إلى 376.4 ألف ب م ن ي عام 2018. وشهد استهلاك مصادر الطاقات المتجددة في دولة الكويت أسرع معدلات النمو بين المصادر الأخرى خلال الفترة (2010 – 2018)، حيث نما استهلاكها بمعدل 62.4% ليرتفع من 48 ب م ن ي عام 1995 إلى نحو 2.3 ألف ب م ن ي عام 2018، كما يوضح الشكل (7):

### الشكل (7)

تطور مزيج استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت خلال الفترة (1995 – 2018)  
(ألف برميل مكافئ نفط/اليوم)



\*بيانات تقديرية.  
المصدر: الجدول رقم (1) في الملحق.

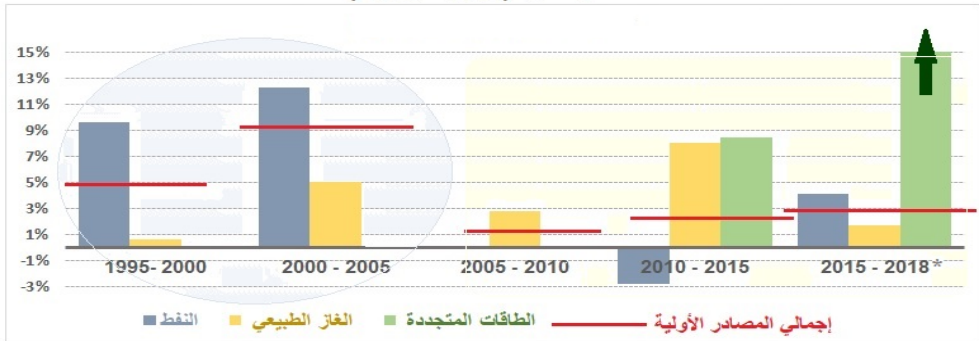
وقد حصلت زيادة كبيرة في استهلاك النفط خلال الفترة (1995-2005) وخاصة في منتصف الفترة، عندما بلغ معدل النمو السنوي لاستهلاكه بدولة الكويت نحو 9.6%، ثم تسارع النمو إلى معدل 12.3% خلال النصف الثاني من الفترة، ليرتفع بذلك إجمالي استهلاك النفط بدولة الكويت من 118.6 ألف ب م ن ي عام 1995 إلى نحو 335.6 ألف ب م ن ي عام 2005.

وشهد استهلاك الغاز الطبيعي في دولة الكويت نمواً قوياً بمعدل 5.1% خلال الفترة (2005-2000) ليرتفع من 165 ألف ب م ن ي عام 2000 إلى 212 ألف ب م ن ي عام 2005، ومع تباطؤ النمو في استهلاك النفط بعد عام 2005، واصل استهلاك الغاز الطبيعي نموه بمعدل 2.8% خلال الفترة (2005 - 2010) ليرتفع من 212 ألف ب م ن ي عام 2005 إلى نحو 243 ألف ب م ن ي عام 2010، ثم تسارع معدل النمو في استهلاكه إلى معدل سنوي بلغ 8% خلال الفترة (2010 - 2015) ليرتفع من 243 ألف ب م ن ي عام 2010 إلى 357.8 ألف ب م ن ي عام 2015، بينما شهد استهلاك النفط انكماشاً بمعدل 2.7% ليتراجع إجمالي الاستهلاك من 338 ألف ب م ن ي عام 2010 إلى 294 ألف ب م ن ي عام 2015.

وخلال الفترة (2015-2018)، شهد استهلاك الغاز الطبيعي بدولة الكويت تباطؤاً في نموه بالمقارنة مع الفترة السابقة ليصل معدله إلى 1.7%، ليرتفع إجمالي استهلاكه بنحو 18.6 ألف ب م ن ي، أي من 357.8 ألف ب م ن ي عام 2015 إلى 376.4 ألف ب م ن ي عام 2018، في حين عاود استهلاك النفط نموه بمعدل قدره 4.2% ليرتفع استهلاكه من 294 ألف ب م ن ي عام 2015 إلى 332.5 ألف ب م ن ي عام 2018، كما هو موضح بالشكل (8) والجدول (2):

### الشكل (8)

معدلات النمو السنوية لإجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت خلال الفترة (1995 - 2018)



## الجدول (2)

## معدلات النمو السنوية لاستهلاك مصادر الطاقة في دولة الكويت، 1995-2018

الطاقات المتجددة	الغاز الطبيعي	النفط	إجمالي المصادر الأولية	
---	0.7%	9.6%	4.9%	2000 - 1995
---	5.1%	12.3%	9.2%	2005 - 2000
---	2.8%	0.1%	1.2%	2010 - 2005
8.4%	8.0%	-2.7%	2.3%	2015 - 2010
218.1%	1.7%	4.2%	2.9%	*2018 - 2015

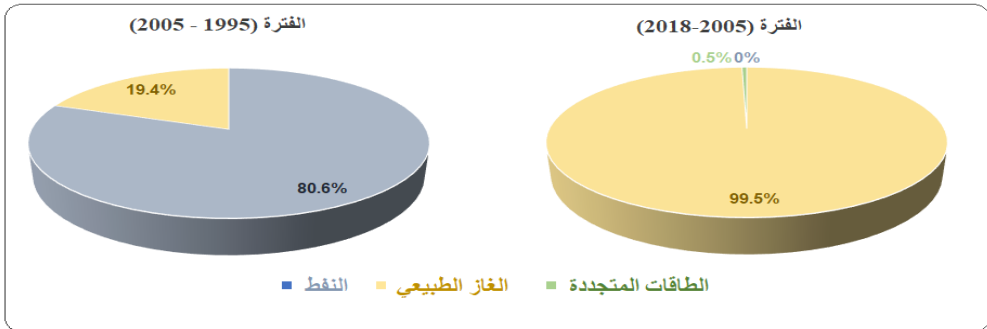
\*بيانات تقديرية.

المصدر: الجدول رقم (1) في الملحق.

يذكر أن النفط هو المصدر الذي يقود عجلة النمو في إجمالي استهلاك الطاقة الأولية بدولة الكويت خلال الفترة (1995-2005)، حيث ساهم النفط بأكثر من 80% من إجمالي الزيادة في استهلاك الطاقة الأولية بدولة الكويت، بينما لم تتجاوز مساهمة الغاز الطبيعي خمس الزيادة في إجمالي استهلاك الطاقة الأولية بدولة الكويت خلال ذات الفترة (1995-2005). وبالمقابل جاءت جل الزيادة في إجمالي استهلاك الطاقة الأولية بدولة الكويت خلال الفترة (2005-2018) من الغاز الطبيعي، في حين ساهمت الطاقات المتجددة بحصة ضئيلة بلغت 0.5% من إجمالي هذه الزيادة، كما هو مبين بالشكل (9):

## الشكل (9)

حصص مصادر الطاقة الأولية من الزيادة في إجمالي استهلاكها خلال الفترة (1995-2018)، %

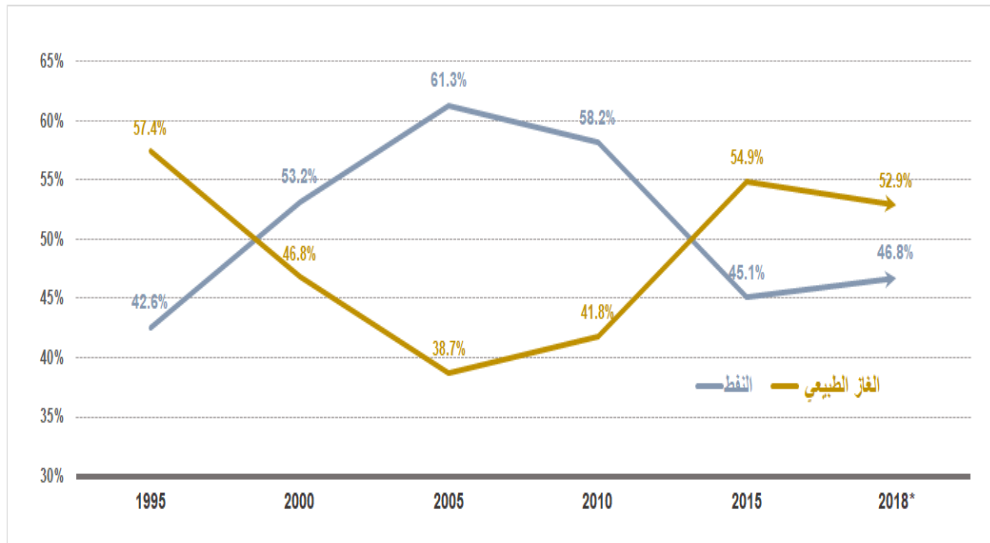


المصدر: الجدول رقم (1) في الملحق.

وقد انعكست التطورات في استهلاك مصادر الطاقة المختلفة بشكل جلي على تغير هيكل مزيج الطاقة المستهلكة بدولة الكويت، فحصة النفط من إجمالي استهلاك المصادر الأولية للطاقة ارتفعت من 42.6% عام 1995 إلى أكثر من 61% عام 2005، وذلك على حساب تراجع حصة الغاز الطبيعي في مزيج الطاقة المستهلكة من 57.4% عام 1995 إلى أقل من 39% عام 2005، ثم انعكس الاتجاه مع ارتفاع وثيرة النمو في الغاز الطبيعي تزامناً مع تباطؤ النمو في استهلاك النفط لتتراجع حصة النفط من إجمالي استهلاك المصادر الأولية للطاقة تدريجياً حتى وصلت إلى 45.1% عام 2015 مقابل تزايد حصة الغاز الطبيعي ليحل محل النفط كمصدر أول من مصادر الطاقة الأولية بعد عام 2015، وتراجع النفط إلى المركز الثاني، كما هو موضح بالشكل (10):

### الشكل (10)

تطور حصتي النفط والغاز الطبيعي من إجمالي استهلاك المصادر الأولية للطاقة في دولة الكويت خلال الفترة (1995 - 2018)، %



\*بيانات تقديرية.

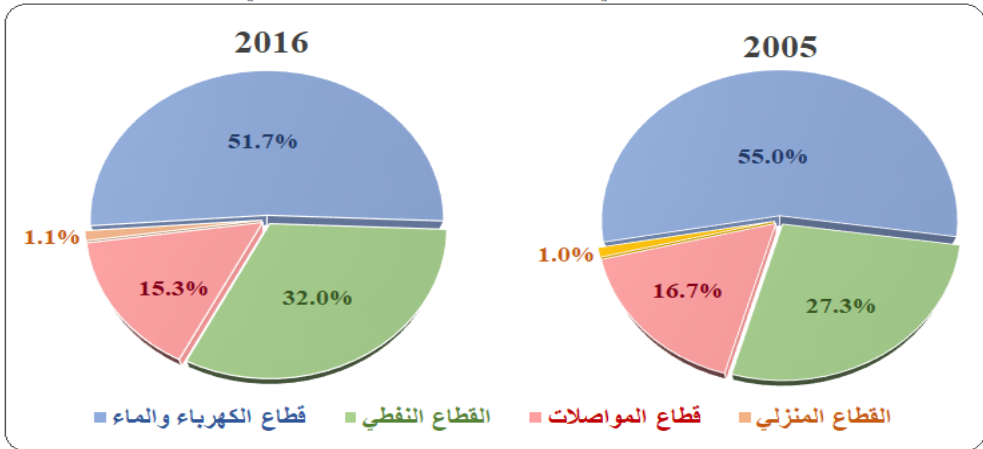
المصدر: الجدول رقم (1) في الملحق.

## ثالثاً: التوزيع القطاعي لاستهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت

يتركز معظم الاستهلاك المحلي للطاقة بدولة الكويت في قطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه الذي يستأثر بأكثر من نصف إجمالي الطاقة المستهلكة، حيث استحوذ قطاع الكهرباء وتحلية المياه على حصة 51.7% من إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية عام 2016 مقارنة بنحو 55% عام 2005، في حين توزعت النسب المتبقية على القطاعات الأخرى، وهي القطاع النفطي الذي بلغت حصته من إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية عام 2016 نسبة 32% مقارنة بحصة بلغت 27.3% عام 2005، يليه قطاع المواصلات الذي استحوذ على حصة 15.3% من إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية عام 2016 مقارنة بنحو 16.7% عام 2005، وأخيراً يأتي القطاع المنزلي بحصة بلغت نحو 1.1% عام 2016 مقارنة بنحو 1% عام 2005، كما هو موضح بالشكل (11):

### الشكل (11)

التوزيع القطاعي لإجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت خلال عامي 2005 و 2016، % من الإجمالي



المصدر: - الأوراق القطرية لدولة الكويت المقدمة لمؤتمر الطاقة العربي العاشر والحادي عشر.  
- كتاب الإحصاء السنوي 2017 - إدارة الإحصاء ومركز المعلومات - وزارة الكهرباء والماء، دولة الكويت.

## 1. قطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه

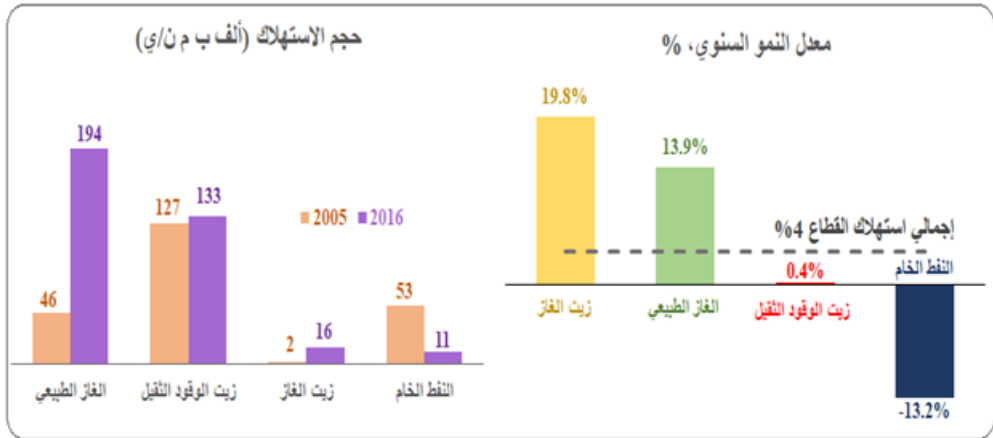
يشكل استهلاك قطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه الجزء الأكبر من استهلاك مصادر الطاقة الأولية بدولة الكويت، حيث يستحوذ على أكثر من نصف إجمالي الطاقة المستهلكة. وتعود أهمية قطاع الكهرباء وتحلية المياه بالنسبة للاستهلاك المحلي للطاقة الأولية بصورة أساسية إلى العوامل والظروف المناخية في دولة الكويت التي تشكل فيها ساعات النهار في الصيف أوقات الذروة، ولضغوطات تلبية الطلب المتنامي على المياه العذبة التي يشكل قطاع التحلية أهم مصادرها الرئيسية، فتوفير هذه المياه إضافة إلى الكهرباء يشكل المحرك الرئيسي للتنمية العمرانية والسكانية التي تشهدها دولة الكويت في الوقت الحاضر.

ويشمل استهلاك هذا القطاع على الغاز الطبيعي، زيت الوقود، النفط الخام، وزيت الغاز (الديزل)، وقد حقق استهلاك زيت الغاز أسرع معدلات النمو خلال الفترة (2005-2016) من بين مصادر الوقود المستهلكة بقطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه بمعدل 19.3% ليرتفع استهلاكه من 2 ألف ب م ن ي عام 2005 إلى نحو 16 ألف ب م ن ي عام 2016، والتأثير المهم نجم عن النمو القوي لاستهلاك الغاز الطبيعي الذي حقق ثاني أسرع معدلات النمو بين مصادر الوقود المستهلكة بقطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه في دولة الكويت خلال الفترة (2005-2016) مسجلاً نمو قدره 14%، ليرتفع حجم استهلاك الغاز الطبيعي بقطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه من 46 ألف ب م ن ي عام 2005 إلى نحو 194 ألف ب م ن ي عام 2016، وقد أدى ذلك التطور إلى عملية إحلال كبيرة للغاز الطبيعي محل النفط الخام بين مصادر الطاقة الرئيسية بالقطاع الذي انكمش استهلاكه خلال هذه الفترة بحوالي 13.2% ليتراجع من 53 ألف ب م ن ي عام 2005 إلى نحو 11 ألف ب م ن ي عام 2016. بالإضافة إلى ذلك، فقد كان الغاز الطبيعي مصدر الوقود الرئيسي الذي غدّى النمو المتزايد في استهلاك مصادر الطاقة الأولية بقطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه في دولة الكويت خلال الفترة (2005-2016)، حيث



لم يتجاوز معدل النمو في إجمالي استهلاك زيت الوقود الثقيل بقطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه نسبة 0.4% خلال الفترة، ليشهد ارتفاعاً طفيفاً من 127 ألف ب م ن ي عام 2005 إلى 133 ألف ب م ن ي عام 2016 كما هو موضح بالشكل (12):

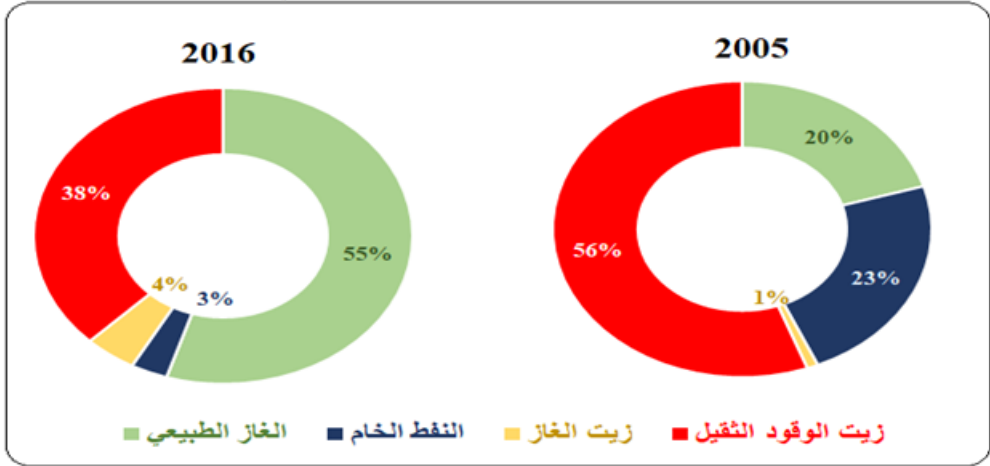
**الشكل (12)**  
**تطور استهلاك الوقود بقطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه في دولة الكويت**  
**خلال الفترة (2005 – 2016)**



المصدر: - الأوراق القطرية لدولة الكويت المقدمة لمؤتمر الطاقة العربي العاشر والحادي عشر.  
- كتاب الإحصاء السنوي 2017- إدارة الإحصاء ومركز المعلومات - وزارة الكهرباء والماء - دولة الكويت.

وقد انعكس ذلك على مزيج الوقود المستهلك بهذا القطاع خلال الفترة (2005 – 2016) حيث ارتفعت حصة الغاز الطبيعي من إجمالي الوقود المستهلك في قطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه من 20% عام 2005 إلى نسبة 55% عام 2016، ليحل الغاز الطبيعي في المرتبة الأولى من مصادر الطاقة الأولية المستهلكة في هذا القطاع، مقابل تراجع حصة زيت الوقود الثقيل من 56% عام 2005 إلى 38% عام 2016، كما تراجعت حصة النفط الخام من إجمالي الوقود المستهلك في قطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه من 23% عام 2005 إلى 3% عام 2016، كما هو موضح بالشكل (13):

الشكل (13)  
مزيج الوقود المستهلك في قطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه بدولة الكويت خلال عامي 2005 و 2016، % من إجمالي



المصدر: - الأوراق القطرية لدولة الكويت المقدمة لمؤتمر الطاقة العربي العاشر والحادي عشر.  
- كتاب الإحصاء السنوي 2017- إدارة الإحصاء ومركز المعلومات، وزارة الكهرباء والماء، دولة الكويت.

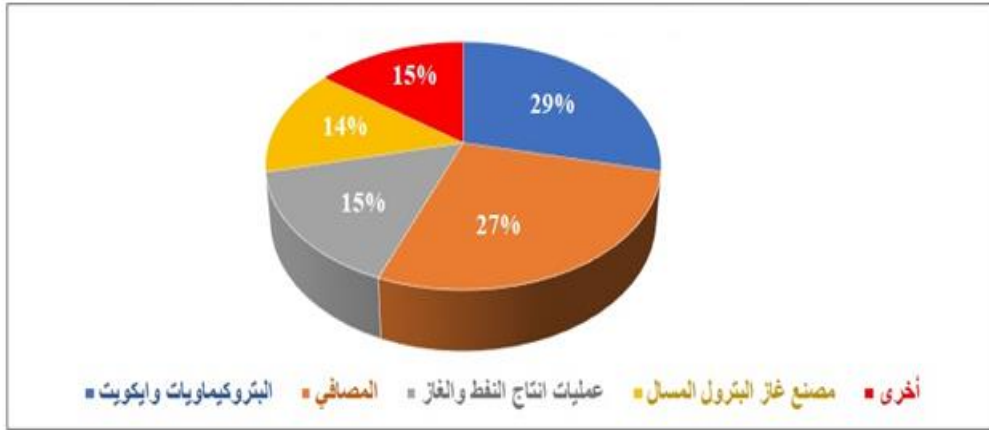
## 2. القطاع النفطي

يعتبر القطاع النفطي من القطاعات الرئيسية المستهلكة للطاقة الأولية بدولة الكويت، ويعد ثاني أكبر القطاعات المستهلكة للطاقة بعد قطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه إذ يستحوذ على نحو ثلث إجمالي الطاقة المستهلكة. ويشمل استهلاك هذا القطاع على استهلاك عمليات إنتاج النفط الخام والغاز الطبيعي، والمصافي، وإنتاج غاز البترول المسال، والنشاطات البتروكيمياوية وشركة ايكويت. ويعتمد هذا القطاع على الغاز الطبيعي كمصدر رئيسي للطاقة في كل نشاطاته وتلبية احتياجاته نتيجة لسياسة دولة الكويت الرامية لاستغلال أكبر قدر ممكن من الكميات المتوفرة من الغاز الطبيعي، ويلاحظ أن قطاع التكرير (المصافي) هو أكبر النشاطات استهلاكاً للطاقة في القطاع النفطي بدولة الكويت بحصة بلغت نحو 29% عام 2012، يليه نشاطات البتروكيمياويات وشركة ايكويت والتي بلغت حصتها نحو 27% من إجمالي استهلاك القطاع

النفطي عام 2012، بينما بلغت حصة أنشطة عمليات إنتاج النفط الخام والغاز الطبيعي نحو 15% وحصة مصنع إنتاج غاز البترول المسال 14%، كما هو موضح بالشكل (14):

#### الشكل (14)

حصة الأنشطة الرئيسية المستهلكة من إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بالقطاع النفطي بدولة الكويت خلال عام 2012، (%)



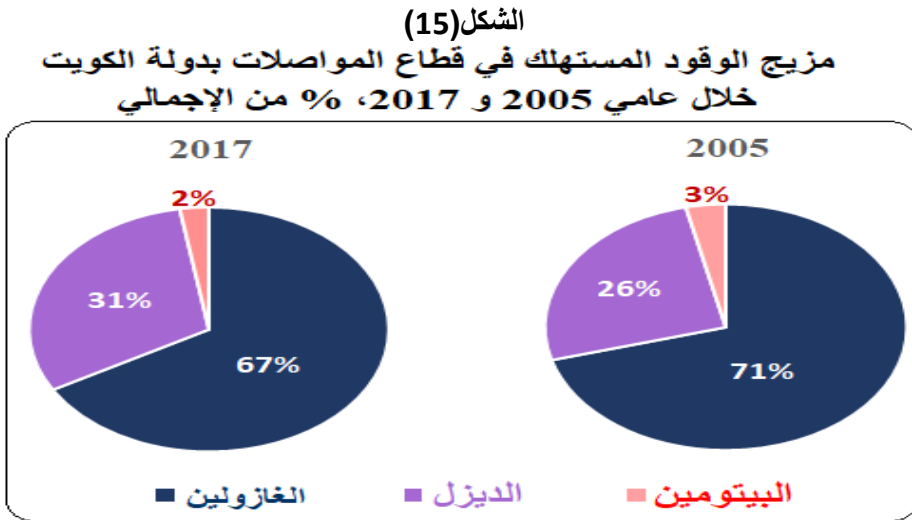
المصدر: الورقة القطرية لدولة الكويت، مؤتمر الطاقة العربي العاشر، أبو ظبي، دولة الإمارات العربية المتحدة، 2014.

### 3. قطاع المواصلات

يعد قطاع المواصلات ثالث أكبر القطاعات المستهلكة للطاقة في دولة الكويت، حيث يستحوذ على نحو 15% من إجمالي الطاقة المستهلكة، ويشمل استهلاك هذا القطاع على الطاقة المستخدمة في مختلف أنواع النقل سواء العام أو الخاص، ومنها الغازولين بأنواعه المختلفة: الخصوصي (95 أوكتين)، والممتاز (91 أوكتين)، والغازولين الترا سوبر (98 أوكتين)، والديزل.

وقد بلغت نسبة مساهمة استهلاك الغازولين بأنواعه حوالي 67% من إجمالي الاستهلاك في قطاع المواصلات عام 2017، بعدما كانت تشكل حوالي 71% في عام 2005. وتمثل حصة استهلاك الديزل حوالي 31% من إجمالي الاستهلاك في هذا القطاع والبيتومين حوالي

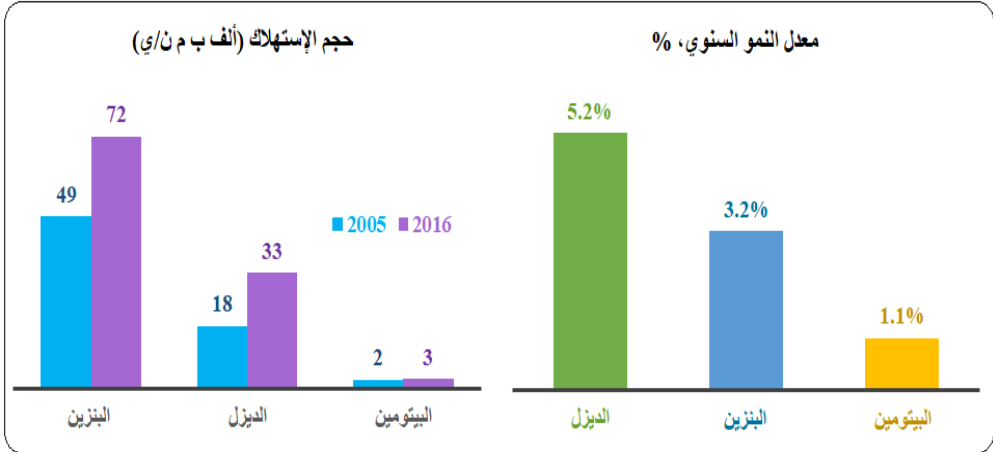
2017 عام 26%، مقارنة بحصص 3% و 26% للديزل والبيتومين على التوالي في عام 2005، كما هو مبين بالشكل (15):



المصدر: الأوراق القطرية لدولة الكويت، المقدمة لمؤتمر الطاقة العربي العاشر والحادي عشر.

وقد حقق استهلاك الديزل أسرع معدلات النمو من بين مصادر الوقود المستهلكة بقطاع المواصلات في دولة الكويت خلال الفترة (2005-2017) أي بمعدل 5.2% ليرتفع استهلاكه من 18 ألف ب م ن ي عام 2005 إلى نحو 33 ألف ب م ن ي عام 2017، يليه الغازولين الذي بلغ معدل نمو استهلاكه خلال ذات الفترة 3.2% ليرتفع من 49 ألف ب م ن ي عام 2005 إلى نحو 72 ألف ب م ن ي عام 2017، بينما بلغ معدل النمو في إجمالي استهلاك البيتومين نحو 1.1% خلال الفترة (2005-2017)، ليرتفع استهلاكه من ألفي ب م ن ي عام 2005 إلى 3 آلاف ب م ن ي عام 2017، كما هو مبين بالشكل (16):

### الشكل (16) تطور استهلاك الوقود بقطاع المواصلات في دولة الكويت خلال الفترة (2005 - 2017)



المصدر: الأوراق القطرية لدولة الكويت المقدمة لمؤتمر الطاقة العربي العاشر والحادي عشر.

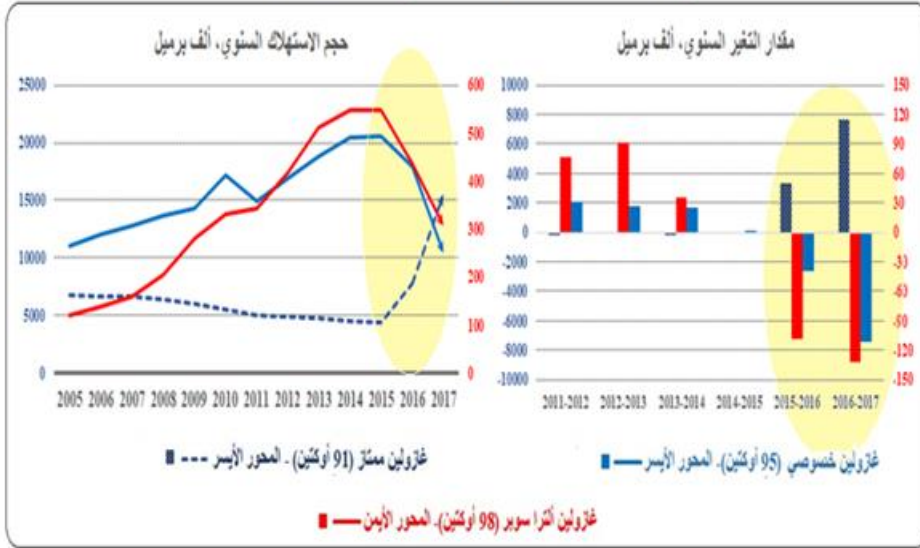
وخلال الفترة (2005-2016)، مثل الغازولين الخصوصي (95 أوكتين) الغالبية العظمى من إجمالي استهلاك الغازولين بدولة الكويت، حيث تجاوزت حصته 80% من إجمالي استهلاك الغازولين عام 2015، بينما لم تتجاوز حصتي الغازولين الممتاز (91 أوكتين) والغازولين الترا سوبر (98 أوكتين) نسبة 17.5% و2.2% على التوالي من إجمالي استهلاك الغازولين خلال نفس العام<sup>1</sup>.

وقد كان حجم استهلاك الغازولين الخصوصي (95 أوكتين) والغازولين الترا سوبر (98 أوكتين) يرتفع سنوياً خلال الفترة (2005-2015)، بينما كان حجم استهلاك الغازولين الممتاز (91 أوكتين) يتناقص خلال ذات الفترة، إلى أن شهدت الأسواق المحلية لدولة الكويت زيادة في الأسعار المحلية للغازولين خلال النصف الثاني من عام 2016، أدت إلى تحول كبير في الطلب بزيادة الإقبال على الغازولين الممتاز (91 أوكتين) الذي شهد أقل الزيادات في الأسعار

<sup>1</sup> الورقة القطرية لدولة الكويت، مؤتمر الطاقة العربي الحادي عشر، مراكش، المملكة المغربية 2018.

بين الأنواع الأخرى، بينما شهد الطلب المحلي تحولاً من استهلاك الغازولين الخاصي (95 أوكتين) والغازولين الترا سوبر (98 أوكتين) اللذان شهدا زيادات أعلى في الأسعار المحلية، إلى استهلاك الغازولين الممتاز (91 أوكتين) ليصبح المنتج الأكثر استهلاكاً بين أنواع الغازولين بحصة تجاوزت 59% من إجمالي استهلاك الغازولين عام 2017، بينما انخفضت حصتي الغازولين الخاصي (95 أوكتين) والغازولين الترا سوبر (98 أوكتين) نسبة 39.8% و1.2% على التوالي من إجمالي استهلاك الغازولين خلال نفس العام<sup>2</sup>. ويوضح الشكل (17) التطور في استهلاك الغازولين في دولة الكويت خلال الفترة (2005-2017)، كما يوضح الجدول (3) تطور الأسعار المحلية لوقود الغازولين بدولة الكويت خلال الفترة (1999-2018):

الشكل (17)  
التطور في استهلاك الغازولين بقطاع المواصلات في دولة الكويت خلال الفترة (2005-2017)



<sup>2</sup> الورقة القطرية لدولة الكويت، مؤتمر الطاقة العربي الحادي عشر، مراكش، المملكة المغربية، 2018.

### الجدول (3)

#### تطور الأسعار المحلية لوقود الغازولين بدولة الكويت، (فلس/لتر)

نسبة الزيادة	مقدار الزيادة	النصف الثاني 2016 - 2018	النصف الأول 2016	1999 - النصف الأول 2016
41.7%	25	85	60	غازولين ممتاز (91 أوكتين)
61.5%	40	105	65	غازولين خصوصي (95 أوكتين)
83.3%	75	165	90	غازولين الترا سوپر (98 أوكتين)

المصدر: الورقة القطرية لدولة الكويت، مؤتمر الطاقة العربي العاشر والحادي عشر.

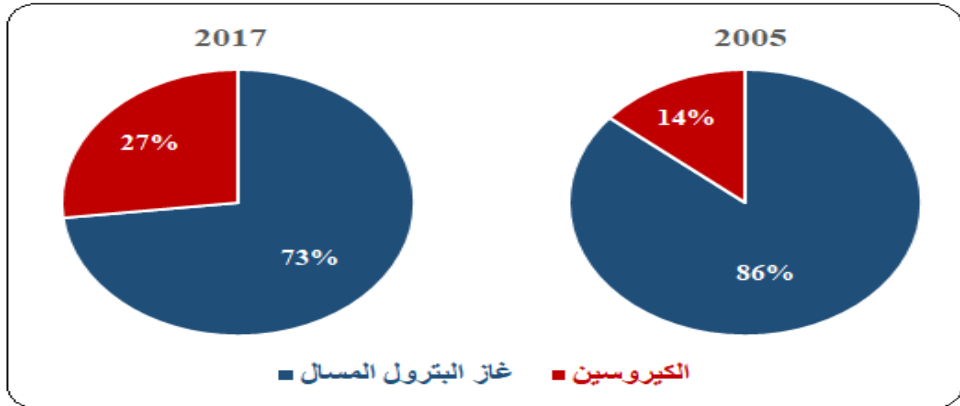
#### 4. القطاع المنزلي

تشمل بيانات استهلاك الطاقة في القطاع المنزلي بدولة الكويت إجمالي استهلاك غاز البترول المسال و الكيروسين في المباني السكنية والحكومية بالإضافة إلى المؤسسات التجارية، وهي بذلك لا تشتمل على استهلاك القطاع المنزلي من الكهرباء والتي تعتبر من أكثر المصادر شيوعاً لأغراض الاستخدام المنزلي، ولذلك نلاحظ تواضع حصة القطاع المنزلي والتي بلغت نحو 1.1% عام 2016 مقارنة بنحو 1% خلال عام 2005 من إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بدولة الكويت، هذه النسبة لا تعكس الاستهلاك الفعلي للقطاع المنزلي لعدم تضمينها استهلاك الكهرباء.

ويشكل غاز البترول المسال الغالبية العظمى من الوقود المستهلك في القطاع المنزلي بحصة بلغت 73% من إجمالي استهلاك الوقود بالقطاع المنزلي في دولة الكويت، بينما بلغت حصة وقود الكيروسين حوالي 27% عام 2017، مقابل حصة بلغت نحو 86% لغاز البترول المسال عام 2005 وحصة بلغت حوالي 14% لوقود الكيروسين من إجمالي استهلاك الوقود بالقطاع المنزلي في دولة الكويت عام 2005، كما هو موضح بالشكل (18):

الشكل (18)

مزيج الوقود المستهلك في القطاع المنزلي بدولة الكويت  
خلال عامي 2005 و 2017، % من إجمالي



المصدر: الورقة القطرية لدولة الكويت، مؤتمر الطاقة العربي العاشر والحادي عشر.

## رابعاً: العوامل الرئيسية المؤثرة على استهلاك الطاقة الأولية في دولة الكويت

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 تلك الدولة، كما أن لاختلاف الهياكل الاقتصادية من دولة لأخرى دوراً مهماً في تحديد أنماط استهلاك الطاقة وتطورها. ويعد النمو السكاني والنمو الاقتصادي وهيكل الأسعار المحلية للوقود، من العوامل الرئيسية المؤثرة على استهلاك الطاقة الأولية في دولة الكويت، وفيما يلي استعراض لتأثير كل عامل من تلك العوامل على الاستهلاك الطاقة الأولية:

### 1. النمو السكاني

تعرف العلاقة بين الزيادة السكانية واستهلاك الطاقة بأنها علاقة طردية، إذ تؤدي الزيادة في عدد السكان في العادة إلى ارتفاع استهلاك الطاقة سواء بصورة مباشرة أو غير مباشرة.



فمن ناحية، يؤدي النمو السكاني إلى زيادة الطلب على الطاقة لأغراض مثل الإنارة والتكييف 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 دولة الكويت نمواً كبيراً في عدد السكان خلال الفترة (1995 - 2018) بمعدل سنوي بلغ 3.6%، حيث ارتفع عدد السكان من 2 مليون نسمة في عام 1995 إلى حوالي 4.5 مليون نسمة في عام 2018، ليشكل ارتفاعاً بنسبة 125%. وفي المقابل شهد إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بدولة الكويت نمواً متسارعاً بمعدل 4.2% خلال ذات الفترة، ليرتفع بذلك إجمالي الاستهلاك من 278.5 ألف م ن ي في عام 1995 إلى حوالي 711.2 ألف م ن ي في عام 2018، مشكلاً بذلك ارتفاعاً بأكثر من 155%، كما هو موضح بالجدول (4):

#### الجدول (4)

#### إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية وعدد السكان في دولة الكويت، 1995 - 2018

معدل النمو (1995 - 2018)	*2018	2015	2010	2005	2000	1995	
4.2%	711.2	651.9	581.0	547.6	353.4	278.5	إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية (الف م ن ي)
3.6%	4.5	4.1	3.6	3.0	2.2	2.0	عدد السكان (مليون نسمة)

\*بيانات تقديرية.

المصدر: - الجدول رقم (1) في الملحق.

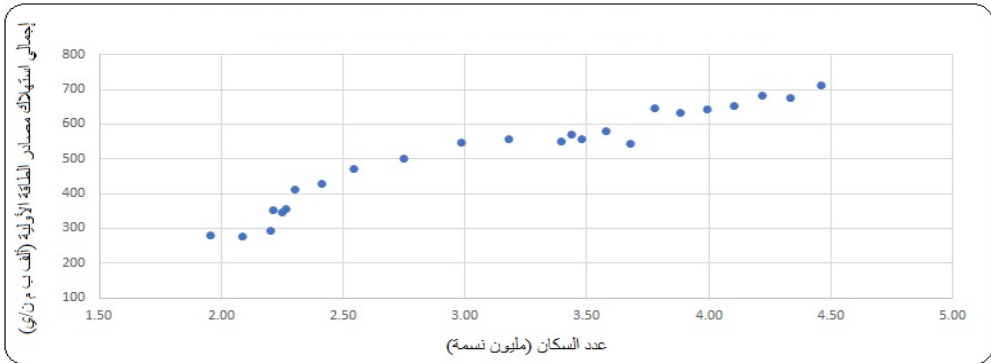
- قاعدة بيانات تقرير آفاق الاقتصاد العالمي، أبريل 2018، صندوق النقد الدولي.

كما تشير البيانات إلى أن معدل النمو المركب لإجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بدولة الكويت والمقدر بنحو 4.2% خلال الفترة (1995 - 2018)، قد تجاوز معدل النمو المركب لإجمالي السكان المقدر بنحو 3.6% خلال ذات الفترة، أي أن مرونة الطلب على مصادر الطاقة الأولية إلى عدد السكان بدولة الكويت تبلغ نحو 1.2%، وهو ما يعني أن نمو

السكان بمعدل 1% يؤدي إلى نمو إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بمعدل 1.2%، وهو ما يعكس العلاقة الطردية (الموجبة) بين إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية وعدد السكان في دولة الكويت ويؤكد على وجودها، كما يوضح الشكل (19):

### الشكل (19)

رسم الإنتشار لتوضيح العلاقة الطردية بين إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية وعدد السكان بدولة الكويت خلال الفترة (1995-2018)



المصدر: - مشتق من بيانات الجدول رقم (1) في الملحق.

- قاعدة بيانات تقرير آفاق الاقتصاد العالمي، أبريل 2018، صندوق النقد الدولي.

## 2. النمو الاقتصادي

تعرّف العلاقة بين النمو الاقتصادي والنتائج 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 التغيير في الهيكل الاقتصادي، وكثافة استهلاك الطاقة، ودرجة الإشباع في استهلاك القطاعات الاقتصادية المختلفة، والأسعار وسياسات ترشيد الطاقة. وبالتالي فإن ارتفاع الناتج المحلي الإجمالي يؤدي إلى ارتفاع استهلاك الطاقة بافتراض ثبات العوامل الأخرى.

وشهدت دولة الكويت نمواً كبيراً في الناتج المحلي الإجمالي خلال الفترة (1995 - 2018) بمعدل 3.2%، حيث ارتفع ناتجها المحلي الإجمالي، المقاس بتبادل القوة الشرائية بأسعار 2011، من 129.6 مليار دولار في عام 1995 إلى نحو 269.4 مليار دولار في عام 2018، ليشكل بذلك ارتفاعاً بمقدار الضعف، في حين شهد إجمالي استهلاكها من مصادر الطاقة الأولية نمواً متسارعاً بمعدل 4.2% خلال ذات الفترة، ليرتفع إجمالي الاستهلاك من 278.5 ألف ب م ن ي في عام 1995 إلى حوالي 711.2 ألف ب م ن ي في عام 2018، ليشكل بذلك ارتفاعاً بنحو الضعفين والنصف، كما هو موضح بالجدول (5):

### الجدول (5) إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية والناتج المحلي الإجمالي في دولة الكويت خلال الفترة 1995 – 2018

معدل النمو (1995 – 2018)	*2018	2015	2010	2005	2000	1995	
4.2%	711.2	651.9	581.0	547.6	353.4	278.5	إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية (ألف ب م ن ي)
3.2%	269.4	274.8	222.8	210.3	142.4	129.6	الناتج المحلي الإجمالي PPP، بأسعار 2011، مليار دولار

\*بيانات تقديرية.

المصدر: - الجدول رقم (1) في الملحق.

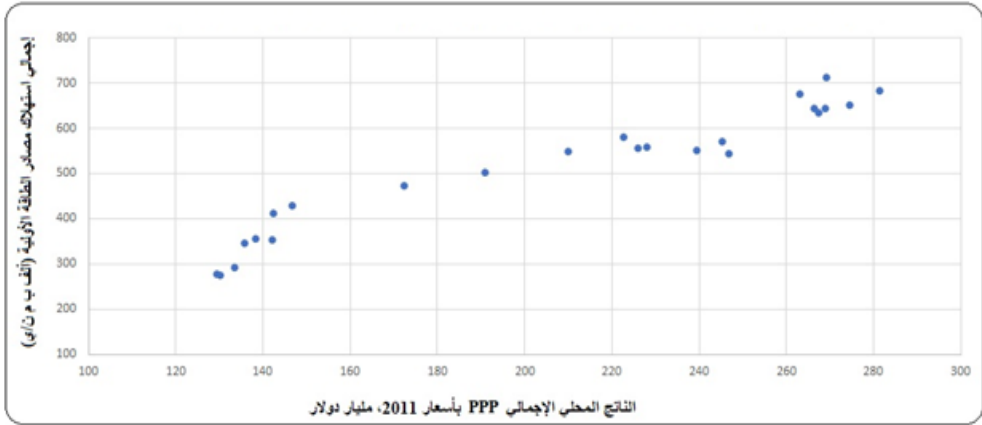
- قاعدة بيانات تقرير آفاق الاقتصاد العالمي، أبريل 2018، صندوق النقد الدولي.

كما تشير بيانات دولة الكويت إلى أن معدل النمو المركب في إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية والمقدر بنحو 4.2% خلال الفترة (1995 - 2018)، قد تجاوز معدل النمو المركب في الناتج المحلي الإجمالي المقاس بتبادل القوة الشرائية بأسعار 2011 والمقدر بنحو 3.2% خلال ذات الفترة، أي أن مرونة الطلب على مصادر الطاقة الأولية إلى الناتج المحلي الإجمالي بدولة الكويت تبلغ نحو 1.3%، وهو ما يعني أن نمو الناتج المحلي الإجمالي بمعدل 1% يؤدي إلى نمو إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بمعدل 1.3%، وهو ما يعكس

العلاقة الطردية (الموجبة) بين إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية و الناتج المحلي الإجمالي في دولة الكويت ويؤكد على وجودها، كما يوضح الشكل (20):

### الشكل (20)

رسم الإنتشار لتوضيح العلاقة الطردية بين إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية والناتج المحلي الإجمالي حسب تعادل القوة الشرائية بأسعار عام 2011 بدولة الكويت خلال الفترة (1995 – 2018)



المصدر: - مشتق من بيانات الجدول رقم (1) في الملحق.  
- قاعدة بيانات تقرير آفاق الاقتصاد العالمي، أبريل 2018، صندوق النقد الدولي.

### 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. ويؤدي ارتفاع أسعار مصادر الطاقة إلى ارتفاع تكلفة استخدامها وبالتالي انخفاض الطلب عليها.

ويتميز متغير السعر من الناحية النظرية بضعف تأثيره في المدى القصير، نظراً لانخفاض مرونة الطلب السعرية للطاقة كونها من السلع الضرورية التي لا يمكن للمستهلك الاستغناء عنها أو تغيير نمط استهلاكه لها، وخاصة في المدى القصير للاعتماد الكبير عليها في كل القطاعات الخدمية والإنتاجية، إلا أن الأسعار تؤثر حتماً على نمط الاستهلاك في المدى

الطويل. والجدير بالذكر أن أغلب الدول المصدرة للبترول في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا تقوم بدعم 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 لآخر وفقاً للسياسات الاقتصادية وهيكل الاقتصاد المحلي 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.

وتعد أسعار المنتجات النفطية والغاز الطبيعي في الأسواق المحلية في دولة الكويت منخفضة بشكل كبير، إذا ما قورنت بنظيراتها على المستوى العالمي، حيث جاءت الكويت من ضمن الدول العشر الأقل أسعاراً للغازولين في أسواقها المحلية، وفي المرتبة الثالثة بين الدول الأعضاء الأقل أسعاراً للغازولين في أسواقها المحلية بعد دولة ليبيا والمملكة العربية السعودية كما يوضح الشكل (21):

### الشكل (21)

الأسعار المحلية للغازولين في بعض بلدان العالم ومتوسط المجموعات الدولية لعام 2014  
(دولار/ لتر)



المصدر: - قاعدة بيانات مؤشرات التنمية، البنك الدولي.  
- بنك المعلومات، منظمة أوبك.

كما جاءت دولة الكويت من ضمن الدول العشر الأقل أسعاراً لوقود الديزل في أسواقها المحلية، وفي المرتبة الرابعة بين الدول الأعضاء الأقل أسعاراً لوقود الديزل في أسواقها المحلية بعد دولة ليبيا والمملكة العربية السعودية والجزائر كما يوضح الشكل (22):

### الشكل (22)

الأسعار المحلية لوقود الديزل في بعض بلدان العالم ومتوسط المجموعات الدولية لعام 2014،  
دولار/ برميل

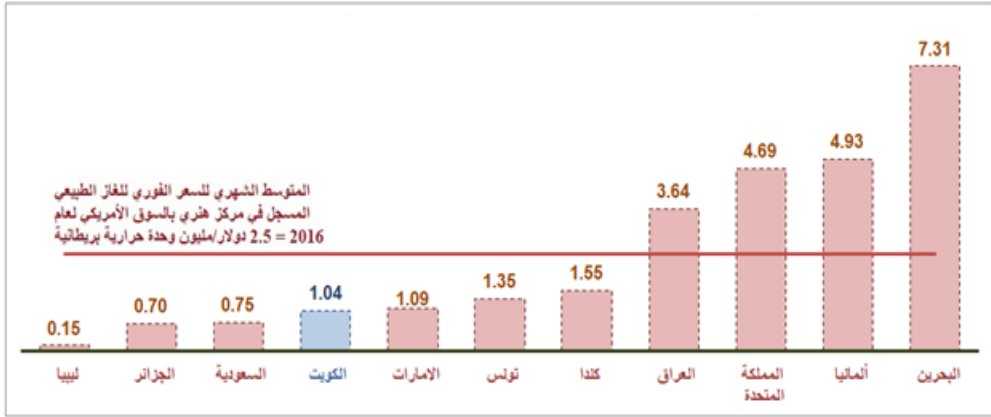


المصدر: - قاعدة بيانات مؤشرات التنمية، البنك الدولي.  
- بنك المعلومات، منظمة أوبك.

وبالنسبة للأسعار المحلية للغاز الطبيعي، جاءت دولة الكويت في المرتبة الرابعة بين الدول الأعضاء الأقل أسعاراً للغاز الطبيعي في أسواقها المحلية بعد دولة ليبيا والجزائر والمملكة العربية السعودية، كما انخفضت الأسعار المحلية للغاز الطبيعي بدولة الكويت عن متوسط أسعار الغاز المنقول بواسطة الأنابيب في كندا وألمانيا والمملكة المتحدة السائدة عام 2016، ولم يتجاوز سعر المليون وحدة حرارية بريطانية من الغاز الطبيعي في الكويت ما نسبته 21% من نظيره في ألمانيا، و22% عن نظيره في المملكة المتحدة، كما هو موضح بالشكل (23):

### الشكل (23)

الأسعار المحلية للغاز الطبيعي بدولة الكويت مقارنة بدول أخرى من العالم، عام 2016  
(دولار/مليون وحدة حرارية بريطانية)



المصدر: التقرير الإحصائي السنوي لأوابك 2017 والورقة القطرية لدولة الكويت في مؤتمر الطاقة العربي الحادي عشر -مراكش 2018 والنشرة الإحصائية السنوية لشركة بريتش بنتروليوم 2017.

- بيانات الجزائر آخر تحديث من عام 2015، 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.

ومما تجدر الإشارة إليه، هو أن دولة الكويت بدأت فعلاً في التوجه نحو إصلاح نظام دعم الأسعار المحلية للطاقة، وترشيد استخدامها في خطط لخفض الإنفاق في مواجهة تراجع الدخل النفطي، وقامت بتعديل أسعار بعض المنتجات البترولية خلال النصف الثاني من عام 2016 وللمرة الأولى منذ عام 1999، حيث ارتفع سعر لتر الغازولين ممتاز (91 أوكتين) بنسبة

41.7%، أي من 60 فلساً إلى 85 فلساً، كما ارتفع سعر لتر الغازولين خصوصي (95 أوكتين) بنسبة 61.5%، أي من 65 فلساً إلى 105 فلساً، في حين ارتفع سعر لتر الغازولين ألترا سوبر (98 أوكتين) بنسبة 83.3%، أي من 90 فلساً إلى 165 فلساً، كما ارتفع سعر لتر الكيروسين والديزل بنسبة 23.6% لكل منهما، أي من 89 فلساً إلى 110 فلساً، كما هو موضح بالجدول (6):

### الجدول (6) التغيرات في الأسعار المحلية للوقود بدولة الكويت (فلس/لتر)

نسبة الزيادة	مقدار الزيادة	النصف الثاني 2016 - 2018	النصف الأول 2016	1999 -
41.7%	25	85	60	غازولين ممتاز (91 أوكتين)
61.5%	40	105	65	غازولين خصوصي (95 أوكتين)
83.3%	75	165	90	غازولين ألترا سوبر (98 أوكتين)
23.6%	21	110	89	كيروسين
23.6%	21	110	89	زيت الغاز / الديزل

المصدر: الورقة القطرية لدولة الكويت، مؤتمر الطاقة العربي العاشر والحادي عشر.

وكما يتبين من الجدول (6) أعلاه، فقد استهدفت الزيادات تحديداً الأسعار المحلية للغازولين والديزل والكيروسين، وبالرغم من أهمية هذه التعديلات إلا أنه من الأهمية بمكان الإشارة إلى أن الحصة المتواضعة لمساهمة هذه المنتجات من إجمالي استهلاك المنتجات النفطية والغاز الطبيعي، حيث تشير البيانات<sup>3</sup> إلى أن حصة الغازولين بكل أنواعه لا تتجاوز نسبة 10.5% من إجمالي استهلاك النفط والغاز الطبيعي بدولة الكويت، وحصة الكيروسين لا تتجاوز نسبة 0.3%، بينما لا تتجاوز حصة وقود الديزل ما نسبته 4.5% من إجمالي استهلاك النفط والغاز الطبيعي بدولة الكويت، أي أن حصة إجمالي المنتجات الثلاثة مجتمعة لا تتجاوز 15.3%

قبيانات الورقة القطرية لدولة الكويت، مؤتمر الطاقة العربي العاشر والحادي عشر، وكتاب الإحصاء السنوي 2017 - إدارة الإحصاء ومركز المعلومات - وزارة الكهرباء والماء - دولة الكويت، وبنك المعلومات (أوابك).



من إجمالي استهلاك النفط والغاز الطبيعي بدولة الكويت، الأمر الذي يضعف تأثير هذه الإصلاحات في الأسعار وانعكاسها على أهداف الترشيد المتوخاة، ويفسر إلى حد ما تواضع التأثيرات الفعلية لهذه الزيادات على إجمالي استهلاك مصادر الطاقة بدولة الكويت.

## الجزء الثاني توقعات استهلاك الطاقة في دولة الكويت حتى عام 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 أجل وضع مخططات وبرامج مستقبلية وطنية فاعلة لتحقيق الاستخدام الأمثل لمصادر الطاقة المختلفة في شتى القطاعات الاقتصادية، ثمة حاجة ملحة لمتخذي القرار بأن يكونوا على دراية كاملة بالوضع المستقبلي الذي سيؤول إليه وضع الطاقة في دولهم 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 أن تتم أي عملية تنبؤ 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 دولة الكويت خلال الفترة (2018-2040).

### أولاً: منهجية اعداد التوقعات المستقبلية لاستهلاك مصادر الطاقة الأولية

#### 1. البيانات المستخدمة في الدراسة

تتمثل البيانات المستخدمة في الدراسة في أربع سلاسل زمنية لبيانات الاستهلاك الفعلي لإجمالي الطاقة، وبيانات الاستهلاك الفعلي للنفط، وبيانات الاستهلاك الفعلي للغاز الطبيعي، وبيانات الاستهلاك الفعلي لمصادر الطاقة المتجددة على أساس وحدة قياس موحدة وهي ألف

برميل مكافئ نفط في اليوم (ب م ن ي) بدولة الكويت، وهي بيانات سنوية للفترة الممتدة من عام 1980 إلى عام 2017.

وتشمل بيانات استهلاك النفط على اجمالي استهلاك المنتجات النفطية (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 يتم حرقها أو يعاد حقنها في الآبار، كما تشمل بيانات استهلاك مصادر الطاقة المتجددة على استهلاك الطاقة الشمسية وطاقات الرياح وغيرها من المصادر المتجددة المتوفرة في دولة الكويت، ويمثل إجمالي استهلاك الطاقة وإجمالي استهلاك النفط وإجمالي استهلاك الغاز الطبيعي وإجمالي استهلاك مصادر الطاقة المتجددة 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 المحلي الإجمالي وعدد السكان والمتوسط الموزون للأسعار المحلية للوقود واستهلاك السنة السابقة وهي سلاسل زمنية لبيانات فعلية للفترة الممتدة من عام 1980 إلى عام 2017. واستناداً إلى النظرية الاقتصادية، فإن استهلاك أي دولة من الطاقة يعتمد كمتغير تابع لمتغيرات تفسيرية تفسر سلوكه، يأتي في مقدمتها الناتج المحلي الإجمالي وعدد السكان وأسعار الطاقة، إلى جانب عدة عوامل أخرى، مثل كفاءة استهلاك الطاقة في الدولة التي يمكن التعبير عنها بمستويات الاستهلاك للسنوات السابقة. واستناداً لنظرية الطلب تم صياغة العلاقة على شكل نموذج رياضي قابل للتقدير.

## 2. أساليب التنبؤ المستخدمة في الدراسة

تنقسم أساليب أو نماذج التنبؤ تبعاً 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 المختصين 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 (Delphi method) وهي طريقة تنبؤ منهجية وتفاعلية تعتمد على لجنة من الخبراء الذين يقومون بالإجابة على الاستبيانات المتعلقة بالموضوع المطلوب استشرافه في جولتين أو أكثر. 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 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  $X_1, X_2, \dots, X_K$ ، 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 كما يلي:

$$y = d_0 + d_1 YP_{-1} + d_2 GDP + d_3 POP + d_4 P + E$$

تم بعد ذلك تقدير معاملات النموذج di باستخدام الوسائل الإحصائية المتوفرة، 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 بمتغير تابع مع المتغيرات المستقلة المتمثلة في أسعار الطاقة والناتج المحلي

الإجمالي وعدد السكان، وتقدير المتغير التابع على هيئة دالة في المتغيرات المستقلة خلال الفترة (1980 – 2017). 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 الأسّي (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 وشيوعاً في توقعات الطلب على الطاقة.

ويعتمد أسلوب التمهيد الأسّي (Exponential Smoothing) على ترجيح أو تمهيد القيم التاريخية للسلسلة الزمنية من أجل التنبؤ بالمستقبل باستخدام معدل الأخطاء الحسابية، وقد تم استخدام طريقة هولت الأسّي الخطي ذو المعلمتين  $(\alpha, \gamma)$  حيث أن بيانات استهلاك مصادر الطاقة الأولية هي سلسلة زمنية ذات نزعة اتجاهية، أما الاتجاه الموسمي فقد تم تجاهله كون البيانات المستخدمة في الدراسة هي بيانات سنوية مما لا يظهر أثراً للموسمية.

وبالمقابل، تطلق عادةً حزمة بوكس جنكنز (Box-Jenkins) الإحصائي على نماذج الأوساط المتحركة المنحدرة ذاتياً المتكاملة (ARIMA Models) التي تعرف 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 توشي دقة النتائج، اعتمدت منهجية اعداد الدراسة اختبار النماذج الثلاثة وهي نموذج الانحدار الخطي المتعدد ضمن نماذج الاقتصاد القياسي، ونموذج هولت الأسّي الخطي ذو المعلمتين ونماذج بوكس جينكز ضمن نماذج السلاسل الزمنية لتقدير دالة استهلاك مصادر الطاقة الأولية بدولة الكويت. وبعد ذلك تمت المفاضلة بين نتائج هذه النماذج لتعيين النموذج الأفضل باستخدام معيار متوسط مربعات الخطأ (Mean Square Error - MSE)، وهو اختبار معروف لقياس دقة نموذج الانحدار الخطي، ويحسب بتربيع الخطأ لكل مشاهدة في مجموعة البيانات. 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). وقد تم استخدام برنامج (EViews) للاقتصاد القياسي لتحليل البيانات وتقدير النموذج واستشراف التوقعات المستقبلية للدراسة.

ولمزيد من التفاصيل حول منهجية إعداد التنبؤات المستقبلية والنتائج الرئيسية لتقدير النموذج والمؤشرات الإحصائية لبرنامج EViews، يمكن الاطلاع على الملحق (2) و (3) المرفقين.

### 3. الافتراضات الخاصة بالتوقعات والسيناريوهات

فيما يخص الفرضيات الخاصة بالتوقعات المستقبلية للطلب على الطاقة للفترة الممتدة من عام 2018 حتى عام 2040، فقد تم اعداد أربعة سيناريوهات لاستشراف الأفاق المستقبلية لاستهلاك مصادر الطاقة الأولية بدولة الكويت في الأجل المتوسط الذي يغطي الفترة (2018 - 2025)، والأجل البعيد والذي يغطي الفترة (2025 - 2040)، وقد تمثلت السيناريوهات الأربعة في الاتي:

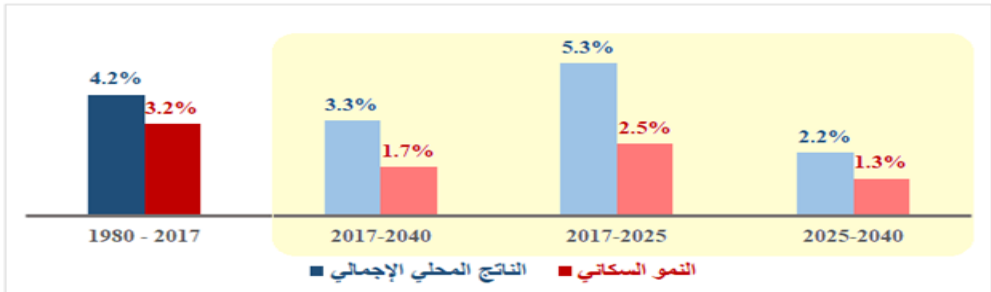
## أ. سيناريو الإشارة

يفترض مساراً للنمو الاقتصادي والسكاني في دولة الكويت يتماشى مع توقعات نمو الاقتصاد العالمي حتى عام 2022 بحسب تقرير آفاق الاقتصاد العالمي الصادر عن صندوق النقد الدولي في أبريل 2018، من جهة، ومع معدلات النمو التاريخية التي شهدتها دولة الكويت خلال فترة الدراسة بالنسبة لتوقعات النمو لباقي الفترة حتى عام 2040، من ناحية أخرى. فالنسبة للناتج المحلي الإجمالي، يفترض سيناريو الإشارة نمو الناتج المحلي لدولة الكويت خلال الفترة (2017 – 2040) بمعدل 3.3% سنوياً مقارنة بمعدل نمو بلغ 4.2% خلال الفترة (1980-2017)، حيث يفترض سيناريو الإشارة نمو الناتج المحلي لدولة الكويت في الأجل المتوسط (2017 – 2025) بمعدل 5.3%، وعلى المدى البعيد (2025 – 2040) بمعدل 2.2%

أما بالنسبة للنمو السكاني، فيفترض سيناريو الإشارة نمو السكان بدولة الكويت خلال الفترة (2017 – 2040) بمعدل 1.7% سنوياً مقارنة بمعدل نمو بلغ 3.2% خلال الفترة (1980-2017)، حيث يفترض سيناريو الإشارة نمو السكان بدولة الكويت في الأجل المتوسط (2017 – 2025) بمعدل 2.5%، وعلى المدى البعيد (2025 – 2040) بمعدل 1.3%، كما يوضح الشكل (24).

## الشكل (24)

معدلات النمو المفترضة للناتج المحلي الإجمالي والنمو السكاني بدولة الكويت، %  
سيناريو الإشارة



المصدر: تقرير آفاق الاقتصاد العالمي، أبريل 2018، صندوق النقد الدولي وفرضيات الدراسة.

وفيما يتعلق بمزيج الطاقة، يأخذ سيناريو الإشارة في الإعتبار مشاريع الطاقات المتجددة تحت التنفيذ والمخطط لها في دولة الكويت حسب بيانات المصادر الوطنية والتقارير المشترك للوكالة الدولية للطاقات المتجددة وجامعة الدول العربية والمركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة لعام 2016 وذلك لبيان انعكاساتها المتوقعة على هيكل استهلاك الطاقة بدولة الكويت وفق المصدر. ومن أهم مشاريع الطاقات المتجددة تحت التنفيذ والمخطط لها في دولة الكويت مشروع محطة العبدلية لتوليد الطاقة الكهربائية بنظام الدورة الكهربائية المدمجة بين الطاقة الشمسية والدورة المزدوجة من التربينات الغازية والتربينات البخارية، بقدرة توليد إجمالية تبلغ 280 ميغاوات (60 ميغاوات من الطاقة الشمسية)، والتي من المتوقع أن تدخل الخدمة بحلول عام 2020. ومشروع تركيب خلايا كهروضوئية PV على أسطح خزانات المياه الأرضية في 19 موقعاً بقدرة توليد إجمالية تبلغ نحو 385 ميغاوات، والتي من المتوقع أن يتم توقيع العقد الأول من المشروع في فبراير 2021 بموقع غرب الصبية بقدرة 25 ميغاوات. وبالإضافة إلى مشروع الشقاي للطاقة الشمسية وطاقة الرياح بقدرة توليد تبلغ 2000 ميغاوات موزعة على ثلاث مراحل يتوقع الإنتهاء منها في عام 2025، فضلاً عن العديد من المشاريع الأخرى. ومن المتوقع إجمالاً أن تضيف مشاريع الطاقات المتجددة تحت التنفيذ والمخطط لها في دولة الكويت عند إنجازها أكثر من 4.62 جيجاوات من القدرات المركبة لتوليد الطاقة الكهربائية، تمثل مشاريع الطاقة الشمسية منها نحو 4.61 جيجاوات، أي بنسبة 99.8% من إجمالي القدرات المركبة لمشاريع توليد الكهرباء من الطاقات المتجددة، بينما تمثل مشاريع طاقات الرياح نحو 10 ميغاوات، أي نسبة 0.2% من إجمالي القدرات المركبة لمشاريع توليد الكهرباء من الطاقات المتجددة، كما هو مبين بالجدول (7):

### الجدول (7)

القدرات المركبة لمشاريع توليد الكهرباء من الطاقات المتجددة تحت الإنجاز والمخطط لها بدولة الكويت  
ميغاوات

طاقات الرياح	الطاقة الشمسية	الطاقة الكهرومائية	الطاقات المتجددة الأخرى	الإجمالي
10	4610	--	--	4620

المصدر: كتاب الإحصاء السنوي 2016 - إدارة الإحصاء ومركز المعلومات - وزارة الكهرباء والماء - دولة الكويت.  
Renewable Energy in the Arab Region: Overview of developments, IRENA & RECREEE & League of Arab States, 2016



### ب. سيناريوهي النمو المنخفض والمرتفع

يفترض سيناريو النمو المنخفض نمو الناتج المحلي لدولة الكويت خلال الفترة (2017 – 2040) بمعدل 2.9% سنوياً مقارنة بمعدل نمو مقترض 3.3% حسب سيناريو الإشارة، حيث يفترض سيناريو النمو المنخفض نمو الناتج المحلي لدولة الكويت في الأجل المتوسط بمعدل 4.9%، وعلى المدى البعيد بمعدل 1.8%. وبالمقابل يفترض سيناريو النمو المرتفع نمو الناتج المحلي لدولة الكويت بمعدل 3.7% سنوياً، حيث يفترض نمو الناتج المحلي لدولة الكويت في الأجل المتوسط خلال الفترة (2017 – 2025) بمعدل 5.7%، وعلى المدى البعيد، بمعدل 2.6%، كما هو مبين بالشكل (25):

#### الشكل (25)

معدلات النمو المفترضة للناتج المحلي الإجمالي بدولة الكويت  
(سيناريو النمو المنخفض والنمو المرتفع)

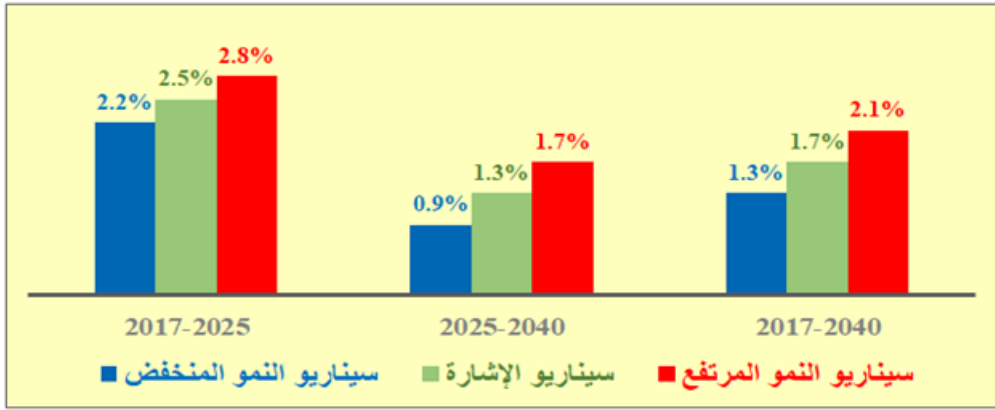


المصدر: فرضيات الدراسة.

وبالنسبة للنمو السكاني، يفترض سيناريو النمو المنخفض نمو السكان بدولة الكويت خلال الفترة (2017 – 2040) بمعدل 1.3% سنوياً مقارنة بمعدل نمو مقترض 1.7% حسب سيناريو الإشارة، حيث يفترض سيناريو النمو المنخفض نمو السكان بدولة الكويت في الأجل المتوسط بمعدل 2.2%، وعلى المدى البعيد بمعدل 0.9%. وبالمقابل يفترض سيناريو النمو المرتفع

نمو السكان بدولة الكويت خلال الفترة (2017 – 2040) بمعدل 2.1% سنوياً، حيث يفترض نمو السكان بدولة الكويت في الأجل المتوسط بمعدل 2.8%، وعلى المدى البعيد بمعدل 1.7%، كما هو مبين بالشكل (26):

**الشكل (26)**  
معدلات النمو المفترضة للنمو السكاني بدولة الكويت  
(سيناريوهي النمو المنخفض والنمو المرتفع)



المصدر: فرضيات الدراسة.

كما يفترض كل من سيناريو النمو المنخفض والنمو المرتفع ثبات الأسعار عند مستوياتها الحالية، واستمرار العوامل الأخرى مثل الهيكل الاقتصادي دون تغيير. وبالنسبة لمزيج الطاقة يفترض سيناريو النمو المنخفض والنمو المرتفع نجاح دولة الكويت في انجاز مشاريع الطاقات المتجددة تحت التنفيذ والمخطط لها في دولة الكويت حسب بيانات المصادر الوطنية والتقارير المشترك للوكالة الدولية للطاقات المتجددة وجامعة الدول العربية والمركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة لعام 2016، والتي يتوقع أن تضيف عند إنجازها أكثر من 4.62 جيجاوات من القدرات المركبة لتوليد الطاقة الكهربائية.

### ج. سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة

شهدت السنوات الأخيرة منذ مطلع العقد السابق، تنامي الاهتمام المتزايد في العديد من دول الشرق الأوسط وشمال أفريقيا 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 كخيار استراتيجي لهذه الدول لتأمين وتنويع مصادر الطاقة لديها، وإرساء صناعتها محلياً استرشاداً بالمواصفات العالمية ومن ثم تسويقها إقليمياً في بادئ الأمر فعالماً في مرحلة لاحقة.

وانطلاقاً من الرعاية التي يوليها حضرة صاحب السمو أمير البلاد الشيخ صباح الأحمد الجابر الصباح "حفظه الله ورعاه" للجهود الوطنية الساعية إلى تنويع مصادر الطاقة وتوجيهاته السامية في هذا الاتجاه، وما تفضل سموه بالإعلان عنه في مؤتمر الدوحة للتغير المناخي المنعقد في العاصمة القطرية الدوحة خلال شهر ديسمبر 2012 بتوسع دولة الكويت في استخدام الطاقة الشمسية وطاقة الرياح للوصول إلى إنتاج 15% من حاجة دولة الكويت للطاقة الكهربائية بحلول عام 2030، فإن الجهات الحكومية المعنية تسعى لتطوير مزيج من مصادر الوقود الأحفوري والمتجددة وبشكل مستدام يسمح بالحفاظ على مصادر الدولة الناضبة من النفط والغاز الطبيعي لأجيال المستقبل، وبإتمام هذه الرؤية فإن دولة الكويت تدرك دورها المهم كمصدر أساسي للطاقة عالمياً، وتؤمن في الوقت ذاته مستقبل الكويت واستدامته مصادر طاقتها.

وتحذو دولة الكويت حذو الدول البترولية الساعية إلى التوجه نحو تنويع مصادر الطاقة عن طريق استغلال مصادرها الوفيرة من الطاقة المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، لتساهم في تنويع مصادر الطاقة لديها، ولتشكل بذلك رافداً للمصادر البترولية وتساهم في تعزيز مصادر الدخل عبر تحرير المزيد من النفط والغاز من أجل التصدير، حيث أعلنت أهدافها المستقبلية لمساهمة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة، التي شملت عزمها على إضافة 700

ميجاوات من طاقات الرياح وحوالي 10300 ميجاوات من الطاقة الشمسية بحلول عام 2030، حسب التقرير المشترك للوكالة الدولية للطاقات المتجددة وجامعة الدول العربية والمركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة لعام 2016 والمصادر الوطنية. لذلك تم تضمين الدراسة السيناريو الرابع لبيان انعكاسات نجاح دولة الكويت في ترجمة الأهداف الوطنية المعلنة لتنويع مصادر الطاقة إلى مشاريع حقيقية على مزيج الطاقة المتوقع لدولة الكويت حتى عام 2040. وقد اتبعت الدراسة في هذا السيناريو منهجية السيناريوهات التراجعية (Backcasting Scenarios)، وهي منهجية تخطيط للسياسات، حيث تمثل الأهداف الوطنية صورة 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 دولة الكويت حتى عام 2040 بحسب السيناريوهات الأربع المختلفة

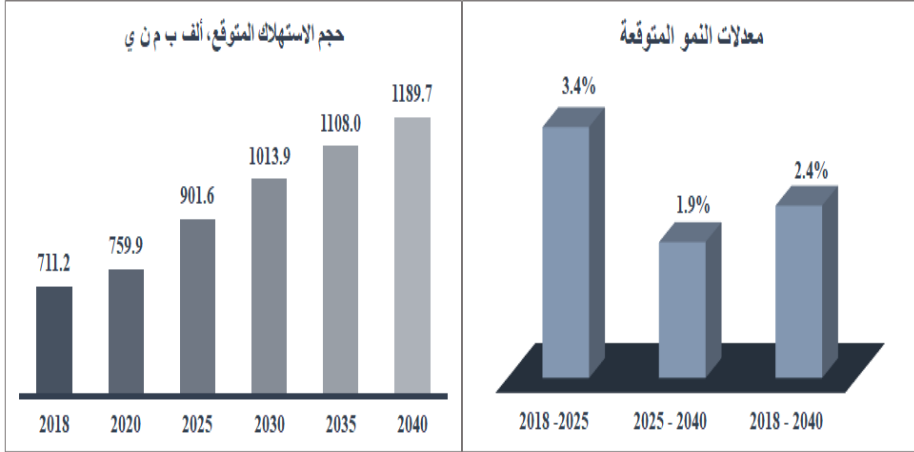
### 1. سيناريو الأساس (الإشارة)

#### 1.1. توقعات إجمالي استهلاك الطاقة الأولية في دولة الكويت حتى عام 2040

من المتوقع أن يشهد إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت وفق سيناريو الإشارة نمواً بمعدل 3.4% خلال الفترة (2018-2025)، ليبلغ حوالي 901 ألف ب م ن ي عام 2025. وعلى المدى البعيد، يتوقع سيناريو الإشارة أن تتخفف وتيرة النمو في إجمالي استهلاك الطاقة في دولة الكويت مقارنة بالمدى المتوسط، حيث يتوقع أن يشهد الاستهلاك نمواً بنحو 1.9% خلال الفترة (2025 - 2040)، ليبلغ حوالي 1.2 مليون ب م ن ي عام 2040. وبذلك تكون حصيلة النمو المتوقعة للإستهلاك خلال الفترة (2018 - 2040) حوالي 2.4%، كما هو موضح بالجدولين (1 و2) في الملحق والشكل (27):

## المشكل (27)

التوقعات المستقبلية لإجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بدولة الكويت حتى عام 2040، سيناريو الإشارة



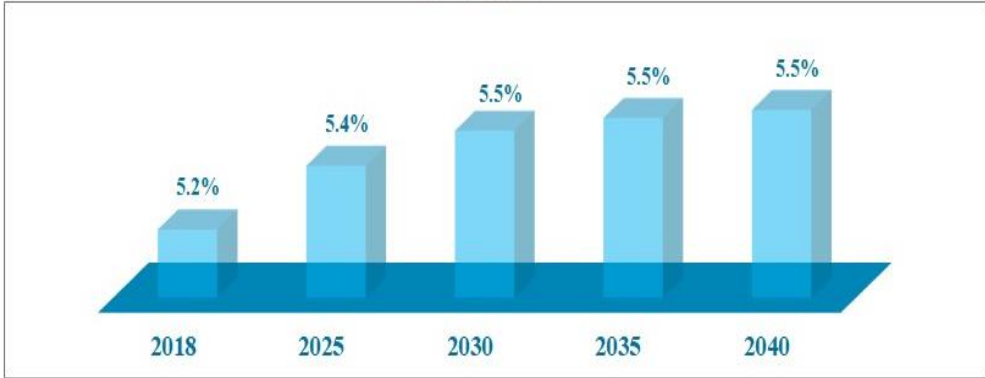
المصدر: الجدول رقم (1) والجدول رقم (2) في الملحق.

## I. توقعات حصة دولة الكويت من إجمالي استهلاك الدول الأعضاء للطاقة حتى عام 2040

وفق سيناريو الإشارة، من المتوقع أن يتجاوز معدل النمو في إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت خلال الفترة (2018-2040) والبالغ 2.4% نظيره لمجموعة الدول الأعضاء في أوابك والمتوقع أن يبلغ 2.1% خلال ذات الفترة. ونتيجة لذلك، يتوقع أن ترتفع حصة دولة الكويت من إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء في أوابك من 5.2% عام 2018 إلى حوالي 5.5% عام 2040، كما هو موضح بالشكل (28):

## الشكل (28)

توقعات حصة دولة الكويت من إجمالي استهلاك الدول الأعضاء للطاقة حتى عام 2040  
سيناريو الإشارة



المصدر: الجدول رقم (1) والجدول رقم (2) في الملحق.  
- منظمة أوبك، دراسة تطور استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء وآفاقه المستقبلية، مارس 2018.

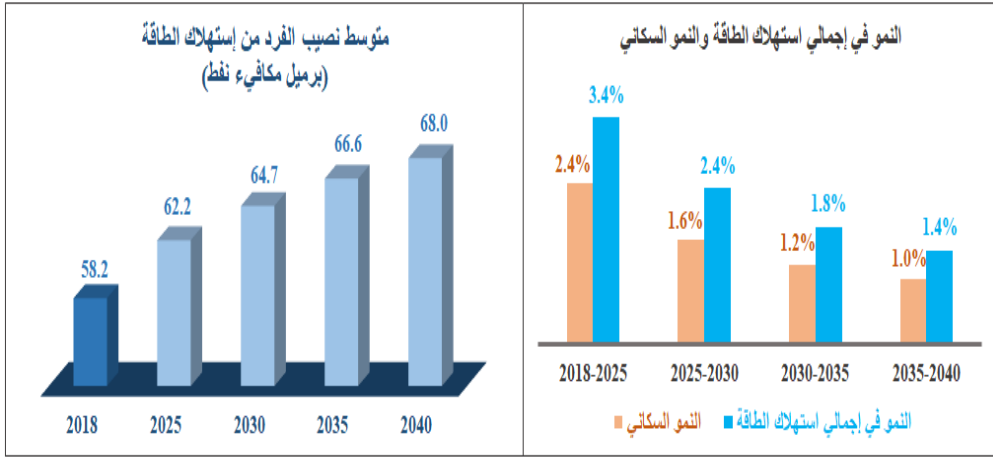
## II. توقعات متوسط استهلاك الفرد من الطاقة في دولة الكويت حتى 2040

وفق سيناريو الإشارة، من المتوقع أن يتجاوز تسارع النمو في إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية النمو السكاني في دولة الكويت خلال الفترة (2018 – 2040)، مما سيؤدي إلى تزايد متوسط نصيب الفرد من استهلاك مصادر الطاقة الأولية خلال الفترة ذاتها، حيث يتوقع أن يبلغ معدل نمو السكان دولة الكويت حوالي 2.4% خلال الفترة 2018 – 2025، بينما يتوقع أن يبلغ معدل النمو في إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية نحو 3.4%، ليرتفع بذلك متوسط استهلاك الفرد في دولة الكويت من 58.2 برميل مكافئ نفط عام 2018 إلى 62.2 برميل مكافئ نفط عام 2025. ثم يتوقع أن يتباطأ النمو السكاني ليصل إلى 1.6% خلال الفترة (2025 – 2030)، بينما يتوقع أن تخف وثيرة النمو في إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية إلى 2.4% خلال نفس الفترة، ليرتفع بذلك متوسط استهلاك الفرد بشكل طفيف إلى 64.7 برميل مكافئ نفط عام 2030. ثم من المتوقع أن يشهد 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 68 برميل مكافئ نפט عام 2040، كما هو موضح بالشكل (29):

### الشكل (29)

التوقعات المستقبلية لحصة الفرد من إجمالي استهلاك الطاقة في دولة الكويت خلال الفترة 2019 - 2040 (سيناريو الإشارة)



المصدر: الجدول رقم (3) في الملحق.

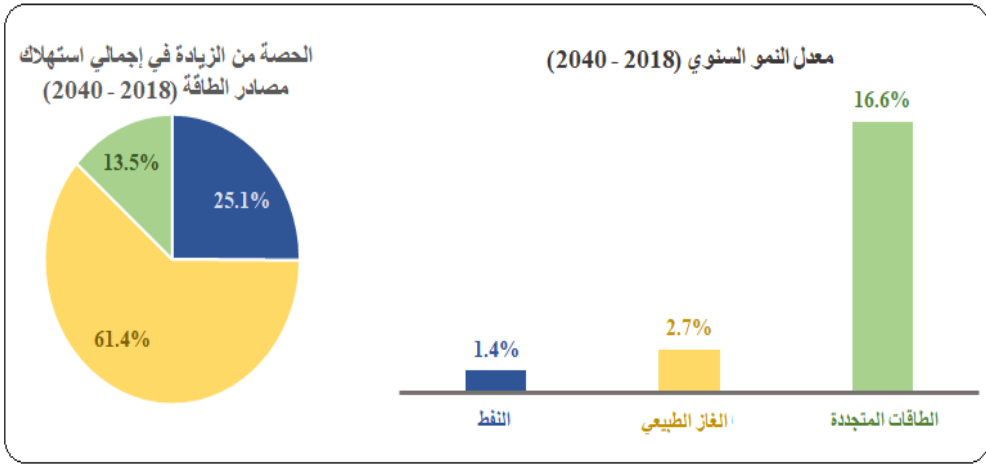
### III. توقعات مزيج الطاقة المستهلكة في دولة الكويت حتى عام 2040

وفق سيناريو الإشارة، من المتوقع أن يلب النفط والغاز الطبيعي أكثر من 86% من إجمالي الزيادة المتوقعة في استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت خلال الفترة (2018 – 2040) والبالغة نحو 478 ألف م ب ن ي. ويتوقع سيناريو الإشارة أن تحقق الطاقات المتجددة أسرع معدلات النمو في استهلاكها مقارنة ببقية المصادر خلال الفترة (2018 – 2040)، إلا أنه نظراً لصغر قاعدتها لا يتوقع أن تتجاوز نسبة مساهمتها في إجمالي الزيادة في استهلاك الطاقة خلال هذه الفترة نسبة 13.5%. وبالمقابل، يتوقع أن يساهم الغاز الطبيعي بحصة تبلغ 61.4% من إجمالي الزيادة في استهلاك الطاقة بدولة الكويت خلال الفترة (2018 – 2040)، أي بمعدل نمو متوقع بنحو 2.7%، في حين يتوقع أن تبلغ مساهمة النفط نحو ربع

إجمالي الزيادة في استهلاك الطاقة بدولة الكويت خلال الفترة (2018 – 2040) بمعدل نمو متوقع بنحو 1.4%، كما هو موضح بالشكل (30):

### الشكل (30)

التوقعات المستقبلية لمساهمة مصادر الطاقة من إجمالي الزيادة في استهلاكها بدولة الكويت خلال الفترة (2018-2040)، سيناريو الإشارة



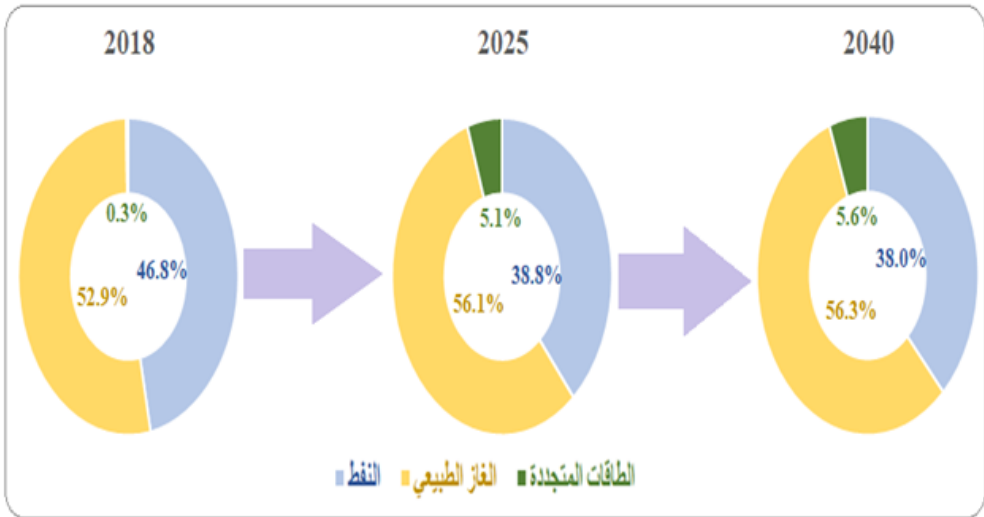
المصدر: الجدول رقم (1) والجدول رقم (2) في الملحق.

بناء عليه، من المتوقع أن تستمر هيمنة النفط والغاز الطبيعي على مزيج الطاقة المستهلكة في دولة الكويت خلال الفترة (2018 – 2040) بحسب سيناريو الإشارة، حيث يتوقع أن يشكل هذان المصدران نسبة 94.3% من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة حتى عام 2040، مقارنة بحصة بلغت نحو 99.7% من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة عام 2018. ويتوقع أن تتراجع حصة النفط من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة بحوالي 8% ما بين عامي 2018 و2025، بينما ترتفع حصة الغاز الطبيعي بحوالي 3.2%، في حين ترتفع الطاقات المتجددة بحوالي 4.8%. ويتوقع سيناريو الإشارة أن ترتفع حصة الطاقات المتجددة



عام 2040 إلى نحو 5.6%، في حين تتراجع حصة النفط إلى نحو 38%، بينما ترتفع حصة الغاز الطبيعي إلى نحو 56.3%، كما هو موضح بالشكل (31):

**الشكل (31)**  
التوقعات المستقبلية لتطور مزيج الطاقة في دولة الكويت  
(حصة المصادر من إجمالي الطاقة المستهلكة)  
(سيناريو الإشارة)



المصدر: الجدول رقم (1) والجدول رقم (2) في الملحق.

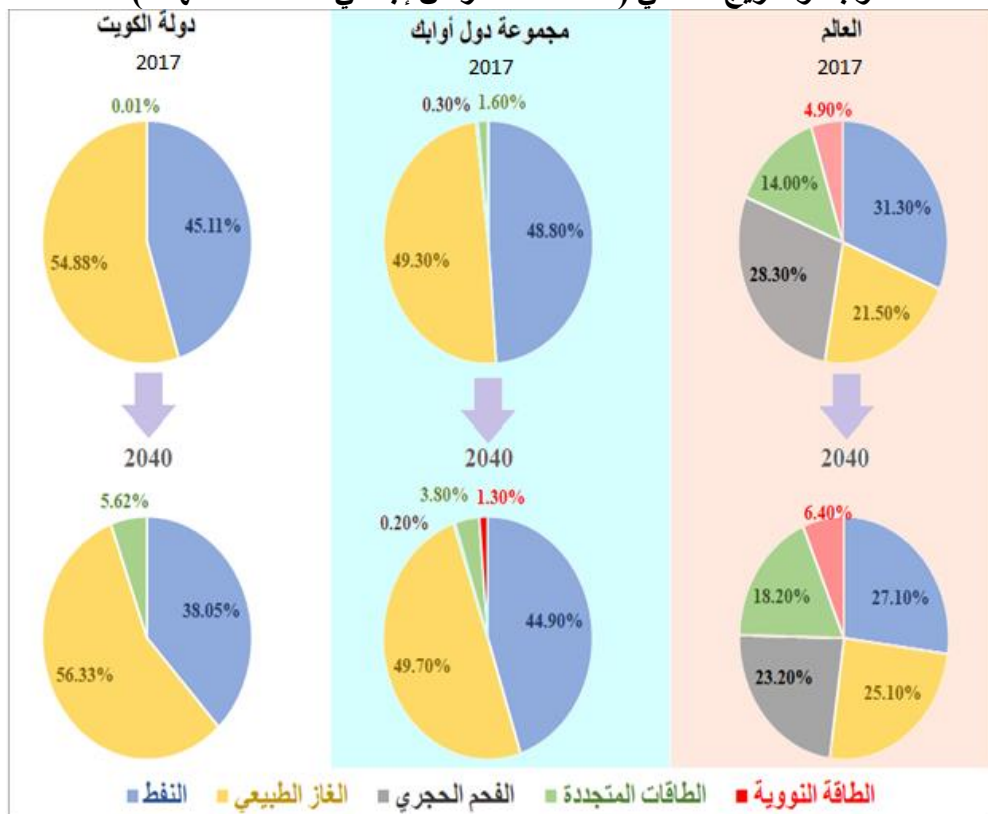
وبالمقارنة مع توقعات مزيج الطاقة بمجموعة الدول الأعضاء في أوبك والمزيج العالمي، تشير توقعات منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك) إلى تراجع حصة النفط من مزيج الطاقة الأولية المستهلكة عالمياً بنحو 4.2%، أي من 31.3% عام 2015 إلى نحو 27.1% عام 2040، بينما تشير توقعات منظمة أوبك إلى تراجع حصة النفط من مزيج الطاقة الأولية المستهلكة في الدول الأعضاء بنحو 3.8%، أي من 48.8% عام 2015 إلى نحو 44.9% عام 2040، في حين يتوقع أن تنخفض حصة النفط من مزيج الطاقة المستهلكة في دولة الكويت بنحو 7%، أي من 45.1% عام 2015 إلى نحو 38.1% عام 2040.

وفي المقابل، تشير توقعات أوبك إلى ارتفاع حصة الغاز الطبيعي من مزيج الطاقة الأولية المستهلكة عالمياً بنحو 3.6%، أي من 21.5% عام 2015 إلى نحو 25.1% عام 2040، بينما يتوقع سيناريو الإشارة لمنظمة أوبك أن ترتفع حصة الغاز الطبيعي من مزيج الطاقة الأولية المستهلكة في الدول الأعضاء بنحو 0.3%، أي من 49.3% عام 2015 إلى نحو 49.7% عام 2040، في حين يتوقع أن ترتفع حصة الغاز الطبيعي من مزيج الطاقة المستهلكة في دولة الكويت بنحو 1.4%، أي من 54.9% عام 2015 إلى نحو 56.3% عام 2040.

وبالنسبة للطاقات المتجددة، تشير التوقعات إلى التزايد الملحوظ في حصتها من مزيج الطاقة الأولية المستهلكة في دولة الكويت مقارنة بمجموعة الدول الأعضاء والمزيج العالمي، حيث يتوقع أن تتفوق حصة الطاقات المتجددة من مزيج الطاقة الأولية المستهلكة بدولة الكويت بحوالي 5.6%، لترتفع من 0.01% فقط عام 2015 إلى نحو 5.61% عام 2040، بينما يتوقع أن ترتفع حصة الطاقات المتجددة من مزيج الطاقة الأولية المستهلكة عالمياً بنحو 4.2% أي من 14% عام 2015 إلى نحو 18.2% عام 2040 بحسب توقعات أوبك، في حين ترتفع هذه الحصة في الدول الأعضاء بنحو 2.2% أي من 1.6% عام 2015 إلى نحو 3.8% عام 2040 بحسب توقعات منظمة أوبك، كما هو موضح بالشكل (32):

## الشكل (32)

التوقعات المستقبلية لتطور مزيج الطاقة بدولة الكويت مقارنة بمجموعة الدول الأعضاء في أوبك والمزيج العالمي (حصة المصادر من إجمالي الطاقة المستهلكة)



المصدر: - الجدول رقم (1) والجدول رقم (2) في الملحق.  
- منظمة أوبك، دراسة تطور استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء وأفاقه المستقبلية، مارس 2018.  
- منظمة أوبك، تقرير آفاق النفط العالمي 2017، 2040.

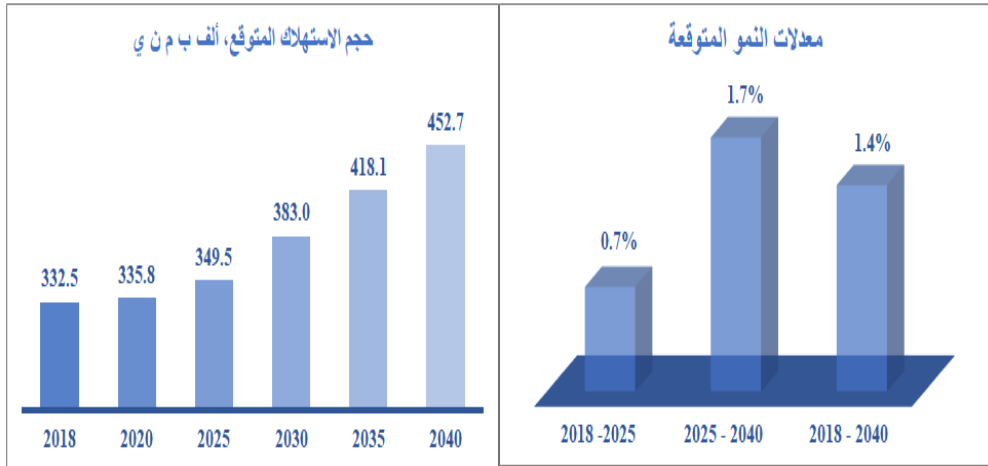
## 2.1. توقعات استهلاك النفط في دولة الكويت حتى عام 2040

من المتوقع أن يشهد استهلاك النفط في دولة الكويت، وفق سيناريو الإشارة، نمواً معدلته 0.7% خلال الفترة (2018- 2025)، ليبلغ حوالي 349.5 ألف ب م ن ي عام 2025، وعلى المدى البعيد، يتوقع أن يشهد الاستهلاك نمواً بنحو 1.7% خلال الفترة

(2025 - 2040)، ليبلغ حوالي 453 ألف ب م ن ي عام 2040، وبذلك تكون حصيلة النمو المتوقعة خلال الفترة (2018 - 2040) في إجمالي استهلاك دولة الكويت من النفط نحو 1.4%، كما هو موضح بالجدولين (1 و 2) في الملحق والشكل (33):

### الشكل (33)

التوقعات المستقبلية لإستهلاك النفط بدولة الكويت حتى عام 2040، سيناريو الإشارة

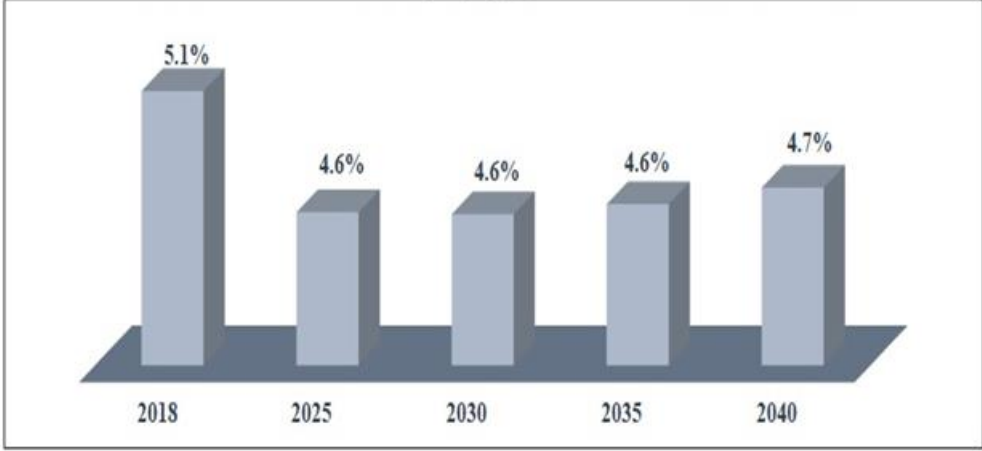


المصدر: الجدول رقم (1) والجدول رقم (2) في الملحق.

ونظراً لتسارع النمو في استهلاك النفط بمجموعة الدول الأعضاء في منظمة أوبك المتوقع بمعدل 1.8% خلال الفترة (2018-2040) عن نظيره في دولة الكويت المتوقع بمعدل 1.4% خلال ذات الفترة، يتوقع سيناريو الإشارة أن تنخفض حصة دولة الكويت من إجمالي استهلاك النفط في مجموعة الدول الأعضاء في أوبك من 5.1% عام 2018 إلى حوالي 4.7% عام 2040، كما هو موضح بالشكل (34):

## الشكل (34)

توقعات حصة دولة الكويت من إجمالي استهلاك النفط بالدول الأعضاء حتى عام 2040  
(سيناريو الإشارة)

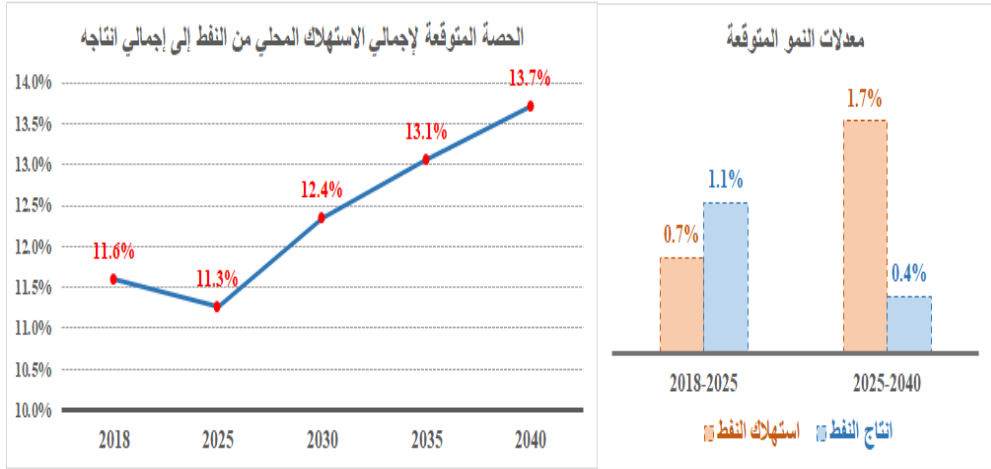


المصدر: - الجدول رقم (1) والجدول رقم (2) في الملحق.  
- منظمة أوبك، دراسة تطور استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء وآفاقه المستقبلية، مارس 2018.

وحيث أن توقعات سيناريو السياسات الجديدة لوكالة الطاقة الدولية تشير إلى نمو إنتاج الكويت من النفط الخام بمعدل 1.1% خلال الفترة (2025-2018) وحوالي 0.4% خلال الفترة (2040-2025)، مقابل توقع سيناريو الإشارة لأوبك ارتفاع استهلاك النفط في دولة الكويت بمعدل 0.7% خلال الفترة (2025-2018)، و1.7% خلال الفترة (2040 - 2025)، وبذلك يتوقع أن نسبة الاستهلاك المحلي للنفط إلى إجمالي إنتاجه في دولة الكويت في الأجل المتوسط ستشهد تراجعاً طفيفاً من 11.6% عام 2018 إلى نحو 11.3% نتيجة التسارع المتوقع في معدلات النمو في إنتاج النفط عن معدلات النمو في استهلاكه خلال الفترة (2025-2018)، لتبدأ بعد ذلك حصة الاستهلاك المحلي للنفط من إجمالي إنتاجه في التزايد مجدداً مع التسارع المتوقع في نمو الاستهلاك مقارنة بالنمو في الإنتاج خلال الفترة (2040-2025) لتصل الحصة المتوقعة نحو 13.7% عام 2040، كما هو موضح بالشكل (35):

### الشكل (35)

التوقعات المستقبلية لحصة الاستهلاك المحلي من النفط إلى إجمالي إنتاجه بدولة الكويت خلال الفترة (2018-2040)، سيناريو الإشارة



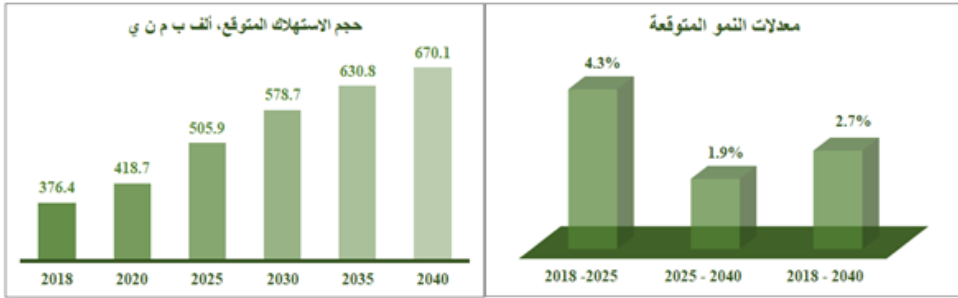
\* إنتاج النفط يمثل إنتاج النفط الخام ولا يشمل سوائل الغاز الطبيعي.  
المصدر: - الجدول رقم (1) والجدول رقم (2) في الملحق.  
World Energy Outlook 2017, IEA -

### 3.1. توقعات استهلاك الغاز الطبيعي في دولة الكويت حتى عام 2040

وفق سيناريو الإشارة، من المتوقع أن يشهد استهلاك الغاز الطبيعي في دولة الكويت نمواً معدلته 4.3% خلال الفترة (2018-2025)، ليبليغ حوالي 506 ألف ب م ن ي عام 2025. وعلى المدى البعيد، يتوقع أن تنخفض وتيرة النمو في استهلاك الغاز الطبيعي مقارنة بالمدى المتوسط، حيث يتوقع أن يشهد الاستهلاك نمواً بنحو 1.9% خلال الفترة (2025 - 2040)، ليبليغ حوالي 670 ألف ب م ن ي عام 2040، وبذلك تكون حصة النمو المتوقعة خلال الفترة (2018 - 2040) حوالي 2.7%، كما هو موضح بالجدولين (1 و 2) في الملحق والشكل (36):

## الشكل (36)

التوقعات المستقبلية لإستهلاك الغاز الطبيعي بدولة الكويت حتى عام 2040، سيناريو الإشارة

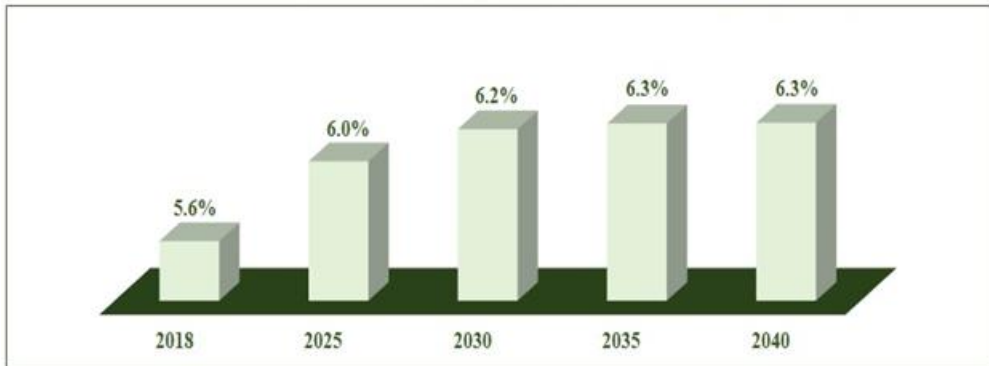


المصدر: الجدول رقم (1) والجدول رقم (2) في الملحق.

ونظراً لتسارع النمو في استهلاك الغاز الطبيعي في دولة الكويت المتوقع بمعدل 2.7% خلال الفترة (2018-2040) عن نظيره بمجموعة الدول الأعضاء في منظمة أوبك المتوقع بمعدل 2.1% خلال ذات الفترة، يتوقع سيناريو الإشارة أن ترتفع حصة دولة الكويت من إجمالي استهلاك الغاز الطبيعي في مجموعة الدول الأعضاء في أوبك من 5.6% عام 2018 إلى حوالي 6.3% عام 2040، كما هو بالشكل (37):

## الشكل (37)

توقعات حصة دولة الكويت من إجمالي استهلاك الغاز الطبيعي بالدول الأعضاء حتى عام 2040 (سيناريو الإشارة)



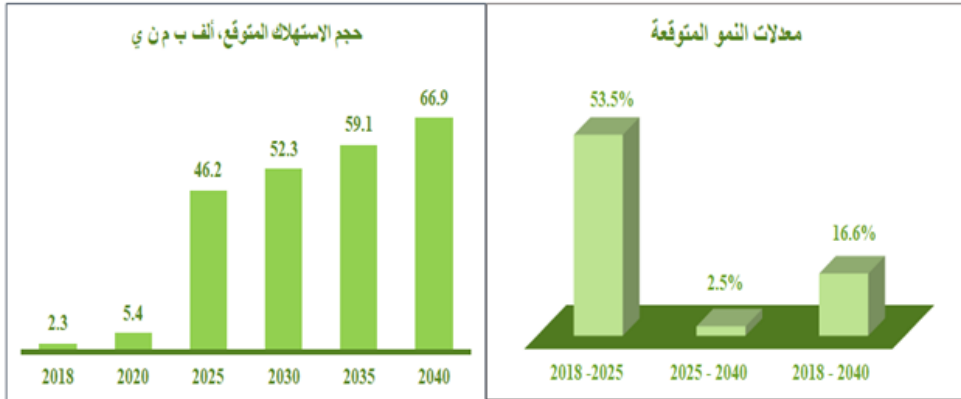
المصدر: - الجدول رقم (1) والجدول رقم (2) في الملحق.  
- منظمة أوبك، دراسة تطور استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء وأفاقه المستقبلية، مارس 2018.

#### 4.1. توقعات استهلاك الطاقة المتجددة في دولة الكويت حتى عام 2040

وفق سيناريو الإشارة، من المتوقع أن يشهد استهلاك الطاقة المتجددة في دولة الكويت نمواً بمعدل 53.5% سنوياً خلال الفترة (2018-2025)، ليبلغ حوالي 46 ألف ب م ن ي عام 2025، ويعكس هذا التسارع الكبير المتوقع حجم مشاريع الطاقات المتجددة تحت التنفيذ والمخطط لها في دولة الكويت والتي تمثل نسبتها نحو 42% من إجمالي قدرات التوليد التي تهدف دولة الكويت الوصول إليها ضمن خطتها الوطنية حسب أهدافها المعلنة لمساهمة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة. وعلى المدى البعيد، يتوقع أن تنخفض وتيرة النمو في استهلاك الطاقة المتجددة بدولة الكويت مقارنة بالمدى المتوسط، حيث يتوقع أن يشهد الاستهلاك نمواً بنحو 2.5% خلال الفترة (2025 - 2040)، ليبلغ حوالي 66.9 ألف ب م ن ي عام 2040، وبذلك تكون حصيلة النمو المتوقعة خلال الفترة (2018 - 2040) في إجمالي استهلاك دولة الكويت من الطاقة المتجددة حوالي 16.6%، كما هو موضح بالجدولين (1 و 2) في الملحق والشكل (38):

#### الشكل (38)

التوقعات المستقبلية لإستهلاك الطاقة المتجددة بدولة الكويت حتى عام 2040  
( سيناريو الإشارة )



المصدر: الجدول رقم (1) والجدول رقم (2) في الملحق.

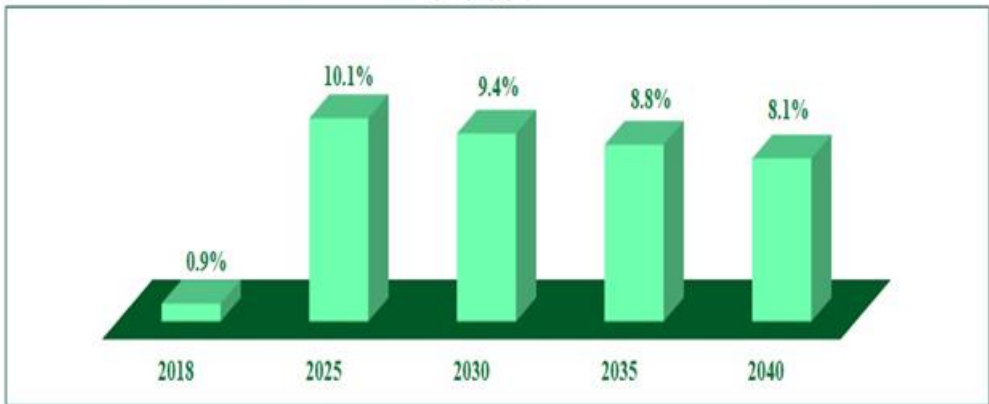


ونظراً لتسارع النمو في استهلاك الطاقات المتجددة في دولة الكويت المتوقع بمعدل 16.6% خلال الفترة (2018-2040) مقارنة بنظيره لمجموعة الدول الأعضاء في أوابك المتوقع بمعدل 5.4% خلال ذات الفترة، يتوقع سيناريو الإشارة أن ترتفع حصة دولة الكويت من إجمالي استهلاك الطاقات المتجددة في مجموعة الدول الأعضاء في أوابك من 0.9% عام 2018 إلى حوالي 8.1% عام 2040.

والجدير بالإشارة أن توقعات سيناريو الإشارة تشير إلى أن حصة دولة الكويت من إجمالي استهلاك الطاقات المتجددة في مجموعة الدول الأعضاء في أوابك سوف تقفز من 0.9% عام 2018 إلى نحو 10.1% عام 2025، بسبب المشروعات الكبيرة في مجال توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية المتوقع إنجازها بدولة الكويت خلال هذه الفترة، ثم يتوقع أن تشهد الحصة تراجعاً طفيفة نتيجة لاعتدال النمو في دولة الكويت وتسارعه في مجموعة الدول الأعضاء التي تشهد إنجاز الجزء الأكبر من مشاريعها في مجال الطاقات المتجددة بعد عام 2025، ويوضح الشكل (39) توقعات حصة دولة الكويت من إجمالي استهلاك الطاقات المتجددة بالدول الأعضاء حتى عام 2040 بحسب سيناريو الإشارة:

### الشكل (39)

توقعات حصة دولة الكويت من إجمالي استهلاك الطاقات المتجددة بالدول الأعضاء حتى عام 2040 (سيناريو الإشارة)



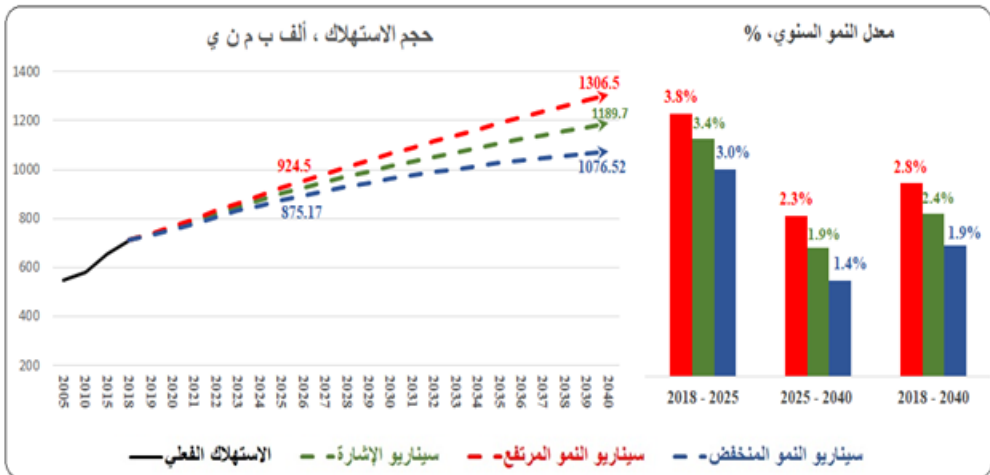
المصدر: - الجدول رقم (1) والجدول رقم (2) في الملحق.  
- منظمة أوابك، دراسة تطور استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء وأفاقه المستقبلية، مارس 2018.

## 2. سيناريوهي النمو المنخفض والنمو المرتفع

على المدى المتوسط، من المتوقع أن يتراوح استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت ما بين 875 و925 ألف ب م ن ي عام 2025 مقارنة بحوالي 711 ألف ب م ن ي عام 2018، أي بمعدل نمو يتراوح ما بين 3% و3.8% بحسب سيناريوهي النمو المنخفض والنمو المرتفع على التوالي. وعلى المدى البعيد، يتوقع أن تتراوح معدلات النمو في استهلاك الطاقة خلال الفترة 2025 – 2040 ما بين 1.4% إلى 2.3%، ليتراوح استهلاك مصادر الطاقة الأولية بدولة الكويت ما بين 1.1 و1.3 مليون ب م ن ي عام 2040 بحسب سيناريوهي النمو المنخفض والنمو المرتفع تبعاً، ولتتراوح حصيلة النمو المتوقعة خلال الفترة (2018 – 2040) في استهلاك الكويت من مصادر الطاقة الأولية بين حدها الأدنى البالغ 1.9% وحدها الأعلى البالغ 2.8% بحسب سيناريوهي النمو المنخفض والنمو المرتفع على التوالي، كما يوضح الجدولين (1 و4) بالملحق والشكل (40):

### الشكل (40)

توقعات إجمالي استهلاك الطاقة في الكويت خلال الفترة 2018 – 2040  
سيناريوهي النمو المنخفض والنمو المرتفع

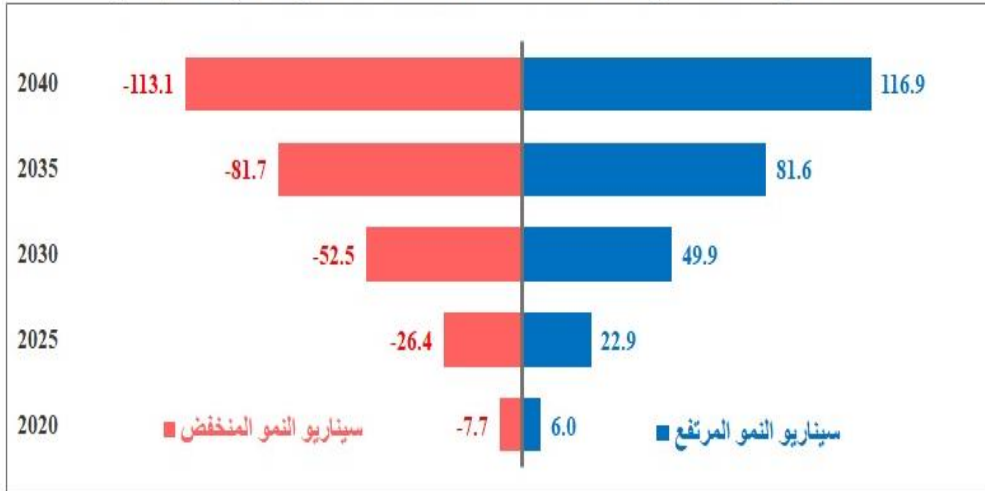


المصدر: الجدول رقم (1) والجدول رقم (4) في الملحق.

وعلى المدى البعيد، تكتنف الضبابية مستقبل إستهلاك الطاقة في دولة الكويت حيث يتراوح التغير بين التوقعات المستقبلية لاستهلاك الطاقة الأولية لسيناريو هي النمو المرتفع والنمو المنخفض، وتوقعات سيناريو الإشارة خلال عام 2035 ما بين 81.7 ألف ب م ن ي انخفاضا بحسب توقعات سيناريو النمو المنخفض، وحوالي 81.6 ألف ب م ن ي ارتفاعا بحسب توقعات سيناريو النمو المرتفع، أي بفارق قدره 163.3 ألف ب م ن ي بين توقعات سيناريو هي النمو المرتفع والنمو المنخفض. بينما يتراوح التغير بين توقعات سيناريو هي النمو المرتفع والنمو المنخفض وتوقعات سيناريو الإشارة في عام 2040، ما بين 113.1 ألف ب م ن ي انخفاضا بحسب توقعات سيناريو النمو المنخفض، وحوالي 116.9 ألف ب م ن ي ارتفاعا بحسب توقعات سيناريو النمو المرتفع، أي بفارق قدره 230 ألف ب م ن ي بين توقعات سيناريو هي النمو المرتفع والنمو المنخفض، كما هو موضح بالشكل (41):

#### الشكل (41)

التغير بين التوقعات المستقبلية لاستهلاك الطاقة الأولية في دولة الكويت بحسب سيناريو هي النمو المرتفع والنمو المنخفض عن توقعات سيناريو الإشارة (ألف ب م ن ي)



المصدر: الجدول رقم (4) في الملحق.

### 3. سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة

#### 1.3. توقعات استهلاك الطاقة المتجددة في دولة الكويت حتى عام 2040

بحسب سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة، من المتوقع أن يشهد استهلاك مصادر الطاقة المتجددة في دولة الكويت نمواً بنحو 53.5% خلال الفترة (2018- 2025)، ليبليغ الاستهلاك 46.2 ألف ب م ن ي عام 2025، ويعكس هذا التسارع الكبير المتوقع حجم مشاريع الطاقات المتجددة تحت التنفيذ والمخطط لها في دولة الكويت والتي تمثل نسبتها نحو 42% من إجمالي قدرات التوليد التي تهدف دولة الكويت الوصول إليها ضمن خطتها الوطنية حسب أهدافها المعلنة لمساهمة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة بحلول عام 2030<sup>4</sup>. وعلى المدى البعيد، يتوقع أن تنخفض وتيرة النمو في استهلاك مصادر الطاقة المتجددة بدولة الكويت مقارنة بالمدى المتوسط، حيث يتوقع أن يشهد استهلاك مصادر الطاقة المتجددة بالكويت نمواً بنحو 8.1% خلال الفترة (2025 - 2040)، ليبليغ استهلاك مصادر الطاقة المتجددة 148 ألف ب م ن ي عام 2040، وبذلك تكون حصيلة النمو المتوقعة خلال الفترة (2018 - 2040) في استهلاك الكويت من مصادر الطاقة المتجددة حوالي 20.8%.

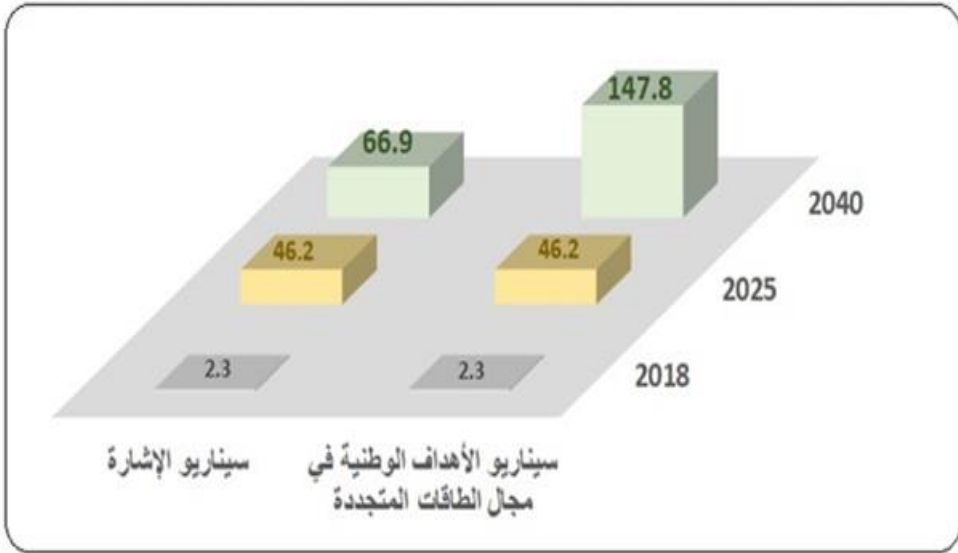
ويتوقع سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة أن تأتي أغلب الزيادة المتوقعة في استهلاك الكويت من مصادر الطاقة المتجددة خلال الفترة (2025 - 2040)، حيث يتوقع أن يرتفع الاستهلاك خلال هذه الفترة بما يزيد عن 101 ألف ب م ن ي، أي من حوالي 46.2 ألف ب م ن ي متوقعة عام 2025 إلى نحو 148 ألف ب م ن ي متوقعة عام 2040، لتمثل هذه الزيادة نحو 70% من إجمالي الزيادة المتوقعة في استهلاك دولة الكويت من مصادر الطاقة المتجددة خلال الفترة (2018 - 2040) والمتوقعة بنحو 145.5 ألف ب م ن ي، بينما يتوقع أن يرتفع استهلاك الكويت من مصادر الطاقة المتجددة خلال الفترة (2018- 2025) بحوالي 44 ألف ب م ن ي لتمثل هذه الزيادة نحو 30% من إجمالي الزيادة

<sup>4</sup> التقرير المشترك للوكالة الدولية للطاقات المتجددة وجامعة الدول العربية والمركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة لعام 2016.

المتوقعة في استهلاكها من مصادر الطاقة المتجددة خلال الفترة (2018 - 2040)، كما هو موضح بالجدول رقم (5) في الملحق والشكل (42):

#### الشكل (42)

توقعات إجمالي استهلاك مصادر الطاقة المتجددة في الكويت خلال الفترة 2018 - 2040  
(سيناريو الإشارة وسيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة)  
(ألف ب م ن ا/ي)



المصدر: الجدول رقم (5) في الملحق.

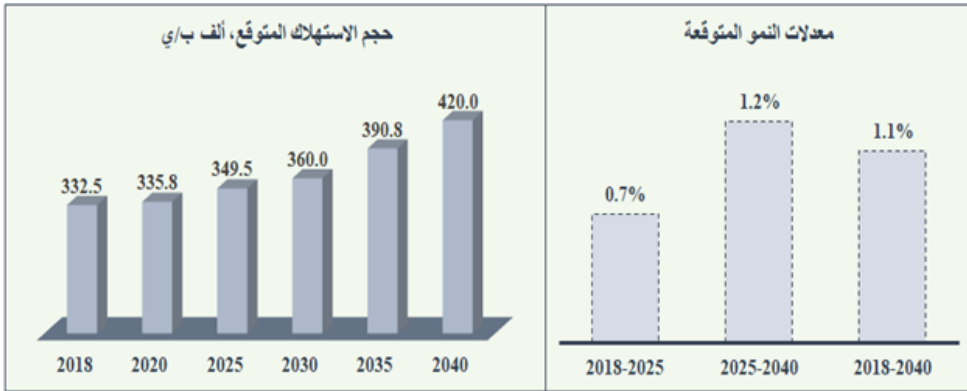
### 2.3. توقعات استهلاك النفط في دولة الكويت حتى عام 2040

بحسب سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة، من المتوقع أن يشهد استهلاك النفط في دولة الكويت نمواً بنحو 0.7% خلال الفترة (2018 - 2025)، ليبليغ 349.5 ألف ب م ن ا/ي عام 2025. وعلى المدى البعيد، يتوقع أن يتسارع النمو في استهلاك النفط إلى 1.2% خلال الفترة (2025 - 2040)، ليبليغ 420 ألف ب م ن ا/ي عام 2040، وبذلك تكون حصيلة النمو المتوقعة خلال الفترة (2018 - 2040) حوالي 1.1%.

ويتوقع سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة أن تأتي أغلب الزيادة المتوقعة في استهلاك دولة الكويت من النفط في المدى الطويل، أي خلال الفترة (2025 - 2040) التي يتوقع أن يرتفع استهلاك النفط خلالها من حوالي 349.5 ألف ب ب ي عام 2025 إلى نحو 420 ألف ب ب ي عام 2040، لتمثل هذه الزيادة نحو 80.5% من إجمالي الزيادة المتوقعة في استهلاك دولة الكويت من النفط خلال الفترة (2018 - 2040)، والمتوقعة بنحو 87.5 ألف ب ب ي ، كما هو موضح بالجدول (1 و 6) في الملحق والشكل (43):

### الشكل (43)

التوقعات المستقبلية لاستهلاك النفط بدولة الكويت حتى عام 2040،  
سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة



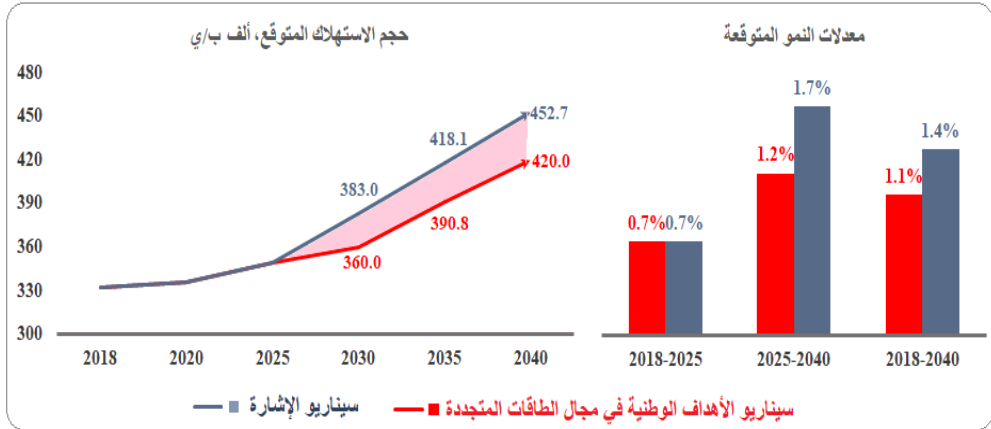
المصدر: الجدول رقم (1) والجدول رقم (6) في الملحق.

ويتوقع أن تتباطأ معدلات النمو المتوقعة في استهلاك النفط في دولة الكويت وفق سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة بالمقارنة بمثيلاتها لسيناريو الإشارة خلال الفترة (2025-2040)، حيث يتوقع سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة أن ينمو استهلاك النفط في دولة الكويت بحوالي 1.2% مقارنة بنحو 1.7% لسيناريو الإشارة خلال ذات الفترة، لينخفض بذلك الاستهلاك المتوقع من النفط لعام 2040 من حوالي 453 ألف ب ب ي حسب سيناريو الإشارة إلى حوالي 420 ألف ب ب ي حسب سيناريو

سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة، ولتنخفض توقعات معدل النمو لكامل الفترة (2018-2040) إلى 1.1% بحسب سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة مقارنة بنحو 1.4% لسيناريو الإشارة، كما هو موضح بالجدولين (1 و 6) في الملحق والشكل (44):

### الشكل (44)

التوقعات المستقبلية لاستهلاك النفط في دولة الكويت حتى عام 2040  
سيناريو الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة مقابل سيناريو الإشارة



المصدر: الجدول رقم (1) والجدول رقم (6) في الملحق.

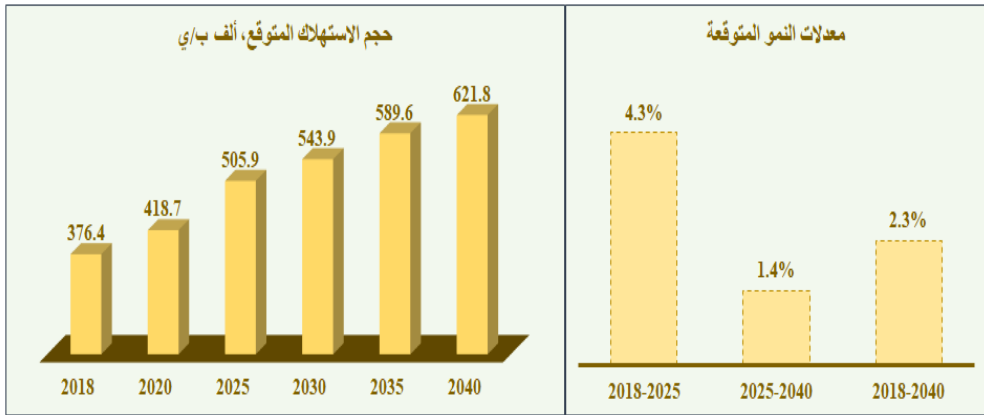
### 3.3 توقعات استهلاك الغاز الطبيعي في دولة الكويت حتى عام 2040

بحسب سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة، من المتوقع أن يشهد استهلاك الغاز الطبيعي في دولة الكويت نمواً بنحو 4.3% خلال الفترة (2018 - 2025)، ليبلغ 505.9 ألف ب م ن ي عام 2025. وعلى المدى البعيد، يتوقع أن يتباطأ النمو في استهلاك الغاز الطبيعي إلى 1.4% خلال الفترة (2025 - 2040)، ليبلغ 621.8 ألف ب م ن ي عام 2040، وبذلك تكون حصيلة النمو المتوقعة خلال الفترة (2018 - 2040) في استهلاك دولة الكويت من الغاز الطبيعي حوالي 2.3%.

ويتوقع سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة أن تأتي أغلب الزيادة المتوقعة في استهلاك دولة الكويت من الغاز الطبيعي في المدى المتوسط، أي خلال الفترة (2018 - 2025) التي يتوقع أن يرتفع استهلاك الغاز الطبيعي خلالها بحوالي 130 ألف ب م ن ي، أي من حوالي 376.4 ألف ب م ن ي عام 2018 إلى نحو 506 ألف ب م ن ي عام 2040، لتمثل هذه الزيادة نحو 52.8% من إجمالي الزيادة المتوقعة في استهلاك دولة الكويت من الغاز الطبيعي خلال الفترة (2018 - 2040)، والمتوقعة بنحو 245.4 ألف ب م ن ي، كما هو موضح بالجدولين (1 و6) في الملحق والشكل (45):

### الشكل (45)

التوقعات المستقبلية لاستهلاك الغاز الطبيعي بدولة الكويت حتى عام 2040، سيناريو الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة



المصدر: الجدول رقم (1) والجدول رقم (6) في الملحق.

ويتوقع أن تتباطأ معدلات النمو المتوقعة في استهلاك الغاز الطبيعي في دولة الكويت وفق سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة بالمقارنة بنظيرتها لسيناريو الإشارة خلال الفترة (2025-2040)، حيث يتوقع سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة أن ينمو استهلاك الغاز الطبيعي في دولة الكويت بحوالي 1.4% مقارنة بنحو 1.9% لسيناريو الإشارة خلال ذات الفترة، لينخفض الاستهلاك المتوقع من الغاز الطبيعي في عام 2040 من حوالي 670 ألف ب م ن ي حسب سيناريو الإشارة إلى حوالي 622 ألف

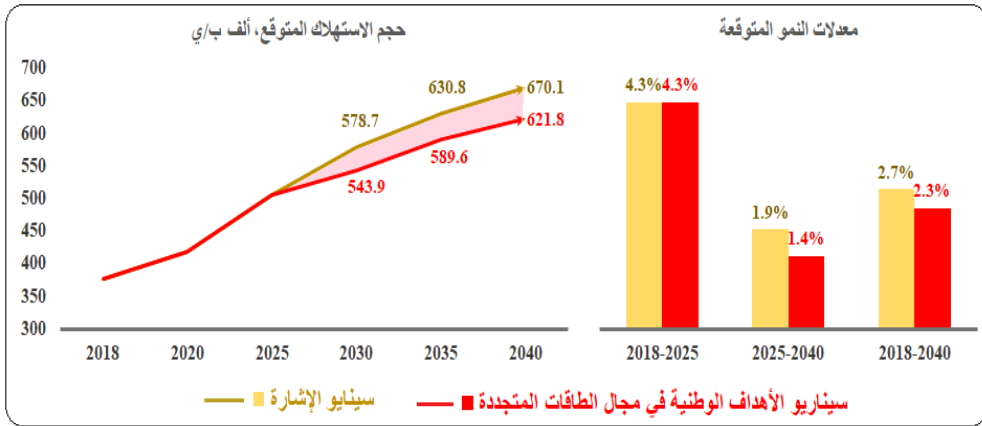


ب م ن ي حسب سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة، ولتنخفض توقعات معدل النمو لكامل الفترة (2018-2040) إلى 2.3% وفق سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة مقارنة بنحو 2.7% لسيناريو الإشارة ، كما هو موضح بالجدولين (1 و 6) في الملحق والشكل (46):

### الشكل (46)

التوقعات المستقبلية لاستهلاك الغاز الطبيعي في دولة الكويت حتى عام 2040

سيناريو الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة مقابل سيناريو الإشارة



المصدر: الجدول رقم (1) والجدول رقم (6) في الملحق.

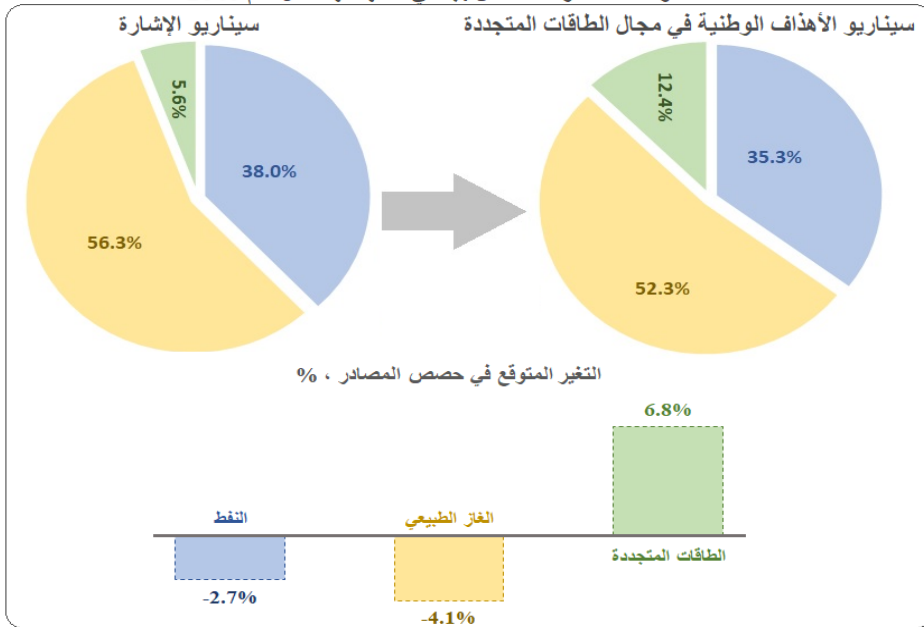
### 4.3. توقعات مزيج الطاقة في دولة الكويت حتى عام 2040

تشير توقعات سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة إلى تراجع حصة النفط والغاز الطبيعي مقابل صعود حصة مصادر الطاقات المتجددة من مزيج الطاقة الأولية المستهلكة في دولة الكويت خلال الفترة الممتدة حتى عام 2040، حيث يتوقع أن تتراجع حصة النفط والغاز الطبيعي من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة عام 2040 إلى نسبة 87.6%، مقارنة بحصة بلغت نحو 94.3% من مزيج مصادر الطاقة الأولية المتوقعة حسب سيناريو الإشارة. مقابل ارتفاع حصة الطاقات المتجددة من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة عام 2040 إلى نسبة 12.4%، مقارنة بحصة بلغت نحو 5.6% فقط من مزيج

مصادر الطاقة الأولية المتوقعة حسب سيناريو الإشارة، كما هو موضح بالجدول رقم (7) في الملحق والشكل (47):

### الشكل (47)

التغير المتوقع في مزيج الطاقة بدولة الكويت حسب سيناريو الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة عن توقعات سيناريو الإشارة الحصة المتوقعة لمصادر الطاقة من إجمالي استهلاكها خلال عام 2040



المصدر: الجدول رقم (7) في الملحق.

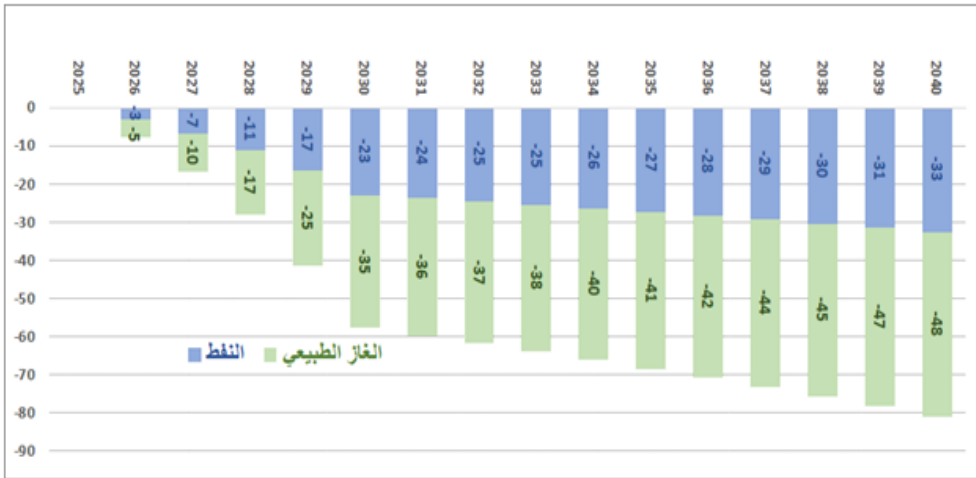
### 5.3 الخفض المتوقع في إجمالي استهلاك النفط والغاز الطبيعي

تشير التوقعات إلى أن الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة لدولة الكويت، سوف يكون لها تأثير واضح في كبح جماح النمو في حجم الاستهلاك المحلي من النفط والغاز الطبيعي، وان انعكاسها سوف يبرز في الأجل البعيد (2025 – 2040)، بحيث يبلغ الانخفاض في توقعات استهلاك النفط والغاز الطبيعي حوالي 57.7 ألف ب م ن ي عام 2030، ويصل إلى حوالي 81 ألف ب م ن ي عام 2040، حيث يبلغ الانخفاض في توقعات استهلاك النفط حوالي

33 ألف ب م ن ي، بينما يبلغ الانخفاض في توقعات استهلاك الغاز الطبيعي حوالي 48 ألف ب م ن ي خلال عام 2040، كما هو موضح بالجدول رقم (6) في الملحق والشكل (48):

### الشكل (48)

الخفض المتوقع في إجمالي استهلاك النفط والغاز الطبيعي حسب توقعات سيناريو الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة عن توقعات سيناريو الإشارة (ألف ب م ن/اليوم)



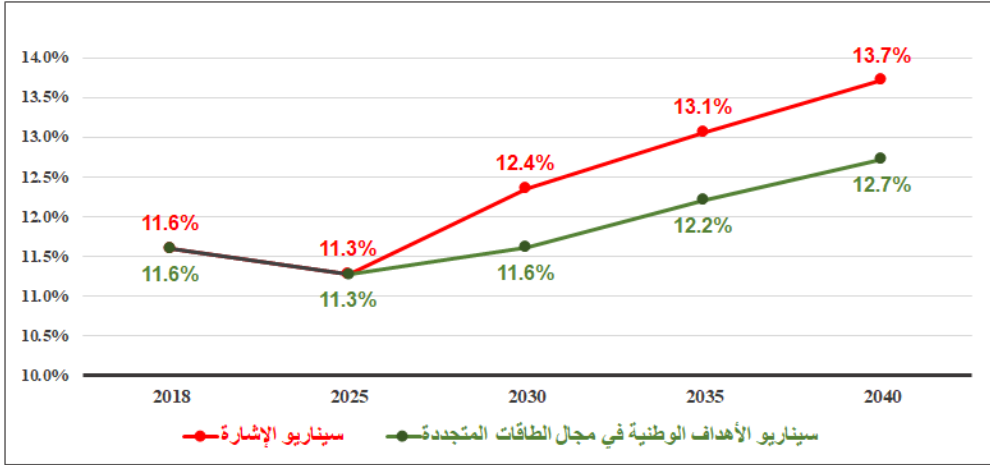
المصدر: الجدول رقم (6) في الملحق.

### 6.3 حصة الاستهلاك المحلي للنفط من إجمالي إنتاجه

أما فيما يتعلق بحصة الاستهلاك المحلي من النفط إلى إجمالي إنتاجه بدولة الكويت، فقد بينت نتائج الدراسة أن نسبة الاستهلاك إلى إجمالي الإنتاج سوف تنخفض بحسب سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة عن مستوياتها المتوقعة بحسب سيناريو الإشارة، إذ يتوقع أن تنخفض هذه النسبة من 12.4% بحسب سيناريو الإشارة إلى 11.6% بحسب سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة خلال عام 2030، و من 13.7% بحسب سيناريو الإشارة إلى 12.7% بحسب سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة خلال عام 2040، كما هو موضح بالشكل (49):

### الشكل (49)

التوقعات المستقبلية لحصة الاستهلاك المحلي من النفط إلى إجمالي إنتاجه بدولة الكويت



المصدر: - مشتق من الجداول رقم (2 & 6) في الملحق.  
IEA, World Energy Outlook 2017 -

## الخلاصة والتوصيات:

تم من خلال المحاور الرئيسية للدراسة استعراض وتحليل أنماط استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت، وبيان سماته الرئيسية والعوامل المؤثرة عليه خلال الفترة (1995-2018)، وقدمت تصوراً للاستهلاك المستقبلي من مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت حتى عام 2040. ويمكن إيجاز أهم ما خلصت إليه الدراسة في النقاط التالية:

**أولاً: تطور استهلاك مصادر الطاقة والعوامل المؤثرة عليه خلال الفترة (1995-2018).**

### 1. تطور استهلاك مصادر الطاقة المختلفة

✓ شهد إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت ارتفاعاً بأكثر من 430 ألف ب م ن ي خلال الفترة (1995 - 2018)، حيث ارتفع من 278.5 ألف ب م ن ي عام 1995 إلى 711 ألف ب م ن ي عام 2018، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 4.2%.  
✓ يعتبر التسارع القوي في وتيرة استهلاك مصادر الطاقة الأولية من جهة، وزيادة الطلب المحلي عليها بمعدلات نمو عالية من ناحية أخرى، من السمات البارزة لتطور استهلاك الطاقة في دولة الكويت خلال الفترة (1995-2018)، حيث تم ملاحظة الآتي:

1. تجاوز معدل نمو إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت معدلات النمو في الدول الأعضاء بمنظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك) خلال الفترة (1995-2018)، مما أدى إلى ارتفاع طفيف في حصة دولة الكويت من إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء من 5% فقط عام 1995 إلى 5.2% عام 2018.

2. تجاوز معدل نمو إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت معدلات نموها السكاني خلال الفترة (1995-2018)، مما أدى إلى ارتفاع متوسط استهلاك

الفرد فيها من 51.9 برميل مكافئ نفط عام 1995 إلى 58.2 برميل مكافئ نفط عام 2018.

3. تجاوزت معدلات النمو السنوية لاستهلاك مصادر الطاقة الأولية معدلات النمو السنوية لإنتاجها، مما أدى إلى ارتفاع نسبة الاستهلاك المحلي للطاقة إلى إجمالي الانتاج في دولة الكويت من 12.1% في عام 1995 إلى 21% في عام 2018.

4. تجاوزت معدلات النمو السنوية لاستهلاك مصادر الطاقة الأولية معدلات النمو في الناتج المحلي الإجمالي المقاس بتبادل القوة الشرائية خلال الفترة (1995-2017)، مما أدى إلى ارتفاع طفيف في مؤشر كثافة الطاقة الأولية في دولة الكويت من 0.8 برميل مكافئ نفط / ألف دولار في عام 1995 إلى 0.9 برميل مكافئ نفط / ألف دولار في عام 2017.

✓ يعتبر الاعتماد شبه الكامل على النفط والغاز الطبيعي وتواضع مساهمة الطاقات الأخرى، من السمات الأساسية لاستهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت حيث شكل النفط والغاز الطبيعي نسبة تراوحت ما بين 99.7% إلى 100% من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة خلال الفترة (1995-2018).

✓ يشكّل الغاز الطبيعي المصدر الأول للطاقة في دولة الكويت حيث تقدر حصته بنحو 52.9% من إجمالي الطاقة المستهلكة عام 2018، بينما تقدر حصة النفط بنحو 46.8% من إجمالي الطاقة المستهلكة في دولة الكويت خلال نفس العام.

✓ ارتفع استهلاك دولة الكويت من النفط من 118.6 ألف ب ب ي عام 1995 إلى 332.5 ألف ب ب ي عام 2018، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 4.6%.

✓ ارتفع استهلاك دولة الكويت من الغاز الطبيعي من 159.9 ألف ب ب ي عام 1995 إلى 376.4 ألف ب ب ي عام 2018، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 3.8%.

✓ يتركز معظم الاستهلاك المحلي للطاقة بدولة الكويت في قطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه الذي يستأثر بحصة 51.7% من إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بدولة الكويت خلال

عام 2016، يليه القطاع النفطي والذي بلغت حصته 32% خلال نفس العام، ثم قطاع المواصلات الذي استحوذ على نحو 15.3% من إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بدولة الكويت عام 2016، وأخيراً جاء القطاع المنزلي بحصة بلغت نحو 1.1% خلال نفس العام.

✓ شهد استهلاك الغاز الطبيعي بقطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه في الكويت تسارعاً كبيراً بمعدل نمو سنوي بلغ 14% خلال الفترة (2005-2016)، مما أدى إلى عملية إحلال كبيرة للغاز الطبيعي محل النفط الخام بين مصادر الطاقة الرئيسية بالقطاع والذي انكمش استهلاكه خلال هذه الفترة بحوالي 13.2%، كما مثل الغاز الطبيعي مصدراً رئيسياً غدّى النمو المتزايد في استهلاك مصادر الطاقة الأولية بقطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه في دولة الكويت.

✓ أدى التسارع الكبير في نمو استهلاك الغاز الطبيعي بقطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه في الكويت إلى تغيير جذري في مزيج الوقود المستهلك بهذا القطاع خلال الفترة (2005 – 2016) حيث ارتفعت حصة الغاز الطبيعي من إجمالي الوقود المستهلك في قطاع الكهرباء وتحلية المياه من 20% عام 2005 إلى نسبة 55% عام 2016، ليحل الغاز الطبيعي في المرتبة الأولى من مصادر الطاقة الأولية المستهلكة في هذا القطاع، مقابل تراجع حصة زيت الوقود الثقيل الذي تراجعت مساهمته من 56% عام 2005 إلى 38% عام 2016، كما تراجعت حصة النفط الخام من إجمالي الوقود المستهلك في قطاع توليد الكهرباء وتحلية المياه من 23% عام 2005 إلى 3% عام 2016.

✓ شكل الغازولين الخصوصي (95 أوكتين) الغالبية العظمى من إجمالي استهلاك الغازولين بدولة الكويت خلال الفترة التي سبقت إقرار الحكومة لزيادات محددة في الأسعار المحلية للغازولين، حيث تجاوزت حصته 80% من إجمالي استهلاك الغازولين عام 2015، بينما لم تتجاوز حصتي الغازولين الممتاز (91 أوكتين) والغازولين الترا سوبر (98 أوكتين) نسبة 17.5% و 2.2% على التوالي من إجمالي استهلاك الغازولين خلال نفس العام.

## 2. العوامل المؤثرة على استهلاك الطاقة في دولة الكويت

✓ بلغ معدل النمو المركب لإجمالي السكان في دولة الكويت خلال الفترة (1995-2018) نحو 3.6%، بينما بلغ معدل النمو المركب لإجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية نحو 4.2% خلال ذات الفترة، أي أن مرونة الطلب على مصادر الطاقة الأولية إلى عدد السكان بدولة الكويت تبلغ نحو 1.2%، وهو ما يعني أن نمو السكان بمعدل 1% يؤدي إلى نمو إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بمعدل 1.2%، وهو ما يعني وجود علاقة طردية (موجبة) بين إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية وعدد السكان في دولة الكويت.

✓ بلغ معدل النمو المركب في الناتج المحلي الإجمالي حسب تعادل القوة الشرائية بأسعار 2011 في دولة الكويت خلال الفترة (1995-2018) نحو 3.2%، بينما بلغ معدل النمو المركب لإجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية نحو 4.2% خلال الفترة ذاتها، أي أن نمو الناتج المحلي الإجمالي بمعدل 1% يؤدي إلى نمو إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بمعدل 1.3%، وهو ما يعني أيضاً وجود علاقة طردية (موجبة) بين الناتج المحلي الإجمالي واستهلاك الطاقة في دولة الكويت.

✓ تعد أسعار المنتجات النفطية والغاز الطبيعي في الأسواق المحلية بدولة الكويت منخفضة بشكل كبير، إذا ما قورنت بنظيراتها على المستوى العالمي، حيث جاءت الكويت ضمن الدول العشر الأقل أسعاراً للغازولين ووقود الديزل في أسواقها المحلية، كما جاءت في المرتبة الثالثة بين الدول الأعضاء في منظمة أوابك الأقل أسعاراً للغازولين وفي المرتبة الرابعة بين الدول الأعضاء الأقل أسعاراً لوقود الديزل في أسواقها المحلية. وبالنسبة للغاز الطبيعي، جاءت الكويت في المرتبة الرابعة بين الدول الأعضاء الأقل أسعاراً للغاز الطبيعي في أسواقها المحلية، كما انخفضت الأسعار المحلية للغاز الطبيعي بدولة الكويت عن متوسط أسعار الغاز المنقول بواسطة الأنابيب في كندا وألمانيا والمملكة المتحدة خلال عام 2016، ولم يتجاوز



سعر المليون وحدة حرارية بريطانية من الغاز الطبيعي في الكويت ما نسبته حوالي 21% من نظيره في ألمانيا، وحوالي 22% من نظيره في المملكة المتحدة.

## ثانياً: الآفاق المستقبلية لاستهلاك مصادر الطاقة المختلفة في دولة الكويت حتى عام 2040

### 1. توقعات استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت حسب سيناريو الأساس (الإشارة)

✓ من المتوقع أن يشهد إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت نمواً معدله 2.4% خلال الفترة (2018-2040)، ليبليغ حوالي 1.2 مليون ب م ن ي عام 2040.

✓ يتوقع أن يتجاوز تسارع النمو في استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت نظيره لمجموعة الدول الأعضاء في أوبك خلال الفترة الممتدة حتى عام 2040، لترتفع بذلك حصة الكويت من إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في الدول الأعضاء في أوبك من 5.2% عام 2018 إلى حوالي 5.5% عام 2040.

✓ من المتوقع أن يتجاوز النمو في استهلاك مصادر الطاقة الأولية النمو السكاني في دولة الكويت خلال الفترة (2018-2040)، ليرتفع بذلك متوسط استهلاك الفرد من الطاقة في الكويت من 58.2 برميل مكافئ نفط عام 2018 إلى 68 برميل مكافئ نفط عام 2040.

✓ من المتوقع أن يلب النفط والغاز الطبيعي نحو 86.5% من إجمالي الزيادة المتوقعة في استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت خلال الفترة (2018-2040) والمقدرة بنحو 478 ألف ب م ن ي، بينما يتوقع أن تساهم الطاقات المتجددة في تلبية النسبة المتبقية وهي 13.5%.

✓ من المتوقع أن يساهم الغاز الطبيعي بالحصة الأكبر من بين جميع المصادر الأولية من الزيادة المتوقعة في استهلاك الطاقة ما بين عامي 2018 و2040، بنسبة 61.4% إجمالي الزيادة المتوقعة، يليه النفط الذي يتوقع أن تتجاوز حصته ربع الزيادة المتوقعة.

✓ من المتوقع أن تستمر هيمنة النفط والغاز الطبيعي على مزيج الطاقة المستهلكة في دولة الكويت خلال الفترة الممتدة حتى عام 2040، حيث يتوقع أن يشكل هذان المصدران نسبة 94.3% من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة عام 2040، مقارنة بحصة بلغت 99.7% عام 2018.

✓ يتوقع أن تبلغ حصة الغاز الطبيعي نحو 56.3% من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة عام 2040، بينما تبلغ حصة النفط حوالي 38%، والطاقات المتجددة نحو 5.6%.

✓ من المتوقع أن يشهد استهلاك النفط في دولة الكويت نمواً معدله 1.4% خلال الفترة (2018-2040)، ليبلغ حوالي 453 ألف ب ي عام 2040.

✓ من المتوقع أن يشهد استهلاك الغاز الطبيعي في دولة الكويت نمواً معدله 2.7% خلال الفترة (2018-2040)، ليبلغ حوالي 670 ألف ب م ن ي عام 2040.

✓ من المتوقع أن يحقق استهلاك الطاقات المتجددة أسرع معدلات النمو بين المصادر الأولية في دولة الكويت بمعدل يصل إلى 16.6% خلال الفترة (2018 - 2040)، ليبلغ الاستهلاك حوالي 70 ألف ب م ن ي عام 2040.

## 2. توقعات سيناريو هي النمو المنخفض والنمو المرتفع

✓ من المتوقع أن يتراوح معدل النمو في إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية في دولة الكويت بين 1.9% بحسب سيناريو النمو المنخفض، و2.8% بحسب سيناريو النمو المرتفع خلال الفترة (2018-2040)، ليتراوح إجمالي استهلاك مصادر الطاقة الأولية بين حده الأدنى البالغ 1.1 مليون ب م ن ي، وحده الأعلى البالغ 1.3

مليون ب م ن ي عام 2040 بحسب سيناريو هي النمو المنخفض والنمو المرتفع على التوالي.

### 3. النتائج المتوقعة لسيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة.

- ✓ من المتوقع أن يشهد استهلاك مصار الطاقة المتجددة في دولة الكويت نمواً بمعدل 20.8% خلال الفترة (2018- 2040)، ليبلغ إجمالي استهلاكها حوالي 148 ألف ب م ن ي عام 2040، مرتفعاً بنحو 81 ألف ب م ن ي عن مستوياته المتوقعة في سيناريو الإشارة.
- ✓ يتوقع أن تأتي أغلب الزيادة في استهلاك دولة الكويت من مصادر الطاقة المتجددة في المدى الطويل أي خلال الفترة (2025 - 2040)، حيث يتوقع أن تمثل الزيادة خلال تلك الفترة نحو 70% من إجمالي الزيادة المتوقعة في استهلاك دولة الكويت من مصادر الطاقة المتجددة خلال الفترة (2018 - 2040) المتوقعة بنحو 145.5 ألف ب م ن ي.
- ✓ من المتوقع أن يشهد استهلاك النفط في دولة الكويت نمواً بمعدل 1.1% خلال الفترة (2018-2040)، ليبلغ استهلاكه 420 ألف ب ي عام 2040، منخفضاً بنحو 32.7 ألف ب/ي عن مستوياته المتوقعة في سيناريو الإشارة.
- ✓ من المتوقع أن يشهد استهلاك الغاز الطبيعي في دولة الكويت نمواً بمعدل 2.3% خلال الفترة (2018- 2040)، ليبلغ استهلاكه حوالي 622 ألف ب م ن ي عام 2040، منخفضاً بأكثر من 48 ألف ب م ن ي عن مستوياته المتوقعة في سيناريو الإشارة.
- ✓ ومن ناحية الهيكل العام لمزيج الطاقة المستهلكة خلال عام 2040، فمن المتوقع أن يخفّض سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة توقعاته لحصة النفط بحوالي 2.7% والغاز الطبيعي بنسبة 4.1% ويرفع توقعاته لحصة مصادر الطاقات المتجددة بنسبة 6.8% من مزيج الطاقة الأولية المستهلكة في دولة الكويت بالمقارنة مع مستوياتها المتوقعة وفق سيناريو الإشارة.

- ✓ من المتوقع أن تتراجع حصة النفط والغاز الطبيعي من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة عام 2040 حسب سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة إلى نسبة 87.6%، مقارنة بحصة بلغت نحو 94.4% حسب سيناريو الإشارة.
- ✓ يتوقع أن ترتفع حصة الطاقات المتجددة من مزيج مصادر الطاقة الأولية المستهلكة عام 2040 حسب سيناريو سياسة الأهداف الوطنية إلى نسبة 12.4%، مقارنة بحصة بلغت نحو 5.6% حسب سيناريو الإشارة.
- ✓ تشير التوقعات إلى أن تأثير فرضيات سيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة على التوقعات المستقبلية لاستهلاك النفط والغاز الطبيعي سوف يظهر بشكل واضح خلال الأجل البعيد (2025 – 2040)، بحيث يصل الانخفاض في توقعات استهلاك النفط والغاز الطبيعي في دولة الكويت مقارنة بتوقعات سيناريو الإشارة إلى 81 ألف ب م ن ي عام 2040.

### وبناء على ما تم عرضه، توصى الدراسة بالآتي:

- ✚ على الرغم من وفرة مصادر الطاقة الأولية المتمثلة في النفط والغاز في دولة الكويت وتمتعها بموقع متميز بين مصادر الإمداد الرئيسية في العالم، إلا أن اعتماد الاقتصاد الكويتي على عوائد الصادرات البترولية التي تعتبر العمود الفقري لاقتصادها يدعو إلى الحاجة الماسة لرفع كفاءة الاستخدام الأمثل لهذه الثروة الناضبة.
- ✚ يمكن لآليات إدارة الطلب على الطاقة أن تساهم في الحد من الاستهلاك المفرط للطاقة عن طريق ترشيد استهلاك الطاقة وتعزيز كفاءة الاستخدام النهائي مما يمكنها أن توفر مصدراً غير مباشر من مصادر الطاقة التي تساهم في تعزيز النمو المستدام. ومن المتوقع أن يؤدي التوسع في استغلال الموارد الوفيرة من الطاقة المتجددة خاصة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في دولة الكويت إلى تأمين مصادر جديدة للطاقة تشكل رافداً قوياً للمصادر

البتروولية وتساهم في تعزيز مصادر الدخل عبر تحرير المزيد من النفط والغاز من أجل التصدير.

### كما توصي الدراسة بأهمية إتخاذ الخطوات التالية:

1. العمل على استغلال مصادر الطاقة المتجددة المتاحة في دولة الكويت، كطاقات مكملية للطاقة التقليدية لمقابلة الزيادة المتوقعة للطلب على الطاقة مما سيؤدي حتماً إلى خلق رافد قوي للمصادر البتروولية ليساهم في تعزيز مصادر الدخل عبر تحرير المزيد من النفط والغاز من أجل التصدير، كما سيؤدي إلى تغييرات مهمة على الآفاق المستقبلية لمزيج الطاقة وتوقعاته المستقبلية خلال الفترة الممتدة حتى عام 2040.
2. أهمية تطوير الاستراتيجيات والبرامج التنفيذية الخاصة بترشيد وتحسين كفاءة استخدام الطاقة على كافة المستويات وفي جميع القطاعات، وذلك من خلال وضع الخطط وتنفيذ البرامج اللازمة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في الصناعات المختلفة وتوفير قاعدة بيانات عن أداءها، ودعم الإجراءات المتعلقة بوضع المواصفات والمعايير التي تساهم في تحسين كفاءة الطاقة.

# الملحق (1) الجداول الإحصائية

### تطور استهلاك الطاقة في دولة الكويت خلال الفترة 1980-2018 جدول (1)

المصدر: بنك المعلومات، منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوبك). * بيانات تقديرية	إجمالي استهلاك الطاقات المتجددة		إجمالي استهلاك الفحم		إجمالي استهلاك الغاز الطبيعي		إجمالي استهلاك النفط		إجمالي استهلاك الطاقة		السنة
	معدل النمو السنوي %	حجم الاستهلاك (ألف م م / اليوم)	معدل النمو السنوي %	حجم الاستهلاك (ألف م م / اليوم)	معدل النمو السنوي %	حجم الاستهلاك (ألف م م / اليوم)	معدل النمو السنوي %	حجم الاستهلاك (ألف م م / اليوم)	معدل النمو السنوي %	حجم الاستهلاك (ألف م م / اليوم)	
NA	0.0	0.0	0.0%	0.0	55.41%	159.9	9.25%	118.6	31.71%	278.5	1995
NA	0.0	0.0	0.0%	0.0	0.26%	160.3	-2.47%	115.7	-0.90%	276.0	1996
NA	0.0	0.0	0.0%	0.0	-0.34%	159.7	14.93%	132.9	6.08%	292.7	1997
NA	0.0	0.0	0.0%	0.0	2.38%	163.6	44.25%	191.8	21.40%	355.3	1998
NA	0.0	0.0	0.0%	0.0	-8.46%	149.7	2.45%	196.5	-2.57%	346.2	1999
NA	0.0	0.0	0.0%	0.0	10.50%	165.4	-4.33%	188.0	2.08%	353.4	2000
NA	0.0	0.0	0.0%	0.0	-1.04%	163.7	32.21%	248.5	16.64%	412.2	2001
NA	0.0	0.0	0.0%	0.0	-8.32%	150.1	12.20%	278.8	4.05%	428.9	2002
NA	0.0	0.0	0.0%	0.0	14.81%	172.3	7.43%	299.5	10.01%	471.8	2003
NA	0.0	0.0	0.0%	0.0	1.00%	174.1	9.60%	328.3	6.46%	502.3	2004
NA	0.0	0.0	0.0%	0.0	21.78%	212.0	2.24%	335.6	9.01%	547.6	2005
NA	0.0	0.0	0.0%	0.0	0.89%	213.9	1.73%	341.4	1.41%	555.3	2006
NA	0.0	0.0	0.0%	0.0	-2.82%	207.8	0.53%	343.2	-0.76%	551.0	2007
NA	0.0	0.0	0.0%	0.0	5.31%	218.9	2.30%	351.1	3.44%	570.0	2008
NA	0.0	0.0	0.0%	0.0	-2.57%	213.2	-1.97%	344.2	-2.20%	557.4	2009
NA	0.05	0.0	0.0%	0.0	13.96%	243.0	-1.83%	337.9	4.22%	581.0	2010
0.00%	0.05	0.0	0.0%	0.0	0.85%	245.1	-11.80%	298.0	-6.51%	543.1	2011
0.00%	0.05	0.0	0.0%	0.0	31.64%	322.6	7.98%	321.8	18.65%	644.4	2012
0.00%	0.05	0.0	0.0%	0.0	5.92%	341.7	-9.33%	291.8	-1.70%	633.5	2013
0.00%	0.05	0.0	0.0%	0.0	-8.95%	311.1	14.06%	332.8	1.65%	644.0	2014
50.00%	0.07	0.0	0.0%	0.0	15.00%	357.8	-11.63%	294.1	1.24%	651.9	2015
1266.67%	0.98	0.0	0.0%	0.0	4.03%	372.3	5.40%	310.0	4.80%	683.2	2016
53.49%	1.50	0.0	0.0%	0.0	-1.41%	367.0	-0.57%	308.2	-0.95%	676.7	2017
53.49%	2.30	0.0	0.0%	0.0	2.58%	376.4	7.88%	332.5	5.10%	711.2	2018*

توقعات استهلاك الطاقة في دولة الكويت خلال الفترة 2019 - 2040 (سيناريو الإشارة)  
جدول (2)

السنة	إجمالي استهلاك الطاقة		إجمالي استهلاك النفط		إجمالي استهلاك الغاز الطبيعي		إجمالي استهلاك الفحم		إجمالي استهلاك النفايات		إجمالي استهلاك الطاقة المتجددة *	
	حجم الاستهلاك (الف م/ن/اليوم)	معدل النمو السنوي %	حجم الاستهلاك (الف م/ن/اليوم)	معدل النمو السنوي %	حجم الاستهلاك (الف م/ن/اليوم)	معدل النمو السنوي %	حجم الاستهلاك (الف م/ن/اليوم)	معدل النمو السنوي %	حجم الاستهلاك (الف م/ن/اليوم)	معدل النمو السنوي %	حجم الاستهلاك (الف م/ن/اليوم)	معدل النمو السنوي %
2019	733.6	3.15%	333.4	0.27%	396.6	5.38%	0.0	0.00%	3.5	53.5%	3.5	53.5%
2020	759.9	3.58%	335.8	0.70%	418.7	5.57%	0.0	0.00%	5.4	53.5%	5.4	53.5%
2021	789.0	3.84%	339.0	0.98%	441.7	5.49%	0.0	0.00%	8.3	53.5%	8.3	53.5%
2022	820.5	3.98%	342.8	1.11%	464.9	5.25%	0.0	0.00%	12.8	53.5%	12.8	53.5%
2023	848.9	3.46%	346.7	1.13%	482.6	3.80%	0.0	0.00%	19.6	53.5%	19.6	53.5%
2024	875.6	3.13%	349.2	0.72%	496.3	2.85%	0.0	0.00%	30.1	53.5%	30.1	53.5%
2025	901.6	2.96%	349.5	0.09%	505.9	1.92%	0.0	0.00%	46.2	53.5%	46.2	53.5%
2026	925.4	2.64%	356.2	1.92%	521.8	3.15%	0.0	0.00%	47.3	2.5%	47.3	2.5%
2027	948.0	2.45%	362.9	1.86%	536.6	2.84%	0.0	0.00%	48.5	2.5%	48.5	2.5%
2028	970.1	2.33%	369.5	1.82%	550.9	2.66%	0.0	0.00%	49.7	2.5%	49.7	2.5%
2029	992.0	2.26%	376.2	1.81%	564.9	2.53%	0.0	0.00%	51.0	2.5%	51.0	2.5%
2030	1013.9	2.21%	383.0	1.82%	578.7	2.44%	0.0	0.00%	52.3	2.5%	52.3	2.5%
2031	1034.0	1.98%	390.2	1.87%	590.3	2.01%	0.0	0.00%	53.6	2.5%	53.6	2.5%
2032	1053.0	1.84%	397.2	1.81%	600.9	1.80%	0.0	0.00%	54.9	2.5%	54.9	2.5%
2033	1071.5	1.76%	404.2	1.75%	611.0	1.69%	0.0	0.00%	56.3	2.5%	56.3	2.5%
2034	1089.8	1.70%	411.1	1.72%	621.0	1.62%	0.0	0.00%	57.7	2.5%	57.7	2.5%
2035	1108.0	1.67%	418.1	1.69%	630.8	1.58%	0.0	0.00%	59.1	2.5%	59.1	2.5%
2036	1125.1	1.54%	425.2	1.69%	639.3	1.35%	0.0	0.00%	60.6	2.5%	60.6	2.5%
2037	1141.5	1.46%	432.1	1.64%	647.3	1.25%	0.0	0.00%	62.1	2.5%	62.1	2.5%
2038	1157.6	1.41%	439.0	1.59%	655.0	1.19%	0.0	0.00%	63.7	2.5%	63.7	2.5%
2039	1173.6	1.38%	445.8	1.56%	662.5	1.16%	0.0	0.00%	65.3	2.5%	65.3	2.5%
2040	1189.7	1.36%	452.7	1.53%	670.1	1.14%	0.0	0.00%	66.9	2.5%	66.9	2.5%

\*تم الأخذ في الاعتبار مشاريع الطاقة المتجددة تحت التنفيذ والمخطط لها حسب التوزيع المشترك للوكالة الدولية للطاقة المتجددة وجامعة الدول العربية والمركز القومي للطاقة وكفاءة لعام 2016، وكتاب الإحصاء السنوي 2016 الصادر عن إدارة الإحصاء ومركز المعلومات بوزارة الكهرباء والماء لدولة الكويت  
المصدر: الإدارة الاقتصادية، منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك).



توقعات متوسط نصيب الفرد من استهلاك الطاقة في دولة الكويت خلال الفترة 2019 - 2040 (سيناريو الإشارة)		جدول (3)	
توقعات متوسط نصيب الفرد من استهلاك الطاقة (أنف ب م ن / ي)	توقعات متوسط نصيب الفرد من استهلاك الطاقة (برميل مكافئ نفط)	عدد سكان الكويت مليون نسمة	إجمالي استهلاك الطاقة (أنف ب م ن / ي)
2018	58.2	4.463	711.2
2019	58.4	4.588	733.6
2020	58.8	4.716	759.9
2021	59.4	4.847	789.0
2022	60.1	4.982	820.5
2023	61.0	5.082	848.9
2024	61.7	5.183	875.6
<b>2025</b>	<b>62.2</b>	<b>5.287</b>	<b>901.6</b>
2026	62.9	5.372	925.4
2027	63.4	5.457	948.0
2028	63.9	5.545	970.1
2029	64.3	5.634	992.0
2030	64.7	5.724	1013.9
2031	65.2	5.792	1034.0
2032	65.6	5.862	1053.0
2033	65.9	5.932	1071.5
2034	66.3	6.003	1089.8
2035	66.6	6.075	1108.0
2036	66.9	6.136	1125.1
2037	67.2	6.198	1141.5
2038	67.5	6.259	1157.6
2039	67.8	6.322	1173.6
<b>2040</b>	<b>68.0</b>	<b>6.385</b>	<b>1189.7</b>

المصدر: الإدارة الاقتصادية، منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك).

توقعات إجمالي استهلاك الطاقة في دولة الكويت خلال الفترة 2019 - 2040  
جدول (4)  
(سيناريو الإشارة وسيناريو النمو المرتفع وسيناريو النمو المنخفض)

سيناريو النمو المنخفض		سيناريو النمو المرتفع		سيناريو الإشارة		سيناريو النمو		السنة
معدل النمو السنوي	حجم الاستهلاك (ألف م <sup>3</sup> /ن/اليوم)	معدل النمو السنوي	حجم الاستهلاك (ألف م <sup>3</sup> /ن/اليوم)	معدل النمو السنوي	حجم الاستهلاك (ألف م <sup>3</sup> /ن/اليوم)	معدل النمو السنوي	حجم الاستهلاك (ألف م <sup>3</sup> /ن/اليوم)	
2.84%	728.51	3.38%	737.6	3.15%	733.6	3.15%	733.6	2019
3.25%	752.17	3.84%	765.9	3.58%	759.9	3.58%	759.9	2020
3.49%	778.44	4.11%	797.3	3.84%	789.0	3.84%	789.0	2021
3.63%	806.71	4.26%	831.3	3.98%	820.5	3.98%	820.5	2022
3.05%	831.32	3.83%	863.2	3.46%	848.9	3.46%	848.9	2023
2.71%	853.82	3.57%	894.0	3.15%	875.6	3.15%	875.6	2024
<b>2.50%</b>	<b>875.17</b>	<b>3.41%</b>	<b>924.5</b>	<b>2.96%</b>	<b>901.6</b>	<b>2.96%</b>	<b>901.6</b>	<b>2025</b>
2.17%	894.14	3.10%	953.2	2.64%	925.4	2.64%	925.4	2026
1.97%	911.75	2.92%	981.0	2.45%	948.0	2.45%	948.0	2027
1.85%	928.60	2.80%	1008.5	2.33%	970.1	2.33%	970.1	2028
1.78%	945.09	2.73%	1036.1	2.26%	992.0	2.26%	992.0	2029
1.73%	961.44	2.68%	1063.9	2.21%	1013.9	2.21%	1013.9	2030
1.50%	975.86	2.45%	1089.9	1.98%	1034.0	1.98%	1034.0	2031
1.36%	989.15	2.31%	1115.1	1.84%	1053.0	1.84%	1053.0	2032
1.28%	1001.80	2.23%	1140.0	1.76%	1071.5	1.76%	1071.5	2033
1.23%	1014.11	2.17%	1164.7	1.70%	1089.8	1.70%	1089.8	2034
1.20%	1026.25	2.14%	1189.6	1.67%	1108.0	1.67%	1108.0	2035
1.07%	1037.21	2.00%	1213.4	1.54%	1125.1	1.54%	1125.1	2036
0.99%	1047.47	1.92%	1236.8	1.46%	1141.5	1.46%	1141.5	2037
0.94%	1057.33	1.87%	1260.0	1.41%	1157.6	1.41%	1157.6	2038
0.91%	1066.98	1.84%	1283.2	1.38%	1173.6	1.38%	1173.6	2039
<b>0.89%</b>	<b>1076.52</b>	<b>1.82%</b>	<b>1306.5</b>	<b>1.36%</b>	<b>1189.7</b>	<b>1.36%</b>	<b>1189.7</b>	<b>2040</b>

المصدر: الإدارة الاقتصادية، منظمة الأقطار العربية المصدرة للبرول (أوبك).

**جدول (5)**  
**توقعات إجمالي استهلاك مصادر الطاقة المتجددة في دولة الكويت خلال الفترة 2019 - 2040**  
**(سيناريو الإشارة وسيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة)**

السنة	سيناريو الإشارة		سيناريو الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة**	
	حجم الاستهلاك (ألف م ن/اليوم)	معدل النمو السنوي %	حجم الاستهلاك (ألف م ن/اليوم)	معدل النمو السنوي %
2019	3.5	53.5%	3.5	53.5%
2020	5.4	53.5%	5.4	53.5%
2021	8.3	53.5%	8.3	53.5%
2022	12.8	53.5%	12.8	53.5%
2023	19.6	53.5%	19.6	53.5%
2024	30.1	53.5%	30.1	53.5%
2025	46.2	53.5%	46.2	53.5%
2026	47.3	2.5%	54.9	19.0%
2027	48.5	2.5%	65.4	19.0%
2028	49.7	2.5%	77.7	19.0%
2029	51.0	2.5%	92.5	19.0%
2030	52.3	2.5%	110.0	19.0%
2031	53.6	2.5%	113.3	3.0%
2032	54.9	2.5%	116.7	3.0%
2033	56.3	2.5%	120.2	3.0%
2034	57.7	2.5%	123.8	3.0%
2035	59.1	2.5%	127.5	3.0%
2036	60.6	2.5%	131.3	3.0%
2037	62.1	2.5%	135.3	3.0%
2038	63.7	2.5%	139.3	3.0%
2039	65.3	2.5%	143.5	3.0%
2040	66.9	2.5%	147.8	3.0%

\*تم الأخذ في الاعتبار الأهداف الوطنية المعلنة للتوسع في استخدام الطاقات المتجددة حسب التقرير المشترك للوكالة الدولية للطاقة المتجددة وجامعة الدول العربية والمركز الأقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة لعام 2016  
المصدر: الإدارة الاقتصادية، منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك).

توقعات مزيج الطاقة في دولة الكويت (إجمالي استهلاك المصادر الأولية) خلال الفترة 2019 - 2040  
 (سيناريو الإشارة وسيناريو سياسة الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة)

جدول (6)

الخصص المتوقع في إجمالي استهلاك النفط والغاز الطبيعي عن توقعات سيناريو الإشارة (ألف م ب ن/اليوم)	سيناريو الأهداف الوطنية في مجال الطاقات المتجددة				سيناريو الإشارة							
	الغاز الطبيعي	النفط	المجموع	الطاقات المتجددة (ألف م ب ن/اليوم)	الغاز الطبيعي	النفط	المجموع	الطاقات المتجددة (ألف م ب ن/اليوم)				
0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	333.4	396.6	0.0	3.5	333.4	396.6	0.0	2019
0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	335.8	418.7	0.0	5.4	335.8	418.7	0.0	2020
0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	339.0	441.7	0.0	8.3	339.0	441.7	0.0	2021
0.0	0.0	0.0	0.0	12.8	342.8	464.9	0.0	12.8	342.8	464.9	0.0	2022
0.0	0.0	0.0	0.0	19.6	346.7	482.6	0.0	19.6	346.7	482.6	0.0	2023
0.0	0.0	0.0	0.0	30.1	349.2	496.3	0.0	30.1	349.2	496.3	0.0	2024
0.0	0.0	0.0	0.0	46.2	349.5	505.9	0.0	46.2	349.5	505.9	0.0	2025
-7.6	-4.5	-3.1	54.9	517.3	353.2	473	0.0	521.8	356.2	473	0.0	2026
-16.8	-10.0	-6.8	65.4	526.6	356.1	48.5	0.0	536.6	362.9	48.5	0.0	2027
-28.0	-16.8	-11.2	77.7	534.1	358.2	49.7	0.0	550.9	369.5	49.7	0.0	2028
-41.5	-24.9	-16.6	92.5	539.9	359.6	51.0	0.0	564.9	376.2	51.0	0.0	2029
-57.7	-34.7	-23.0	110.0	543.9	360.0	52.3	0.0	578.7	383.0	52.3	0.0	2030
-61.8	-37.2	-24.6	113.3	554.3	366.4	53.6	0.0	590.3	390.2	53.6	0.0	2031
-63.9	-38.5	-25.4	120.2	572.6	378.7	56.3	0.0	611.0	404.2	56.3	0.0	2033
-66.1	-39.8	-26.3	123.8	581.2	384.8	57.7	0.0	621.0	411.1	57.7	0.0	2034
-68.4	-41.1	-27.3	127.5	589.6	390.8	59.1	0.0	630.8	418.1	59.1	0.0	2035
-70.7	-42.5	-28.3	131.3	596.8	396.9	60.6	0.0	639.3	425.2	60.6	0.0	2036
-73.2	-43.9	-29.3	135.3	603.4	402.8	62.1	0.0	647.3	432.1	62.1	0.0	2037
-75.7	-45.3	-30.4	139.3	609.7	408.6	63.7	0.0	655.0	439.0	63.7	0.0	2038
-78.3	-46.8	-31.5	143.5	615.8	414.4	65.3	0.0	662.5	445.8	65.3	0.0	2039
-80.9	-48.3	-32.6	147.8	621.8	420.0	66.9	0.0	670.1	452.7	66.9	0.0	2040

المصدر: الإدارة الاقتصادية، منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترو (أوابك).



## الملحق (2) منهجية إعداد التنبؤات المستقبلية الواردة في الدراسة

## منهجية إعداد التنبؤات المستقبلية الواردة في الدراسة

### النماذج الكمية (Quantitative Models)

اعتمدت منهجية اعداد الدراسة اختبار نوعين من النماذج الكمية أو الرياضية ( Mathematical Causal and Non Causal or Quantitative methods). ففيما يتعلق بالنماذج السببية والنماذج غير السببية (Causal Models). تم استخدام نموذج الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression) ضمن نماذج الاقتصاد القياسي، وفيما يتعلق بالنماذج غير السببية (Causal Models Non) والمعروفة أيضاً بنماذج السلاسل الزمنية (Time Series Models) تم استخدام نموذج التمهيد الأسّي (Exponential Smoothing) ونماذج بوكس - جنكنز (Box-Jenkins) الإحصائية والذي يستخدم نماذج الأوساط المتحركة المنحدرة ذاتياً المتكاملة (Auto regressive Integrated Moving Average - ARIMA Models)، حيث تعد هذه النماذج من أكثر الأساليب دقة وشيوعاً في توقعات الطلب على الطاقة.

ومن أجل توخي نتائج أدق، اعتمدت منهجية اعداد الدراسة اختبار النماذج الثلاثة المشار إليها أعلاه لتقدير دالة استهلاك مصادر الطاقة الأولية بكل دولة عضو في أوابك (ما أمكن ذلك) ومن تم المفاضلة بين نتائج هذه النماذج لتعيين النموذج الأفضل باستخدام معيار متوسط مربعات الخطأ (Mean Square Error - MSE)، وهو اختبار معروف لقياس دقة نموذج الانحدار الخطي يحسب بتربيع الخطأ لكل مشاهدة في مجموعة البيانات. 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).

### 1. نموذج الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression)

يفترض انحدار للمتغير التابع (Y) على العديد من المتغيرات المستقلة  $X_1, X_2, \dots, X_K$ ، وحد عشوائي  $E_i$ ، حيث يعتمد المتغير موضوع البحث على متغيرات تفسيرية توضح سلوكه، وبالاعتماد على نظرية معينة في تفسير الظاهرة يتم صياغة العلاقة على شكل نموذج رياضي قابل للتقدير، وهو الأسلوب الذي جرت العادة على استخدامه في التنبؤ باستهلاك مصادر الطاقة في الدراسات السابقة، حيث يتم تفسير استهلاك الطاقة

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

$$Y = d0 + d1 Y-1 + d2GDP + d3POP + d4P + E$$

حيث تشير رموز المعادلة إلى ما يلي:

Y : إجمالي الاستهلاك

GDP : الناتج المحلي الإجمالي

POP : عدد السكان

P : متوسط الأسعار المحلية

Y-1 : استهلاك السنة السابقة

E : عنصر الخطأ العشوائي، تم إضافته مراعاة للصفة الاحتمالية للنموذج ويمثل الفرق بين القيم الفعلية والقيم النظرية، وبالتالي قد تكون قيمته موجبه أو سالبة ويشترط أن تكون القيمة المتوقعة تساوي صفر

di معاملات المعادلة ، i=0,1,2,3,4

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 و تحليل هيكل العلاقة التي تربط استهلاك الطاقة أو أحد مصادرها الأولية كمتغير تابع مع المتغيرات المستقلة المتمثلة في أسعار الطاقة والناتج المحلي 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 معاملات النموذج حيث تقلل الفرق بين القيم الفعلية و المقدرة و تحقق النهاية الصغرى لمجموع مربعات الأخطاء العشوائية، وقد تم مراعاة الشروط الواجب توافرها من حيث صحة تقدير نموذج الانحدار الخطي المتعدد باستخدام طريقة المربعات الصغرى والمتمثلة فيما يلي:

- السلسلة الزمنية للخطأ العشوائي مستقلة خطياً (Linearly Independent) وتتبع نمط التوزيع الطبيعي (Normally Distributed) بقيمة متوقعة تساوي صفر وتباين ثابت
- تجانس التباين (Homoscedasticity)



- عدم وجود ارتباط ذاتي بين الأخطاء العشوائية (No Serial Autocorrelation)
- عدم وجود ارتباط ذاتي بين المتغيرات المستقلة والأخطاء العشوائية (No Multicollinearity)

## 2. أسلوب التمهيد الأسّي (Exponential Smoothing)

ويعتمد على ترجيح أو تمهيد القيم التاريخية للسلسلة الزمنية من أجل التنبؤ بالمستقبل باستخدام معدل الأخطاء الحسابية، وهناك عدة أنواع من التمهيد الأسّي تستخدم حسب طبيعة بيانات السلسلة الزمنية ساكنة أم غير ساكنة موسمية أم غير موسمية ومنها طريقة هولت الأسّي الخطي ذو المعلمتين التي تم استخدامها في هذه الدراسة، إذ تستخدم هذه الطريقة في حال كانت بيانات السلسلة الزمنية ذات نزعة اتجاهية وهي ما تتسم بها بيانات استهلاك الطاقة أما الاتجاه الموسمي والمتمثل اعتماد الاستهلاك على درجات الحرارة فقد تم إهماله كون البيانات المستخدمة في الدراسة سنوية وليست شهرية مما لا يظهر أثر للموسمية، لذلك فإن التنبؤ بواسطة طريقة هولت الأسّي يتم إيجاده بواسطة استخدام ثابتي تمهيد  $\alpha$  و  $\gamma$  (تتراوح قيمة كل منهما بين الصفر والواحد) وثلاث معادلات هي كالآتي:

$$st = \alpha xt + (1 - \alpha)(s(t-1) + b(t-1)) \dots\dots\dots (1)$$

$$bt = \gamma (st - s(t-1)) + (1 - \gamma)b(t-1) \dots\dots\dots(2)$$

$$Y_{t+m} = st + bt .m \dots\dots\dots(3)$$

حيث إن:

m	المدة الزمنية المراد التنبؤ بها
St	القيمة الممهدة للسلسلة الزمنية
bt	مقدار الاتجاه الخطي لبيانات السلسلة الزمنية
Yt + m	الاستهلاك المتوقع في الزمن (t+m)

### 3. نماذج بوكس جينكز (Box-Jenkins)

وتعرف هذه النماذج بنماذج 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 سواء كانت مستقرة أم غير مستقرة الموسمية منها أو غير الموسمية. وتشتمل نماذج (ARIMA) اللاموسمية على نماذج الانحدار الذاتي (AR Models)، حيث تعتمد قيمة المتغير الحالي على قيم المتغير نفسه في الفترات السابقة وبالتالي تكون معادلته:

$$X_t = a_1X_{t-1} + a_2X_{t-2} + \dots + a_pX_{t-p} + \varepsilon$$

حيث تمثل P درجة الإنحدار الذاتي ونرمز له AR(p)

كما تشتمل نماذج (ARIMA) اللاموسمية على نماذج الأوساط المتحركة (MA Models)، حيث تعتمد قيمة المتغير الحالي على قيم المتغيرات العشوائية الحالية والسابقة وبالتالي تكون معادلته:

$$X_t = \varepsilon_t + \theta_1\varepsilon_{t-1} + \theta_2\varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q\varepsilon_{t-q}$$

حيث تمثل q درجة المتوسطات المتحركة ونرمز له MA(q)

ويتم تجميع النموذجين في نموذج مركب يسمى (ARMA Model) تكون معادلته على الصيغة:

$$X_t = a_1X_{t-1} + a_2X_{t-2} + \dots + a_pX_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1\varepsilon_{t-1} + \theta_2\varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q\varepsilon_{t-q}$$

ونرمز له ARMA (p,q)

ويتم تكامل النموذج بالعامل I الذي يمثل درجة استقرار أو سكون السلسلة الزمنية بعد أخذ الفرق d الذي يمثل درجة استقرار السلسلة الزمنية ويمكن أن يأخذ القيمة:

$$d = 0,1,2,3,\dots$$

ويتم تحديد درجة استقرار السلسلة الزمنية (d) باستخدام الاختبارات الإحصائية المعروفة وبالتالي يمكن

الوصول إلى تشخيص النموذج ARIMA(p,d,q)

## 4. معايير المفاضلة بين النماذج الكمية:

## • معيار متوسط مربعات الخطأ (Mean Square Error - MSE)

وهو اختبار معروف لقياس دقة نموذج الانحدار الخطي بحسب بتربيع الخطأ لكل مشاهدة في مجموعة البيانات حسب المعادلة التالية، بحيث يتم اختيار النموذج الذي يحقق القيمة الأصغر لمتوسط مربعات الخطأ MSE:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2.$$

$Y_i$  القيمة الفعلية

$\hat{Y}_i$  القيمة المقدرة

$n$  عدد المشاهدات

## • جذر متوسط مربعات الخطأ (Root Mean Squared Error-RMSE)

ويسمى أحياناً جذر متوسط مربعات الانحراف وهو أيضاً من المعايير الإحصائية المعروفة التي تستخدم للمفاضلة بين نماذج التقدير حسب المعادلة التالية، ويتم اختيار النموذج الذي يحقق القيمة الأصغر لجذر متوسط مربعات الخطأ RMSE:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}}$$

$Y_i$  القيمة الفعلية

$\hat{Y}_i$  القيمة المقدرة

$n$  عدد المشاهدات

## • متوسط الخطأ المطلق (Mean Absolute Error-MAE)

من المعايير الإحصائية المعروفة التي تستخدم للمفاضلة بين نماذج التقدير حسب المعادلة التالية، ويتم اختيار النموذج الذي يحقق القيمة الأصغر لمتوسط الخطأ المطلق MAE:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i|}{n}$$

القيمة الفعلية  $Y_i$

القيمة المقدرة  $\hat{Y}_i$

عدد المشاهدات  $n$

• متوسط الخطأ المئوي المطلق (Mean Absolute Percent Error-MAPE)

من المعايير الإحصائية المعروفة التي تستخدم للمفاضلة بين نماذج التقدير حسب المعادلة التالية، ويتم اختيار النموذج الذي يحقق القيمة الأصغر لمتوسط الخطأ المئوي المطلق MAPE:

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$$

القيمة الفعلية  $Y_i$

القيمة المقدرة  $\hat{Y}_i$

عدد المشاهدات  $n$

5. السيناريوهات التراجعية (Backcasting Scenarios)

اتبعت الدراسة في سيناريو سياسة الأهداف 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.

## الملحق (3)

# المخرجات الإحصائية لبرنامج E-Views

النتائج الرئيسية لتقدير النموذج ومؤشراته الإحصائية

# Kuwait Energy Consumption

## 1. Total Energy

### Model Estimation Equation:

$$\text{ENERGY\_CONSUMPTION} = C(1)*\text{ENERGY\_CONSUMPTION}(-1) + C(2)*\text{POPULATION} + C(3)*\text{NGDPNCS} + C(4)*\text{ENERGY\_RPRICESUSD} + C(5)$$

### Model Estimation Results

Dependent Variable: ENERGY\_CONSUMPTION

Method: Least Squares

Date: 12/17/17 Time: 11:25

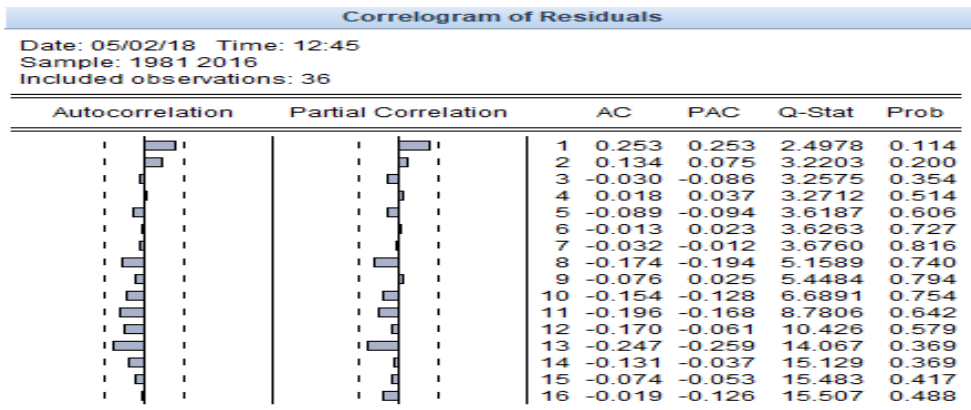
Sample (adjusted): 1981 2016

Included observations: 36 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ENERGY_CONSUMPTION(-1)	0.610265	0.182225	3.348960	0.0021
POPULATION	77.52866	42.87548	2.808228	0.0403
NGDPNCS	0.999851	1.592327	2.627918	0.0534
ENERGY_RPRICESUSD	-3.848749	3.108713	-2.238052	0.0225
C	-10.23083	44.50486	-0.229881	0.0819

R-squared	0.945068	Mean dependent var	389.5595
Adjusted R-squared	0.937980	S.D. dependent var	173.5537
S.E. of regression	43.22145	Akaike info criterion	10.49880
Sum squared resid	57910.90	Schwarz criterion	10.71873
Log likelihood	-183.9783	Hannan-Quinn criter.	10.57556
F-statistic	133.3338	Durbin-Watson stat	1.981024
Prob(F-statistic)	0.000000		

### Residuals Tests



## Correlogram of Residuals Squared

Date: 05/02/18 Time: 12:50

Sample: 1981 2016

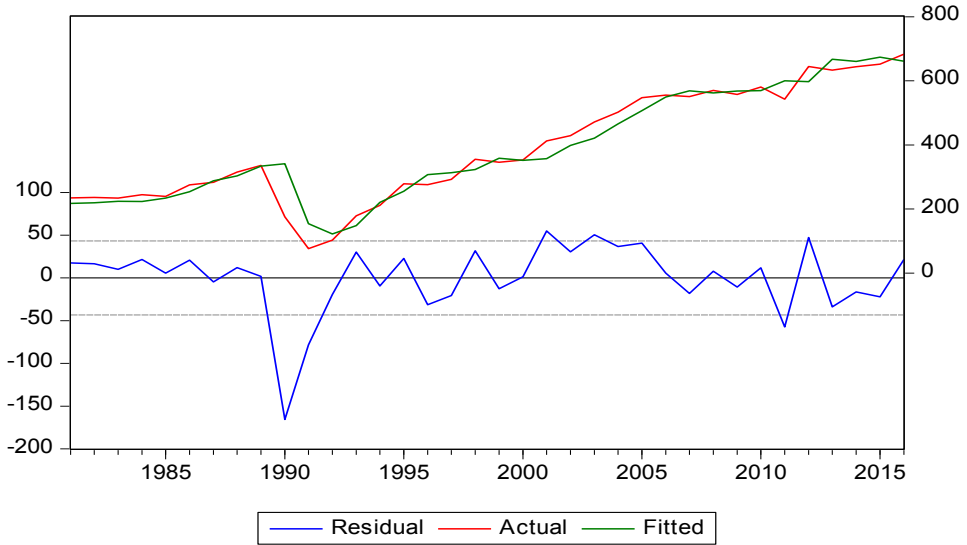
Included observations: 36

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.136	0.136	0.7226	0.395
		2	-0.073	-0.093	0.9342	0.627
		3	-0.076	-0.054	1.1706	0.760
		4	-0.090	-0.080	1.5141	0.824
		5	-0.084	-0.073	1.8242	0.873
		6	-0.050	-0.048	1.9396	0.925
		7	-0.077	-0.091	2.2210	0.947
		8	-0.055	-0.061	2.3663	0.968
		9	-0.093	-0.119	2.8045	0.972
		10	-0.023	-0.038	2.8320	0.985
		11	0.070	0.027	3.0971	0.989
		12	0.001	-0.062	3.0972	0.995
		13	0.050	0.027	3.2479	0.997
		14	0.010	-0.037	3.2536	0.999
		15	0.010	-0.001	3.2598	0.999
		16	-0.047	-0.071	3.4139	1.000

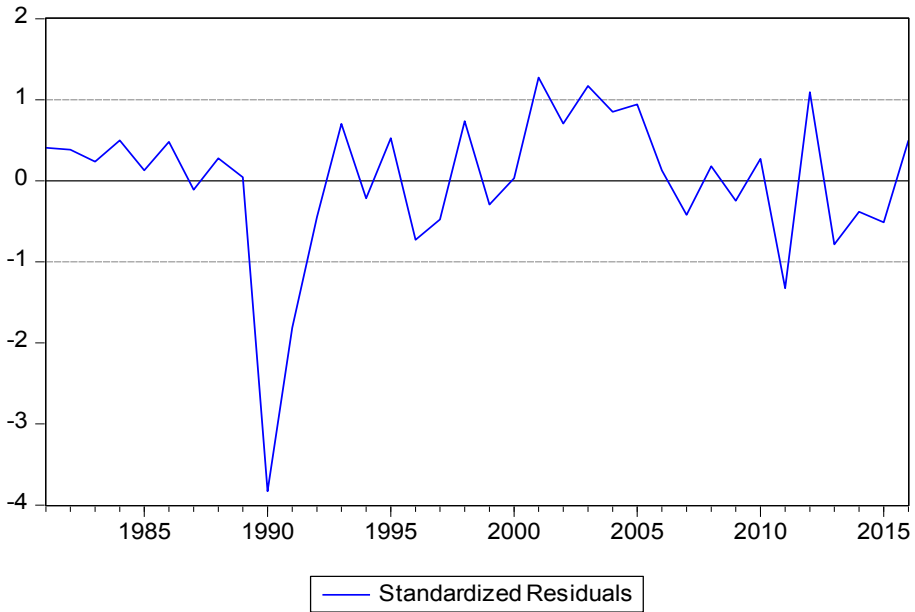
## Actual, Fitted, Residual Table

obs	Actual	Fitted	Residual	Residual Plot
obs	Actual	Fitted	Residual	Residual Plot
1981	235.116	217.469	17.6463	
1982	236.235	219.664	16.5706	
1983	234.211	224.043	10.1675	
1984	245.012	223.389	21.6228	
1985	239.609	233.965	5.64420	
1986	275.241	254.375	20.8653	
1987	283.236	287.929	-4.69303	
1988	315.189	303.214	11.9753	
1989	335.754	333.838	1.91624	
1990	175.604	341.148	-165.543	
1991	76.2679	154.637	-78.3692	
1992	102.812	122.145	-19.3329	
1993	178.768	148.350	30.4183	
1994	211.428	220.721	-9.29327	
1995	278.473	255.738	22.7347	
1996	275.961	307.411	-31.4502	
1997	292.678	313.291	-20.6136	
1998	355.314	323.472	31.8420	
1999	346.178	358.899	-12.7203	
2000	353.396	351.959	1.43635	
2001	412.206	357.170	55.0363	
2002	428.913	398.384	30.5290	
2003	471.845	421.266	50.5797	
2004	502.309	465.548	36.7616	
2005	547.564	506.829	40.7355	
2006	555.260	549.716	5.54435	
2007	551.028	569.161	-18.1325	
2008	569.958	562.137	7.82046	
2009	557.440	568.009	-10.5695	
2010	580.956	569.230	11.7259	
2011	543.137	600.360	-57.2224	
2012	644.438	597.182	47.2560	
2013	633.497	667.334	-33.8362	
2014	643.952	660.404	-16.4519	
2015	651.939	674.078	-22.1396	
2016	683.218	661.678	21.5397	

### Actual, Fitted, Residual Graph

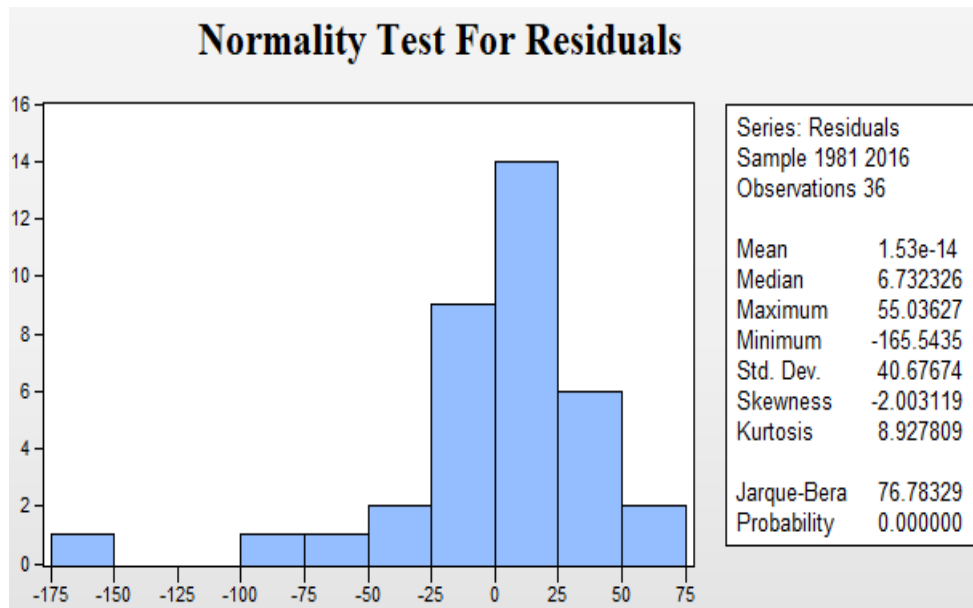


### Standardized Residual Graph





## Histogram - Normality Test



## Serial Correlation LM Test

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:

F-statistic	2.796001	Prob. F(2,29)	0.0776
Obs*R-squared	5.819613	Prob. Chi-Square(2)	0.0545

Test Equation:

Dependent Variable: RESID

Method: Least Squares

Date: 03/14/19 Time: 09:42

Sample: 1981 2016

Included observations: 36

Presample missing value lagged residuals set to zero.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ENERGY_CONSUMPTION(-1)	-0.408186	0.249366	-1.636893	0.1125
POPULATION	53.66447	47.25284	1.135688	0.2654
NGDPNCS	-0.175346	1.511619	-0.115999	0.9085
ENERGY_RPRICESUSD	4.181774	3.442080	1.214897	0.2342

C	-24.65825	43.40667	-0.568075	0.5744
RESID(-1)	0.490549	0.228589	2.145981	0.0404
RESID(-2)	0.280942	0.216626	1.296899	0.2049
R-squared	0.161656	Mean dependent var		1.53E-14
Adjusted R-squared	-0.011795	S.D. dependent var		40.67674
S.E. of regression	40.91592	Akaike info criterion		10.43358
Sum squared resid	48549.26	Schwarz criterion		10.74149
Log likelihood	-180.8045	Hannan-Quinn criter.		10.54105
F-statistic	0.932000	Durbin-Watson stat		1.969903
Prob(F-statistic)	0.487112			

## Heteroskedasticity Test

Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey

F-statistic	0.389046	Prob. F(4,31)	0.8148
Obs*R-squared	1.720799	Prob. Chi-Square(4)	0.7869
Scaled explained SS	5.057917	Prob. Chi-Square(4)	0.2814

Test Equation:

Dependent Variable: RESID^2

Method: Least Squares

Date: 05/02/18 Time: 12:57

Sample: 1981 2016

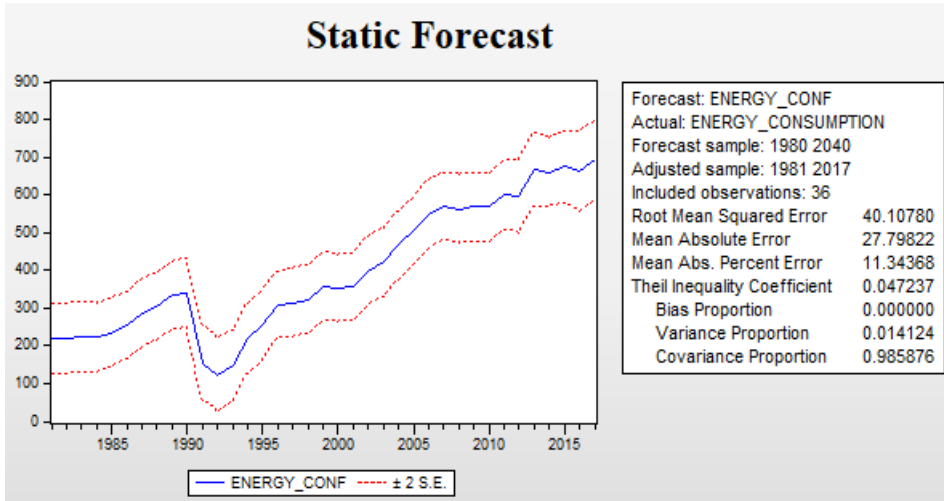
Included observations: 36

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1265.481	4904.300	0.258035	0.7981
ENERGY_CONSUMPTION(-1)	13.24970	20.08065	0.659824	0.5142
POPULATION	-580.7578	4724.747	-0.122918	0.9030
NGDPNCS	-109.9099	175.4696	-0.626376	0.5357
ENERGY_RPRICESUSD	-110.6388	342.5707	-0.322966	0.7489
R-squared	0.047800	Mean dependent var		1608.636
Adjusted R-squared	-0.075065	S.D. dependent var		4593.583
S.E. of regression	4762.872	Akaike info criterion		19.90334
Sum squared resid	7.03E+08	Schwarz criterion		20.12327
Log likelihood	-353.2600	Hannan-Quinn criter.		19.98010
F-statistic	0.389046	Durbin-Watson stat		1.673903
Prob(F-statistic)	0.814818			

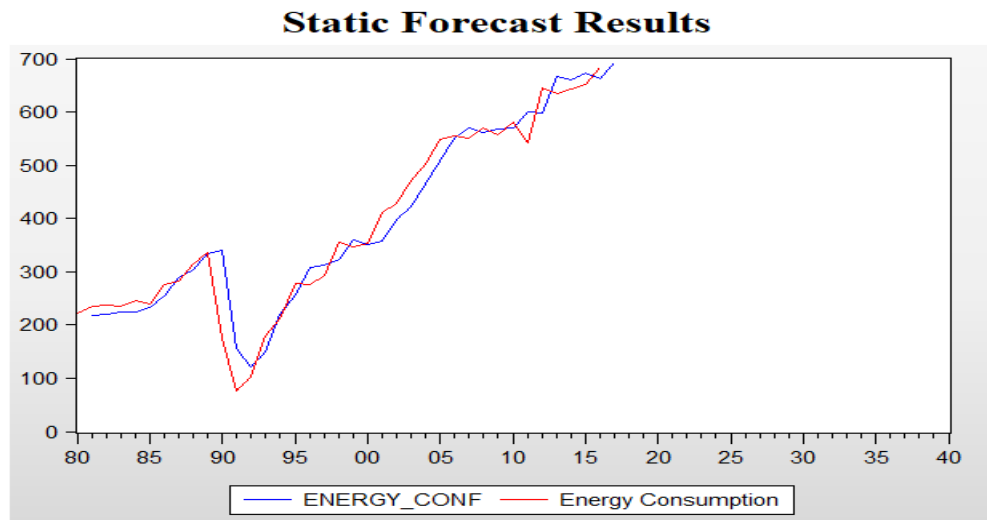
## Model Forecasting Results

### 1. Reference Scenario

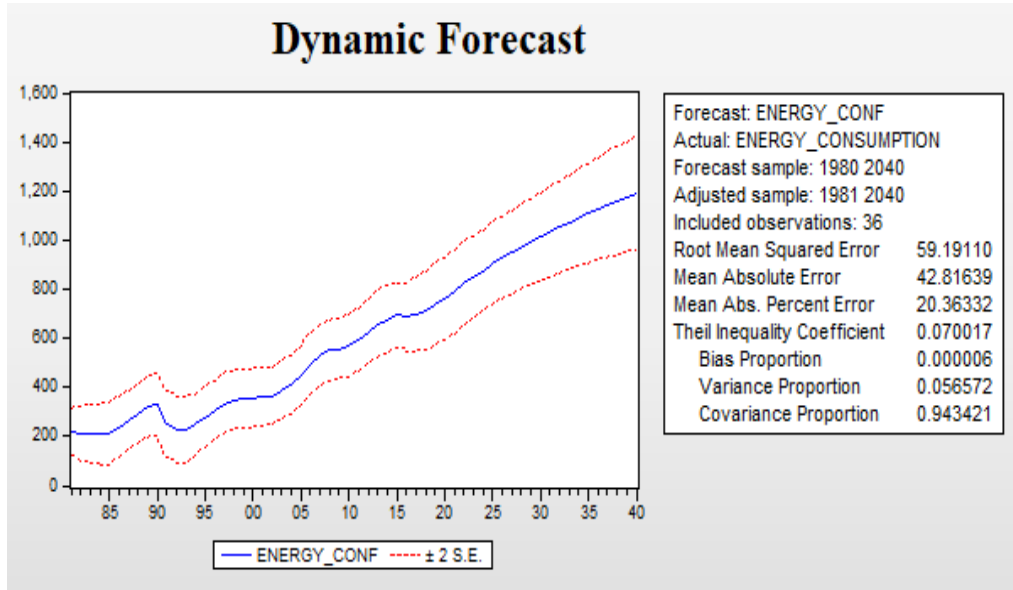
#### Static Forecast Graph and Evaluation



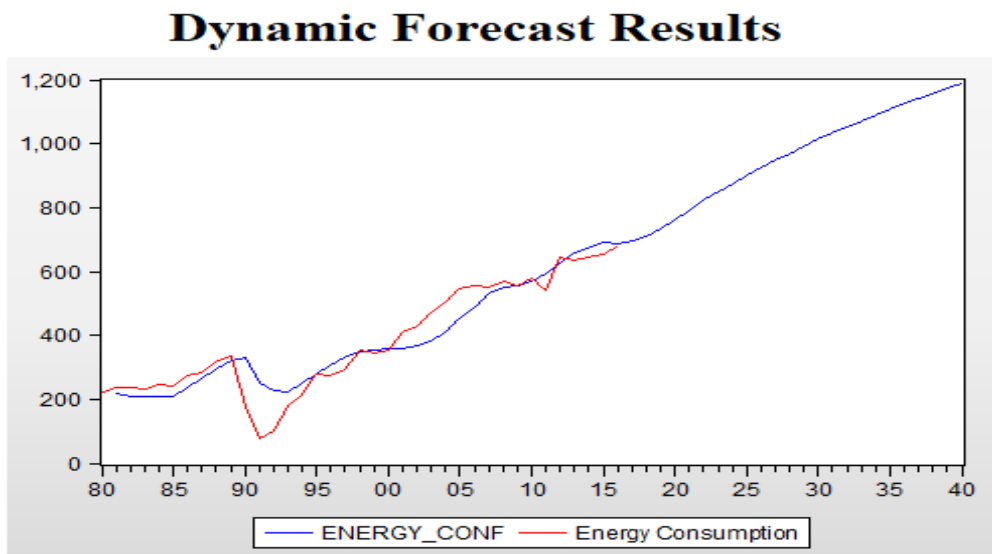
#### Static Forecast Results



## Dynamic Forecast Graph and Evaluation

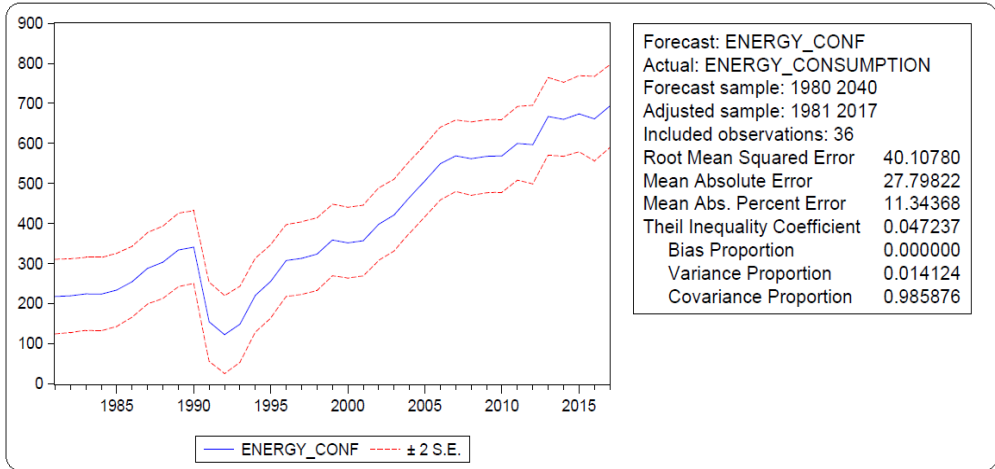


## Dynamic Forecast Results

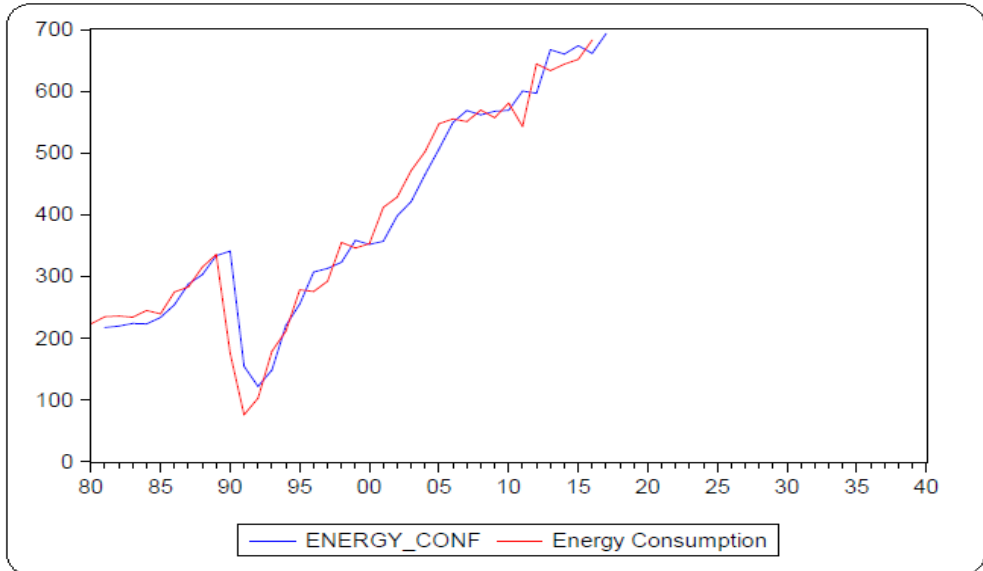


## 2. High Growth Scenario

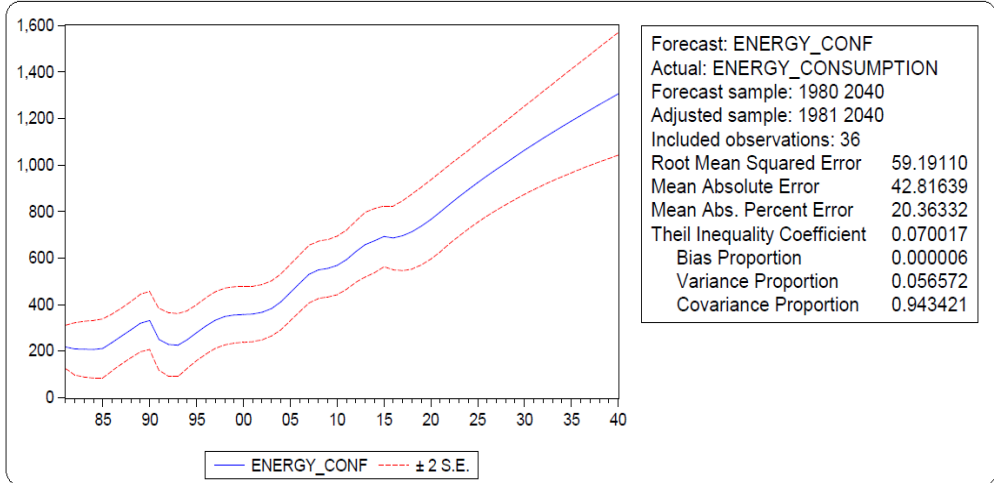
### Static Forecast Graph and Evaluation



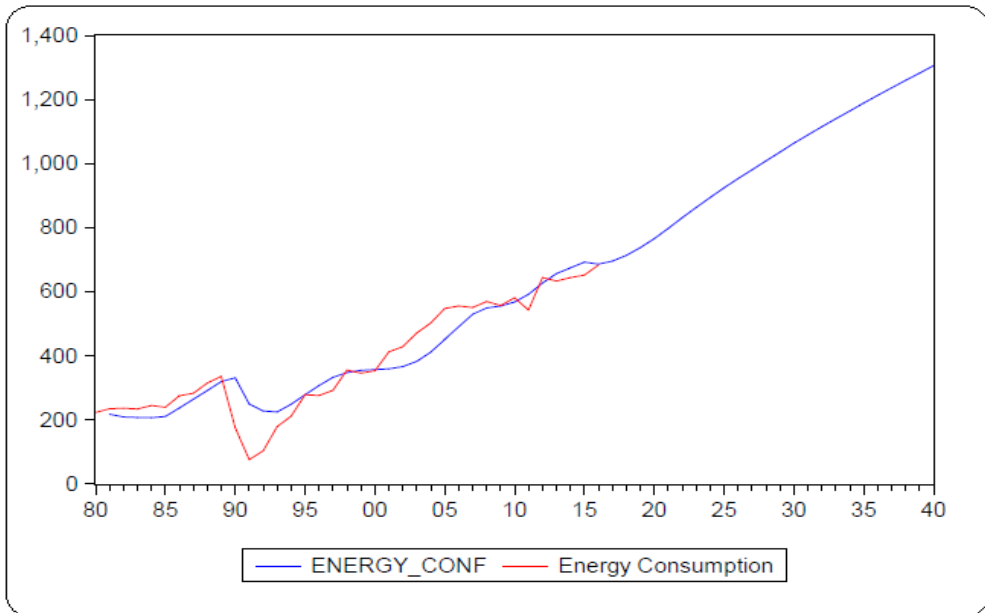
### Static Forecast Results



## Dynamic Forecast Graph and Evaluation

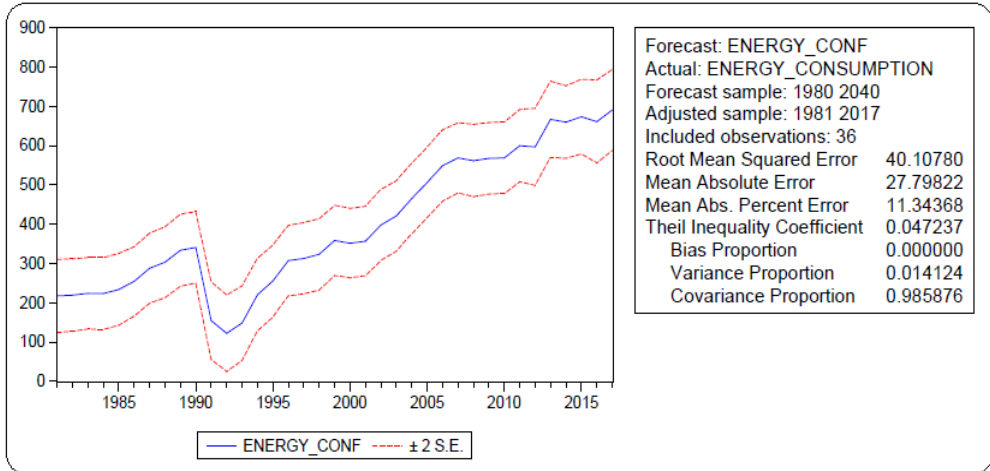


## Dynamic Forecast Results

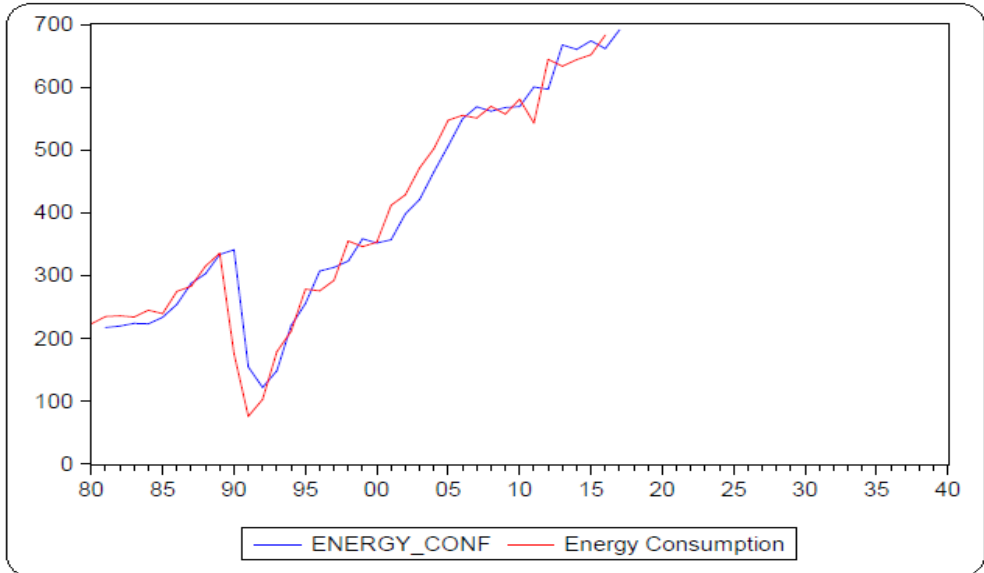


### 3. Low Growth Scenario

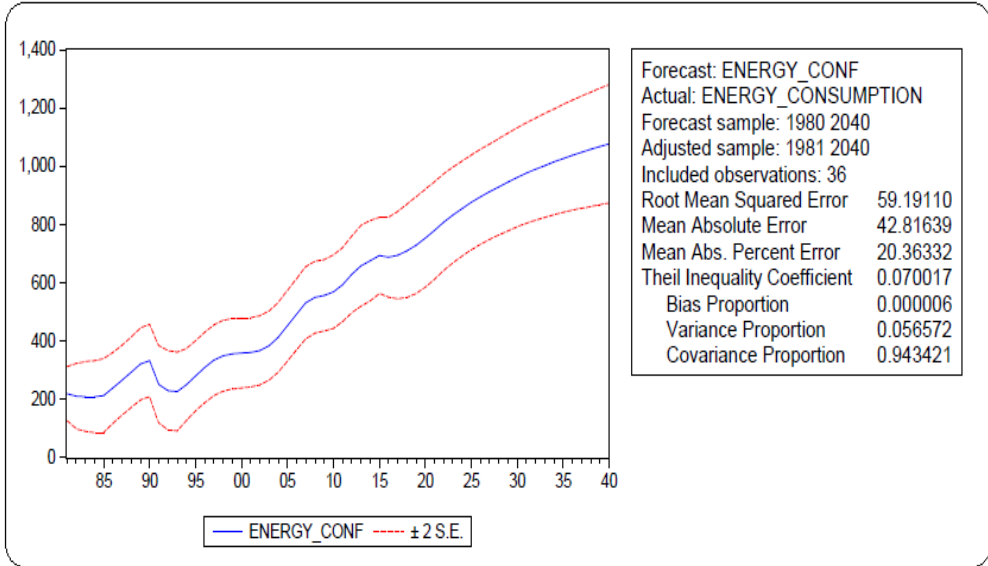
#### Static Forecast Graph and Evaluation



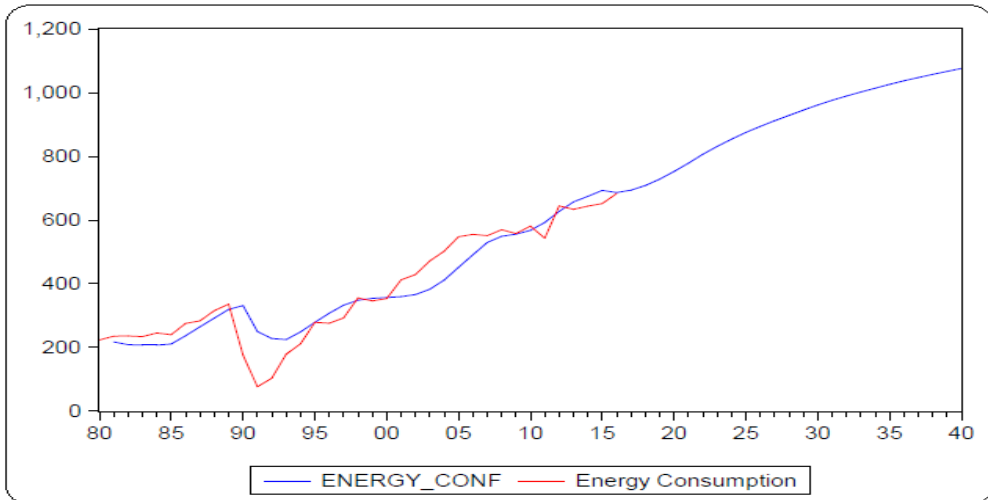
#### Static Forecast Results



## Dynamic Forecast Graph and Evaluation



## Dynamic Forecast Results





## المراجع:

### أولاً: المراجع العربية

1. منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترو، تطور استهلاك الطاقة في الدول الأعضاء وأفاقه المستقبلية، مارس 2018.
2. منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترو، التقرير الإحصائي، أعداد مختلفة.
3. منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترو، بنك المعلومات
4. منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترو، الأوراق القطرية المقدمة لمؤتمر الطاقة العربي العاشر، أبو ظبي 21-23 ديسمبر 2014.
5. منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترو، سياسات دعم الطاقة في الدول الأعضاء في أوابك وانعكاساتها على الاقتصادات الوطنية، 2015.
6. وزارة الكهرباء والماء بدولة الكويت، كتاب الإحصاء السنوي 2016، 2017.
7. وزارة النفط بدولة الكويت، الورقة القطرية لدولة الكويت في مؤتمر الطاقة العربي العاشر، أبو ظبي - دولة الإمارات العربية المتحدة، ديسمبر 2014.
8. وزارة النفط بدولة الكويت، الورقة القطرية لدولة الكويت في مؤتمر الطاقة العربي الحادي عشر، مراكش - المملكة المغربية، أكتوبر 2018.

## ثانياً: المراجع الأجنبية

1. BP, Statistical Review of World Energy 2017.
2. IMF, World Economic Outlook, October 2017 & January 2018.
3. IRENA & RECREEE & League of Arab States, Renewable Energy in the Arab Region: Overview of developments, 2016
4. IRENA, Renewable Capacity Statistics 2017.
5. OPEC, Annual Statistical Bulletin, Various Issues.
6. OPEC, World Oil Outlook, 2017
7. World Bank, World Development Indicators 2017.
8. World Nuclear Association, World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements, December 2017.

## البحث الثاني

# ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها في صناعة تكرير النفط في الدول العربية

عماد مكي \*



## ملخص تنفيذي

### ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها

#### في صناعة تكرير النفط في الدول العربية

تواجه صناعة التكرير في الدول العربية العديد من التحديات التي تفرض عليها اتخاذ كافة الإجراءات الممكنة لتعزيز قدرتها على المنافسة من خلال تخفيض تكاليف التشغيل وتحسين الربحية، إضافة إلى تمكينها من تلبية متطلبات التشريعات البيئية الخاصة بخفض الانبعاثات الملوثة للبيئة.

تعتبر صناعة تكرير النفط إحدى أكبر الصناعات المستهلكة للطاقة، حيث تصل نسبة الإستهلاك في مصفاة متوسطة الحجم إلى حوالي 3-4% من كمية النفط الخام المكرر في المصفاة، مما دفع القائمين على هذه الصناعة إلى البحث عن أفضل السبل الممكنة لتطبيق إجراءات ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها، وذلك في إطار السعي لتحسين الالتزام بمتطلبات التشريعات الخاصة بالحد من الانبعاثات الملوثة للبيئة، وتحسين هامش الربحية، ومواجهة المنافسة الشديدة في الأسواق العالمية.

يمكن تطبيق العديد من الفرص التي تساهم في تحسين كفاءة الطاقة في مصافي تكرير النفط، ومن هذه الفرص ما يمكن تنفيذها على المدى القريب، اعتماداً على تقنيات وبرامج المراقبة المستمرة لتحسين أداء الوحدات الإنتاجية، ولا تحتاج إلى استثمارات كبيرة، ومنها ما يمكن تنفيذه على المدى البعيد، حيث أنها تحتاج إلى استثمارات باهظة، كإنشاء وحدات إنتاجية وخدمية جديدة متطورة، يراعى فيها تدابير ترشيد استهلاك الطاقة، وتطبيق مبدأ التكامل الحراري بين الوحدات الإنتاجية، وزيادة كفاءة الأفران.

لمواجهة التعقيدات المرتبطة باستهلاك الطاقة تلجأ مصافي النفط إلى تطبيق برنامج إدارة للطاقة يساهم في تسهيل تنفيذ إجراءات ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها.

يعرف برنامج إدارة الطاقة بأنه أحد أهم الوسائل الناجحة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في المنشآت الصناعية بأقل التكاليف الممكنة، كما يساهم في خلق الأسس التي تركز عليها عمليات التحسين، فضلاً عن توفير الدليل الإستراتيجي لفرص ترشيد استهلاك الطاقة في كافة أجزاء ومناطق المنشأة.

من الفوائد الأخرى لتطبيق برنامج إدارة الطاقة تعزيز فرص التكامل بين الوحدات الإنتاجية في المصفاة الواقعة ضمن موقع واحد، من خلال تأمين رؤية شاملة لكافة خطوط الطاقة في المصفاة، بدلاً من الطريقة التقليدية التي تعتمد على التركيز على الخطوط الموجودة في كل وحدة من الوحدات، أو ضمن مجموعة من الخطوط التي ترتبط فيما بينها بخصائص مشتركة، كخطوط البخار والوقود وشبكات الطاقة الكهربائية.

كما يساهم تطبيق برنامج إدارة الطاقة في تسهيل عملية تحديد مواعيد تشغيل وتوقيف بعض المعدات لإجراء أعمال الصيانة الدورية، وذلك من خلال ما تقدمه هذه النظم من إمكانية التنبؤ بميزان الطلب على الطاقة وأوقات ذروة الاستهلاك والإنتاج، وبالتالي يمكن اختيار المواعيد المناسبة لإجراء صيانة بعض المعدات في الأوقات المناسبة.

تعود أسباب تدني كفاءة الطاقة في مصافي النفط العربية إلى قدم معظم المصافي، ، وانخفاض طاقتها التكريرية، وغياب تطبيق التقنيات المتطورة في عمليات التكرير، وضعف الدافع إلى تخفيض تكاليف التشغيل بسبب غياب المنافسة بين المصافي، حيث أن ملكية معظم هذه المصافي تعود إلى شركات حكومية.

بدأت مصافي النفط العربية بتطبيق إجراءات تحسين كفاءة الطاقة منذ تسعينيات القرن المنصرم، وذلك في إطار مشاريع تطوير المصافي القائمة وخاصة القديمة منها، والتي تعاني من مشكلات فنية واقتصادية وبيئية.

وقد بينت الدراسة أن تطوير المصافي القائمة وإدخال التقنيات الحديثة لتحسين كفاءة الطاقة يمكن أن يساهم في خفض استهلاك الطاقة في مصافي النفط في الدول العربية من 986 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة إلى 636 وحدة حرارية بريطانية في السنة، ويبلغ مقدار التوفير حوالي 350 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، أو ما يكافئ 61.19 مليون برميل مكافئ نفط في السنة بقيمة إجمالية قدرها 3.059 مليار دولار أمريكي في السنة على أساس سعر برميل النفط 50 دولار أمريكي.

كما أكدت الدراسة على ضرورة دعم البحث العلمي لتطوير تقنيات حديثة تساهم في تحسين كفاءة الطاقة في عمليات التكسير والوحدات المساندة، والعمل على تعزيز فرص التكامل والتعاون المشترك بين المصافي العربية، وتبادل الخبرات في مجال ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها.

## الفصل الأول

### أهمية ترشيد استهلاك الطاقة في صناعة تكرير النفط

شهدت العقود الثلاثة الماضية ارتفاعاً ملحوظاً في استهلاك الطاقة في العالم، مدفوعاً بازدهار الاقتصاد العالمي، وتحسين ظروف المعيشة للملايين من البشر. ويمثل النفط والغاز النسبة العظمى من مزيج الطاقة المستخدمة، ويتوقع أن يبقى الوقود الأحفوري مستحوذاً على النسبة الأعلى لعقود قادمة، مما يؤكد على ضرورة اتخاذ الإجراءات اللازمة للحفاظ على هذه الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها.

تصنف صناعة تكرير النفط بأنها من الصناعات الكثيفة الاستهلاك للطاقة، حيث تصل نسبة استهلاك الوقود وبخار الماء والكهرباء إلى 3-4% من كمية النفط الخام المكرر في مصافي النفط البسيطة، وقد ترتفع إلى 7-8% في المصافي العالية التعقيد التكنولوجي. كما تمثل تكلفة الطاقة في المصافي حوالي 60% من إجمالي تكاليف التشغيل. (Nelson, R., 2013)

يحتوي هذا الفصل على شرح موجز للمكونات الرئيسية لمصفاة النفط، مع الإشارة إلى أهم مواقع استهلاك الطاقة وطرق قياسها. كما يتناول الفصل أهم دوافع تحسين كفاءة الطاقة في مصافي تكرير النفط، والفوائد التي يمكن الحصول عليها نتيجة تطبيق برامج ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها.

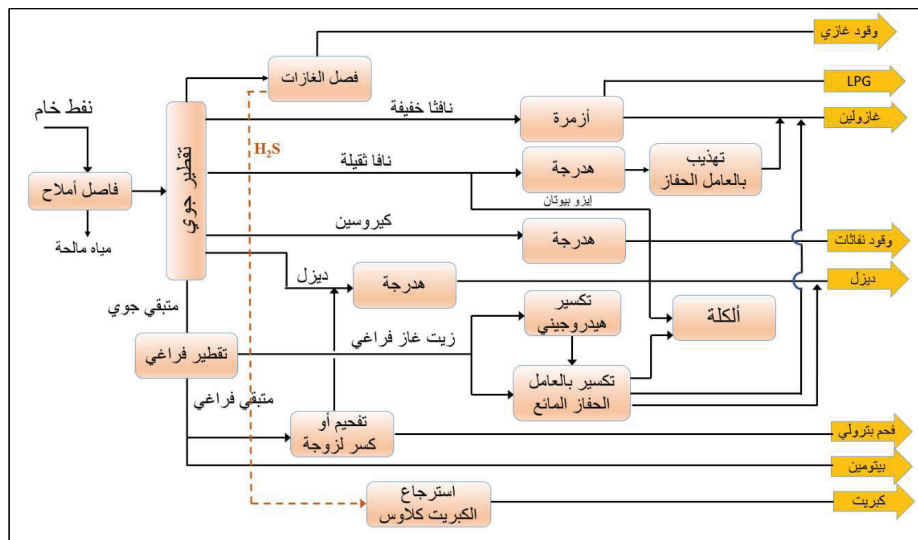


## 1-1: المكونات الرئيسية لمصفاة تكرير النفط

تهدف مصافي تكرير النفط إلى تحويل النفط الخام إلى مشتقات بترولية متنوعة، كغاز البترول المسال LPG، والغازولين، والكيروسين، والسديزل، وزيت الوقود، وزيت التزيت، والأسفلت، والفحم، ومنتجات أخرى.

تتكون عمليات مصفاة تكرير النفط من أربعة أنواع رئيسية، هي عمليات التقطير الجوي والفراغي، والعمليات التحويلية، وعمليات المعالجة، والعمليات المساندة. ويختلف نوع وحجم عمليات التكرير من مصفاة لأخرى، تبعاً لنوع النفط الخام المكرر، وخصائص المنتجات النهائية المطلوبة. يبين الشكل 1-1 مخطط سير العمليات في مصفاة تكرير النفط.

الشكل 1-1: مخطط سير العمليات في مصفاة تكرير النفط



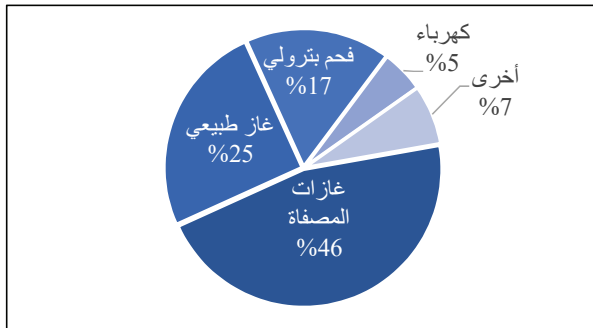
## 1-2: مصادر الطاقة المستهلكة في مصافي تكرير النفط

تستهلك الطاقة في مصافي النفط لعمليات التسخين والتبريد، وضغط ونقل المواد البترولية السائلة والغازية عبر الأنابيب. وللوصول بدرجة حرارة المواد إلى أعلى من 250 °م تستخدم أفران يحرق فيها الوقود بلهب مفتوح ، أما إذا كانت درجة الحرارة المطلوبة منخفضة فيتم التسخين بواسطة بخار الماء. (Gupta, K., et al., 2009)

تحصل المصفاة على الطاقة كوقود غازي مكون من الغازات الفائضة عن عمليات التكرير Refinery Gases، والباقي على شكل وقود سائل أو صلب كالفحم البترولي، أو غاز طبيعي، أو طاقة كهربائية. وتختلف نسب توزع هذه الأنواع من مصفاة لأخرى حسب نوع الوقود المتوفر ونوع عمليات التكرير.

بعض عمليات التكرير في المصفاة تنتج مواد ثانوية يمكن استخدامها لتوليد الطاقة، كعملية التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC التي تحول القطفات الثقيلة إلى منتجات خفيفة عالية القيمة، حيث يستفاد من حرق الفحم المترسب على سطح العامل الحفاز في توليد بخار الماء و تزويد الوحدة بالطاقة اللازمة للتسخين. يبين الشكل 1-2 توزع نسب مصادر الطاقة المستهلكة في إحدى مصافي النفط الأمريكية.

### الشكل 1-2: توزع نسب مصادر الطاقة المستهلكة في إحدى مصافي النفط الأمريكية



المصدر: Brandão, A., 2011

ونظراً لحاجة مصافي النفط إلى كميات كبيرة من الطاقة على شكل بخار ماء وكهرباء قد تلجأ معظم المصافي إلى إنشاء وحدات توليد مشترك يتم فيها توليد بخار الماء بضغط أعلى من القيمة المطلوبة، ثم يستفاد من تخفيض الضغط في توليد الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل المصفاة، بينما يصدر الفائض إلى الشبكة العامة.

### 1-3: قياس كفاءة الطاقة في مصافي تكرير النفط

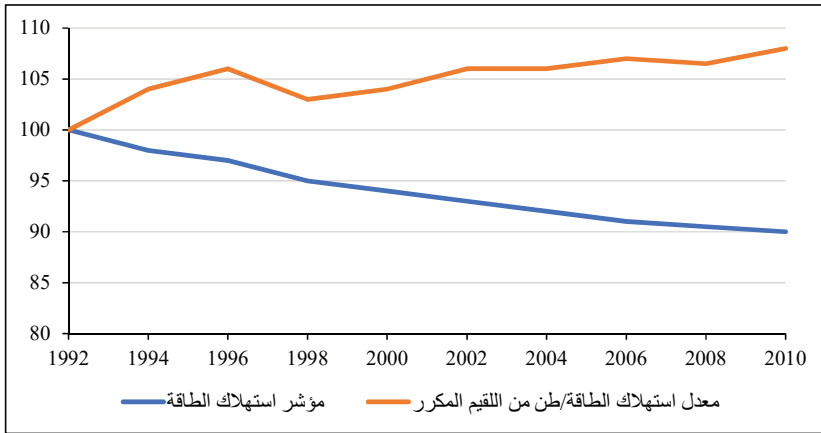
تقاس كمية الطاقة المستهلكة في مصافي النفط بكمية الحرارة اللازمة لتكرير برميل واحد من النفط الخام (وحدة حرارية بريطانية/البرميل). أما كفاءة الطاقة فتقاس بنسبة كمية الحرارة المستهلكة لتكرير برميل من النفط الخام إلى كمية الحرارة المستهلكة في المصافي المعيارية. ويختلف مصطلح تحسين كفاءة الطاقة عن تعبير ترشيد الطاقة على الرغم من أن لهما دور واحد وهو خفض كمية الطاقة المستهلكة، حيث يستخدم مصطلح كفاءة الطاقة لخفض كثافة استهلاك الطاقة في عملية أو نشاط محدد، للحصول على نفس المنتج أو الخدمة، وذلك من خلال استخدام تقنيات، أو عمليات، أو معدات ذات كفاءة أعلى. أما مصطلح ترشيد الطاقة فيتعلق أكثر بالسلوك البشري وطريقة تنفيذ العمليات، أي خفض استهلاك الطاقة من خلال خفض الاستخدام، كتوقيف بعض المعدات غير الضرورية، أو إلغاء بعض الأنشطة غير المهمة. (IPIECA, 2013)

يستخدم مقياس كفاءة الطاقة Energy Efficiency كأحد أهم مؤشرات قياس الأداء التشغيلي لمصافي النفط، وتقييم قدرة المصفاة على خفض تكاليف التشغيل وتلبية متطلبات التشريعات البيئية. (Solomon, 2016)

كما طورت أدوات أخرى لقياس مستوى كفاءة استخدام الطاقة في المصافي منها مؤشر كثافة الطاقة Energy Intensity Index EII وهو مقياس ابتكرته رابطة سولومون Solomon Associates المتخصصة بدراسات الطاقة، (WEC, 2013). يعبر مؤشر كثافة الطاقة عن نسبة

الاستهلاك الفعلي للطاقة في المصفاة مقارنة بمتوسط الاستهلاك في المصافي النموذجية في العالم، مع الأخذ بعين الاعتبار التباين بين المصافي من حيث درجة التعقيد التكنولوجي، ونوع عمليات التكرير، وحجم الطاقة التكريرية، حيث أن قياس معدل استهلاك الطاقة لكل برميل مكرر لا يمكن أن يعطي صورة واضحة عن أداء المصفاة بدون مراعاة الظروف الأخرى المؤثرة في معدل الاستهلاك. فعلى سبيل المثال، ارتفع معدل استهلاك الطاقة لكل طن من النفط المكرر في مصافي أوروبا الغربية خلال الفترة من 1992 إلى 2010، إلا أن مؤشر كثافة الطاقة انخفض من 100 إلى 90 في عام 2010 مقارنة بمستوى عام 1992، مما يشير إلى تحسن في كفاءة استخدام الطاقة على الرغم من ارتفاع معدل الاستهلاك. يبين الشكل 1-3 تطور استهلاك الطاقة ومؤشر كفاءة الطاقة في المصافي الأوروبية.

### الشكل 1-3: تطور استهلاك الطاقة ومؤشر كفاءة الطاقة في المصافي الأوروبية (1992-2010)



المصدر: CONCAWE, 2012

كما يحدد مستوى أداء المصفاة بقياس مؤشر كفاءة الطاقة باستخدام أفضل التقنيات Best Technology Energy Performance، ويستخدم لمقارنة كفاءة استهلاك الطاقة في المصافي مع مراعاة الاختلاف في نوع عمليات التكرير، وحجم الطاقة التكريرية، وجودة النفط الخام، وكفاءة مولدات

الطاقة الكهربائية وبخار الماء. عندما تكون قيمة المؤشر 100 فهذا يعني أنها مصفاة مثالية، ولا تتحقق هذه القيمة إلا في المصافي الجديدة المتطورة، فإذا كانت قيمة المؤشر 180 فهذا يعني أن المصفاة تستهلك طاقة بمعدل 80% أعلى من القيمة المثالية. وبناء على ذلك تم تصنيف مصافي العالم حسب قيمة مؤشر كفاءة الطاقة. يبين الجدول 1-1 تصنيف مصافي النفط حسب مؤشر كفاءة الطاقة (Rikhtegar, F., 2015)

#### الجدول 1-1: تصنيف مصافي النفط حسب مؤشر كفاءة الطاقة

مؤشر كفاءة الطاقة %	التقييم	ملاحظات
100	مثالي	لا يمكن أن تصل المصافي القائمة إلى هذه النسبة
149-130	ممتاز	القليل من مصافي العالم تحقق هذه القيمة
179-150	جيد	إدارة جيدة للطاقة
199-180	متوسط	نظام إدارة الطاقة بحاجة إلى انتباه
250-200	ضعيف	تطبيق نظام إدارة الطاقة ضعيف
أعلى من 250	الأضعف	المصفاة كثيفة استهلاك الطاقة

#### 1-4: العوامل المؤثرة في كفاءة الطاقة في مصافي النفط

يؤثر في كفاءة استهلاك الطاقة في صناعة تكرير النفط عوامل عديدة، منها ما هو داخلي، ومنها ما هو خارجي. من العوامل الداخلية نسبة الطاقة التكريرية الفعلية إلى الطاقة التكريرية التصميمية القصوى، وجودة التصميم الهندسي لعمليات التكرير، ومدى تطور التقنيات المتبعة، وتطور أجهزة التحكم بظروف التشغيل. أما العوامل الخارجية فهي نمط الطلب المحلي على المنتجات البترولية، وخصائص اللقيم، والعوامل الجوية كدرجة حرارة الطقس والرطوبة. وفيما يلي أهم العوامل المؤثرة في كفاءة استهلاك الطاقة في مصافي النفط. (Williams, R., 2008)

#### • سهولة الحصول على مصادر الطاقة

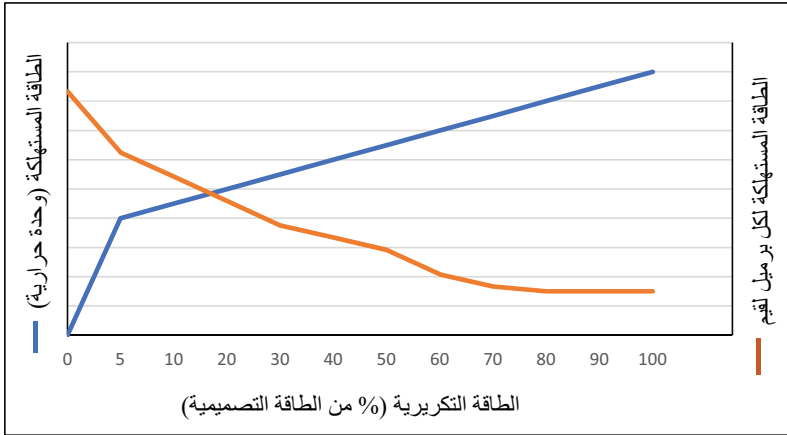
يساهم توفر مصدر آمن للطاقة قريب من موقع المصفاة وبأسعار مقبولة في خفض تكاليف استهلاك الطاقة في المصافي، فعلى سبيل المثال، عندما لا تتوفر إمكانية الحصول

على الغاز الطبيعي من مصدر قريب فإن المصفاة تضطر إلى استخدام بدائل أخرى كزيت الوقود أو الفحم أو النافثا، وهي منتجات مرتفعة التكلفة مقارنة بالغاز الطبيعي، وخصوصاً إذا ما أخذ بعين الاعتبار تكاليف معالجة الانبعاثات الناتجة عن استخدام الوقود لتلبية متطلبات التشريعات البيئية.

### • حجم الطاقة التكريرية للمصفاة

يزداد استهلاك الطاقة في مصفاة النفط بعلاقة خطية مع زيادة الطاقة التكريرية، أما كفاءة استخدام الطاقة فتنحسن كلما ارتفعت نسبة الطاقة التكريرية الفعلية Capacity utilization إلى الطاقة التكريرية التصميمية للمصفاة، أي تنخفض كمية الحرارة المستهلكة لكل برميل نפט خام مكرر كلما اقتربت الطاقة التكريرية الفعلية من الطاقة التصميمية. يبين الشكل 1-4 العلاقة بين الطاقة التكريرية الفعلية ومعدل استهلاك الطاقة في المصفاة.

**الشكل 1-4: العلاقة بين الطاقة التكريرية الفعلية ومعدل استهلاك الطاقة في المصفاة**



المصدر: Williams, R., 2008

كما أن وجود عدة وحدات صغيرة متفرقة لها نفس الغرض يؤدي إلى ارتفاع معدل استهلاك الطاقة مقارنة مع حالة وجود وحدة ذات طاقة إنتاجية عالية تحقق الغاية المرجوة بتكاليف أقل.

## • نمط الطلب على المنتجات البترولية

عند تغيير نمط الطلب على المنتجات البترولية نحو استهلاك الأنواع الخفيفة كالغازولين والمقطرات الوسطى على حساب المنتجات الثقيلة كزيت الوقود تحتاج المصافي إلى رفع طاقة عمليات تحويل مخلفات التقطير الثقيلة إلى منتجات خفيفة، وهي وحدات تستهلك كميات كبيرة من الطاقة.

## • نوع عمليات التكرير

يختلف معدل استهلاك الطاقة في المصفاة تبعاً لنوع عمليات التكرير، فإذا كانت المصفاة تعتمد على عمليات التكسير بالعامل الحفاز المانع فإن استهلاك الطاقة يكون أعلى من المصفاة التي تعتمد على عمليات التفحيم. كما أن عملية التهذيب بالعامل الحفاز بطريقة التنشيط المستمر تستهلك طاقة أقل من عملية التهذيب بالعامل الحفاز بطريقة التنشيط المتقطع. يبين الجدول 1-2 معدل استهلاك الطاقة في عمليات التكرير الرئيسية.

الجدول 1-2: استهلاك الطاقة في عمليات التكرير الرئيسية  
(ألف وحدة حرارية بريطانية/برميل لقيم)

الإجمالي	كهرباء	بخار ماء	وقود	العملية
96	6	10	80	تقطير جوي
100	3	22	75	تقطير فراغي
63.8	1.8	62	0	فصل الغازات
877	15	162	700	تكسير حراري
195	70	45	80	تفحيم موجل
69-/85	57/50	177-/35	51/0	تكسير بالعامل الحفاز المانع*
313	100	13	200	تكسير هيدروجيني
330	50	0	280	تهذيب بالعامل الحفاز بالتنشيط المستمر
430	75	0	355	تهذيب بالعامل الحفاز بالتنشيط المتقطع
87	14	34	39	معالجة هيدروجينية
67	12	23	32	أزمة

\*الرقم الأول عملية قديمة، والرقم اليساري عملية متطورة  
المصدر: Brandao, A., 2011

## • تطور تقنيات التكرير المستخدمة

إن استخدام التقنيات الحديثة المتطورة لعمليات التكرير والتحكم والصيانة يمكن أن يساهم في خفض كمية الطاقة المستهلكة في المصفاة، حيث أن أنشطة البحث والتطوير قد

نجحت في ابتكار تقنيات حديثة ذات فعالية أعلى وتستهلك طاقة أقل. فعلى سبيل المثال، تستهلك عملية التكسير بالعامل الحفاز المائع القديمة حوالي 85 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من اللقيم الداخل إلى الوحدة، بينما تنتج التقنية المتطورة كمية من الحرارة قدرها 69 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من اللقيم، وذلك نتيجة تطوير تقنية الاستفادة من الحرارة الناتجة من حرق الكربون في عملية تنشيط العامل الحفاز في توليد بخار ماء الذي يستخدم في المصفاة.

### • مواصفات المنتجات المطلوبة

عندما تفرض التشريعات البيئية السائدة في البلد التي تعمل فيها المصفاة متطلبات صارمة كخفض محتوى الكبريت في المنتجات البترولية فعندئذ تحتاج المصفاة إلى إضافة عمليات معالجة هيدروجينية جديدة للوصول إلى القيمة المطلوبة، وهذه الوحدات تستهلك طاقة إضافية وترفع من معدل استهلاك الطاقة في المصفاة.

### • نوع النفط الخام المكرر

المصفاة التي تكرر النفوط الثقيلة ذات الجودة المنخفضة تستهلك طاقة أعلى من المصفاة التي تكرر النفوط الخفيفة العالية الجودة، وذلك لأسباب عديدة كالحاجة إلى طاقة أعلى من عمليات المعالجة، أو التكسير لتحويل القطفات الثقيلة إلى منتجات خفيفة عالية الجودة. (Bergh, C., 2012)

### 1-5: معوقات تحسين كفاءة الطاقة في مصافي النفط

على الرغم من أهمية كفاءة الطاقة إلا أن هناك بعض العوامل التي تعيق تطبيق برامج تحسين الأداء يرتبط معظمها بسلوك العاملين في المصفاة، لذلك يجب توجيه الاهتمام نحو تدريب العاملين ودمجهم في دورات تدريبية مكثفة لكي تصبح إجراءات تحسين كفاءة الطاقة في جدول أعمالهم اليومية.



إن عدم القدرة على تأمين التمويل اللازم لتنفيذ مشاريع تحسين كفاءة الطاقة يعتبر من أكثر العوامل المؤدية إلى تفاقم مشكلة زيادة استهلاك الطاقة في مصافي النفط، وخاصة في الدول النامية، فضلاً عن ضعف الخبرة في أسس وكيفية طلب الدعم المالي من المؤسسات المالية المحلية أو الخارجية لتمويل المشروع. (Cagno, E., 2012)

تعود معظم أسباب انخفاض كفاءة الطاقة في المصافي إلى عوامل عديدة، أهمها: (Worrell, E., Corsten, M., & Galitisky, C., 2015)

- جهل معظم القائمين على إدارة المصفاة بأهمية مشكلة نقص كفاءة الطاقة في بعض الوحدات العاملة.
- عدم وجود نظام قياس وتقييم لأداء المعدات، أو خطة لتحسين الأداء.
- عدم وجود قاعدة بيانات لمستويات استهلاك الطاقة في المعدات، وبالتالي غياب المعلومات التي تشير إلى وجود خلل في الأداء.
- تركيز اهتمام الإدارة على القضايا المتعلقة بالمحافظة على معدلات الإنتاج أكثر من قضية تحسين كفاءة الطاقة.
- الخوف من المخاطرة باستبدال تقنيات قديمة تعود المشغلون عليها لفترة زمنية طويلة بأخرى جديدة غير مألوفة.
- غياب منهجية الاستفادة من برامج التدريب والتأهيل، وحصص الفائدة في الأفراد المتدربين بدون تقييم لنتائج التدريب على المؤسسة.
- ترك الأفراد المدربين لمواقع العمل، أو نقلهم إلى مواقع أخرى، مما يضعف الفائدة المرجوة من برامج التدريب.

### 1-6: فوائد تطبيق برنامج تحسين كفاءة الطاقة في صناعة تكرير النفط

على الرغم من أن تطبيق إجراءات تحسين كفاءة استهلاك الطاقة قد يحتاج إلى استثمارات كبيرة، إلا أنها تعتبر من المشاريع المجدية اقتصادياً نظراً لانعكاساتها

الإيجابية العديدة، حيث يمكن أن تصل قيمة التوفير في تكاليف استهلاك الطاقة نتيجة تطبيق برنامج تحسين كفاءة الاستهلاك إلى ملايين الدولارات سنوياً، وذلك تبعاً لحجم المصفاة والوضع القائم قبل تطبيق البرنامج. وهناك فوائد أخرى غير مباشرة تفوق الفائدة الاقتصادية الناتجة عن توفير تكاليف الطاقة، وهي تخفيض كمية الانبعاثات الملوثة للبيئة التي تطلقها المصفاة، وبالتالي تحسين قدرة المصفاة على الالتزام بمتطلبات التشريعات البيئية. (Worrell, E., Corsten, M., & Galitsky, C., 2015) وفيما يلي أهم الفوائد التي يمكن الحصول عليها من تطبيق برنامج تحسين كفاءة الطاقة في مصافي النفط.

### • تحسين هامش الربحية

مع الأخذ بعين الاعتبار معدل الاستهلاك الكبير للطاقة في صناعة تكرير النفط، يمكن إدراك أهمية الإجراءات اللازمة لترشيد الاستهلاك في تحسين هامش الربحية، حيث أن تكلفة الطاقة تمثل 30-50% من تكاليف التشغيل في المصفاة، وبالتالي فإن أي تخفيض في معدل الاستهلاك يساهم بشكل كبير في تحسين الربحية. ولتحديد أثر تطبيق إجراءات تحسين كفاءة الطاقة على هامش ربحية مصافي النفط تم حساب هامش ربحية مصفاة طاقتها التكريرية 100 ألف ب/ي قبل وبعد تطبيق إجراءات تحسين كفاءة الطاقة، وذلك اعتماداً على المعادلة التالية:

هامش الربحية = قيمة المنتجات - تكاليف اللقيم - التكاليف المتغيرة - التكاليف الثابتة

تتكون التكاليف الثابتة من الوقود والعوامل الحفازة والكيماويات وتكاليف عمليات الصيانة، وبالتالي فإن أي خفض في استهلاك الوقود ينتج عنه زيادة في هامش الربحية. فعلى سبيل المثال، قدرت تكاليف استهلاك الطاقة في إحدى المصافي بحوالي 8% من قيمة النفط الخام المكرر ثم انخفضت النسبة إلى 5% بعد تنفيذ مشروع التحسين، أي أن كلفة الوقود انخفضت من 40 مليون دولار في السنة إلى 25 مليون دولار في السنة، وبالتالي فإن إجمالي هامش الربحية قد ارتفع بمقدار 15 مليون دولار في السنة.

(Rikhtegar, F., 2015)

كما قامت شركة يو أو بي الأمريكية UOP في عام 2009 بتقييم نتائج تطبيق برنامج إدارة الطاقة في مصفاة تبلغ طاقتها التكريرية 200 ألف ب/ي، وتتكون من وحدات تقطير جوي وفراغي، ووحدة استرجاع الغازات، ووحدة تكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، ووحدة تهذيب بالعامل الحفاز بطريقة التنشيط المستمر CCR، ووحدة تكسير هيدروجيني، ووحدات معالجة هيدروجينية للمقطرات الوسطى، إضافة إلى الوحدات المساندة. وقد أظهرت نتائج تقييم المشروع أنه أمكن تخفيض استهلاك الطاقة في المصفاة بمعدل 400 مليون وحدة حرارية بريطانية في الساعة، أو ما يعادل 20 مليون دولار في السنة، على أساس سعر برميل النفط 55 دولار، فضلاً عن الفائدة غير المباشرة الناتجة عن تخفيض انبعاث ثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub> المقابلة لكمية الوقود والتي تعادل 569 طن/اليوم وتكافئ قيمتها 6.2 مليون دولار/السنة على أساس 30 دولار للطن. (Wolschlag, et al, 2009)

#### ● تلبية متطلبات التشريعات البيئية

تواجه مصافي النفط ضغوطاً متزايدة مع تطور متطلبات المعايير البيئية الخاصة بمواصفات المنتجات البترولية، كتخفيض نسبة الكبريت، ورفع الرقم الأوكتاني للغازولين. ولكي تتمكن المصافي من تلبية هذه المعايير تحتاج إلى إنشاء عمليات إضافية كوحدة التهذيب بالعامل الحفاز لرفع الرقم الأوكتاني، وعمليات المعالجة الهيدروجينية لتخفيض محتوى الكبريت. وهذه الوحدات الجديدة، والوحدات المساندة لها، تستهلك كميات أعلى من الطاقة مقارنة بما كانت عليه قبل تزايد صرامة التشريعات البيئية. (IPIECA, 2013)

كما تطرح مصافي النفط أنواعاً مختلفة من الانبعاثات الملوثة للبيئة، وبمعدلات تختلف تبعاً لنوع الوقود المستخدم، وتقنيات عمليات التكرير. يبين الجدول 1-3 كمية انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن حرق بعض أنواع الوقود المستخدمة في مصافي النفط. ويمكن خفض كمية الانبعاثات الملوثة

للبيئة من خلال خفض استهلاك الوقود المستخدم أو تغيير نوعه، وبالتالي تحسين قدرة المصفاة على تلبية متطلبات التشريعات الخاصة بحماية البيئة.

### الجدول 1-3: كمية انبعاثات CO2 حسب نوع الوقود

نوع الوقود	كغ CO2/غالون
غاز بترولي مسال LPG	5.79
مقطرات وسطى	10.14
غازولين	8.14
كروسين	9.75
نפט خام	10.29

المصدر: ARB, 2008

### • تحسين كفاءة تطبيق برامج الصيانة

من الفوائد الأخرى لتطبيق برنامج إدارة الطاقة تسهيل عملية تحديد مواعيد تشغيل وتوقيف بعض المعدات لإجراء أعمال الصيانة الدورية، وذلك من خلال ما تقدمه هذه النظم من إمكانية التنبؤ بميزان الطلب على المنتجات البترولية وأوقات ذروة الاستهلاك والإنتاج، وبالتالي يمكن اختيار المواعيد المناسبة لإجراء صيانة بعض المعدات عندما يزداد معدل استهلاكها للطاقة عن الحدود النظامية. (Bergh, C., 2012)

### • تحسين صورة الشركة لدى الجمهور

عندما تلتزم الشركة بتطبيق نظام إدارة الطاقة فإنها تبرهن للجمهور أنها مهتمة بالمحافظة على الثروات الوطنية من خلال تطبيق إجراءات ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها، علاوة على حرصها على حماية البيئة من التلوث.

### • خلق فرص عمل جديدة

تساهم إجراءات تحسين كفاءة الطاقة في خلق فرص عمل مباشرة وغير مباشرة ناتجة عن الحاجة إلى يد عاملة لتنفيذ الأعمال اللازمة لتطوير المعدات أو تركيب معدات جديدة. أما الوظائف غير المباشرة فتنشأ عن الخدمات اللازمة لدعم أعمال تصنيع معدات توفير الطاقة وغيرها... (Fawkes, S., Oung, K., & Thorpe, D., 2016)

## الفصل الثاني

### فرص تحسين كفاءة الطاقة في صناعة تكرير النفط

كما في معظم الصناعات الأخرى، لا يمكن الوصول إلى قيمة مثالية لكفاءة الطاقة في صناعة التكرير خلال فترة زمنية محددة، إنما هي عملية مستمرة تحتاج إلى تضافر كافة الإمكانيات من الهندسة الابتكارية، والإدارة الجيدة للموارد المتاحة، والتوظيف الأمثل للاستثمارات.

لا توجد طريقة واحدة، أو تقنية معينة يمكن الاعتماد عليها لتعظيم كفاءة الطاقة، إنما لكل منشأة خصوصيتها التي تفرض حلولاً قد تختلف كلياً أو جزئياً عن الحلول المطبقة في منشأة أخرى مشابهة لها في طبيعة الأعمال. (Rossiter, P., Jones, P., 2015)

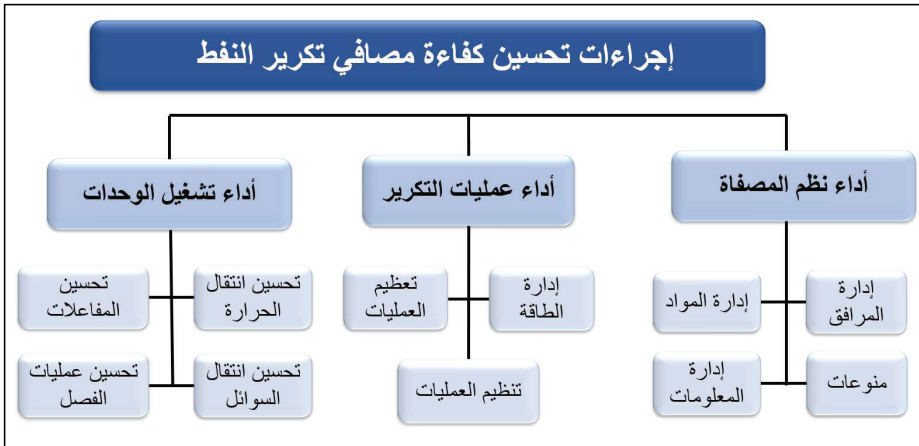
ترتكز عملية تحسين كفاءة الطاقة في صناعة تكرير النفط على مجموعة من الاستراتيجيات الأساسية، كتطوير عمليات التكرير بهدف تطبيق تقنيات حديثة تساهم في خفض استهلاك الطاقة، إضافة إلى إجراء مقارنة مرجعية لتحديد مواطن الضعف والبحث عن الحلول المناسبة، إلى جانب تنظيم حملات توعية لتعزيز الوعي بأهمية ترشيد استهلاك الطاقة. (IPIECA, 2013)

تعتبر طريقة المقارنة المرجعية Benchmarking إحدى أدوات إدارة الطاقة في المنشآت الصناعية، حيث تقوم بعض مراكز الأبحاث بإجراء مسح استقصائي لمجموعة متنوعة من المنشآت المتماثلة، باستخدام مؤشرات قياس الأداء التشغيلي والاقتصادي، وتستخدم النتائج لتحديد القيم المثالية لظروف التشغيل واختيار الوسائل المناسبة لتحسين الأداء. فعلى سبيل المثال، تستخدم في مصافي النفط مؤشرات قياس مختلفة كحجم الطاقة التكريرية، ودرجة التعقيد التكنولوجي أو مؤشر تعقيد نيلسون Nelson Complexity Index، ونوع النفط الخام المكرر، وذلك بهدف تحديد القيم المرجعية لمعدلات استهلاك الطاقة

في كل جزء من أجزاء المصفاة للاستفادة منها في تقييم أداء المصافي مقارنة بالمصافي الأخرى المماثلة، وتحديد العوامل المساعدة على خفض استهلاك الطاقة، وصياغة الأهداف، واختيار المشاريع الأنسب لخفض استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها. (IPIECA, 2013)

تصنف فرص تحسين كفاءة الطاقة تبعاً لطريقة التنفيذ إلى ثلاث مجموعات الأولى مجموعة التصنيف حسب الدوائر، حيث توزع الفرص تبعاً للمواقع القريبة من بعضها جغرافياً. وتعتمد المجموعة الثانية على الإطار الزمني للتنفيذ، فهي إما على المدى القريب أو المتوسط أو البعيد. أما المجموعة الثالثة فتعتمد على فرز إجراءات تحسين الأداء حسب الأنشطة إلى معدات، وعمليات تكرير، والوحدات مساندة. يبين الشكل 1-2 تصنيف إجراءات تحسين كفاءة الطاقة في مصافي تكرير النفط.

**الشكل 1-2: تصنيف إجراءات تحسين كفاءة الطاقة في مصافي النفط**



المصدر: Morrow, W., et al., 2013

لكل طريقة من طرق التصنيف ميزات وسلبيات، حيث أن معظم الشركات تفضل التوزيع الجغرافي حسب الدوائر باعتبارها تتبع إدارياً إلى منظومة واحدة، كما أن التصنيف الزمني يساهم في ترتيب أوليات التنفيذ حسب أهمية الفرص. أما التصنيف حسب الأنشطة فيتميز بمرونة استخدام الأدوات

والموارد والبرامج اللازمة لتطبيق الفرص. وقد تلجأ بعض المنظمات إلى اعتماد الطرق الثلاث عند تنفيذ برنامج تحسين كفاءة الطاقة، أو تحديد الموارد المادية والبشرية التي سيتم استخدامها، وذلك بهدف الحصول على الفوائد التي تمنحها كل طريقة.

وبما أن لكل مصفاة خصائصها وظروفها المختلفة عن المصافي الأخرى، فإنه لا بد من اختيار فرص تحسين كفاءة الطاقة على أساس الواقع الفعلي، ودراسة الظروف المحيطة بالمصفاة بدقة وموضوعية.

(Rossiter, P., & Jones, P., 2015)

بشكل عام يمكن تحسين كفاءة الطاقة حسب تصنيف الدوائر والأقسام من خلال تطبيق أربعة فئات مختلفة من الإجراءات، كتحسين ظروف التشغيل، أو تحسين عمليات الصيانة، أو تعديل التصاميم الهندسية، أو استخدام التكنولوجيا الحديثة. وكل فئة من هذه الفئات تتبع لدائرة أو قسم مختلف كإدارة العمليات، أو إدارة الصيانة، أو إدارة البحث والتطوير.

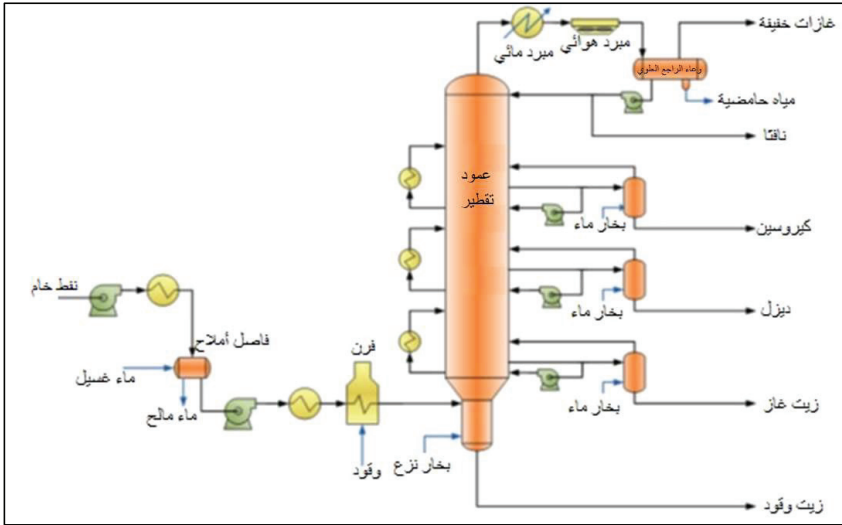
كما تتوزع نسب فرص تحسين كفاءة الطاقة في مصافي النفط من حيث المواقع المحتملة في كل من الوحدات المساندة كمولدات البخار ومحطات توليد الطاقة الكهربائية، وفي أفران العمليات، وتعظيم ظروف تشغيل وتحسين أداء عمليات التكرير، وتحسين التكامل في المبادلات الحرارية. تتباين هذه المواقع فيما بينها من حيث حجم التكاليف اللازمة لتنفيذ فرص تحسين كفاءة الطاقة، وتصنف الوحدات المساندة والمبادلات الحرارية وأفران العمليات بأنها المواقع التي تحتاج فرص تحسين كفاءة الطاقة فيها إلى تكاليف منخفضة مقارنة بالمواقع الأخرى. وفيما يلي أهم إجراءات تحسين كفاءة الطاقة في عمليات مصافي تكرير النفط.

## 1-2: تقطير النفط الخام Crude Distillation

يدخل النفط الخام بعد معالجته في فاصل الأملاح إلى فرن لرفع درجة حرارته إلى 350°م ليدخل بعد ذلك إلى عمود تقطير، حيث يفصل إلى عدة منتجات حسب درجة الكثافة.

تتشكل في وعاء راجع أعلى عمود التقطير Reflux Drum غازات غير قابلة للتكثيف تسمى غازات وقود المصفاة، تتكون بشكل رئيسي من الميثان، والإيثان، وكبريتيد الهيدروجين، والأمونيا. تسحب هذه الغازات إلى وحدة معالجة الغازات الحامضية Sour Gas Treatment، لنزع المركبات الكبريتية منها، ثم تحول بعد ذلك إلى شبكة الوقود الغازي لتستخدم كوقود في أفران عمليات التكرير. يبين الشكل 2-2 مخطط سير عملية التقطير الجوي.

الشكل 2-2: مخطط سير عملية التقطير الجوي



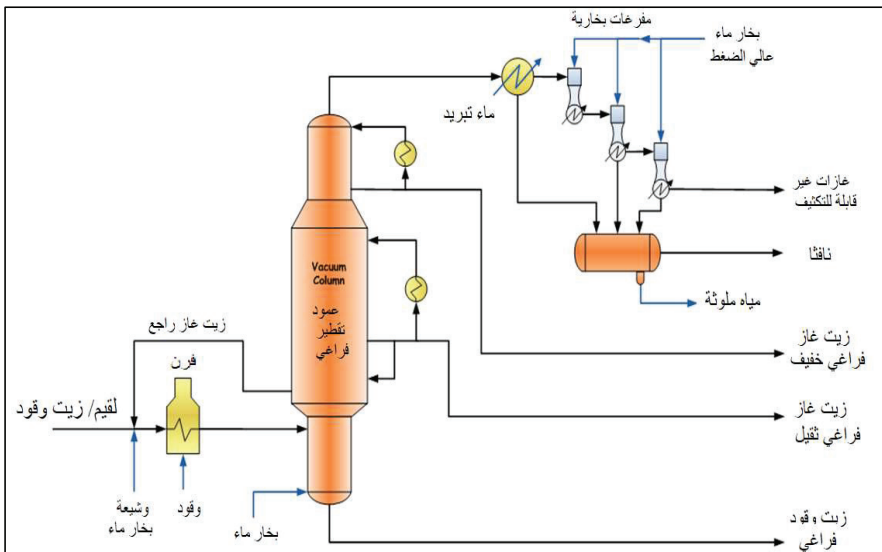
أما وحدة التقطير الفراغي فتستخدم لتجزئة المخلفات الناتجة من قاع عمود التقطير الجوي، وذلك للحصول على منتجات أخف كقطفات زيت الغاز الفراغي الخفيف والثقيل Light and Heavy Vacuum Gas Oil، والتي



تطبق عليها عمليات لاحقة لإنتاج زيوت التزيت Lube Oils، أو تستخدم كلقيم في وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC. وتعتمد نظرية الفصل تحت الضغط الفراغي على مبدأ تخفيض درجة غليان المخلفات الثقيلة إلى قيمة تتراوح بين 380م° إلى 405م°، وهي الدرجة التي لا يحدث فيها تغيرات كيميائية أو تفاعلات تكسير للمركبات الهيدروكربونية، ولتفادي تشكل الفحم الذي يؤدي إلى انسداد أنابيب الفرن والأجزاء الداخلية لعمود التقطير والمبادلات الحرارية يتم تخفيض ضغط برج التقطير الفراغي عن طريق مجموعة من مفرغات بخارية Steam Ejectors أو مكثفات بارومترية.

تسحب المخلفات الثقيلة لعملية التقطير الفراغي من قاع عمود التقطير لتجرى عليها عمليات تحويلية لاحقة كالتفحيم وتكسير اللزوجة... وذلك للحصول على أعلى نسبة من المنتجات الخفيفة. كما تسحب الغازات غير القابلة للتكثيف إلى وحدات معالجة الغازات الحامضية لمعالجتها قبل استخدامها في شبكة الوقود الغازي في المصفاة. وقد تحرق في الشعلة عندما تكون كميتها قليلة. يبين الشكل 2-3 مخطط سير عملية التقطير الفراغي.

**الشكل 2-3: مخطط سير عملية التقطير الفراغي**

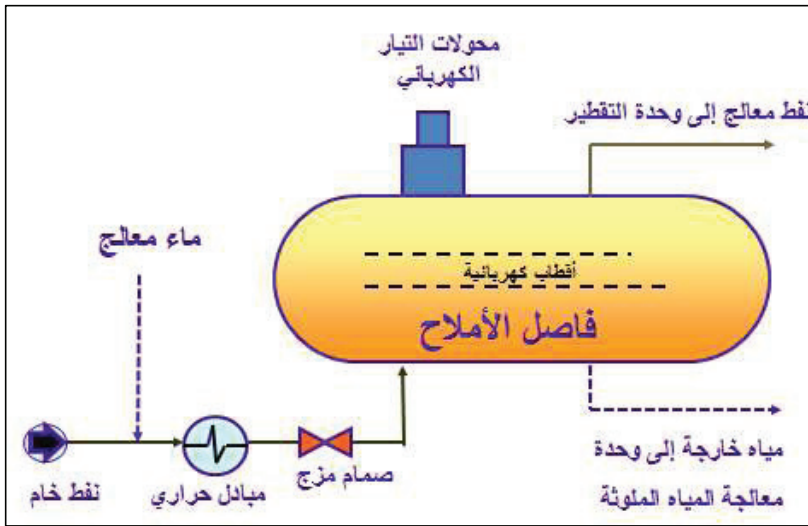


تعتبر عملية تقطير النفط الخام من أكبر مراكز استهلاك الطاقة في مصافي تكرير النفط، حيث تمثل حوالي 22% من إجمالي الطاقة المستهلكة في المصفاة. وفيما يلي أهم الخيارات الممكنة لتحسين كفاءة الطاقة في وحدة تقطير النفط الخام.

### • تحسين أداء فاصل الأملاح

يتكون فاصل الأملاح من وعاء يحتوي على أقطاب كهربائية يركب على خط النفط الخام الداخل إلى وحدة التقطير لنزع الأملاح والرواسب من النفط قبل دخولها إلى أوعية الوحدة. يبين الشكل 4-2 مخطط فاصل الأملاح الكهربائي من النفط الخام.

الشكل 4-2: مخطط فاصل الأملاح الكهربائي من النفط الخام



ويمكن تخفيض استهلاك الطاقة في فاصل الأملاح من خلال الإجراءات

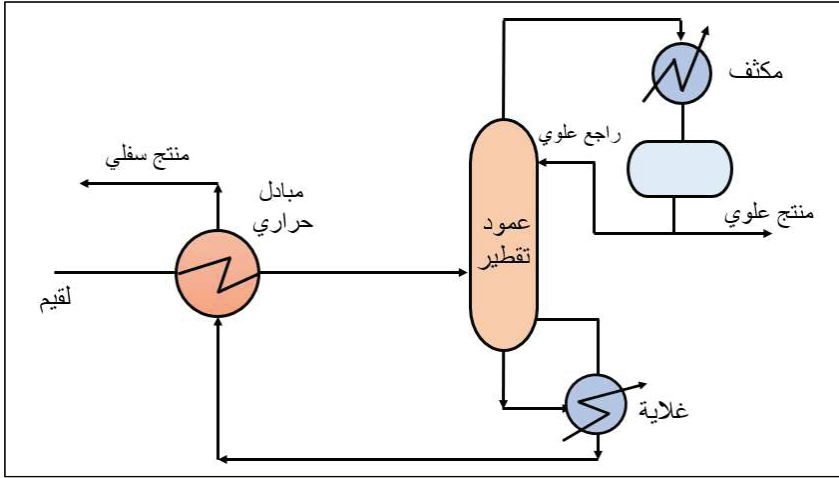
التالية:

- تحسين كفاءة الأقطاب الكهربائية بإجراء الكشف الدوري عليها للتأكد من عدم وجود تشوهات أو اهتراءات، إضافة إلى الكشف على محولات التيار الكهربائي وملحقاتها.
- ضبط كمية المياه المعالجة المحقونة عند القيمة المثالية، فزيادة الكمية أحياناً عن الحد المطلوب تؤدي إلى تراجع كفاءة فصل الأملاح من النفط الخام.
- التأكيد على ضرورة ترقيد النفط الخام مدة كافية من الزمن في الخزانات الأولية لضمان أقل نسبة ممكنة من المياه المرافقة للنفط الخام قبل إدخاله إلى فاصل الأملاح.
- الكشف على العازل الحراري لوعاء فاصل الأملاح وخطوط الأنابيب المرتبطة به، وذلك لتفادي ضياع حرارة النفط الخام إلى الجو.

#### ● تنظيم نسبة راجع أعلى برج التقطير

يلجأ بعض المشغلين إلى تثبيت كمية الراجع العلوي لعمود التقطير Overhead Reflux عند قيمة عالية، بغض النظر عن معدل اللقيم الداخل إلى العمود وظروف التشغيل الأخرى. فعندما تزداد كمية الراجع، دون تغيير في تركيب مكونات المادة الراجعة، تتحسن عملية الفصل في البرج، وتنخفض نسبة المواد الثقيلة في المنتج العلوي، وبالتالي تزداد كمية المنتج السفلي، ونتيجة لذلك تتحسن قيمة المنتج، إلا أن هذه الزيادة ليست خطية، حيث أنها تبدأ بالتناقص عندما تصل كمية المادة المارة عبر مسخن أسفل عمود التقطير إلى معدل يتطلب عنده طاقة حرارية إضافية للتسخين، مما يشكل هدراً للطاقة دون فائدة. ولتفادي هذه المشكلة وضمان تخفيض استهلاك الطاقة في عمود التقطير إلى الحد الأدنى، مع المحافظة على جودة مواصفات المنتجات، يجب تنظيم كمية الراجع عند القيمة المثالية بدقة عالية، وذلك باستخدام أجهزة قياس وتحكم متطورة. يبين الشكل 2-5 مخطط مكونات عمود التقطير وملحقاته.

الشكل 2-5: مخطط مكونات عمود التقطير وملحقاته



#### • الالتزام بالحد المطلوب لفصل المنتجات

قد يكون أسلوب رفع درجة نقاوة المنتجات Purity إلى أعلى من الحد المطلوب أمراً جيداً في بعض الحالات، إلا أنه في حالات عديدة يؤدي إلى زيادة غير مبررة في استهلاك الطاقة، فعندما تكون النقاوة المطلوبة 95% ويرفعها المشغل إلى 98% فهذا يؤدي إلى زيادة نسبة راجع أعلى عمود التقطير عن القيمة المطلوبة، وبالتالي زيادة الحمل الحراري على مسخن أسفل عمود التقطير وارتفاع في استهلاك الطاقة دون فائدة.

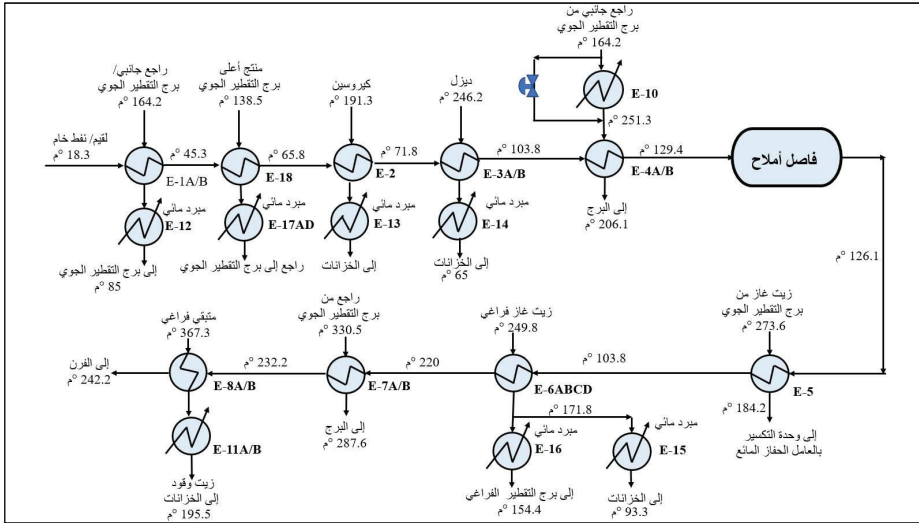
#### • تحسين التكامل الحراري

يستفاد من الحرارة الكامنة في المنتجات الخارجة من عمود التقطير في تسخين النفط الخام الداخل إلى الفرن بواسطة التبادل الحراري بين النفط الخام وخطوط المواد البترولية المراد تبريدها، فتتخفض بذلك كمية الوقود المستهلكة في الفرن من خلال رفع درجة حرارة النفط الخام، فضلاً عن توفير في مقدار تكلفة إنشاء الفرن نتيجة تخفيض حجمه. كما يستفاد من عملية التكامل في توفير الطاقة اللازمة لتبريد المنتجات من خلال نقلها إلى النفط الخام. قد يتغير معدل

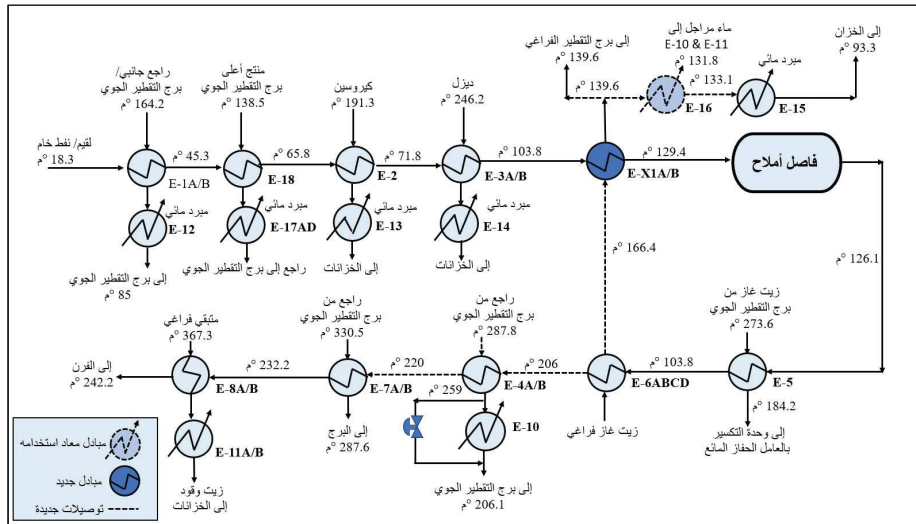
التبادل الحراري نتيجة حدوث تعديلات في الوحدة كتغيير نوع النفط الخام المكرر، فعلى سبيل المثال، لوحظ في وحدة تقطير طاقتها 90 ألف ب/ي إمكانية رفع درجة حرارة النفط الخام الداخل إلى الفرن بمقدار 10°م، أو ما يعادل 14 ألف وحدة حرارية بريطانية في الساعة، وذلك بإجراء التعديلات التالية:

- نقل المبادل E-4A/B من موقعه السابق الذي كان يستخدم لرفع درجة حرارة النفط الخام قبل دخوله إلى فاصل الأملاح بالتبادل مع المرجع الداخلي لبرج التقطير الجوي، إلى ما بعد المبادل الحراري E-6 A/B
  - إضافة مبادل حراري جديد E-X1A/B للاستفادة من حرارة المرجع الجانبي لبرج التقطير الفراغي في رفع درجة حرارة النفط الخارج من المبادل E6-A/B
  - تعديل حجم المبادل الحراري E-10 لرفع طاقته الحرارية بمقدار 10.1 ألف وحدة بريطانية في الساعة.
  - الاستغناء عن المبادل الحراري E-16 وتحويله إلى مبادل احتياطي لتسخين مياه تغذية المراجل البخارية وتبريد زيت الغاز الفراغي المنتج قبل دخوله إلى E-15.
- بلغت تكلفة التعديل حوالي 3.3 مليون دولار أمريكي، وساهم في توفير حوالي 1.06 مليون دولار أمريكي في السنة، أي أن زمن استرداد رأس المال يعادل 3.1 سنة. (Rossiter, P., & Jones, P. 2015) **يبين الشكل 2-6** سلسلة المبادلات الحرارية لتسخين النفط في وحدة التقطير قبل التعديل. كما **يبين الشكل 2-7** سلسلة المبادلات الحرارية لتسخين النفط في وحدة التقطير بعد التعديل.

**الشكل 2-6: سلسلة المبادلات الحرارية لتسخين النفط الخام في وحدة التقطير قبل التعديل**



**الشكل 2-7: مخطط سلسلة المبادلات الحرارية لتسخين النفط الخام في وحدة التقطير بعد التعديل**



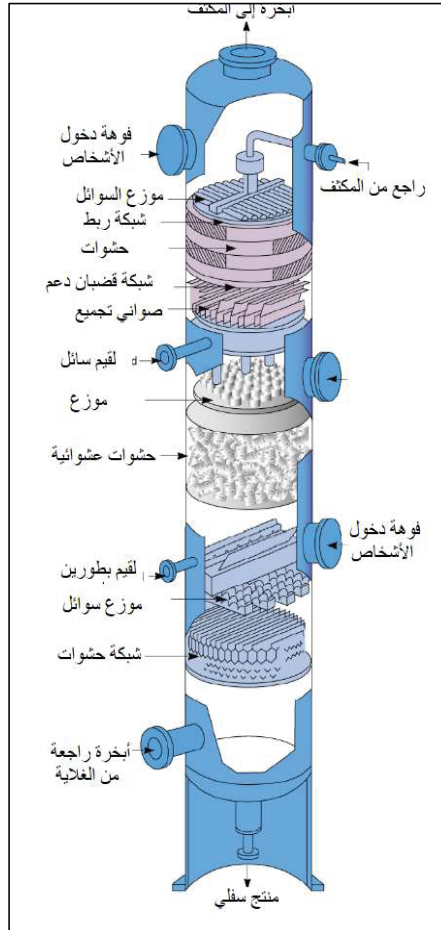
**• تعديل الأجزاء الداخلية لعمود التقطير**

تؤثر جودة الأجزاء الداخلية لعمود التقطير على معدل استهلاك الطاقة. فعلى سبيل المثال، عندما تتحطم بعض أجزاء من الصواني أو المجمعات

تنخفض كفاءة الفصل، ويزداد فرق الضغط عبر العمود، مما يستوجب تشغيل العمود بنسبة راجع علوي مرتفعة، وبالتالي ترتفع تكاليف الطاقة المستهلكة. ولتفادي هذه المشكلة ينصح بإجراء فحص دوري للكشف عن الأعطال وإصلاحها، أو استبدال الأجزاء الداخلية القديمة بأنواع متطورة عالية الأداء يمكن من خلالها الحصول على كفاءة فصل عالية بنسبة راجع أقل، وبفرق ضغط عبر العمود أدنى، مما يساعد على تخفيض معدل استهلاك الطاقة. وبين

**الشكل 2-8** مخطط الأجزاء الداخلية لعمود التقطير بحشوات متطورة.

**الشكل 2-8:** مخطط الأجزاء الداخلية لعمود التقطير بحشوات متطورة



### • ضبط معدل حقن بخار الماء في برج النزع Stripper

يحقن بخار الماء في أبراج النزع لتعزيز فصل المركبات الهيدروكربونية الخفيفة عن السائلة، إضافة إلى تعديل خصائص المنتج، كدرجة الاشتعال أو درجة بداية الغليان. إن استعمال كمية زائدة من البخار أو رفع درجة حرارته إلى قيمة عالية قد لا يكون مفيداً، بل يعتبر شكلاً من أشكال هدر الطاقة. ويمكن الاستعاضة عن جزء كبير من كمية بخار النزع بتعديل ظروف تشغيل البرج، كتغيير معدل سحب المنتج أو تعديل درجة حرارة الصينية التي يسحب منها المنتج، وبالتالي يمكن للمشغل أن يضبط كمية بخار الماء عند القيمة المثالية بأقل استهلاك ممكن من الطاقة.

### 2-2: عملية التفحيم المؤجل Delayed Coking

تعتبر عملية التفحيم إحدى عمليات تحويل مخلفات التقطير الفراغي الثقيلة إلى مشتقات خفيفة، وينتج عنها فحم بترولي يستخدم كوقود في محطات توليد الطاقة الكهربائية، أو لصناعة الأقطاب الكهربائية.

يدخل اللقيم أولاً إلى برج تقطير لنزع المركبات الخفيفة منه، ثم تسحب المركبات الثقيلة من قاع البرج لتسخن في فرن إلى حوالي 500°م، ثم تحول إلى الوعاء الذي يتشكل فيه الفحم. وعندما يمتلئ الوعاء يحول اللقيم إلى وعاء آخر فارغ، ثم يفرغ الوعاء الأول، وتتم العملية بشكل دوري. أما الأبخرة الساخنة المنطلقة من أعلى وعاء الفحم فتحول إلى برج تقطير لفصلها إلى مقطرات تطبق عليها عمليات معالجة لاحقة. يبين الشكل 2-9 مخطط سير عملية التفحيم المؤجل.

يمكن تحسين كفاءة الطاقة في وحدة التفحيم المؤجل من خلال الإجراءات التالية:

### • خفض كمية الحرارة اللازمة للتسخين

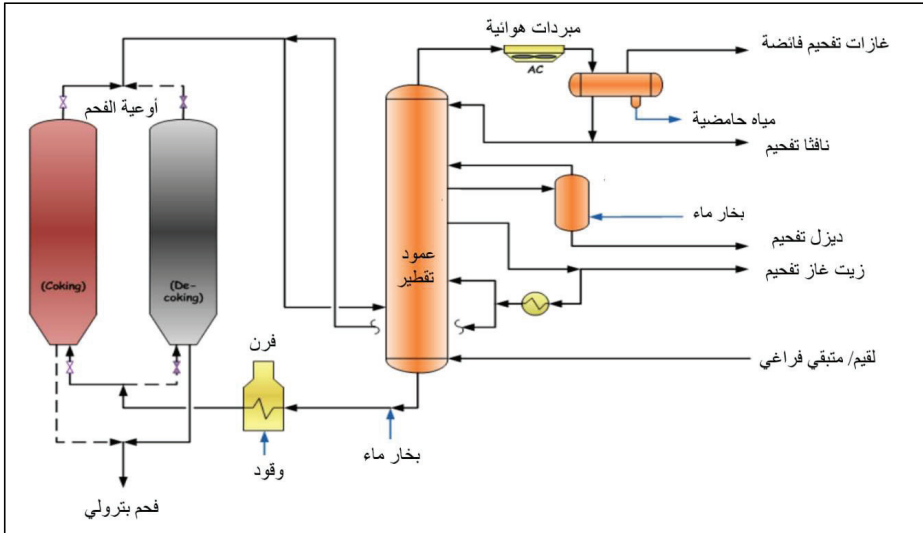
يمكن خفض كمية الحرارة اللازمة للتسخين في عملية التفحيم من خلال تطبيق

مجموعة من الإجراءات، أهمها:



- تحسين التكامل الحراري
- تركيب مبرد لمنتج أعلى عمود التقطير لخفض درجة حرارة المادة الداخلة إلى المكثف
- استخدام أجزاء داخلية ذات كفاءة فصل عالية في عمود التقطير
- تعظيم نسبة اللقيم القادم إلى وحدة التفحيم من وحدة التقطير الفراغي مباشرة، وخفض نسبة اللقيم القادم من الخزانات، للاستفادة من حرارة اللقيم قبل تبريده في الخزانات.

### الشكل 2-9: مخطط سير عملية التفحيم المؤجل



### ● خفض معدل استهلاك وقود الأفران

تستهلك أفران التسخين في عملية التفحيم المؤجل كمية كبيرة من الوقود، وقد يزداد معدل الاستهلاك عن اللقيم التصميمية بتأثير عوامل عديدة، أهمها ترسب الفحم على الجدران الداخلية لأنابيب مرور اللقيم عبر الفرن فيشكل طبقة عازلة تعيق انتقال الحرارة عبر الأنابيب، فتزداد كمية الوقود اللازمة للوصول إلى درجة الحرارة

المطلوبة للقيم الخارج من الفرن. يبين الشكل 2-10 طبقة الفحم المترسبة على السطح الداخلي لأنابيب فرن التفحيم المؤجل.

الشكل 2-10: طبقة الفحم المترسبة على السطح الداخلي لأنابيب فرن التفحيم المؤجل



المصدر: Ramasamy, M., & Deshannavar, U., 2016

كما يمكن خفض استهلاك الوقود في أفران عملية التفحيم المؤجل بتطبيق الإجراءات التالية:

- تركيب حراقات عالية الكفاءة
- تركيب أجهزة متطورة للتحكم بنسبة هواء الاحتراق
- تركيب مسخن أولي لهواء الاحتراق قبل دخوله إلى حراقات الفرن.
- تحسين العزل الحراري لجدران الفرن والأنابيب الخارجة والداخلية لتفادي فقد الحرارة إلى الجو.

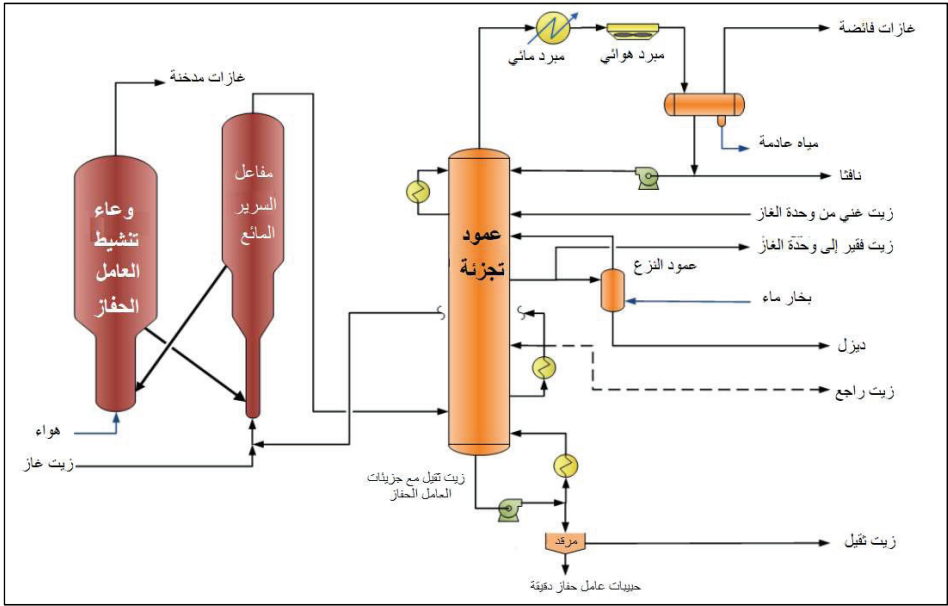
### 2-3: عملية التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC- Fluidized Catalytic Cracking

تصنف عملية التكسير بالعامل الحفاز المائع في فئة العمليات التي تحول المنتجات الثقيلة إلى مشتقات خفيفة عالية القيمة، وذلك من خلال تفاعلات التكسير الحراري للجزيئات الثقيلة إلى جزيئات صغيرة بوجود عامل حفاز داخل مفاعل.

يجري التلامس بين اللقيم الساخن والعامل الحفاز داخل المفاعل، ويكون العامل الحفاز على شكل حبيبات دقيقة، بحيث يكتسب العديد من خصائص المائع

عند اختلاطه بالأبخرة. يفصل بعد ذلك العامل الحفاز من الأبخرة الهيدروكربونية المتفاعلة، وتزال أي كمية من الزيت المتبقي على سطح العامل الحفاز بواسطة بخار ماء النزع Stripping steam. بعد ذلك تؤخذ نواتج التكسير إلى برج تقطير حيث يتم فصلها إلى عدد من المنتجات حسب الرغبة. أما العامل الحفاز فيؤخذ إلى وعاء منفصل لتنشيطه بحرق الفحم المترسب على سطحه. **الشكل 2-11** مخطط سير عملية التكسير بالعامل الحفاز المائع.

**الشكل 2-11: مخطط سير عملية التكسير بالعامل الحفاز المائع**



وفيما يلي أهم فرص ترشيد استهلاك الطاقة في عملية التكسير بالعامل الحفاز المائع:

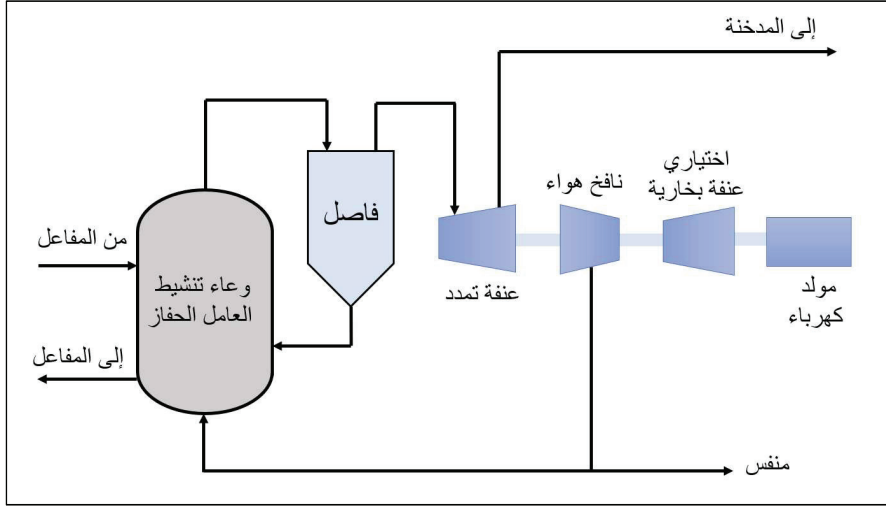
#### • تركيب منظومة استرجاع الطاقة من غازات تنشيط العامل الحفاز

ينتج عن عملية تنشيط العامل الحفاز كمية كبيرة من الطاقة الكامنة في غازات احتراق الكربون المترسب على سطح حبيبات العامل الحفاز، ويمكن الاستفادة من هذه

الحرارة في توليد بخار ماء أو طاقة كهربائية تساهم في تحسين كفاءة الطاقة في المصفاة. (Pellegrino, J., 2007)

تتكون المنظومة من آلة تمدد الغازات الساخنة Hot Gas Expander، ونافخ هواء Air Blower، وعنفه بخارية تستخدم أثناء فترة إقلاع المنظومة، ومولد للطاقة الكهربائية، وعلبة مسننات لنقل الحركة Gear Box. **الشكل 2-12** يبين منظومة استرجاع الطاقة من غازات تنشيط العامل الحفاز في وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع. (Wolschlag, et al., 2009)

**الشكل 2-12: منظومة استرجاع الطاقة من غازات تنشيط العامل الحفاز في وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع (FCC)**



المصدر: Wolschlag, et al, 2009

تساهم منظومة استرجاع الطاقة من غازات تنشيط العامل الحفاز في تخفيض استيراد الطاقة الكهربائية من الشبكة العامة، أو تخفيض حمل وحدات التوليد القائمة في المصفاة بمعدل يمكن أن يصل إلى 3 ميغاوات ساعة تبعاً لطاقة الوحدة ونوع النفط الخام المكرر في المصفاة. (Santner, C., 2013)

### • تركيب مبرد للعامل الحفاز

يمكن الاستفادة من الحرارة الناتجة عن تفاعلات التكسير في توليد بخار الماء وتحويله إلى الشبكة العامة، وذلك بتركيب مبادل حراري يسمى مبرد العامل الحفاز. ويساهم هذا المبرد في تحسين مرونة الوحدة في استقبال لقيم بدرجة كثافة ونسبة راسب كربون أعلى، حيث يمكن التحكم بدرجة حرارة العامل الحفاز التي تتغير تبعاً لنسبة راسب الكربون في اللقيم.

قدرت كمية الطاقة الحرارية المتولدة من تركيب مبرد العامل الحفاز في إحدى المصافي البريطانية بحوالي 65 مليون وحدة حرارية بريطانية في الساعة، أو ما يعادل 25 طن/الساعة من بخار الماء، وتعادل أيضاً 210 ألف دولار في السنة وزمن استرداد رأس المال سنتين فقط، وذلك في وحدة طاقتها الإنتاجية 70 ألف ب.ي. (Venkatesan, V., Jordanova, N., 2003)

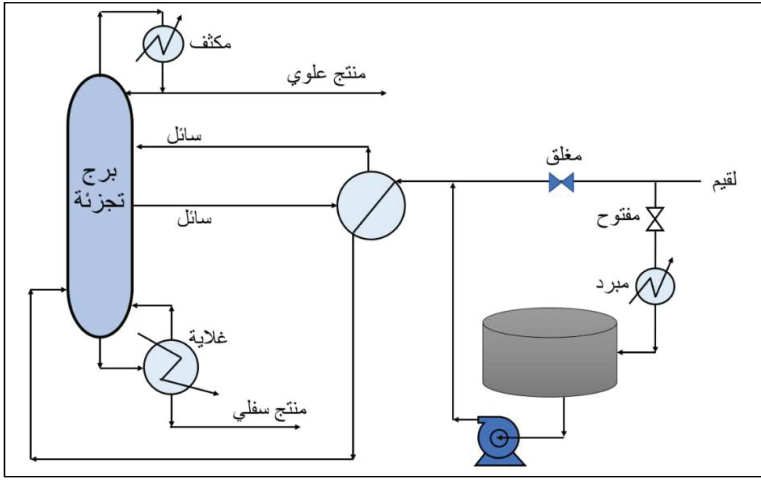
### • إدخال اللقيم الساخن

تصمم معظم وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع بشكل تستقبل اللقيم من خزانات وسطية، وذلك لتفادي توقف الوحدة عند حدوث طارئ في الوحدات المنتجة للقيم، والاستفادة من برودة اللقيم في نزع الحرارة من الراجع الوسطي Pump around reflux، إلا أن هذه الطريقة تسبب هدراً كبيراً للطاقة.

كان الاعتقاد لدى المشغلين في إحدى المصافي أن إدخال اللقيم الساخن مباشرة دون المرور عبر الخزان الوسطي يؤدي إلى إضعاف قدرة المبادل الحراري على نزع الحرارة من الراجع الوسطي، إلا أن المراجعة الدقيقة للتصاميم الهندسية وظروف التشغيل أكدت إمكانية رفع درجة حرارة اللقيم دون أن تتأثر طاقة المبادل الحراري أو ظروف عمل برج التقطير. وقد أدى هذا التعديل البسيط في ظروف التشغيل إلى توفير ما يعادل 600 ألف دولار أمريكي في السنة، دون الحاجة إلى دفع أية تكاليف استثمارية، حيث لم تتطلب العملية سوى إغلاق الصمام الداخل إلى خزان اللقيم والمبرد وفتح الصمام على الخط الجانبي الذي

يسمح بدخول اللقيم الساخن مباشرة إلى المبادل الحراري. يبين الشكل 2-13 مخطط دخول اللقيم الساخن إلى عملية التكسير بالعامل الحفاز المائع.

الشكل 2-13 : مخطط دخول اللقيم إلى عملية التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC

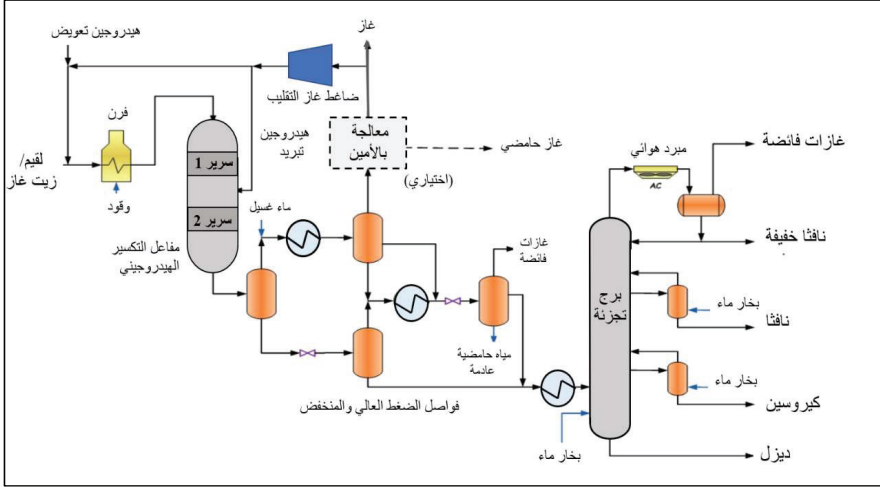


#### 4-2: عملية التكسير الهيدروجيني Hydrocracking

تتم عملية التكسير الهيدروجيني في مفاعل ذي سرير ثابت Fixed bed تحت ضغط مرتفع ودرجة حرارة تصل إلى حوالي 400°م بوجود الهيدروجين.

تتميز عملية التكسير الهيدروجيني بارتفاع قيم ظروف التشغيل (ضغط درجة حرارة) التي تتم فيها تفاعلات التكسير بوجود الهيدروجين، لذلك يرتبط الجزء الرئيسي من استهلاك الطاقة في هذه العملية بتسخين، وضخ، ورفع ضغط السائل إلى القيم المناسبة لتفاعلات التكسير في المفاعل. كما تستهلك الوحدة كمية كبيرة من الطاقة للتغلب على فرق الضغط عبر المفاعل الذي ينتج عن تجمع الرواسب على سطح العامل الحفاز، وعلى الأجزاء الداخلية للمفاعل، وبالتالي يرتفع استهلاك الطاقة اللازمة لرفع ضغط السوائل المارة عبر المفاعل. يبين الشكل 2-14 مخطط سير عملية التكسير الهيدروجيني.

## الشكل 2-14: مخطط سير عملية التكسير الهيدروجيني



لتخفيض استهلاك الطاقة في وحدات التكسير الهيدروجيني تتوجه الجهود

نحو تنفيذ الإجراءات التالية:

- اختيار عوامل حفازة متطورة

يمكن خفض استهلاك الطاقة الناتجة عن ارتفاع فرق الضغط عبر المفاعل باختيار أنواع متطورة من العوامل الحفازة مقاومة لتوضع الرواسب الكربونية. كما يمكن اختيار أنواع وتصاميم متطورة للأجزاء الداخلية في المفاعل تساعد على منع تجمع الرواسب في مناطق تؤدي إلى حدوث الانسداد، وبالتالي ارتفاع الضغط المعيق لمرور السوائل. (Beaubien, R., 2009)

- تحسين التكامل الحراري

بما أن تفاعلات التكسير ناشرة للحرارة Exothermic فإنه يمكن الاستفادة منها في تسخين اللقيم بواسطة المبادلات الحرارية لتخفيض الحمل على الفرن الذي يستهلك كمية كبيرة من الوقود. وقد أكدت التجارب العملية أن تحسين التكامل الحراري يمكن أن يخفض استهلاك الطاقة في الوحدة بمعدل 30-50%،

وذلك من خلال إضافة مبادلات حرارية جديدة أو توسيع سطح التبادل الحراري للمبادلات القائمة في الوحدة العاملة.

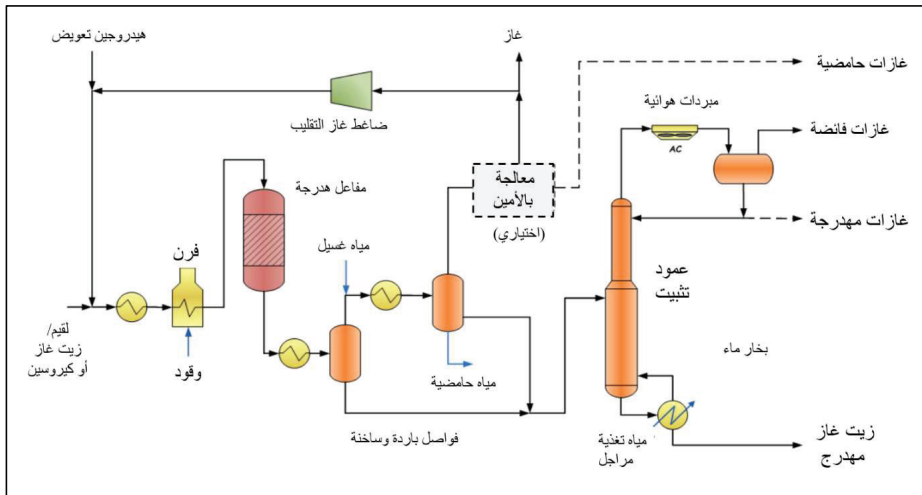
### • استخدام عنفات استرجاع الطاقة الهيدروليكية

يمكن استرجاع الطاقة الكامنة في بعض الخطوط العالية الضغط باستخدام عنفات تستخدم لتدوير معدات ميكانيكية بقوة تمدد السوائل من الضغط العالي إلى الضغط المنخفض، وتوصل هذه المعدات بمولد للطاقة الكهربائية. وتعتبر هذه الطريقة مجدية اقتصادياً في وحدة التكسير الهيدروجيني نظراً لأن المفاعل في هذه الوحدة يعمل تحت قيم ضغط عالية.

### 5-2: عملية المعالجة الهيدروجينية Hydrotreating

تعتمد عملية المعالجة الهيدروجينية على مبدأ نزع الكبريت من المشتقات البترولية باستخدام الهيدروجين بوجود عامل حفاز Catalyst داخل مفاعل الهدرجة. يبين الشكل 15-2 سير عملية المعالجة الهيدروجينية للمقطرات الوسطى.

الشكل 15-2: سير عملية المعالجة الهيدروجينية للمقطرات الوسطى





تعود معظم أسباب ضعف كفاءة الطاقة في عملية المعالجة الهيدروجينية إلى نقص التكامل الحراري الذي يؤدي إلى ضياع كمية كبيرة من الحرارة عبر المبردات المائية والمراوح الهوائية بدلاً من الاستفادة منها في تسخين اللقيم الداخل إلى الوحدة. ولتحسين كفاءة الطاقة في هذه العملية تتبع الإجراءات التالية: (Worrell, E., Corsten, M., & Galitsky, C., 2015)

#### • تعديل تصميم المفاعل

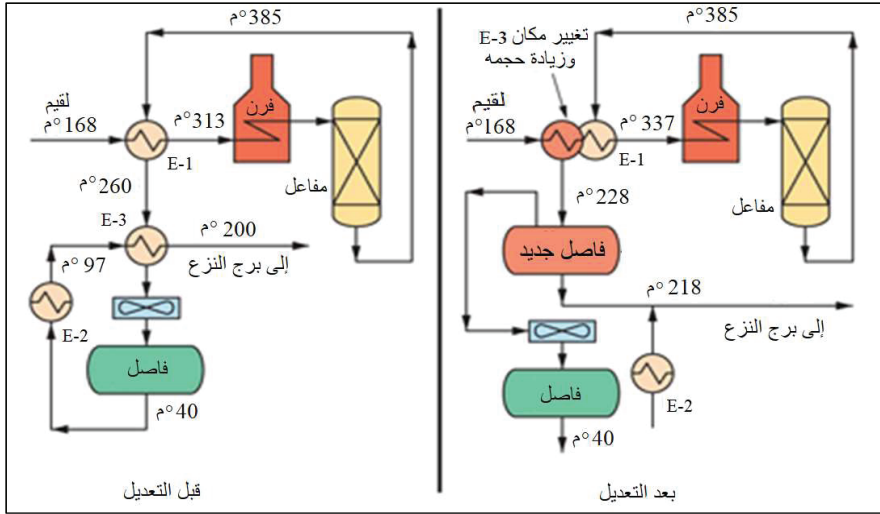
يمكن تعديل تصميم المفاعل لتنظيم توزيع السوائل عبر السريير الحامل للعامل الحفاز، بحيث تزداد سطوح التماس بين المادة البترولية والعامل الحفاز، مما يساهم في رفع كفاءة نزع الكبريت واستهلاك أقل للطاقة والهيدروجين.

#### • زيادة مساحة سطح التبادل الحراري

إن تعديل حجم ومساحة سطح التبادل الحراري في المبادلات الحرارية الأولية، لرفع درجة حرارة اللقيم قبل دخوله إلى الفرن، يساعد على توفير استهلاك الوقود في الفرن.

#### • تركيب وعاء لفصل السائل من الغاز الخارج من المفاعل

يمكن إضافة وعاء لفصل السائل من الغاز الخارج من المفاعل قبل دخوله إلى المبردات الهوائية، وذلك للاستفادة من حرارة السائل الساخن (172م°) في تسخين لقيم برج النزع، وبالتالي تخفيض كمية السائل الساخن الداخل إلى المبردات الهوائية، مما يساعد على تخفيف استهلاك الطاقة الكهربائية في هذه المبردات. كما يساهم التعديل في خفض استهلاك الوقود في فرن تسخين اللقيم الداخل إلى المفاعل من خلال الاستفادة من المبادل في رفع درجة حرارة اللقيم قبل دخوله إلى الفرن. يبين الشكل 2-16 مقارنة بين مسار الخارج من المفاعل قبل وبعد تركيب فاصل جديد.

**الشكل 2-16: مقارنة بين مسار الخارج من المفاعل قبل وبعد إضافة فاصل جديد**

وعلى الرغم من المردود الحراري الكبير الذي يمكن الحصول عليه من هذا الخيار إلا أن له بعض السلبيات، أهمها الانعكاس السلبي على عمر العامل الحفاز، وتقصير الفترة الزمنية الفاصلة بين عمليتي التنشيط Cycle Length، وذلك بسبب انخفاض نقاوة الهيدروجين الناتج عن زيادة نسبة الغازات المنطلقة من أعلى الفاصل الجديد الساخن إلى شبكة الوقود الغازي.

### • تركيب منظومة أجهزة تحكم متطورة

تلعب أجهزة التحكم دوراً مهماً في ضبط ظروف التشغيل عند القيم التي تضمن استهلاك الطاقة ضمن الحدود الدنيا، فعلى سبيل المثال، تم تركيب منظومة تحكم متطورة في وحدة معالجة هيدروجينية في مصفاة SASOL بجنوب أفريقيا، وأظهرت النتائج تحسناً كبيراً في نسبة المنتجات، وخفض استهلاك الهيدروجين بمعدل 12%. علاوة على تحسين كفاءة الطاقة في الوحدة من خلال خفض معدل استهلاك الوقود في الفرن، وتراجع كمية الغازات المرحلة إلى الشعلة، وكان زمن استرداد رأس مال المشروع شهرين فقط.

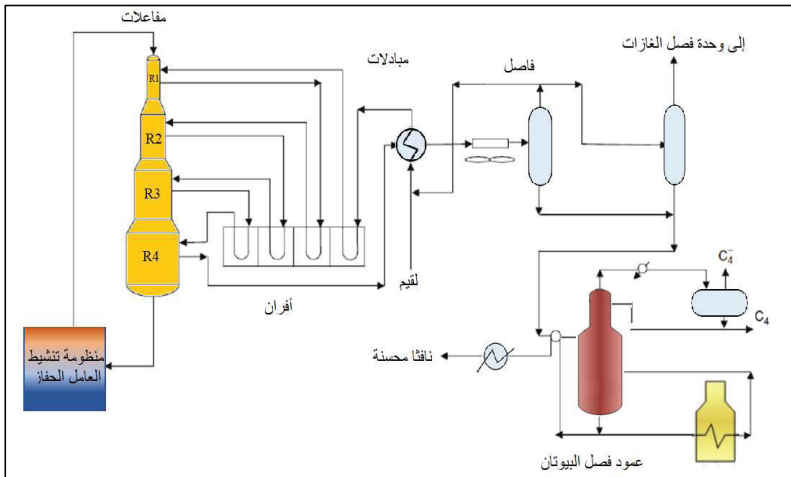
(Worrell, E., Corsten, M., & Galitsky, C., 2015)

## 6-2: عملية التهذيب بالعامل الحفاز Catalytic reforming

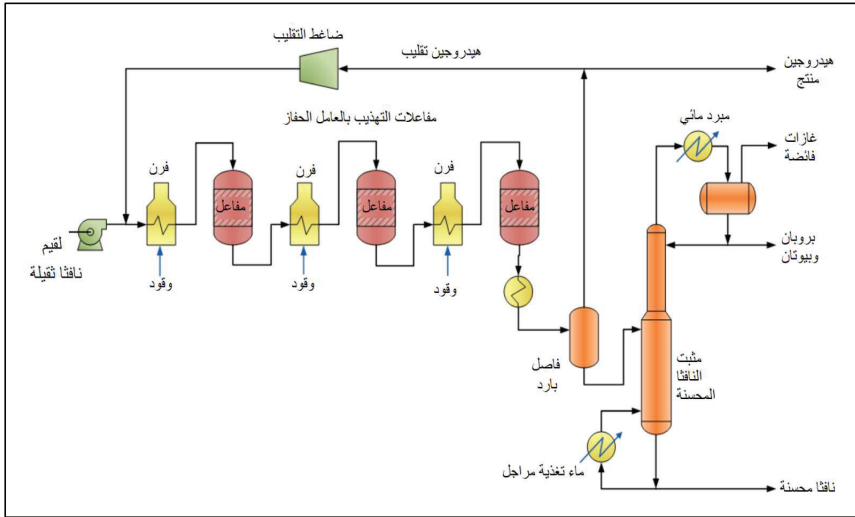
تهدف عملية التهذيب بالعامل الحفاز إلى رفع الرقم الأوكتاني للنافثا. وينتج عن تفاعلات التهذيب منتج جانبي ذو أهمية بالغة للمصفاة هو الهيدروجين، يستهلك جزء منه في معالجة النافثا قبل إدخالها إلى المفاعل لتخليصها من الكبريت والمعادن، والجزء الأكبر من الهيدروجين يحول إلى الشبكة العامة في المصفاة.

تصنف عملية التهذيب بالعامل الحفاز تبعاً لطريقة تنشيط العامل الحفاز، فهي إما تنشيط مستمر Continuous Catalytic Reforming، حيث يؤخذ جزء من العامل الحفاز من المفاعلات ويتم تنشيطه أثناء وجود الوحدة في دائرة العمل. أما طريقة التنشيط المتقطع Semi-regenerative فيتم فيها توقيف الوحدة بالكامل لتنشيط العامل الحفاز خلال فترات متقطعة تتراوح بين ستة أشهر إلى سنتين. يبين الشكل 2-17 مخطط عملية تهذيب النافثا بالعامل الحفاز بطريقة التنشيط المستمر. كما يبين الشكل 2-18 مخطط عملية التهذيب بالعامل الحفاز بالتنشيط المتقطع.

الشكل 2-17: مخطط عملية التهذيب بالعامل الحفاز بطريقة التنشيط المستمر



**الشكل 18-2: مخطط عملية تهذيب الناftا بالعامل الحفاز بالتنشيط المتقطع**



يمكن تحسين كفاءة فصل منتجات وحدة تهذيب الناftا بالعامل الحفاز من خلال دراسة الموازنة الحرارية لعمود الفصل، والكشف عن الأماكن التي يتم فيها هدر الطاقة وإجراء بعض التعديلات التصحيحية المناسبة، أهمها:

• **تركيب مكثف إضافي للخارج من عمود فصل الغازات**

يساعد تركيب مكثف إضافي للخارج من عمود فصل الغازات في وحدة التهذيب بالعامل الحفاز في خفض هدر الغازات الهيدروكربونية الفائضة غير المتكاثفة، وترحيلها إلى وحدة فصل الغازات للاستفادة منها كوقود بدلاً من حرقها في الشعلة. فعلى سبيل المثال، لوحظ في إحدى المصافي الأمريكية حدوث ارتفاع في نسبة إنتاج الغازات الفائضة التي تحول إلى شبكة الوقود الغازي على حساب كمية غاز البترول المسال LPG المنتجة من وعاء الفصل. وقد أظهرت نتائج التحليل أن سبب المشكلة يعود إلى ارتفاع درجة حرارة الراجع إلى أعلى العمود، وبإجراء التعديل المناسب على المبادلات الحرارية يمكن حل المشكلة، وتحسين مردود الفصل في عمود التقطير، مما أدى إلى زيادة كمية غاز البترول

المسال المنتج بمقدار 65000 برميل في السنة، فضلاً عن رفع كفاءة الطاقة في الوحدة.

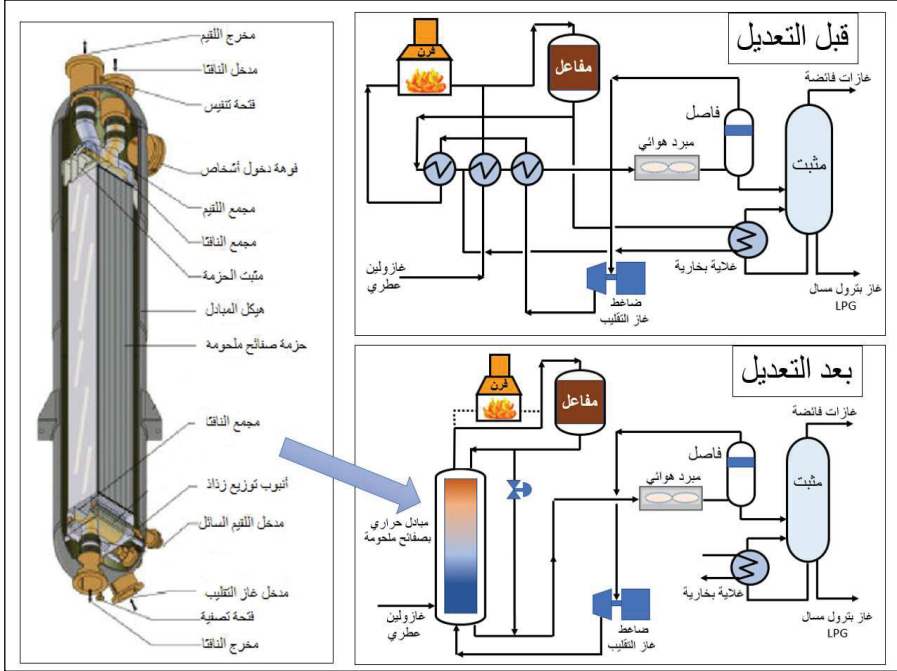
- **تركيب صواني متطورة** في عمود فصل المنتجات تتميز بكفاءة فصل عالية.
- **تحسين العزل الحراري لجدران الفرن**، وتركيب مسخن أولي لهواء الاحتراق الداخل إلى الفرن، وتعديل نظام التحكم بهواء الاحتراق لضبط نسبة الأكسجين بالقيمة التي تضمن احتراق كامل للوقود.

- **الحد ما أمكن من استقبال لقيم من الخزانات واستبدالها بلقيم ساخن** من خلال خط مباشر للناثا المنتجة من الوحدات قبل ترحيلها إلى الخزانات، وبالتالي يمكن توفير الوقود اللازم في الفرن لرفع درجة حرارة اللقيم قبل دخوله إلى المفاعل.

- **استخدام مبادل حراري متطور** يحتوي على صفائح مصنوعة من خلانط معدنية عالية الجودة، يمكن أن يساهم في رفع طاقة التبادل الحراري بين اللقيم والخارج من المفاعل إلى الحد الذي يسمح بالاستغناء عن فرن تسخين اللقيم أثناء فترة عمل الوحدة المنتظم، وبالتالي توفير كمية كبيرة من الطاقة. (Barnes, P., et al., 2005)

فعلى سبيل المثال، قامت شركة "توتال" الفرنسية، بتركيب مبادل من نوع الصفائح الملحومة في وحدة التهذيب بالعامل الحفاز في مصفاة نورماندي-فرنسا، وذلك في إطار برنامج تحسين كفاءة الطاقة في المصافي التي تملكها، والتي يمثل استهلاك الطاقة فيها حوالي 50% من إجمالي استهلاك الطاقة في مجموعة المنشآت البترولية التي تملكها الشركة، أو ما يعادل 8 مليون طن نفط مكافئ في السنة. وهذا ما يجعل مشروع تحسين كفاءة الطاقة في مصافي النفط التابعة لهذه الشركة في مقدمة اهتمام الإدارة باعتباره فرصة هامة وضرورية لتخفيض تكاليف التشغيل وتحسين التزام الشركة بمتطلبات التشريعات البيئية الخاصة بخفض الانبعاثات. (Coppin, D., et al., 2011) **الشكل 2-19** مخطط وحدة التهذيب قبل وبعد إضافة مبادل حراري متطور في مصفاة نورماندي.

**الشكل 2-19: مخطط وحدة التهذيب قبل وبعد إضافة مبادل حراري متطور في مصفاة نورماندي**



المصدر: Coppin, D., et al., 2011

**7-2: الوحدات المساندة**

تحتوي مصافي تكرير النفط على عمليات مساندة توفر مواد وخدمات ضرورية لاستمرار عمليات الإنتاج، وتستهلك جزءاً هاماً من الطاقة بكافة أشكالها يمكن أن يصل إلى أكثر من 50% من إجمالي الطاقة المستهلكة. وتتكون من شبكات وقود الأفران، ومولدات البخار والطاقة الكهربائية، وشبكات إنتاج وتوزيع الهيدروجين، ومنظومة الشعلة، وخزانات النفط الخام والمنتجات النفطية.

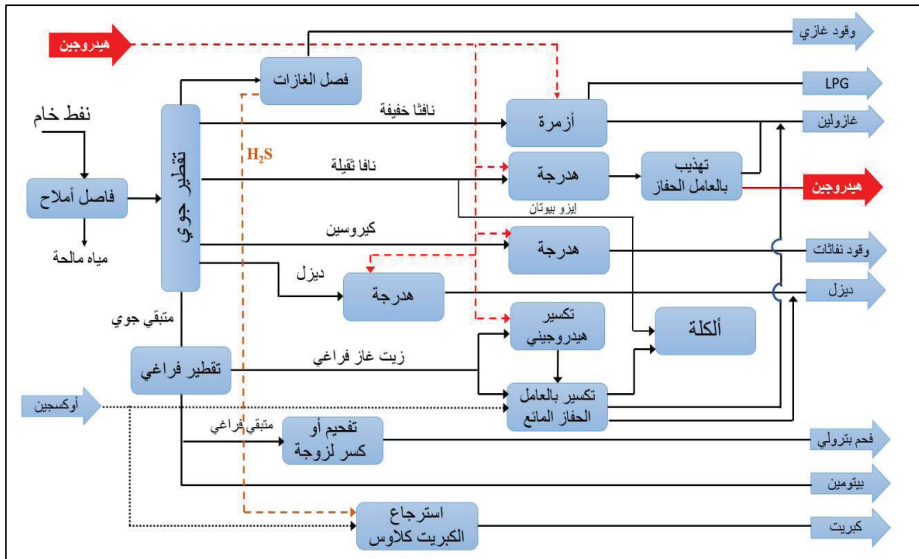
وفيما يلي أهم الفرص التي يمكن تنفيذها لتحسين كفاءة الطاقة في هذه

الوحدات:

## 1-7-2: منظومة إنتاج الهيدروجين

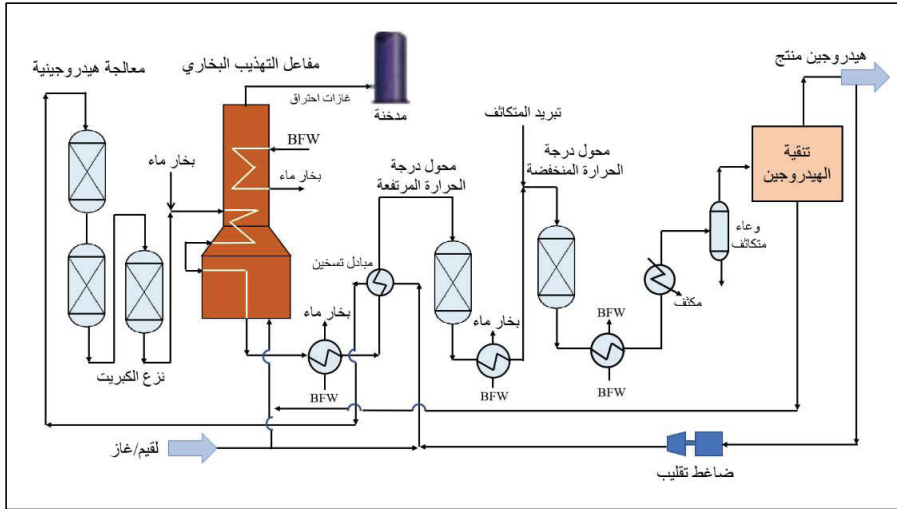
تستهلك مصافي النفط كمية كبيرة من الهيدروجين اللازم لعمليات المعالجة الهيدروجينية والتكسير الهيدروجيني. (Bressan, L., 2011) يبين الشكل 20-2 توزيع شبكة الهيدروجين على الوحدات المستهلكة في المصفاة.

الشكل 20-2: توزيع شبكة الهيدروجين على الوحدات المستهلكة في المصفاة



تحصل المصفاة على الهيدروجين من وحدة تهديب النافثا بالعامل الحفاز كمنتج جانبي من تفاعلات إعادة تشكيل جزيئات النافثا لرفع الرقم الأوكتاني، إلا أن كمية الهيدروجين المنتج من هذه العملية في معظم الحالات لا يكفي لتلبية حاجة وحدات المصفاة، ويتم تعويض النقص من وحدات إنتاج الهيدروجين بطريقة التهذيب البخاري Steam Reforming. يبين الشكل 21-2 مخطط عملية إنتاج الهيدروجين بطريقة التهذيب البخاري.

## الشكل 2-21: مخطط عملية إنتاج الهيدروجين بطريقة التهذيب البخاري



المصدر: Jechura, J., 2015

يمكن خفض استهلاك الطاقة اللازمة لإنتاج الهيدروجين في مصافي النفط من خلال استرجاع الهيدروجين من غازات المصفاة الفائضة، أو تركيب وحدة تهذيب أولية قبل وحدة التهذيب البخاري، أو إنشاء وحدة تغويز لتحويل المنتجات الثانوية الرخيصة إلى غاز اصطناعي Syngas الذي يحتوي على كمية كبيرة من الهيدروجين.

### • استرجاع الهيدروجين من غازات المصفاة الفائضة

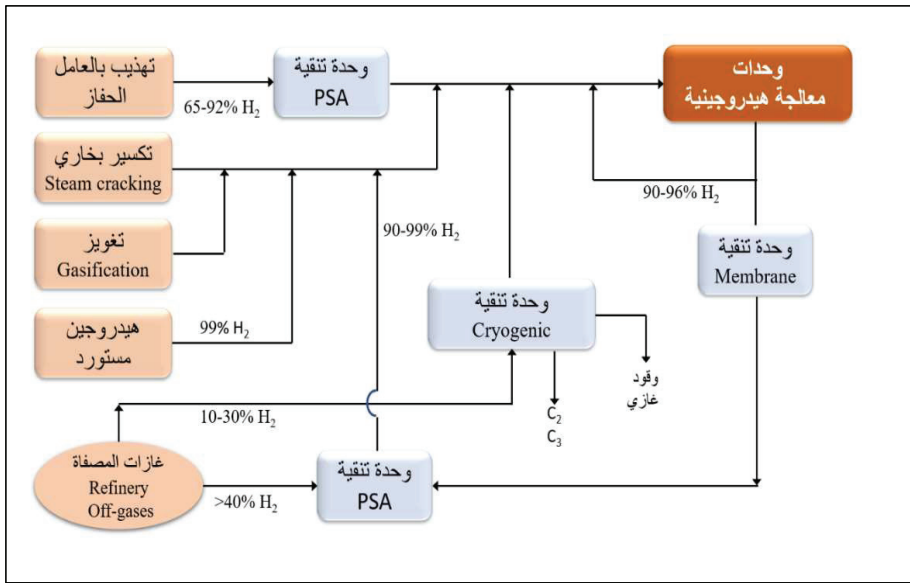
تحتوي الخطوط الواردة إلى شبكة الوقود الغازي المكونة من غازات المصفاة الفائضة Refinery off-gases على نسب متفاوتة من الهيدروجين قد تصل إلى أعلى من 50%. تتأثر نسبة الهيدروجين في شبكة الوقود الغازي بالعديد من العوامل، منها: (Rossiter, P., & Jones, P., 2015)

- رفع شدة ظروف تشغيل وحدة التهذيب بالعامل الحفاز الذي تلجأ إليه المصافي لرفع الرقم الأوكتاني للغازولين، وهذا ينتج عنه تعزيز تفاعلات التكسير التي ينتج عنها زيادة في كمية الغازات الهيدروكربونية المنتجة فضلاً عن ارتفاع نسبة الهيدروجين.



- رفع شدة ظروف تشغيل عملية التكسير بالعامل الحفاز المانع FCC للحصول على نافثا لقيم لوحدة التهذيب ذات رقم أوكثاني أعلى.
  - ضعف كفاءة مكثفات منتج أعلى عمود الفصل في عمليات التقطير، مما ينتج عنه تسرب الغازات غير المتكاثفة إلى شبكة الوقود الغازي.
- قد تلجأ المصافي إلى استرجاع الهيدروجين ذي القيمة المرتفعة من خطوط غازات المصفاة بدلاً من تحويله إلى شبكة الوقود الغازي لحرقة كوقود في الأفران. وتصنف تقنيات استرجاع الهيدروجين من خطوط غاز المصفاة الغنية بالهيدروجين إلى ثلاث تقنيات رئيسية، الأولى طريقة الإدمصاص بأوعية الضغط المتأرجح PSA، والثانية طريقة الامتصاص بالأغشية Membrane، والثالثة طريقة الفصل بالتبريد العميق Cryogenic units. (أوابك، 2011)
- يبين الشكل 2-22 مكونات شبكة استرجاع الهيدروجين من غازات المصفاة.

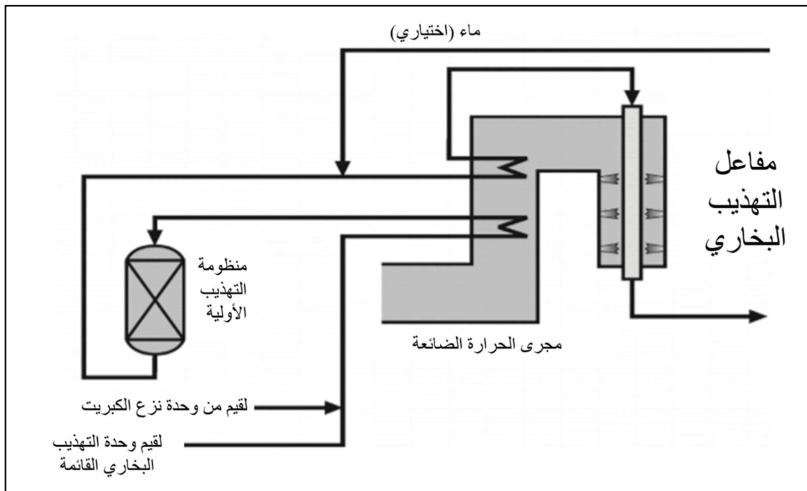
الشكل 2-22: مكونات شبكة استرجاع الهيدروجين من غازات المصفاة



### • تركيب منظومة تهذيب قبل وحدة التهذيب البخاري

يعتمد مبدأ منظومة التهذيب الأولية على الاستفادة من الحرارة الضائعة من وحدة إنتاج الهيدروجين بطريقة التهذيب البخاري القائمة، في عملية التهذيب البخاري للهيدروكربونات المنزوعة الكبريت الداخلة كلقيم بوجود عوامل حفازة عالية الفعالية مصنوعة من النيكل. وقد أثبتت التجربة العملية أن تركيب هذه المنظومة يمكن أن يخفض استهلاك الطاقة في وحدة التهذيب البخاري القائمة بنسبة تصل إلى 4% علاوة على إمكانية رفع نسبة الهيدروجين بمعدل 10-20% من إجمالي الهيدروجين المنتج دون زيادة في استهلاك الطاقة. (Munch, B., Elholm, P., & Stenseng, M., 2007) يبين الشكل 2-23 مخطط تركيب منظومة تهذيب بخاري أولية في وحدة التهذيب البخاري القائمة.

### الشكل 2-23: مخطط تركيب منظومة تهذيب بخاري أولية في وحدة التهذيب البخاري القائمة



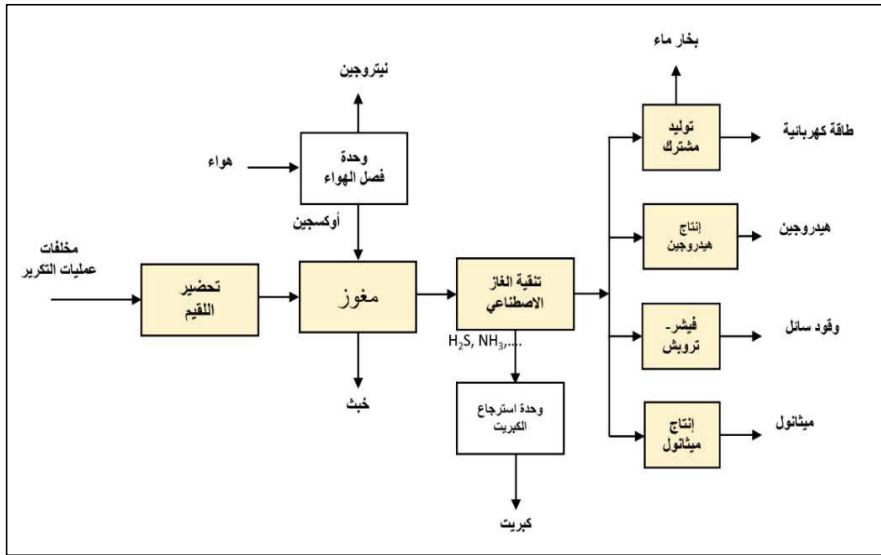
المصدر: Munch, B., Elholm, P. & Stensen., M., 2007

### • إنشاء وحدة تغويز

تعتبر عملية التغويز إحدى الفرص الهامة لتحسين كفاءة الطاقة في مصافي النفط وتعزيز قدرتها على الحصول على مصدر رخيص الثمن للهيدروجين والوقود الغازي اللازم لتشغيل مولدات الطاقة الكهربائية، والتخلص

من تكاليف إنشاء وحدة إنتاج هيدروجين، أو استيراد الهيدروجين من مصادر خارجية، وذلك من خلال تحويل المنتجات الثانوية الرخيصة الثمن، كالفحم البترولي والبيتومين والغازات الفائضة في المصفاة، إلى غاز اصطناعي يحتوي على نسبة عالية من الهيدروجين. (أوابك، 2018) **الشكل 2-2** يبين سير عملية تحويل مخلفات عمليات التكرير إلى هيدروجين ووقود غازي.

**الشكل 2-2:** سير عملية تحويل مخلفات عمليات التكرير إلى هيدروجين ووقود غازي



## 2-7-2: أفران العمليات

تستهلك أفران عمليات التكرير والغلايات Reboilers ما يزيد عن 60% من إجمالي الوقود المستهلك في مصفاة النفط. وتقدر الكفاءة الحرارية للأفران ضمن المجال 75-90% وذلك بتأثير الفاقد الحراري. وتفيد الأبحاث المتخصصة بأنه يمكن تحسين كفاءة الأفران من خلال تعديل تصميمها، واستخدام حراقات متطورة ذات كفاءة عالية، تعتمد على مبدأ تحسين كفاءة المزج بين الوقود وهواء الاحتراق، وتعديل منظومة التحكم بشبكة الوقود وكمية الهواء الداخل إلى الحراقات.

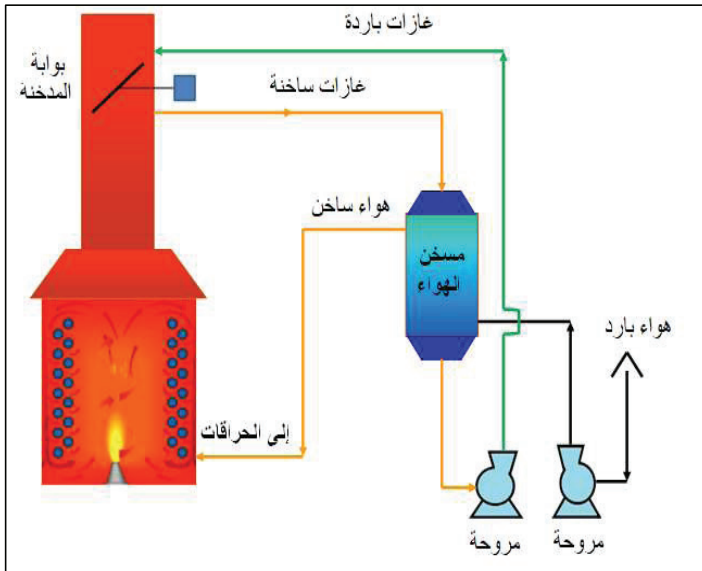
### • استعمال أجهزة تحليل موثوقة لغازات مدخنة الفرن

تساعد أجهزة التحليل الموثوقة لغازات المدخنة في التأكد من تحديد النسبة المثالية للهواء اللازم للاحتراق، والتي تتم عندها الاستفادة المثلى من كمية الوقود المستهلك، ومنع الهدر الذي يمكن أن ينتج عن بقاء المواد الهيدروكربونية غير المحترقة في غازات المدخنة.

### • استرجاع حرارة غازات المدخنة

يمكن الاستفادة من الحرارة العادمة في غازات المدخنة بتركيب مبادل حراري يتم فيه نقل الحرارة الكامنة في هذه الغازات إلى الهواء الداخل إلى الحراقات Burners لرفع درجة حرارته، وبالتالي يمكن تقليل معدل استهلاك الوقود اللازم وتحسين كفاءة الحرق. يبين الشكل 2-25 مخطط الاستفادة من حرارة المدخنة في تسخين هواء الاحتراق.

الشكل 2-25: مخطط الاستفادة من حرارة المدخنة في تسخين هواء الاحتراق



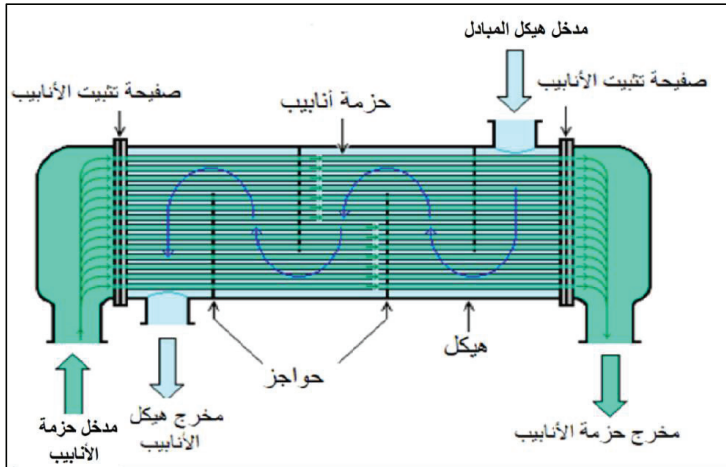
### • تطبيق برامج الصيانة الوقائية

من الإجراءات الأخرى المطبقة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في أفران العمليات الاهتمام بتنظيف وصيانة معدات التسخين الأولي لهواء الاحتراق، باعتبارها من المعدات التي تساهم في استخلاص الطاقة الحرارية المتبقية في الغازات المنطلقة من المدخنة، إضافة إلى الاهتمام بإجراءات الكشف الدوري على بطانة العزل الحراري لجدران غرف الاحتراق، وإصلاح الخلل لتفادي ضياع الحرارة إلى الجو المحيط.

### 2-7-3: المبادلات الحرارية

تستخدم المبادلات الحرارية لنقل الطاقة الحرارية بين سائلين. وفي مصافي النفط غالباً ما يستخدم البخار كمصدر حراري للتسخين، إضافة إلى المنتجات السائلة الأخرى. وللمبادلات الحرارية أشكال عديدة منها الأنبوبي أو الصندوقي إلا أن أكثرها استخداماً في صناعة تكرير النفط هو النوع الأنبوبي. يبين الشكل 2-26 نموذجاً لمبادل حراري أنبوبي.

الشكل 2-26: مبادل حراري أنبوبي

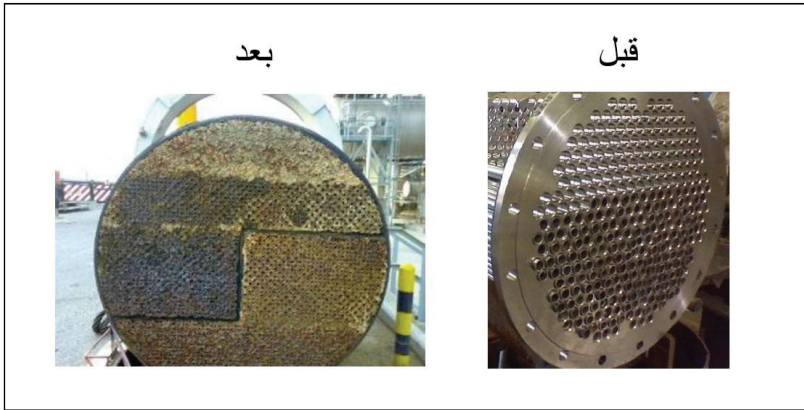


تكتسب المبادلات الحرارية أهمية كبيرة في برامج تحسين كفاءة الطاقة في صناعة التكرير نظراً للدور الذي تقوم به في الاستفادة من الحرارة الضائعة في توفير استهلاك الطاقة، وفيما يلي أهم إجراءات تحسين كفاءة الطاقة في المبادلات الحرارية.

### • معالجة مشكلة الاتساخ

تعتبر ظاهرة الاتساخ Fouling إحدى أهم المشكلات التي تؤدي إلى تخفيض كفاءة انتقال الطاقة في المبادلات الحرارية، نتيجة توضع الرواسب على سطوح أنابيب المبادل مما يعيق انتقال الحرارة بين المادتين الساخنة والباردة، وتؤدي إلى خسائر باهظة، وتزداد هذه الخسائر بتأثير عوامل عديدة، منها ما يعود إلى نوعية النفط الخام المكرر ونسبة الشوائب الموجودة فيه، ومنها ما يعود إلى أخطاء في تصميم المبادل الحراري، أو اضطراب في ظروف تشغيل الوحدات الإنتاجية. يبين الشكل 27-2 حزمة أنابيب مبادل حراري قبل وبعد توضع الرواسب.

**الشكل 27-2: حزمة أنابيب مبادل حراري قبل وبعد توضع الرواسب**



المصدر: Ramasamy, M., & Deshannavar, U., 2016

وللحد من انعكاسات مشكلة الاتساخ تطبق برامج مراقبة لأداء المبادلات الحرارية لتقييم الحاجة إلى عمليات التنظيف لإزالة الرواسب وإعادة كفاءة التبادل الحراري إلى القيمة المطلوبة. كما تطبق طرق أخرى للوقاية من تراكم الرواسب من خلال حقن مواد

كيميائية في المادة التي تحتوي على رواسب قد تتوضع على سطوح الأنابيب الناقلة للحرارة.

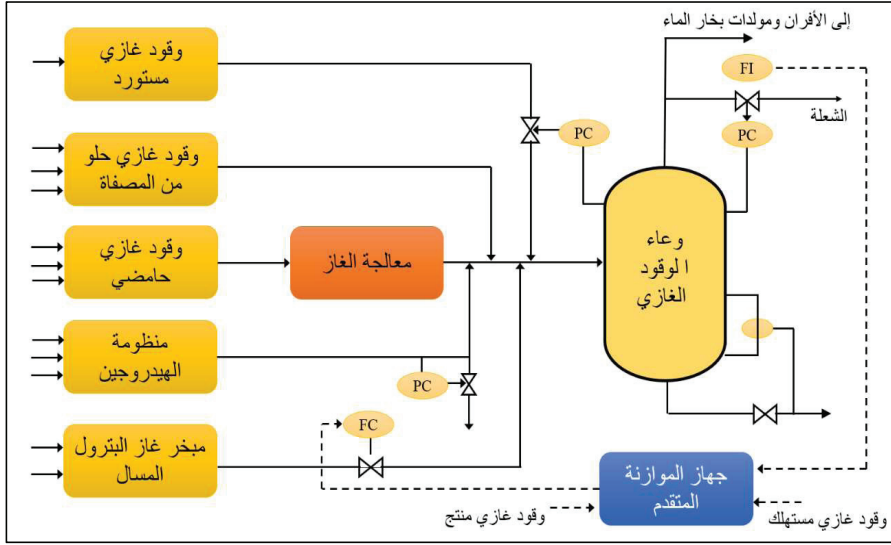
## 2-7-4: شبكة الوقود الغازي

يمثل الوقود الغازي المنتج من عمليات التكرير أحد مصادر الطاقة المستهلكة في المصفاة، وتختلف كميتها تبعاً لعدة عوامل منها نوع عمليات التكرير الموجودة في المصفاة كعمليات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، والتهذيب بالعامل الحفاز لرفع الرقم الأوكتاني. كما تزداد كمية الوقود الغازي المنتج من هذه العمليات نتيجة رفع شدة ظروف التشغيل للحصول على رقم أوكتان أعلى للغازولين المنتج. وفي حال عدم كفاية غاز المصفاة لتلبية حاجتها من الوقود يتم تعويض النقص من خلال استيراد الغاز الطبيعي من حقول الإنتاج أو من وحدات صناعة البتروكيماويات المجاورة، أو الهيدروجين الفائض عن عمليات الهدرجة.

تحتاج عملية تحسين كفاءة تشغيل شبكة الوقود الغازي إلى استخدام تقنيات متطورة لتنظيم أداؤها، وذلك بسبب كثرة المتغيرات المؤثرة فيها، كتعدد مصادر تغذية الشبكة وبمعدلات متباينة، وتغير مكوناتها واختلاف قيمها الحرارية. كما تحسوي المنظومة على عدة أجهزة للتحكم بخطوط التغذية الداخلة إلى الشبكة، تتكون من منظمات للضغط وكمية تدفق الغاز. (White, C., 2005)

يقوم جهاز الموازنة المتقدم Advanced Coordinator بدور تخفيف أثر التغيرات التي تحدث في كل من القيمة الحرارية للوقود الغازي وضغط المنظومة، وذلك من خلال التحكم بكميات الغاز الداخلة والخارجة من الشبكة للمحافظة على جودة الاحتراق في الأفران ومولدات بخار الماء وتفاذي هدر الطاقة. **الشكل 2-2** منظومة التحكم بشبكة الوقود الغازي في مصفاة النفط.

**الشكل 2-28: منظومة التحكم بشبكة الوقود الغازي في مصفاة النفط**



المصدر: White, C., 2005

من أكثر التحديات التي تواجه عملية إعداد موازنة الوقود الغازي للمصفاة هي عدم دقة أجهزة قياس كمية الغاز على خطوط الإنتاج، وعدم توفر الأجهزة المخبرية لتحليل مكونات الغاز في هذه الخطوط. ويبين الجدول 2-1 نموذجاً لموازنة شبكة الوقود الغازي في المصفاة التي يجب إجراؤها لتقييم الوضع الراهن لاستهلاك الطاقة، وبما أن هذه الموازنة تتغير بتغير نوعية النفط الخام المكرر وتغير فصول السنة فيجب إجراء هذه العملية بشكل دوري وعلى فترات زمنية متقاربة.



## الجدول 1-2: نموذج موازنة شبكة الوقود الغازي في المصفاة

الإنتاج	ألف قدم مكعب قياسي/اليوم MSCF/D	القيمة الحرارية وحدة حرارية بريطانية/قدم مكعب قياسي BTU/SCF	مليون وحدة حرارية بريطانية في الساعة MMBTU/h
غاز طبيعي	30835	976	1254
وحدة التكسير بالعامل الحفاز المانع	914	1,023	39
فصل الغازات	9940	811	336
تقطير جوي	7770	434	141
وحدة الغاز 2	2053	786	67
التكسير بالعامل الحفاز	27603	971	1117
وحدة تنقية الهيدروجين 1	1880	781	61
وحدة تنقية الهيدروجين 2	2831	434	51
وحدة البنزين	573	781	19
وحدة الإيثيلين	13205	622	342
وحدة تقطير النفط الخام	15	781	0.1
<b>مجموع الإنتاج</b>	<b>97,620</b>	<b>843</b>	<b>3,428</b>
الاستهلاك			
وحدة فصل الغاز	915	781	30
تقطير جوي 1	13972	781	455
تقطير جوي 2	12995	781	423
وحدة الألكلة	3530	781	115
وحدة الغاز 1	1109	781	36
وحدة الغاز 2	396	781	13
المرجل 1	12093	969	488
المرجل 2	18569	747	578
المرجل 3	14326	781	466
التكسير الهيدروجيني	2775	971	112
التفحيم الموجل	9938	971	402
وحدة إنتاج الهيدروجين	6439	781	210
وحدة البنزين	8	781	0.28
الشعلات	16	781	0.1
<b>مجموع الاستهلاك</b>	<b>97,082</b>	<b>823</b>	<b>3,328</b>
الفرق	538		99
النسبة المئوية للفرق	%0.6		%2.9

تشير المعايير الدولية المعتمدة على الخبرات السابقة لمصافي النفط إلى أن الفرق بين كمية كل من الوقود الغازي المنتج والمستهلك (إجمالي الوقود المنتج مضافاً إليه كمية الوقود المستورد من خارج المصفاة مقابل إجمالي كمية الوقود المستهلك) يجب أن لا يزيد عن المجال 5-10% على أساس الوحدات الحرارية. وإذا ارتفع الفرق عن هذه القيمة فينصح باتخاذ الإجراءات التالية:

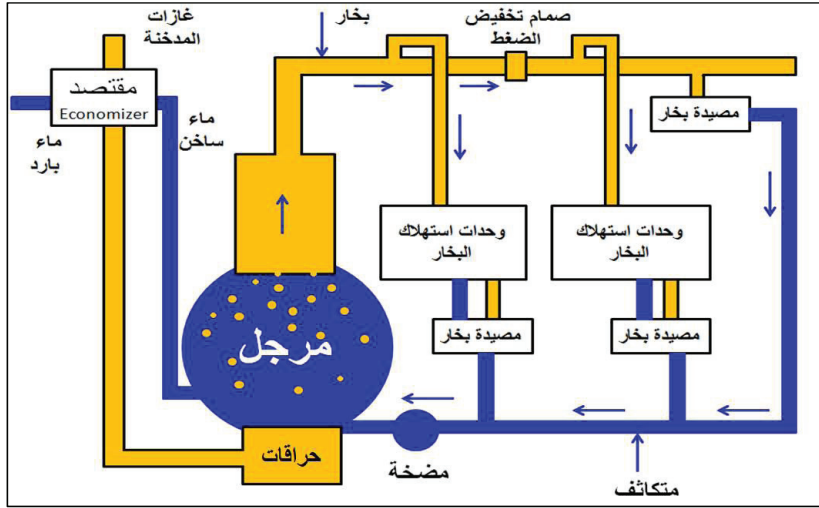
- التأكد من أن كافة خطوط إنتاج الغاز يجري قياسها، حيث أن بعض الغازات الفائضة التي تنتج من الوحدات الإنتاجية كوحدات تقطير النفط الخام يتم تحويلها مباشرة إلى فرن الوحدة دون أن تمر عبر الوعاء الرئيسي لتجميع الوقود الغازي في المصفاة، وبالتالي لا يتم قياسها في عداد الوقود الغازي المستهلك المركب على الخط الرئيسي للشبكة.
- فحص وإعادة معايرة كافة أجهزة القياس المركبة على خطوط شبكة الوقود الغازي، وخصوصاً تلك التي لم يتم فحصها منذ زمن بعيد.
- التأكد من أن عملية معايرة أجهزة قياس الكمية قد أجريت عليها عملية التصحيح المناسبة وفق درجات الحرارة والضغط والكثافة.
- التأكد من صحة عملية أخذ عينات الغاز، وأن عمليات الاختبار الكروماتوغرافي تجري بشكل صحيح، ويفضل استخدام مختبر تحليل محايد لمطابقة النتائج والتأكد من صحتها.

## 2-7-5: منظومة توليد وتوزيع بخار الماء

تعتبر عملية ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها في شبكة بخار الماء من العمليات المعقدة، وذلك نظراً لتوزيع خطوط أنابيب بخار الماء في كافة أجزاء المصفاة عبر ثلاث شبكات رئيسية تعمل تحت ضغوط مختلفة، وترتبط بعدد كبير من المنتجين والمستهلكين. فهناك العديد من المعدات المنتجة للبخار والكهرباء، مثل الغلايات البخارية Steam boiler، والعنفات البخارية Steam turbine، والعنفات الغازية Gas turbine موزعة في أماكن متفرقة. أو وحدات التوليد

المشترك Cogeneration، أو من استرجاع الحرارة العادمة في الوحدات الإنتاجية. يبين الشكل 2-29 مخطط شبكة توليد وتوزيع بخار الماء في مصافي النفط .

الشكل 2-29: مخطط شبكة توليد وتوزيع بخار الماء في مصافي النفط



المصدر: Marton, S., et al., 2017

تكتسب عملية إعداد موازنة بخار الماء في مصافي النفط أهميتها من أنها تشير إلى أماكن الهدر في خطوط بخار الماء أو الفائض، وتحديد كفاءة الشبكة، وبالتالي إبراز فرص التحسين المحتملة. تساعد التقنيات الحديثة في تسهيل إنجاز العملية في زمن قصير من خلال برامج الكمبيوتر الجاهزة، وهي متوفرة في الأسواق، ويمكن من خلالها حساب كفاءة استخدام الطاقة في حالات مختلفة من نوع الوقود المستخدم، وفي حالات تغير نوع النفط الخام المكرر. وفيما يلي أهم إجراءات تحسين كفاءة الطاقة في مولدات بخار الماء.

#### • تحسين معالجة مياه تغذية مولدات بخار الماء

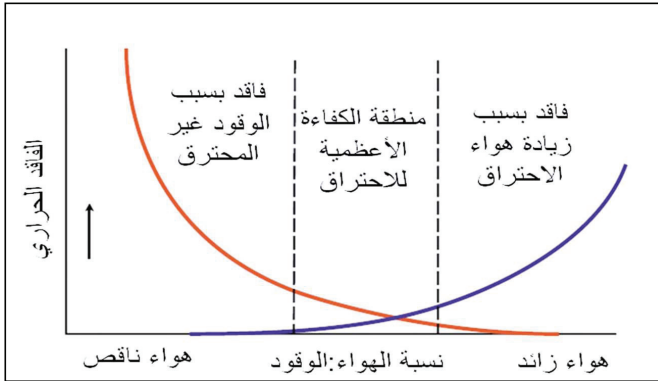
إن ضبط عملية معالجة مياه التغذية المستخدمة في مولدات بخار الماء يساعد على تفادي انسداد أنابيب المولد بالرواسب الملحية التي تعيق وصول الحرارة إلى المياه الجارية عبر الأنابيب. كما أن استخدام المياه النقية يساهم في تخفيض كمية مياه التصريف Blowdown التي تطبق لإزالة الرواسب

المتجمعة في أسفل أوعية تجميع المياه الناتجة عن تكاثف البخار. وقد أمكن تخفيض نسبة التصريف في أحد مولدات البخار من 13.3% إلى 1.5% من كمية بخار الماء المنتج في إحدى مصافي النفط الأمريكية نتيجة تركيب وحدة معالجة متطورة للمياه الداخلة إلى المولد.

### • استخدام أجهزة متطورة لضبط نسبة الأوكسجين

يمكن ضبط نسبة الأوكسجين في غازات الاحتراق المنطلقة من مدخنة مولدات بخار الماء باستخدام أجهزة تحكم متطورة تعمل آلياً، بدلاً من الطريقة القديمة التي تعتمد على تعديل مقدار فتحة بوابة المدخنة يدوياً. وعلى الرغم من ارتفاع التكاليف اللازمة لتنفيذ هذا التعديل إلا أنه من الممكن تبريره اقتصادياً نظراً للفوائد الكبيرة التي يقدمها، وأهمها تخفيض معدل استهلاك الوقود في الفرن بنسبة 2-4% من إجمالي استهلاك الفرن في ظروف التشغيل العادية. يبين الشكل 2-30 العلاقة بين نسبة الهواء إلى الوقود المناسبة في تحسين كفاءة الاحتراق في مولدات بخار الماء.

**الشكل 2-30: العلاقة بين نسبة الهواء إلى الوقود وكفاءة الحرق في مولد بخار الماء**



### • الاهتمام ببرامج الصيانة الدورية

تشمل عمليات الصيانة الدورية لمنظومة توليد بخار الماء إجراء اختبارات شاملة للتأكد من أن كافة الأجزاء تعمل بأقصى طاقتها، مع التركيز

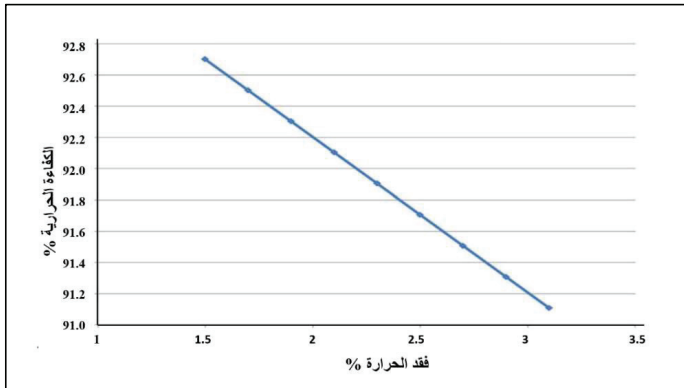
بشكل خاص على إصلاح مواد العزل الحراري لجدران مولد البخار لمنع تسرب الحرارة إلى الجو، أو دخول الهواء الجوي إلى غرفة الاحتراق.

كما تتضمن برامج الصيانة الدورية عمليات تنظيف الأنابيب من الرواسب الداخلية (جهة الماء)، والخارجية التي تترسب على الأنابيب في غرفة الاحتراق على شكل طبقة كربونية، وتزداد نسبتها كلما كان الوقود المستخدم ثقيلًا كزيت الوقود، أو صلبًا كالفحم، وينخفض إلى أقل معدلاته باستخدام الغاز الطبيعي. وقد أظهرت إحدى الدراسات أن توضع طبقة كربون سماكتها 0.8 ملم تخفض معدل انتقال الحرارة بنسبة 9.5%، أما عندما تصل سماكة الطبقة إلى 4.5 ملم فإن انتقال الحرارة ينخفض بمعدل 69%، وبالتالي يرتفع استهلاك الوقود. (Rossiter, P., & Jones, P., 2015)

#### • تحسين العزل الحراري لجدران الأفران والمراجل

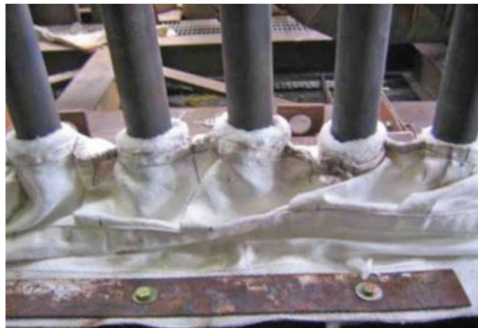
بما أن مراحل توليد بخار الماء تعمل على مبدأ حرق الوقود السائل أو الغازي في حراقات بلهب مفتوح داخل غرفة إشتعال تحتوي على أنابيب تمر داخلها المادة المراد تسخينها. وللمحافظة على حرارة اللهب داخل غرفة الإشتعال ومنع تسربها إلى المحيط الخارجي، تستخدم مواد بناء تتميز بدرجة عالية من العزل للحرارة، حيث أن ضعف العزل الحراري يمكن أن يؤدي إلى نقص في الكفاءة الحرارية تصل إلى حوالي 1.5%. **الشكل 2-31** تأثير الفقد الحراري عبر الجدار القرميدي على الكفاءة الحرارية للفرن.

**الشكل 2-31:** تأثير الفقد الحراري عبر الجدار القرميدي على الكفاءة الحرارية للفرن



من أكثر أسباب حدوث فقد الحرارة من جدران الأفران والمرجل البخارية:

- تشغيل الفرن أو المرجل بطاقة أعلى من طاقته التصميمية.
  - قصور عمليات الكشف والصيانة أثناء فترة التوقف لإجراء الصيانات الدورية.
  - ضعف الالتزام بتطبيق برامج صيانة وتنظيف الحراقات، والذي ينتج عنه تشوه شكل لهب الحراق وانحرافه عن المركز، نتيجة انسداد فوهات الحراقات بالرواسب المرافقة للوقود.
  - تسرب الهواء إلى الفرن عبر الثقوب، أو تهدمات القرميد يمكن أن يؤدي إلى اضطراب نسبة الأوكسجين وقيمة الضغط داخل غرفة الاشتعال. يمكن ضبط كمية غازات المدخنة وتقليلها إلى الحد الأدنى من خلال ترميم التشققات التي تؤدي إلى تسرب الهواء إلى داخل غرفة الاحتراق، وتسبب زيادة استهلاك الوقود. ولمنع تسرب الهواء إلى غرفة الاشتعال كفتحات دخول الأنابيب إلى الفرن يستخدم غازل مرن لسد الفراغات بين الجدار القرميدي والأنبوب الداخل إلى الفرن. **يبين الشكل 2-32** نموذج عوازل منع دخول الهواء عبر فوهات دخول الأنابيب إلى الفرن.
- الشكل 2-32: نموذج عوازل منع دخول الهواء عبر فوهات دخول الأنابيب إلى الفرن**

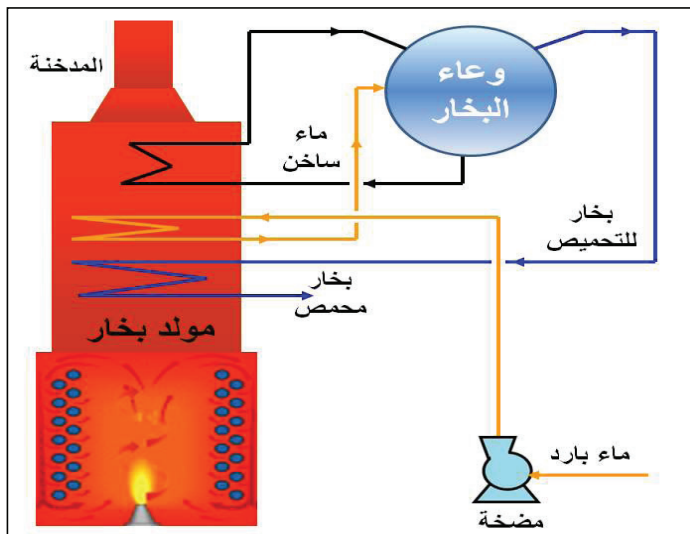


كما يمكن أن يتسرب الهواء إلى غرفة الاشتعال من فوهات الكشف على لهب الحراقات الموزعة على جسم الفرن، وخصوصاً عندما تترك مفتوحة أو تتعرض لكسر يمنع إغلاقها بشكل محكم.

### • استرجاع الحرارة من غازات مدخنة مولد بخار الماء

يمكن استرجاع الحرارة من الغازات المنطلقة من المدخنة للاستفادة منها في تسخين المياه الداخلة إلى مولد البخار مما يساهم في توفير الوقود المستهلك بشكل كبير. وتتم العملية بتمرير الماء المستخدم لإنتاج البخار عبر المدخنة قبل إدخاله إلى المرجل. يبين الشكل 2-33 مخطط استرجاع الحرارة من غازات مدخنة المرجل البخاري.

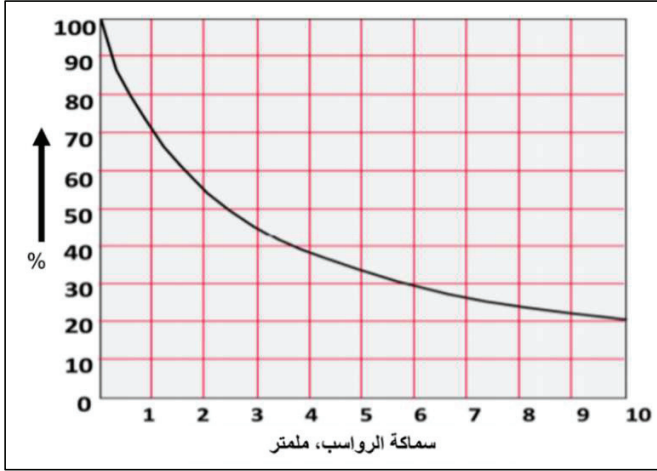
الشكل 2-33: استرجاع الحرارة من غازات مدخنة المرجل البخاري



### • تنظيف أنابيب منطقة الحمل

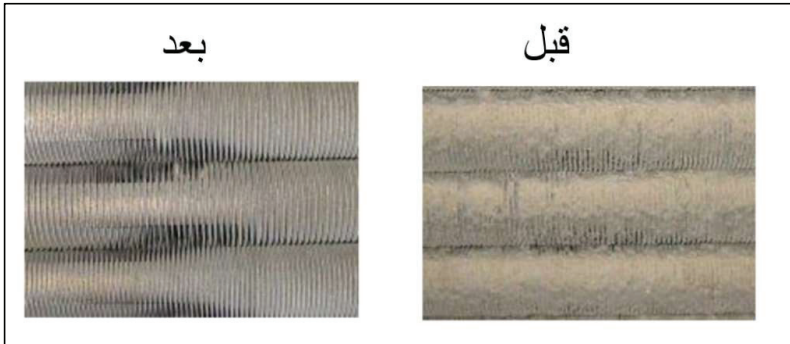
تتوضع الرواسب الكربونية الناتجة عن احتراق الوقود في منطقة الحمل في الأفران والمرجل البخارية فتشكل حاجزاً يمنع انتقال الحرارة عبر الأنابيب التي يتم فيها استرجاع الحرارة من الغازات المنطلقة من المدخنة للاستفادة منها في تسخين المياه الداخلة إلى مولد البخار. وكلما زادت سماكة الرواسب تنخفض كفاءة استرجاع الحرارة الضائعة من منطقة الحمل في مرجل البخار والأفران. يبين الشكل 2-34 العلاقة بين سماكة الرواسب وكفاءة انتقال الحرارة في منطقة حمل المرجل البخارية.

**الشكل 2-34** العلاقة بين سماكة الرواسب وكفاءة انتقال الحرارة في منطقة حمل المراجل البخارية



ولتفادي هذه المشكلة يجب إجراء عمليات تنظيف على فترات زمنية متقطعة أثناء وجود الفرن في دائرة العمل. وتحدد طول الفترة الزمنية بين عمليتي غسيل تبعاً لتغير قيمة ضغط الشفط Draft، ودرجة حرارة الغازات الخارجة من المدخنة. يبين **الشكل 2-35** منطقة حمل الأفران والمراجل البخارية قبل وبعد عملية الغسيل.

**الشكل 2-35:** منطقة حمل الأفران والمراجل البخارية قبل وبعد عملية الغسيل



المصدر: Watson., M., 2015

#### ● إعادة استخدام بخار الماء من خطوط تصفية مياه التغذية

تحتوي المياه الخارجة من خطوط تصفية خزان الضغط العالي في مولد البخار على كمية لا بأس بها من بخار الماء ذي الجودة المنخفضة الذي يمكن



الاستفادة منه في عمليات التسخين المفتوحة، أو تسخين المياه الداخلة إلى المولد. تساهم هذه العملية في توفير ما يعادل 1.3% من كمية الوقود المستهلك في المرجل.

يلخص **الجدول 2-2** أهم إجراءات تحسين كفاءة الطاقة في مولدات بخار الماء، ونسبة توفير الوقود وزمن استرداد التكلفة والفوائد الأخرى التي يمكن الحصول عليها من تطبيق كل إجراء من هذه الإجراءات.

**الجدول 2-2: إجراءات تحسين كفاءة الطاقة في مولدات بخار الماء**

فوائد أخرى	زمن استرداد الكلفة (سنة)	نسبة توفير الوقود	الإجراءات
تخفيض الانبعاثات	0.6	3%	تحسين أجهزة القياس والتحكم
تخفيض الانبعاثات	-	2-5%	تخفيض كمية غازات المدخنة
	-	1% لكل 15% من الهواء الفائض	تخفيض هواء الاحتراق الفائض
تقصير زمن الإقلاع	?	6-26%	تحسين العزل الحراري
	2	1%	استرجاع حرارة غازات المدخنة
	1-2.7	1.3%	استرجاع بخار ماء التصفية
تخفيض المخلفات الصلبة الناتجة عن الوقود التقليدي	-	متغير	استخدام الوقود البديل

أما أهم إجراءات ترشيد استهلاك الطاقة في شبكة خطوط توزيع البخار فهي على النحو التالي:

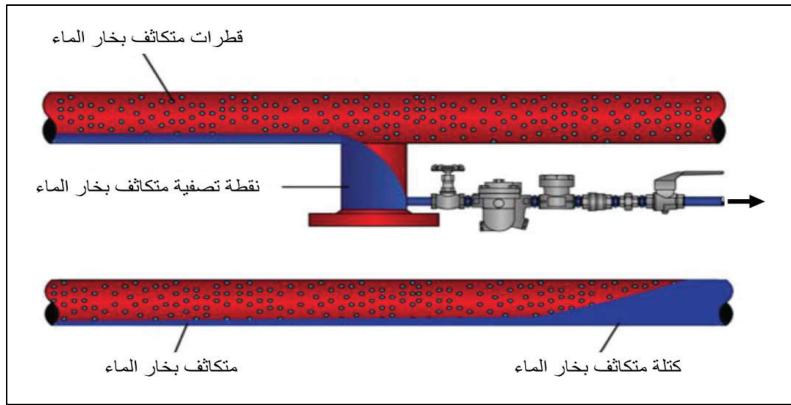
#### • تحسين العزل الحراري

يمكن تخفيض هدر الطاقة في خطوط أنابيب شبكة توزيع بخار الماء من خلال استخدام مواد عزل متطورة وعالية الجودة، من حيث مقاومتها لامتصاص الماء، وانخفاض ناقليتها الحرارية، ومقاومتها للحريق. كما يجب الاهتمام بجودة تطبيق برامج الصيانة الدورية للتأكد من أن مواد العزل الحراري قد تم إعادتها بشكل صحيح بعد إجراء عمليات صيانة خطوط الشبكة.

### • تطبيق برامج الصيانة الدورية على مصائد بخار الماء

تكتسب مصائد بخار الماء Steam trap أهمية خاصة بين مكونات شبكة توزيع بخار الماء نظراً لدورها في رفع كفاءة الطاقة في الشبكة. يتركز دور مصائد بخار الماء في فصل المياه المتكاثفة المرافقة لبخار الماء الجاري في خطوط الشبكة وتوجيهها نحو نظام استرجاع المياه المتكاثفة بهدف المحافظة على سهولة جريان البخار في الخطوط، وبالتالي تخفيف الفاقد الحراري. كما تعتمد جودة أداء عملية الفصل على اختيار أنواع جيدة من مصائد البخار ذات خصائص مقاومة للاهتراء والتآكل. فعند تعطل المصيدة عن أداء عملها تتجمع المياه المتكاثفة في الخط وتتراكم إلى الحد الذي يعيق الجريان فتحدث ظاهرة الطرق Hammer التي ينتج عنها في بعض الحالات تحطم خطوط الشبكة وتسرب كميات كبيرة من بخار الماء إلى الجو. يبين الشكل 2-36 مبدأ عمل مصيدة بخار الماء.

الشكل 2-36: مبدأ عمل مصيدة بخار الماء



المصدر: James, R., 2017

أشارت إحدى الدراسات المتخصصة إلى أن تطبيق برامج مراقبة وصيانة مصائد بخار الماء يؤدي إلى توفير في الطاقة، وهي تقنية حديثة تساعد على تنبيه المشغل إلى خلل وظيفة المصيدة فور حدوثه. وفي إحدى المصافي الأمريكية المتوسطة الحجم تم تحقيق وفر سنوي قدره 147 ألف دولار نتيجة تطبيق مثل هذا البرنامج. (Nippon, 2013)

### • استرجاع بخار الماء من وعاء تجميع المتكاثف

إن اضطراب ظروف عمل وعاء تجميع المياه المتكاثفة الخارجة من مصائد البخار يؤدي إلى هدر كبير في الطاقة، لذلك يتوجه الاهتمام نحو ضبط ظروف هذا الوعاء والعمل على استرجاع بخار الماء الناتج عن تحويل الضغط في الوعاء إلى الضغط الجوي والاستفادة منه في أعمال التسخين المفتوح، أو تسخين المياه المعالجة الداخلة كتغذية إلى مولد البخار. ويتوقف مدى الاستفادة من هذه العملية على ظروف شبكة خطوط التوزيع، وعلى مدى الحاجة إلى هذا البخار في عمليات التسخين. كما يجب التأكد من استرجاع المياه المتكاثفة إلى وحدة معالجة المياه للاستفادة منها كتغذية لمولدات البخار.

يلخص الجدول 2-3 إجراءات تحسين كفاءة الطاقة في شبكة توزيع البخار في مصفاة النفط، ومقدار توفير الوقود وزمن استرداد التكلفة.

الجدول 2-3: إجراءات تحسين كفاءة الطاقة في شبكة توزيع البخار

الإجراء	نسبة توفير الوقود	زمن استرداد (الكلفة سنة)	فوائد أخرى
تحسين العزل الحراري	3-13%	1.1	تقصير زمن الإقلاع
تحسين نوع مصائد البخار	غير معروف	غير معروف	اعتمادية أفضل
صيانة مصائد البخار	10-15%	0.5	
مراقبة آلية لمصائد البخار	5%	1	
إصلاح تسربات البخار	3-5%	0.4	تفادي أعطال كبيرة
استرجاع البخار من وعاء تجميع المتكاثف/إعادة المتكاثف	18%	غير معروف	تخفيض كلفة معالجة المياه
إعادة المتكاثف فقط	10%	1.1	تخفيض كلفة معالجة المياه

قد يواجه تطبيق برنامج تحسين كفاءة شبكة بخار الماء معارضة من قبل العاملين

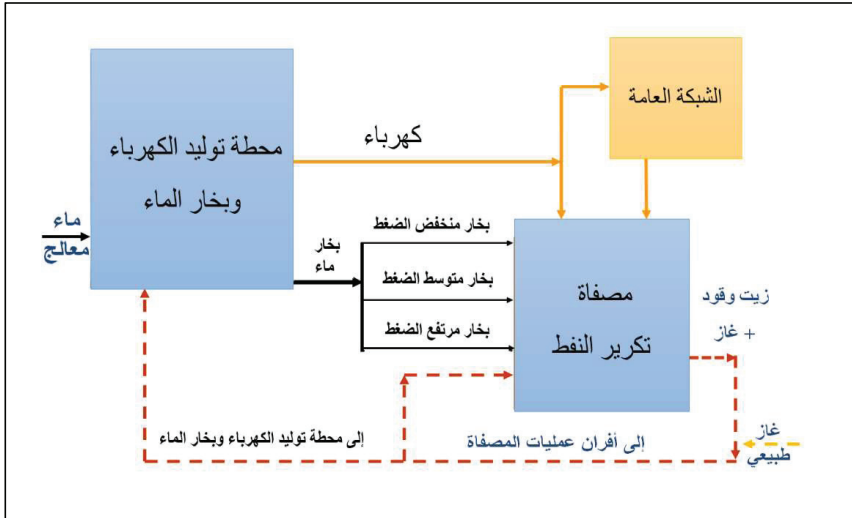
في المصفاة، وذلك للأسباب التالية: (Rossiter, P., & Jones, P., 2015)

- نقص الموارد
- ضعف إدراك فوائد صيانة مصائد البخار وشبكات التوزيع ودورها في خفض تكاليف الطاقة
- الجهل بكيفية تطبيق برنامج صيانة مصائد البخار والشبكات التابعة لها

- التركيز على أنظمة أكثر سهولة
- صعوبة حساب العائد على الإستثمار من تنفيذ البرنامج.
- تعزيز التكامل بين شبكات بخار الماء والطاقة الكهربائية

يمكن خفض تكاليف إنتاج توليد الطاقة من خلال تعزيز التكامل بين إنتاج بخار الماء اللازم لعمليات التكرير وتوليد الكهرباء، أو ما يسمى بالإنتاج المشترك للحرارة والطاقة - Combined Heat and Power Production- CHP. وتوفر هذه الفرصة إمكانية الاستفادة من الوقود الذي تنتجه المصفاة في إنتاج البخار وفي نفس الوقت في توليد الطاقة الكهربائية، فتتمكن بذلك من تلبية حاجتها من الطاقة الكهربائية، وتصدر الفائض إلى الشبكة العامة. ويبين الشكل 37-2 مخطط التكامل بين شبكات الوقود والبخار والكهرباء في مصفاة النفط.

**الشكل 37-2: مخطط التكامل بين شبكات الوقود وبخار الماء والكهرباء في مصفاة النفط**



تعود فوائد عملية التكامل بين شبكات الوقود وبخار الماء والكهرباء في مصفاة النفط إلى الأسباب التالية:

✓ توفير تكاليف نقل الوقود المستخدم في توليد الطاقة الكهربائية من خلال استخدام الوقود المنتج من المصفاة.

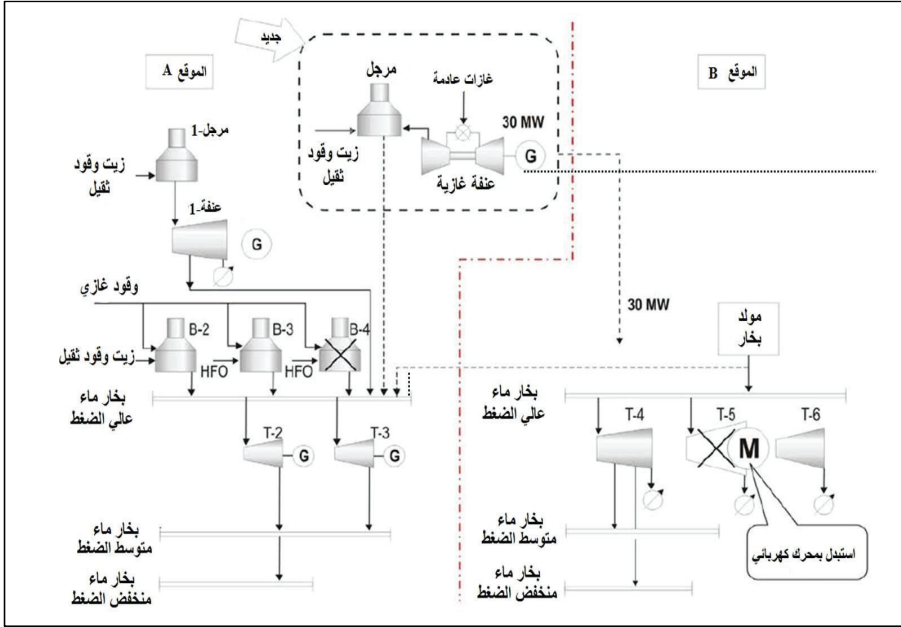
✓ تجنب الخسائر الناتجة عن هدر الطاقة نتيجة تقريب المسافة بين محطة توليد الكهرباء وموقع المصفاة.

✓ الاستفادة من الحرارة الضائعة من مولدات البخار في تدوير عنفات توليد الطاقة الكهربائية.

✓ الاستفادة من البخار الفائض عن حاجة المصفاة في توليد الكهرباء.

تلجأ بعض شركات الطاقة المتجاورة إلى تأسيس شركة مشتركة لتوليد الطاقة الكهربائية من خلال إنشاء وحدة توليد مشترك في موقع قريب من مجموعة مصافي أو وحدات إنتاج البتروكيماويات، وتوزيع الكهرباء وبخار الماء المنتج إلى أكثر من مستهلك، يمكن من خلاله الاستفادة من اقتصاد الحجم، وتوفير تكلفة الإنتاج، فضلاً عن إمكانية خفض تكاليف استهلاك الطاقة نتيجة الاستغناء عن مولدات الكهرباء وبخار الماء الصغيرة الحجم أو المنخفضة الكفاءة. (Hoong, C., et al., 2016) يبين الشكل 2-38 نموذجاً لاستخدام وحدة التوليد المشترك في موقعين متقاربين في سنغافورة، حيث تمكنت مصفاة النفط في الموقع A أن تستبدل أحد مراجل توليد البخار القديمة ذي الكفاءة المنخفضة باستيراد بخار ماء عالي الضغط من مجمع البتروكيماويات المجاور (الموقع B) (الخط المتقطع)، ومن وحدة توليد مشترك أنشئت في موقع قريب من الموقعين A و B. كما تمكنت وحدة البتروكيماويات في الموقع B أن تستبدل أحد التوربينات القديمة بمحرك كهربائي بعد أن حصلت على الكهرباء الكافية من وحدة التوليد المشترك (الخط المتقطع).

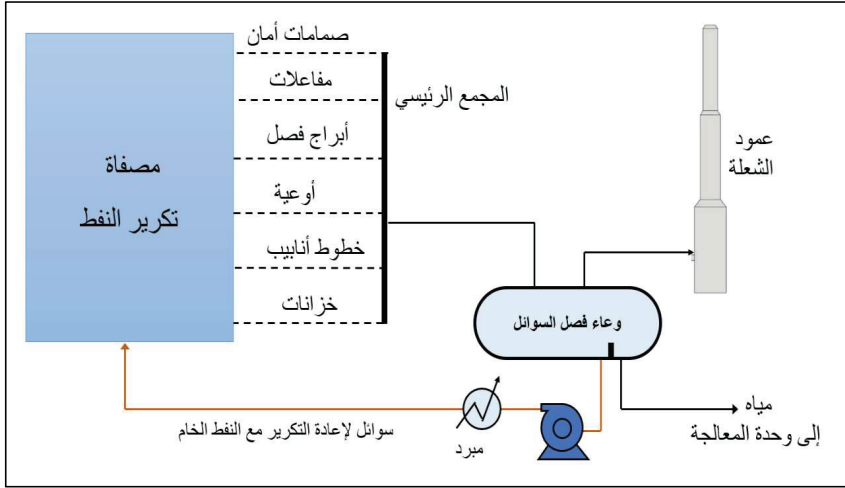
الشكل 2-38: نموذج استخدام وحدة التوليد المشترك



المصدر: Hoong, C., et al., 2016

## 2-7-6: منظومة تصريف الغازات والسوائل الخطرة Blowdown System

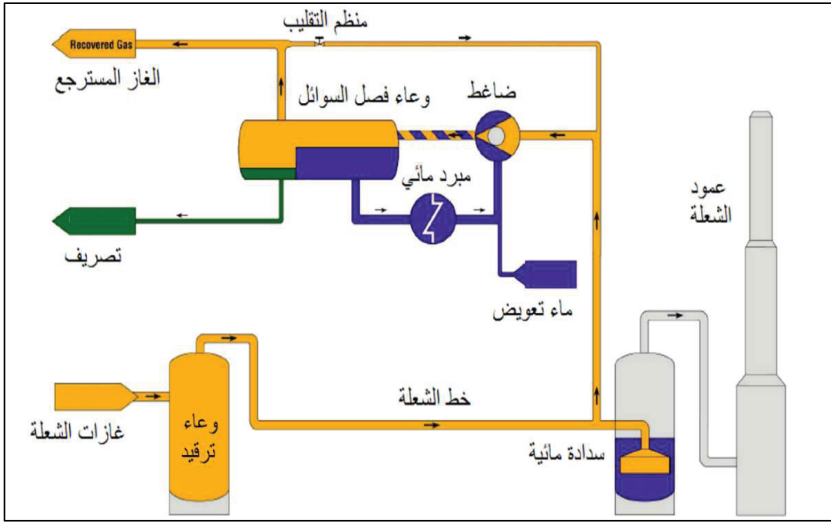
تتصل كافة المعدات في الوحدات الإنتاجية بشبكة تجميع عبر صمامات أمان وخطوط أنابيب، تستخدم للتصريف الآمن للغازات والسوائل الخطرة التي يتطلب تحريرها إلى خارج الوحدة، سواء بطريقة يدوية أو آلية، وذلك عند توقيف الوحدات الإنتاجية وتفريغها لإجراء أعمال الصيانة، أو في الحالات الطارئة. تتكون وحدة تصريف السوائل والغازات من مجموعة من الأوعية لفصل السوائل وترحيلها إلى خزانات خاصة ليعاد تكريرها، أما الغازات الخفيفة فترحل لحرقها في عمود الشعلة (Emam, A., 2015). يبين الشكل 2-39 منظومة تصريف الغازات والسوائل في مصفاة تكرير النفط.

**الشكل 2-39: منظومة تصريف الغازات والسوائل في مصفاة تكرير النفط**

تستهلك الشعلة كمية من الوقود الغازي بشكل مستمر لإبقاء شمعة اللهب الدائمة في رأس الشعلة لحرق الغازات الواردة في الحالات الطارئة، فضلاً عن كمية البخار التي تحقق في رأس الشعلة لحمايته من حرارة اللهب وتأمين كمية الأوكسجين اللازمة لحرق الغاز بشكل كامل. ولخفض هدر الغاز المستمر من شمعة الاحتراق الدائمة على فوهة الشعلة، المقدر بحوالي 45 قدم مكعب قياسي في الساعة، تم ابتكار شمعة الكترونية تعتمد على مبدأ قياس كمية الغازات الداخلة إلى الشعلة، وإعطاء إشارة إلى صمام الغاز ليفتح أو يغلق في الوقت المناسب. (Coppin, D., et al., 2011)

يمكن استرجاع الغازات الداخلة إلى الشعلة من مختلف وحدات المصفاة لاستخدامها كوقود في أفران المصفاة بدلاً من حرقها. يبين الشكل 2-40 مخطط وحدة استرجاع غازات الشعلة في مصفاة النفط.

## الشكل 2-40: مخطط وحدة استرجاع غازات الشعلة في مصفاة النفط



المصدر: Kafrudi, E., et al., 2017

## 7-7-2: منظومة مياه التبريد

تستهلك مصافي النفط كمية كبيرة من الطاقة في عمليات التبريد بالمياه، وبالتالي فإن أداء منظومة مياه التبريد ينعكس على كفاءة استهلاك الطاقة في المصفاة. فعلى سبيل المثال، يؤدي ارتفاع درجة حرارة مياه التبريد إلى ارتفاع درجة حرارة وضغط منظومة أعلى عمود التقطير، مما ينتج عنه زيادة في الحمل الحراري على غلاية العمود لتحقيق المواصفات المطلوبة للمنتجات.

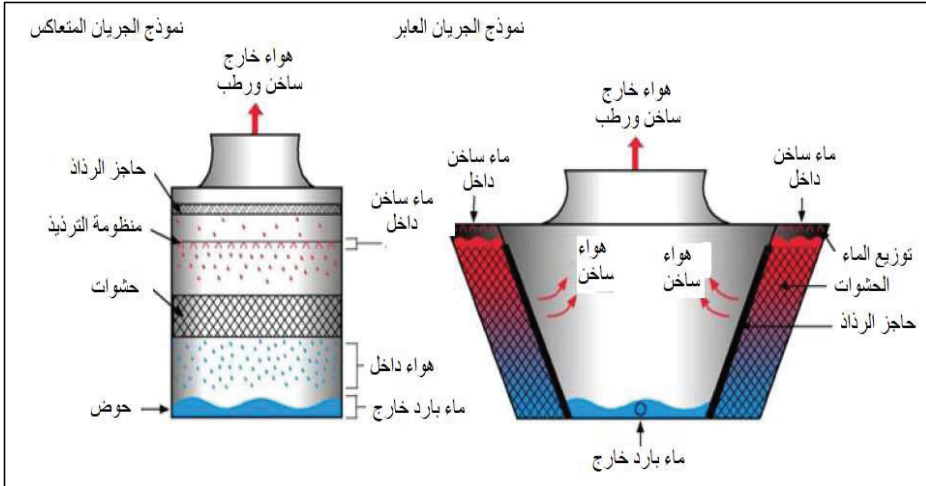
تتكون منظومة التبريد من جزئين رئيسيين، أبراج التبريد وخطوط توزيع مياه التبريد. وفيما يلي أهم فرص تحسين كفاءة الطاقة في هذين الجزئين من المنظومة. (Morrison, F., 2014)

- استبدال حشوات أبراج التبريد القديمة بأخرى متطورة ذات كفاءة أعلى، وذلك بسبب تصميمها الجديد الذي يعزز تلامس المياه الساخنة الداخلة إلى أبراج التبريد مع الهواء الجوي.



- **ضبط معدل جريان المياه بالقيمة المثالية**، حيث أن معدل التدفق المنخفض يساهم في توفير استهلاك الطاقة، إلا أن معدل التدفق العالي بالمقابل يخفض من الحاجة إلى تشغيل عدد المراوح الهوائية مما يؤدي إلى خفض استهلاك الطاقة الكهربائية.
- **تعديل نموذج جريان المياه**، فعندما يكون اتجاه جريان الماء في الأبراج متعاكس مع الهواء Counter-flow فإن طاقة التبريد تكون أعلى من الجريان العابر Cross-flow. إلا أنه في بعض الحالات يكون الجريان العابر أكثر ملاءمة بتأثير عوامل أخرى كسهولة الصيانة، وارتفاع درجة حرارة المياه الداخلة، وعدم توفر المساحة الكافية لإنشاء أبراج ذات تدفق متعاكس. **الشكل 2-41** مقارنة بين نوعي جريان تيار الماء والهواء في أبراج مياه التبريد.

**الشكل 2-41: مقارنة بين نوعي جريان تيار الماء والهواء في أبراج مياه التبريد**



المصدر: Morrison, F., 2014

- **اختيار حجم المراوح الهوائية** بحيث تكون سرعة دوران الشفرات أخفض من 12000 قدم /الدقيقة لتفادي حدوث الأعطال الطارئة والمحافظة على زمن تشغيل المروحة أطول مدة زمنية ممكنة، على أن

لا تنخفض سرعة الهواء الخارج من المروحة عن 12000 قدم/الدقيقة لتفادي تقلاب الهواء الساخن الخارج إلى مدخل الهواء البارد إلى المروحة.

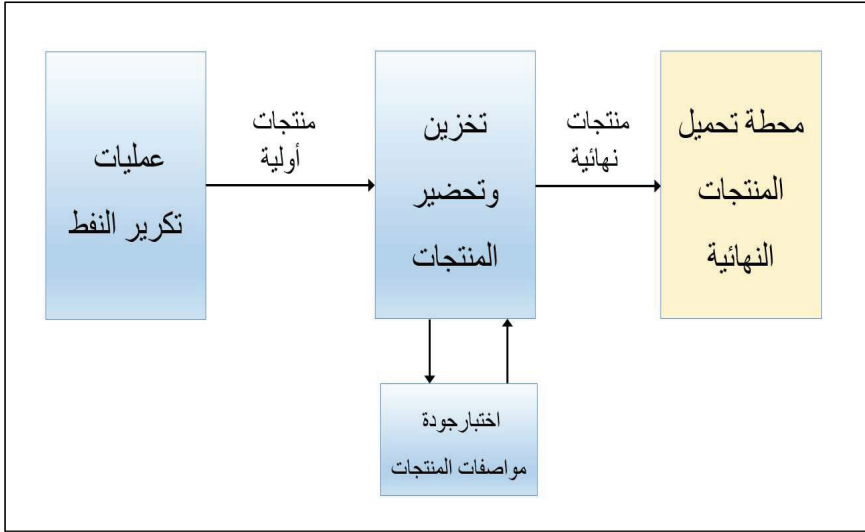
- **الاهتمام بجودة مياه التبريد**، من خلال العناية بضبط برنامج المعالجة الكيميائية والفلترة، والتصفية المستمرة، وذلك لضمان خلوها من الرواسب التي تؤدي إلى انسداد المبادلات الحرارية والمبردات، علاوة على انسداد فوهات حشوات الأبراج، والتي تسبب خفض كفاءة التماس بين الماء الساخن وتيار هواء التبريد، وبالتالي ارتفاع استهلاك الطاقة.
- **التأكد من عدم وجود صمامات وتوصيلات غير ضرورية** على شبكة توزيع مياه التبريد لتفادي حدوث عائق يؤدي إلى صرف طاقة أكبر لرفع الضغط.
- **تركيب محركات متعددة السرعات** للتحكم بطاقة عمل المراوح الهوائية ومضخات مياه التبريد عند القيمة المثالية لتفادي هدر الطاقة.

## 8-7-2: منظومة تخزين وتحضير المشتقات النفطية Storage Tanks

تحتوي مصافي النفط على عدد كبير من خزانات النفط الخام والمنتجات الوسيطة والنهائية، وبسعات تخزينية تكفي لمدة زمنية كافية لتفادي الاضطرابات المحتملة أثناء نقل المواد من مكان إلى آخر.

تتشكل المنتجات النهائية من مزيج من عدة مكونات تقوم المصفاة بإنتاجها من عمليات التكرير المختلفة. وتتم عملية التحضير بسحب نسب محددة من تلك المكونات الموجودة في الخزانات ووضعها في خزان المنتج النهائي، ثم تؤخذ عينة من هذا الخزان إلى المختبر الكيميائي قبل شحن المنتج إلى مراكز التوزيع لإجراء التحاليل اللازمة للتأكد من مطابقة المنتج للمواصفات المطلوبة. يبين الشكل 2-42 سير العمل في منظومة تخزين وتحضير منتجات المصفاة.

## الشكل 2-42: سير العمل في منظومة تخزين وتحضير منتجات المصفاة



تحتاج بعض المنتجات إلى تسخين أثناء تخزينها عندما تكون درجة لزوجتها عالية في درجات حرارة الطقس العادية، وتتم عملية التسخين بواسطة أنابيب يمرر فيها البخار داخل الخزان، أو بواسطة ملفات تسخين كهربائية Electrical Coils. كما تحتاج منتجات أخرى إلى تبريد عندما تكون درجة كثافتها منخفضة، وذلك لتخفيض نسبة تبخر الهيدروكربونات الخفيفة إلى الجو، وتتم عملية التبريد بواسطة أجهزة تبريد كهربائية.

يمكن تخفيض استهلاك الطاقة في مسخنات ومبردات الخزانات بإتباع

الإجراءات التالية: (IPIECA, 2013)

- تخفيض زمن التخزين بإعداد برنامج زمني لترحيل المنتجات في أسرع وقت ممكن.
- ضبط درجة الحرارة عند القيمة المثالية المناسبة.
- إجراء صيانة دورية لأجهزة التسخين والتبريد للكشف عن الأعطال وإصلاحها فور حدوثها.

## 2-7-9: المعدات الدوارة Rotating Equipment

تستخدم المعدات الدوارة في معظم عمليات مصافي النفط، وتتكون بشكل رئيسي من المحركات الكهربائية والمضخات والضواغط والمراوح والنوافخ، وتستهلك المحركات الكهربائية في أكثر من 80% من إجمالي الطاقة الكهربائية المستهلكة في المصفاة. تتوزع نسب استخدام المحركات الكهربائية في تدوير المضخات بنسبة تصل إلى حوالي 60% من إجمالي المحركات المستخدمة، وضواغط الهواء التي تمثل حوالي 15%، ثم المراوح 9%، والباقي 16% للتطبيقات الأخرى. ويمكن تحسين كفاءة الطاقة وتخفيض استهلاكها في المحركات والمضخات والضواغط والمراوح بإتباع الإجراءات التالية:

### • ضبط حجم المحركات والمضخات والضواغط

إن لاختيار الحجم المناسب للمحركات دور كبير في تحسين كفاءة الطاقة في مصافي النفط، فعندما يكون المحرك أو الضاغط أكبر من اللازم يؤدي ذلك إلى استهلاك كبير للطاقة دون فائدة.

### • اختيار أنواع متطورة من المحركات

توجد أنواع من المحركات ذات كفاءة عالية مصنوعة من مواد عالية الجودة، ومصنعة بطرق متطورة، ومن مزايا هذه المحركات أنها تعمل بدرجة حرارة منخفضة، واهتزاز منخفض، وعمر زمني أطول، فضلاً عن أنها تستهلك طاقة بمعدلات أقل من المحركات التقليدية.

أثبتت التجربة العملية أن استبدال المحرك القديم بأخر ذي كفاءة عالية يعتبر أفضل اقتصادياً من عملية إعادة لف أسلاك المحرك القديم Rewinding، حيث أن عملية إعادة اللف في معظم الأحوال تخفض من كفاءة المحرك الأصلية وتؤدي إلى زيادة في استهلاك الطاقة الكهربائية.

### ● مراقبة درجة حرارة المحركات الكهربائية

إن المراقبة المستمرة لدرجة حرارة المحرك والتأكد من سلامة معدات التبريد والتهوية تساهم في حماية الملفات من التلف، حيث أن ضعف التبريد يؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة الكهربائية في المحرك.

### ● اختبار خصائص زيت تزييت الضواغط والمضخات

يجب إجراء اختبار دوري لزيت تزييت الضواغط والمضخات، وذلك للتأكد من ثبات خصائصه لضمان عدم حدوث اهتراء في الأجزاء المتحركة ينتج عنه زيادة في استهلاك الطاقة.

### ● استخدام محركات ذات سرعات قابلة للتعديل Adjustable Speed

تلجأ المصافي إلى استخدام محركات ذات سرعات قابلة للتعديل في الحالات التي تتطلب تغيير معدل جريان السائل عبر مضخات الطرد المركزي Centrifugal pumps أو الضواغط، أو عند تعديل في كمية هواء المراوح، حيث يمكن أن تساهم هذه العملية في توفير كبير في استهلاك الطاقة بدلاً من إبقاء المحرك عند سرعة ثابتة، فضلاً عن التوفير الناتج عن تخفيف اهتراء أجزاء المحرك وإطالة الفترة الزمنية اللازمة لصيانتها.

### ● استبدال وتجديد المضخات القديمة

أثبتت التجربة العملية أن المضخة تفقد حوالي 10-25% من كفاءتها خلال عمرها الافتراضي، وقد لا يعود سبب انخفاض الكفاءة فقط إلى قدم المضخة إنما بسبب تغير ظروف تشغيل الوحدة مع الزمن دون مراعاة تعديل الخصائص التصميمية للمضخة بما يتناسب مع ذلك التغيير.

### ● استخدام عدة مضخات على التوازي

يعتبر أسلوب استخدام عدة مضخات على التوازي بدلاً من مضخة واحدة، في حالات التشغيل التي تتغير فيها معدلات الجريان بشكل متكرر، من الإجراءات الفعالة جداً لتوفير الطاقة الكهربائية، وذلك من خلال توفير إحدى

المضخات عند انخفاض الجريان في الخط بدلاً من إغلاق الصمام على خط المادة الخارجة من المضخة في حال وجود مضخة كبيرة واحدة.

#### • تحسين برامج الصيانة الدورية والوقائية للمضخات وملحقاتها

يساهم تطبيق برامج الصيانة الدورية في تفادي الأعطال الطارئة التي ينتج عنها هدر كبير للطاقة. كما تساهم إجراءات الكشف الدوري على خطوط المضخات والضواغط في الكشف عن احتمالات وجود تجمع للرواسب أو انسداد يؤدي إلى إعاقة مرور السائل، وبالتالي ارتفاع استهلاك الطاقة.

#### • تحسين جودة سيور نقل الحركة

إن استخدام سيور نقل الحركة ذات خصائص متوافقة مع المعايير الدولية يساعد على تفادي إجهاد المراوح والنوافخ وإضعاف كفاءتها.

#### • استخدام أنظمة تحكم متطورة

تلعب التقنيات الحديثة لأنظمة التحكم دوراً هاماً في ترشيد استهلاك الطاقة المستهلكة في المضخات والضواغط، فعلى سبيل المثال، يمكن تركيب دارة توقيف محرك المضخة عندما يتوقف الجريان في المضخة بشكل كامل بدلاً من إغلاق صمام التحكم، ثم يعيد تشغيل المحرك عند اللزوم. وقد نتج عن تطبيق هذا النموذج في إحدى المصافي الأمريكية إلى توفير مبلغ قدره 32 ألف دولار سنوياً و 400 ألف كيلو وات ساعة من الكهرباء سنوياً. (EPA, 2010)

### 2-7-10: شبكات الإنارة

على الرغم من أن نسبة استهلاك الإنارة لا يتجاوز 2% من إجمالي استهلاك الطاقة الكهربائية في مصفاة النفط، إلا أنه من الممكن أن يساهم تطبيق بعض الإجراءات في تحسين كفاءة استخدام الطاقة في المصفاة. من أهم هذه الإجراءات ما يلي: (Narsimha Rao, G., 2015)

- **تركيب حساسات ضوئية** لتنظيم تشغيل مصابيح الإنارة عند الضرورة وإغلاقها آلياً عند عدم الحاجة إليها. من هذه الحساسات ما ينظم عمل مصابيح الإنارة في الأماكن المشغولة بالأشخاص وتتوقف آلياً عند خروجهم من المكان.
- **استبدال مصابيح الإنارة التقليدية** بأخرى غازية ذات كفاءة أعلى وتستهلك طاقة أقل.
- **استخدام مرآيا عاكسة** تساعد في توجيه ضوء المصابيح إلى الأسفل، أو إلى الأماكن التي تحتاج إلى تكثيف الإنارة عليها، وبالتالي يمكن تخفيض عدد المصابيح اللازمة لإنارة منطقة محددة.
- **تخفيض توتر التيار** المغذي لشبكات الإنارة، وهذا يساعد على تخفيض استهلاك الطاقة بمعدل يمكن أن يصل إلى 30%.

## 2-8: دور التقنيات الحديثة في تحسين كفاءة الطاقة

تقوم مراكز الأبحاث العلمية بدور كبير في ابتكار تقنيات جديدة تساهم في تحسين كفاءة الطاقة في كل من عمليات التكرير الأساسية والمساندة، وفيما يلي بعض الأمثلة:

### 2-8-1: استخدام تقنيات التحكم المتطورة Advanced Control System

تكتسب منظومة القياس والمراقبة والتحكم أهمية كبيرة في إدارة كفاءة الطاقة وترشيد الاستهلاك وذلك من خلال دورها الهام في تحسين دقة وجودة البيانات المتعلقة بظروف التشغيل، حيث تساهم في اختصار الزمن اللازم لإنجاز المهام المعقدة، وتحسين استقرار عمل وحدات المصفاة، وبالتالي تخفيض معدل التوقفات الطارئة التي ينتج عنها هدر كبير في الطاقة.

ساهمت التطورات الحديثة التي أدخلت على نظم القياس والتحكم في تطوير عمل مصافي النفط من خلال ابتكار أجهزة مراقبة متطورة لمستويات استهلاك الطاقة، منها ما يطبق على مستوى كافة وحدات المصفاة، ومنها ما يتناول تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في بعض الأجهزة والمعدات الخاصة، ويمكن تصنيف فرص تحسين

كفاءة الطاقة في المصفاة باستخدام أجهزة التحكم المتطورة من خلال المجالات التالية: (white, C., 2005)

- تطوير دقة أجهزة القياس الحقلية.
- تحسين سرعة تجاوب معدات التحكم النهائية كالصمامات والمحركات متعددة السرعة.
- تحسين أداء دارات التحكم Control Loops ببعض المعدات المستقلة، كأبراج التقطير والغلايات والأفران.
- تعزيز فعالية المراقبة الشاملة لظروف تشغيل المصفاة ومعدلات استهلاك الطاقة في معدات المصفاة.

## 2-8-2: استخدام عوامل حفازة متطورة

تسعى الشركات المصنعة للعوامل الحفازة Catalysts إلى تطوير أنواع جديدة ذات كفاءة أعلى بدرجات حرارة أخفض، مما يساعد على تخفيض كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة التفاعل.

## 2-9: تعزيز الوعي بأهمية ترشيد استهلاك الطاقة

تقوم بعض مراكز الأبحاث وشركات النفط العالمية بتبادل الخبرات حول أفضل الممارسات التي توصلت إليها لتحسين كفاءة الطاقة في منشآت النفطية، علاوة على تنظيم حملات توعية بأهمية تطبيق إجراءات ترشيد استهلاك الطاقة ودوره في خفض الانبعاثات وحماية البيئة من التلوث.

## ● تحسين عملية التواصل بين الدوائر والأقسام

تلعب عملية التواصل بين العاملين في الأقسام دوراً مهماً في تنبيه المشغلين إلى مواعيد تنفيذ الأعمال الضرورية، علاوة على إتاحة الفرصة لتبادل الأفكار والآراء حول المشكلات التي تسبب هدراً في الطاقة، فعلى سبيل المثال، لوحظ في إحدى وحدات التقطير وجود انسداد في أحد المبادلات



الحرارية الأولية مما أدى إلى إخراجها من دائرة العمل لإجراء عمليات التنظيف الإعتيادية، وبعد الإنتهاء من عملية التنظيف قام المسؤول عن الصيانة بإعلام رئيس مجموعة المشغلين، ونظراً لعدم وجود نظام تسجيل ملاحظات متطور في القسم، لم يتم إعلام المجموعة القادمة عن جاهزية المبادل الحراري وإعادته إلى دائرة العمل، فبقي على هذا الوضع أكثر من ثلاثة أشهر بينما لم يستغرق إعادة المبادل إلى دائرة العمل سوى ساعات معدودة، وقد نتج عن هذا الخطأ هدر في الطاقة بقيمة مائة ألف دولار أمريكي. (Rossiter, P., & Jones, P., 2015)

- تعزيز مشاركة العاملين في مشاريع تحسين كفاءة الطاقة من خلال الإعلان عن النتائج التي أمكن الحصول عليها مقارنة بفترات زمنية سابقة.
- دمج العاملين في دورات تدريبية، دورية خارجية وفي موقع العمل، وذلك بهدف رفع قدرتهم على التحكم بظروف تشغيل الوحدات وخصوصاً في الحالات الطارئة التي قد تؤدي إلى خسائر كبيرة في الطاقة.

## 2-10: دراسة حالة تطبيق فرص تحسين كفاءة الطاقة في مصافي نفط شركة توتال

يمثل استهلاك الطاقة في قسم تكرير النفط حوالي 50% من إجمالي استهلاك الطاقة في مجموعة منشآت شركة توتال الفرنسية، أو ما يعادل 8 مليون طن نفط مكافئ في السنة. وهذا ما يجعل مشروع تحسين كفاءة الطاقة في المصافي التابعة لهذه الشركة في مقدمة اهتمام الإدارة باعتباره فرصة ضرورية لتخفيض تكاليف التشغيل، وتحسين التزام الشركة بمتطلبات التشريعات الخاصة بخفض انبعاث غازات الدفيئة. (Coppin, D., et al., 2011)

في عام 2010 أطلقت الشركة مبادرة لتحسين كفاءة الطاقة في مصافي النفط التابعة لها في كل من أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية. تضمنت المبادرة التركيز على ثلاث مجالات رئيسية، هي كما يلي:

- تنفيذ مشاريع لتطوير بعض الوحدات الإنتاجية.

- تطبيق برنامج إدارة كفاءة الطاقة في المصافي الأوروبية.
- تأسيس مركز دعم فني جديد.

### أولاً: تنفيذ مشاريع لتطوير بعض الوحدات الإنتاجية

قامت الشركة بتنفيذ مشروعين رئيسيين لإعادة بناء وتطوير بعض المنشآت بهدف تحسين كفاءة الطاقة، وهما مشروع تطوير مصفاة نورماندي، ومشروع تطوير مصفاة بورت آرثر، وفيما يلي نبذة عن هذين المشروعين:

#### • مشروع تطوير مصفاة نورماندي

يتضمن مشروع تطوير مصفاة نورماندي إعادة تأهيل بعض الوحدات الإنتاجية القديمة وإدخال بعض التطورات التقنية الحديثة عليها ورفع طاقتها الإنتاجية، وفي نفس الوقت اتخذ القرار بإيقاف عدد من الوحدات الأقدم التي أصبح من غير المجدي الاستمرار بتشغيلها، نظراً لتهاكك معداتها، وقدم التقنية المتبعة في عملياتها التكريرية. من هذه الوحدات التي سيتم توقيفها، إحدى وحدات تقطير النفط الخام، ووحدة التكسير بالعامل الحفاز، وإحدى وحدات أزمره الناftا، ووحدة بلمرة بالعامل الحفاز، وأحد مراحل توليد البخار.

يتضمن الجزء الثاني من المشروع تطوير الوحدات الأخرى وإضافة معدات جديدة، منها على سبيل المثال، تركيب مبادل حراري جديد من نوع Packinox الذي يتميز بكفاءة نقل حراري عالية، وذلك بهدف تعظيم التكامل الحراري في وحدة التهذيب بالعامل الحفاز Catalytic Reforming مما يسمح بإمكانية الاستغناء كلياً عن أحد الأفران العاملة في هذه الوحدة.

أما الجزء الثالث من هذا المشروع فيتضمن إنشاء وحدة معالجة هيدروجينية جديدة عالية الضغط، تهدف إلى تعزيز قدرة المصفاة على إنتاج الديزل الحاوي على نسبة منخفضة جداً من الكبريت ULSD، فضلاً عن تحسين كفاءة الطاقة.

بلغت كلفة المشروع حوالي 740 مليون يورو، ويتوقع أن يساهم في تحسين مؤشر كفاءة الطاقة Energy Efficiency Index للمصفاة بمقدار 6%، على الرغم من ارتفاع درجة تعقيد المصفاة بنسبة 20%، إضافة إلى تخفيض معدل انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة 30% عن المستوى الذي كان عليه في عام 2008.

### • مشروع مصفاة بورت آرثر Port Arthur

يتضمن مشروع تطوير مصفاة بورت آرثر إنشاء مجمع جديد يتكون من الوحدات التالية:

✓ وحدة تفحيم مؤجل (Delayed Coker).

✓ وحدة تقطير فراغي.

✓ وحدة معالجة هيدروجينية لزيت الغاز.

✓ وحدة استرجاع كبريت.

✓ وحدات خدمية ومساندة.

يهدف المشروع إلى تمكين المصفاة من تكرير النفط الخام الثقيل، وإلغاء إنتاج زيت الوقود بتحويله إلى مشتقات خفيفة، ورفع معدل إنتاج المصفاة من وقود الديزل الحاوي على نسبة منخفضة جداً من الكبريت (ULSD) بمقدار 3 مليون طن في السنة.

بلغت كلفة المشروع 2.2 مليار دولار، خصص منها حوالي 425 مليون دولار لتنفيذ الإجراءات البيئية وتحسين كفاءة الطاقة، وعلى الرغم من زيادة تعقيد المصفاة بنسبة 30% أمكن المحافظة على مستوى استهلاك الطاقة في المصفاة بفضل تطبيق برنامج إدارة كفاءة الطاقة.

## ثانياً: تطبيق برنامج إدارة كفاءة الطاقة في المصافي الأوروبية

أطلق على برنامج إدارة الطاقة في المصافي الأوروبية اسم AMPERE، وهي تعبر عن Act and Manage our Performance in Energy for Refining Europe والذي بدأ العمل به عام 2010، ويتكون من الإجراءات التالية:

- تحديد أفضل المعايير المتبعة في تقييم مستوى كفاءة الطاقة في صناعة تكرير النفط، وتطبيق أفضل الممارسات في مجال تعزيز إدارة العمليات التشغيلية، وعمليات صيانة المعدات، وتدريب العاملين.
- تحديد الاختناقات والثغرات التي تؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة، والبحث عن الحلول المناسبة لكل موقع من المواقع المحددة.
- تطبيق خطة تنفيذية ومراقبة لمستوى تطور الأداء في مجال تحسين كفاءة الطاقة.

شاركت في تنفيذ برنامج إدارة الطاقة في المصافي الأوروبية شركات استشارية خارجية متخصصة في مجال تحسين كفاءة الطاقة. كما تم تصنيف الإجراءات التي تضمنتها خطة العمل إلى مجموعتين، تضمنت المجموعة الأولى الإجراءات التي تتعلق بتحسين الأداء التشغيلي للوحدات والمعدات القائمة، بينما تناولت المجموعة الثانية الإجراءات التي تحتاج إلى استثمارات كبيرة وخطط تنفيذية تحتاج إلى مدة زمنية طويلة لإنجازها:

- **مجموعة الحلول القريبة الأجل**، وتمثل مجموعة الإجراءات المتعلقة بتحسين أداء الوحدات القائمة، من خلال رفع الوعي بمبادئ وأهمية تحسين كفاءة الطاقة، وتدريب العاملين، والعناية بترتيب ونظافة مواقع العمل، والمراقبة المستمرة لمعدلات استهلاك الطاقة، وهي إجراءات يمكن تنفيذها على المدى القريب بدون تكاليف مالية باهظة، وفيما يلي بعض الأمثلة على هذه الإجراءات:

✓ تحسين ظروف تشغيل الأفران في عمليات التكرير.

- ✓ إدارة شبكات الطاقة (البخار والوقود والكهرباء) بشكل أكثر فعالية.
- ✓ تبادل الخبرات في مجال تطبيق إجراءات تحسين كفاءة الطاقة بين مصافي النفط الأوروبية.
- ✓ الاهتمام بالفقرات الخاصة بإجراءات تحسين كفاءة الطاقة في برامج تدريب العاملين.
- ✓ بناء الوعي لدى العاملين في المصفاة بمبدأ الكفاءة الاقتصادية لعمليات التشغيل، من خلال نشر الأهداف المطلوب تحقيقها، والتركيز على مفهوم مؤشرات الأداء الرئيسية التي يتم إعدادها لمراقبة تطور الأداء في المصفاة.
- ✓ تطوير عمليات النمذجة Modelling ووسائل تعظيم الإنتاج.
- ✓ الاهتمام بعمليات الفحص الفني الدوري للمعدات الرئيسية، كالأفران ومصائد البخار والعنفات، وذلك بهدف الكشف عن الأعطال قبل تفاقمها.
- ✓ إعداد خطط لإجراء عمليات غسيل المعدات أثناء وجودها في دارة العمل، والتي تتعرض للاتساخ وتجمع الرواسب على سطوح انتقال الحرارة، كالأفران والمبادلات الحرارية.
- ارتفع تصنيف مؤشر كفاءة الطاقة نتيجة تطبيق برنامج إدارة كفاءة الطاقة بحوالي 2% في مصافي نفط شركة توتال، وهذا يمثل بالنسبة للشركة توفير ما يعادل 50 مليون يورو سنوياً من تكاليف التشغيل.
- **مجموعة الحلول البعيدة الأجل، وهي الحلول التي تتضمن تطوير الوحدات الإنتاجية وإدخال تغييرات هيكلية عليها من خلال إعداد خطط إستراتيجية تناسب كل موقع من مواقع مصافي النفط التابعة للشركة، وذلك لتحقيق الأهداف التالية:**

✓ تخفيض استهلاك الطاقة وما يرافقه من انبعاث لغاز ثاني أكسيد الكربون.

✓ رفع نسبة استرجاع الطاقة العادمة وتخفيض ما أمكن من الحرارة الضائعة إلى الجو.

✓ تحسين كفاءة استخدام البخار في مواقع المصفاة.

✓ تطبيق تقنيات التوليد المشترك لتوليد الطاقة الكهربائية والبخار.

✓ تحسين التكامل الحراري فيما بين الوحدات والمعدات القائمة في هذه الوحدات.

قدرت التكاليف الاستثمارية لإجراءات المجموعة الثانية بحوالي 300 مليون يورو للمصفاة، حيث ساهمت في رفع تصنيف مؤشر كفاءة الطاقة بحوالي 3% بعد خمس سنوات من إعداد الخطة الإستراتيجية للتطوير.

### ثالثاً: تأسيس مركز دعم واستشارات فنية

أسس هذا المركز لتقديم الدعم والاستشارات الفنية لمصافي نفط شركة توتال في مشروع تطبيق برنامج إدارة كفاءة الطاقة في المصافي الأوروبية AMPERE، وذلك فيما يتعلق بتنفيذ النشاطات التالية:

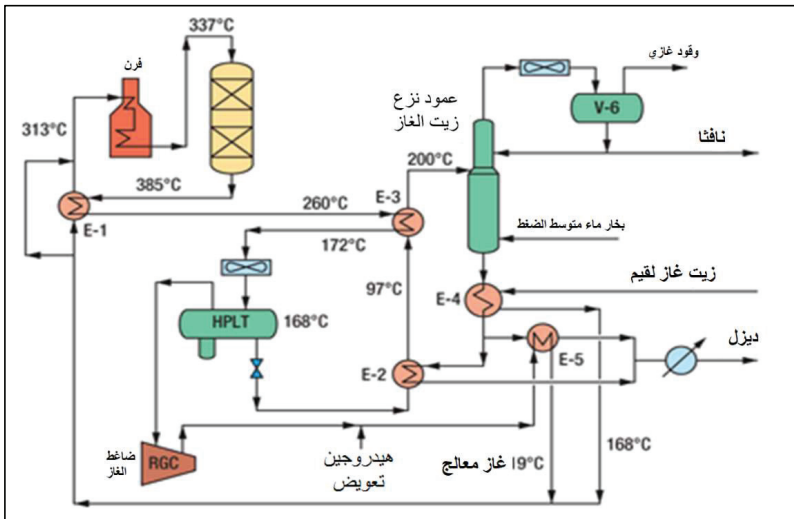
- إجراء تقييم مستوى أداء الطاقة، والعمل على إعداد خطط تنفيذية للتحسين.
- المساعدة في تطبيق الخطط التنفيذية لتحسين كفاءة الطاقة.
- إجراء مراجعات دورية لنظم إدارة الطاقة في مواقع المصافي.
- تقديم مساعدة في عمليات تفصي الأعطال التشغيلية في موقع الوحدات الإنتاجية، واقتراح الحلول المناسبة عند الطلب.

## 11-2: دراسة حالة تحسين كفاءة الطاقة في وحدة معالجة هيدروجينية لزيت الغاز

انطلق برنامج تحسين كفاءة الطاقة في وحدة معالجة هيدروجينية في إحدى المصافي الأوروبية بتقييم الوضع الراهن من خلال قياس مؤشر كفاءة الطاقة، وهو مؤشر يمثل النسبة بين معدل استهلاك الطاقة الفعلي للوحدة ومعدل الاستهلاك المثالي المستهدف في تصميم الوحدة، عند قيم تشغيلية متماثلة، أو في القيم المعيارية لمصفاة مماثلة. وقد أشارت نتائج تجربة اختبار الأداء أن قيمة مؤشر كفاءة الطاقة للوحدة يعادل 250%، أي أن معدل استهلاك الطاقة الفعلي يبلغ أعلى بحوالي 2.5 ضعفاً من القيمة المطلوبة.

يبين الشكل 2-43 مخطط سير عملية المعالجة الهيدروجينية لزيت الغاز، حيث يسخن اللقيم (زيت الغاز) لترتفع درجة حرارته من 160°م إلى 313°م قبل دخوله إلى الفرن في المبادل الحراري E-1 بالاستفادة من حرارة الخارج من المفاعل الذي يمر بعد ذلك إلى المبادل E-3 ليرفع درجة حرارة اللقيم الداخل إلى برج النزع Stripper، ومنه إلى المبردات الهوائية، ثم إلى فاصل السائل عن الغاز. (Worrell, E., Corsten, M., & Galitsky, C., 2015)

### الشكل 2-43: مخطط وحدة المعالجة الهيدروجينية لزيت الغاز



بعد تحديد أسباب تدني مستوى مؤشر كفاءة الطاقة في الوحدة تم اقتراح عدة حلول لمعالجة المشكلة، وكان أفضلها زيادة مساحة سطح التبادل الحراري للمبادلين E-1 و E-3 بهدف تحسين الاستفادة من حرارة الخارج من المفاعل، وبالتالي خفض الفرق بين درجة حرارة التيار الساخن (الخارج من المفاعل) و  $385^{\circ}\text{C}$  وبين درجة حرارة التيار البارد (اللقيم) قبل دخوله إلى الفرن بمقدار يتراوح بين  $40^{\circ}\text{C}$  إلى  $(72^{\circ}\text{C})$ . وقد تم تقييم أربع خيارات يمكن من خلالها زيادة سطح التبادل الحراري، وذلك من حيث التكلفة والمردود الحراري، وزمن استرداد رأس المال، ومدى التوفير في الطاقة الحرارية للفرن، وذلك على النحو التالي:

- تركيب أنابيب ملتوية في حزم المبادلين E-1 و E-3، وهو الخيار الأبسط، والأمثل من حيث زمن استرداد رأس المال من بين الخيارات المقترحة.
  - زيادة سطح التبادل الحراري بمقدار 33% بتركيب حزمة أنابيب مع هيكل جديد في كل مبادل.
  - زيادة سطح التبادل الحراري بمقدار 67% بتركيب حزمتين جديدتين في كل مبادل، ويتميز هذا الخيار بارتفاع تكاليف تنفيذه، وبالتالي ارتفاع زمن استرداد رأس المال.
  - زيادة سطح التبادل الحراري بمقدار 100% بتركيب ثلاث حزم جديدة في كل مبادل.
- يبين الجدول 2-4 مقارنة بين خيارات زيادة سطح التبادل الحراري للمبادلات الحرارية في وحدة هدرجة الديزل.



**الجدول 2-4: خيارات زيادة سطح التبادل الحراري للمبادلات الحرارية في وحدة هدرجة الديزل**

الخيار	التوفير جيجا جول/ساعة	قيمة التوفير 1000 يورو/السنة	الاستثمارات مليون يورو	زمن استرداد رأس المال	حمل الفرن جيجا جول/ساعة
الحالة الأساس	0	0	0	0	24.7
تركيب حزمة أنابيب ملتوية في E1 و E3	5.2	380	1.7	4.5	18.8
زيادة سطح التبادل الحراري بمقدار 33%	5.2	335	1.6	4.8	18.8
زيادة سطح التبادل الحراري بمقدار 67%	7.9	490	2.3	4.6	16.3
زيادة سطح التبادل الحراري بمقدار 100%	9.2	537	2.9	5.5	15.5

**نتائج تنفيذ البرنامج**

أظهرت عملية تقييم نتائج تنفيذ المشروع أن التعديلات التي أدخلت على الوحدة قد ساهمت في تحسين مؤشر كفاءة الطاقة من 250% إلى 140%، إضافة إلى الفوائد غير المباشرة الناتجة عن تخفيف العبء الحراري على الفرن، والتي ساعدت على رفع الطاقة الإنتاجية للوحدة، فضلاً عن تحسين الربحية نتيجة تخفيض تكاليف استهلاك الوقود والطاقة الكهربائية.

## الفصل الثالث

### نظام إدارة الطاقة في صناعة تكرير النفط

لم تعد قضية المحافظة على موارد الطاقة تقتصر على تلبية متطلبات التشريعات البيئية، ثم تتوقف فور الحصول على ترخيص تشغيل المنشآت الصناعية، بل أصبحت مجموعة من التدابير المستمرة، وتوظيف كافة الإمكانيات المتاحة لضمان الاستخدام الأمثل للطاقة، وتحقيق أعلى درجات التميز الممكنة. (Rossiter, P., Jones, P., 2015)

يمثل نظام إدارة الطاقة Energy Management System القاعدة الأساسية التي تنطلق منها برامج تحسين كفاءة الطاقة، وذلك من خلال دوره في تحديد أماكن وفرص خفض استهلاك الطاقة، وبالتالي خفض تكاليف التشغيل التي تعتبر من أكثر العوامل المساعدة على تحسين القدرة التنافسية للشركات والمنشآت الصناعية.

#### 3-1: معايير إدارة الطاقة

يعرف معيار إدارة الطاقة بأنه أحد أهم الوسائل التي تساعد الشركات والمنشآت الصناعية على إعداد السياسات، وتحديد الأماكن الرئيسية لاستهلاك الطاقة، وتقييم معدلات التخفيض الممكنة من خلال تأسيس نظام لإدارة الطاقة.

انطلقت فكرة إعداد معايير لنظم الإدارة في سبعينيات القرن العشرين، ونشرت أول سلسلة معايير دولية لإدارة الجودة في مطلع الثمانينيات من قبل المنظمة الدولية للتقييس International Standardisation Organisation وهي سلسلة ISO:9000. وفي مطلع التسعينيات صدرت العديد من المعايير الاسترشادية لمختلف نظم الإدارة، كالمعيار البريطاني BS:8800، الخاص بالصحة والسلامة المهنية، أو معيار سلسلة تقييم الصحة والسلامة المهنية OHSAS:18001، ومعيار الإدارة البيئية ISO:14001، ومعايير السلامة

المهنية وحماية البيئة التي أصدرها معهد البترول الأمريكي API:9100A،  
و API:9100 B (EMAS, 2012)

### 2-3: معيار إدارة الطاقة ISO:50001

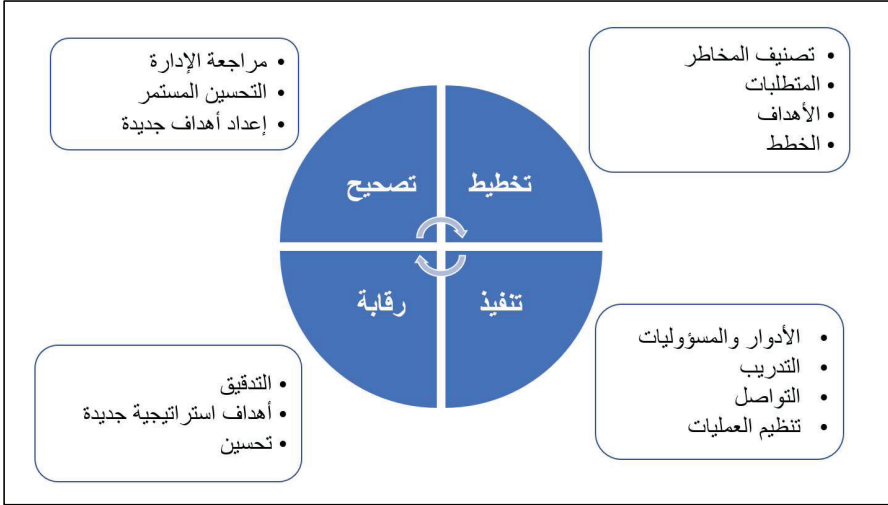
أصدرت المنظمة الدولية للتقييس ISO في عام 2011 معياراً خاصاً لإدارة الطاقة ISO:50001:2011. وهو نسخة معدلة وبديلة عن معيار إدارة الطاقة الأوروبي EN 16001:2010، وذلك لمساعدة المنشآت الصناعية على مواجهة التعقيدات، وتسهيل تنفيذ إجراءات ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها بأقل التكاليف الممكنة، علاوة على تنظيم إجراءات التحسين وجعلها جزءاً من الأعمال الاعتيادية في المنشأة.

(Rossiter, P., Jones, P., 2015)

على الرغم من تشابه معيار إدارة الطاقة ISO:50001 مع المعايير الأخرى ISO:9001 و ISO:14001، من حيث الاعتماد على العناصر الأساسية الأربعة (التخطيط – التنفيذ – الرقابة - والتصحيح) إلا أنه يختلف من حيث عدم تحديد إجراءات تحسين الأداء، أو خفض استهلاك الطاقة بل يتركها للمنشأة تبعاً لخصوصيتها والظروف السائدة فيها. (EMAS, 2012)

يحتوي معيار إدارة الطاقة ISO:50001 على متطلبات تأسيس، وتنفيذ، وحفظ، وتطوير نظام إدارة الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها في المنشآت الصناعية، وخلق الأسس التي تركز عليها عمليات التحسين، علاوة على توفير الدليل الاسترشادي لإجراءات ترشيد استهلاك الطاقة في كافة أجزاء ومناطق المنشأة. يبين الشكل 1-3 العناصر الأساسية لمعيار إدارة الطاقة ISO:50001.

### الشكل 3-1: العناصر الأساسية لمعيار إدارة الطاقة ISO:50001



المصدر: EMAS, 2012

يحتوي معيار إدارة الطاقة ISO:50001 على مفاهيم رئيسية ضرورية للتعريف بالمعيار، وهذه المفاهيم ليست غريبة عن المفاهيم التي تحتويها معايير الإدارة الأخرى، ولكنها خاصة بمعيار إدارة الطاقة، وأهم هذه المفاهيم ما يلي:

#### • الاستخدام المهم للطاقة Significant Energy Use

يعرف مصطلح "الاستخدام المهم للطاقة" في معيار إدارة الطاقة على أنه يؤشر إلى الأماكن التي يكون فيها استهلاك الطاقة كبيراً وتشكل فرصاً محتملة لتطبيق إجراءات خفض الاستهلاك، أو تحسين كفاءة الطاقة. ويتوقف تحديد مدى أهمية الموقع على ظروف المنشأة وطبيعة عملها.

#### • الأداء المرجعي للطاقة Energy Baseline

يحدد الأداء المرجعي للطاقة من قبل المنظمة، ويعبر عن المتغيرات التي تؤثر على معدلات استهلاك الطاقة في فترة زمنية محددة، كدرجة حرارة الطقس، وفصول السنة، ودورة نشاط الأعمال، أو أية ظروف أخرى. تقوم

المنظمة بتقييم أدائها في مجال ترشيد استهلاك الطاقة مقارنة بتلك القيم التي تم الحصول عليها أثناء فترة الأداء المرجعي.

### • مؤشرات أداء الطاقة Energy Performance Indicators

تقوم المنظمات بمراقبة التغيير في مؤشرات أداء الطاقة مقارنة بمستوى الأداء المرجعي، بهدف رصد وقياس مدى تقدم عملية التحسين المستمر في كفاءة الطاقة. ويمكن للمنظمة أن تستخدم أكثر من نوع من أنواع مؤشرات قياس الأداء، تبعاً لظروفها الخاصة، مثل مؤشرات الإنتاج، أو ظروف العمليات، أو دورة نشاط الأعمال.

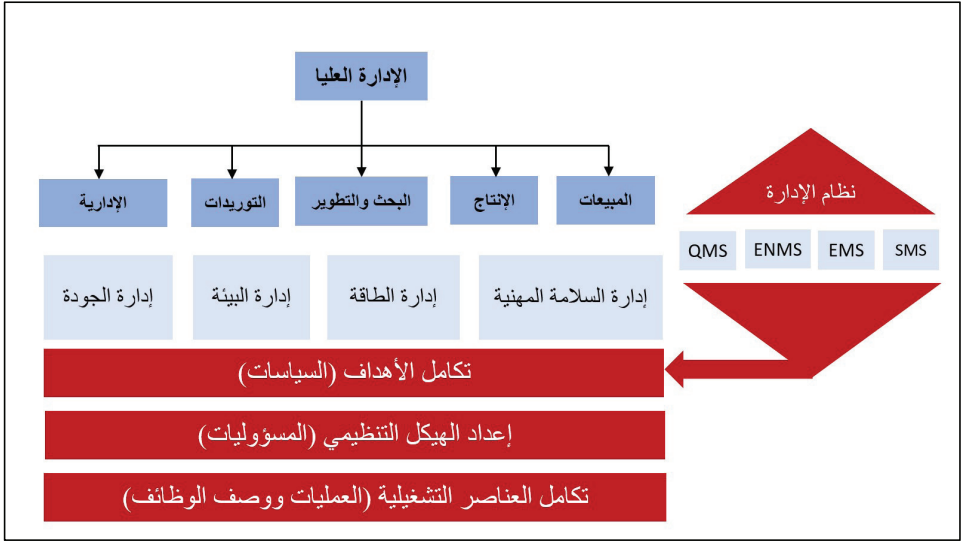
### 3-3: تكامل معيار إدارة الطاقة مع نظم الإدارة الأخرى

صمم معيار إدارة الطاقة ISO:50001 بهيكلية تسهل التكامل مع معايير الإدارة الأخرى، كمعيار نظام إدارة الجودة ISO:9001، ومعيار نظام الإدارة البيئية ISO:14001، حيث أن كافة هذه المعايير تعتمد على مبدأ التخطيط، والتنفيذ، والإختبار، والمراقبة، ثم التحسين المستمر. كما تشير البيانات الإحصائية إلى أن معظم الشركات والمنشآت الصناعية التي حصلت على شهادة تطبيق إدارة الطاقة ISO:50001 كانت قد التزمت بمتطلبات معيار الإدارة البيئية ISO:14001 (Marimo, F., & Casadesus, M., 2017)

تشير الخبرة العملية إلى أن تطبيق نظام إدارة الطاقة يكون أسهل في المؤسسات الصغيرة منها والكبيرة التي سبق لها أن طبقت نظم الإدارة الأخرى، كما أن تطبيق النظم بشكل متكامل في آن واحد يساهم في خفض التكاليف، وتوفير الجهد والوقت اللازمين للتنفيذ.

تتركز مجالات التكامل بين نظم الإدارة في تحديد الأهداف والمسؤوليات والعناصر التشغيلية كوصف الأعمال وعمليات تنفيذ عناصر نظام الإدارة. كما يشترك في تنفيذ نظم الإدارة كافة إدارات المؤسسة بإشراف الإدارة العليا. يبين الشكل 3-2 تكامل معيار إدارة الطاقة مع معايير الإدارة الأخرى.

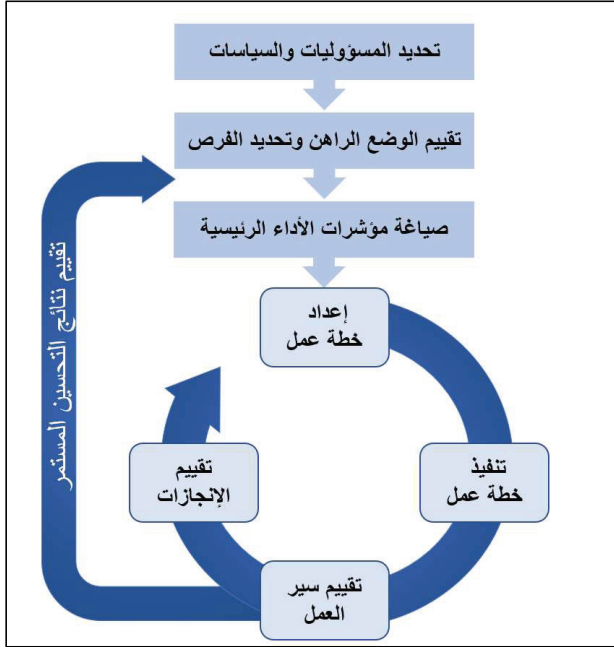
### الشكل 3-2: تكامل معيار إدارة الطاقة مع معايير الإدارة الأخرى



المصدر: EMAS, 2012

### 3-4: مراحل تطبيق نظام إدارة الطاقة

ينطلق مشروع تطبيق نظام إدارة الطاقة باتخاذ كافة الإجراءات التي يمكن من خلالها بلورة التزام العاملين في المصفاة بعملية التحسين المستمر، ثم تتبعها عملية إعداد خطة إستراتيجية تتكون من عدة خطوات تبدأ بتقييم مستوى الأداء الراهن وتحديد فرص تحسين كفاءة استهلاك الطاقة، والتي تعتبر المنصة التي تنطلق منها مرحلة إعداد وتنفيذ خطة العمل، ثم تأتي مرحلة التقييم المستمر لعملية التنفيذ، وذلك لمتابعة تقييم نتائج تقدم الأداء مقارنة بالتقييم التي كانت عليه قبل بدء التنفيذ، والكشف عن مواطن الضعف ونقاط الانحراف عن الخطة المرسومة وتحليل أسبابها، وإعداد الحلول المناسبة لتجنب تكرارها. يبين الشكل 3-3 مراحل تطبيق نظام إدارة الطاقة.

**الشكل 3-3: مراحل تنفيذ نظام إدارة الطاقة**

المصدر: Rossiter, P., &amp; Jones, P., 2015

**1-4-3: تحديد المسؤوليات والسياسات**

يتولى الإشراف على نظام إدارة الطاقة فريق عمل تمثل فيه كافة المستويات الإدارية المعنية في المصفاة، وذلك حتى يدرك الجميع أهمية مشروع تحسين كفاءة الطاقة ونتائجه الإيجابية. ولتحقيق هذه الغاية على الوجه الأكمل يجب التأكيد على ضرورة إخضاع العاملين في الوحدات الإنتاجية لدورات تدريبية لتحسين المهارات التي تعزز إدراكهم بممارسات تحسين أداء المصفاة في مجال ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها.

يتكون الهيكل التنظيمي لفريق العمل من رئيس يقوم بمسؤولية الإشراف،

إضافة إلى المجموعات التالية:

✓ مجموعة مهندسي التشغيل، تقوم بتحديد المشكلات التي تعاني منها الوحدات الإنتاجية واختيار الفرص المناسبة لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة.

✓ مجموعة من المهندسين والفنيين يتولون تحويل التحسينات التي تطرأ على عمليات المصفاة إلى مكاسب اقتصادية.

✓ مجموعة من المختصين بأجهزة التحكم والكمبيوتر والبنى التحتية، تقوم بتأمين المعلومات المتعلقة بالوضع الحالي والخطط المستقبلية.

✓ ممثل إدارة المصفاة، ويتولى مهام تصديق النتائج وإعداد تقرير دوري عن تقدم العمل في مراحل المشروع إلى الإدارة العليا.

✓ مستشارون خارجيون، لتقديم نصائح حول آخر التطورات المتعلقة بتقنيات تحسين أداء نظم الطاقة في مصافي النفط.

يختلف الهيكل التنظيمي لفريق عمل الإشراف على برنامج إدارة الطاقة في مصفاة تكرير النفط من منطقة لأخرى تبعاً لعوامل عديدة تتعلق بحجم وتعقيد المصفاة ونوع الوحدات الإنتاجية والخدمية، إضافة إلى هيكلية العلاقات الإدارية. ويمنح مدير الفريق صلاحية الدخول إلى كافة بيانات الطاقة في المصفاة.

تتولى الإدارة العليا للمصفاة، في إطار تنفيذ نظام إدارة الطاقة، القيام بالمسؤوليات التالية:

✓ تحديد سياسات تحسين كفاءة الطاقة والعمل على المحافظة على استمرار تطبيق هذه السياسات في كافة مواقع المصفاة.

✓ ضمان توفر الموارد اللازمة للمحافظة على استمرار نتائج تنفيذ نظام إدارة الطاقة.



✓ تعيين ممثل الإدارة في فريق عمل تنفيذ نظام إدارة الطاقة ومنحه الصلاحيات الكافية التي تمكنه من اتخاذ القرارات اللازمة لتنفيذ المشروع.

أما مسؤوليات ممثل الإدارة فتتركز في رفع تقارير دورية إلى الإدارة العليا لإطلاعها على تقدم العمل والنتائج والإنجازات التي تم تحقيقها، مع مراعاة ما يلي: (Rossiter, P., & Jones, P., 2015)

✓ إعداد مقاييس سهلة الاستخدام والقراءة، يمكن من خلالها قياس الأداء، كأن يحسب معدل التقدم في توفير استهلاك الطاقة بالوحدات الحرارية بدلاً من القيم المالية، حيث أن أسعار الطاقة متغيرة بشكل دائم، بينما كمية الطاقة ثابتة.

✓ التأكيد على أهمية نشر هذه المقاييس إلى كافة المعنيين بالبرنامج، وإيصال رسائل واضحة إليهم بأهمية الإجراءات المتخذة في تحقيق الأهداف المرسومة.

✓ وضوح عمليات حساب مقدار التوريد بحيث يسهل فهمها من قبل الجميع.  
✓ مشاركة الجمهور في البرنامج من خلال عقد اللقاءات والندوات المفتوحة لشرح الأهداف والفوائد المتوقعة من تطبيق البرنامج.  
✓ الواقعية والصدق في تقييم النتائج، والابتعاد عن تضخيم التوقعات.

#### • صياغة سياسة الطاقة

يشير معيار إدارة الطاقة ISO:50001 إلى أن نقطة البداية في تطبيق مشروع نظام إدارة الطاقة يجب أن تنطلق من صياغة السياسة التي ستتبعها الشركة في إدارة الطاقة، والتي تتضمن الأهداف التي تسعى الإدارة العليا للمصفاة أن تحققها من تطبيق نظام إدارة الطاقة، ويجب أن توثق هذه السياسة على شكل بيان مطبوع على نسخة ورقية ويوزع على كافة الأشخاص والأقسام والدوائر ذات العلاقة بمشروع إدارة الطاقة. (EMAS, 2012)

يجب أن يحتوي بيان سياسة الطاقة على التعليمات والإرشادات المتعلقة باستهلاك الطاقة، كمبادئ عمليات التشغيل، والأهداف البعيدة المدى للشركة، والتي ستستخدم كمقياس لمدى نجاح إدارة الطاقة. كما يجب أن يتضمن البيان التأكيد على التزام الإدارة العليا بتحسين كفاءة الطاقة في الشركة، والمحافظة عليها بشكل متواصل، وعزمها على تأمين كافة الموارد والمعلومات اللازمة لتحقيق هذه الغاية، كما يجب أن يتضمن البيان إقراراً واضحاً بالتزام الإدارة العليا بمتطلبات كافة التشريعات الخاصة بترشيد استهلاك الطاقة أو التشريعات الأخرى المتعلقة بنشاط الشركة كالتشريعات البيئية. ويبين الشكل 3-4 نموذجاً لبيان سياسة الطاقة لإحدى الشركات.

### الشكل 3-4: نموذج بيان سياسة الطاقة لإحدى الشركات

#### بيان سياسة الطاقة

نحن (شركة...) نؤكد التزامنا الدائم باتخاذ كافة الإجراءات الممكنة لخفض استهلاكنا من الطاقة، والعمل بشكل مستمر على تحسين كفاءتها في كافة أرجاء الشركة. كما نتعهد بتنفيذ كافة متطلبات معيار إدارة الطاقة ISO 50001:2011 كما سنقوم بشكل دوري بمراجعة مايلي:

- التأكد من توفر كافة الموارد اللازمة لتنفيذ البرنامج.
- أن كافة العاملين قد تم دمجهم في عمليات نظام إدارة الطاقة من خلال تحديد المسؤوليات.
- أن كافة الواجبات والمتطلبات المتعلقة بالتشريعات قد تم أخذها بعين الاعتبار.
- أن تقييم كفاءة الطاقة ومعدلات الاستهلاك يجري تنفيذها بشكل دوري ومنظم.
- وغيرها.....

التاريخ:..... المكان:..... الإسم:..... الوظيفة:.....

### 3-4-2: تقييم الأداء الحالي لاستهلاك الطاقة

يتم في هذه المرحلة تقييم الأداء الراهن للمصفاة، من خلال مراجعة بيانات الطاقة، وإجراء المقارنة المرجعية Benchmarking التي تعتمد على

تقييم مستويات الاستهلاك مقارنة بالمصافي العالمية المماثلة، وذلك بهدف تأمين البيانات اللازمة لعملية صياغة الأهداف المرجوة من تطبيق برنامج التحسين.

يقوم فريق العمل في هذه المرحلة بدراسة وتحديد الأهداف العامة المرجوة من تطبيق البرنامج من خلال الإجابة على بعض الأسئلة، وأهمها:

✓ ما هو مستوى أداء المصفاة في تطبيق برنامج ترشيد الطاقة مقارنة بالمصافي الأخرى المماثلة؟

✓ ما هي الفرص الأكثر ملاءمة لواقع وظروف المصفاة؟

✓ كيف يمكن تقييم تلك الفرص وترتيبها حسب الأولوية؟

✓ ما هي الأهداف التي يمكن تحقيقها والتحسينات التي يمكن تنفيذها؟

✓ كيف يمكن تصنيف وتجميع كافة الفرص في إستراتيجية متماسكة، ضمن خطة مناسبة، في جدول زمني مناسب للتنفيذ؟

✓ ما هي الموارد اللازمة لتنفيذ الفرص؟

تهدف عملية توصيف مستوى الأداء الراهن للمصفاة إلى الكشف عن نقاط الضعف التي تسبب زيادة استهلاك الطاقة، والبحث عن الفرص التي يمكن اغتنامها لتحسين كفاءة الاستهلاك، وتحديد مقدار التوفير المتوقع من تنفيذها، إضافة إلى دراسة وتحديد الأهداف التي تسعى إلى تحقيقها نتيجة تطبيق البرنامج، وذلك من خلال الخطوات التالية:

✓ تجميع البيانات المتعلقة بالانظم القائمة والوضع التشغيلي الحالي.

✓ إجراء مقابلات مع المشغلين في المصفاة لمناقشة النقاط والمواقع التي تعاني من مشكلات في استخدام الطاقة.

✓ تقييم اقتصاديات الطاقة في المصفاة، وذلك بهدف معرفة الجهات المستهلكة الرئيسية وتكاليف تشغيلها.

لتقييم مستوى الأداء الفعلي لوحدات المصفاة واستقراء نقاط الضعف التي تؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة عن القيم النظامية المعتمدة في المعايير العالمية يقوم فريق

العمل المكلف بإدارة البرنامج بإجراء تجارب اختبار لظروف التشغيل Test run، ودراسة موازنة الطاقة في المصفاة Refinery Energy Balance التي تتكون من حساب الكميات الداخلة والخارجة لشبكات بخار الماء والوقود والطاقة الكهربائية.

تساهم تجارب اختبار ظروف التشغيل ودراسة موازنة الطاقة في تحديد مواقع انحراف ظروف التشغيل عن القيم التصميمية في وحدات المصفاة، وبالتالي يمكن تحديد مواطن الخلل وأسبابها واتخاذ الإجراءات المناسبة لمعالجتها، إضافة إلى إظهار طبيعة الانعكاسات التي تحدثها إجراءات التحسين المتخذة على الأجزاء الأخرى للمصفاة، فعلى سبيل المثال، إذا لم يتم حصر وتحديد كافة الفروع المرتبطة بشبكة بخار الماء في المصفاة بشكل كامل، لا يمكن التأكد من أن مشروع تعديل تحسين التبادل الحراري لزيادة إنتاج البخار من الحرارة العادمة في منطقة ما من وحدات المصفاة لن يؤدي إلى حدوث فائض في البخار في منطقة أخرى قد تستوجب طرحه إلى الجو، مما يجعل الفائدة من إجراء التعديل معدومة. كما أنه لا يمكن معرفة مدى تأثير شبكة الوقود في المصفاة عند توقيف أحد مراحل إنتاج البخار عن العمل بغية توفير استهلاك الوقود إذا لم يكن لدينا معرفة شاملة ودقيقة بخطوط شبكات بخار الماء الرئيسية وتفرعاتها في المصفاة.

من الأمثلة التي توضح فوائد دراسة موازنة الطاقة في المصفاة عملية اختيار نوع الآلات الدوارة (ضواغط، ومضخات، ونوافخ،...) التي ستستخدم في المشاريع المستقبلية لتوسيع الوحدات الإنتاجية، حيث يمكن تحديد فيما إذا كانت ستدار بواسطة عنفة بخارية أو بمحرك كهربائي، وذلك من خلال معرفة مدى توفر الفائض من بخار الماء أو الطاقة الكهربائية في شبكات المصفاة.

عند إعداد موازنة وقود المصفاة تقاس كافة كميات الوقود المستهلكة على عدادات القياس المركبة على مدخل كل فرن، كما تقاس كمية الوقود المنتجة من الوحدات الإنتاجية على الخطوط الخارجة من كل مصدر من مصادر الإنتاج،

كما تحدد نسب مكونات الوقود الغازي من خلال نتائج تحليل العينات يدويًا أو باستخدام أجهزة التحليل المستمر المركبة على الخطوط Online Analysers.

يجب أن تشمل البيانات على كل ما يتعلق بمعدلات الاستهلاك ونسب التوفير التي نتجت عن تطبيق المشاريع السابقة لترشيد الاستهلاك. ولتسهيل عملية متابعة تطورات أداء استهلاك الطاقة يفضل فصل البيانات تبعاً لنوع الطاقة المستهلكة، كبخار الماء والوقود والطاقة الكهربائية. يبين الشكل 3-5 نموذجاً لأهم البيانات التي يجب تجميعها لمشروع تحسين كفاءة الطاقة (Rossiter, P., & Jones, P., 2015)

### الشكل 3-5: نموذج البيانات المطلوبة لمشروع تحسين كفاءة الطاقة

<ul style="list-style-type: none"> <li>• نوع وطبيعة الاتفاق               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ معدل التوفير</li> <li>○ المدة الزمنية للتوفير (مستمر أو لمرة واحدة)</li> </ul> </li> <li>• مصدر التوفير               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ بخار الماء (قيمة الضغط)</li> <li>○ وقود</li> <li>○ كهرباء</li> </ul> </li> <li>• الفائدة البيئية للتوفير               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ حالة المشروع</li> <li>✓ اكتمل إنجازه</li> <li>✓ قيد الإنجاز</li> <li>✓ قيد التخطيط</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• نوع المشروع               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ تغيير في عمليات الإنتاج                   <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ فوري أو سريع نسبياً</li> <li>✓ لا يحتاج إلى نفقات أو يحتاج إلى نفقات بسيطة</li> <li>✓ قد يحتاج إلى تغيير في إجراءات التشغيل أو الأهداف</li> <li>✓ ينتج عنه خفض مستمر في الاستهلاك</li> </ul> </li> <li>○ نفقات الصيانة (تسربات بخار الماء، وبرامج فحص مصائد البخار)                   <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ يحتاج إلى نفقات مستمرة</li> <li>✓ ينتج عنه توفير مستمر في النفقات تفوق التكاليف</li> </ul> </li> <li>○ مشروع رأسمالي                   <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ يحتاج إلى دراسة جدوى و تخصيص ميزانية</li> <li>✓ ينتج عنه توفير مستمر في النفقات والتكاليف</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• نوع وطبيعة التوفير               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ معدل التوفير</li> <li>○ المدة الزمنية للتوفير (مستمر أو لمرة واحدة)</li> </ul> </li> </ul>
---	---

ولتعظيم الاستفادة من البيانات، واختصار الوقت في إعداد الجداول يجب استخدام قاعدة بيانات تعتمد على أحدث التقنيات الحاسوبية المتطورة، ويراعى في تصميمها أن تحقق الشروط التالية: (Hooke, J., et al., 2005)

- ✓ سهولة رفع البيانات التي يتم الحصول عليها من الوحدات
- ✓ وضوح شكل مدخلات البيانات ما أمكن

- ✓ التأكد من أن كل رقم في قاعدة البيانات موضح بوحدة القياس المناسبة، حيث أن الرقم بدون وحدة قياس لأفائدة منه
- ✓ تأمين إمكانية تحويل وحدات القياس إلى أكثر من نوع حتى يتمكن المستخدم من اختيار ما يناسبه
- ✓ تضمين قاعدة البيانات أدوات مساعدة لتسهيل عملية إعداد التقارير
- ✓ تحديد مواعيد تجميع البيانات وإعداد التقارير هل هي يومية أو أسبوعية أو شهرية
- ✓ تأمين أدوات تحليل البيانات، كالجداول والمخططات البيانية
- ✓ إضافة آليه لتوضيح التكاليف ومقدار التوفير الناتج عن التغيرات في معدلات استهلاك الطاقة.

### 3-4-3: تحديد فرص تحسين كفاءة الطاقة

بعد الحصول على المخططات والبيانات التي تظهر الوضع الراهن لموازنة الطاقة في وحدات المصفاة يتم تحديد الفجوة بين الواقع الحالي والقيم المبينة في المعايير المعتمدة عالمياً لمصافي مماثلة، أو ما يسمى بالمقارنة المرجعية Benchmarking، وذلك بغية تحديد الاختناقات والنقاط التي تزيد فيها معدلات استهلاك الطاقة عن القيم المقبولة. وهذه الاختناقات تعتبر بالتالي فرصاً يمكن تنفيذها لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في المصفاة. ثم تصنف هذه الفرص تبعاً لأهميتها من حيث العائد الاقتصادي وتكاليف التنفيذ إلى فرص قريبة المدى وأخرى بعيدة المدى، وذلك في إطار التمهيد لمرحلة التنفيذ. وفيما يلي بعض الأمثلة للفرص التي يمكن تنفيذها في مصفاة تكرير النفط على المديين القريب والبعيد.

#### • فرص المدى القريب

تعرف فرص المدى القريب بأنها إجراءات فورية للحد من هدر الطاقة يمكن تنفيذها خلال مدة زمنية قصيرة وباستثمارات محدودة. وقد أثبتت الخبرة العملية لتنفيذ مشاريع مشابهة في بعض مصافي النفط إمكانية تخفيض ما يعادل

15-10% من كمية الطاقة المستهلكة، ومن أهم الأمثلة على هذه الإجراءات:

✓ إعداد برنامج المراقبة المستمرة لظروف عمل المعدات المستهلكة للطاقة، وتحديد العوامل المسببة للهدر بشكل آني، واتخاذ الإجراءات التصحيحية الفورية.

✓ استخدام تقنيات الأتمتة الشاملة التي تساعد المشغل على الكشف الفوري عن أي خلل يحدث في ظروف التشغيل، ليقوم بتصحيحه قبل تفاقمه، وبالتالي يمكن ضمان استقرار عمل الوحدات، وتخفيض التوقفات الطارئة التي تسبب هدر الطاقة وطرح كمية كبيرة من المواد الهيدروكربونية إلى شبكات تجميع النفايات، وإلى الهواء الجوي، أو الحرق في الشعلة، والتي تسبب تلويث البيئة، فضلاً عن الخسارة الناتجة عن خروج مواصفات المنتجات عن القيم النظامية، حيث تحتاج بعدها إلى كمية كبيرة من الطاقة لإعادة تكريرها.

✓ الاهتمام بتنفيذ برامج الصيانة الدورية والوقائية للوحدات الإنتاجية، بالشكل الذي يضمن استمرار عمل المعدات وسلامتها.

✓ تحسين التكامل الحراري في الوحدات الإنتاجية للاستفادة من الحرارة الضائعة، والبحث عن إمكانية تحويل اللقيم من الوحدات الرئيسية مباشرة إلى الوحدات اللاحقة دون تجميعه في خزانات وسطية، فيمكن بذلك توفير كمية الطاقة اللازمة لإعادة تسخين اللقيم مرة أخرى بعد أن تم تبريده بعد خروجه من الوحدات الرئيسية ليصبح قابلاً للتخزين.

✓ تطبيق برامج مراقبة ظاهرة الاتساخ Fouling في المبادلات الحرارية، التي تساعد على الكشف عن حدوث تدني في معدل انتقال الحرارة، وبالتالي إتاحة الفرصة لاتخاذ الإجراءات التصحيحية قبل تفاقم المشكلة.

✓ إصلاح نقاط فقد الطاقة في الأنابيب والأوعية والأفران كترميم مواد العزل الحراري التالفة، وتعديل مسارات الأنابيب ما أمكن لإزالة الزوايا الحادة التي تعيق جريان السائل وبالتالي تسبب ارتفاع كمية الطاقة اللازمة لضخه.

✓ استعمال مبادلات حرارية ذات تصميم متطور يؤمن سطح تبادل حراري أكبر ومردود أفضل.

✓ تدريب المهندسين على نظم نمذجة العمليات التكنولوجية Process Modeling Systems باستخدام برمجيات خاصة لاختيار أفضل الظروف المناسبة لتحسين مردود وأداء الوحدات الإنتاجية.

✓ الاستفادة من التطورات الحديثة في مجال استخدام العوامل الحفازة، كتلك المستخدمة في وحدات نزع الكبريت من المنتجات البترولية بالهيدروجين، والتي يمكن بواسطتها الحصول على مردود أعلى عند درجة حرارة تفاعل مماثلة.

✓ استخدام أجهزة التحليل المستمر المركبة على خطوط أنابيب عمليات الإنتاج On stream continuous analyzer تمكن المشغل من الحصول على قيم آنية لتحليل المنتجات، وبالتالي إتاحة إمكانية تصحيح الخلل فور حدوثه، واختصار زمن انتظار نتائج التحليل من المخبر.

✓ المراقبة الدائمة لأداء الأفران ومولدات البخار بشكل دوري، وتحليل أسباب الانحراف والبحث عن الحلول الممكنة.

#### • فرص المدى البعيد

تختلف فرص المدى البعيد في أن تنفيذها يحتاج إلى استثمارات كبيرة ومدة زمنية طويلة، لأنها تتعلق بإجراء تعديلات شاملة على البنية الأساسية لمعدات المصفاة أو الوحدات الإنتاجية، ومن أهم الأمثلة على هذه الإجراءات:



✓ تركيب مبادلات حرارية أو تبديل المبادلات القائمة لتحسين التكامل الحراري بين الوحدات الإنتاجية والخدمية، بحيث يستفاد من حرارة بعض الخطوط المطلوب تبريدها في تسخين خطوط وحدات أخرى.

✓ الاعتماد على تقنيات الوحدات التحويلية Bottom of the Barrel لإنتاج المشتقات الخفيفة، التي تستهلك طاقة أقل من وحدات التقطير الجوي التي تكرر النفط الخام، وفي نفس الوقت تزيد من نسبة إنتاج المشتقات الخفيفة المرغوبة.

✓ اعتماد تقنية التوليد المشترك Co-generation لتوليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء في المصفاة، حيث يمكن تصريف المنتجات الجانبية الفائضة والرخيصة الثمن، مثل فحم الكوك والقار، في توليد الطاقة الكهربائية اللازمة لتلبية حاجة المصفاة وبيع الفائض إلى الشبكة العامة.

✓ الاعتماد على التقنيات التي لا تحتاج إلى طاقة حرارية، فمثلاً تحتاج عملية حرق المخلفات Incineration الناتجة عن وحدة معالجة المياه الملوثة في المصفاة إلى كمية كبيرة من الطاقة مقارنة بطرق المعالجة الأخرى، كطريقة التثبيت الكيميائي أو الدفن في التربة.

✓ إعادة تصميم الوحدات الإنتاجية لتزويدها بالمرونة اللازمة لتكرير خامات مختلفة الخصائص، دون أن ينتج عنها توضع الرواسب على سطوح الأوعية والمبادلات الحرارية والتي تسبب هدراً كبيراً للطاقة.

### 3-4-4: إعداد مؤشرات الأداء الرئيسية

تستخدم مؤشرات الأداء لقياس كفاءة الطاقة في العمليات الصناعية، ومراقبة تطورها وتساعد على تحليل أسباب التغير واقتراح الحلول المناسبة. كما تساهم في قياس مدى التقدم في إنجاز برامج تحسين كفاءة الطاقة، وتقييم المردود الاقتصادي والتقني الذي يمكن الحصول عليه نتيجة التنفيذ.

إن تحديد مؤشرات قياس كفاءة الطاقة في صناعة التكرير عملية صعبة ومعقدة، وذلك نظراً للتباين الكبير بين خصائص وظروف عمل مصافي النفط، حيث أن لكل مصفاة ظروفها الخاصة المؤثرة على درجة أدائها، كمتطلبات السوق الذي تصدر له منتجاتها، ومدى صرامة التشريعات البيئية في المنطقة التي تعمل بها، ونوع النفط الخام المكرر واللحائم الأخرى المستخدمة، وخصائص ودرجة جودة المنتجات النهائية.

عند البدء بعملية إعداد مؤشرات الأداء الرئيسية يجب تحديد كيفية استخدام تلك المقاييس، وما هي الجهة التي سترسل إليها نتائج القياس، كما يجب تصنيف أداء الوحدات الإنتاجية وعمليات الإنتاج والمعدات حسب كفاءتها، وذلك من خلال الإجابة على الأسئلة التالية: (Talati, M., 2016)

1. ماهي الوحدات الإنتاجية التي تستهلك الطاقة بطريقة أكثر كفاءة؟
  2. ماهي عمليات الإنتاج الأكثر كفاءة في استخدام الطاقة؟
  3. ماهي أفضل ظروف التشغيل التي تتميز بكفاءة طاقة أعلى.
  4. هل أداء عمليات الإنتاج، والصيانة، وعمليات استبدال المعدلات القديمة، وبرنامج تدريب العاملين، في تراجع أم تحسن مستمر.
- ولتنفيذ عملية إعداد مؤشرات الأداء الرئيسية بطريقة اقتصادية ومضمونة بأقل التكاليف الممكنة يجب مراجعة مؤشرات القياس التي كانت تستخدم سابقاً والتأكد من مدى موثوقية البيانات التي تم الحصول عليها، وبالتالي يمكن الاستفادة منها والبناء عليها.

### 3-4-5: تحديد الأهداف المتوقعة من تنفيذ البرنامج

تساهم عملية تحديد الأهداف المتوقعة من تطبيق برنامج إدارة الطاقة في تسليط الضوء على مواطن التحسين، كما أنها تعكس مدى اهتمام الشركة بعملية ترشيد استهلاك الطاقة.

يجب أن تكون الأهداف منطقية وقابلة للتنفيذ وفقاً للإمكانيات المتاحة، وذلك لضمان ثقة العاملين في الشركة، وتعزيز حرصهم على نجاح البرنامج. ومن الشروط الأخرى التي يجب مراعاتها في تحديد الأهداف أن يشترك في إعدادها كافة العاملين في المصفاة حتى لا يسود اعتقاد لديهم بأنهم مستبعدون من مشروع تحسين كفاءة الطاقة . (Rossiter, P., & Jones, P., 2015)

تختلف الأهداف المتوقعة من تنفيذ برنامج إدارة الطاقة باختلاف ظروف كل مصفاة، والتحديات التي تعترضها، وطبيعة المشكلات التي تعاني منها. فعلى سبيل المثال، إذا كان الاهتمام كبيراً بتحسين الوضع التنافسي للشركة فعندئذ يجب التركيز على الأهداف التي تساهم في ردم الهوة بين الأداء الحالي للشركة وبين مستويات أداء الشركات المنافسة.

يبين **الجدول 3-1** نموذجاً لقائمة الأهداف المتوقعة من تنفيذ برنامج إدارة الطاقة في مجموعة مصافي تكرير النفط في ولاية كاليفورنيا في الولايات المتحدة الأمريكية، والإستراتيجيات الواجب إتباعها لتحقيق تلك الأهداف. (CEC, 2004)

**الجدول 3-1: نموذج لقائمة الأهداف المتوقعة من تنفيذ برنامج إدارة الطاقة**

الإستراتيجيات	الأهداف
إزالة عوائق اختيار مصادر الطاقة الأكثر كفاءة.	تأمين إمدادات طاقة دائمة ومستقرة
عقد علاقات شراكة بين المصافي المجاورة لتعزيز الاستفادة من شبكات الطاقة الكهربائية والوقود والبخار.	
إنشاء وحدات تغويز.	ابتكار مصادر جديدة للطاقة
البحث عن مصادر الطاقة البديلة (خلايا الوقود).	
الاستفادة من الغاز المنتج من حفر دفن النفايات.	تطبيق تقنيات تحسين كفاءة الطاقة
تحديد التقنيات الأكثر كفاءة في ترشيد استهلاك الطاقة.	
اختيار التقنيات الأنسب لطبيعة المصفاة.	
التنسيق مع مراكز الأبحاث للحصول على التقنيات المتطورة.	تطوير شبكة بيانات الطاقة
تأسيس مصدر بيانات مركزي لخيارات تحسين كفاءة الطاقة.	
تأسيس قاعدة بيانات للمصافي ومراكز توليد الطاقة الكهربائية لتشكيل خطوط اتصال لبحث فرص التعاون.	
تعزيز إمكانيةولوج إلى البيانات المتوفرة حول تحسين كفاءة الطاقة.	

### 3-4-6: مرحلة التنفيذ

تتضمن مرحلة تنفيذ برنامج إدارة الطاقة عدة خطوات تبدأ بإعداد خطة عمل تفصيلية مع جدول زمني لتنفيذ الفرص التي تم اختيارها في مرحلة التخطيط بحيث يمكن تحقيق الأهداف المرسومة. بعد ذلك تأتي خطوات تقييم نتائج تنفيذ العمل واتخاذ الإجراءات اللازمة للمحافظة على استدامة المكاسب التي أمكن الحصول عليها نتيجة تنفيذ البرنامج. وفيما يلي أهم خطوات مرحلة التنفيذ:

#### • إعداد خطة العمل

تأتي هذه الخطوة بعد اعتماد الفرص الأنسب من بين الخيارات المقترحة، وتتضمن إعداد جدول زمني لتنفيذ كل فرصة من هذه الفرص، وذلك بمشاركة مهندسين متخصصين بتنفيذ الأعمال الهندسية. وأثناء إعداد البرنامج الزمني تصنف أولوية تنفيذ الفرص حسب الأهمية، حيث يفضل البدء بالفرص التي يمكن تنفيذها على المدى القريب والتي لا تحتاج إلى استثمارات باهظة، كتعديل ظروف تشغيل العمليات، أو إدخال تعديلات ميكانيكية بسيطة على معدات التبادل الحراري. كما يتم تحديد المهام التي يمكن تنفيذها اعتماداً على الإمكانيات الذاتية أو تسليمها لشركات إنشائية خارجية متخصصة بأعمال التنفيذ.

#### • تنفيذ خطة العمل

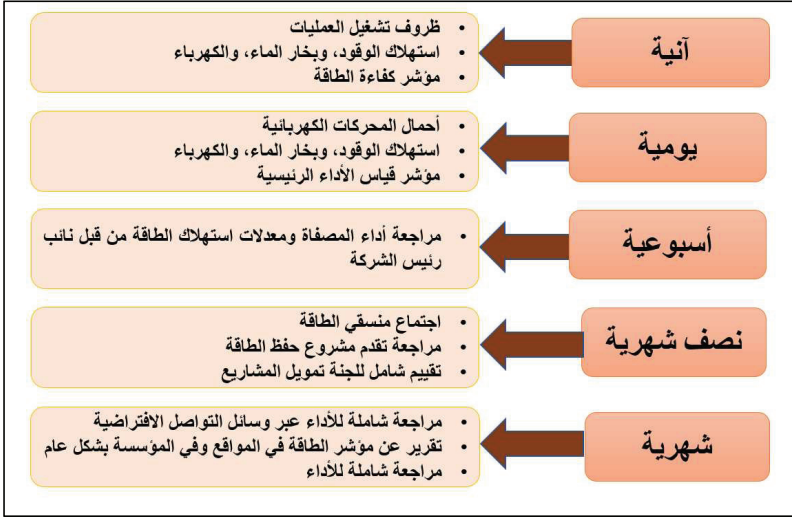
وهي الخطوة التي يتم خلالها إعداد الإجراءات اللازمة لوضع خطة العمل موضع التنفيذ، وتكلف الإدارة مجموعة من المتخصصين تتولى الإشراف على تنفيذ الأعمال المدرجة في خطة العمل، والتنسيق بين إدارة المصفاة والجهات المنفذة الخارجية.

#### • متابعة تقدم سير العمل

تهدف هذه الخطوة إلى التأكد من أن عملية تنفيذ خطة العمل تسير وفق الجدول الزمني المخطط، وأن الأعمال يتم تنفيذها وفقاً للشروط المتفق عليها في

وثائق التصميم والتعليمات الواردة في خطة العمل، ويجب تحديد برنامج للمراجعة اليومية والأسبوعية والشهرية والسنوية. يبين الشكل 3-6 جدول مراقبة برنامج إدارة الطاقة في مصافي شركة "ريليانس" الهندية.

### الشكل 3-6: جدول مراقبة برنامج إدارة الطاقة في مصافي شركة "ريليانس"



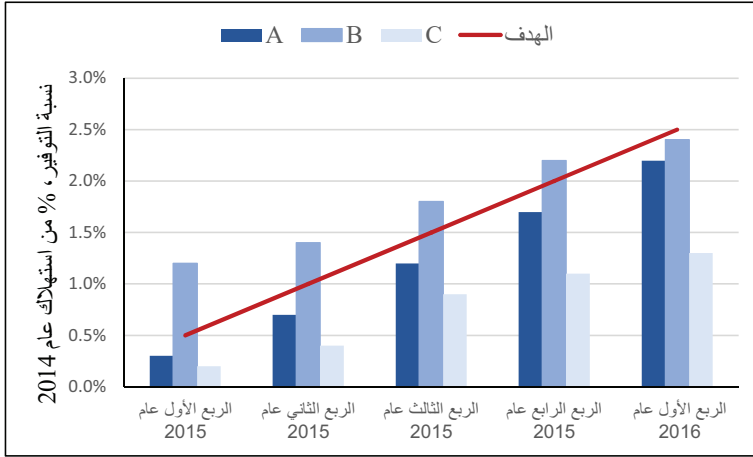
المصدر: Talati, M., 2016

#### • تقييم النتائج

تم عملية تقييم النتائج من خلال مقارنة مستوى الأداء الذي وصلت إليه المصفاة بعد تنفيذ خطة العمل بالمستوى الذي كانت عليه قبل بدء تنفيذ المشروع، وإعداد تقارير يومية وأسبوعية وشهرية تتضمن النتائج التي أمكن الحصول عليها مقارنة بالأهداف المرسومة. تهدف هذه الخطوة إلى تقييم الفوائد التي أمكن الحصول عليها، وتحديد مواطن الخلل، والبحث عن الحلول الممكنة لتفادي الثغرات والصعوبات التي واجهت عملية التنفيذ.

تقاس النتائج عادة بمقدار النسبة المئوية للتحسن مقارنة مع قيم سابقة خلال فترة زمنية محددة ولكل موقع من المواقع. يبين الشكل 3-7 تطور كفاءة الطاقة في ثلاث مواقع خلال فترات زمنية محددة.

### الشكل 3-7: تقييم نتائج تطبيق برنامج إدارة الطاقة



#### • توثيق النتائج

تكتسب عملية توثيق النتائج أهمية بالغة بالنسبة لمتابعة تطور أداء المصفاة في مجال تطبيق برامج تحسين كفاءة الطاقة والعودة إليها في المستقبل ، وللتأكد من أن عملية التوثيق تجري بالشكل الصحيح يجب الإجابة على الأسئلة التالية:

✓ ما هو موضوع الوثيقة؟

✓ ما هو القسم أو الدائرة التي يتعلق بها موضوع الوثيقة؟

✓ ماهي الأنشطة التي يجب توثيقها؟

✓ من هم الأشخاص الذين سترسل لهم الوثيقة؟

#### 3-4-7: التحسين المستمر

يسود أحياناً اعتقاد خاطئ لدى البعض أن مجرد تنفيذ بعض التحسينات على أداء عمليات التكرير في سنوات سابقة يحقق الهدف المنشود، إلا أن التجربة العملية أثبتت أن مؤشر كفاءة الطاقة يمكن أن يتغير مع الزمن، مما يؤكد على ضرورة إجراء مراجعة مستمرة لبرنامج إدارة الطاقة للتأكد من أنه يطبق بالشكل الصحيح. كما تهدف هذه

المرحلة إلى المحافظة على الفوائد والمكاسب التي تم تحقيقها نتيجة تنفيذ برنامج ترشيد استهلاك الطاقة، وذلك من خلال تنفيذ الإجراءات التالية:

- إجراء مراجعة دورية لكافة ظروف تشغيل معدات إنتاج واستهلاك الطاقة، وذلك لتقييم مقدار التوفير في الاستهلاك مقارنة بالأهداف المرسومة في خطة البرنامج، فإذا كانت معظم المواقع قد حققت نتائجاً أعلى من القيم المحددة في الأهداف فهذا يمكن أن يؤشر إلى أن الأهداف قد وضعت بقيم أدنى من الواقع والعكس صحيح.
  - إعادة تنفيذ مراحل برنامج ترشيد استهلاك الطاقة خلال فترات زمنية متقطعة للبحث عن فرص جديدة لخفض الاستهلاك، حيث أن تنفيذ المشروع للمرة الأولى لا يعني أن كافة الفرص قد تم اغتنامها، بل غالباً ما تظهر لاحقاً فرص جديدة لتحسين كفاءة الطاقة يمكن أن تكون جوهرية وذات فائدة كبيرة.
  - البحث فيما إذا كانت الموارد المتاحة قد تم استثمارها بالشكل الأنسب.
  - حساب الأرباح الناتجة عن تطبيق الفرص في كافة المواقع خلال فترة زمنية محددة.
  - نشر النتائج ورقياً أو إلكترونياً بحيث يمكن لكافة المشاركين في تنفيذ البرنامج أن يطلعوا عليها ويقدموا ملاحظاتهم، وهي خطوة ضرورية جداً لضمان استدامة النتائج.
- ولتسهيل عملية المراجعة الدورية لنظام إدارة الطاقة أصدرت منظمة التقييس الدولية لمعيار إدارة الطاقة ISO:50001:2011 قائمة تتضمن أهم الأسئلة التي يجب أن الإجابة عليها أثناء إجراء المراجعة للتأكد من مدى نجاح المنشأة من تطبيق نظام إدارة الطاقة. يبين الجدول 2-3 قائمة أسئلة مراجعة نظام إدارة الطاقة.

الجدول 3-2: قائمة أسئلة مراجعة نظام إدارة الطاقة

البند	الأسئلة	نعم/لا	ملاحظات
A	مسؤولية الإدارة		
A1	الإدارة العليا		
1	هل قامت الإدارة العليا بصياغة وتنفيذ سياسة الطاقة؟		
2	هل قامت الإدارة العليا بتسمية مدير طاقة؟		
3	هل تم تأمين الموارد اللازمة لتنفيذ وتجويد نظام إدارة الطاقة؟		
4	هل تم تحديد نطاق وحدود نظام إدارة الطاقة؟		
5	هل تم توضيح أهمية نظام إدارة الطاقة للعاملين بشكل كاف؟		
6	هل تم صياغة الأهداف الاستراتيجية والتشغيلية؟		
7	هل أخذ بالاعتبار في التخطيط على المدى البعيد قياس أداء الطاقة (الاستهلاك وكفاءة الاستخدام)؟		
A2	ممثل الإدارة		
8	هل يتم رفع تقارير إلى الإدارة العليا حول نظام إدارة الطاقة وكفاءة الطاقة؟		
9	هل تم تحديد المسؤوليات وإبلاغها لكافة المعنيين؟		
10	هل تم تحديد طرق التأكد من جودة عمليات المراقبة وحسن سير عمليات تنفيذ نظام إدارة الطاقة؟		
B	سياسة الطاقة		
11	هل تتضمن سياسة الطاقة الالتزام بالتحسين المستمر لأداء الطاقة؟		
12	هل تتضمن الالتزام بتأمين المعلومات والموارد اللازمة لتحقيق الأهداف الاستراتيجية والتشغيلية؟		
13	هل تتضمن الالتزام بتلبية متطلبات التشريعات والقوانين ذات العلاقة؟		
14	هل تدعم سياسة الطاقة عمليات شراء منتجات وخدمات متوافقة مع شروط كفاءة الطاقة؟		
15	هل تم توثيق سياسة الطاقة وتوصيلها إلى كافة المعنيين؟		
16	هل تخضع سياسة الطاقة للمراجعة والتحديث بشكل دوري؟		
C	تخطيط الطاقة		
C1	عام		
17	هل أنجزت الشركة عملية التخطيط للطاقة ووثقتها؟		
C2	متطلبات قانونية وأخرى		
18	هل حددت الشركة القوانين ذات العلاقة والتزمت بمتطلباتها؟		
19	هل تتم مراجعة متطلبات القوانين بشكل دوري ومنظم؟		
C3	مراجعة الطاقة		
20	هل تجري مراجعة دورية للطاقة وتوثق النتائج والطرق المتبعة؟		
21	هل تؤخذ بالاعتبار النواحي التالية في عملية مراجعة الطاقة؟		
22	- تقييم استخدام واستهلاك الطاقة - تحديد مناطق استهلاك الطاقة المهمة، والمعدات المهمة، والعمليات، والأشخاص، والعوامل المؤثرة في استخدام الطاقة		
23	- تحديد القيم الحالية والمتوقعة لأداء الطاقة		
24	هل تم تحديد فرص تحسين أداء الطاقة؟		
C4	القيم المرجعية		



البند	الأسئلة	نعم/لا	ملاحظات
25	هل تم تحديد القيم المرجعية باستخدام النتائج التي تم الحصول عليها من المراجعة الأولية للطاقة، وهل تم تحديثها عند الضرورة؟		
C5	مؤشرات أداء الطاقة		
26	هل تم تحديد مؤشرات أداء الطاقة، وهل تتم مراجعتها دورياً؟		
C6	أهداف الطاقة، خطط تنفيذ إدارة الطاقة؟		
27	هل تم تحديد الأهداف الاستراتيجية والتشغيلية لفترة زمنية محددة بناء على العمل الأولي؟		
28	هل تم إعداد الخطط التنفيذية بالتوافق مع الموارد اللازمة، والفترة الزمنية المفترضة لتحقيق الأهداف، وتحديد المسؤوليات وطرق المراجعة؟		
29	هل يتم توثيق الأهداف وخطط التنفيذ، وتحديثها بشكل دوري؟		
D	التنفيذ والعمليات		
D1	القدرات، التدريب، والوعي		
30	هل تم تدريب كافة العاملين في الشركة على الطرق الاستخدام الصحيح للطاقة في المناطق التي يعملون بها؟ هل يمتلك العاملون في الشركة المعرفة الكافية بالأمور التالية؟		
31	- أهمية الالتزام بسياسة الطاقة		
32	- عمليات نظام إدارة الطاقة والمتطلبات		
33	- المسؤوليات والأدوار الفردية		
34	- فوائد تحسين كفاءة الطاقة		
35	- الانعكاسات المحتملة للفوائد على استهلاك الطاقة وكفاءتها		
36	هل تم توثيق إجراءات التدريب؟		
D 2	التواصل		
37	هل يتم التواصل حول أداء الطاقة ونظام إدارة الطاقة داخلياً؟		
38	هل يتاح لكافة العاملين إمكانية المشاركة في تحسين نظام إدارة الطاقة بفاعلية؟		
39	هل قررت الشركة التواصل مع الجهات الخارجية ووثقت هذا القرار؟		
40	في حال الإيجاب، هل تم وضع خطة للتواصل الخارجي وتنفيذها؟		
D 3	التوثيق		
D 3.1	متطلبات التوثيق		
41	هل يتضمن توثيق نظام إدارة الطاقة الأمور التالية - العناصر الأساسية للنظام (الفقرات 4.2 إلى 4.5.1)		
42	- نطاق وحدود نظام إدارة الطاقة		
43	- كافة الوثائق الأخرى المطلوبة في المعيار		
D 3.2	ضبط الوثائق		
44	هل تم ضمان الأمور التالية المتعلقة بالوثائق؟ - مراجعة صلاحية الوثائق قبل طرحها للاستخدام؟		
45	- التقييم والتحديث الدوري		
46	- إمكانية تتبع التغيرات ووضوح تأشيريات حالة المراجعة.		
47	- توفر الوثائق بشكل جيد		
48	- قابلية التحديد		

البند	الأسئلة	نعم/لا	ملاحظات
49	- تحديد وتوزيع الوثائق الخارجية المتعلقة بنظام إدارة الطاقة		
50	- منع استعمال الوثائق ذات النموذج القديم		
51	- الاحتفاظ بالوثائق القديمة حسب الضرورة		
D 4	التحكم التشغيلي		
	هل يؤخذ بالاعتبار الأمور التالية عند إقرار وتخطيط العمليات؟		
52	- تحديد النواحي المتعلقة بجودة التشغيل والصيانة في كافة المناطق ذات العلاقة		
53	- تشغيل وصيانة المعدات حسب المعايير		
54	- تزويد كافة العاملين والأشخاص المرتبطين معهم بكافة المعلومات المناسبة		
D 5	التصميم		
55	هل تؤخذ بالاعتبار فرص تحسين كفاءة الطاقة في تصميم العمليات أو المعدات الجديدة أو المعدلة؟		
56	كيف توثق هذه الفرص؟		
D 6	شراء المنتجات، والمعدات، وخدمات الطاقة		
57	هل تم إعلام الموردين بالمعايير الخاصة باستخدام واستهلاك وكفاءة الطاقة؟		
58	هل تم تطوير معايير الطاقة المتعلقة بعمليات الشراء؟		
59	هل تم توثيق هذه التطورات؟		
E	الفحص		
E 1	المراقبة والقياس والتحليل		
	هل تؤخذ بالاعتبار الأمور التالية أثناء المراقبة في إطار نظام إدارة الطاقة؟		
60	- نتائج مراجعة الطاقة والمناطق ذات الاستعمال المهم للطاقة		
61	- العوامل المؤثرة		
62	- مؤشرات أداء الطاقة الفعلية		
63	- خطط العمل بالنسبة للأهداف المرسومة		
64	- تقييم الاستهلاك الفعلي للطاقة مقارنة بالتوقعات		
65	هل تم إعداد خطة للقياس، وهل نفذت هذه الخطط؟		
66	هل تم التأكيد على متطلبات القياس وعمليات تصحيح ومعايرة أجهزة القياس؟		
67	هل تم التحقيق في أسباب الانحرافات في أداء الطاقة، وهل تمت معالجتها؟		
68	هل تم توثيق ذلك؟		
E 2	تقييم التشريعات والمتطلبات الأخرى		
69	هل يتم تقييم مدى الالتزام بمتطلبات التشريعات والقوانين المتعلقة بها، وتوثيق ذلك؟		
E 3	التدقيق الداخلي لنظام إدارة الطاقة		
70	هل تجرى عملية التدقيق الداخلي بشكل دوري ومنتظم؟		
71	هل توجد خطة تدقيق؟		
72	هل تم ضمان موضوعية عملية التدقيق في اختيار المدققين؟		
73	هل تم توثيق نتائج التدقيق ورفعها إلى الإدارة العليا؟		

البند	الأسئلة	نعم/لا	ملاحظات
E 4	المخالفات، والتصحيح، وإجراءات التصحيح، والإجراءات الوقائية		
74	هل تم تصحيح الانحرافات عن الأهداف المرسومة؟		
	هل تؤخذ بالاعتبار النواحي التالية أثناء تصحيح الانحرافات؟		
75	- تحديد الانحرافات وأسبابها		
76	- تحديد الحاجة إلى اتخاذ إجراءات معالجة، بما في ذلك إدخال التغييرات على نظام إدارة الطاقة، ومراجعة مدى فعاليتها		
77	- توثيق هذه البنود		
E 5	التحكم بالسجلات		
78	هل تم إعداد السجلات بشكل متوافق مع نظام إدارة الطاقة وحسب المعيار؟		
79	هل يتم التأكد من قانونية، ودقة السجلات؟		
F	مراجعة الإدارة		
F 1	عموميات		
80	هل تتم مراجعة نظام إدارة الطاقة دورياً من قبل الإدارة العليا؟		
81	هل تتبع التعليمات الواردة في معيار إدارة الطاقة في المراجعة؟		
F 2	مخرجات مراجعة الإدارة		
82	هل أخذت بالاعتبار كافة قرارات وإجراءات تحسين كفاءة الطاقة منذ المراجعة الأخيرة؟		
83	هل أخذت بالاعتبار كافة القرارات والإجراءات المتعلقة بسياسة الطاقة، والأهداف الاستراتيجية والتنشغيلية، والقرارات المتعلقة بالموارد؟		

المصدر: EMAS, 2012

### 3-5: عوامل نجاح تنفيذ معيار إدارة الطاقة

يعتمد نجاح عملية تطبيق معيار إدارة الطاقة بشكل كبير على دعم الإدارة العليا، ومدى اهتمام المدراء والعاملين بأهمية مشروع تحسين كفاءة الطاقة، وحجم المكاسب التي يمكن الحصول عليها. كما يتطلب نجاح تنفيذ معيار إدارة الطاقة تضامراً عدة عوامل هامة، تتدرج من إيجاد تشريعات ونظم إدارية تساعد على تعظيم القيمة، وحتى اتخاذ إجراءات عملية التحسين المستمر، وتتلخص هذه العوامل بما يلي: (Rossiter, P., & Jones, P., 2015)

#### • توفر خبرة سابقة في تطبيق نظم الإدارة

من العوامل المساعدة على نجاح تطبيق نظام إدارة الطاقة أن تتوفر للمصنعة خبرة سابقة في تطبيق نظم الإدارة الأخرى، حيث لا تحتاج في هذه الحالة سوى إلى تنفيذ بعض الخطوات الإضافية على النظم السابقة. فعلى سبيل

المثال يتشابه نظام إدارة الطاقة مع نظام الإدارة البيئية في كثير من البنود وخطوات التنفيذ، ولا يحتاج تطبيق نظام إدارة الطاقة في هذه الحالة سوى إلى إضافة بعض الجوانب البسيطة إلى نظام الإدارة البيئية. يبين الجدول 3-3 إضافات نظام إدارة الطاقة إلى نظام الإدارة البيئية.

**الجدول 3-3 إضافات نظام إدارة الطاقة إلى نظام الإدارة البيئية**

نظام الإدارة البيئية	إضافات نظام إدارة الطاقة
<b>متطلبات نظام الإدارة البيئية الملحق II</b>	
<b>A.2 : السياسة البيئية</b>	
A.2b/B.3 : الالتزام بالتحسين المستمر/الأداء البيئي	- إضافة مرجعية خاصة بأداء الطاقة
<b>A.3 : التخطيط: تتضمن الأخذ بالاعتبار كفاءة الطاقة وتخطيط الأهداف، وتتكون من العناصر الفرعية التالية</b>	
A.3.1/B.1 : الجوانب البيئية/ المراجعة البيئية	- الأخذ بالاعتبار استهلاك الطاقة أثناء تقييم الأهمية حسب الرقم والمقياس، وإذا لزم الأمر يجب إجراء مراجعة منفصلة للطاقة - تقدير الاستهلاك المتوقع للطاقة. - تحديد كافة الأفراد المحتمل أن يكون لهم أثر مهم على تغير استهلاك الطاقة.
<b>A.4 : التنفيذ والتشغيل</b>	
A.4.2/B.4 : القدرات، التدريب وتعزيز الوعي/ دمج العاملين A.4 : التوثيق	- تقديم إثبات على مؤهلات وقدرات مدير الطاقة (يمكن أن تكون متطابقة مع مؤهلات مدير البيئة)
<b>A.5 : التحقق (المراقبة، والقياس)</b>	
A.5.1 : المراقبة والقياسات	- تحديد معدلات استهلاك الطاقة ومعاملات الطاقة المتعلقة بها/ تحديد الاستهلاك الفعلي مقابل الاستهلاك المتوقع خلال فترات زمنية محددة مسبقاً. - حفظ سجلات الانحرافات المهمة عن معدلات استهلاك الطاقة المتوقعة. - مراجعة وتصحيح العلاقة بين استهلاك الطاقة ومعاملات استهلاك الطاقة خلال فترات محددة. - مقارنة قيم مؤشرات أداء الطاقة مع قيم المؤسسات المماثلة
<b>A.6 : مراجعة الإدارة</b>	
	- إضافة فقرات خاصة بالبيئة عند مراجعة جوانب الطاقة وسياسة الطاقة. - إضافة فقرات خاصة بالطاقة في مراجعة الإدارة.
<b>إعداد التقارير البيئية ( نظام الإدارة البيئية III، الملحق IV)</b>	
الملحق IV C.3	مؤشرات أداء بيئي أخرى ذات علاقة
	إضافة "معدل استهلاك الطاقة" كمؤشر آخر لقياس أداء الطاقة مع المؤشر الإلزامي (مؤشر كفاءة الطاقة)

## ● إعداد هيكل إداري منظم

إن نجاح تنفيذ معيار إدارة الطاقة بالشكل الذي يضمن استدامة النتائج يستوجب وجود قيادة إدارية رشيدة، والتزام تنظيمي، ومحاسبة للأفراد المعنيين بتنفيذ البرنامج. كما أن لمدير برنامج إدارة الطاقة دور مهم في نجاح مشروع تحسين كفاءة الطاقة من خلال تواصله المباشر مع العاملين في المشروع وتشجيعهم على إطلاق المبادرات والمشاركة في الأفكار التي يمكن أن تساهم في تطوير العمل، والتركيز على الإنجازات أكثر من المحاسبة على الأخطاء.

## ● تسمية رئيس ميداني لكل مجموعة عمل مستقلة يتولى قيادة المجموعة

والإشراف على تنفيذ المهام، ويقوم برفع تقارير دورية إلى مدير الموقع

## ● الاهتمام بالمبادئ الأساسية، والتي تضمن حسن تنفيذ النشاطات، بهدف المحافظة

على مستوى الأداء التشغيلي المرتفع بشكل دائم، وذلك من خلال تجويد عمليات تشغيل وحدات المصفاة، وتنفيذ برامج الصيانة الدورية للمعدات.

## ● إعداد خطط للتحسين المستمر، والعمل على تقييم أداء الوحدات بشكل دائم

ودوري، واقتراح استبدال الأجهزة ذات الأداء الضعيف بأخرى متطورة ذات ميزات أعلى من حيث الدقة والكفاءة.

## ● توثيق نتائج مشاريع تحسين كفاءة الطاقة ونشرها على العاملين للإطلاع

عليها ومشاركتهم في عمليات التقييم واقتراح الحلول المناسبة للتحسين المستمر.

## ● الاهتمام بتدريب العاملين، لرفع قدرتهم على تنفيذ إجراءات تحسين كفاءة

الطاقة بدون أخطاء.

## ● رفع الوعي بأهمية تطبيق برامج إدارة الطاقة بين العاملين في المصفاة

والوحدات المساندة، وذلك من خلال توزيع النشرات والصحف في مواقع الشركة على شبكة الإنترنت. ويجب أن تركز هذه النشرات على النواحي

التالية:

- فوائد تحسين كفاءة الطاقة على البيئة والشركة.
- أهمية الالتزام بسياسة الطاقة التي تنتهجها الشركة.
- متطلبات ومفاهيم معيار إدارة الطاقة.
- الانعكسات المحتملة للأنشطة التي ينفذها العاملون على معدل استهلاك الطاقة ومدى تحقيق الأهداف المرسومة.

### 3-6: فوائد تطبيق معيار إدارة الطاقة

من أهم فوائد تطبيق نظام إدارة الطاقة في صناعة تكرير النفط أنه يساهم في تعزيز فرص التكامل بين المصافي المتقاربة جغرافياً، علاوة على التكامل بين الوحدات الإنتاجية ضمن المصفاة الواحدة، وذلك من خلال تأمين رؤية شاملة لكافة خطوط الطاقة في المصفاة، بدلاً من الطريقة التقليدية التي تعتمد على التركيز على الخطوط الموجودة في كل وحدة من الوحدات، أو ضمن مجموعة من الخطوط التي ترتبط فيما بينها بخصائص مشتركة، كخطوط بخار الماء والوقود وشبكات الطاقة الكهربائية.

إن حصول المؤسسات الصناعية على شهادة تطبيق معيار إدارة الطاقة يساهم في تحسين أدائها التشغيلي والاقتصادي نتيجة تسهيل إجراءات تخفيض استهلاك الطاقة، كما يساهم في تحسين صورتها لدى الجمهور بأنها تهتم بالمحافظة على الثروات الوطنية من خلال تطبيق إجراءات ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها، علاوة على حرصها على حماية البيئة.

### 3-7: دراسة حالة تطبيق برنامج تحسين كفاءة الطاقة في شركة إكسون موبيل

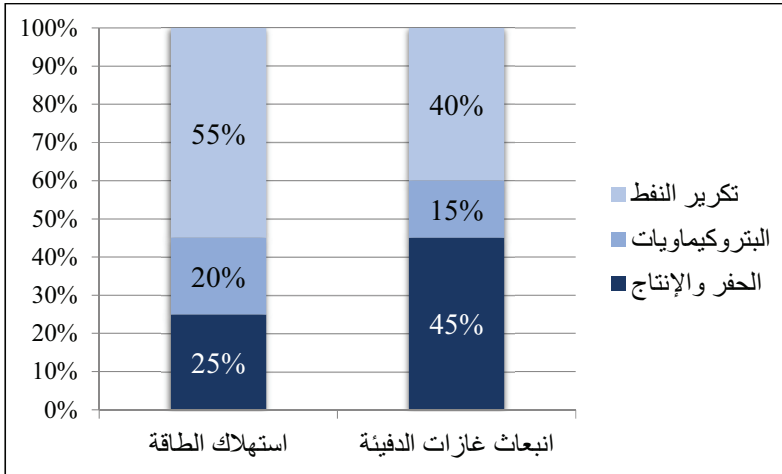
تبين هذه الحالة أهم المراحل التي مرت بها عملية تنفيذ برنامج تحسين كفاءة الطاقة الذي طبقته شركة إكسون موبيل الأمريكية على مصافي النفط والمنشآت البتروكيماوية التابعة لها، والنتائج التي أمكن الحصول عليها. (Eidt, B., 2011)

### 3-7-1: أهداف برنامج تحسين كفاءة الطاقة

يهدف برنامج إدارة الطاقة في شركة إكسون موبيل الأمريكية إلى تحسين كفاءة الطاقة في مصافي النفط والمصانع البتروكيمياوية التابعة للشركة، والموزعة في مناطق مختلفة من العالم.

تبلغ نسبة استهلاك الطاقة في مصافي النفط والمصانع البتروكيمياوية التابعة لشركة إكسون موبيل حوالي 75% من إجمالي الطاقة المستهلكة في منشآت الشركة البترولية، كما تطلق هذه الوحدات ما مقداره 55% من إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة التي تطلقها منشآت الشركة. **الشكل 3-8** توزع نسب استهلاك الطاقة والانبعاثات في المنشآت البترولية لشركة إكسون موبيل.

**الشكل 3-8:** توزع نسب استهلاك الطاقة والانبعاثات في المنشآت البترولية لشركة إكسون موبيل



### 3-7-2: مراحل تنفيذ برنامج إدارة الطاقة

يتكون برنامج إدارة الطاقة في مصافي النفط والمصانع البتروكيمياوية التابعة لشركة إكسون موبيل من ثلاث مراحل.

- تقييم الوضع الراهن للمصفاة، والبحث عن أسباب ضعف كفاءة تشغيل الوحدات القائمة بأعلى كفاءة ممكنة، مقارنة بأفضل الممارسات المتبعة في هذا المجال.
- تحديد فرص تحسين كفاءة الطاقة الممكن تطبيقها، وتقييم الجدوى الاقتصادية من تنفيذ كل فرصة من الفرص المتاحة.
- تأسيس نظم إدارية تساهم في ضمان استدامة التقدم في إجراءات تحسين كفاءة الطاقة.

### المرحلة الأولى: تقييم الوضع الراهن

بدأت المرحلة الأولى من تطبيق البرنامج بإجراء تقييم شامل لمعدلات استهلاك الطاقة الفعلية في المنشآت القائمة التابعة للشركة، والموزعة في مختلف مناطق العالم، مع تقييم للإجراءات المتخذة في إطار إدارة تحسين كفاءة الطاقة في كل من عمليات التشغيل والصيانة، إضافة إلى مراجعة مستوى كفاءة الطاقة في تصاميم مشاريع إنشاء الوحدات الجديدة. في نهاية هذه المرحلة صدر تقرير مؤلف من 1200 صفحة، يحتوي على وصف شامل للحالة الراهنة للمنشآت، ومقارنة معدلات استهلاك الطاقة في كافة الوحدات مع المعايير الدولية المعتمدة على أفضل الممارسات المتبعة في مجال تحسين كفاءة الطاقة، حيث تم التأكيد على توضيح البنود الأساسية التالية:

- تحديد النقاط التي يتم فيها استهلاك الطاقة.
  - تحديد القيمة الفعلية لمعدلات استهلاك الطاقة في كل موقع من مواقع الاستهلاك، ومقارنتها بالقيمة المثالية التي يجب أن تكون عليها في هذه المواقع.
  - إعادة قياس معدل استهلاك الطاقة في كافة النقاط للتأكد من صحتها.
- لضمان حسن تنفيذ مرحلة تقييم الوضع الراهن تم تحديد القياسات التي يمكن من خلالها تحديد مستوى كفاءة الطاقة في وحدات المصفاة، مع تحديد المستويات الإدارية المسؤولة عن تنفيذ كل نوع من أنواع القياس ومؤشرات القياس المطلوبة.

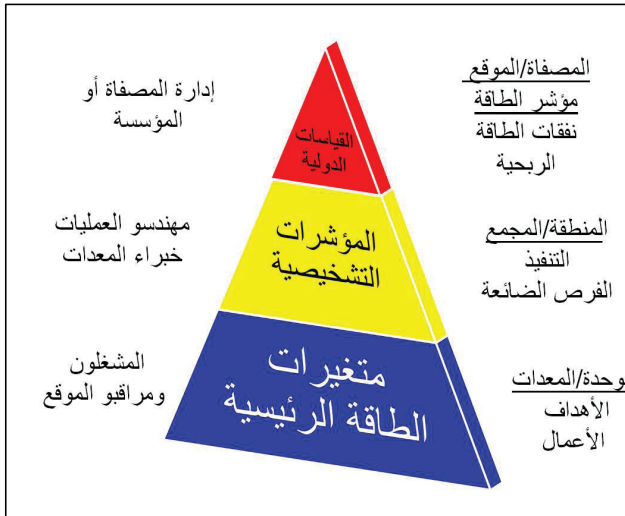


تشكل متغيرات الطاقة الرئيسية Key Energy Variables قاعدة هرم القياسات، وهي تعبر عن القيم التي يكون التشغيل عندها في وضعه المثالي من حيث كفاءة استهلاك الطاقة والسلامة والاعتمادية. يقوم بتنفيذ هذه القياسات مراقبو التشغيل والمشغلون في موقع الوحدات.

النوع الثاني من القياسات هو المؤشرات التشخيصية Diagnostic Indicators وتمثل الجزء الأوسط من هرم القياسات، والتي تركز على خطط تنفيذ عمليات التحسين. إحدى القياسات الرئيسية في هذه الخطوة هي قياس القيمة الاقتصادية للفجوة بين متغيرات الطاقة الرئيسية وقيمها المستهدفة. يستفاد من هذه القيم في تصنيف فرص تحسين كفاءة الطاقة، وتحديد أولويات العمل في البرنامج.

أما في قمة الهرم فتأتي القياسات الدولية Global Measures، وتمثل القيم المعيارية المعتمدة دولياً، والتي تستخدم لمقارنة الأداء الفعلي للمصفاة مع أفضل الممارسات المعتمدة في المصافي العالمية. يبين الشكل 3-9 هرم قياسات برنامج إدارة الطاقة في منشآت شركة إكسون موبيل.

**الشكل 3-9: هرم قياسات برنامج إدارة الطاقة في منشآت شركة إكسون موبيل**



تهدف إجراءات هذه المرحلة إلى تقييم الوضع الراهن لمستوى كفاءة الطاقة خلال السنوات العشر الماضية في ثلاثين مصفاة نفط، وعشرين مصنع بتروكيماويات تابع لشركة إكسون موبيل.

استغرقت إجراءات التحضير لعملية تقييم برنامج إدارة كفاءة الطاقة شهوراً عديدة، وكانت الخطوة الأولى هي اختيار فريق عمل مكون من مجموعة متخصصين تقنيين من منظمات دولية، ومن أشخاص ذوي خبرة بعمليات التشغيل من موقع الوحدات. تتركز مهمة فريق العمل بإجراء عملية تقييم مستوى كفاءة الطاقة الفعلي وإصدار النتائج والتوصيات.

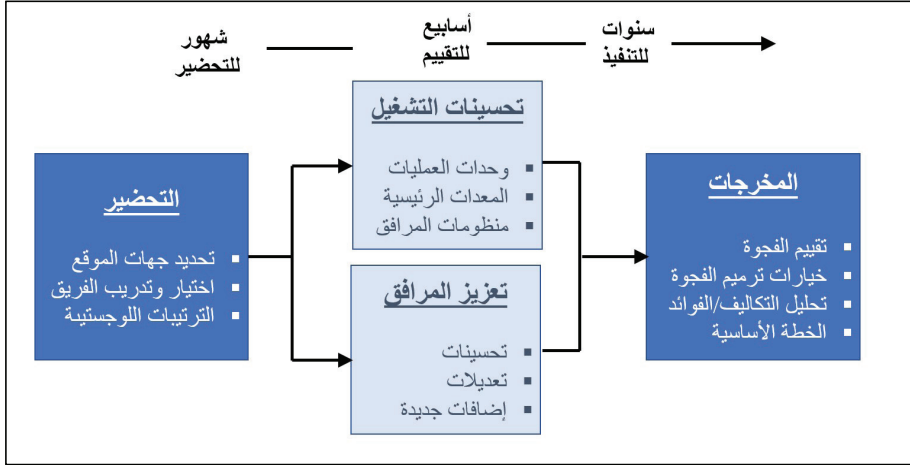
#### المرحلة الثانية: تحديد فرص تحسين كفاءة الطاقة

تراوحت المدة اللازمة لهذه العملية من أسبوعين إلى شهرين، وذلك تبعاً لتعقيد وحجم الموقع المراد تقييمه، حيث مرت عملية الإعداد في مسارين متوازيين هما على النحو التالي:

- **تحديد إجراءات تحسين العمليات،** وذلك اعتماداً على الثغرات التي تم تحديدها بين قيم استهلاك الطاقة الفعلية والقيم المثالية المتبعة في المعايير الدولية المعتمدة.
  - **تحديد إجراءات تطوير الوحدات،** كتحسين نظم التشغيل أو إدخال التعديلات، أو إضافة معدات أو أجهزة جديدة.
- تم بعد ذلك تحديد المخرجات الرئيسية التي تتضمن الإجراءات اللازمة لترميم الثغرات، وتحليل التكاليف الإقتصادية لكل خيار من الخيارات المقترحة، ثم تصنيف هذه الخيارات إلى إجراءات يمكن تنفيذها بدون تكاليف استثمارية، وأخرى متوسطة التكاليف، وأخرى عالية التكاليف قد يحتاج تنفيذها إلى عدة سنوات.

يبين الشكل 3-10 مكونات وأهداف ومخرجات مرحلة تحضير برنامج تحسين كفاءة الطاقة في منشآت التكسير والبتروكيماويات في شركة إكسون موبيل، والمدة الزمنية التي مرت بها عملية التنفيذ لكل مرحلة من المراحل.

الشكل 3-10: مكونات مرحلة تحضير برنامج كفاءة الطاقة في شركة إكسون موبيل



### المرحلة الثالثة: تأسيس نظم إدارية لتقييم نتائج البرنامج

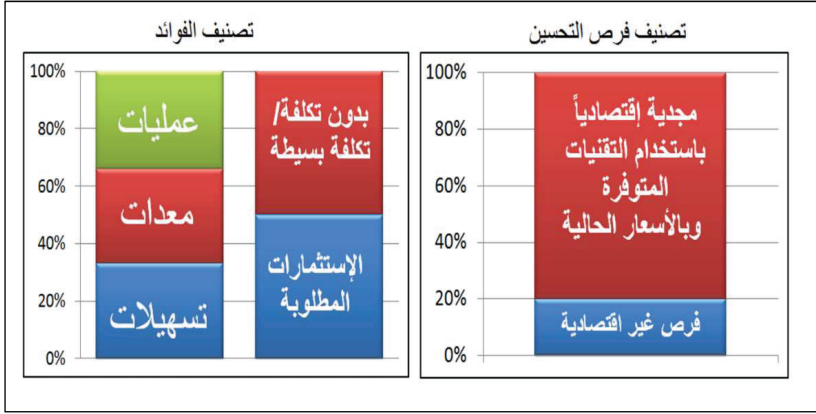
تم في هذه المرحلة تقييم النتائج التي أمكن الحصول عليها نتيجة تنفيذ برنامج تحسين كفاءة الطاقة مع تحديد الصعوبات التي واجهت عملية التنفيذ وسبل معالجتها.

أظهرت نتائج التقييم أن الخيارات المجدية اقتصادياً يمكن أن تساهم في ردم حوالي 80% من الفجوة القائمة بين كفاءة الطاقة الفعلية والكفاءة المعيارية المعتمدة دولياً وفق أفضل الممارسات المتبعة، أو ما يطلق عليه باصطلاح (مؤشر كفاءة الطاقة). أما النسبة الباقية 20% فقد تبين أن تنفيذها بالوسائل التقنية المتاحة حالياً وبالأسعار الحالية للطاقة غير مجد اقتصادياً.

تم تصنيف فوائد تطبيق البرنامج إلى ثلاثة أقسام تتوزع بين العمليات والمعدات والوحدات المساندة. كما أظهرت دراسة تقييم نتائج المشروع أن

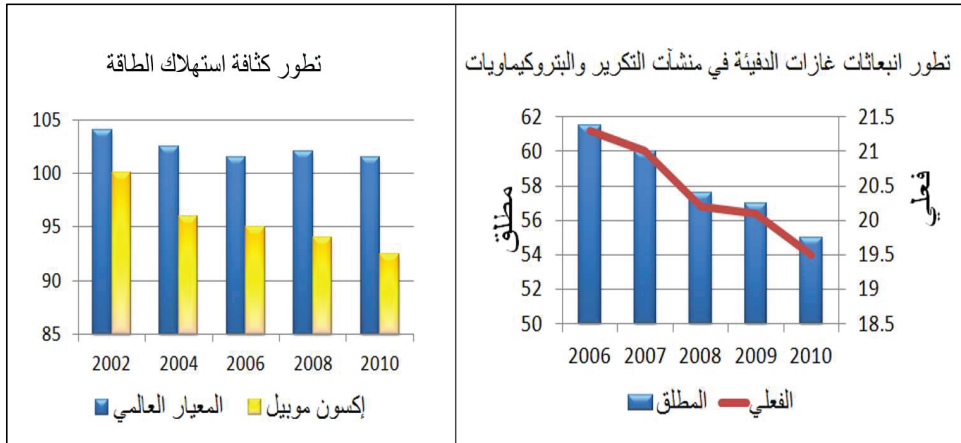
نصف الفرص يحتاج إلى استثمارات مرتفعة، بينما أمكن تنفيذ النصف الآخر بدون استثمارات أو باستثمارات منخفضة. يبين الشكل 3-11 تصنيف فوائد برنامج تحسين كفاءة الطاقة في شركة إكسون موبيل.

**الشكل 3-11: تصنيف فوائد برنامج تحسين كفاءة الطاقة في شركة إكسون موبيل**



كما يشير الشكل 3-12 إلى معدل تخفيض انبعاث غازات الدفيئة في منشآت تكرير النفط ووحدات الصناعة البتروكيمياوية التابعة للشركة، وذلك نتيجة تطبيق برنامج تحسين كفاءة الطاقة خلال الفترة (2006-2010).

**الشكل 3-12: انعكاسات تطبيق برنامج تحسين كفاءة الطاقة في شركة إكسون موبيل**



## الفصل الرابع

### كفاءة الطاقة في مصافي النفط العربية

تشهد مصافي النفط في الدول العربية اهتماماً كبيراً بتطبيق برامج ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها مدفوعة بعوامل عديدة، أهمها العمل على تحسين الربحية من خلال تخفيض تكاليف التشغيل التي تشكل الطاقة جزءاً كبيراً منها، والسعي إلى تخفيف الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود في أفران عمليات التكرير، بهدف تلبية متطلبات التشريعات البيئية التي تفرضها هيئات حماية البيئة.

انطلقت مبادرات ترشيد استهلاك الطاقة في مصافي النفط العربية في ثمانينيات القرن الماضي، وذلك في إطار تطوير المصافي القائمة وخاصة القديمة منها، والتي تعاني من مشكلات فنية واقتصادية وبيئية.

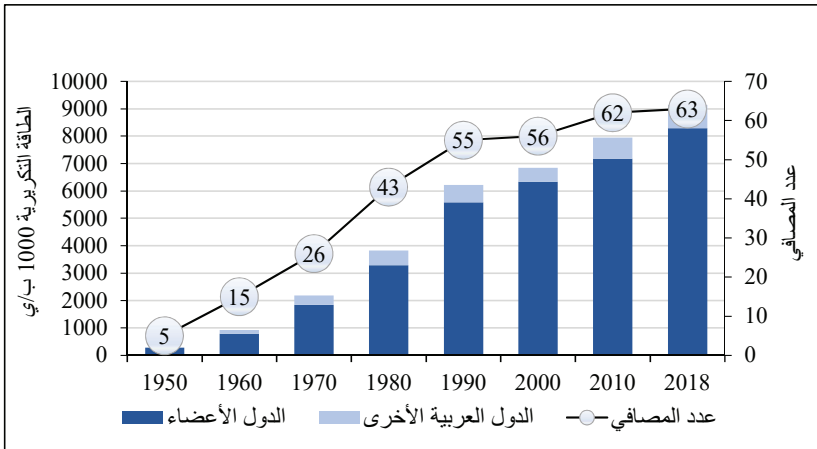
يتناول هذا الفصل لمحة موجزة عن واقع مصافي تكرير النفط في الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك) والدول العربية الأخرى، والعوامل الرئيسية الدافعة لتطبيق برامج تحسين كفاءة الطاقة في هذه المصافي، وأهم المشاريع التي تم إنجازها والمخطط تنفيذها في المستقبل.

#### 1-4: لمحة عن صناعة تكرير النفط في الدول العربية

انطلقت صناعة تكرير النفط في الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوابك" مع إنشاء أول مصفاة في مصر عام 1913، تبعثها مصفاة أخرى في شمال العراق عام 1927، ثم في البحرين عام 1936، وبعدها في السعودية عام 1945، والكويت عام 1949، وقد ساهم في بناء هذه المصافي شركات نفطية عالمية.

استمرت صناعة التكرير في النمو خلال عقد الستينيات والسبعينيات لتواكب التطورات الاقتصادية السريعة التي شهدتها الدول العربية في تلك الفترة وخاصة في دول الخليج العربي المصدرة للبترو، حيث وصل معدل الزيادة في إجمالي الطاقة التكريرية في الدول العربية خلال عقد الستينيات إلى حوالي 196%، ثم انخفضت وتيرة الزيادة خلال عقد السبعينيات إلى 71.1%، واستمرت خلال الثمانينيات بنسبة 64.4%، إلا أنها لم ترتفع خلال التسعينيات إلا حوالي 4%، ثم عادت إلى التحسن خلال العقد الأول من القرن الحادي والعشرين فوصلت نسبة الزيادة في عام 2010 إلى حوالي 15.5% عما كانت عليه عام 2000. يبين الشكل 4-1 تطور طاقة التكرير في دول أوبك والدول العربية الأخرى خلال الفترة (1950-2018).

**الشكل 4-1: تطور طاقة التكرير في دول أوبك والدول العربية الأخرى 1950-2018**



المصدر: (أوبك، 2018) صناعة تكرير النفط عربياً وعالمياً

شهدت صناعة التكرير العربية في فترة الثمانينيات تطوراً نوعياً من حيث بناء مصاف عملاقة بهدف تعزيز التعقيد التكنولوجي للمصافي القائمة، من خلال إنشاء عمليات تحويلية جديدة، وعمليات معالجة هيدروجينية، وذلك لرفع معدل إنتاج المشتقات الخفيفة، وتحسين خصائص المنتجات النهائية. وقد أطلق المحللون على هذا العقد بأنه عقد نضوج صناعة التكرير العربية، حيث تم خلاله

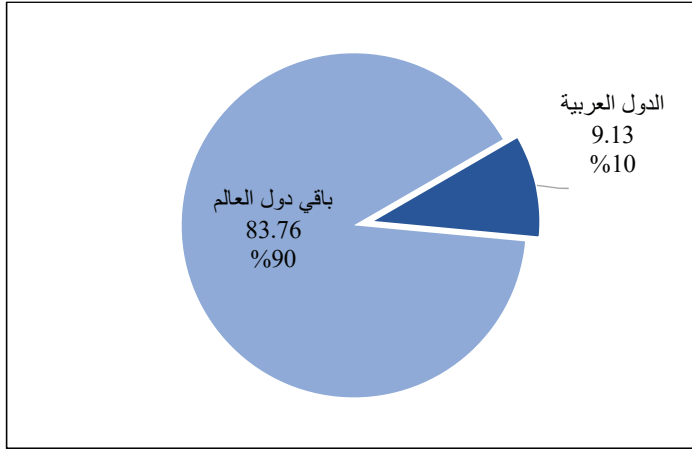
إنشاء أكبر مصافي النفط وأحدثها تقنية، وارتفع عدد المصافي العربية إلى 49 مصفاة عام 1990 بعد أن انخفض إلى 40 مصفاة عام 1980 نتيجة توقيف بعض المصافي الصغيرة في أواخر السبعينيات. وقد تمكنت بعض المصافي العربية في تلك الفترة من منافسة مصافي العالم بسبب أدائها المتميز وتطورها ومرونتها التشغيلية، وتوجهها نحو تطبيق برامج ترشيد استهلاك الطاقة، وذلك من خلال استغلال غازات الشعلة، وتحسين كفاءة التبادل الحراري في الوحدات الإنتاجية، والعمل على تحسين الالتزام بالتشريعات الخاصة بخفض الانبعاثات الملوثة للبيئة، والتوجه نحو تحسين مواصفات المشتقات التي تنتجها المصافي، من خلال التوسع في وحدات المعالجة الهيدروجينية لتخفيض نسبة الكبريت في وقود السيارات.

أما في عقد التسعينيات من القرن المنصرم فقد واجهت صناعة التكرير العربية العديد من الظروف الصعبة التي نتجت عن انحدار الطلب على المشتقات النفطية في الأسواق العالمية، مما انعكس على معدل نمو الطاقة التكريرية، حيث لم تسجل ارتفاعات كبيرة في إجمالي طاقات التكرير بشكل مماثل للزيادات التي حدثت في العقود السابقة، بينما سجل في بعض الدول العربية إغلاق عدد من المصافي الصغيرة ذات الأداء المنخفض، مثل مصفاة أميناس في الجزائر، والخفجي وميناء سعود في المملكة العربية السعودية، والوند والحبانية والسماوة في جمهورية العراق. كما تميزت هذه الفترة بالتوجه نحو تعزيز درجة تعقيد المصافي من خلال تطوير العمليات التحويلية، وذلك بهدف تعديل هيكل إنتاج المشتقات بما يتوافق مع التغيير في هيكل الطلب في كل من الأسواق المحلية والعالمية، وتحسين الالتزام بمتطلبات التشريعات البيئية الخاصة بالحد من طرح الملوثات إلى البيئة، وتخفيض نسب الشوائب في المشتقات النفطية، وترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها، والتوجه نحو تطبيق مشاريع استرجاع غازات الشعلة لاستخدامها كوقود بدلا من حرقها.

وصل إجمالي الطاقة التكريرية لمصافي النفط في الدول الأعضاء في أوبك نهاية عام 2018 البالغ عددها 52 مصفاة إلى 8.28 مليون ب/ي، بنسبة 91.66% من إجمالي الطاقة التكريرية في مصافي النفط في الدول العربية البالغ 9.133 مليون ب/ي. كما بلغت الطاقة التكريرية لمصافي النفط في الدول العربية الأخرى غير الأعضاء في أوبك، البالغ عددها 11 مصفاة، 853 ألف ب/ي، بنسبة 9.34%. يشكل إجمالي الطاقة التكريرية في مصافي الدول العربية نسبة 9.8% من إجمالي الطاقة التكريرية في العالم البالغ 92.89 مليون ب/ي، في نهاية عام 2018. يبين الشكل 4-2 نسبة الطاقة التكريرية في الدول العربية إلى إجمالي الطاقة التكريرية في العالم.

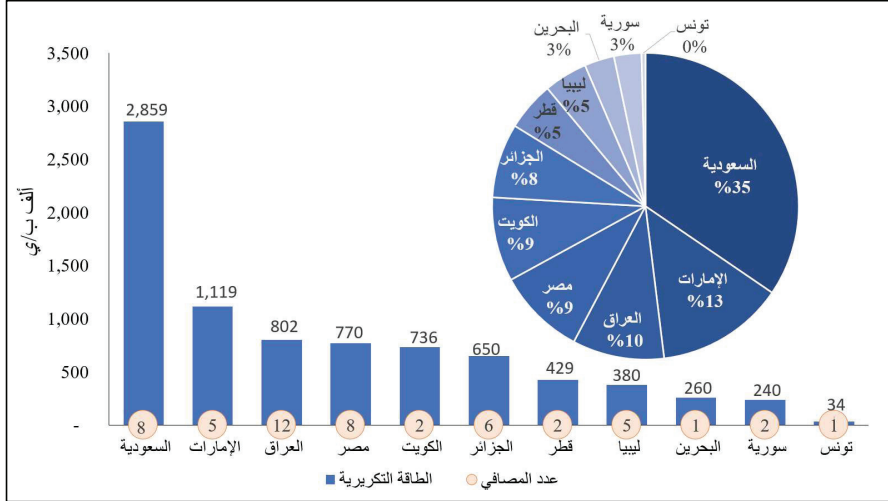
#### الشكل 4-2: نسبة الطاقة التكريرية في الدول العربية إلى إجمالي الطاقة التكريرية في العالم

عام 2018 (مليون ب/ي)

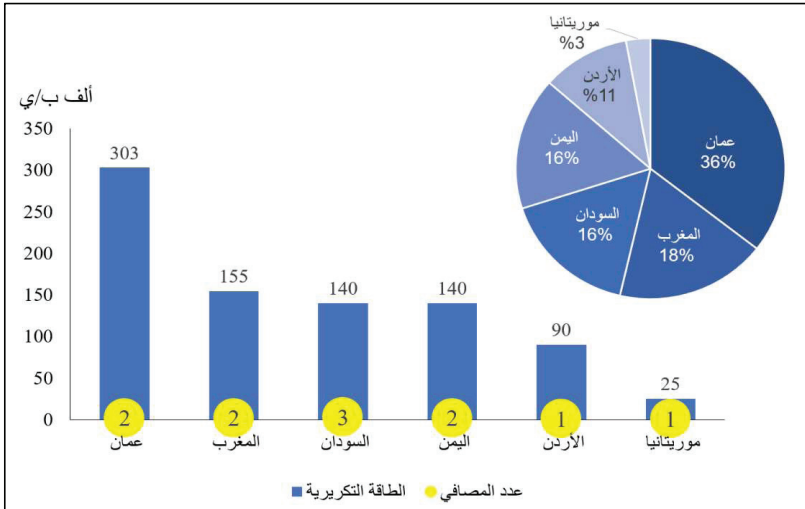


تحتل المملكة العربية السعودية المرتبة الأولى، بنسبة 35% من إجمالي الطاقة التكريرية في الدول الأعضاء في أوبك. تأتي بعدها دولة الإمارات العربية المتحدة، بنسبة 14%، ثم جمهورية العراق في المرتبة الثالثة، بنسبة 10%. يبين الشكل 4-3 توزيع نسب الطاقة التكريرية في الدول الأعضاء في أوبك عام 2018.



**الشكل 3-4: توزيع نسب الطاقة التكريرية في الدول الأعضاء في أوبك عام 2018**

أما بالنسبة للدول العربية غير الأعضاء فتحتل سلطنة عمان المرتبة الأولى بنسبة 36% من إجمالي الطاقة التكريرية في الدول غير الأعضاء في أوبك عام 2018، تأتي بعدها المملكة المغربية بنسبة 18%. **الشكل 4-4** يبين توزيع نسب الطاقة التكريرية في الدول العربية غير الأعضاء عام 2018.

**الشكل 4-4: توزيع نسب الطاقة التكريرية في الدول العربية غير الأعضاء عام 2018**

## 4-2: تحديات كفاءة الطاقة في مصافي النفط العربية

تعود أسباب انخفاض كفاءة الطاقة في معظم مصافي النفط في الدول العربية إلى قدم المصافي، وعدم مواكبة التقنيات الحديثة في عمليات التكرير، وانخفاض طاقتها التكريرية، وضعف الدافع إلى تخفيض تكاليف التشغيل بسبب غياب المنافسة بين المصافي، حيث أن ملكية معظم هذه المصافي تعود إلى مؤسسات حكومية. وفيما يلي أهم أسباب انخفاض كفاءة الطاقة في مصافي تكرير النفط العربية.

### • قدم وتهالك المعدات

يأتي قدم العديد من المصافي العربية وعدم مواكبتها للتطورات الحديثة في مقدمة أسباب انخفاض كفاءة الطاقة في هذه المصافي، حيث يعود تاريخ إنشاء معظمها إلى فترة خمسينيات وستينيات القرن الماضي. ومع تنامي الطلب على المشتقات النفطية تم إدخال العديد من التوسعات المتتالية عليها دون الأخذ بالاعتبار التكامل الحراري فيما بين الوحدات الإنتاجية.

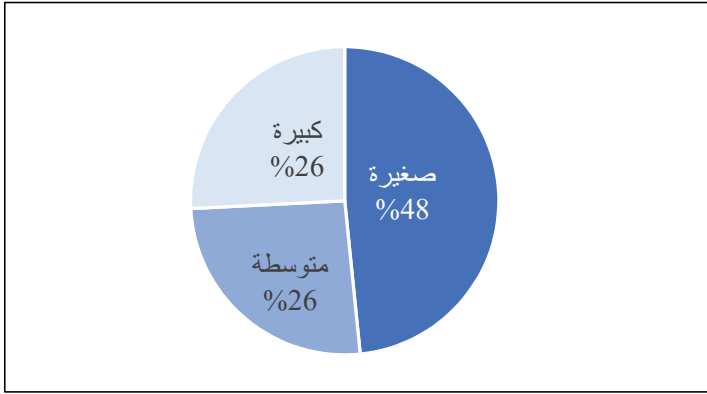
### • انخفاض حجم الطاقة التكريرية

أنشئت معظم المصافي العربية لتلبية حاجة السوق المحلية، وفي بعض الحالات كانت الحكومة تلجأ إلى توزيع المصافي جغرافياً بين المناطق النائية، وذلك بهدف تلبية حاجة تلك المناطق من المشتقات النفطية، وتوفير تكاليف نقل المشتقات، نظراً لعدم توفر خطوط أنابيب نقل المشتقات وارتفاع تكاليف إنشائها، مما أدى إلى نشوء عدد كبير من المصافي صغيرة الحجم. وقد تحتوي بعض المصافي على عدة وحدات تقطير، لا تزيد طاقتها عن 10-20 ألف ب/ي، وهذا بالتالي يتطلب استهلاك للوقود والطاقة الكهربائية بمعدلات تفوق كثيراً المصافي التي تحتوي على وحدة تقطير واحدة ذات طاقة تكريرية كبيرة.

أظهرت نتائج دراسة أعدتها منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك) عام 2018 أن 48% من مصافي النفط في الدول العربية، البالغ عددها 63 مصفاة، ذات طاقة تكريرية منخفضة (أقل من 100 ألف ب/ي)، بينما تبلغ نسبة المصافي المتوسطة

الحجم (100-200 ألف ب/ي) حوالي 26% من إجمالي عدد المصافي. أما المصافي الكبيرة الحجم التي تزيد طاقتها التكريرية عن (200 ألف ب/ي) فتمثل فقط 26% من إجمالي مصافي نفط الدول الأعضاء. يبين الشكل 4-5 تصنيف مصافي الدول العربية حسب حجم الطاقة التكريرية.

**الشكل 4-5: تصنيف مصافي الدول العربية حسب حجم الطاقة التكريرية**



#### • ضعف برامج إدارة عمليات الصيانة

ينتج عن بعض حالات ضعف برامج إدارة عمليات الصيانة الدورية والوقائية، تكرار حدوث التوقفات الطارئة للعمليات الإنتاجية، مما يؤدي إلى ارتفاع استهلاك الطاقة أثناء فترات التوقيف والتشغيل، وإعادة تكرير المواد الخارجة عن المواصفات القياسية التي تنتج أثناء الإقلاع والتوقيف.

#### • نقص طاقة العمليات التحويلية

تعاني معظم المصافي العربية من نقص طاقة العمليات التحويلية التي تحول مخلفات التقطير الثقيلة إلى مشتقات خفيفة ثمينة، ويعتمد معظمها على عمليات التقطير الابتدائي والمعالجة الهيدروجينية البسيطة، باستثناء عدد من مصافي المملكة العربية السعودية، ودولة الكويت، ومملكة البحرين، ودولة قطر، ودولة الإمارات العربية المتحدة، وجمهورية مصر العربية.

### 3-4: إجراءات تحسين كفاءة الطاقة في مصافي النفط العربية

شهدت صناعة التكرير في السنوات الأخيرة الإعلان عن العديد من مشاريع التطوير التي تتضمن إجراءات تحسين كفاءة الطاقة، منها ما تم إنجازه، ومنها ما هو في طور التنفيذ، أو في مرحلة الدراسة والتخطيط.

على الرغم من اختلاف الأهداف التي تقف وراء تنفيذ مشروع تطوير المصافي العربية، إلا أنها تتلخص في التوجهات الأساسية التالية:

- إعادة تأهيل الوحدات الإنتاجية القائمة، بما يتوافق مع إدخال التطورات التقنية الحديثة، من حيث تحسين كفاءة الطاقة، وتركيب التجهيزات المساعدة على تخفيف طرح الملوثات إلى البيئة.
- تحسين التكامل الحراري بين الوحدات الإنتاجية، وضمان استرجاع غازات الشعلة للاستفادة منها كوقود في الأفران بدلاً من حرقها.
- إضافة وحدات جديدة كعمليات تحويل مخلفات التقطير الثقيلة إلى مشتقات خفيفة، أو عمليات معالجة هيدروجينية وعمليات تهذيب العامل الحفاز وأزمنة وألكلة، لتمكين المصفاة من إنتاج الوقود النظيف.
- توسيع وإعادة تأهيل الوحدات المساندة، بما يتناسب مع طاقة العمليات الجديدة، كوحدة توليد البخار والطاقة الكهربائية، ومحطات مزج وتحضير وتخزين المشتقات النفطية والنفط الخام، وشبكات توزيع الوقود والهواء والماء، ومنظومات تجميع وتصريف غازات الشعلة، وغيرها.
- تطبيق التقنيات الحديثة التي تساهم في تحسين التزام الوحدات الإنتاجية بمعايير الصحة والسلامة، والحد من الأخطار التي تهدد سلامة البيئة.
- تطبيق برامج إدارة الصيانة المتطورة التي تساهم في تخفيض استهلاك الطاقة، من خلال تحسين جاهزية المعدات العاملة في الوحدات الإنتاجية والمساندة، والحد من التوقفات الطارئة التي تسبب هدر الطاقة.
- تعزيز التكامل بين مصافي التكرير والصناعة البتروكيمياوية.

#### 4-4: كفاءة الطاقة في مصافي النفط العربية

تختلف مصافي النفط في الدول العربية من حيث كفاءة الطاقة تبعاً لعوامل عديدة، فبعضها يقترب من أفضل القيم المعيارية المعتمدة عالمياً، وبعضها يعاني من مشكلات تؤدي إلى ارتفاع معدل استهلاك الطاقة إلى مستويات غير اقتصادية.

ولتقييم الوضع الحالي لاستهلاك الطاقة وكفاءة استخدامها في مصافي النفط في الدول العربية مقارنة بالقيم المعيارية تم حساب كمية الطاقة المستهلكة لتكرير برميل من النفط الخام، كما تم حساب مؤشر كفاءة الطاقة في كل مصفاة من هذه المصافي، وذلك اعتماداً على الفرضيات التالية:

##### • استهلاك الطاقة في عمليات التكرير

تم اعتماد القيم المعيارية لاستهلاك الطاقة في مصافي النفط المماثلة في العالم بالنسبة لعمليات التكرير الأساسية، التقطير الجوي والفراغي، والتكسير الحراري، والتكسير بالعامل الحفاز المائع، والتكسير الهيدروجيني، والتهديب بالعامل الحفاز المائع، والمعالجة الهيدروجينية، والأزمنة.

##### • دور تطبيق التقنيات الحديثة في عمليات التكرير

تم افتراض معدل استهلاك الطاقة في عمليات التكرير تبعاً للعمر الزمني للمصفاة، ومدى تطبيق تقنيات تحسين كفاءة استهلاك الطاقة. فالمصافي القديمة التي لم تخضع لمشروع تطوير أو تحسين الأداء فقد تم افتراض استهلاك الطاقة فيها عند الحد الأقصى لمتوسط استهلاك الطاقة المعتمد في مصافي العالم. أما المصافي الحديثة التي أنشئت خلال السنوات الخمس الماضية فقد افتراض أنها تستهلك الحد الأدنى لمتوسط استهلاك الطاقة. بينما تم افتراض القيم المتوسطة للاستهلاك في المصافي القديمة التي خضعت لمشاريع تطوير وتطبيق تقنيات تحسين كفاءة الطاقة في السنوات الخمس الماضية. يبين الجدول 1-4 متوسط استهلاك الطاقة في عمليات التكرير حسب تطور تقنيات تحسين كفاءة الطاقة.

الجدول 4-1: متوسط استهلاك الطاقة في عمليات التكرير حسب تطور تقنيات تحسين كفاءة الطاقة (ألف وحدة حرارية بريطانية/البرميل)

العمليات	متطورة	متوسطة	قديمة
تقطير جوي	82	114	186
تقطير فراغي	51	92	113
تكسير حراري	114	166	230
تهذيب بالعامل الحفاز	213	269	342
تكسير هيدروجيني	159	168	321
تكسير بالعامل الحفاز المانع	110	170	209
أزمنة	102	175	236
معالجة هيدروجينية	61	88	164

المصدر: Brandão, A., 2011.

#### • استهلاك الطاقة في الوحدات المساندة

تم افتراض استهلاك الطاقة في الوحدات المساندة بمعدل 15% من إجمالي الطاقة اللازمة لتكرير برميل من النفط الخام في المصفاة.

#### • حساب مؤشر كفاءة الطاقة

بما أن زيادة طاقة عمليات التكرير اللاحقة، كالعوامل التحويلية وعمليات المعالجة الهيدروجينية، تؤدي إلى رفع إجمالي استهلاك الطاقة لكل برميل مكرر من النفط الخام في المصفاة، فإن معدل الاستهلاك لا يعبر عن كفاءة استهلاك الطاقة في المصفاة، ومدى تطبيق تقنيات ترشيد استهلاك الطاقة، ولهذا تم حساب مؤشر كفاءة الطاقة EEI الذي يعبر عن كفاءة استهلاك الطاقة مقارنة بالمصافي المعيارية النموذجية، مع الأخذ بالاعتبار طاقة عمليات التكرير اللاحقة باستخدام مؤشر تعقيد نيلسون<sup>1</sup> NCI حسب المعادلة التالية:

مؤشر كفاءة الطاقة = (استهلاك الطاقة الفعلي/ مؤشر تعقيد نيلسون)/الاستهلاك المعياري \* 100

يبين الجدول 4-2 تصنيف مصافي النفط حسب قيمة مؤشر كفاءة الطاقة

<sup>1</sup> Nelson Complexity Index

## الجدول 4-2: تصنيف مصافي النفط حسب مؤشر كفاءة الطاقة

ملاحظات	التقييم	مؤشر كفاءة الطاقة %
مصفاة نموذجية جديدة يطبق فيها أحدث التقنيات	مثالي	100
مصفاة نموذجية جديدة يطبق فيها تقنيات متطورة	ممتاز	149-100
مصفاة قديمة أدخل عليها تعديلات	جيد	200-150
المصفاة بحاجة إلى تعديلات إضافية	متوسط	250-200
المصفاة لم يطبق عليها مشاريع تطوير	ضعيف	300-250
المصفاة كثيفة استهلاك الطاقة	الأضعف	أعلى من 300

ولتقييم مقدار الفائدة التي يمكن الحصول عليها بتطبيق تقنيات تحسين كفاءة الطاقة في المصافي العربية القائمة تم تقدير معدل التوفير في استهلاك الطاقة المتوقع بعد التطوير وتطبيق التقنيات المتطورة لتحسين كفاءة الطاقة لكل برميل من النفط الخام، بافتراض قيم لاستهلاك الطاقة في عمليات المصافي العالمية النموذجية، ومقارنة الناتج مع قيمة الاستهلاك قبل التطوير. وذلك حسب المعادلة التالية:

التوفير المتوقع (وحدة حرارية بريطانية/البرميل) = الاستهلاك قبل التطوير - الاستهلاك بعد التطوير  
أما إجمالي كمية الطاقة المتوقع توفيرها نتيجة تطبيق إجراءات تحسين كفاءة الطاقة فقد تم حسابها لكل مصفاة من مصافي النفط في الدول العربية حسب المعادلة التالية:

إجمالي التوفير في استهلاك الطاقة للمصفاة = التوفير المتوقع في استهلاك الطاقة لكل برميل مكرر من النفط الخام \* الطاقة التكريرية للمصفاة (ب/ي) \* عدد أيام التشغيل في السنة.

وتطبيق الفرضيات المذكورة أعلاه تم حساب كمية استهلاك الطاقة ومؤشر كفاءة استهلاك الطاقة في كل مصفاة من مصافي الدول العربية ومقارنتها مع قيم المصفاة المعيارية. وقد بينت نتائج الحساب أن تطوير المصافي القائمة وإدخال التقنيات الحديثة لتحسين كفاءة الطاقة يمكن أن يساهم في خفض استهلاك الطاقة في مصافي النفط في الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوبك" من حوالي 898 تربيون

وحدة حرارية بريطانية في السنة إلى 582 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، وبالتالي توفير حوالي 316 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، أو ما يعادل 55.43 مليون برميل مكافئ نפט في السنة، بكلفة إجمالية قدرها 2.77 مليار دولار أمريكي على أساس سعر البرميل 50 دولار أمريكي.

ويبلغ إجمالي خفض استهلاك الطاقة في مصافي النفط في الدول العربية غير الأعضاء من حوالي 87.6 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة إلى 54.7 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، وبالتالي توفير حوالي 32.91 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، أو ما يعادل 5.76 مليون برميل مكافئ نפט في السنة، بكلفة إجمالية قدرها 288 مليون دولار أمريكي على أساس سعر البرميل 50 دولار أمريكي.

أما إجمالي الدول العربية فيبلغ مقدار خفض استهلاك الطاقة من 986 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة إلى 636 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، ويبلغ مقدار التوفير حوالي 350 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، أو ما يكافئ 61.19 مليون برميل مكافئ نפט في السنة بقيمة إجمالية قدرها 3.059 مليار دولار أمريكي في السنة على أساس سعر برميل النفط 50 دولار أمريكي. يبين الجدول 3-4 استهلاك الطاقة ومؤشرات كفاءة الطاقة الحالية وبعد التطوير في الدول العربية.



## الجدول 3-4: استهلاك الطاقة ومؤشرات كفاءة الطاقة الحالية وبعد التطوير في الدول العربية

مؤشر كفاءة الطاقة %	استهلاك الطاقة										
	الحالي	التطوير		بعد التطوير		الحالي		بعد التطوير		الدولة	
	مليون دولار السنة	مليون ب.م.ن/السنة	مليون ب.م.ن/السنة	مليون ب.م.ن/السنة	مليون ب.م.ن/السنة	مليون ب.م.ن/السنة	مليون ب.م.ن/السنة	مليون ب.م.ن/السنة	مليون ب.م.ن/السنة	مليون ب.م.ن/السنة	مليون ب.م.ن/السنة
166	222.42	4.45	14.32	81.85	192	18.77	107.27	314	5	1119	الإمارات
116	87.59	1.75	3.84	21.93	256	5.59	31.94	372	1	260	البحرين
210	16.80	0.34	0.30	1.69	151	0.63	3.61	322	1	34	تونس
194	294.44	5.89	5.20	29.7	138	11.09	63.35	296	6	651	الجزائر
132	479.33	9.59	42.30	241.72	255	51.89	296.5	338	8	2859	السعودية
138	110.78	2.22	3.28	18.72	232	5.49	31.38	400	2	240	سورية
198	422.63	8.45	7.28	41.62	170	15.74	89.92	364	12	802	العراق
134	47.95	0.96	6.21	35.49	173	7.17	40.97	312	2	429	قطر
110	540.66	10.81	8.44	48.22	204	19.25	110.01	466	2	736	الكويت
232	158.64	3.17	2.64	15.07	139	5.81	33.2	294	5	380	ليبيا
174	390.43	7.81	7.99	45.68	181	15.80	90.3	359	8	769	مصر
<b>164</b>	<b>2771.64</b>	<b>55.43</b>	<b>101.80</b>	<b>581.69</b>	<b>190</b>	<b>157.23</b>	<b>898.45</b>	<b>349</b>	<b>52</b>	<b>8279</b>	<b>اجمالي اوابك</b>
127	50.58	1.01	0.88	5.02	168	1.89	10.8	362	1	90.4	الأردن
245	66.33	1.33	1.07	6.11	126	2.40	13.69	292	3	140	السودان
168	55.48	1.11	4.41	25.2	230	5.52	31.54	321	2	303	عمان
153	45.50	0.91	1.97	11.28	195	2.88	16.48	346	2	154	المغرب
208	13.65	0.27	0.25	1.44	175	0.53	3	364	1	25	موريتانيا
210	56.44	1.13	0.99	5.66	138	2.12	12.11	285	2	140	اليمن
<b>185</b>	<b>287.96</b>	<b>5.76</b>	<b>9.57</b>	<b>54.71</b>	<b>172</b>	<b>15.33</b>	<b>87.62</b>	<b>328</b>	<b>11</b>	<b>852.4</b>	<b>عربية أخرى</b>
<b>175</b>	<b>3059.60</b>	<b>61.19</b>	<b>111.37</b>	<b>636.40</b>	<b>197</b>	<b>172.56</b>	<b>986.07</b>	<b>323.14</b>	<b>63</b>	<b>9131.40</b>	<b>الدول العربية</b>

\*و.ج.ب.= وحدة حرارية بريطانية  
\*ب.م.ن.= برميل مكافئ نفط

#### 4-4-1: دولة الإمارات العربية المتحدة

تمتلك دولة الإمارات العربية المتحدة خمس مصاف بإجمالي طاقة تكريرية قدرها 1119 ألف ب.ي. يبين الجدول 4-4 طاقة عمليات مصافي في دولة الإمارات العربية المتحدة في عام 2018.

الجدول 4-4: طاقة عمليات مصافي النفط في دولة الإمارات العربية المتحدة  
عام 2018 (ألف ب.ي)

مؤشر تعقيد نيلسون	أزمة	تفسير العامل الحفاز المانع	تفجيم	تفسير هيدروجيني	معالجة هيدروجينية	تهذيب العامل الحفاز	تقطير فراغي	تقطير جوي	اسم المصفاة
5.41	25.3			68	237.3	19.15	56.7	400	الرويس (شرق)
9.19	25.3	127	40	57	320.3	80	60	417	الرويس (غرب)
3.59					41	13.7	8.50	85	أبو ظبي
1.29							17	77	الفجيرة
3.97					80	36		140	دبي
6.22	50.6	127	40	125	678.6	148.85	142.2	1119	المجموع

المصدر: أوابك، قاعدة بيانات صناعة تكرير النفط

أنجزت دولة الإمارات العربية المتحدة في السنوات الخمس الماضية عدة مشاريع لتطوير أداء مصافي النفط القائمة، وتطبيق برامج ترشيد استهلاك الطاقة، واستخدام التقنيات الحديثة المتطورة لتحسين كفاءة الطاقة، وتعزيز التكامل الحراري، وذلك في إطار خطة تحسين الأداء التشغيلي، وتعزيز التزام المصافي بمتطلبات التشريعات البيئية. من هذه المشاريع على سبيل المثال، إنشاء وحدة تنقية هيدروجين طاقتها 68,700 م<sup>3</sup>/الساعة، ووحدة استرجاع غازات الشعلة التي نفذتها شركة بترول أبو ظبي الوطنية ADNOC بهدف خفض الانبعاثات التي تطرحها المصفاة، وتحسين كفاءة الطاقة في آن واحد.

يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة الحالي في مصافي دولة الإمارات العربية المتحدة حوالي 107.3 تربيون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بمعدل 314

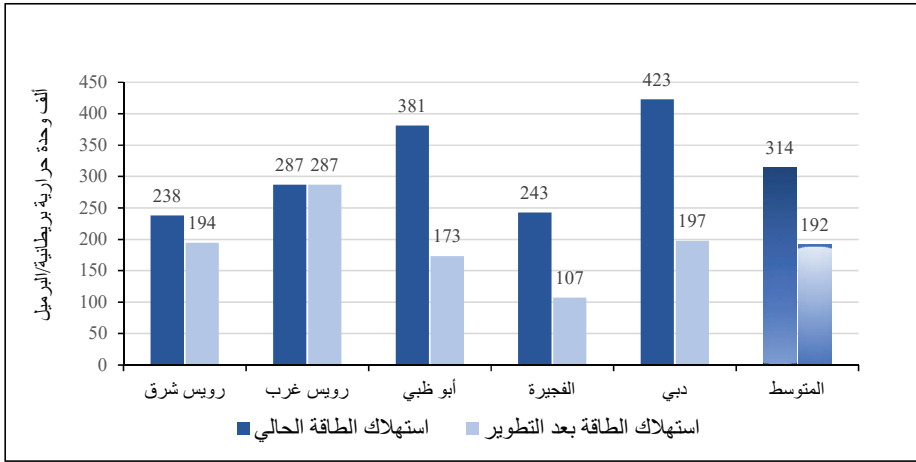
ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط المكرر، ويبلغ متوسط مؤشر كفاءة الطاقة 317%، إلا أن هذه القيم لاتعبر عن كفاءة كافة المصافي نظراً لتفاوت أدائها التشغيلي، حيث يبلغ مؤشر الطاقة في مصفاة "الرويس غرب" الجديدة 104% وهي قيمة تقترب من مستوى المصفاة المثالية، كما يبلغ المؤشر في مصفاة "الرويس شرق" 147% وهي قيمة قريبة من قيمة مؤشر المصفاة ذات كفاءة الطاقة الممتازة، وذلك نتيجة إدخال العديد من مشاريع التطوير على هذه المصفاة، بينما يصل مؤشر كفاءة الطاقة الحالي في المصافي الأخرى إلى قيم مرتفعة، مثل "الفجيرة" 627% و"دبي" 355% و"أبو ظبي" 354%، وهي قيم تشير إلى ضعف كفاءة الطاقة مقارنة بالمصفاة المتطورة الجديدة "رويس غرب".

### التطورات المستقبلية

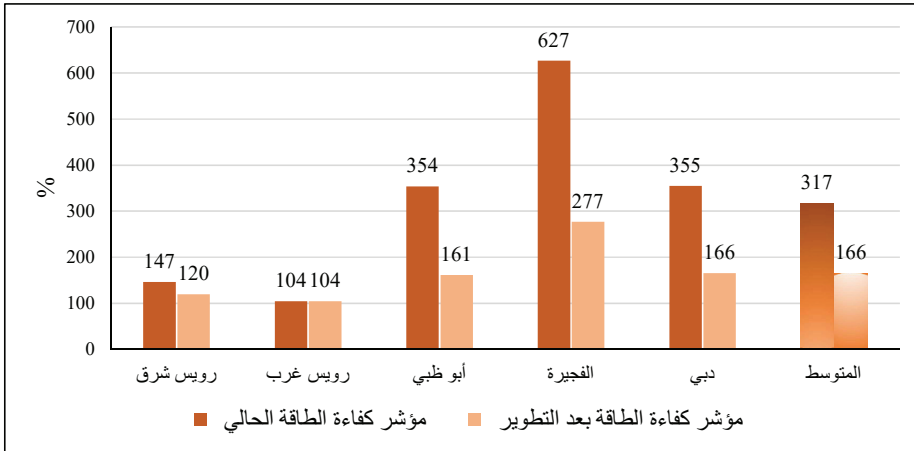
يتوقع أن تتحسن كفاءة الطاقة بعد انجاز مشاريع تطوير المصافي الأخرى القائمة وإدخال التحسينات على معدات استهلاك الطاقة لينخفض متوسط استهلاك الطاقة من 314 إلى 192 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل مكرر، أو ما يعادل 25.42 تريليون وحدة حرارية بريطانية/السنة، بنسبة توفير قدرها 23.70% من إجمالي الاستهلاك الحالي للطاقة في مصافي دولة الإمارات العربية المتحدة. كما يتوقع أن يتحسن متوسط مؤشر كفاءة الطاقة الإجمالي للمصافي من 317% إلى 166%.

يبين الشكل 4-6 استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي دولة الإمارات العربية المتحدة. كما يبين الشكل 4-7 مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي دولة الإمارات العربية المتحدة.

**الشكل 4-6: استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي دولة الإمارات العربية المتحدة**



**الشكل 4-7: مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي دولة الإمارات العربية المتحدة**



#### 4-4-2: مملكة البحرين

تمتلك مملكة البحرين مصفاة واحدة وهي مصفاة "استرة" طاقتها التكريرية 260 ألف ب.ي. يبين الجدول 4-5 طاقة عمليات مصفاة النفط العاملة في مملكة البحرين.

## الجدول 4-5: طاقة عمليات مصفاة النفط العاملة في مملكة البحرين عام 2018 (ألف ب/ي)

مؤشر تعقيد نيلسون	الكلية	كسر الزوجة	تكسير بالعامل الحفاز المانع	تكسير هيدروجيني	معالجة هيدروجينية	تهذيب بالعامل الحفاز	تقطير فراغي	تقطير جوي	اسم المصفاة
7.34	1.3	20	36	60	163	18	168.17	260	سترة

المصدر: أوابك - قاعدة بيانات صناعة تكرير النفط

تتميز مصفاة "سترة" بدرجة تعقيد جيدة، حيث يبلغ مؤشر تعقيد نيلسون 7.34، وذلك نظراً لارتفاع طاقة العمليات التحويلية. كما شهدت مصفاة "سترة" تنفيذ عدة مشاريع تطوير تهدف إلى تحسين أدائها التشغيلي، من خلال استبدال المعدات والوحدات القديمة، وتعظيم التكامل الحراري لتخفيض استهلاك الطاقة، واسترجاع غازات الشعلة. (أوابك، 2017).

حصلت مصفاة "سترة" على شهادات تقدير عالمية تؤكد التزامها بمتطلبات التشريعات البيئية، مما جعلها تتبوء مرتبة متقدمة من حيث الالتزام بإجراءات حماية البيئة وتحسين كفاءة الطاقة. وفي عام 2009 حصلت مصفاة "سترة" على الشهادة الدولية لنظام الإدارة البيئية ISO-14001.

تشهد مصفاة "سترة" حالياً تنفيذ مشروع تطوير ورفع الطاقة التكريرية من 260 ألف ب/ي إلى 360 ألف ب/ي، بتكلفة استثمارية قدرها 6.5 مليار دولار أمريكي، ويتوقع تشغيله في عام 2020. كما يتضمن المشروع إنشاء وحدات تكسير هيدروجيني ورفع طاقة وحدة التكسير الهيدروجيني القائمة من 54 ألف ب/ي إلى 70 ألف ب/ي، واستبدال وحدة التكسير بالعامل الحفاز المانع القائمة بأخرى جديدة متطورة، علاوة على تطبيق بعض إجراءات تحسين الأداء التشغيلي وتعزيز كفاءة استهلاك الطاقة.

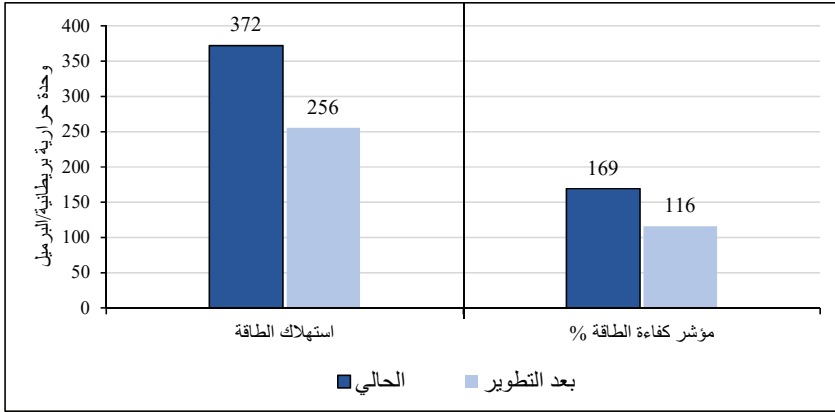
يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة الحالي في مصفاة "سترة" حوالي 31.94 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة بمعدل 372 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل

من النفط الخام المكرر، كما تبلغ قيمة مؤشر كفاءة الطاقة 169%، وهي قيمة تشير إلى أن كفاءة الطاقة في المصفاة جيدة و قريبة من مؤشر المصافي الممتازة. **الشكل 4-8** استهلاك الطاقة ومؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاة "سترة"- مملكة البحرين.

### التطورات المستقبلية

يتوقع أن تتحسن كفاءة الطاقة بعد انجاز مشروع التطوير الجاري تنفيذه حالياً، لينخفض استهلاك الطاقة لكل برميل نفط مكرر من 372 إلى 256 ألف وحدة حرارية بريطانية، على الرغم من ارتفاع الطاقة التكريرية وإضافة عمليات تكرير جديدة، أو ما يعادل 31.94 تريليون وحدة حرارية بريطانية/السنة، بنسبة توفير قدرها 31.34% من إجمالي الاستهلاك الحالي للطاقة، كما يتوقع أن يتحسن مؤشر كفاءة الطاقة في المصفاة من 169% إلى 116%.

**الشكل 4-8: استهلاك الطاقة ومؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاة "سترة" مملكة البحرين**



### 3-4-4: الجمهورية التونسية

تمتلك الجمهورية التونسية مصفاة واحدة "بنزرت" تبلغ طاقتها التكريرية 34 ألف ب/ي، وهي من النوع البسيط، حيث لا تحتوي على وحدات تحويلية.

يبين الجدول 4-6 طاقة عمليات مصفاة بنزرت- الجمهورية التونسية عام 2018.

الجدول 4-6: طاقة عمليات مصفاة بنزرت-الجمهورية التونسية في عام 2018 (ألف ب/ي)

مؤشر تعقيد نيلسون	تكسير حراري	معالجة هيدروجينية	تهذيب بالعامل الحفاز	تقطير جوي	اسم المصفاة
2.4		7.67	5.67	34	بنزرت

المصدر: أوابك- قاعدة بيانات صناعة التكرير

يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة الحالي في مصفاة "بنزرت" حوالي 3.61 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بمعدل 322 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط الخام المكرر، كما تبلغ قيمة مؤشر كفاءة الطاقة 447%، وهي قيمة مرتفعة جداً تشير إلى أن كفاءة الطاقة في المصفاة ضعيفة جداً نظراً لقدم المصفاة وعدم وجود عمليات تحويلية.

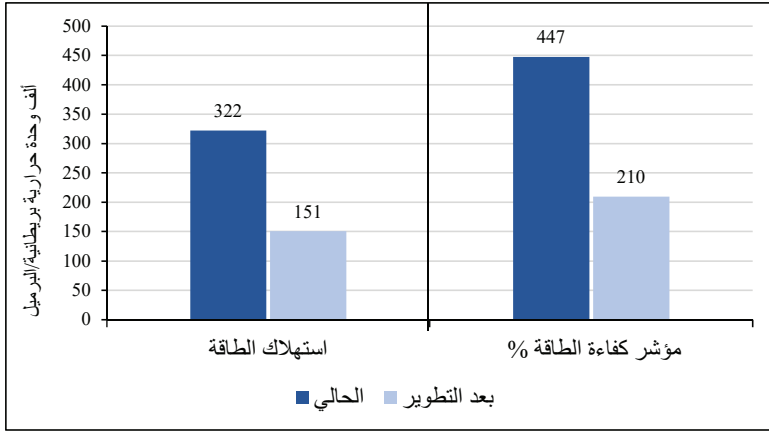
### التطورات المستقبلية

تواجه صناعة التكرير في الجمهورية التونسية صعوبات عديدة ناتجة عن انخفاض الطاقة التكريرية للمصفاة الوحيدة العاملة، وفشل المحاولات العديدة لتوسيعها أو تطويرها أو إنشاء مصفاة جديدة.

إن قدم مصفاة "بنزرت" وصغر حجمها وعدم تطويرها جعل استهلاكها للطاقة كثيف جداً وغير اقتصادي. وفي حال نجاح مشروع تطوير المصفاة وتطبيق تقنيات ترشيد استهلاك الطاقة يتوقع أن ينخفض استهلاك الطاقة من 322 إلى 151 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل نפט مكرر، بنسبة توفير 53.12% من إجمالي استهلاك الطاقة الحالي في المصفاة. كما يتوقع أن ينخفض مؤشر كفاءة الطاقة من 447% إلى 210%.

يبين الشكل 4-9 استهلاك الطاقة ومؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاة "بنزرت"- الجمهورية التونسية.

**الشكل 4-9: استهلاك الطاقة ومؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاة "بنزرت" الجمهورية التونسية**



#### 4-4-4: الجمهورية الجزائرية

تمتلك الجمهورية الجزائرية ست مصاف بطاقة تكريرية إجمالية قدرها 651 ألف ب/ي، جميعها من النوع البسيط، وتتكون من وحدات تقطير وعمليات تهذيب بالعامل الحفاز للنافثا، إضافة إلى أن طاقة عمليات المعالجة الهيدروجينية منخفضة. كما أنها لا تحتوي على وحدات تحويلية لاحقة لتحويل مخلفات التقطير الثقيلة إلى منتجات خفيفة عالية الجودة، باستثناء مصفاة "أدرار" التي يوجد فيها وحدة تكسير بالعامل الحفاز المائع.

يبين الجدول 4-7 طاقة عمليات مصافي النفط العاملة في الجمهورية

الجزائرية في عام 2018.



## الجدول 4-7: طاقة عمليات المصافي العاملة في الجمهورية الجزائرية في عام 2018 (ألف ب/ي)

اسم المصفاة	تقطير جوي	تقطير فراغي	تهذيب بالعامل الحفاز	معالجة هيدروجينية	تكسير بالعامل الحفاز المانع	مؤشر تعقيد نيلسون
الجزائر	58		15	14.4		2.91
حاسي مسعود	22		2.4	2.7		1.85
أرزيو	81	5.5	11.5	9.5		4.61
سكيكدة	355	5.5	60	54		2.25
سكيكدة متكثفات	122					1
أدرار	13		2	2	6	4.92
<b>الإجمالي</b>	<b>651</b>	<b>11</b>	<b>90.9</b>	<b>82.6</b>	<b>6</b>	<b>2.41</b>

المصدر: أوإبك، قاعدة بيانات صناعة تكرير النفط

شهدت مصافي النفط في الجمهورية الجزائرية عدة مشاريع توسيع وتطوير خلال العقدين الماضيين، بهدف تحسين التزامها بمتطلبات التشريعات البيئية، وتعزيز التكامل الحراري، وتطبيق إجراءات ترشيد استهلاك الطاقة إلا أنها لم تكن كافية.

يجري حالياً تنفيذ مشروع تطوير مصافي النفط في الجمهورية الجزائرية إضافة إلى إنشاء ثلاث مصاف جديدة في "بيسكرة" و"غورداية" و "حاسي مسعود" طاقة كل منها 100 ألف ب/ي.

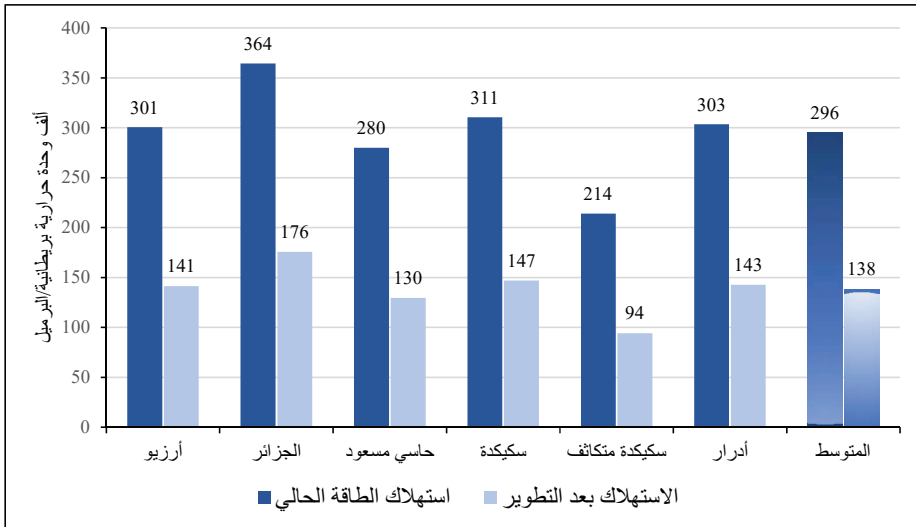
يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة الحالي في مصافي النفط في الجمهورية الجزائرية حوالي 63.35 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بمعدل 296 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط المكرر، وعلى الرغم من أن القيمة أدنى من المتوسط المعياري إلا أنها تعتبر مرتفعة جداً بالنظر إلى انخفاض درجة التعقيد التكنولوجي للمصافي "مؤشر تعقيد نيلسون" الذي يبلغ 2.41، حيث أن متوسط مؤشر كفاءة الطاقة تبلغ قيمته 420%، وهي قيمة تشير إلى أن كفاءة الطاقة منخفضة جداً مقارنة بالمصافي المعيارية.

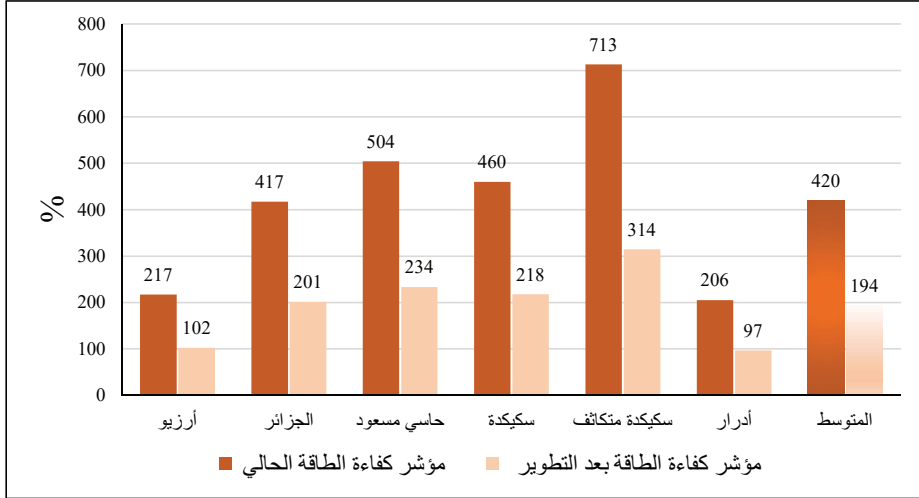
## التطورات المستقبلية

تعود أسباب ضعف كفاءة الطاقة إلى انخفاض حجم الطاقة التكريرية للمصافي وقدم المعدات وتأخر تنفيذ مشروع تطوير المصافي القائمة.

ستساهم خطة إنشاء المصافي الجديدة وتطوير المصافي القائمة وتطبيق التقنيات الحديثة في تعزيز كفاءة الطاقة في مصافي الجمهورية الجزائرية، وبالتالي يمكن أن ينخفض متوسط استهلاك الطاقة من 296 إلى 138 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل مكرر. كما سيبلغ إجمالي التوفير 33.64 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، أي ما يعادل نسبة 53.11% من إجمالي استهلاك الطاقة الحالي في مصافي الجمهورية الجزائرية. كما يتوقع أن يتحسن مؤشر كفاءة الطاقة من 420% إلى 194%.  
يبين الشكل 4-10 استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي الجمهورية الجزائرية. كما يبين الشكل 4-11 مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي الجمهورية الجزائرية.

الشكل 4-10: استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي الجمهورية الجزائرية



**الشكل 4-11: مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي الجمهورية الجزائرية****5-4-4: المملكة العربية السعودية**

تمتلك المملكة العربية السعودية ثمان مصاف، ويبلغ إجمالي الطاقة التكريرية 2,859 ألف ب/ي، يبين الجدول 4-8 طاقة مصافي النفط العاملة في المملكة العربية السعودية عام 2018.

تصنف مصافي المملكة العربية السعودية في المرتبة الثانية عالمياً من حيث تطبيقها لإجراءات تحسين كفاءة الطاقة، وذلك في دراسة استقصائية تجريها مؤسسة سولومون الأمريكية دورياً، تشمل أكثر من 300 مصفاة في مناطق مختلفة من العالم (Solomon, 2016)

شهدت صناعة تكرير النفط في المملكة العربية السعودية تطورات مهمة في السنوات الخمس الماضية، حيث تم تشغيل مصفاتين متطورتين هما مصفاة "ساتورب" ومصفاة "ياسرف" تتميزان بتطبيق أحدث التقنيات المتعلقة بعمليات التكرير وترشيد استهلاك الطاقة. كما يجري حالياً تطوير المصافي القائمة مثل مصفاة "الرياض" و"راس تنورة".

**الجدول 4-8: طاقة عمليات مصافي النفط العاملة في المملكة العربية السعودية عام 2018 (ألف ب/ي)**

اسم المصفاة	تقطير جوي	تقطير فراغي	تهذيب بالعامل الحفاز	معالجة هيدروجينية	تكسير هيدروجيني	تكسير بالعامل الحفاز المانع	كسر الزوجة	تفجيم	أزمنة	مؤشر تعقيد نيلسون
رأس تنورة	550	140	50	150	100	110	60			5.55
الرياض	124	61	36	85	42					8.46
ينبع (محلي)	235		40	50					15	3.86
ينبع (تصدير)	400	160	27	146.5		95	55		22	7.45
الجبيل	310	100	18.8	275	46		45			8.24
رابغ	400	160		47		25				2.19
ساتورب	440	170	61.7	270	116	32		96	16	10.03
ياسرف	400	170	84	247	124	32		117	20	10.40
<b>الإجمالي</b>	<b>2859</b>	<b>961</b>	<b>362.7</b>	<b>1315.5</b>	<b>490</b>	<b>293</b>	<b>160</b>	<b>213</b>	<b>73</b>	<b>6.99</b>

المصدر: أوابك - قاعدة بيانات صناعة تكرير النفط

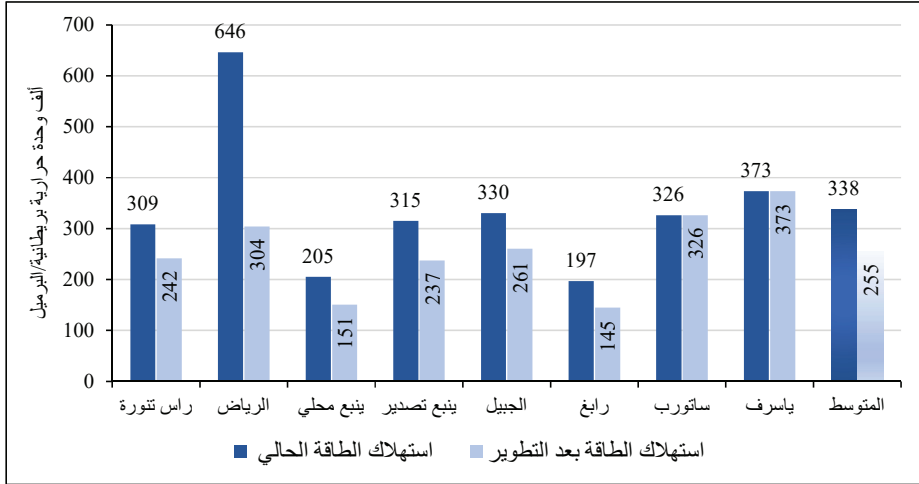
يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة في مصافي النفط في المملكة العربية السعودية حوالي 296.5 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بمعدل 338 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط الخام المكرر. كما يبلغ متوسط كفاءة الطاقة في مصافي النفط العاملة في المملكة العربية السعودية 178%، وهي قيمة قريبة من القيمة المعيارية للمصافي ذات الكفاءة الممتازة، حيث أن معظم مصافي المملكة متطورة ومجهزة بأحدث تقنيات تحسين كفاءة الطاقة، مثل مصفاة "ساتورب" ومصفاة "ياسرف"، ومصفاة "ينبع تصدير"، باستثناء مصفاة "رابغ" التي يصل مؤشر كفاءة الطاقة فيها إلى 300%، بسبب طبيعة عمليات التكرير فيها، حيث أنها مخصصة لإنتاج لقوائم لمجمعات البتر وكيمائيات. ومصفاة "الرياض" التي يصل فيها مؤشر كفاءة الطاقة إلى

255% حيث تخضع حالياً لمشروع تطوير لتحسين الأداء التشغيلي وإدخال التقنيات الحديثة لتحسين كفاءة الطاقة.

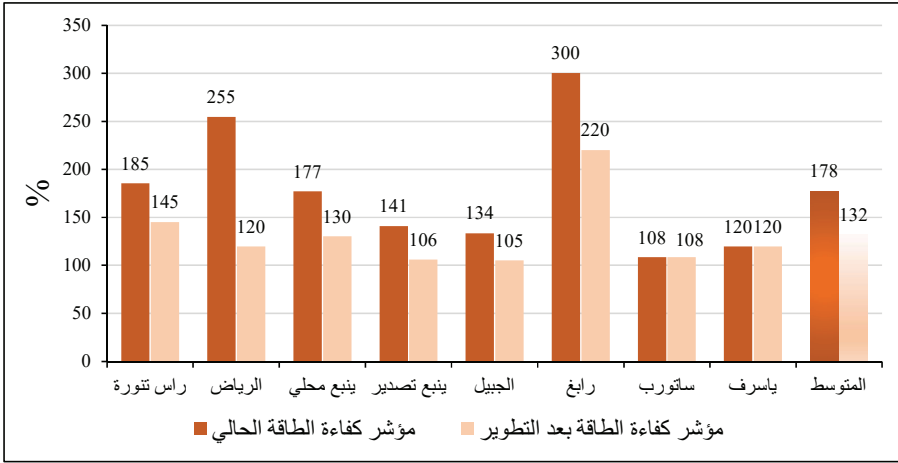
### التطورات المستقبلية

يتوقع أن تتحسن كفاءة الطاقة بعد انجاز مشاريع تطوير المصافي الأخرى القائمة وإدخال التحسينات على معدات استهلاك الطاقة لينخفض متوسط مؤشر كفاءة الطاقة الإجمالي في المملكة العربية السعودية من 178% إلى 132%. كما يتوقع أن ينخفض معدل استهلاك الطاقة من 338 إلى 225 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل مكرر، أو ما يعادل 54.77 ترليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بنسبة توفير قدرها 18.5% من إجمالي الاستهلاك الحالي للطاقة في مصافي المملكة العربية السعودية. **الشكل 4-12** استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي المملكة العربية السعودية. كما يبين **الشكل 4-13** مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي المملكة العربية السعودية.

### الشكل 4-12: استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي المملكة العربية السعودية



#### الشكل 4-13: مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي المملكة العربية السعودية



#### 6-4-4: الجمهورية العربية السورية

تمتلك الجمهورية العربية السورية مصفاتي، الأولى مصفاة "حمص" طاقتها التكريرية 107 ألف ب/ي، والثانية "بانياس" على ساحل البحر الأبيض المتوسط بطاقة 133 ألف ب/ي. يبين الجدول 9-4 طاقة عمليات مصافي النفط العاملة في الجمهورية العربية السورية عام 2018

#### الجدول 9-4: طاقة عمليات مصافي النفط في الجمهورية العربية السورية

عام 2018 (ألف ب/ي)

اسم المصفاة	تقطر جوي	تقطير فراغي	تهذيب بالعامل الحفاز	معالجة هيدروجينية	تفسير هيدروجيني	تفسير بالعامل الحفاز المانع	كسر اللزوجة	تفجيم	أزمنة	مؤشر تعقيد نيلسون
حمص	107	12.2	13.2	59.6					2.9	4.63
بانياس	133	54.1	21.46	45.7	40	26	26		7.5	6.60
الإجمالي	240	66.3	34.66	105.3	40	26	26	18.2	10.4	5.72

تم تنفيذ مجموعة من التعديلات في المصفايتين القائمتين بهدف تطبيق برامج ترشيد استهلاك الطاقة ورفع كفاءة استخدامها، كاسترجاع غازات الشعلة للاستفادة منها كوقود في أفران المصفاة بدلاً من حرقها، وإضافة مبادلات حرارية جديدة في الوحدات الإنتاجية لتحسين كفاءة التبادل الحراري، وتخفيض استهلاك الوقود في الأفران.

كما تم تطبيق بعض برامج تحسين كفاءة الطاقة في مصفاةي النفط القائمتين دون الحاجة إلى استثمارات ضخمة، وذلك من خلال إجراء صيانة شاملة لأنظمة التسخين، وإنتاج البخار، وخفض الفاقد في منظومة الشعلة، وتحسين مواد العزل الحراري للأنايبب والأوعية. وقد نتج عن تطبيق هذه الإجراءات في مصفاة حمص استرجاع نسبة من غازات الشعلة بمقدار 2000 متر مكعب/ساعة، واستخدامها كوقود في أفران المصفاة، كما أدى إلى تحقيق وفر في الوقود قدره 7670 طن/سنة نتيجة إضافة بعض المبادلات الحرارية إلى وحدة تقطير النفط الخام، وتحقيق وفر آخر في الوقود بمقدار 8168 طن/سنة نتيجة تركيب مسخن مبدئي لهواء الاحتراق في أفران وحدات التقطير.

(Johra, 2010)

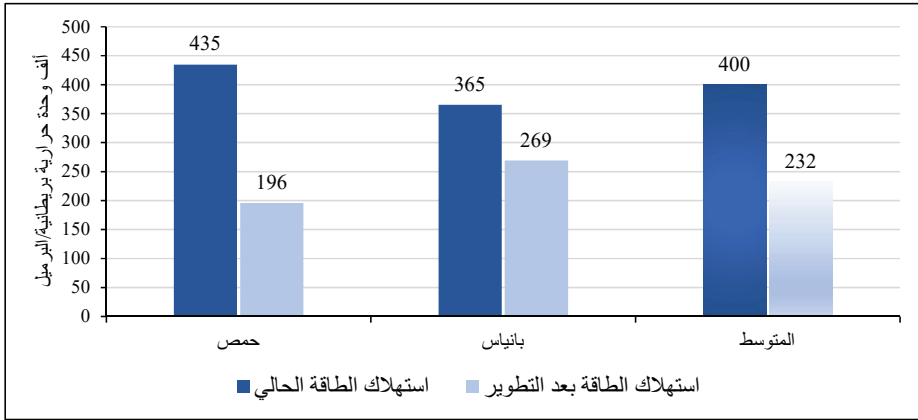
يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة الحالي في مصفاةي النفط في الجمهورية العربية السورية 31.38 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، أو ما يعادل 400 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط الخام المكرر، كما يبلغ متوسط مؤشر كفاءة الطاقة 249%، وهي قيمة تشير إلى أن كفاءة الطاقة تقترب من قيمة المصفاة ذات الكفاءة المتوسطة.

### التطورات المستقبلية

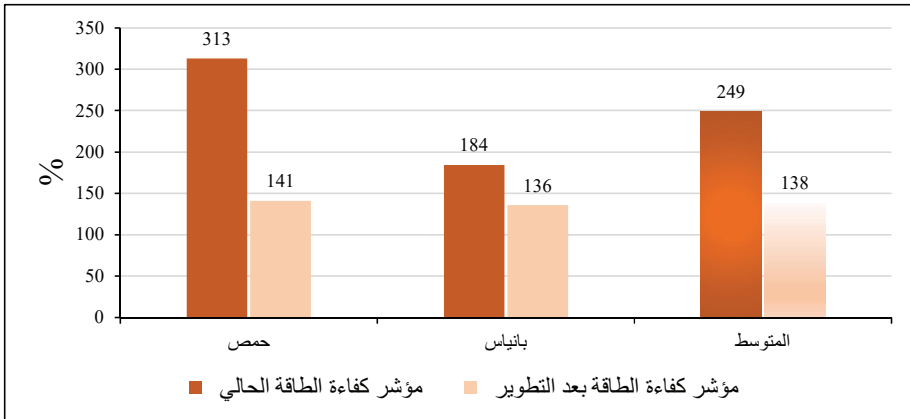
على الرغم من أهمية دور الإجراءات التي طبقت خلال العقدين الماضيين في تحسين كفاءة الطاقة في المصفاةين القائمتين إلا أنها غير كافية. ويتوقع أن ينخفض متوسط استهلاك الطاقة من 400 إلى 232 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل مكرر

في حال تطبيق التقنيات المتطورة لتحسين كفاءة الطاقة، أو ما يعادل 12.66 تريليون وحدة حرارية بريطانية/السنة، بنسبة توفير قدرها 40.34% من إجمالي الاستهلاك الحالي للطاقة في مصفاةي الجمهورية العربية السورية. كما سينخفض متوسط مؤشر كفاءة الطاقة من 249% إلى 138%. **الشكل 4-14** يبين استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاةي الجمهورية العربية السورية. كما يبين **الشكل 4-15** مؤشر كفاءة الطاقة قبل وبعد التطوير في مصفاةي الجمهورية العربية السورية.

**الشكل 4-14: استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاةي الجمهورية العربية السورية**



**الشكل 4-15: مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاةي الجمهورية العربية السورية**





## 4-4-7: جمهورية العراق

تمتلك جمهورية العراق اثنتا عشر مصفاة، بإجمالي طاقة تكريرية 802 ألف ب/ي. معظم هذه المصافي من النوع البسيط صغير الحجم، مما يرفع من تكاليف تشغيلها ومعدل استهلاكها للطاقة. يبين الجدول 10-4 طاقة عمليات مصافي النفط العاملة في جمهورية العراق نهاية عام 2018.

الجدول 10-4: طاقة عمليات مصافي النفط العاملة في جمهورية العراق  
عام 2018 (ألف ب/ي)

اسم المصفاة	تقطير جوي	تقطير فراغي	تهذيب بالعامل الحفاز	معالجة هيدروجينية	تكسير بالعامل الحفاز المانع	تكسير هيدروجيني	أزمنة	مؤشر تعقيد نيلسون
كركوك	56	12	5	12				2.26
بازيان	34			9				2.03
أربيل	80	20	6	9				2.08
الدورة	135	20	20	31		18.2		3.68
بيجي	70		20	20				3.32
البصرة	280	18	20	66				2.46
السماوة	30		17	20				3.50
الصينية	27		5	12				3.04
الناصرية	30	10	2.5	8				2.65
النجف	30		2.5	10	2.5		2.5	3.00
القيارة	14		2.4	6	2.5			4.53
حديثة	16		2	6				2.56
الإجمالي	802	80	46.5	209	5	18.2	2.5	2.80

تعاني مصافي النفط في جمهورية العراق من صعوبات عديدة نتيجة الأحداث التي شهدتها في العقود الماضية، فضلاً عن أن معظمها من النوع البسيط صغير الحجم، مما يجعل معدلات استهلاك الطاقة وتكاليف التشغيل مرتفعة.

يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة في مصافي النفط في جمهورية العراق حوالي 89.92 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بمعدل 364 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط الخام المكرر. وعلى الرغم من أن القيمة أدنى من استهلاك المصفاة المعيارية إلا أنها تعتبر مرتفعة جداً بالنظر إلى قيمة مؤشر التعقيد التكنولوجي للمصافي (مؤشر تعقيد نيلسون) المنخفضة 2.8، حيث تبلغ قيمة متوسط مؤشر كفاءة الطاقة 426% وهي قيمة تشير إلى أن كفاءة الطاقة في المصافي منخفضة جداً.

### التطورات المستقبلية

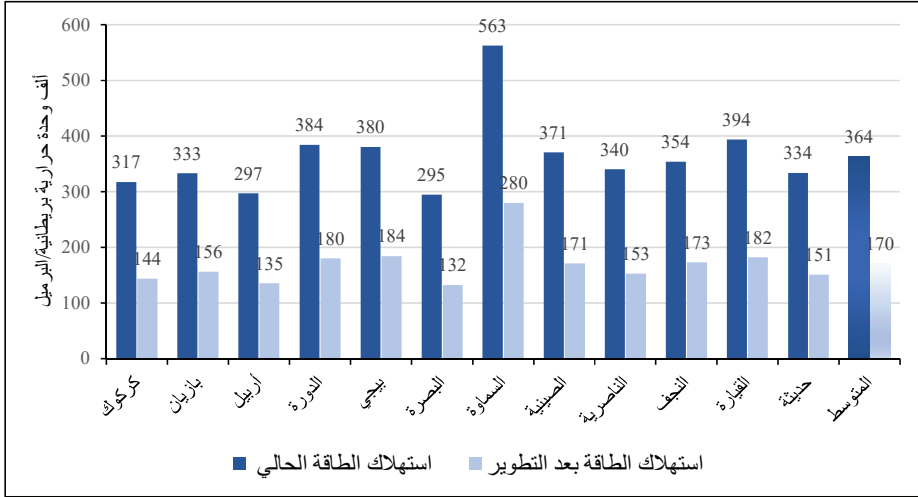
تقوم جمهورية العراق بتنفيذ مشروع تطوير للمصافي العاملة وخاصة ذات الطاقة التكريرية العالية، وذلك بهدف تحسين أدائها التشغيلي من خلال توسيع طاقة عمليات تهذيب النافثا وإضافة وحدات أزمرة لتمكين المصافي من التوقف عن إضافة الرصاص لرفع الرقم الأوكتاني للغازولين.

تحتاج المصافي الكبيرة إلى عمليات صيانة وتطوير باهظة التكاليف حتى تتمكن من إنتاج الوقود بالموصفات التي تلبى متطلبات التشريعات البيئية الخاصة بحماية البيئة. ستساهم المصافي الجديدة المزمع إنشاؤها في تأمين إمكانية إغلاق المصافي الصغيرة المتنقلة التي تعتبر غير اقتصادية وتستهلك كمية كبيرة من الطاقة.

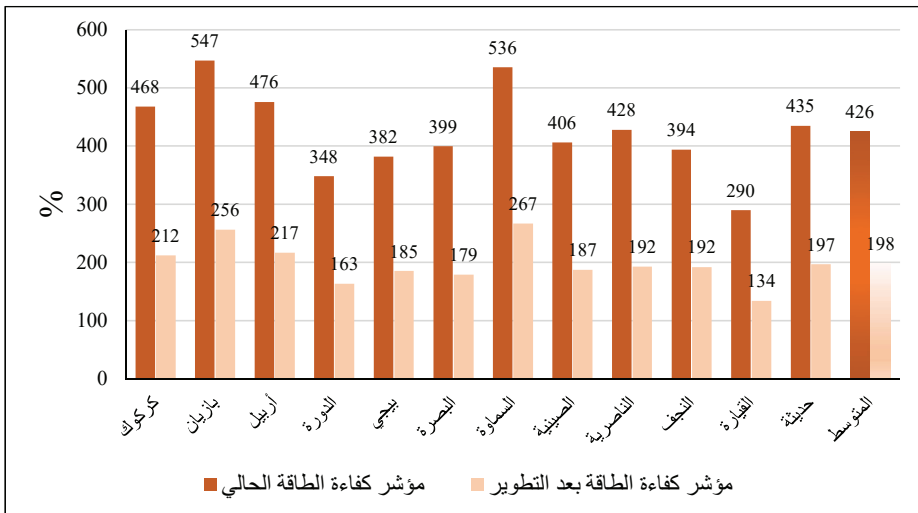
يتوقع أن تتحسن كفاءة الطاقة بعد انجاز مشاريع تطوير المصافي القائمة وإدخال التحسينات على معدات استهلاك الطاقة لينخفض متوسط مؤشر كفاءة الطاقة الإجمالي لمصافي جمهورية العراق من 426% إلى 198%. كما يتوقع أن ينخفض متوسط استهلاك الطاقة من 364 إلى 170 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل مكرر، أو ما يعادل 48.3 تريليون وحدة حرارية بريطانية/السنة، بنسبة توفير قدرها 53.7% من إجمالي الاستهلاك الحالي للطاقة في مصافي جمهورية العراق.

يبين الشكل 4-16 استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي جمهورية العراق. كما يبين الشكل 4-17 مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي جمهورية العراق.

الشكل 4-16: استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي جمهورية العراق



الشكل 4-2: مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي جمهورية العراق



#### 8-4-4: دولة قطر

تمتلك دولة قطر مصفّاتان، الأولى "أمسيعيد" طاقتها 137 ألف ب/ي، والثانية "راس لفان"، تبلغ طاقتها 292 ألف ب/ي. يبين الجدول 11-4 طاقة عمليات مصافي النفط العاملة في دولة قطر في عام 2018

الجدول 11-4: طاقة عمليات مصافي النفط العاملة في دولة قطر في عام 2018 (ألف ب/ي)

اسم المصفاة	تقطير جوي	تقطير فراغي	تهذيب بالعامل الحفاز	معالجة هيدروجينية	تكسير هيدروجيني	تكسير بالعامل الحفاز المانع	الأزمة	مؤشر تعقيد نيلسون
أمسيعيد	137	90	16	60	28	9.7	5.29	
راس لفان	292	40	40	170	40	50	7.62	
الإجمالي	429	130	56	230	40	59.7	6.87	

المصدر: أوابك- قاعدة بيانات صناعة التكرير

شهدت مصفاة "راس لفان" تطوراً مهماً في عام 2017 تضمن مضاعفة الطاقة التكريرية، ورفع طاقة العمليات اللاحقة، علاوة على تطوير الوحدات المساندة، وتعزيز كفاءة استهلاك الطاقة وفق أحدث التقنيات المطبقة في العالم.

يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة في مصافي النفط في دولة قطر حوالي 40.97 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بمعدل 312 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط الخام المكرر. أما متوسط مؤشر كفاءة الطاقة فتبلغ قيمته 173% وهي قريبة من قيمة مؤشر المصافي ذات كفاءة الطاقة الممتازة.

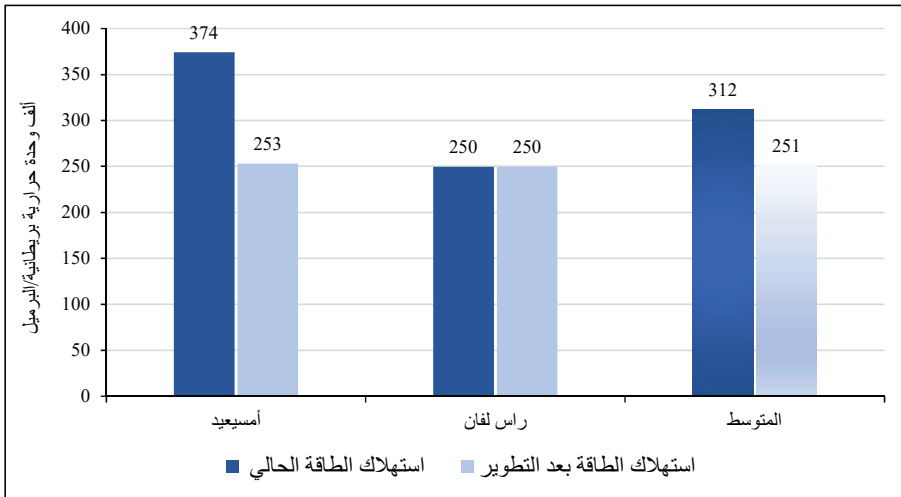
## التطورات المستقبلية

تقترب كفاءة الطاقة في مصفاتي النفط العاملة في دولة قطر من مستوى المصافي الممتازة، وخصوصاً مصفاة "راس لفان" التي خضعت لمشروع تطوير شامل في عام 2018 في إطار مضاعفة الطاقة التكريرية وتطبيق أحدث تقنيات تحسين كفاءة الطاقة.

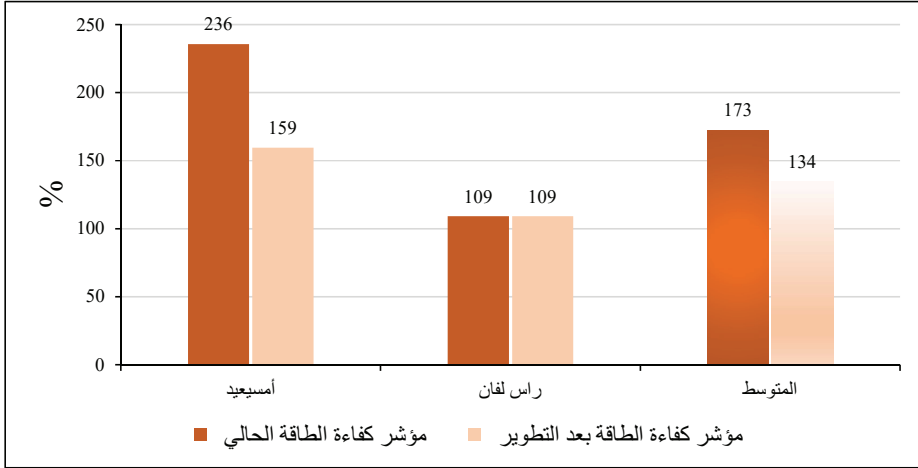
يتوقع أن تتحسن كفاءة الطاقة بعد انجاز مشاريع تطوير المصافي الأخرى القائمة وإدخال التحسينات على معدات استهلاك الطاقة في مصفاة "أمسيعد" لينخفض متوسط مؤشر كفاءة الطاقة الإجمالي لمصافي دولة قطر من 173% إلى 134%. كما يتوقع أن ينخفض متوسط استهلاك الطاقة من 312 إلى 173 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل مكرر، أو ما يعادل 5.47 تريليون وحدة حرارية بريطانية/السنة، بنسبة توفير قدرها 13.37% من إجمالي الاستهلاك الحالي للطاقة في مصافي دولة قطر.

يبين الشكل 4-18 استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي دولة قطر. كما يبين الشكل 4-19 مؤشر كفاءة الطاقة قبل وبعد التطوير في مصافي دولة قطر.

**الشكل 4-18: استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي دولة قطر**



**الشكل 4-19: مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي دولة قطر**



#### 9-4-4: دولة الكويت

تمتلك دولة الكويت حالياً مصفاتي بطاقة تكريرية إجمالية قدرها 736 ألف ب/ي. يبين الجدول 4-12 طاقة عمليات التكرير في مصافي النفط العاملة في دولة الكويت عام

2018

**الجدول 4-12: طاقة عمليات مصافي النفط العاملة في دولة الكويت عام 2018 (ألف ب/ي)**

مؤشر تعقيد نيلسون	أزمة	تفجير	تكسير بالعامل الحفاز المانع	تكسير هيدروجيني	معالجة هيدروجينية	تهذيب بالعامل الحفاز	تقطير فراغي	تقطير جوي	اسم المصفاة
5.59	1.3		40	37	318	32.4	80	466	ميناء الأحمدى
6.79		30		37	188	14	142.5	270	ميناء عبد الله
6.03	1.3	30	40	74	506	46.4	222.5	736	الإجمالي

نفذت شركة البترول الوطنية الكويتية مشروع تخفيض معدل حرق المواد الهيدروكربونية في الشعلات. وقد أدى المشروع إلى استرجاع حوالي 8 مليون قدم مكعب من الغاز في اليوم، كانت تحرق في الشعلة، تقدر قيمتها بحوالي 10 مليون دولار سنوياً.

كما نفذت شركة البترول الوطنية الكويتية في عام 2018 مشروع إنشاء وحدة استرجاع غازات الشعلة والاستفادة منها كوقود في الأفران والمسخانات بدلاً من حرقها. وقد ساهم المشروع في توفير ما يعادل 10 مليون قدم مكعبة من الغاز يومياً، وخفض الفاقد الكلي للمصفاة بمقدار 0.15%، وخفض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بمقدار 91736 طن سنوياً، علاوة على عوائد سنوية تقدر بحوالي 5 مليون دولار.

يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة الحالي في مصافي النفط القائمة في دولة الكويت حوالي 110.01 تريليون وحدة حرارية بريطانية، بمعدل 466 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط الخام المكرر، ويبلغ متوسط مؤشر كفاءة الطاقة 237% وهي قيمة تشير إلى أن كفاءة الطاقة في المصفاتين متوسطة.

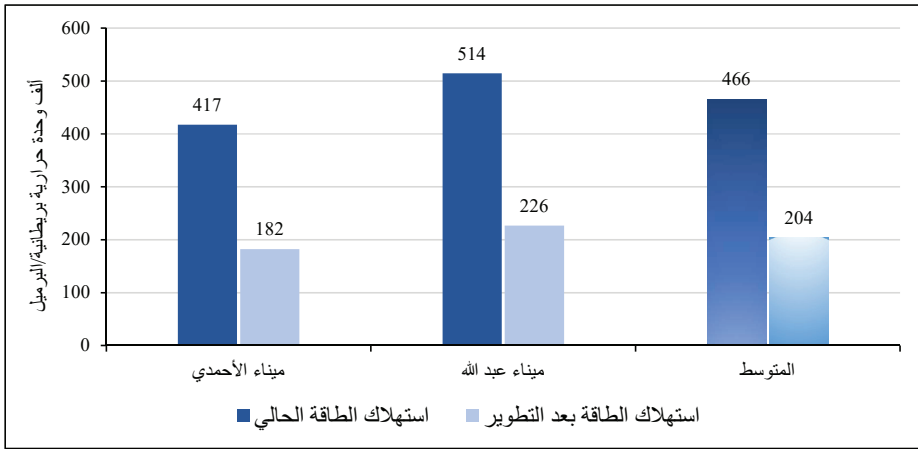
### التطورات المستقبلية

تصنف مصفاة النفط العاملة في دولة الكويت بأنها متوسطة كفاءة الطاقة مقارنة بالقيمة المعيارية، وهذا هو أحد الأسباب التي كانت وراء مشروع تطوير المصافي القائمة وإنشاء مصفاة جديدة "الزور" متطورة طاقتها التكريرية 615 ألف ب/ي، ويتوقع أن تتحسن كفاءة الطاقة بعد انجاز المشروع لينخفض متوسط مؤشر كفاءة الطاقة الإجمالي لمصافي دولة الكويت القائمة من 237% إلى 110%. كما يتوقع أن ينخفض استهلاك الطاقة من 466 إلى 204 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل مكرر، أو ما يعادل 61.79 تريليون

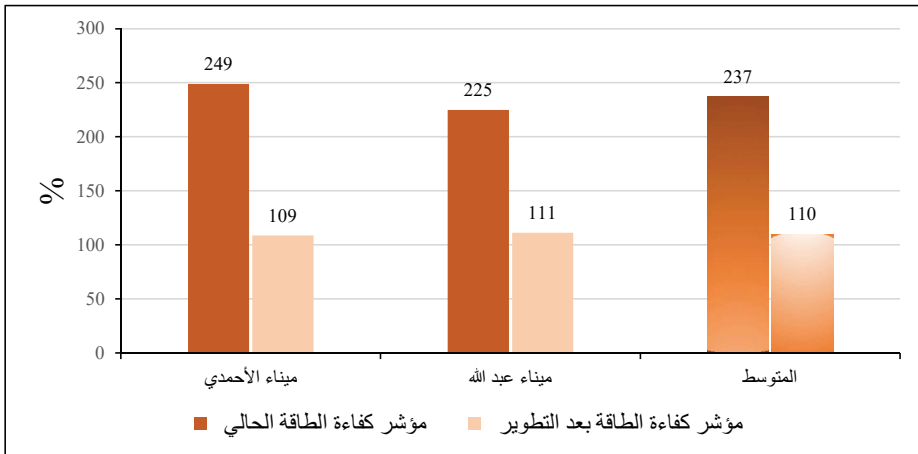
وحدة حرارية بريطانية/السنة، بنسبة توفير قدرها 56.17% من إجمالي الاستهلاك الحالي للطاقة في مصافي دولة الكويت.

يبين الشكل 4-20 استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي دولة الكويت. كما يبين الشكل 4-21 مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي دولة الكويت.

الشكل 4-20: استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي دولة الكويت



الشكل 4-21: مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي دولة الكويت





## 4-4-10: دولة ليبيا

تمتلك دولة ليبيا خمس مصاف بطاقة إجمالية قدرها 380 ألف ب/ي، يبين الجدول

4-13 طاقة عمليات مصافي النفط العاملة في دولة ليبيا في عام 2018.

الجدول 4-13: طاقة عمليات مصافي النفط العاملة في دولة ليبيا عام 2018 (ألف ب/ي)

اسم المصفاة	الطاقة التكريرية	التهديب العامل الحفار	المعالجة الهيدروجينية	مؤشر تعقيد نيلسون
مرسى البريقة	10	2.6	2.6	2.9
الزاوية	120	15.7	36.5	2.8
رأس لانوف	220	3.3	5.6	1.14
طبرق	20	3.2		1.8
سرير	10	1.6		1.8
<b>الإجمالي</b>	<b>380</b>	<b>26.45</b>	<b>44.7</b>	<b>1.77</b>

المصدر: أوابك - قاعدة بيانات صناعة التكرير

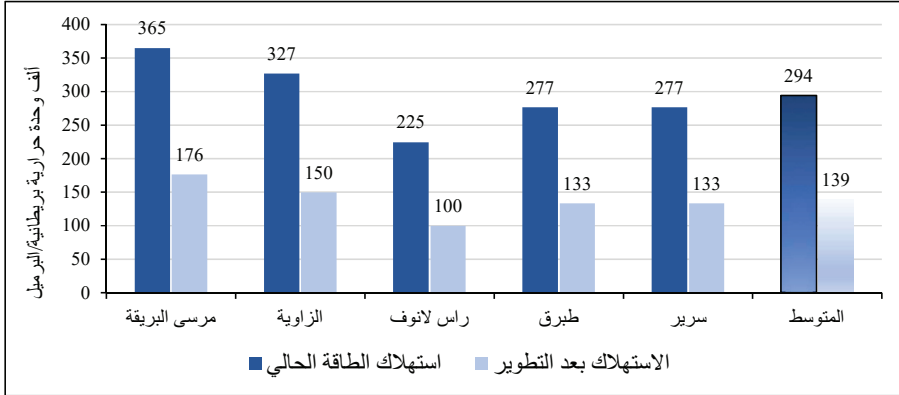
يبلغ جمالي استهلاك الطاقة الحالي في مصافي النفط في دولة ليبيا حوالي 33.2 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بمعدل 294 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط الخام المكرر. وعلى الرغم من القيمة أدنى من المتوسط المعياري إلا أنها تعتبر مرتفعة جداً بالنظر إلى درجة التعقيد التكنولوجي للمصافي (مؤشر تعقيد نيلسون) الذي يبلغ 1.7، حيث أن متوسط مؤشر كفاءة الطاقة تبلغ قيمته 496% وهي قيمة تشير إلى أن كفاءة الطاقة منخفضة جداً في كافة مصافي النفط في دولة ليبيا.

## التطورات المستقبلية

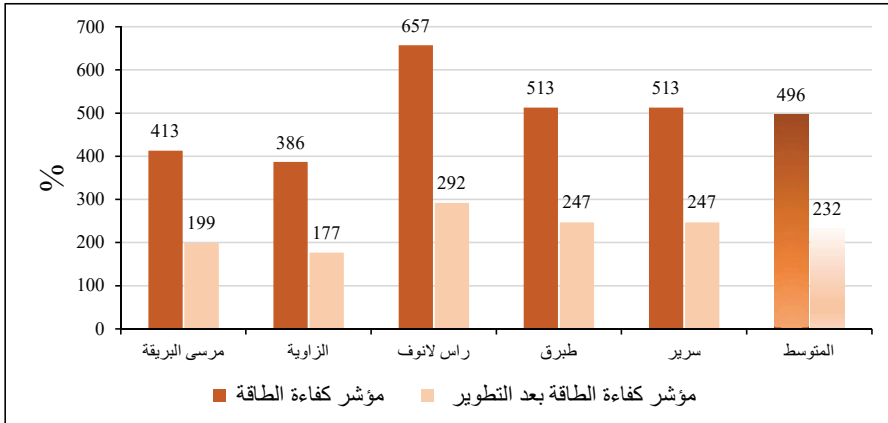
أعلنت مؤسسة البترول الليبية عن خطة لمشروع تطوير مصافي النفط الليبية، بهدف تحسين الأداء التشغيلي وتطبيق التقنيات المتطورة لتحسين كفاءة الطاقة إلا أن المشروع تأخر تنفيذه بسبب الظروف التي مرت بها الدولة.

يمكن خفض استهلاك الطاقة من 294 إلى 139 ألف وحدة حرارية بريطانية لبريطانية لكل برميل مكرر في حال تطوير المصافي القائمة وتطبيق التقنيات الحديثة لتحسين كفاءة الطاقة، أي ما يعادل 16.13 تريليون وحدة حرارية بريطانية/السنة، بنسبة 54.61% من إجمالي استهلاك الطاقة الحالي. كما يتوقع ان يتحسن مؤشر كفاءة الطاقة من 496% إلى 232%. **الشكل 4-22** استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي دولة ليبيا. **الشكل 4-23** مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي دولة ليبيا.

**الشكل 4-22: استهلاك الطاقة قبل وبعد التطوير في مصافي دولة ليبيا**



**الشكل 4-23: مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي دولة ليبيا**



## 11-4-4: جمهورية مصر العربية

تمتلك جمهورية مصر العربية ثمان مصاف بطاقة تكريرية قدرها 769 ألف ب/ي. يبين الجدول 14-2 طاقة عمليات التكرير في مصافي النفط العاملة في جمهورية مصر العربية عام 2018

الجدول 14-4: طاقة عمليات مصافي النفط العاملة في جمهورية مصر العربية عام 2018 (ألف ب/ي)

اسم المصفاة	تقطير جوي	تقطير فراغي	تهذيب بالعامل الحفاز	معالجة هيدروجينية	تكسير هيدروجيني	تقطيع	أزمنة	مؤشر تعقيد نيلسون
الاسكندرية	97	22.5	14	22.4	35			4.15
العامرية	80.5	15	12	37.5				5.98
أسيوط	90.5		7	10			3	1.66
مسطرد	160		10	26.1			3	1.78
طنطا	52						2	1
السويس	58	7	16	32		16.4		6.08
ميدور	100	48.2	21.7	81				10.35
النصر	131	14	16.5	32.7	34	22.8	10.7	4.60
الإجمالي	769	106.7	97.2	241.8	69	39.2	18.7	4.37

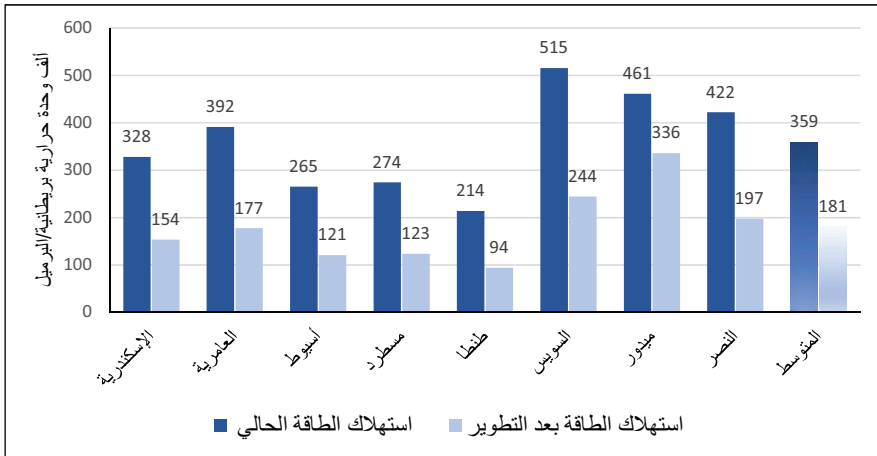
يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة في مصافي النفط في جمهورية مصر العربية حوالي 90.3 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بمعدل 359 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط الخام المكرر. وتبلغ قيمة متوسط مؤشر كفاءة الطاقة 352%، وهي قيمة تشير إلى ضعف كفاءة الطاقة في معظم المصافي القائمة.

## التطورات المستقبلية

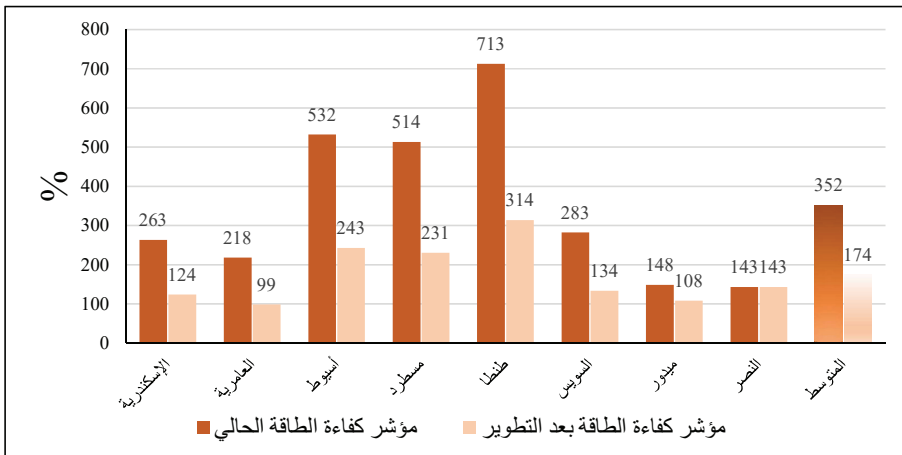
تنفذ جمهورية مصر العربية العديد من مشاريع تطوير المصافي القائمة لتحسين الأداء التشغيلي وتمكينها من تحسين كفاءة الطاقة. ويتوقع أن يتحسن متوسط مؤشر كفاءة الطاقة الإجمالي لمصافي جمهورية مصر العربية من

352% إلى 174%. كما يتوقع أن ينخفض استهلاك الطاقة من 359 إلى 181 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل مكرر، أو ما يعادل 44.63 تريليون وحدة حرارية بريطانية/السنة، بنسبة توفير قدرها 49.42% من إجمالي الاستهلاك الحالي. يبين الشكل 4-24 استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي جمهورية مصر العربية. كما يبين الشكل 4-25 مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي جمهورية مصر العربية.

**الشكل 4-24: استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي جمهورية مصر العربية**



**الشكل 4-25: مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي جمهورية مصر العربية**



## 12-4-4: المملكة الأردنية الهاشمية

تمتلك المملكة الأردنية الهاشمية مصفاة نفط واحدة في مدينة الزرقاء، وقد شهدت عدة توسعات إلى أن وصلت طاقتها التكريرية إلى 90 ألف ب/ي. يبين الجدول 15-4 طاقة عمليات التكرير في مصفاة النفط العاملة في المملكة الأردنية عام 2018

الجدول 15-4: طاقة عمليات مصفاة النفط العاملة في المملكة الأردنية عام 2018 (ألف ب/ي)

اسم المصفاة	تقطير جوي	تقطير فراغي	تهذيب بالعامل الحفاز	معالجة هيدروجينية	تكسير بالعامل الحفاز المانع	تكسير هيدروجيني	مؤشر تعقيد نيلسون
الزرقاء	90.4	21.5	10.9	17.3	4.35	5.5	4.41

المصدر: أوابك- قاعدة بيانات صناعة تكرير النفط

يجري حالياً التحضير لتنفيذ مشروع تطوير مصفاة الزرقاء بهدف رفع طاقتها التكريرية إلى 130 ألف ب/ي، ورفع أداؤها التشغيلي وتحسين قدرتها على إنتاج مشتقات بمواصفات متوافقة مع المعايير العالمية، وذلك من خلال إنشاء وحدات جديدة وتطوير تقنيات التكرير في الوحدات القائمة.

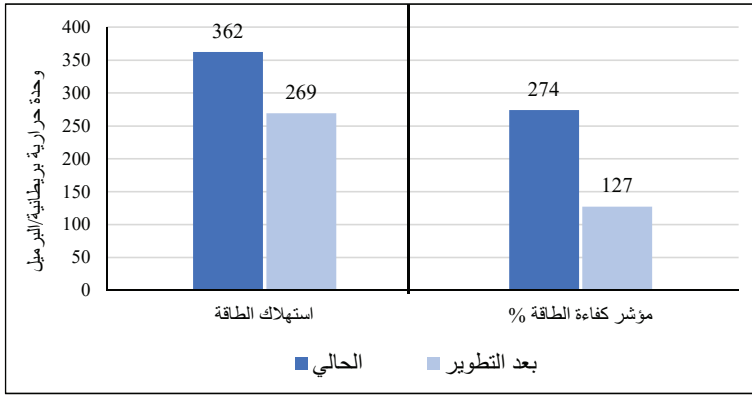
يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة في مصافي النفط في المملكة الأردنية حوالي 10.8 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بمعدل 362 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط الخام المكرر، ويبلغ مؤشر كفاءة الطاقة 274% وهي قيمة تقترب من كفاءة المصافي المتوسطة.

## التطورات المستقبلية

يتوقع أن تتحسن كفاءة الطاقة بعد انجاز مشروع تطوير المصفاة وإدخال التحسينات على معدات استهلاك الطاقة لينخفض مؤشر كفاءة الطاقة من 274% إلى

127%. كما يتوقع أن ينخفض استهلاك الطاقة من 362 إلى 168 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل مكرر، أو ما يعادل 2.77 تريليون وحدة حرارية بريطانية/السنة، بنسبة توفير قدرها 25.64% من إجمالي الاستهلاك الحالي للطاقة في مصفاة الزرقاء في المملكة الأردنية. يبين الشكل 4-26 استهلاك الطاقة ومؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاة الزرقاء-المملكة الأردنية.

**الشكل 4-26: استهلاك الطاقة ومؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاة "الزرقاء"- المملكة الأردنية**



#### 4-4-13: جمهورية السودان

تمتلك جمهورية السودان ثلاث مصافي نفط، بإجمالي طاقة تكريرية 140 ألف ب/ي، اثنتان منها تحتويان على وحدات معالجة هيدروجينية هما "الخرطوم" و"بور سودان"، والثالثة صغيرة الحجم مكونة من وحدة تقطير فقط. يبين الجدول 4-16 عدد وطاقة عمليات المصافي العاملة في جمهورية السودان في عام 2018.

## الجدول 4-16: طاقة عمليات مصافي النفط العاملة في جمهورية السودان 2018 (ألف ب/ي)

اسم المصفاة	تقطر جوي	تهذيب بالمعامل الحفار	معالجة هيدروجينية	مؤشر تعقيد نيلسون
بور سودان	25	1.9	10.5	2.56
الأبيض	15	0		1
الخرطوم	100	8	12	1.96
الإجمالي	140	9.9	22.5	1.96

المصدر: أوابك- قاعدة بيانات صناعة التكرير

يجري حالياً تنفيذ مشروع توسيع مصفاة الخرطوم لرفع طاقتها التكريرية، مع إضافة وحدة تفحيم جديدة طاقتها 20 ألف ب/ي لتساعد المصفاة على تكرير النفط الخام الثقيل. ويتوقع أن يساهم مشروع التطوير في تحسين كفاءة الطاقة من خلال إدخال التقنيات المتطورة واستبدال المعدات القديمة، إضافة إلى تمكين المصفاة من تلبية الحاجة المتنامية للسوق المحلية من المشتقات النفطية. كما تعمل الحكومة السودانية على إنشاء مصفاة جديدة لتكرير النفط في مدينة بور سودان بطاقة 150 ألف ب/ي.

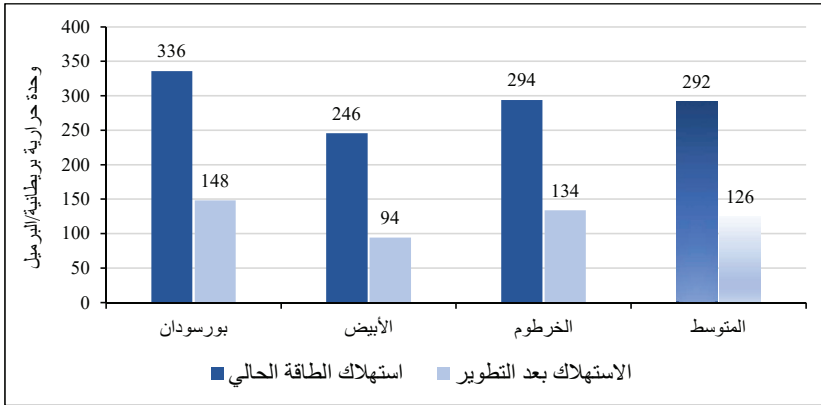
يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة في مصافي النفط في جمهورية السودان 13.69 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بمعدل 292 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط الخام المكرر، وهي قيمة منخفضة إلا أنها تعتبر مرتفعة جداً بالنظر إلى درجة التعقيد التكنولوجي للمصافي (مؤشر تعقيد نيلسون) الذي يبلغ 1.96، حيث أن متوسط مؤشر كفاءة الطاقة تبلغ قيمته 586% وهي قيمة تشير إلى أن كفاءة الطاقة ضعيفة جداً في المصافي.

## التطورات المستقبلية

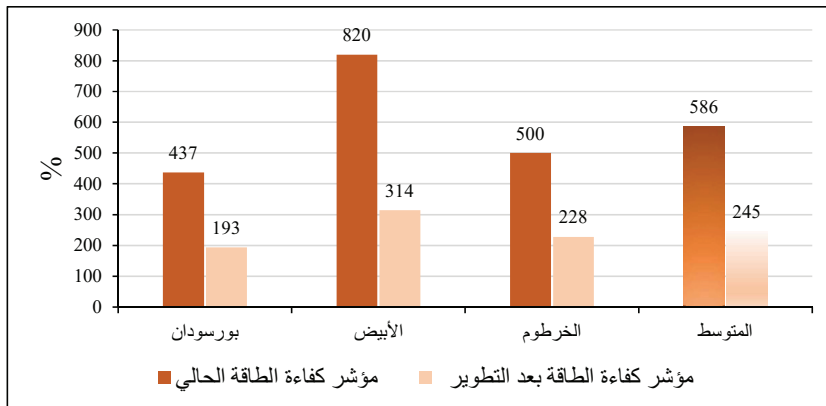
تصنف مصافي النفط في جمهورية السودان بأنها من النوع البسيط ومرتفع استهلاك الطاقة مقارنة بالقيمة المعيارية، ويتوقع أن تتحسن كفاءة الطاقة في حال تطوير

المصافي القائمة وإدخال التحسينات على معدات استهلاك الطاقة لينخفض متوسط مؤشر كفاءة الطاقة الإجمالي لمصافي جمهورية السودان من 586% إلى 245%. كما يتوقع أن ينخفض استهلاك الطاقة من 292 إلى 126 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل مكرر، أو ما يعادل 7.57 تريليون وحدة حرارية بريطانية/السنة، بنسبة توفير قدرها 55.35% من إجمالي الاستهلاك الحالي للطاقة في مصافي جمهورية السودان. **الشكل 4-27** مقارنة استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي جمهورية السودان. كما يبين **الشكل 4-28** مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصافي جمهورية السودان.

**الشكل 4-27: استهلاك الطاقة قبل وبعد التطوير في مصافي جمهورية السودان**



**الشكل 4-28: مؤشر كفاءة الطاقة الحالي في مصافي جمهورية السودان**





## 14-4-4: سلطنة عُمان

تمتلك سلطنة عمان مصفّاتان، الأولى في منطقة "مينا الفحل" والثانية في "صحار" بإجمالي طاقة تكريرية قدرها 303 ألف ب/ي. يبين الجدول 17-4 طاقة عمليات المصافي العاملة في سلطنة عمان في عام 2018.

الجدول 17-4: طاقة عمليات المصافي العاملة في سلطنة عمان  
في عام 2018 (ألف ب/ي)

اسم المصفاة	تقطير جوي	تقطير فراغي	تهذيب بالعامل الحفاز	معالجة هيدروجينية	تكسير هيدروجيني	تكسير بالعامل الحفاز المانع	تفجيم	أزمة	مؤشر تعقّب نيلسون
مينا الفحل	106		16	22				10	2.56
صحار	197	96.8	18	28	66.4	75	42	17	7.69
الإجمالي	303	96.8	34	50	66.4	75	42	15	5.9

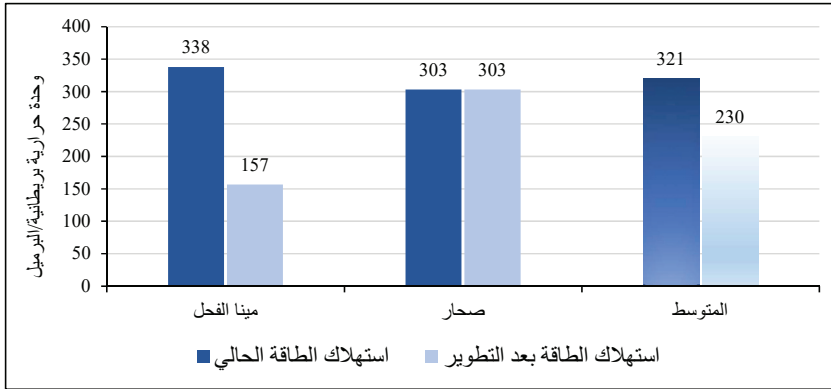
شهدت مصفاة "صحار" عدة مشاريع تطوير كان آخرها عام 2017 حيث تم رفع الطاقة التكريرية من 116 ألف ب/ي إلى 197 ألف ب/ي، إضافة إلى تحسين التكامل الحراري ورفع كفاءة الطاقة.

يبلغ استهلاك الطاقة في مصافي النفط في سلطنة عمان حوالي 31.54 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بمعدل 321 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط الخام المكرر، كما يبلغ متوسط مؤشر كفاءة الطاقة 286% وهي قيمة قريبة من المصافي المتوسطة الكفاءة بسبب التعديلات الأخيرة التي أدخلت على مصفاة "صحار".

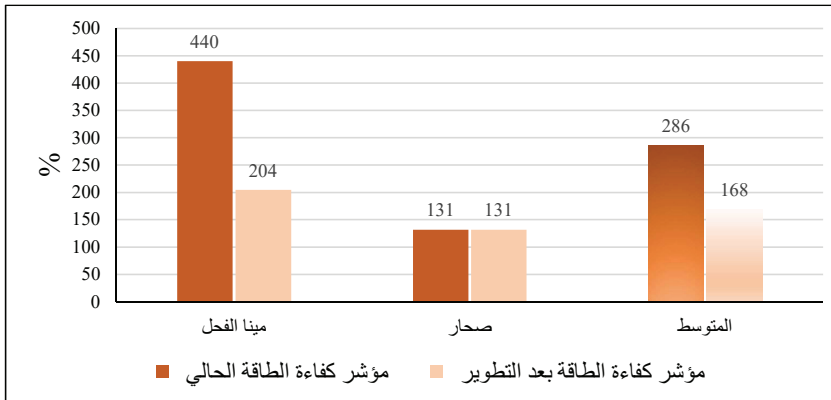
## التطورات المستقبلية

ساهم مشروع تطوير مصفاة "صحار" في تحسين كفاءة الطاقة، ويتوقع أن يتحسن متوسط مؤشر كفاءة الطاقة لمصفاة سلطنة عمان من 286% إلى 168%. كما يتوقع أن ينخفض استهلاك الطاقة من 321 إلى 230 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل مكرر، أو ما يعادل 6.34 ترليون وحدة حرارية بريطانية/السنة، بنسبة 20.08% من إجمالي الاستهلاك الحالي للطاقة في مصفاة سلطنة عمان. **الشكل 4-29** يبين استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاة سلطنة عمان. كما يبين **الشكل 4-30** مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاة سلطنة عمان.

**الشكل 4-29: استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاة سلطنة عمان**



**الشكل 4-30: مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاة سلطنة عمان**



## 15-4-4: المملكة المغربية

تمتلك المملكة المغربية مصفاتي، الأولى في منطقة "سيدي قاسم" طاقتها 27 ألف ب/ي، والثانية في منطقة "المحمدية" طاقتها 128 ألف ب/ي. يبين الجدول 18-4 طاقة عمليات المصافي العاملة في المملكة المغربية في عام 2018

الجدول 18-4: طاقة عمليات المصافي العاملة في المملكة المغربية عام 2018 (ألف ب/ي)

اسم المصفاة	تقطير جوي	تقطير فراغي	تهذيب بالعامل الحفاز	معالجة هيدروجينية	تكسير هيدروجيني	تكسير بالعامل الحفاز	مؤشر تعقيد نيلسون
سيدي قاسم	26	7.4	2.8	5.6		5	3.62
المحمدية	128.7	37.4	21.8	55	36		6.75
الإجمالي	155	155	24.6	60.6	36	5	6.22

المصدر: أوابك- قاعدة بيانات صناعة التكرير

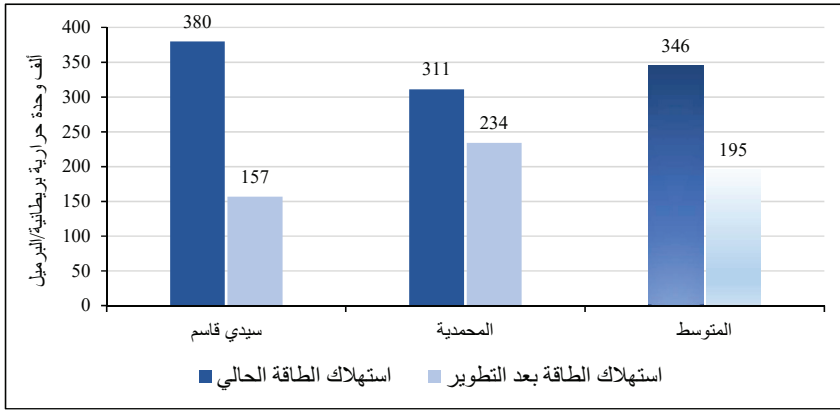
شهدت مصفاتا النفط في المملكة المغربية تنفيذ مشروع لتطوير الأداء وتطبيق إجراءات تحسين الربحية، وترشيد استهلاك الطاقة وترشيد استهلاكها، إلا أنها لا تزال بحاجة إلى المزيد من تطبيق التقنيات المتطورة لتحسين كفاءة الطاقة، حيث يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة في المصفاتي 16.48 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بمعدل 346 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط الخام المكرر، ويبلغ متوسط مؤشر كفاءة الطاقة لمصافي المملكة المغربية 252% وهي قريبة من قيمة المصافي المتوسطة الكفاءة.

## التوقعات المستقبلية

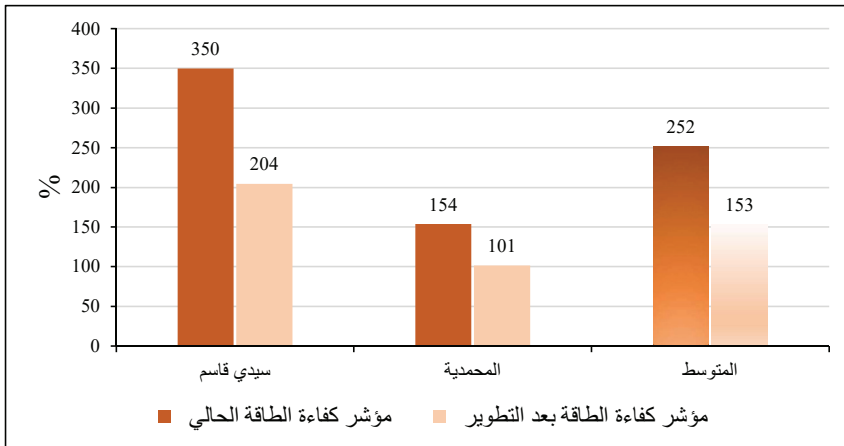
ساهمت إجراءات تطوير مصفاة "المحمدية" في تحسين كفاءة الطاقة بشكل جيد إلى أن اقتربت من القيمة المعيارية، ويتوقع أن يتحسن متوسط مؤشر كفاءة الطاقة لمصفاتي المملكة المغربية من 252% إلى 153%. كما يتوقع أن ينخفض معدل

استهلاك الطاقة من 346 إلى 195 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل مكرر، أو ما يعادل 5.20 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بنسبة 31.53% من إجمالي الاستهلاك الحالي للطاقة في مصفاةي المملكة المغربية. يبين الشكل 4-31 استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاةي المملكة المغربية. كما يبين الشكل 4-32 مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاةي المملكة المغربية.

**الشكل 4-31: استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاةي المملكة المغربية**



**الشكل 4-32: مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاةي المملكة المغربية**



#### 4-4-16: جمهورية موريتانيا

تمتلك جمهورية موريتانيا مصفاة واحدة لتكرير النفط هي مصفاة "نواذيبو"، طاقتها التصميمية 25 ألف ب/ي، وهي من من النوع البسيط. يبين الجدول 4-19 طاقة عمليات التكرير في مصفاة النفط العاملة في جمهورية موريتانيا عام 2018.

الجدول 4-19: طاقة عمليات مصفاة النفط العاملة في جمهورية موريتانيا عام 2018 (ألف ب/ي)

اسم المصفاة	تقطير جوي	تقطير فراغي	تهذيب بالعامل الحفاز	معالجة هيدروجينية	مؤشر تعقيد نيلسون
نواذيبو	25	2	6	6	2.8

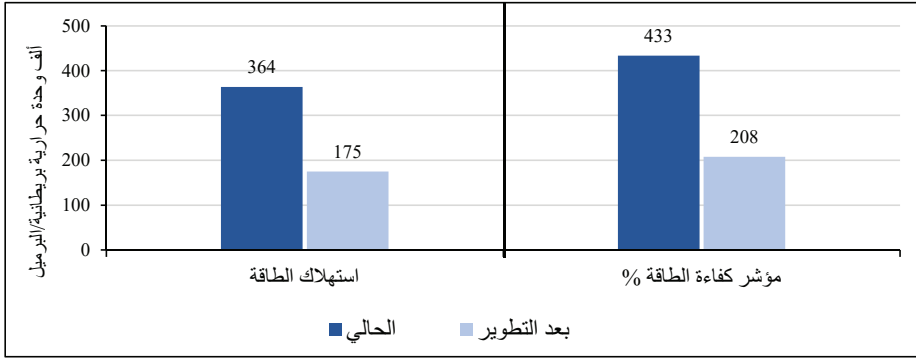
المصدر: أوابك- قاعدة بيانات صناعة التكرير

يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة الحالي في مصفاة "نواذيبو" حوالي 3 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بمعدل 364 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط الخام المكرر، كما تبلغ قيمة مؤشر كفاءة الطاقة 433%، وهي قيمة تشير إلى أن كفاءة الطاقة في المصفاة ضعيفة جداً.

#### التطورات المستقبلية

تحتاج مصفاة "نواذيبو" إلى تطوير شامل لتحسين الأداء التشغيلي وتطبيق إجراءات تحسين كفاءة الطاقة، ويتوقع في حال تطبيق مشروع التطوير أن ينخفض مؤشر كفاءة الطاقة من 433% إلى 208%. كما يتوقع أن ينخفض معدل استهلاك الطاقة من 364 إلى 175 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل مكرر، أو ما يعادل 1.56 تريليون وحدة حرارية بريطانية/السنة، بنسبة توفير قدرها 48.9% من إجمالي الاستهلاك الحالي للطاقة في المصفاة. يبين الشكل 4-33 استهلاك الطاقة ومؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاة "نواذيبو" - جمهورية موريتانيا.

**الشكل 4-33: استهلاك الطاقة ومؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاة "نواذيبو"**



**4-4-16: الجمهورية اليمنية**

تمتلك الجمهورية اليمنية مصفاتان، الأولى في عدن طاقتها 130 ألف ب/ي، والثانية في مأرب طاقتها 10 ألف ب/ي. يبين الجدول 4-20 طاقة عمليات المصفاةين العاملتين في الجمهورية اليمنية في عام 2018.

**الجدول 4-20: طاقة عمليات المصفاةين العاملتين في الجمهورية اليمنية عام 2018 (ألف ب/ي)**

اسم المصفاة	تقطير جوي	تقطير فراغي	تهذيب بالعامل الحفاز	معالجة هيدروجينية	مؤشر تعقيد نيلسون
عدن	130	10.5	12		1.60
مأرب	10		2.5		2.25
الإجمالي	140	10.5	14.5		1.65

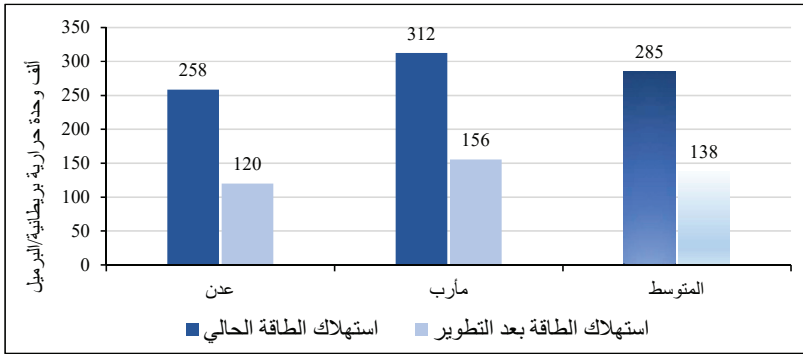
المصدر: أوابك- قاعدة بيانات صناعة التكرير

يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة في مصفاةي النفط في الجمهورية اليمنية حوالي 12.11 تريليون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بمعدل 285 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل من النفط الخام المكرر. كما يبلغ متوسط مؤشر كفاءة الطاقة 439% وهي قيمة مرتفعة تشير إلى أن كفاءة الطاقة في المصفاةين ضعيفة جداً.

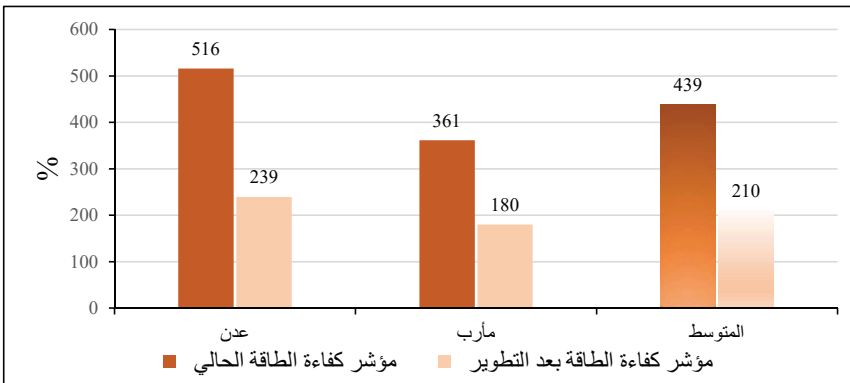
## التطورات المستقبلية

يمكن أن يتحسن متوسط مؤشر كفاءة الطاقة من 439% إلى 210%. كما يتوقع أن ينخفض معدل استهلاك الطاقة من 285 إلى 138 ألف وحدة حرارية بريطانية لكل برميل مكرر، أو ما يعادل 6.45 تربيون وحدة حرارية بريطانية في السنة، بنسبة 53.29% من إجمالي الاستهلاك الحالي للطاقة في مصفاةي الجمهورية اليمنية. يبين الشكل 4-34 استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاةي الجمهورية اليمنية. كما يبين الشكل 4-35 مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاةي الجمهورية اليمنية.

**الشكل 4-34: استهلاك الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاةي الجمهورية اليمنية**



**الشكل 4-35: مؤشر كفاءة الطاقة الحالي وبعد التطوير في مصفاةي الجمهورية اليمنية**



## الاستنتاجات والتوصيات

تأتي أهمية تطبيق برامج ترشيد استهلاك الطاقة في صناعة تكرير النفط من كونها إحدى الصناعات الشديدة الاستهلاك للطاقة، حيث تأتي في المرتبة الثالثة بعد صناعة الحديد والصلب وصناعة البتروكيماويات، وقد بينت الدراسة أهم الإجراءات التي يمكن تطبيقها على عمليات تكرير النفط بغية تحسين كفاءة استخدامها للطاقة، ويمكن تلخيص ما توصلت إليه الدراسة من استنتاجات وتوصيات على النحو التالي:

- التأكيد على ضرورة إنشاء قاعدة بيانات مشتركة بين مصافي النفط في الدول الأعضاء في أوابك، والدول العربية الأخرى وذلك بهدف رصد التغيرات التي تطرأ على معدلات استهلاك الطاقة وإدخال التعديلات المناسبة في الوقت المناسب، علاوة على تعزيز فرص التكامل والتعاون المشترك بين مصافي النفط وتبادل الخبرات في مجال ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها.
- إن تطبيق برامج ترشيد استهلاك الطاقة في مصافي تكرير النفط يساهم في الحفاظ على الموارد الطبيعية لأطول فترة ممكنة، وإلى الحد من انبعاث الملوثات إلى البيئة المحيطة.
- تبذل صناعة التكرير في العالم وفي الدول العربية جهوداً كبيرة لتطبيق إجراءات ترشيد استهلاك الطاقة من خلال خطط تنفيذ مشاريع تطوير وإعادة تأهيل المصافي القائمة، ولا يزال هناك المزيد من الفرص والإجراءات الممكن تطبيقها.
- أثبتت التجربة العملية أن تطبيق إجراءات ترشيد استهلاك الطاقة يساهم في تحسين ربحية المصفاة، إضافة إلى تحسين قدرتها على الالتزام بالمتطلبات الخاصة بحماية البيئة من التلوث.



- يمكن ترشيد استهلاك الطاقة في صناعة تكرير النفط في عدة مجالات، كتحسين عمليات التكامل الحراري بين الوحدات، وتحسين العزل الحراري، وضبط حرق الوقود في الأفران والغلايات، وتحسين استرجاع الحرارة الفائضة في غازات المدخنة للاستفادة منها في تسخين هواء الاحتراق .. وغيرها.
- يؤدي استخدام التقنيات الحديثة لأجهزة التحكم والمراقبة المستمرة لكافة مواقع مصفاة النفط إلى خفض حجم استهلاكها من الطاقة، وبالتالي خفض حجم الملوثات الناتجة عنها كما يؤدي إلى تحسين ربحيتها وخفض كلفة التشغيل.
- يمكن عن طريق إضافة بعض المبادلات الحرارية، وإعادة توزيع مسارها في بعض وحدات مصافي النفط، خفض حجم الوقود المستهلك، وبكفاءة استثمارية مقبولة، مع استرجاع رأس المال في فترة قصيرة تتراوح بين العام والعامين.
- يجب أن تكون إجراءات تحسين كفاءة الطاقة في صناعة التكرير مستمرة، وعلى المدى البعيد، وذلك بهدف رصد التغيرات التي تطرأ على معدلات الاستهلاك مع الزمن وإدخال التعديلات المناسبة في الوقت المناسب.
- تشجيع البحث العلمي بهدف تطوير التقنيات التي تساهم في مجال ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين استخدامها.
- تعزيز التكامل بين مصافي تكرير النفط ووحدات الصناعة البتروكيمياوية.

## المراجع

### المراجع باللغة العربية

- أوابك 2018 " تقنية تحويل الفحم إلى سوائل وانعكاساتها على صناعة تكرير النفط" منظمة الأقطار العربية المصدرة للبتترول، أوابك.
- أوابك، 2018 "تقرير الأمين العام السنوي الخامس والأربعون" منظمة الأقطار العربية المصدرة للبتترول، أوابك.
- أوابك، 2017 "تطور صناعة تكرير النفط في الدول العربية -الحاضر والمستقبل" منظمة الأقطار العربية المصدرة للبتترول، أوابك.
- أوابك 2011 "دور إدارة الهيدروجين في تحسين القيمة المضافة في صناعة التكرير" منظمة الأقطار العربية المصدرة للبتترول "أوابك" مجلة النفط والتعاون العربي، المجلد السابع والثلاثون، العدد 139، خريف 2011.

### المراجع باللغة الإنجليزية

- ARB, 2008 "Board Instructional Guidance for Mandatory GHG Emissions Reporting California Air Resources" USA. Available at: <http://www.arb.ca.gov/cc/reporting/ghg-rep/ghg-rep.htm>.
- Barnes, P., et al., 2005 "Saving Fuel Costs with WPHEs" PTQ Magazine, Q2, 2005.
- Beaubien, R., 2009 "Efficiency improvement cut GHG emissions, help profits" Oil & Gas Journal Vol-107. Issue 36.
- Bergh, C., 2012 "Energy Efficiency in the South African Crude Oil Refining Industry: Drivers, Barriers and Opportunities" University of Cape Town.
- Brandão, A., 2011 "Energy Concept for Future Oil Refineries with an Emphasis on Separation Processes" Department of Chemical Engineering Federal University of Campina Grande, Campina Grande, Paraiba.
- Bressan, L., 2011 "Hydrogen: The Lifeblood of a Refinery – Options for Refiners" Paper presented at Middle East Technology Conference, Dubai - January 2011.

- Cagno, E., 2012 **“Drivers for Industrial Energy Efficiency: An Innovative Framework”** Milano.
- CEC, 2004 **“Energy Efficiency Roadmap for Petroleum Refineries in California”** Prepared for the California Energy Commission By Energetics, Incorporated Columbia, Maryland.
- CIEP, 2018 **“Refinery 2050, Refining the Clean Molecule”** Clingendael International Energy Program. Available at: [www.clingendaelenergy.com](http://www.clingendaelenergy.com)
- CONCAWE, 2012 **“Refinery Energy Systems and Efficiency”** CONCAWE Review, Volume 21 • Number 1 • Summer 2012.
- Coppin, D., et al., 2011 **“Industry Responses to Climate Change: The Point of View of an Oil and Gas Company”** Paper presented to 20<sup>th</sup> World Petroleum Congress, Qatar, Doha, 2011.
- Eidt, B., 2011 **“A Global Energy Management System”** ExxonMobil Refining & Supply, published by 20<sup>th</sup> World Petroleum Congress, 4-8 December, Doha, Qatar.
- Emam, A., 2015 **“Gas Flaring in Industry: An Overview”** Department of Chemical Eng. and Pet. refinery, Suez University, Egypt. Available at: [www.vurup.sk/petroleum-coal](http://www.vurup.sk/petroleum-coal)
- EMAS, 2012 **“Energy Management Systems in Practices ISO 50001: A Guide for Companies and Organizations”** Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) Berlin, Germany. [www.bmu.de](http://www.bmu.de)
- EPA, 2010 **“Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from The Petroleum Refining Industry”** United States Environmental Protection Agency. Available at: [www.energystar.gov/guidelines](http://www.energystar.gov/guidelines)
- Fawkes, S., Oung, K., & Thorpe, D., 2016 **“Best Practices and Case Studies for Industrial Energy Efficiency Improvement – An Introduction for Policy Makers”** Copenhagen: UNEP, DTU Partnership.
- Gupta, K., et al., 2009 **“Assessment of Energy Conservation Potential in Petroleum Refineries Through Benchmarking Techniques”** Engineers India Limited, New Delhi.
- Hooke, J., et al., 2005 **“Energy Management Information Systems Achieving Improved Energy Efficiency”** A handbook for managers, engineers and operational staff. Published by the Office of Energy Efficiency of Natural Resources, Canada.

- Hoong, C., et al., 2016 **“Industry Energy Efficiency Technology Roadmap”** National Climate Change Secretariat (NCCS) and National Research Foundation (NRF)
- IPIECA, 2013 **“Saving energy in the oil and gas industry”** The global oil and gas industry association for environmental and social issues
- James, R., 2017 **“Steam Traps Management”** American Institute of Chemical Engineers-AIChE” Available at: [www.Aiche.org/cep](http://www.Aiche.org/cep)
- Jechura, J., 2015 **“Hydrogen from Natural Gas Via Steam Methane Reforming (SMR)”** Colorado school of Mines.
- Johra, N. 2010 **“Strategies for Producing Clean Fuel in Syrian Refining Sector”** paper presented at OAPEC/NOGA Joint Conference held in Bahrain, 25-27 October 2010.
- Kafrudi, E., et al., 2017 **“Environmental Effects and Economic Study on Flare Gas Recovery for Using as Fuel Gas or Feedstock”** Petroleum and Coal Magazine. February, 2017
- Kreijkjes, M., Linde, C., & Nivard, M., 2018 **“Refinery 2050, Refining the Clean Molecule”** Clingendael International Energy Programme (CIEP).
- Marimo, F., & Casadesus, M., 2017 **“Reasons to Adopt ISO:50001 Energy Management System”** Department of Economics and Business Management, International University of Catalonia, Barcelona, Spain.
- Marton, S., et, al., 2017 **“A Steam Utility Network Model for the Evaluation of Heat Integration Retrofits – A Case Study of an Oil Refinery”** Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. Available at: <http://www.sdewes.org/jsdewes>
- Morrison, F., 2014 **“Saving Energy with Cooling Towers”** ASHRAE JOURNAL. Available at: [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)
- Morrow, W., et al., 2013 **“Assessment of Energy Efficiency Improvement in the United States Petroleum Refining Industry”** Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. CA, USA.
- Munch, B. Elholm, P., & Stenseng, M., 2007 **“From Science to Proven Technology Development of new Topsøe Prereforming Catalyst AR-401”** Paper Presented at the Nitrogen + Syngas Conference, 25-28 February 2007 in Bahrain.
- Narsimha Rao, G., 2015 **“Energy Conservation Opportunities in Refineries: A case of BPCL, Kochi”** Workshop on Energy Efficiency Enhancement in Refineries under PAT Scheme.

- Nelson, R., 2013 **“EU Refining Competitiveness and Impact of Planned Legislation”** Conservation of Clean Air and Water in Europe CONCAWE, Paper presented at Refining Forum, 27 November 2013, Brussels.
- Nippon, 2013 **“Reduction in Steam Losses from 100,000 Steam Traps”** Nippon Petroleum Refining Company. The Energy Conservation Center, Japan.
- Pellegrino, J., 2007 **“Energy and Environmental Profile of the U.S. Petroleum Refining Industry”** U.S. Department of Energy. Industrial Technologies Program. Available at: [http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/industries\\_technologies/petroleum\\_refining/pdfs/profile.pdf](http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/industries_technologies/petroleum_refining/pdfs/profile.pdf)
- Ramasamy, M., & Deshannavar, U., 2016 **“Effect of Bulk Temperature and Heating Regime on Crude Oil Fouling”** Chemical Engineering Department, University Technology Petronas, Malaysia.
- Rikhtegar, F., 2011 **“Advanced Heat Integration and Pinch Technology Reduces Energy Consumption”** Hydrocarbon Processing, May 2011.
- Rossiter, P., & Jones, P., 2015 **“Energy Management and Efficiency for the Process Industries”** A Joint Publication of the American Institute of Chemical Engineers and John Wiley & Sons, Inc.”
- Santner; C., 2013 **“FCC Revamp Solutions”** Catalytic Cracking Technology Technip Stone & Webster Process Technology Coking and CatCracking Conference, New Delhi, October 2013
- Solomon, 2016 **“Solomon Associates World’s Best Refineries”** Available at: [www.SolomonOnline.com](http://www.SolomonOnline.com)
- Solomon, 2010 **“EII Analysis Methodology, Gap Analysis VS World’s Best EII”** Available at: [www.solomononline.com](http://www.solomononline.com)
- Talati, M., 2016 **“Integrated Energy Management -Synergies that Work”** Paper presented at Middle East Petrotech Conference, 26<sup>th</sup> – 29<sup>th</sup> Sept 2016, Bahrain.
- Taweel, A. 2010 **“Upgrading Alzawiya Refinery to Produce Clean Fuel”** paper presented at OAPEC/NOGA Joint Conference held in Bahrain, 25-27 October 2010.
- Watson., M., 2015 **“Robotic Convection Bank Cleaning”** Paper prepared for Presentation at the 2015 Spring National Meeting, Austin, TX., April 26 – 30, 2015
- WEC, 2013 **“World Energy Perspective, Energy Efficiency Technologies- Overview Report”** World Energy Council. Available at: [www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org)
- Weiss, D., and Penderock, C., 2013 **“EMAS and Energy Management”** Available at: [www.emas.eu](http://www.emas.eu)

- White, C., 2005 “**Advanced Automation Technology Reduced Refinery Energy Costs**” Emerson Process Management, Houston, Oil & Gas Journal, October, 3, 2005.
- Williams, R. 2008 “**Leadership and Management Practices in Industrial Energy Efficiency**” Energy Efficiency Industrial Development Organization, Vienna, Austria. Available at: [http://www.e2singapore.gov.sg/docs/Leadership\\_and\\_Management\\_Practices\\_in\\_Industrial\\_Energy\\_Efficiency.pdf](http://www.e2singapore.gov.sg/docs/Leadership_and_Management_Practices_in_Industrial_Energy_Efficiency.pdf)
- Wolschlag, et al. 2009 “**UOP Design Advancements to Reduce Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Emissions**” UOP LLC, a Honeywell Company, Des Plaines, Illinois, USA.
- Worrell, E., Corsten, M., & Galitsky, C. 2015 “**Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Petroleum Refineries**” Berkley LAN, environmental energy technologies division. Available at: <http://escholarship.org/uc/item/96m8d8gm>
- Venkatesan, V. Iordanova, N. 2003 “**A Case Study of Steam Evaluation in a Petroleum Refinery**” *Proc. 25<sup>th</sup> Industrial Energy Technology Conference*, Houston, Texas, May 13-16, 2003.



presented in this study are offered as guidelines.

The study concludes that the introduction of modern technologies to improve energy efficiency in the Arab petroleum refineries could contribute to reducing energy consumption from 986 trillion BTU per year to 636 BTU per year. The savings amount to about 350 trillion BTU per year, equivalent to 61.19 million barrels of oil equivalent per year at a total value of US \$ 3.059 billion per year based on the price of US \$ 50 per barrel.

The study also offers some recommendations for improving energy efficiency in Arab petroleum refineries, such as, establishing an improved energy information database for communication between refineries and energy specialists, is an important goal to improving energy efficiency in refineries.



## Improving Energy Efficiency in the Petroleum Refineries in Arab Countries

---

Imad Makki \*

---

Interest in improving energy efficiency in the industrial sector is increasing around the world, especially in petroleum refining, which is known as one of the most energy intensive industry, because large quantities of petroleum refined products, natural gas, refinery gases and electric power are used as energy input in various equipment and processes.

The objective of this study is to examine the energy efficiency potential in petroleum refining industry. This is done through trying to understand what drives energy efficiency and to recognize barriers which challenge improvement. To meet this objective, the study answers the following questions:

- Where is energy used in the petroleum refinery?
- What are the main opportunities for improving energy efficiency in the petroleum refineries?
- What is the current status of energy efficiency in Arab petroleum refineries?
- What are the barriers and drivers to energy efficiency improvement?
- What is the potential for energy efficiency improvement in Arab refineries and where do Arab refineries stand in comparison to refineries worldwide?

The study highlights the importance and the opportunities of energy conservation in the refining industry which include heat integrations, process optimizations, furnace upgrading and maximization of the efficiency of power generation and cogeneration, optimization of fuel systems, reduction of flaring, minimizing steam and fuel leaks, improvement in insulation material and thickness. Energy efficiency can also be improved through the application of new technology that yields a lower input/output ratio, using the same fuel, improving maintenance programs, and using advanced process control.

An energy management standard creates a foundation for improvement and provides guidance for managing energy throughout an organization. A successful program in energy management begins with a strong organizational commitment to continuous improvement of energy efficiency. This typically involves establishing an energy policy, and creating a cross-functional energy

\* Senior Refining Expert, Technical Affairs Dept. OAPEC – Kuwait.

## Abstract

# Development of Primary Energy Consumption in Kuwait and its Future Outlook

Eltaher ElZetoni

The study aims to analyze the trends and patterns of consumption of primary energy sources in the State of Kuwait and explain its main features during the period (1995 - 2018), and reviews the main factors affecting consumption such as economic and population growth and local energy prices. The study also aims to estimate the expected total consumption of primary energy until 2040.

The study is divided into two main parts. The first part reviews the patterns and trends of consumption of primary energy sources in Kuwait during the period (1995 - 2018). This part also provides a brief overview of the most important features of the development of domestic consumption of primary energy and growth rates in the State of Kuwait, and the development of the primary energy mix and the intensity of energy consumption. This part also reviews the main economic and social factors affecting energy consumption in Kuwait due to their importance on the accuracy of future expectations. The second part deals with expectations of energy consumption in Kuwait until the year 2040, where the function of consumption of primary energy sources is estimated on a systematic basis compatible with the energy conditions in Kuwait and the quality of available data, and the use of the model that was estimated to extrapolate future expectations of total consumption of primary energy until 2040.

The second part also deals with the methodology for preparing future projections for the consumption of primary energy that includes data used in the study and methods of processing it, and prediction methods used in the study and statistical relationships and mathematical models approved for forecasting, then it reviews the assumptions for future predictions where the study envisages anticipation Future prospects for the consumption of primary energy sources in Kuwait through five main scenarios. The first scenario is the reference scenario, the second is the high growth scenario, the third is the low growth scenario, the fourth one is the scenario of gradually raising the domestic energy prices, and the fifth and last scenario is the scenario which consider the national goals of utilizing renewables. Also, in the second part, the final results of the future projections of total primary energy consumption will be reviewed, according to the above-mentioned scenarios.

## Contents

### Articles

---

- Development of Primary Energy Consumption in Kuwait and its Future Outlook** 7  
Eltaher ElZetoni - **Abstract** 7
- Improving Energy Efficiency in the Petroleum Refineries in Arab Countries** 113  
Imad Makki - **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.

- 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-Chief, 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](mailto:oapec@oapecorg.org) - [www.oapecorg.org](http://www.oapecorg.org)**

## 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”.



## OIL AND ARAB COOPERATION

*Editor - in - Chief*

**Ali Sabt BenSabt**

*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**

**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**



# OIL AND ARAB COOPERATION







ORGANIZATION OF ARAB PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES  
OAPEC

# OIL & ARAB COOPERATION



Volume 46 - 2020 - Issue 173

## Articles

- **Development of Primary Energy Consumption in Kuwait and its Future Outlook**

**Eltaher ElZetoni**

- **Improving Energy Efficiency in the Petroleum Refineries in Arab Countries**

**Imad Makki**