



منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول
أوابك

النفط والتعاون العربي



المجلد الرابع والأربعون - العدد 164

الأبحاث

■ انبعاثات صناعة تكرير النفط
ومصادرها وطرق معالجتها

عماد مكي

■ الآفاق المستقبلية للطلب على النفط في الدول الآسيوية
وانعكاساته على الصادرات النفطية من الدول الأعضاء

مظفر البرازي



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



عباس علي النقي

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

الأبحاث

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

مراجعة الأبحاث والكتب

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

التقارير

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

شروط البحث

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

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

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

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

الهاتف: 00965- 24959000 أو 00965-24959779

الفاكس: 00965 - 24959755

البريد الالكتروني oapec@oapecorg.org

موقع الأوابك على الانترنت www.oapecorg.org

المحتويات

الأبحاث

انبعاثات صناعة تكرير النفط ومصادرها وطرق معالجتها

7

عماد مكي

الآفاق المستقبلية للطلب على النفط في الدول الآسيوية وانعكاساته على الصادرات النفطية من الدول الأعضاء

191

مظفر البرازي

البحث الأول

انبعاثات صناعة تكرير النفط ومصادرها وطرق معالجتها

عماد مكي *

ملخص تنفيذي

تستهلك مصافي النفط كمية كبيرة من الوقود في عمليات التكرير، ولإنتاج بخار الماء وتوليد الطاقة الكهربائية. وينتج عن حرق الوقود انبعاثات غازية ضارة بصحة الإنسان والبيئة.

تصنيف انبعاثات مصافي النفط

تصنف انبعاثات مصافي النفط تبعاً لمصدرها في مجموعتين رئيسيتين، الأولى مجموعة الانبعاثات الهيدروكربونية، وهي المركبات العضوية التي تنتج عن تسرب المواد الهيدروكربونية من الأوعية وخطوط الأنابيب، والخزانات. أما المجموعة الثانية فتتكون من نواتج حرق الوقود في أفران عمليات التكرير ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية، مثل أكاسيد الكبريت SO_x ، وأكاسيد النيتروجين NO_x وغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 . يبين الجدول 1 أهم الانبعاثات الناتجة عن مصافي النفط، ومصادرهما.

• أكاسيد الكربون CO_x

يعتبر غاز ثاني أكسيد الكربون من المركبات الضرورية للحياة البيولوجية، وعند المستويات الطبيعية ليس له آثار سلبية، إلا أنه قد يؤدي إلى حدوث أضرار على صحة الإنسان أو البيئة عندما تتجاوز نسبته في الهواء الجوي الحدود الطبيعية.

ينبعث غاز ثاني أكسيد الكربون في مصافي النفط بشكل رئيسي من أفران عمليات التكرير، والمراجل البخارية، ومحطات توليد الطاقة الكهربائية، وعمليات حرق الكربون أثناء تنشيط العامل الحفاز في وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، وحرق الغازات الفائضة في منظومة الشعلة. كما تطلق مصافي النفط أول أكسيد الكربون CO من حرق الوقود في أفران عمليات التكرير، وحرق الغازات الفائضة في الشعلة. وتعتمد كمية غاز أول أكسيد الكربون المتشكل على نوع الوقود

المستخدم في الأفران، وجودة الحراقات المستخدمة، ومدى قدرتها على ضبط نسبة الأوكسجين الداخل إلى الحراق بالقيمة التي تضمن ضبط تفاعل حرق الكربون لتحويل أول أكسيد الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون.

الجدول 1: أهم الانبعاثات الناتجة عن صناعة تكرير النفط ومصادرها

الانبعاثات	المصدر
CO _x	• أفران عمليات التكرير • مراحل البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • منظومة الشعلة
SO _x	• أفران عمليات التكرير • مراحل البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • منظومة الشعلة • وحدة استرجاع الكبريت
NO _x	• أفران عمليات التكرير • مراحل البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • منظومة الشعلة
المركبات العضوية الطيارة VOC	• تخزين ونقل وتحميل النفط الخام والمشتقات النفطية • وحدات معالجة المياه الملوثة • تنفيس الأوعية لتخفيض ضغطها • تسرب الهيدروكربونات من المعدات
الجزيئات الصلبة PM، والمعادن	• أفران عمليات التكرير • مراحل البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • حرق الغازات في منظومة الشعلة

• أكاسيد الكبريت SO_x

تنطلق أكاسيد الكبريت نتيجة احتراق المركبات الكبريتية الموجودة في الوقود المستخدم في الأفران، ومراحل إنتاج بخار الماء، ومحطات توليد الطاقة الكهربائية، ومن حرق الغازات الفائضة في الشعلة، ومصادر أخرى متنوعة. لانبعاثات أكاسيد الكبريت آثار ضارة على صحة الإنسان والبيئة، وذلك عندما تتفاعل مع رطوبة الجو لتشكل ذرات حمض الكبريت، أو ما يسمى بالمطر الحمضي، الذي يسبب تلف المزروعات، وتآكل الهياكل والمنشآت المعدنية. (Ramboll, 2014)

• أكاسيد النيتروجين NO_x

تختلف كمية أكاسيد النيتروجين المنبعثة من المصفاة باختلاف نوع الوقود المستخدم ومحتواه من المركبات النيتروجينية والهيدروجين، فكلما زادت نسبة الهيدروجين في الوقود ارتفعت درجة حرارة اللهب، وبالتالي تزداد كمية NO_x المنبعثة.

• الجسيمات الدقيقة

تتشكل الجسيمات الدقيقة (Particulate Matter (PM في المصفاة إما نتيجة حرق الوقود في أفران العمليات ومراحل إنتاج البخار ومحطات توليد الطاقة الكهربائية، أو من عمليات خاصة تجري في الوحدات الإنتاجية، مثل عمليات حرق الكربون المترسب على سطح العامل الحفاز.

• المركبات العضوية الطيارة

تتكون المركبات العضوية الطيارة VOC من مجموعة من مواد هيدروكربونية غازية تحتوي على ذرات الكربون، أهمها، الهيدروجين، والميثان، وبعض المركبات العضوية الخفيفة، مثل الإيثيلين، والبروبان، والبروبيلين، والبيوتين

والبيوتيلين، والبنتان، والألكيلات، والبنزين العطري، والتولوين، والزايلين، والفينول، والعطريات التي تحتوي على تسع ذرات كربون، إضافة إلى الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات PAH، والغازات غير العضوية، مثل حمض فلور الماء، والأمونيا، وكبريتيد الهيدروجين H_2S .

تنبعث المركبات العضوية الطيارة على شكل غيوم هيدروكربونية متناثرة في الجو Fugitive Emissions، إما نتيجة تسرب المواد الهيدروكربونية من توصيلات الأنابيب والصمامات، ومحاور المضخات والضواغط، أو من أحواض فصل الزيت ومعدات وحدات معالجة المياه الملوثة، ومن خزانات النفط الخام والمنتجات النفطية، وعمليات تفريغ وتعبئة حاويات النفط الخام والمشتقات النفطية.

مصادر الانبعاثات الهوائية في مصافي النفط

تتكون مصافي النفط من مجموعة من العمليات المعقدة التي تهدف إلى تحويل النفط الخام إلى مشتقات قابلة للاستهلاك. وتصنف مصادر الانبعاثات الهوائية في مصافي النفط ضمن مجموعات رئيسية على النحو التالي:

• حرق الوقود

تشكل الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود في أفران عمليات التكرير، ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء، الجزء الأكبر من كمية انبعاثات المصفاة، وهي أكاسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين، وأكاسيد الكبريت، والجسيمات الدقيقة، إضافة إلى الهيدروكربونات غير المحترقة.

• عمليات التكرير

تشتمل عمليات التكرير على وحدات تطلق بعض الانبعاثات الملوثة للبيئة، مثل عمليات تنشيط العامل الحفاز Catalyst. وقد تتم هذه العمليات بشكل مستمر كعمليات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، حيث يتم تنشيط العامل الحفاز

بحرق الكربون المترسب على سطحه بشكل مستمر، وفي وحدة تهذيب النافثا بالعامل الحفاز بطريقة التنشيط المستمر¹ CCR. وقد تتم عملية تنشيط العامل الحفاز بشكل متقطع على فترات زمنية تتراوح من بضعة أشهر وحتى عدة سنوات، مثل عمليات التكسير الهيدروجيني، أو المعالجة الهيدروجينية، أو الأزمرة.

● عملية استرجاع الكبريت Sulfur Recovery Process

تتكون انبعاثات وحدة استرجاع الكبريت من الغازات الناتجة عن حرق الوقود في الفرن، ومن عمليات حرق الكربون المترسب على سطح العامل الحفاز أثناء عملية التنشيط، وهي أكاسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين وأكاسيد الكبريت، والجسيمات الدقيقة. إضافة إلى مركبات عضوية طيارة ومركبات كبريتية تنطلق من مدخنة تصريف الغازات الفائضة عن التفاعل Tail Gas، وانبعاثات متسربة ناتجة عن تسرب المواد الهيدروكربونية من الصمامات والتوصيلات والمضخات والضواغط.

● منظومة تخزين وتحميل وتفريغ النفط الخام والمنتجات النفطية

تعتبر خزانات النفط والمنتجات النفطية المنتشرة في المصفاة من المصادر المهمة للانبعاثات الغازية، التي تنتج في حالات التبخر العادي بتأثير العوامل الجوية من الحواف الفاصلة بين جدار الخزان والسطح العائم، وعمليات التفريغ والتعبئة من وإلى الخزان، وعمليات التصفية، والتسرب من سطح إحكام صمام الأمان في الخزانات المضغوطة.

● وحدة معالجة المياه الملوثة Waste Water Treatment

تنطلق الانبعاثات الغازية من وحدة تجميع ومعالجة المياه الملوثة في مصفاة النفط

¹ Continuous Catalytic Reforming

من المصادر الرئيسية التالية:

- ✓ خطوط تجميع نقاط تصفية أو عية الوحدات الإنتاجية
- ✓ أحواض فصل الزيت عن الماء بالتثاقل API Separators
- ✓ أحواض التعويم بالهواء Air Flotation
- ✓ أحواض تجميع مياه الأمطار وأحواض تجميع المياه السطحية

● منظومة تصريف الغازات والسوائل الخطرة Blowdown System

تتكون وحدة تصريف السوائل والغازات الفائضة عن عمليات التكرير من مجموعة من الأوعية لفصل السوائل وترحيلها إلى خزانات خاصة ليعاد تكريرها، أما الغازات الخفيفة فترحل لحرقها في الشعلة.

تنتقل من منظومة تصريف الغازات والسوائل الخطرة انبعاثات غازية تتكون من أكاسيد الكبريت والكربون والنيتروجين، والجسيمات الدقيقة، وذلك نتيجة حرق الغازات الهيدروكربونية في الشعلة. إضافة إلى مركبات عضوية طيارة ناتجة عن تسرب المواد الهيدروكربونية من الصمامات والتوصيلات.

● منظومة أبراج مياه التبريد

تنتقل من أعلى أبراج مياه التبريد ذرات ماء دقيقة الحجم ناتجة عن تبخر المياه الساخنة، وعندما يحدث تسرب في أحد المبادلات الحرارية تنتقل المواد الهيدروكربونية إلى المياه فتتبخر مشكلة انبعاثات من المركبات العضوية الطيارة إلى الهواء الجوي.

العوامل المؤثرة في كمية انبعاثات مصافي النفط

تعود أسباب التباين في كمية الانبعاثات التي تطلقها مصافي النفط إلى عوامل عديدة، أهمها: حجم الطاقة التكريرية للمصفاة، ونوع النفط الخام المكرر، وكثافة

استهلاك الطاقة، ونوع عمليات التكرير، ومدى تطور التقنيات المستخدمة فيها، ونوع الوقود المستخدم في أفران عمليات التكرير ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء، والحالة الفنية لمعدات المصفاة، ومستوى برامج الصيانة الدورية والوقائية المطبقة على وحدات المصفاة، ومدى صرامة التشريعات النازمة لمواصفات المنتجات النهائية، علاوة على عوامل أخرى كالظروف المناخية، وتوفر أجهزة التحكم بالانبعاثات في عمليات التكرير.

انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط

لا تقتصر انعكاسات تطبيق التشريعات البيئية على تحسين جودة الهواء الجوي بما يتلاءم مع صحة الإنسان والحفاظ على البيئة، بل تؤثر أيضاً على ربحية صناعة التكرير، وذلك نتيجة الأعباء التي تنتج عن التكاليف اللازمة لاتخاذ الإجراءات الممكنة للامتثال إلى متطلبات التشريعات البيئية.

انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط على صحة الإنسان

إن أي خفض في كمية انبعاثات مصافي النفط إلى الهواء الجوي يساهم في تخفيض معدلات الإصابة بالأمراض الناتجة عن استنشاق الغازات الضارة بصحة الإنسان، وخصوصاً بالنسبة للأشخاص القاطنين في محيط دائرة موقع المصفاة.

انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط على البيئة

تشير بعض الدراسات إلى احتمال وجود دور لانبعاثات مصافي النفط في تشكل المطر الحمضي، علاوة على الروائح الكريهة التي تسبب إزعاج التجمعات السكنية المجاورة للمصفاة، وخصوصاً في الفترات التي يرتفع فيها تركيز الانبعاثات في الهواء الجوي عندما تكون سرعة الرياح منخفضة.

انعكاسات خفض الانبعاثات على ربحية صناعة التكرير

على الرغم من الأعباء المالية التي تتحملها المصفاة نتيجة تطبيق إجراءات برامج خفض الانبعاثات إلا أنها يمكن أن تساهم في تحسين الربحية، من خلال استرجاع الغازات الهيدروكربونية، والاستفادة منها بدلاً من طرحها إلى الهواء الجوي أو حرقها، علاوة على القيمة المعنوية التي تكتسبها المصفاة لدى الجمهور والتجمعات السكنية المجاورة نتيجة التزامها بتلبية متطلبات تشريعات حماية البيئة من التلوث.

تقنيات خفض انبعاثات مصافي النفط

أدت الأعباء التي فرضتها التشريعات البيئية على صناعة تكرير النفط إلى دفع القائمين على هذه الصناعة نحو البحث عن أفضل التقنيات والإجراءات التي تساهم في خفض الانبعاثات بأقل التكاليف الممكنة.

تقنيات خفض انبعاثات حرق الوقود

تصنف تقنيات خفض الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود في مجموعتين، تتضمن المجموعة الأولى تقنيات ما قبل حرق الوقود، مثل تطبيق برنامج إدارة الطاقة، واستبدال نوع الوقود المستخدم، أو تحسين مواصفاته. أما المجموعة الثانية فتتضمن تقنيات ما بعد حرق الوقود، كمعالجة غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة.

تقنيات خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت

يمكن خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت الناتجة عن حرق الوقود في الأفران ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء من خلال ثلاث طرق. تعتمد الطريقة الأولى على مبدأ خفض كمية الكبريت في الوقود الداخل إلى الوحدة، وذلك من خلال عمليات المعالجة لنزع الكبريت بطريقة المعالجة الهيدروجينية، وتعتمد الطريقة الثانية على مبدأ استبدال الوقود بآخر يحتوي على نسبة أخفض من الكبريت، كالغاز الطبيعي.

أما الطريقة الثالثة فتعتمد على مبدأ معالجة الغازات الناتجة عن احتراق الوقود قبل خروجها من المدخنة.

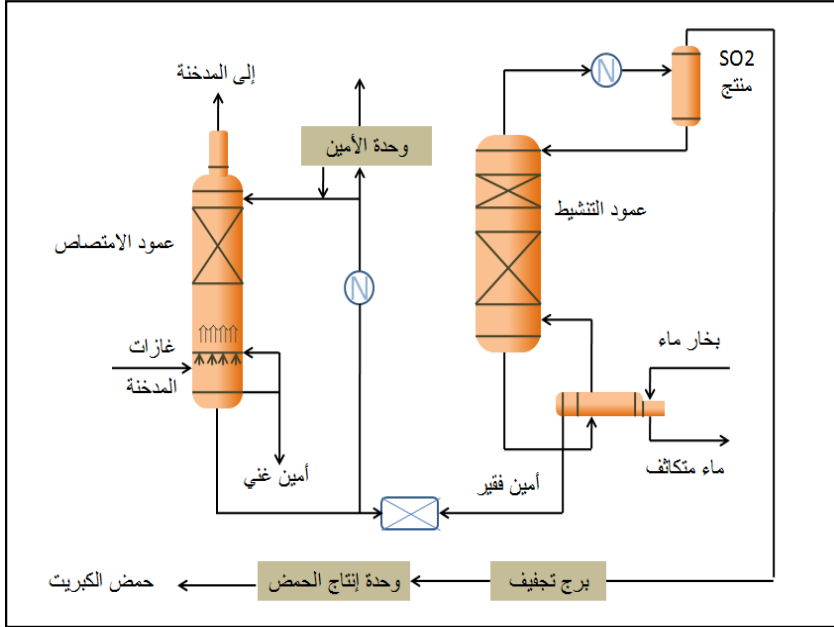
كما تصنف تقنيات نزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة في ثلاث مجموعات، تقنيات جافة، وشبه جافة، ورطبة.

تعتمد طرق المعالجة الجافة على استخدام البيكربونات أو الكلس الحي، وتتميز ببساطة تركيبها وسهولة تشغيلها، ويمكن تركيبها في مساحة صغيرة، كما أن تكاليف صيانتها منخفضة، إلا أن من مساوئها محدودية طاقتها الاستيعابية عندما يبلغ تركيز الملوثات في غازات المدخنة إلى مستويات مرتفعة، فضلاً عن انخفاض مردودها.

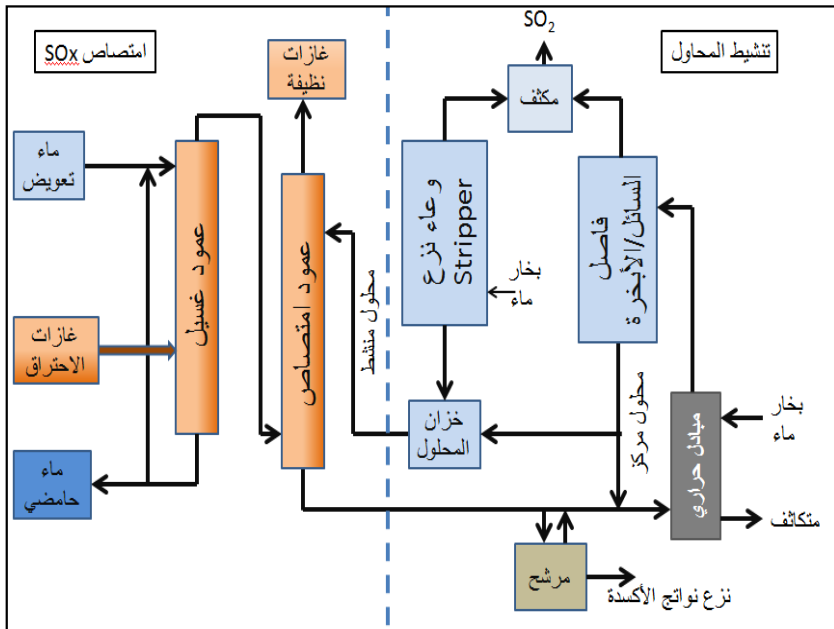
أما الطريقة الرطبة فتعتمد على امتصاص أكسيد الكبريت من غازات المدخنة بواسطة محلول قلوي كالصودا الكاوية أو محلول معتدل. وعلى الرغم من ارتفاع كفاءة هذه الطريقة، وقدرتها على تحمل تغيرات واسعة في نسبة الملوثات في الغازات الداخلة، إلا أن من مساوئها ارتفاع تكاليف الإنشاء والتشغيل، إضافة إلى تكاليف معالجة المياه الملوثة الناتجة عنها.

أحد أكثر الأمثلة انتشاراً لتقنية نزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة بالتنشيط عملية كانسولف Cansolv، تأتي بعدها طريقة لابسورب Labsorb. يبين **الشكل 1** سير عملية كانسولف لامتصاص غاز ثاني أكسيد الكبريت من غازات المدخنة. كما يبين **الشكل 2** مخطط عملية لابسورب لنزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة.

الشكل 1: سير عملية كانسولف لامتصاص غاز ثاني أكسيد الكبريت من غازات المدخنة



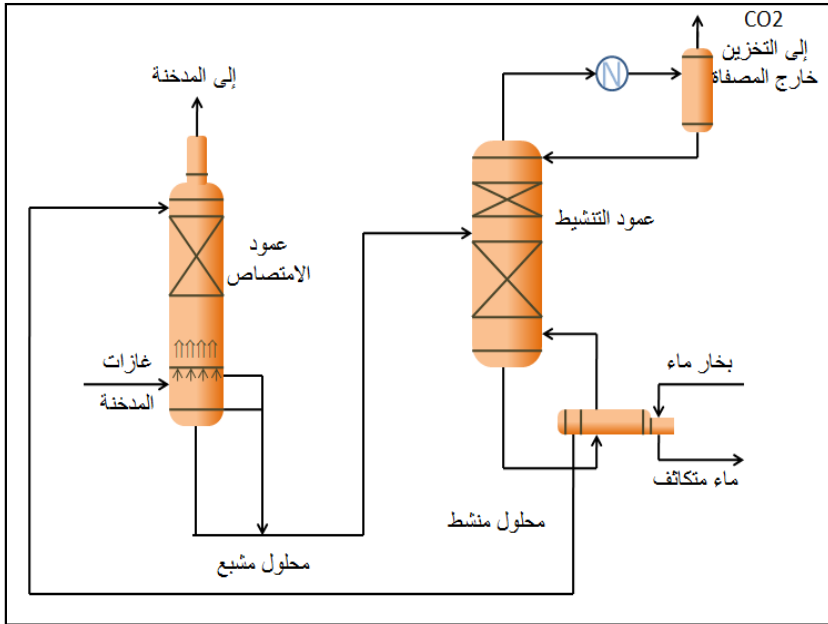
الشكل 2: مخطط عملية لابسورب لنزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة



تقنيات خفض انبعاثات الكربون

يمكن خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن حرق الوقود من خلال تقنيات تطبق في مرحلة ما قبل احتراق الوقود، كترشيد استهلاك الوقود، أو تغيير نوع الوقود المستخدم. ومنها ما يطبق بعد مرحلة الاحتراق كطريقة معالجة غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة. يبين **الشكل 3** مخطط عملية فصل غاز ثاني أكسيد الكربون من غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة.

الشكل 3: فصل غاز ثاني أكسيد الكربون من غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة



تقنيات خفض أكاسيد النيتروجين

تختلف تقنيات خفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين NOx من حيث مكان تركيب التجهيزات، فمنها ما يعتمد على تعديل ظروف تشغيل المعدات قبل احتراق الوقود من خلال تغيير نوع الوقود المستخدم، كاستعمال الغاز الطبيعي بدلاً من الوقود الثقيل، أو نزع المركبات النيتروجينية من الوقود بعمليات المعالجة الهيدروجينية، أو تقنيات ما

بعد احتراق الوقود، أو بتعديل معدات الاحتراق نفسها، كاستخدام حراقات متطورة، تساعد على خفض تشكل أكاسيد النيتروجين Low NOx Burners. أو بتقليب غازات المدخنة لاستخدامها كهواء احتراق في حراقات الفرن، بدلاً من الهواء الجوي الذي يحتوي على كمية أعلى من النيتروجين.

كما يمكن نزع أكاسيد النيتروجين من غازات الاحتراق بطريقتين، الأولى طريقة خفض الانتقائي بدون عامل حفاز SNCR¹، والثانية طريقة خفض الانتقائي بالعامل الحفاز SCR².

تعتمد طريقة خفض الانتقائي بالعامل الحفاز على مبدأ ملازمة غازات المدخنة بغاز الأمونيا في سرير يحتوي على عامل حفاز Catalyst Bed، حيث تتحول الأكاسيد إلى نيتروجين وبخار الماء. أما طريقة خفض الانتقائي بدون عامل حفاز SNCR فتتم بدون عامل حفاز في الطور الغازي، وبدرجات حرارة عالية، إلا أن فعاليتها أدنى من طريقة خفض الانتقائي بالعامل الحفاز.

تقنيات خفض انبعاث الجسيمات الدقيقة

يوجد عدة طرق لالتقاط الجسيمات الدقيقة الناتجة عن حرق الوقود في الأفران، أهمها اللواظ الميكانيكية، والمرشحات النسيجية، وكاشطات الغاز الرطب، والمرسبات الكهروستاتيكية.

تقنيات خفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع

تتركز تقنيات خفض انبعاثات وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع في معالجة الانبعاثات الناتجة عن تنشيط العامل الحفاز، والتي تتكون بشكل رئيسي من أكاسيد الكربون، وأكاسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين، والجسيمات الدقيقة.

¹ Selective Non-Catalytic Reduction

² Selective Catalytic Reduction

تعتمد كمية أكاسيد الكبريت المنطلقة من عمليات تنشيط العامل الحفاز في وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع أيضاً على تركيز الكبريت في الفحم المترسب على سطح العامل الحفاز. وتتم العملية بحقن مواد كيميائية تقوم بتحويل المركبات الكبريتية في وعاء التنشيط إلى غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S ، حيث يمكن معالجته مع الغازات المنتجة من الوحدة.

تتشكل أكاسيد النيتروجين في وعاء التنشيط عندما يتحد كل من النيتروجين وأكسجين الهواء عند درجات حرارة مرتفعة فتننتج أكاسيد النيتروجين الحرارية، وعندما يحترق النيتروجين العنصري Elemental Nitrogen الموجود في الفحم المترسب على سطح العامل الحفاز، حيث تكون كميته عادة أعلى من كمية أكاسيد النيتروجين الحرارية، وتعتمد على محتوى لقيم الوحدة من المركبات النيتروجينية.

تتكون الجسيمات الدقيقة الناتجة عن وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع من جسيمات أولية وأخرى ثانوية. تنتج الجسيمات الدقيقة الأولية من مصدريّن، الأول من تنشيط العامل الحفاز، والثاني من السخام الناتج عن الاحتراق الناقص للفحم. أما الجسيمات الدقيقة الثانوية فتننتج من ذرات الأمونيا وأكاسيد الكبريت.

تقنيات خفض انبعاثات وحدات استرجاع الكبريت

يفصل غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S من غازات وحدات المعالجة الهيدروجينية، ويتم تركيزه في وحدة الغسيل بمحلول الأمين، ثم يحول بعد ذلك إلى وحدة استرجاع الكبريت SRU¹ حيث يتم تحويله إلى كبريت حر. وتعتمد كمية انبعاثات H_2S و SO_2 من مدخنة فرن الإلتلاف على مردود تفاعل كلاوس Claus ومدى ضبط شروط عمل الوحدة، لهذا يجب التركيز على تحسين مردود استرجاع الكبريت في الوحدة حتى يتم خفض كمية انبعاث SO_2 ، وذلك من خلال إضافة مفاعل ثالث إلى الوحدة، أو إضافة وحدة غسيل للغازات الفائضة عن التفاعل، الخارجة من

¹ Sulphur Recovery Unit

مفاعل كلاوس، أو استخدام عوامل حفازة متطورة يمكن بواسطتها تحسين كفاءة التفاعل.

تقنيات خفض انبعاثات شبكات خطوط الأنابيب والمعدات

تصنف تقنيات خفض الانبعاثات المتسربة من منظومة شبكات الأنابيب والمعدات في ثلاث مجموعات: الأولى تحسين جودة المعادن والمواد المصنوعة منها أجهزة منع التسرب، والثانية استخدام موانع مضاعفة، والثالثة تطبيق برنامج الكشف عن التسرب وإصلاحه. وهناك إجراءات مشتركة بين المجموعات الثلاث، مثل استخدام تصاميم أفضل لشبكات خطوط الأنابيب وموانع التسرب.

تقنيات خفض انبعاثات خزانات النفط الخام والمنتجات النفطية

من أهم تقنيات خفض انبعاثات خزانات النفط والمنتجات النفطية إجراء فحص فني دوري على كافة أجزاء وتوصيلات وفوهات القياس للتأكد من عدم وجود اهتراء يسبب تسرب الأبخرة إلى الهواء الجوي. ويمكن تركيب موانع تسرب مضاعفة على السقف العائم لخفض تسرب الهيدروكربونات من جدار الخزان أثناء حركة السقف الناتجة عن عمليات التفريغ والتعبئة. أو تركيب سقف ثابت إضافة إلى السقف المتحرك في خزانات السطح العائم لتخفيف التبخر بتأثير حركة تفريغ وتعبئة الخزان. كما يمكن تحويل الأبخرة الهيدروكربونية التي تنطلق من الجزء العلوي لخزانات النفط والمنتجات عبر أنابيب خاصة إلى وحدة استرجاع الأبخرة.

تقنيات خفض انبعاثات منظومة تحميل وتفريغ المنتجات

لخفض الانبعاثات المنطلقة من عمليات تحميل المنتجات البترولية وتعبئة الحاويات، يمكن تركيب توصيلات تعبئة الحاوية من الأسفل لمنع انتشار الأبخرة الهيدروكربونية في الطبقة العلوية للحاوية أو الناقل، أو تركيب خط توازن بين الحاوية المراد تعبئتها والخزان الذي تسحب منه المواد البترولية للتعبئة، بهدف سحب الأبخرة إلى خزان تجميع مستقل لتحويلها إلى وحدة استرجاع الأبخرة الهيدروكربونية.

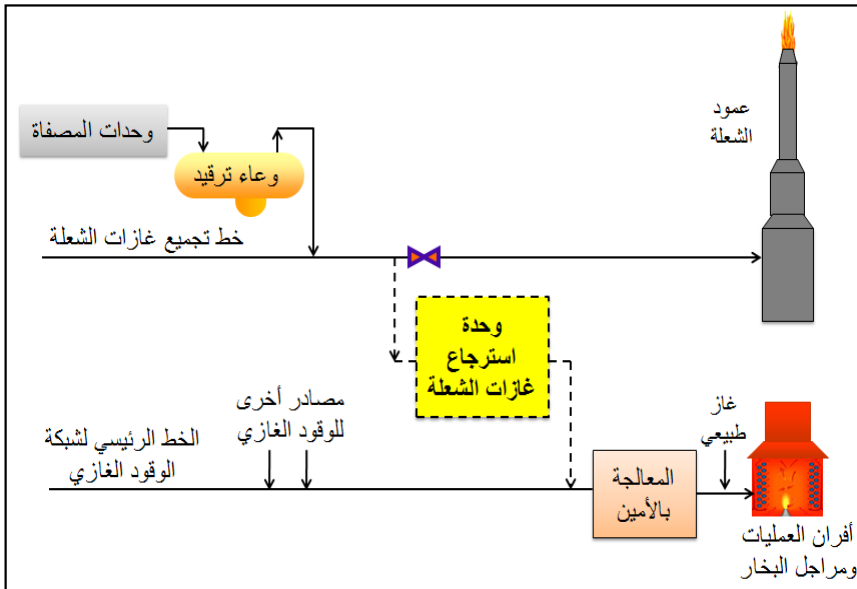
تقنيات خفض الانبعاثات الهيدروكربونية من وحدة معالجة المياه الملوثة

يمكن خفض انبعاث الأبخرة الهيدروكربونية من طبقة الزيت التي تطفو أعلى أحواض تجميع المياه الزيتية الواردة من الوحدات الانتاجية، ومن شبكة أنابيب تصفية خزانات النفط الخام والمشتقات، وذلك باتخاذ إجراءات التخفيف من المصدر لمنع ورود المركبات الهيدروكربونية إلى وحدة المعالجة أو استخدام أحواض فصل الزيت المغطاة Covered API Separator لعزل التأثيرات الجوية.

تقنيات خفض انبعاثات حرق الغازات في الشعلة

يمكن خفض الانبعاثات الناتجة عن حرق المركبات الهيدروكربونية على شعلات المصفاة بإجراء صيانة دورية لكافة صمامات الأمان المتصلة بخطوط الشعلة للتأكد من عدم وجود تسرب من سطوح إحكامها، أو تركيب منظومة استرجاع لغازات الشعلة تساعد على إعادة الغازات إلى شبكة وقود أفران المصفاة للاستفادة منها كمصدر للطاقة بدلاً من حرقها. يبين الشكل 4 مخطط وحدة استرجاع غازات الشعلة.

الشكل 4: مخطط وحدة استرجاع غازات الشعلة



إدارة الروائح المنبعثة من المصفاة

تشكل انبعاثات المركبات العضوية الطيارة مصدراً للروائح الكريهة عند ارتفاع تركيزها عن قيم محددة، وتؤدي إلى إزعاج العاملين في المصفاة والقاطنين في التجمعات السكنية المجاورة.

تتكون عملية معالجة مشكلة الروائح الكريهة المنبعثة من المصفاة من أربعة مراحل، تتضمن المرحلة الأولى تقويم المشكلة وإعداد المبررات والدوافع للقيام بإجراءات تساهم في التخفيف من أثارها. وفي المرحلة الثانية يتم تحديد المصادر المحتملة للمواد التي تسبب الروائح المزعجة. أما المرحلة الثالثة فيتم فيها تحليل كافة المصادر المحتملة، وتحديد المصادر المؤكدة التي تسبب مشكلة انبعاث الروائح. وفي المرحلة الأخيرة يتم اختيار التقنيات المناسبة لخفض الانبعاثات المسببة للروائح إلى القيم المسموحة. (IPIPEC, 2012)

عوامل اختيار التقنية الأنسب لخفض انبعاثات مصافي النفط

تعتبر عملية اختيار التقنية الأنسب لخفض انبعاثات كل مصدر من المصادر الموجودة في المصفاة من العمليات المعقدة، نظراً لوجود عوامل عديدة تؤثر في عملية الاختيار، منها ما يتعلق بطبيعة الموقع الذي ستركب فيه التجهيزات الجديدة، ومنها ما يتعلق بتكاليف الإنشاء والتنفيذ، أو درجة التعقيد التكنولوجي، ولتسهيل عملية الاختيار يجب البحث عن كافة الخيارات المتاحة لتقنيات خفض الانبعاثات من كل مصدر من المصادر القائمة في المصفاة، ثم تقييم مدى فعالية التقنيات المستخدمة واختيار أنسبها.

الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط

تتلخص أهداف الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط بما يلي:

- تحضير البيانات والمعلومات التي تمكن الهيئات الحكومية من إصدار التشريعات البيئية.

- العمل على تحقيق خفض فعلي للانبعاثات، والارتقاء بالأداء البيئي لمصافي النفط إلى أفضل المستويات الممكنة.

عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات المصافي

تتكون الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط من أربعة عناصر رئيسية،

وهي:

- تقييم الوضع القائم للمصافي.
 - تحضير خطة لمراقبة الانبعاثات، وإعداد التقارير الدورية.
 - إعداد خطة مستقبلية لإجراءات الخفض المستمر لانبعاثات مصافي النفط.
 - الإشراف الحكومي على عملية المراقبة المستمرة للانبعاثات.
- يبين الشكل 5 عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط.

الشكل 5: عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط

1. تقييم الوضع القائم

- تقديم البيانات التي تساعد في اختيار الحدود المسموحة السنوية لانبعاثات المصافي، وتتضمن:
- قاعدة بيانات انبعاثات المصافي
 - تحليلات الواقع الحالي للمصافي
 - تحليلات دراسة الانعكاسات الصحية وتحديد الأولويات
 - الدليل التوضيحي

2. المراقبة وإعداد التقارير

- تقديم خطة لتحديد:
- طريقة المراقبة المناسبة (قياس أو حساب)
 - التقارير التي ستقدمها المصافي إلى الجهة الحكومية عن معدلات الانبعاثات

3. خطة العمل المستقبلية

- إعداد خطة عمل للمصافي تتضمن:
- قياسات أداء المصافي مقابل الأهداف المرسومة
 - تحديد مؤشرات قياس الأداء
 - آليات إعادة النظر في الخطة الوطنية عند الضرورة
 - تحديث تحليلات الآثار الصحية، والدليل التوضيحي
 - التقارير الدورية

4. الإشراف الحكومي

- تحديد الحدود القصوى للانبعاثات
- متابعة عملية مراقبة الانبعاثات
- مراجعة التقارير الدورية

عوامل نجاح خطة إدارة انبعاثات المصافي

يتطلب تطبيق خطة إدارة انبعاثات مصافي النفط تضافر جهود كافة الأطراف المعنية بعملية خفض الانبعاثات والمحافظة على سلامة البيئة من التلوث، والتزام إدارة المصفاة بمتابعة تنفيذ الخطة، وتحديد سياسة واضحة لخفض الانبعاثات تتضمن إجراءات التحسين المستمر التي يجب تطبيقها على المعدات القائمة في المصفاة، وربط عملية إعداد الإجراءات والأهداف مع التخطيط المالي والاستثماري للشركة.

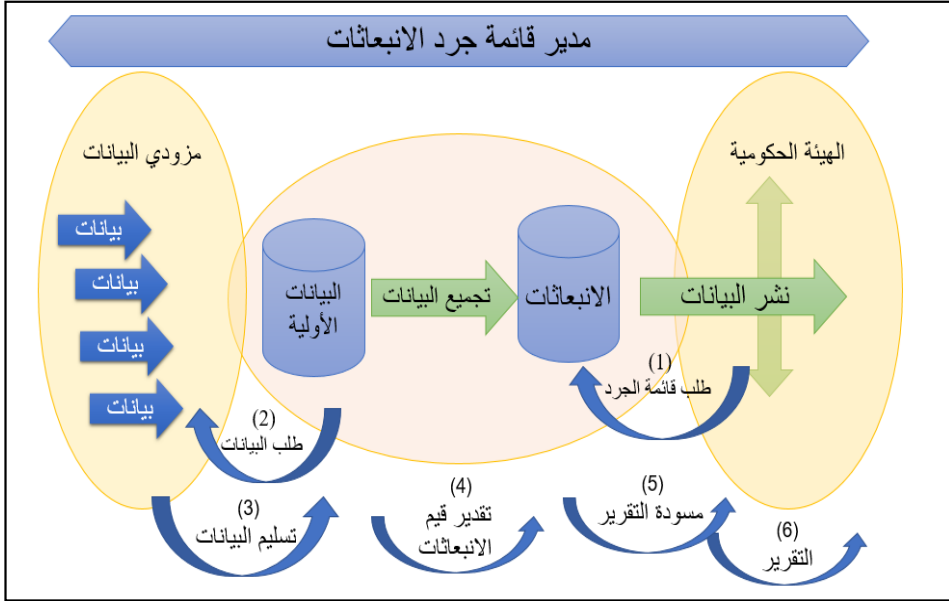
قائمة جرد انبعاثات المصافي

تساهم قائمة جرد الانبعاثات في تحديد نقاط الخلل والانحراف عن القيم النموذجية المتبعة في المصافي الأخرى الملزمة بتطبيق المعايير العالمية، ودعم جهود اتخاذ القرار الأنسب حول الإجراءات والتقنيات اللازمة لخفض كمية الانبعاثات من المصادر المختلفة في المصفاة إلى أدنى المستويات الممكنة.

تتكون عملية إعداد قائمة جرد الانبعاثات من المراحل التالية:

- قيام الهيئة الوطنية بتحديد محتويات القائمة.
- قيام اللجنة المختصة بطلب البيانات الخاصة بقائمة جرد الانبعاثات من الجهات المعنية بتزويد البيانات.
- تجميع وتصنيف البيانات، حيث تقوم اللجنة المختصة بتصنيف البيانات الواردة، وحساب كمية الانبعاثات.
- تحضير مسودة تقرير أولي يتضمن بيانات قائمة جرد الانبعاثات، وتسليمها إلى الهيئة الوطنية.
- اعتماد التقرير من قبل الهيئة الوطنية لمراقبة الانبعاثات وتسليمه إلى الجهات المسؤولة عن شؤون حماية البيئة.

يبين الشكل 6 مراحل إعداد قائمة جرد انبعاثات مصافي النفط.

الشكل 6: مراحل إعداد قائمة جرد الانبعاثات

تحتاج عملية إعداد قائمة جرد الانبعاثات الكثير من الجهد والوقت، وإلى دقة القيم التي تتضمنها، حيث أن أي خطأ قد ينتج عنه خسائر كبيرة، وخصوصاً عندما تستخدم النتائج لاتخاذ قرارات تتعلق بمشاريع استثمارية باهظة التكاليف.

طرق قياس كمية الانبعاثات

توجد طرق عديدة لقياس كمية الانبعاثات، صممت من قبل جهات متخصصة بإصدار التشريعات البيئية. منها ما يعتمد على العمليات الحسابية، أو متوسط معاملات الانبعاث¹، ومنها ما يعتمد على استخدام أجهزة القياس المباشر. ويتوقف اختيار الطريقة الأنسب على الأهداف المنشودة من عملية الحساب، والوقت المتاح، ومدى توفر أجهزة القياس في الموقع.

¹ Average Emission Factors

حساب الانبعاثات المتسربة من عمليات التكسير

لتحديد الكمية الإجمالية للانبعاثات التي تتسرب من معدات المصفاة يجب إجراء إحصاء فعلي لكافة المعدات التي يحتمل أن تنبعث منها الملوثات الغازية في كل وحدة من وحدات المصفاة، كالمضخات، والضواغط، إضافة إلى المعدات الاحتياطية الموضوعة تحت الضغط، وصمامات الأمان، وغيرها.

حساب انبعاثات خزانات النفط الخام والمنتجات

تحتسب كمية المركبات العضوية الطيارة المنطلقة من خزانات النفط الخام والمنتجات التي تحتوي على مواد خفيفة مثل الغازولين ووقود الطائرات النفائة والمقطرات الوسطى، باستخدام برامج حاسوبية جاهزة، تدخل فيها عدة عوامل، مثل قطر الخزان، والظروف البيئية المحيطة، وخصائص المادة المخزنة، ودرجة حرارتها.

حساب انبعاثات محطات تحميل النفط الخام والمنتجات

تحتسب كمية انبعاثات محطات تحميل المنتجات بالقطارات والشاحنات بطريقة معاملات الانبعاث، أو طريقة اختبار المصدر Source Test.

حساب انبعاثات وحدات معالجة المياه الملوثة

توجد طرق عديدة لحساب انبعاثات وحدات معالجة المياه الملوثة، أهمها طريقة البرامج الحاسوبية الجاهزة، أو طريقة الحساب اليدوي، أو طريقة اختبار المصدر، التي تعتمد على أخذ عينات من الهواء في كافة نقاط تجميع المياه الملوثة التي تطلق المركبات العضوية الطيارة وتحليلها في المخابر لتحديد تركيز الانبعاثات. أو طريقة الموازنة المادية، التي تعتمد على حساب كمية المركبات الغازية التي تبخرت من خطوط ومعدات وحدة معالجة المياه الملوثة، من خلال حساب الفرق بين تركيز المواد البترولية السائلة في كل من المياه الملوثة الداخلة والخارجة من الوحدة. وأخيراً طريقة

معاملات الانبعاث للخطوط القادمة من عمليات التكرير، والصمامات والتوصيلات المركبة عليها.

حساب انبعاثات أبراج مياه التبريد

تحسب كمية المركبات العضوية الطيارة التي تنبعث من أبراج مياه التبريد بطريقة معاملات الانبعاث، أو حساب الفرق بين تركيز الهيدروكربونات في المياه الداخلة والخارجة من الأبراج، وتحويل القيمة إلى كتلة وزن/الساعة.

حساب انبعاثات الحوادث الطارئة

تعتمد كمية الانبعاثات الناتجة عن الحوادث الطارئة على نوع الحادثة، ولا تصنف الحادثة في سجل الحوادث الطارئة إلا إذا تجاوز الحد الأدنى لكمية المواد الزيتية المتسربة إلى المياه السطحية أو المجمعات المائية عن 10 لتر، أو حوادث الانسكاب والتسرب إلى السطوح الأرضية، والتي تزيد كميتها عن 200 لتر، أو حوادث طرح الهيدروكربونات إلى الهواء بكميات تزيد عن 100 لتر.

حساب انبعاثات حرق الوقود في الأفران

من أفضل الطرق المتبعة لحساب كمية انبعاثات CO_x ، و SO_x ، و NO_x الناتجة عن حرق الوقود في الأفران هي الطريقة التي تعتمد على أجهزة التحليل التي تتركب على المدخنة، وتعمل إما بشكل مستمر أو متقطع، وهي أكثر دقة من طريقة الحساب اعتماداً على معاملات الانبعاث.

حساب انبعاثات منظومة الشعلة

تعتمد معظم المصافي على طريقة معاملات الانبعاث في حساب كمية انبعاثات منظومة الشعلة. وتعتمد دقة نتائج الحساب باستخدام المعادلة المبينة أعلاه على مدى الدقة في قياس كمية ونوعية كل من الغازات الداخلة إلى الشعلة وإلى شمعات الاحتراق الدائمة التي تستخدم للمحافظة على استمرار لهب الشعلة.

تشريعات ضبط انبعاثات مصافي النفط

انطلقت عملية ضبط انبعاثات مصافي النفط في العالم في مطلع سبعينيات القرن الماضي، وذلك استجابة لتنامي المطالبات الشعبية بضرورة وضع حد لتفاقم مشكلة تلوث الهواء الجوي.

مراحل عملية إصدار تشريعات ضبط الانبعاثات

تتم عملية إصدار تشريعات ضبط الانبعاثات من مصافي النفط على ثلاث مراحل، تبدأ بتحديد أفضل الطرق الممكنة لخفض الانبعاثات، ثم مرحلة النشر والإبلاغ عن التشريعات المحتملة إلى الجمهور لإبداء الرأي. بعد ذلك يطلب من المصافي إعداد الخطط والإجراءات اللازمة لتلبية متطلبات التشريعات.

تقوم هيئات حماية البيئة بتحديد أفضل الطرق التي يمكن من خلالها خفض الانبعاثات التي تطلقها المصافي إلى أدنى قيمة ممكنة ليصار إلى اعتمادها كمعيار لقياس أداء المصافي. كما يؤخذ بعين الاعتبار أثناء تحديد معايير الأداء التكاليف المحتملة لإجراءات خفض الانبعاثات، وانعكاسات تطبيقها على قضايا الصحة والسلامة والبيئة.

تشريعات منح ترخيص إنشاء مصفاة جديدة

عند منح ترخيص إنشاء مصفاة نفط جديدة يجب أن تتعهد الشركة المالكة بأن لا تؤدي عمليات التكرير إلى تغيير في جودة الهواء الجوي في المناطق المجاورة لموقع المصفاة، وذلك من خلال الالتزام بالمعايير التي يحددها القانون لكل منطقة، أو ما يسمى ببرنامج مراجعة المصادر الجديدة.

قائمة المصطلحات Abbreviations

■ الأزمرة Isomerization : تحسين الرقم الأوكتاني للقططات الخفيفة كالنافثا والبيوتان لإنتاج مكونات للمزج مع منتج الغازولين.
■ استرجاع الكبريت Sulphur Recovery : عملية تحويل الغازات الكبريتية الناتجة عن المعالجة الهيدروجينية للمنتجات النفطية إلى كبريت حر، وإلى وقود غازي Fuel Gas .
■ الألكلة Alkylation : إنتاج مكونات عالية الرقم الأوكتاني للمزج مع منتج الغازولين.
■ الانبعاثات المتناثرة Fugitive Emissions : مركبات عضوية تتسرب من المعدات على شكل غيوم في الهواء الجوي.
■ التفحيم المؤجل Delayed Coking : عملية تكسير حراري لتحويل مخلفات التقطير الفراغي الثقيلة إلى مكونات خفيفة كالنافثا وزيت الغاز، وإلى فحم بترولي Coke .
■ التقطير الجوي Atmospheric Distillation : عملية فصل النفط الخام فيزيائياً إلى قططات بترولية أولية، وهي غاز البترول المسال، وناثا، وكبروسين وزيت غاز وزيت وقود.
■ التقطير الفراغي Vacuum Distillation : فصل مخلفات التقطير الجوي إلى زيت غاز فراغي يستخدم لقيم لوحات إنتاج زيوت الأساس المستخدمة في تحضير زيوت التزيت، كما ينتج عن العملية أسفلت ولقائم للوحدات التحويلية، كالتفحيم وكسر اللزوجة.
■ التهذيب بالعامل الحفاز Catalytic Reforming : رفع الرقم الأوكتاني للنافثا لإنتاج الغازولين.
■ التكسير الحراري Thermal Cracking : تحويل القططات الثقيلة إلى خفيفة من خلال تكسير الجزيئات الكبيرة إلى صغيرة وتقصير السلاسل الهيدروكربونية الطويلة، بالتسخين لرفع نسبة إنتاج المصفاة من المنتجات الثمينة.
■ التكسير بالعامل الحفاز Catalytic Cracking : تحويل القططات الثقيلة إلى خفيفة من خلال تقصير السلاسل الهيدروكربونية الطويلة بوجود عامل حفاز.
■ التكسير بالعامل الحفاز المائع Fluidized Catalytic Cracking FCC : تحويل القططات الثقيلة إلى خفيفة من خلال تقصير السلاسل الهيدروكربونية الطويلة بوجود عامل حفاز على شكل مائع.

يتبع: قائمة المصطلحات Abbreviations

■ التكسير الهيدروجيني Catalytic Hydrocracking: تحويل القطفات الثقيلة إلى خفيفة من خلال تكسير الجزيئات الكبيرة إلى صغيرة بوجود الهيدروجين في مفاعل يحتوي على عامل حفاز.
■ الجسيمات الدقيقة Particulate Matters PM: مواد صلبة أو سائلة تتناثر في الهواء الجوي على شكل حبيبات صغيرة الحجم وتعتبر من الملوثات الخطرة على صحة الإنسان.
■ ميثيل ثلاثي بيوتيل إثير Methyl Tertiary Butyl Ether MTBE: مركب أوكسجيني يمزج مع الغازولين لرفع الرقم الأوكتاني.
■ منطقة محصنة أو غير محصنة Attainment/Non-attainment: تعتبر المنطقة محصنة عندما يكون تركيز الملوثات في الهواء الجوي أدنى من القيم المحددة في المعايير البيئية. والعكس بالنسبة للمناطق غير المحصنة.
■ المعالجة الهيدروجينية/ نزع الكبريت بالهدرجة Hydrodesulphurization: عملية نزع المركبات الكبريتية من القطفات النفطية في مفاعل يحتوي عامل حفاز بوجود الهيدروجين.
■ المركبات العضوية الطيارة Volatile Organic Compounds VOC
■ معاملات الانبعاث Emission Factors: متوسط قيم الانبعاثات التي تنطلق من مصدر معين تبعاً لأحد ظروف التشغيل كالطاقة التكريرية أو معدل حرق الوقود.
■ الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات Poly Aromatic Hydrocarbons PAH
■ ب/ي: "برميل في اليوم" وحدة قياس الطاقة التكريرية Barrel Per Day
■ ج.ف.م: "جزء في المليون" قياس الشوائب في النفط والمشتقات Part Per Million

الفصل الأول

أنواع ومصادر انبعاثات مصافي النفط



1-1: تصنيف انبعاثات مصافي النفط

2-1: مصادر انبعاثات مصافي النفط

- 1-2-1: حرق الوقود
- 2-2-1: عمليات التكرير
- 3-2-1: عمليات استرجاع الكبريت
- 4-2-1: منظومة تخزين وتحميل وتفريغ النفط الخام والمنتجات النفطية
- 5-2-1: وحدة معالجة المياه الملوثة
- 6-2-1: منظومة تصريف الغازات والسوائل الخطرة
- 7-2-1: منظومة أبراج مياه التبريد

3-1: العوامل المؤثرة في كمية انبعاثات مصافي النفط

- 1-3-1: نوع النفط الخام المكرر
- 2-3-1: نوع عمليات التكرير في المصفاة
- 3-3-1: جودة مواصفات منتجات المصفاة
- 4-3-1: نوع الوقود المستخدم
- 5-3-1: حجم الطاقة التكريرية
- 6-3-1: توفر نظم القياس ومراقبة كمية انبعاثات المصفاة

4-1: انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط

- 1-4-1: انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط على صحة الإنسان
- 2-4-1: انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط على البيئة
- 3-4-1: انعكاسات خفض الانبعاثات على ربحية صناعة التكرير

الفصل الأول

أنواع ومصادر انبعاثات مصافي النفط

مقدمة

تستهلك مصافي النفط كمية كبيرة من الوقود في عمليات التكرير، ومحطات إنتاج بخار الماء وتوليد الطاقة الكهربائية. وينتج عن حرق الوقود انبعاثات غازية ضارة بصحة الإنسان والبيئة.

يتناول هذا الفصل أنواع الانبعاثات الهوائية، والمصادر التي تنطلق منها في مصافي النفط.

1-1: تصنيف انبعاثات مصافي النفط

تختلف الانبعاثات التي تطرحها مصافي النفط من حيث نوعها وكميتها ودرجة تأثيرها على صحة الإنسان والبيئة، وذلك تبعاً لنوع عمليات التكرير، وحجم الطاقة التكريرية للمصفاة، ونوع النفط الخام المكرر.

تصنف انبعاثات مصافي النفط تبعاً لمصدرها في مجموعتين رئيسيتين، الأولى مجموعة الانبعاثات الهيدروكربونية، وهي المركبات العضوية التي تنتج عن تسرب المواد الهيدروكربونية من الأوعية، وخطوط الأنابيب، والخزانات. أما المجموعة الثانية فتتكون من نواتج حرق الوقود في أفران عمليات التكرير، ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء، مثل أكاسيد الكبريت SO_x ، وأكاسيد النيتروجين NO_x وغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 . (IPIECA, 2012)

كما تصنف انبعاثات مصافي النفط، في قانون الهواء النظيف الذي صدر في الولايات المتحدة إلى المجموعات الرئيسية التالية: (Bp, 2015)

- أكاسيد الكربون Carbon Oxides
- أكاسيد الكبريت Sulfur Oxides
- كبريتيد الهيدروجين Hydrogen Sulphide
- أكاسيد النيتروجين Nitrogen Oxides
- المركبات العضوية الطيارة (VOC) Volatile Organic Compounds
- الجسيمات الدقيقة (PM) Particulates Matter

تشير نتائج دراسة أصدرتها وكالة حماية البيئة الأمريكية إلى أن مصافي النفط تطلق العديد من الملوثات ضمن عدد من أنواع الغازات، صنفت منها 187 مادة على أنها ضارة بصحة الإنسان، بعضها شديدة الخطورة قد تتسبب في أمراض الجهاز التنفسي، والسرطان. من هذه المواد على سبيل المثال البنزين العطري Benzene، والتولوين Toluene، والمعادن كالكاديوم والزنابق والكروم ومركبات الرصاص. (Thomas, A., & Brian, B., 2015)

يبين الجدول 1-1 أهم الانبعاثات الناتجة عن مصافي النفط، ومصادرها.

• أكاسيد الكربون CO_x

تتكون أكاسيد الكربون من غاز أول أكسيد الكربون CO وثنائي أكسيد الكربون CO₂. يعتبر غاز ثاني أكسيد الكربون من المركبات الضرورية للحياة البيولوجية، وعند المستويات الطبيعية ليس له آثار سلبية، إلا أنه قد يؤدي إلى حدوث أضرار على صحة الإنسان أو البيئة عندما تتجاوز نسبته في الهواء الجوي الحدود الطبيعية.

الجدول 1-1: أهم الانبعاثات الناتجة عن صناعة تكرير النفط ومصادرها

الانبعاثات	المصدر
COx	• أفران عمليات التكرير • محطات إنتاج البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • منظومة الشعلة
SOx	• أفران عمليات التكرير • محطات إنتاج البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • منظومة الشعلة • وحدة استرجاع الكبريت
NOx	• أفران عمليات التكرير • محطات إنتاج البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • منظومة الشعلة
المركبات العضوية الطيارة VOC	• تخزين ونقل وتحميل النفط الخام والمشتقات النفطية • وحدات معالجة المياه الملوثة • تنفيس الأوعية لتخفيض ضغطها • تسرب الهيدروكربونات من المعدات
الجزيئات الصلبة PM، والمعادن	• أفران عمليات التكرير • محطات إنتاج البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • حرق الغازات في منظومة الشعلة

المصدر: Thomas, A., & Brian, B., 2015

ينبعث غاز ثاني أكسيد الكربون في مصافي النفط بشكل رئيسي من أفران عمليات التكرير، ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية، وعمليات حرق الكربون أثناء تنشيط العامل الحفاز في وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، وحرق الغازات الفائضة في منظومة الشعلة.

كما تطلق مصافي النفط أول أكسيد الكربون CO من حرق الوقود في أفران عمليات التكرير، وحرق الغازات الفائضة في الشعلة. وتعتمد كمية غاز أول أكسيد الكربون المتشكل على نوع الوقود المستخدم في الأفران، وجودة الحراقات المستخدمة ومدى قدرتها على ضبط نسبة الأوكسجين الداخل إلى الحراق بالقيمة التي تضمن ضبط تفاعل حرق الكربون لتحويل أول أكسيد الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون. (Bp, 2015)

• أكاسيد الكبريت SO_x

تنطلق أكاسيد الكبريت نتيجة احتراق المركبات الكبريتية الموجودة في الوقود المستخدم في أفران المصفاة، ومحطات إنتاج بخار الماء وتوليد الطاقة الكهربائية، ومن حرق الغازات الفائضة في الشعلة، ومصادر أخرى متنوعة. كما تعتمد كمية أكاسيد الكبريت التي تطرحها المصفاة على نسبة الكبريت في النفط الخام المكرر، ونوع الوقود المستخدم في الأفران ومحتواه من الكبريت.

تعتبر انبعاثات أكاسيد الكبريت من الغازات الضارة بصحة الإنسان والبيئة، وذلك عندما تتفاعل مع رطوبة الجو لتشكل ذرات حمض الكبريت، أو ما يسمى بالمطر الحمضي، الذي يسبب تلف المزروعات، وتآكل الهياكل والمنشآت المعدنية. (Ramboll, 2014)

في عام 2008 أشرفت وزارة الصحة الكندية على دراسة قام بإنجازها مجموعة من مراكز الأبحاث والجامعات الأمريكية والكندية، تهدف إلى بحث أثر انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكبريت SO₂ على صحة القاطنين في التجمعات السكنية المجاورة لمصافي النفط ضمن دائرة يتراوح قطرها بين 0.5 إلى 7.5 كم. وقد أظهرت نتائج الدراسة وجود علاقة بين ارتفاع تركيز غاز ثاني أكسيد الكبريت في الهواء الجوي وعدد حالات الإصابة بنوبات الربو، وخصوصاً عند الأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين سنتين وأربع سنوات. ووصلت حالات مراجعة المستشفيات إلى

حدها الأعلى في اليوم الذي وصل فيه تركيز ثاني أكسيد الكبريت إلى المستوى الأقصى خلال فترة الدراسة، بمقدار 31.2 جزء في المليار ppb.

(Smargiassi, A., et al., 2009)

• أكاسيد النيتروجين NO_x

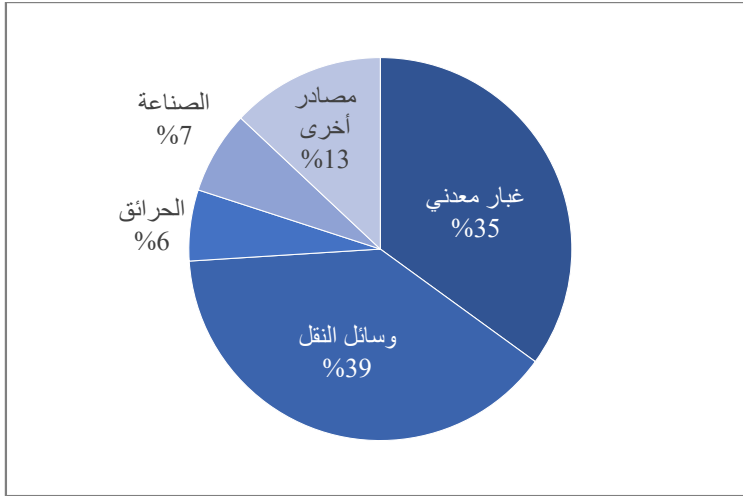
تتكون أكاسيد النيتروجين من أول أكسيد النيتروجين NO، وثاني أكسيد النيتروجين NO₂، وأكسيد النيتروس N₂O. تختلف كمية أكاسيد النيتروجين المنبعثة من المصفاة باختلاف نوع الوقود المستخدم ومحتواه من المركبات النيتروجينية والهيدروجين، فكلما زادت نسبة الهيدروجين في الوقود ارتفعت درجة حرارة اللهب، وبالتالي تزداد كمية NO_x المنبعثة. وقد تحتوي غازات المصفاة على مركبات أمينية ناتجة عن عمليات الغسيل بمحلول الأمين لنزع الكبريت منها، كما أن نسبة احتواء الوقود السائل على النيتروجين تزداد بارتفاع وزنه النوعي، حيث تصل إلى حدها الأقصى في الوقود الصلب كالفحم. ويمكن أن تختلف كمية انبعاثات أكاسيد النيتروجين من مصدر لآخر ضمن المصفاة نفسها، وذلك تبعاً لتصميم معدات حرق الوقود في الأفران وظروف تشغيلها، كدرجة حرارة اللهب وزمن بقاء الوقود في الفرن، وتركيز الأوكسجين في غازات المدخنة.

كما تتشكل أنواع أخرى من أكاسيد النيتروجين تسمى أكاسيد النيتروجين الحرارية، وهي التي تنتج عن اتحاد النيتروجين والأوكسجين في درجات حرارة مرتفعة. (Sloss, L., 2011)

• الجسيمات الدقيقة

تتشكل الجسيمات الدقيقة (PM) Particulate Matter في المصفاة إما نتيجة حرق الوقود في أفران العمليات، ومراجل إنتاج البخار، ومحطات توليد الطاقة الكهربائية، أو من عمليات خاصة تجري في الوحدات الإنتاجية، مثل عمليات حرق الكربون المترسب على سطح العامل الحفاز في وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع، وعمليات إزالة الفحم المترسب على السطوح الداخلية لأنابيب الأفران بالبخار والماء وعمليات Steam Air Decoking في وحدات التقطير.

تتواجد الجسيمات الدقيقة على شكل ذرات صلبة أو سائلة، متناثرة في الهواء الجوي، وهي قابلة للاستنشاق، وذلك نظراً لصغر حجمها وسهولة دخولها إلى الأنف والفم. وتصنف في عدة مجموعات حسب أبعادها، منها مجموعة الجسيمات التي قطرها أصغر أو يساوي 10 ميكرون PM_{10} ، ومجموعة الجسيمات الدقيقة التي قطرها أصغر أو يساوي 2.5 ميكرون $PM_{2.5}$. تعتبر الجسيمات الدقيقة ثاني أكبر مصادر التلوث الهوائي من حيث الخطورة على صحة الإنسان. كما تعتبر وسائل النقل أحد أكبر مصادر الجسيمات الدقيقة في الهواء الجوي، حيث تشكل 39% من إجمالي الجسيمات الناتجة عن الأنشطة الأخرى بينما لا تشكل الصناعة سوى 7% من إجمالي الجسيمات الدقيقة المنبعثة إلى الهواء الجوي. يبين الشكل 1-1 توزيع نسب مصادر الجسيمات الدقيقة في الهواء الجوي. (Akumu, J., 2015)

الشكل 1-1: توزيع نسب مصادر الجسيمات الدقيقة في الهواء الجوي

المصدر: AFDB, 2015

تعتمد كمية الجسيمات الدقيقة المنبعثة على نوع الوقود المستخدم في الأفران والمراجل البخارية، وعلى تصميم الأفران، ومستوى التطور التقني لمعدات حرق الوقود، وتركيز الأوكسجين عند مخرج غرفة الاحتراق Combustion Chamber، ودرجة حرارة غازات الاحتراق عند مخرج غرفة الإشعاع Radiation Chamber، وزمن بقاء ذرات الوقود في غرفة احتراق الوقود في الفرن.

تتشكل الجسيمات الدقيقة المنطلقة من مداخل الأفران على أربعة أشكال، على النحو التالي: (Bhatia, A., 2012)

- السناج Soot، يظهر على شكل دخان أسود ينطلق من المدخنة، وتبلغ أبعاد جسيماته من 0.5 إلى 5 ميكرون.
- جسيمات الوقود غير المحترقة، وهي جزيئات موجودة أصلاً في أنواع الوقود العالية الكثافة كزيت الوقود الثقيل، وتنطلق من مدخنة الفرن عند حرق الوقود في درجة حرارة أدنى من 700 م°.

- الجسيمات الفحمية، تتشكل نتيجة تفاعلات تكسير الوقود السائل أثناء الحرق في درجة حرارة أعلى من 700 م°، ويتراوح حجمها بين 1 إلى 10 ميكرون.
- جسيمات دقيقة، حجمها أقل من 0.01 ميكرون، تهمل عادة لقلة كميتها وصغر حجمها.

بشكل عام تعتبر الجسيمات الدقيقة المنبعثة من الأفران قليلة نسبياً، حيث يتراوح تركيزها في غازات مداخن الأفران القديمة من 500-1000 ملليغرام/م³ قياسي، أما في الأفران الحديثة المزودة بحراقات ذات تصميم متطور فتتخفض إلى 200 ملليغرام/م³ قياسي، وتزيد قليلاً في غازات مداخن المراحل البخارية.

• المركبات العضوية الطيارة

تتكون المركبات العضوية الطيارة VOC من مجموعة مواد هيدروكربونية غازية تحتوي على ذرات الكربون، أهمها: (IFC, 2013)

✓ الهيدروجين

✓ الميثان

✓ مركبات عضوية خفيفة، مثل الإيثيلين، والبروبان، والبروبيلين، والبيوتين والبيوتيلين، والبنتان، والألكيلات، والبنزين والتولوين، والزايلين، والفينول، والعطريات التي تحتوي على تسع ذرات كربون.

✓ هيدروكربونات عطرية متعددة الحلقات PAH¹.

✓ غازات غير عضوية، مثل حمض فلور الماء، والأمونيا، وكبريتيد الهيدروجين H₂S،

تنبعث المركبات العضوية الطيارة على شكل غيوم هيدروكربونية متناثرة في الجو Fugitive Emissions، إما نتيجة تسرب المواد الهيدروكربونية من توصيلات

¹ Poly Aromatic Hydrocarbons

الأنابيب والصمامات، ومحاور المضخات والضواغط، أو من أحواض فصل الزيت ومعدات وحدات معالجة المياه الملوثة، ومن خزانات النفط الخام والمنتجات النفطية، وعمليات تفريغ وتعبئة حاويات النفط الخام والمشتقات النفطية. تمثل الانبعاثات المتسربة الناتجة عن تسرب المواد البترولية من المعدات في الوحدات الإنتاجية نسبة حوالي 40-50% من إجمالي كمية انبعاثات المركبات العضوية الطيارة في المصفاة، أما الانبعاثات الناتجة عن عمليات تعبئة وتفريغ حاويات النفط والمشتقات النفطية فتشكل 30-40%، كما تشكل الانبعاثات الناتجة عن وحدة معالجة المياه الملوثة حوالي 10-15%، والانبعاثات الناتجة عن خزانات النفط والمشتقات النفطية تشكل أيضاً نسبة 10-15%. يبين الجدول 1-2 توزيع نسب مصادر انبعاثات المركبات العضوية الطيارة في مصافي النفط.

الجدول 1-2: توزيع نسب مصادر انبعاثات المركبات العضوية الطيارة في مصافي النفط

النسبة المئوية	المصدر
50 - 40	تسرب المعدات
40 - 30	محطات تحميل وتفريغ المنتجات النفطية
15 - 10	خزانات النفط الخام والمنتجات النفطية
15 - 10	وحدات معالجة المياه الملوثة
10 - 5	مصادر أخرى

المصدر: IPIECA, 2012

تعتمد كمية المركبات العضوية الطيارة المنبعثة من الأوعية والصمامات ووصلات الربط بين الأنابيب والأوعية على عدة عوامل، أهمها: حجم المعدات، ونوعها، وعمرها، ومدى جودة مواد موانع التسرب المستخدمة، وحالة عمليات الصيانة الدورية والوقائية المطبقة عليها.

• كبريتيد الهيدروجين

يعتبر غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S من الغازات الخطرة نظراً لتأثيره الضار على صحة الإنسان.

يأتي غاز كبريتيد الهيدروجين إلى المصفاة من النفط الخام، ويتم نزعه من المنتجات في عمليات التكرير لضمان عدم وجوده في المنتجات النهائية أو انبعائه إلى الهواء الجوي.

يتم تحويل غاز كبريتيد الهيدروجين المنزوع من المنتجات البترولية إلى كبريت حر في وحدة استرجاع الكبريت¹.

2-1: مصادر الانبعاثات الهوائية في مصافي النفط

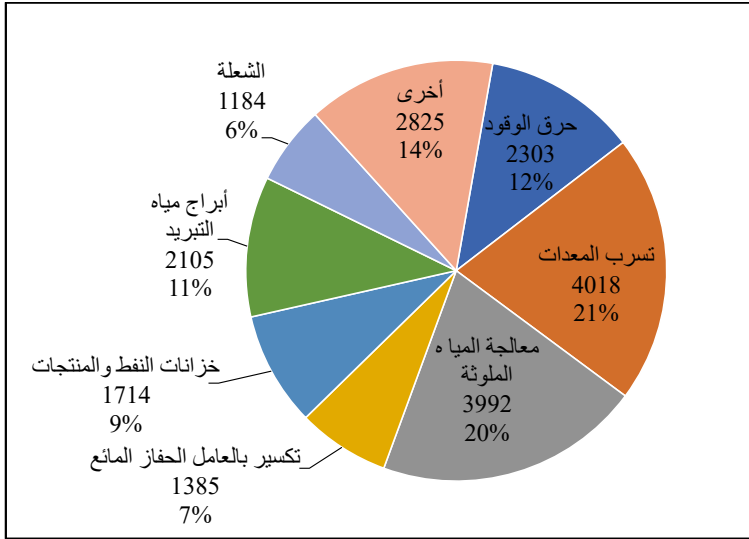
تتكون مصافي النفط من مجموعة من العمليات المعقدة التي تهدف إلى تحويل النفط الخام إلى مشتقات قابلة للاستهلاك. وتصنف مصادر الانبعاثات الهوائية في مصافي النفط ضمن مجموعات رئيسية على النحو التالي: (BP, 2015)

- حرق الوقود في أفران عمليات التكرير ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية
- عمليات التكرير
- وحدة معالجة المياه الملوثة
- خزانات النفط الخام والمنتجات
- الشعلة
- محطات تحميل وتفريغ المنتجات النفطية
- أبراج مياه التبريد

¹ Sulphur Recovery Unit

تختلف مصادر الانبعاثات في مصافي النفط من حيث كمية ونوع الملوثات التي تطلقها إلى الهواء الجوي. يبين الشكل 1-2 مصادر وكمية انبعاثات مصافي النفط الأمريكية عام 2010.

الشكل 1-2: مصادر وكمية انبعاثات مصافي النفط الأمريكية 2010
(طن/السنة)



المصدر: US-EPA, 2013

1-2-1: حرق الوقود

تستهلك مصفاة النفط كميات كبيرة من الوقود في أفران عمليات التكرير، وتشغيل محطات توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء.

تشكل الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود في أفران عمليات التكرير ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء الجزء الأكبر من كمية انبعاثات المصفاة، وهي أكاسيد الكربون، وأكاسيد النيتروجين، وأكاسيد الكبريت، والجسيمات الدقيقة، إضافة إلى الهيدروكربونات غير المحترقة.

1-2-2: عمليات التكرير

تشتمل عمليات التكرير على وحدات تطلق بعض الانبعاثات الملوثة للبيئة مثل عمليات تنشيط العامل الحفاز Catalyst Regeneration. وقد تتم هذه العمليات بشكل مستمر كعمليات التكسير بالعامل الحفاز المائع¹ FCC، حيث يتم تنشيط العامل الحفاز بحرق الكربون المترسب على سطحه بشكل مستمر، وفي وحدة تهذيب الناftا بالعامل الحفاز بطريقة التنشيط المستمر² CCR. وقد تتم عملية تنشيط العامل الحفاز بشكل متقطع على فترات زمنية تتراوح من بضعة أشهر وحتى عدة سنوات، مثل عمليات التكسير الهيدروجيني، أو المعالجة الهيدروجينية، أو الأزمرة.

قد تصدر بعض الانبعاثات الملوثة للبيئة من أجهزة التحكم بالانبعاثات في أوعية ومعدات عمليات التكرير. فعلى سبيل المثال تنبعث الأمونيا إلى الهواء الجوي من أجهزة التقاط الجسيمات الدقيقة الخارجة من أوعية تنشيط العامل الحفاز في وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، حيث تضاف الأمونيا لخفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين إلى الهواء الجوي، علاوة على فائدة تحسين كفاءة ترسيب الجسيمات الدقيقة في الأجهزة. (Stevenson, E., 2015)

1-2-3: عملية استرجاع الكبريت Sulfur Recovery Process

تجري عملية نزع غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S من المزيج الغازي المتشكل في عمليات المعالجة الهيدروجينية للمنتجات البترولية لتخليصها من الكبريت والشوائب الأخرى، بواسطة الامتصاص بمحلول الأمين، كأحادي إيثانول أمين MEA أو ثنائي إيثانول أمين³ DEA، ثم ينشط المحلول المشبع بالتسخين لينزع منه غاز كبريتيد الهيدروجين على شكل غاز حمضي مركز Acid Gas. بعد ذلك يتم تحويل هذا الغاز إلى كبريت حر Elemental sulfur وماء، في مفاعل كلاوس.

¹ Fluidized Catalytic Cracking

² Continuous Catalytic Reforming

³ Mono Ethanol Amine & Di Ethanol Amine

تتكون انبعاثات وحدة استرجاع الكبريت من الغازات الناتجة عن حرق الوقود في الفرن، ومن عمليات حرق الكربون المترسب على سطح العامل الحفاز أثناء عملية التنشيط، وهي أكاسيد الكربون، وأكاسيد النيتروجين، وأكاسيد الكبريت، والجسيمات الدقيقة، إضافة إلى مركبات عضوية طيارة، ومركبات كبريتية تنطلق من مدخنة تصريف الغازات الفائضة عن التفاعل Tail Gas، وانبعاثات متسربة ناتجة عن تسرب المواد الهيدروكربونية من الصمامات والتوصيلات والمضخات والضواغط. (Randall, D., & Coburn, J., 2010)

1-2-4: منظومة تخزين وتحميل وتفريغ النفط الخام والمنتجات النفطية

تعتبر خزانات النفط والمنتجات النفطية المنتشرة في المصفاة من المصادر المهمة للانبعاثات الغازية، التي تنتج في الحالات التالية:

- التبخر العادي بتأثير العوامل الجوية من الحواف الفاصلة بين جدار الخزان والسطح العائم.
- عمليات التفريغ والتعبئة من وإلى الخزان، فعند سحب المادة من الخزان تتكون الأبخرة في الفراغ الفاصل بين طبقة السائل وسطح الخزان، وأثناء إعادة التعبئة تراح طبقة الأبخرة إلى الجو لتحل محلها طبقة السائل.
- أثناء عملية تصفية الماء من الخزان.
- التسرب من سطح إحكام صمام الأمان أو صمامه الجانبي By-pass في الخزانات المضغوطة.

كما تتبعث المركبات العضوية الطيارة من عمليات تفريغ وتحميل حاويات النفط الخام والمشتقات النفطية. وتعتمد كمية الأبخرة المنبعثة على طريقة تعبئة الحاوية، فإذا كانت من الأعلى تكون الكمية كبيرة نظراً لارتطام المواد البترولية بقاع الحاوية وانتشارها في الفراغ. أما إذا كانت عملية التعبئة من أسفل الحاوية فتتخفض

كمية الانبعاثات بشكل كبير. كما تعتمد كمية الانبعاثات أيضاً على درجة تبخر المواد ودرجة حرارتها، إضافة إلى العوامل الجوية أثناء التعبئة أو التفريغ.

5-2-1: وحدة معالجة المياه الملوثة Waste Water Treatment

تعالج المياه الملوثة قبل خروجها من المصفاة في وحدة تشمل نوعين من المعالجة، أولية وثانوية. تتألف مرحلة المعالجة الأولية من مرحلتين، يتم في الأولى تمرير المياه الملوثة عبر فاصل API ببطء ليسمح للزيوت أن تطفو على سطح الفاصل، لتفصل ثم تحول إلى خزانات حيث يعاد تكريرها، بينما تترسب المواد الصلبة في الأسفل وتسحب إلى حوض تجميع الحمأة Sludge Collector. أما المرحلة الثانية فتتألف من عملية فصل كيميائية أو فيزيائية أو كلاهما معاً للزيوت المستحلبة في المياه. وفي المعالجة الثانوية يتم نزع الزيوت والملوثات العضوية بالطريقة البيولوجية.

تنطلق الانبعاثات الغازية من وحدة تجميع ومعالجة المياه الملوثة في مصفاة تكرير النفط من المصادر الرئيسية التالية:

- خطوط تجميع نقاط تصفية أو عية الوحدات الإنتاجية.
 - أحواض فصل الزيت عن الماء بالتناقل API Separators.
 - أحواض التعويم بالهواء Air Flotation.
 - أحواض تجميع مياه الأمطار وأحواض تجميع المياه السطحية.
- تعتبر المصادر الثلاثة الأولى من أكثر المصادر التي تطلق انبعاثات غازية، أما أحواض تجميع مياه الأمطار فتهمل كمية الانبعاثات التي تنطلق منها لأنها في الحالة العادية يجب أن تكون خالية من الزيوت، أما إذا احتوت على كمية من الزيوت الحرة فعندئذ يجب معالجتها في أحواض فصل الزيت عن الماء في وحدة معالجة المياه الملوثة.

تنطلق الأبخرة الهيدروكربونية من أحواض تجميع المياه الزيتية التي ترد من عمليات التكرير، وشبكة أنابيب تصفية خزانات النفط الخام والمنتجات، حيث تطفو طبقة من الزيوت أعلى الحوض وتتبخر بتأثير العوامل الجوية. كما تنطلق المركبات العضوية الطيارة من أحواض تجميع وتجفيف الحماة البترولية قبل نقلها للدفن أو الحرق خارج المصفاة.

1-2-6: منظومة تصريف الغازات والسوائل الخطرة Blowdown System

تتصل كافة المعدات في عميات التكرير بشبكة من خطوط الأنابيب، تستخدم لتصريف الغازات والسوائل الخطرة التي يتطلب تحريرها إلى خارج الوحدة بشكل آمن، سواء بطريقة يدوية أو آلية، وذلك عند توقيف الوحدات الإنتاجية وتفريغها لإجراء أعمال الصيانة، أو أثناء التوقيفات الطارئة. تتكون وحدة تصريف السوائل والغازات من مجموعة من الأوعية لفصل السوائل وترحيلها إلى خزانات خاصة لإعادة تكريرها. أما الغازات الخفيفة فترحل لحرقها في الشعلة.

تنطلق من منظومة تصريف الغازات والسوائل الخطرة انبعاثات غازية مكونة بشكل رئيسي من أكاسيد الكبريت والكربون والنيتروجين، وبعض الجسيمات الدقيقة، وذلك نتيجة حرق الغازات الهيدروكربونية في الشعلة. إضافة إلى مركبات عضوية طيارة ناتجة عن تسرب المواد البترولية من الصمامات والتوصيلات.

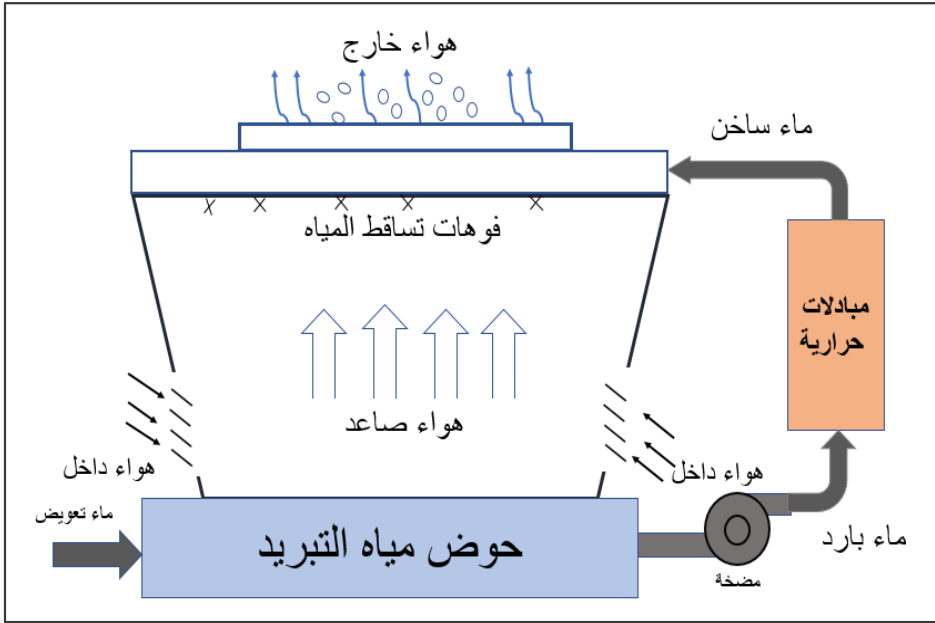
(Rao, R., & Krishna, K., 2012)

1-2-7: منظومة أبراج مياه التبريد

تستخدم المياه في عمليات التكرير لتبريد المواد النفطية بواسطة المبادلات الحرارية، ثم ترحل المياه الساخنة إلى أبراج التبريد لنزع الحرارة الممتصة، ومن ثم تعاد تبريدها في دورة مغلقة إلى عمليات التكرير. يبين الشكل 1-3 نموذج أبراج مياه التبريد في مصفاة النفط.

تنطلق من أعلى أبراج التبريد ذرات مياه دقيقة الحجم ناتجة عن تبخر المياه الساخنة، وعندما يحدث تسرب في أحد المبادلات الحرارية تنتقل المواد الهيدروكربونية إلى المياه فتتبخر مشكلة انبعاثات من المركبات العضوية الطيارة إلى الهواء الجوي.

الشكل 1-3: نموذج أبراج مياه التبريد في مصفاة النفط



المصدر: Stevenson, E., 2015

3-1: العوامل المؤثرة في كمية انبعاثات مصافي النفط

أشارت نتائج دراسة استقصائية نشرتها مجموعة البنك الدولي في عام 2013 إلى أن معدل الانبعاثات الهوائية لمصافي النفط في العالم تتفاوت كثيراً من مصفاة لأخرى تبعاً لعوامل عديدة. يبين الجدول 3-1 المعدل الوسطي لأهم انبعاثات مصافي النفط. (IFC, 2013)

الجدول 1-3: المعدل الوسطي لأهم انبعاثات مصافي النفط

طن/مليون طن نفط مكرر	الانبعاثات
40000-25000	ثاني أكسيد الكربون CO ₂
450-90	أكاسيد النيتروجين NO _x
150-60	الجسيمات الدقيقة PM
300-60	أكاسيد الكبريت
300-120	المركبات العضوية الطيارة VOC

المصدر: IFC, 2013

تعود أسباب التباين في كمية الانبعاثات التي تطلقها مصافي النفط إلى عوامل عديدة، أهمها: حجم الطاقة التكريرية للمصفاة، ونوع النفط الخام المكرر، وكثافة استهلاك الطاقة، ونوع عمليات التكرير، ومدى تطور التقنيات المستخدمة فيها، ونوع الوقود المستخدم في أفران عمليات التكرير ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية، والحالة الفنية لمعدات المصفاة، ومستوى برامج الصيانة الدورية والوقائية المطبقة على وحدات المصفاة، ومدى صرامة التشريعات النازمة لمواصفات المنتجات النهائية، علاوة على عوامل أخرى كالظروف المناخية، وتوفر أجهزة التحكم بالانبعاثات في عمليات التكرير. (Donnelly, A., et al., 2014)

1-3-1: نوع النفط الخام المكرر

يعتبر نوع النفط الخام المكرر من أكثر العوامل المؤثرة في تغير كمية الانبعاثات التي تطرحها المصفاة، حيث تختلف أنواع النفط الخام من حيث نسب المنتجات الخفيفة والثقيلة والشوائب التي تحتوي عليها، كنسبة الكبريت والمعادن وغيرها. فعندما يحتوي النفط الخام على نسبة أعلى من القطفات الثقيلة تحتاج المصفاة إلى وحدات تحويلية ذات طاقة أعلى لتحويل المخلفات الثقيلة غير المرغوبة إلى منتجات خفيفة عالية القيمة لتلبية متطلبات المستهلك. وبالتالي تزداد كمية انبعاثات

المصفاة من هذه الوحدات الإضافية. يبين الجدول 4-1 مقارنة بين جودة بعض أنواع النفط الخام. (Venezia, C., 2014)

الجدول 4-1: مقارنة بين جودة بعض أنواع النفط الخام

باكين Bakken	إيغيل فورد Eagle Ford	غرب تكساس WTI معتدل	بوني خفيف Boney Lt	
42	45	40	35	درجة الجودة API°
0.2	0.4	0.33	0.15	الكبريت % وزناً
نسب المنتجات % حجماً				
3.5	3.8	1.5	1.7	القطعة الخفيفة
35.7	40.1	29.8	22.2	النافثا C5-165 م°
13	12.6	14.9	15.8	وقود نفاثات 165-235 م°
17.8	17.1	23.5	37.4	ديزل 235-360 م°
24.8	21.2	22.8	18.3	زيت غاز فراغي 360-540 م°
5.2	5.2	7.5	4.6	بواقي +540 م°
تحليل النافثا C5-165 م° % حجماً				
23	21	38	51	نافثينات
13	11	12	12	عطريات

المصدر: Venezia, C., 2014

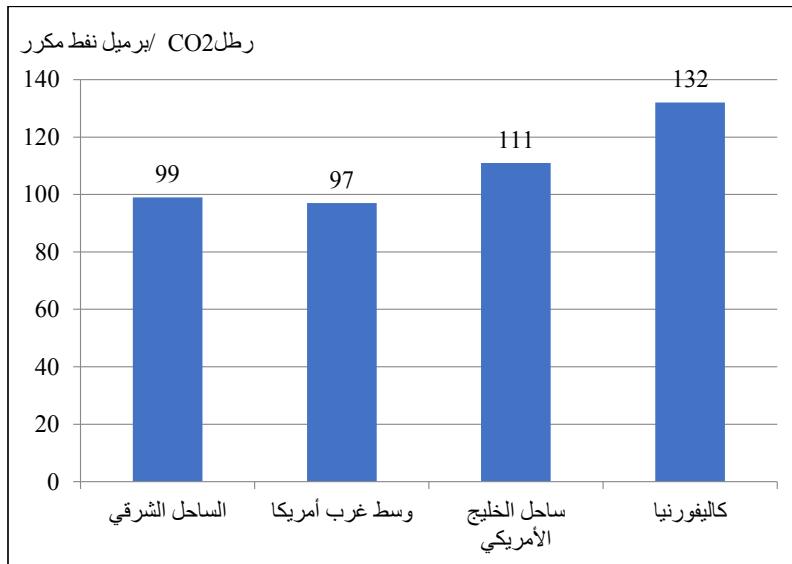
كما تزداد حاجة المصفاة إلى عمليات تعديل نسب العطريات والأولييفينات في الغازولين باختلاف نسبة وجودها في النفط الخام، وذلك لتلبية متطلبات المعايير الخاصة بإنتاج الوقود الأنظف التي تفرض حد أقصى لنسب العطريات والأولييفينات في الغازولين. (مكي، ع.، 2013)

في عام 2011 أجرت مؤسسة UCS¹ دراسة لتقييم معدل الانبعاثات التي تطلقها مصافي النفط في الولايات المتحدة الأمريكية إلى الهواء الجوي. وقد أظهرت نتائج الدراسة أن كمية الانبعاثات الغازية التي تطلقها مصافي ولاية كاليفورنيا هي

¹ Union of Concerned Scientists, Oakland, California, USA.

الأعلى مقارنة بمصافي الولايات الأمريكية الأخرى، ويعود السبب في ذلك إلى تكرير نفط ذي درجة كثافة أعلى، ويحتوي على نسبة كبريت أعلى، على الرغم من أنها تستخدم أنواعاً من الوقود ذات جودة عالية في الأفران والمرجل البخارية مقارنة بمصافي الولايات الأخرى. يبين الشكل 1-4 مقارنة بين معدل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون التي تطلقها مصافي النفط في بعض مناطق الولايات المتحدة الأمريكية.

الشكل 1-4: مقارنة بين معدل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون التي تطلقها مصافي النفط في بعض مناطق الولايات المتحدة الأمريكية



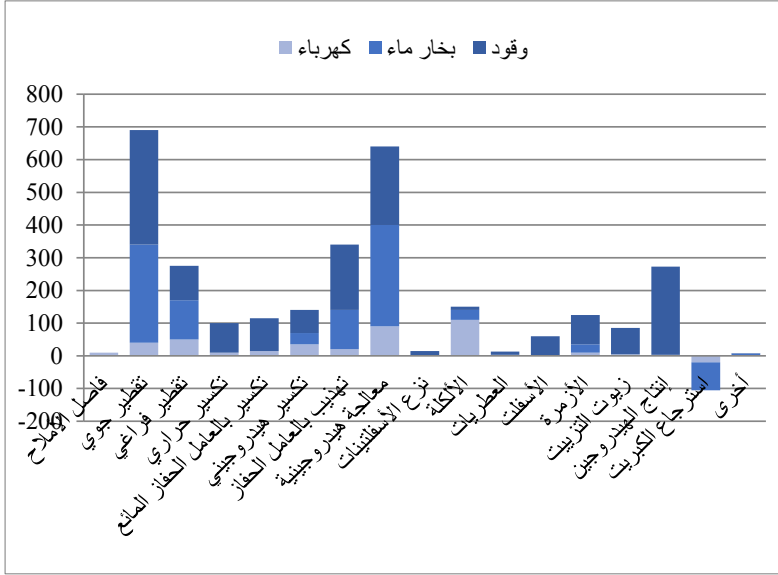
المصدر: UCS, 2011

1-3-2: نوع عمليات التكرير في المصفاة

تختلف كمية الغازات التي تطلقها المصفاة باختلاف نوع عمليات التكرير، فعلى سبيل المثال، عندما تعتمد المصفاة على عمليات التكسير بالعامل الحفاز المائع لتحويل القطرات الثقيلة إلى منتجات خفيفة فإنها تطلق كمية أكبر من الانبعاثات الغازية مقارنة بالمصفاة التي تعتمد على عمليات التكسير الهيدروجيني، أو المصفاة البسيطة التي لا تحتوي على وحدات تحويلية. (Donnelly, A., et al., 2014)

يبين الشكل 1-5 معدل استهلاك الطاقة في مصافي نفط الولايات المتحدة الأمريكية حسب نوع عمليات التكرير.

الشكل 1-5: معدل استهلاك الطاقة في مصافي الولايات المتحدة الأمريكية حسب نوع عمليات التكرير
(مليون غيغا جول/السنة)



المصدر: Barthe, P. et al., 2015

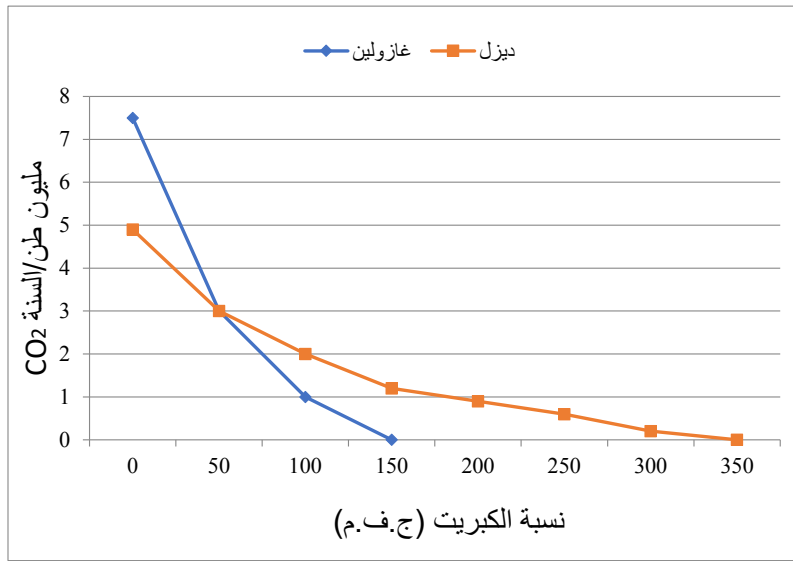
1-3-3: جودة مواصفات منتجات المصفاة

تختلف كمية ونوع انبعاثات مصافي النفط تبعاً لمستوى صرامة معايير جودة مواصفات المنتجات النفطية. فعلى سبيل المثال، عندما تلتزم المصفاة بإنتاج الوقود الأنظف وفقاً للمعايير العالمية المتطورة كوقود الديزل الحاوي على نسبة منخفضة جداً من الكبريت ULSD¹ فإنها تحتاج إلى طاقة عمليات معالجة هيدروجينية أعلى، والتي بدورها تطلق انبعاثات ملوثة للبيئة.

¹ Ultra-Low Sulphur Diesel

كما أشارت نتائج إحدى الدراسات إلى أن خفض كل كيلو غرام كبريت من المنتجات النفطية ينتج عنه انبعاث 10 كغ من غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 ، وبالتالي عندما ينخفض الحد الأقصى المسموح لمحتوى الكبريت في المواصفات القياسية للمنتجات النفطية تزداد كمية CO_2 المنبعثة من عمليات التكرير في المصفاة. يبين الشكل 1-6 العلاقة بين معدل انبعاثات المصفاة ودرجة صرامة المواصفات القياسية للغازولين والديزل.

الشكل 1-6: العلاقة بين معدل انبعاثات المصفاة ونسبة الكبريت في المواصفات القياسية للغازولين والديزل



المصدر: Reinaud, J., 2005

1-3-4: نوع الوقود المستخدم

تستهلك مصافي النفط كمية كبيرة من الوقود في أفران عمليات التكرير ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية. وتختلف نسبة الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود باختلاف نسب مكوناته من الكربون والهيدروجين، ونوع الهيدروكربونات الداخلة في تركيبه. (Mathpro, 2013) يبين الجدول 1-5 كمية غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 المنبعثة من الفرن حسب نوع الوقود.

الجدول 5-1: كمية CO₂ المنبعثة من الفرن حسب نوع الوقود

نوع الوقود	كغ CO ₂ /غالون وقود
بروبان	5.76
بيوتان	6.71
مزيج بروبان+ بيوتان	6.21
غازولين	8.89
كيروسين	9.75
زيت الوقود	11.79
فحم بترولي	14.70

المصدر: EIA, 2016

5-3-1: حجم الطاقة التكريرية

عندما ترتفع الطاقة التكريرية فمن الطبيعي أن تزداد معها كمية الانبعاثات التي تطرحها المصفاة، إلا أنه في بعض الحالات يمكن أن يكون لارتفاع الطاقة التكريرية دور إيجابي في خفض معدل الانبعاثات التي تطلقها المصفاة لكل طن من النفط المكرر، وذلك من خلال إتاحة الفرصة لتجميع مصادر الانبعاثات في نقطة واحدة بدلاً من تشتيتها في عدة مصادر، علاوة على توفر إمكانية تركيب أجهزة معالجة غازات احتراق الوقود قبل خروجها من المدخنة، أو تركيب معدات تصفية للانبعاثات الناتجة عن عمليات التكرير. فعلى سبيل المثال عندما ترتفع طاقة وحدة استرجاع الكبريت ينعكس ذلك على كمية بعض الانبعاثات التي تنطلق من الوحدة نتيجة تعديل كفاءة استرجاع الكبريت، وبالتالي ينعكس ذلك على نسبة الملوثات المنبعثة من المدخنة، وأهمها نسبة غاز كبريتيد الهيدروجين. وهذا ما دفع وكالة حماية البيئة الأمريكية في عام 2008 إلى تحديد قيم مختلفة لشروط عمل وحدات استرجاع الكبريت في مصافي النفط تبعاً لطاقتها الإنتاجية. يبين الجدول 6-1 كفاءة وحدة استرجاع الكبريت تبعاً للطاقة الإنتاجية للوحدة. (EPA, 2008)

الجدول 1-6: كفاءة استرجاع الكبريت وفقاً للطاقة الإنتاجية للوحدة

الطاقة الإنتاجية (طن/اليوم)	كفاءة استرجاع الكبريت (%)
أعلى من 20	98.7
20-5	96
5-1	94

المصدر: EPA, 2008

1-3-6: توفر نظم قياس ومراقبة كمية انبعاثات المصفاة

إن وجود أجهزة مراقبة وقياس كمية الانبعاثات التي تطلقها المصفاة يساهم بشكل فعال في تحديد مواطن الخلل وتحفيز إدارة المصفاة لاتخاذ القرارات اللازمة لضبط الكميات الزائدة. (Song, L., & Hansmeyer, D., 2015)

1-4: انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط

لا تقتصر انعكاسات تطبيق تشريعات خفض الانبعاثات على تحسين جودة الهواء الجوي والحد من آثارها على الإنسان والبيئة، بل تؤثر أيضاً على ربحية صناعة التكرير، وذلك نتيجة الأعباء التي تنتج عن التكاليف اللازمة لاتخاذ الإجراءات الممكنة للحد من الانبعاثات، وتركيب معدات المعالجة التي تمكنها من الامتثال لمتطلبات التشريعات البيئية. إلا أنه لا بد من الإشارة إلى أن لإجراءات خفض الانبعاثات فوائد على كل من التجمعات السكنية المحيطة بموقع المصفاة، وعلى صناعة تكرير النفط بشكل عام، حيث أن معظم الانبعاثات تعتبر مواد ذات قيمة ثمينة يمكن استرداد جزء كبير من تكاليف استرجاعها، بإعادة استخدامها بدلاً من طرحها إلى الهواء الجوي. وفيما يلي عرض لأهم انعكاسات تطبيق تقنيات خفض الانبعاثات الغازية في مصافي النفط.

1-4-1: انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط على صحة الإنسان

يتعرض الإنسان للملوثات الهوائية الخطرة بشكل مباشر من خلال الاستنشاق، أو غير مباشر عن طريق تناول الطعام والمياه، حيث من الممكن أن تنتقل الملوثات من الهواء إلى الماء عن طريق التحلل الهوائي، أو بواسطة التبادل الغازي بين سطح الماء والهواء، كما يمكن أن تترسب الملوثات على المزروعات والتربة، لهذا فإن أي تخفيض في كمية الانبعاثات يساهم في تخفيض أخطار الإصابة بالأمراض.

2-4-1: انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط على البيئة

تشير بعض الدراسات إلى وجود دور لانبعاثات مصافي النفط على تشكل الروائح الكريهة التي تسبب إزعاج التجمعات السكنية المجاورة للمصفاة، وخصوصاً في الفترات التي يرتفع فيها تركيز الانبعاثات في الهواء الجوي عندما تكون سرعة الرياح منخفضة. (Wakefield, B., 2007)

3-4-1: انعكاسات خفض الانبعاثات على ربحية صناعة التكرير

إن لتلبية متطلبات التشريعات البيئية الخاصة بخفض الانبعاثات الغازية انعكاسات إيجابية على مصافي النفط، فعلى الرغم من الأعباء المالية التي تتحملها المصفاة عند تطبيق برامج وإجراءات خفض الانبعاثات، إلا أنها يمكن أن تساهم في تحسين الربحية من خلال استرجاع الغازات الهيدروكربونية، والاستفادة منها بدلاً من طرحها إلى الهواء الجوي أو حرقها، علاوة على القيمة المعنوية التي تكتسبها المصفاة لدى الجمهور والتجمعات السكنية المجاورة نتيجة التزامها بتشريعات حماية البيئة من التلوث.

الفصل الثاني

تقنيات خفض انبعاثات مصابي النفط



2-1: تقنيات خفض انبعاثات حرق الوقود

- 2-1-1: تقنيات خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت
- 2-1-2: تقنيات خفض انبعاثات الكربون
- 2-1-3: تقنيات خفض أكاسيد النيتروجين
- 2-1-4: تقنيات خفض انبعاث الجسيمات الدقيقة

2-2: تقنيات خفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز المانع

2-3: تقنيات خفض انبعاثات وحدات استرجاع الكبريت

2-4: تقنيات خفض انبعاثات شبكات خطوط الأنابيب والمعدات

2-5: خفض انبعاثات خزانات النفط الخام والمنتجات النفطية

2-6: تقنيات خفض انبعاثات منظومة تحميل وتفريغ المنتجات

2-7: تقنيات خفض الانبعاثات الهيدروكربونية من وحدة معالجة المياه الملوثة

2-8: تقنيات خفض انبعاثات حرق الغازات في الشعلة

2-9: إدارة الروائح المنبعثة من المصفاة

2-10: عوامل اختيار التقنية الأنسب لخفض انبعاثات مصافي النفط

الفصل الثاني

تقنيات خفض انبعاثات مصافي النفط

مقدمة

أدت الأعباء التي فرضتها التشريعات البيئية على صناعة تكرير النفط إلى دفع القائمين على هذه الصناعة نحو البحث عن أفضل التقنيات والإجراءات التي تساهم في خفض الانبعاثات بأقل التكاليف الممكنة.

يتضمن هذا الفصل عرضاً لتقنيات خفض كل من الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود في أفران ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية، وانبعاثات المركبات العضوية الطيارة. إضافة إلى انبعاثات عمليات تنشيط العامل الحفاز في وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، وحرق الغازات على الشعلة. كما يتناول أهم الخيارات المتاحة لتنفيذ كل تقنية، وتكاليف تطبيقها، وشروط نجاحها، وأهم العوامل المؤثرة في اختيار التقنية الأنسب لظروف المصفاة.

2-1: تقنيات خفض انبعاثات حرق الوقود

تصنف تقنيات خفض الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود في مجموعتين، تتضمن المجموعة الأولى تقنيات ما قبل حرق الوقود، مثل تطبيق برنامج إدارة الطاقة، واستبدال نوع الوقود المستخدم أو تحسين مواصفاته. أما المجموعة الثانية فتتضمن تقنيات ما بعد حرق الوقود، كمعالجة غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة.

يتكون برنامج إدارة الطاقة في مصافي النفط من مجموعة إجراءات تهدف إلى ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها، في كافة المواقع والمعدات، بما

يؤدي إلى خفض الانبعاثات التي يمكن أن تتشكل من استهلاك الطاقة وحرق الوقود، فضلاً عن دورها في المحافظة على الموارد الطبيعية، وتوفير التكاليف الباهظة الناتجة عن خفض كمية الوقود المستهلك. من أهم الإجراءات المتبعة لترشيد استهلاك الطاقة في مصافي النفط ما يلي: (مكي، ع، 2012)

- تحسين التبادل الحراري في الوحدات الإنتاجية.
- تحسين التكامل بين الوحدات لتفادي التبريد المرحلي بين العمليات المتتالية.
- استرجاع المخلفات الغازية واستخدامها كوقود في المصفاة بدلاً من حرقها في منظومة الشعلة.
- الاستفادة من الحرارة الضائعة في غازات المداخل لتسخين الهواء الداخل إلى الحراقات أو لإنتاج بخار الماء.
- تنظيم ظروف تشغيل العمليات التي تساهم في خفض استهلاك الطاقة، كتنظيف المبادلات الحرارية لإزالة الرواسب التي تعيق التبادل الحراري، وتنظيم نسبة الأوكسجين في غازات المداخل لتحسين مردود اشتعال الوقود.
- تطبيق تقنية التوليد المشترك لتوليد الطاقة الكهربائية وإنتاج بخار الماء في منظومة واحدة، بهدف تحسين الكفاءة الحرارية، وبالتالي خفض الانبعاثات الناتجة إلى قيمة أدنى مقارنة بحالة استخدام العمليتين منفصلتين، وذلك نتيجة خفض استهلاك الوقود، من خلال الاستفادة من الحرارة الضائعة من محطة توليد الطاقة الكهربائية في تسخين المياه الداخلة إلى المنظومة، وفي توليد بخار الماء.

تعتمد كمية ونوع انبعاثات أكاسيد الكربون الناتجة عن حرق الوقود في أفران العمليات ومحطات توليد البخار والطاقة الكهربائية على نوع الوقود ومحتواه من الكربون والشوائب، فعند استبدال الوقود بآخر يحتوي على ذرات كربون أقل وهيدروجين أكثر ينتج عن ذلك خفض في كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعثة من

المدخنة، فعلى سبيل المثال، يساهم استخدام الغاز الطبيعي كوقود في أفران العمليات ومحطات توليد الطاقة الكهربائية في خفض كمية انبعاثات المصفاة نظراً لاحتوائه على ذرات كربون أقل مقارنةً بزيت الوقود.

يمكن خفض انبعاثات حرق الوقود في الأفران بتعديل مواصفات الوقود المستخدم، فعلى سبيل المثال يمكن إنتاج غاز غني بالهيدروجين، باستخدام تقنية التحويل إلى غاز، أو التغويز Gasification، حيث يتم تحويل الوقود الثقيل، كالفحم والمخلفات الثقيلة لعمليات تقطير النفط الخام، إلى غاز اصطناعي Syngas يتكون من هيدروجين وأول أكسيد الكربون CO، ثم يحول غاز أول أكسيد الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون CO₂ حيث يتم فصله للحصول على وقود غني بالهيدروجين. (Rameshni, M., 2011)

تجدر الإشارة إلى أن استخدام وقود غازي يحتوي على نسبة عالية من الهيدروجين يرافقه العديد من الصعوبات يجب أخذها بعين الاعتبار، كضرورة إعادة تصميم الحراقات Burners بما يتناسب مع تعديل نسبة الهيدروجين في الوقود، وارتفاع كمية الحرارة الناتجة عن حرق الهيدروجين، واضطراب شكل اللهب. وفيما يلي أهم التقنيات المتبعة لخفض انبعاثات الوقود في مصافي النفط.

2-1-1: تقنيات خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت

يمكن خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت الناتجة عن حرق الوقود في الأفران ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء من خلال ثلاث طرق. تعتمد الطريقة الأولى على مبدأ خفض كمية الكبريت في الوقود الداخل إلى الوحدة، وذلك من خلال عمليات المعالجة الهيدروجينية، وتعتمد الثانية على مبدأ استبدال الوقود بوقود من نوع آخر يحتوي على نسبة أخفض من الكبريت، كالغاز الطبيعي. أما الطريقة الثالثة فتعتمد على مبدأ معالجة الغازات الناتجة عن احتراق الوقود قبل خروجها من المدخنة.

(Bashammakh, M., 2011)

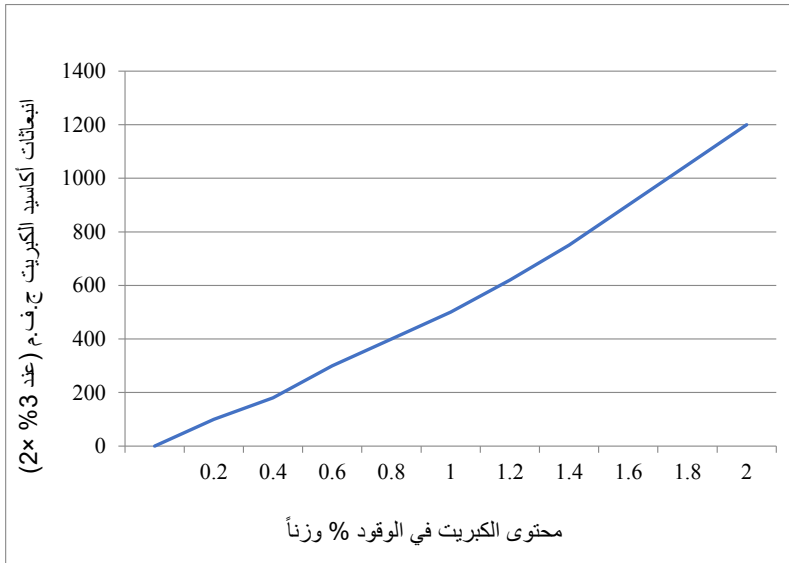
• تكرير نفط خام يحتوي على نسبة كبريت منخفضة

يمكن خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت التي تطلقها المصفاة بتكرير أنواع من النفط الخام تحتوي على نسبة كبريت منخفضة. إلا أن هذا الخيار يحتاج إلى دراسة جدوى اقتصادية للموازنة بين كلفة تغيير نوع النفط الخام المكرر، وكلفة عمليات نزع الكبريت من المنتجات.

• نزع الكبريت من الوقود

تناسب كمية انبعاثات أكاسيد الكبريت في غازات مداخن المصفاة طردياً مع نسبة الكبريت في الوقود المستخدم. يبين الشكل 1-2 العلاقة بين نسبة الكبريت في الوقود وكمية أكاسيد الكبريت في غازات المدخنة (CleaverBrooks, 2010)

الشكل 1-2: العلاقة بين نسبة الكبريت في الوقود وكمية أكاسيد الكبريت في غازات المدخنة



المصدر: CleaverBrooks, 2010

يمكن خفض نسبة الكبريت في الوقود المستخدم في المصفاة بتطبيق تقنيات المعالجة الهيدروجينية لنزع المركبات الكبريتية، إلا أن هذه الطريقة تعتبر مكلفة مقارنة بالطرق الأخرى.

● معالجة غازات المدخنة

تصنف تقنيات نزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة في ثلاث مجموعات، تقنيات جافة، وشبه جافة، ورطبة.

تعتمد طرق المعالجة الجافة على استخدام البيكربونات، أو الكلس الحي (الجير الحي)، وتتميز ببساطة تركيبها وسهولة تشغيلها، ويمكن تركيبها في مساحة صغيرة، كما أن تكاليف صيانتها منخفضة، إلا أن من مساوئها محدودة طاقتها الاستيعابية عندما يبلغ تركيز الملوثات في غازات المدخنة إلى مستويات مرتفعة، فضلاً عن انخفاض مردودها، لذلك لا تصلح في حالات تلبية متطلبات التشريعات البيئية الصارمة التي تفرض نسب ملوثات منخفضة جداً في غازات المداخن. ومن المساوئ الأخرى لهذه العملية أنها تخلف كميات كبيرة من الرواسب التي تحتاج إلى تكاليف باهظة للتخلص منها.

طورت طريقة المعالجة الجافة إلى الطريقة شبه الجافة لتعزيز التفاعل الكيميائي بين غازات المدخنة ذات الطبيعة الحامضية وبين الكلس الحي الذي يحقن في المدخنة، وذلك من خلال حقن الماء لتنظيم درجة حرارة ونسبة رطوبة الغازات. ويتم حقن الماء إما بشكل مباشر أو ممزوجاً مع الكلس الحي. وتتميز هذه الطريقة عن الطريقة الجافة بارتفاع كفاءتها، وبساطة تشغيلها، وانخفاض نسبة الرواسب التي تنتج عنها. كما تحتاج إلى مساحة أصغر لتركيبها.

أما الطريقة الرطبة فتعتمد على امتصاص أكسيد الكبريت من غازات المدخنة بواسطة محلول قلوي، كالصودا الكاوية أو محلول معتدل. وعلى الرغم من ارتفاع كفاءة هذه الطريقة، وقدرتها على تحمل تغيرات واسعة في نسبة الملوثات في الغازات الداخلة، إلا أن من مساوئها ارتفاع تكاليف الإنشاء والتشغيل، إضافة إلى تكاليف معالجة المياه الملوثة الناتجة عنها. (Ramboll, 2014). يبين الجدول 1-2 مقارنة طرق معالجة غازات المدخنة.

كما تم تحسين كفاءة عمليات نزع أكاسيد الكبريت من غازات الاحتراق اعتماداً على مبدأ تمرير الغازات عبر محاليل كيميائية/أو عامل حفاز، وذلك لتحسين الأداء وخفض تكاليف التشغيل. وتختلف هذه الطرق فيما بينها من حيث إمكانية إعادة تنشيط المحلول الكيميائي أو العامل الحفاز. فبعض العمليات لا تحتوي على معدات تنشيط، وبعضها الآخر يحتوي على معدات فصل الغاز من المحلول وإعادة استخدامه في العملية مرة أخرى. والطريقة الثانية أكثر انتشاراً، حيث أدخلت عليها تطورات مهمة في السنوات الأخيرة، وأصبحت أقل تعقيداً مما كانت عليه.

الجدول 2-1: مقارنة طرق معالجة غازات المدخنة

الخصائص	جافة	شبه جافة	جافة ورطبة	رطبة
كفاءة التشغيل	√√	√√√	√√	√√
إمكانية التعامل مع تغيرات تركيز الملوثات في اللقيم	√	√√	√√√	√√√
مرونة تلبية متطلبات التسرعات الصارمة	√	√	√√√	√√√
انخفاض معدل استهلاك المواد الكيميائية	√	√√	√√√	√√√
انخفاض استهلاك الطاقة الكهربائية	√√√	√√√	√√	√√
انخفاض نسبة الرواسب	√	√√	√√√	√√√

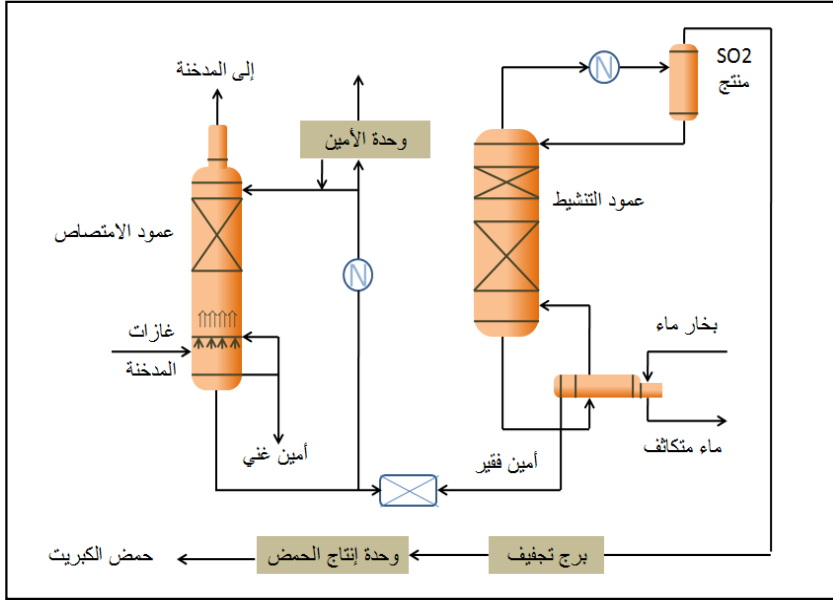
√√√ جيد جداً، √√ جيد، √ مقبول
المصدر: Ramboll, 2014

أحد أكثر الأمثلة انتشاراً لتقنية نزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة بالتنشيط عملية كانسولف Cansolv، تأتي بعدها طريقة لابسورب Labsorb.

تتميز طريقة كانسولف باستخدام محلول أمين Amine Solution لامتصاص ثاني أكسيد الكبريت، حيث يتم إشباع غازات الاحتراق بإمرارها عبر وعاء يحتوي على الماء قبل إدخالها إلى عمود الامتصاص الذي يتم فيه تماس الغازات مع محلول الأمين، ويتم تنشيط محلول الأمين وتنظيفه من الأملاح المترسبة ليعاد استخدامه مرة

أخرى، بينما يؤخذ غاز ثاني أكسيد الكبريت المشبع بالماء إلى برج تجفيف ثم إلى وحدة إنتاج حمض الكبريت. يبين الشكل 2-2 سير عملية كانسولف لامتصاص غاز ثاني أكسيد الكبريت من غازات المدخنة.

الشكل 2-2: سير عملية كانسولف لامتصاص غاز ثاني أكسيد الكبريت من غازات المدخنة



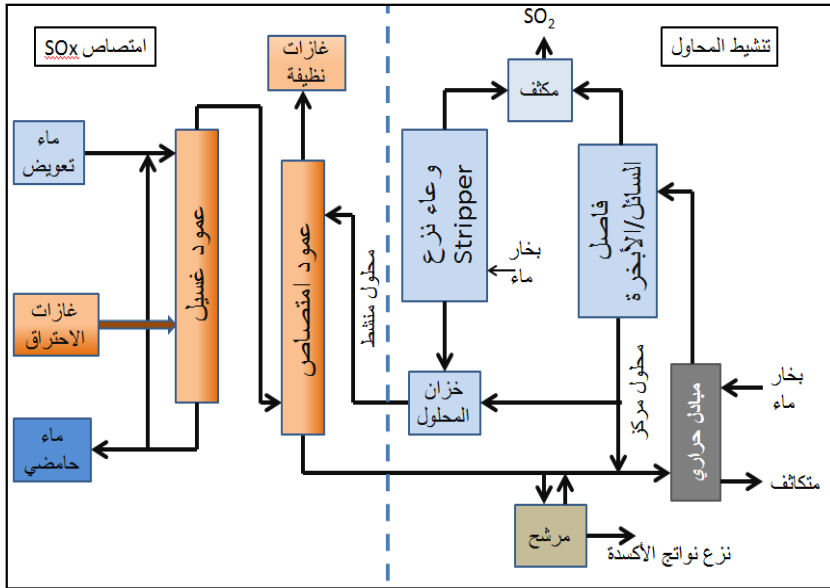
المصدر: Barthe, P., 2015

أما عملية **لابسورب** فتستخدم محلول فوسفات الصوديوم المائي كمادة امتصاص لأكاسيد الكبريت، ويتم تنشيط محلول الامتصاص بواسطة بخار الماء المنخفض الضغط. وتصل نقاوة غاز ثاني أكسيد الكبريت الناتج من هذه العملية إلى أعلى من 90%، حيث يستخدم كلقيم في وحدة استرجاع الكبريت SRU، أو في وحدة إنتاج حمض الكبريت.

تتكون عملية لابسورب من مرحلتين، مرحلة الامتصاص ومرحلة التنشيط. تدخل غازات الاحتراق في المرحلة الأولى إلى عمود غسيل يحتوي على ماء منخفض درجة الحموضة PH لفصل الجسيمات الدقيقة قبل إدخالها إلى عمود الامتصاص الذي يتم فيه امتصاص أكاسيد الكبريت بمحلول فوسفات الصوديوم المائي المنشط، وتخرج

غازات الاحتراق من أعلى وعاء الامتصاص نظيفة خالية من أكاسيد الكبريت. أما المحلول المشبع بأكاسيد الكبريت فيسحب من أسفل وعاء الامتصاص إلى مرحلة التنشيط لفصل أكاسيد الكبريت على شكل غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 ، ويسحب لاستخدامه في صناعة حمض الكبريت، بينما يعاد استخدام المحلول المنشط إلى وعاء الامتصاص. يبين الشكل 2-3 مخطط عملية لابسورب لنزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة.

الشكل 2-3: مخطط عملية لابسورب لنزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة



المصدر: Barthe, P., 2015

2-1-2: تقنيات خفض انبعاثات الكربون

يمكن خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن حرق الوقود في الأفران بتطبيق عدة خيارات، منها ما يطبق في مرحلة ما قبل احتراق الوقود ومنها ما يطبق بعد مرحلة الاحتراق.

- إجراءات ما قبل حرق الوقود، كترشيد استهلاك الوقود وتحسين كفاءة استخدامه، أو تغيير نوع الوقود المستخدم لآخر يحتوي على نسبة كربون أدنى،

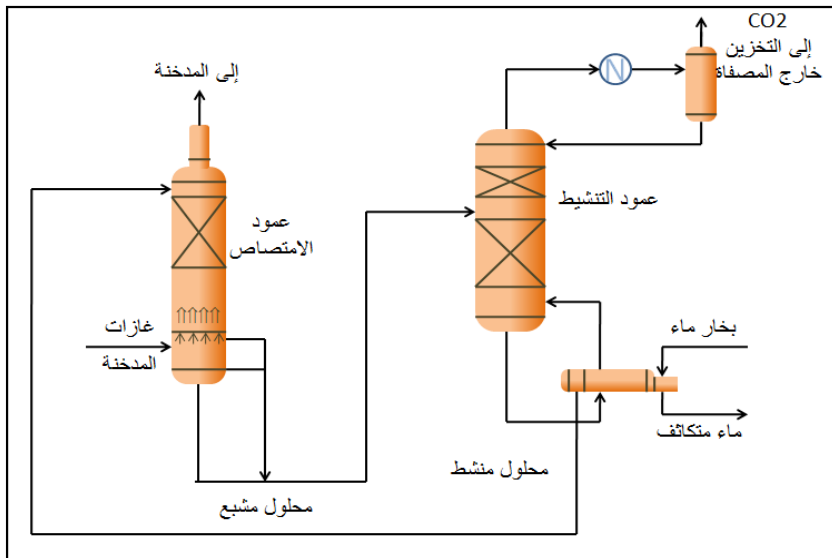
كاستبدال الفحم بالغاز الطبيعي، أو تحويل الوقود الثقيل إلى غاز.

- **إجراءات ما بعد حرق الوقود، وهي العمليات التي تعتمد على مبدأ معالجة غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة**

تعتمد أجهزة معالجة غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة لنزع غاز ثاني أكسيد الكربون على مبدأ الامتصاص بواسطة محلول كيميائي، ثم يعاد فصل الغاز الممتص من المحلول ليحول إلى مستودعات التخزين، أو التصريف خارج المصفاة، إما في أعماق المحيطات أو الطبقات المائية العميقة، أو مكامن آبار النفط والغاز الناضبة، أو التخزين في حاويات محكمة الإغلاق. يبين **الشكل 2-4** مخطط عملية فصل غاز ثاني أكسيد الكربون من غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة.

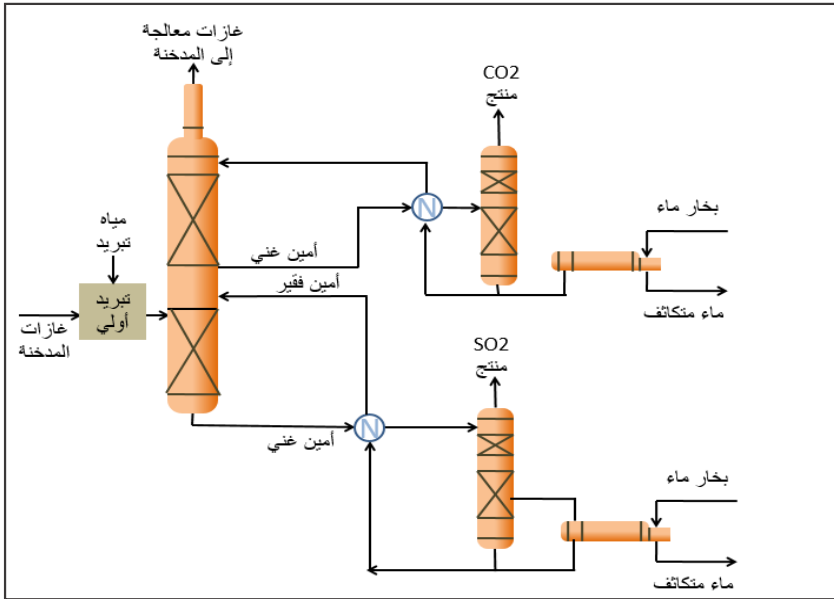
تأتي مشكلة ارتفاع تكاليف معالجة غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة في مقدمة مساوئ تطبيق هذه التقنية، وخصوصاً عندما تكون أفران عمليات المصفاة منتشرة في مناطق متباعدة. كما تختلف الكلفة من مصفاة لأخرى تبعاً لعدد الأفران وتوزعها ومدى توفر إمكانية دمج عدة مداخل في مدخنة مشتركة.

الشكل 2-4: فصل غاز ثاني أكسيد الكربون من غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة



تجدر الإشارة إلى أن شركة كانسولف تكنولوجيز¹ المملوكة لشركة شل غلوبال سوليوشنز الدولية²، وهي إحدى الشركات التابعة لمجموعة شل دوتش رويال³ قد طورت طريقة لمعالجة غازات المدخنة من خلال تعديل نوع محلول الامتصاص لنزع أكاسيد الكبريت إضافة إلى غاز ثاني أكسيد الكربون في عملية متكاملة. ويبين الشكل 2-5 مخطط وحدة كانسولف المتكاملة لنزع أكاسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون من غازات المدخنة. (Herzog, H., 1999)

الشكل 2-5: وحدة كانسولف المتكاملة لنزع أكاسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون من غازات المدخنة



المصدر: Rameshni, M., 2011

3-1-2: تقنيات خفض أكاسيد النيتروجين NOx

تختلف تقنيات خفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين NOx من حيث مكان تركيب التجهيزات، فمنها ما يعتمد على تعديل ظروف تشغيل المعدات قبل احتراق الوقود أو

¹ Cansolv Technologies Inc.

² Shell Global Solution International

³ Shell Dutch Royal

بعده، أو بتعديل معدات الاحتراق نفسها. ويمكن تطبيق أكثر من طريقة في آن واحد لتحسين كفاءة العملية. وفيما يلي أهم هذه التقنيات:

• تعديل ظروف التشغيل قبل الاحتراق

يمكن تعديل ظروف التشغيل قبل الاحتراق من خلال تغيير نوع الوقود المستخدم في أفران العمليات والمراجل، كاستعمال الغاز الطبيعي بدلاً من الوقود الثقيل، أو نزع المركبات النيتروجينية من الوقود بعمليات المعالجة الهيدروجينية، إلا أنها عمليات مكلفة جداً.

• تعديل معدات الاحتراق

تعتمد تقنية تعديل معدات الاحتراق على تغيير نظام معدات حرق الوقود، وتتكون من الخيارات التالية: (Brajkovic, M., et al., 2014)

✓ استخدام حراقات متطورة، تساعد على خفض تشكّل أكاسيد النيتروجين Low NOx Burners، اعتماداً على مبدأ إدخال الهواء إلى الحراق بشكل مرحلي لخفض زمن بقاء الأوكسجين في منطقة الاحتراق الأولية، وبالتالي خفض درجة حرارة اللهب، وهذه التقنية لا تحتاج إلى تكاليف باهظة، ويكفي استبدال الحراقات القديمة بأخرى جديدة، حيث تتراوح درجة خفض بهذه الطريقة من 40 - 75%، وأحياناً تصل إلى 90%. يبين الشكل 2-6 مبدأ عمل الحراق منخفض أكاسيد النيتروجين.

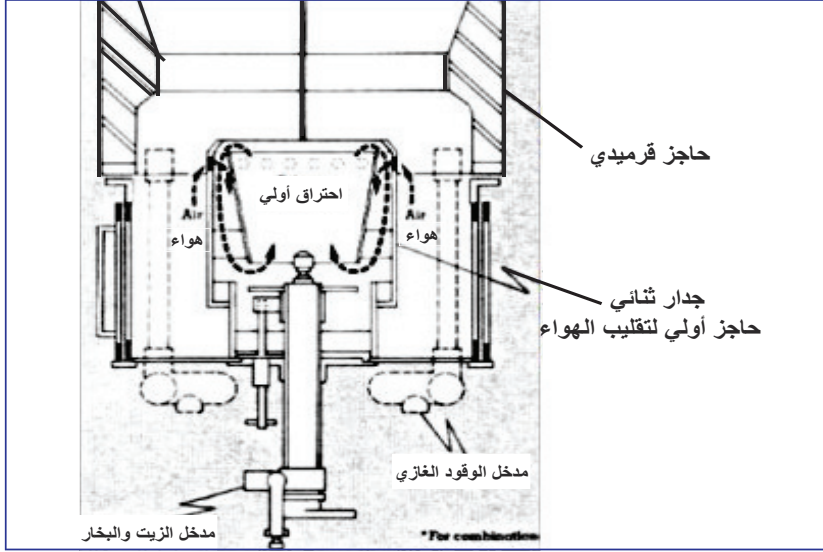
✓ تقليب غازات المدخنة، FGR¹ وتعتمد على مبدأ استخدام غازات المدخنة كهواء احتراق في حراقات الفرن، بدلاً من الهواء الجوي الذي يحتوي على كمية أعلى من النيتروجين.

لا تقتصر فوائد تقليب غازات المدخنة على خفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين، بل تساهم أيضاً في خفض درجة حرارة اللهب، ورفع كفاءة

¹ Flue Gas Recirculation

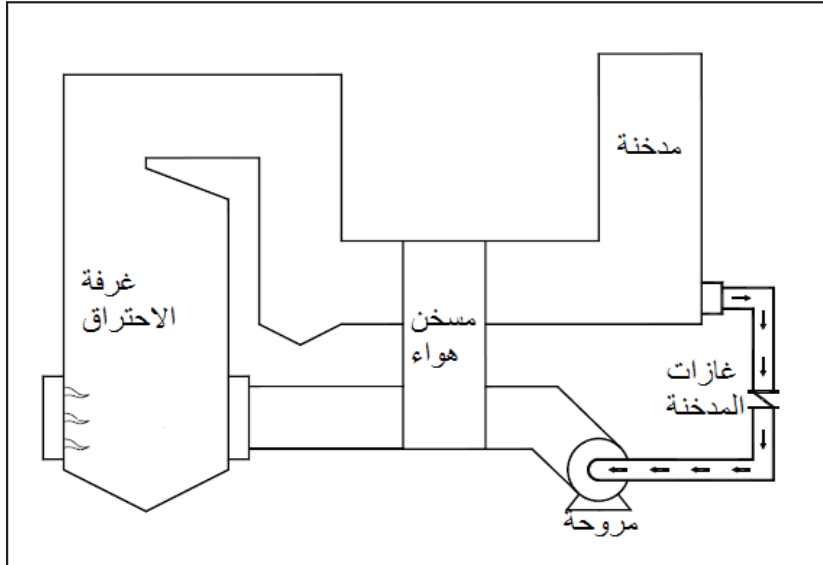
الاحتراق، وخفض استهلاك الوقود. يبين الشكل 7-2 تقليب غازات الاحتراق لخفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين من الفرن.

الشكل 6-2: مبدأ عمل الحراق منخفض أكاسيد النيتروجين



المصدر: Ron, D., et al., 2015

الشكل 7-2: تقليب غازات الاحتراق لخفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين من الأفران



المصدر: Ron, D., et al., 2015

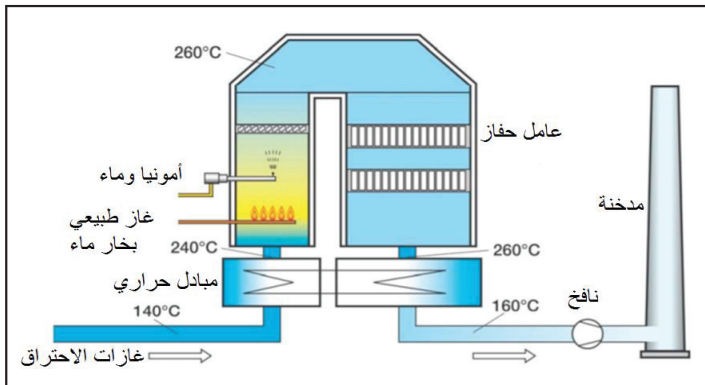
• نزع النيتروجين من غازات المدخنة

يمكن نزع أكاسيد النيتروجين من غازات مداخن الأفران بطريقتين، الأولى طريقة خفض الانتقائي بدون عامل حفاز SNCR¹، والثانية طريقة خفض الانتقائي بالعامل الحفاز SCR². إلا أن هذه التقنيات لا يمكن تطبيقها إلا في الوحدات الجديدة، لأنها تحتاج إلى مساحة واسعة لتركيب المعدات.

✓ خفض الانتقائي بالعامل الحفاز SCR

تعتمد طريقة خفض الانتقائي بالعامل الحفاز على مبدأ ملاسمة غازات المدخنة بغاز الأمونيا في سرير يحتوي على عامل حفاز Catalyst Bed، حيث تتحول الأكاسيد إلى نيتروجين وبخار ماء. تتطلب هذه الطريقة ضبط كمية غاز الأمونيا في الغازات الداخلة إلى سرير العامل الحفاز، فعلى الرغم من أن زيادة كمية الأمونيا الداخلة إلى السرير يساهم في تحسين كفاءة التحويل إلا أن لها بعض المحاذير، حيث أن غاز الأمونيا غير المتفاعل المتبقي في غازات المدخنة يمكن أن يؤدي وحدات المعالجة اللاحقة، كما يمكن أن يسبب تشكيل الضباب الدخاني. يبين الشكل 8-2 عملية خفض النيتروجين بالعامل الحفاز من غازات المدخنة.

الشكل 8-2: عملية خفض النيتروجين بالعامل الحفاز من غازات المدخنة



المصدر: Heide, B., 2008

¹ Selective Non-Catalytic Reduction

² Selective Catalytic Reduction

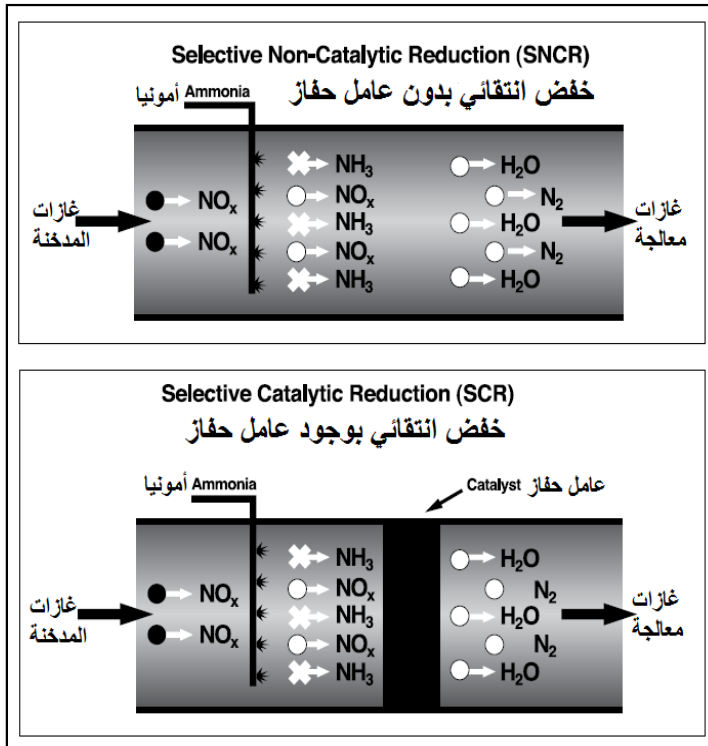
✓ الخفض الانتقائي بدون عامل حفاز SNCR

تتم عملية الخفض الانتقائي لأكاسيد النيتروجين بدون عامل حفاز في الطور الغازي، وبدرجات حرارة عالية، إلا أن فعاليتها أدنى من طريقة الخفض الانتقائي بالعامل الحفاز. ويمكن تحسين فعالية هذه التقنية برفع معدل المزج بين الأمونيا أو اليوريا وبين غازات المدخنة.

على الرغم من ارتفاع تكاليف الإنشاء والتشغيل، تتميز طريقة الخفض الانتقائي بالعامل الحفاز SCR بكفاءتها العالية مقارنة بالطرق الأخرى التي لا تستخدم العامل الحفاز SNCR. يبين الشكل 2-9 مقارنة بين عمليتي الخفض الانتقائي لأكاسيد النيتروجين من غازات المدخنة.

(CleaverBrook, 2010)

الشكل 2-9: مقارنة بين عمليتي الخفض الانتقائي لأكاسيد النيتروجين من غازات المدخنة



المصدر: CleaverBrook, 2010

2-1-4: تقنيات خفض انبعاثات الجسيمات الدقيقة

تختلف كمية انبعاثات الجسيمات الدقيقة باختلاف نوع الوقود المستخدم وتصميم الحراقات، وتركيز الأوكسجين عند مخرج منطقة الاحتراق، ودرجة حرارة غازات الاحتراق عند مخرج غرفة الإشعاع، وزمن بقاء قطرات الوقود في الفرن. يوجد عدة طرق لالتقاط الجسيمات الدقيقة الناتجة عن حرق الوقود في الأفران، أهمها اللواظ الميكانيكية، والمرشحات النسيجية، وكاشطات الغاز الرطب، والمرسبات الكهروستاتيكية. (IPEPC, 2012)

■ اللواظ الميكانيكية

يعتمد مبدأ عمل اللواظ الميكانيكية Mechanical Collectors على فرق الكثافة بين الغاز والجسيمات الدقيقة، حيث أن الغاز يغير اتجاه جريانه بتأثير حركة الدوران السريعة بسرعة أعلى وسهولة أكثر من الجسيمات الدقيقة التي لها قوة عطالة أعلى. من مساوئ هذه الطريقة أن كفاءتها تنخفض كثيراً عندما تكون الجسيمات الدقيقة صغيرة الحجم، لذلك يقتصر استخدامها على الحالات التي يتم فيها فصل الجسيمات الكبيرة الحجم في المراحل الأولية التي تسبق عملية فصل الجسيمات الصغيرة.

■ المرشحات النسيجية

تعتمد طريقة المرشحات النسيجية على تمرير غازات المدخنة عبر أكياس مصنوعة من نسيج خاص Fabric Bags. وتتميز هذه الطريقة بكفاءة عالية، إلا أن من مساوئها عدم إمكانية استخدامها في درجات حرارة مرتفعة، فضلاً عن مشكلة ارتفاع فرق الضغط عبر المرشحات مع الزمن، بتأثير تراكم الجسيمات الملتقطة على جدار نسيج المرشح. ويمكن التخفيف من مشكلة ارتفاع فرق الضغط بإجراء عمليات تبديل اتجاه جريان الغاز عبر المرشح.

■ كاشط الغاز الرطب

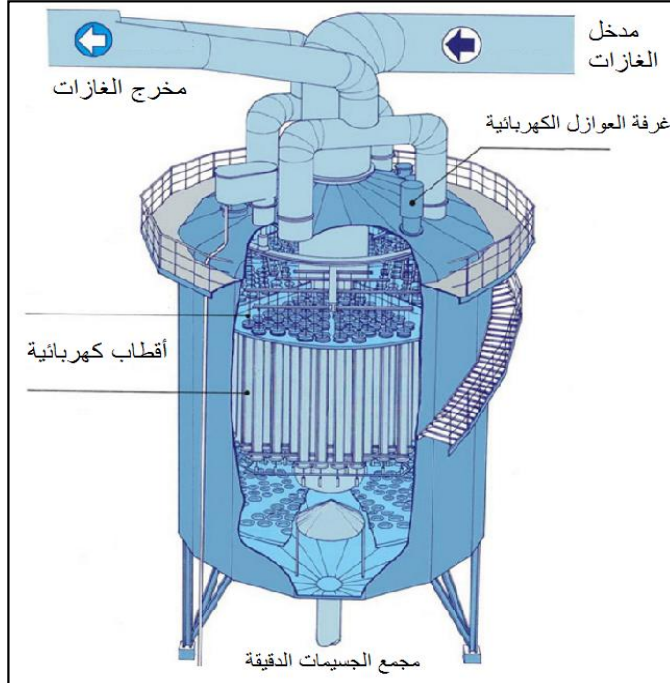
يعتمد مبدأ عمل كاشط الغاز الرطب على حقن رذاذ من الماء في تيار غازات

المدخنة، حيث تقوم قطرات الماء بالتقاط الجسيمات الدقيقة. تتميز هذه الطريقة بإمكانية استخدامها في درجات الحرارة المرتفعة، إلا أن من مساوئها أن المياه الملوثة الحاملة للجسيمات الدقيقة تحتاج إلى معالجة قبل التخلص منها.

■ المرسبات الكهروستاتيكية

يعتمد مبدأ عمل المرسبات الكهروستاتيكية ESP¹ على شحن الجسيمات الدقيقة بالطاقة الكهربائية، ثم تمريرها عبر غرفة تحتوي على أقطاب كهربائية على شكل صفائح، تقوم بدور جذب الجسيمات بسبب فرق شحنتها. يتم كشط الجسيمات الملتصقة على الأقطاب بشكل دوري فتسقط إلى أسفل الغرفة لتسحب بواسطة عربة إلى خارج الوحدة. يبين الشكل 10-2 مخطط منظومة المرسبات الكهروستاتيكية من غازات مداخن الأفران.

الشكل 10-2: مخطط منظومة المرسبات الكهروستاتيكية



المصدر: Rameshni, M., 2011

¹ Electrostatic Precipitators

2-2: تقنيات خفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع

تكتسب إجراءات خفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع في مصافي النفط أهمية خاصة نظراً لكميتها الكبيرة، وتأثيرها الشديد على صحة الإنسان والبيئة.

تتركز تقنيات خفض انبعاثات وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع في معالجة انبعاثات الناتجة عن تنشيط العامل الحفاز، والتي تتكون بشكل رئيسي من أكاسيد الكربون، وأكاسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين، والجسيمات الدقيقة.

• خفض أكاسيد النيتروجين من وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع

تتشكل أكاسيد النيتروجين في وعاء التنشيط عندما يتحد كل من النيتروجين وأوكسجين الهواء عند درجات حرارة مرتفعة فينتج أكاسيد النيتروجين الحرارية. كما تتشكل أكاسيد النيتروجين عندما يحترق النيتروجين العنصري Elemental Nitrogen الموجود في الفحم المترسب على سطح العامل الحفاز، وتكون كميته عادة أعلى من كمية أكاسيد النيتروجين الحرارية، وتعتمد على محتوى لقيم الوحدة من المركبات النيتروجينية.

• خفض أكاسيد الكبريت من وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع

تعتمد كمية أكاسيد الكبريت SOx المنطلقة من انبعاثات عمليات تنشيط العامل الحفاز في وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع على تركيز الكبريت في الفحم المترسب على سطح العامل الحفاز. وتتم العملية بحقن مواد كيميائية تقوم بتحويل المركبات الكبريتية في وعاء التنشيط إلى غاز كبريتيد الهيدروجين H₂S، حيث يمكن معالجته مع الغازات المنتجة من الوحدة. وتعتمد فعالية هذه الطريقة على نسبة الإضافة، وهي طريقة غير مكلفة، لأنها لا تتطلب إنشاء معدات جديدة سوى مضخة الحقن. إلا أن هذه التقنية نادراً ما تستخدم، حيث أن أكاسيد الكبريت المنزوعة تحتاج إلى معالجة أخرى قبل التخلص منها بشكل آمن، فضلاً عن أنها قد تؤدي إلى حدوث اختناقات في وحدات

معالجة كبريتيد الهيدروجين في المصفاة، عند عدم توفر طاقة فائضة للوحدة.
(IPIECA, 2012)

● تقنيات خفض انبعاث الجسيمات الدقيقة من وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع

تتكون الجسيمات الدقيقة الناتجة عن وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع من جسيمات أولية وأخرى ثانوية. تنتج الجسيمات الدقيقة الأولية من مصدرين، الأول من تنشيط العامل الحفاز، والثاني من السخام الناتج عن الاحتراق الناقص للفحم. أما الجسيمات الدقيقة الثانوية فتنتج من ذرات الأمونيا وأكاسيد الكبريت. كما تختلف كمية الجسيمات الدقيقة المنبعثة تبعاً لنوع العامل الحفاز، ونوع اللقيم، وظروف التشغيل. ولتحسين كفاءة عمليات التقاط الجسيمات الدقيقة في وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع تتبع الطرق التالية:

✓ معالجة لقيم وحدة التكسير بالعامل الحفاز لتخليصه من بعض المعادن والشوائب الأخرى قبل إدخاله إلى الوحدة.

✓ اختيار عامل حفاز من النوع المقاوم للتفتت.

✓ تركيب لواقط ميكانيكية أو كهروستاتيكية، أو نظام غسيل الغازات بطريقة كاشط الغاز الرطب.

✓ تركيب مراحل متعددة على التسلسل من لواقط الجسيمات الدقيقة حتى الوصول إلى درجة الخفض المطلوبة.

تعتبر عملية اختيار التقنيات الأنسب لخفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز من العمليات المعقدة. وحيث أن كل تقنية من هذه التقنيات تستخدم لمعالجة نوع واحد من الانبعاثات، لذلك يمكن اختيار أكثر من تقنية لخفض عدة أنواع من الانبعاثات في آن واحد، وذلك لخفض تكاليف رأس المال اللازم لإنشاء المعدات.

أحد الخيارات الممكنة لدمج تقنيتين في آن واحد هو تطبيق كل من تقنية كاشط الغاز الرطب WGS¹ التي تستخدم لخفض انبعاثات كل من الجسيمات الدقيقة وأكاسيد الكبريت، وتقنية حقن المواد الكيميائية لخفض أكاسيد النيتروجين. الخيار الآخر هو استخدام المرسبات الكهروستاتيكية ESP² لخفض الجسيمات الدقيقة مع تقنية إضافة المواد الكيميائية لخفض أكاسيد النيتروجين. وفي الحالات التي يطلب فيها كفاءة خفض عالية لأكاسيد النيتروجين يمكن استخدام تقنيتي خفض الانتقائي بالعامل الحفاز SCR والخفض الانتقائي بدون عامل حفاز SNCR. يبين الجدول 2-2 خيارات خفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز المانع.

الجدول 2-2: خيارات خفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز المانع

خيارات خفض الانبعاثات								الانبعاثات
خفض انتقائي بدون عامل حفاز	خفض انتقائي بالعامل الحفاز	إضافة مواد كيميائية	معالجة القيم	كواشط الغاز الرطب	مرسبات كهروستاتيكية	مرشحات نسيجية	المرشحات الميكانيكية	
-	-	-	-	√	√	√	√	جسيمات دقيقة
-	-	√	√	√	-	-	-	أكاسيد الكبريت
√	√	√	√	√	-	-	-	أكاسيد النيتروجين

2-3: تقنيات خفض انبعاثات وحدات استرجاع الكبريت

تنتج الغازات الغنية بغاز كبريتيد الهيدروجين H_2S من الوحدات التحويلية ووحدات المعالجة الهيدروجينية، ويتم فصل غاز كبريتيد الهيدروجين من هذه الغازات

¹ Wet Gas Scrubber

² Electrostatic Precipitator

وتركيزه في وحدة الغسيل بمحلول الأمين، ثم يحول بعد ذلك إلى وحدة استرجاع الكبريت SRU¹ حيث يتم تحويله إلى كبريت حر.

تبلغ نسبة تحويل غاز كبريتيد الهيدروجين إلى كبريت حر في وحدة استرجاع الكبريت ضمن المجال 94-96%، والباقي ينطلق مع غاز المدخنة Tail Gas، حيث تطبق عليه عملية غسيل لاسترجاع جزء من غاز H₂S والجزء المتبقي يؤخذ إلى فرن إتلاف Incinerator. وتعتمد كمية انبعاثات SO₂ و H₂S من مدخنة فرن الإتلاف على مردود تفاعل كلاوس Claus ومدى ضبط شروط عمل الوحدة، لهذا يجب التركيز على تحسين مردود استرجاع الكبريت في الوحدة حتى يتم خفض كمية انبعاث SO₂، وذلك من خلال الإجراءات التالية:

- إضافة مفاعل ثالث إلى الوحدة، لرفع مردود التفاعل ليصل إلى 98-99.99%.
- إضافة وحدة غسيل للغازات الفائضة عن التفاعل، الخارجة من مفاعل كلاوس.
- استخدام عوامل حفازة متطورة في مفاعل كلاوس ذات فعالية عالية، يمكن بواسطتها تحسين كفاءة التفاعل.

2-4: تقنيات خفض انبعاثات شبكات خطوط الأنابيب والمعدات

تحتوي مصفاة النفط على مئات الآلاف من المعدات ومكونات شبكات خطوط الأنابيب، كالصمامات، وتوصيلات الأنابيب، والمضخات، والضواغط. وكل قطعة من هذه المكونات معرضة لاحتمال حدوث تسرب للسائل الجاري فيها من أماكن الوصل إلى الهواء الجوي.

وعلى الرغم من أن كمية المواد المتسربة في كل قطعة من مكونات شبكة خطوط الأنابيب في معظم الحالات قليلة جداً، وقد لا يتجاوز تركيزها عند مصدر التسرب أكثر من بضعة أجزاء من المليون، إلا أن العدد الكبير لهذه المكونات في

¹ Sulphur Recovery Unit

المصفاة يجعل من هذه الانبعاثات أحد أكبر مصادر انبعاثات المواد الهيدروكربونية، حيث يمكن أن تصل نسبتها إلى 80% من إجمالي انبعاثات المواد الهيدروكربونية في المصفاة. وبما أنه لا يمكن رؤية تسربات المواد الهيدروكربونية من خطوط الأنابيب بالعين المجردة في معظم الحالات، لذلك تستخدم أجهزة حساسة لقياس تركيز المواد المتسربة في الهواء المحيط بمكان التسرب. وتعتمد كمية الانبعاثات المتسربة من خطوط أنابيب ومعدات المصفاة على عوامل عديدة، أهمها:

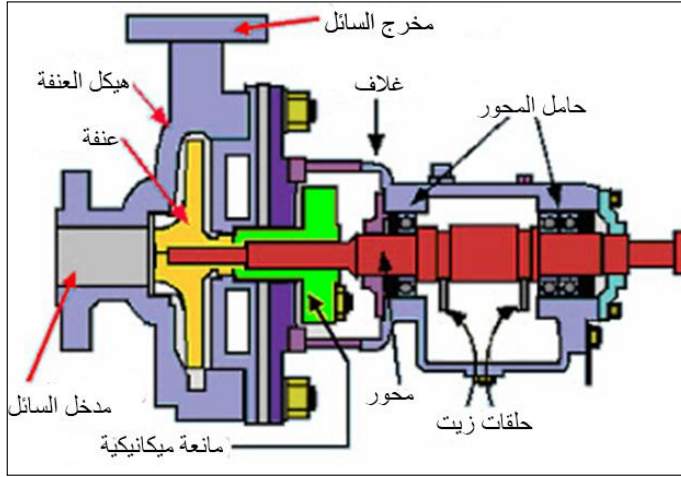
- ✓ عمر ومواصفات المعادن المستخدمة في إنشاء المعدات وموانع التسرب.
 - ✓ مواصفات المواد الجارية في المعدات، فكلما كان الضغط البخاري للمادة الموجودة داخل الأنبوب عالياً ازداد احتمال التسرب.
 - ✓ تصميم المعدات، وظروف تشغيلها، من درجة حرارة وضغط.
 - ✓ عدد المعدات وحجمها في المصفاة.
 - ✓ مدى نجاح تطبيق تقنيات الفحص الفني، وبرامج الصيانة في المصفاة.
- تصنف تقنيات خفض الانبعاثات المتسربة من منظومة شبكات الأنابيب والمعدات في ثلاث مجموعات: الأولى تحسين جودة المعادن والمواد المصنوعة منها أجهزة منع التسرب، والثانية استخدام موانع تسرب مضاعفة، والثالثة تطبيق برنامج الكشف عن التسرب وإصلاحه. وهناك إجراءات مشتركة بين المجموعات الثلاث، مثل استخدام تصاميم أفضل لشبكات خطوط الأنابيب وموانع التسرب. ويمكن الحصول على أفضل النتائج عند تطبيق أكثر من تقنية في نفس الموقع. وفيما يلي أهم تقنيات خفض انبعاثات المواد الهيدروكربونية المتسربة:

• تحسين جودة موانع التسرب

تستخدم عادة مانعة التسرب لمنع هروب المواد الهيدروكربونية الموجودة داخل المضخات والضواغط والصمامات إلى الهواء الجوي عبر محور تدوير العنفة، أو ذراع فتح وإغلاق الصمام. وعندما تكون المواد المصنعة منها المانعة رديئة تتعرض

سطوح الإحكام إلى الاهتراء والتآكل فنتسرب منها المواد الهيدروكربونية. ولخفض كمية تسرب المواد إلى الحد الأدنى تستخدم أجهزة مانعة للتسرب عالية الجودة. يبين الشكل 11-2 مانعة تسرب ميكانيكية لمحور مضخة.

الشكل 11-2: مانعة تسرب ميكانيكية لمحور مضخة



المصدر: Ergil, 2016

• استخدام موانع تسرب مضاعفة

تستخدم عادة مانعة تسرب وحيدة الطبقة على محور المضخة أو الضاغط أو محور دوران ذراع فتح وإغلاق الصمام، وغالباً ما تفي بالغرض المطلوب في خفض كمية المواد الهيدروكربونية المتسربة عبر محور الدوران، إلا أن استخدام موانع تسرب مضاعفة يعطي نتائج أفضل.

• تعديل التصميم الهندسية للمعدات

يمكن خفض احتمالات حدوث تسرب المواد الهيدروكربونية من مكونات شبكات خطوط الأنابيب والمضخات والضواغط من خلال الأخذ بعين الاعتبار بعض القضايا الهامة أثناء عملية تصميم الوحدات الجديدة، أو دراسة إمكانية تعديل تصميم الوحدات القائمة، منها:

✓ الإقلال ما أمكن من نقاط الوصل.

✓ اختيار صمامات ذات نوعية جيدة، سواء من حيث التصميم، أو من حيث نوعية المعدن، أو نوع الحشوة المانعة للتسرب المركبة على الذراع المتحرك للصمام.

✓ اختيار موانع تسرب لمحاوِر المضخات والضواغط مصنعة من مواد عالية الجودة.

✓ تزويد المضخات بأحواض تجميع للمواد المتسربة، بحيث يمكن تخزينها وإعادة استخدامها.

✓ التركيز على مراقبة النقاط التي يرتفع فيها احتمال حدوث التسرب.

• تطبيق برنامج كشف التسرب وإصلاحه

على الرغم من الفوائد التي يمكن الحصول عليها من استخدام موانع تسرب ذات جودة عالية، للحد من انبعاثات المواد الهيدروكربونية من مكونات شبكات خطوط الأنابيب والأوعية، إلا أن احتمال حدوث التسرب يبقى قائماً، وقد يحدث بشكل عشوائي، كما يصعب التنبؤ بموعد حدوثه. لهذا يعتبر برنامج كشف التسرب وإصلاحه (LDAR) Leak Detection and Repair أحد أفضل وسائل خفض الانبعاثات الهيدروكربونية المتسربة من الأوعية والخطوط والصمامات، حيث يعتمد على إجراء مسح دوري للمواقع التي تحتوي على معدات يحتمل حدوث تسرب للمواد الهيدروكربونية فيها، وتحديد الأعطال لإجراء الإصلاحات اللازمة. وتختلف المدة الزمنية الفاصلة بين عمليتي المسح الدوري للمعدات تبعاً لنوع المواد البترولية الموجودة في المكونات.

يجب إدراج معظم المعدات في برنامج الكشف عن التسربات وإصلاحها، مع توجيه الاهتمام أكثر نحو المعدات التي يجري فيها مشتقات خفيفة كالغازولين والنافثا والغاز، حيث أن المركبات الثقيلة مثل الكيروسين

والأقل يكون احتمال التسرب فيها أقل، وبالتالي يمكن تخفيض عدد نقاط المراقبة فيها. كما يمكن تركيب أجهزة مراقبة دائمة في المواقع الخطرة، وعندما تؤثر الأجهزة إلى ارتفاع درجة التسرب عن القيمة التي تسمح بها التشريعات البيئية يقوم فريق الصيانة بإجراء عمليات الإصلاح اللازمة.

يوجد طرق عديدة للكشف عن تسربات شبكات الأنابيب والمضخات والضواغط، منها ما يعتمد على فحص كل نقطة من النقاط باستخدام أجهزة قياس تركيز المواد الهيدروكربونية، أو باستخدام منظار يصور التسربات الغازية عن بعد، وهي طريقة أسرع وأقل كلفة من طريقة قياس تركيز الغازات عند مكونات الخطوط. **الشكل 2-12** طريقة كشف التسربات الغازية باستخدام منظار عن بعد. ويبين **الشكل 2-13** فحص تركيز الهيدروكربونات المتسربة من نقاط تصفية خطوط الأنابيب.



المصدر: IPIECA, 2012

تعتمد كفاءة برنامج كشف التسرب وإصلاحه، وتكاليف تطبيقه على عوامل عديدة، كحجم المصفاة، وعدد نقاط المراقبة، ومعدل تكرار عمليات القياس، وخبرة ومهارة العاملين، وسرعة الكشف عن التسرب، حيث ترتفع فرص إصلاح العطل كلما

كان الكشف مبكراً قبل أن يتفاقم التسرب ويتطور إلى الحد الذي يتطلب إيقاف الوحدة عن العمل. ويمكن تحسين كفاءة العملية بتطبيق بعض الإجراءات، أهمها:

- إجراء دورات تدريبية للفنيين في مواقع العمل.
- وضع معايير لمراحل تنفيذ عمليات إصلاح التسرب من المعدات، وطرق استبدال الحشوات المانعة للتسرب.
- تنفيذ برامج كشف ومراقبة مكثفة للمعدات الخطرة التي يكون فيها احتمال تسرب المواد الهيدروكربونية مرتفع.
- إعداد قاعدة بيانات برمجية Software Database لحفظ المعلومات المتعلقة بمصادر التسرب، ومكونات المواد داخل المعدات، والأوعية المحتمل حدوث التسرب منها، مع كافة البيانات اللازمة لعملية المراقبة، والتي تساعد على خفض احتمالات حدوث أخطاء بشرية في عملية حساب كمية الانبعاثات من كل مصدر.
- تركيب منظومة متطورة لتجميع الانبعاثات المتسربة من محاور المضخات والضواغط والصمامات بواسطة شبكة خاصة من الأنابيب، وتحويلها إلى الشعلة لحرقها.

2-5: خفض انبعاثات خزانات النفط الخام والمنتجات النفطية

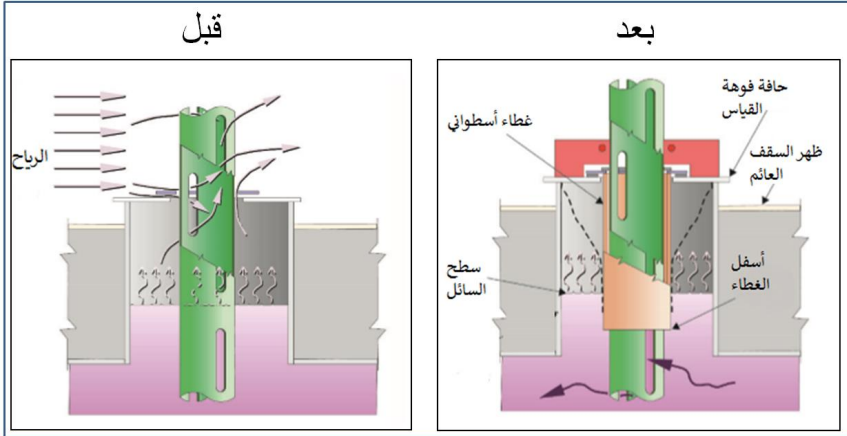
تتركز أهداف تقنيات خفض انبعاثات المركبات الهيدروكربونية من الخزانات في الحد من كمية الأبخرة الناتجة عن التبخر العادي بتأثير العوامل الجوية من الحواف الفاصلة بين جدار الخزان والسطح العائم، وأثناء عمليات التفريغ والتعبئة، والتي تمثل 80-90% من إجمالي الأبخرة المتسربة من الخزان. أما في بعض الحالات الطارئة التي تنتج عن اضطراب ظروف تشغيل الخزان، كحالة وصول السائل في خزان السقف العائم إلى مستوى أخفض من الحد المسموح، حيث يتركز السقف العائم على دعائم فوق

أرضية الخزان لتفادي تحطم أجزائه الميكانيكية، فيدخل الهواء الجوي ليشغل الفراغ بين سطح السائل والسقف العائم، وتتجمع فيه الأبخرة الهيدروكربونية، وهذا يؤدي إلى انطلاق كميات أكبر من الأبخرة الهيدروكربونية إلى الهواء الجوي عند ارتفاع مستوى السائل ثانية. أما أهم التقنيات المتبعة لهذه الغاية فهي كما يلي: (Ergil, 2016)

✓ إجراء فحص فني دوري على كافة أجزاء وتوصيلات وفوهات القياس، وموانع التسرب المركبة على سقف الخزان، للتأكد من عدم وجود اهتراء يسبب تسرب الأبخرة إلى الهواء الجوي.

✓ تركيب أغطية مرنة مزودة بماسحات على فوهات قياس المستوى الموجودة على سطح الخزان، تمنع تسرب الأبخرة من الخزان إلى الهواء الجوي. يبين الشكل 14-2 نموذج غطاء فوهات قياس مستوى الخزان.

الشكل 14-2: نموذج غطاء فوهات قياس مستوى الخزان

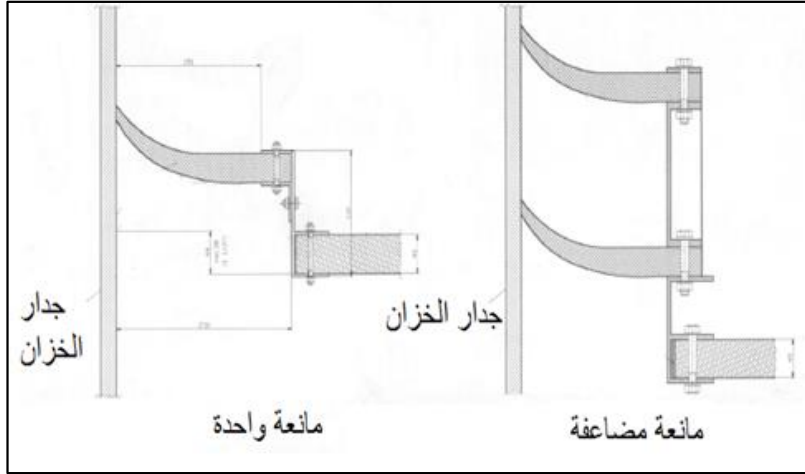


المصدر: Ergil, 2016

✓ تركيب موانع تسرب مضاعفة على السقف العائم لخفض تسرب الهيدروكربونات من جدار الخزان أثناء حركة السقف الناتجة عن عمليات التفريغ والتعبئة. يبين الشكل 15-2 موانع التسرب الواحدة والمضاعفة في خزان السقف العائم.

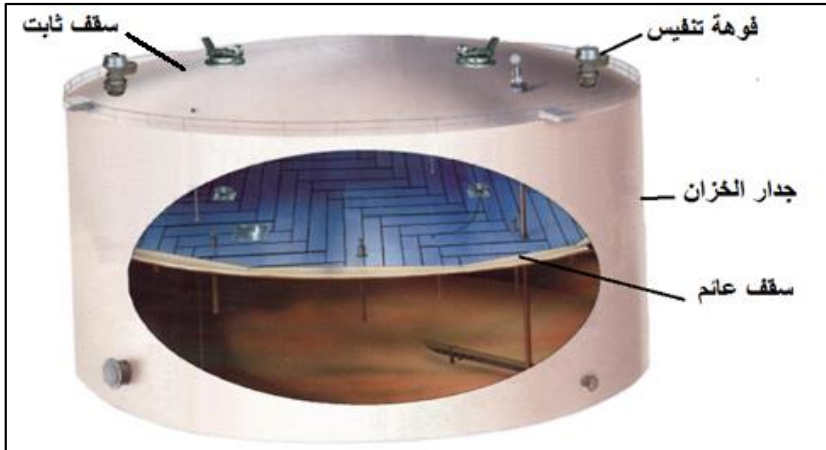
✓ تركيب سقف ثابت إضافة إلى السقف المتحرك في خزانات السطح العائم لتخفيف التبخر بتأثير حركة تفريغ وتعبئة الخزان. يبين **الشكل 2-16** خزان غازولين بسقفين عائم وثابت.

الشكل 2-15: موانع التسرب الواحدة والمضاعفة في خزان السقف العائم



المصدر: Ergil, 2016

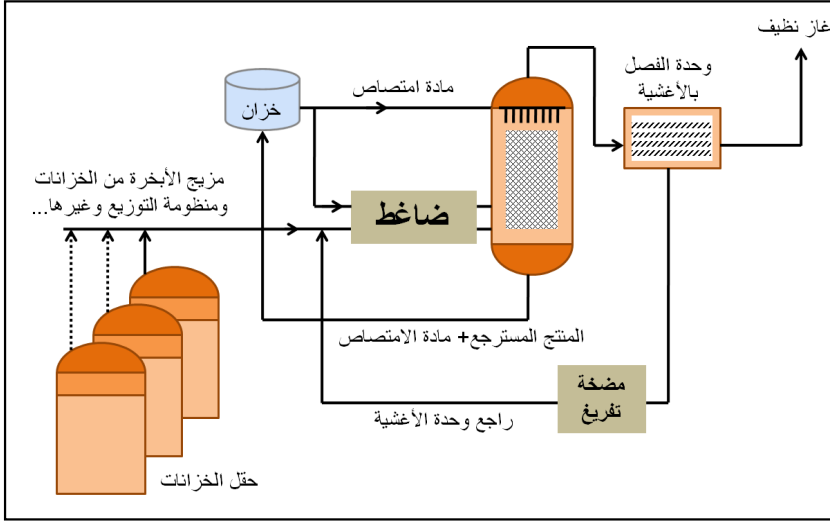
الشكل 2-16: خزان غازولين بسقفين عائم وثابت



المصدر: Ergil, 2016

✓ تحويل الأبخرة الهيدروكربونية التي تنطلق من الجزء العلوي لخزانات النفط والمنتجات عبر أنابيب خاصة إلى وحدة استرجاع الأبخرة. يبين الشكل 2-17 مخطط وحدة استرجاع أبخرة تخزين النفط والمنتجات النفطية.

الشكل 2-17: وحدة استرجاع أبخرة تخزين النفط والمنتجات النفطية



المصدر: Siemens AG, 2013

تتكون وحدة استرجاع أبخرة محطات تخزين المنتجات النفطية من مرحلتين، مرحلة فصل الهيدروكربونات عن الهواء، ومرحلة تحويل الهيدروكربونات إلى سائل. وتتم عملية فصل الهيدروكربونات عن الهواء في المرحلة الأولى بإحدى الطرق التالية:

- الامتزاز Adsorption بواسطة الكربون الفعال
- الغسيل بالزيت Lean Oil Washing
- الفصل بالأغشية الانتقائية Selective Membrane
- التكثيف بالتبريد أو الضغط

أما مرحلة تحويل الأبخرة الهيدروكربونية إلى سوائل فتتم بإحدى الطرق التالية:

- الامتصاص Absorption بواسطة الغازولين أو النفط الخام

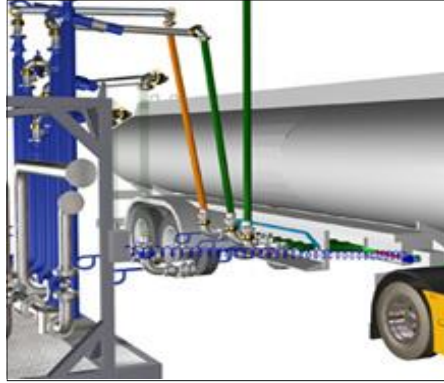
- التكثيف والتبريد
- الضغط

2-6: تقنيات خفض انبعاثات منظومة تحميل وتفريغ المنتجات

تنطلق المركبات الهيدروكربونية عبر فوهات التعبئة العلوية للناقلة أو حاوية النقل بالشاحنات البرية، أو القطارات أثناء عمليات التعبئة، وبشكل مشابه لانبعاثات خزانات المنتجات البترولية. ولخفض الانبعاثات المنطلقة من عمليات تحميل المنتجات البترولية وتعبئة الحاويات، تطبق التقنيات التالية:

- تركيب توصيلات تعبئة الحاوية من الأسفل لمنع انتشار الأبخرة الهيدروكربونية في الطبقة العلوية للحاوية أو الناقلة. يبين الشكل 2-18 نظام تعبئة حاويات المشتقات النفطية من الأسفل.

الشكل 2-18: نظام تعبئة حاويات المشتقات النفطية من الأسفل



- تركيب خط توازن بين الحاوية المراد تعبئتها والخزان الذي تسحب منه المواد البترولية للتعبئة، بهدف سحب الأبخرة إلى خزان تجميع مستقل لترحيلها إلى وحدة استرجاع الأبخرة الهيدروكربونية.
- تحويل الأبخرة الهيدروكربونية التي تنطلق من الجزء العلوي لحاويات نقل المشتقات النفطية عبر أنابيب خاصة إلى وحدة استرجاع الأبخرة.

2-7: تقنيات خفض الانبعاثات الهيدروكربونية من وحدة معالجة المياه الملوثة

تتكون وحدة معالجة المياه الملوثة في مصافي النفط من شبكة تجميع المياه الملوثة، ومنظومة المعالجة. تتوزع أجزاء شبكة التجميع في مناطق المصفاة كالوحدات الإنتاجية، وحقول خزانات النفط والمشتقات البترولية، وهي مجموعة فوهات تصريف، وتوصيلات، ومجاري، وفوهات تفتيش... وأينما تكون هذه الأجزاء مفتوحة إلى الهواء الجوي تنطلق منها الأبخرة الهيدروكربونية.

تنطلق الانبعاثات الهيدروكربونية من أجزاء ومكونات وحدة معالجة المياه الملوثة في المصفاة نتيجة تبخر المركبات الهيدروكربونية المرافقة للمياه في أماكن التماس بين طبقات الزيت مع الهواء، وفي الأماكن المفتوحة من المنظومة، حيث تتبخر منها الهيدروكربونات إلى البيئة.

يمكن خفض انبعاث الأبخرة الهيدروكربونية من طبقة الزيت التي تطفو أعلى أحواض تجميع المياه الزيتية الواردة من الوحدات الإنتاجية، ومن شبكة أنابيب تصفية خزانات النفط الخام والمشتقات، وذلك باتخاذ الإجراءات التالية:

• إجراءات التخفيف من المصدر

تهدف إجراءات التخفيف من المصدر إلى منع ورود المركبات الهيدروكربونية إلى وحدة معالجة المياه الملوثة، وهي الطريقة الأكثر فعالية لأنها تخفض من تكاليف التشغيل، وتمنع حدوث اضطراب في ظروف عمل الوحدة، أهم هذه الإجراءات:

✓ تركيب مصائد مائية على خطوط مجاري المياه الزيتية، وعلى فوهات تصفية الأوعية، واستعمال أغطية مانعة لتسرب الأبخرة على حفر التفتيش، ونقاط اتصال المجاري الزيتية.

✓ إجراء عمليات فحص دورية على أجزاء ومكونات شبكة تجميع المياه الملوثة، والعمل على إصلاح الأعطال أينما وجدت.

✓ إنشاء أماكن مغلقة لتجميع مياه غسيل المعدات، لمعالجتها وإعادة استخدامها بدلاً من طرحها إلى وحدة معالجة المياه الملوثة.

✓ إعادة استخدام بعض أنواع المياه الناتجة من عمليات التكرير في أماكن أخرى، كاستخدام المياه الناتجة من وعاء راجع أعلى برج تقطير النفط وحرقها في وعاء نزع الأملاح من النفط الخام.

✓ إنشاء أحواض أولية (حوض صدمة) لتجميع المياه الملوثة الواردة إلى وحدة المعالجة، وفحصها للتأكد من مطابقتها للمواصفات المحددة في تصميم الوحدة قبل إدخالها إلى أحواض فصل الزيت API Separator، وذلك تفادياً لحدوث اضطرابات في ظروف تشغيل الوحدة، قد ينتج عنها كميات كبيرة من الأبخرة الهيدروكربونية تنطلق إلى الهواء الجوي.

• إجراءات تخفيف الانبعاثات داخل وحدة المعالجة

وهي إجراءات تساهم في خفض فرص تماس المواد الهيدروكربونية مع الهواء في معدات وحدة معالجة المياه الملوثة، وأهمها:

✓ استخدام نظام أحواض فصل الزيت المغطاة Covered API Separator لعزل التأثيرات الجوية، يتكون من سقف ثابت يغطي حوض فصل الزيت عن المياه الواردة إلى وحدة المعالجة، ويزود بموانع تسرب بحيث يمكن تجميع الأبخرة الهيدروكربونية المنطلقة من سطح المياه في الحوض لتجميعها في خزانات خاصة لإعادة استخدامها أو حرقها.

✓ تركيب منظومة تجميع الأبخرة الهيدروكربونية لاسترجاعها وإعادة استخدامها كوقود في المصفاة.

✓ تركيب أغشية ثابتة فوق أحواض التعويم في مرحلة المعالجة البيولوجية التي تعتمد على حقن الهواء لتعزيز عملية فصل الزيوت عن المياه، DAF

أو IAF¹. تساهم هذه الأغشية في منع انطلاق الأبخرة التي تتحرر من سطح الحوض إلى الهواء الجوي. ويجب اتخاذ إجراءات وقائية مشددة لمنع تشكل مزيج من الأبخرة الهيدروكربونية والهواء داخل الطبقة الفاصلة بين سطح المياه والغطاء الثابت، يمكن أن تشتعل ذاتياً وتسبب الانفجار.

2-8: تقنيات خفض انبعاثات حرق الغازات في الشعلة

التقنية الأكثر شيوعاً لإتلاف انبعاثات الأبخرة الهيدروكربونية هي طريقة الحرق في منظومة الشعلة، باعتبارها الأقل كلفة. وعلى الرغم من فائدة عملية الحرق في الشعلة في خفض انبعاثات المركبات الهيدروكربونية إلى الهواء الجوي، إلا أنها في نفس الوقت تؤدي إلى تشكل انبعاثات أخرى ناتجة عن عملية الاحتراق، وبالتالي ينتج عنها انبعاثات أكاسيد الكربون COx، وأكاسيد النيتروجين NOx، وأكاسيد الكبريت SOx في حال وجود الكبريت في الغازات المحترقة.

تكتسب إجراءات خفض الانبعاثات الناتجة عن حرق المركبات الهيدروكربونية على شعلات المصفاة أهمية كبيرة، حيث تساهم في خفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين، وغاز ثاني أكسيد الكربون، وأكاسيد الكبريت، إضافة إلى الفوائد الاقتصادية الناتجة عن الاستفادة من هذه الهيدروكربونات كوقود في أفران المصفاة بدلاً من حرقها. ولتحقيق هذه الغاية تتوفر الخيارات التالية:

✓ إجراء صيانة دورية لكافة صمامات الأمان المتصلة بخطوط الشعلة للتأكد من عدم وجود تسرب من سطوح إحكامها.

✓ البحث عن مصادر الغازات الداخلة إلى الشعلة والعمل على خفض كمياتها.

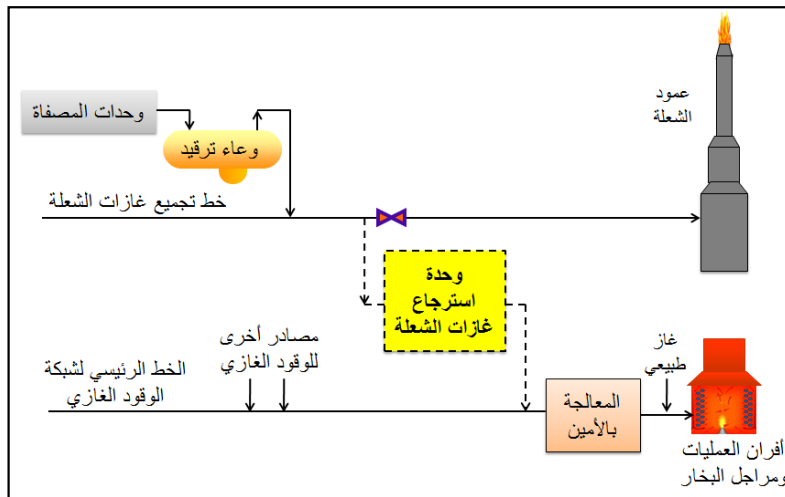
✓ إجراء تقييم لكل نقطة من نقاط تنفيس أوعية عمليات التكوير، لتحديد جدوى توصيلها إلى خزان التجميع، ثم اختيار الطريقة الأنسب للإتلاف، كذلك

¹ Dissolved Air Flotation or Induced Air Flotation

المستخدمة في تصريف الأبخرة الهيدروكربونية الناتجة عن محطات تحميل وتفريغ المنتجات البترولية. يذكر أن نقاط التنفيس تستخدم لتخفيض الضغط المتشكل في أوعية عمليات التكرير نتيجة تفاعلات كيميائية، وذلك من خلال تحرير الهيدروكربونات عبر أنبوب متصل بالوعاء بشكل مباشر إلى البيئة، يفتح يدوياً أو آلياً بواسطة صمام أمان، أو من خلال صمام تحكم يفتح عندما تصل قيمة الضغط إلى مستوى محدد.

✓ تركيب منظومة استرجاع لغازات الشعلة تساعد على إعادة الغازات إلى شبكة وقود أفران المصفاة للاستفادة منها كمصدر للطاقة بدلاً من حرقها. يبين الشكل 19-2 مخطط وحدة استرجاع غازات الشعلة.

الشكل 19-2: مخطط وحدة استرجاع غازات الشعلة



المصدر: Oden, H., 2010

على الرغم من الفائدة الاقتصادية التي يمكن الحصول عليها من وحدة استرجاع غازات الشعلة إلا أنها في بعض الحالات تكون غير مجدية اقتصادياً، حيث من الممكن أن يحتوي الغاز المسترجع على شوائب تمنع الاستفادة منه إلا بعد معالجته في عمليات معالجة مكلفة.

2-9: إدارة الروائح المنبعثة من المصفاة

تشكل انبعاثات المركبات العضوية الطيارة مصدراً للروائح الكريهة عند ارتفاع تركيزها عن قيم محددة، وتؤدي إلى إزعاج العاملين في المصفاة والقاطنين في التجمعات السكنية المجاورة. وأهم المركبات التي تصدر الروائح المزعجة في مصفاة النفط هي:

- المركبات الكبريتية، مثل كبريتيد الهيدروجين H_2S ، والكبريتيدات Sulphides والثنائي كبريتيدات Disulphides
- المركبات النيتروجينية، مثل الأمونيا والأأمينات.
- الهيدروكربونات مثل العطريات.

تعتمد شدة الإحساس بالروائح الكريهة في المناطق المحيطة بالمصفاة على العوامل التالية:

- عدد المركبات المنبعثة وتنوعها.
- عدد النقاط التي تصدر الانبعاثات وتوزعها الجغرافي، وبعدها عن التجمعات السكنية.
- حساسية الأشخاص وقدرتهم على التحمل، فبعض الأشخاص لديهم حساسية أعلى من غيرهم لروائح بعض المركبات. يبين الجدول 2-3 القيم القصوى لتركيز انبعاثات الروائح المزعجة.

تتكون عملية معالجة مشكلة الروائح الكريهة المنبعثة من المصفاة من أربعة مراحل، تتضمن المرحلة الأولى تقويم المشكلة وإعداد المبررات والدوافع للقيام بإجراءات تساهم في التخفيف من أثارها. وفي المرحلة الثانية يتم تحديد المصادر المحتملة للمواد التي تسبب الروائح المزعجة. أما المرحلة الثالثة فيتم فيها تحليل المصادر المحتملة، وتحديد المصادر المؤكدة التي تسبب مشكلة انبعاث الروائح. وفي

المرحلة الأخيرة يتم اختيار التقنيات المناسبة لخفض الانبعاثات المسببة للروائح إلى المعدلات النظامية المسموحة. (IPIPEC, 2012)

الجدول 2-3: القيم القصوى لتركيز انبعاثات الروائح المزعة

وصف الرائحة	حدود زمن التعرض (ج.ف.م)		التركيز (ج.ف.م)	الانبعاثات
	فترات قصيرة 15 دقيقة	8 ساعة/اليوم		
ثوم/بصل	10	2	1.6	أكريلونيتريل
مخرش/لاذع	35	25	17	أمونيا
كبريت	10	1	0.0081	ثنائي كبريتيد الكربون
مبيض	1	0.5	0.01	كلور
سمك	15	5	0.34	ثنائي ميثيل أمين
كلوروفورم	2	1	26	ثنائي كلوريد الإيثيلين
بيض فاسد	15	10	0.0005	كبريتيد الهيدروجين
حلو وحامض	250	200	100	ميثانول
سمك	15	5	4.7	ميثيل أمين
حلو	300	200	10	ميثيل إيثيل كيتون
قطران	15	10	0.027	نفثالين
حلو	100	50	0.047	ستايرين
مخرش/لاذع	5	2	2.7	ثاني أكسيد الكبريت
حامض	150	100	2.8	تولوين
إيثير	100	50	82	ثلاثي كلور الإيثيلين

المصدر: IPIPEC, 2012

2-10: عوامل اختيار التقنية الأنسب لخفض انبعاثات مصافي النفط

تعتبر عملية اختيار التقنية الأنسب لخفض انبعاثات كل مصدر من المصادر الموجودة في المصفاة من العمليات المعقدة، نظراً لوجود عوامل عديدة تؤثر في عملية الاختيار، منها ما يتعلق بطبيعة الموقع الذي ستركب فيه التجهيزات الجديدة، ومنها ما يتعلق بتكاليف الإنشاء والتنفيذ، أو درجة التعقيد التكنولوجي، ولتسهيل عملية الاختيار تتبع الخطوات التالية:

- البحث عن كافة الخيارات المتاحة لتقنيات خفض الانبعاثات من كل مصدر من المصادر القائمة في المصفاة، وذلك من خلال الاتصال بالشركات الموردة، والاطلاع على تجارب الآخرين لمعرفة مزايا وسلبات كل تقنية، والتعرف على حجم الاستثمارات اللازمة لإنشاء كل خيار وتكاليف التشغيل.
- تقييم مدى فعالية التقنيات المستخدمة في الوقت الراهن، ودراسة إمكانية تعديلها أو استبدالها.
- دراسة تكلفة خفض الطن الواحد من الانبعاثات من كل مصدر من المصادر باستخدام الخيارات المتاحة، وإجراء مقارنة بينها.
- دراسة العمر الافتراضي المتبقي لمعدات المصفاة، لتحديد جدوى تركيب التجهيزات الجديدة.
- تقييم الأثر البيئي لتطبيق كل خيار من الخيارات المتاحة، من حيث القضايا التي لا تتعلق بجودة الهواء الجوي، كزيادة استهلاك الطاقة نتيجة تركيب المعدات، أو توليد نفايات أخرى تنشأ عن تطبيق نوع من التقنيات الجديدة.

الفصل الثالث

برنامج إدارة انبعاثات مصابي النفط



3-1: الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط

- 3-1-1: عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات المصافي
- 3-1-2: عوامل نجاح خطة إدارة انبعاثات المصافي

3-2: قائمة جرد انبعاثات المصافي

- 3-2-1: مراحل إعداد قائمة جرد الانبعاثات
- 3-2-2: تدقيق بيانات قائمة جرد الانبعاثات
- 3-2-3: عوامل نجاح إعداد قائمة جرد الانبعاثات

3-3: طرق حساب كمية الانبعاثات

- 3-3-1: حساب الانبعاثات المتسربة من عمليات التكرير
- 3-3-2: حساب انبعاثات خزانات النفط الخام والمنتجات
- 3-3-3: حساب انبعاثات محطات تحميل النفط الخام والمنتجات
- 3-3-4: حساب انبعاثات وحدات معالجة المياه الملوثة
- 3-3-5: حساب كمية الانبعاثات أبراج مياه التبريد
- 3-3-6: حساب انبعاثات الحوادث الطارئة
- 3-3-7: حساب انبعاثات حرق الوقود في الأفران
- 3-3-8: حساب انبعاثات منظومة الشعلة

3-4: تشريعات ضبط انبعاثات مصافي النفط

- 3-4-1: مراحل عملية إصدار تشريعات ضبط الانبعاثات
- 3-4-2: تشريعات منح ترخيص إنشاء مصفاة جديدة

الفصل الثالث

برنامج إدارة انبعاثات مصافي النفط

مقدمة

تعرف الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط بأنها الأداة المساعدة على إجراء تقييم شامل للملوثات الضارة التي تطلقها مصفاة/أو مجموعة مصافي موجودة في منطقة جغرافية محددة، وإعداد بيانات تمكن الهيئات الحكومية من إصدار التشريعات التي تلزم تلك المصافي باتخاذ الإجراءات اللازمة لخفض انبعاثاتها الغازية إلى مستويات محددة، وتحديد برامج وخطط مراقبة أدائها للتأكد من التزامها بمتطلبات التشريعات البيئية.

يتناول هذا الفصل مراحل إعداد الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط، والفوائد التي يمكن تحقيقها، والعوامل المساعدة على نجاحها في تحقيق الأهداف المرجوة من تطبيقها.

كما يتضمن هذه الفصل شرحاً لمكونات وأهداف إعداد قائمة جرد الانبعاثات، وطرق حساب كمية الانبعاثات من كل مصدر من المصادر الرئيسية في مصافي النفط.

3-1: الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط

تتلخص أهداف الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط بما يلي:

- تحضير البيانات والمعلومات التي تمكن الهيئات الحكومية المشرفة على سلامة البيئة ومكافحة التلوث من إصدار التشريعات البيئية التي تلزم المصافي باتخاذ إجراءات تخفيض الانبعاثات الناتجة عن عملياتها.
- العمل على تحقيق خفض فعلي للانبعاثات، يساهم في تحسين جودة الهواء محلياً

وإقليمياً، واتخاذ الإجراءات التي تضمن المراقبة المستمرة لأداء المصافي، وتقييم التزامها بمتطلبات التشريعات البيئية.

- الارتقاء بالأداء البيئي لمصافي النفط في المنطقة إلى أفضل المستويات القياسية المحلية والعالمية.

1-1-3: عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات المصافي

تتكون الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط من أربعة عناصر رئيسية، هي كما يلي. يبين الشكل 1-3 عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط.

- تقييم الوضع القائم للمصافي.
- تحضير خطة لمراقبة الانبعاثات، وإعداد التقارير الدورية.
- إعداد خطة مستقبلية لإجراءات خفض المستمر لانبعاثات مصافي النفط.
- الإشراف الحكومي على عملية المراقبة المستمرة للانبعاثات.

الشكل 1-3: عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط

1. تقييم الوضع القائم

- تقديم البيانات التي تساعد في اختيار الحدود المسوحة السنوية لانبعاثات المصافي، وتتضمن:
- قاعدة بيانات الانبعاثات المصافي
 - تحليلات الواقع الحالي للمصافي
 - تحليلات دراسة الانعكاسات الصحية وتحديد الأولويات
 - الدليل التوضيحي

2. المراقبة وإعداد التقارير

- تقديم خطة لتحديد:
- طريقة المراقبة المناسبة (قياس أو حساب)
 - التقارير التي ستقدمها المصافي إلى الجهة الحكومية عن معدلات الانبعاثات

3. خطة العمل المستقبلية

- إعداد خطة عمل للمصافي تتضمن:
- قياسات أداء المصافي مقابل الأهداف المرسومة
 - تحديد مؤشرات قياس الأداء
 - آليات إعادة النظر في الخطة الوطنية عند الضرورة
 - تحديث تحليلات الآثار الصحية، والدليل التوضيحي
 - التقارير الدورية

4. الإشراف الحكومي

- تحديد الحدود القصوى للانبعاثات
- متابعة عملية مراقبة الانبعاثات
- مراجعة التقارير الدورية

يتولى الإشراف على إعداد ومتابعة تنفيذ الخطة الوطنية لانبعاثات مصافي النفط لجنة رئيسية يتفرع عنها عدة لجان متخصصة، يمثل فيها أعضاء من كافة الجهات والهيئات الحكومية ذات العلاقة. ولكي يتمكن الفريق من تحقيق أهدافه يجب أن يأخذ بالاعتبار العوامل الأساسية التالية: (CCME, 2005)

- الالتزام بتحديد المدة الزمنية التي تمنح للمصافي لكي تتخذ الإجراءات التي تمكنها من ضبط الحدود القصوى المسموحة للانبعاثات التي تطلقها إلى البيئة.
- اتباع الأساليب المرنة في ضبط الحدود القصوى للانبعاثات، دون أن يؤثر ذلك على النتائج النهائية لخطة خفض الانبعاثات.
- دعوة كافة الأطراف المهمة بالعملية للمشاركة في اتخاذ القرار.
- الالتزام بإعداد التقارير الدورية في موعدها المحدد، والحرص على المحافظة على التحسين المستمر لنظام الإدارة البيئية.
- تحديد الجهات الفنية والاستشارية التي ستساعد في إعداد وتنفيذ الخطة.
- تحديد قائمة بالمصافي التي ستتناولها الخطة مع كافة البيانات المتعلقة بها.
- تحديد نوع ومصادر الانبعاثات التي ستتناولها الخطة بالقياس في كل مصفاة.

العنصر الأول: تقييم الوضع القائم

تساهم عملية تقييم الوضع القائم لمصفاة النفط في تحديد مصادر الانبعاثات، وتحديد مستوياتها مقارنة بمتطلبات التشريعات والمعايير المحلية والعالمية، وبالتالي يمكن إعداد البيانات والمعلومات التي تساعد الهيئة الحكومية على تحديد المعدلات السنوية القصوى للانبعاثات التي تطرحها المصافي، وترتيب أولويات إصدار التشريعات الخاصة بإلزام المصافي بهذه الحدود حسب الأهمية وحجم الضرر الذي يسببه كل نوع من الانبعاثات على الصحة العامة. ويجب أن تشمل عملية تقييم الوضع القائم للمصافي على الإجراءات التالية:

• إعداد قاعدة بيانات بالوضع القائم

يجب أن تتضمن قاعدة البيانات كافة المعلومات المتوفرة عن الظروف الحالية للمصافي، والتي تساعد الجهة الحكومية على اتخاذ القرارات المناسبة. ومن الأمثلة على هذه البيانات ما يلي: (EMEP/EEA, 2016)

- ✓ نوع ومصادر الانبعاثات التي تطلقها كل مصفاة من المصافي المشمولة بالدراسة، ومقارنتها بالقيم المقابلة لها في المصافي النموذجية في العالم.
- ✓ العوامل المؤثرة في معدل الانبعاثات التي تطرحها المصافي.
- ✓ تصنيف المصافي المراد دراستها تبعاً لطاقتها التكريرية، أو نوع عملياتها الإنتاجية، أو نوع النفط الخام المكرر.
- ✓ تحديد طرق مقارنة مستويات الانبعاثات بالمستويات النموذجية، مع الأخذ بعين الاعتبار العوامل المؤثرة في كمية الانبعاثات، كحجم الطاقة التكريرية للمصفاة، ونوع النفط الخام المكرر، وجودة مواصفات المنتجات، وطريقة تشغيل الوحدات، ونوع ومواصفات الوقود المستخدم في أفران عمليات التكرير ومحطات إنتاج بخار الماء والكهرباء، ومدى وجود أجهزة التحكم بالانبعاثات.

• تقييم انعكاسات انبعاثات المصافي على صحة الإنسان والبيئة

تهدف هذه الخطوة إلى دراسة الانعكاسات السلبية للانبعاثات التي تطرحها المصافي على صحة الإنسان والبيئة، وتجميع كافة البيانات والمعلومات التي تساعد الجهة الحكومية على اتخاذ القرار حول أولوية الإجراءات التي يجب أن تتخذها المصافي لخفض الانبعاثات، وتحديد القيم القصوى السنوية المسموحة لكمية الانبعاثات التي تطرحها، تبعاً لحجم الضرر الذي يحدثه كل نوع من أنواع تلك الانبعاثات.

• إعداد دليل توضيحي

بعد الانتهاء من إعداد البيانات المتعلقة بالمصافي ومستوى أدائها، ونتائج تحليل انعكاسات الملوثات على الصحة العامة، يتم تجميع كافة المعلومات في ملف يسمى الدليل التوضيحي لتقديمه إلى الجهة الحكومية، بهدف مساعدتها في تنفيذ عملية الإشراف على مستوى أداء المصافي، والتأكد من التزامها بالخطة المطلوبة. كما يتضمن هذا الدليل عرضاً لأهم القضايا المحلية التي يجب أخذها بعين الاعتبار، أهمها:

- ✓ الدراسات السابقة التي أجريت حول تقييم أخطار الانبعاثات على الصحة العامة، وأي دراسات حول الواقع الصحي للسكان المحليين.
- ✓ القيم المقاسة لمواصفات جودة الهواء عند مستوى سطح الأرض في المنطقة، مثل مستوى الأوزون، والدخان الضبابي، والجسيمات الدقيقة.
- ✓ مصادر الانبعاثات في المناطق المجاورة.
- ✓ الملوثات المنقولة من مناطق أخرى إلى المنطقة المجاورة للمصافي المشمولة بالخطة.
- ✓ بيانات مراقبة الهواء والظروف المناخية.
- ✓ مبادرات تخفيض الانبعاثات الجاري تنفيذها أو المخطط تنفيذها في المنطقة.
- ✓ بيانات وملاحظات أخرى يراها فريق العمل مفيدة.

العنصر الثاني: خطة المراقبة وإعداد التقارير

الغاية من هذا العنصر هي تحديد التقنيات والطرق التي ستستخدمها المصافي في عملية مراقبة الانبعاثات بالشكل الذي يمكن الهيئات الحكومية من مراقبة الأداء البيئي للمصافي، والتأكد من الالتزام بالحدود القصوى المحددة لكمية الانبعاثات التي تطلقها على مدار العام. تتضمن خطة مراقبة الانبعاثات وإعداد التقارير مجموعة من

الفعاليات أهمها: (Goodwin, J. & Pulles, T., 2009)

- تحديد الطرق التي ستتبع في مراقبة مصادر الانبعاثات المصفاة، إما بالقياس المباشر أو بالعمليات الحسابية.
- تحديد محتويات ومواعيد تسليم التقارير الدورية المتعلقة بمعدلات الانبعاثات التي تطرحها المصفاة، وتغييراتها.
- تحديد متطلبات تنسيق وحفظ التقارير المتعلقة بمراقبة الانبعاثات للعودة إليها عند الضرورة.
- تحديد إجراءات التأكد من جودة البيانات.
- إعداد خطة مراقبة جودة الهواء، ومراحل إعداد التقارير الدورية التي تشير إلى حدوث التغيرات الطارئة.
- يقوم فريق العمل بإعداد خطة مراقبة الانبعاثات ورصد تغييراتها اعتماداً على الطرق التي تستخدم عادة لحساب كمية الانبعاثات التي تنطلق من مصادر أو مجموعة مصادر في المصفاة، وذلك من خلال إجراء العمليات التالية:
- إعداد قائمة تتضمن كافة مصادر الانبعاثات، بحيث تغطي كافة أجزاء المصفاة، وأي استثناء يجب أن يذكر بوضوح مع تقديم المبررات.
- تحديد إجمالي الانبعاثات الفعلية السنوية بالقياس أو بالحساب، بما في ذلك الانبعاثات التي تطلقها المصفاة في كافة الحالات التشغيلية، الطبيعية وغير الطبيعية أو الطارئة، مثل بداية إقلاع الوحدات، واضطراب ظروف التشغيل، وعمليات الصيانة الدورية.
- إعداد قائمة بالطرق التي ستتبع في مراقبة مصادر الانبعاثات، وحساب إجمالي كمية الانبعاثات السنوية.
- العمل على توفير إمكانية الاطلاع على الطرق المبتكرة لعمليات قياس ومراقبة الانبعاثات، ومحاولة الاستفادة منها وتطبيقها.

• الطلب من كل مصفاة تقديم مسودة اقتراح خطة عملية المراقبة، وإعداد التقارير للحصول على موافقة الجهة الحكومية، بحيث تتضمن هذه الخطة كافة المعلومات التفصيلية المتعلقة بطريقة تنفيذ العمل، وخطوات التأكد من صحة معاملات الانبعاث Emission Factors، أو أي معلومات أخرى إضافية بحاجة إلى موافقة الجهة الحكومية عليها.

تساهم عملية إعداد التقارير الدورية في مساعدة الجهات الحكومية، ومشاركة الجمهور في التأكد من التزام المصافي بتنفيذ خطة التخفيض المرسومة. وتتضمن هذه التقارير بيانات تفصيلية حول كمية ومصادر الانبعاثات والتغيرات التي طرأت عليها. ولكي تكون هذه التقارير سهلة المراجعة والتقييم، يجب أن تراعى في إعدادها الشروط التالية: (ECE, 2014)

- إصدار التقارير السنوية لكافة انبعاثات المصفاة من جهة واحدة، وعرضها على لجان تدقيق الجودة بشكل دوري قبل رفعها إلى الجهات الحكومية.
- التزام كل مصفاة بأن تضمن تقريرها المعدل الإجمالي السنوي لكل نوع من أنواع الملوثات التي تنطلق من كافة المصادر المحتملة في المصفاة.
- الالتزام بتوضيح الطرق المستخدمة في حساب كمية الانبعاثات من كافة المصادر.
- تضمين التقارير بعض البيانات التوضيحية الهامة، وأسماء الأشخاص المسؤولين عن إعداد التقارير، وأي معلومات أخرى مفيدة.
- تأمين إمكانية عرض البيانات والمعلومات بنسخ إلكترونية وورقية، أو أية طريقة تساعد على نشرها وتوصيلها بسهولة.
- يعتمد نجاح خطة مراقبة الانبعاثات على عوامل عديدة، أهمها:
- الدقة في تحديد المناطق التي تتأثر بالانبعاثات المصفاة.

- تضمين كافة المصادر المحتملة في المصفاة في عملية حساب كمية الانبعاثات، وفي حال وجود استثناءات يجب ذكرها مع المبررات.
- الوضوح في تحديد طرق قياس كمية الانبعاثات بالشكل الذي يسمح بإجراء المقارنة بين المصافي، أو بين كمية الانبعاثات خلال فترات زمنية مختلفة لكل مصفاة.
- توخي الدقة في تقدير وحساب كمية الانبعاثات، والإشارة إلى مقدار الارتياب في تقدير الكميات المقدمة.
- كما يطلب من كل مصفاة أن تتخذ إجراءات حفظ السجلات المتعلقة بخطة تخفيض الانبعاثات، بهدف العودة إليها ومراجعتها مستقبلاً من قبل الجهات الحكومية. وتتضمن هذه السجلات الأجزاء الرئيسية التالية: (BAAQMD, 2015)
- قائمة مصادر الملوثات التي تطلقها المصفاة.
- المعدل السنوي للانبعاثات التي تنطلق من كل مصدر، وإجمالي الانبعاثات التي تطلقها المصفاة، مع شرح للطرق التي اتبعت في عملية الحساب.
- الطرق التي استخدمت في تنفيذ عملية مراقبة الانبعاثات، وموافقة الجهة الحكومية عليها، مع ذكر الطرق البديلة، إضافة إلى أسس حساب كمية الانبعاثات من كل مصدر، وحالة ظروف التشغيل التي كانت سائدة أثناء إجراء الحساب، فيما إذا كانت عادية أو طارئة، أو أنها تمت أثناء تنفيذ أعمال الصيانة الدورية.
- آليات ضبط جودة البيانات الصادرة عن المصفاة.
- بيانات أخرى مفيدة.

العنصر الثالث: الخطة المستقبلية لخفض الانبعاثات

تهدف الخطة المستقبلية لخفض الانبعاثات إلى إعداد برنامج العمل الذي ستلتزم

به المصافي لتحقيق خفض تدريجي لكمية انبعاثاتها السنوية، خلال فترة زمنية قادمة يمكن أن تصل إلى عشر سنوات.

تتكون الخطة المستقبلية لخفض انبعاثات المصافي من مجموعة توصيات حول كيفية تجميع بيانات نتائج عملية المراقبة من قبل كل مصفاة من المصافي والجهات الحكومية المكلفة بمراقبة مستويات التلوث، إضافة إلى تحديد آليات مراجعة التقارير الدورية، وذلك من خلال الوسائل التالية:

- **تحديد مؤشرات قياس الأداء Performance Indicators**، التي تساعد على قياس مدى التقدم في تخفيض مستويات الانبعاثات، وأن الأهداف المرسومة للخطة يجري تحقيقها بالشكل المطلوب. ومن أهم هذه المؤشرات:
 - ✓ مقدار خفض كمية انبعاثات المصفاة مقارنة بالسنوات السابقة.
 - ✓ مدى الالتزام بالمعدل السنوي الأقصى المسموح لكمية الانبعاثات التي تطلقها المصفاة.
 - ✓ مدى التقيد بمواعيد انجاز البيانات والتقارير المتعلقة بالانبعاثات.
 - ✓ دقة وجودة المعلومات والبيانات المتضمنة في التقارير الدورية التي ترفع إلى الجهة الحكومية.
- **التحديث المستمر للتحليلات والأدوات المرتبطة بالعناصر الأساسية للخطة الوطنية لخفض الانبعاثات**، بما يتناسب مع المستجدات التي تطرأ على المصافي، أو الانعكاسات الصحية التي تظهر في المناطق المجاورة.
- **تقديم التقارير الدورية**، التي تعبر عن مدى التقدم في تنفيذ خطة تخفيض انبعاثات المصافي، وتشتمل هذه التقارير على ما يلي:
 - ✓ نتائج عمليات المراقبة وفقاً لما جاء في خطة مراقبة الانبعاثات، وإعداد التقارير، متضمنة المعدلات السنوية للانبعاثات.

✓ معلومات تفصيلية حول البرامج والخطط والبيانات المتعلقة بالحدود القصوى لانبعاثات المصافي، أو المعدلات المستهدفة لقيم الانبعاثات السنوية التي تطرحها المصافي في مناطق مختلفة من العالم، والتي قد تساعد الهيئات الحكومية في اتخاذ القرارات المناسبة والصحيحة.

✓ الإجراءات التي تقوم بتنفيذها الجهة الحكومية والمصافي، وترغب بمناقشتها مع أطراف أخرى، بهدف تبادل الخبرات والآراء، والاطلاع على تجارب الآخرين حول أفضل الممارسات المتبعة، والتي يمكن أن تكون دروساً يستفاد منها لتطوير العمل.

يبين الجدول 3-1 بيانات التقارير الدورية التي تقدمها المصافي إلى الجهة الحكومية.

الجدول 3-1: بيانات التقارير الدورية التي تقدمها المصافي إلى الجهات الحكومية

البيانات المطلوبة في التقارير	الإجراءات الحكومية
- البرامج الجاري تنفيذها، أو التي هي قيد التحضير - معايير الانبعاثات: ✓ نقاط الانحراف عن القيم النظامية ✓ قيم تركيز الانبعاثات المسموحة ✓ الحدود القصوى (قيم الذروة)	إصدار التشريعات الخاصة بخفض انبعاثات المصافي
- مستويات إجمالي انبعاثات المصفاة - مستويات كل مصدر من مصادر الانبعاثات - خطة مراقبة جودة الهواء الجوي في المنطقة	متطلبات المراقبة وإعداد التقارير
- دراسات تقييم الانعكاسات الصحية للانبعاثات - مؤشرات الانعكاسات الصحية - الاعتبارات الصحية التي اعتمدت أثناء إصدار تشريعات تخفيض الانبعاثات	القضايا الصحية
- إجراءات إعداد وتطوير السياسات والتشريعات - إجراءات منح تراخيص إنشاء المصافي، أو تمديد التراخيص للمنشآت القائمة - تقارير الآثار الصحية لانبعاثات المصافي	مشاركة الجمهور

العنصر الرابع: إشراف الجهة الحكومية

يساهم الإشراف الحكومي في تعزيز التعاون بين ممثلي القطاعات المهمة بقضايا حماية البيئة من التلوث في المنطقة وبين إدارات المصافي، وذلك من خلال عقد اللقاءات الدورية لمناقشة فقرات وبيانات الدليل التوضيحي، التي تتضمن تحليلات الآثار الصحية للانبعاثات، وكافة البيانات المتعلقة بدراسة الواقع القائم للمصافي، والاعتبارات المحلية والإقليمية، بما يمكنها من تحقيق إنجاز المهام التالية:

- مراجعة وتحديث الحدود القصوى للانبعاثات التي تطلقها كل مصفاة.
- تحديد البرنامج الزمني لمراحل تنفيذ تقنيات خفض الانبعاثات التي ستقوم بها المصافي.
- متابعة عملية المراقبة المستمرة لانبعاثات المصافي، ومراجعة التقارير الدورية للتأكد من مدى تقدم خطة خفض الانبعاثات حسب الأهداف المرسومة.

3-1-2: عوامل نجاح خطة إدارة انبعاثات المصافي

يتطلب تطبيق خطة إدارة انبعاثات مصافي النفط تضافر جهود كافة الأطراف المعنية بعملية خفض الانبعاثات والمحافظة على سلامة البيئة من التلوث. ولضمان الحصول على أفضل النتائج الممكنة من تطبيق النظام يجب العمل على تحقيق الشروط والفعاليات التالية: (Barthe, P., et al., 2015)

- التزام إدارة المصفاة بمتابعة تنفيذ خطة خفض الانبعاثات.
- تحديد سياسة واضحة لخفض الانبعاثات تتضمن إجراءات التحسين المستمر التي يجب تطبيقها على المعدات القائمة في المصفاة.
- ربط عملية إعداد الإجراءات والأهداف مع التخطيط المالي والاستثماري للشركة.
- تنفيذ إجراءات خفض الانبعاثات مع الأخذ بعين الاعتبار الأمور التالية:

- ✓ الهيكل التنظيمي للمصفاة وتحديد المسؤوليات.
- ✓ تدريب العاملين، ورفع مستوى الوعي بأهمية حماية البيئة من التلوث.
- ✓ تحسين طرق الاتصال بين الأقسام والدوائر.
- ✓ دمج كافة العاملين في عملية تنفيذ نظام إدارة الانبعاثات.
- ✓ توثيق كافة النتائج والبيانات.
- ✓ اختيار أفضل طرق ضبط الانبعاثات.
- ✓ إعداد برامج صيانة المعدات.
- ✓ إعداد خطط مواجهة الحالات الطارئة.
- ✓ الالتزام بمتطلبات التشريعات البيئية الخاصة بضبط انبعاثات مصافي النفط.
- اختبار الأداء واتخاذ الإجراءات التصحيحية، مع توجيه الاهتمام نحو الأمور التالية:
 - ✓ القياس والمراقبة
 - ✓ الاجراءات الوقائية
 - ✓ حفظ السجلات وتصنيفها
 - ✓ إجراء عمليات التدقيق من قبل فريق متخصص داخلي وآخر خارجي مستقل للتأكد من مطابقة تنفيذ الخطط والترتيبات.
- مراجعة نظام إدارة الانبعاثات من قبل الإدارة العليا للمصفاة، للتأكد من استمرار صلاحية وفعالية النظام.
- تحديد الأثر البيئي للمعدات الجديدة منذ المراحل الأولية لإعداد التصميم الهندسية.
- إجراء مقارنة دورية لنتائج تطبيق النظام مع القيم المعيارية العالمية.

2-3: قائمة جرد الانبعاثات المصافي

تعتبر قائمة جرد الانبعاثات Emission Inventory جزءاً أساسياً من الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط، بوصفها الأداة التي يمكن بواسطتها تقييم الحالة الراهنة والمستهدفة لمعدلات الانبعاثات التي تطرحها المصافي إلى البيئة مصنفة حسب النوع والمصدر. (RTI, 2015) يبين الجدول 2-3 نموذج قائمة جرد انبعاثات مصافي النفط.

الجدول 2-3: نموذج قائمة جرد انبعاثات مصافي النفط

المصدر / المواد	حرق الوقود	التكسير بالعامل الحفاز	التكسير بالعامل الحفاز المانع	استرجاع الكبريت	إنتاج الهيدروجين	الأسفلت	معالجة المياه الملوثة	تحميل وتفريغ المنتجات	أبراج مياه التبريد	خزانات النفط والمنتجات	عمليات التوقيف والتشغيل	التوقيفات والأعطال الطارئة
الرصاص	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
الجسيمات الدقيقة PM _{2.5}	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
الجسيمات الدقيقة PM ₁₀	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
أكاسيد الكبريت	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
أكاسيد النيتروجين	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
أكاسيد الكربون	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
المركبات العضوية الطيارة	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

المصدر: RTI, 2015

* قيم مقاس ° قيم تقديرية

تساهم قائمة جرد الانبعاثات في تحديد نقاط الخلل والانحراف عن القيم النموذجية المتبعة في المصافي الأخرى الملزمة بتطبيق المعايير العالمية، ومساعدة القائمين على هيئات حماية البيئة، وإدارات المصافي في اتخاذ القرار الأنسب حول الإجراءات

والتقديرات اللازمة لخفض كمية الانبعاثات من المصادر المختلفة في المصفاة إلى أدنى المستويات الممكنة. (IPIECA, 2012)

لقائمة جرد الانبعاثات فوائد أخرى مهمة، كتحديد مدى الأثر البيئي المتوقع من مشاريع توسيع الطاقة التكريرية للمصفاة، أو إضافة عمليات جديدة، فضلاً عن أنها تشكل جزءاً رئيسياً من التقارير التي تقدمها المصفاة إلى الجهات الحكومية المشرفة على مراقبة الانبعاثات الملوثة للبيئة، في إطار الخطة الوطنية لتحسين جودة الهواء الجوي وحماية البيئة من التلوث. (Goodwin, J. & Pulles, T., 2009)

3-2-1: مراحل إعداد قائمة جرد الانبعاثات

تنطلق عملية إعداد قائمة جرد الانبعاثات بتحديد المجالات التي ستستخدم فيها القائمة، كأن تستخدم أحد متطلبات إعداد التقارير الدورية لجهات الرقابة الحكومية، أو لغرض متابعة تطور كمية الانبعاثات خلال فترة زمنية محددة، حيث تساعد معرفة استخدامات القائمة في توجيه المدققين نحو اختيار أفضل التوصيات المناسبة لتحسين جودة البيانات وتعظيم الفائدة منها.

يتولى إعداد قائمة جرد الانبعاثات فريق عمل تمثل فيه كافة الجهات ذات العلاقة، مع التأكيد على ضرورة وجود أعضاء من مشغلي عمليات التكرير، وذلك للاستفادة من معرفتهم بمواقع المعدات، وطريقة تشغيلها، وظروف عملها.

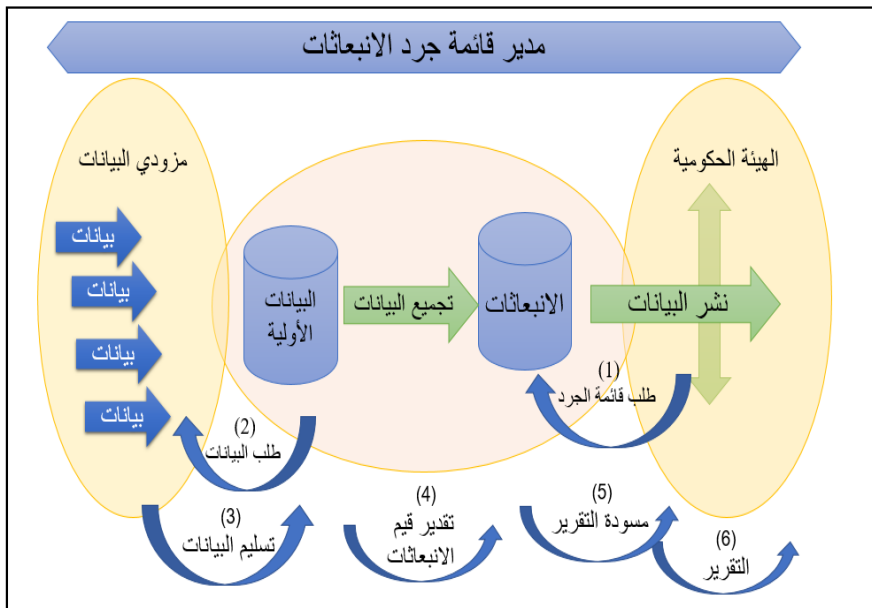
تتكون عملية إعداد قائمة جرد الانبعاثات من المراحل الستة التالية: يبين الشكل

3-2-2: مراحل إعداد قائمة جرد انبعاثات مصافي النفط.

- قيام الهيئة الوطنية بتحديد محتويات القائمة، والأهداف المطلوب تحقيقها من إعدادها.
- قيام اللجنة المختصة بطلب البيانات الخاصة بقائمة جرد الانبعاثات من الجهات المعنية بتزويد البيانات.

- قيام مزودي البيانات بتسليم البيانات التي تعتبر أساساً لتقدير كمية الانبعاثات التي ستدرج في القائمة.
- تجميع وتصنيف البيانات، حيث تقوم اللجنة المختصة بتصنيف البيانات الواردة، وحساب كمية الانبعاثات.
- تحضير مسودة تقرير أولي يتضمن بيانات قائمة جرد الانبعاثات، وتسليمها إلى الهيئة الوطنية.
- اعتماد التقرير من قبل الهيئة الوطنية لمراقبة الانبعاثات وتسليمه إلى الجهات المسؤولة عن شؤون حماية البيئة.

الشكل 2-3: مراحل إعداد قائمة جرد الانبعاثات



المصدر: Goodwin, J. & Pulles, T., 2009

2-2-3: تدقيق بيانات قائمة جرد الانبعاثات

تشير التجربة العملية إلى أن إجراء عمليات التدقيق والمراجعة الدورية لقائمة جرد الانبعاثات يساهم في خلق العديد من فرص تحسين دقة وجودة البيانات، وذلك من

خلال التأكد من صحة القياسات، وخفض نسبة الأخطاء التي يمكن أن تنتج بسبب تعدد طرق حساب كمية الانبعاثات، وتعقيد عملية جمع بيانات ظروف التشغيل.

تتكون العناصر الأساسية لعملية تدقيق جودة بيانات قائمة جرد الانبعاثات من مجموعة من الاجراءات، أهمها:

• إعداد خطة ضبط جودة البيانات

يبدأ نظام إدارة قائمة جرد الانبعاثات بإعداد خطة لضبط جودة بيانات قائمة جرد الانبعاثات وتحديد فرص تحسينها، ثم تصنيف فرص التحسين حسب الأهمية، وفقاً لإجراءات تأكيد وضبط الجودة QA/QC. (RTI, 2015)

• تدقيق البيانات

تهدف هذه الخطوة إلى التأكد من أن كافة مصادر الانبعاثات المحتملة متوافقة مع متطلبات الغرض الذي ستستخدم فيه القائمة. وتتكون من مراجعة كافة الفرضيات، ونماذج الحساب Calculation Models، والمعاملات التي استخدمت لحساب كمية الانبعاثات.

• توثيق النتائج

يجب توثيق كافة الملاحظات والاقتراحات حول التحسينات، والتعديلات التي أدخلت على قائمة الجرد، مع الإشارة إلى الدروس المستفادة من عمليات المراجعة، وإعداد التوصيات والمقترحات التي يمكن من خلالها تحسين جودة البيانات في المراجعات القادمة، والتأكيد على ضرورة أن تكون التوصيات واضحة ومفهومة وسهلة التطبيق، وتشتمل على كافة التعليمات التفصيلية لإجراءات تنفيذ التعديلات المقترحة.

3-2-3: عوامل نجاح إعداد قائمة جرد الانبعاثات

تحتاج عملية إعداد قائمة جرد الانبعاثات الكثير من الجهد والوقت، والتأكد على دقة القيم التي تتضمنها، حيث أن أي خطأ قد ينتج عنه خسائر كبيرة، وخصوصاً عندما تستخدم النتائج لاتخاذ قرارات مشاريع استثمارية باهظة التكاليف. ولنجاح العملية وتحقيق أهدافها يجب أن تتحقق الشروط التالية: (IPIECA, 2012)

- التأكد من أن كافة مصادر الانبعاثات قد تم تضمينها في القائمة.
- استخدام الطرق المناسبة لتقدير كمية الانبعاثات، والدقة في اتباع التعليمات التي تصدرها الجهة المصممة للطريقة.
- تجميع كافة بيانات ظروف التشغيل، والقيم التصميمية لمعدات المصفاة، أو الوحدة المراد حساب انبعاثاتها.
- التأكد من أن النتائج التي تقدمها القائمة متوافقة مع عمليات التشغيل في المصفاة.
- التأكد من مهارة وكفاءة وخبرة العاملين في إجراء عملية الحساب، والعمل على دمجهم في دورات تدريبية مستمرة.
- إجراء مراجعة لنتائج عملية الحساب من قبل جهات محايدة.
- دراسة الثغرات التي يتم اكتشافها في عملية الحساب، وتحليل أسباب حدوثها، وإعداد التوصيات والإجراءات الكفيلة بعدم تكرارها.
- توثيق كافة الافتراضات، ونوع الطرق المستخدمة في تنفيذ العملية.

3-3: طرق قياس كمية الانبعاثات

صممت طرق عديدة لقياس كمية الانبعاثات من قبل جهات متخصصة بإصدار التشريعات البيئية، مثل وكالة حماية البيئة الأمريكية US-EPA،

وهيئة حماية الهواء النظيف والماء في أوروبا¹ CONCAWE. منها ما يعتمد على العمليات الحسابية، أو متوسط معاملات الانبعاث²، ومنها ما يعتمد على استخدام أجهزة القياس المباشر. ويتوقف اختيار الطريقة الأنسب على الأهداف المنشودة من عملية الحساب، والوقت المتاح، ومدى توفر أجهزة القياس في الموقع. وفيما يلي أهم طرق تقدير كمية انبعاثات المصادر الثابتة: (IPIECA, 2012)

● **طريقة المراقبة المستمرة³ CEM**، تستخدم في هذه الطريقة أجهزة تركيب على مصدر الانبعاثات، تقوم بقياس وتسجيل الكمية الحقيقية للانبعاثات خلال فترات زمنية محددة. ويمكن تشغيلها بشكل مستمر، أو على فترات متقطعة. ومن مميزات هذه الطريقة أنها تساعد على حساب كمية الانبعاثات التي تنطلق من مصدر ما أثناء فترات تشغيلية مختلفة، ولكنها لا تعطي حسابات مباشرة لكمية الانبعاثات، بل تتطلب الاستعانة بمعادلات حسابية. كما تطبق هذه الطريقة لقياس تركيز NOx، وCOx، وSOx، وإجمالي الهيدروكربونات THC⁴ في غازات المداخن.

● **طريقة اختبارات المصدر Source Tests**، يطلق هذا الاصطلاح على طريقة قياس كمية انبعاثات المداخن أو فوهات التنفيس الثابتة. وتختلف عن طريقة المراقبة المستمرة في أنها تطبق لقياس الانبعاثات خلال فترات زمنية قصيرة ومحددة، وتطبق غالباً في الحالات التي تحتاج إلى اختبار أداء بعض المعدات الخاصة، أو عند الحاجة إلى الحصول على بيانات خلال فترة زمنية محددة، كأوقات الذروة أو عند تشغيل الوحدة بطاقة إنتاجية محدودة.

¹ Conservation of Clean Air and Water in Europe

² Average Emission Factors

³ Continuous Emissions Monitors

⁴ Total Hydrocarbons

• طريقة فوريير¹ FTIR

تستخدم طريقة فوريير لمراقبة انبعاثات المصفاة من مسافات بعيدة، وتحديد مكونات الغازات المتسربة ضمن مجال خط النظر، مما يتيح للمشغل مسح مناطق واسعة يمكن أن تحتوي على عشرات، بل مئات النقاط التي يحتمل أن يحدث فيها تسرب للغازات في وقت واحد، وبالتالي يمكن الاستغناء عن القيام بزيارة المواقع لإجراء عمليات القياس يدوياً على كافة النقاط المحتملة. (Beil, A., et al., 1998)

يعتمد مبدأ طريقة فوريير على قياس الفرق في قدرة الغازات المقاسة على امتصاص الأمواج الضوئية LIDAR² فيتم تسليط حزمة من الأشعة، مثل الأشعة تحت الحمراء Infra-Red Ray. يبين الشكل 3-3 محطة قياس الملوثات الغازية في الهواء الجوي بطريقة فوريير.

الشكل 3-3: محطة قياس الملوثات الغازية في الهواء الجوي بطريقة فوريير



المصدر: Beil, A., et al., 1998

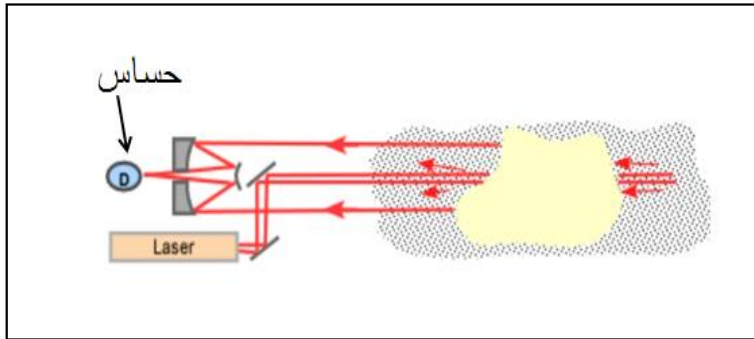
¹ Fourier Transform Infrared Spectroscopy

² Differential Absorption Light Detection and Ranging

• طريقة الفرق في انعكاس حزمة أشعة الليزر DIAL

وهي طريقة مماثلة لطريقة فورير، حيث يتم قياس تركيز المركبات الهيدروكربونية في الهواء من خلال تسليط حزمة من أشعة ليزر. وتعتمد عملية القياس على مبدأ فرق امتصاص أشعة ليزر، حيث أن كل مركب يختلف عن الآخر في قدرته على امتصاص الأشعة. يبين الشكل 3-4 طريقة قياس تركيز الملوثات الهيدروكربونية في الهواء الجوي باستخدام الفرق في كمية أشعة الليزر الممتصة والمرتدة إلى جهاز قياس حساس مركب عن بعد في موقع ثابت أو متحرك على مركبة خاصة. (Robinson, R., 2015)

الشكل 3-4: طريقة قياس تركيز الهيدروكربونات باستخدام الفرق في انعكاس حزمة أشعة الليزر



المصدر: Robinson, R., 2015

- **طريقة الارتباط Correlation**، وتعتمد على تقدير كمية كل نوع من الانبعاثات اعتماداً على قيم مرتبطة بها، كحساب انبعاثات أكاسيد الكبريت من مدخنة الفرن اعتماداً على نسبة الكبريت في الوقود المستخدم. تطبق هذه الطريقة في حساب كمية انبعاثات وحدات معالجة المياه الملوثة، أو لتقدير كمية الهيدروكربونات الضائعة نتيجة التسربات الغازية من خطوط الأنابيب، حيث يتم استخدام القيمة التي يتم الحصول عليها من قياس تركيز الانبعاثات في منطقة محددة من خطوط الأنابيب لتقدير إجمالي كمية الانبعاثات المتسربة في كافة خطوط الوحدة المراد تقدير كمية انبعاثاتها. (IPIECA, 2012)

- **طريقة الموازنات المادية Material Balances**، وهي الطريقة التي تعتمد على حساب كمية الانبعاثات من خلال معرفة كمية بعض المواد الداخلة إلى العملية، والمواد الخارجة، وافترض أن الفارق بينهما يمثل المواد الغازية التي تبخرت إلى الهواء الجوي أثناء عمليات التصنيع والنقل والتخزين.
 - **نماذج الحاسوب Computer Models**، وهي برامج حاسوبية جاهزة تستخدم لحساب الانبعاثات في الحالات التي تكون فيها العمليات الحسابية طويلة ومرهقة، أو في حالات وجود مجموعة من العوامل التي تؤثر على كمية الانبعاثات، حيث أن هذه البرامج توفر الكثير من الجهد والوقت. ومن الأمثلة على هذه النماذج، برنامج حساب انبعاثات الخزانات الذي يتطلب تحديد متغيرات عديدة، مثل لون طلاء الخزان، ودرجة حرارة المادة المخزنة، والعوامل الجوية، كدرجة حرارة الطقس وسرعة الرياح. (IPIECA, 2012)
 - **متوسط معاملات الانبعاث Emission Factors**، وهي معاملات تمثل متوسط قيم الانبعاثات التي تنطلق من مصدر معين تبعاً لأحد ظروف التشغيل كالطاقة التكريرية، أو معدل حرق الوقود، فعلى سبيل المثال، إذا كان متوسط معامل انبعاث أكاسيد النيتروجين NOx الناتجة عن حرق فحم الإنتراسيت بقيمة 9 رطل من أكاسيد النيتروجين مقابل حرق كل واحد طن من الفحم، تضرب قيمة المعامل بكمية الفحم المستهلكة فنحصل على الكمية الإجمالية لانبعاثات أكاسيد النيتروجين المنطلقة من المصدر.
 - **المحاكمة الهندسية Engineering Judgment**، وهي أقل الطرق استخداماً، حيث تعتمد على فرضيات ومعلومات هندسية معقدة.
- تختلف طرق حساب كمية انبعاثات مصافي تكرير النفط فيما بينها، من حيث الدقة والتكلفة والتعقيد ومدى ملاءمتها لطبيعة ونوع المصدر الذي تنطلق منه الانبعاثات. وبشكل عام تعتمد عملية اختيار الطريقة الأنسب للحساب على العوامل الرئيسية التالية:

- توفر البيانات الدقيقة اللازمة لإعداد الحساب.
- ملاءمة الطريقة من الناحية العملية لطبيعة وخصائص مصدر الانبعاثات.
- الغاية من إجراء الحسابات والجهة التي ستستخدمها، فعلى سبيل المثال عندما تكون الغاية من الحسابات إعداد دراسة عن انعكاسات التشريعات البيئية على القضايا المتعلقة بحماية البيئة، وعلى اقتصاديات المصافي، أو الحالات الصحية للسكان، عندئذ يجب اختيار الطرق الأكثر دقة مقارنة بالحالات المستخدمة لمراقبة التغيرات التي تطرأ على مصادر الملوثات.
- أهمية مصدر الانبعاثات المراد مراقبته، فكلما كانت أهمية المصدر كبيرة كلما زادت الحاجة إلى اختيار طرق أكثر دقة.
- الزمن المتاح لإنجاز عملية الحساب.
- الموارد المتاحة، كفريق العمل الذي سيقوم بعملية الحساب، ومقدار التمويل.

3-3-1: حساب الانبعاثات المتسربة من عمليات التكرير

نظراً لاحتواء مصفاة النفط على عدد كبير من المعدات، كالصمامات والمضخات والضواغط، والتوصيلات التي تطلق الانبعاثات المتسربة، قد يصل إلى أكثر من مائة ألف في مصفاة متوسطة الحجم، فإن عملية حساب كمية الانبعاثات تحتاج إلى جهد كبير لإحصاء عدد المعدات، وتحديد نوع المواد التي تحتوي عليها هذه المعدات، حيث تصنف إلى الفئات التالية: (Withinshaw, D., et al., 2009)

- **الغازات والأبخرة (G/V) Gas/Vapour**: وهي المواد التي تكون في حالة غازية أو بخارية، كالهيدروجين الغني بالغازات الهيدروكربونية.
- **السوائل الخفيفة (LL) Light Liquids**: وهي المواد التي تحتوي على هيدروكربونات سائلة خفيفة، مثل الغازولين، والنافثا والنفط الخام الخفيف.

• **السوائل الثقيلة (Heavy Liquids (HL):** وهي المواد التي تحتوي على هيدروكربونات سائلة ثقيلة مثل: الكيروسين، ووقود الطائرات النفائة، والديزل، ووقود الأفران، ووقود السفن Bunker، ولقيم وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، والأسفلت، والسوائل التي تحتوي على مواد هيدروكربونية بنسبة تزيد عن 10% وزنا.

يعتبر تركيب الانبعاثات التي تتسرب من المصادر المضغوطة على أنه مماثل لتركيب المواد الموجودة داخل هذه المصادر، ويتبع التصنيف المتبع في المرحلة الأولى (سوائل ثقيلة، وسوائل خفيفة، وغازات وأبخرة). أما المكونات التي يقل تركيزها عن 0.1% وزنا من إجمالي المادة الموجودة في المصدر فتهمل كميتها من عملية الحساب.

لتحديد الكمية الإجمالية للانبعاثات التي تتسرب من معدات المصفاة يجب إجراء إحصاء فعلي لكافة المعدات التي يحتمل أن تنبعث منها الملوثات الغازية في كل وحدة من وحدات المصفاة، كالمضخات، والضواغط، إضافة إلى المعدات الاحتياطية الموضوعة تحت الضغط، وصمامات الأمان، وغيرها.

3-3-2: حساب انبعاثات خزانات النفط الخام والمنتجات

تحسب كمية المركبات العضوية الطيارة المنطلقة من خزانات النفط الخام والمنتجات التي تحتوي على مواد خفيفة مثل الغازولين ووقود الطائرات النفائة والمقطرات الوسطى، باستخدام برامج حاسوبية جاهزة، تدخل فيها عوامل عديدة كدرجة الحرارة، وقطر الخزان، والظروف البيئية المحيطة، إضافة إلى خصائص المادة المخزنة. أما خزانات زيت الوقود الثقيل والأسفلت فتهمل انبعاثاتها، إلا إذا كانت تحتوي على قطرات خفيفة لتخفيض اللزوجة Cutter Stock.

3-3-3: حساب انبعاثات محطات تحميل النفط الخام والمنتجات

تحسب كمية انبعاثات محطات تحميل المنتجات بالقطارات والشاحنات بإحدى

الطريقتين التاليتين: (Lucas, R., 2002)

- طريقة معاملات الانبعاث، حيث تضرب كمية المنتجات النفطية المعبأة بمعاملات الانبعاث المبينة في الجدول 3-3.
- طريقة اختبار المصدر Source Test، وتعتمد على مبدأ تحليل مكونات عينة من الهواء المنطلق من فوهة الحاوية خلال مراحل متعددة من عملية التعبئة حتى تكون العينة ممثلة لكافة الظروف التي تمر أثناء العملية.

الجدول 3-3: معاملات انبعاث محطات تحميل المنتجات البترولية
(ملغ / لتر عند 15°م)

زيت وقود	مقطرات وسطى	كيروسين طائرات	نافثا	نفط خام (2)	غازولين (1)	مصدر الانبعاثات
فاقد عملية التحميل						
						التحميل من الأعلى
0.03	4	5	430	580	1430	بدون خط توازن أبخرة
غ مس	غ مس	غ مس	300	400	980	بوجود خط توازن أبخرة
						التحميل من الأسفل
غ مس	غ مس	غ مس	300	400	980	بدون خط توازن أبخرة
0.01	1.7	1.9	180	240	590	بوجود خط توازن
فاقد عملية النقل						
						محمل بالمنتجات
غ م	غ م	غ م	غ م	غ م	1.0-0	عادي
غ م	غ م	غ م	غ م	غ م	9.0-0	كثيف
						فارغ، بوجود الأبخرة
غ م	غ م	غ م	غ م	غ م	13.0-0	عادي
غ م	غ م	غ م	غ م	غ م	44.0-0	كثيف

(1) الضغط البخاري للغازولين RVP = 10 رطل /البوصة المربعة psia
(2) الضغط البخاري للنفط الخام RVP = 5 رطل/البوصة المربعة psia
غ مس: غير مستخدم، غ م: غير متوفر

4-3-3: حساب انبعاثات وحدات معالجة المياه الملوثة

يوجد طرق عديدة لحساب انبعاثات وحدات معالجة المياه الملوثة، أهمها:

• **طريقة البرامج الحاسوبية الجاهزة**، وهي طريقة سهلة تعتمد على مبدأ حساب كمية الانبعاثات بواسطة برامج كمبيوتر، حيث يقوم المستخدم بإدخال البيانات التالية:

✓ مخطط توزيع معدات وشبكات تجميع المياه الملوثة في المصفاة، ومواصفاتها الفيزيائية.

✓ المواصفات الفيزيائية لكافة خطوط المياه الملوثة، من درجات حرارة وكمية الجريان وعدد الصمامات والتوصيلات، وأبعاد الخطوط، ونوع التقنيات المستخدمة للتحكم بالانبعاثات إن وجدت.

✓ نوع وتركيز المواد البترولية الموجودة في خطوط المياه الملوثة.

• **طريقة الحساب اليدوي**، وذلك باستخدام معادلات تعتمد على نظرية انتقال الكتلة وتوازن الغاز مع السائل. وهي طريقة معقدة تحتاج إلى عمليات حسابية يستغرق إجراؤها مدة زمنية طويلة.

• **طريقة اختبار المصدر**، التي تعتمد على أخذ عينات من الهواء في كافة نقاط تجميع المياه الملوثة التي تطلق المركبات العضوية الطيارة وتحليلها في المخبر لتحديد تركيز الانبعاثات. وعلى الرغم من دقة هذه الطريقة إلا أنها غير مرغوبة لأنها تحتاج إلى مدة زمنية طويلة وجهود كبيرة لتنفيذها، نظراً لإمكانية تجاوز عدد مصادر الانبعاثات عن المائة ألف مصدر.

• **طريقة الموازنة المادية**، التي تعتمد على حساب كمية المركبات الغازية التي تبخرت من خطوط ومعدات وحدة معالجة المياه الملوثة، من خلال حساب الفرق بين تركيز المواد البترولية السائلة في كل من المياه الملوثة الداخلة والخارجة من الوحدة. إلا أن استخدام هذه الطريقة محدود، نظراً للتغيرات الكثيرة التي تطرأ على مواصفات المياه الخارجة من المصفاة.

• **طريقة معاملات الانبعاث للخطوط القادمة من عمليات التكرير، والصمامات والتوصيلات المركبة عليها، وتحديد فيما إذا كانت تطلق الانبعاثات مباشرة إلى الجو، أو أنها معزولة بسدادة مائية Water Seal، حيث أن السدادة المائية تمنع انطلاق الانبعاثات الغازية إلى الهواء، ثم تضرب بمعامل الانبعاث الذي تحدده الهيئات المتخصصة لكل معدة من معدات الوحدة، بما يتناسب مع نوع التقنية المتبعة. يبين الجدول 3-4 معاملات انبعاث وحدة معالجة المياه الملوثة.**

الجدول 3-4: معاملات الانبعاث في وحدة معالجة المياه الملوثة

ملاحظات	معاملات الانبعاث			المعدات
	وحدة القياس	بنظام تحكم	بدون تحكم	
100% مجهز بنظام سدادة مائية	كغ/سا/الصمام	0.000	0.032	صمامات التصفية وعلب الوصل
97% مجهز بنظام غطاء محكم	كغ/م ³ مياه ملوثة	0.00330	0.11100	فاصل الزيت عن الماء
97% مجهز بنظام غطاء محكم	كغ/م ³ مياه ملوثة	0.00012	0.00400	أحواض التعويم
نظم تشغيل وصيانة صارمة		مهم	مهم	مجمعات مياه الأمطار
نظم تشغيل وصيانة صارمة		مهم	مهم	أبراج مياه التبريد

المصدر: Withinshaw, D. 2009

3-3-5: حساب انبعاثات أبراج مياه التبريد

تحسب كمية المركبات العضوية الطيارة التي تنبعث من أبراج مياه التبريد إلى الهواء بإحدى الطريقتين التاليتين:

• **طريقة معاملات الانبعاث، التي تعتمد على قيم معاملات الانبعاث التي تنشرها الهيئات المتخصصة.**

• **طريقة بيانات تركيز الهيدروكربونات، وتعتمد على حساب الفرق بين تركيز الهيدروكربونات في المياه الداخلة والخارجة من الأبراج، وتحويل القيمة إلى كتلة وزنية/الساعة.**

3-3-6: حساب انبعاثات الحوادث الطارئة

تعتمد كمية الانبعاثات الناتجة عن الحوادث الطارئة على نوع الحادثة، ولا تصنف الحادثة في سجل الحوادث الطارئة إلا إذا تجاوز الحد الأدنى لكمية المواد المتسربة المعدلات التالية:

- حوادث الانسكاب والتسرب إلى المياه السطحية التي تزيد فيها كمية الزيوت المنسكبة إلى الأحواض أو المجمعات المائية عن 10 لتر.
- حوادث الانسكاب والتسرب إلى السطوح الأرضية، والتي تزيد كميتها عن 200 لتر.
- حوادث طرح الهيدروكربونات إلى الهواء بكميات تزيد عن 100 لتر.

كما تعتمد كمية الانبعاثات الغازية على نوع المادة المنسكبة، والمنطقة التي تنسكب عليها المواد، فإذا كانت المواد المنسكبة في حالة غازية أو بخارية فتحسب بأنها تشكل نسبة 100% من إجمالي المواد المنسكبة، أما إذا كان الوسط الذي انسكبت عليه المواد هو وسط مائي أو أرض كثيفة فتقدر كمية الانبعاثات إلى الهواء الجوي بأنها تساوي حجم الهيدروكربونات التي لم يتم استرجاعها. في هذه الحالة تحسب كمية الانبعاثات إلى الهواء بضرب الحجم الصافي للمواد المنسكبة بمعامل التبخر Evaporating Factor، فإذا كانت المادة المنسكبة غازولين أو منتجات أخف منه فيفترض أن 100% من المادة المنسكبة قد تبخرت إلى الهواء. أما إذا كانت المواد المنسكبة وقود نفاثات أو منتجات أثقل فيفترض أن نسبة التبخر إلى الجو صفرًا. ولكن عندما يكون الوسط الذي انسكبت عليه المواد سطحاً نفوذاً، فيفترض عندئذ أن كامل الكمية المنسكبة قد نفذت إلى التربة ولم يتبخر منها شيء إلى الهواء.

3-3-7: حساب انبعاثات حرق الوقود في الأفران

من أفضل الطرق المتبعة لحساب كمية انبعاثات CO_x ، و SO_x ، و NO_x الناتجة عن حرق الوقود في الأفران ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية هي

الطريقة التي تعتمد على أجهزة التحليل التي تتركب على المدخنة، وتعمل إما بشكل مستمر أو متقطع. وتعتبر هذه الطريقة أكثر دقة من طريقة الحساب اعتماداً على معاملات الانبعاث. (De Caluwé, G. et al., 2015)

3-3-8: حساب انبعاثات منظومة الشعلة

تختلف كمية المركبات العضوية الطيارة والملوثات الأخرى المنبعثة من الشعلة تبعاً لعوامل عديدة، أهمها نوع وسرعة الغازات الواردة من الوحدات الإنتاجية، ومردود الاحتراق، ومدى ثبات اللهب في رأس الشعلة، إضافة إلى العوامل الجوية كسرعة الرياح، ودرجة حرارة الطقس.

تشير الدراسات الإحصائية إلى أن معظم مصافي النفط تستخدم طريقة معاملات الانبعاث في حساب كمية انبعاثات منظومة الشعلة.

تعتمد دقة نتائج الحساب على مدى الدقة في قياس كمية ونوعية كل من الغازات الداخلة إلى الشعلة، وإلى شمعات الاحتراق الدائمة التي تستخدم للمحافظة على استمرار لهب الشعلة. ولتحقيق هذه الغاية تتبع الوسائل التالية، مرتبة حسب الأفضلية:

- المراقبة المستمرة بواسطة أجهزة مضمونة الجودة.
- إجراء اختبارات دورية بواسطة أجهزة وطرق تحليل مخبرية.
- مراجعة الحسابات الهندسية اعتماداً على تقييم تفصيلي لعمليات التكرير التي تنطلق منها الغازات إلى الشعلة.
- إجراء اختبارات الأداء أثناء إعداد قائمة جرد انبعاثات المصفاة.

3-4: تشريعات ضبط انبعاثات مصافي النفط

انطلقت عملية ضبط انبعاثات مصافي النفط في العالم في مطلع سبعينيات القرن الماضي، وذلك استجابة لتنامي المطالبات الشعبية بضرورة وضع حد لتفاقم مشكلة تلوث الهواء الجوي. تركز الاهتمام في ذلك الوقت على معالجة مشكلة الضباب

الدخاني (تركيز الأوزون)، والجسيمات الدقيقة PM، والمواد الخطرة، والملوثات الأخرى التي لها انعكاسات محلية. كما تناولت التشريعات تحديد النسب القصوى المسموح طرحها في كل من المصادر المتحركة، كوسائل النقل بأنواعها، والمصادر الثابتة الصناعية، كمحطات توليد الطاقة الكهربائية، ومصافي النفط.

كانت نقطة البداية في الولايات المتحدة الأمريكية بصدور قانون الهواء النظيف في عام 1970، ثم أدخل عليه تعديلات جوهرية في عامي 1977، و1990. بعد ذلك أصدرت وكالة حماية البيئة مجموعة جديدة من معايير الأداء الخاصة بمصافي النفط لضبط الجسيمات الدقيقة PM وأكاسيد النيتروجين NOx، وثاني أكسيد الكبريت SO₂، وأول أكسيد الكربون CO، يراعى فيها الاختلاف فيما بين المصافي، فعلى سبيل المثال، تم اصدار معايير مختلفة تبعاً للطاقة التكريرية أو لنوع عمليات التكرير، مثل التكسير بالعامل الحفاز المائع، والتفحيم المائع، ووحدات استرجاع الكبريت، وأفران عمليات التكرير.

في عام 2010 قدمت وكالة حماية البيئة الأمريكية اقتراحاً يتضمن إدراج معايير الأداء البيئي التي تتضمن الحدود القصوى المسموحة للانبعاثات التي تطلقها محطات توليد الطاقة الكهربائية، والمنشآت الصناعية، ومصافي النفط الجديدة والقائمة. كما يتضمن الاقتراح شروط الحصول على ترخيص إنشاء المصافي الجديدة التي تطرح 100 ألف طن/السنة غاز CO₂ مكافئ، وفي الحالات التي يتم فيها إدخال تعديلات جديدة على المصفاة القائمة بحيث يمكن أن ينتج عنها زيادة في الانبعاثات بمقدار 75 ألف طن CO₂ مكافئ في السنة. أو عندما تبلغ الزيادة في كمية انبعاثات كبريتيد الهيدروجين H₂S أكثر من 10 طن في السنة.

في عام 2011 تم إدراج فقرات أخرى إلى قانون الهواء النظيف تتضمن إلزام المنشآت الصناعية الكبيرة، بما في ذلك مصافي النفط الجديدة، والتي تجري تعديلات جوهرية، بتنفيذ أفضل التقنيات المتاحة لخفض الانبعاثات. (Thomas, A., & Brian, B., 2015)

3-4-1: مراحل عملية إصدار تشريعات ضبط الانبعاثات

تتم عملية إصدار تشريعات ضبط الانبعاثات من مصافي النفط على ثلاث مراحل، تبدأ بتحديد أفضل الطرق الممكنة لخفض الانبعاثات، ثم مرحلة النشر والإبلاغ عن التشريعات المحتملة إلى الجمهور لإبداء الرأي. بعد ذلك يطلب من المصافي إعداد الخطط والإجراءات اللازمة لتلبية متطلبات التشريعات. (Donnelly, A. et al., 2014)

تقوم هيئات حماية البيئة بتحديد أفضل الطرق التي يمكن من خلالها خفض الانبعاثات التي تطلقها المصافي إلى أدنى قيمة ممكنة ليصار إلى اعتمادها كمعيار لقياس أداء المصافي. كما يؤخذ بعين الاعتبار أثناء تحديد معايير الأداء التكاليف المحتملة لإجراءات خفض الانبعاثات، وانعكاسات تطبيقها على قضايا الصحة والسلامة والبيئة.

تتولى هيئة حماية البيئة إعداد معايير وطنية لجودة الهواء الجوي لضبط الملوثات الضارة بالبيئة، وهي غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 ، وأكاسيد النيتروجين NO_x ، وأول أكسيد الكربون CO ، والجسيمات الدقيقة PM ، وغاز الأوزون O_3 عند مستوى الأرض، والرصاص Pb . بعد ذلك تقوم الهيئة بتحديد المناطق من حيث التزامها بالمعايير الوطنية لجودة الهواء، ويغطي التقسيم كافة الولايات المتحدة الأمريكية. فعندما يكون تركيز الملوثات أدنى من القيم القصوى المحددة في المعايير الوطنية تسمى المنطقة عندئذ بالمنطقة المحصنة Attainment أما المناطق التي يكون فيها تركيز الملوثات أعلى من القيم القصوى، فتسمى بالمناطق غير

المحصنة Non-Attainment، وبالتالي فإن الهدف الرئيسي لقانون الهواء النظيف هو تحويل كافة المناطق غير المحصنة إلى مناطق محصنة. (Wakefield, B., 2007)

3-4-2: تشريعات منح ترخيص إنشاء مصفاة جديدة

تتضمن فقرات قانون الهواء النظيف عدم منح ترخيص إنشاء مصفاة نفط جديدة إلا بعد تعهد الشركة المالكة بأن لا تؤدي عمليات التكرير إلى تغيير في جودة الهواء الجوي الذي يستنشقه سكان المناطق المجاورة لموقع المصفاة، وذلك من خلال الالتزام بالمعايير التي يحددها القانون لكل منطقة، أو ما يسمى ببرنامج مراجعة المصادر الجديدة. فعلى سبيل المثال، قسمت مناطق الولايات المتحدة الأمريكية إلى مناطق محصنة، وأخرى غير محصنة، وعند منح المصفاة الموافقة على الإنشاء في المناطق المحصنة يجب أن تحصل الشركة على موافقة تسمى منع حدوث تدهور جوهري¹، تتعهد من خلالها باتخاذ الإجراءات التي تساهم في خفض انبعاثات المصفاة، وبما يضمن عدم تحويل المنطقة المحصنة إلى غير محصنة.

تشترط التشريعات البيئية أن يتضمن ترخيص إنشاء مصفاة جديدة، أو تطوير مصفاة قائمة، متطلبات تلزم المصفاة باتخاذ كافة الإجراءات الممكنة لخفض الانبعاثات. ويتوقف مستوى التقنية المطلوبة على تصنيف المنطقة التي ستبنى عليها المصفاة فيما إذا كانت محصنة أو غير محصنة. (Wakefield, B., 2007)

¹ Prevention of Significant Deterioration-PSD

لا تقتصر عملية تحديد أفضل التقنيات الممكنة للتحكم بالانبعاثات على تركيب معدات التحكم بالانبعاثات، بل تتضمن أيضاً تعديل التصاميم الهندسية، وطرق تنفيذ العمل، والمعايير التشغيلية. وذلك من خلال الخطوات الرئيسية التالية:

- إعداد قائمة بأفضل التقنيات التي يمكن من خلالها خفض الانبعاثات إلى أدنى قيمة ممكنة.
- تقييم كافة التقنيات، وتحديد الأسباب التي يمكن أن تعيق نجاح تطبيق التقنية، وإعداد تقرير يبين تصنيف التقنيات المختارة حسب المعايير التالية:
 - ✓ كفاءة وفعالية التقنية (نسبة خفض الانبعاثات).
 - ✓ الكمية المتوقعة للانبعاثات (طن/السنة)
 - ✓ كمية الانبعاثات المخفضة (طن/السنة)
 - ✓ استهلاك الطاقة (وحدة حرارية بريطانية، كيلو وات ساعي)
 - ✓ الأثر البيئي (احتمالات تشكل انبعاثات أخرى سامة أو خطرة)
 - ✓ الانعكاسات الاقتصادية (التكلفة الإجمالية، والجدوى الاقتصادية)
- اختيار التقنيات الأنسب

لضمان أفضل النتائج المرجوة من تطبيق برنامج منح التراخيص يجب مشاركة الجمهور في مراجعة وتدقيق الشروط والمعايير التي يجب أن تلتزم بها إدارة المصفاة قبل إصدار الترخيص، وأن تتعهد بالمحافظة على الالتزام بها أثناء حالة التشغيل العادي لوحدات المصفاة، وأثناء عمليات الإقلاع والتوقيف لإجراء أعمال الصيانة. (Wakefield, B., 2007)

تعتمد المدة الزمنية اللازمة لعملية منح ترخيص إنشاء مصفاة جديدة، أو إجراء تعديل جوهري على مصفاة قائمة، على معدل الانبعاثات المحتمل أن تطرحها المصفاة إلى البيئة بعد تنفيذ المشروع. ويبلغ متوسط الزمن الذي تستغرقه إجراءات منح

الترخيص حوالي سبعة أشهر، وقد تصل في بعض الحالات إلى سنتين أو أكثر. وفيما يلي المراحل الرئيسية لعملية منح الترخيص: (CEA, 2015)

- **الاجتماعات التحضيرية**، تعقد اجتماعات تحضيرية يلتقي فيها ممثلون من المصفاة مع الهيئة المانحة للتراخيص، يتم فيها تقديم شرح مبسط عن المشروع، وأهدافه. قد تستغرق هذه الاجتماعات عدة أشهر قبل تقديم طلب الحصول على الترخيص.
- **تقديم طلب الترخيص**، في هذه المرحلة تقوم المصفاة بتقديم طلب الحصول على الترخيص إلى هيئة منح التراخيص، ملحقاً بكافة المراسلات السابقة التي تمت بين المصفاة والهيئة، ونسخة عن القوانين النازمة لمعايير الانبعاثات التي تطرحها مصافي النفط، إضافة إلى الوثائق التي تثبت تصنيف المنطقة فيما إذا كانت محصنة أم غير محصنة¹، وتصريح موقع من إدارة المصفاة يبين فيما إذا كانت الشركة تشغل أو تملك مصفاة أخرى في نفس المنطقة.
- **دراسة الطلب**، حيث تقوم الهيئة بالتأكد من أن الطلب يحتوي على كافة الوثائق والبيانات المطلوبة من الشركة.
- **إصدار مسودة أولية للترخيص ونشره للجمهور**، في هذه المرحلة تقوم هيئة منح التراخيص بإرسال إعلان إلى كافة الأطراف المدرجة أسماؤهم في قائمة الأشخاص والمنظمات المهتمة بالموضوع، كما تقوم المصفاة بنشر المسودة الأولية للترخيص في كافة وسائل الإعلام الممكنة، مع الإشارة إلى المكان والطريقة التي يمكن من خلالها الحصول على مسودة الترخيص.
- تحدد في الإعلان مدة ثلاثين يوماً، اعتباراً من تاريخ إصدار مسودة الترخيص لاستقبال الملاحظات من الجمهور، وترفض أية ملاحظة تصل بعد التاريخ

¹ Attainment or Non-attainment

المحدد. ويمكن للجمهور تقديم طلب تمديد الفترة المخصصة لتقديم الملاحظات، وللهيئة الحق بالموافقة أو الرفض.

● **إصدار النسخة النهائية للترخيص**، بعد دراسة الملاحظات الواردة من الجمهور والرد عليها بالموافقة على إجراء التعديلات المقترحة أو الرفض، تقوم الهيئة بإصدار النسخة النهائية للترخيص وتسليمها للمصفاة.

تتضمن النسخة النهائية للترخيص متطلبات التزام المصفاة بمراقبة الانبعاثات الملوثة للبيئة، وإعداد قائمة جرد تبين الكميات التي تطلقها المصفاة وإدراجها في تقرير يرفع إلى الهيئة بشكل دوري. ويمكن لأي مواطن الحصول على نموذج التقرير من الهيئة، وتقديم شكوى فيما إذا وجدت حالات خرق لمتطلبات قانون الهواء النظيف أو متطلبات الترخيص.

تحتسب الزيادة المتوقعة في الانبعاثات التي سيطلقها المشروع بطرح إجمالي الانبعاثات المتوقعة بعد تنفيذ مشروع التطوير من كمية الانبعاثات التي تطرحها المصفاة في الوقت الحالي. أما بالنسبة لإنشاء المشاريع الجديدة فالعملية أسهل، حيث لا يوجد انبعاثات سابقة يجب حسابها. (Thomas, A., & Brain, N., 2015)

تحتسب الانبعاثات التي تطرحها المصفاة قبل التعديل بالمعدل الوسطي لكل نوع من أنواع الانبعاثات التي تطرحها الوحدة في 24 ساعة متتالية على مدار الشهر، خلال السنوات العشر التي تسبق تاريخ تقديم طلب الحصول على ترخيص الإنشاء، أو تاريخ بدء عمليات الإنشاء. أما الانبعاثات المتوقعة فتحسب كميتها بالمعدل الوسطي السنوي الأقصى لكمية الانبعاثات المتوقع أن تطرحها الوحدة في أي سنة من السنوات الخمس، وفي بعض الحالات في السنوات العشر التي تلي تاريخ استئناف المصفاة للتشغيل العادي بعد استكمال مشروع التطوير أو التوسيع.

بمعرفة المعدلات الوسطية لكمية الانبعاثات الحالية والمتوقعة يمكن حساب مقدار الزيادة المتوقعة من إنشاء مشروع التطوير، وبالتالي يمكن تحديد فيما إذا كانت هناك حاجة للحصول على ترخيص جديد.

تعتبر عمليات الإقلاع والتوقيف، وفترات التوقف لإجراء أعمال الصيانة، أو حالات تعطل معدات التحكم بالانبعاثات، من الحوادث الطارئة التي تؤدي إلى ارتفاع معدلات انبعاثات مصفاة النفط إلى قيم تفوق المعدلات العادية، لذلك تسمح تشريعات ضبط الانبعاثات للمصافي بتجاوز القيم المسموحة في مثل هذه الحالات التي من المستحيل التحكم بكمية الانبعاثات بالوسائل التكنولوجية المتاحة.

الفصل الرابع

أمثلة عملية لمشاريع خفض انبعاثات مصافي النفط



4-1: أمثلة لمشاريع خفض الانبعاثات في الدول الأعضاء في أوابك

- 4-1-1: تجربة دولة الكويت في إعداد خطة خفض انبعاثات مصافي النفط
- 4-1-2: تجربة شركة أرامكو السعودية لخفض الانبعاثات المتسربة من منشأة شذقم لمعالجة الغاز الطبيعي

4-2: أمثلة لمشاريع خفض انبعاثات مصافي النفط في مناطق العالم

- 4-2-1: تجربة تخفيض الانبعاثات في مصفاة إنجين - جنوب أفريقيا
- 4-2-2: تطبيق منظومة إدارة البيانات البيئية لتطوير عملية مراقبة الانبعاثات في مصفاة تكساس-الولايات المتحدة الأمريكية
- 4-2-3: شروط ترخيص إنشاء مصفاة جديدة في أريزونا - الولايات المتحدة الأمريكية
- 4-2-4: خطة خفض انبعاثات مصفاة غوثنبرغ
- 4-2-5: مشروع تطوير مصفاة باين بيند

الفصل الرابع

أمثلة عملية لمشاريع خفض انبعاثات مصافي النفط

مقدمة

يستعرض هذا الفصل عدداً من التجارب العملية لمشاريع قامت بها مصافي النفط لخفض انبعاثاتها في بعض الدول الأعضاء في أوبك، وفي مناطق العالم الأخرى، مع الإشارة إلى أهداف تلك المشاريع، وطبيعة الصعوبات التي واجهت عملية تنفيذ خطط خفض الانبعاثات، والتوصيات والنتائج التي أمكن الحصول عليها.

4-1: أمثلة لمشاريع خفض الانبعاثات في الدول الأعضاء في أوبك

تشهد صناعة تكرير النفط في الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوبك" تطوراً ملحوظاً في مجال الاهتمام بقضايا الحد من طرح الملوثات الناتجة عن عمليات التكرير إلى البيئة، وذلك نتيجة تنامي الوعي بخطورة الآثار السلبية للتلوث البيئي على صحة الإنسان والبيئة.

انطلقت عملية إصدار التشريعات والقوانين البيئية النازمة للأنشطة الصناعية، ومن ضمنها صناعة تكرير النفط، في معظم الدول الأعضاء في أوبك مع بداية تسعينيات القرن الماضي، وذلك بتأثير الضغوط التي تمارسها بعض الهيئات الحكومية والشعبية، ومنظمات العمل المدني، ووسائل الإعلام التي تنقل الشكاوى المتكررة للسكان القاطنين بجوار المصافي حول معاناتهم من تأثير انتشار الروائح المزعجة. وعلى الرغم من عدم منح تلك التشريعات القوة القانونية الملزمة في معظم الدول الأعضاء، إلا أن العديد من المصافي التي تعود ملكيتها إلى شركات وطنية قامت بتنفيذ إجراءات خفض الانبعاثات

في إطار مشاريع تطوير المصافي التي نفذت في السنوات الماضية، أو التي هي قيد التنفيذ حالياً، إضافة إلى بعض الإجراءات التي تقوم بتنفيذها على المدى القريب، ولا تحتاج إلى تكاليف واستثمارات باهظة، وهي على النحو التالي: (مكي، ع.، 2017)

- إنشاء محطات رصد وقياس لنسب الملوثات في مناطق مختلف مجاورة لمصافي النفط، بهدف تقييم الوضع الراهن لنسب الملوثات، واختيار الإجراءات والحلول والتقنيات المناسبة لخفض الانبعاثات.
- إعداد قوائم جرد انبعاثات المصافي، لمتابعة تغيرات الانبعاثات، والعوامل المؤثرة في تغير كميتها.
- تطوير برامج الإدارة البيئية ونظم الصحة والسلامة، بهدف تحسين أداء المصفاة، والمحافظة على سلامة العاملين.
- تحسين برامج الصيانة الدورية والوقائية للمعدات، بهدف الحد من التوقفات الطارئة التي ينجم عنها تسرب المواد الهيدروكربونية من المعدات إلى البيئة.
- تطبيق برامج ترشيد استهلاك الطاقة، وتحسين مواصفات الوقود المستخدم في أفران عمليات التكرير، ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية، واستبدال الوقود السائل الحاوي على نسبة عالية من الكبريت بالغاز الطبيعي النظيف الخالي تقريباً من الكبريت والشوائب الملوثة للبيئة.
- تركيب مراحل إضافية لمفاعلات وحدة استرجاع الكبريت بطريقة كلاوس لتحسين مردودها، بهدف خفض انبعاثات SO_2 .
- تركيب منظومات التقاط الجسيمات الدقيقة المنطلقة من عمليات تنشيط العامل الحفاز في وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC.

- تخفيض معدلات الغازات المحترقة في منظومة الشعلة، من خلال إجراء صيانة دورية لصمامات الأمان المرتبطة بالشعلة، وتركيب نظم استرجاع الغازات للاستفادة منها كوقود في أفران المصفاة بدلاً من حرقها.

على الرغم من أهمية الإجراءات التي اتخذتها بعض الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوابك" للحد من انبعاثات مصافي النفط، لا تزال الحاجة ملحة لاتخاذ المزيد من القرارات التي من شأنها تعزيز الأداء البيئي لصناعة تكرير النفط في المنطقة العربية. يأتي في مقدمة هذه الإجراءات ضرورة منح القوانين والتشريعات البيئية القوة القانونية التي تمكن الهيئات المختصة بحماية البيئة من القيام بدورها في مراقبة أنشطة صناعة التكرير، وإلزامها بالامتثال بمتطلبات تشريعات التحكم بمعدلات الانبعاثات التي تطرحها إلى البيئة، وضرورة تقديم دراسة تقييم أثر بيئي للمشروعات الجديدة قبل منح ترخيص الإنشاء.

يذكر أن العديد من الدول الأعضاء قد حققت تقدماً ملحوظاً في هذا المجال، فعلى سبيل المثال لا الحصر، أصدرت وزارة الإسكان والبلديات والبيئة في مملكة البحرين العديد من القرارات التي تنظم عمل المنشآت الصناعية، منها القرار رقم (1) لسنة 1998 بشأن التقويم البيئي للمشروعات. كما أصدرت الهيئة الملكية للجبيل وينبع في المملكة العربية السعودية نشرة تتضمن كافة التشريعات البيئية التي تنظم عمل المنشآت الصناعية في المملكة. (RCJY, 2015)

4-1-1: تجربة دولة الكويت في إعداد خطة خفض انبعاثات مصافي النفط

نفذت شركة البترول الوطنية الكويتية¹ KNPC مشروع الخطة الوطنية لخفض انبعاثات مصافي النفط، بالتعاون مع معهد الكويت للأبحاث العلمية² KISR، وبمساعدة عدد من بيوت الخبرة الاستشارية. (KISR, 2005)

¹ Kuwait National Petroleum Company

² Kuwait Institute for Scientific Research

• أهداف المشروع

تتلخص أهداف الخطة الوطنية لخفض انبعاثات مصافي النفط في دولة الكويت

بما يلي:

- ✓ إعداد قائمة جرد انبعاثات مصافي شركة البترول الوطنية الكويتية الثلاث: ميناء الشعبية، وميناء الأحمد، وميناء عبد الله، وذلك باستخدام طرق حساب الانبعاثات المتبعة في العالم، كطريقة وكالة حماية البيئة الأمريكية.
- ✓ اختبار مدى امتثال مصافي النفط بمعايير الهيئة العامة للبيئة في دولة الكويت، وإعداد اقتراحات حول أفضل تقنيات التحكم التي تلائم مصافي ومنشآت شركة البترول الوطنية الكويتية.
- ✓ إعداد نظم يدوية وآلية للحصول على بيانات فورية من الوحدات الصناعية والمصادر الأخرى، وإدارة التقارير والبيانات البيئية.
- ✓ حساب إجمالي كمية الانبعاثات في كل مصفاة، وإجراء تحليل إحصائي، وإعداد نماذج رياضية لتقييم مستويات الخطر على صحة الإنسان، بما في ذلك تجميع وقياس البيانات المطلوبة عن كل موقع.
- ✓ إعداد خطة مراقبة مستمرة، وتحديد مواقع نقاط مراقبة جودة الهواء، بهدف الحصول على المعلومات، وإعداد المقترحات المتعلقة بذلك.

• فعاليات تنفيذ المشروع

اشتملت عملية تنفيذ الخطة الوطنية لتخفيض انبعاثات مصافي النفط في دولة

الكويت، على الفعاليات التالية:

- ✓ إعداد نماذج البيانات
- ✓ تجميع البيانات
- ✓ حساب التوازن المادي للانبعاثات

- ✓ تحليل واختيار أفضل تقنيات التحكم المتاحة
- ✓ تصميم نظام إعداد التقارير الخاصة بالمشروع
- أما عملية إعداد النموذج الرياضي للهواء الجوي فقد تضمنت الفعاليات التالية:
- ✓ تحديد مصادر الانبعاثات إلى الهواء الجوي.
- ✓ إعداد مخطط المراحل الزمنية لإنشاء وحدات عمليات التكرير في كل مصفاة.
- ✓ إجراء اختبارات قبول المصنع (Factory Acceptance Testing (FAT
- ✓ إجراء اختبارات قبول الموقع (Site Acceptance Testing (SAT
- ✓ تدريب المستخدمين للنظام.
- ✓ تصميم نظام إعداد تقارير قائمة جرد الانبعاثات الغازية والنموذج الرياضي.

تم اختيار فريق المشروع التابع لمعهد الكويت للأبحاث العلمية من الباحثين والمهندسين، من اختصاصات مختلفة، مثل تشغيل عمليات التكرير، وتجميع وإعداد البيانات، وتصميم النماذج الرياضية لتوزيع الهواء، وتحليل عمليات المصفاة. أما فريق شركة البترول الوطنية الكويتية فيتكون من رئيس المشروع، ومشرف الصحة والسلامة والبيئة، ومهندسي تطبيقات الكمبيوتر، وعدد من خبراء عمليات وتقنيات تكرير النفط، وخبراء مكافحة التلوث.

• مراحل تنفيذ المشروع

نفذ مشروع إعداد قائمة جرد الانبعاثات التي تطلقها مصافي النفط الكويتية من خلال المراحل الأربعة التالية:

➤ المرحلة الأولى: إعداد نماذج البيانات

الهدف من هذه المرحلة هو إعداد نماذج لتخزين البيانات الخاصة بقائمة جرد انبعاثات مصافي نفط شركة البترول الوطنية الكويتية.

➤ المرحلة الثانية: تجميع المعلومات

الهدف من هذه العملية هو الحصول على البيانات اللازمة لتحديد الانبعاثات الغازية وتقييمها، وإعداد النموذج الرياضي، وصياغة التقرير.

➤ المرحلة الثالثة: حساب كمية الانبعاثات

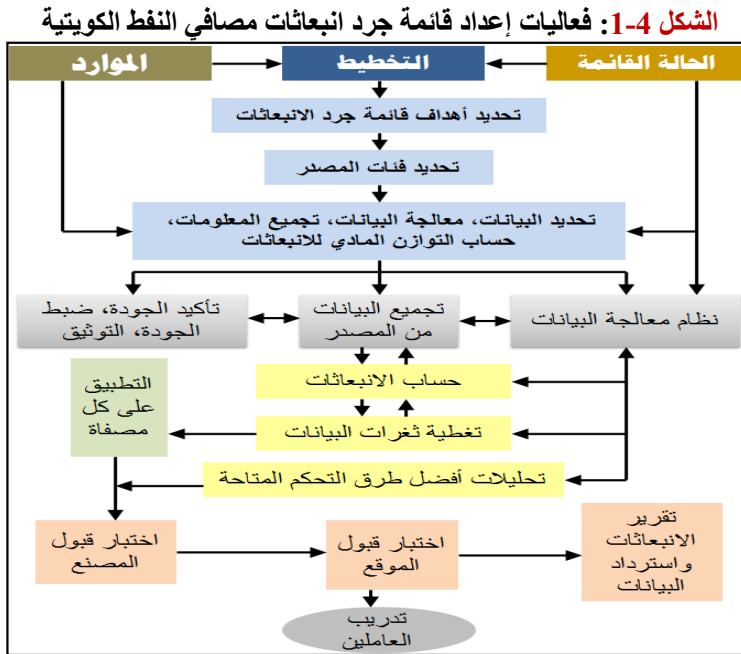
أجريت حسابات الموازنة المادية باستخدام عوامل الانبعاث التي وضعتها وكالة حماية البيئة الأمريكية US-EPA-AP-42K.

➤ المرحلة الرابعة: اختيار أفضل تقنيات التحكم بالانبعاثات

تم تحديد أفضل تقنيات التحكم بالانبعاثات الغازية الممكنة اعتماداً على الأسس والإرشادات التي وضعتها هيئة تكساس لحفظ الموارد الطبيعية

TNRCC¹

يبين الشكل 4-1 فعاليات إعداد قائمة جرد انبعاثات مصافي النفط الكويتية.



¹ Texas Natural Resource Conservation Commission

• صعوبات تنفيذ المشروع

واجه فريق العمل المكلف بإنجاز المشروع العديد من الصعوبات خلال كافة مراحل التنفيذ، مما تطلب في كثير من الأحيان تغيير مسار خطة العمل المحددة لكل مرحلة، وقد تمكن الفريق من تذليل العديد من تلك الصعوبات، وقام بإعداد مجموعة من المقترحات والتوصيات. وفيما يلي عرض لتلك الصعوبات والمقترحات في كل مرحلة من مراحل تنفيذ المشروع. (Kam, E., & Mirza, Y., 2004)

✓ مرحلة إعداد نماذج البيانات

في البداية قام المستشارون الفنيون بإعداد أربعة عشر فئة من نماذج البيانات لمصفاة ميناء الأحمدى، في حين تم إعداد ثلاثة عشر فئة لكل من مصفاتي ميناء عبد الله وميناء الشعبية، وذلك لأن مصفاة الأحمدى هي الوحيدة التي تحتوي على وحدة تكسير بالعامل الحفاز المائع FCC. ونتيجة لبعض الاهتمامات التي أبداه فريق المشروع تم تعديل بعض النماذج، مع إضافة نموذج بيانات آخر للمواد بهدف توحيد الأسماء المستخدمة من قبل المصافي الثلاث، وبذلك أصبح العدد النهائي الإجمالي لفئات نماذج بيانات مصفاة الأحمدى خمسة عشر نموذجاً، على النحو التالي:

1. مراحل البخار Boilers
2. محركات الضغط Compression Engines
3. أبراج التبريد Cooling Towers
4. تسربات المعدات Equipment Leaks
5. وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC
6. الشعلات Flares
7. المواد Materials
8. مصادر مختلفة Miscellaneous Sources

9. أفران العمليات Process Heaters
10. معدات التبريد Refrigerant Equipment
11. وحدة استرجاع الكبريت Sulfur Recovery Unit (SRU)
12. الخزانات Tanks
13. عمليات النقل Transfer Operations
14. وحدات التقطير الفراغي Vacuum Distillation Units (VDU)
15. وحدة معالجة المياه الملوثة Waste Water Treatment

✓ مرحلة تجميع البيانات

وهي المرحلة الأكثر أهمية، حيث أن جودة البيانات ودقتها تعتبر من العناصر الأساسية لعملية إعداد النماذج الرياضية وضمان جودة النتائج. كان من المخطط أن يعمل فريق معهد الكويت للأبحاث العلمية مع خبراء شركة البترول الوطنية الكويتية كفريق واحد، وأن تقدم قائمة بالبيانات المطلوبة إلى الدوائر ذات العلاقة، ثم يقوم فريق المشروع بمناقشة المختصين في المصفاة للتشاور وشرح محتوى البيانات واعتمادها، ثم تسلم هذه البيانات إلى فريق معهد الأبحاث العلمية الذي يقوم بتفريغها في نماذج البيانات التي تم إعدادها مسبقاً، إلا أنه منذ اللحظة الأولى لبدء تنفيذ المهمة ظهرت بعض الصعوبات، مثل:

1. نقص إدراك بعض مشغلي عمليات المصافي لأهمية المشروع
2. عدم توفر بعض البيانات المهمة
3. تعقيد نظام تخزين البيانات
4. تعدد أماكن تخزين أرشيف البيانات
5. تعدد أشكال أرشيف البيانات

6. تعدد نظم ترميز الأجزاء والمعدات والمواد

7. تعدد وحدات القياس، وغياب نظم التقييس Standardization

تجدر الإشارة إلى أنه أثناء قيام فريق معهد الأبحاث العلمية بزيارة المصافي للتشاور والمناقشة مع الدوائر ذات العلاقة، كالمعاملات، والتشغيل، والخدمات الفنية، والصيانة، والصحة والسلامة المهنية، وتطبيقات الكمبيوتر، ومختبرات تحليل المنتجات، والفحص الفني.... كان التفاعل بين فريق المعهد وطاقم المصفاة يختلف من مصفاة لأخرى، ونتيجة لذلك رفع فريق المعهد عدداً من الاقتراحات لتحسين سير العمل في المشروع وضمان جودة البيانات. وفيما يلي أهم هذه المقترحات:

1. ضرورة شرح أهداف المشروع ووصف المهام بدقة ووضوح للمهندسين الذين سيقدمون البيانات إلى فريق المشروع، إضافة إلى ضرورة إجراء محاضرات دورية، وتوزيع ملصقات للتوعية، بهدف تسهيل إنجاز العمل، وتعزيز الشعور بأهمية القضايا البيئية، وضمان دقة البيانات، وبالتالي توفير الوقت اللازم لتجميع المعلومات وضمان جودتها.
2. مراجعة كافة نماذج البيانات بدقة، للتأكد من أنها تغطي كافة مصادر الانبعاثات إلى أعلى درجة ممكنة من الشمولية.
3. مراجعة القيم الافتراضية التي تم وضعها في بعض نماذج البيانات.
4. تدقيق ومراجعة البيانات أكثر من مرة للتأكد من جودتها.
5. إعادة ترتيب البيانات في النماذج في كل مرة يتم فيها إجراء أي تعديل أو تغيير في قيم البيانات.
6. تفعيل عملية المراجعة والتحسين المستمر لجودة البيانات حتى بعد الانتهاء من إنجاز المشروع.

7. تشجيع العاملين في المصافي على استخدام النظم المتطورة التي توضح أي إزالة أو تعديل أو إعادة تسمية لأي معدة من معدات المصفاة.
8. إضافة صفحات تعليمات توضيحية ReadMe Data Sheets إلى ملف نماذج البيانات، حتى يتمكن كادر المصفاة والمستشارون من الاطلاع عليها.
9. إعداد معايير موحدة لكل من نظام تسمية المواد، ومواصفات اللقيم والمنتجات النفطية، والمعدات، وقطع الغيار في المصافي الثلاث.
10. توحيد وحدات القياس الهندسية لشروط تشغيل عمليات التكرير بين المصافي.
11. تقريب أسلوب العمل في مختبرات المصافي الثلاث، من حيث نوع الأجهزة وطرق التحليل.
12. إعداد مخططات البنية الهيكلية للوحدات الإنتاجية في المصفاة، لاستخدامها في تحضير نماذج بيانات المصفاة.
13. إرفاق طريقة حساب التوازن المادي للانبعاثات مع نماذج البيانات، وبذلك يمكن تقدير كمية الانبعاثات فور الانتهاء من إملاء البيانات.
14. الاستمرار في مناقشة مسؤولي الصحة والسلامة والبيئة، حول موضوع تجميع البيانات، لاحتمال امتلاكهم معلومات قيمة حول الموضوع.

✓ مرحلة حساب التوازن المادي للانبعاثات

بسبب تعقيد البيانات التي تم تجميعها والمعلومات المرتبطة بها، وضخامة كميتها، لوحظ وجود بعض الانحرافات والاختلافات في بعض النماذج. وبما أن حسابات التوازن المادي قد أجريت اعتمادا على عوامل انبعاثات

وكالة حماية البيئة الأمريكية، فقد تم إجراء تدقيق مضاعف لكافة البيانات والنموذج الرياضي للانبعاثات، وذلك للتأكد من جودتها. وهذه المهمة تستهلك أيضاً وقتاً طويلاً، حيث يجب أن يقوم بها الكادر الذي قام بتجميع البيانات باعتباره الأقدر على معرفة مصادر البيانات وجودتها.

أثناء قيام فريق المشروع بتدقيق ومراجعة حسابات التوازن المادي وتقارير الانبعاثات، ظهرت بعض الأسئلة والملاحظات التي أرسلت إلى بيت الخبرة للمشورة والتوضيح، ونتيجة لذلك تحسنت جودة بيانات التقارير بشكل كبير.

في عام 2015 نشرت جامعة الكويت - قسم الهندسة الكيميائية نتائج دراسة حول مستويات التلوث الهوائي في المناطق السكنية القريبة من مصافي النفط في دولة الكويت وهي، منطقة الفحاحيل من الجهة الشمالية للمصافي، ومنطقة أم الهيمان جنوباً، ومنطقة الأحمدى في الجهة الشمالية الغربية. وقد تم استخدام برنامج إيرمود لحساب تركيز الملوثات، إضافة إلى القياس كل خمس دقائق لمدة 24 ساعة في المناطق الثلاث. أثبتت الدراسة أن تركيز جميع الملوثات التي تم قياسها هي أعلى من تقديرات المصافي، مما أظهر أن هذه المناطق متأثرة بملوثات تطلقها مصادر أخرى غير المصافي، مثل حقول النفط ومحطات توليد الطاقة الكهربائية، علاوة على وسائل النقل. (Alhaddad, A., Ettouney, H. & Saqer, S., 2015).

يبين **الجدول 4-1** تركيز الملوثات في المناطق السكنية في دولة الكويت حسب سجلات المصافي. كما يبين **الجدول 4-2** القيم المقاسة والمتوقعة لتركيز الملوثات في الهواء الجوي في المناطق السكنية في دولة الكويت، ومقارنتها بمعايير الهيئة العامة للبيئة.

الجدول 4-1: تركيز الملوثات في المناطق السكنية في دولة الكويت حسب سجلات المصافي (جزء في المليون ج.ف.م)

المنطقة	الملوثات	مصفاة الأحمدية	مصفاة الشعبية	مصفاة عبد الله
الفحاحيل السكنية 2010/12/21 - 2011/01/5	SO2	$4 \cdot 10^{-2} \cdot 2.5$	$3 \cdot 10^{-1} \cdot 1.6$	$6 \cdot 10^{-3} \cdot 3.3$
	NO	$6 \cdot 10^{-1} \cdot 1.6$	$4 \cdot 10^{-1} \cdot 1.4$	$5 \cdot 10^{-2} \cdot 2.7$
	CO	$5 \cdot 10^{-2} \cdot 6.2$	$2 \cdot 10^{-2} \cdot 6.3$	$3 \cdot 10^{-3} \cdot 2.0$
	VOCs	$5 \cdot 10^{-1} \cdot 1.5$	$2 \cdot 10^{-2} \cdot 2.1$	$3 \cdot 10^{-3} \cdot 2.6$
الأحمدية السكنية 2011/06/25 - 2011/07/10	SO2	$4 \cdot 10^{-2} \cdot 5.8$	0.0	0.0
	NO	$2 \cdot 10^{-2} \cdot 1.6$	0.0	0.0
	CO	$2 \cdot 10^{-2} \cdot 2.5$	0.0	0.0
	VOCs	0.0	0.0	0.0
أم الهيتمان السكنية 2011/04/10 - 2011/04/25	SO2	$4 \cdot 10^{-2} \cdot 2.4$	$3 \cdot 10^{-3} \cdot 1.5$	$3 \cdot 10^{-3} \cdot 5.5$
	NO	$3 \cdot 10^{-3} \cdot 2.1$	$4 \cdot 10^{-4} \cdot 4.4$	$3 \cdot 10^{-3} \cdot 6.6$
	CO	$2 \cdot 10^{-2} \cdot 9.5$	0.13	0.53
	VOCs	$2 \cdot 10^{-2} \cdot 3.1$	0.75	0.89

المصدر: Alhaddad, A., Ettouney, H. & Saqer, S., 2015

الجدول 4-2: القيم المقاسة والمتوقعة لتركيز الملوثات في الهواء الجوي في المناطق السكنية ومقارنتها بمعايير الهيئة العامة للبيئة (جزء في المليون ج.ف.م)

المنطقة	الملوثات	المصافي	القيم المقاسة	الهيئة العامة للبيئة
الفحاحيل السكنية 2010/12/21 - 2011/01/5	SO2	$3 \cdot 10^{-2} \cdot 2.0$	0.21	0.14
	NO	$4 \cdot 10^{-2} \cdot 2.0$	0.44	0.15
	CO	$2 \cdot 10^{-2} \cdot 6.5$	6.80	35
	VOCs	$2 \cdot 10^{-2} \cdot 2.3$	5.80	0.24
الأحمدية السكنية 2011/06/25 - 2011/07/10	SO2	$4 \cdot 10^{-2} \cdot 5.8$	0.05	0.14
	NO	$2 \cdot 10^{-2} \cdot 1.6$	0.05	0.15
	CO	$2 \cdot 10^{-2} \cdot 2.5$	2.04	35
	VOCs	0.31	7.14	0.24
أم الهيتمان السكنية 2011/04/10 - 2011/04/25	SO2	$3 \cdot 10^{-3} \cdot 6.5$	0.04	0.14
	NO	$3 \cdot 10^{-3} \cdot 7.2$	0.06	0.15
	CO	0.82	1.60	35
	VOCs	0.60	2.91	0.24

المصدر: Alhaddad, A., Ettouney, H. & Saqer, S., 2015

إجراءات خفض انبعاثات مصافي النفط في دولة الكويت

ساهمت نتائج مراجعة قائمة جرد انبعاثات مصافي النفط الكويتية في توجيه الانتباه نحو ضرورة معالجة مصادر الانبعاثات. كما تولت هيئات حماية البيئة مسؤولية إصدار تشريعات بيئية وطنية تحدد القيم القصوى لكمية الانبعاثات التي تطلقها المنشآت الصناعية، ومن ضمنها مصافي النفط. يبين الجدول 3-4 القيم القصوى لبعض انبعاثات مصافي النفط في المعايير الوطنية لدولة الكويت.

الجدول 3-4: القيم القصوى لبعض انبعاثات مصافي النفط في المعايير الوطنية لدولة الكويت

العملية	الانبعاثات	القيمة القصوى
منظومة استرجاع الحرارة الضائعة في وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC	الجسيمات الدقيقة	1.0 كغ/طن متري فحم محترق
	SO ₂	9.8 كغ/طن متري فحم محترق
	CO	500 ج.ف.م حجماً
	ضعف الرؤية Opacity	يجب ألا تتجاوز 30% لأكثر من 6 دقائق/الساعة
الوقود الغازي في عمليات الحرق	H ₂ S	230 ملغ /متر مكعب قياسي
وحدة استرجاع الكبريت (كلوس) طاقتها أعلى من 20 طن/اليوم	SO ₂	250 ج.ف.م حجماً في المدخنة أو فرن الإتلاف Incineration

المصدر: Kashyap, 2013

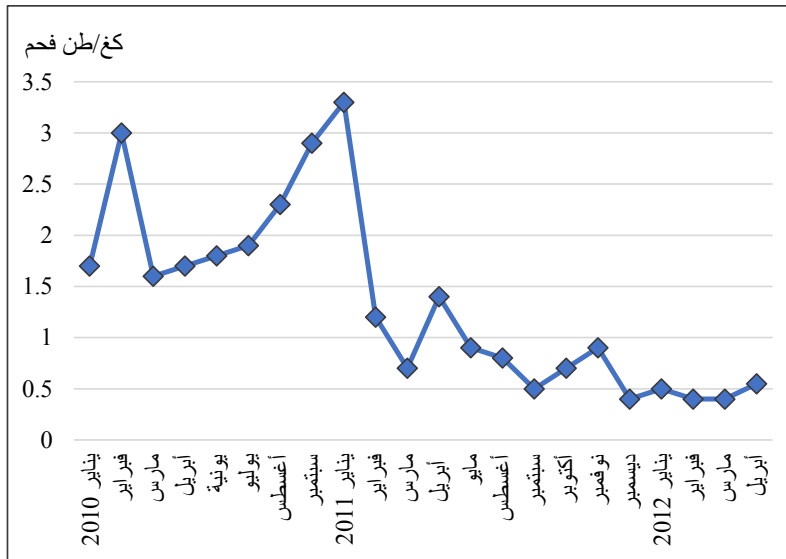
كما شهدت مصافي النفط في دولة الكويت تنفيذ العديد من الإجراءات الهادفة إلى خفض الانبعاثات مدفوعة بتوصيات ونتائج مراجعة قوائم جرد الانبعاثات، وتنامي الوعي بضرورة حماية البيئة من التلوث. وقد جاءت هذه الإجراءات على مراحل متتابعة، حيث تم تنفيذ بعضها في إطار مشاريع تطوير المصافي القائمة، وبعضها الآخر تم تنفيذه بشكل منفرد، منها على سبيل المثال ما يلي:

• تركيب مرسبات كهروستاتيكية في وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع

يهدف مشروع تركيب المرسبات الكهروستاتيكية في وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC في مصفاة الأحمدية إلى خفض انبعاثات الجسيمات الدقيقة الناتجة عن حرق الفحم في وعاء تنشيط العامل الحفاز. وقد

أشارت النتائج إلى خفض معدل انبعاثات الجسيمات الدقيقة من حوالي 2.5 كغ/طن فحم في عام 2010 إلى حوالي 0.5 كغ/طن فحم في أبريل عام 2012. يبين الشكل 4-2 تأثير تركيب المرسبات الكهروستاتيكية على معدل انبعاثات الجسيمات الدقيقة من وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع في مصفاة الأحمدى. (Kashyap, A., 2013)

الشكل 4-2: تأثير تركيب المرسبات الكهروستاتيكية على معدل انبعاثات الجسيمات الدقيقة في وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع في مصفاة الأحمدى



المصدر: Kashyap, A., 2013

• تركيب حراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين في الأفران ومحطات توليد الطاقة

أشارت نتائج تحليل بيانات قائمة جرد الانبعاثات إلى ارتفاع نسبة أكاسيد النيتروجين في غازات مداخن الأفران ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية إلى مستويات أعلى من القيم المحددة في التشريعات البيئية لدولة الكويت بقيمة 165 ج.ف.م. حجماً، عند نسبة أوكسجين 3% في المدخنة، وذلك في عشرة أفران ومراجل بخارية في مصفاة الأحمدى.

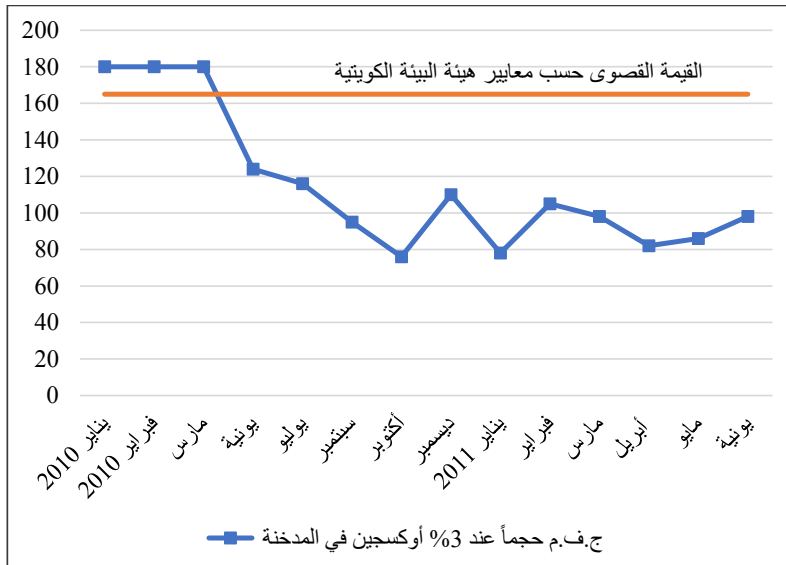
ولتلبية متطلبات المعايير الوطنية لانبعاثات أكاسيد النيتروجين تم تركيب حراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين Low NOx Burners في بعض الأفران والمرجل في عام 2011، وذلك على النحو التالي:

✓ المرحلة الأولى، تركيب حراقات جديدة في فرن واحد ومرجل بخاري واحد، حيث انخفضت فيهما نسبة أكاسيد النيتروجين في المدخنة إلى 120 ج.ف.م. حجماً.

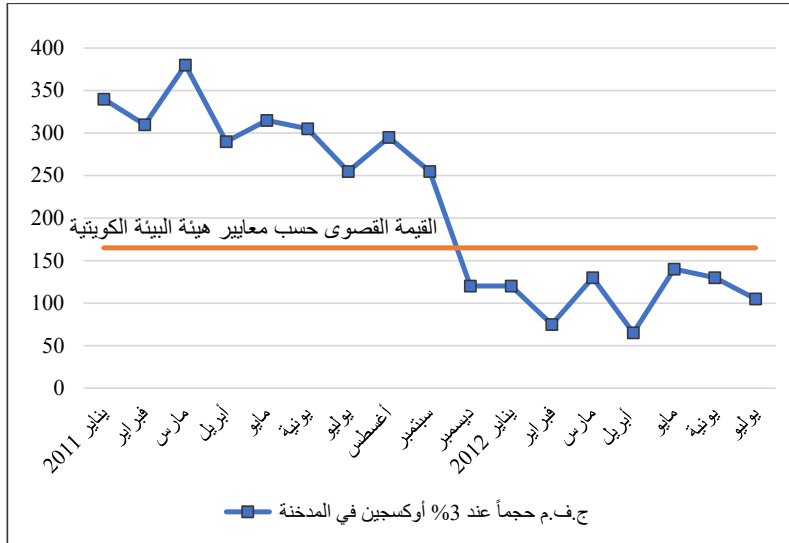
✓ المرحلة الثانية، تركيب حراقات جديدة في خمسة مرجل بخارية انخفض فيها المعدل الوسطي لأكاسيد النيتروجين في المدخنة إلى 69 ج.ف.م. حجماً.

يبين الشكل 3-4 تأثير تركيب حراقات منخفضة النيتروجين على معدل انبعاثات أكاسيد النيتروجين في مدخنة مرجل بخار مصفاة الأحمد. كما يبين الشكل 4-4 تأثير تركيب حراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين على معدل انبعاثات أكاسيد النيتروجين في مداخل أفران مصفاة ميناء عبد الله.

الشكل 3-4: تأثير تركيب حراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين على معدل انبعاثات أكاسيد النيتروجين في مدخنة مرجل بخار مصفاة الأحمد



الشكل 4-4: تأثير تركيب حراقات منخفضة النيتروجين على معدل انبعاثات أكاسيد النيتروجين في مداخن أفران مصفاة ميناء عبد الله

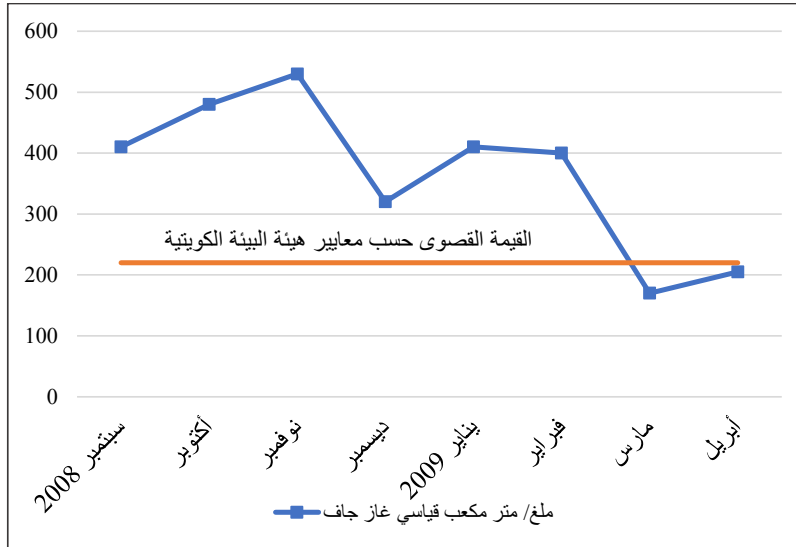


المصدر: Kashyap, A., 2013

• خفض تركيز كبريتيد الهيدروجين في شبكة الوقود الغازي

في إطار جهود خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت من مداخن الأفران ومحطات توليد بخار الماء في مصفاة الأحمدية تم خفض تركيز كبريتيد الهيدروجين H_2S في شبكة الوقود الغازي.

تتكون شبكة الوقود الغازي في مصفاة الأحمدية من الغاز الفائض المنتج من عمليات التكرير في المصفاة، إضافة إلى الغاز الطبيعي المستورد من خارج المصفاة. وقد تم تلبية متطلبات التشريعات البيئية الوطنية الخاصة بالحد الأقصى لنسبة كبريتيد الهيدروجين في شبكة الوقود الغازي من خلال معالجة بعض المنتجات الغازية المغذية للشبكة، وتحويل الغازات الحاوية على نسبة عالية من كبريتيد الهيدروجين لاستخدامها في أماكن أخرى. يبين الشكل 4-5 تطور نسبة غاز كبريتيد الهيدروجين في شبكة الوقود الغازي لمصفاة الأحمدية.

الشكل 4-5: تطور نسبة غاز كبريتيد الهيدروجين في شبكة الوقود الغازي لمصفاة الأحمدى

المصدر: Kashyap, A., 2013

- **تركيب منظومة استرجاع غازات الشعلة**

أدى تركيب منظومة استرجاع غازات الشعلة في كل من مصفاة ميناء الأحمدى وميناء عبد الله إلى خفض انبعاث 140 ألف طن CO_2 مكافئ في السنة.

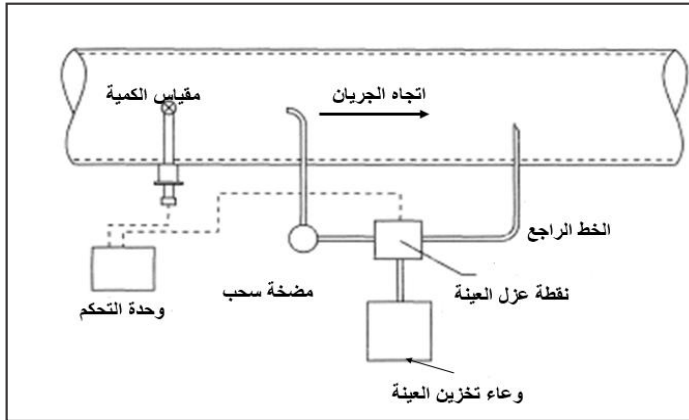
- **برنامج إدارة الروائح**

يهدف برنامج إدارة الروائح إلى تحديد مصادر الانبعاثات الغازية التي تسبب روائح مزعجة للعاملين في مصافي النفط والتجمعات السكنية المحيطة بها، والعمل على اتخاذ الإجراءات المناسبة لمعالجتها والحد منها. وقد تضمن البرنامج تنفيذ كل من الفعاليات التالية:

✓ تنظيم وضبط عمليات تنظيف الوحدات والأوعية بالبخر والماء أثناء التوقيف لإجراء عمليات الصيانة، باعتبارها مصدراً من مصادر الروائح المزعجة، وذلك من خلال تطبيق عملية إزالة الكيماويات من الأوعية بطريقة تضمن عدم حدوث اضطراب في ظروف عمل وحدات معالجة

- المياه الملوثة الخارجة من المصفاة، وفي نفس الوقت تسريع عملية التنظيف، وتخفيض زمن توقف الوحدات.
- ✓ تطبيق إجراءات المناولة الآمنة للحاويات الصغيرة التي يتم فيها استيراد المواد الكيماوية من الخارج.
- ✓ تطبيق نظام إدارة غازات الشعلة الذي يتضمن الكشف الدوري على جودة عمل صمامات الأمان، والتأكد من عدم وجود تسربات إلى منظومة الشعلة.
- ✓ مسح مواقع المصفاة للكشف على خطوط التصفية المفتوحة التي تحتوي مواد تصدر روائح مزعجة كغاز كبريتيد الهيدروجين من خطوط تصفية المياه الخارجة من وعاء إزالة الأملاح من النفط الخام، وتركيب أغطية على فواصل الزيت عن الماء API Separator في وحدة معالجة المياه الملوثة، وتركيب منظومة مأخذ عينات المواد البترولية ذات الدورة المغلقة.
- يبين الشكل 4-6 مخطط منظومة أخذ العينات ذات الدورة المغلقة.
- ✓ برنامج الكشف عن التسربات وإصلاحها LDAR¹ للكشف على تسرب المواد الهيدروكربونية من الصمامات، وموانع التسرب في محاور المضخات والضواغط، وتوصيلات الأنابيب، وغيرها.....

الشكل 4-6: مخطط منظومة أخذ العينات ذات الدورة المغلقة



المصدر: IPIECA, 2012

¹ Leak Detection and Repair

ساهم تطبيق برنامج الكشف عن التسربات وإصلاحها في الحصول على النتائج والفوائد التالية: (Al Koot, F., 2011)

- خفض حوالي 50% (25 طن/السنة) من الهيدروكربونات المتسربة من محطات التسويق المحلية.
- خفض حوالي 174 طن/السنة من الانبعاثات الهيدروكربونية المتطايرة في مصفاة الأحمد.
- خفض حوالي 132 طن/السنة من الانبعاثات الهيدروكربونية المتطايرة في مصفاة ميناء عبد الله.
- تحديد وإصلاح العديد من النقاط المحتمل حدوث تسرب فيها.

4-1-2: تجربة شركة أرامكو السعودية في خفض الانبعاثات المتسربة من منشأة شذقم لمعالجة الغاز الطبيعي

في إطار خطتها لتحسين التزامها بمتطلبات التشريعات البيئية الخاصة بحماية البيئة من التلوث، نفذت شركة أرامكو السعودية برنامجاً لكشف وإصلاح الغازات المتسربة من الصمامات وتوصيلات خطوط الأنابيب، ومحاور المضخات والضواغط¹ LDAR، في منشأة شذقم لمعالجة الغاز الطبيعي، في المملكة العربية السعودية بهدف تخفيضها إلى المعدلات التي تحددها التشريعات البيئية في المملكة، وهي أقل من 500 جزء في المليون للملوثات الهوائية الخطرة² HAP، وأقل من 10000 جزء في المليون للمركبات العضوية الطيارة³ VOC.

• مراحل تنفيذ البرنامج

تتكون منشأة شذقم من وحدات لمعالجة الغاز الطبيعي، وإنتاج الغاز الجاف،

¹ Leak Detection and Repair

² Hazardous Air Pollutants

³ Volatile Organic Compounds

وسوائل الغاز الطبيعي، والكبريت، وقد تم تنفيذ البرنامج وفقاً للمراحل التالية:

➤ تحديد مصادر الانبعاثات المتسربة من المجموعات الرئيسية التالية:

✓ تسربات المعدات، كالصمامات، والتوصيلات، وموانع تسرب محاور المضخات والضواغط، ومجمعات أخذ العينات، وخطوط الأنابيب ذات الطرف المفتوح، وصمامات الأمان.

✓ التبخر الناتج عن عمليات تحميل وتفريغ المنتجات النفطية السائلة.

✓ الأبخرة الناتجة عن انسكاب السوائل الهيدروكربونية على الأرض.

✓ انبعاثات عمليات التكرير والمعالجة التي لا يمكن التقاطها.

✓ انبعاثات وحدات معالجة المياه الملوثة، ووحدات معالجة النفايات.

➤ تثبيت علامات مميزة على كافة النقاط المراد مراقبتها، وإعطائها رقم تصنيف خاص Bar Code.

➤ إعداد استمارات لتوثيق بيانات المراقبة، وتخزينها إلكترونياً في قاعدة البيانات الخاصة بالبرنامج.

➤ تثبيت أجهزة التحليل والقياس والمراقبة على النقاط المراد اختبارها للبدء بتحديد معدلات الانبعاثات من كل نقطة.

➤ إجراء عمليات الإصلاح للنقاط التي أظهرت نتائج المراقبة أن معدل التسرب فيها يزيد عن الحد المسموح.

➤ إعداد التقارير التي تتضمن معدل التسرب في كافة النقاط المحددة، وتوزيعها عبر البرنامج الحاسوبي إلى الجهات المعنية.

• نتائج تنفيذ البرنامج

أظهرت نتائج تنفيذ برنامج الكشف عن التسرب ومعالجته في معمل شذقم

لمعالجة الغاز الطبيعي وجود 153 نقطة يزيد فيها معدل التسرب عن القيم المسموحة، من مجموع 2016 نقطة شملها برنامج المراقبة، أو ما يعادل 7.6% من إجمالي النقاط. كما تبين من خلال تقييم نتائج تنفيذ البرنامج تحقيق الفوائد التالية:

- ✓ تحسين ربحية المنشأة من خلال تخفيض الخسارة الناتجة عن فقدان المواد الهيدروكربونية الثمينة التي كانت تتسرب من المعدات.
- ✓ تخفيض احتمالات وقوع حرائق ناتجة عن تسرب السوائل الهيدروكربونية القابلة للاشتعال.
- ✓ المساهمة في تحسين جودة الهواء في المنشأة، وفي المناطق السكنية المجاورة.
- ✓ المساهمة في تخفيض تركيز الأوزون الموجود على مستوى الأرض، والذي يعتبر من الملوثات الخطرة على صحة الإنسان.
- ✓ تطوير برامج الصيانة الدورية والوقائية المطبقة في المنشأة.
- ✓ المساهمة في مساعدة المنشأة على الامتثال لمتطلبات التشريعات الخاصة بحماية البيئة من التلوث.

4-2: أمثلة لمشاريع خفض انبعاثات مصافي النفط في مناطق العالم

بدأت مصافي النفط في العالم بتطبيق إجراءات خفض الانبعاثات الملوثة للبيئة منذ سبعينيات القرن المنصرم، وذلك لتلبية متطلبات التشريعات البيئية في تلك الفترة والتي نتجت عن تطور الأبحاث العلمية التي أظهرت خطورة الملوثات الغازية على صحة الإنسان والبيئة. وفيما يلي بعض الأمثلة لمشاريع خفض الانبعاثات في مصافي العالم.

4-2-1: تجربة تخفيض الانبعاثات في مصفاة إنجين- جنوب أفريقيا

تقع مصفاة إنجين Engen وسط مدينة دوربان الصناعية التي تعاني من مشكلات تلوث هوائي خطيرة، لاحتوائها على أكثر من مائة مصنع معظمها يطرح

كميات كبيرة من الملوثات على ارتفاعات منخفضة. كما يحيط بموقع المصفاة تجمعات سكنية من كافة الجهات، مما جعلها عرضة للاتهام حول ضعف أدائها البيئي بشكل مبالغ فيه.

تبلغ طاقة المصفاة التكريرية 125 ألف ب/ي، من مزيج النفط الخام الثقيل والخفيف، وتحتوي على وحدات تكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، وكسر اللزوجة، التي تتميز بأنها من العمليات التي تطلق كمية كبيرة من الملوثات إلى الهواء الجوي، إضافة إلى وحدات التقطير الجوي والفراغي والمعالجة الهيدروجينية، ومجمع إنتاج زيوت التزيت، ووحدة إنتاج مذيبيات عطرية BTX (Alan, M., 2005)

• أهداف خطة تخفيض الانبعاثات

وقعت إدارة مصفاة إنجن اتفاقاً مع إحدى الشركات المحلية لتنفيذ برنامج مدته خمس سنوات، تتعهد فيه الشركة بتخفيض كمية الانبعاثات الأكثر خطورة، وذلك من خلال الإجراءات التالية:

✓ **إجراءات بسيطة**، تتضمن تركيب أجهزة رصد ومراقبة، وحساب المعدلات السنوية للانبعاثات الغازية قبل تنفيذ البرنامج، واتخاذ الإجراءات التي يمكن تنفيذها اعتماداً على الإمكانيات المحلية للمصفاة، وبتكاليف بسيطة، كتغيير نوع الوقود المستخدم في الأفران والمراجل البخارية، وتطبيق برامج الصيانة الدورية، وبرنامج الكشف عن التسرب وإصلاح العطل LDAR، وذلك للحد من الانبعاثات المتسربة من الأجهزة والمعدات والصمامات.

✓ **إجراءات متوسطة الأجل**، تتضمن تركيب أجهزة ومعدات تساعد على تخفيض كمية الانبعاثات، كاستبدال حراقات الأفران والمراجل بأنواع متطورة تساهم في تخفيض انبعاثات أكاسيد النيتروجين، وهي إجراءات تحتاج إلى استثمارات متوسطة، ومدة زمنية قصيرة نسبياً.

✓ **إجراءات طويلة الأجل**، وهي إجراءات تحتاج إلى استثمارات باهظة، ومدة زمنية طويلة، كتعديل تصميم الوحدات الإنتاجية، وإنشاء وحدات جديدة تساعد على تخفيض انبعاثات المصفاة، إضافة إلى تطبيق خطة للمراقبة الدائمة والتدقيق المستمر لمصادر التلوث، ورفع التقارير الدورية إلى الجهات الحكومية، وإدراج النتائج في موقع المصفاة على الشبكة الإلكترونية لإتاحة الفرصة للجمهور أن يطلع عليها ويشارك في آرائه وملاحظاته.

• نتائج تطبيق البرنامج

تميزت خطة تنفيذ البرنامج بالتأكيد على أهمية نشر الوعي البيئي لدى العاملين من خلال الدورات التدريبية المكثفة، والتركيز على أهمية دور الكادر البشري إضافة إلى الجانب التقني، حيث تأكد للإدارة في المراحل الأولى لتطبيق البرنامج أن الإجراءات الفنية والمعدات لا يمكنها أن تحقق الأهداف المرجوة منها إذا لم تترافق مع تحسين الوعي البيئي والمستوى الفني للعاملين في المصفاة. وتتلخص النتائج الإيجابية التي أمكن الحصول عليها من المرحلتين الأوليتين على النحو التالي:

✓ تخفيض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكبريت بمعدل 65%، وهي قيمة أدنى من الحد الأقصى الذي حددته الهيئة المحلية لمراقبة التلوث الهوائي، نتيجة تغيير نوع الوقود المستخدم في أفران المصفاة من زيت الوقود الثقيل إلى غاز المصفاة النظيف والمعالج. **يبين الشكل 4-7** معدل خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت في مصفاة إنجين بتأثير تغيير نوع الوقود.

✓ تخفيض انبعاث الجسيمات الدقيقة بمعدل 70%

✓ تخفيض انبعاث المركبات العضوية الطيارة VOC إلى معدلات أخفض من القيم المحددة في المعايير العالمية المعتمدة.

✓ تخفيض انبعاث أكاسيد النيتروجين بمعدل 35%.

✓ خفض كمية الغازات المحترقة في منظومة الشعلة.

✓ تحسين الرؤية، مما يدل على حدوث تخفيض ملحوظ في معدل التلوث الهوائي في محيط المصفاة.

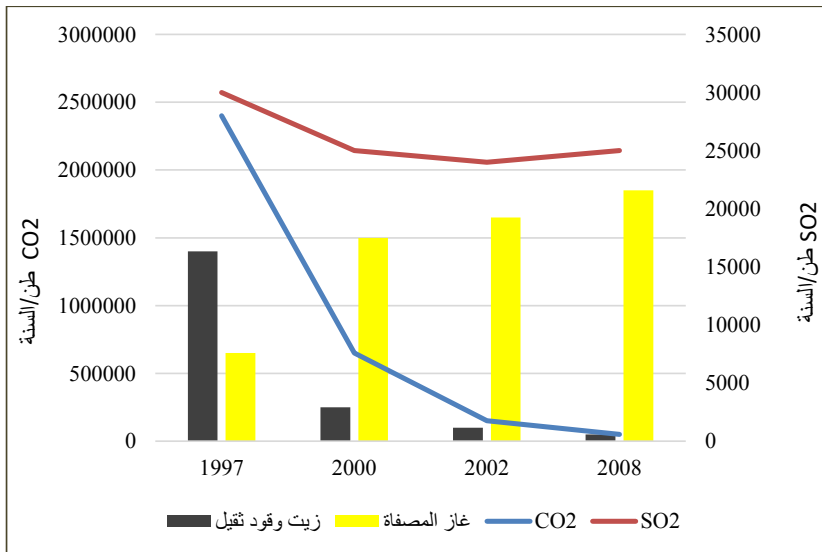
يبين الجدول 4-4 نتائج مراقبة تركيز المركبات العضوية الطيارة في الهواء الجوي المحيط بالمصفاة.

الجدول 4-4: نتائج مراقبة تركيز المركبات العضوية الطيارة في جو المصفاة (ملغ/م³)

المادة	المتوسط	القيمة القصوى	الحد المسموح
بنزين	0.004	0.005	0.01
تولوين	0.030	0.037	0.26
كزايلين	0.017	0.026	0.87
إيثيل بنزين	0.004	0.005	2.2

المصدر: Thambiran, T., and Roseanne D., 2011

الشكل 7-4: معدل تخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت في مصفاة إنجين نتيجة تغيير نوع الوقود المستخدم في المصفاة



المصدر: Thambiran, T., and Roseanne D., 2011

4-2-2: منظومة إدارة البيانات البيئية في مصفاة تكساس

إن كثرة عمليات التكرير، وتباعد مواقعها في مصفاة تكساس في الولايات المتحدة الأمريكية، جعل عملية مراقبة انبعاثات المركبات العضوية الطيارة صعبة جداً، وتحتاج إلى جهود كبيرة لكي تحقق المصفاة التزامها بمتطلبات التشريعات البيئية التي تفرضها السلطات المحلية، فضلاً عن ارتفاع الطاقة التكريرية للمصفاة التي تبلغ 460 ألف ب/ي من النفط الخام، إضافة إلى المجمع البتروكيماوي التابع لها، الذي يعتبر أيضاً من أكبر المصانع المنتجة للزايلين والميتازايولين في العالم، وهذا ما دفع القائمين على المصفاة إلى تصميم منظومة إلكترونية لإدارة بيانات الانبعاثات¹ لتسهيل عمليات المراقبة، وحساب كمية الانبعاثات، وإعداد التقارير وأرشفتها ضمن سجلات يمكن العودة إليها بسهولة عند الحاجة.

• مراحل تنفيذ المشروع

استغرق تنفيذ المشروع ستة أشهر وعلى مرحلتين، مرحلة التحضير، ومرحلة التركيب والتشغيل.

✓ **مرحلة التحضير:** قام فريق العمل المكلف بمتابعة تنفيذ المشروع في هذه المرحلة بمراجعة كافة نصوص التشريعات البيئية المحلية المتعلقة بتخفيض الانبعاثات الغازية من مصافي النفط، إضافة إلى دراسة مصادر المعلومات حول طرق حساب كمية الانبعاثات. بعد ذلك أجريت عملية تدقيق للبيانات بواسطة عملية المحاكاة Simulation للتأكد من أن الحسابات تحقق الغاية المطلوبة قبل البدء بتركيب الأجهزة في الموقع.

✓ **مرحلة التركيب والتشغيل:** بعد استكمال كافة البيانات والمعلومات اللازمة، وتأمين تجهيزات البنية التحتية للمنظومة، انتقل فريق العمل إلى التركيز

¹ Emissions Data Management System

على عملية التركيب والربط المباشر للمنظومة مع أجهزة التحكم والمراقبة في وحدات التكرير العاملة في المصفاة.

• مكونات منظومة إدارة البيانات البيئية

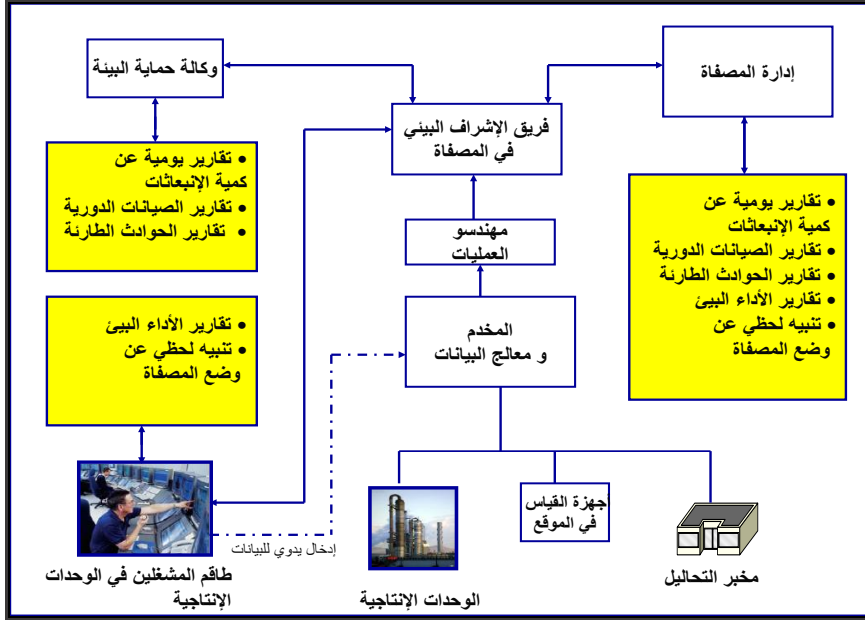
تضمنت عملية إعداد منظومة إدارة البيانات البيئية في مصفاة تكساس كلاً من الخطوات والإجراءات الرئيسية التالية: يبين الشكل 4-8 مكونات منظومة إدارة البيانات البيئية في مصفاة تكساس.

✓ تجميع المعلومات الواردة من قراءات أجهزة التحكم في الوحدات الإنتاجية عن ظروف التشغيل، ونتائج التحاليل المخبرية، وأجهزة قياس وتحليل الانبعاثات المركبة في موقع المصفاة.

✓ معالجة البيانات لتحويلها إلى تقارير قابلة للتحليل والقراءة.

✓ تحويل البيانات إلى مهندسي العمليات لدراساتها واتخاذ القرارات المناسبة لتعديل الانحراف أينما وجد، ثم إرسالها إلى فريق حماية البيئة. تبع ذلك توزيع التقارير إلى إدارة المصفاة ووكالة حماية البيئة، وطاقم تشغيل الوحدات الإنتاجية.

✓ عرض البيانات على ملصقات في غرفة التحكم لإتاحة الفرصة للمشغلين للاطلاع على مدى الامتثال بمتطلبات التشريعات البيئية، والعمل على اتخاذ الإجراءات التصحيحية قبل تفاقم المشكلة في حال حدوث أي انحراف عن الشروط النظامية.

الشكل 4-8: مكونات منظومة إدارة بيانات الانبعاثات في مصفاة تكساس

• نتائج تشغيل المنظومة

بعد تشغيل المنظومة واستقرار ظروف عملها، استطاعت إدارة المصفاة الحصول على فوائد عديدة، أهمها:

- ✓ تحسين جودة بيانات التقارير الدورية التي ترفع إلى الجهات الحكومية حول الانبعاثات التي تطلقها المصفاة، واختصار الزمن اللازم لإعدادها.
- ✓ تسهيل عملية الاطلاع على ظروف تشغيل وحدات المصفاة، مما يمكن المشغل من اتخاذ القرارات الفورية اللازمة لمعالجة الانحرافات قبل تفاقم المشكلة.

4-2-3: شروط ترخيص إنشاء مصفاة أريزونا - الولايات المتحدة الأمريكية

يبين المثال التالي أهم الشروط التي وضعتها هيئة حماية البيئة لمنح ترخيص إنشاء مصفاة نفط جديدة في ولاية أريزونا في الولايات المتحدة الأمريكية.

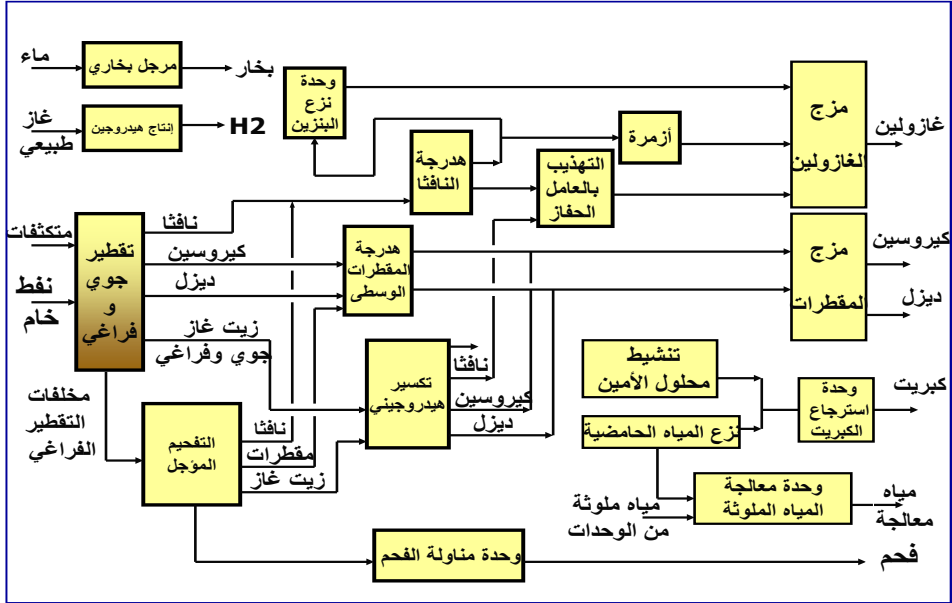
• خصائص المصفاة المقترحة

تبلغ الطاقة التكريرية للمصفاة المقترحة 150 ألف ب/ي، وتنتج 85 ألف ب/ي غازولين، و35 ألف ب/ي وقود ديزل، و30 ألف ب/ي وقود طائرات نفاثة، إضافة إلى وقود المحركات، وغاز البترول المسال LPG، والكبريت، والفحم البترولي.

صممت المصفاة لإنتاج مشتقات تتوافق مع أحدث متطلبات الوقود الأنظف، وجهزت بأحدث وأفضل التقنيات المتطورة للحد من الملوثات إلى البيئة.

تزود المصفاة بالقيم (النفط الخام، والمتكثفات، والغاز الطبيعي) عبر خطوط أنابيب. أما المواد الخام الأخرى كالبيوتان، والبروبان، والألكيلات، والأوكسجينات، فتنتقل إلى المصفاة بواسطة القطار. كما يرحد الغازولين المنتج من المصفاة عبر خطوط الأنابيب والقطار والشاحنات البرية، أما باقي المنتجات، مثل الغاز البترولي المسال، والفحم البترولي، والكبريت فترحد بواسطة القطار فقط.

تحتوي المصفاة على مجموعة من وحدات التكرير، أهمها وحدة تقطير، ووحدة تفحيم مؤجل، ووحدة تكسير هيدروجيني، ووحدة هدرجة مقطرات وسطى، ووحدة تهذيب بالعامل الحفاز، ووحدة تحويل البيوتان، ووحدة نزع عطريات، ووحدة أزمره، إضافة إلى الوحدات المساندة، مثل وحدة فصل الغازات، ووحدة إنتاج الهيدروجين، ووحدة استرجاع الكبريت، ووحدة تنشيط محلول الأمين، ووحدة معالجة المياه الحمضية، ووحدة معالجة المياه الملوثة، وخزانات للمشتقات النفطية، ومنظومة تحميل للمشتقات، والشعلات، وأبراج مياه تبريد، ومولدات الطاقة الكهربائية للطوارئ، ومضختا مياه الإطفاء في الحالات الطارئة. يبين الشكل 4-9 مخطط سير عمليات مصفاة أريزونا.

الشكل 9-4: مخطط سير عمليات مصفاة أريزونا**• خطة اختيار أفضل التقنيات لتخفيض الانبعاثات**

تضمنت خطة اختيار أفضل التقنيات الممكنة لتخفيض انبعاثات المصفاة المراحل الرئيسية التالية:

✓ مراجعة تقنيات تخفيض الانبعاثات المتبعة في مصافي نفط مشابهة في مناطق مختلفة من العالم، إضافة إلى المصافي القائمة في كافة أنحاء الولايات المتحدة الأمريكية.

✓ إعداد قائمة بالحدود القصوى لكمية الانبعاثات التي ستطلقها المصفاة إلى الجو، اعتماداً على أقصى درجة يمكن الحصول عليها لتخفيض الانبعاثات، مع الأخذ بعين الاعتبار الجدوى الفنية، والانعكاسات البيئية والاقتصادية، ومعدل استهلاك الطاقة، وتكاليف أخرى.

✓ إعداد الدليل التوضيحي الذي سيرفع إلى الجهة الحكومية للحصول على الموافقة على إنشاء المصفاة.

• شروط منح ترخيص إنشاء المصفاة

بعد مناقشة استغرقت حوالي ست سنوات لطلب ترخيص إنشاء مصفاة أريزونا، وعرض الموضوع على الجمهور للمناقشة وإبداء الملاحظات والرد عليها، أصدرت الهيئة الحكومية موافقة مبدئية مرفقة بشروط عديدة، يجب أن تتعهد إدارة المصفاة بالالتزام بتنفيذها قبل الحصول على الموافقة النهائية، وفيما يلي أهم هذه الشروط:

- ✓ عدم الموافقة على إنشاء وحدة تكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، باعتبارها من أكثر عمليات التكرير التي تطلق ملوثات إلى البيئة، والاستعاضة عنها بوحدة تكسير هيدروجيني، علماً أن كافة المصافي القائمة في المنطقة تقريباً تحتوي على وحدة تكسير بالعامل الحفاز المائع.
- ✓ عدم الموافقة على إنشاء وحدات ألكلة تستخدم حمض كلور الماء أو حمض الكبريت كعامل حفاز، والاستعاضة عنها بوحدة تحويل البيوتان.
- ✓ تركيب وحدة استرجاع غازات الشعلة، وعدم استخدام الشعلة كجهاز لحرق الغازات الفائضة بشكل متقطع أو مستمر، بل يجب أن يقتصر دورها على حرق الغازات في الحالات الطارئة فقط.
- ✓ عدم استخدام زيت الوقود في الأفران والمراجل البخارية كوقود، والسماح باستخدام الغاز الطبيعي والغازات المنتجة من المصفاة حصراً، مع التأكيد على ضرورة معالجتها لخفض محتواها من الكبريت إلى أدنى من 35 ج.ف.م حجماً قبل حرقها في الأفران.
- ✓ استخدام حراقات فائقة التخفيض لأكاسيد النيتروجين¹، إضافة إلى تركيب منظومة التخفيض الانتقائي بالعامل الحفاز² لضمان خفض انبعاثات أكاسيد

¹ Ultra-low-NOx burner-ULNB

² Selective Catalytic Reduction

النيتروجين من الأفران والمراجل البخارية إلى أدنى حد ممكن.

✓ الالتزام بأن لا تقل كفاءة وحدة استرجاع الكبريت في المصفاة عن 99.97%، وأن لا يزيد معدل انبعاثات SO_2 من هذه الوحدة عن 33.6 رطل/الساعة.

✓ التأكيد على أن تتخذ المصفاة كافة الإجراءات الممكنة لتخفيض انبعاثات SO_2 في حالات اضطراب أو انحراف ظروف عمل وحدة استرجاع الكبريت¹، ومن هذه الإجراءات توقيف كافة الوحدات التي تنتج المواد الكبريتية الداخلة إلى الوحدة خلال 15 دقيقة، أو تركيب وحدة إضافية بحيث يتم تشغيلها خلال 24 ساعة من بدء ظهور مؤشرات اضطراب عمل الوحدة الرئيسية. وتعتبر هيئة حماية البيئة أن هذا الإجراء ضروري جداً لأن معدل انبعاث SO_2 في هذه الحالة يزداد بمعدل أربعة آلاف ضعف عن القيمة النظامية.

✓ تركيب وحدة لاسترجاع الأبخرة الهيدروكربونية المنطلقة من خزانات بعض المنتجات النفطية، وتدويرها إلى وحدات المصفاة، بحيث ينخفض معدل الانبعاثات من هذه الخزانات إلى الصفر، وتركيب تجهيزات أكسدة حرارية للتحكم بانبعاثات المركبات العضوية الطيارة المنطلقة من خزانات السطح العائم الأخرى.

✓ استخدام تجهيزات أكسدة حرارية للتحكم بانبعاثات المركبات العضوية الطيارة المنطلقة من كل وعاء من أوعية وحدة معالجة المياه الملوثة، ومنظومة تحميل الغازولين والديزل بالشاحنات والقطارات، وبحيث لا تقل كفاءة هذه الأجهزة عن 99.9%، وأن يكون عملها مستمراً.

¹ Sulphur Recovery Unit

✓ استخدام حراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين في تجهيزات الأكسدة الحرارية المستخدمة للتحكم بانبعاثات المركبات العضوية الطيارة، بهدف تخفيض انبعاث أكاسيد النيتروجين منها.

✓ إلزام المصفاة بتطبيق برنامج صارم للكشف عن التسربات وإصلاحها¹ والذي يهدف إلى منع انبعاث المركبات العضوية الطيارة من المعدات كالصمامات والمضخات والتي يبلغ عددها أكثر من 60000 قطعة، مع التأكيد على المتطلبات التالية:

- إدراج المعدات ضمن قائمة الإصلاح عندما يصل معدل التسرب إلى 100 ج.ف.م في بعض المعدات، و500 ج.ف.م في البعض الآخر، في حين يطلب من أغلب المصافي القائمة في المنطقة أن تقوم بالإصلاح عندما يصل تركيز التسرب إلى 10000 ج.ف.م، أي أعلى بعشرين إلى مائة ضعف عن النسبة المعتمدة في التشريعات السائدة.

- إلزام المصفاة بمباشرة عمليات إصلاح تسرب الهيدروكربونات خلال 24 ساعة، وبحيث يتم إنجاز عملية الإصلاح خلال مدة زمنية لا تتجاوز السبعة أيام.

✓ تركيب أجهزة مراقبة مستمرة على أبراج مياه التبريد لرصد أي تسرب أو انبعاث للمركبات العضوية الطيارة، وإجراء الإصلاحات اللازمة بالسرعة الممكنة.

✓ استخدام الديزل الحاوي على نسبة منخفضة جداً من الكبريت ULSD كوقود في مولدات الطاقة الكهربائية الاحتياطية، ومضخات مياه الإطفاء التي تستخدم أثناء الحالات الطارئة، وتجهيزها بمعدات تحسين جودة الاحتراق.

¹ Leak Detection and Repair (LDAR)

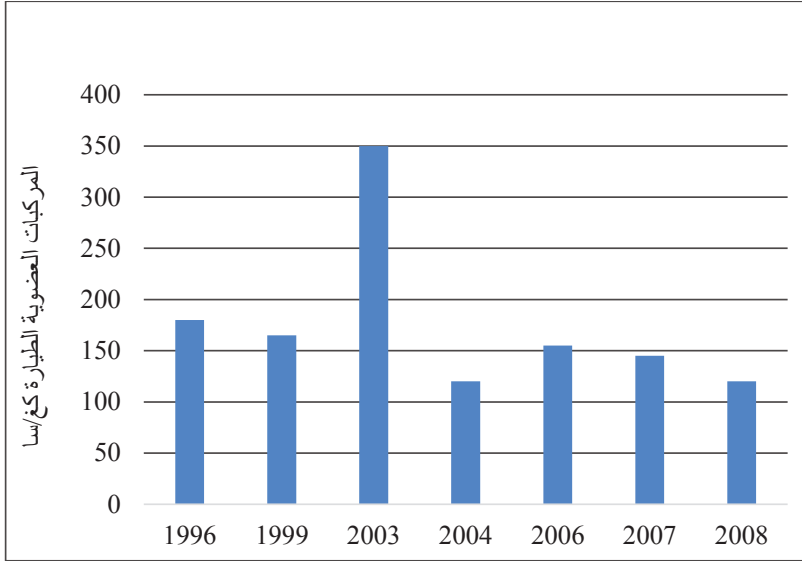
4-2-4: خطة خفض انبعاثات مصفاة غوثنبرغ

أنشئت مصفاة غوثنبرغ Gothenburg في السويد عام 1947 وبدأت بالإنتاج عام 1949 لتكرير نفط خام منخفض الكبريت، مستورد من بحر الشمال، بطاقة تكريرية قدرها 100 ألف ب/ي، وتعود ملكيتها إلى شركة شل Shell الهولندية.

تتكون المصفاة من ثلاث وحدات تقطير جوي، ووحدة تقطير فراغي، ووحدات معالجة هيدروجينية للمنتجات الوسطى، ووحدة تكسير حراري، ووحدتي تهذيب بالعامل الحفاز، إضافة إلى الوحدات المساندة. (Oden, H., 2010)

في عام 1996 بدأت مصفاة غوثنبرغ بتطبيق برنامج لخفض انبعاثات المركبات العضوية الطيارة VOC التي كانت تتسرب من الصمامات وتوصيلات الأنابيب والمضخات والضواغط، وقد رصدت أجهزة القياس انخفاضاً ملحوظاً في كمية الانبعاثات باستثناء عام 2003 حيث أطلقت المصفاة حوالي 350 كغ/الساعة من المركبات العضوية الطيارة مقارنة بحوالي 110 كغ/الساعة في عام 2008، وبمعدل يفوق المستويات التي كانت عليه في السنوات السابقة. ويعود السبب في ذلك إلى توقف اضطراري لوحدات المصفاة لمدة أسبوعين قبل استئناف عملية الرصد والمعالجة. يبين الشكل 4-10 تطور انبعاثات المركبات العضوية الطيارة من كافة نقاط مصفاة غوثنبرغ خلال الفترة 1996-2008.

الشكل 4-10: توزيع انبعاثات المركبات العضوية الطيارة من كافة نقاط مصفاة غوثمبيرغ خلال الفترة 1996-2008



المصدر: Oden, H., 2010

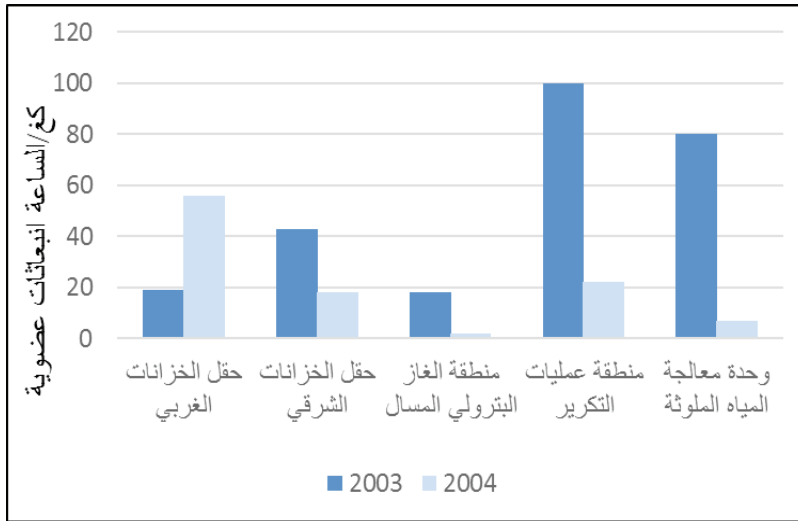
وللحد من الانبعاثات أعدت إدارة المصفاة خطة لخفض هذه الانبعاثات، وذلك بتطبيق نوعين من الحلول، الأول داخلي والثاني خارجي. تتضمن الحلول الداخلية إجراء كشف دوري على كافة الصمامات والتوصيلات وموانع تسرب محاور المضخات والضواغط وإجراء الإصلاحات اللازمة للحد من تسرب الهيدروكربونات. أما الحلول الخارجية فتتكون من الإجراءات التالية:

- ✓ إنشاء وحدة استرجاع للغازات المتسربة من محطة تحميل وتفريغ الإيثانول والغازولين الحاوي على الإيثانول.
- ✓ تركيب وحدة ترشيح لتنقية انبعاثات خزانات النفط الخام، تتكون الوحدة من ثلاث مرشحات تحتوي على الكربون الفعال.
- ✓ إنشاء وحدة استرجاع للغازات الشعلة لاستخدامها كوقود في أفران المصفاة بدلاً من حرقها.

• نتائج خطة خفض انبعاثات المصفاة

ساهم تطبيق خطة خفض انبعاثات المصفاة في توفير حوالي 733 جيجا وات في الساعة نتيجة استخدام الهيدروكربونات المتسربة المسترجعة في محطات تسخين المياه، وهذه الكمية تعادل حوالي 20% من الطاقة اللازمة لتسخين المياه المستخدمة في الشبكة العامة لمياه تدفئة مدينة غوثنبرغ. يبين الشكل 4-11 مقارنة معدل انبعاثات المركبات العضوية الطيارة قبل وبعد تنفيذ خطة خفض الانبعاثات.

الشكل 4-11: مقارنة معدل الانبعاثات قبل وبعد تنفيذ خطة خفض الانبعاثات



المصدر: Oden, H., 2010

4-2-5: مشروع تطوير مصفاة باين بيند

أعلنت شركة فلينت هيلز ريسورسيس Flint Hills Resources عن خطة لتطوير مصفاة باين بيند Pine Bend في مدينة روزماونت Rosemount بولاية مينيسوتا Minnesota، طاقتها التكريرية 339 ألف ب/ي، بكلفة 750 مليون دولار أمريكي.

تبعد المصفاة مسافة ميل واحد عن نهر المسيسيبي، وتشغل مساحة تقدر بحوالي 6000 فدان. يحدها من الجهات الأربعة تجمعات سكنية على بعد يتراوح بين 4-8 ميل، إضافة إلى بعض التجمعات الصغيرة المجاورة تماماً للموقع يشغلها العاملون في المصفاة. (Brelsford, R., 2016)

• وصف المشروع

يتكون مشروع تطوير مصفاة باين بيند من ثلاث أجزاء رئيسية، يهدف الجزء الأول إلى تطوير وحدة التفحيم، والثاني لتعزيز إنتاج الديزل، والثالث لتعزيز إنتاج الغازولين، وذلك على النحو التالي:

- ✓ **مشروع تطوير وحدة التفحيم**، ويتكون من استبدال وحدتي تفحيم مؤجل قديمتين، يعود تاريخ إنشائهما إلى ستينيات القرن الماضي، بوحدة جديدة متطورة ذات فرن واحد يتميز بكفاءة أعلى، ومزود بكاشط انتقائي SCR، وحراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين Low NOx Burners، إضافة إلى مسخن لهواء الاحتراق لخفض استهلاك الوقود من خلال تحسين كفاءة استخدام الطاقة. كما سيساهم الفرن الجديد في خفض كمية الانبعاثات وتحسين كفاءة الإنتاج من خلال خفض عدد أيام التوقف اللازمة لعمليات نزع الكربون المترسب على جدران أنابيب الفرن بالبخار والماء¹.
- منظومة أوعية الفحم Coke Drum System، مركب عليها أجهزة لتحرير الضغط في وعاء الفحم إلى 2 رطل/البوصة المربعة psig.
- تطبيق برنامج كشف التسرب وإصلاحه في معدات تطوير منظومة أبراج مياه التبريد لخفض انبعاثات المركبات العضوية الطيارة VOC.

¹ إزالة الفحم من أنابيب الفرن Steam Air Decoking هي عملية تحتاج إلى توقيف الوحدة عن العمل لنزع الكربون المترسب على الجدران الداخلية لأنابيب أفران التفحيم بواسطة البخار والماء، ويتم بشكل دوري على فترات تتراوح بين 3 إلى ستة أشهر، وقد امتدت في الأفران المتطورة حتى الستينين، وفي بعض الأفران تجري العملية أثناء وجود الوحدة في العمل دون توقيف.

يبين الجدول 4-5 المعدات الجديدة والمعدلة في مشروع تطوير وحدة التفحيم وإجراءات خفض الانبعاثات المطبقة.

الجدول 4-5: المعدات الجديدة والمعدلة في مشروع تطوير وحدة التفحيم وإجراءات خفض الانبعاثات المطبقة

المعدات الجديدة والمعدلة	إجراءات خفض الانبعاثات
فرن التفحيم 24H-1	- تركيب خفض انتقائي بالعامل الحفاز وحراقات منخفضة النيتروجين - تصميم يرفع كفاءة استخدام الطاقة، بما في ذلك تركيب مسخن أولي
منظومة أوعية الفحم	تخفيض ضغط الوعاء إلى أدنى من 2 رطل/البوصة المربعة قبل التفريغ
معدات مناولة الفحم	- تركيب سير ناقل مغلق لمنع تطاير جسيمات الفحم الدقيقة - المحافظة على رطوبة الفحم 8% حد أدنى
أبراج تبريد المياه الملحقة بوحدة التفحيم وأوعية برج التقطير	تطبيق برنامج كشف التسربات وإصلاحها LDAR

المصدر: MPCA, 2016

✓ مشروع تعزيز إنتاج الديزل، ويتكون من تعديل وحدة التكسير الهيدروجيني القائمة لتعزيز كفاءة إنتاج الديزل الحاوي على نسبة منخفضة جداً من الكبريت ULSD¹ دون الحاجة إلى تركيب أفران جديدة تشكل مصدراً إضافياً للانبعاثات. ويتكون المشروع من الأجزاء الرئيسية التالية:

- برج تقطير فراغي لزيت الغاز Gas Oil Vacuum Fractionator
- وحدة المعالجة الهيدروجينية لزيت الغاز Gas Oil Hydrotreater
- التكسير الهيدروجيني للمقطرات الوسطى Distillate Hydrocracker
- وحدة إنتاج الهيدروجين Hydrogen Plant
- منظومة المعالجة بالأمين Amine System

أما إجراءات خفض الانبعاثات المتبعة في مشروع تعزيز إنتاج الديزل فتتركز في تركيب منظومة خفض الانتقائي بالعامل الحفاز SCR، وتركيب حراقات

¹ Ultra-Low Sulphur Diesel

منخفضة أكاسيد النيتروجين على الأفران، إضافة إلى تطبيق برنامج الكشف عن التسربات وإصلاحها. يبين الجدول 4-6 المعدات الجديدة والمعدلة في مشروع تعزيز إنتاج الديزل، وإجراءات خفض الانبعاثات المطبقة.

الجدول 4-6: المعدات الجديدة والمعدلة في مشروع تعزيز إنتاج الديزل، وإجراءات خفض الانبعاثات المطبقة

المعدات الجديدة والمعدلة	إجراءات خفض الانبعاثات
الأفران	• تركيب منظومة خفض انتقائي بالعامل الحفار. • تركيب حراقات منخفضة النيتروجين
برج تقطير فراغي لزيت الغاز	• تطبيق برنامج كشف التسربات وإصلاحها LDAR
وحدة معالجة هيدروجينية	• تطبيق برنامج كشف التسربات وإصلاحها LDAR
التكسير الهيدروجيني للمقطرات الوسطى	• تطبيق برنامج كشف التسربات وإصلاحها LDAR
وحدة إنتاج هيدروجين	• تطبيق برنامج كشف التسربات وإصلاحها LDAR
منظومة المعالجة بالأمين	• تطبيق برنامج كشف التسربات وإصلاحها LDAR

المصدر: MPCA, 2016

✓ مشروع تعزيز إنتاج الغازولين، يهدف المشروع إلى رفع طاقة وتحسين أداء منظومة تحضير ومعالجة المكونات الأساسية لإنتاج الغازولين بدون إضافة مصادر جديدة للانبعاثات الملوثة للبيئة. ويتكون من تطوير تقنية وحدة إنتاج الهيدروجين، وتحسين عمليات إنتاج الغازولين عالي الرقم الأوكتاني، وتطبيق إجراءات خفض الانبعاثات.

• أهداف المشروع

يهدف المشروع إلى تعزيز قدرة المصفاة على إنتاج الوقود الأنظف، وترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها، إضافة إلى تلبية متطلبات التشريعات البيئية، من خفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين بمقدار 500 طن/السنة، وتركيب معدات أخرى جديدة للتحكم بالانبعاثات وخفض كميتها، واستبدال معدات قديمة بمعدات

متطورة، مزودة بتقنيات حديثة للتحكم بالانبعاثات، وتحسين كفاءة الإنتاج في المصفاة دون إضافة مصادر جديدة للانبعاثات الملوثة للبيئة.

• الأثر البيئي للمشروع

أشارت الوثائق التي رفعتها إدارة المصفاة إلى الهيئة المختصة بمنح تراخيص بناء المنشآت الصناعية الجديدة، أو تعديل المنشآت القائمة إلى أن المشروع سينتج عنه زيادة في انبعاثات المصفاة، تقدر بأكثر من 100 ألف طن/السنة، وبالتالي فإن المشروع يستوجب الحصول على ترخيص حسب متطلبات قانون الهواء النظيف المعمول به في الولايات المتحدة الأمريكية. **يبين الجدول 4-7** مقارنة بين كمية انبعاثات المصفاة قبل وبعد تنفيذ مشروع التطوير.

• إجراءات خفض الانبعاثات في مصفاة باين بيند

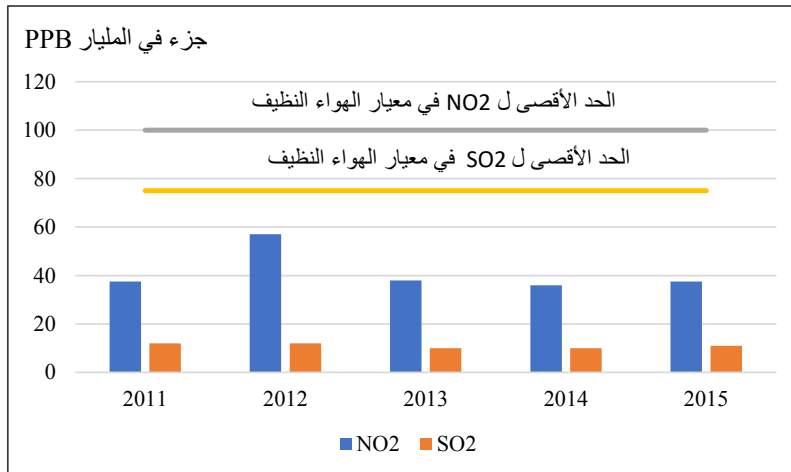
تصنف مصفاة باين بيند Pine Bend في مقدمة المنشآت الصناعية العاملة في ولاية مينيسوتي من حيث المراقبة الصارمة لتركيز الملوثات في الهواء الجوي. حيث أن إدارة المصفاة قامت منذ سنوات بتمويل مشروع تركيب وتشغيل ثلاث محطات مراقبة لرصد جودة الهواء الجوي المحيط بالمصفاة، وتسجيل أية تغيرات أو زيادة في تركيز الملوثات عن القيم القصوى المحددة في المعايير الوطنية لجودة الهواء الجوي. وقد أثبتت نتائج المراقبة أن تركيز الملوثات خلال السنوات الخمسة الممتدة من 2011-2015 أدنى من القيم المحددة في معايير جودة الهواء النظيف. **يبين الشكل 4-12** تطور تركيز ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين في الهواء الجوي المحيط بالمصفاة بعد تنفيذ مشروع التطوير. كما **يبين الشكل 4-13** تطور أول أكسيد الكربون في الهواء الجوي المحيط بالمصفاة وبين القيم القصوى المحددة في معايير قانون الهواء النظيف.

الجدول 4-7: مقارنة بين كمية انبعاثات المصفاة قبل وبعد مشروع التطوير

الملوّثات	إجمالي انبعاثات المصفاة قبل المشروع (طن/السنة) ⁽¹⁾	انبعاثات مشروع التطوير المصفاة (طن/السنة)	إجمالي انبعاثات المصفاة بعد المشروع (طن/السنة)	نسبة التغير (%)
أكاسيد النيتروجين	4013.8	-421.1	3592.7	-10.5%
ثاني أكسيد الكبريت ⁽²⁾	3770.0	-32.2	3770.0	0.0%
أول أكسيد الكربون	2476.3	-97.6	2378.7	-3.9%
الجسيمات الدقيقة	1061.2	0.1	1061.3	0.0%
الجسيمات الدقيقة PM ₁₀	667.5	0.5	668.0	0.1%
الجسيمات الدقيقة PM _{2.5}	652.8	0.1	652.9	0.0%
المركبات العضوية الطيارة	2674	-33.6	2640.4	-1.3%
غازات الدفيئة ⁽³⁾	8221963	149960	8371923	1.8%
الملوّثات الهوائية الخطرة ⁽⁴⁾	864.6	-5.2	859.4	-0.6%

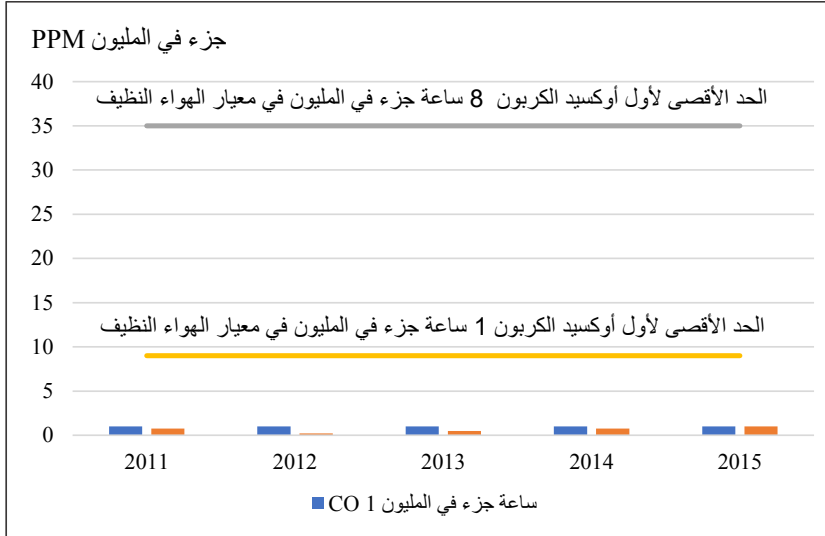
- (1) تمثل كمية الانبعاثات التي تطلقها المصفاة حتى تاريخ تقديم الترخيص والمبينة في وثائق التي قدمتها إدارة المصفاة للحصول على الترخيص.
- (2) هذا الرقم يمثل الحد الأقصى المسموح للمصفاة، على الرغم من الفرن الجديد سيستخدم الوقود الغازي الخالي من الكبريت إلا أن إجمالي كمية انبعاثات أكسيد الكبريت سيبقى دون تغيير 3770 طن/السنة.
- (3) غازات الدفيئة تمثل الغازات التالية: (CO₂)، الميثان (CH₄)، أكسيد النيتروس (N₂O)، سداسي فلورايد الكبريت (SF₆)، هيدروفلوروكربون (HFCs)
- (4) أرقام تقريبية حسب بناء على معاملات الانبعاثات التي نشرتها وكالة حماية البيئة الأمريكية قبل تقديم الوثائق.

الشكل 4-12: تطور تركيز ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين في الهواء الجوي المحيط بالمصفاة بعد تنفيذ مشروع التطوير



تركيز SO₂ = القيمة القصوى خلال ساعة واحدة في اليوم
تركيز NO₂ = القيمة القصوى خلال ساعة في اليوم
المصدر: MPCA, 2016

الشكل 4-13: تطور أول أكسيد الكربون في الهواء الجوي المحيط بالمصفاة وبين القيم القصوى المحددة في معايير قانون الهواء النظيف



المصدر: MPCA, 2016

لتقييم الأثر البيئي المحتمل لمشروع تطوير المصفاة، وتحديد مقدار تغير معدلات الانبعاثات نتيجة تشغيل الوحدات الجديدة، قامت إدارة المصفاة بإعداد تحليل نموذج توزع الهواء الجوي،¹ فتبين أن المشروع لن يؤدي إلى ارتفاع تركيز الملوثات في الهواء الجوي المحيط بالمصفاة عن القيم المحددة في المعايير الوطنية لجودة الهواء الجوي NAAQS.

تفرض متطلبات قانون الهواء النظيف في الولايات المتحدة الأمريكية الحصول على ترخيص إقامة المنشآت الصناعية الجديدة، أو تطوير المنشآت الجديدة التي ينتج عنها زيادة في الانبعاثات تزيد عن 100 ألف طن/السنة بدون إجراءات التحكم بالملوثات، وعلى إدارة المنشأة تقديم كافة الوثائق التي تمكن الهيئة المختصة من مراجعة الأثر البيئي للمشروع، والتأكد من تطبيق أفضل الممارسات الممكنة لخفض الانبعاثات المحتملة. وفيما يلي أهم الإجراءات التي اتخذتها إدارة مصفاة باينت بيند

¹ Air Dispersion Modeling Analysis

لخفض الانبعاثات المحتملة من كل من المصادر الرئيسية للوحدة والتسربات المحتملة من الخطوط والصمامات ونقاط الوصل Flanges.

✓ إجراءات خفض انبعاثات حرق الوقود

تتضمن إجراءات خفض الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود تركيب معدات خفض الانتقائي لأكاسيد النيتروجين بالعامل الحفاز SCR على مدخنة الفرن الجديد في وحدة التفحيم، واستخدام حراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين، بالتوازي مع استخدام وقود غازي مكون من غاز المصفاة المعالج والغاز الطبيعي، وذلك بهدف الحد من انبعاثات الجسيمات الدقيقة PM. وعدم حدوث زيادة في انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت.

صممت الأفران الجديدة وفق أحدث التقنيات التي تساهم في خفض المركبات العضوية الطيارة VOC، وأول أكسيد الكربون CO، والملوثات الهوائية الخطرة HAP التي يمكن أن تتشكل بسبب الاحتراق الناقص للوقود في الفرن. إضافة إلى تصميم ارتفاع المدخنة إلى المستوى الذي يضمن تشتيت الغازات في الهواء الجوي بشكل مناسب وفق المعايير العالمية المتبعة. كما جهزت الأفران بمعدات غسيل لغازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة.

وفي مشروع تعزيز إنتاج الديزل، تم تركيب معدات خفض الانتقائي لانبعاثات النيتروجين بالعامل الحفاز SCR على مدخنة فرن وحدة إنتاج الهيدروجين القائمة، كما يتم التأكيد على استخدام الغاز الطبيعي كوقود، وضبط ظروف عمل الفرن لضمان خفض انبعاثات المركبات العضوية الطيارة VOC، وأول أكسيد الكربون CO، والملوثات الهوائية الخطرة، بطريقة مماثلة لفرن التفحيم الجديد.

✓ إجراءات خفض الانبعاثات الهاربة Fugitive Emissions

تنطلق الانبعاثات الهاربة من منظومة أوعية الفحم نتيجة عمليات الفتح والتنفيس والتصفية أثناء عمليات التبديل الدورية بين الأوعية لتفريغها من الفحم، بالإضافة إلى منظومة تبريد الأبخرة المنطلقة من أوعية الفحم¹. ولتخفيف كمية انبعاثات المركبات العضوية الطيارة VOC، وأول أكسيد الكربون CO، والملوثات الهوائية الخطرة HAP المحتملة تعهدت إدارة المصفاة بالقيام بتعديل منظومة أوعية الفحم بحيث يتم خفض ضغط الوعاء إلى أدنى من 2 رطل/البوصة المربعة قبل البدء بعملية التنفيس إلى الهواء الجوي تمهيداً لفتح الوعاء وتفريغه من الفحم. وهي طريقة متطورة ومصنفة في قائمة أفضل الممارسات الممكنة لخفض انبعاثات منظومة أوعية الفحم. كما تعهدت إدارة المصفاة باستخدام مياه جديدة ونظيفة في عمليات التكسير الهيدروليكي للفحم بهدف خفض الانبعاثات الهيدروكربونية من منظومة معالجة مياه تبريد أوعية الفحم.

من جهة أخرى، تعهدت إدارة المصفاة بالالتزام بتطبيق متطلبات فقرات برنامج كشف التسرب وإصلاحه LDAR للحد من انبعاثات الهيدروكربونات الهاربة من الصمامات وموانع تسرب محاور المضخات.

✓ إجراءات خفض انبعاثات الجسيمات الدقيقة

لخفض معدل انبعاثات الجسيمات الدقيقة التي تنتج من عمليات تكسير الفحم ونقله من أسفل أوعية الفحم إلى مستودعات التخزين، ومحطة التحميل والشحن، تعهدت إدارة المصفاة بتركيب أحدث التقنيات المطبقة للحد من تطاير جسيمات الفحم الدقيقة في وحدة التفحيم الجديدة.

¹ Coke Drum Quench System

• نتائج تنفيذ المشروع

أظهرت نتائج تقييم الأثر البيئي لمشروع تطوير مصفاة باين بيند أن الإجراءات الجديدة المطبقة في المصفاة ينتج عنها خفض مهم في إجمالي انبعاثات أكاسيد النيتروجين، وأول أكسيد الكربون، والمركبات العضوية الطيارة، وثاني أكسيد الكبريت، والجسيمات الدقيقة يصل إلى 550 طن في السنة، إضافة إلى خفض الملوثات الهوائية الخطرة بمقدار 5 طن في السنة. كما أكد التقرير على استمرار تصنيف المصفاة في قمة قائمة المنشآت الملزمة بمتطلبات قانون الهواء النظيف في ولاية مينيسوتا الأمريكية.

أما الزيادة المتوقعة في انبعاثات الأمونيا المستخدمة في منظومة خفض الانتقائي لأكاسيد النيتروجين في الأفران فكانت ضمن الحدود المسموحة التي لا تؤدي إلى تشكل الدخان الضبابي المنطلق من المداخل، والذي يتسبب في تغيير الرؤية.

الخلاصة والاستنتاجات

تعتبر صناعة تكرير النفط من الصناعات الحيوية بالنسبة لكافة الدول الصناعية منها والنامية، نظراً لأهمية منتجاتها كسلع ضرورية لا يمكن الاستغناء عنها لاستمرار الحياة العصرية. كما تكتسب هذه الصناعة أهمية خاصة بالنسبة للدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوابك" نظراً لاعتماد معظمها على تصدير المنتجات النفطية كأحد خيارات تحسين القيمة المضافة للنفط الخام.

شهدت الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوابك" وباقي الدول العربية منذ ثمانينيات القرن المنصرم تطوراً ملحوظاً في الوعي العام بأهمية تطوير هذه الصناعة والارتقاء بأدائها من خلال تنفيذ مشاريع تطوير مصافي النفط وإعادة تأهيلها، مما ساهم في تعزيز التزامها بمتطلبات التشريعات البيئية، والوصول بها إلى المستويات العالمية.

تضمنت هذه الدراسة شرحاً لبعض الأمثلة العملية لمشاريع خفض انبعاثات صناعة تكرير النفط التي تم تنفيذها في بعض الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوابك" ومناطق العالم الأخرى. كما استعرضت أهم التقنيات التي يمكن أن تساهم في خفض معدل انبعاثات المصافي. وقد توصلت الدراسة إلى الاستنتاجات والتوصيات التالية:

1. تصنف صناعة تكرير النفط بأنها إحدى الصناعات الملوثة للبيئة، إلا أنه يمكن تحقيق نتائج إيجابية عند اتخاذ إجراءات التحكم بالانبعاثات التي تطلقها بما يتوافق مع متطلبات التشريعات البيئية.
2. إن غياب تطبيق إجراءات التحكم بالانبعاثات مصافي النفط يمكن أن يؤدي إلى تشكل الروائح الكريهة التي تسبب إزعاج التجمعات السكنية المجاورة

للمصفاة، وخصوصاً في الفترات التي يرتفع فيها تركيز الانبعاثات في الهواء الجوي عندما تكون سرعة الرياح منخفضة.

3. إن التحديات الكبيرة الناشئة عن الضغوط التي تفرضها التشريعات البيئية تستوجب أن تقوم كل مؤسسة صناعية بتأسيس نظام لإدارة شؤون البيئة، يساعدها على تنفيذ المهام المطلوبة بسهولة.

4. إن لتلبية متطلبات التشريعات البيئية انعكاسات إيجابية على مصافي النفط، فعلى الرغم من الأعباء المالية التي تتحملها المصفاة لتركيب معدات التحكم بالانبعاثات، إلا أن هذه الإجراءات يمكن أن تساهم في تحسين الربحية، وذلك من خلال استرجاع الغازات الهيدروكربونية المتسربة إلى البيئة، والاستفادة منها كوقود بدلاً من طرحها إلى الهواء الجوي أو حرقها، علاوة على القيمة المعنوية التي تكتسبها المصفاة لدى الجمهور والتجمعات السكنية المجاورة نتيجة التزامها بتلبية متطلبات تشريعات حماية البيئة من التلوث.

5. لا يمكن للإجراءات الفنية وتطوير المعدات أن تحقق الأهداف المرجوة من خطط خفض الانبعاثات في المصافي إذا لم تترافق مع تحسين الوعي البيئي والمستوى الفني للعاملين في المصفاة، من خلال الاهتمام ببرامج التدريب المستمر للعاملين في مصافي النفط لتطوير أدائهم في عمليات التشغيل والصيانة، والسيطرة على الحوادث الطارئة التي ينتج عنها طرح الانبعاثات الغازية إلى البيئة.

6. ضرورة تنسيق الجهود بين الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوابك" لتعزيز التعاون وتبادل الخبرات المحلية والإقليمية في مجال مراقبة جودة الهواء، وتقييم أسباب التلوث، واختيار التقنيات المناسبة للتحكم بالانبعاثات، وإعداد الخطط والبرامج الوطنية لتخفيض الانبعاثات.

7. ضرورة إشراك الجمهور في عمليات تقييم الأثر البيئي لمصافي النفط القائمة، وعمليات منح تراخيص إنشاء المصافي الجديدة أو تطوير المصافي القائمة.

8. يعتمد نجاح عملية إعداد قائمة جرد الانبعاثات على مدى دقة البيانات المتعلقة بالغازات التي تطرحها المصافي. وقد يكون إعداد القائمة مهمة سهلة فيما لو توفرت قاعدة بيانات إلكترونية في مواقع عمليات المصفاة.

9. الحاجة إلى دعم الأبحاث العلمية والدراسات الميدانية المتخصصة بتحديد الأثر البيئي للمنشآت الصناعية بشكل عام، ولمصافي النفط بشكل خاص، بحيث تتناول المواضيع التالية:

✓ دراسة الآثار الصحية لانبعاثات المصافي في المنطقة وإعداد إحصائيات وبيانات عن الحالات المرضية غير العادية، بهدف تقديمها إلى الجهات المعنية للاستفادة منها في تحديد أولويات تطبيق قرارات تخفيض الانبعاثات.

✓ تطوير وسائل تحديد مصادر الانبعاثات التي تطلقها مصافي النفط، واختيار المواقع المناسبة لتركيب معدات التحكم والمراقبة.

✓ المساهمة في تطوير التشريعات المتعلقة بتحديد المعدلات القصوى المسموحة لكمية الانبعاثات التي تطرحها مصافي النفط، وبما يتناسب مع الواقع البيئي وجودة الهواء في المنطقة، مع الأخذ بعين الاعتبار الانبعاثات التي تطرحها المنشآت الصناعية الأخرى المجاورة للمصفاة.

✓ ترتيب الأولويات في عملية إعداد البرامج الوطنية لتخفيض الانبعاثات تبعاً لحجمها وتأثيرها على صحة المواطنين وسلامة البيئة.

10. ضرورة الحرص عند إنشاء مصفاة جديدة على إعداد دراسة لتقييم الأثر البيئي قبل منح ترخيص الإنشاء، والتأكد من اختيار الموقع المناسب بعيداً عن التجمعات السكنية والمناطق المكتظة بالمنشآت الصناعية، مع ضرورة التركيز

على اختيار تقنيات التكرير المتطورة وعدم السماح ما أمكن بإنشاء الوحدات التي تتميز بارتفاع معدل انبعاثاتها، وذلك عندما يتوفر البديل الأفضل تقنياً واقتصادياً وبيئياً.

11. متابعة الاهتمام بنشر وتنمية الوعي العام بمشكلات التلوث البيئي وانعكاساتها على صحة الإنسان والبيئة، من خلال التركيز على تنظيم الندوات واللقاءات العلمية، وتبادل الخبرات في هذا المجال.

قائمة المراجع

مراجع اللغة الانجليزية

- Abuzahra, M., (2009) **“Carbon Dioxide Capture from Flue Gas Development and Evaluation of Existing and Novel Process Concepts”** Delft Technical University. Germany.
- Akumu, J., (2015) **“Transport for Green and Exclusive Growth: Promoting Cleaner, Efficient Fuel in Africa”** AFDB. Paper presented at the first African Development Bank Transport Forum held on November 26-27, 2015 at the headquarters of the African Development Bank, in Abidjan. Available at: <http://www.afdb.org/en/afdb-transport-forum-2015/about-the-forum/>
- Alan, M., (2005) **“Emission Reductions at Engen Refinery in South Durban, South Africa”** Paper presented at the eighth World Congress on Environmental Health, Held at International Convention Centre in Durban, 22-27 February 2004.
- Alhaddad, A., Ettouney, H. & Saqer, S., (2015) **“Analysis of Air Pollution Emission Patterns in the Vicinity of Oil Refineries in Kuwait”** Chemical Engineering Department, Kuwait University, Journal of Eng. & Research Vol. 3 No. (1) Mar 2015 pp. 1-24
- Al Koot, F., (2011) **“Odor Management System at KNPC”** Kuwait National Petroleum Company. Paper presented at The Middle East Downstream Week, 12th Annual Meeting, Abu Dhabi, 8-11 May 2011
- BAAQMD, (2015) **“Petroleum Refinery Emissions Reduction Strategy”** Bay Area Air Quality Management District. USA.
- Bashammakh, M., (2011) **“Optimal SO₂ Reduction Strategies in an Oil Refinery Based on Arabian Light Crude Oil”** Paper presented at the 21st Annual Saudi-Japan Symposium Catalysts in Petroleum Refining & Petrochemicals- Dhahran, Saudi Arabia - November 2011.
- Barthe, P., et al., (2015) **“Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Refining of Mineral Oil and Gas Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)”** Available at: <https://ec.europa.eu/jrc/en/institutes/ipts>
- Barregard, L., Holmberg, E., & Sallsten, G., (2009) **“Leukemia: The Price of Living Close to an Oil Refinery?”** Environmental Health News. Available at: <http://www.environmentalhealthnews.org/ehs/newscience/leukemia-higher-than-predicted-close-to-refinery/>

- Beil, A., Daum, R., Matz, G., Harig, R., (1998) **“Remote Sensing of Atmospheric Pollution by Passive FTIR Spectrometry in Spectroscopic Atmospheric Environmental Monitoring Techniques”** Klaus Schäfer, Herausgeber.
- Bhatia, A., (2012) **“Improving Energy Efficiency of Boiler Systems”** PDH Center. Available at: www.pdhcenter.com.
- Brajkovic, M., et al., (2014) **“Process Furnaces Improvement in Rijeka and SISAK Refinery”** University of Hungary.
- Brelsford, R., (2016) **“Flint Hills’ Minnesota refinery due \$ 750- million overhaul”** Oil and Gas Journal Feb 15, 2016 p.10.
- Bp, (2015) **“Air Emissions- Bp. Kwinana Refinery”** Britch Petroleum, Western Australia. Available at: http://www.bp.com/content/dam/bp-country/en_au/about-us/what-we-do/air-quality-brochure.pdf
- CleaverBrooks, (2010) **“Boiler Emissions Reference Guide”** Available at: www.cleaverbooks.com
- CCME, (2015) **“National Framework for Petroleum Refinery Emission Reductions”** Canadian Council of Ministers of the Environment. Available at: www.ccme.ca
- CEA, (2015) **“Draft Guidelines for The Preparation of an Environmental Impact Statement”** Canadian National Railway Company. Canada.
- De Caluwé, G. et al., (2015) **“Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries”** Prepared by the Concawe Air Quality Management Group’s Special Task Force on Emission Reporting Methodologies.
- Donnelly, A., et al., (2014) **“Regulating Greenhouse Gas Emissions under Section 111(D) of the Clean Air Act: Implications for Petroleum Refineries”** Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions.
- Earth justice, (2015) **“Oil Refineries and Toxic Pollution”** Earth Justice Coalition, San Francisco, California, USA. Available at: www.earthjustic.org
- ECE, (2014) **“Guidelines for Reporting Emissions and Projections Data under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution”** Economic Commission for Europe- Executive Body for the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
- EIA, (2016) **“Carbon Dioxide Emissions Coefficients by Fuel”** Available at: https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.cfm
- EPA, (2010) **“Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from The Petroleum Industry”** Environmental Protection Agency. USA.

- EPA, (2008) **“Environmental Standards for Petroleum Refineries”** Environmental Protection Agency. USA.
- EMEP/EEA, (2016) **“Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016”** Technical guidance to prepare national emission inventories. European Environment Agency. Available at: www.eea.europa.eu/emep-eea-guidebook
- Ergil, 2016 **“Oil, Chemical and Petrochemical Storage Tank – Internal Floating Roof”** Istanbul, Turkey. Available at: www.ergilgroup.com
- Goodwin, J. & Pulles, T., (2009) **“Inventory Management, Improvement and QA/QC”** EMEP/EEA emission inventory guidebook.
- Heide, B., (2008) **“SNCR Process -Best Available Technology for NO_x Reduction in Waste to Energy Plants”** Mehldau & Steinfath Umwelttechnik GmbH.
- Herzog, H., (1999) **“An Introduction to CO₂ Separation and Capture Technologies”** MIT Energy Laboratory.
- IFC, (2013) **“Environmental, Health, and Safety Guidelines for Petroleum Refining”** World Bank Group. Available at: www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines
- IPIECA, (2012) **“Refinery Air Emissions Management, Guidance Document for the Oil and Gas Industry”** The International Petroleum Industry Environmental Conservation Association. Operation good practice series. Available at: www.ipieca.org
- Kam, E., & Mirza, Y., (2004) **“Experience in Air Emissions Inventory Development for Refineries in Kuwait National Petroleum Company”** Paper presented to OAPEC Seminar on Energy Conservation and Environmental Protection in Petroleum Industries, Held in Cairo, 6-8 June 2004.
- Kashyap, A., (2013) **“Air Emission Management-KNPC Experience”** The 2nd Joint Qatar-Japan Environment Symposium Sustainable Environment, Climate Change and Renewable Energy for Oil and Gas Industry" February 5-6, 2013, Doha, Qatar.
- KISR, (2005) **“Work shop on Integrated Approach to Air Emissions Management in Kuwait Oil Sector”** Held On 23th May 2005 in Kuwait Institute for Scientific Research (KISR).
- Kulazynski, M., (2011). **“Selective Catalytic Reduction NO by Ammonia Over Ceramic and Active Carbon Based Catalysts, Heat Analysis and Thermodynamic Effects”** Available at: <http://www.intechopen.com/books/heat-analysis-and-thermodynamic-effects/selective-catalytic-reduction-no-by-ammonia-over-ceramic-and-active-carbon-based-catalysts>

- Lucas, R., (2002) **"Petroleum Refinery Source Characterization and Emission Model for Residual Risk Assessment"** U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park.
- Mathpro, (2013) **"Effects of Possible Changes in Crude Oil Slate on the U.S. Refining Sector's CO2 Emissions"** International Council on Clean Transportation MathPro Inc. USA.
- MPCA, (2016) **"Notice of Availability of an Environmental Assessment Worksheet (EAW) Flint Hills Resources - Pine Bend Technology and Efficiency Improvement Project"** Minnesota Pollution Control Agency. USA. Available at: www.pca.state.mn.us
- North London, (2014) **"North London Heat and Power Project- Flue Gas Treatment Plant Options"** North London Waste Authority.
- Oden, H., (2010) **"Treatment Technology for VOC Emissions from Oil Refineries Case Study Of Measures Taken to Minimize VOC Emissions at Swedish Petrochemical Companies to be Applied at Chinese Refineries"** KTH Royal Institute of Technology. Available at: www.ima.kth.se
- Plomp, A., et al., (2015) **"Refinery Emissions from a Competitive Perspective"** The Netherlands Petroleum Industry Association (VNPI)
- Ramboll, (2014) **"North London Heat and Power Project- Flue Gas Treatment Plant Options"** North London Waste Authority.
- Rameshni, M., (2011) **"Carbon Capture Overview"** Worley Parsons, Monrovia, CA, USA.
- Randall, D., & Coburn, J., (2010) **"Critical Review of DIAL Emission Test Data for BP Petroleum Refinery in Texas City, Texas.** RTI International Research Triangle Park, North Carolina, available at: http://www.epa.gov/ttn/atw/bp_dial_review_report_12-3-10.pdf
- RCJY, (2015) **"Royal Commission Environmental Regulations"** Royal Commission for Jubail and Yanbu. Available at: <https://www.rcjy.gov.sa/en-US>
- Reinaud, J., (2005) **"The European Refinery Industry Under the Emissions Trading Scheme; Competitiveness, trade flows and investment implications"** International Energy Agency.
- Robinson, R., (2015) **"The Application of Differential Absorption Lidar (DIAL) for Pollutant Emissions Monitoring Environmental Measurements Group"** Analytical Science Division National Physical Laboratory Teddington, available at: www.npl.co.uk/environment

- Ron, D., et al., (2015) **“An Overview of Technologies for Reduction of Oxides of Nitrogen from Combustion Furnaces”** MPR Associates, Inc. USA.
- RTI, (2015) **“Emissions Estimation Protocol for Petroleum Refineries”** Office of Air Quality Planning and Standards. U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park.
- SIEMENS, (2013) **“Control of Vapor Recovery Units (VRU)”** SIEMENS AG. Germany. Available at: www.siemens.com/processanalytics
- Sloss, L., (2011) **“Efficiency and emissions monitoring and reporting”** IEA Clean Coal Centre. USA
- Smargiassi, A., et al., (2009) **“Risk of Asthmatic Episodes in Children Exposed to Sulfur Dioxide Stack Emissions from a Refinery Point Source in Montreal, Canada”**. Environment Health Perspective, Canada.
- Song, L., & Hasmeier, D., (2015) **“After Years of Inaction, EPA Tightens Toxic Air Standard for Oil Refineries”**
https://www.eia.gov/emeu/efficiency/carbon_emissions/petroleum.htm
- Stevenson, E., (2015) **“Petroleum Refinery Emissions Reduction Strategy”** Bay Area Quality Management District. USA.
- Thambiran, T., and Roseanne D., (2011) **“Air Quality and Climate Change Co-Benefits for the Industrial Sector in Durban”** School of Environmental Sciences, University of KwaZulu-Natal, Westville Campus, Durban 4000, South Africa.
- Thomas, A., & Brian, B., (2015) **“Historical Air Emissions from United States Petroleum Refineries”** Analysis Prepared for: American Fuel & Petrochemical Manufacturers. Sage Environmental Consulting, LP.
- UCS, (2011) **“Oil Refinery CO2 Performance Measurement”** Union of Concerned Scientists, Oakland, California, USA.
- UNECE, (2012) **“Guidance Document on Control Techniques for Emissions of Sulphur, NOx, VOCs, Dust, Including PM10, PM2.5 and Black Carbon from Stationary Sources”**. The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)
- UNEP, (2014) **“UNEP Year Book of Emerging Issues Update: Excess Nitrogen in the Environment”** Available at:
<http://www.unep.org/yearbook/2014/PDF/chapt1.pdf>
- US-EPA, (2013) **“Addressing Air Emissions from the Petroleum Refinery, Sector Risk and Technology Review and New Source Performance Standard Rulemaking Public Outreach Presentation”** US Environmental

Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards.
Research Triangle Park, NC.

Venezia, C., (2014) **"US Shale Oil Development and Impact on Aromatics Supplies"**
Argus Media Ltd. Available at: www.argusmedia.com

Wakefield, B., (2007) **"Oil Refinery Permits: A Handbook for Citizen Participation in the Permitting of Oil Refineries under the New Source Review Provisions of the Clean Air Act"** Available at:
www.environmentalintegrity.org

Withinshaw, D., et al., (2009) **"Air Pollutant Emission Estimation Methods for E-PRTR Reporting by Refineries"** CONCAWE Air Quality Management Group's Special Task Force on Emission Reporting Methodologies.

WSP, (2015) **"Industrial Decarbonisation & Energy Efficiency Roadmaps to 2050-Oil Refining"**_WSP and Parsons Brinckerhoff. Available at:
www.dnvgl.com

مراجع اللغة العربية

مكي، عماد، (2017)، "إنتاج الوقود الأنظف في الدول الأعضاء في أوابك" مجلة النفط والتعاون العربي- المجلد الثالث والأربعون - العدد 160 عام 2017. منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول - دولة الكويت.

مكي، عماد، (2013) "تطور صناعة تكرير النفط في الدول العربية" مجلة النفط والتعاون العربي - العدد 147 خريف 2013. منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول- دولة الكويت

مكي، عماد، (2012)، "خيارات ترشيد استهلاك الطاقة في صناعة تكرير النفط" مجلة النفط والتعاون العربي - العدد 142 صيف 2012. منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول- دولة الكويت

البحث الثاني

الآفاق المستقبلية للطلب على النفط في الدول الآسيوية وانعكاساته على الصادرات النفطية من الدول الأعضاء

مظفر البرازي *

الآفاق المستقبلية للطلب على النفط في الدول الآسيوية¹

وانعكاساته على الصادرات النفطية من الدول الأعضاء

مقدمة

أصبحت الدول الآسيوية النامية، وخاصة الصين، أحد الدوافع الأساسية للنمو في الاقتصاد العالمي. وأدى النمو الاقتصادي المتصاعد في هذه الدول إلى تزايد الطلب على الطاقة فيها بصورة ملموسة الأمر الذي انعكس بصورة مباشرة على أسواق الطاقة العالمية. وانطلاقاً من هذه الاتجاهات، تسعى هذه الدراسة إلى تقديم صورة عامة عن التطورات الاقتصادية في هذه الدول خلال الفترة (2000 – 2016) ثم على التطورات المتوقعة حتى عام 2050. كما تهدف الدراسة إلى التعرف على إنتاج النفط واستهلاكه بالإضافة إلى استهلاك مصادر الطاقة الأخرى وإمكانيات التكرير في هذه الدول خلال الفترة (2000 – 2016). وحرصت الدراسة على تقديم صورة شاملة على الواردات النفطية لهذه الدول في إطار فترتين زمنيتين. وتعطي الفترة الزمنية الأولى الممتدة ما بين (2000 – 2007) صورة تفصيلية عن هذه الواردات حسب الدول القادمة منها هذه الواردات، ومن ضمنها الدول الأعضاء في أوبك. وتقدم الفترة الزمنية الثانية (2008 – 2015) صورة كلية عن واردات الدول الآسيوية النامية حسب الجهات والمناطق الإقليمية، ومنها منطقتي الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. وتستعرض الدراسة توقعات الطلب على النفط والطاقة في الدول الآسيوية النامية حتى عام 2040. وتقدم الدراسة تقديرات لحجم الزيادة المتوقعة في الطلب على النفط في هذه الدول حتى عام 2040 بناءً على التوقعات الواردة فيها. وتستدل الدراسة بالبيانات التي تم التوصل لها في

¹ الدول الآسيوية في هذه الدراسة تحديداً هي: الصين، الهند، إندونيسيا، باكستان، تايلند، الفلبين، فيتنام، وماليزيا.

السياق العام لما ورد بها لتقديم صورة عامة عن التقديرات المحتملة لحجم الزيادة في الواردات النفطية للدول الآسيوية النامية من الدول الأعضاء في أوابك في عام 2040.

الجزء الأول: الأوضاع الاقتصادية

1- التطورات الاقتصادية الراهنة في الدول الآسيوية النامية:

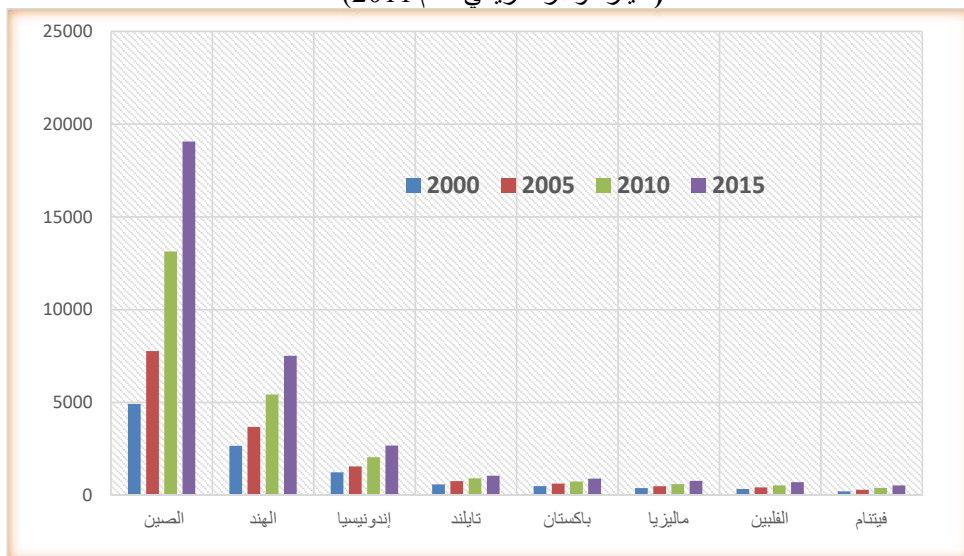
حققت الدول الآسيوية النامية الرئيسية (الصين، الهند، إندونيسيا، باكستان، تايلند، الفلبين، فيتنام، وماليزيا) معدلات نمو مرتفعة خلال الفترة (2000 – 2015) حيث ازداد الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة في هذه الدول ككل بمعدل 7.8% سنوياً، وهو أكثر من ضعف معدل النمو في الناتج المحلي العالمي والبالغ 3.7%. الجدول (1) والشكل (1). ويعزى هذا المعدل المرتفع بالدرجة الأولى إلى تصاعد الناتج المحلي الإجمالي في الصين الذي سجل معدل نمو بلغ 9.5% سنوياً. وأدى النمو المرتفع في هذه الدول إلى تضاعف حجم الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة في هذه الدول ككل بأكثر من ثلاث مرات حيث قفز من حوالي 10.8 تريليون دولار أمريكي في عام 2000 إلى 33.2 تريليون دولار أمريكي في عام 2015، وبذلك تزايدت حصتها في الناتج المحلي العالمي بالأسعار الثابتة من 17.1% في عام 2000 إلى 30.7% في عام 2015. وفي المقابل ارتفع الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة في الدول الصناعية الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD) خلال الفترة نفسها بمعدل 1.7% سنوياً ليرتفع من 37.9 تريليون دولار أمريكي إلى 48.7 تريليون دولار أمريكي، وبذلك تراجعت حصة الدول الصناعية في الناتج المحلي العالمي من 60.1% في عام 2000 إلى أقل من نصف (45.1%) هذا الناتج في عام 2015. وهذا مؤشر هام على تزايد مكانة الدول الآسيوية النامية في الاقتصاد العالمي.

الجدول (1)
الناتج المحلي الإجمالي حسب القوة الشرائية بالأسعار الثابتة
(مليار دولار أمريكي لعام 2011)

2015	2010	2005	2000	
19,061.9	13,133.4	7,766.4	4,915.5	الصين
7,512.0	5,421.9	3,676.8	2,656.2	الهند
2,674.9	2,045.3	1,547.2	1,228.2	إندونيسيا
889.1	730.6	617.7	484.1	باكستان
1,042.9	906.0	754.1	578.5	تايلند
698.7	524.6	412.3	329.4	الفلبين
519.8	390.0	287.1	205.7	فيتنام
767.7	593.4	476.7	378.2	ماليزيا
33,167.0	23,745.2	15,538.3	10,775.8	المجموع
108,119.6	91,329.7	76,089.2	63,100.9	العالم
48,749.3	44,686.5	42,360.4	37,920.0	منها: الدول الصناعية
59,370.3	46,643.2	33,728.8	25,180.9	بقية دول العالم

المصدر: [start=2000&http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.PP.KD?end=2015](http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.PP.KD?end=2015&start=2000)

الشكل (1)
الناتج المحلي الإجمالي حسب القوة الشرائية بالأسعار الثابتة
(مليار دولار أمريكي لعام 2011)



المصدر: [start=2000&http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.PP.KD?end=2015](http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.PP.KD?end=2015&start=2000)

وتلقي الفقرات التالية الضوء على تطور الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة في الدول الآسيوية النامية كل على حدة خلال الفترة (2000 – 2015).

- الصين:

سجل الاقتصاد الصيني أعلى معدلات النمو سواء على النطاق الإقليمي أو العالمي إذ كما ذكر سابقا تصاعد الناتج المحلي الإجمالي في الصين بمعدل 9.5% سنويا حيث تضاعف هذا الناتج بحوالي أربع مرات ليزداد من 4.9 تريليون دولار أمريكي في عام 2000 إلى 19.1 تريليون دولار أمريكي في عام 2015، وبذلك ارتفعت حصة الصين في الناتج المحلي العالمي من 7.8% في عام 2000 إلى 17.6% في عام 2015. وفي الوقت نفسه ارتفعت حصة الفرد في الصين في الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة من 3701 دولار أمريكي إلى 13572 دولار أمريكي، علما أن المتوسط العالمي لحصة الفرد من الناتج المحلي الإجمالي قد ارتفع خلال الفترة نفسها من 10316 دولار أمريكي إلى 14717 دولار أمريكي، بينما ارتفعت حصة الفرد في الدول الصناعية من 32758 دولار أمريكي إلى 37999 دولار أمريكي. الجدول (2) والشكل (2).

الجدول (2)

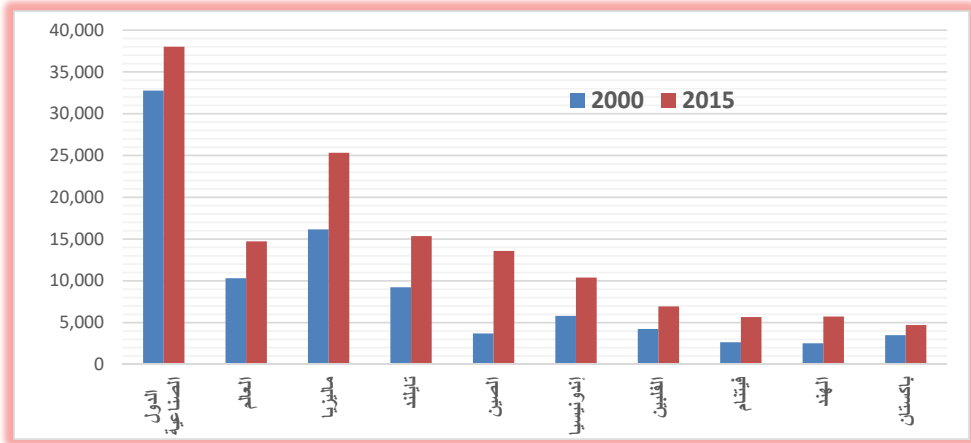
حصة الفرد من الناتج المحلي الإجمالي حسب القوة الشرائية بالأسعار الثابتة
(دولار أمريكي لعام 2011)

2015	2000	
13,572	3,701	الصين
5,730	2,521	الهند
10,385	5,806	إندونيسيا
4,706	3,502	باكستان
15,347	9,228	تايلند
6,938	4,227	الفلبين
5,667	2,650	فيتنام
25,312	16,146	ماليزيا
14,717	10,316	العالم
37,999	32,758	الدول الصناعية

المصدر: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.KD?end=2015&start=2000>

الشكل (2)

حصة الفرد من الناتج المحلي الإجمالي حسب القوة الشرائية بالأسعار الثابتة
(دولار أمريكي لعام 2011)



المصدر: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.KD?end=2015&start=2000>

وتشير البيانات الواردة في تقرير البنك الدولي حول آفاق الاقتصاد العالمي الصادر في يناير 2017⁽¹⁾ إلى أن النمو في الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة لعام 2010 في الصين قد انخفض من 7.3% في عام 2014 إلى 6.9% في عام 2015، ويقدر أن يصل إلى 6.7% في عام 2016، ويتوقع أن يستمر في التباطؤ ليلبلغ 6.5% في عام 2017 ثم إلى 6.3% في عام 2018 وعام 2019. ولتبيان أهمية هذه التوقعات ووضعها ضمن المنظور الشامل لتطورات الناتج المحلي الإجمالي على المستوى العالمي فإنه من المفيد الإشارة إلى أن معدل النمو في الناتج المحلي العالمي حسب بيانات البنك الدولي نفسها قد تراجع من 3.5% في عام 2014 إلى 3.3% في عام 2015، ويقدر أنه قد انخفض مرة أخرى ليلبلغ 3% في عام 2016، ويتوقع له أن ينمو بمعدل 3.5% في عام 2017، وبمعدل 3.7% في عام 2018 وعام 2019.

ويرى بعض المحللين الاقتصاديين أن تحقيق الصين لنمو اقتصادي بالمعدلات التي تضعها الحكومة (أعلى من 6%) يتطلب ارتفاعا حادا في نسبة الدين إلى الناتج المحلي

الإجمالي، وهو أمر غير قابل للاستمرار به، وهي حالة يمكن أن تؤدي إلى الوقوع فيما يطلق عليه "فخ المديونية"، كما يمكن أن تؤدي إلى نشوء أزمة أو إلى تباطؤ في النمو الاقتصادي. وهناك من يرى أن النمو المتسارع في المديونية في الصين يمثل تهديدا للاستقرار العالمي، وأن الصين تحتاج إلى إعادة التوازن إلى اقتصادها وتحقيق الاستقرار في نظامها المالي قبل الإقبال على الانفتاح على التدفقات الرأسمالية.

ويتطلب الخروج من فخ المديونية اتخاذ أحد ثلاثة حلول، وهي: إيقاف النمو في المديونية، أو إيقاف النمو في المديونية والسماح بخروج المدخرات عن طريق الزيادة الكبيرة في الفائض في الحساب الجاري، أو إيقاف النمو في المديونية ورفع الاستهلاك بصورة كبيرة.

وهناك من يرى أن الاقتصاد الصيني يجري عملية إعادة التوازن بصورة بطيئة عن طريق رفع الاستهلاك، وهو أمر مشكوك به نظرا لصعوبة تحقيقه من الناحيتين الفنية والسياسية. وفي حالة إمكانية تطبيقه فإن عملية إعادة التوازن سوف تستغرق فترة طويلة تزيد عن عشر سنوات (2).

ويرى بعض المحللين الاقتصاديين أن التحدي الأهم الذي يواجه الاقتصاد العالمي في الوقت الراهن هو إدماج الصين في النظام المالي العالمي حيث يجب أن ينصب اهتمام صانعي السياسات على مكنم الخطر، وهو حساب رأس المال في ميزان المدفوعات في الصين وليس على حسابها الجاري. والمبرر وراء ذلك أن حساب رأس المال يعكس تفاعل جانبيين هامين في الاقتصاد العالمي، وهما: التوازن بين الادخار والاستثمار، والنظام المالي.

وتدرك السلطات الصينية إن إدماج النظام المالي الصيني في الاقتصاد العالمي محفوف بكثير من المخاطر. ويشبه الوضع المالي في الصين الآن الوضع المالي في الدول

الغربية في القرن الماضي الذي نجم عنه الكساد العظيم والركود العظيم إثر التفاعل الذي حصل بين النظام المالي الأمريكي والاقتصاد العالمي.

ويكرر بعض المحللين مقولة رئيس الوزراء الصين السابق ون جياباو Wen Jiabao من أن الاقتصاد الصيني هو "غير مستقر، غير متوازن، غير متناسق، وغير قابل للاستمرار". ويرون أن هذه المقولة هي سليمة الآن أكثر مما كانت عليه في عام 2007 عندما صرح بها رئيس الوزراء.

وعلى ضوء الاختلالات في الاقتصاد الكلي والفوائض المالية في الصين فإنه من الممكن أن يتسبب هذا الوضع بضرر كبير على الاقتصاد العالمي. وتبدو المخاطر التي يمكن أن تؤدي إليها هذه الحالة في الصين أكبر مما كانت عليه هذه المخاطر أثناء الأزمة المالية العالمية (2007-2008).

إن المدخرات في الصين هي أكبر مما يمكن استثماره بصورة مربحة في السوق المحلية ففي عام 2015 كانت المدخرات المحلية تشكل 48% من الناتج المحلي الإجمالي. وتفيد المقارنات الدولية أن نمو الاقتصاد بمعدل 6% يتطلب وجود استثمارات تربو قليلا عن ثلث الناتج المحلي الإجمالي، ويؤشر هذا إلى أن الفائض في المدخرات في الصين قد وصل إلى 15% من الناتج المحلي الإجمالي. والتساؤل الذي يطرح نفسه هو: إلى أين ستذهب هذه الفوائض في المدخرات؟ والجواب الافتراضي على ذلك أنها ستذهب إلى الخارج على شكل فوائض في الحساب الجاري، وهو ما حصل قبل الأزمة المالية، وهو ما يحتمل أن يحصل الآن.

ويرى بعض المحللين أن الأزمة المالية الصينية التي يعتقد الآن أنها وشيكة الوقوع قد تزيد من احتمالات نشوء أزمة مالية عالمية أخرى ستكون الصين في قلبها وليس الولايات المتحدة كما حصل في الأزمة السابقة⁽³⁾. وفي المقابل هناك من الخبراء الاقتصاديين من يرى أن المشاكل الاقتصادية في الولايات المتحدة التي يقال أن التجارة

مع الصين قد تسببت بها هي نتيجة النمو الاقتصادي الملحوظ والزيادة في الطاقات الإنتاجية في الصين وليست بسبب السياسات التجارية المجحفة، كما أنه لمن الصعوبة بمكان المبالغة بالمدى الذي تسعى فيه الصين إلى التوسع في العالم بالوسائل الاقتصادية باستخدام ما يسمى القوة الناعمة (soft power)، والدليل على ذلك أن البنك الآسيوي للاستثمار في البنى الأساسية (AIIB)، وهو بنك صيني منافس للبنك الدولي، أعلن عن نيته القيام باستثمارات على نطاق العالم، وأن حجم الاستثمارات الصينية الحالية في أمريكا اللاتينية وإفريقيا يتجاوز حجم الاستثمارات للولايات المتحدة والبنك الدولي وبنوك التنمية الإقليمية، وسوف تؤمن هذه الاستثمارات بمرور الوقت الحصول على المواد الأولية وستسمح للشركات الصينية بالوصول إلى مستوى اقتصاديات الحجم (4).

ويلخص بعض الخبراء المشاكل التي تواجه الصين في النقاط التالية: إحلال الزيادة في الطلب المحلي محل الاعتماد الكبير على الصادرات، تخفيض حجم الطاقات الفائضة الموجودة في العديد من القطاعات الاقتصادية، كبح جماح الفساد، معالجة شيخوخة السكان، والتغلب على مشاكل تدهور البيئة وتغير المناخ (5).

أما من ناحية رؤية الصين حول النظام الاقتصادي العالمي فقد شرح الرئيس جينبنغ هذه الرؤية في خطاب له أمام منتدى دافوس في بداية عام 2017 حيث أشار إلى أن الصين قد أصبحت ثاني أكبر اقتصاد في العالم بعد 38 عاما من الإصلاح والانفتاح، وأنها قامت خلال الفترة (1950-2016) بتقديم أكثر من 400 مليار يوان كمعونات خارجية، وتعهدت بأكثر من 5000 مشروع مساعدة أجنبية، منها 3000 مشروعاً مكتملاً، وعقدت أكثر من 11000 ورشة في الصين لتدريب أكثر من 260 ألف شخص من الدول النامية. وذكر الرئيس جينبنغ أن الصين جذبت منذ بدء الإصلاح والانفتاح أكثر من 1.7 تريليون دولار أمريكي من الاستثمارات الأجنبية، كما قامت بتقديم أكثر 1.2 تريليون دولار على شكل استثمارات مباشرة خارجية. وساهمت الصين بما يتجاوز 30% من النمو العالمي على أساس المتوسط السنوي. وأشار إلى أن استهلاك القطاع المنزلي وقطاع الخدمات قد

أصبحت الدافعين للنمو الاقتصادي في الصين. خلال التسعة شهور الأولى من عام 2016، ساهم الاستهلاك المحلي بـ 71% من النمو الاقتصادي. وقد بدأت كثافة الطاقة بالانخفاض.

وتوقع الرئيس الصيني أن تستورد الصين خلال السنوات الخمس القادمة ما قيمته 8 تريليون دولار أمريكي من البضائع وأن تجتذب 600 مليار دولار أمريكي من الاستثمارات الخارجية وأن تقدم 750 مليار دولار أمريكي على شكل استثمارات خارجية. وسيقوم السواح الصينيون بـ 700 مليون زيارة خارجية.

وذكر الرئيس الصيني أن سياسة الأبواب المفتوحة التي تنتهجها الصين سيسمح للدول الأخرى بدخول السوق المحلية في الصين كما سيسمح للاقتصاد الصيني بالاندماج بالاقتصاد العالمي، وأنه لا توجد لدى الصين النية لدعم تنافسياتها التجارية عن طريق تخفيض قيمة عملتها الرمينبي (Renminbi).

ومن النقاط الهامة التي ذكرها الرئيس الصيني أن الصين قد وضعت منذ ثلاث سنوات مبادرة "الحزام والطريق"، ومنذ ذلك الوقت أعرب أكثر من 100 دولة ومنظمة دولية عن استجاباتها ودعمها للمبادرة، كما وقعت أكثر من 40 دولة ومنظمة دولية اتفاقيات تعاون مع الصين، وقامت الشركات الصينية باستثمار ما يزيد عن 50 مليار دولار أمريكي وأطلقت عددا من المشاريع الكبيرة في الدول التي تقع على مسار الطريق (6). والجدير بالذكر أن لدى الصين مبادرة "حزام واحد، طريق واحد" التي تضع تصورا حول الاستثمار في البنى التحتية وتقديم العون الأجنبي لربط الصين بأوروبا (7).

- الهند:

تأتي الهند في المرتبة الثانية ضمن الدول الآسيوية النامية من حيث حجم الناتج المحلي الإجمالي فيها حيث ازداد هذا الناتج بالأسعار الثابتة بمعدل 7.2% سنويا خلال الفترة (2000-2015) ليرتفع من حوالي 2.7 تريليون دولار أمريكي إلى 7.5 تريليون

دولار أمريكي، وبذلك ارتفعت حصة الفرد من الناتج المحلي الإجمالي من 2521 دولار أمريكي إلى 5730 دولار أمريكي.

وتفيد بيانات تقرير البنك الدولي المشار إليه أعلاه إلى أن معدل النمو في الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة لعام 2010 في الهند سيهبط في عام 2016 ليصل إلى 7% بعد أن سجل 7.6% في عام 2015، وسيعاود الصعود ليبلغ 7.6% في عام 2017، ثم إلى 7.8% في عام 2018 وعام 2019.

- إندونيسيا:

تأتي إندونيسيا في المرتبة الثالثة ضمن الدول الآسيوية النامية من حيث حجم الناتج المحلي الإجمالي. وارتفع هذا الناتج بالأسعار الثابتة بمعدل 5.3% سنوياً خلال الفترة (2000-2015) ليصل إلى ما يقارب 2.7 تريليون دولار أمريكي في عام 2015 بالمقارنة مع 1.2 تريليون دولار أمريكي في عام 2000، وبذلك ارتفعت حصة الفرد من الناتج المحلي الإجمالي من 5806 دولار أمريكي إلى 10385 دولار أمريكي.

ومن المتوقع كما تدل بيانات تقرير البنك الدولي إلى أن معدل النمو في الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة لعام 2010 في إندونيسيا سيرتفع من 4.8% في عام 2015 ليصل إلى 5.1% في عام 2016، ثم إلى 5.3% في عام 2017، وسيسجل 5.5% في عام 2018 وعام 2019.

- تايلند:

لدى تايلند رابع أكبر اقتصاد ضمن الدول الآسيوية النامية. وارتفع الناتج المحلي الإجمالي في تايلند بالأسعار الثابتة بمعدل 4% سنوياً خلال الفترة (2000-2015) حيث ارتفع حجم الناتج فيها من 579 مليار دولار أمريكي إلى 1043 مليار دولار أمريكي.

وارتفعت حصة الفرد من الناتج المحلي الإجمالي في تايلند من 9228 دولار أمريكي إلى 15347 دولار أمريكي.

وسجل الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة في تايلند حسب بيانات البنك الدولي معدل نمو ضئيل بلغ 0.8% في عام 2014، ونما بمعدل 2.8% في عام 2015، ويقدر أن ينمو بمعدل 3.1% في عام 2016. ويتوقع أن يرتفع هذا المعدل تدريجياً ليصل إلى 3.2%، 3.3%، 3.4% في الأعوام 2017، 2018، 2019 على التوالي.

- باكستان:

نما الناتج المحلي الإجمالي في باكستان بمعدل 4.1% سنوياً خلال الفترة (2000-2015) ليرتفع من 484.1 مليار دولار أمريكي إلى 889.1 مليار دولار أمريكي. أما على صعيد حصة الفرد من الناتج المحلي الإجمالي فقد ارتفعت هذه الحصة بمعدل بسيط لم يتجاوز 2% سنوياً لتصل إلى 4706 دولار أمريكي في عام 2015 بالمقارنة مع 3502 دولار أمريكي في عام 2000.

وبلغ معدل النمو في الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة في باكستان حسب تقرير البنك الدولي 4% في عام 2014 وعام 2015، ويقدر أن يصل إلى 4.7% في عام 2016. ويتوقع أن يرتفع هذا المعدل تدريجياً ليصل إلى 5.2%، 5.5%، 5.8% في الأعوام 2017، 2018، 2019 على التوالي.

- ماليزيا:

تمتاز ماليزيا بأنها الدولة التي تمتلك أعلى مستوى لدخل الفرد ضمن الدول الثمان حيث وصلت حصة الفرد فيها من الناتج المحلي الإجمالي إلى 25312 دولار أمريكي في عام 2015 بالمقارنة مع 16146 دولار أمريكي في عام 2000. أما من ناحية حجم الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة فقد ازداد هذا الناتج في ماليزيا بمعدل 4.8% سنوياً

خلال الفترة 2000-2015 حيث تضاعف من 378.2 مليار دولار أمريكي إلى 767.7 مليار دولار أمريكي.

- الفلبين:

حقق حجم الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة في الفلبين ارتفاعا ملموسا خلال الفترة (2000-2015) حيث ازداد بمعدل 5.1% سنويا ليتضاعف من 329.4 مليار دولار أمريكي إلى 698.7 مليار دولار أمريكي. أما من ناحية حصة الفرد في الناتج المحلي الإجمالي فقد ازدادت هذه الحصة من 4227 دولار أمريكي إلى 6938 دولار أمريكي خلال الفترة ذاتها.

- فيتنام:

سجل حجم الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة في فيتنام ارتفاعا عاليا نسبيا خلال الفترة (2000-2015) حيث ازداد هذا الناتج بمعدل 6.4% سنويا، وهو ثالث أعلى معدل للنمو في الناتج المحلي الإجمالي ضمن هذه المجموعة من الدول بعد الصين والهند. وتضاعف حجم الناتج في فيتنام 2.5 مرة خلال هذه الفترة حيث وصل إلى 519.8 مليار دولار أمريكي في عام 2015 بالمقارنة مع 205.7 مليار دولار أمريكي في عام 2000. وارتفعت حصة الفرد في الناتج المحلي الإجمالي من 2650 دولار أمريكي إلى 5667 دولار أمريكي.

2- التطورات الاقتصادية المستقبلية المتوقعة في الدول الآسيوية النامية:

تشير توقعات إحدى بيوت الخبرة العالمية⁽⁸⁾ حول التطورات الاقتصادية المستقبلية في العالم حتى عام 2050 إلى حدوث تغيرات ملموسة في الأهمية النسبية لمكانة الاقتصادات الرئيسية في الاقتصاد العالمي. ومن أهم هذه التغيرات هي التوقعات التالية:

- ستحافظ الصين على المركز الأول في حجم الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة حيث يتوقع أن يتضاعف هذا الناتج من 17.6 تريليون دولار أمريكي في عام 2014 إلى 36.1 تريليون دولار أمريكي في عام 2030 ثم إلى 61.1 تريليون دولار أمريكي في عام 2050.

- صعود الهند من المركز الثالث من حيث حجم الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة إلى المركز الثاني متجاوزة الولايات المتحدة الأمريكية. فمن المتوقع أن يرتفع هذا الناتج من 7.3 تريليون دولار أمريكي في عام 2014 إلى 17.1 تريليون دولار أمريكي في عام 2030 ثم إلى 42.2 تريليون دولار أمريكي في عام 2050.

- صعود إندونيسيا من المركز التاسع الآن إلى المركز الخامس في عام 2030 ثم إلى المركز الرابع في عام 2050. ومن المتوقع أن يتضاعف حجم الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة في إندونيسيا من 2.6 تريليون دولار أمريكي في عام 2014 إلى 5.5 تريليون دولار أمريكي في عام 2030 ثم إلى 12.2 تريليون دولار أمريكي في عام 2050.

- من المتوقع أن ترتفع باكستان من المركز الخامس والعشرين في الوقت الراهن إلى المركز الثاني والعشرين في عام 2030 ثم ستواصل صعودها إلى المركز الخامس عشر في عام 2050 حيث سيرتفع الناتج المحلي الإجمالي فيها من 884 مليار دولار أمريكي في عام 2014 إلى 1.8 تريليون دولار أمريكي في عام 2030 ثم إلى 4.3 تريليون دولار أمريكي في عام 2050.

- من المتوقع أن تقفز الفلبين من المركز الثامن والعشرين إلى المركز السادس والعشرين في عام 2030 ثم إلى المركز العشرين في عام 2050. وسيزداد الناتج المحلي فيها من 695 مليار دولار أمريكي في عام 2014 إلى 1.5 تريليون دولار أمريكي في عام 2030 ثم إلى 3.5 تريليون دولار أمريكي في عام 2050.

- يتوقع أن تحافظ تايلند على المركز الحادي والعشرين حتى عام 2050 حيث سيرتفع الناتج المحلي فيها من 990 مليار دولار أمريكي في عام 2014 إلى 1.8 تريليون دولار أمريكي في عام 2030 ثم إلى 3.5 تريليون دولار أمريكي في عام 2050.

- يتوقع أن تصعد فيتنام من المركز الثاني والثلاثين إلى المركز الثامن والعشرين في عام 2030 ثم إلى المركز الثاني والعشرين في عام 2050. وستحقق فيتنام زيادة ملموسة في حجم الناتج المحلي الإجمالي فيها الذي سيتضاعف من 509 مليار دولار أمريكي في عام 2014 إلى 1.3 تريليون دولار أمريكي في عام 2030 ثم إلى 3.4 تريليون دولار أمريكي في عام 2050.

- من المتوقع أن ترتفع ماليزيا من المركز السابع والعشرين إلى المركز الرابع والعشرين في عامي 2030 و2050. وسيرتفع الناتج المحلي فيها من 747 مليار دولار أمريكي في عام 2014 إلى 1.6 تريليون دولار أمريكي في عام 2030 ثم إلى 3.3 تريليون دولار أمريكي في عام 2050.

3- السكان:

يشكل عدد السكان في الدول الآسيوية النامية الرئيسية (الصين، الهند، إندونيسيا، باكستان، تايلند، الفلبين، فيتنام، وماليزيا) أحد العوامل الرئيسية الهامة التي تجعل منها ذات تأثير ملموس في العالم على جميع الأصعدة الاقتصادية والاجتماعية والجيوسياسية إذ يقارب إجمالي عدد السكان في هذه الدول الثمان حوالي نصف عدد سكان العالم.

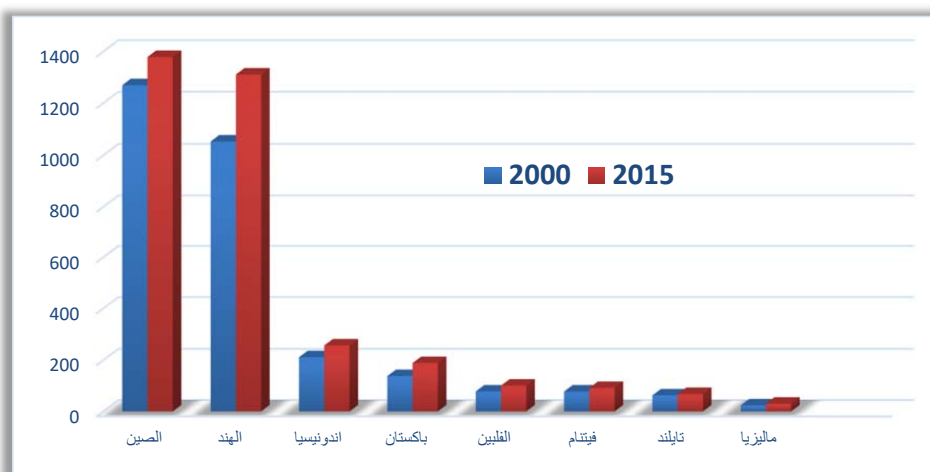
وارتفع عدد السكان في الدول الثمان بمعدل 1.1% سنويا خلال الفترة (2000-2015)، وهو معدل يقل قليلا عن معدل النمو العالمي الذي بلغ 1.2%. ووصل عدد السكان في الدول الثمان إلى ما يناهز 3.4 مليار نسمة في عام 2015، ويمثل ذلك 46.7% من إجمالي عدد سكان العالم في عام 2015 بعد أن كان 47.7% في عام 2000. الجدول (3) والشكل (3).

الجدول (3)
عدد السكان في الدول الآسيوية
(مليون نسمة)

2015	2000	
1379.1	1269.7	الصين
1311.1	1053.5	الهند
257.6	211.5	اندونيسيا
188.9	138.3	باكستان
68.0	62.7	تايلند
100.7	77.9	الفلبين
91.7	77.6	فيتنام
30.3	23.4	ماليزيا
3427.4	2914.7	المجموع
7346.7	6116.8	العالم

المصدر: [start=2000&http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?end=2015](http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?end=2015&start=2000)

الشكل (3)
تطور عدد السكان في الدول الآسيوية، عامي 2000 و 2015
(مليون نسمة)



وتتباين الدول الثمان تباينا ملحوظا فيما بينها سواء من ناحية حجم عدد السكان أو من ناحية معدل النمو في عدد السكان. وتشكل الصين نقطة فارقة في هذا المجال إذ ارتفع عدد السكان فيها بمعدل 0.6% سنويا خلال الفترة (2000-2015) ليرتفع من حوالي 1.3 مليار نسمة إلى ما يقارب 1.4 مليار نسمة ليشكل 18.8% من إجمالي عدد السكان في

العالم في عام 2015 بعد أن كان 20.8% في عام 2000. وسجل عدد السكان في الهند معدل نمو يزيد عن ضعف معدل النمو في الصين، إذ ارتفع عدد سكان الهند بمعدل 1.5% سنوياً ليزيد من حوالي 1.1 مليار نسمة إلى ما يناهز 1.3 مليار نسمة، وبذلك ارتفعت نسبة عدد سكان الهند في إجمالي عدد سكان العالم من 17.2% في عام 2000 إلى 18.8% في عام 2015. وفي الوقت نفسه وصل معدل النمو في عدد السكان في الدول الست الأخرى إلى المستويات التالية:

باكستان (2.1%)، الفلبين وماليزيا (1.7%)، إندونيسيا (1.3%)، فيتنام (1.1%)، وتايلند (0.5%). ووصل عدد السكان في هذه الدول في عام 2015 إلى المستويات التالية: إندونيسيا (257.6 مليون نسمة)، باكستان (188.9 مليون نسمة)، الفلبين (100.7 مليون نسمة)، فيتنام (91.7 مليون نسمة)، تايلند (68 مليون نسمة)، وماليزيا (30.3 مليون نسمة).

ويلاحظ من هذه البيانات أن معدل النمو في عدد السكان في كل من الصين وتايلند يقل عن المعدل العالمي، كما تعادل معدل النمو في عدد سكان فيتنام مع المعدل العالمي، بينما تجاوز معدل النمو في عدد سكان كل من الهند، باكستان، الفلبين، ماليزيا، وإندونيسيا المعدل العالمي. وهذا يعطي أحد المؤشرات الأولية حول ما يمكن أن تؤول إليه التطورات المستقبلية في المجال الاقتصادي على الأقل، ومن ضمنها مجال الطاقة.

الجزء الثاني: إنتاج واستهلاك الطاقة في الدول الآسيوية النامية

1- احتياطات النفط:

تمتلك الدول الآسيوية النامية احتياطات متواضعة من النفط. وازدادت هذه الاحتياطات بمعدل 1.6% سنوياً خلال الفترة (2000-2016) حيث ارتفعت من 32.6 مليار برميل في نهاية عام 2000 إلى 42.1 مليار برميل في نهاية عام 2016، وذلك في

الوقت الذي ارتفعت فيه الاحتياطيات العالمية بمعدل 1.7% سنويا لتصل إلى 1706.7 مليار برميل في نهاية عام 2016⁽⁹⁾. وعليه فقد حافظت الدول الآسيوية النامية على حصتها في إجمالي الاحتياطيات العالمية خلال الفترة (2000-2016) وهي 2.5%.
الجدول (4).

وتعود هذه الزيادة في الاحتياطيات النفطية في الدول الآسيوية النامية حصريا إلى الزيادة الملموسة في حجم الاحتياطيات النفطية في الصين التي ازدادت بمعدل 3.3% سنويا لترتفع من 15.2 مليار برميل في نهاية عام 2000 إلى 25.7 مليار برميل في نهاية عام 2016، وبذلك ارتفعت حصة الصين في الاحتياطيات العالمية إلى 1.5% في عام 2016. وتوجد خمس دول أخرى ضمن هذه المجموعة لديها احتياطيات نفطية صغيرة، وهذه الدول هي: الهند، فيتنام، ماليزيا، إندونيسيا، وتايلند. وبلغت الاحتياطيات النفطية في هذه الدول في نهاية عام 2016 كما يلي: الهند (4.7 مليار برميل)، فيتنام (4.4 مليار برميل)، ماليزيا (3.6 مليار برميل)، إندونيسيا (3.3 مليار برميل)، وتايلند (0.4 مليار برميل).

الجدول (4)

تطور الاحتياطيات المؤكدة من النفط في الدول الآسيوي، 2000 - 2016

(مليار برميل)

2016	2015	2010	2005	2000	
25.7	25.7	23.2	15.6	15.2	الصين
4.7	4.8	5.8	5.9	5.3	الهند
3.3	3.6	4.2	4.2	5.1	إندونيسيا
					باكستان
0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	تايلند
					الفلبين
4.4	4.4	4.4	3.1	2.0	فيتنام
3.6	3.6	3.7	5.3	4.5	ماليزيا
42.1	42.5	41.7	34.6	32.6	المجموع
1706.7	1691.5	1642.4	1374.4	1300.9	العالم
244.5	244.5	237.9	244.0	256.2	منها: الدول الصناعية
1462.2	1447.0	1404.5	1130.4	1044.7	بقية دول العالم
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	(%)

المصدر: BP, Statistical Review of World Energy, 2017

2- إنتاج النفط:

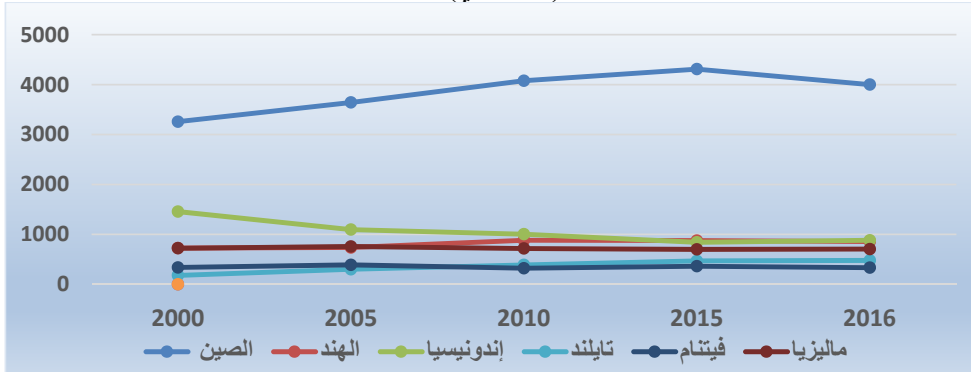
أما من ناحية إنتاج النفط في الدول الآسيوية النامية فقد ارتفع بمعدل 0.5% سنوياً خلال الفترة (2000-2016) ليصل إلى ما يقارب 7.3 مليون ب/ي في عام 2016 بالمقارنة مع حوالي 6.7 مليون ب/ي في عام 2000⁽¹⁰⁾. الجدول (5) والشكل (4). ويمكن استخلاص ملاحظتين حول تطورات إنتاج النفط في هذه المجموعة من الدول، وهما:

الجدول (5)
تطور إنتاج النفط في الدول الآسيوية، 2000 - 2016
(ألف ب/ي)

2016	2015	2010	2005	2000	
3999	4309	4077	3642	3257	الصين
856	876	882	737	726	الهند
881	841	1003	1096	1456	إندونيسيا
					باكستان
479	468	389	300	178	تايلند
					الفلبين
333	362	322	389	337	فيتنام
705	699	717	757	722	ماليزيا
7253	7555	7390	6921	6676	المجموع
92150	91704	83251	81908	74934	العالم
23122	23596	18527	19883	21536	منها: الدول الصناعية
69028	68108	64724	62025	53398	بقية دول العالم
7.9	8.2	8.9	8.4	8.9	(%)

المصدر: BP, Statistical Review of World Energy, 2017 .

الشكل (4)
تطورات إنتاج النفط في الدول الآسيوية، 2000 - 2016
(ألف ب/ي)



المصدر: BP, Statistical Review of World Energy, 2017 .

- إن معدل الزيادة في إنتاج النفط في هذه المجموعة من الدول جاء دون المعدل العالمي إذ ازداد إنتاج العالم بمعدل 1.3% سنوياً حيث ارتفع من 75 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 92.2 مليون ب/ي في عام 2016.

- إن معدل الزيادة في إنتاج هذه الدول شكل نصف المعدل العام الذي سجلته بقية الدول النامية والبالغ 1.6% سنوياً. وعليه فقد تراجعت حصة الدول الآسيوية النامية في إجمالي الإنتاج العالمي من النفط الخام من 8.9% في عام 2000 إلى 7.9% في عام 2016.

وعند النظر إلى إنتاج النفط في الدول الآسيوية النامية كل على حدة يلاحظ أن الصين هي الدولة الرئيسية المنتجة للنفط ضمن هذه المجموعة حيث تجاوزت حصتها نصف (55.1%) إجمالي إنتاج النفط في هذه المجموعة في عام 2016. وازداد إنتاج النفط في الصين بمعدل 1.3% سنوياً خلال الفترة (2000-2016) حيث ارتفع من حوالي 3.3 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 4 مليون ب/ي في عام 2016. ويشكل هذا المستوى من الإنتاج نسبة لا تتجاوز 4.3% من الإنتاج العالمي من النفط في عام 2016. وتوجد خمس دول أخرى ذات إنتاج صغير نسبياً من النفط، وهذه الدول هي: إندونيسيا، الهند، ماليزيا، تايلند، وفيتنام. وبلغ إنتاج النفط في هذه الدول في عام 2016 كما يلي: إندونيسيا (881 ألف ب/ي)، الهند (856 ألف ب/ي)، ماليزيا (705 ألف ب/ي)، تايلند (479 ألف ب/ي)، وفيتنام (333 ألف ب/ي).

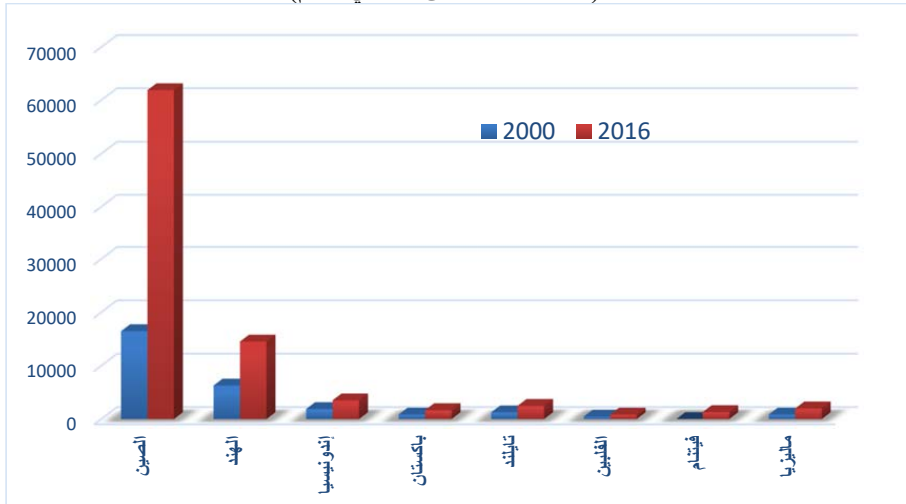
3- استهلاك الطاقة والنفط:

- استهلاك الطاقة:

في الوقت الذي ارتفع فيه إجمالي استهلاك الطاقة في العالم بمعدل 2.5% سنوياً خلال الفترة (2000-2016) تصاعد هذا الاستهلاك في الدول الآسيوية النامية (باستثناء فيتنام) بمعدل 7.3% سنوياً، وذلك مقابل ارتفاع استهلاك الدول الصناعية بمعدل 0.2%،

وازداد استهلاك بقية الدول النامية بمعدل 4.6%. وتضاعف استهلاك الطاقة في الدول الآسيوية النامية بأكثر من ثلاث مرات حيث قفز من 28.1 مليون برميل مكافئ نفط في اليوم (ب م ن ي) في عام 2000 إلى 88.2 مليون ب م ن ي في عام 2016، أي أن حصة هذه الدول في إجمالي استهلاك الطاقة في العالم قد تضاعفت من 15.4% إلى 33.1% خلال هذه الفترة. الجدول (6) والشكل (5).

الشكل (5)
تطور استهلاك الطاقة في الدول الآسيوية، عامي 2000 و 2016
(ألف برميل مكافئ نفط في اليوم)



المصدر: BP, Statistical Review of World Energy, 2002, 2017.

تطور استهلاك الطاقة في الدول الآسيوية
(الف برميل مكافئ نفط في اليوم)

2016							2000						
الإجمالي	الطاقات المتجددة	الطاقة الكهرومائية	الطاقة النووية	القم	الغاز الطبيعي	النظف	الإجمالي	الطاقات المتجددة	الطاقة الكهرومائية	الطاقة النووية	القم	الغاز الطبيعي	النظف
61885	1729	5284	968	38042	3862	12001	16473	0	1105	76	9989	488	4816
14537	331	584	173	8272	906	4271	6292	0	349	72	3442	470	1958
3516	52	66	0	1259	681	1458	1882	0	42	0	275	552	1012
1671	8	155	26	108	821	552	845	0	80	6	40	341	378
2486	56	16	0	355	874	1185	1253	0	28	0	157	370	699
843	62	42	0	271	68	400	456	0	36	0	86	0	333
1301	2	275	0	428	193	404	0	0	0	0	0	0	0
1996	6	84	0	400	777	729	849	0	34	0	38	368	410
88237	2247	6507	1167	49135	8181	21000	28051	0	1675	155	14027	2589	9605
266617	8426	18281	11891	74947	64345	88727	182652	0	12389	11748	44518	43327	70669
111034	5424	6362	8973	18341	30027	41908	106765	0	6296	10176	22370	23795	44129
155583	3002	11919	2918	56606	34318	46820	75887	0	6093	1572	22149	19532	26541
33.1	26.7	35.6	9.8	65.6	12.7	23.7	15.4	0.0	13.5	1.3	31.5	6.0	13.6

المصدر: BP, Statistical Review of World Energy, 2002, 2017.

ويعتبر الفحم المصدر الأساسي الذي يلبي متطلبات اقتصادات هذه الدول من الطاقة. وارتفعت الأهمية النسبية للفحم في إجمالي استهلاك الطاقة من 50% في عام 2000 إلى 55.7% في عام 2016. وتضاعف حجم استهلاك الفحم في هذه الدول بحوالي 3.6 مرات حيث تصاعد بمعدل 8.7% سنوياً ليصل إلى 49.1 مليون ب م ن ي في عام 2016 بالمقارنة مع 14 مليون ب م ن ي في عام 2000، وعليه فقد ارتفعت حصة هذه الدول في إجمالي استهلاك الفحم في العالم من 31.5% إلى 65.6%. وتعتبر الصين المستهلك الأكبر للفحم سواء على الصعيد العالمي أو الصعيد الإقليمي. وتضاعفت حصة الصين في الاستهلاك العالمي من الفحم من 22.4% في عام 2000 إلى نصف (50.8%) هذا الاستهلاك في عام 2016. وتأتي الهند في المرتبة الثانية إذ ارتفعت حصتها في إجمالي استهلاك العالم من الفحم من 7.7% إلى 16.8%. وتعتبر إندونيسيا من الدول ذات الاستهلاك الملموس من الفحم، كما يتم استهلاك كميات صغيرة نسبياً في كل من فيتنام، تايلند، ماليزيا، الفلبين، وباكستان.

ويأتي النفط في المرتبة الثانية من ناحية حصته في إجمالي استهلاك الطاقة في الدول الآسيوية النامية. وتضاعف استهلاك النفط في هذه الدول (*) من 9.6 مليون ب م ن ي في عام 2000 إلى 21 مليون ب م ن ي في عام 2016. وتوجد هناك مفارقة حيث أنه على الرغم من هذا الارتفاع في حجم استهلاك النفط إلا أن حصته في إجمالي استهلاك الطاقة قد تراجعت من 34.2% في عام 2000 إلى 23.8% في عام 2016 وفي الوقت نفسه ازدادت حصة الدول الآسيوية في إجمالي استهلاك العالم من النفط من 13.6% إلى 23.7%. وتعتبر الصين المستهلك الأكبر للنفط ضمن مجموعة الدول الآسيوية النامية، وتضاعفت حصة الصين في إجمالي استهلاك النفط في العالم من 6.8% في عام 2000 إلى 13.5% في عام 2016. وفي الوقت نفسه ارتفعت حصة الهند من 2.8% إلى 4.8%.

ويحتل الغاز الطبيعي المرتبة الثالثة في إجمالي استهلاك الطاقة في الدول الآسيوية النامية حيث ارتفع استهلاكه بمعدل 7.3% سنوياً ليصل إلى ما يقارب 8.2 مليون ب م ن ي في عام 2016 بالمقارنة مع 2.6 مليون ب م ن ي في عام 2000. وارتفعت حصة الغاز الطبيعي في إجمالي استهلاك الطاقة في الدول الآسيوية النامية بصورة طفيفة حيث بلغت 9.3% في عام 2016 بالمقارنة مع 9.2% في عام 2000. وتضاعفت حصة استهلاك الغاز الطبيعي في هذه الدول في إجمالي استهلاك العالم من الغاز الطبيعي من 6% في عام 2000 إلى 12.7% في عام 2016. ويستهلك الغاز الطبيعي بصورة رئيسية في الصين التي ازدادت حصتها في إجمالي استهلاك الغاز الطبيعي في العالم من 1.1% في عام 2000 إلى 6% في عام 2016.

وتعتبر الطاقة الكهرومائية المصدر الرئيسي الرابع الذي يلبي احتياجات الدول الآسيوية النامية من الطاقة. وازداد استهلاك الطاقة الكهرومائية في هذه الدول بمعدل 8.9% سنوياً خلال الفترة (2000-2016) حيث ارتفع من 1.7 مليون ب م ن ي إلى 6.5 مليون ب م ن ي. وعلى الرغم من هذا المعدل المرتفع إلا أن مساهمتها في إجمالي استهلاك الطاقة في هذه الدول قد ارتفع من 6% إلى 7.4% خلال الفترة المذكورة. وارتفعت حصة استهلاك الطاقة الكهرومائية في هذه الدول في إجمالي استهلاك العالم منها من 13.5% في عام 2000 إلى 35.5% في عام 2016. ويمثل استهلاك الطاقة الكهرومائية في الصين 81.2% من إجمالي استهلاك هذه المجموعة من الدول في عام 2016. وتساعد استهلاك الصين من الطاقة الكهرومائية بصورة ملحوظة الأمر الذي أدى إلى تضاعف حصتها في إجمالي استهلاك العالم بأكثر من ثلاث مرات حيث ازدادت من 8.9% في عام 2000 إلى 28.9% في عام 2016.

وتعتبر الطاقات المتجددة حديثة على مشهد الطاقة في الدول الآسيوية النامية إذ لا توجد البيانات التي تؤشر على استهلاك هذه الطاقات في هذه الدول في عام 2000، بينما تفيد البيانات الحالية إلى أن هذه الطاقات قد أحرزت نمواً ملموساً حيث وصل حجم

استهلاكها في عام 2016 إلى ما يربو عن 2.2 مليون ب م ن ي منها 1.7 مليون ب م ن ي في الصين. ويشكل استهلاك هذه الطاقات في الدول الآسيوية النامية أكثر من ربع (26.7%) استهلاك العالم في عام 2016.

وتأتي الطاقة النووية في المرتبة الأخيرة من حيث درجة مساهمتها في تلبية متطلبات الطاقة في الدول الآسيوية النامية. وسجلت الطاقة النووية في هذه الدول أعلى معدلات النمو بين مصادر الطاقة المختلفة خلال الفترة (2000-2016) إذ تصاعد استهلاكها بمعدل 13.5% سنوياً حيث تزايدت من 155 ألف ب م ن ي إلى حوالي 1.2 مليون ب م ن ي. ويمثل ذلك 9.8% من استهلاك العالم في عام 2016. وارتفعت مساهمة الطاقة النووية في إجمالي استهلاك الطاقة في الدول الآسيوية النامية من 0.6% في عام 2000 إلى 1.3% في عام 2016.

- استهلاك النفط:

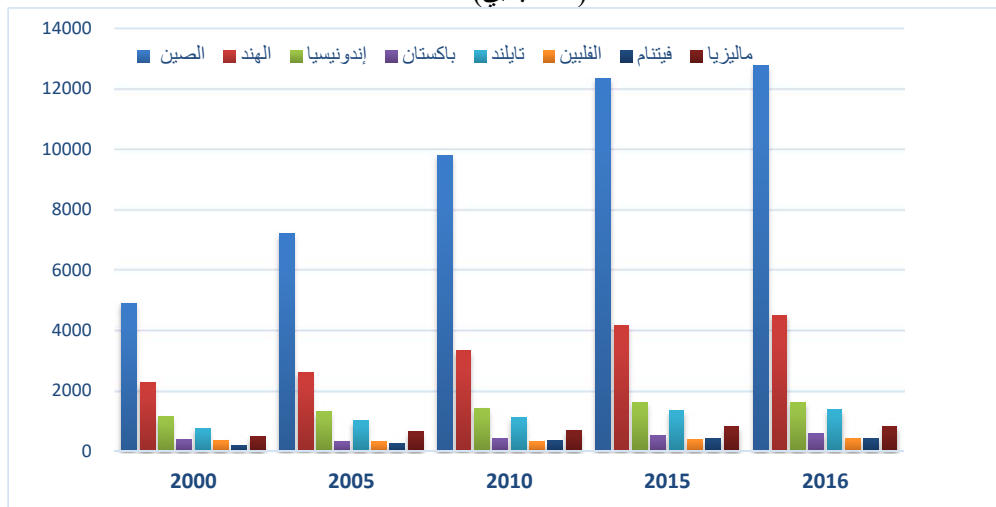
في الوقت الذي ارتفع فيه إجمالي استهلاك العالم من النفط بمعدل 1.4% سنوياً خلال الفترة (2000-2016) تصاعد هذا الاستهلاك في الدول الآسيوية النامية بمعدل 4.9% حيث تضاعف من 10.4 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 22.5 مليون ب/ي في عام 2016⁽¹¹⁾. وبالمقارنة مع المجموعات الدولية الأخرى نجد أن حصة الدول الآسيوية النامية في إجمالي استهلاك النفط في العالم قد ازدادت من 13.6% في عام 2000 إلى 23.8% في عام 2016، بينما هبطت حصة مجموعة الدول الصناعية (الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية) من 62.7% إلى 47.9% حيث تراجع استهلاك النفط في هذه الدول بمعدل 0.3% إذ تقلص من 48.3 مليون ب/ي إلى 46.2 مليون ب/ي. أما من ناحية الدول النامية الأخرى، فقد ارتفع استهلاك النفط بمعدل 2.7% سنوياً حيث ازداد من 18.2 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 27.8 مليون ب/ي في عام 2016. الجدول (7) والشكل (6).

الجدول (7)
تطور استهلاك النفط في الدول الآسيوية، 2000 - 2016
(ألف ب/ي)

2016	2015	2010	2005	2000	
12761	12354	9795	7189	4901	الصين
4489	4164	3319	2606	2259	الهند
1615	1592	1411	1303	1139	إندونيسيا
566	505	411	310	372	باكستان
1382	1355	1122	1015	763	تايلند
434	398	313	314	346	الفلبين
431	407	337	258	171	فيتنام
829	814	690	637	495	ماليزيا
22507	21589	17398	13632	10446	المجموع
96558	95003	88722	84678	76946	العالم
46217	45785	46596	50043	48312	منها: الدول الصناعية
50341	49218	42126	34635	28634	بقية دول العالم
23.3	22.7	19.6	16.1	13.6	(%)

المصدر: BP, Statistical Review of World Energy, 2017 .

الشكل (6)
تطور استهلاك النفط في الدول الآسيوية، 2000 - 2016
(ألف ب/ي)



المصدر: BP, Statistical Review of World Energy, 2017 .

وعند النظر إلى استهلاك النفط في كل من الدول الآسيوية النامية يتبين أنه توجد أربع دول قد تجاوز فيها معدل النمو في الاستهلاك معدل الزيادة المسجل في الدول خارج مجموعة الدول الصناعية (الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية)، وهو 3.6%. وهذه الدول هي: الصين، فيتنام، الهند، وتايلند. كما توجد أربع دول أخرى يقل فيها معدل النمو عن معدل هذه الفئة من الدول. وهذه الدول هي: ماليزيا، باكستان، إندونيسيا، والفلبين. وتلقي الفقرات التالية الضوء على تطور استهلاك النفط في الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2000-2016) كل دولة على حدة:

شهد استهلاك النفط في الصين قفزة كبيرة خلال الفترة (2000-2016) حيث يلاحظ أن حصة الصين في إجمالي استهلاك العالم من النفط قد ارتفعت من برميل واحد من أصل 16 برميلا في عام 2000 إلى برميل واحد من أصل ثمانية براميل في عام 2016 إذ ارتفع استهلاك الصين بمعدل 6.2% سنويا ليتضاعف من 4.9 مليون ب/ي إلى 12.8 مليون ب/ي. أما في الهند فقد ارتفع استهلاك النفط فيها بمعدل 4.2% سنويا حيث تضاعف من 2.6 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 4.4 مليون ب/ي في عام 2016، وعليه فقد ارتفعت حصة الهند في إجمالي استهلاك العالم من النفط من 2.9% إلى 4.6%. وارتفع استهلاك النفط في إندونيسيا بمعدل 2.2% سنويا خلال الفترة (2000-2016)، وهو معدل يقل عن معدل الزيادة في استهلاك النفط في الدول النامية ككل (إجمالي استهلاك العالم خارج مجموعة الدول الصناعية) وهو 3.6%. ووصل استهلاك النفط في إندونيسيا إلى 1.6 مليون ب/ي في عام 2016 بالمقارنة مع 1.1 مليون ب/ي في عام 2000. وتأتي تايلند في المرتبة الرابعة ضمن الدول الآسيوية النامية من ناحية حجم استهلاك النفط فيها. وبلغ معدل الزيادة في استهلاك النفط في تايلند 3.8% سنويا حيث ارتفع من 763 ألف ب/ي في عام 2000 إلى 1.4 مليون ب/ي في عام 2016. وارتفع استهلاك النفط في ماليزيا بمعدل 3.3% سنويا حيث وصل إلى 829 ألف ب/ي في عام 2016 بالمقارنة مع 495 ألف ب/ي في عام 2000، كما ارتفع استهلاك النفط في باكستان

بمعدل 2.7% سنويا إذ ازداد من 372 ألف ب/ي إلى 566 ألف ب/ي. وسجلت فيتنام زيادة ملموسة في استهلاك النفط حيث تصاعد هذا الاستهلاك فيها بمعدل 5.9%، وهو ثاني أكبر معدل في نمو استهلاك النفط ضمن الدول الآسيوية النامية بعد الصين. وتضاعف استهلاك فيتنام من النفط من 171 ألف ب/ي في عام 2000 إلى 431 ألف ب/ي في عام 2016. أما في الفلبين فقد ارتفع استهلاك النفط بمعدل صغير نسبيا بلغ 1.4% سنويا، وبلغ حجم هذا الاستهلاك فيها 434 ألف ب/ي في عام 2016 بالمقارنة مع 346 ألف ب/ي في عام 2000.

وتلقي الفقرات التالية الضوء على تطورات استهلاك الطاقة عموما وعلى استهلاك النفط خصوصا في الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2000-2016).

1- استهلاك الطاقة والنفط في الصين:

أصبحت الصين أكبر مستهلك للطاقة في العالم بعد أن كانت تحتل المرتبة الثانية بعد الولايات المتحدة الأمريكية في عام 2000. وحقت الصين قفزة كبيرة في مجال استهلاك الطاقة خلال الفترة (2000-2016) حيث تضاعف هذا الاستهلاك 3.8 مرة إذ تصاعد بمعدل 8.6% سنويا ليزداد من 16.5 مليون ب م ن ي في عام 2000 إلى 61.9 مليون ب م ن ي في عام 2016. ونتيجة لهذه القفزة أصبحت الصين تستهلك ما يقارب ربع (23.2%) إجمالي استهلاك الطاقة في العالم في عام 2016 بالمقارنة مع 9% في عام 2000.

ويعتبر الفحم المصدر الأساسي لتلبية متطلبات الاقتصاد الصيني من الطاقة، ولم تتراجع حصة الفحم في إجمالي استهلاك الطاقة في الصين خلال الفترة (2000-2016) رغم كل الحديث عما يسمى "الحرب على التلوث"، بل على العكس فقد ارتفعت حصة الفحم في إجمالي استهلاك الطاقة من 60.6% في عام 2000 إلى 61.5% في عام 2016 حيث ازداد استهلاك الفحم بمعدل 8.7% سنويا، وهو معدل يتجاوز المعدل العام لاستهلاك

الطاقة في الصين خلال الفترة (2000-2016). وبسبب هذا التوسع الكبير في استهلاك الفحم فقد تضاعفت حصة الصين في إجمالي استهلاك العالم من الفحم من 22.3% في عام 2000 إلى أكثر من نصف (50.8%) الاستهلاك العالمي في عام 2016.

وعلى الرغم من الزيادة الملموسة في حجم استهلاك الصين من النفط إلا أن استهلاكه سجل أدنى معدلات النمو في الاستهلاك بين مصادر الطاقة خلال الفترة (2000-2016) إذ ارتفع استهلاك النفط في الصين بمعدل 6.2% سنوياً ليتضاعف من 4.9 مليون ب/ي إلى 12.8 مليون ب/ي. ويلاحظ أن حصة النفط في إجمالي استهلاك الطاقة في الصين قد تقلصت من 29.2% في عام 2000 إلى 19.4% في عام 2016، وفي الوقت نفسه ارتفعت حصة الصين في إجمالي استهلاك العالم من النفط من 6.8% في عام 2000 إلى 13.5% في عام 2016.

وتعتبر الطاقة الكهرومائية المصدر الثالث لسد احتياجات الطاقة في الصين، وارتفع استهلاك هذا المصدر بمعدل عال بلغ 10.3% سنوياً خلال الفترة (2000-2016) حيث ازداد استهلاك الطاقة الكهرومائية من 1.1 مليون ب م ن ي إلى 5.3 مليون ب م ن ي، وعليه فقد ارتفعت حصة هذا المصدر في إجمالي استهلاك الطاقة من 6.7% إلى 8.5%. ونتيجة هذه الزيادة الكبيرة التي شهدتها الصين في استخدام الطاقة الكهرومائية فقد تضاعفت حصتها في إجمالي استهلاك العالم من الطاقة الكهرومائية من 8.9% في عام 2000 إلى 28.9% في عام 2016.

ويأتي الغاز الطبيعي في المرتبة الرابعة من ناحية حصته في إجمالي استهلاك الطاقة في الصين. ونتيجة لسياسة الصين للتوسع في استخدام الغاز الطبيعي فقد ازداد استهلاكه فيها بمعدل عال بلغ 13.8% سنوياً خلال الفترة (2000-2016) حيث تضاعف ثمان مرات ليقفز من 488 ألف ب م ن ي إلى 3.9 مليون ب م ن ي. وتضاعفت مساهمة الغاز الطبيعي في إجمالي استهلاك الطاقة في الصين من 3% في عام 2000 إلى 6.2%

في عام 2016، كما ازدادت حصة الصين في إجمالي الاستهلاك العالمي من الغاز الطبيعي من 1.1% إلى 6% خلال الفترة ذاتها.

وأصبحت الطاقات المتجددة تلعب دوراً في مجال تلبية متطلبات الطاقة في الصين فقد صارت تسد 2.8% من إجمالي استهلاك الطاقة فيها في عام 2016 بعد أن كانت غائبة عن المشهد في عام 2000، وبذلك احتلت المرتبة الخامسة في مجال استهلاك الطاقة في عام 2016.

أما من ناحية الطاقة النووية فعلى الرغم من أنها تساهم مساهمة صغيرة في تلبية متطلبات الطاقة في الصين فإنها سجلت أعلى معدلات الزيادة في الاستهلاك خلال الفترة (2000-2016) إذ تصاعد هذا الاستهلاك بمعدل 17.2% سنوياً ليتضاعف بحوالي 13 مرة حيث قفز من 76 ألف ب م ن ي إلى 968 ألف ب م ن ي، وبذلك تضاعفت حصة الصين في إجمالي استهلاك العالم من الطاقة النووية من 0.6% في عام 2000 إلى 8.1% في عام 2016.

ويقف وراء هذه القفزة الكبيرة في استهلاك الطاقة في الصين سبعة عوامل رئيسية (12)، وهذه العوامل هي:

1- انخفاض أسعار النفط:

أدى انخفاض أسعار النفط إلى تقليص قيمة واردات الصين من النفط الخام والغاز الطبيعي، وهذا أدى بدوره إلى تحفيز النمو الاقتصادي.

2- كسر عادة الإدمان على استهلاك الفحم:

توجد لدى الصين في إطار ما يسمى "الحرب على التلوث" خطة لوضع سقف لاستهلاك الفحم، ويساهم في تنفيذ هذه الخطة 20 جهة رئيسية لتحقيق الالتزام بوضع حد أعلى على استهلاك الفحم قبل عام 2035. وتتضمن هذه الجهات أربعة قطاعات رئيسية، وهي: الطاقة الكهربائية، صناعة الصلب، صناعة الإسمنت، وقطاع الإنشاءات.

3- الغاز الطبيعي والاندفاع نحو الطاقة النووية:

تتضمن الخطة الخمسية الثانية عشرة رفع مساهمة الغاز الطبيعي في مزيج الطاقة في الصين لتصل إلى 10% في عام 2020. أما من ناحية الطاقة النووية فقد أضافت الصين منذ كارثة فوكوشيما 11 مفاعلا جديدا بطاقة 11 غيغاواط.

4- الدور الريادي للطاقة المتجددة:

يشكل استخدام الطاقة المتجددة جزءا رئيسيا من سياسات الطاقة والبيئة في الصين حيث قامت باستثمار ما يزيد عن 54 مليار دولار أمريكي في هذا المجال في عام 2013، وتخطط لاستثمار 15 تريليون دولار أمريكي حتى عام 2030.

5- إصلاح المشاريع التي تمتلكها الدولة:

إن 4 مشاريع من أصل أضخم 12 مشروعا تمتلكهم الدولة في الصين هم مشاريع في مجال الطاقة. وبلغت إيرادات هذه المشاريع ما يربو عن 100 مليار دولار أمريكي في عام 2014. وسيؤدي إصلاح هذه المشاريع إلى فتح أسواق الطاقة لكل اللاعبين، كما سيشجع على المنافسة عن طريق إعادة هيكلة ودمج شركات النفط الرئيسية.

6- طريق الحرير:

أعلنت الصين في عام 2013 عن خططها لبناء "الحزام الاقتصادي لطريق الحرير"، و"طريق الحرير البحري للقرن الحادي والعشرين". وتم دمج هذان المشروعان في مشروع واحد أطلق عليه اسم "حزام واحد، طريق واحد". ويستهدف هذا المشروع تطوير قدرات الاتصال واستكمال استراتيجية الاستثمار الخارجي ودعم صادرات الصين في مجال البنى التحتية على نطاق واسع. وفي نطاق هذا المشروع سوف تدعم الصين وتمول المشاريع ذات الصلة بإزالة نقاط الاختناق في قطاع المواصلات عن طريق بناء

البنى الأساسية للموانئ، وخطوط أنابيب النفط والغاز الطبيعي، والطرق، وشبكات وخطوط الشاحنات.

7- الخطة الخمسية الثالثة عشرة

تتضمن الخطة الخمسية الثالثة عشرة برنامجاً للإصلاح البيئي يعتبر الأكثر طموحاً حيث يقدر أن تتجاوز النفقات البيئية المخطط لها 1 تريليون دولار أمريكي. ويوفر ذلك العديد من الفرص للقطاع الخاص لإيجاد الحلول التي ستساعد الصين على تحقيق أهدافها البيئية الطموحة.

2- استهلاك الطاقة والنفط في الهند:

أصبحت الهند ثالث أكبر مستهلك للطاقة في العالم بعد الصين والولايات المتحدة الأمريكية بعد أن كانت في عام 2000 تأتي في المرتبة السادسة بعد الولايات المتحدة الأمريكية والصين وروسيا واليابان وألمانيا. وارتفع استهلاك الطاقة في الهند بمعدل 5.4% سنوياً خلال الفترة (2000-2016) حيث تضاعف من 6.3 مليون ب م ن ي إلى 14.5 مليون ب م ن ي. وعليه فقد ارتفعت حصة الهند في إجمالي استهلاك العالم من الطاقة من 3.4% في عام 2000 إلى 5.5% في عام 2016.

واستمر الفحم باعتباره المصدر الأساسي لتلبية متطلبات الهند من الطاقة خلال الفترة (2000-2016)، ويأتي النفط في المرتبة الثانية، يليه الغاز الطبيعي ثم الطاقة الكهرومائية والطاقات المتجددة، وأخيراً الطاقة النووية. وارتفع استهلاك الفحم بمعدل 5.6% سنوياً حيث تضاعف من 3.4 مليون ب م ن ي في عام 2000 إلى 8.3 مليون ب م ن ي في عام 2016. وارتفعت حصة الفحم في إجمالي استهلاك الطاقة في الهند من 54.7% في عام 2000 إلى 56.9% في عام 2016. كما ارتفع استهلاك النفط بمعدل 4.2% ليزداد مما يقارب 2.3 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 4.5 مليون ب/ي في عام 2016. وعلى الرغم من هذه الزيادة إلا أن حصة النفط في إجمالي استهلاك الطاقة في

الهند قد انخفضت من 31.1% في عام 2000 إلى 29.4% في عام 2016. وينطبق هذا النمط أيضا على الغاز الطبيعي الذي ارتفع استهلاكه بمعدل 4.2% سنويا ليصل إلى 916 ألف ب م ن ي في عام 2016 بالمقارنة مع 470 ألف ب م ن ي في عام 2000، إلا أن حصة الغاز الطبيعي في إجمالي استهلاك الطاقة قد تراجعت من 7.5% إلى 6.2%. وتكرر النمط نفسه في الطاقة الكهربائية التي ارتفع حجم استهلاكها بمعدل 3.3% سنويا ليصل إلى 584 ألف ب م ن ي في عام 2016 بالمقارنة مع 349 ألف ب م ن ي في عام 2000، وبذلك تراجعت حصة هذا المصدر من 5.6% إلى 4%. أما الطاقة النووية فقد ظلت حصتها في إجمالي استهلاك الطاقة في الهند مستقرة عند 1.2% من إجمالي استهلاك الطاقة في الهند خلال الفترة (2000-2016)، وذلك على الرغم من أنها سجلت أعلى معدلات الزيادة في الاستهلاك خلال الفترة (2000-2016) حيث نما استهلاكها بمعدل 5.6% سنويا ليزداد من 72 ألف ب م ن ي إلى 173 ألف ب م ن ي. وأصبحت الطاقات المتجددة تلعب دورا متزايدا إذ وصل حجم استهلاكها إلى 331 ألف ب م ن ي في عام 2016، ويمثل ذلك 2.3% من إجمالي استهلاك الطاقة في الهند.

3- استهلاك الطاقة والنفط في إندونيسيا:

ارتفع حجم استهلاك الطاقة في إندونيسيا بمعدل 4% سنويا خلال الفترة (2000-2016) حيث وصل إلى 3.5 مليون ب م ن ي في عام 2016 بالمقارنة مع 1.9 مليون ب م ن ي في عام 2000. ويلاحظ أنه طرأ تحول كبير في مزيج الطاقة الذي يلبي متطلبات الطاقة في إندونيسيا خلال الفترة (2000-2016) حيث تقلصت حصة المصادر البترولية (النفط والغاز الطبيعي) بصورة ملموسة بينما تصاعدت حصة الفحم إذ تراجعت حصة النفط في إجمالي استهلاك الطاقة من 53.8% في عام 2000 إلى 41.5% في عام 2016، كما تراجعت أيضا حصة الغاز الطبيعي من 29.3% إلى 19.4%، وفي المقابل ارتفعت حصة الفحم من 14.6% إلى 35.8%.

وعند النظر إلى تطور استهلاك المصادر المتاحة كل على حدة يتضح أن استهلاك الفحم في إندونيسيا قد ارتفع بمعدل 10% سنوياً خلال الفترة (2000-2016) حيث تزايد استهلاكه من 275 ألف ب م ن ي إلى 1.3 مليون ب م ن ي. أما النفط فقد ارتفع استهلاكه بمعدل 2.2% ليبلغ 1.6 مليون ب/ي في عام 2016 بالمقارنة مع 1.1 مليون ب/ي في عام 2000. وارتفع استهلاك الغاز الطبيعي بمعدل 1.3% سنوياً ليصل إلى 681 ألف ب م ن ي في عام 2016 بالمقارنة مع 552 ألف ب م ن ي في عام 2000. وتستهلك إندونيسيا كمية صغيرة من الطاقة الكهربائية بلغت 66 ألف ب م ن ي في عام 2016، كما أصبحت تستخدم الطاقات المتجددة التي وصل حجم استهلاكها إلى 52 ألف ب م ن ي في عام 2016.

4- استهلاك الطاقة والنفط في تايلند:

ازداد استهلاك الطاقة في تايلند بمعدل 4.4% سنوياً خلال الفترة (2000-2016) حيث تضاعف هذا الاستهلاك من حوالي 1.3 مليون ب م ن ي إلى 2.5 مليون ب م ن ي. وما يزال النفط يشكل المصدر الرئيسي لتلبية متطلبات الطاقة في تايلند، وذلك على الرغم من تراجع حصته في إجمالي استهلاك الطاقة من 55.8% في عام 2000 إلى 47.7% في عام 2016. وارتفع استهلاك النفط في تايلند بمعدل 3.8% ليزداد من 763 ألف ب/ي في عام 2000 إلى 1.4 مليون ب/ي في عام 2016. ويأتي الغاز الطبيعي في المرتبة الثانية من ناحية حصته في إجمالي استهلاك الطاقة في تايلند حيث تزايدت حصته من 29.5% في عام 2000 إلى 35.2% في عام 2016. وازداد استهلاك الغاز الطبيعي بصورة ملموسة حيث ارتفع بمعدل 5.5% سنوياً ليتضاعف من 370 ألف ب م ن ي إلى 874 ألف ب م ن ي. ويأتي الفحم في المرتبة الثالثة حيث تزايدت حصته في إجمالي استهلاك الطاقة من 12.5% إلى 13.3% إذ ارتفع استهلاكه بمعدل مرتفع نسبياً بلغ 5.3% سنوياً. وارتفع استهلاك الفحم من 157 ألف ب م ن ي في عام 2000 إلى 355 ألف ب م ن ي في عام 2016. وفي الوقت الذي تراجعت فيه حصة الطاقة الكهربائية

من 2.2% في عام 2000 إلى 0.6% في عام 2016 فقد أصبحت الطاقات المتجددة تساهم بحوالي 2.3% من إجمالي استهلاك الطاقة في تايلند في عام 2016.

5- استهلاك الطاقة والنفط في ماليزيا:

ما يزال الغاز الطبيعي والنفط هما المصدران الرئيسيان لتلبية متطلبات الطاقة في ماليزيا، وذلك على الرغم من تراجع حصتهما في إجمالي استهلاك الطاقة خلال الفترة (2000-2016) حيث تراجعت حصة الغاز الطبيعي من 43.3% إلى 38.9%، بينما تراجعت حصة النفط من 48.2% إلى 36.5%. وفي المقابل تضاعفت حصة الفحم بصورة كبيرة حيث قفزت من 4.5% في عام 2000 إلى 20% في عام 2016. وارتفعت حصة الطاقة الكهربائية بصورة صغيرة حيث ازدادت من 4% إلى 4.2%. وأصبحت الطاقات المتجددة تساهم مساهمة ضئيلة لا تتجاوز 0.3%.

وارتفع إجمالي استهلاك الطاقة بمعدل 5.5% سنويا خلال الفترة (2000-2016) حيث تضاعف هذا الاستهلاك من 849 ألف ب م ن ي إلى 2 مليون ب م ن ي. وجاء الغاز الطبيعي في المرتبة الأولى من ناحية حجم استهلاكه حيث ارتفع حجم هذا الاستهلاك بمعدل 4.8% سنويا ليصل إلى 777 ألف ب م ن ي في عام 2016 بالمقارنة مع 368 ألف ب م ن ي في عام 2000. وحل النفط في المرتبة الثانية حيث ارتفع هذا الاستهلاك بمعدل 3.3% سنويا حيث وصل إلى 829 ألف ب م ن ي في عام 2016 بالمقارنة مع 494 ألف ب م ن ي في عام 2000. وسجل استهلاك الفحم أعلى معدلات الزيادة في الاستهلاك إذ تصاعد استهلاكه بمعدل 15.8% سنويا، وهو أعلى معدل تم تسجيله ضمن هذه المجموعة من الدول. وتضاعف حجم استهلاك الفحم من 38 ألف ب م ن ي إلى 400 ألف ب م ن ي. كما ازداد استهلاك الطاقة الكهربائية في ماليزيا بمعدل 5.8% سنويا ليبلغ 84 ألف ب م ن ي في عام 2016. وأصبحت ماليزيا تستهلك كميات صغيرة من الطاقات المتجددة لا يتجاوز حجمها 6 ألف ب م ن ي في عام 2016.

6- استهلاك الطاقة والنفط في باكستان:

أصبح الغاز الطبيعي المصدر الرئيسي لسد احتياجات باكستان من الطاقة إذ وصلت حصته إلى نصف إجمالي استهلاك الطاقة فيها في عام 2016، وذلك بالمقارنة مع 40.4% في عام 2000. وتراجعت مكانة النفط في استهلاك الطاقة في باكستان من المرتبة الأولى في عام 2000 إلى المرتبة الثانية في عام 2016 حيث انخفضت حصة النفط من 44.7% إلى 33%. وتلعب الطاقة الكهرومائية دورا مهما لكن مساهمتها في استهلاك الطاقة خلال الفترة (2000-2016) قد انخفضت قليلا من 9.5% إلى 9.3% من إجمالي هذا الاستهلاك. كما ارتفعت حصة الفحم من 4.8% في عام 2000 إلى 6.5% في عام 2016. وتضاعفت حصة الطاقة النووية من 0.7% إلى 1.6%.

وارتفع إجمالي استهلاك مصادر الطاقة في باكستان خلال الفترة (2000-2016) بمعدل 4.3% سنويا حيث ازداد من 845 ألف ب م ن ي إلى ما يقارب 1.7 مليون ب م ن ي. وارتفع استهلاك النفط خلال الفترة ذاتها بمعدل 2.7% سنويا ليصل إلى 566 ألف ب/ي في عام 2016 بالمقارنة مع 372 ألف ب/ي في عام 2000. أما الغاز الطبيعي فقد ازداد بمعدل 5.6% ليرتفع من 341 ألف ب م ن ي إلى 821 ألف ب م ن ي. وتستهلك باكستان كميات صغيرة من الفحم، إلا أن هذا الاستهلاك قد ازداد بمعدل مرتفع نسبيا بلغ 6.4% سنويا حيث وصل حجم استهلاكه إلى 108 ألف ب م ن ي في عام 2016 بالمقارنة مع 40 ألف ب م ن ي في عام 2000. وتضاعف حجم استهلاك الطاقة الكهرومائية من 80 ألف ب م ن ي في عام 2000 إلى 155 ألف ب م ن ي في عام 2016. وعلى الرغم من صغر حجم استهلاك الطاقة النووية إلا أنها سجلت أعلى معدلات النمو في الاستهلاك إذ تزايد استهلاكها بمعدل 9.6% سنويا ليلبلغ 26 ألف ب م ن ي في عام 2016.

7- استهلاك الطاقة والنفط في فيتنام:

أصبحت فيتنام في عام 2016 تحتل المرتبة السابعة ضمن مجموعة الدول الآسيوية النامية من ناحية حجم استهلاكها من الطاقة، بينما كانت المراجع الإحصائية حول الدول الرئيسية المستهلكة للطاقة لا تفرد لها بندا في إجمالي استهلاك الطاقة في عام 2000. ووصل إجمالي استهلاك الطاقة في فيتنام في عام 2016 إلى 1.3 مليون ب م ن ي. ويشكل الفحم حوالي ثلث (32.9%) إجمالي استهلاك الطاقة حيث وصل حجم استهلاكه إلى 428 ألف ب م ن ي. ويأتي النفط في المرتبة الثانية. وتساعد استهلاك النفط بمعدل مرتفع نسبيا خلال الفترة (2000-2016) حيث بلغ هذا المعدل 5.9% سنويا إذ تضاعف استهلاك النفط في فيتنام من 171 ألف ب/ي إلى 422 ألف ب/ي. وتساهم الطاقة الكهرومائية مساهمة ملموسة في إجمالي استهلاك الطاقة في فيتنام حيث بلغ حجم استهلاكها 289 ألف ب م ن ي، أي ما يعادل 21.9% من إجمالي استهلاك الطاقة في عام 2015. ويأتي الغاز الطبيعي في المرتبة الرابعة إذ بلغ حجم استهلاكه 193 ألف ب م ن ي، أي 14.6% من إجمالي استهلاك الطاقة. وتستهلك فيتنام كمية صغيرة من الطاقات المتجددة لا تتجاوز 2 ألف ب م ن ي.

8- استهلاك الطاقة والنفط في الفلبين:

ارتفع استهلاك الطاقة في الفلبين بمعدل 3.9% سنويا خلال الفترة (2000-2016)، وهو أقل معدلات النمو في الاستهلاك في مجموعة الدول الآسيوية النامية. وارتفع استهلاك الطاقة في الفلبين من 456 ألف ب م ن ي إلى 843 ألف ب م ن ي. وما يزال النفط المصدر الرئيسي لسد متطلبات الطاقة في الفلبين، وذلك على الرغم من تقلص حصته في إجمالي استهلاك الطاقة من 73.1% إلى 47.4% حيث ارتفع استهلاكه بمعدل 1.4% سنويا ليصل إلى 434 ألف ب/ي في عام 2016. ويأتي الفحم في المرتبة الثانية حيث تصاعدت حصته من 18.9% إلى 32.1% إذ ارتفع استهلاكه بمعدل

7.4% سنويا ليزداد من 86 ألف ب م ن ي إلى 271 ألف ب م ن ي. كما تقلصت حصة الطاقة الكهربائية من 7.9% إلى 5% في مقابل دخول كل من الغاز الطبيعي والطاقة المتجددة لسد احتياجات الطاقة. وأصبح الغاز الطبيعي يغطي 8.1% من إجمالي الاستهلاك، كما أصبحت الطاقات المتجددة تغطي 7.4%.

4- فجوة النفط:

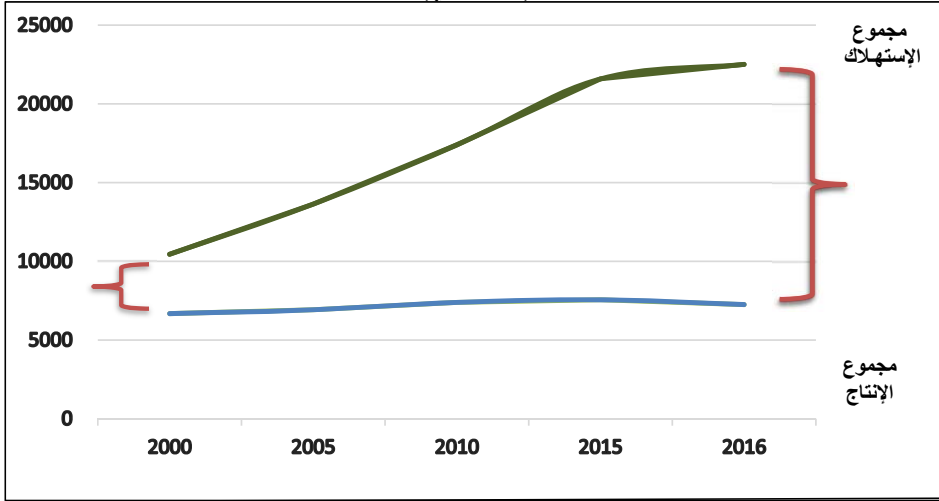
عند مقارنة حجم إنتاج النفط مع حجم استهلاكه في الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2000-2016) يتبين أن الحاجة إلى الاستيراد قد ازدادت من حوالي 3.8 مليون ب/ي في عام 2000 إلى حوالي 15.4 مليون ب/ي في عام 2016، أي أن حجم الفجوة قد ازداد بحوالي 8.3 مليون ب/ي. الجدول (8) والشكل (7). وكان هناك في عام 2000 ثلاث دول، وهي إندونيسيا، ماليزيا، وفيتنام ذات فائض في إنتاج النفط عن احتياجاتها المحلية 2000. وتقلص عدد هذه الدول في عام 2005 ليصبح دولتين، وهما ماليزيا وفيتنام. واعتبارا من عام 2010 أصبحت جميع هذه الدول مستوردة صافية للنفط.

الجدول (8)
تطور فجوة النفط في الدول الآسيوية النامية، 2000 - 2016
(ألف ب/ي)

2016	2015	2010	2005	2000	
(8762)	(8027)	(8277)	(6153)	(3932)	الصين
(3633)	(3283)	(3282)	(2582)	(1880)	الهند
(734)	(787)	(589)	(315)	153	إندونيسيا
(566)	(517)	(505)	(411)	(310)	باكستان
(903)	(876)	(966)	(822)	(837)	تايلند
(434)	(399)	(398)	(313)	(314)	الفلبين
(98)	(60)	(85)	52	79	فيتنام
(124)	(132)	(97)	67	85	ماليزيا
(15254)	(14081)	(14199)	(10477)	(6956)	المجموع

المصدر: مشتق من الجدول (5) والجدول (7).

الشكل (7)
تطور فجوة النفط في الدول الآسيوية النامية، 2000 – 2016
(ألف ب/ي)



المصدر: مشتق من الجدول (5) والجدول (7).

وتعود الزيادة في العجز في النفط بالدرجة الأولى إلى الصين التي ازداد فيها العجز من 3.9 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 8.8 مليون ب/ي في عام 2016، أي أن حجم الزيادة في فجوة النفط في الصين تشكل 57.4% من إجمالي حجم الزيادة في فجوة النفط في هذه الدول مجتمعة. وتأتي الهند في المرتبة الثانية من ناحية حجم فجوة النفط إذ ازدادت فيها هذه الفجوة من 1.9 مليون ب/ي إلى 3.6 مليون ب/ي. وتأتي تايلند في المرتبة الثالثة حيث بلغ فيها حجم الفجوة 903 ألف ب/ي في عام 2016. أما في بقية دول هذه المجموعة فقد وصل حجم فجوة النفط فيها في عام 2016 إلى المستويات التالية: إندونيسيا (734 ألف ب/ي)، باكستان (566 ألف ب/ي)، الفلبين (434 ألف ب/ي)، ماليزيا (124 ألف ب/ي)، وفيتنام (98 ألف ب/ي).

5- طاقات التكرير وإنتاج المصافي:

- طاقات التكرير:

ارتفع حجم طاقات التكرير في الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2000-2016) بمعدل 4.8% سنوياً حيث تضاعفت هذه الطاقات من 10.8 مليون ب/ي إلى 22.6 مليون ب/ي. وبذلك ازدادت حصتها في إجمالي طاقات التكرير المتاحة في العالم من 13.1% إلى 23.2%. الجدول (9) والشكل (8). وتعكس هذه البيانات تطورات متباينة فيما بين دول هذه المجموعة من ناحية حجم ومعدلات الزيادة في طاقات التكرير. ويمكن التمييز بين ثلاث فئات ضمن هذه المجموعة من ناحية تطور طاقات التكرير، وهذه الفئات هي:

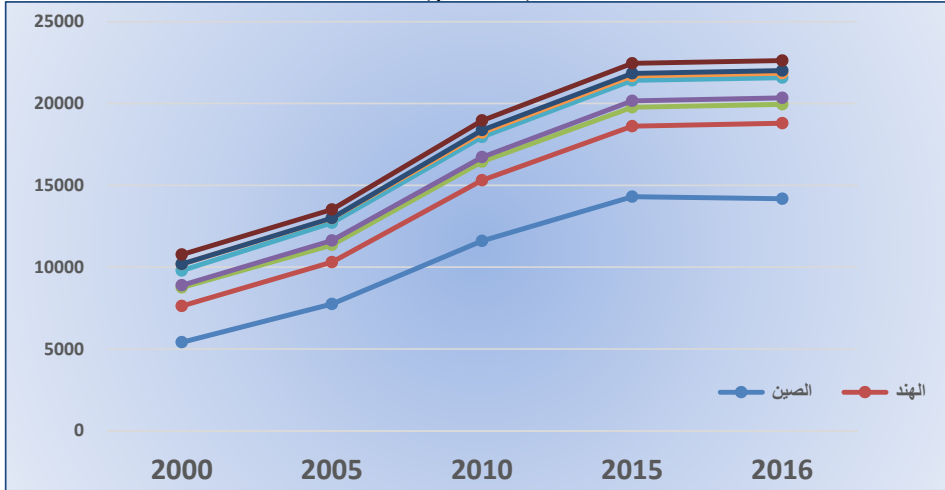
الجدول (9)

تطور طاقات المصافي في الدول الآسيوية النامية، 2000 – 2016
(ألف ب/ي)

2016	2015	2010	2005	2000	
14177	14306	11604	7745	5407	الصين
4620	4307	3703	2558	2219	الهند
1155	1155	1141	1057	1127	إندونيسيا
392	392	277	269	134	باكستان
1235	1252	1230	1078	899	تايلند
271	271	264	280	398	الفلبين
163	159	159	11	8	فيتنام
612	612	582	522	572	ماليزيا
22625	22454	18960	13520	10764	المجموع
97430	96992	92586	86569	82016	العالم
44105	44073	45071	45139	44448	منها: الدول الصناعية
53325	52919	47515	41430	37568	بقية دول العالم
23.2	23.2	20.5	15.6	13.1	(%)

المصدر: BP, Statistical Review of World Energy, 2017 .

الشكل (8)
تطور طاقات المصافي في الدول الآسيوية النامية، 2000 – 2016
(ألف ب/ي)



المصدر: BP, Statistical Review of World Energy, 2017 .

- فئة الدول ذات الزيادة الملموسة في حجم طاقات التكرير:

وتتضمن هذه الفئة دولتين، وهما الصين والهند. وازداد حجم طاقات التكرير في الصين بمعدل 6.2% سنوياً خلال الفترة (2000-2016) لتتضاعف من 5.4 مليون ب/ي إلى 14.2 مليون ب/ي. أي أن الزيادة في حجم طاقات التكرير في الصين قد بلغ 8.8 مليون ب/ي. وتشكل هذه الزيادة 56.9% من إجمالي الزيادة في طاقات التكرير في العالم خلال الفترة (2000-2016). وبذلك فقد تصاعدت حصة الصين في إجمالي الطاقات العالمية من 6.6% إلى 14.6%.

أما في الهند فقد ازدادت طاقات التكرير بمعدل 4.7% سنوياً خلال الفترة ذاتها حيث ارتفعت من 2.2 مليون ب/ي إلى 4.6 مليون ب/ي. وبشكل حجم الزيادة في طاقات الهند 15.6% من حجم الزيادة العالمية. وارتفعت حصة الهند في إجمالي الطاقات العالمية من 2.7% إلى 4.7%.

- فئة الدول ذات الزيادة الصغيرة في حجم طاقات التكرير:

تضم هذه الفئة خمس دول، وهي: تايلند، باكستان، فيتنام، ماليزيا، واندونيسيا. وبلغ حجم الزيادة في طاقات التكرير في هذه الدول خلال الفترة (2000-2016) إلى المستويات التالية: تايلند (336 ألف ب/ي)، باكستان (258 ألف ب/ي)، فيتنام (155 ألف ب/ي)، وماليزيا (40 ألف ب/ي)، واندونيسيا (28 ألف ب/ي). وضمن هذه الفئة تمتلك تايلند أعلى حجم في طاقات التكرير، وتليها إندونيسيا (28 ألف ب/ي) ثم ماليزيا والفلبين وفيتنام. ووصل حجم طاقات التكرير في هذه الدول الخمس في عام 2015 إلى المستويات التالية: تايلند (1.2 مليون ب/ي)، إندونيسيا (1.15 مليون ب/ي)، ماليزيا (612 ألف ب/ي)، الفلبين (271 ألف ب/ي)، وفيتنام (163 ألف ب/ي).

- فئة الدول التي تراجع فيها حجم طاقات التكرير:

تضم هذه الفئة دولة واحدة وهي الفلبين التي تقلص حجم طاقات التكرير فيها من 398 ألف ب/ي إلى 271 ألف ب/ي. وفي هذا السياق لا بد من الإشارة إلى حجم طاقات التكرير في الدول الصناعية قد انخفض من 44.4 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 44.1 مليون ب/ي في عام 2016. أما في الدول النامية الأخرى خارج مجموعة الدول الآسيوية النامية فقد ارتفع حجم طاقات التكرير من 26.8 مليون ب/ي إلى 30.7 مليون ب/ي.

- إنتاج المصافي:

تعكس التطورات في حجم طاقات التكرير في الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2000-2016) إلى حد كبير التطورات في إنتاج المصافي في هذه الدول مع بعض الفوارق البسيطة إذ ارتفع الإنتاج بمعدل يربو قليلا عن معدل الارتفاع في حجم طاقات التكرير حيث وصل معدل الزيادة في إنتاج المصافي إلى 3.4% سنويا. لكن الملاحظ هو

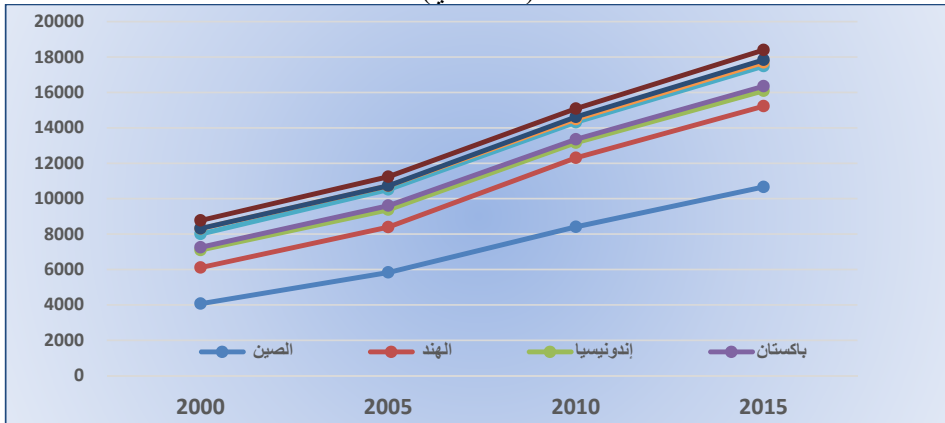
استمرار وجود الفائض في طاقات التكرير إذ ارتفع الإنتاج من 8.8 مليون ب/ي إلى 19.1 مليون ب/ي. وهذا يعني أن الفائض في طاقات التكرير في هذه الدول قد ازداد من 2 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 3.5 مليون ب/ي في عام 2016. الجدول (10) والشكل (9).

الجدول (10)
تطور إنتاج المصافي في الدول الآسيوية النامية، 2000 - 2016
(ألف ب/ي)

2016	2015	2010	2005	2000	
11023	10684	8408	5832	4067	الصين
4931	4561	3899	2561	2039	الهند
885	836	853	980	987	إندونيسيا
242	257	190	231	158	باكستان
1096	1132	963	910	751	تايلند
216	212	181	207	305	الفلبين
148	145	123	9	8	فيتنام
537	508	470	509	452	ماليزيا
19078	18335	15087	11239	8767	المجموع
80550	79905	75257	74021	67967	العالم
37752	37965	37191	39883	39346	منها: الدول الصناعية
42798	41940	38066	34138	28621	بقية دول العالم
23.7	22.9	20.0	15.2	12.9	(%)

المصدر: BP, Statistical Review of World Energy, 2017 .

الشكل (9)
تطور إنتاج المصافي في الدول الآسيوية النامية، 2000 - 2016
(ألف ب/ي)



المصدر: BP, Statistical Review of World Energy, 2017 .

وعند النظر إلى الفائض أو العجز في طاقات المصافي في دول هذه المجموعة كل على حدة خلال الفترة (2000-2016) يتبين أن الفائض في الصين قد تضاعف من 1.3 مليون ب/ي إلى 3.6 مليون ب/ي حيث ازداد حجم الإنتاج فيها من 4.1 مليون ب/ي إلى 11 مليون ب/ي. ويشكل الفائض في طاقات التكرير في الصين 88.9% من إجمالي الفائض في طاقات هذه المجموعة من الدول في عام 2016. وتأتي إندونيسيا في المرتبة الثانية من ناحية حجم الفائض على الرغم من تراجع حجم إنتاج المصافي فيها من 987 ألف ب/ي إلى 885 ألف ب/ي، ومع ذلك ارتفع حجم الفائض فيها من 140 ألف ب/ي إلى 270 ألف ب/ي. والملفت للنظر أن إنتاج المصافي في الهند قد تجاوز حجم طاقات التكرير فيها حيث ارتفع هذا الإنتاج من 2 مليون ب/ي إلى حوالي 4.9 مليون ب/ي. وتأتي تايلند في المرتبة الثالثة من ناحية مستوى إنتاج المصافي فيها حيث ارتفع هذا الإنتاج من 751 ألف ب/ي إلى 1.1 مليون ب/ي. ووصل إنتاج المصافي في بقية دول هذه المجموعة في عام 2016 إلى المستويات التالية: ماليزيا (537 ألف ب/ي)، باكستان (242 ألف ب/ي)، الفلبين (216 ألف ب/ي)، وفيتنام (148 ألف ب/ي).

الجزء الثالث: الواردات النفطية

1- واردات الدول الآسيوية من النفط الخام والمنتجات النفطية:

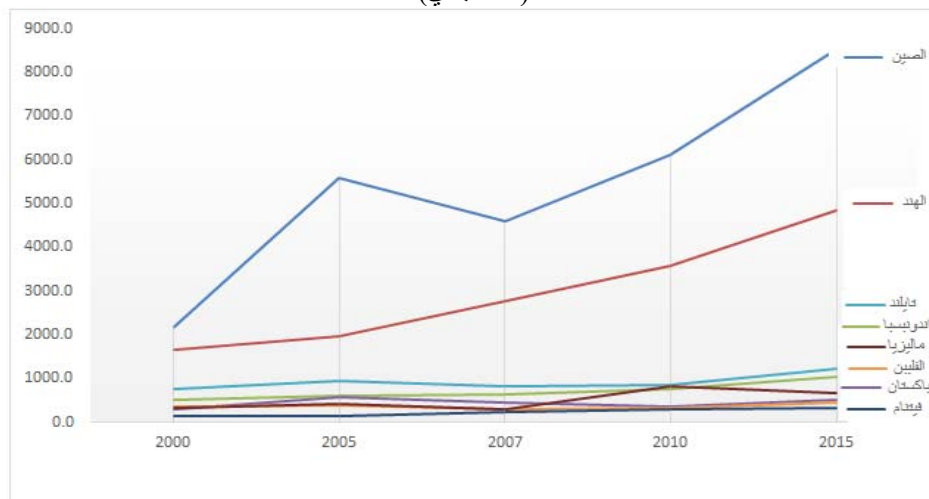
ارتفع حجم إجمالي واردات الدول الآسيوية من النفط الخام والمنتجات النفطية بمعدل 7.2% سنوياً خلال الفترة (2000-2016) إذ تضاعفت هذه الواردات بما يقارب ثلاث مرات حيث ازدادت من 6.2 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 17.6 مليون ب/ي في عام 2015، وعليه فقد ارتفعت حصة هذه الدول في إجمالي الواردات النفطية العالمية من 10.4% في عام 2000 إلى 16.8% في عام 2015. الجدول (11) والشكل (10).

الجدول (11)
تطور إجمالي الواردات النفطية للدول الآسيوية، 2000 - 2015
(ألف ب/ي)

	الإجمالي					المنتجات النفطية					النفط الخام					
	2015	2010	2007	2005	2000	2015	2010	2007	2005	2000	2015	2010	2007	2005	2000	
الصين	8515.9	6126.4	4601.4	5576.1	2185.4	899.7	1353.2	1320.8	3037.1	777.8	7616.2	4773.2	3280.6	2539.0	1407.6	
الهند	4847.8	3581.0	2778.0	1974.2	1665.6	563.7	295.7	382.4	536.5	445.9	4284.1	3285.3	2395.6	1437.7	1219.7	
إندونيسيا	1039.2	768.0	635.3	608.1	504.9	661.7	372.7	337.1	330.1	274.5	377.5	395.3	298.2	278.0	230.4	
باكستان	510.7	363.5	437.9	574.5	292.7	304.4	213.7	260.0	230.5	192.7	206.3	149.8	177.9	344.0	100.0	
تايلاند	1227.8	860.0	828.7	954.9	774.9	359.9	8.9	27.7	115.3	90.9	867.9	851.1	801.0	839.6	684.0	
الفلبين	445.5	325.8	301.7	388.6	349.0	210.1	143.0	97.8	31.4	39.3	235.4	182.8	203.9	357.2	309.7	
فيتنام	337.0	291.2	248.0	154.5	130.1	337.0	291.2	248.0	148.9	126.1	0.0	0.0	0.0	5.6	4.0	
ماليزيا	665.6	825.7	310.0	422.1	330.9	428.8	665.6	152.6	228.1	191.0	236.8	160.1	157.4	194.0	139.9	
إجمالي الـ 11 من الدول الأعضاء			3044.9	2186.5	1833.9			649.3	402.1	340.0			2395.6	1784.4	1493.9	
إجمالي الواردات	17589.5	12617.4	10141.0	10653.0	6233.5	3765.3	2819.8	2826.4	4657.9	2138.2	13824.2	9797.6	7314.6	5995.1	4095.3	
العالم	104913.8	89871.9	75857.0	90554.4	60222.5	37175.3	29955.6	25335.6	28605.9	18224.6	67738.5	59916.3	50521.4	61948.5	41997.9	
(%)	16.8	14.0	13.4	11.8	10.4	10.1	9.4	11.2	16.3	11.7	20.4	16.4	14.5	9.7	9.8	

المصدر: World Oil Trade, 2002, 2007, 2012, 2016.

الشكل (10)
تطور إجمالي الواردات النفطية للدول الآسيوية، 2000 – 2015
(ألف ب/ي)



المصدر: World Oil Trade, 2002,2007,2012,2016

وتبدو الصورة مختلفة نوعاً ما عند النظر إلى تركيبة الواردات النفطية في هذه الدول حيث يلاحظ أن وارداتها من النفط الخام قد ازدادت بمعدل 8.4% سنوياً خلال الفترة (2000-2015) لتتضاعف بأكثر من ثلاث مرات إذ ارتفعت من 4.1 مليون ب/ي إلى 13.8 مليون ب/ي، وعليه فقد تضاعفت حصة هذه الدول في إجمالي الواردات العالمية من النفط الخام من 9.8% إلى 20.4%. أما من ناحية واردات هذه الدول من المنتجات النفطية فقد ازدادت بمعدل 3.8% سنوياً حيث ارتفعت من 2.1 مليون ب/ي إلى 2.8 مليون ب/ي. وتراجعت حصة هذه الدول في إجمالي الواردات العالمية من المنتجات النفطية من 11.7% في عام 2000 إلى 10.1% في عام 2015. ويعود هذا التباين بين تطور كل من واردات النفط الخام وواردات المنتجات النفطية بصورة رئيسية إلى أن هذه الدول قد توسعت في بناء طاقات التكرير فيها خلال الفترة (2000-2015) إذ كما ورد سابقاً فقد تضاعفت هذه الطاقات من 10.8 مليون ب/ي إلى 22.4 مليون ب/ي خلال هذه الفترة.

ويوجد هناك أيضا تباين ملحوظ بين هذه الدول عند النظر إلى تطور وارداتها النفطية خلال الفترة (2000-2015). والملاحظة الأساسية هي أن التطورات الخاصة في الصين في هذا المجال هي السمة المسيطرة على المشهد سواء على النطاق الإقليمي، أو على النطاق العالمي. وتلقي الفقرات التالية الضوء على تطور الواردات النفطية لهذه الدول كل على حدة خلال الفترة (2000-2015).

- الصين:

أصبحت الصين بعد حوالي أربعين عاما من النمو الاقتصادي المرتفع والمتواصل أكبر مستهلك للطاقة في العالم، وأدى ذلك لأن تصبح أعلى مستورد للنفط إذ تزايد حجم إجمالي الواردات النفطية للصين بمعدل 9.5% سنويا خلال الفترة (2000-2015) حيث تضاعفت هذه الواردات بما يقارب أربع مرات لتصل إلى 8.5 مليون ب/ي في عام 2015 بالمقارنة مع 2.2 مليون ب/ي في عام 2000. ويلاحظ أن واردات الصين من النفط الخام قد تضاعدت بمعدل 11.9% سنويا لتضاعف 5.4 مرة لتبلغ 7.6 مليون ب/ي في عام 2015 بالمقارنة مع 1.4 مليون ب/ي في عام 2000، وبذلك قفزت حصة الصين في إجمالي الواردات العالمية من النفط الخام من 3.4% في عام 2000 إلى 11.2% في عام 2015. وشهدت واردات الصين من المنتجات النفطية معدلات نمو أقل تواضعا من معدلات النمو في وارداتها من النفط الخام حيث ارتفعت واردات المنتجات النفطية بمعدل 1% سنويا لتصل إلى 900 ألف ب/ي في عام 2015 بالمقارنة مع 778 ألف ب/ي في عام 2000. ويعود ذلك إلى ما قامت به الصين من توسعات في بناء طاقات التكرير فيها.

- الهند:

شهدت الواردات النفطية للهند أيضا تطورات ملحوظة إذ تزايد إجمالي حجم هذه الواردات بمعدل 7.4% سنويا خلال الفترة (2000-2015) حيث تضاعفت مما يقارب 1.7 مليون ب/ي إلى ما يربو قليلا عن 4.8 مليون ب/ي. وبذلك ارتفعت حصة الهند في إجمالي الواردات النفطية

العالمية من 2.2% إلى 4.6%. ويوجد هناك تشابه بين أنماط الواردات النفطية للهند خلال الفترة (2000-2015) مع مثيلاتها في الصين حيث يلاحظ أن معدل النمو في واردات النفط الخام يفوق معدل النمو في المنتجات النفطية إذ تزايدت واردات النفط الخام بمعدل 8.7% سنوياً لتتضاعف من 1.2 مليون ب/ي إلى 4.3 مليون ب/ي، بينما ارتفعت واردات المنتجات النفطية بمعدل 1.6% سنوياً حيث ارتفعت من 537 ألف ب/ي إلى 564 ألف ب/ي. ويعود ذلك لنفس السبب المذكور سابقاً، وهو التوسع في بناء طاقات التكرير. وأدت هذه التطورات في حجم الواردات النفطية للهند إلى ارتفاع حصتها في إجمالي الواردات العالمية من النفط الخام من 2.9% في عام 2000 إلى 6.3% في عام 2015.

- تايلند:

تأتي تايلند في المرتبة الثالثة ضمن الدول الآسيوية النامية من ناحية حجم وارداتها النفطية. وارتفع حجم إجمالي الواردات النفطية لتايلند بمعدل 3.1% سنوياً خلال الفترة (2000-2015)، وهو معدل يقل عن المعدل العالمي لارتفاع الواردات النفطية العالمية والبالغ 3.8% سنوياً خلال الفترة ذاتها. ويخالف نمط الواردات النفطية لتايلند خلال الفترة (2000-2015) الأنماط السائدة في كل من الصين والهند حيث ارتفعت واردات تايلند من المنتجات النفطية بمعدل مرتفع بلغ 9.6% سنوياً، بينما ارتفعت وارداتها من النفط الخام بمعدل 1.6% سنوياً. وعليه فقد ارتفع حجم واردات النفط الخام من 684 ألف ب/ي في عام 2000 إلى 868 ألف ب/ي في عام 2015، بينما ارتفع حجم وارداتها من المنتجات النفطية من 115 ألف ب/ي إلى 360 ألف ب/ي. وعليه فقد ارتفع حجم إجمالي الواردات النفطية لتايلند من 775 ألف ب/ي إلى 1.2 مليون ب/ي. ويشكل ذلك ارتفاعاً بسيطاً في حصة تايلند في إجمالي الواردات النفطية العالمية إذ ارتفعت هذه الحصة من 1.1% في عام 2000 إلى 1.2% في عام 2015.

- إندونيسيا:

تمتاز إندونيسيا بأنها من الدول المصدرة ومن الدول المستوردة في الوقت نفسه. وارتفعت الواردات النفطية لإندونيسيا بمعدل بلغ 4.9% سنويا خلال الفترة (2000-2015)، وهو معدل يتجاوز المعدل العالمي لنمو الواردات النفطية. ويتشابه نمط الواردات النفطية لإندونيسيا مع النمط السائد في تايلند حيث ارتفعت واردات إندونيسيا من المنتجات النفطية بمعدل مرتفع نسبيا بلغ 6% سنويا، بينما ارتفعت واردات النفط الخام بمعدل بلغ 3.3% سنويا. وعليه فقد تضاعف حجم واردات المنتجات النفطية في إندونيسيا من 330 ألف ب/ي في عام 2000 إلى 662 ألف ب/ي في عام 2015، بينما ارتفع حجم وارداتها من النفط الخام من 230 ألف ب/ي إلى 378 ألف ب/ي. وبذلك تضاعف حجم إجمالي الواردات النفطية لإندونيسيا من 505 ألف ب/ي إلى ما يربو قليلا عن 1 مليون ب/ي خلال نفس الفترة. ويشكل ذلك 1% من إجمالي الواردات النفطية العالمية.

- ماليزيا:

تأتي ماليزيا في المرتبة الخامسة ضمن الدول الآسيوية النامية من ناحية حجم وارداتها النفطية التي ارتفعت بمعدل 4.8% سنويا خلال الفترة (2000-2015). وارتفع حجم إجمالي الواردات النفطية لماليزيا من 331 ألف ب/ي، منها 191 ألف ب/ي من المنتجات النفطية، في عام 2000 إلى 666 ألف ب/ي، منها 429 ألف ب/ي من المنتجات النفطية، في عام 2015. وتشكل الواردات النفطية الإجمالية لماليزيا 0.6% من الواردات العالمية في عام 2015.

- باكستان:

ازدادت الواردات النفطية لباكستان بمعدل 3.8% سنويا خلال الفترة (2000-2015)، وهو معدل مطابق لمعدل النمو في الواردات النفطية العالمية، وارتفع بذلك حجم إجمالي الواردات النفطية لباكستان من 293 ألف ب/ي، منها 231 ألف ب/ي من المنتجات النفطية، في عام 2000 إلى 511 ألف ب/ي، منها 304 ألف ب/ي من المنتجات النفطية، في عام 2015. وتشكل هذه الواردات 0.5% من الواردات العالمية في عام 2015.

- الفليبين:

تشكل الواردات النفطية للفليبين نمطا مختلفا بصورة كبيرة عن الأنماط السائدة في بقية الدول الآسيوية النامية إذ تقلص فيها حجم واردات النفط الخام خلال الفترة (2000-2015) حيث تراجعت هذه الواردات بمعدل 1.8% سنويا لتبلغ 235 ألف ب/ي في عام 2015 بالمقارنة مع 310 ألف ب/ي في عام 2000. وفي المقابل تصاعدت واردات الفليبين من المنتجات النفطية بمعدل 11.8% سنويا حيث تضاعفت من 39 ألف ب/ي إلى 210 ألف ب/ي. وعليه فقد وصل إجمالي الواردات النفطية للفليبين إلى 446 ألف ب/ي في عام 2015، أي ما يعادل 0.4% من إجمالي الواردات العالمية، وهي النسبة ذاتها التي كانت عليها في عام 2000.

- فيتنام:

كانت فيتنام تستورد كميات ضئيلة من النفط الخام خلال الفترة (2000-2015)، إلا أن الواردات النفطية لفيتنام خلال السنوات العشر الماضية أصبحت تتمثل بصورة كاملة ب وارداتها من المنتجات النفطية التي ارتفعت بمعدل 6.8% سنويا خلال الفترة (2000-2015) لتصل إلى 337 ألف ب/ي في عام 2015. ويشكل ذلك 0.9% من إجمالي الواردات العالمية من المنتجات النفطية.

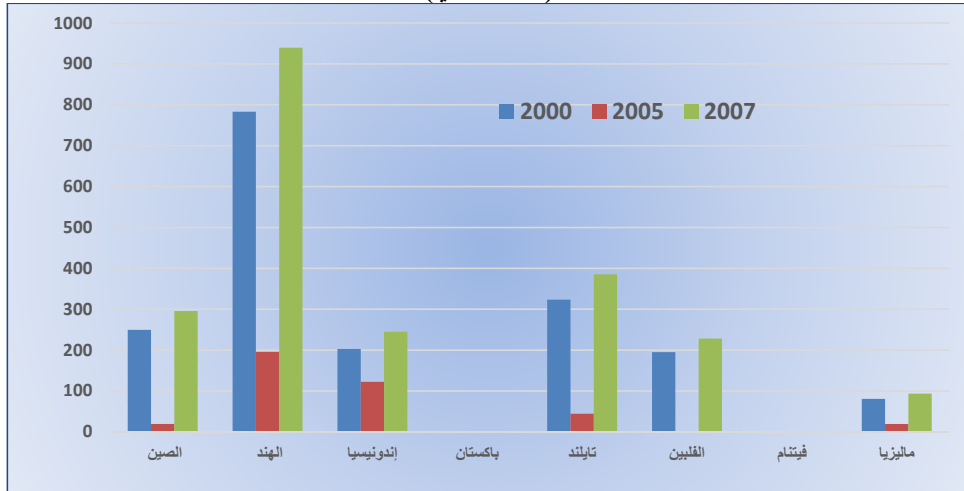
2- واردات الدول الآسيوية من النفط الخام والمنتجات النفطية من الدول الأعضاء:

بناء على البيانات المتاحة ستنوزع هذه الفقرة على فترتين متتاليتين. وتتمثل الفترة الأولى في السنوات (2000-2007) التي تتوفر حولها البيانات الإحصائية التفصيلية عن اتجاهات صادرات الدول الأعضاء من النفط الخام والمنتجات النفطية إلى سائر المناطق الرئيسية في العالم، ومنها الدول الآسيوية النامية. وتتمثل الفترة الثانية في السنوات (2008-2015) التي تتوفر حولها البيانات حول اتجاه الصادرات النفطية الإجمالية من منطقتي الشرق الأوسط وشمال إفريقيا.

آ- اتجاهات صادرات الدول الأعضاء من النفط الخام والمنتجات النفطية إلى الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2007-2000):

في الوقت الذي تصاعدت فيه الواردات النفطية الإجمالية للدول الآسيوية النامية من العالم بمعدل 7.2% سنوياً خلال الفترة (2007-2000) فقد ازدادت هذه الواردات من الدول الأعضاء بمعدل 4.5% سنوياً خلال الفترة نفسها حيث ارتفعت من 2.2 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 3 مليون ب/ي في عام 2007. وعليه فقد تراجعت حصة الدول الأعضاء في إجمالي الواردات النفطية للدول الآسيوية من 35.9% في عام 2000 إلى 30% في عام 2007. الجداول (1) - (9) في الملحق والشكل (11).

الشكل (11)
واردات الدول الآسيوية من النفط الخام خلال الفترة (2007 - 2000)
(مليون ب/ي)



المصدر: BP, Statistical Review of World Energy, 2009, 2017

وعند النظر إلى تركيبة الواردات النفطية للدول الآسيوية من الدول الأعضاء يتبين أن وارداتها من النفط الخام قد ارتفعت بمعدل 7% سنوياً خلال الفترة (2007-2000) حيث وصلت إلى 2.4 مليون ب/ي في عام 2007 بالمقارنة مع 1.5 مليون ب/ي في عام 2000. وفي الوقت

نفسه ازدادت الواردات الإجمالية للدول الآسيوية من النفط الخام بمعدل 8.6% سنوياً لتبلغ 7.3 مليون ب/ي في عام 2007 بالمقارنة مع 4.1 مليون ب/ي في عام 2000، وبذلك تراجعت حصة الدول الأعضاء في إجمالي واردات الدول الآسيوية من النفط الخام 36.5% في عام 2000 إلى 32.8% في عام 2007.

وتبدو الصورة مختلفة بالنسبة لواردات الدول الآسيوية من المنتجات النفطية من الدول الأعضاء حيث ازداد حجم هذه الواردات بمعدل 9.7% سنوياً خلال الفترة (2000-2007) إذ تضاعفت من 340 ألف ب/ي في عام 2000 إلى 649 ألف ب/ي في عام 2007. وعلى الرغم من صغر حجم هذه الواردات إلا أن حصة الدول الأعضاء في إجمالي واردات الدول الآسيوية من المنتجات من الدول الأعضاء ارتفعت من 15.9% في عام 2000 إلى 23% في عام 2007. وشهدت الواردات النفطية للدول الآسيوية النامية من الدول الأعضاء خلال الفترة (2000-2007) تطورات متباينة تبايناً كبيراً عند النظر إليها حسب كل دولة على حدة إذ يمكن تصنيف هذه الدول ضمن أربع فئات حسب تطورات وارداتها من الدول الأعضاء، وهذه الفئات هي:

- الدول التي ازداد فيها حجم الواردات النفطية بصورة كبيرة. وتضم هذه الفئة كل من الصين وإندونيسيا.
- الدول التي ارتفع فيها حجم الواردات النفطية بصورة معتدلة نسبياً. وتضم هذه الفئة كل من الهند وتايلند.
- الدول التي تقلص فيها حجم الواردات النفطية. وتضم هذه الفئة الفلبين وماليزيا.
- الدول التي لم يكن لديها واردات، وهي باكستان وفيتنام.

وتلقي الفقرات التالية الضوء على تطورات الواردات النفطية لهذه الدول كل على حدة خلال الفترة (2000-2007)، وذلك حسب مستوى حجم وارداتها النفطية من الدول الأعضاء.

1- الهند:

ضمن الدول الآسيوية النامية، تعتبر الهند المستورد الرئيسي للنفط الخام والمنتجات النفطية من الدول الأعضاء خلال الفترة (2000-2007). وارتفع حجم إجمالي هذه الواردات بمعدل 5.6% سنوياً ليبلغ حوالي 1.2 مليون ب/ي في عام 2007 بالمقارنة مع 783 ألف ب/ي في عام 2000. ومع ذلك فقد انخفضت حصة الدول الأعضاء في إجمالي الواردات النفطية للهند من 47% في عام 2000 إلى 41.7% في عام 2007. وارتفعت واردات الهند من النفط الخام بمعدل 5.9% سنوياً، بينما ارتفعت وارداتها من المنتجات النفطية بمعدل 4.5% سنوياً. ووصل حجم واردات الهند في عام 2007 إلى 928 ألف ب/ي من النفط الخام وإلى 222 ألف ب/ي من المنتجات النفطية. وعليه فقد ارتفعت حصة الهند في إجمالي الصادرات النفطية للدول الأعضاء من 4.3% في عام 2000 إلى 6% في عام 2007.

ويوجد لدى الهند ضمن الدول الأعضاء ثلاثة شركاء رئيسيين، وهم السعودية، الإمارات، والكويت. وبلغ حجم الواردات النفطية للهند من هذه الدول في عام 2007 كما يلي: السعودية (339 ألف ب/ي)، الإمارات (277 ألف ب/ي)، والكويت (232 ألف ب/ي).

2- الصين:

سجلت الصين أعلى معدلات النمو في وارداتها النفطية من الدول الأعضاء خلال الفترة (2000-2007) إذ تصاعدت هذه الواردات بمعدل 20.1% سنوياً حيث تضاعفت من 249 ألف ب/ي إلى 898 ألف ب/ي. وارتفعت حصة الدول الأعضاء في إجمالي الواردات النفطية للصين من 11.4% في عام 2000 إلى 19.5% في عام 2007. ويوجد تباين ملحوظ بين معدل نمو واردات النفط الخام وواردات المنتجات النفطية من الدول الأعضاء حيث تضاعدت واردات النفط الخام بمعدل 21% سنوياً لتتضاعف من 232 ألف ب/ي إلى 878 ألف ب/ي. وتستورد الصين كميات محدودة من المنتجات النفطية من الدول الأعضاء، ووصل حجم هذه الواردات إلى 20

ألف ب/ي في عام 2007. وارتفعت حصة الصين في إجمالي الصادرات النفطية من الدول الأعضاء من 1.4% في عام 2000 إلى 4.7% في عام 2007.

وتعتبر السعودية الشريك الأساسي للصين ضمن الدول الأعضاء حيث بلغ إجمالي حجم الواردات النفطية للصين من السعودية 529 ألف ب/ي في عام 2007، أي 60% من إجمالي صادرات الدول الأعضاء إلى الصين. ويأتي العراق في المرتبة الثانية بصادرات بلغت 199 ألف ب/ي في عام 2007، وتليه الإمارات بصادرات وصلت إلى 78 ألف ب/ي.

3- إندونيسيا:

تأتي إندونيسيا في المرتبة الثالثة ضمن الدول الآسيوية من ناحية حجم وارداتها النفطية من الدول الأعضاء خلال الفترة (2000-2007). وضمن هذه الدول سجلت إندونيسيا أعلى معدلات التزايد في وارداتها النفطية من الدول الأعضاء إذ تزايدت هذه الواردات بمعدل 14.3% سنوياً حيث تضاعفت من 203 ألف ب/ي في عام 2000 إلى 516 ألف ب/ي في عام 2007. وتتألف الواردات النفطية لإندونيسيا من الدول الأعضاء خلال الفترة (2000-2007) بصورة رئيسية من المنتجات النفطية التي تصاعدت بمعدل 20.3% سنوياً لتضاعف من 101 ألف ب/ي إلى 367 ألف ب/ي، بينما ارتفعت وارداتها من النفط الخام بمعدل 5.5% سنوياً حيث وصلت إلى 149 ألف ب/ي في عام 2007. وتعتمد إندونيسيا اعتماداً كبيراً على وارداتها النفطية من الدول الأعضاء حيث بلغت حصة الدول الأعضاء 81.2% من إجمالي واردات إندونيسيا في عام 2007. وتشكل الصادرات النفطية من الدول الأعضاء إلى إندونيسيا 2.7% من إجمالي صادرات الدول الأعضاء في عام 2007.

وتعتبر السعودية الشريك الأساسي لإندونيسيا سواء ضمن الدول الأعضاء أو على المستوى العالمي إذ بلغ حجم الواردات النفطية لإندونيسيا من السعودية 296 ألف ب/ي في عام 2007، أي 57.3% من إجمالي واردات إندونيسيا من الدول الأعضاء أو 46.5% من إجمالي واردات إندونيسيا.

4- تايلند:

تعتبر تايلند من الدول الآسيوية التي تعتمد اعتمادا كبيرا على وارداتها النفطية من الدول الأعضاء إذ بلغت حصة الدول الأعضاء 52.7% من إجمالي الواردات النفطية لتايلند في عام 2007. وارتفعت الواردات النفطية لتايلند من الدول الأعضاء بمعدل 4.3% سنويا لتصل إلى 434 ألف ب/ي في عام 2007 بالمقارنة مع 323 ألف ب/ي في عام 2000. ويعكس هذا المعدل تطورات متباينة من ناحية تكوين هذه الواردات إذ ارتفعت وارداتها من النفط الخام بمعدل 5.7% سنويا لتبلغ 419 ألف ب/ي في عام 2007، بينما تقلص حجم وارداتها من المنتجات النفطية بمعدل 13.1% سنويا إذ تراجعت هذه الواردات من 39 ألف ب/ي إلى 15 ألف ب/ي. ويعود التراجع في واردات تايلند من المنتجات النفطية إلى التوسع الملحوظ في بناء طاقات التكرير فيها. وتشكل الصادرات النفطية من الدول الأعضاء إلى تايلند 2.3% من إجمالي الصادرات لهذه الدول.

وتمثل الإمارات الشريك الأول لتايلند حيث بلغ حجم وارداتها النفطية من الإمارات ربع إجمالي الواردات النفطية لتايلند في عام 2007. ووصلت واردات تايلند من الإمارات إلى 207 ألف ب/ي. كما استوردت تايلند كميات صغيرة من كل من السعودية والعراق والكويت وقطر. وبلغ حجم هذه الكميات كما يلي: السعودية (82 ألف ب/ي)، العراق (57 ألف ب/ي)، الكويت (50 ألف ب/ي)، وقطر (36 ألف ب/ي).

5- الفلبين:

كانت الفلبين من الدول ذات الواردات النفطية الصغيرة من الدول الأعضاء إلا أن هذه الواردات شهدت خلال الفترة (2000-2007) تراجعا كبيرا إذ تقلصت من 195 ألف ب/ي في عام 2000 إلى 21 ألف ب/ي في عام 2007، وبذلك تراجعت حصة الفلبين في إجمالي الصادرات النفطية للدول الأعضاء من 1.1% في عام 2000 إلى 0.1% في عام 2007. وتعتبر الكويت الشريك الوحيد للفلبين ضمن الدول الأعضاء في عام 2007.

6- ماليزيا:

استوردت ماليزيا كميات صغيرة من النفط الخام من الدول الأعضاء بلغت 62 ألف ب/ي في عام 2000 إلا أن هذه الواردات لم تعد موجودة في عام 2007. أما واردات ماليزيا من المنتجات النفطية من الدول الأعضاء فقد ارتفعت من 19 ألف ب/ي في عام 2000 إلى 26 ألف ب/ي في عام 2007، منها 16 ألف ب/ي من السعودية.

أما من ناحية **باكستان وفيتنام**، وهما الدولتان الداخلتان ضمن الدول الآسيوية النامية في إطار هذه الدراسة، فلم يكن لديهما أية واردات نفطية من الدول الأعضاء خلال الفترة (2000-2007).

ب- اتجاهات صادرات النفط الخام من منطقتي الشرق الأوسط وشمال إفريقيا إلى الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2008-2016):

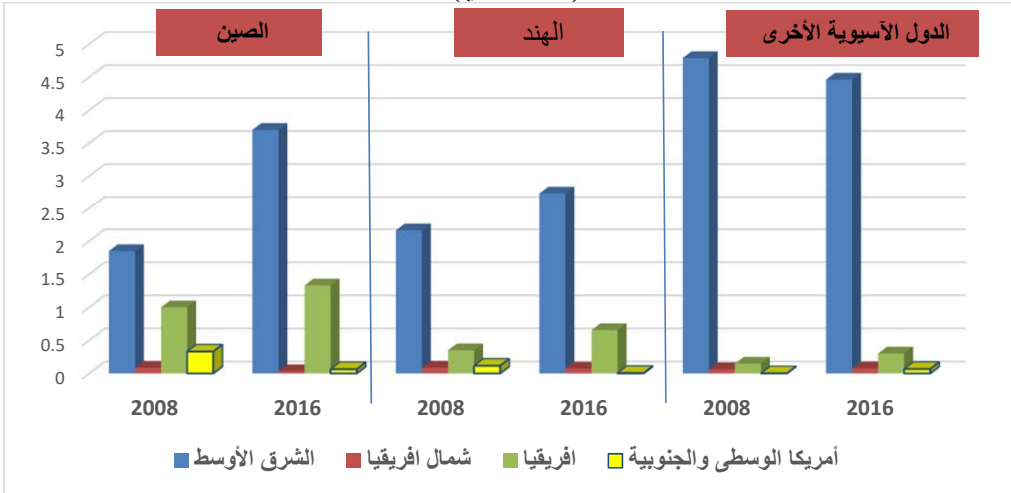
ارتفع إجمالي واردات الدول الآسيوية النامية كافة من النفط الخام بمعدل 2.6% سنوياً خلال الفترة (2008-2016)، ووصل حجم هذه الواردات إلى 17.4 مليون ب/ي في عام 2016 بالمقارنة مع 14.3 مليون ب/ي في عام 2008. وفي الوقت نفسه ازدادت وارداتها من منطقة الشرق الأوسط بمعدل 2.7% سنوياً حيث ارتفعت هذه الواردات من 8.8 مليون ب/ي إلى 10.9 مليون ب/ي، وبذلك ارتفعت حصة هذه المنطقة في إجمالي واردات الدول الآسيوية من 61.4% إلى 62.7%، علماً أن الواردات العالمية من النفط الخام من منطقة الشرق الأوسط قد تراجعت بمعدل 0.2% سنوياً حيث تقلصت من 20.1 مليون ب/ي في عام 2008 إلى 19.7 مليون ب/ي في عام 2016. وبناء على هذه التطورات الهامة فقد ازدادت الأهمية النسبية لواردات الدول الآسيوية النامية من النفط الخام في إجمالي الواردات العالمية من منطقة الشرق الأوسط من 43.8% في عام 2008 إلى 55.2% في عام 2016. الجدول (12) والشكل (12).

الجدول (12)
واردات الدول الآسيوية من النفط الخام خلال الفترة (2000 – 2016)
(مليون ب/ي)

العالم		المجموع		الدول الآسيوية الأخرى		الهند		الصين		
2016	2008	2016	2008	2016	2008	2016	2008	2016	2008	
19.730	20.096	10.889	8.794	4.459	4.786	2.732	2.161	3.698	1.848	الشرق الأوسط
1.168	3.243	0.182	0.233	0.076	0.062	0.073	0.086	0.034	0.084	شمال أفريقيا
20.899	23.340	11.071	9.027	4.535	4.848	2.804	2.247	3.732	1.932	الإجمالي
42.529	54.178	17.359	14.323	5.412	6.942	4.264	3.006	7.684	4.374	العالم
4.485	4.952	2.283	1.494	0.301	0.147	0.653	0.349	1.329	0.998	منها: أفريقيا
3.563	3.581	0.687	0.450	0.067	0.002	0.556	0.116	0.064	0.331	أمريكا الوسطى والجنوبية

المصدر: BP, Statistical Review of World Energy, 2009, 2017.

الشكل (12)
واردات الدول الآسيوية من النفط الخام خلال الفترة (2000 – 2016)
(مليون ب/ي)



المصدر: BP, Statistical Review of World Energy, 2009, 2017.

وتشكل الدول الإفريقية (باستثناء دول شمال إفريقيا) المصدر الثاني لواردات الدول الآسيوية النامية من النفط الخام. وحققت هذه الواردات ارتفاعاً ملحوظاً خلال الفترة (2008-2016) حيث ازدادت بمعدل 5.4% سنوياً لتصل إلى 2.8 مليون ب/ي في عام 2016 بالمقارنة مع 1.5 مليون ب/ي في عام 2008. كما ارتفعت واردات الدول الآسيوية النامية من دول أمريكا الوسطى والجنوبية بمعدل 5.4% سنوياً لتزداد من 450 ألف ب/ي إلى 687 ألف ب/ي.

ونظراً للتباين الكبير بين الدول الآسيوية النامية فيما يتعلق بواردات النفط الخام من منطقة الشرق الأوسط، ستلقي الفقرات التالية الضوء على تطورات هذه الواردات في كل من الصين والهند وبقية الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2008-2016).

- الصين:

ارتفعت واردات الصين من النفط الخام خلال الفترة (2008-2016) بمعدل 7.3% سنوياً إذ ازدادت من 4.4 مليون ب/ي في عام 2008 إلى 7.7 مليون ب/ي في عام 2016. وتمثل منطقة الشرق الأوسط المصدر الأساسي لواردات الصين من النفط الخام. وتضاعفت واردات الصين من هذه المنطقة بمعدل 9.1% سنوياً لتزداد من 1.8 مليون ب/ي في عام 2008 إلى 3.7 مليون ب/ي في عام 2016، وبذلك ارتفعت الأهمية النسبية لمنطقة الشرق الأوسط في إجمالي واردات الصين من 42.2% إلى 48.1% في عام 2016، علماً أن الأهمية النسبية لواردات الصين من منطقة الشرق الأوسط في إجمالي الواردات العالمية من هذه المنطقة قد تضاعفت من 9.2% إلى 18.7% خلال الفترة نفسها.

وتأتي الدول الإفريقية (باستثناء دول شمال إفريقيا) في المرتبة الثانية حيث ارتفعت واردات الصين من هذه المنطقة بمعدل 3.6% سنوياً لتزداد من 1 مليون ب/ي في عام 2008 إلى 1.3 مليون ب/ي في عام 2016. وعلى الرغم من هذه الزيادة إلا أن حصة هذه المنطقة قد تراجعت في إجمالي واردات الصين من 22.8% إلى 17.3% خلال هذه الفترة.

- الهند:

في الوقت الذي ازدادت فيه الواردات الإجمالية للهند من النفط الخام بمعدل 4.5% سنوياً خلال الفترة (2008-2016) لتصل إلى 4.3 مليون ب/ي في عام 2016 فقد ارتفعت وارداتها من منطقة الشرق الأوسط بمعدل 3% سنوياً لتصل إلى 2.7 مليون ب/ي في عام 2016 بالمقارنة مع 2.2 مليون ب/ي في عام 2008. وعليه فقد هبطت حصة منطقة الشرق الأوسط في إجمالي واردات الهند من 71.9% إلى 64.1% خلال الفترة (2008-2016). وعلى الرغم من هبوط حصة منطقة الشرق الأوسط في إجمالي واردات الهند إلا أن الأهمية النسبية لواردات الهند في إجمالي الواردات العالمية من الشرق الأوسط ارتفعت من 10.8% إلى 13.8% خلال الفترة نفسها.

وتعتبر الدول الإفريقية الجهة الرئيسية الثانية بعد الشرق الأوسط من ناحية حجم واردات الهند من النفط الخام حيث ارتفعت هذه الواردات بمعدل مرتفع نسبياً بلغ 8.1% سنوياً إذ وصلت إلى 653 ألف ب/ي في عام 2016 بالمقارنة مع 349 ألف ب/ي في عام 2008. ويلاحظ أن واردات الهند من دول أمريكا الوسطى والجنوبية قد ازدادت بمعدل عال بلغ 21.6% سنوياً حيث تضاعفت هذه الواردات من 116 ألف ب/ي إلى 556 ألف ب/ي.

- الدول الآسيوية النامية الأخرى:

ما تزال هذه المجموعة من الدول تشكل إحدى أهم الجهات المستوردة للنفط الخام من منطقة الشرق الأوسط، وذلك على الرغم تراجع حجم وارداتها من هذه المنطقة بمعدل بلغ 0.9% سنوياً خلال الفترة (2008-2016) حيث تقلصت هذه الواردات من 4.9 مليون ب/ي إلى 4.5 مليون ب/ي. ويلاحظ أنه على الرغم من هذا التراجع إلا أن حصة منطقة الشرق الأوسط في إجمالي واردات هذه المجموعة من الدول قد ازدادت بصورة كبيرة حيث ارتفعت من 68.9% إلى 82.4%. كما يلاحظ أن الأهمية النسبية لواردات النفط الخام لهذه المجموعة في إجمالي الواردات العالمية من منطقة الشرق الأوسط قد انخفضت من 23.8% إلى 22.6%. وتعود هذه

التطورات المتباعدة إلى أن كلا من الواردات الإجمالية لهذه المجموعة والواردات العالمية من منطقة الشرق الأوسط قد تراجعت معا بمعدلات متفاوتة في الوقت ذاته.

الجزء الرابع: التوقعات المستقبلية للطلب على النفط في الدول الآسيوية

تفيد توقعات وكالة الطاقة العالمية إلى أن إجمالي الطلب على الطاقة في الدول الآسيوية النامية سيرتفع خلال الفترة (2020-2040) بمعدل سنوي يتراوح ما بين 1.6% حسب سيناريو السياسات الجديدة (السيناريو الأساس لتوقعات وكالة الطاقة الدولية) و 2.1% حسب سيناريو السياسات الراهنة، علما أن الطلب العالمي الإجمالي على الطاقة سيرتفع بمعدل 0.8% حسب سيناريو السياسات الجديدة و 1.4% حسب سيناريو السياسات الراهنة. وتشير توقعات الوكالة إلى أن حجم الطلب على الطاقة في الدول الآسيوية النامية حسب سيناريو السياسات الجديدة سيصل إلى 108.4 مليون ب م ن ي في عام 2020 ثم إلى 149.4 مليون ب م ن ي في عام 2040. الجدول (13) والشكل (13).

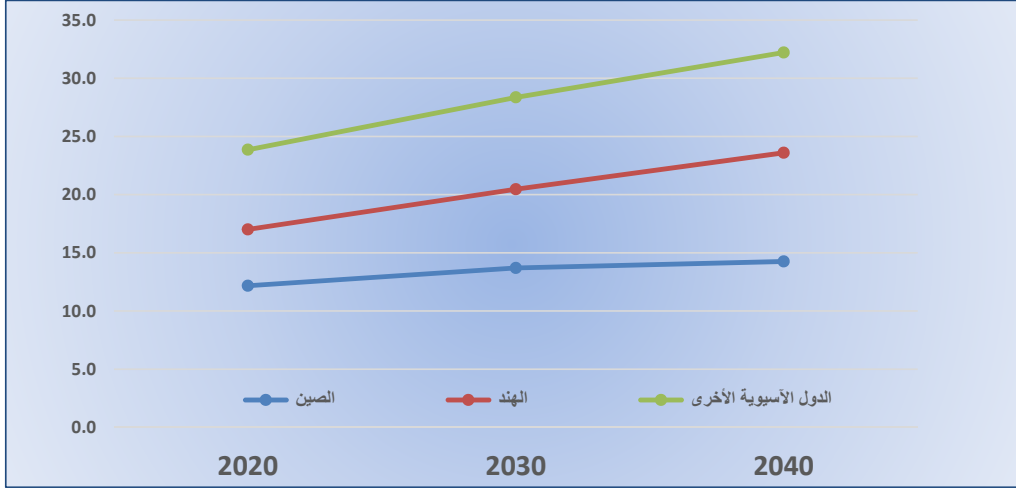
الجدول (13)

التوقعات المستقبلية للطلب على الطاقة في الدول الآسيوية، حسب سيناريو السياسات الجديدة (مليون برميل مكافئ نفط في اليوم)

الصين			الهند			الدول الآسيوية الأخرى			الإجمالي			
2020	2030	2040	2020	2030	2040	2020	2030	2040	2020	2030	2040	
39.8	39.2	35.4	9.6	13.9	18.8	4.3	6.2	8.4	53.7	59.3	62.7	الفحم
12.2	13.7	14.3	4.8	6.8	9.3	6.8	7.9	8.6	23.9	28.4	32.2	النفط
4.8	7.4	9.4	1.1	2.2	3.2	4.3	5.4	7.2	10.2	15.1	19.8	الغاز الطبيعي
2.1	4.4	6.2	0.3	0.9	1.4	0.3	0.4	0.4	2.7	5.6	8.0	الطاقة النووية
2.0	2.4	2.7	0.3	0.5	0.6	0.5	0.7	1.0	2.8	3.6	4.2	الطاقة الكهرومائية
4.2	4.4	5.1	4.2	4.4	4.1	4.0	4.3	4.7	12.4	13.0	14.0	الطاقة الحيوية
1.8	3.4	5.1	0.3	0.8	1.4	0.7	1.2	1.9	2.8	5.4	8.4	الطاقات المتجددة
66.8	74.9	78.2	20.7	29.3	38.9	20.9	26.1	32.3	108.4	130.3	149.4	الإجمالي
292.7	325.0	342.5										العالم

المصدر: IEA, World Energy outlook, 2016

الشكل (13)
التوقعات المستقبلية للطلب على الطاقة في الدول الآسيوية حسب سيناريو السياسات الجديدة
(مليون برميل مكافئ نفط في اليوم)



المصدر: IEA, World Energy outlook, 2016

كما تشير تلك البيانات إلى أن هذا الطلب يتوقع له أن يصل حسب سيناريو السياسات الراهنة إلى 110.9 مليون ب م ن ي في عام 2020 ثم إلى 167.6 مليون ب م ن ي في عام 2040. ويلاحظ أن الفرق قد لا يكون كبيرا جدا بين تقديرات إجمالي الطلب على الطاقة في الدول الآسيوية النامية حسب السيناريوهين في عام 2020، إلا أن البون يظهر واضحا بينهما في عام 2040 إذ أن الفارق بين السيناريوهين في عام 2020 سيبلغ 2.5 مليون ب م ن ي، بينما يتوقع أن يصل هذا الفارق إلى 18.2 مليون ب م ن ي في عام 2040. ولا شك أن هذه الفوارق في التوقعات تؤدي إلى وجود مشكلة ذات صلة بتوقعات واردات الطاقة عموما، وواردات النفط الخام خصوصا. الجدول (14) والشكل (14).

الجدول (14)

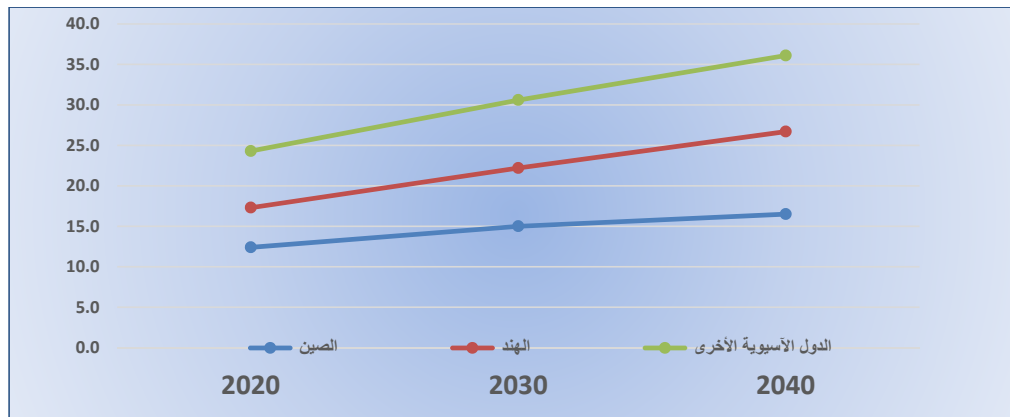
التوقعات المستقبلية للطلب على الطاقة في الدول الآسيوية حسب سيناريو السياسات الراهنة
(مليون برميل مكافئ نفط في اليوم)

الصين			الهند			الدول الآسيوية الأخرى			الإجمالي			
2040	2030	2020	2040	2030	2020	2040	2030	2020	2040	2030	2020	
41.6	46.4	48.2	10.0	16.1	22.7	4.4	7.1	10.3	56.0	69.6	81.3	الفحم
12.4	15.0	16.5	4.9	7.2	10.2	7.0	8.4	9.4	24.3	30.5	36.1	النفط
4.8	7.5	9.7	1.1	2.1	3.1	4.4	5.7	7.7	10.3	15.2	20.6	الغاز الطبيعي
2.1	4.2	5.4	0.3	0.7	1.0	0.2	0.2	0.3	2.6	5.1	6.7	الطاقة النووية
2.0	2.3	2.6	0.3	0.4	0.6	0.5	0.7	0.8	2.8	3.4	4.0	الطاقة الكهرومائية
4.1	4.1	4.6	4.2	4.3	3.9	4.0	4.2	4.4	12.3	12.6	12.9	الطاقة الحيوية
1.6	2.6	3.6	0.2	0.6	1.0	0.7	1.0	1.4	2.6	4.2	6.0	الطاقات المتجددة
68.6	82.0	90.6	21.2	31.3	42.6	21.1	27.2	34.4	110.9	140.6	167.6	الإجمالي
297.6	345.1	394.3										العالم

المصدر: IEA, World Energy outlook, 2016.

الشكل (14)

التوقعات المستقبلية للطلب على الطاقة في الدول الآسيوية حسب سيناريو السياسات الراهنة
(مليون برميل مكافئ نفط في اليوم)



المصدر: IEA, World Energy outlook, 2016.

وعند النظر إلى مزيج الطاقة في الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2020-2040) يتبين أنه من المتوقع أن يستمر الفحم في لعب الدور الأساسي في تلبية متطلبات الطاقة في هذه الدول سواء حسب سيناريو السياسات الراهنة أو سيناريو السياسات الجديدة، علماً أنه من المتوقع أن تتراجع الأهمية النسبية للطلب على الفحم في إجمالي الطلب على الطاقة في هذه الدول خلال

الفترة (2020-2040) من 50.6% إلى 48.5% حسب سيناريو السياسات الراهنة ومن 49.5% إلى 42% حسب سيناريو السياسات الجديدة. ويلاحظ أنه على الرغم من التراجع الصغير في حصة النفط خلال هذه الفترة إلا أن التوقعات تشير إلى أن حصته في عام 2040 ستكون متطابقة حسب السيناريوهين إذ سيساهم النفط في تلبية 21.6% من إجمالي الطلب على الطاقة في هذه الدول في عام 2040. وفي مقابل تراجع حصة الفحم وثبات حصة النفط سيشهد مزيج الطاقة في الدول الآسيوية النامية ارتفاعاً في الأهمية النسبية للغاز الطبيعي الذي يتوقع أن ترتفع حصته حسب سيناريو السياسات الراهنة من 9.3% في عام 2020 إلى 12.3% في عام 2040، بينما يتوقع أن ترتفع حصته حسب سيناريو السياسات الجديدة من 9.4% إلى 13.3% خلال الفترة نفسها. ويتوقع أن تتراجع حصة الطاقة الحيوية حسب السيناريوهين حيث ستتقلص حصتها حسب سيناريو السياسات الراهنة من 11.1% في عام 2020 إلى 7.7% في عام 2040، كما ستتراجع حصتها أيضاً حسب سيناريو السياسات الجديدة من 11.4% إلى 9.4%. ورغم هذا التراجع إلا أن الطاقة الحيوية ستحتفظ بالمرتبة الرابعة في مزيج الطاقة في هذه الدول حتى عام 2040. وستشهد الطاقات المتجددة تطورات متباينة إذ يتوقع أن ترتفع حصتها حسب سيناريو السياسات الراهنة من 2.3% إلى 3.6%، بينما يتوقع أن تتضاعف حصتها حسب سيناريو السياسات الجديدة من 2.6% إلى 5.6% خلال الفترة (2020-2040). وستلعب الطاقة الكهرومائية دوراً ثانوياً إذ يتوقع أن تصل حصتها في عام 2040 إلى 2.4% حسب سيناريو السياسات الراهنة وإلى 2.8% حسب سيناريو السياسات الراهنة.

وعند النظر إلى الطلب المتوقع على النفط في الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2020-2040) فإن توقعات وكالة الطاقة الدولية تشير إلى أن هذا الطلب سيرتفع بمعدل 1.5% سنوياً حسب سيناريو السياسات الجديدة حيث يتوقع أن يزداد من 23.9 مليون ب م ن ي إلى 32.2 مليون ب م ن ي. أما سيناريو السياسات الراهنة فإنه يشير إلى أن الطلب على النفط سيرتفع بمعدل 2% سنوياً ليصل إلى 36.1 مليون ب م ن ي في عام 2040 بالمقارنة مع 24.3 مليون ب م ن ي في عام 2020.

وتلقي الفقرات التالية الضوء على توقعات استهلاك الطاقة في كل من الصين، الهند، وبقية الدول الآسيوية النامية الأخرى خلال الفترة (2020-2040).

- الصين:

ستظل الصين تتصدر مشهد الطاقة خلال الفترة (2020-2040) سواء على المستوى العالمي أو على المستوى الإقليمي حيث يتوقع أن ينمو استهلاك الطاقة بمعدل يتراوح ما بين 0.8% سنوياً حسب سيناريو السياسات الجديدة و1.4% سنوياً حسب سيناريو السياسات الراهنة، وعليه فإنه من المتوقع أن يتراوح هذا الطلب في عام 2040 ما بين 78.2 مليون ب م ن ي حسب سيناريو السياسات الجديدة و90.6 مليون ب م ن ي حسب سيناريو السياسات الراهنة. وتوجد هناك خمس ملاحظات رئيسية على توقعات الطلب على الطاقة في الصين حتى عام 2040، وهذه الملاحظات هي:

- تراجع الدور الأساسي الذي يلعبه الفحم في سد متطلبات الطاقة في الصين في ظل كل من السيناريوهين، لكن ضمن معدلات متفاوتة حيث سيتقلص الطلب على الفحم حسب سيناريو السياسات الجديدة بمعدل 0.6% سنوياً ليتراجع حجم الطلب عليه من 39.8 مليون ب م ن ي في عام 2020 إلى 35.4 مليون ب م ن ي في عام 2040، وعليه ستهبط الأهمية النسبية للفحم في مزيج الطاقة من 59.6% في عام 2020 إلى 45.3% في عام 2040. أما توقعات سيناريو السياسات الراهنة فتشير إلى أن الطلب على الفحم سينمو بمعدل 0.7% سنوياً ليرتفع من 41.6 مليون ب م ن ي إلى 48.2 مليون ب م ن ي، وعليه ستتقلص المساهمة النسبية للفحم في مزيج الطاقة من 60.6% في عام 2020 إلى 53.2% في عام 2040.
- استمرار النفط في القيام بدوره كمصدر ثان في تلبية احتياجات الطاقة في الصين حيث تتطابق توقعات كل من السيناريوهين حول حصة النفط في إجمالي الطلب على الطاقة في الصين إذ ستسقر مساهمته عند 18.2% في عام 2040، وذلك حسب السيناريوهين.

ويتوقع أن ينمو الطلب على النفط بمعدل يتراوح ما بين 0.8% حسب سيناريو السياسات الجديدة و 1.4% حسب سيناريو السياسات الراهنة، وعليه يتوقع أن يصل حجم هذا الطلب في عام 2040 إلى 14.3 مليون ب م ن ي حسب سيناريو السياسات الجديدة و 16.5 مليون ب م ن ي حسب سيناريو السياسات الراهنة.

- ازدياد الطلب على الغاز الطبيعي بمعدل مرتفع نسبيا حيث سينمو هذا الطلب بمعدل 3.4% حسب سيناريو السياسات الجديدة أو بمعدل 3.6% حسب سيناريو السياسات الراهنة. وبذلك ستتراوح حصة الغاز الطبيعي في مزيج الطاقة في الصين في عام 2040 إلى 10.7% حسب سيناريو السياسات الراهنة أو إلى 12% حسب سيناريو السياسات الجديدة.

- سيسجل الطلب الطاقة النووية أعلى معدلات النمو ضمن مصادر الطاقة المختلفة إذ يتوقع أن يزداد الطلب على هذا المصدر بمعدل 4.9% سنويا حسب سيناريو السياسات الراهنة أو بمعدل 5.6% حسب سيناريو السياسات الجديدة، وعليه ستصل مساهمة الطاقة النووية في إجمالي الطلب على الطاقة إلى 6% حسب سيناريو السياسات الراهنة أو إلى 7.9% حسب سيناريو السياسات الراهنة.

- سترتفع الأهمية النسبية لكل من الطاقة الحيوية والطاقات المتجددة إذ ستصل حصة كل من هذين المصدرين إلى 6.6% في عام 2040 حسب سيناريو السياسات الجديدة، بينما ستصل حصتهما إلى 5.1% و 3.1% على التوالي حسب سيناريو السياسات الراهنة.

- الهند:

يتوقع أن تسجل الهند أعلى معدلات النمو في الطلب على الطاقة ضمن الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2020-2040) حيث سيتراوح معدل الزيادة في هذا الطلب ما بين 3.2% سنويا حسب سيناريو السياسات الجديدة و 3.6% حسب سيناريو السياسات الراهنة. وعليه سيتراوح حجم الطلب على الطاقة في الهند ما بين 38.9- 42.6 مليون ب م ن ي في عام 2040.

وتوجد هناك خمس ملاحظات رئيسية على توقعات الطلب على الطاقة في الهند حتى عام 2040، وهذه الملاحظات هي:

- استمرار الفحم باعتباره المصدر الأساسي لتلبية متطلبات الطاقة في الهند حتى عام 2040 إذ يتوقع أن تتراوح حصته ما بين 48.3% حسب سيناريو السياسات الجديدة و 53.3% حسب سيناريو السياسات الراهنة.
- ستتقارب حصة النفط في كل من السيناريوهين حيث ستبلغ هذه الحصة 23.9% حسب سيناريو السياسات الراهنة و 24% حسب سيناريو السياسات الجديدة. ويتوقع أن ينمو الطلب على النفط بمعدل 3.3% حسب سيناريو السياسات الجديدة ليصل إلى 9.3 مليون ب م ن ي في عام 2040، أو بمعدل 3.7% حسب سيناريو السياسات الراهنة ليلبلغ 10.2 مليون ب م ن ي في العام نفسه.
- ستتقلص حصة الطاقة الحيوية بصورة كبيرة في ظل كل من السيناريوهين إذ ستتقلص مساهمتها في مزيج الطاقة من 20.3% في عام 2020 إلى 10.6% في عام 2040 حسب سيناريو السياسات الجديدة، بينما ستراجع هذه الحصة من 19.9% إلى 9.2% خلال الفترة نفسها.
- سترتفع مساهمة الغاز الطبيعي خلال الفترة (2020-2040) من 5.4% إلى 7.3% حسب سيناريو السياسات الراهنة، بينما سترتفع من 5.5% إلى 8.3% حسب سيناريو السياسات الجديدة.
- ستلعب مصادر الطاقة الأخرى (الطاقة النووية، الطاقات المتجددة، والطاقة الكهرومائية) أدواراً صغيرة ثانوية نسبياً إذ ستتراجع مساهمتها ككل ما بين 6.1% حسب سيناريو السياسات الراهنة و 8.8% حسب سيناريو السياسات الجديدة.

- الدول الآسيوية النامية الأخرى:

يتوقع أن ينمو الطلب على الطاقة في هذه المجموعة من الدول بمعدل يفوق المعدل المتوقع في الصين، لكن أقل من المعدل المتوقع في الهند إذ سيرتفع الطلب بمعدل يتراوح ما بين 2.2% سنوياً حسب سيناريو السياسات الجديدة أو 2.5% سنوياً حسب سيناريو السياسات الراهنة. وبذلك يتوقع أن يتراوح إجمالي الطلب على الطاقة في هذه الدول ما بين 32.3 - 34.4 مليون ب م ن ي في عام 2040.

وتوجد هناك خمس ملاحظات رئيسية على توقعات الطلب على الطاقة في هذه الفئة من الدول حتى عام 2040، وهذه الملاحظات هي:

- استمرار مصادر الطاقة الهيدروكربونية مجتمعة في لعب الدور الأساسي في تلبية متطلبات الطاقة في هذه الدول، لكن مع تغير في الأهمية النسبية لكل من الفحم والنفط في مزيج الطاقة، وذلك حسب كل من السيناريوهين، إذ يشكل الفحم المصدر الرئيسي حسب سيناريو السياسات الراهنة، بينما يشكل النفط المصدر الرئيسي الثاني حسب سيناريو السياسات الجديدة، ويليهما الغاز الطبيعي كمصدر رئيسي ثالث في ظل كل من السيناريوهين.
- سيرتفع الطلب على النفط بمعدل 1.2% سنوياً حسب سيناريو السياسات الجديدة ليصل إلى 8.6 مليون ب م ن ي في عام 2040، بينما سيزداد بمعدل 1.5% سنوياً حسب سيناريو السياسات الراهنة ليلبلغ 9.4 مليون ب م ن ي في العام ذاته. وعليه ستصل حصة النفط في مزيج الطاقة في عام 2040 إلى 26.7% حسب سيناريو السياسات الجديدة أو إلى 27.5% حسب سيناريو السياسات الراهنة.
- سيرتفع الطلب على الفحم بمعدل 3.4% سنوياً حسب سيناريو السياسات الجديدة أو بمعدل 4.4% سنوياً حسب سيناريو السياسات الراهنة، وعليه سيتراوح حجم الطلب على الفحم

- ما بين 8.4 – 10.3 مليون ب م ن ي في عام 2040. وبذلك ستتراوح حصة الفحم في مزيج الطاقة في هذه الفئة من الدول في عام 2040 ما بين 26.1% - 30%.
- سيحافظ الغاز الطبيعي على مركزه كالثالث أهم المصادر في مزيج الطاقة في هذه الفئة من الدول حيث تتطابق التوقعات حول حصته التي ستتراوح ما بين 22.3% - 22.4% في عام 2040.
 - ستتقلص حصة الطاقة الحيوية في مزيج الطاقة لتصل في عام 2040 إلى 12.9% حسب سيناريو السياسات الراهنة أو إلى 14.7% حسب سيناريو السياسات الجديدة.
 - ستساهم بقية مصادر الطاقة (الطاقات المتجددة، الطاقة الكهرومائية، والطاقة النووية) مساهمة صغيرة نسبياً إذ ستتراوح حصتها مجتمعة في عام 2040 ما بين 7.3% حسب سيناريو السياسات الراهنة و10.2% حسب سيناريو السياسات الجديدة.

الجزء الخامس: تأثير التطورات المستقبلية في الطلب على النفط في الدول الآسيوية النامية على الصادرات النفطية من الدول الأعضاء

إن التعرف على مدى تأثير التطورات المستقبلية في الطلب على النفط في الدول الآسيوية النامية على صادرات الدول الأعضاء من النفط يتطلب توفر البيانات الكافية عن عدة عناصر، ومن أهم هذه العناصر حجم الزيادة المتوقعة في الطلب على النفط في هذه الدول من ناحية، والحصة المتوقعة من هذه الزيادة التي ستذهب إلى الدول الأعضاء من ناحية أخرى.

ومن ناحية حجم الزيادة في الطلب المتوقع على النفط في الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2016-2040) فإنه يستفاد من الفقرات الواردة سابقاً في هذه الدراسة حول توقعات الطلب على النفط أن حجمها سيتراوح ما بين 11.4 - 15.5 مليون ب/ي، منها حوالي 2.3 - 4.6 مليون ب/ي في الصين، وحوالي 5.2 - 6 مليون ب/ي في الهند، وحوالي 4 - 4.8 مليون ب/ي في الدول الآسيوية النامية الأخرى. والجدير بالذكر أن هذه الزيادة في طلب الدول الآسيوية النامية على النفط ستعوض حجم التراجع في الطلب في المناطق الأخرى في العالم حسب سيناريو

السياسات الجديدة إذ يتوقع أن يبلغ حجم التراجع في الطلب على النفط في بقية دول العالم حسب هذا السيناريو 4.1 مليون ب/ي في عام 2040 حيث يتوقع أن يبلغ حجم الزيادة في الطلب العالمي 7.3 مليون ب/ي، بينما ستشكل الزيادة في طلب الدول الآسيوية النامية حسب سيناريو السياسات الراهنة أكثر من ثلاثة أرباع (76.7%) حجم الزيادة في الطلب العالمي التي يقدر أن تصل إلى 20.2 مليون ب/ي.

أما من ناحية الحصة من هذه الزيادة التي يتوقع أن تذهب إلى الدول الأعضاء فإن تقديرات هذه الحصة تقوم على افتراضين. والافتراض الأول هو ثبات مستويات الإنتاج المحلي في الدول الآسيوية النامية حتى عام 2040، علماً أن التوقعات تشير إلى تراجع هذا الإنتاج خلال الفترة القادمة، وعليه فإن كل الزيادة في طلب الدول الآسيوية النامية سيتم توفيرها من خلال الاستيراد من الخارج. والافتراض الثاني هو استمرار الاتجاهات التاريخية التي كانت سائدة لواردات الدول الآسيوية النامية في الفترات الماضية. وعليه يمكن الاستدلال على تقديرات حصة الدول الأعضاء استناداً إلى البيانات الواردة سابقاً في هذه الدراسة التي تقيد بأن حصة الدول الأعضاء من الواردات النفطية للدول الآسيوية النامية قد بلغت حوالي 30% من إجمالي هذه الواردات، كما أن حصة الدول الأعضاء قد بلغت 40% من واردات الهند وحوالي 20% من واردات الصين.

بناءً على هذه التقديرات يمكن القول إنه يتوقع أن يتراوح حجم الزيادة في الصادرات النفطية من الدول الأعضاء إلى الدول الآسيوية النامية ما بين 3.4 – 4.6 مليون ب/ي في عام 2040. كما يتوقع أن يتراوح حجم الزيادة في الصادرات إلى الهند ما بين 2.1 – 2.4 مليون ب/ي. أما حجم الزيادة المتوقعة في الصادرات إلى الصين فسيتراوح ما بين 0.5 – 0.9 مليون ب/ي. وبالنسبة إلى بقية الدول الآسيوية النامية الأخرى فسيتراوح حجم الزيادة في صادرات الدول الأعضاء إلى هذه الدول ككل ما بين 0.9 – 1.3 مليون ب/ي.

الاستنتاجات والتوصيات

أولاً: الأوضاع الاقتصادية في مجموعة الدول الآسيوية النامية

1. حققت الدول الآسيوية النامية الرئيسية معدلات نمو مرتفعة خلال الفترة (2000-2015) حيث ازداد الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة في هذه الدول ككل بمعدل 7.8% سنوياً، وهو أكثر من ضعف معدل النمو في الناتج المحلي العالمي والبالغ 3.7%. وأدى النمو المرتفع في هذه الدول إلى تضاعف حصتها في الناتج المحلي العالمي بالأسعار الثابتة من 17.1% في عام 2000 إلى 30.7% في عام 2015.
2. سجل الاقتصاد الصيني أعلى معدلات النمو سواء على النطاق الإقليمي أو العالمي إذ تصاعد الناتج المحلي الإجمالي في الصين بمعدل 9.5% سنوياً حيث تضاعف هذا الناتج بحوالي أربع مرات ليزداد من 4.9 تريليون دولار أمريكي في عام 2000 إلى 19.1 تريليون دولار أمريكي في عام 2015، وبذلك ارتفعت حصة الصين في الناتج المحلي العالمي من 7.8% في عام 2000 إلى 17.6% في عام 2015.
3. تشير توقعات إلى أن الصين ستحافظ على المركز الأول في حجم الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة حيث سيتضاعف هذا الناتج من 17.6 تريليون دولار أمريكي في عام 2014 إلى 36.1 تريليون دولار أمريكي في عام 2030 ثم إلى 61.1 تريليون دولار أمريكي في عام 2050.

ثانياً: إنتاج النفط في الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2000-2016)

1. ارتفع إنتاج النفط في الدول الآسيوية النامية بمعدل 0.5% سنوياً خلال الفترة (2000-2016) ليصل إلى حوالي 7.3 مليون ب/ي في عام 2016 بالمقارنة مع حوالي 6.7 مليون ب/ي في عام 2000.

2. إن الصين هي الدولة الرئيسية المنتجة للنفط ضمن هذه المجموعة حيث تجاوزت حصتها نصف (55.1 %) إجمالي إنتاج النفط في هذه المجموعة في عام 2016. وازداد إنتاج النفط في الصين بمعدل 1.3% سنوياً خلال الفترة (2000-2016) حيث ارتفع من حوالي 3.3 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 4.4 مليون ب/ي في عام 2016. ويشكل هذا المستوى من الإنتاج نسبة لا تتجاوز 4.3% من الإنتاج العالمي من النفط في عام 2016.

ثالثاً: استهلاك الطاقة في الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2000-2016)

1. تضاعف استهلاك الطاقة في الدول الآسيوية النامية بأكثر من ثلاث مرات حيث قفز من 28.1 مليون برميل مكافئ نفط في اليوم (ب م ن ي) في عام 2000 إلى 88.2 مليون ب م ن ي في عام 2016، وتضاعفت حصة هذه الدول في إجمالي استهلاك الطاقة في العالم من 15.4% إلى 33.1%.
2. يعتبر الفحم المصدر الأساسي الذي يلبي متطلبات اقتصادات هذه الدول من الطاقة. وارتفعت الأهمية النسبية للفحم في إجمالي استهلاك الطاقة في هذه الدول من 50% في عام 2000 إلى 55.7% في عام 2016. وارتفعت حصة هذه الدول في إجمالي استهلاك الفحم في العالم من 31.5% إلى 65.6%.
3. تعتبر الصين المستهلك الأكبر للفحم سواء على الصعيد العالمي أو الصعيد الإقليمي. وتضاعفت حصة الصين في الاستهلاك العالمي من الفحم من 22.4% في عام 2000 إلى نصف (50.8%) هذا الاستهلاك في عام 2016. وتأتي الهند في المرتبة الثانية على المستوى العالمي إذ ارتفعت حصتها في إجمالي استهلاك العالم من الفحم من 7.7% إلى 16.8%.

رابعاً: استهلاك النفط في الدول الآسيوية النامية

1. تصاعد استهلاك النفط في الدول الآسيوية النامية بمعدل 4.9% حيث تضاعف من 10.4 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 22.5 مليون ب/ي في عام 2016. وازدادت حصة الدول

الآسيوية النامية في إجمالي استهلاك النفط في العالم من 13.6% في عام 2000 إلى 23.8% في عام 2016.

2. شهد استهلاك النفط في الصين قفزة كبيرة خلال الفترة (2000-2016) حيث يلاحظ أن حصة الصين في إجمالي استهلاك العالم من النفط قد ارتفعت من برميل واحد من أصل 16 برميلا في عام 2000 إلى برميل واحد من أصل ثمانية براميل في عام 2016 إذ ارتفع استهلاك الصين بمعدل 6.2% سنويا ليتضاعف من 4.9 مليون ب/ي إلى 12.8 مليون ب/ي.

3. ارتفع استهلاك النفط في الهند بمعدل 4.4% سنويا حيث تضاعف من 2.6 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 4.5 مليون ب/ي في عام 2016، وعليه فقد ارتفعت حصة الهند في إجمالي استهلاك العالم من النفط من 2.9% إلى 4.6%.

4. أصبحت الصين أكبر مستهلك للطاقة في العالم بعد أن كانت تحتل المرتبة الثانية بعد الولايات المتحدة الأمريكية في عام 2000. وحقت الصين قفزة كبيرة في مجال استهلاك الطاقة خلال الفترة (2000-2016) حيث تضاعف هذا الاستهلاك 3.8 مرة إذ تصاعد بمعدل 8.6% سنويا ليزداد من 16.5 مليون ب م ن ي في عام 2000 إلى 61.9 مليون ب م ن ي في عام 2016. ونتيجة لهذه القفزة أصبحت الصين تستهلك ما يقارب ربع (23.2%) إجمالي استهلاك الطاقة في العالم في عام 2016 بالمقارنة مع 9% في عام 2000.

5. أصبحت الهند ثالث أكبر مستهلك للطاقة في العالم بعد الصين والولايات المتحدة الأمريكية بعد أن كانت في عام 2000 تأتي في المرتبة السادسة بعد الولايات المتحدة الأمريكية والصين وروسيا واليابان وألمانيا. وارتفع استهلاك الطاقة في الهند بمعدل 5.4% سنويا خلال الفترة (2000-2016) حيث تضاعف من 6.3 مليون ب م ن ي إلى 14.5 مليون ب م ن ي. وعليه فقد ارتفعت حصة الهند في إجمالي استهلاك العالم من الطاقة من 3.4% في عام 2000 إلى 5.5% في عام 2016.

6. ازدادت الحاجة إلى استيراد النفط في الدول الآسيوية النامية من حوالي 7 مليون ب/ي في عام 2000 إلى حوالي 15.3 مليون ب/ي في عام 2016. وتعود الزيادة في العجز بالدرجة الأولى إلى الصين التي ازداد فيها العجز من 3.9 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 8.8 مليون ب/ي في عام 2016. وتأتي الهند في المرتبة الثانية من ناحية حجم فجوة النفط إذ ازدادت فيها هذه الفجوة من 1.9 مليون ب/ي إلى 3.6 مليون ب/ي.
7. ارتفع حجم طاقات التكرير في الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2000-2015) بمعدل 4.8% سنوياً حيث تضاعفت هذه الطاقات من 10.8 مليون ب/ي إلى 22.6 مليون ب/ي. وبذلك ازدادت حصتها في إجمالي طاقات التكرير المتاحة في العالم من 13.1% إلى 23.2%.
8. استمر وجود الفائض في طاقات التكرير إذ ارتفع الإنتاج من 8.8 مليون ب/ي إلى 19.1 مليون ب/ي. وهذا يعني أن الفائض في طاقات التكرير في هذه الدول قد ازداد من 2 مليون ب/ي في عام 2000 إلى ما يقارب 3.5 مليون ب/ي في عام 2016.

خامساً: الواردات النفطية للدول الآسيوية النامية

1. ارتفع حجم إجمالي واردات الدول الآسيوية من النفط الخام والمنتجات النفطية بمعدل 7.2% سنوياً خلال الفترة (2000-2015) إذ تضاعفت هذه الواردات بما يقارب ثلاث مرات حيث ازدادت من 6.2 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 17.6 مليون ب/ي في عام 2015، وعليه فقد ارتفعت حصة هذه الدول في إجمالي الواردات النفطية العالمية من 10.4% في عام 2000 إلى 16.8% في عام 2015.
2. ازداد حجم إجمالي الواردات النفطية للصين بمعدل 9.5% سنوياً خلال الفترة (2000-2015) حيث تضاعفت هذه الواردات بما يقارب أربع مرات لتصل إلى 8.5 مليون ب/ي في عام 2015 بالمقارنة مع 2.2 مليون ب/ي في عام 2000.

3. تزايد حجم الواردات النفطية للهند بمعدل 7.4% سنويا خلال الفترة (2000-2015) حيث تضاعفت مما يقارب 1.7 مليون ب/ي إلى ما يربو قليلا عن 4.8 مليون ب/ي. وبذلك ارتفعت حصة الهند في إجمالي الواردات النفطية العالمية من 2.2% إلى 4.6%.

سادسا: اتجاهات صادرات الدول الأعضاء من النفط الخام والمنتجات النفطية إلى الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2000-2007)

1. في الوقت الذي تصاعدت فيه الواردات النفطية الإجمالية للدول الآسيوية النامية من العالم بمعدل 7.2% سنويا خلال الفترة (2000-2007) فقد ازدادت هذه الواردات من الدول الأعضاء بمعدل 4.5% سنويا خلال الفترة نفسها حيث ارتفعت من 2.2 مليون ب/ي في عام 2000 إلى 3 مليون ب/ي في عام 2007. وعليه فقد تراجعت حصة الدول الأعضاء في إجمالي الواردات النفطية للدول الآسيوية من 35.9% في عام 2000 إلى 30% في عام 2007.

2. تعتبر الهند المستورد الرئيسي للنفط الخام والمنتجات النفطية من الدول الأعضاء ضمن الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2000-2007) وارتفع حجم إجمالي هذه الواردات بمعدل 5.6% سنويا ليبلغ حوالي 1.2 مليون ب/ي في عام 2007 بالمقارنة مع 783 ألف ب/ي في عام 2000. ومع ذلك فقد انخفضت حصة الدول الأعضاء في إجمالي الواردات النفطية للهند من 47% في عام 2000 إلى 41.7% في عام 2007.

3. سجلت الصين أعلى معدلات النمو في وارداتها النفطية من الدول الأعضاء خلال الفترة (2000-2007) إذ تصاعدت هذه الواردات بمعدل 20.1% سنويا حيث تضاعفت من 249 ألف ب/ي إلى 898 ألف ب/ي. وارتفعت حصة الدول الأعضاء في إجمالي الواردات النفطية للصين من 11.4% في عام 2000 إلى 19.5% في عام 2007. وارتفعت حصة الصين في إجمالي الصادرات النفطية من الدول الأعضاء من 1.4% في عام 2000 إلى 4.7% في عام 2007.

سابعاً: اتجاهات صادرات النفط الخام من منطقتي الشرق الأوسط وشمال إفريقيا إلى الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2008-2016):

1. ارتفع إجمالي واردات الدول الآسيوية النامية كافة من النفط الخام بمعدل 2.6% سنوياً خلال الفترة (2008-2016)، ووصل حجم هذه الواردات إلى 17.4 مليون ب/ي في عام 2016 بالمقارنة مع 14.3 مليون ب/ي في عام 2008. وفي الوقت نفسه ازدادت وارداتها من منطقة الشرق الأوسط بمعدل 2.7% سنوياً حيث ارتفعت هذه الواردات من 8.8 مليون ب/ي إلى 10.9 مليون ب/ي، وبذلك ارتفعت حصة هذه المنطقة في إجمالي واردات الدول الآسيوية من 61.4% إلى 62.7%. وازدادت الأهمية النسبية لواردات الدول الآسيوية النامية من النفط الخام في إجمالي الواردات العالمية من منطقة الشرق الأوسط من 43.8% في عام 2008 إلى 55.2% في عام 2016.

2. ارتفعت واردات الصين من النفط الخام خلال الفترة (2008-2016) بمعدل 7.3% سنوياً إذ ازدادت من 4.4 مليون ب/ي في عام 2008 إلى 6.7 مليون ب/ي في عام 2016. وتمثل منطقة الشرق الأوسط المصدر الأساسي لواردات الصين من النفط الخام. وتساعدت واردات الصين من هذه المنطقة بمعدل 9.1% سنوياً لتزداد من 1.8 مليون ب/ي في عام 2008 إلى 3.7 مليون ب/ي في عام 2016، وبذلك ارتفعت الأهمية النسبية لمنطقة الشرق الأوسط في إجمالي واردات الصين من 42.2% عام 2008 إلى 48.1% في عام 2016، علماً أن الأهمية النسبية لواردات الصين من منطقة الشرق الأوسط في إجمالي الواردات العالمية من هذه المنطقة قد ارتفعت من 9.2% إلى 18.7% خلال الفترة نفسها.

3. ازدادت الواردات الإجمالية للهند من النفط الخام بمعدل 4.5% سنوياً خلال الفترة (2008-2016) لتصل إلى 4.3 مليون ب/ي في عام 2016 بينما ارتفعت وارداتها من منطقة الشرق الأوسط بمعدل 3% سنوياً لتصل إلى 2.7 مليون ب/ي في عام 2016 بالمقارنة مع 2.2 مليون ب/ي في عام 2008. وعليه فقد هبطت حصة منطقة الشرق

الأوسط في إجمالي واردات الهند من 71.9% إلى 64.1% خلال الفترة (2008-2016). وعلى الرغم من هبوط حصة منطقة الشرق الأوسط في إجمالي واردات الهند إلا أن الأهمية النسبية لواردات الهند في إجمالي الواردات العالمية من الشرق الأوسط ارتفعت من 10.8% إلى 13.8% خلال الفترة نفسها.

ثامنا: التوقعات المستقبلية للطلب على النفط والطاقة في الدول الآسيوية النامية

1. يتوقع أن يرتفع الطلب على النفط في الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2020-2040) حسب تقديرات توقعات وكالة الطاقة الدولية بمعدل 1.5% سنويا حسب سيناريو السياسات الجديدة حيث يتوقع أن يزداد من 23.9 مليون ب م ن ي إلى 32.2 مليون ب م ن ي. أما سيناريو السياسات الراهنة فإنه يشير إلى أن الطلب على النفط سيرتفع بمعدل 2% سنويا ليصل إلى 36.1 مليون ب م ن ي في عام 2040 بالمقارنة مع 24.3 مليون ب م ن ي في عام 2020.
2. ستظل الصين تتصدر مشهد الطاقة خلال الفترة (2020-2040) سواء على المستوى العالمي أو على المستوى الإقليمي حيث يتوقع أن ينمو استهلاك الطاقة بمعدل يتراوح ما بين 0.8% سنويا حسب سيناريو السياسات الجديدة و 1.4% سنويا حسب سيناريو السياسات الراهنة، وعليه فإنه من المتوقع أن يتراوح هذا الطلب في عام 2040 ما بين 78.2 مليون ب م ن ي حسب سيناريو السياسات الجديدة و 90.6 مليون ب م ن ي حسب سيناريو السياسات الراهنة.
3. يتوقع أن تسجل الهند أعلى معدلات النمو في الطلب على الطاقة ضمن الدول الآسيوية النامية خلال الفترة (2020-2040) حيث سيتراوح معدل الزيادة في هذا الطلب ما بين 3.2% سنويا حسب سيناريو السياسات الجديدة و 3.6% حسب سيناريو السياسات الراهنة. وعليه سيتراوح حجم الطلب على الطاقة في الهند ما بين 38.9 - 42.6 مليون ب م ن ي في عام 2040.

تاسعا: تأثير التطورات المستقبلية في الطلب على النفط في الدول الآسيوية النامية على الصادرات النفطية من الدول الأعضاء

يتوقع أن يتراوح حجم الزيادة في الصادرات النفطية من الدول الأعضاء إلى الدول الآسيوية النامية ما بين 3.4 – 4.6 مليون ب/ي في عام 2040. كما يتوقع أن يتراوح حجم الزيادة في الصادرات إلى الهند ما بين 2.1 – 2.4 مليون ب/ي. أما حجم الزيادة المتوقعة في الصادرات إلى الصين فسيتراوح ما بين 0.5 – 0.9 مليون ب/ي. وبالنسبة إلى بقية الدول الآسيوية النامية الأخرى فسيتراوح حجم الزيادة في صادرات الدول الأعضاء إلى هذه الدول ككل ما بين 0.9 – 1.3 مليون ب/ي.

توصيات ختامية

توصي الدراسة بمتابعة التطورات في الطلب على النفط في الدول الآسيوية بصورة عامة، وفي الصين والهند بصورة خاصة، وذلك نظرا لما سيشكله حجم الزيادة الملموسة في الطلب المتوقع على النفط في كل من الصين والهند من تأثير على أسواق النفط العالمية من ناحية، وعلى وارداتهما من الدول الأعضاء من ناحية ثانية.

-
- ¹ World Bank, *Global Economic Prospects*, January 2017, p 4.
- ² Martin Wolf, “China faces a tough fight to escape its debt trap”, *Financial Times*, April 11, 2017, <https://www.ft.com/content/1c096f72-1ddc-11e7-b7d3-163f5a7f229c>.
- ³ Martin Wolf, “Chinese finance is storing up trouble for the rest of the world”, *Financial Times*, April 4, 2017, <https://www.ft.com/content/da94e4e2-1787-11e7-9c35-Odd2cb31823a>.
- ⁴ Lawrence Summers, “The US must work on its economic relationship with China”, *Financial Times*, April 9, 2017, <https://www.ft.com/content/abbeb10a-1b85-11e7-a266-12672483791a>.
- ⁵ Richard Haass, *A World in Disarray: American Foreign Policy and the Crisis of the Old Order*, 2017, p 223.
- ⁶ Chinese President Xi Jinping’s keynote speech at the *World Economic Forum* in Davos, Switzerland, January 17, 2017, <https://america.cgtn.com/2017/01/17/full-text-of-xi-jinping-keynote-at-the-world-economic-forum>.
- ⁷ Lawrence Summers, “The US must work on its economic relationship with China”, *Financial Times*, April 9, 2017, <https://www.ft.com/content/abbeb10a-1b85-11e7-a266-12672483791a>.

⁸ PricewaterhouseCoopers (PwC), *The World in 2050: Will the shift in global economic power continue?*, 2015.

² BP, *BP Statistical Review of World Energy*, June 2016,
<http://www.bp.com/statisticalreview>.

¹⁰ BP, *BP Statistical Review of World Energy*, June 2016,
<http://www.bp.com/statisticalreview>.

¹¹ BP, *BP Statistical Review of World Energy*, June 2016,
<http://www.bp.com/statisticalreview>.

¹² Ramya Krishnaswamy, “7 factors shaping China’s energy future”, *World Economic Forum*, September 7, 2015,
<https://www.weforum.org/agenda/2015/09/7-factors-chinas-energy-future/>.

ملحق

الجداول الإحصائية

الجدول (1)										
واردات الدول الآسيوية من النفط الخام من الدول الأعضاء في عام 2000										
(ألف ب/ي)										
العالم	المجموع	ماليزيا	فيتنام	الفلبين	تايلند	باكستان	إندونيسيا	الهند	الصين	
2080.8	438.0	19.4	0.0	82.1	146.4	0.0	1.2	180.0	8.9	الإمارات
1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	البحرين
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	تونس
623.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	الجزائر
6353.7	631.3	42.6	0.0	95.2	61.3	0.0	98.2	220.0	114.0	السعودية
334.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	سوريا
1992.8	110.9	0.0	0.0	0.0	23.8	0.0	2.6	20.0	64.5	العراق
718.0	83.6	0.0	0.0	16.5	23.8	0.0	0.0	10.0	33.3	قطر
1408.2	177.8	0.0	0.0	0.0	29.2	0.0	0.0	140.0	8.6	الكويت
1045.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	ليبيا
196.9	52.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	2.3	مصر
14755.4	1493.9	62.0	0.0	193.8	284.5	0.0	102.0	620.0	231.6	المجموع
41997.9	4095.3	139.9	4.0	309.7	684.0	100.0	230.4	1219.7	1407.6	العالم

الجدول (2)
واردات الدول الآسيوية من المنتجات النفطية من الدول الأعضاء في عام 2000
(ألف ب/ي)

العالم	المجموع	ماليزيا	فيتنام	الفلبين	تايلند	باكستان	إندونيسيا	الهند	الصين	
الإمارات	396.7	62.2	2.4	0.0	0.6	8.1	0.0	4.9	40.0	6.2
البحرين	252.9	25.4	1.9	0.0	0.0	0.5	0.0	0.6	20.0	2.4
تونس	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
الجزائر	543.8	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0
السعودية	1312.9	119.7	11.6	0.0	0.4	26.2	0.0	33.1	40.0	8.4
سوريا	27.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
العراق	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
قطر	71.3	0.9	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.5	0.0	0.0
الكويت	678.2	128.8	2.8	0.0	0.0	3.7	0.0	61.5	60.0	0.8
ليبيا	237.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
مصر	113.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
المجموع	3656.0	340.0	18.7	0.0	1.0	38.9	0.0	100.6	163.0	17.8
العالم	18224.6	2138.2	191.0	126.1	39.3	90.9	192.7	274.5	445.9	777.8

المصدر:

World Oil Trade, 2002.

الجدول (3)
واردات الدول الآسيوية من النفط الخام والمنتجات النفطية من الدول الأعضاء في عام 2000
(ألف ب/ي)

العالم	المجموع	ماليزيا	فيتنام	الفلبين	تايلند	باكستان	إندونيسيا	الهند	الصين	
الإمارات	2477.5	500.2	21.8	0.0	82.7	154.5	0.0	6.1	220.0	15.1
البحرين	254.3	25.4	1.9	0.0	0.0	0.5	0.0	0.6	20.0	2.4
تونس	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
الجزائر	1167.5	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0
السعودية	7666.6	1151.0	54.2	0.0	95.6	87.5	0.0	131.3	260.0	122.4
سوريا	361.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
العراق	2013.8	110.9	0.0	0.0	0.0	23.8	0.0	2.6	20.0	64.5
قطر	789.3	84.5	0.0	0.0	16.5	24.2	0.0	0.5	10.0	33.3
الكويت	2086.4	306.6	2.8	0.0	0.0	32.9	0.0	61.5	200.0	9.4
لبنان	1283.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
مصر	310.7	52.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	2.3	0.0
المجموع	18411.4	2239.1	80.7	0.0	194.8	323.4	0.0	202.6	783.0	249.4
العالم	60222.5	6233.5	330.9	130.1	349.0	774.9	292.7	504.9	1665.6	2185.4

المصدر:

World Oil Trade, 2002.

الجدول (4)

البحث الثاني

المصدر:

World Oil Trade, 2007.

الجدول (5)
واردات الدول الآسيوية من المنتجات النفطية من الدول الأعضاء في عام 2005
(ألف ب/ي)

العالم	المجموع	ماليزيا	فيتنام	الفلبين	تايلاند	باكستان	إندونيسيا	الهند	الصين	
الإمارات	352.6	69.8	2.4	0.0	1.2	7.2	0.0	6.0	48.0	5.0
البحرين	107.5	32.5	2.4	0.0	0.0	1.2	0.0	1.2	24.0	3.7
تونس	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
الجزائر	619.8	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0
السعودية	1140.4	140.6	14.4	0.0	0.0	31.2	0.0	39.6	48.0	7.4
سوريا	23.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
العراق	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
قطر	25.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0
الكويت	496.0	152.4	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	74.4	72.0	1.2
ليبيا	91.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
مصر	89.5	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
المجموع	2951.9	402.1	19.2	0.0	1.2	44.4	0.0	122.4	195.6	19.3
العالم	28605.9	4657.9	228.1	148.9	31.4	115.3	230.5	330.1	536.5	3037.1

المصدر:

World Oil Trade, 2007.

المصدر:

World Oil Trade, 2007.

Future Oil Demand in Asian Developing Countries and its Implications for OAPEC Member Countries

Mouzaffar H. Albarazi *

Rising economic growth in developing countries in Asia, especially in China and India, has led to a substantial increase in energy demand, which has been directly reflected in world energy market. The study provides an overview of the current and future economic developments of the countries on the region which have become one of the main drivers of growth in the global economy. The study aims to shed light on the production and consumption of oil and other energy sources, and the refining capacity in the developing countries in Asia. The study also aims to provide a comprehensive overview of the oil imports of these countries according to exporting countries and regions, including OAPEC member countries. The study presents estimates of the demand for oil and energy in Asian developing countries until 2040, it also provides estimates of the expected increase in demand for oil in these countries and the potential sources for meeting the growing needs.

The study concluded that the demand for oil in developing countries in Asia will increase during the period 2020-2040 by 1.5-2% annually to reach about 32-36 million b/d in 2040 compared with 24 million b/d. China will continue to be the leader in the energy scene. India is expected to record the highest growth in energy demand among developing Asian countries during the period 2020-2040.

The study stresses the importance of following up closely the developments in oil demand in Asian countries in general, and in China and India in particular, as the substantial size of the expected increase in demand for oil in both China and India will have a significant impact on the world oil markets on one hand, and on the oil exports of OAPEC members on the other.

Abstract

AIR Emissions From Oil Refining Industry, Its Sources and Reduction Measures

Imad Makki *

Air emissions from oil refining industry involves many compounds, such as carbon monoxide, nitrogen oxides, sulphur oxides, volatile organic compounds, particulate matters, and other harmful substances.

Environmental regulations have accelerated in recent decades. Since then, refineries have made remarkable progress in cleaning up their direct and indirect emissions.

The first chapter of the study explains the major air emissions and its sources in oil refineries, while the second chapter discusses various control techniques. Emphasis is placed on combustion control for process heaters, and other process units, and how to choose the best available technology.

Chapter three discusses the role of national emission reduction plan and the environment management system in improving the performance of oil refinery in minimizing the emissions to the environment. It also reviews the emission inventory estimation methods used to monitor the progress toward the future reduction commitments of the refinery.

Chapter four presents some case studies to show how and what technologies and solutions have been used in some oil refineries to reduce emissions in OAPEC member countries and other countries in the world.

The study concluded that oil refineries can make remarkable progress in reducing emissions by installing control systems, optimizing the process heaters and improving energy efficiency.

* Senior Refining Expert, Technical Affairs Dept. OAPEC – Kuwait.

Contents

Articles

- AIR Emissions From Oil Refining Industry,
Its Sources and Reduction Measures** 7
Imad Makki - **Abstract** 7
- Prospects for Oil Demand in Asian Countries
and its Impact on Oil Exports from Member States** 191
Mouzaffar H. Albarazi - **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 – 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

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

Editor - in - Chief

Abbas Ali Al-Naqi

Deputy Editor - in - Chief

Abdul Kareem Kh. Ayed

Editorial Board

D. Samir El Kareish

Ahmed Al-Kawaz

Abdul Fattah Dandi

Ahmed Al-Kawaz

Saad Akashah

Emad Makki



ORGANIZATION OF ARAB PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES
OAPEC

OIL & ARAB COOPERATION



Volume 44 - 2018 - Issue 164

Articles

- **AIR Emissions From Oil Refining Industry,
Its Sources and Reduction Measures**

Imad Makki

- **Prospects for Oil Demand in Asian Countries
and its Impact on Oil Exports from Member States**

Mouzaffar H. Albarazi