

النفط والتعاون العربي

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

الاشتراك السنوي : 4 أعداد (ويشمل أجور البريد)

البلـدان العـربيـة

للأفراد : 8 د. ك أو 25 دولاراً أمريكياً

للمؤسسات : 12 د.ك أو 45 دولاراً أمريكياً

البلدان الأخرى

للأفراد : 30 دولاراً أمريكياً

للمؤسسات : 50 دولاراً أمريكياً

الاشتراكات باسم : منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

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



النفط والتعاون العربي

رئيس التحرير
عباس علي النقي

نائب رئيس التحرير
عبد الكريم عايد

هيئة التحرير

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

قواعد النشر في المجلة

تعريف بالمجلة واهدافها

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

الأبحاث

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

مراجعة الأبحاث والكتب

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

التقارير

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

شروط البحث

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

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

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

المحتويات

الأبحاث

تقنيات معالجة مياه الصرف الصناعي لمشروعات البتروكيماويات الجزء الثاني

د. ياسر محمد زكي بغدادي 7

واقع وآفاق الطاقات المتجددة في مزيج الطاقة العالمي والانعكاسات المحتملة على الصناعة النفطية الجزء الثاني

عبد الفتاح دندي 107

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

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

البحـــث الأول

تقنيات معالجة مياه الصرف الصناعي لمشروعات البتروكيماويات

الجزء الثاني

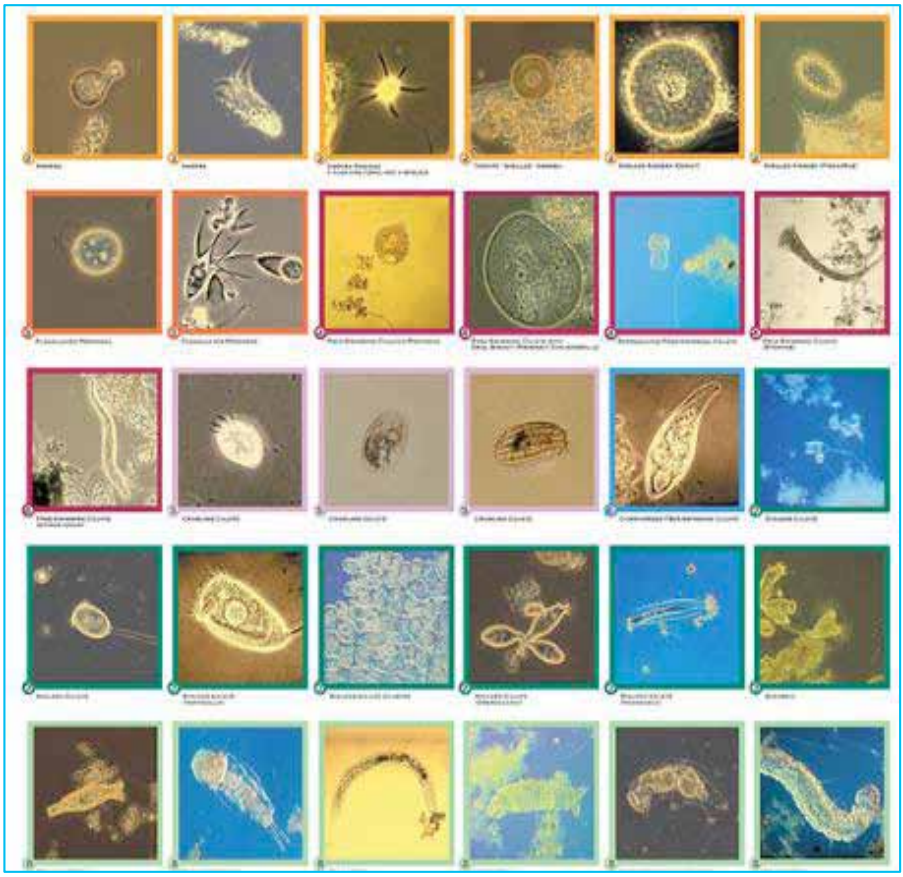
د. ياسر محمد زكي بغدادي*

* خبير صناعات نفطية – إدارة الشؤون الفنية ، أوابك – الكويت

1.1.9.2. الحمأة المنشطة

الحمأة المنشطة عبارة عن خليط من الكائنات الدقيقة من البكتيريا، والطحالب والفطريات، والكائنات الأولية، والجراثيم، والخلايا، كما في الشكل (48)، التي يتم الاحتفاظ بها في صورة معلقة عن طريق التهوية والخلط [74].

الشكل (48): بعض أشكال من مكونات الحمأة المنشطة من الكائنات الدقيقة



المصدر: Chart of Common Activated Sludge Microorganisms

تعتبر هذه الطريقة من أكثر الطرق شيوعاً في الوقت الحاضر بسبب فاعليتها العالية في المعالجة وسميت بهذا الاسم لأنه يتم إعادة جزء من الحمأة المترسبة في أحواض الترسيب

الثانوية إلى حوض التهوية وذلك بشكل مستمر، وهذا يساعد على تسريع العملية البيولوجية وزيادة كفاءتها بسبب زيادة كثافة الكتلة الحيوية في حوض التهوية وبالتالي زيادة معدل الاكسدة، وتفكيك المواد العضوية إلى مكوناتها الأساسية، وتدخل المياه المعالجة إلى أحواض التهوية بعد مرورها على أحواض الترسيب الأولية.

يوصف نظام الحمأة المنشطة بأنه نظام يقوم على خلط المياه العادمة المنسابة إلى خزان التهوية مع الحمأة المنشطة المتواجدة فيه بصورة عالقة. يطلق على السائل الناتج من عملية الخلط هذه بالسائل المختلط أو ما يطلق عليه مصطلح "Mixed Liquor ". يمتاز هذا السائل في حالة المعالجة السليمة بلون يميل إلى اللون البني.

هذا وقد تطورت أنظمة الحماة المنشطة، من أسلوب التشغيل الكتلي "Batch System" في بداية الأمر إلى أسلوب التشغيل المستمر"Continuous Flow Reactor"، والذي أصبح الأسلوب السائد في السنوات اللاحقة وذلك لسهولة تشغيله مقارنة بالنوع الأول [79].

تلعب الجراثيم الهوائية في هذا النظام مهمة تحطيم المادة العضوية الموجودة في المياه العادمة، وتحويلها هوائيا إلى ماء، وثاني أكسيد الكربون، وخلايا بكتيرية جديدة. وتتهيأ البيئة الهوائية داخل الخزان بواسطة أنابيب نفث الهواء أو الهوايات " المهويات" الميكانيكية، والتي تقوم بالإضافة إلى ذلك بالإبقاء على استمرارية عملية الخلط.

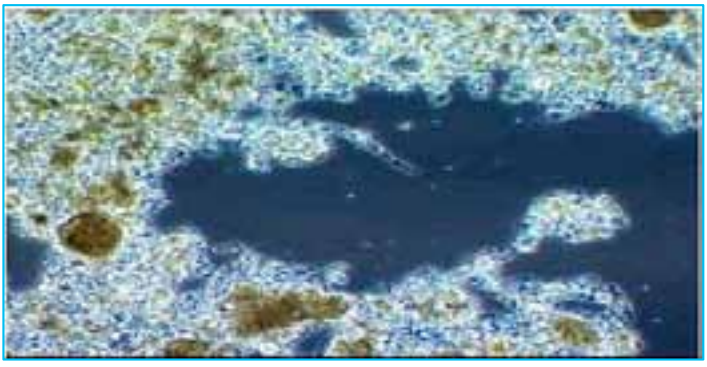
بعد انقضاء فترة وجيزة من الخلط (٤-٨ ساعات تقريباً) ينتقل السائل المختلط إلى حوض الترسيب الثانوي بهدف فصل الجراثيم عنه عن طريق ترسبها. ثم يُعاد جزء من الجراثيم المترسبة "ويطلق عليها عادة بالحمأة المنشطة المسترجعة" إلى حوض التهوية مره أخرى للمحافظة على أعداد ثابتة منها داخله، ويلقى الباقي خارج النظام ليُعاد معالجته قبل التخلص النهائي منه. ويتوقف مستوى الجراثيم داخل خزان التهوية على كفاءة المعالجة المطلوبة وعوامل أخرى تتعلق بمعدلات نمو الجراثيم نفسها.

لا تقتصر مهمة المعالجة على قيام الجراثيم بهضم المادة العضوية فقط، بل تتعداها إلى كيفية التخلص من هذه الجراثيم الناتجة عن عمليات المعالجة، أو بعبارة أدق كيفية فصل الجراثيم من المياه الخارجة من خزان التهوية، ونظراً لكون الوزن النوعي للجراثيم أكثر قليلاً من الماء، فإن إمكانية ترسبها بصورة فردية يكون بطيئا، لذا فإن إعطاء الجراثيم فترة مكوث "Residence Time" كافية يتيح لها التلاحم والتجمع مع بعضها البعض مكونةً ما يطلق عليه ندف (شوائب) كبيرة كما في الشكل (49)، وهذا بدوره يُحسن كثيراً من خصائصها الترسيبية.

يعزى سبب هذا التلاحم إلى البوليمرات المخاطية التي تفرزها الجراثيم حول خلاياها عند إعطائها الوقت الكافي للمكوث. وتتراوح فترة مكوث الجراثيم المتوسطة والتي تضمن الترسيب الفعَّال حوالي 3 إلى 4 أيام [75].

تكون تصميمات أشكال خزانات الترسيب في نظام الحمأة المنشطة إما مستطيلة أو دائرية، وفي جميع الحالات يتم التخلص من الحمأة من قاع الخزان ميكانيكياً، إما عن طريق كشط الحمأة إلى حوض مركزي كما في خزانات الترسيب الأولية، أو بواسطة شفطها مباشرة بواسطة خراطيم شفط معينة تتحرك على كامل الخزان.

الشكل (49): ترسبات مكونة من تكتلات شوائب بالمعالجة البيولوجية



المصدر: http://www.ohiowea.org/docs/Activated_Sludge_Microbiology_Seman.pdf

1.1.1.9.2. الهضم الهوائي "Aerobic Digestion"

معالجة الحمأة بالهضم الهوائي عبارة عن إجراء عملية تهوية مستقلة للحمأة في خزان مفتوح أو مغلق عن طريق توفير قدر مناسب من الأكسجين المذاب / الهواء في الحمأة، وتهدف هذه الطريقة في المعالجة إلى تخليص الحمأة من أية روائح كريهة، بالإضافة إلى خفض نسب التلوث بالمواد الصلبة بها قبل التخلص النهائي منها.

والهضم الهوائي هو أسلوب من أساليب المعالجة بالحمأة المنشطة بنظام الخلط الكامل، وبتغذية على دفعات أو مستمرة، حيث يتم تهوية المحتويات لمدة تتراوح ما بين 12-22 يوم حسب نوعية الحمأة، لتقوم الكائنات باستهلاك الغذاء أثناء عملية التهوية، وبالتالي يتناقص، وتبدأ الكائنات بهضم خلاياها الذاتية لتعويض الطاقة، وتحويل الخلايا إلى ثاني أكسيد الكربون، وماء، وأمونيا، لتتحول الأمونيا في وقت لاحق إلى نيترات مع استمرار عملية التخمر(الهضم).

يؤدي استمرار التهوية والهضم إلى سهولة فصل المواد الصلبة من المياه، ويختلف تصميم الهواضم الهوائية من حيث وجود خزان ترسيب من عدمه. تستخدم بعض تصاميم التغذية على دفعات، حيث يتم تهويتها وخلطها لعدة أيام، ومن ثم ترسب عند وقف عملية الخلط، وتفصل الحمأة عن المادة الطافية "Supernatant" في نفس الخزان. تبنى برك التخمر إما مستطيلة أو دائرية، وتتم عملية التهوية بطريقة ميكانيكية أو بواسطة ناشرات الهواء، وقد يستخدم الأكسجين في عملية التهوية، ويتم إرسال المادة الطافية إلى المعالجة الأولية أو الثانوية، ولا يؤدي ذلك إلى حمل إضافي على مراحل المعالجة [75].

2.1.1.9.2. طريقة الحمأة المنشطة التقليدية

استخدمت طريقة المعالجة الهوائية بالحمأة المنشطة التقليدية "Conventional Activated Sludge Process-CASP " لأكثر من قرن من الزمان، يُعرف عادة النظام التقليدي الأساسي من أنظمة الحمأة المنشطة، بنظام المفاعل دائم الخلط، مستمر الدفق ومسترجع الحمأة " Activated Tank Stirred Flow- continuous – sludge with

Recycle"، ويتكون من خزان التهوية، وخزان الترسيب الثانوي، وخط تدوير الحمأة، ونموذج الدفق المستعمل في خزان التهوية هو النموذج التدافعي أو المتوالي"Plug Flow"، أي أن شرائح المياه العرضية المنسابة من المدخل إلى المخرج تتدافع الواحدة تلو الأخرى دون أن تختلط مع بعضها.

يتم وضع المياه العادمة والحمأة المسترجعة إلى مقدمة الخزان وتمكث فيه مدة 6 ساعات تقريباً، أثناء ذلك يختلطان مع بعضهما بفعل أنابيب نفث الهواء أو الهوايات الميكانيكية، بطريقة تضمن توزع الهواء بصورة متساوية على طول الخزان .وخلال جريان المياه في الخزان يجري تحطيم وأكسدة المادة العضوية. بعد خروج السائل المختلط يتم ترسيبه في خزان ترسيب الحمأة، وعمر الحمأة عموما أقل من 15 يوما، وعادة ما يكون أفضل عمر لها خلال فترة تتراوح ما بين 3-10 أيام، يسترجع حوالي ما بين 25 -50 % من الحمأة إلى مقدمة خزان التهوية [74،75]. يبين الشكل (50) المكونات الأساسية لنظام المعالجة بالحمأة المنشطة.

الشكل (50): المكونات الأساسية لنظام المعالجة بالحمأة المنشطة



المصدر: Explaining the Activated Sludge Process
http://www.nesc.wvu.edu/pdf/WW/publications/pipline/PL_SP03.pdf e

هذا وقد ظهرت الحاجة إلى طرق بيولوجية أكثر تقدماً للحصول علي جودة أعلى للتدفقات السائلة الخارجة بهدف تلبية الاشتراطات البيئية الصارمة والمتزايدة للسماح بصرف المياه المعالجة على المصارف العمومية، أو إعادة استخدامها في الاستخدامات الصناعية، والاستخدامات الأخرى من حيث محتواها من طلب الأكسجين الكيميائي الحيوي "BOD"، ونسب المغذيات من النتروجين والفسفور.

وعلى ذلك فإنه لضمان الوفاء بتحقيق تلك المعايير البيئية الصارمة، فإن بعض التعديلات المختلفة يتم إضافتها إلى التصميم الأساسي لمحطات المعالجة التي تعمل بطريقة الحمأة المُنشطة التقليدية، وتشمل بعض التعديلات على تصميمات وحدات المعالجة المساعدة، وأحواض الترسيب، وغيرها من المرافق.

تطورت هذه الطرق لتشمل طريقة الحمأة المنشطة متدرجة التهوية " Tapered Aeration"، وطريقة الحمأة المنشطة ممتدة (موسعة - مطولة) التهوية "Extended Aeration"، وطريقة قنوات (خنادق) الأكسدة "Oxidation Ditches"، وطرق التثبيت التلامسي، لتشمل طرق أكثر تطوراً وتعديلاً في تصميمات المفاعلات الحيوية مثل طريقة المُفاعلات ذات الدُفعات المتتابعة "Sequencing Batch Reactors, (SBR)"، ونظام المعالجة بطريقة السرير المتحرك "Moving Beds"، ومُفاعلات الأغشية الحيوية "Membrane Bioreactors" [73،69].

1.2.1.1.9.2. طريقة الحمأة المنشطة متدرجة التهوية

تعتمد طريقة الحمأة المنشطة متدرجة التهوية "Tapered Aeration" على إعطاء كمية من الهواء تتناسب مع حاجة الكائنات الدقيقة لها أثناء انسياب السائل المختلط على طول الخزان، ولهذا فإن هذا النظام يغير فقط في أماكن توزيع أنابيب نفث الهواء بحيث تعطي الكمية المطلوبة للحمأة على طول الخزان، وبذلك يمكن اعتباره تحسين بسيط على نظام الحمأة المنشطة التقليدي.

عند مدخل خزان التهوية حيث تخلط المياه العادمة مع الحمأة المسترجعة "المدورة" يكون استهلاك الأكسجين عالياً، لذلك توضع ناشرات الهواء قريبة من بعضها البعض لتفي بحاجة الكائنات الحية الدقيقة من الهواء في هذه المنطقة من الخزان. ومع جريان السائل المختلط في الخزان تزداد أعداد الكائنات الحية الدقيقة ويقل الغذاء، وبذلك تقل نسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة فيقل استهلاك الأكسجين، ولذا توضع ناشرات الهواء على مسافات متباعدة للتقليل من كمية الأكسجين المضاف. كما في الشكل (51).

الشكل (51): ناشرات الهواء في نظام التهوية المتدرجة



المصدر: Tank Aeration Diffuser

يتميز هذا النظام من طرق المعالجة البيولوجية بتقليل كمية الأكسجين المضافة، وبذلك يتم توفير عدد مضخات الهواء المستخدمة، مما يعمل على خفض تكاليف التشغيل، بالإضافة إلى تجنب زيادة التهوية، وهذا يؤدي إلى منع نمو جراثيم النترتة والتي تستهلك كميات إضافية من الأكسجين [75].

2.2.1.1.9.2. طريقة الحمأة المنشطة ممتدة "موسعة" التهوية

تعد طريقة المعالجة البيولوجية ممتدة " أو الموسعة، أو مطولة " التهوية " Extended Aeration "، طريقة معدلة من طريقة المعالجة البيولوجية بنظام الحمأة المنشطة التقليدي، وهي طريقة سهلة، ومرنة في تشغيلها ويمكن الاستغناء عن مرحلة الترسيب الابتدائية.

تدخل المياه العادمة في طريقة المعالجة بالتهوية المطولة (بعد حجز المواد الطافية والرمال) إلى أحواض التهوية حيث تنشط البكتريا الهوائية في أكسدة المواد العضوية، ويساعد على ذلك عملية التهوية الميكانيكية التي تمد المياه بالأكسجين الذائب، وتسبب مزج وتحريك مستمر للسائل ضمن الحوض مما يزيد من فعالية عملية المعالجة. تخرج المياه من أحواض التهوية لأحواض الترسيب حيث ترسب المواد العالقة وما بها من الكائنات الحية الدقيقة، ثم يعاد نسبة كبيرة من هذه الرواسب (الحمأة المنشطة الثانوية) إلى أحواض التهوية للحفاظ على التركيز المناسب من المواد العالقة وما تحمله من البكتريا التي تقوم بعملية الأكسدة [89].

من مزايا هذه الطريقة تثبيت المواد العضوية والاستغناء عن معالجة الرواسب قبل تجفيفها أو استعمالها، إلا أن خزانات هذه الطريقة تتميز بأنها أكبر من حيث السعة لتعطى زمن مكوث للتهوية أعلى من 15 ساعة، كما أن زمن استخدام الحمأة يتراوح ما بين 15 – 30 يوم، وهو ما يعني الحصول على نتائج معالجة أفضل للمياه العادمة، مع تولد كميات أقل من الحمأة الزائدة كمخلفات. هذا وتأتي تصميمات خزانات التهوية في أشكال دائرية أو مستطيلة، وهي مناسبة للمصانع الصغيرة والمتوسطة حيث تتميز بانخفاض تكلفتها الاستثمارية، وانخفاض متطلبات أعمال الصيانة. يوضح الشكل (52) وحدة معالجة بيولوجية بنظام التهوية الممتدة في أحد المصانع.

الشكل (52): وحدة معالجة بيولوجية بنظام التهوية الممتدة في أحد المصانع

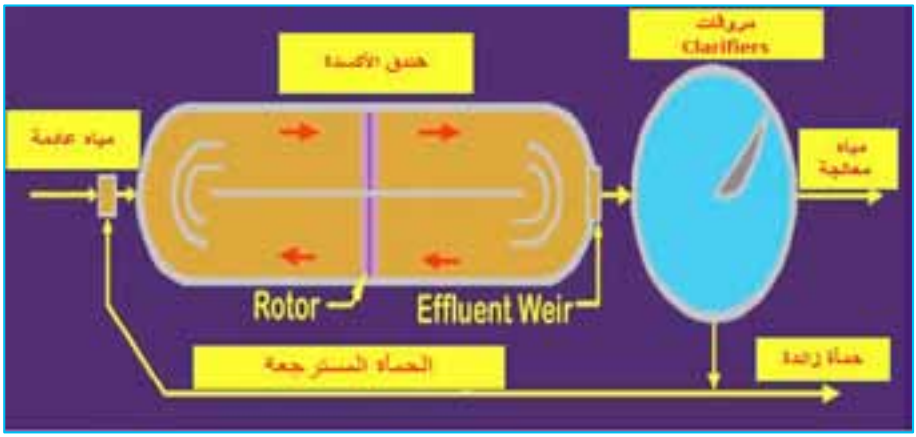


المصدر: http://napier-reid.com/products/extended-aeration-systems/

3.2.1.1.9.2. خنادق "قنوات" الأكسدة

تعد طريقة خنادق الأكسدة "Oxidation Ditches" ، أحد طرق التهوية المطولة وتصمم بنفس الأسلوب، يكون خندق الأكسدة على شكل خزان كبير بيضاوي يتراوح عمقه ما بين 0.6-1.5 متر من سطح الأرض، مما يساعد على منع توفر الظروف اللاهوائية في قاع الخزان. يتم دخول المياه العادمة لتخلط مع الحماه المنشطة في خندق الأكسدة لتعالج بيولوجياً، ويتم تصفية مياه خندق الأكسدة في خزان ثانوي "المروق". ويتم استرجاع جزء من الحمأة المستقرة للمحافظة عليها. هذا ويتم تهوية خندق الأكسدة بواسطة فرشاة تهوية دوّارة على سطح الخندق تعمل على تدوير وتهوية المياه الموجودة فيه [82،76]، يبين الشكل (53) مخطط توضيحي لعملية المعالجة بطريقة قنوات الأكسدة، بينما يوضح الشكل (54) صورة وحدة المعالجة البيولوجية بطريقة قنوات الأكسدة.

الشكل (53): مخطط توضيحي لعملية المعالجة بطريقة قنوات الأكسدة



المصدر:-http://www.thewatertreatments.com/wastewater-sewage-treatment/oxidation-ditch-sewage-treatment

الشكل (54): صورة وحدة المعالجة البيولوجية بطريقة قنوات الأكسدة



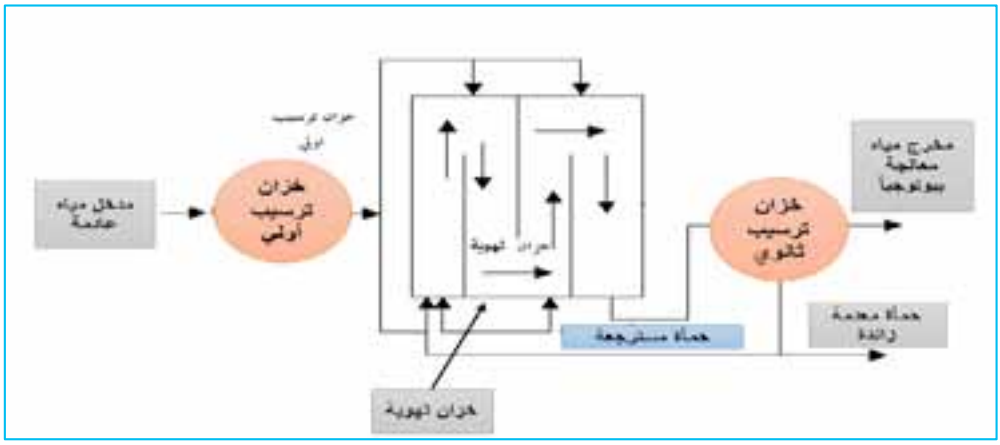


المصدر:-http://www.thewatertreatments.com/wastewater-sewage-treatment/oxidation-ditch-sewage-treatment

4.2.1.1.9.2. طريقة الحمأة المنشطة متجزئة التهوية

تعتبر طريقة الحمأة المنشطة متجزئة التهوية "Step Aeration"، أو كما تعرف أيضاً باسم التهوية على خطوات، طريقة معدلة من طريقة الحمأة المنشطة، فبدلاً من دخول المياه إلى خزان التهوية من نقطة واحدة على المدخل كما في نظام الحمأة المنشطة التقليدي، تدخل المياه إليه بعد تجزئتها من عدة أماكن على طوله. وتهدف هذه التجزئة إلى مساواة كمية الغذاء مع حاجة الكائنات الحية الدقيقة إليها، وبذلك يقل الطلب الأقصى من الأكسجين في خزان التهوية. ويقوم هذا النظام على تجزئة خزان التهوية إلى أربعة قنوات عرضية، تعمل كل واحدة منها كخطوة منفصلة عن الأخرى، كما يبين الشكل (55).

الشكل (55): مخطط توضيحي لعملية المعالجة بطريقة التهوية متجزئة التهوية



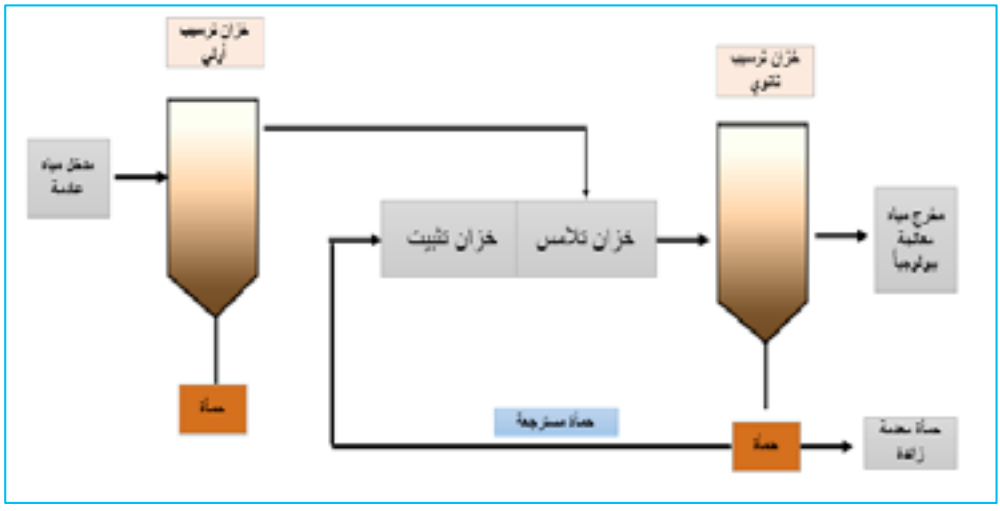
المصدر: المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي في محطات الصرف الصحي

يشبه طريقة الحمأة المنشطة متجزئة التهوية في عمله نظام الحمأة المنشطة، ويكمن الفرق بينهما في أن هذا النظام يسمح بتوزيع أكثر انتظاماً للطلب على الأكسجين مما يساعد على الاستغلال الأفضل للأكسجين المضاف. وتسترجع الحمأة المنشطة في هذا النظام إلى القناة الأولى فقط، حيث يمكن إعادة تهويتها فيها حسب الرغبة، ومن المزايا المهمة لهذا النظام مرونة التشغيل. [77].

5.2.1.1.9.2. نظام التثبيت التلامسي

تعد طريقة المعالجة بنظام التثبيت التلامسي "Contact Stabilization" تطويراً لنظام المعالجة بالحمأة المنشطة التقليدي، بهدف الاستفادة من الخصائص الامتصاصية للحمأة المنشطة. عادةً ما تتم عملية إزالة طلب الأكسجين الكيميائي الحيوي على مرحلتين، ففي أنظمة الحمأة المنشطة السابقة تحدث كلا المرحلتين في خزان واحد، بينما في عملية التثبيت التلامسي تنفصل هاتين المرحلتين لتتم في خزانات مختلفة. يوضح الشكل (56) رسم تخطيطي لهذه العملية متضمناً خزان الترسيب الأولي والذي قد يحذف في بعض الحالات.

الشكل (56): مخطط توضيحي لعملية المعالجة البيولوجية بطريقة التثبيت التلامسي



المصدر: Environmental Engineering Unit Processes, Activated Sludge Configurations for BOD removal and Nitrification, Marmara University, Istanbul, Turkey.

يتم تهوية مياه الصرف مع الحمأة المسترجعة في خزان التلامس لمدة من 30- 60 دقيقة، حيث يتم امتصاص معظم الغرويات والعوالق الدقيقة، والمواد العضوية الذائبة. يتم فصل الحمأة من المياه المعالجة بطريقة الترسيب، وتتم عملية التهوية للحمأة المسترجعة لفترة

تتراوح ما بين 1 -2 ساعة في خزان تهوية الحمأة، وأثناء ذلك تُستعمل المواد العضوية المُمتصة لإنتاج الطاقة في الخلايا الجديدة [75،78].

تحتاج عملية التهوية إلى زيادة في ضخ الهواء قد تصل إلى حوالي ٥٠ % عن عمليات الحمأة التقليدية، أو التهوية المتدرجة، لهذا فإنه يمكن مضاعفة قدرة المحطات التقليدية بإعادة تصميمها للتناسب مع طريقة المعالجة بنظام التثبيت التلامسي، ولا يتطلب إعادة التصميم إلا إحداث بعض التغييرات البسيطة في نظام أنابيب "المواسير" في محطة المعالجة فقط [75].

6.2.1.1.9.2. النترجة وإزالة النترجة

تعد طريقة النترجة، وإزالة النترجة طريقة معدلة عن الحمأة المنشطة التقليدية، وتجرى هذه العملية بشكل خاص لإزالة النتروجين. يكون للبكتريا دور واضح في عمليات التحلل للمركبات النيتروجينية خلال عمليات النشدرة "Ammonification" (تحويل المركبات البروتينية العضوية إلى الأمونيا بفعل البكتريا، والفطريات، والأكتينومايسس)، والنترجة "Nitrification"، وإزالة النترجة "Dentification" والتي يشارك فيها أنواع مختلفة ومتعددة من البكتريا.

يطلق على عملية تحلل المركبات النيتروجينية إلى مركبات نيتروجين غير عضوي (NH^+_4,NH_3) بالتمعدن "N-mineralization"، تبدأ عملية التمعدن **بالنشدرة** حيث تشارك مجموعات مختلفة من البكتريا الهوائية واللاهوائية في إنتاج غاز الأمونيا، طبقاً للمعادلة التالية:

$$R\text{-}NH_2 + H_2O \longrightarrow NH_3 + R\text{-}OH$$

يتفاعل غاز الأمونيا مع الماء مكوناً هيدروكسيد الأمونيوم طبقاً للمعادلة التالية:

$$NH_3 + H2O \longrightarrow NH_4OH$$

حسب الرقم الهيدروجيني للوسط الذي تتحلل فيه المواد العضوية النيتروجينية ينتج الأمونيوم"NH_4"، والأمونيا "NH_3" بنسب مختلفة، فإذ كان الوسط حامضي كانت نسبة الأمونيا أعلى، وإذا كان الوسط قاعدي كانت نسبة الأمونيوم أعلى.

تحدث عملية **النترجة** عندما يتأكسد الأمونيوم إلى نيتريت ثم إلى نترات، بواسطة بكتريا النتروزوموناس، وبكتريا النتروباكتور في أحواض التهوية، وفي وجود وفرة من الأكسجين، كما هو توضح المعادلات التالية:

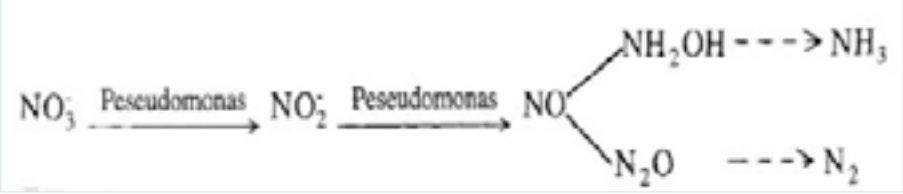
a) $2\ NH_4^+ + 3O_3 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} 2NO^-_2 + H_2O + 4H^+ + \text{Energy}$

b) $2\ NO_2^- + O_2 \xrightarrow{\text{Nirtobactor}} 2NO^-_3 + \text{Energy}.$

تكون سرعة أكسدة أيونات النيتريت إلى نترات أكبر من سرعة أكسدة أيونات الأمونيوم لذلك غالباً ما تكون تركيزات أيونات الأمونيوم أعلى من تركيزات أيونات النيتريت. تتحكم عدة عوامل في سرعة عملية النترجة وتشمل:

- تركيز أيونات الأمونيوم، فكلما قل تركيزها كانت عملية النترجة محدودة.
- يساهم توفر التهوية الجيدة في تسريع عملية النترجة.
- يساهم توفر رقم هيدروجيني متعادل في سرعة عملية النترجة، وتكون الحالة المثلي عند رقم أس هيدروجيني يتراوح ما بين 8 -8.4.
- تزداد سرعة عملية النترجة في درجات الحرارة الدافئة "40 م"، ويعتمد حجم خزان التهوية اعتمادا مباشراً على درجات الحرارة، حيث تكون الحاجة إلى ضعف حجم خزان التهوية في فصل الشتاء عنه في فصل الصيف، ذلك بسبب أن معدل نمو بكتريا النترجة "Nitrify bacteria" يزداد مع زيادة درجة الحرارة، ويقل مع انخفاضها.

تختزل النترات في الظروف اللاهوائية من قبل بعض أنواع الكائنات الحية، وتسمى عملية الاختزال البيولوجية **بنزع النيتروجين** " إزالة النترجة" او النترزة [90]، طبقاً للمعادلة التالية:



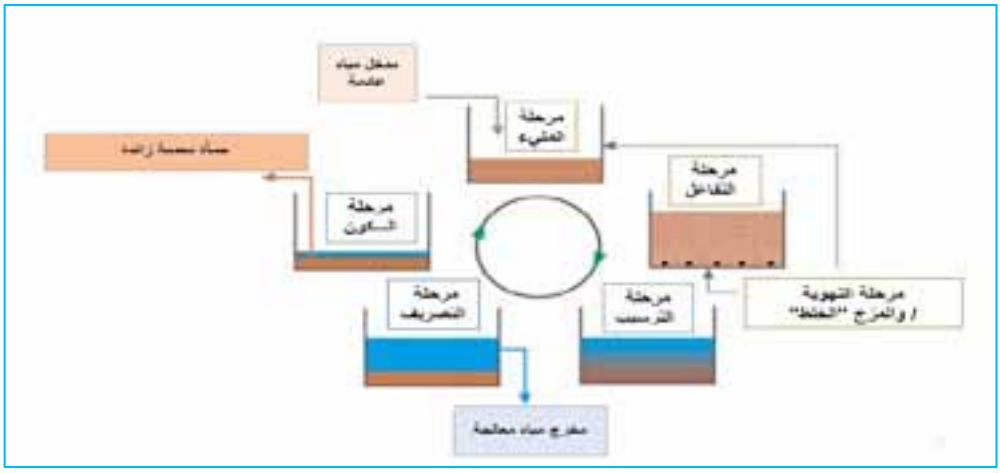
تتم عملية إزالة النترجة في أحواض الترسيب الثانوية وذلك بتأمين زمن تهوية طويل، وإضافة مصدر كربون عضوي "عادة يضاف الميثانول"، وتتميز هذه الطريقة، بأنها طريقة موثوقة، سهلة التشغيل، تزيل حوالي 60-95 % من النيتروجين، وتحتاج إلى مساحات أراضي صغيرة، وذات تكلفة استثمارية، وتشغيلية متوسطة (89).

7.2.1.1.9.2. طريقة المعالجة بالحمأة المنشطة المتتابع

تعد طريقة المعالجة بالحمأة المنشطة المتتابع "Cyclic Activated Sludge System-CASS-SBR"، هو أحد أساليب التشغيل المتطورة بنظام المفاعل الدفعي المتتابع "Sequencing Batch Reactor -SBR"، وبدأ العمل بهذا النظام في عام 1914 لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن الصناعات البترولية، والبتروكيماوية.

تعتمد طريقة عمل المفاعل الدفعي المتتابع "SBR" على نفس النظرية التقليدية لمعالجة الحمأة المنشطة ولكن بإضافة نظرية المليء، والإفراغ، حيث أن عمليات التهوية، والترسيب، والترويق متماثلة في كلتا الطريقتين، ولكن الاختلاف الوحيد هو أن خطوات المعالجة في الطريقة التقليدية تتم في خزانات منفصلة، أما في طريقة المفاعل الدفعي المتتابع "SRB" فإن جميع الخطوات تتم بطريقة متتابعة في نفس الخزان. تشمل تلك العمليات عملية المليء، وعملية التفاعل (تهوية)، وعملية الترسيب (ترويق)، وعملية التصريف، وأخيراً عملية السكون، كما يبين الشكل (57).

الشكل (57): مخطط عملية المعالجة بنظام الحمأة المنشطة في المفاعل الدفعي المتتابع



المصدر: SEQUENTIAL BATCH REACTORS: TAKING PACKAGED WASTEWATER TREATMENT TO NEW HEIGHTS - A REVIEW, International Journal of Civil Engineering and Technology.

يعتبر التخلص من الحمأة من أهم خطوات عملية المفاعل الدفعي المتتابع"SBR" والتي تؤثر بشدة على الأداء العام للعملية، وتحدث هذه العملية عادة خلال مرحلة الترسيب.

ومن ضمن المميزات الفريدة للنظام هو عدم الحاجة إلى نظام إعادة الحمأة النشطة (RAS) حيث أن التهوية والترسيب يحدثان في نفس الغرفة ولذلك لا يحدث أي فقد للحمأة في خطوة التفاعل وبالتالي لا يوجد ما يستدعى إعادة الحمأة من خزان المروق للحفاظ على محتواها في غرفة التهوية. يجب الوضع في الاعتبار أن جميع أنواع مياه الصرف التي تعالج بالطرق التقليدية للحمأة النشطة يمكن أن تعالج بنظام SBR، وتتم العملية خلال أربع ساعات أو أقل [77]. وبالتالي يمكن الاستغناء عن أحواض الترويق النهائية، وكذلك الاستغناء عن مضخات إعادة ضخ الحمأة المسترجعة، مما يسهم في خفض التكلفة التشغيلية، والاستثمارية لمعالجة المياه بالطرق البيولوجية [69]. يبين الشكل (58) وحدة معالجة مياه الصرف بنظام المفاعل الدفعي المتتابع.

الشكل (58): وحدة معالجة مياه الصرف بنظام المفاعل الدفعي المتتابع



المصدر: https://www.exportersindia.com/yash-eniro-technologies/sbr-waste-water-treatment-plants-pune-india-1044585.htm

من أهم مميزات هذا النظام المتطور هو التغلب على المشاكل التشغيلية الناجمة عن أسلوب المعالجة بالحمأة المنشطة التقليدي، والخاص بصعود الحمأة "Rinsing Sludge"، وتضخم الحمأة "Bulking Sludge" [69].

1.7.2.1.1.9.2. صعود الحمأة

على الرغم من تمتع الحمأة بخصائص ترسيبيه جيدة، إلا أنه قد لوحظ أنها تصعد، وتطفو على السطح بعد فترة وجيزة من ترسبها، بسبب عملية نزع النيتروجين "Denitrification"، حيث تتحول النترات والنيترات "Nitrites" إلى غاز النيتروجين الذي ينحصر في حصيرة "فرشة " الحمأة. ومع ازدياد كمية الغاز في الفرشة تصبح قوة الطفو للحمأة أكبر من وزنها، وبذلك تصعد وتطفو على سطح الماء. يبين الشكل (59) مشكلة صعود الحمأة.

الشكل (59): مشكلة صعود الحمأة



المصدر: http://www.tecnoconverting.com/technical-articles/problems-with-the-biodisc-sludge-in-lamellar-settling/

يمكن التمييز بين سبب طفو الحمأة، سواءً كان نتيجة عملية الصعود والناتجة عن عملية نزع النيتروجين، أو نتيجة تضخمها، وذلك عن طريق ملاحظة الحمأة الطافية ورؤية إن كان هناك فقاعات تتصاعد منها، فإن كانت كذلك فالسبب يعود إلى عملية نزع النيتروجين.

ويمكن التغلب على هذه المشكلة عن طريق: زيادة معدل سحب الحمأة المسترجعة من خزان الترسيب الثانوي، أو خفض معدل دفق السائل المختلط من خزان التهوية، أو زيادة معدل جمع الحمأة من قاع الخزان، أو اختصار فترة مكوث الجراثيم المتوسطة عن طريق زيادة معدل التخلص من الحمأة [75].

2.7.2.1.1.9.2. تضخم الحمأة

الحمأة المتضخمة هي تلك الحمأة التي تعاني من ضعف الخصائص الترسيبية والديناميكية. ويعود تضخم الحمأة إلى سببين، أولهما نمو الكائنات الحية الدقيقة الخيطية في

الحمأة بدرجة كبيرة، وثانيهما انتفاخ الجراثيم، نتيجة امتلاءها بالماء إلى الدرجة التي تصبح فيها كثافتها منخفضة، مما يفقدها القدرة على الترسيب. يبين الشكل (60) مشكلة تضخم الحمأة.

الشكل (60): مشكلة تضخم الحمأة



المصدر: http://www.wastewatersystem.net/2010/11/what-causes-bulking-sludge-problem.html

من الأسباب الشائعة لتضخم الحمأة ما يلي:

1.2.7.2.1.1.9.2. خصائص المياه الفيزيائية والكيميائية

تشمل تلك الخصائص كل من تذبذب معدلات الدفق للمياه، وتغيير تركيز رقم الأس الهيدروجيني، ومحتوى الماء من المغذيات، وطبيعة مكونات المواد الصلبة في المياه العادمة [75].

2.2.7.2.1.1.9.2. محددات تصميم محطة المعالجة

تشمل هذه المحددات كل من سعة وقدرة المهويات على تزويد خزان التهوية بكميات الهواء اللازمة، ومحدودية خزان الترسيب، وسعة معدات ضخ الحمأة المسترجعة، ومشكلة تدوير الحمأة القصير "Short Circuiting"، وسوء الخلط [75].

3.2.7.2.1.1.9.2. أسلوب تشغيل المحطة

يشمل أسلوب وكيفية تشغيل المحطة كل من انخفاض تركيز الأكسجين الذائب، وزيادة الحمل العضوي على خزانات التهوية، وتشغيل خزان الترسيب النهائي [75].

3.1.1.2.9. نظام المفاعلات الحيوية ذات الأغشية

بدأ استخدام تقنية مفاعلات الأغشية الحيوية "Membrane Bioreactor-MBR" في عام 1960، وتضمن استخدام رقائق غشائية من نوع الفلترة الفائقة - "UF"، وانتشرت هذه التقنية في معالجة مياه الصرف الصحي بشكل واسع، ومن أهم الأسباب التي أدت الى انتشارها هو إمكانية الحصول على مياه معالجة نهائيه ذات مواصفات وجودة فائقة تلبي المعايير والمتطلبات البيئية الصارمة واللازم توفرها لإعادة استخدامها بشكل آمن، وبما ينعكس إيجابيا" على الصحة العامة، والبيئة المحيطة.

إن استخدام تقنية الأغشية أدى إلى خفض مساحات الأراضي اللازمة لبناء محطات معالجة إلى حد كبير مقارنة مع طرق المعالجة البيولوجية كنظام الحمأة المنشطة، ونظام المعالجة بالتهوية المطولة، بالإضافة إلى تميزها بانخفاض التكلفة الاستثمارية والتشغيلية نسبياً، وقابليتها التامة للتأقلم والمرونة مع أي تغييرات أو تشدد في المواصفات اللازمة للمياه المعالجة. لذا فقد اعتبرت تقنية الأغشية ثورة جديدة معاصرة في مجال معالجة مياه الصرف، وإعادة الاستخدام المستدام للمياه المعالجة على نحو أوسع مما كان عليها في المحطات التقليدية "وخصوصا للمناطق التي تعاني نقصاً في الموارد المائية" [82].

منذ تسعينيات القرن الماضي كان العمل متواصل لخفض تكلفة هذا النوع من محطات المعالجة، وذلك لتفادي التكاليف المرتفعة لهذا النوع وبحيث يكون قابل للاستخدام بكلفة قريبة من تكلفة محطات المعالجة التقليدية. ولاتزال الشركات المنتجة للأغشية مستمرة في تطويرها لخفض تكاليف إنتاج الأغشية الدقيقة، وإطالة فترات تشغيلها.

تستخدم أغشية شبه نفاذة (Semi-permeable Membranes) في هذه التقنية لفصل المواد الصلبة العالقة، والمنحلة من المياه. هناك طريقتان للفصل الغشائي وهما الفصل بنظام الضغط الهيدروليكي، والفصل الكهربائي.

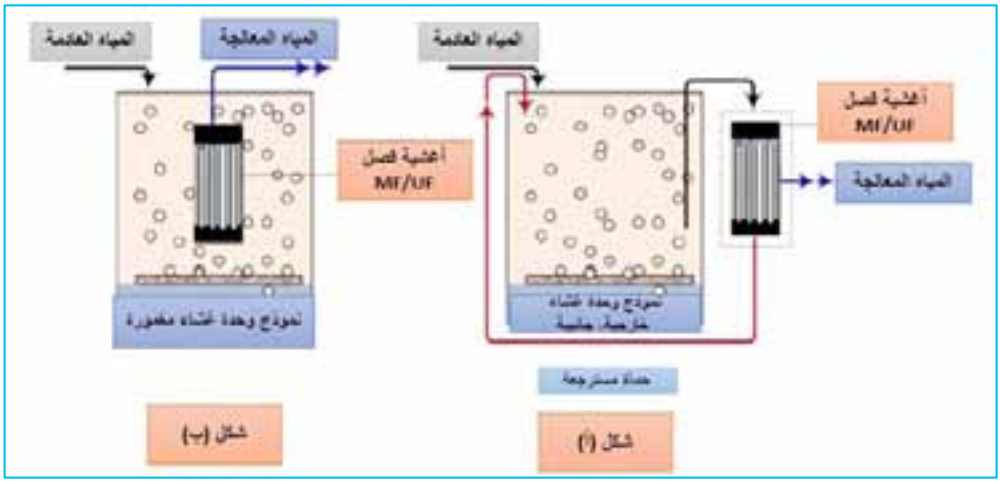
تعد طريقة الفصل بالضغط الهيدروليكي الأكثر استخداماً، حيث يستخدم الضغط في إجبار المياه الملوثة على المرور عبر الأغشية شبهة النفاذة، لحجز الملوثات المراد التخلص منها، أو تخفيض كمياتها في حوض المعالجة، والسماح فقط للمياه المعالجة بالخروج.

تتضمن تقنيات الفصل الغشائي بالضغط عدد من الأنظمة حسب أقطار، وحجم المسامات المكونة للغشاء، وتشمل الفلترة الميكروية الدقيقة "Microfiltration -MF"، والفلترة ما فوق الميكروية (فلترة فوقية) "Ultrafiltration- UF"، والفلترة النانوية "Nanofiltration-NF"، والفلترة بنظام التناضح العكسي "Reverse Osmosis-RO" [87].

هناك نموذجان لتقنية الفصل الغشائي، النموذج الأول تتم فيه عمليات الفصل في وحدة غشاء خارجية، أو جانبية حيث يتم تدوير الماء المختلط خارج المفاعل إلى وحدة الغشاء، ويعمل الضغط على فصل المياه عن الحمأة، ثم يتم إعادة تدوير الحمأة المركزة مرة أخرى إلى المفاعل، كما في الشكل (61-أ). أما النموذج الثاني فيتضمن وحدة غشاء مغمورة في حوض الحمأة المنشطة، وتستخدم قوة شفط لسحب المياه عبر الغشاء، بينما يتم الاحتفاظ بالحمأة فوق سطح الغشاء، كما في الشكل (61-ب).

يحتوي قاع المفاعل على ناشر متشعب للهواء المضغوط لتوفير الأكسجين اللازم لعملية المعالجة الهوائية، كما تعمل فقاعات الهواء أيضًا على تنظيف سطح الغشاء الخارجي. يعد النموذج الثاني الأكثر استخداماً نظراً لكونه الأكثر وفراً في استهلاكات الطاقة، كما أنه يضمن ألية تنظيف للحد من تلوث أغشية الفصل.

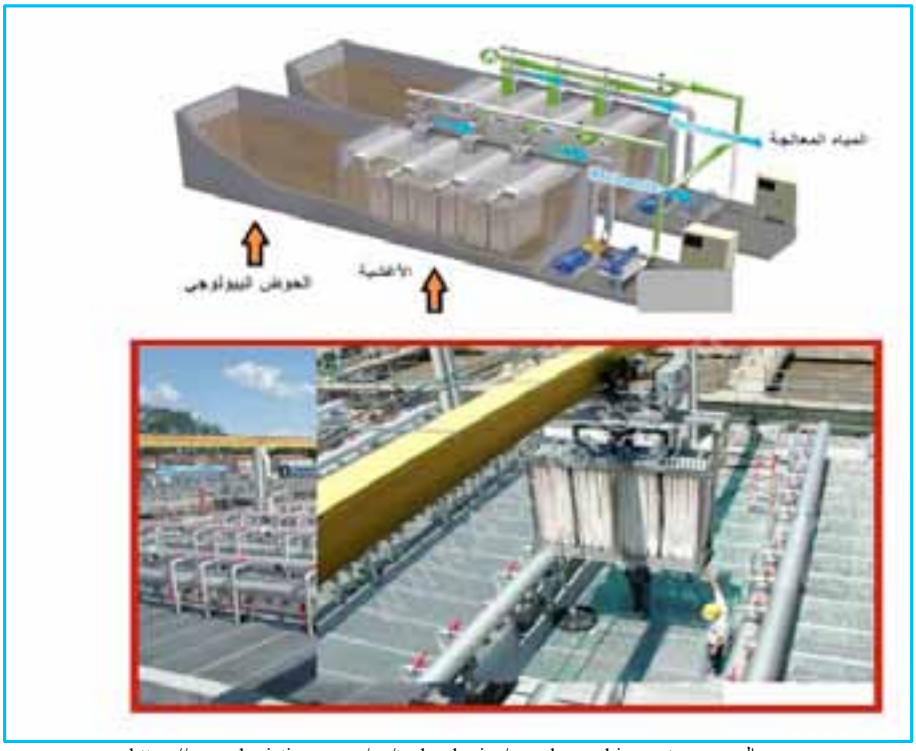
الشكل (61 أ- ب): نماذج تقنية الفصل الغشائي (الجانبية، والمغمورة)



المصدر: https://www.researchgate.net/figure/2-Membrane-bioreactor-MBR-configurations_fig2_304705660

تعتبر المعالجة التمهيدية للمياه العادمة ضرورية للتخلص من المواد الصلبة العالقة التي من الممكن أن تسد فتحات الأغشية الدقيقة، وبالتالي تقلل من كفاءتها. ففي السابق كان لابد من إجراء المعالجة التمهيدية اللازمة قبل مرحلة استخدام الأغشية، ولكن هذا الأمر تم تلافيه لاحقا حيث أصبح تنظيف الأغشية يتم عبر وضع ناشرات "نافثات" هواء تحتها تماما لتؤمن تنظيفاً دائماً للأغشية، أو باستعمال الضخ العكسي للمياه المعالجة لتنظيف الأغشية لمدة زمنية قليلة (دقائق) بعد كل مرحلة لسحب المياه النظيفة، في حين أن الأمر قد يحتاج إلى فترات زمنية طويلة تمتد من عدة أشهر لتنظيف الأسطح الخارجية للأغشية بالمواد الكيميائية. إن المحافظة على نظافة الأغشية يطيل من عمرها التشغيلي، ويضمن الحصول على نتائج جيدة للمياه المعالجة. يبين الشكل (62) محطة معالجة مياه مزودة بأغشية مغمورة.

الشكل (62): محطة معالجة مياه مزودة بأغشية مغمورة "MBR-System"



المصدر: https://www.logisticon.com/en/technologies/membrane-bioreactor

تصنع أغشية الفصل من بوليمرات، ومن أهم البوليمرات المستخدمة في تصنيع الأغشية، البولي فينيل دايين داي فلوريد "PVDF"، والبولي إيثيرسولفون "PES"، والبولي إيثيلين، والبولي بروبيلين [87،82] ، كما يمكن أت تصنع من السيراميك، أو من الأكاسيد المعدنية، وبعضها يصنع من طبقة رقيقة من البولي أميد. تستخدم مادة السيراميك عادةً لتصنيع أغشية الفلترة الفائقة "UF "، وعلى الرغم أنها أكثر كلفة من الأغشية البوليميرية إلا أن مزاياها التشغيلية أكبر من حيث قدرتها على تحمل درجات الحرارة المرتفعة.

4.1.1.2.9. نظام الحمأة المنشطة المتكامل ذو الغشاء الثابت

لاقت تكنولوجيا المعالجة بنظام الحمأة المنشطة المتكامل ذو الغشاء الثابت "Integrated Fixed Film Activated Sludges-IFAS" قبولاً واسعاً كطريقة اقتصادية جديدة متطورة لمعالجة مياه الصرف دون الحاجة إلى بناء أحواض تهوية جديدة أو مروقات.

تعد هذه التقنية هجيناً يجمع بين طريقة المعالجة بنظام الحمأة التقليدي، وتقنيات الأفلام الثابتة "Fixed Films"، حيث يتم غمر وسائط داعمة ثابتة من الأفلام في أحواض التهوية لتسمح للكائنات الحية الدقيقة، والبكتريا المستخدمة في عمليات المعالجة البيولوجية بالتكاثر على أسطح ثابتة، دون الحاجة إلى عمليات النمو المعلقة للبكتريا كما في نظام الحمأة التقليدي [86]. لذا فقد أضفت هذه التقنية ميزة وفوائد أنظمة الأفلام الثابتة إلى أنظمة النمو المعلق المستخدم في تقنية الحمأة المنشطة، مما وفر لها المرونة الفعالة في عمليات المعالجة البيولوجية.

استخدمت هذه الطريقة منذ أكثر من 60 عاماً، عندما ركبت ألواح مصنعة من مادة الأسبستوس بشكل عمودي فوق شبكة تهوية مكونة من أنابيب مثقبة، دون الحاجة إلى إعادة استخدام الحمأة المسترجعة، خلال فترات مكوث تراوحت ما بين 1.7 – 3 ساعات.

استمر تطوير تقنية "IFAS" خلال العقود التالية، وتميزت هذه الطريقة بقلة المساحات المطلوبة لتركيبها وتشغيلها، وتطورت مواد الوسائط "Media" المستخدمة ما بين وسائط مرنة يتم تثبيتها على إطارات ثابتة، يتم وضعها في خزانات الحمأة المنشطة، أو وسائط مصنعة من مادة البولي فينيل كلوريد والتي تتميز بالأداء المرتفع مع انخفاض التكلفة، كما يمكن أيضاً أن يستخدم البولي إيثيلين عالي الكثافة في تصنيع الوسائط المستخدمة [86]. يبين الشكل (63) وحدة معالجة المياه العادمة بنظام الحمأة المنشطة المتكامل ذو الغشاء الثابت.

الشكل (63): وحدة معالجة المياه العادمة بنظام الحمأة المنشطة المتكامل ذو الغشاء الثابت



المصدر: Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS) System for Additional Nitrification at the Coldwater WWTP.

5.1.1.2.9. المفاعل الحيوي ذو السرير المتحرك

اشترطت المواصفات العالمية الحديثة، والتشريعات البيئية الصارمة ضرورة إزالة ما لا يقل عن 80 % من كمية النيتروجين الكلي "TN"، ونحو 90 % من قيمة الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي "BOD5" من مياه الصرف قبل إعادة صرفها على المسطحات المائية، وهو مالم تستطيع أن تفي به محطات المعالجة بالحمأة المنشطة التقليدية، بل تطلب إجراء بعض التعديلات في تصميمات تلك المحطات التقليدية.

أدت هذه التعديلات إلى استخدام طرق معالجة مدمجة، مثل إضافة وحدات لنزع النيتروجين "Denitrification"، وإلى وحدات طرق المعالجة بالتهوية الممتدة، إلا أن هذه التعديلات تضمنت سلبيات عديدة، وأهمها: ارتفاع التكلفة الإنشائية ، الحاجة إلى وحدات ضخ كبيرة الحجم لتدوير الحمأة المنشطة، يضاف إلى ذلك المشكلات التشغيلية في عمليات فصل الحمأة في أحواض الترسيب الثانوية نتيجة انتفاخ الحمأة، وإمكانية حدوث انتقال لكميات من الحمأة، والمواد العالقة مع المياه المعالجة مما قد يؤثر سلباً على درجة نقاوتها، بالإضافة إلى الحاجة شبه المستمرة لإضافة المواد الكيماوية لرفع قلوية المياه، وتأمين ظروف مناسبة لعملية نمو وعمل البكتيريا المنترتة "Nitrifying Bacteria"، بالإضافة إلى مواجهة صعوبة في مرونة التشغيل للمحطات عند زيادة الحمولات الفجائية، وتغير تركيزات المياه.

أدت هذه السلبيات إلى ابتكار المفاعل الحيوي ذو السرير المتحرك " Moving Bed Bioreactor -MBBR"، والذي ابتكرته إحدى الشركات النرويجية في عام 1989 بالتعاون مع مركز الأبحاث النرويجي "SINTEF"، ويتميز بإمكانية معالجة مختلف أنواع، وكميات المياه العادمة مهما كانت درجة تلوثها. كما تستخدم هذه التقنية أيضاً للتخلص من المواد العضوية، والنترجة، ونزع النيتروجين من المياه العادمة، وتعتمد هذه التقنية في عملها على أسس عمل تقنيات المعالجة بنظام الحمأة المنشطة التقليدية، ونظم عمل عمليات الفلترة الحيوية [88].

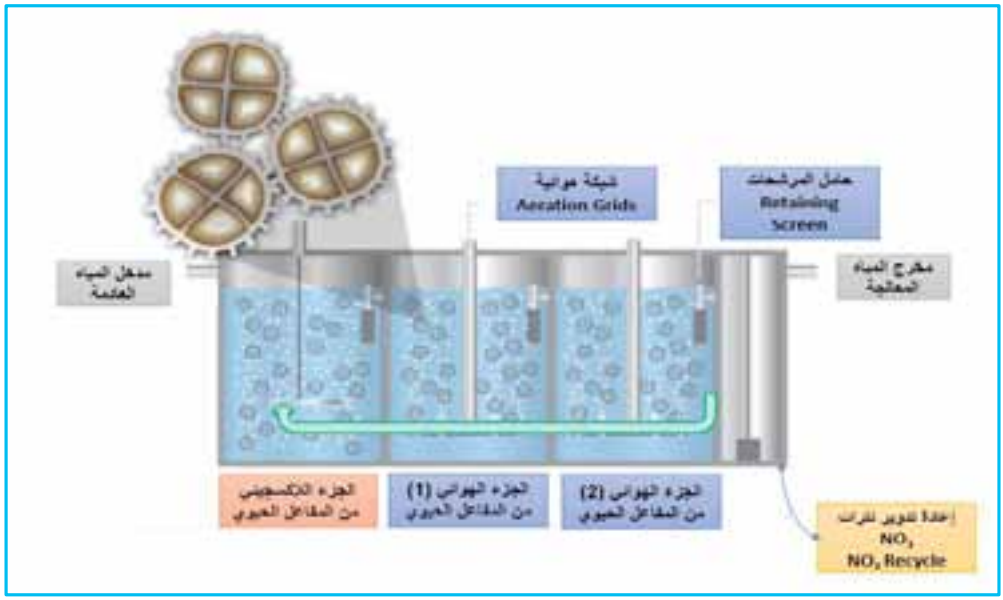
دخلت هذه التقنية الولايات المتحدة الأمريكية لأول مره عام 1995، وانتشرت حتى وصل عدد محطات المعالجة إلى نحو 400 محطة لمعالجة مياه الصرف الصحي، والصناعي على مستوى العالم [88].

يمكن أن يتكون نظام المعالجة من نظام المرحلة الواحدة، أو متعدد المراحل اعتمادًا على المواصفات المطلوب تحقيقها للمياه المعالجة طبقاً لاستخداماتها النهائية.

تعتمد الطريقة على تصميم حامل الفيلم الحيوي "Biofilm Carrier"، من كتل بلاستيكية صغيره متماثلة، أسطوانية مموجة الشكل، أو على هيئة شرائح مجوفة أو منحنية، مصنعة من البلاستيك " البولي بروبيلين"، أو السيراميك، لها وزن نوعي "0.96" أخف قليلاً من الوزن

النوعي للمياه، وتكون دائمة الحركة خلال تدافع المياه داخل المفاعل الحيوي. يبين الشكل (64) معالجة المياه العادمة بنظام المفاعل الحيوي ذو السرير المتحرك.

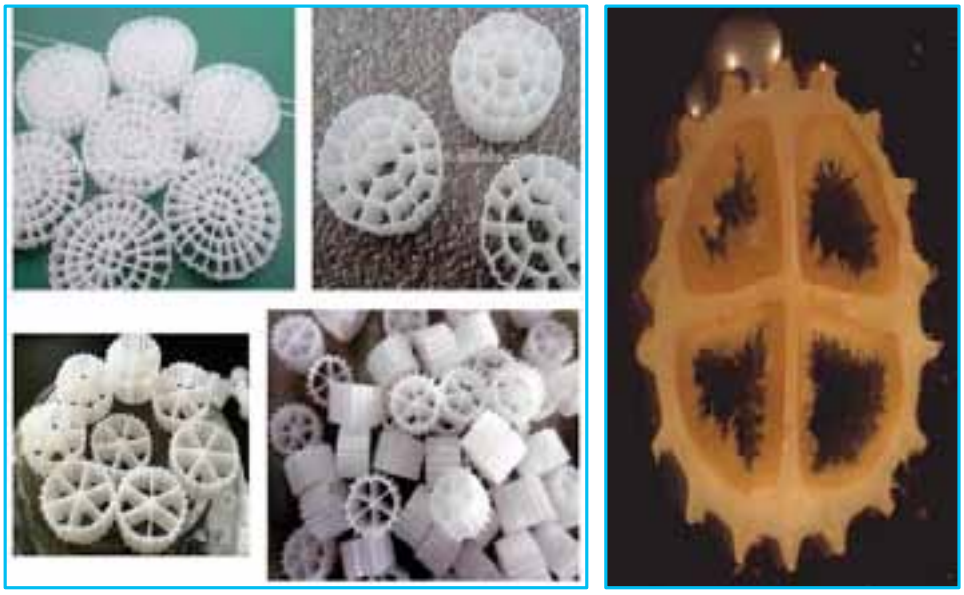
الشكل (64): معالجة المياه العادمة بنظام المفاعل الحيوي ذو السرير المتحرك



المصدر: https://businessdocbox.com/Green_Solutions/74303435-21-st-century-biofilm-reactors-treating-for-trout-northport-leelanau-township-wastewater-treatment-facility-presented-by-rich-grant-pe.html

صممت الكتل البلاستيكية بحيث تضمن سطوحاً نوعية كبيرة تصل إلى نحو (355 م^2/م^3)، يتم التصاق نحو 40 % من الكتلة الخلوية البكتيرية "Bacterial Mass" على شكل فيلم حيوي محمي بشكل هندسي يحول دون انسلاخه بسبب الحركة العشوائية المستمرة، والتصادمات بين هذه الكتل داخل المفاعل الحيوي، كما يضمن عمليات تلامس بين الملوثات، وفقاعات الهواء المنتشرة خلال الشبكة الهوائية الممتدة فوق قاع الجزء الهوائي من المفاعل. يبين الشكل (65) الكتل البلاستيكية لنمو بكتريا المعالجة عليها.

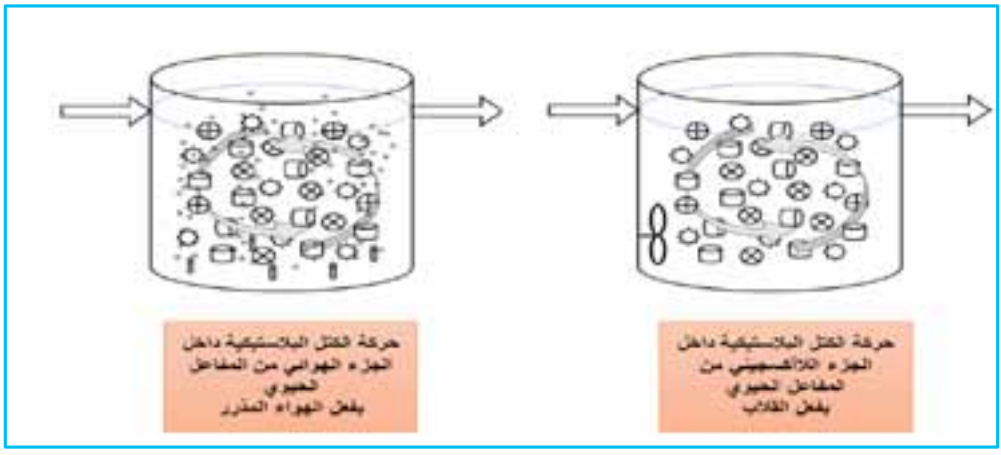
شكل (65): الكتل البلاستيكية لنمو بكتريا المعالجة عليها



المصدر: https://pdfs.semanticscholar.org/6b61/ef0f8e0a1f77808633bcabe919072d84da67.pdf

يتم ملئ المفاعل الحيوي في جزئيه الهوائي، واللاأكسجيني بالكتل البلاستيكية إلى حوالي 67% من الارتفاع التصميمي للمياه داخل المفاعل (الفاقد في حجم المفاعل نتيجة وجود هذه الكتل البلاستيكية يمثل نحو 12% من إجمالي حجم المفاعل)، ثم تدفع المياه العادمة إلى المفاعل. تتحرك الكتل البلاستيكية داخل المفاعل الحيوي على شكل تيارات شبه دائرية بفعل تأثير الهواء المذرر في الجزء الهوائي، وبفعل القلابات في الجزء اللاأكسجيني [87،88]. كما يبين الشكل (66). بينما يبين شكل (67) وحدة معالجة بنظام المفاعل الحيوي ذو السرير المتحرك.

شكل (66): ألية مسار حركة الكتل البلاستيكية في المفاعل الحيوي ذو السرير المتحرك



المصدر: https://www.researchgate.net/figure/The-mechanisms-of-the-moving-bed-bioreactor_fig1_308722690

شكل (67): وحدة معالجة بنظام المفاعل الحيوي ذو السرير المتحرك



المصدر: https://www.ovivowater.ch/de/application/energy/petrochemical/processwastewater-/treatment/mbbr.

تتميز هذه التقنية بالمميزات التالية [87،88]:

- وحدات معالجة مدمجة لا تحتاج إلى مساحات شاسعة من الأراضي.
- إمكانية تطوير وتعديل محطات المعالجة التي تعمل بطريقة الحمأة المنشطة التقليدية، لتشغيلها بالتقنية الجديدة، واستيعاب كميات أكبر من المياه المعالجة دون الحاجة لمنشأت جديدة.
- كفاءة عالية لإزالة المواد الصلبة، والنيتروجين الكلي، والنترات، ومحتوي الطلب على الأكسجين الكيميائي، والكيميائي الحيوي "COD,BOD".
- إمكانية معالجة المياه العادمة ذات تركيزات مرتفعة من المواد الصلبة تتراوح ما بين 6000-9000 ملغرام/ليتر، بينما الطرق الأخرى تعالج مياه عادمة ذات تركيزات تصل إلى 60 % من هذه القيم، مما يميز الطريقة الجديدة بالفاعلية في المعالجة مع بقاء كميات الحمأة الناتجة في حدود كمياتها الناتجة عن الطريقة التقليدية.
- زمن المكوث " زمن الحجز الهيدروليكي" منخفض جداً مقارنةً بالطرق التقليدية السائدة حيث يتراوح ما بين 1.5-2 ساعة، بينما يصل إلى نحو 24 ساعة في طريقة الحمأة المنشطة ممتدة التهوية.
- لا حاجة لإجراء عمليات الغسيل العكسي بصورة دورية.
- انخفاض كميات الحمأة المسترجعة، وعدم الحاجة لإعادة تدويرها إلى المفاعل، وتفادي مشكلات انتفاخها.
- مرونة التشغيل مع تحمل التغيرات المفاجئة في الأحمال، ومواصفات المياه العادمة، ودرجات الحرارة.
- خفض في التكلفة الاستثمارية والتشغيلية.

10.2. المعالجة الثلاثية "Tertiary treatment"

تشمل المعالجة الثلاثية العديد من العمليات العلاجية الفيزيائية والكيميائية، ويمكن أن تستخدم بعد عمليات المعالجة البيولوجية في المرحلة الثانوية، بهدف تلبية متطلبات عمليات المعالجة الكلية للوصول إلى مستويات وجودة المياه المطلوبة من حيث المتطلبات البيئية لإعادة استخدامها.

يتم في هذه الخطوة إزالة الملوثات من المياه العادمة والتي لم يتم إزالتها أو التخلص منها بشكل تام في عمليات المعالجة الثانوية، وخاصة للوصول إلى الحدود المقبولة من محتوى المواد الصلبة الكلية، ومحتوى الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي (BOD، TSS)، وإزالة المغذيات (النيتروجين، والفسفور)، وإزالة السموم (المركبات العضوية المتطايرة، المعادن).

كما يمكن أن تشمل عمليات المعالجة الثلاثية تقنيات الفصل الفيزيائي الكيميائي مثل امتصاص الكربون المنشط "Activated Carbon Adsorption"، التلبد / الترسيب "Flocculation/Precipitation"، ترشيح الأغشية "Membranes Filtration"، التبادل الأيوني، إزالة الكلورة "de-chlorination"، والتناضح العكسي "Reverse Osmosis".

1.10.2. الفلترة "الترشيح الحبيبي "Granular Media Filtration"

هي عملية فيزيائية لإزالة المواد العالقة في المياه العادمة عن طريق إمرارها خلال وسط مسامي يسمح بنفاذ المياه وحجز المواد العالقة، لا يحدث خلال عملية الفصل أي تفاعلات كيميائية، حيث أن عملية الفصل تتم بين طورين، الطور السائل "المياه العادمة"، والطور الصلب "Solid Phase"، وهو المواد الصلبة العالقة.

تشتمل المواد أو الشوائب الصلبة العالقة على كل من:

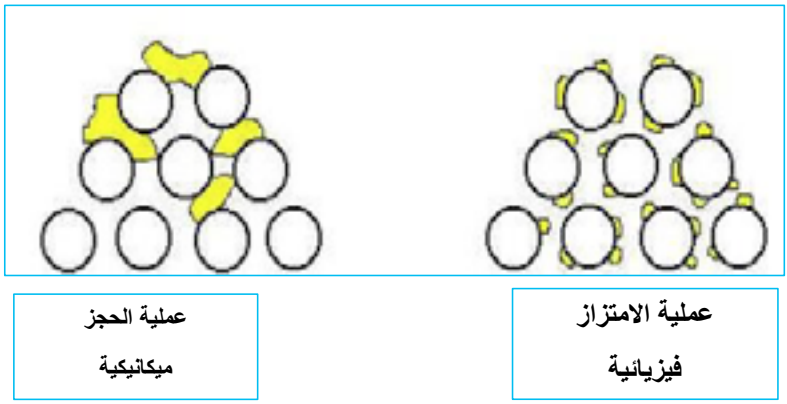
- دقائق التراب أو الرمل التي تختلط بالمياه أثناء مروره في طبقات الأرض، أو خلال عمليات الضخ، والنقل، والتخزين.

- المواد الغروية، وهي عبارة عن مخلفات عضوية ناتجة عن تحلل البقايا الحيوانية، والنباتية في المياه.
- الكائنات الحية الدقيقة كالبكتريا، والفطريات، والطحالب، والديدان، وتكون ذائبة في المياه.
- المواد العضوية التي تسبب تلون للمياه مثل الأصباغ، والأحبار، وغيرها.
- المواد غير العضوية التي تسبب تلون للمياه مثل مركبات الحديد، والمنجنيز.

تتكون طبقة مع مرور الوقت من الشوائب على سطح وسط الترشيح تسمي "بكيكة الترشيح"، أو الحصيرة – الفرشة- "Mat"، والتي تعد الوسط الحقيقي لعملية الترشيح حيث تتم خلالها عملية الترشيح بشكل فعال ذلك قبل أن تصل سماكتها إلى درجة تمنع مرور المياه وتعيق عملية الترشيح. حيث أنه ومع مرور الوقت تصبح هذه الطبقة عائقاً لعملية الفلترة وتسبب ارتفاعاً ملحوظاً في فاقد الضغط "Pressure losses"، كما تسبب انخفاضاً في تدفق المياه من خلال الفلتر [92]. تتم عملية الترشيح طبقاً للأسس التالية:

- التصاق المواد العالقة بحبيبات الرمل، وتسمى عملية امتزاز "Adsorption".
- ترسيب بعض المواد العالقة في فجوات بين الرمال، والتي تعمل كمصفاة تحتجز المواد العالقة ذات الأحجام الكبيرة نسبيا، وهي عملية ميكانيكية. يبين الشكل (68) الفرق بين عملتي الامتزاز " فيزيائية"، وعملية الحجز "ميكانيكية"
- تكون طبقة هلامية على سطح الرمل من المواد العالقة الدقيقة وما يحتمل تواجده من كائنات حية دقيقة، مما يساعد على اصطياد وحجز المواد العالقة.
- اختلاف الشحنات الكهربائية على كل من المواد العالقة وحبيبات الرمل، مما يساعد على جذب والتصاق هذه المواد بحبيبات الرمل [82].

شكل (68): الفرق بين عملتي الامتزاز " فيزيائية"، وعملية الحجز " ميكانيكية"



المصدر: Rapid Sand Filtration

1.1.10.2. أوساط الترشيح

تستخدم لأغراض الترشيح والفلترة مواد مختلفة بعضها من مصادر طبيعية، وبعضها من مصادر صناعية، يعتمد اختيار وسط الترشيح على عوامل عديدة، ومن أهمها:

1.1.1.10.2. حجم المواد الصلبة

يتم اختيار وسط الترشيح بحيث تكون مسامه أصغر من حجم دقائق المواد الصلبة المراد إزالتها، مع مراعاة أنه كلما قل قطر مسام وسط الترشيح كلما زاد فرق الضغط الفاقد مما يسبب انسداد المسام وتوقف عمليات الفلترة بعد وقت قصير [91،82].

2.1.1.10.2. درجة التنقية المطلوبة

كلما كانت درجة عمليات التنقية المطلوبة فائقة، فإنه من الضروري تحديد كفاءة الفلتر.

3.1.1.10.2 فترة التشغيل

يوجد أوساط ترشيح تتحمل فترات تشغيل طويلة دون أن تتأثر كفاءة الفلترة، بينما هناك أوساط أخرى لا تتحمل فترات طويلة.

4.1.1.10.2. الغسيل والتنشيط

من الضروري اختيار أوساط ترشيح تكون سهلة الغسيل، واقتصادية وخاصة في العمليات الصناعية الضخمة [82،91].

5.1.1.10.2. التكلفة

تعد التكلفة الاقتصادية من المحددات الرئيسية في اختيار أوساط الترشيح، وبخاصة في الوحدات الصناعية التي تستهلك كميات كبيرة من أساط الترشيح في عمليات المعالجة. من أهم الأوساط المستخدمة في عمليات الترشيح ما يلي:

1.5.1.1.10.2. الرمال

تعد الرمال من أرخص الأوساط المستخدمة في عمليات الترشيح، وتستخدم بشكل واسع في المرشحات الرملية، حيث يستخدم رمل الكوارتز لهذا الغرض. يستخدم الرمل بسماكات مختلفة تصل إلى 700 ملي للطبقة الواحدة، وبأقطار مختلفة تتراوح ما بين 0.45-0.55 ملم. ولتحديد الأقطار المقبولة، والمطلوبة للرمال، تستخدم تقنية التحليل بالمناخل " Sieve Analysis"، وهي عبارة عن مجموعة من المناخل الرأسية المرقمة حسب فتحة كل منخل، ليعطي كل منخل رقم يسمى "Mesh Number"، ويتم تحريك المناخل من خلال هزاز كهربائي، وتؤدي عملية التحريك إلى حجز الرمال على سطوح المناخل حسب حجمها، وبالتالي يتم تحديد قطر هذه الحبيبات على كل منخل. يبين الشكل (69) مجموعة المناخل المستخدمة في تحديد أقطار الرمال المقبولة بتقنية التحليل بالمناخل [82،91].

شكل (69): مجموعة المناخل المستخدمة في تحديد أقطار الرمال المطلوبة بتقنية التحليل بالمناخل



المصدر: Sieve Analysis test of Sand

2.5.1.1.10.2. فحم الأنثراسيت "Anthracite"

يستخدم هذا النوع من الفحم كبديل للرمال في بعض محطات المعالجة بالترشيح، وقد يستعمل مع الرمال، ومواد أخرى كوسط خليط للترشيح، وتستخدم هذه النوعية من المرشحات بسماكات قريبة من شبيهاتها في أوساط الرمال [82،91].

3.5.1.1.10.2. الأوساط المخلوطة "Multilayer/ Mixed Media"

أصبح استخدام أكثر من وسط "خليط" للترشيح أمراً شائعاً، بحيث توضع الحبيبات الأكبر حجماً والأقل كثافة في أعلى حشوة الوسط بينما توضع الحبيبات الأقل حجماً والأكثر كثافة في أسفل الحشوة، كما يبين الشكل (70)، تستخدم عادة مجموعة من المواد كأوساط مخلوطة كطبقات فوق بعضها البعض كما يبين الجدول (21)، ولدى مرور المياه من أعلى إلى أسفل فإن هذه الأوساط المخلوطة تضمن عملية نفاذية منتظمة لفترات طويلة قبل الحاجة إلى عملية الغسيل العكسي. [82،91].

الشكل (70): شكل خليط أوساط الترشيح في المرشحات



المصدر : https://www.freedrinkingwater.com/water-education2/814-multi-media-filters.htm

جدول (21): منظومة أوساط مخلوطة مستخدمة في فلاتر الترشيح

نوع الوسط	القطر الفعال (ملم)	الوزن النوعي
الأنثراسيت	0.7-1.7 ✓	1.4 ✓
الرمال	0.3-0.7 ✓	2.6 ✓
الجرانيت	0.4-0.6 ✓	3.8 ✓
الماجنتايت	0.3-0.5 ✓	4.9 ✓

المصدر : استخدام معدات الترشيح في معالجة المياه، معهد التدريب المتخصص للصناعات الكيماوية– الأردن

2.1.10.2. أنواع المرشحات

تنقسم أنواع المرشحات إلى [82]:

- مرشحات تعتمد على خاصية الجاذبية، وطبقاً لسرعة الترشيح مثل، المرشحات الرملية البطيئة، والمرشحات الرملية السريعة.
- طبقاً لنوع طبقة الترشيح فنجد مرشحات الرمل، أو الفحم، أو الإثنين معاً، وهناك المرشحات ذات الطبقة الواحدة أو متعددة الطبقات.

- طبقاً لاتجاه الترشيح، فهناك المرشحات التي يتم فيها الترشيح من أعلي إلى أسفل وهو النوع الشائع، أو من أسفل إلى أعلي.
- هذا وتوجد أنواع من المرشحات الرملية يطلق عليها "المرشحات الرملية ذات الجريان العكسي"، حيث تدخل المياه المراد معالجتها من أسفل المرشح وتخرج من الأعلى ويبلغ معدل التحميل فيها ضعفي المرشحات الرملية السريعة.
- كما أن هناك ترشيح يتم تحت ضغط [89-92].

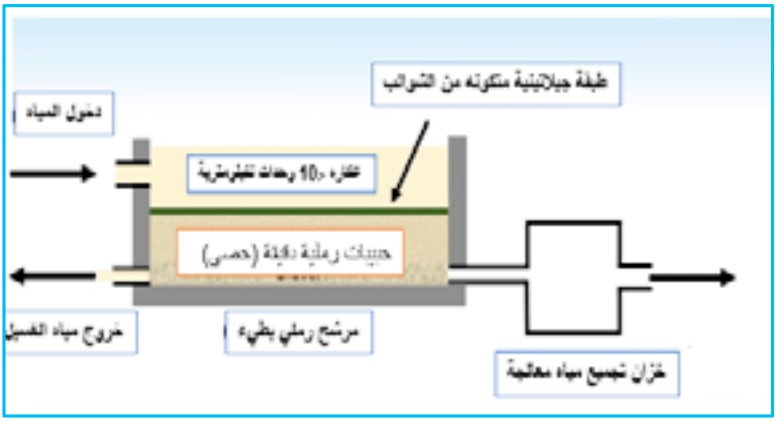
1.2.1.10.2 مرشحات الرمل البطيئة

يعتبر مرشح الرمل البطيء "Slow Sand Filters" من أوائل أنواع المرشحات، إلا أنه لم يعد شائعاً في الوقت الحالي بسبب بطئه الشديد، واحتياجه إلى مساحات أراضي شاسعة، كما أنه غير مناسب في الأجواء الحارة حيث تنمو الطحالب بكثرة، وينحصر استخدامه على ترشيح المياه ذات العكارة المنخفضة، يبين الشكل (71) مخطط مرشح رملي بطيء.

على الرغم من أن مرشحات الرمل البطيئة تحتاج مساحات أراضي تزيد بأكثر من 30 مرة عن مساحة مرشحات الرمل السريعة، إلا أنها تمتاز بعدة مميزات منها:

- انخفاض التكلفة الإنشائية.
- لا تحتاج إلى كيماويات للمساعدة في تجميع الرواسب.
- انخفاض استهلاكات الطاقة أو المياه لعدم الحاجة لإجراء عمليات الغسيل اليومية.
- عدم وجود مشكلات التخلص من مياه الغسيل، حيث يتم تنظيف المرشحات البطيئة على فترات طويلة تمتد لعدة أشهر دون الحاجة إلى عمليات غسيل يومية [89–92].

الشكل (71): مخطط مرشح رملي بطيء



المصدر: Water purification processes using sand demonstrate another green aggregate application

2.2.1.10.2. مرشحات الرمل السريعة

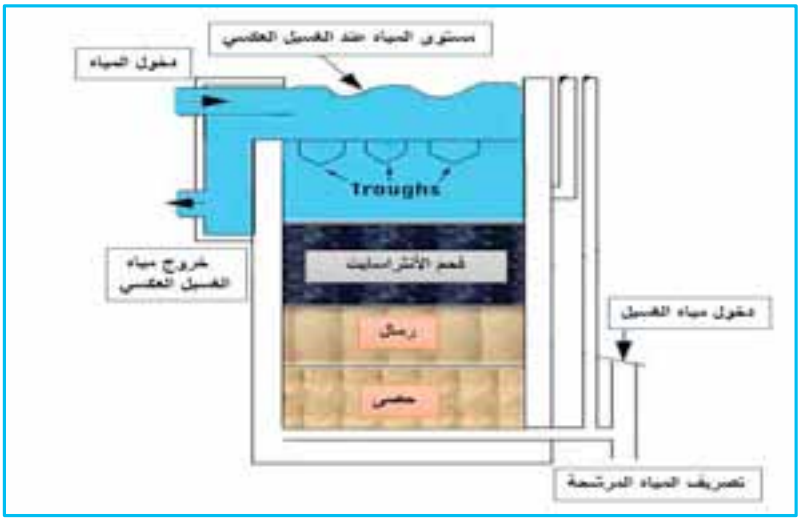
مرشحات الرمل السريعة "Rapid Sand Filters"، وتعرف أيضاً بالمرشحات الميكانيكية، وهي عبارة عن أحواض خرسانية مستطيلة تحتوي عادة على طبقات مختلفة متتالية من الحصى، والرمال، وعادة فحم الأنثراسيت. يوجد في قاع الحوض مصافي لتجميع المياه المرشحة، كما توجد مجموعة صرف "Under Drain System" لتجميع المياه التي يتم ترشيحها خلال جميع أجزاء المرشح، كما أنها تقوم في الوقت نفسه بتوزيع مياه الغسيل على جميع أجزاء المرشح، كما يبين الشكل (72). تستخدم هذه النوعية من المرشحات في حالة أن كميات المياه المراد ترشيحها كبيرة، ويستخدم المرشح السريع ضمن مجموعة معالجة متكاملة تتضمن الترسيب، والتخثر، والترشيح.

تختلف المرشحات البطيئة عن المرشحات السريعة في عدد من الأمور ومنها:

- معدل ترشيح المرشحات السريعة يتراوح ما بين 100-125 م^3/م^2 يوم، بينما معدل ترشيح المرشحات البطيئة لا يتعدى 3-8 م^3/م^2 يوم.

- طريقة التنظيف للمرشحات السريعة تتم بعملية الغسيل العكسي في فترة زمنية قصيرة لا تتعدى 10-15 دقيقة، بينما عمليات الغسيل للمرشحات البطيئة تتم عن طريق إزالة الطبقة الجيلاتينية المتكونة فوق سطح الرمال وتستغرق يومين تقريباً.
- التكلفة الانشائية للمرشحات السريعة أقل من المرشحات البطيئة حيث تحتاج إلى مساحات من الأراضي أقل كثيراً من المرشحات البطيئة، غير أن تكلفة التشغيل للمرشحات السريعة أعلى نسبياً من المرشحات البطيئة [89-92].

الشكل (72): مخطط مرشح رملي سريع



المصدر: http://salilaenvirotech.tradeindia.com/rapid-sand-filter-1594987.html

إلا أن الفلاتر الرملية لها بعض المشكلات الفنية ومنها:

- تكون فقاعات من الهواء المذاب في الماء داخل وسط الترشيح نتيجة ارتفاع درجة الحرارة، أو بسبب الأكسجين المنطلق من الطحالب المتراكمة في داخل وسط الترشيح، أو بسبب بعض المشكلات الفنية الناتجة عن انخفاض ضغط

المرشح عن الضغط الجوي. يمكن حل مثل هذه المشكلات عن طريق السيطرة على الطحالب بإضافة الكلور، بينما يمكن إشباع الماء بالهواء والمحافظة على درجة الحرارة داخل المرشح.

- تكون طبقة كثيفة ناتجة عن تجمع وتكون كميات من الطين "الوحل" على سطح المرشح، ومع بداية عملية الغسيل العكسي يندفع الطين على شكل كرات كثيفة إلى أسفل المرشح في اتجاه الحصى. يتم علاج هذه المشكلة باستخدام تيار من الماء، والصودا الكاوية، وقد يستخدم تيار قوي من الهواء في بعض الأحيان.

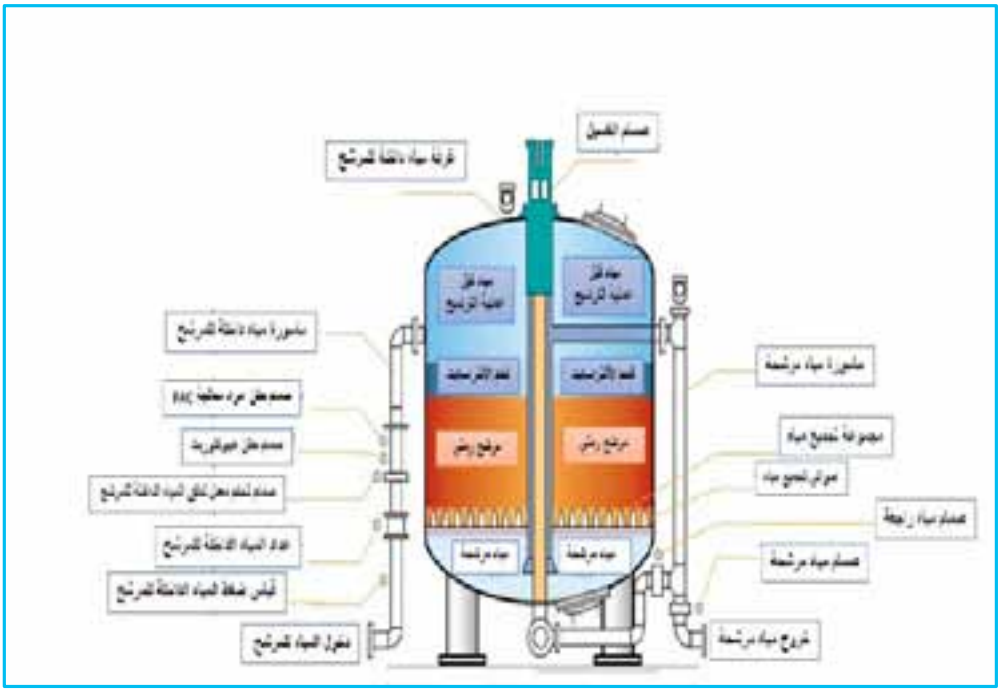
3.2.1.10.2. مرشحات الضغط "Pressure Filters"

تعد مرشحات الضغط أحد أنواع المرشحات السريعة، والتي تعتمد على إجراء عملية الترشيح داخل وعاء مغلق تحت ضغط، وتتشابه مع مرشحات الجاذبية في احتواءها على أوساط ترشيح مع طبقة الحصى الداعمة لوسط الترشيح، مع نظام التصريف وتجميع المياه المرشح، ولكن لا تحتوي على قنوات لتصريف مياه الغسيل، كما يبين الشكل (73) [91].

توضع في مرشحات الضغط طبقات من الرمل، والحصى داخل أسطوانة مغلقة من الصلب في الاتجاه الأفقي أو الرأسي، تتحمل ضغط داخلي لا يقل عن 2 ضغط جوي، وتدخل المياه المراد ترشيحها من أعلى وتمر بطبقات الرمل والحصى إلى أسفله، حيث تتجمع المصافي.

مصطلح "الضغط" لا يعني أنه يلزم إمرار المياه داخل المرشح تحت ضغط عالي، أو أن الضغط الفاقد داخل المرشح عالي، بل أن الماء يمر خلاله تحت أي ضغط مناسب مثل ضغط طلمبات المياه العكرة " الضغط المنخفض" [82].

شكل (73): قطاع في مرشح يعمل تحت ضغط



المصدر : http://www.hitachizosen.co.jp/english/release/2015/12/001953.html

تستخدم أنواع من الكيماويات بهدف تحسين كفاءة المرشح " الفلتر"، ومن أهم أنواع المواد المستخدمة المواد المانعة لنمو البكتريا والطحالب، والكائنات الحية الدقيقة "Biocides" والتي يؤدي وجودها إلى انسداد مسامات أوساط الترشيح، حيث يستخدم الكلور ومركباته مثل هيبوكلوريت الصوديوم. كما تستخدم بعض المواد المخثرة "Coagulants" لتجميع الدقائق الرغوية الناعمة جداً على شكل ندفات كبيرة يسهل فصلها [91].

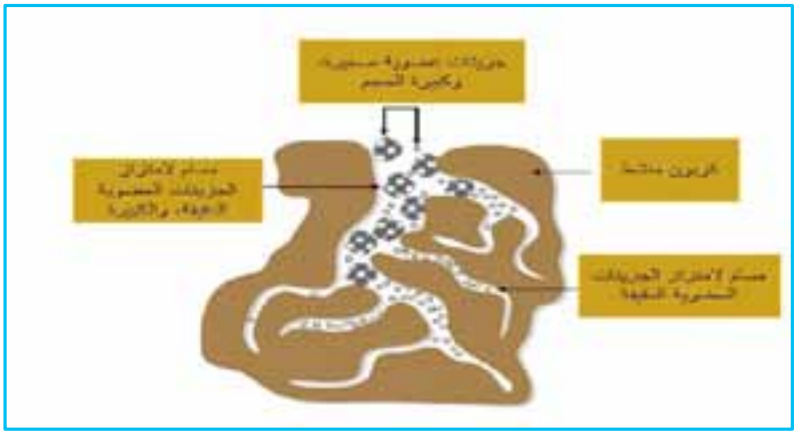
2.10.2. الامتزاز بالكربون المنشّط

سبق التعريف بأن الامتزاز هو عملية تجميع المواد الذائبة في محلول على سطح مناسب. تعالج المياه العادمة عادة بالكربون المنشّط بعد المعالجة البيولوجية العادية بهدف إزالة

المادة العضوية الذائبة المتبقّية أو الجسيمات، والمسببة تغيرات في اللون، والطعم، والرائحة للمياه.

الكربون المنشط من المواد ذات القدرة العالية على الامتزاز، والمساحة السطحية للكربون المنشط التجاري المستعمل على نطاق واسع تتراوح بين 600-1200 م^2/جم، ويمكن تعريفه على أنه ماده مسامية نتجت عن خلل في التركيب البلوري أثناء التحضير أدى إلى ظهور مسامات يكون لها القدرة على عملية الامتزاز [94]. يبين الشكل (74) عملية الامتزاز على الكربون المنشط [93].

الشكل (74): عملية الامتزاز على الكربون المنشط



المصدر: Water treatment technology

يختلف الكربون المنشط عن بقية المواد المسامية مثل السيليكا جل، والألومينا ببعض الصفات مثل احتوائه على جميع أنواع المسام "Pores"، كبيرة الحجم "Macro" التي يمكن ملاحظتها بسهولة عن طريق المجهر الإلكتروني، وحتى الدقيقة "Micro" والتي تشترك في الامتزاز [95]. تعتمد خواص الامتزاز على حجم مسام الكربون المنشط، حيث تزاد خاصة الامتزاز كلما زاد حجم تلك المسام، وتعتمد أيضاً على حجم مسام الكربون طبقاً لنوع الكربون

المستخدم وطريقة تنشيطه، وتعمل فلاتر الكربون المنشط بكفاءة أعلى في امتزاز الملوثات ذات الحجم الكبير.

يعد الامتزاز بالكربون المنشط من أرخص الطرق المستخدمة في امتزاز الملوثات، كما بدأت بعض الدراسات في تحضير الكربون المنشط من مصادر جديدة، صديقة للبيئة، ومنخفضة التكلفة. حيث تم تحضير الكربون المنشط من المخلفات النباتية مثل مخلفات نبات الكاسافا "cassava " الغنية بالسليلوز، ومن قشور الجوز، ونوى الخوخ، ونوى الزيتون، وقشور جوز الهند، إضافة إلى الأخشاب ونوى بعض الفواكه مثل المانجو، والكرز، والتمر [93].

يُصنَع الكربون المنشّط بتسخين الفحم إلى درجات حرارة عالية ومن ثمّ تنشيطه عبر تعريضه لغاز مؤكسِد. ويؤدّي الغاز إلى إنتاج مسامٍ في الفحم بحيث يزيد من مساحة السطوح الداخلية. وينتشر استخدام نوعين من الكربون المنشّط هما: الكربون المنشّط الحُبَيبي يثبت على سرير محشو بالكربون، والنوع الأخر وهو مسحوق الكربون المنشط.

تتم معالجة المياه العادمة باستخدام الكربون المنشط، بإضافة مسحوق الكربون مباشرة إلى المياه في خزان التلامس لبعض الوقت، الذي يتراوح ما بين 5-20 دقيقة، حيث يترسب المسحوق في القاع ويتم إزالته، كما يبين الشكل (75). يمكن إزالة المعادن الثقيلة الناتجة عن بعض العمليات الصناعية وتشمل كل من الزنك، والنيكل، والحديد، والنحاس، والرصاص، والكادميوم، والمنجنيز، بالإضافة إلى المواد العضوية المتطايرة "VOCs" [91].

شكل (75): معالجة المياه العادمة باستخدام الكربون المنشط



المصدر: [94]

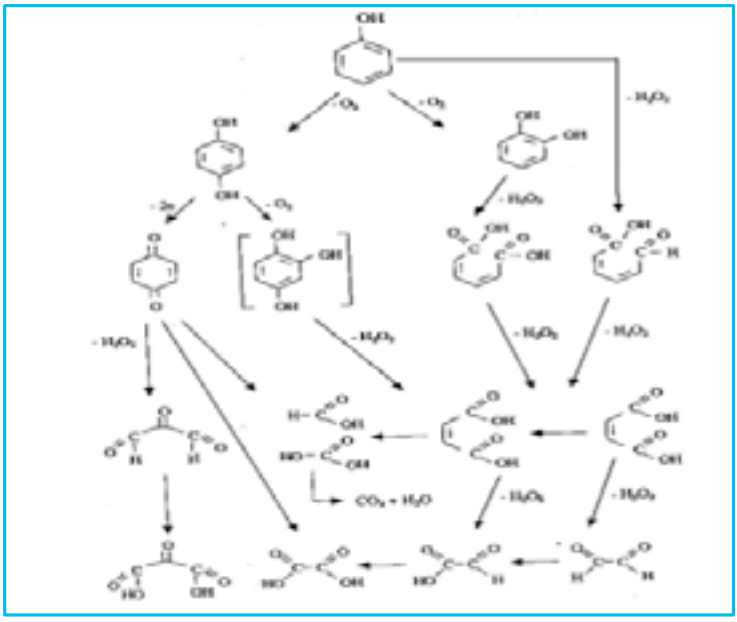
3.10.2. طرق المعالجة بالأكسدة المتقدمة

تشمل طرق الأكسدة المتقدمة "Advanced Oxidation Processes" عديد من الطرق التي تعتمد على تكوين مجموعة الهيدروكسيل "OH"، التي تقوم بأكسدة الملوثات العضوية بمختلف أنواعها، وتتضمن:

1.3.10.2. المعالجة الأوزون

المعالجة بالأوزون أو ما يطلق عليها الأوزنة "O_3"، يعمل خلالها الأوزون على أكسدة شوارد الحديد "Fe^{+2}"، والمنجنيز "Mn^{+2}" ليسهل ترسيبها وإزالتها بسهولة، كما يعمل الأوزون على تكسير الفينول ومركباته، وتحويلها إلى مركبات مفتوحة، وثاني أكسيد الكربون، وماء. يبين الشكل (76) أكسدة الفينول من خلال سلسلة من التفاعلات الكيميائية تنتهي بتكوين أحماض كربوكسيلية، أو ثاني أكسيد الكربون [96].

الشكل (76): أكسدة الفينول بالأوزون



المصدر: [96]

يعتمد تفاعل الأكسدة بالأوزون على خصائص المياه المعالجة مثل وجود الأملاح، ودرجة حموضة المياه، ودرجة الحرارة حيث تؤثر هذه العوامل على استقرار الأوزون. هذا ويعيب هذه الطريقة قصر فترة نصف عمر الأوزون التي تبلغ 20 دقيقة [96]. يبين الشكل (77) صورة مولدات الأوزون. بينما يبين الشكل (78) حقن الأوزون داخل الوسط المائي بواسطة الناشرات ذات الثقوب الدقيقة.

الشكل (77): صورة لمولدات الأوزون



المصدر: [96]

الشكل (78): حقن الأوزون داخل الوسط المائي بواسطة الثقوب الدقيقة



المصدر: [96]

2.3.10.2. المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية

لم ينتشر استعمال الأشعة فوق البنفسجية "UV" على نطاق واسع في معالجة المياه، وبقي محدوداً لتعقيم مياه الشرب لبعض المنشآت الصغيرة وفي شروط معينة، ومن مميزات هذه الطريقة عدم الحاجة على إضافة مواد كيماوية، والتعقيم بالأشعة فوق البنفسجية لا يكون

ناجحاً إلا إذا كان الماء خالي من المواد العالقة الدقيقة، حيث أن وجودها يعمل على صعوبة انتقال الأشعة وبالتالي عدم التأثير المباشر على الكائنات الحية الدقيقة [96].

تزداد كفاءة المعالجة بالأكسدة بالأشعة فوق البنفسجية إذا ما تكاملت مع طرق أكسدة أخرى مثل الأكسدة بالأوزون، أو بماء الأكسجين، وتعطي نتائج جيدة لأكسدة المركبات العضوية الموجودة في المياه. تستخدم المصابيح الزئبقية لإنتاج الأشعة فوق البنفسجية التي تعطي موجة طولها 254 نانومتر، ويحتوي جهاز المعالجة على عدداً من المصابيح، ويقدر عمر المصباح بنحو 14 ألف ساعة عمل. يبين الشكل (79) مصباح إنتاج الأشعة فوق البنفسجية [96].

الشكل (79): مصباح إنتاج الأشعة فوق البنفسجية



المصدر: [96]

من أهم مميزات المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية أنها لا تستعمل المواد الكيماوية، ولا ينتج عنها مواد ثانوية ضارة، وهي سهلة الاستخدام، ومنخفضة التكلفة نسبياً. يبين الشكل (80) وحدة المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية بأحد محطات المعالجة.

الشكل (80): وحدة المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية بأحد محطات المعالجة



المصدر: Wastewater treatment and reuse in the oil & petrochemical industry – a case study, Engineering Conferences International, Spring 6-13-2014

3.3.10.2. طرق معالجة أخري

كما توجد طرق معالجة أخرى تندرج تحت مسمى طرق الأكسدة المتقدمة مثل المعالجة بالموجات فوق الصوتية **"US"**، والمعالجة بمركبات فوق أكسيد الهيدروجين – الماء الأكسجيني-"H_2O_2"، كما يمكن استخدام مزيج من بعض طرق الأكسدة مثل **"UV/H_2O_2"**، أو**"$UV/H_2O_2/O_3$"**، أو **"UV/O_3"** [96].

4.10.2. الأكسدة بالكلور

تعد عملية الأكسدة بالكلور "الكلورة"، الوسيلة التقليدية لتعقيم المياه المعالجة، وهي الخطوة الأخيرة لعملية التعقيم قبل أن تخرج المياه من محطة المعالجة. تعتمد على إضافة كمية محسوبة من الكلور، أو مركب كلوري، "هيبوكلوريت الصوديوم" أو ما يطلق عليه "ماء جافيل"، أو هيبوكلوريت الكالسيوم.

يقتل الكلور طيف واسع من الجراثيم المسببة للأمراض، كما يمكن تعريض المياه للأشعة فوق البنفسجية، كوسيلة للتعقيم، ولكن هذه الطريقة لا تتمتع بالفعالية الكافية، وخصوصا عندما تكون المياه غير صافية بدرجة كافية، أو لا تزال تحتوي على بعض الجزيئات الصلبة، بينما يعتبر التعقيم بالأوزون الطريقة الأحدث والأعلى فعالية.

5.10.2. تصريف السائل الصفري

ظهر مفهوم التصريف السائل الصفري، أو ما يطلق عليه التصريف الصفري للسائل "ZLD "، أو ما يعرف في بعض الأدبيات العربية بمصطلح التدوير الكامل للمياه في عام 1970 في الولايات المتحدة الأمريكية مدفوعاً بالاعتبارات والقيود البيئية الصارمة، حيث صدرت تشديدات ولوائح فيدرالية تتعلق بالقيود على صرف الأملاح على المياه السطحية، وخاصة بعد أن سببت ارتفاع نسبة الملوحة في نهر"كولورادو"، الناتجة عن صرف مياه تفوير أبراج التبريد في محطات إنتاج الطاقة بالولاية، مما نتج عنه تشييد أول وحدة تعمل بمبدأ التصريف الصفري للسائل بطاقة 500-2000 جالون/ دقيقة.

مع تزايد المعايير البيئية التي تنفذها الشركات، والتي تنص على منع تصريف ملوثات الأملاح، والملوثات السامة، والنترات، والنتريت،...الخ. أصبحت هذه التقنية الآن أكثر استخداما في عديد من دول العالم. كما تزايد الاهتمام بتقنيات التصريف الصفري للسائل عند زيادة الوعي البيئي والمسئولية المجتمعية نحو القضايا البيئية. قد تبدو التكلفة الاستثمارية والتشغيلية لتقنيات

التصريف الصفري للسائل مرتفعة، نظراً للاستهلاكات الضخمة من الطاقة (حيث تستهلك حوالي 10-20 كيلوواط ساعة/م^3، مقابل 2-3 كيلوواط ساعة/ م^3 في تقنيات تحلية المياه)، إلا أنها قد تكون حلًا اقتصاديًا مقبولاً، وخاصة عندما يكون البديل نقل المياه العادمة لمسافات طويلة لإجراء عمليات معالجتها في وحدات معالجة خارجية. كما يمكن أن تساعد الشركات على التعامل مع العديد من التحديات مثل ارتفاع تكاليف الحصول على المياه اللازمة، وندرتها في كثير من الأحوال.

يعيب تقنيات التصريف الصفري أنه لا يوجد تصميم قياسي ثابت للتقنيات المستخدمة في عمليات المعالجة لكل الصناعات، بحيث تكون ثابتة لكل أنواع المياه العادمة، فتختلف التصميمات من صناعة لأخرى طبقاً لمواصفات المياه العادمة وخصائصها. هذا وتعد تقنية التصريف الصفري للسائل مناسبة لطيف واسع من الصناعات، وتشمل إنتاج الطاقة، وصناعات التكرير، والبتروكيماويات، والأسمدة، والتعدين، وإنتاج الأغذية، حيث تتوفر مجموعة متنوعة من المعدات والتقنيات لمعالجة مختلف أنواع المياه العادمة.

على الرغم من أن كل نظام "ZLD" سيكون مختلفًا طبقاً لأنواع الملوثات بالمياه العادمة، إلا أن العديد منها سيشمل مرحلة ما قبل المعالجة، ومرحلة تبخير لإزالة معظم الماء، ومرحلة تركيز أو بلورة أخرى لإنتاج المخلفات الصلبة النهائية. تركز المعالجة المسبقة غالباً على إزالة العناصر العضوية وأي مواد كيميائية يمكن أن تلحق الضرر بعمليات التبخير أو المعدات الأخرى في وقت لاحق من العملية.

قد يلزم إجراء معالجة مسبقة للمياه قبل عمليات التدوير الكامل للمياه، لذا فيمكن استخدام معظم طرق المعالجة التقليدية الشائعة للمياه، مثل تعديل رقم الأس الهيدروجيني، والترشيح، والتخثير " التنديف"، والمعالجة بالأغشية، والأكسدة، والفصل والترسيب، والهضم اللاهوائي والهوائي.

كانت عمليات التصريف الصفري للسائل تتم بالطرق التقليدية، وتشمل سلسلة من طرق المعالجة كالتبخير "باستخدام المبخرات الميكانيكية تحت الضغط - MVC"، وهي الطريقة الرئيسية المستخدمة في المعالجة، ويمكن بهذه الطريقة استرجاع نحو 95 % من المياه العادمة كمياه مقطرة. ثم تتم معالجات أخري لتركيز المتبقي من عمليات التبخير، باستخدام طرق بلورة مختلفة سواءً فيزيائية أو كيميائية لإنتاج مخلفات صلبة (بلورات)، وماء. تصل كميات الاسترجاع بتطبيق هذه الطرق من المعالجة إلى نحو100% من المياه، ويمكن فصل المواد الصلبة المتبقية والتخلص منها بدفنها في المدافن [97].

تم التغلب على التكلفة الاستثمارية والتشغيلية المرتفعة للطرق التقليدية لعمليات التصريف الصفري للسائل، عن طريق تم إدخال بعض التقنيات المساعدة لعمليات التبخير، تحت مسمى نظام الهجين، وفيه تم إدخال تقنيات أخرى وتشمل:

1.5.10.2. تقنية التناضح العكسي " الارتشاح" (RO)

الأغشية البوليمرية ذات أهمية قصوى في تطبيقات الصناعة مثل تحلية المياه، وفصل الأملاح، والمعالجة، ويعد التناضح العكسي من أهم طرق الأغشية البوليمرية. كان أول إعلان عن استخدام خاصية التناضح العكسي هو براءة اختراع بالاسم نفسه لإزالة عسر الماء "Softening" باستخدام أغشية السيانيد الحديدي على مثبتات مسامية من البورسلين، وفي عام 1952 أنتج في جامعة فلوريدا أغشية مصنعة من " أسيتات السيليلوز" لتحلية مياه البحر بالتناضح العكسي. وفي ستينيات القرن الماضي تم إنتاج الأغشية الملفوفة "Spiral wound"، وفي السبعينيات ظهرت أغشية الشعيرات الدقيقة المجوفة "hallow fine fiber" مصنعة من مادة البولي أميد. تتميز طرق التحلية بالأغشية عموماً بانخفاض الطاقة المستخدمة مقارنةً بطرق التحليل الحرارية [102].

تعتمد طريقة التناضح العكسي على الخاصية الأسموزية، حيث تستخدم الضغوط الواقعة على أسطح الاغشية للتغلب على الضغط الاسموزي الطبيعي للماء، حيث انه إذا وضع غشاء شبه نفاذ بين محلولين متساويين في التركيز تحت درجة حرارة وضغط متساويين لا يحدث اي مرور للمياه عبر الغشاء نتيجة تساوي الجهد الكيميائي على جانبيه، وإذا ما اضيف ملح قابل للذوبان لأحد المحلولين ينخفض الضغط ويحدث تدفق اسموزي للماء من الجانب الأقل ملوحة الى الجانب الأكثر ملوحة حتى يعود الجهد الكيميائي إلى حالة التوازن السابقة.

ويحدث هذا التوازن عندما يصبح فرق الضغط في حجم السائل الأكثر ملوحة مساويا للضغط الأسموزي، وهي خاصية من خواص السوائل ليس لها علاقة بالغشاء. وعند توجيه ضغط مساو للضغط الاسموزي على سطح المحلول الملحي يتم التوصل أيضا الى حالة التوازن ويتوقف سريان المياه من خلال الغشاء. وإذا رفع الضغط الى أكثر من ذلك فان الجهد الكيميائي للسائل سيرتفع ويسبب تدفقا عكسيا للماء من المحلول الملحي باتجاه المحلول الاقل ملوحة وهو ما يعرف بالتناضح العكسي. تصل كفاءة طريقة التناضح العكسي في التخلص من الأملاح إلى أكثر من 99%، وكذلك فإن أغشية التناضح العكسي لها قدرة على التخلص من البكتيريا، والجراثيم، والعناصر الضارة الموجودة في المياه. يبين الشكل (81) تقنية التناضح العكسي [98].

الشكل (81): تقنية التناضح العكسي



المصدر: [98]

ذكرنا سابقاً انه تم تطوير الأغشية التي تستخدم في عمليات الفصل الغشائي، إلا أن معظم هذه الأغشية تصنع أساسا من مادة البولي أميد "Polyamide" أو من مادة أسيتات السيليلوز "Cellulose Acetate" وقد كانت هناك بعض الأغشية تصنع من كحول البولي فينيل " Polyvinyl Alcohol" أو من بعض البوليمرات مثل النايلون، إلا أن مادتي السيليلوز، والبولي أميد أصبحتا البدائل الأكثر انتشاراً واستخداماً .ولقد تم تطوير أغشية مصنعة من ثنائي وثلاثي اسيتات السيليلوز لتلبي احتياجات العديد من الصناعات. غير ان من أهم مشاكل أغشية السيليلوز تأثرها الشديد بالتلوث البيولوجي كالطحالب، والبكتيريا مما يسبب انسدادها وحاجتها للغسيل الكيماوي أو المعالجة المسبقة بالتعقيم .

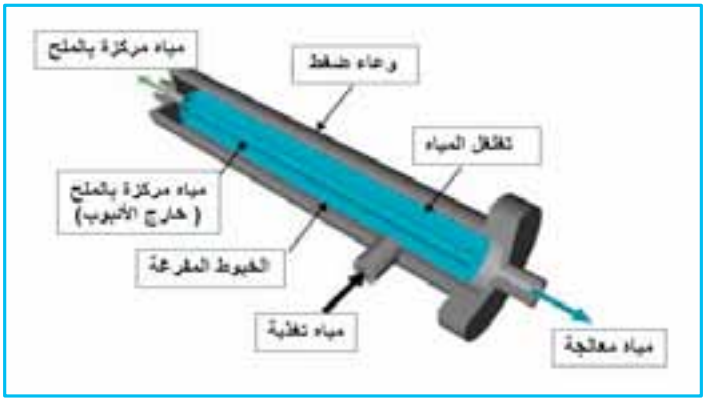
كما تتأثر أغشية السيليلوز كثيراً بدرجة الحموضة أو القاعدية، حيث يحدث لها عملية إماهة "Hydration"عند درجات الحموضة أو القاعدية المنخفضة. لكن تمتاز أغشية السيليلوز بعدم تأثرها الكبير بالعوامل المؤكسدة مثل الكلورين ومركباته المختلفة، وفي المقابل تمتاز أغشية البولي أميد بقدرتها على تحمل درجات حموضة واسعة المدى تتراوح ما بين 4-11، ولذلك تتحمل الاختلاف والتباين الشديد في درجات الحموضة خلال عمليات التشغيل والغسيل بالمواد الكيماوية [98].

يتم تصنيف الأغشية إلى نوعين رئيسين هما، الأغشية اللولبية الملتفة " Wound Spiral "، والأغشية ذات الخيوط المفرغة (الشعيرات المجوفة) "Hollow Fiber"، وهناك النوع التقليدي القديم وهو الأغشية الأنبوبية "Tubular"، حيث يكون الغشاء على شكل أنبوب يدخل في اسطوانة مسامية تقوم بمثابة دعامة للغشاء، حيث ينفذ الماء من الخلف وينساب من خلال فتحات في الأسطوانة حيث يتم تجميعه، بينما يبقى الماء المالح خارج الأنبوب والغشاء.

تمتاز الأغشية الأنبوبية بسهولة تنظيفها، إلا أن من أهم عيوبها ارتفاع نسبة الحجم إلى مساحة السطح، بينما يلزم خفض الحجم لزيادة الضغط اللازم توليده على هذه الأغشية لذا لم يعد استخدام هذه الأغشية شائعا.

تتكون الأغشية ذات الخيوط المفرغة "Hollow Fiber" من عدد هائل من الألياف المجوفة على شكل حرف"U" حول أنبوب مسامي مركزي، يدخل من خلاله الماء المالح تحت الضغط ويوزع بالتساوي فوق سطح الأنبوب. يعمل الضغط على إجبار الماء على المرور من خلال جدران الألياف إلى الفراغ الداخلي لها ومن هناك يتم سريان الماء إلى طرفي الخيط المفرغ المفتوحين الى صفيحة تجميع للمياه المعالجة في الجهة المعاكسة لدخول المياه المالحة، أما الماء المركز بالملح فيجري من خلال قناة دائرية على المحيط الخارجي لهيكل الخيوط ثم تخرج من نفس جهة دخول الماء الخام إلى التصريف. كما يبين الشكل (82).

شكل (82): الأغشية ذات الخيوط المفرغة المستخدمة في عمليات التناضح العكسي

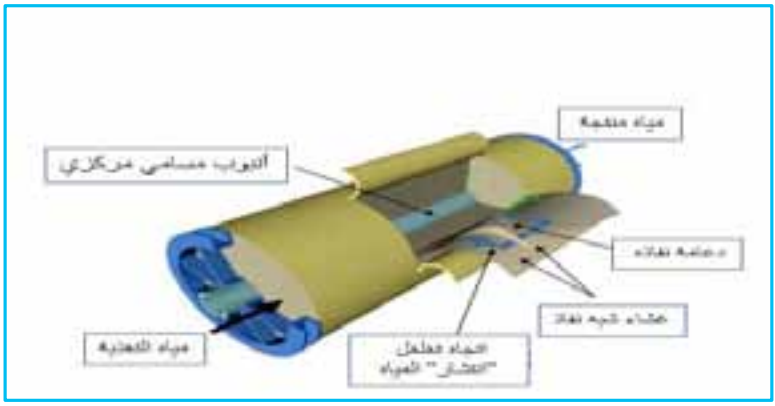


المصدر: Reverse Osmosis Optimization, Us department of energy, august 2013,

تعد الأغشية اللولبية "Wound Spiral" تطويراً للأغشية الأنبوبية حيث يوضع غلاف مسامي غير قابل للانضغاط بين صفيحتين من الأغشية ملتصقتين بحوافهما حول الغلاف المسامي بمادة لاصقة، ويلف الشريط الناتج لولبيا حول أنبوب مثقب. يوضع المحلول الملحي تحت ضغط في وحدة التناضح حيث يمر محوريا على امتداد طول الغشاء من خلال دعامة نفاذه "Spacer" إلى الشريط اللولبي مارا خلال الغشاء إلى الغلاف المسامي الذي يعمل على

تجميع الماء من طبقات الأغشية وينقلها الى أنبوب التجميع المركزي من خلال ثقوب صغيرة على امتداد الأنبوب، كما يوضح الشكل (83).

شكل (83): الأغشية اللولبية المستخدمة في عمليات التناضح العكسي



المصدر: Reverse Osmosis Optimization, Us department of energy, august 2013,

يكون القطر الداخلي للألياف المفرغة "Hollow Fiber " حوالي 40-50 ميكرون، والقطر الخارجي لها يبلغ 85-100 ميكرون، لذا تمتاز هذه النوعية من الأغشية بزيادة نسبة المساحة التي يمر بها الماء إلى حجم الألياف، والتي تصل إلى نحو 5000 قدم ^{2}/ قدم^3 من الخيوط، بينما هذه النسبة في النوع اللولبي تكون حوالي 300 قدم ^{2}/ قدم^3 [99].

تستخدم مضخات ضغط عالي لتمرير الماء النقي عبر الغشاء وحجز الملح. وتستخدم عادة مضخات طاردة متعددة المراحل "Multi – stage centrifugal" أو مضخات ذا الإزاحة الموجبة " Positive displacement"، مثل المضخات ذات المكبس "Piston pump". يتوقف اختيار نوع المضخة على نوعية الماء المالح ودرجة ملوحته فكلما كانت درجة الملوحة عالية كان الضغط المطلوب عاليا. زيادة الضغط تؤدي إلى الحصول على انتاجية أعلى من المياه العذبة، لكن على حساب نوعية هذه المياه بمعنى أن نسبة الملح الذائبة في الماء الناتج سترتفع . وتستخدم عادة ضغوط تتناسب مع قوة ومتانة الغشاء، حيث أنه في حالة تجاوز هذه الضغوط

سيعمل ذلك على تلف الغشاء وتهتكه، كما أن استخدام ضغوط قليلة غير مناسبة لهذا الغشاء قد تقلل من إنتاجية الوحدة وانخفاض كفاءتها .وكقاعدة عامة تستخدم مضخات ذات ضغوط تتراوح ما بين 17-25 بار إذا كانت ملوحة الماء متوسطة، وتستخدم ضغوط تتراوح ما بين 45-80 بار إذا كان الماء مالحا جداً، بينما تستخدم ضغوط أقل من 17 بار للمياه القليلة الملوحة [99-100].

يبين الشكل (84) جانب من إحدى وحدات التناضح العكسي.

الشكل (84): جانب من إحدى وحدات التناضح العكسي

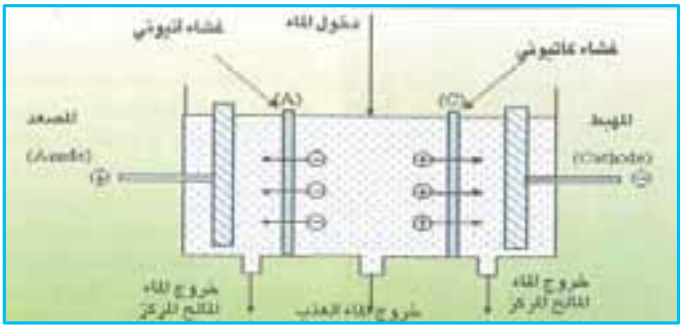


المصدر: Wastewater treatment and reuse in the oil & petrochemical industry – a case study, Engineering Conferences International, Spring 6-13-2014

2.5.10.2. الانتشار الغشائي الكهربائي " الديلزة الكهربائية"

الانتشار الغشائي الكهربائي، أوالفرز الغشائي الكهربي، أو ما يعرف أيضاً بالديلزة الكهربائية "Electrodialysis" ، هي تكنولوجيا قديمة نسبيا تعتمد على انتقال الأيونات الموجبة الموجودة في الماء عبر غشاء شبه نفاذ يسمى الغشاء الكاتيوني"Cationic Membrane "، لا يسمح هذا الغشاء إلا بتمرير الأيونات الموجبة باستخدام قطب كهربائي سالب "Cathode"، وفي المقابل تنتقل الأيونات السالبة عبر غشاء أنيوني " Anionic Membrane " منجذبة نحو القطب الموجب "Anode" ،وبذلك يتم فصل شوائب الأملاح عن الماء، ويبقى الماء العذب بين الغشائين الذي يتم تجميعه وسحبه من الوحدة وهكذا تستمر العملية كما هو موضح في الشكل (85) .

الشكل (85): خلية الديلزة الكهربائية

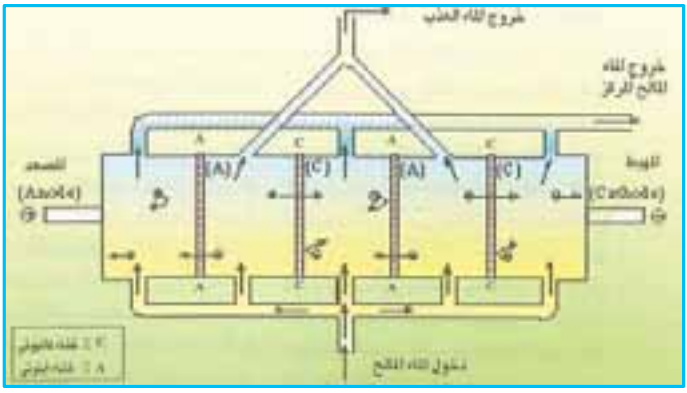


المصدر: الفرز الغشائي الكهربائي

إنتاجية خلية الفرز الكهربائي الواحدة محدودة، لذلك فإنه يتم استخدام أكثر من خلية للوصول إلى مستوى الإنتاج المطلوب، لذا فإن وحدات الفرز الكهربائي تتكون من عدد من الخلايا. تتركب وحدات الفرز الكهربائي من عدد من الحجرات الضيقة التي يضخ فيها الماء المراد معالجته من خلالها، وتنفصل هذه الحجيرات عن بعضها البعض بواسطة أغشية شبه نفاذة، تسمح بمرور "تنفذ" نوع واحد فقط من الأيونات، حيث بعضها ينفذ الأيونات الموجبة

فقط، ويسمي الأغشية الكاتيونية "Cationic membrane"، أما البعض الأخر فينفذ الأيونات السالبة ويسمى بالأغشية الأنيونية "Anionic membranes"، وعندما يمر التيار الكهربائي في هذه الخلايا فإن الأغشية شبه النفاذة تقوم بحجز الأيونات على شكل شوائب في الحجيرات الصغيرة المخصصة لذلك في الخلية، وفي نهاية العملية تتجمع المياه النقية في الحجيرات الخاصة بها، بينما تتواجد الأملاح، والكاتيونات، أو الأنيونات في الحجيرات المجاورة، كما يبين الشكل (86).

الشكل (86): الوحدة الصناعية للفرز الكهربائي



المصدر: الفرز الغشائي الكهربائي

تعد طريقة الفرز الكهربائي مناسبة لمعالجة مياه الصرف الصناعي وخاصة مياه الغلايات، لأن هذه الطريقة لا تعتمد على استخدام مواد كيميائية مثل الطرق الأخرى، غير أن هناك عوامل كثيرة أدت الى عدم انتشار هذه الطريقة مثل التكلفة العالية للأغشية، وتكاليف التشغيل والصيانة، وتغير الصفات الفيزيائية والكيميائية للماء، مثل ارتفاع القلوية والتي تساعد على حدوث الترسبات الكلسية في الأنابيب والأوعية. يبين الشكل (87) جانب من وحدة صناعية لمعالجة المياه بتقنية الفرز الكهربائي.

الشكل (87): جانب من وحدة صناعية لمعالجة المياه بتقنية الفرز الكهربائي

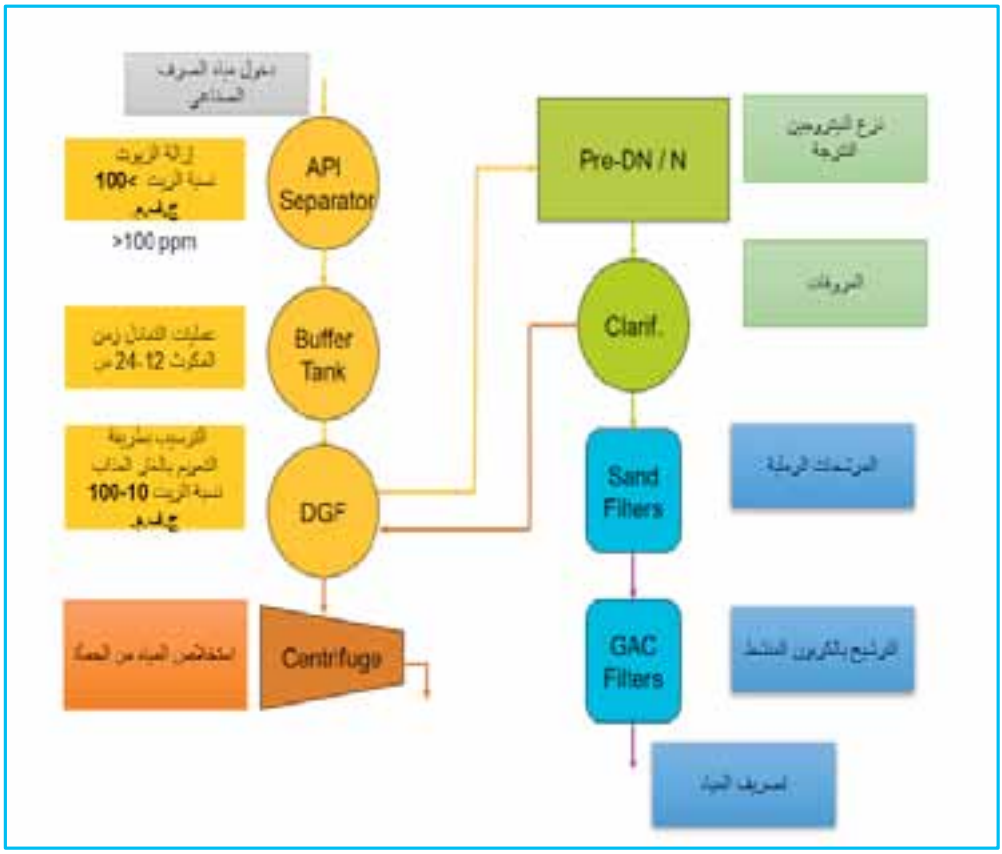


المصدر: الفرز الغشائي الكهربائي

11.2. مخطط معالجة مياه الصرف الصناعي في صناعات التكرير والبتروكيماويات

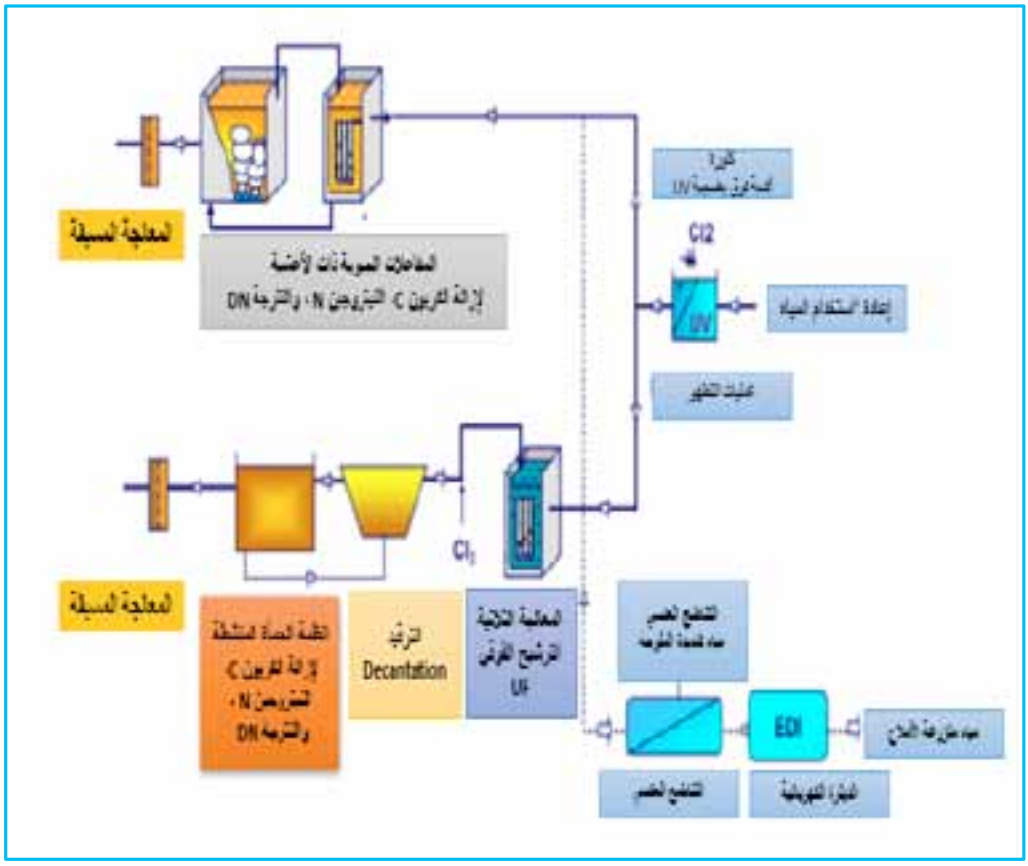
معالجة مياه الصرف الصناعي في صناعات التكرير والبتروكيماويات عملية معقدة، وخاصة مع تزايد متطلبات وتحديات القوانين البيئية الصارمة، وغالبا ما تتطلب مياه الصرف الصناعي لصناعة البتروكيماويات مزيجًا من طرق المعالجة لإزالة الزيوت، والملوثات الأخرى قبل عمليات صرفها على المسطحات المائية. قد تشمل محطات، ووحدات معالجة مياه الصرف الصناعي، أنظمة معالجة التعادل، والتخثر/التنديف، والطفو/الترسيب/الترشيح، الترويق، والمعالجة البيولوجية (هوائية/لاهوائية/ حمأة منشطة)، وقد تكون هناك حاجة أيضًا إلى خطوات معالجة أخيرة باستخدام الترشيح، أو الأوزون، أو الكربون المنشط، أو المعالجة الكيميائية. يبين الشكل (88) مخطط خطوط وحدات/ محطات المعالجة التقليدية لمياه الصرف الصناعي في صناعات التكرير والبتروكيماويات، بينما يبين الشكل (89) مخطط معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي في صناعات التكرير والبتروكيماويات، ويبين الشكل (90) مخطط وحدات معالجة مياه الصرف الصناعي في أحد مصانع البتروكيماويات. (103)

الشكل (88): مخطط خطوط وحدات/ محطات المعالجة التقليدية لمياه الصرف الصناعي في صناعات التكرير والبتروكيماويات



المصدر: Wastewater treatment and reuse in the oil & petrochemical industry – a case study, Engineering Conferences International, Spring 6-13-2014

الشكل (89): مخطط معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي في صناعات التكرير والبتروكيماويات



المصدر: Wastewater treatment and reuse in the oil & petrochemical industry – a case study, Engineering Conferences International, Spring 6-13-2014

الشكل (90): مخطط وحدات معالجة مياه الصرف الصناعي في أحد مصانع البتروكيماويات



المصدر: Wastewater treatment and reuse in the oil & petrochemical industry – a case study, Engineering Conferences International, Spring 6-13-2014



الفصل الثالث

دراسات حالة

لمعالجة مياه الصرف الصناعي في صناعة البتروكيماويات

الفصل الثالث

دراسات حالة

لمشروعات معالجة مياه الصرف الصناعي في صناعة البتروكيماويات

تمهيد

يستعرض هذا الفصل نموذجان يشملان دارسات حالة لشركتان تعملان في قطاع صناعة البتروكيماويات في جمهورية مصر العربية، تبنت مفهوم معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي بنظام التدوير الكامل لمياه الصرف الصناعي، إحداهما شركة إنتاج أوليفينات والبولي أوليفينات، بينما الشركة الأخرى لإنتاج الأسمدة النيتروجينية.

1.3 إعادة التدوير الكامل للمياه في إحدى شركات إنتاج البولي أوليفينات

في ضوء السياسات العامة لترشيد استهلاك المياه العذبة في الصناعات، وتقليل نسب كميات صرف مياه الصرف الصناعي على المسطحات المائية، بهدف تقليل التأثير السلبي على البيئة، ولتقليل التكلفة التشغيلية السنوية لمجمعات المرافق. قامت أحد شركات إنتاج الأوليفينات، والبولي أوليفينات، بعمل تصميمات لمشروع معالجة مياه الصرف الصناعي، بنظام التدوير الكامل للمياه، اعتمادا على استغلال الفائض المتاح من مياه الصرف الصناعي لدى الشركات الشقيقة المجاورة لها، لتحقيق سياسة التكامل بين الشركات، ولتعظيم الاستفادة من الإمكانات المتاحة لديها، وبالتالي خفض التكلفة الاستثمارية اللازمة لإنشاء مشروع جديد لمأخذ مياه، ومحطة رفع، ووحدات معالجة أولية من مروقات، ومرشحات رملية.

وعلى ذلك قررت الشركة شراء الكمية المطلوبة من المياه من الشركات المجاورة لتغذية مرافق المجمع بها، بحيث يتم إعادة استخدام مياه الصرف الصناعي بعد معالجتها في عمليات التبريد في أبراج التبريد، أو عمليات المعالجة لإنتاج مياه فائقة النقاوة لإنتاج مختلف أنواع البخار، أو استخدامها في العمليات الصناعية.

قامت الشركة باتخاذ قرار استراتيجي وهو ضرورة إعادة استخدام مياه الصرف الصناعي بعد التخلص من الملوثات الموجودة بها في صورة أملاح صلبة بعد نزع كامل المياه منها "استرداد" لإعادة استخدامها مره أخرى، وبهدف ترشيد كمية المياه المطلوبة، فضلاً عن تلبية الاشتراطات البيئية، وفي هذا الصدد انتهجت الشركة استراتيجية التدوير الكامل للمياه ليس عن طريق إضافة معدات للتخلص من المخلفات، حيث أنها طريقة بدائية ومكلفة جداً، فلجأت إلى تعظيم دور التكنولوجيا الحديثة للوصول إلى أعلى إنتاجية بأقل كمية من المخلفات السائلة وذلك للوصول إلى أقل سعة ممكنة لمعدات التبخير. وذلك باستخدام أحدث طرق المعالجة والتي تطبق لأول مره في جمهورية مصر العربية وهو نظام التصريف الصفري للسائل "ZLD".

1.1.3. وحدة معالجة المياه بمجمع البتروكيماويات

تتكون وحدة معالجة المياه بالمجمع، كما يبين مخطط الشكل (91) من:

- وحدة الفلاتر " الترشيح" الدقيقة "Microfiltration".
- وحدة إزالة أملاح الكالسيوم، والماغنيسيوم من المياه " Softener and Hardness Removal".
- وحدة إزالة الأملاح جزئياً "High Efficiency Reverse Osmosis-HERO".
- وحدة إزالة الأملاح كلياً "Fractional Electo de-ionization Unit".

الشكل (91): مخطط مكونات وحدة معالجة المياه



المصدر: [104]

1.1.1.3 وحدة الفلاتر " الترشيح" الدقيقة "Microfiltration"

تتكون وحدة الفلاتر من 6 خطوط، كل خط به 80 وعاء " مرشح"، كما يبين الشكل (92)، كما تحتوي على خزان تعادل لتجميع المياه به، وعدد ثلاث مضخات رأسية تقوم بتدفيع المياه إلى وحدة الفلاتر. تعمل هذه الوحدة على إزالة العوائق الموجودة بالمياه، والعكارة عن طريق إمرارها خلال وسط يسمح بمرور المياه فقط، ولا يسمح بمرور العوائق.

الشكل (92): وحدة الفلاتر " الترشيح" الدقيقة "Microfiltration"



المصدر: [104]

2.1.1.3. وحدة إزالة الأملاح جزئياً

معدلات الاسترجاع " Recovery Ratio" لوحدات التحلية بالأنظمة التقليدية للمياه متوسطة الملوحة "Brackish Water" لا تتعدى 75 % من قيمة مياه التغذية الداخلة إلى الوحدة، وبالتالي يكون هناك حوالي 25% من مياه التغذية في صورة مخلفات سائلة ذات درجات ملوحة مرتفعة. وتحدد نسبة الاسترجاع عن طريق نسبة الملوحة والحد الأمن للتشغيل، بحيث لا توجد أملاح ذائبة في صورة مركزة تتجاوز نسبة اتزان الذائب، وبالتالي يؤدي ذلك إلى ترسبها، وتتكون رواسب على أغشية المراجل الأخيرة لوحدات التحلية.

لذلك تطورت التكنولوجيات، وظهرت تكنولوجيا إزالة الأملاح جزئياً " High Efficiency Reverse Osmosis- HERO"، والتي تغلبت على تكون الترسبات، فعملت على إزالة مسببات التكلس " الترسيب" من المياه المدفعة على أغشية التحلية، ذلك عن طريق إزالة عسر الماء، وبالتالي يمكن رفع معدلات الاسترجاع للأغشية الأسموزية إلى نحو 97%، وهو ما تم تطبيقه بوحدة الأغشية بالمجمع، حيث يتم رفع قيمة الأس الهيدروجيني P^H ، مما يعمل على إزالة مسببات الترسيب البيولوجي "Biological Fouling"، وهو ما تم تطبيقه بالوحدة.

3.1.1.3 وحدة إزالة أملاح الكالسيوم والماغنيسيوم من المياه "Softener and HRU units"

تتكون الوحدة من عدد أربعة أوعية ابتدائية من مزيلات عسر الماء "Softener"، تحتوي على راتنجات موجبة تستخدم في عملية التبادل الأيوني لإزالة أملاح الكالسيوم، والماغنيسيوم إلى أقل من 20 ج.ف.م، وتتكون أيضاً من عدد أربعة أوعية نهائية من مزيلات عسر الماء "Hardness Removal Unit" تحتوي على راتنجات موجبة تستخدم في عملية التبادل الأيوني لإزالة أملاح الكالسيوم، والماغنيسيوم إلى أقل من 0.5 ج.ف.م.، يبين الشكل (93) وحدة إزالة أملاح الكالسيوم والماغنيسيوم من المياه.

.

الشكل (93): وحدة إزالة أملاح الكالسيوم والماغنيسيوم من المياه

"Softener and HRUU nits"



المصدر: [104]

4.1.1.3. وحدة التناضح العكسي "RO"

تتكون الوحدة من:

- عدد ثلاث أبراج لإزالة الغازات "Degasser tower"، كما في الشكل (94).
- عدد أربعة خطوط " إنتاجية الخط الواحد 220 م^3/ساعة " من المياه منزوعة الأملاح جزيئاً، وتستخدم هذه المياه كمصدر لتغذية وحدة إزالة الأملاح كلياً "FEDI"، وأيضاً لتخزين المياه في الصهاريج الخاصة بتعويض مياه حوض برج التبريد. يبين الشكل (95) خطوط المياه منزوعة الأملاح جزيئاً.

5.1.1.3. وحدة إزالة الأملاح كلياً

تعتمد فكرة عمل وحدة إزالة الأملاح كلياً " Fractional Elctro de – ionization Unit" على استخدام الكهرباء لفصل الأيونات وإمرارها على أغشية راتنجية " Resin Membrane"، وبالتالي يحدث فصل للأملاح، وإنتاج مياه منزوعة الأملاح كلياً بكفاءة تصل إلى حوالي 92%. تتكون الوحدة من خطين " إنتاجية الخط الواحد 105 م^3/ساعة"، ويتم تخزين

هذه المياه في صهاريج مصنعة من الستانلس ستيل، ويتم تدفيع هذه المياه إلى المصانع بواسطة ثلاث مضخات، بالإضافة إلى مضخة احتياطية. يبين الشكل (96) وحدة إزالة الأملاح كلياً.

شكل (94): أبراج إزالة الغازات



المصدر: [104]

شكل (95): خطوط المياه منزوعة الأملاح جزيئاً



المصدر: [104]

الشكل (96): وحدة إزالة الأملاح كلياً



المصدر: [104]

2.1.3. وحدة إزالة الحمأة بالمجمع

الغرض من هذه الوحدة هو إزالة الحمأة من المياه الناتجة من عمليات الغسيل العكسي، ومياه الصرف الناتجة من عمليات المعالجة، وذلك عن طريق حقن بعض المواد الكيماوية بهدف ترسيب الرواسب والملوثات، وتجميعها، والتخلص منها، وتتكون الوحدة كما يبين الشكل (97) من:

- مروق
- مغلظ
- وحدة فصل بواسطة الطرد المركزي

الشكل (97): مخطط مكونات وحدة إزالة الحمأة



المصدر: [104]

1.2.1.3. المروق

يتم فيه عمليات ترويق المياه عن طريق حقن بعض المواد الكيماوية بهدف تجميع الحمأة، وعند وصول نسبتها إلى 5% يتم تدفعها عن طريق مضخات خاصة إلى المغلظ. يبين الشكل (98) المروق المستخدم في وحدة إزالة الحمأة.

الشكل (98): المروق المستخدم في وحدة إزالة الحمأة



المصدر: [104]

2.2.1.3. المغلظ

وهو الذي يتم فيه رفع تركيز الحمأة في المياه إلى حوالي 25%. يبين الشكل (99) المغلظ الملحق بوحدة إزالة الحمأة.

الشكل (99): المغلظ الملحق بوحدة إزالة الحمأة



المصدر: [104]

3.2.1.3. الطارد المركزي

يتم في وحدة الطارد المركزي عملية فصل المياه عن الحمأة عن طريق القوى الطاردة المركزية، وإرجاع المياه مرة أخرى إلى المروق للتخلص من الحمأة المركزة بمنطقة المخلفات في الشركة. يبين الشكل (100) الطارد المركزي الملحق في وحدة إزالة الحمأة.

الشكل (100): الطارد المركزي الملحق في وحدة إزالة الحمأة



المصدر: [104]

3.1.3. وحدة التدوير الكامل للمياه بالمجمع

يعد الهدف الأساسي من انشاء وحدة التدوير الكامل للمياه "ZLD" هو:

1. الحفاظ على النظام البيئي عن طريق خفض نسب تصريف مياه صرف تحتوي على تركيزات مرتفعة من الأملاح.
2. إعادة استخدام مياه الصرف مره أخري بعد معالجتها، مما يعمل على تقليل الكلفة اللازمة للحصول على مياه نقية في العمليات الصناعية.
3. تحقيق مبدأ الاكتفاء الذاتي من المياه.
4. تقليل التكلفة التشغيلية السنوية لوحدة المرافق بالمجمع.

تعتمد فكرة إنشاء الوحدة على إعادة تدوير مياه الصرف الصناعي تدويراً كاملاً، وعدم إنتاج أي مخلفات سائلة خارج المجمع، حيث يتم نزع الأملاح من المياه في **وحدة التبخير**، والتي تمر خلالها المياه عالية الأملاح خلال مبادلات حرارية "Heat exchangers" لرفع درجة الحرارة عن طريق خاصية التبادل الحراري، ثم تمر على معدات نزع الغازات "Deaerators" لنزع الغازات الذائبة في المياه، والتي تقلل من كفاءة عمليات التبادل الحراري. ثم بعد ذلك تمر إلى المبخر الرئيسي"Falling Film Evaporator"، يبين الشكل (101) المبخر الرئيسي بوحدة التبخير.

شكل (101): المبخر الرئيسي بوحدة التبخير



المصدر: https://www.indiamart.com/proddetail/falling-film-evaporators-8189219333.html

ثم تليها مرحلة **البلورة**، وتكون فيها المياه المتبقية من عملية التبخير ذات تركيزات مرتفعة من الأملاح، حيث يتم تدفعيها إلى المبلور "Crystallizer" بعد مرورها على مبادل حراري لرفع درجة حرارتها. هذا ويتم خفض الضغط في المبلور حيث تتبخر المياه عند درجات حرارة أقل من درجة الغليان العادية للمياه، وينتج عن ذلك استخلاص أكبر كميات ممكنة من المياه منزوعة الأملاح كلياً، والوصول إلى أعلى تركيز من الأملاح، والتي يتم معالجتها في وحدة **التجفيف**. يتم خلال مرحلة التجفيف، ضغط أو عصر الأملاح المركزة لاستخلاص المزيد من المياه، والتي يتم إعادتها إلى مرحلة **البلورة** لإنتاج المزيد من المياه منزوعة الأملاح، والوصول إلى كتلة صلبة من الأملاح، كما يبين الشكل (102)، والتي يمكن استخدامها في العديد من الصناعات الأخرى.

الشكل (102): تجفيف الأملاح، وتركيزها على هيئة بلورات



المصدر: [104]

تم تصميم وحدة التجفيف لتنتج 26 م^3/ ساعة من المياه الصناعية عالية الأملاح، ولتنتج بعد ذلك 34 م^3/ساعة من المياه النقية منزوعة الأملاح كلياً، ويعزي وجود الزيادة في كمية المياه المنتجة إلى استخدام البخار في العملية الإنتاجية والذي يتكثف مع المياه في عملية التكثيف، وهو ما يعود بالوفر وتقليل التكلفة التشغيلية السنوية لوحدة المرافق. يبين الجدول (22) خصائص مياه الصرف الصناعي قبل عمليات المعالجة، وخصائصها بعد المعالجة.

جدول (22): خصائص مياه الصرف الصناعي قبل عمليات المعالجة وخصائص المياه بعد المعالجة بنظام التدوير الكامل للمياه

الخاصية	مواصفات المياه العادمة	مواصفات المياه المعالجة
رقم الأس الهيدروجيني	9-5	8.5-6
نسبة الزيوت والشحوم **(ملغرام/ليتر)**	10.000 >300	10 >
المواد الصلبة العالقة **(ملغرام/ليتر)**	1000-100	20 >
المواد الصلبة الذائبة **(ملغرام/ليتر)**	5000-800	1500 >
القساوة " العسر" الكلية **(ملغرام/ليتر $CaCO_3$)**	1000-50	-
نسبة الأمونيا **(ملغرام/ليتر)**	50-5	5 >
نسبة الكبريتيد **(ملغرام/ليتر)**	50-5	0.5 >
نسبة الفينول **(ملغرام/ليتر)**	50-5	0.5 >
نسبة السيليكا **(ملغرام/ليتر)**	50-5	-
طلب الأكسجين الكيميائي الحيوي "BOD_5" **(ملغرام/ليتر)**	600-250	30-15 >
طلب الأكسجين الكيميائي"COD" **(ملغرام/ليتر)**	1500-500	250-100 >

المصدر: [104]

4.1.3. مفهوم التدوير الكامل لمياه الصرف الصناعي والفوائد الاقتصادية

قدرت تكلفة معدات معالجة المياه بالطرق التقليدية في مجمع المرافق والتسهيلات بنحو 12.340 مليون دولار، وقدرت كميات المياه اللازمة لتغذية المجمع بنحو 2660 م^3/ساعة،

وهو ما يساوي 21 مليون م^3/سنة من المياه، بلغت قيمتها حوالي 73.8 مليون جنية مصري "على أساس سعر م^3 من المياه يقدر بنحو 3.5 جنيه مصري"، وهو ما يعادل حوالي 9.43 مليون دولار "على أساس سعر صرف الدولار 7.83 جم/ دولار- وقت إعداد الدراسة".

بينما قدرت تكلفة وحدات المعالجة الخاصة بتطبيق نظام التدوير الكامل للمياه "ZLD"، وتشمل وحدات المعالجة بالأغشية، والتبادل الأيوني، وأجهزة التبخير بنحو 24.5 مليون دولار أمريكي، وانخفضت معها كمية المياه التي يتم استقبالها من خارج المجمع واللازمة لتغذية مجمع المرافق والتسهيلات لتصل إلى نحو 793 م^3/ساعة، وهو ما يساوي 6.3 مليون م^3/سنه، تبلغ تكلفتها بنحو 2.8 مليون دولار سنوياً. وهو ما يعني وجود وفر في تكلفة المياه يقدر بنحو 6.63 مليون دولار سنوياً. وعلى هذا فإن الزيادة في قيمة معدات تطبيق نظام التدوير الكامل للمياه والتي تبلغ نحو 12.61 مليون دولار، يمكن استردادها خلال فترة لا تزيد عن 22 شهر نتيجة الوفر في تكلفة استهلاكات المياه. يبين الشكل (103) منظومة إعادة التدوير الكامل للمياه في مجمع إنتاج الأوليفينات والبولي أوليفينات.

الشكل (103): منظومة إعادة التدوير الكامل للمياه بالمجمع



المصدر: [104]

2.3. دراسة حالة إحدى شركات إنتاج الأسمدة

تعتبر وحدة التدوير الكامل للمياه" ZLD" من الوحدات الهامة والتي تحسن من دوره المياه، واستخداماتها، ومراعاه الاحتياطات البيئية التي تحد من صرف المياه على الأنهار او البحار، كما يمكن تطبيقها بطريقة تتناسب مع طبيعة العملية الصناعية، وبفلسفة تحقق مردود اقتصادي بجانب المردود البيئي، تعتمد فلسفة المعالجة في هذا المصنع على مايلى:

- فصل مصادر المواد التي تتسبب في ارتفاع نسبة النيتروجين الكلى (الملوث الرئيسي) بمياه الصرف وهى اليوريا والأمونيا.
- استرجاع المياه النقية التي لا تحتاج إلى معالجة، وتوجه إلى مياه الصرف، من خلال تجميعها، وتحويلها على أبراج التبريد.
- معالجة مياه تغذية المصنع من خلال وحدات التناضح العكسي لتحسين مواصفاتها، وخفض نسب الأملاح بها، وبالتالي خفض حمل الأملاح على أبراج التبريد، وعلى وحدة نزع الأملاح، ومن ثم خفض كميات الصرف الصناعي النهائية [98].
- تحديد مصادر الصرف الرئيسية المستمرة وتوجيهها مباشرة إلى وحدات معالجة الصرف الصناعي دون الاعتماد على تجميعها من خلال بيارة الصرف الرئيسية بالمصانع، والتي قد يرد إليها مصادر صرف مفاجئ في حالات التوقفات الطارئة بالمصانع، أو ملوثات نادرة مثل الزيوت أو الشحوم، أو الكيماويات التي تستخدم بالمصانع، والتي قد تصل إلى مياه الصرف بطريق الخطأ، أو نتيجة مشاكل مفاجئة، أو من صرف شبكة الأمطار بالمصانع، والتي تنتج عنها جميعا تغيرات مفاجئة وغير مرغوب فيها بمياه الصرف التي تغذى وحدات المعالجة بالأغشية مثل وحدة الفلترة الفائقة "UF"، أو وحدة التناضح العكسي "RO"، وهى وحدات شديدة الحساسة تتأثر بالتغيرات المفاجئة في المواصفات، وللحفاظ على استقرارها وتحقيق الضمانات

التعاقدية بدقة يفضل التعامل مع مصادر الصرف من منبعها، وبمواصفات ، وكميات محددة ومعروفة حتى يمكن تحديد أسلوب المعالجة المناسب.

- تجميع مياه الغسيل العكسي للفلاتر الرملية، والكربونية بالمصانع وداخل وحدات وحدة التدوير الكامل للمياه "ZLD"، وتحويلها إلى المروقات لفصل المياه النقية من أعلى، وفصل الحمأة من أسفل وتوجيهها إلى وحدة الطرد المركزي لفصلها.
- تم الاستفادة من جميع وحدات المعالجة المتواجدة بالمصنع كجزء من وحدات المشروع بعد تعديل طبيعة عملها والذي أدى إلى خفض التكلفة الاستثمارية بنسبة 25% [98].

1.2.3 مكونات وحدة التدوير الكامل للمياه

1. وحده التناضح العكسي خاصة بمياه تغذية المصانع المعالجة أوليا "FEED RO ".
2. وحده تناضح عكسي لمياه الصرف الصناعي "WASTE RO".
3. وحده تناضح عكسي خاصة بمعالجة المياه شديدة الملوحة الناتجة عن وحدات" WASTE RO"، وتسمي بوحدات "BRINE RO".
4. نظام مشترك يخدم الوحدات.

1.1.2.3 وحده تناضح عكسي خاصه بمياه تغذية المصانع المعالجة أولياً

تقدر كميات المياه الداخلة إلى وحدات التناضح العكسي الخاصة بمياه تغذية المصانع "FEED RO" بنحو 266 م^3/ ساعة، وبنسبة استرجاع 90 %، لتنتج مياه محلاه تحتوي على نسبة ملوحة 10 ج.ف.م. وتقدر بنحو 240 م^3/ساعة. توزع كميات المياه المحلاه المنتجة على وحدة نزع الأملاح بكميات تبلغ نحو 90 م^3/ساعة، وتغذية أبراج التبريد بكميات من المياه تبلغ 150 م^3/ساعة، موزعة كالتالي 60 م^3/ساعة إلى برج تبريد مصنع اليوريا، بالإضافة إلى 90 م^3/ساعة إلى برج تبريد مصنع الأمونيا [98].

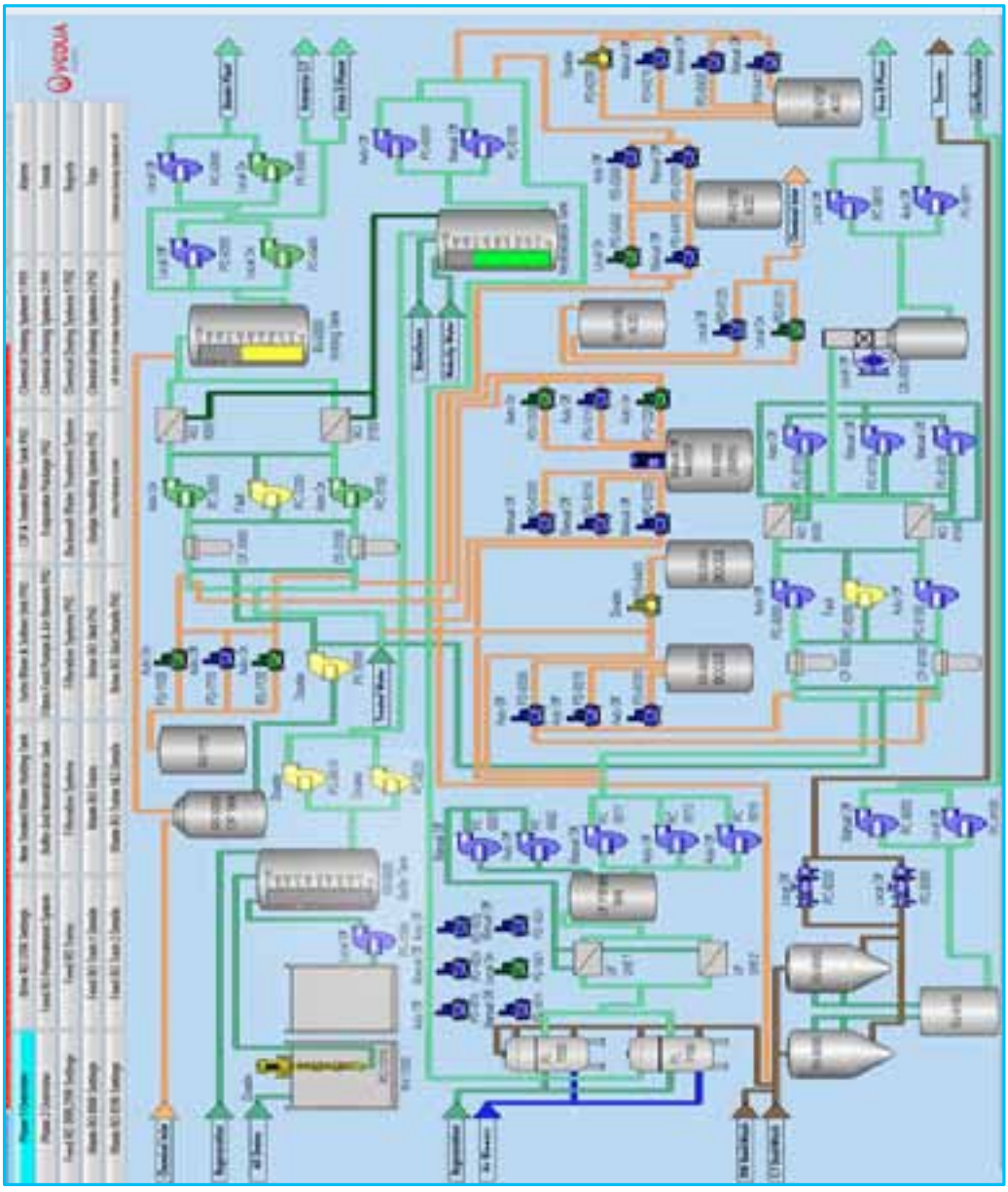
يتم تجميع المياه المالحة الناتجة عن المعالجة من هذه الوحدة، مع مياه الصرف الصناعي المستمر الناتجة من المصنع في صهريج التعادل المتواجد بوحدة نزع الأملاح، وتعد هذه المياه هي مياه التغذية لوحدة التناضح العكسي لمياه الصرف"WASTE RO" [98].

2.1.2.3. وحده التناضح العكسي لمعالجة مياه الصرف الصناعي

مياه الصرف الصناعي الناتجة من وحدات المصنع، وتشمل مياه التنشيط الناتجة من وحده نزع الأملاح " الراتنجات المستخدمة في وحدة نزع الأملاح يحدث تشبع لسطحها بالأملاح المنزوعة، مما يؤدي إلى زيادة الأملاح بالوحدة، وفي هذه الحالة يجب تنشيط الوحدة بإضافة الصودا الكاوية، والحامض لإزالة الأملاح من على سطح الراتنجات المستخدمة، وإعادة تأهيله للتشغيل ، لذا فإن مياه التنشيط الناتجة تكون مياه مرتفعة الأملاح" ، ومياه تفوير أبراج التبريد، وناتج معالجة وحدة التناضح العكسي الأولية "FEED RO"، يتم تجميعها في صهريج التعادل. تعد هذه المياه بمثابة مياه التغذية لوحدة التناضح العكسي لمعالجة مياه الصرف الصناعي "WASTE RO".

تمر هذه المياه والتي تم تجميعها في صهاريج التعادل على وحدتين للترشيح، وهما وحدة الفلاتر الرملية، الأنثراسيت، ووحدة الترشيح الفائق "Ultrafiltration"، بالإضافة إلى وحدتين للتناضح العكسي "WASTE RO "، سعة 50 م^3/ساعة لكل وحدة، وبنسبة استرجاع 90 %، لتنتج كميات من المياه المحلاة تقدر بنحو 90 م^3/ساعة، بنسبة ملوحة 15 ج.ف.م.، ثم تنقل المياه المحلاة الناتجة إلى وحدة نزع غاز ثاني أكسيد الكربون، وتستخدم المياه الناتجة في تغذية أبراج تبريد مصنع الأمونيا. يبين الشكل (104) مخطط لوحة التحكم الإلكتروني في وحدة إعادة التدوير الكامل "مرحلة أولى"[98].

الشكل (104): مخطط لوحة التحكم الإلكتروني في وحدة إعادة التدوير الكامل "مرحلة أولى"



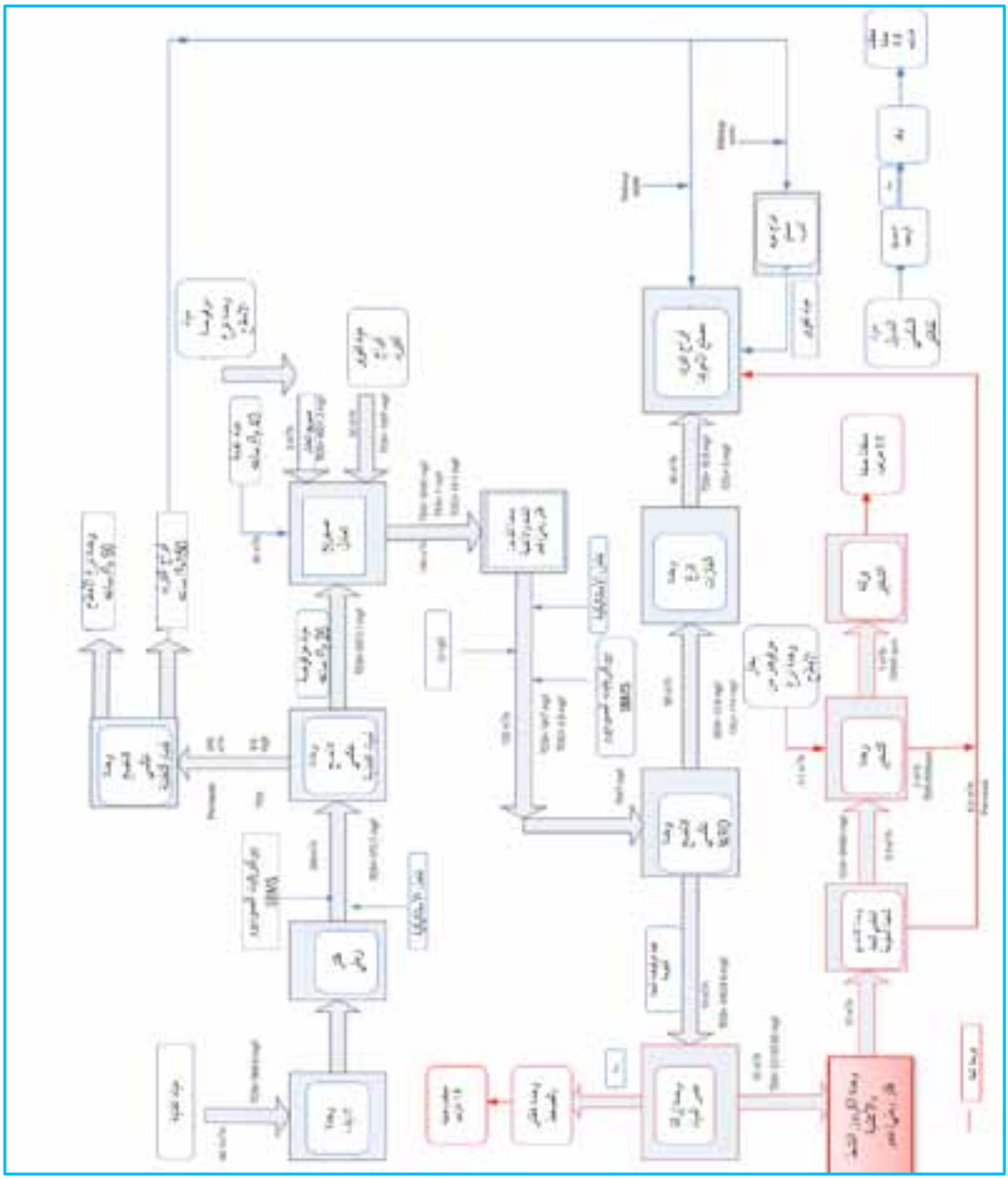
المصدر: [98]

3.1.2.3. وحده التناضح العكسي لمعالجه المياه شديدة الملوحة

تمثل هذه الوحدة المرحلة الثانية من مشروع التدوير الكامل للمياه، حيث يوجه ناتج المعالجة من وحدة التناضح العكسي لمياه الصرف الصناعي "WASTE RO "، والذي يقدر بحوالي 10 م^3/ساعة لتغذية وحدة التناضح العكسي لمعالجة المياه شديدة الملوحة، بمعدل استرجاع 70 %، لتنتج نحو 7 م^3/ساعة من المياه المحلاة، بنسبة ملوحة أقل من 300 ج.ف.م.، وتوجه هذه المياه لتغذية أبراج التبريد الخاصة بمصنع الأمونيا.

يحول ناتج المعالجة من وحدة معالجة المياه عالية الملوحة إلى وحدة المبخر والتي تقوم بتحلية 3 م^3/ساعة، لتنتج 2م^3/ساعة، توجه لتغذية أبراج التبريد في مصنع الأمونيا، ثم يوجه المتبقي من المياه وتقدر ب 1 م^3 إلى بركة التبخير. يبين الشكل (105) مخطط مكونات مشروع إعادة التدوير الكامل للمياه بالمصنع في مرحلتيه الأولى والثانية. ويبين الجدول (23) تكاليف التشغيل لوحدة المرافق بالمصنع قبل وبعد تطبيق نظام تدوير المياه الكامل في مرحلتيه الأولى والثانية، والتي يتبين منها ارتفاع تكاليف التشغيل السنوية والتي بلغت نحو 41 مليون جنية مصري، قبل تنفيذ المرحلة الأولى من مشروع التدوير الكامل للمياه، ذلك نظراً لارتفاع تكلفة المياه العذبة المستخدمة بوحدة المرافق، فضلاً عن ارتفاع الكيماويات المستخدمة في وحدات معالجة المياه. مع بدء تنفيذ المرحلة الأولى من مشروع التدوير الكامل للمياه، انخفضت تكلفة المياه اللازمة لوحدة المرافق بنسبة 50 %، حيث بلغت نحو مليون جنيه شهرياً بدلاً من 2 مليون جنيه، كما انخفضت تكاليف الكيماويات اللازمة للمعالجة، مما أثر إيجاباً على خفض تكلفة التشغيل السنوية بنسبة حوالي 40 %، لتصل إلى نحو 24.5 مليون جنيه. ومن المتوقع خفض نسبة تكاليف التشغيل السنوية بنسبة 86% من بدء تشغيل المرحلة الثانية من مشروع التدوير الكامل لمياه الصرف الصناعي، لتصل إلى نحو 5.7 مليون جنيه فقط [98].

الشكل (105): مخطط مكونات مشروع إعادة التدوير الكامل للمياه بالمصنع في مرحلتيه الأولى والثانية



المصدر: [98]

جدول (23): تكاليف التشغيل لوحدة المرافق بالمصنع قبل وبعد تطبيق نظام تدوير المياه الكامل في مرحلتيه الأولى والثانية.

البند	قبل تطبيق ZLD	مرحلة اولى ZLD	مرحلة ثانية ZLD
تكلفة المياه العذبة (ج.م) / شهر	2000000	995000	-25000
تكلفة الكهرباء (ج.م) / شهر	680000	700000	25000
تكلفة كيماويات ما قبل المعالجة (ج.م) / شهر	45000	-------	------
تكلفة كيماويات نظام مياه التبريد (ج.م) / شهر	300000	45000	------
تكلفة كيماويات وحدة المياه منزوعة الأملاح (ج.م) / شهر	300000	62500	------
تكاليف التخلص من الناتجة "Sludge" (ج.م) / شهر	60000	35000	200000
تكاليف الكيماويات للمرحلة الأولي من ZLD (ج.م) / شهر	-------	55000	-------
تكاليف الكيماويات للمرحلة الثانية من ZLD (ج.م) / شهر	-------	-------	225000
تكاليف صيانة وقطع غيار (ج.م) / شهر	-------	150000	50000
إجمالي التكلفة السنوية (ج.م)	40620000	24510000	5700000

المصدر: [98]

الخلاصة والاستنتاجات

- أسهمت السياسات الجديدة واستراتيجيات الحكومات المتبعة وحملات التوعية العامة المجتمعية في قبول مفهوم إعادة تدوير مياه الصرف الصناعي في الموقع، وإعادة استخدامها، مما ساهم في إيجاد حلول نقص المياه اللازمة للصناعة، بالإضافة إلى تطبيق الاعتبارات البيئية المتشددة، للحفاظ على البيئة.
- أصبح مفهوم، معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي، والصناعي أكثر انتشارا في الوقت الراهن.
- يتوقف نجاح معالجة وإعادة استخدام المياه على مجموعة من المعايير والضوابط البيئية التي ترتبط بطبيعة هذه المياه والهدف النهائي من معالجتها وإعادة استخدامها، والذي يجب أن يجرى في إطار يكفل حماية البيئة، والأفراد مع الأخذ في الاعتبار الاعتبارات الاقتصادية، وضرورة متابعة الآثار البيئية لإعادة استخدام هذه المياه على مكونات المنظومة البيئية؛ وذلك من خلال وضع برامج متكاملة للرصد البيئي للملوثات وآثارها على البيئة المحيطة.
- اتجهت معظم دول العالم إلى التخطيط، والإدارة السليمة المتكاملة لإعادة استعمال المياه العادمة بعد معالجتها بكفاءة وبدرجة كافية تحول دون الضرر من إعادة استعمالها، وتخلصت من الأسلوب القديم الذى كان يتبع في العصور السابقة بالتخلص منها بصرفها على المسطحات المائية.
- تتطلب كل صناعة جودة "نوعية محددة" من المياه تختلف من صناعة لأخرى، فمن الضروري معرفة متطلبات الجودة للمياه الصناعية من حيث نوعية، وكمية الشوائب الموجودة بها، وآثارها على الاستخدام الصناعي، حيث تختلف الحدود المسموح بها من هذه

الشوائب حسب الاستخدامات، فضلاً عن أن جودة المياه تتأثر بخواصها، ونسب وكميات الشوائب المتواجدة بها.

- تعد صناعة البتروكيماويات صناعة معقدة، ومتكاملة حيث تشمل العديد من العمليات الصناعية، والمنتجات، ويستخدم فيها أنواع مختلفة من المواد الأولية (اللقائم)، والعوامل الحفازة، والإضافات، والكيماويات، وتتم هذه العمليات في بيئة شديدة الخطورة.
- من الممكن أن تتسبب صناعة البتروكيماويات في حدوث تلوث بيئي نتيجة هدر، وتصريف مياه الصرف الصناعي المحملة بالعديد من الملوثات الخطرة الناتجة عن تشغيل الوحدات الإنتاجية المختلفة، في حال عدم معالجتها وفق القوانين البيئية المنظمة.
- يتطلب من كل منشأة صناعية إنشاء وحدات، أو محطات لمعالجة مياه الصرف الصناعي وذلك بموجب القوانين والتشريعات البيئية.

على كل مصنع إنتاج اختيار تصميمات، وتقنيات المعالجة طبقاً لمحددات تتغير بتغير المنتج، ومواصفات مياه الهدر وكمياتها، والغرض من إعادة استخدامها.

- تستهلك مجمعات البتروكيماويات كميات ضخمة من المياه، وأكثر هذه المجمعات يملك موارده المائية الخاصة، سواءً من مصادر المياه السطحية، أو الجوفية، أو من كليهما. ويستخدم بعضها الآخر مياه الشرب البلدية، جزئياً أو كلياً.
- تنشئ مصانع البتروكيماويات وحدات خاصة بها من المرافق لتأمين احتياجاتها من الطاقة والبخار، أو تأمينها من مصادر خارجية، وتقوم عادة بتوليد ما تحتاجه من البخار بضغوط معتدلة، حيث تستخدم مصانع البتروكيماويات كميات ضخمة من البخار في وحداتها الإنتاجية المختلفة.
- تصنف المياه المستخدمة في صناعة البتروكيماويات طبقاً لاستخداماتها النهائية، كمياه تغذية، أو تبريد، أو تعويض "Make Up"، أو مياه فائقة النقاوة لتغذية المراجل وإنتاج البخار

المستخدم في عمليات التسخين، والتبخير، والتجفيف، بالإضافة إلى استخدام المياه للإطفاء، والخدمات، والشرب، وغيرها من الاستخدامات الأخرى.

- تزايد المعايير البيئية التي تنفذها الشركات، والتي تنص على منع تصريف ملوثات الأملاح، الملوثات السامة، النترات، والنتريت،...الخ.، أدى إلى اختيار العديد من التقنيات الحديثة لتلبية هذه المتطلبات.
- أصبحت تقنية التدوير الكامل لمياه الصرف الصناعي، والذي يعرف أيضاً بالتصريف السائل الصفري "ZLD" أكثر انتشارا في جميع أنحاء العالم.
- يمكن أن تساعد تقنية "ZLD" الشركات على التعامل مع العديد من التحديات مثل ارتفاع تكاليف الحصول على المياه اللازمة، وندرتها في كثير من الأحوال. كما تزايد الاهتمام بتقنيات التصريف الصفري للسائل نظراً لزيادة الوعي البيئي والمسئولية المجتمعية نحو القضايا البيئية.
- قد تبدو التكلفة الاستثمارية والتشغيلية لتقنيات التصريف الصفري للسائل مرتفعة نظراً للاستهلاكات الضخمة من الطاقة (حيث تستهلك حوالي 20-10 كيلوواط ساعة/م3، مقابل 2-3 كيلوواط ساعة/ م3 في تقنيات تحلية المياه)، إلا أنها قد تكون حلًا اقتصاديًا مقبولاً، وخاصة عندما يكون البديل نقل المياه العادمة لمسافات طويلة لإجراء عمليات معالجتها.
- تعد معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي استراتيجية تدخل في نطاق تطوير موارد مياه غير تقليدية.
- تعد سياسة واستراتيجيات التدوير الكامل للمياه استثماراً بيئياً مربحاً.
- إعادة استخدام المياه المعالجة في الصناعة يسهم بشكل كبير في خفض تكلفة إنتاج المياه اللازمة لوحدات المرافق بالمجمعات الصناعية.
- الاكتفاء الذاتي من المياه عن طريق تطبيق مفهوم إعادة التدوير الكامل للمياه من الموقع.

- تخفيض الضغط على الموارد المائية.
- استخدام المياه بشكل أكثر فعالية وكفاءة
- إنتاج المياه بأعلى جودة وتقليل النفقات التشغيلية في الوقت نفسه
- تخفيض النفقات الحكومية على إدارة المياه وتحسين الأسواق الجديدة

المراجع

المراجع العربية

- معالجة مياه الصرف الصناعي، محمد السيد خليل، 2007
- أحمد السروي- معالجة مياه الصرف الصناعي- دار الكتب العلمية.
- معالجة المياه (Tarek Kakhia. All rights reserved. http://tarek.kakhia.org)
- المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي في محطات الصرف الصحي، د. عبد الرازق محمد سعيد التركماني، 2009.
- مقارنة تأثير أسلوبي التهوية المستمرة والتهوية المتقطعة على كفاءة أنظمة الحماة المنشطة ذات التهوية المطولة والجريان المستمر، د. قصي كمال الدين الأحمدي، جامعة الموصول.
- برنامج إدارة مياه الشرب والصرف الصحي- دورة مراجعة تصميم محطات تنقية المياه، الجمعية الألمانية للتعاون الدولي، أكتوبر 2008.
- معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام تقنية الأغشية لتحقيق استدامة إعادة استعمال المياه المعالجة، د. عبد الرزاق محمد سعيد التركماني.
- تشغيل واستثمار محطات معالجة الصرف الصحي، جامعة حلب- كلية الهندسة التقنية- قسم تقانات الهندسة البيئية- د. فاطمة جعارة.
- البيئة والمجتمع د. أيمن سليمان مزهرة، د. على فالح الشوابكة،2010.
- استخدام معدات الترشيح (الفلترة) في معالجة مياه الشرب- معهد التدريب المتخصص للصناعات الكيماوية- المملكة الأردنية- م. جمال عبد الله ذيب.
- تحضير الكاربون المنشط بواسطة التنشيط الكيميائي بحامض الفسفوريك المركز باستخدام نوى التمر كمادة أولية كمادة أولية، سوزان فرج جبار البدران قسم الكيمياء/كلية العلوم جامعة البصر.
- التخلص من ملوثات المياه بواسطة ظاهرة الامتزاز، جامعة القادسية– كلية العلوم قسم علوم الكيمياء.

- مدخل إلى كيمياء المياه (تلوث-معالجة-تحليل)، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجية، د. نصر الحايك، سوريا، 2017.
- تحلية المياه باستخدام التناضح العكسي، م. جمال عبد الله الدري، المملكة الأردنية الهاشمية.
- الفرز الغشائي الكهربائي، د. فرج عبد السلام عبد العليم.
- محطات معالجة الفضلات

http://albadr.org/www/pdf/library/mahtat-moalget-alfadlat.pdf.

- إرشادات في تصميم وتشغيل وصيانة محطات معالجة المياه العادمة، منظمة الصحة العالمية، المكتب الإقليمي لشرق المتوسط، المركز الإقليمي لأنشطة صحة البيئة، عمان – الأردن، 2004.
- تقرير تقديمي عن مشروعات مجمع الإيثلين ومشتقاته.

المراجع الأجنبية

- Steam Cracking: Kinetics and Feed Characterisation, Joao Vilhena Moreira, Instituto Superior Tecnico, Lisbon, Portugal,2015.
- Naphtha and Gas Cracking for Production of Olefins.

http://nptel.ac.in/courses/103107082/module7/lecture2/lecture2.pdf

- Petroleum Refining and Petrochemical Processes Production of Olefins – Steam Cracking of Hydrocarbons.

https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/PRPP_2013_Steam_cracking_Olefins.pdf.

- Olefins Production, Olefins by steam cracking

https://mol.hu/images/pdf/A_MOL_rol/tvkrol/tarsasagunkr%C3%B3l_rovidden/egyetemi_kapcsolatok/debreceni_egyetem/oktatasi_anyagok/bemutatok/OLEFINS%20PRODUCTION.pdf.

- Development of a Zero Liquid Discharge for Cooling Tower Blowdown in Petrochemical industry, Asian Institute of Technology, Thailand, May 2014.

- Pilot project on availability, use and sustainability of water production of nuclear and fossil energy – Geo-localised inventory of water use in cooling processes, assessment of vulnerability and of water use management measures, End Report, the European Commission Directorate General Environment ,2014.
  http://ec.europa.eu/environment/archives/water/adaptation/pdf/InventoryCoolingWaterUse.pdf.
- Introduction the importance of Water Cooperation, (UN-Water, 2013),
  http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/2013_11_water_cooperation_monograph_eng.pdf
- http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/lvo_bref_0203.pdf page 174
- A simple model to help understand water use at power plants, Working Paper, Massachusetts Institute of Technology Energy Initiative.
  https://sequestration.mit.edu/pdf/2012_AD_HJH_WorkingPaperWaterUse_at_PowerPlants.pdf.
- Small-molecule aggregates inhibit amyloid polymerization. Nat Chem Biol 4(3):197-9, (Feng, 2008).
  https://www.yeastgenome.org/reference/S000125405.
- Technical EIA Guidance Manual for Petrochemical Complexes, The Ministry of Environmental and Forests, India, 2010.
- Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Organic Fine Chemicals, EUROPEAN COMMISSION, water2006
  http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/ofc_bref_0806.pdf
- Water Pollution Control, Springer International Publishing, Switzerland 2014

http://www.springer.com/978-3-319-01233-9.

- Cooling Water Management, Basic Principles and Technology, ProChemTech International, Inc., Apache Junction, AZ, and Brockway, Pennsylvania

www.prochemtech.com.

- Cooling Tower Efficiency, Guide Property Managers, IMPROVING COOLING TOWER OPERATIONS.
- Learning the Way Water Is Managed, Water Introduction, NILCO Water.
- Industrial Water Handbook, Principle Public Health Laboratory, India, Chemical Publishing Company,2011.
- Package steam generating systems, amecfw.com
  https://www.lenntech.com/applications/process/boiler/boiler-feed-water.htm.
- Characteristic of boiler feedwater-Lenntech.

https://www.lenntech.ae/applications/process/boiler/characteristics-of-boiler-feed-water.htm

- Alert Performance chemical Gujarat PVT.Ltd. India.
- Boiler Water- Problems & Solutions, PDH Course M165.

https://www.pdhonline.com/courses/m165/m165content.pdf.

- Industrial Water Quality Requirements, N. MANIVASAKAM, Formerly Chief Water Analyst, Principal Public health Laboratory, India, 2005.
- Cooling Towers, Continuing Education and Development, Inc. info@cedengineering.com.
- Technical Reference for Water Conservation in Cooling Towers, 1 st Edition, Nov 2017, Singapore's National Water Agency.

- Best Management practice and Guidance Manual for Cooling Towers, Prepared by JEA for the control in of pollutants discharged to the sanitary collection system, August, 2005.
- Water for downstream refining and petrochemical industries.
- Guidelines for Managing Water in Cooling Systemsو For Owners, Operators, and Environmental Managers.
- Effluent Treatment Plant (ETP), department of Civil Engineering Indian Institute Technology, Delhi.
- Choosing an Effluent Treatment Plant, M. Akhtaruzzaman, Stockholm Environment Institute.
- https://aosts.com/types-wastewater-screening/.
- http://drycake.com/equipment/screening/MULTIRAKE.php.
- Industrial Treatment Process, http://www.rtu.ac.in/RTU/wpcontent/uploads/2015/06/ppt_industrial_treatment.pdf.
- Flow Equalization and Neutralization, Ramesh K. Goel, Joseph R.V. Flora, and J. Paul Chen.
- http://www.mixing.com/index.php/155-applications-images/321-equalization-tank.
- A short account on petrochemical industry effluent treatment
- Biological Wastewater Treatment.
- High performance clarifier with flocculation and sludge thickening, FLOCOPAC. 1E282_FLOCOPAC_L.pdf.
- Optimum clarification results in a confined space.

- Improvements in Wastewater Treatment Technology, Wisaam S. Al-Rekabi, He Qiang and Wei Wu Qiang, Faculty of Engineering, Basrah University, Basrah, Iraq, 2007.
- CLARIFIERS, Prepared by Michigan Department of Environmental Quality, Operator Training and Certification Unit.
- Wastewater Treatment Technology, Michigan Environmental 2010 Michigan Environmental Compliance Conference.
- Review on Chemical treatment of Industrial Waste Water, O.P. SAHU; P.K. CHAUDHARI, Department of Chemical Engineering, KIOT, Wollo University1, Ethiopia.

http://www.bioline.org.br/pdf?ja13028.

- Coagulation-Flocculation Treatment of Industrial
- Wastewater Using Tamarind Seed Powder
- Coagulation-Flocculation Treatment of Industrial Wastewater Using Tamarind Seed Powder, International Journal of ChemTech Research, Jun 11, 2016.
- Overview of flotation as a wastewater treatment technique, J. Rubio, M.L. Souza a, R.W. Smith, Metallurgical and Materials Engineering, Mackay School of Mines, University of Nevada-Reno, USA,2002.
- Flotation: As Primary Treatment of Waste Water
- DAF–dissolved air flotation: Potential applications in the mining and mineral processing industry, Rafael Teixeira Rodrigues, Jorge Rubio, Departamento de Engenharia de Minas, Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, July 2006.
- Future Solution for Water Treatment, Metropolia University of Applied Science,2017.

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127505/VOxFlotation_Future_for_Water_Treatment_Hung_Bui.pdf?sequence=1

- Petroleum Refinery, Ethylene and Gas Plant Wastewater Treatment Presentation, Siemens AG 2006.
- Petroleum refining water/wastewater use and management, The global oil and gas industry association for environmental and social issues, PIECA.
- API Separator, The Workhorse of Refinery Wastewater Treatment Systems, https://www.google.com.kw/search?q=API+oiil+seperatore&rlz=1C1NHXL_enKW697KW697&oq=API+oiil+seperatore&aqs=chrome..69i57j0l5.7543j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- http://swawater.com.au/what-are-cpi-separators-and-what-is-their-contribution-to-waste-water-treatment/
- http://www.freylit.com/fileadmin/_migrated/content_uploads/CPI_Separator.pdf.
- Integration of processes induced air flotation and photo-Fenton for treatment of residual waters contaminated with xylene, Journal of Hazardous Materials, 199–200 (2012) 151–157, a Departamento Engenharia Química, NUPEG, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal 59066-800, RN, Brazil, Syllos S. da Silvaa, Osvaldo Chiavone-Filhoa, Eduardo L. de Barros Netoa, Claudio A.O. Nascimento.
- Overview of flotation as a wastewater treatment technique, Minerals Engineering 15 (2002) 139–155, Departamento de Engenharia de Minas-PPGEM, Laboratorio de Tecnologia Mineral e Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Osvaldo Aranha 99/512, 90035-190, Porto Alegre, RS, Brazil, J. Rubio a, M.L. Souza a , R.W. Smith b.

- Induced gas flotation, http://en.citizendium.org/wiki/Induced_gas_flotation#cite_note-EPA-1
- Integrated WW treatment and Recycle/ Reuse System, ECHEM PPT.
- Study on the Effect of Modified Walnut Shell Filter on Oil Removal from Oilfield, Journal of Environmental & Analytical Toxicology, 1 College of Chemical and Environmental Engineering, Yang Hang, Wang Xiujun, Jing Bo, Guo Shuya1 and Yin Xianqing, Yangtze University, Hubei Jingzhou 434023, PR China.
- http://www.walnutshellpowder.com/walnut_shell/product_Walnut_Shell_Filtering.html.
- Crushed Walnut Shells, https://walnutshellpowder.wordpress.com/tag/walnut-shell-filter-media/.
- Waste Neutralization, http://www.tectrapro.com/wp-content/uploads/waste.pdf.
- Flow Equalization and Neutralization, Ramesh K. Goel, Joseph R.V. Flora, and J. Paul Chen.
- Physicochemical treatment of industrial wastewater with the multistage neutralization process, Water Science and Technology, Volume 36, Issues 2–3, 1997, Pages 249-253
- pH Neutralization in Industrial Wastewater, info@southforkinst.com.
- Biological Wastewater Treatment, Water Today l August – 2011.
- Industrial waste water treatment, Imperial Collage Press. National University of Singapore.
- Biological Waste water Treatment in Warm Climatic Regions. https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402703.pdf.

- https://www.sswm.info/ar/water-nutrient-cycle/wastewater-treatment/hardwares/semi-centralised-wastewater-treatments/activated-sludge.
- Introduction to Activated Sludge Study Guide, Second Edition, Wisconsin Department of Natural Resources Bureau of Science Services, Operator Certification Program, https://dnr.wi.gov/regulations/opcert/documents/wwsgactsludgeintro.pdf
- http://www.thewatertreatments.com/wastewater-sewage-treatment/oxidation-ditch-sewage-treatment/.
- Cyclic Activated Sludge Technology- recent Operation with A 90.000 PE Plant in Germany, USA. http://abwassersachverstaendiger.de/resources/Cyclic+Activated+Sludge+Technology.pdf
- Industrial Water Pollution Control, Aerobic Secondary Treatment of Wastewater. http://ghangrekar.com/wp-content/uploads/2016/02/19-Aerobic-treatment-process.pdf.
- Environmental Engineering Unit Processes, Activated Sludge Configurations for BOD removal and Nitrification, Marmara University, Istanbul, Turkey.
- Integrated Fixed Film Activated Sludge: Application of an Innovative Technology for High-Rate Wastewater Treatment, https://www.freese.com/sites/default/files/219.pdf.
- http://archive.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/semi-centralised-wastewater-treatments-4.
- Integrated Fixed Film/ Activated Sludge (IFAS) Technology,

https://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BRENTWOOD%202009%20IFAS%20Technology.pdf.

- Design, Cost & Benefit Analysis of a Membrane Bioreactor, Department of Environmental and Geomatics Engineering, Masoud Zaerpour,2014. https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/94842/5/2014-10-Zaerpour.pdf
- Moving Bed Biofilm Reactor – A New Perspective in Wastewater Treatment, IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT) e-ISSN: 2319-2402, p- ISSN: 2319-2399. Volume 6, Issue 6 (Nov. - Dec. 2013), PP 15-21 www.iosrjournals.org.
- Global good practices in industrial wastewater treatment and/ disposal / reuse, with special reference to common effluent treatment plants, Central Pollution Control Board, Mistry of Environment & Forests, Govt. of India).
- http://www.waterprofessionals.com/learning-center/activated-carbon-filters/
- Zero Liquid Discharge (ZLD), Concept, Evolution and Technology Options, "Zero Liquid Discharge" Workshop, Gandhinagar, January 27 - 28, 2014.
- ZLD Manual, MOPCO
- Reverse Osmosis Optimization, Us department of energy, august 2013, https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-22682.pdf.
- http://publications.kacst.edu.sa/SystemFiles/Books_Pdf/PDF_636015111938099598.pdf.
- Wastewater treatment and reuse in the oil & petrochemical industry – a case study, Engineering Conferences International, Spring 6-13-2014

البحث الثاني

واقع وآفاق الطاقات المتجددة في مزيج الطاقة العالمي والانعكاسات المحتملة على الصناعة النفطية

الجزء الثاني

عبد الفتاح دندي *

* مدير الإدارة الاقتصادية - ، أوابك - الكويت

الجزء الرابع: تقصي أثر تبني السيناريوهين على نفط الدول الأعضاء في أوابك.

ان إعداد توقعات الطاقة على المدى الطويل وعلى أهميتها القصوى للمنتجين والمستهلكين لغرض التخطيط من نواح عدة، إلا أنه يكتنفها حالات من عدم اليقين، الأمر الذي يستوجب النظر إليها بحذر. وقد لوحظ أن بعضاً من تلك التوقعات إما أن تكون متأثرة بشكل أو بآخر بالخلفية السياسية لمعديها أو بتأثرهم بأوضاع أسعار النفط والإمدادات منه وسياسات الطاقة عند إعداد توقعاتهم. كما أن هذه التوقعات تستدعي دوماً النظر بحذر إليها وتحليل خلفية افتراضاتها والمعاملات التي تستخدم في تقدير الطلب والعرض وغير ذلك لكي يتم تبني قرارات الإنتاج والاستثمار على فرضيات أكثر اقتراباً من الواقع وأفضل استشرافاً للمستقبل آخذة بالاعتبار التغيرات في المشهد الاقتصادي العالمي وتحولات الطاقة والتطورات التقنية المتلاحقة وتوجهات سياسات الطاقة والبيئة وغيرها.

وقبل التطرق للانعكاسات المحتملة على نفط الدول الأعضاء في منظمة أوابك، في حال تبني سيناريو التنمية المستدامة تجدر الإشارة أولاً إلى التطرق إلى أهمية النفط كمصدر من مصادر الطاقة الأولية، وإلى سرد الهواجس المتعلقة بأمن الإمدادات.

- **أهمية النفط كمصدر من مصادر الطاقة الأولية**

تنبع المكانة المتميزة للنفط من خصائصه الطبيعية، فطبيعته السائلة تجعله عامل جذب لاقتصادات الحجم في مختلف مراحل إنتاجه ونقله وتسويقه. ومن حيث الوزن و/أو الحجم، يحتوي النفط على أعلى محتوى حراري للطاقة مقارنة بجميع أنواع الوقود الأخرى، بما في ذلك الغاز الطبيعي والفحم. ويعد النفط الخام أيضا سلعة عالمية بامتياز، فالنفط الخام والمنتجات المكررة من أكثر السلع المادية تداولا من حيث الحجم والقيمة. ولا يزال قطاع النقل، الذي يعد شريان الحياة لأي اقتصاد حديث، يعتمد بشكل كامل تقريبا على المنتجات المكررة من النفط الخام، ولم تحقق أنواع الوقود الأخرى أي تقدم ملموس في استخداماتها في ذلك القطاع.

وينظر المستهلكون للنفط على أنه سلعة إستراتيجية نظرا لهيمنته على الاقتصاد العالمي، وتنعكس هذه النظرة بوضوح على مختلف السياسات والمبادرات المنتهجة والمنفذة في جميع أنحاء العالم. فالدول المستهلكة تهدف إلى تأمين إمدادات النفط بأسعار معقولة، وفي الوقت ذاته تسعى لتقليل الاعتماد على النفط من خلال اتخاذ تدابير مختلفة منها ترشيد استهلاك الطاقة، وتطوير مصادر الطاقة المتجددة ومصادر الطاقة البديلة، وبناء المخزونات النفطية الإستراتيجية لمواجهة أزمات نقص الإمدادات.

ومن وجهة نظر الدول المنتجة ومن ضمنها الدول الأعضاء في منظمة أوابك، يقع قطاع النفط على رأس الأولويات لما يلعبه من دور مهم في التطورات الاقتصادية المحلية والسياسية والاجتماعية، فضلا عن دوره في العلاقات الاقتصادية والسياسية. وعلى الرغم من الجهود المبذولة لتنويع اقتصاداتها بعيدا عن الهيدروكربونات، لا يزال قطاع النفط المحرك الرئيسي للنمو الاقتصادي والتنمية في معظم الدول المنتجة والمصدرة له. كما تولد صادرات النفط الجزء الأكبر من العائدات الأجنبية اللازمة للوفاء بمتطلبات الاستيراد في البلدان المنتجة. كما أنها تولد الجزء الأكبر من الإيرادات الحكومية الرئيسية اللازمة لتنفيذ المشاريع التنموية والاجتماعية وتنويع اقتصاداتها لتحقيق نمو اقتصادي مستدام ومستقر وخلق فرص عمل لمئات الآلاف من القوى العاملة التي تدخل أسواق العمل فيها بشكل سنوي. ونظرا لهيمنة قطاع النفط على اقتصادات هذه البلدان المنتجة فإنها أكثر تأثرا بالتقلبات في الاسعار، وذلك بالمقارنة مع الاقتصادات الأكثر تنوعا في بلدان منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية.

- **الهواجس المتعلقة بأمن الإمدادات**

تقع مخاوف الدول المستهلكة بشأن أمن إمدادات النفط واحدة من الأبعاد المتعلقة بمشكلة النفط في صلب مفهوم التبعية النفطية "Oil Dependency". فاحتياطيات النفط الخام متوفرة وتستخرج من مناطق غير تلك المستهلكة له في المقام الأول. وتستحوذ مجموعة صغيرة من البلدان، أغلبها في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، على الجزء الأكبر من الاحتياطيات العالمية المؤكدة من النفط التقليدي، وتستأثر بحصة كبيرة من الإنتاج النفطي

العالمي وتستحوذ على جزء كبير من تجارته الدولية. وفي المقابل، يتركز استهلاك النفط في عدد قليل من المناطق.

فالتوزيع غير المتكافئ لاحتياطيات النفط الخام من جهة، وحقيقة أن وصول المنتجات المكررة إلى المستهلكين النهائيين يمر بسلسلة توريد طويلة من جهة أخرى، يظهر الحاجة إلى هيكلة صناعية وبنية تحتية تشمل جميع بلدان العالم، والحاجة أيضاً إلى وجود ترابط قوي بين الأطراف المختلفة في مجال تجارة الطاقة.

ولا يشكل الاعتماد على واردات النفط مصدر قلق إذا تم ضمان التدفق السلس للنفط من مناطق الفائض إلى مناطق العجز. وكثيرا ما يقال أن سياسات الحكومات المستهلكة، سواء المنفذة أو المعلن عنها، والتي يقودها القلق بشأن أمن الطاقة أو أجندة تغير المناخ، تلعب دورا هاما في إحداث حالة عدم اليقين حول الاتجاهات الطويلة الأجل المتعلقة بالطلب على النفط. وبالتالي، فقد قوبلت الدعوات المتعلقة بـ "أمن الإمدادات"، بدعوة المنتجين لمفهوم "أمن الطلب". فمن وجهة نظر المستهلكين، تظل قضايا الوصول إلى الاحتياطيات وقدرة شركات النفط الوطنية في الدول المنتجة لتطوير احتياطياتها بكفاءة، والقيام بذلك في الوقت المناسب من أجل تلبية الطلب في المستقبل، أمور بالغة الأهمية.

ومما يذكر في هذا السياق قيام العديد من دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية في الآونة الأخيرة، بتحفيز استهلاك الطاقات المتجددة كجزء من سياساتها حول تغير المناخ، ويتم ذلك غالبا عن طريق مزيج من الضرائب والرسوم، لتغيير تكوين مزيج الطاقة لديها إلى أنواع ذات محتوى كربوني أقل. وتؤدي تدابير السياسة العامة تلك إلى تغيير في توزيع الريع في السلسلة النفطية، كما تؤدي إلى إعادة توزيع الريع بين أنواع الوقود المختلفة، كما أن لمثل هذه التدابير تأثير على الطلب والعرض لأنواع معينة من الوقود.

وقد كان عامل أمن الإمدادات بالنسبة لبلدان منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية المحرك الرئيسي لهذه السياسات، وقد نتج عن ذلك مخاوف بشأن أمن الطلب بالنسبة للدول المنتجة. وترى الدول المنتجة، الضرائب المفروضة على المنتجات البترولية بأنها تمييزية، وتؤدي إلى كبح نمو الطلب على النفط، وكذلك خفض حصته في مزيج الطاقة العالمي على

المدى الطويل. وبنفس القدر من الأهمية، للضرائب تأثيرها الواضح على مسألة توزيع الريع، فمن خلال الضرائب يمكن للدول المستهلكة الاستحواذ على جزء كبير من ذلك الريع مقارنة بنصيب الدول المنتجة. وعلاوة على ذلك، فإن السياسات المتمثلة في تقديم الإعانات والحوافز والضرائب، والإقناع الأخلاقي، و/أو مزيج من تلك السبل ستحفز وتزيد من درجات كبيرة لحالات عدم اليقين، وبالتالي ستؤثر على الطلب على النفط على المدى الطويل. وعلى الرغم من أن أثر تلك السياسات الحكومية سيكون هامشياً على المدى القصير، إلا أنه من منظور الدول المنتجة، آثارها على الطلب ستكون متراكمة، ولا يمكن بالتالي تجاهلها في الأجل الطويل.

وما يقابل شكاوى المنتجين حول فرض الضرائب على المنتجات البترولية، هو هواجس المستهلكين حول سياسات دعم الطاقة. فدعم الطاقة يوفر حماية ضد آثار ارتفاع أسعارها، ونتيجة لذلك ليس لدى المستهلكين حافزاً لضبط أنماط استهلاكهم. إن مثل تلك الإعانات تشجع على استهلاك الطاقة بما في ذلك المنتجات البترولية والغاز الطبيعي والكهرباء فوق مستويات التي أملتها الأسعار غير المنتظمة. كما أن استمرار الطلب في الارتفاع بشكل أسرع من العرض، سيرهق مع مرور الوقت القدرات التصديرية للدول المنتجة. ويمكن لتلك الإعانات أن تقوّض أجندة تغير المناخ والتنمية المستدامة. لذلك، فقد ظهرت العديد من المطالبات بإلغاء الدعم على الطاقة من أجل الحد من انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري وتحقيق أهداف التنمية المستدامة. ولقد أضافت الهواجس الأخيرة حول تأثير الوقود الأحفوري على البيئة بعدا أخر لمشكلة النفط. ففي الوقت الحاضر، تنظر العديد من البلدان المستهلكة الرئيسية إلى أن قضية التغير المناخي لا تقل أهمية عن قضية أمن الطاقة، وتهيمن الاهتمامات البيئية على جميع مراحل السلسلة النفطية من الإنتاج إلى الاستهلاك. ففي مرحلة الإنتاج، هناك شواغل بيئية حول مسائل مثل الوصول إلى المناطق البرية في القطب الشمالي، والاحتياطيات في المياه العميقة، وحرق الغاز المصاحب، والحوادث والتسربات النفطية. وفي مرحلة النقل، هناك مخاوف حول التسرب في خطوط الأنابيب وحوادث الناقلات. وفي مرحلة الاستهلاك، هناك مخاوف من التلوث والآثار الصحية الناجمة عن حرق المنتجات النفطية. كما هو الحال في أجزاء أخرى من العالم، تزايد

قلق الدول المنتجة إزاء احتمال الآثار الاقتصادية والاجتماعية لتغير المناخ، مثل نقص المياه، وتدهور الأراضي، وارتفاع مستويات سطح البحر. ومن جهة نظر الدول المنتجة، لتغير المناخ بعدا أخر وهو تأثيره على سوق الوقود الأحفوري الذي يشكل المصدر الرئيسي لدخول تلك الدول. كما يبدئ المنتجون تخوفهم من أن السياسات الضريبية والإعانات التي تقدم لمصادر الطاقة البديلة مثل الطاقة المتجددة والطاقة النووية، والإيثانول يمكن أن تحد أو تقلل من نمو حجم السوق النفطية على المدى الطويل.

إن سياسات البلدان المستهلكة المتعلقة بالبحث عن بدائل بعيدة عن النفط يزيد من حالات عدم اليقين بشأن الطلب ويزيد من عزوف المنتجين عن الاستثمار في الطاقات الإنتاجية الجديدة. كما أن قرارات الدول المنتجة بعدم الاستثمار في قطاع النفط بسبب حالات عدم اليقين المتعلقة بالطلب ستزيد بدورها من المخاوف في البلدان المستهلكة بشأن أمن إمدادات النفط في المستقبل.

1. التوقعات المتعلقة بالإمدادات النفطية العالمية حتى عام 2040

فيما يخص **جانب الإمدادات**، من المتوقع بحسب **سيناريو السياسات الجديدة**، أن ترتفع الامدادات النفطية العالمية والتي تشتمل على النفط التقليدي وغير التقليدي وسوائل الغاز الطبيعي من 92.8 مليون ب/ي عام 2017 الى 103.4 مليون ب/ي عام 2040. اذ من المتوقع ان تنخفض حصة النفط الخام التقليدي من إجمالي الامدادات من 66.9 مليون ب/ي عام 2017 أي ما يمثل 72% الى 63.8 مليون ب/ي عام 2040 أي ما يشكل 61.7% من الاجمالي. وفي المقابل، سترتفع حصة النفوط غير التقليدية من 9.3 مليون ب/ي عام 2017 أي ما يمثل 10% الى 18.5 مليون ب/ي عام 2040 أي ما يمثل 17.9%، كما سترتفع حصة سوائل الغاز الطبيعي من 16.6 مليون ب/ي اي بحصة 17.9% الى 21.1 مليون ب/ي أي بحصة 20.4 % خلال ذات الفترة.

وبحسب سيناريو التنمية المستدامة فالصورة تختلف تماما حيث من المتوقع ان تنخفض الامدادات النفطية العالمية الى 68.1 مليون ب/ي أي بمقدار 24.7 مليون ب/ي مقارنة بعام 2017، وبمعدل انخفاض سنوي 1.3% خلال الفترة (2017-2040)، حيث يتوقع أن تنخفض حصة النفط الخام التقليدي الى 40.2 مليون ب ي عام 2040 أي ما يشكل 59% من الإجمالي، وستنخفض أيضا حصة سوائل الغاز الطبيعي الى 15.6 مليون ب ي بينما سترتفع حصتها من الإجمالي الى 22.9%، في حين سترتفع حصة النفوط غير التقليدية الى 10.8 مليون ب/ي عام 2040 أي ما يمثل 18.1%، كما يوضح الجدول (9) في الملحق والشكل (47):

الشكل (47)
تطور الامدادات النفطية العالمية، وفق سيناريو السياسات الجديدة وسيناريو التنمية المستدامة (مليون ب/ي)



المصدر: الجدول (9) في الملحق.

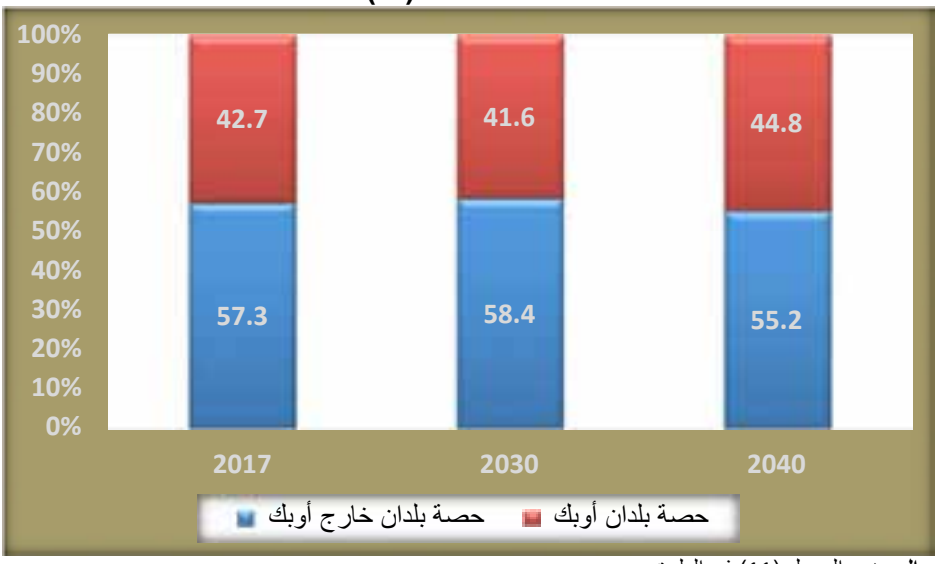
وعلى مستوى المجموعات، من المتوقع أن ترتفع **إمدادات الدول الأعضاء في منظمة أوبك** من 39.6 مليون ب/ي عام 2017 الى 46.3 مليون ب/ي عام 2040 بحسب سيناريو السياسات الجديدة لتساهم هذه الدول، والتي من ضمنها سبع دول أعضاء في منظمة أوابك:

وهي السعودية والامارات العربية والكويت وقطر والعراق وليبيا والجزائر بنحو 63.2% أي 6.7 مليون ب/ي من إجمالي الزيادة المتوقعة في الإمدادات خلال الفترة (2017 – 2040) وهي 10.6 مليون ب/ي.

علما بأن الزيادة المتوقعة من بلدان أوبك (6.7 مليون ب/ي) موزعة على النحو التالي: 2.4 مليون ب/ي من النفط الخام، و3.3 مليون ب/ي من سوائل الغاز الطبيعي، و1 مليون ب/ي من النفوط غير التقليدية. وبذلك من المتوقع ان ترتفع حصة بلدان أوبك من إجمالي الامدادات النفطية، بحسب سيناريو السياسات الجديدة، من 42.7% عام 2017 الى حوالي 44.8% عام 2040.

وفيما يتعلق **بالدول المنتجة من خارج اوبك** ووفق سيناريو السياسات الجديدة فستنخفض حصتها من 57.3% الى 55.2% خلال ذات الفترة، على الرغم من ارتفاع امداداتها النفطية من 53.2 مليون ب/ي عام 2017 الى 57.1 مليون ب/ي عام 2040. وبينما يشكل النفط التقليدي حوالي 66.2% من إنتاج دول خارج أوبك في الوقت الحاضر، من المتوقع أن تنخفض مساهمته إلى 51.8% عام 2040 بسبب الزيادة الكبيرة في إنتاج النفط غير التقليدي الذي يشمل الوقود الحيوي ورمال النفط من كندا والنفط الثقيل أو تحويل الغاز والفحم إلى منتجات بترولية الذي سترتفع حصته من إجمالي إمدادات المجموعة من 15% الى 28.5% خلال ذات الفترة. هذا بالإضافة إلى الزيادة في سوائل الغاز الطبيعي الناتجة عن التوسع في عمليات إنتاج الغاز في مناطق مختلفة من العالم والتي تقدر بـ 11.2 مليون ب/ي عام 2040 أي بحصة 19.6% بعد ان كانت عند 10 مليون ب/ي عام 2017 أي بحصة 18.8%، كما يوضح الجدول (11) في الملحق والشكل (48):

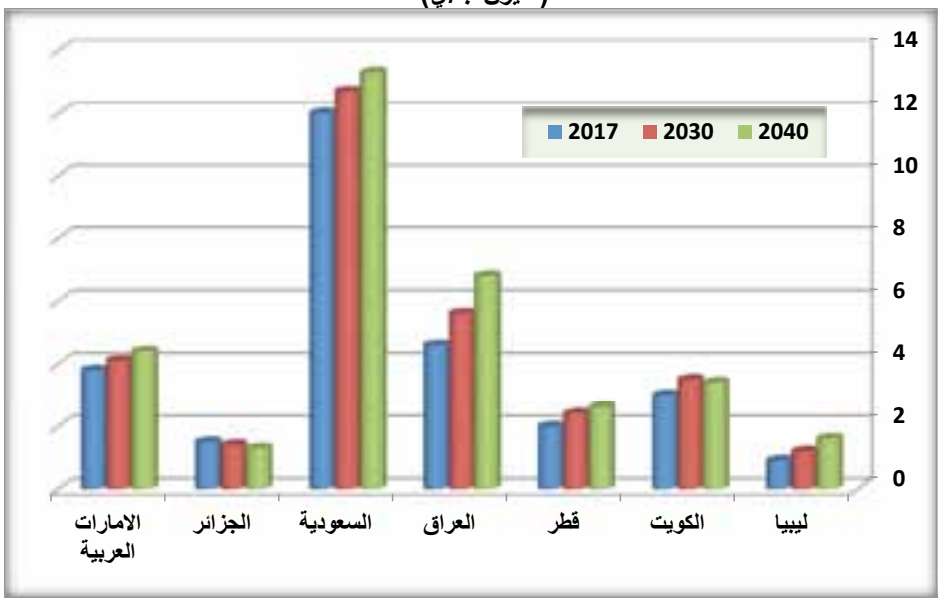
الشكل (48)
تطور حصة الدول الأعضاء في منظمة أوبك من إجمالي الإمدادات النفطية العالمية، 2017-2040 (%)



المصدر: الجدول (11) في الملحق.

والجدير بالذكر أن الدول العربية السبع الأعضاء في كل من منظمة أوبك وأوابك، ستكون مصدر مهم للزيادة المتوقعة في الامدادات النفطية العالمية بحسب سيناريو السياسات الجديدة حيث سترتفع إمداداتها من 27.8 مليون ب/ي عام 2017 إلى 33.4 مليون ب/ي عام 2040 لتساهم بنحو 5.6 مليون ب/ي أي بحصة 52.8% من الزيادة في الامدادات العالمية خلال نفس الفترة. وبذلك سترتفع حصة الدول العربية السبع الأعضاء في كل من منظمة أوبك وأوابك من إجمالي امدادات أوبك من 70.2% عام 2017 الى 72.1% عام 2040 كما سترتفع حصتها من الاجمالي العالمي من 30% الى 32.3% خلال ذات الفترة. والجدول (10) في الملحق والشكل (49) يوضحا تطور الامدادات النفطية المتوقعة من الدول الأعضاء في اوابك خلال الفترة (2017-2040):

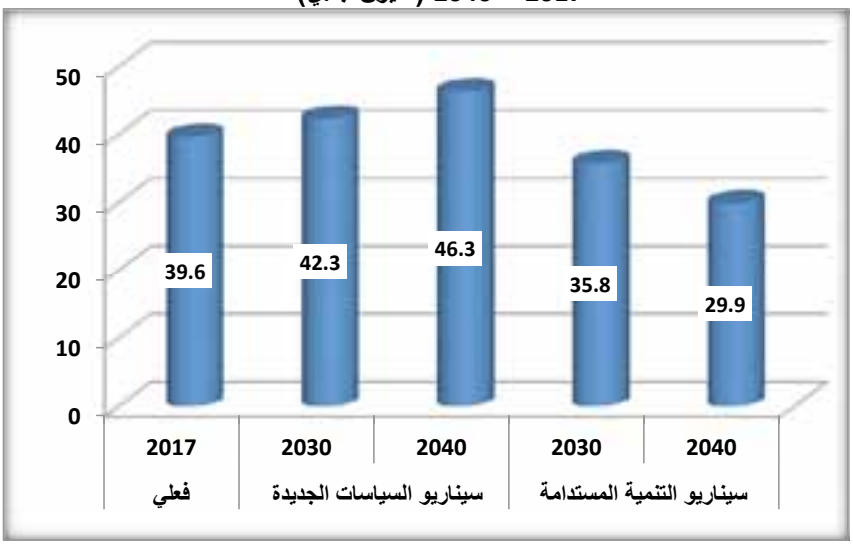
الشكل (49)
تطور الامدادات النفطية المتوقعة من الدول الأعضاء في اوابك، بحسب سيناريو السياسات الجديدة، للفترة 2017-2040
(مليون ب/ي)



المصدر: الجدول (10) في الملحق.

وتختلف الصورة بحسب سيناريو التنمية المستدامة، حيث من المتوقع ان تنخفض إمدادات الدول الأعضاء في منظمة أوبك من 39.6 مليون ب/ي عام 2017 الى 29.9 مليون ب/ي عام 2040 أي بمقدار 9.7 مليون ب ي، كما ستنخفض الامدادات من خارج أوبك بمقدار 15.1 مليون ب/ي لتصل الى 38.1 مليون ب/ي عام 2040، كما يوضح الجدول (9) في الملحق والشكلين (50) و (51):

الشكل (50)
تطور الامدادات النفطية المتوقعة من الدول الأعضاء في منظمة أوبك، بحسب السيناريو، 2017 – 2040 (مليون ب/ي)



المصدر: الجدول (9) في الملحق.

الشكل (51)
تطور الامدادات النفطية المتوقعة من الدول خارج منظمة أوبك، بحسب السيناريو، 2017 – 2040 (مليون ب/ي)

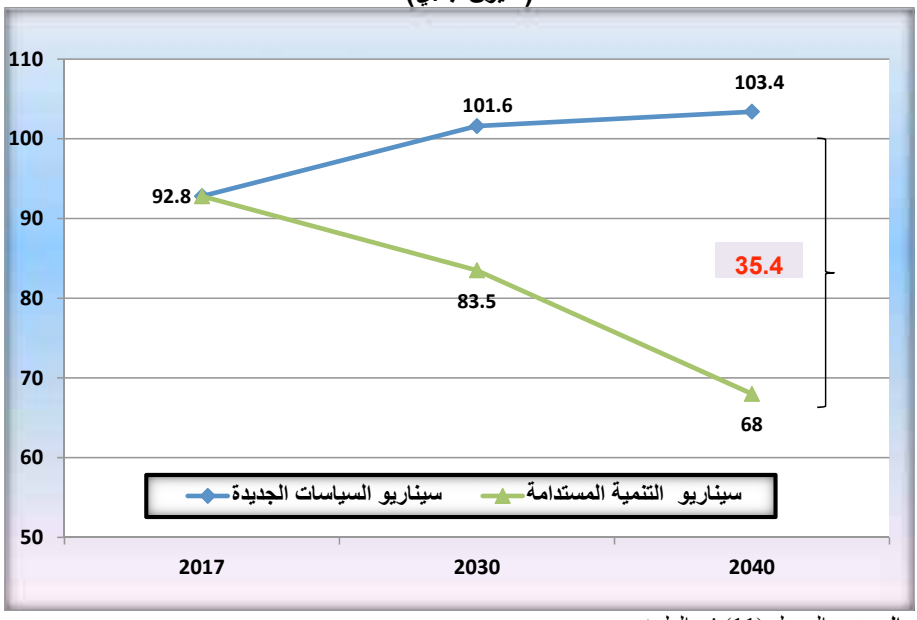


المصدر: الجدول (9) في الملحق.

2. مقارنة نتائج سيناريو السياسات الجديدة مع سيناريو التنمية المستدامة

يتضح من خلال مقارنة نتائج سيناريو السياسات الجديدة وسيناريو التنمية المستدامة فيما يتعلق بالإمدادات النفطية العالمية الاختلاف الكبير بينهما، فمن المتوقع ان ترتفع الامدادات النفطية العالمية من 92.8 مليون ب/ي عام 2017 الى 103.4 مليون ب/ي عام 2040 بحسب سيناريو السياسات الجديدة، فيما يتوقع ان تنخفض تلك الامدادات الى 68 مليون ب/ي عام 2040 بحسب سيناريو التنمية المستدامة، أي انه هناك فارق بمقدار 35.4 مليون ب/ي ما يشكل انخفاض نسبته 34 %، كما يوضح الشكل (52):

الشكل (52)
تطور الامدادات النفطية العالمية وفق السيناريو، 2017-2040
(مليون ب/ي)

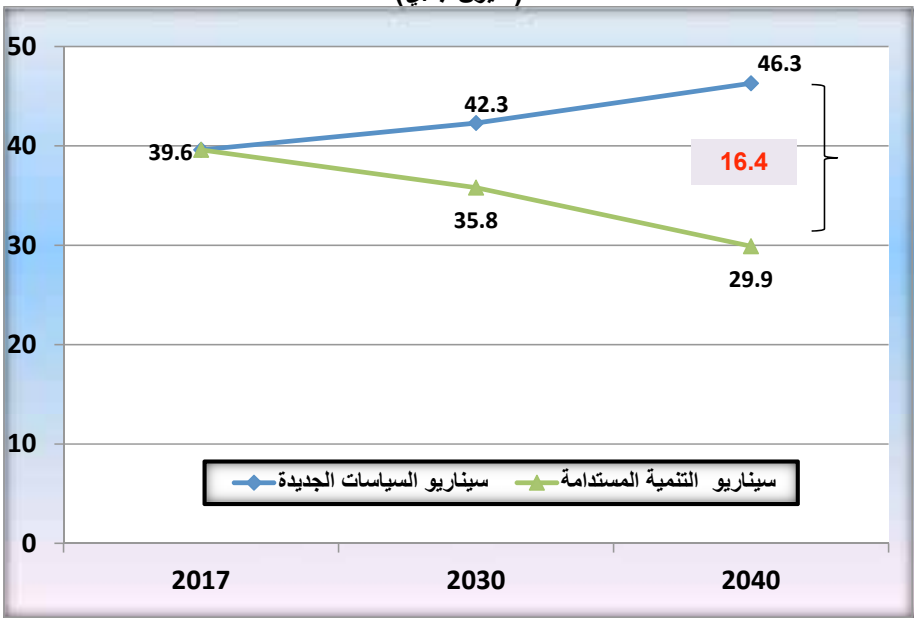


المصدر: الجدول (11) في الملحق.

وعلى **مستوى المجموعات الدولية** والمتمثلة في الدول الأعضاء في منظمة أوبك والدول المنتجة من خارجها، فمن الواضح أيضا التباين في نتائج السيناريوهين. فمن المتوقع ان ترتفع الامدادات النفطية العالمية من **البلدان الأعضاء في منظمة أوبك** من 39.6

مليون ب/ي عام 2017 الى 46.3 مليون ب/ي عام 2040 بحسب سيناريو السياسات الجديدة، فيما يتوقع ان تنخفض الامدادات الى 29.9 مليون ب/ي بحسب سيناريو التنمية المستدامة، أي انه هناك فارق بمقدار 16.4 مليون ب/ي ما يمثل نسبة انخفاض قدرها 35.4%، كما يوضح الجدولين (9) و (11) في الملحق والشكل (53):

الشكل (53)
تطور الامدادات النفطية للدول الأعضاء في منظمة أوبك وفق السيناريو، 2017-2040
(مليون ب/ي)

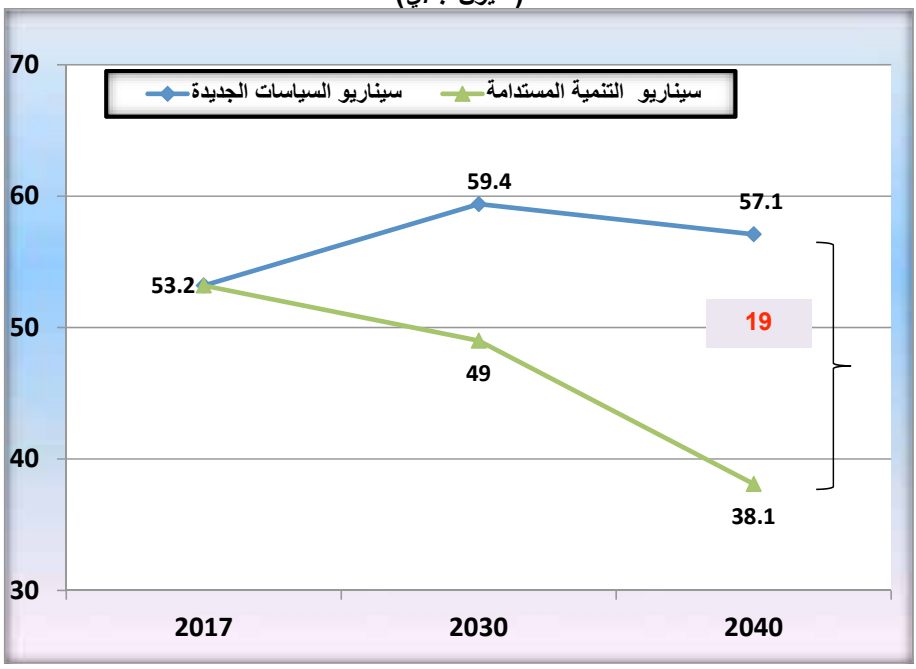


المصدر: الجدول (11) في الملحق.

وبالنسبة **للبلدان المنتجة من خارج أوبك**، فمن المتوقع ان ترتفع امداداتها النفطية من 53.2 مليون ب/ي عام 2017 الى 57.1 مليون ب/ي عام 2040 بحسب سيناريو السياسات الجديدة، بينما يتوقع ان تنخفض تلك الامدادات الى 38.1 مليون ب/ي عام 2040 بحسب سيناريو التنمية المستدامة، أي انه هناك فارق بمقدار 19 مليون ب/ي أو بنسبة 38.8%، كما يوضح الجدولين (9) و (11) في الملحق والشكل (54):

الشكل (54)

تطور الامدادات النفطية لبلدان خارج أوبك وفق السيناريو، 2017 - 2040
(مليون ب/ي)



المصدر: الجدول (11) في الملحق.

ولا شك أن النتائج المتعلقة بالإمدادات لها انعكاسات أخرى على الدول الأعضاء في منظمة الأوابك، ويمكن إيجاز تلك الانعكاسات على النحو التالي:

أ- الانعكاسات على تجارة النفط الخام:

بناء على سيناريو السياسات الجديدة، من المتوقع أن يرتفع حجم تجارة النفط الخام من 36.3 مليون ب/ي عام 2017 إلى حوالي 44.7 مليون ب/ي عام 2040، أي بزيادة 8.4 مليون ب/ي بنسبة ارتفاع 23%. ومنطقة الشرق الأوسط، التي من ضمنها الدول العربية الرئيسية المنتجة للنفط الأعضاء في منظمة أوبك، سترتفع صادراتها من النفط من 23.1 مليون ب/ي إلى 25.8 مليون ب/ي ما بين عامي 2017 و2040، ولكن مساهمة المنطقة من الإجمالي العالمي يتوقع أن تنخفض من 63.6% إلى 57.7% خلال ذات

الفترة، يذكر أن جزء كبير من تلك الصادرات ستتجه إلى الأسواق الآسيوية. يذكر أن معظم صادرات المنطقة في الوقت الحاضر، متمثلة في النفط الخام، إلاّ أنه في المستقبل الجزء الأكبر من تلك الصادرات سيكون في شكل منتجات نفطية. ومن الواضح جداً، أنه في حال تبني سيناريو التنمية المستدامة فسيكون هناك أثر واضح على حجم التجارة العالمية النفطية بشكل عام، وتجارة الدول الأعضاء في أوابك وأوبك والدول المنتجة من خارجها بشكل عام.

ب - حجم الاستثمارات المتراكمة للفترة (2018-2040) لأنواع الوقود المختلفة بحسب السيناريو ووفق المجموعات الدولية

من المتوقع أن يصل إجمالي الاستثمارات المتراكمة خلال الفترة (2018-2040) لجميع أنواع الوقود (أحفوري، نووي، طاقات متجددة) بحسب سيناريو السياسات الجديدة الى حوالي 11.4 تريليون دولار أمريكي بأسعار عام 2017. ومن المتوقع ان تستحوذ الطاقات المتجددة على النسبة الأكبر من ذلك الإجمالي أي بحصة 70.3%، يليها الوقود الاحفوري بحصة 20.1% أي بمقدار 2.3 تريليون دولار أمريكي بأسعار عام 2017، وأخيرا الطاقة النووية بحصة 9.6% أي بنحو 8 تريليون دولار أمريكي بأسعار عام 2017.

وبحسب سيناريو التنمية المستدامة، يتوقع ان يرتفع إجمالي الاستثمارات المتراكمة خلال الفترة (2018-2040) بمقدار 5 تريليون دولار مقارنة بسيناريو السياسات الجديدة ليصل الى 16.4 تريليون دولار أمريكي بأسعار عام 2017، حيث سترتفع حصة الطاقات المتجددة من الإجمالي الى 78% مقابل انخفاض حصة الوقود الاحفوري الى 12.9% وحصة الطاقة النووية الى 9.1%.

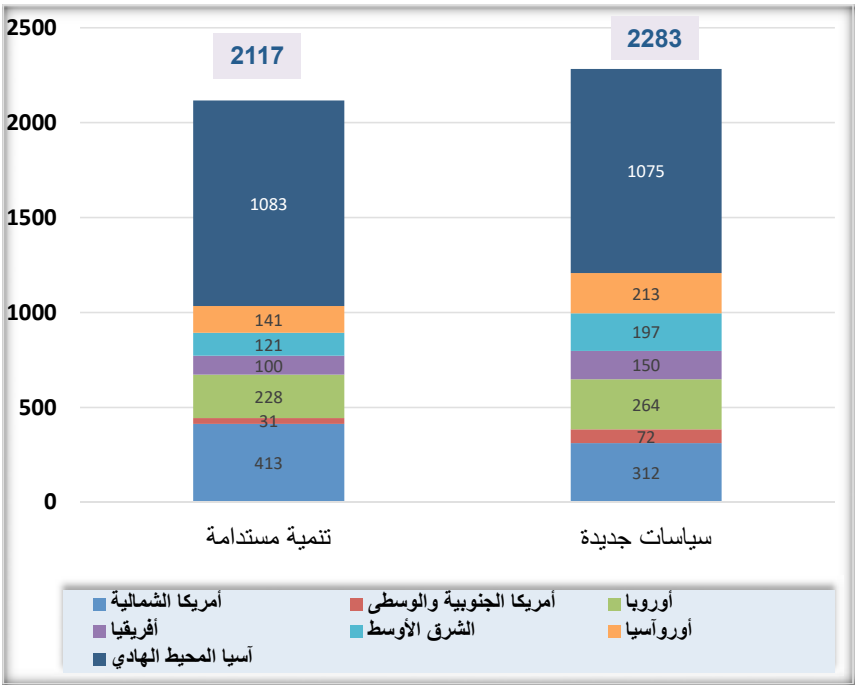
وفيما يلي تفصيل لتوزع تلك الاستثمارات بحسب أنواع الوقود ووفق المجموعات الدولية المختلفة:

- **الوقود الاحفوري**

بحسب سيناريو السياسات الجديدة، من المتوقع أن تصل المتطلبات الاستثمارية لأنواع الوقود الاحفوري (نفط وغاز وفحم) الى نحو 2.3 تريليون دولار أمريكي بأسعار عام 2017. يذكر أن الجزء الأكبر من تلك الاستثمارات سيتركز في مجموعة دول آسيا والمحيط الهادي التي ستستأثر بحصة 47.1% من الإجمالي، تليها مجموعة دول أمريكا الشمالية بحصة 13.7%، والدول الأوروبية بحصة 11.6%، ومجموعة دول أوروآسيا بحصة 9.3%، ودول الشرق الأوسط بحصة 8.6% والدول الافريقية بحصة 6.6%، وأخيرا دول أمريكا الجنوبية والوسطى بالحصة المتبقية وهي 3.2%.

ووفق سيناريو التنمية المستدامة، من المتوقع أن تنخفض المتطلبات الاستثمارية لأنواع الوقود الاحفوري (نفط وغاز وفحم) بمقدار 166 مليار دولار أي بنسبة 7.3% مقارنة بسيناريو السياسات الجديدة لتصل الى نحو 2.1 تريليون دولار أمريكي بأسعار عام 2017. يذكر أن الجزء الأكبر من تلك الاستثمارات سيتركز أيضا في مجموعة دول آسيا والمحيط الهادي التي ستستأثر بحصة 51.2% من الإجمالي، تليها مجموعة دول أمريكا الشمالية بحصة 19.5%، والدول الأوروبية بحصة 10.8%، ومجموعة دول أوروآسيا بحصة 6.7%، ودول الشرق الأوسط بحصة 5.7% والدول الافريقية بحصة 4.7%، وأخيرا دول أمريكا الجنوبية والوسطى بالحصة المتبقية وهي 1.5%. كما يوضح الجدول (13) في الملحق والشكل (55):

الشكل (55)
المتطلبات الاستثمارية المتوقعة للوقود الاحفوري بحسب السيناريو ووفق المجموعات الدولية المختلفة للفترة (2018-2040)
(مليار دولار أمريكي بأسعار عام 2017)



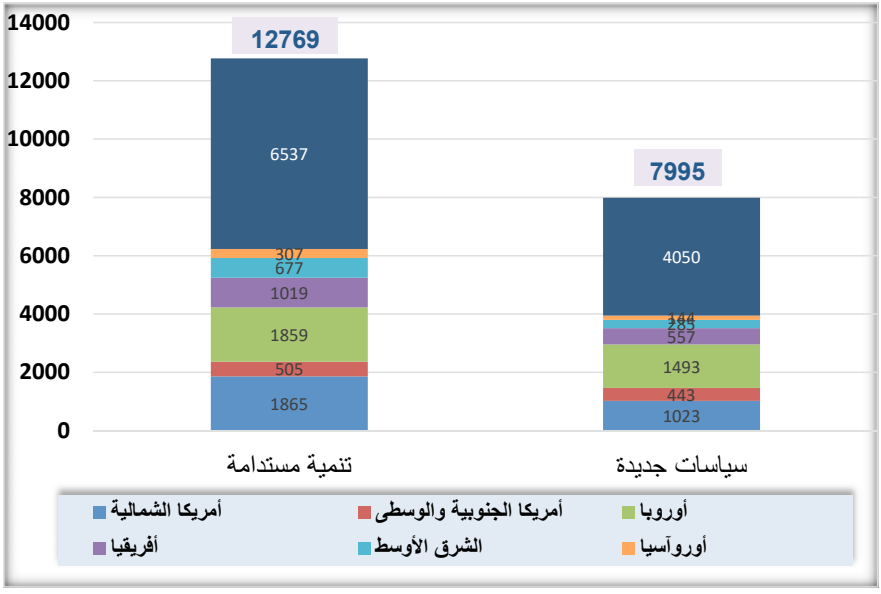
المصدر: الجدول (13) في الملحق.

- **الطاقات المتجددة**

بحسب سيناريو السياسات الجديدة، من المتوقع أن تصل المتطلبات الاستثمارية للطاقات المتجددة الى نحو 8 تريليون دولار أمريكي بأسعار عام 2017. يذكر أن الجزء الأكبر من تلك الاستثمارات سيتركز في مجموعة دول آسيا والمحيط الهادي التي ستستأثر بحصة 50.7% من الإجمالي، تليها مجموعة الدول الأوروبية بحصة 18.7%، ودول أمريكا الشمالية بحصة 12.8%، ومجموعة الدول الافريقية بحصة 7%، ودول أمريكا الجنوبية والوسطى بحصة 5.5%، ودول الشرق الأوسط بحصة 3.6%، وأخيرا دول أوروآسيا بالحصة المتبقية وهي 1.8%.

ووفق سيناريو التنمية المستدامة، من المتوقع أن ترتفع المتطلبات الاستثمارية للطاقات المتجددة بمقدار 4.8 تريليون دولار أي بنسبة 59.7% مقارنة بسيناريو السياسات الجديدة لتصل الى نحو 12.8 تريليون دولار أمريكي بأسعار عام 2017. يذكر أن الجزء الأكبر من تلك الاستثمارات سيتركز في مجموعة دول آسيا والمحيط الهادي التي ستستأثر بحصة 51.2% من الإجمالي، تليها مجموعة دول أمريكا الشمالية والدول الأوروبية بحصة 14.6% لكل منهما، والدول الافريقية بحصة 8%، ودول الشرق الأوسط بحصة 5.3%، ومجموعة دول أمريكا الجنوبية والوسطى بحصة 4%، وأخيرا دول أوروآسيا بالحصة المتبقية وهي 2.4%. كما يوضح الجدول (13) في الملحق والشكل (56):

الشكل (56)
المتطلبات الاستثمارية المتوقعة للطاقات المتجددة بحسب السيناريو ووفق المجموعات الدولية المختلفة للفترة (2018-2040)
(مليار دولار أمريكي بأسعار عام 2017)



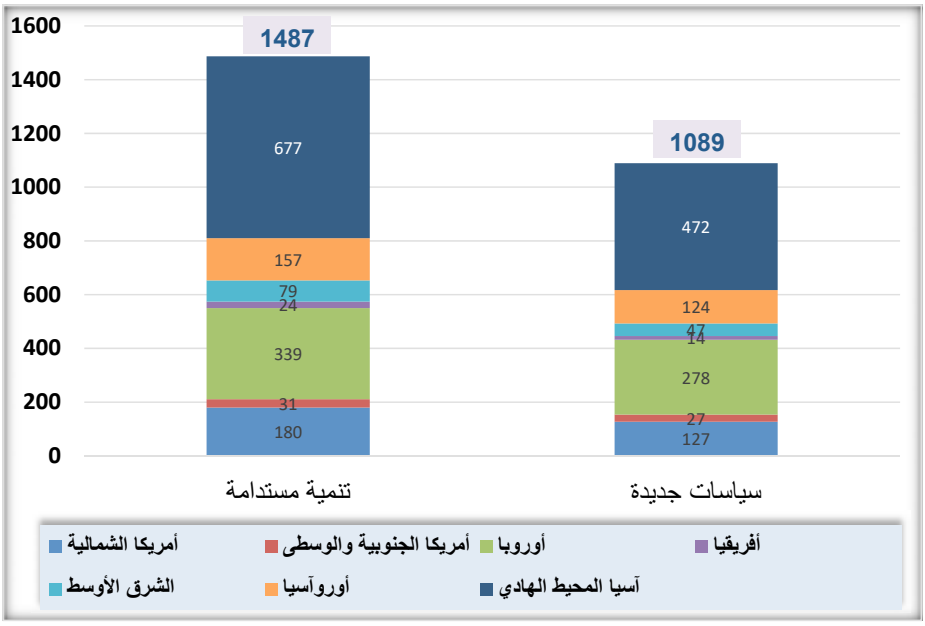
المصدر: الجدول (13) في الملحق.

- **الطاقة النووية**

بحسب سيناريو السياسات الجديدة، يتوقع أن تصل المتطلبات الاستثمارية للطاقة النووية خلال الفترة (2018-2040) الى نحو 1.1 تريليون دولار أمريكي بأسعار عام 2017. يذكر أن الجزء الأكبر من تلك الاستثمارات سيتركز في مجموعة دول آسيا والمحيط الهادي التي ستستأثر بحصة 43.3% من الإجمالي، تليها مجموعة الدول الأوروبية بحصة 25.5%، ودول أمريكا الشمالية بحصة 11.7%، ومجموعة دول أوروآسيا بحصة 11.4%، ودول الشرق الأوسط بحصة 4.3%، ودول أمريكا الجنوبية والوسطى بحصة 2.5%، وأخيرا الدول الافريقية بالحصة المتبقية وهي 1.3%.

ووفق سيناريو التنمية المستدامة، من المتوقع أن ترتفع المتطلبات الاستثمارية للطاقة النووية خلال ذات الفترة بمقدار 398 مليار دولار أي بنسبة 36.5% مقارنة بسيناريو السياسات الجديدة لتصل الى نحو 1.5 تريليون دولار أمريكي بأسعار عام 2017. يذكر أن الجزء الأكبر من تلك الاستثمارات سيتركز في مجموعة دول آسيا والمحيط الهادي التي ستستأثر بحصة 45.5% من الإجمالي، تليها مجموعة الدول الأوروبية بحصة 22.8%، ودول أمريكا الشمالية بحصة 12.1%، ودول أوروآسيا بحصة 10.6%، ودول الشرق الأوسط بحصة 5.3%، ومجموعة دول أمريكا الجنوبية والوسطى بحصة 2.1%، وأخيرا الدول الافريقية بالحصة المتبقية وهي 1.6%. كما يوضح الجدول (13) في الملحق والشكل (57):

الشكل (57)
المتطلبات الاستثمارية المتوقعة للطاقة النووية بحسب السيناريو ووفق المجموعات الدولية المختلفة للفترة (2018-2040)
(مليار دولار أمريكي بأسعار عام 2017)



المصدر: الجدول (13) في الملحق.

ج- حجم الاستثمارات المتراكمة لقطاع النفط والغاز وفق المناطق، 2018-2040

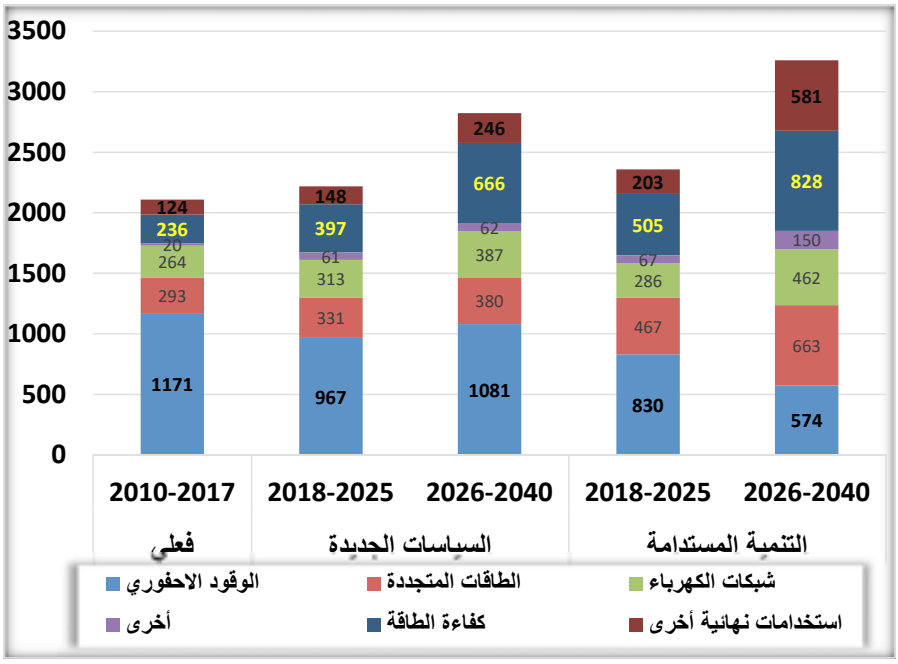
إن الاتجاهات المتوقعة للإمدادات النفطية بحسب سيناريو السياسات الجديدة يتطلب ضخ استثمارات تراكمية في البنى التحتية لقطاع النفط والغاز الطبيعي على مستوى العالم قد تصل إلى 20.708 تريليون دولار بأسعار عام 2017 أو بمعدل سنوي 580 مليار دولار على المدى القصير (2018 – 2025)، ومعدل سنوي 740 مليار دولار على المدى الطويل (2026 – 2040)، وسيتأثر قطاع الاستكشاف والإنتاج بنحو 15.730 تريليون دولار أي بنسبة 76% من إجمالي تلك الاستثمارات.

وتحتاج منطقة الشـــرق الأوســـط إلى اســـتثمارات تراكمية في قطاع النفط والغاز الطبيعي قد تصـل إلى حوالي 2989 مليار دولار (بأسـعار عام 2017)، بحصـة 14.4% من إجمـالي تلـك الاســـتثمـارات. وســـيتم توجيـه حوالي 2283 مليـار دولار إلى قطـاع الاستكشاف والإنتاج ما يشكل76% من إجمالي استثمارات قطاع الطاقة في المنطقة، ونسبة 6.2% (184 مليار دولار) ســـتوجـه إلى قطـاع التكرير مـا يشـــكل 18% من إجمـالي الاستثمارات المتوقعة لقطاع التكرير العالمي وهي 1017 مليار دولار. والدول المنتجة من أوبك، التي من ضـمنها الدول العربية السـبع الأعضـاء في منظمة أوابك تسـتأثر بجزء كبير من حجم الاسـتثمارات المتوقعة حتى عام 2040 في قطاع الإنتاج والاسـتكشـاف. ولا ريب أن ضخ مثل تلك الاستثمارات الضخمة يحتاج إلى أمن طلب من الدول المستهلكة.

وفي حال تبني سيناريو التنمية المستدامة وبناء على النتائج المتعلقة به سيكون هناك تأثير على حجم الاسـتثمارات التي يتوقع أن تضـخ في هذا القطاع. فمن المتوقع أن يصـل إجمالي الاســتثمارات المتراكمة في البنى التحتية للنفط والغاز على المســتوى العالمي إلى حوالي 13.455 تريليون دولار، أي بمعدل سنوي 430 مليار دولار خلال الفترة 2018 – 2040. ومن الملاحظ أن الاحتياطيات الاسـتثمارية وفق سـيناريو التنمية المسـتدامة يقل بنحو 7253 مليار دولار، أي بنسـبة 35% مقارنة بنظيره بحسـب سـيناريو السـياسـات الجديدة. كما يوضح الشكل (58):

الشكل (58)

المتوسط السنوي لحجم الاستثمارات اللازمة وفق الوقود وبحسب السيناريو (مليار دولار بأسعار عام 2017)



المصدر: الجدول (14) في الملحق.

الجزء الخامس: استغلال مصادر الطاقات المتجددة في الدول الأعضاء في منظمة أوابك والدول العربية الأخرى

تم الركون في إعداد هذا الجزء من الدراسة الى ما جاء في فصل المحور للتقرير الاقتصادي العربي الموحد الصادر في عام 2018، والذي يقوم بإعداده أربع مؤسسات عربية وهي جامعة الدول العربية والصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي وصندوق النقد العربي ومنظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك). حيث تناول فصل المحور المعنون **" آفاق التوليد الكهربائي باستخدام مصادر الطاقات المتجددة في الدول العربية".** وفيما يلي إيجاز لأهم ما تم تناوله في هذا الفصل من التقرير:

1- وضع إنتاج الطاقة الكهربائية في الدول العربية[2]

بلغ إجمالي الطلب على الحمل الأقصى في الدول العربية، بنهاية عام 2017، حوالي 210 جيجا وات عام 2017، وبلغ إجمالي الطاقة المنتجة حوالي 1076 تيرا وات ساعة في ذات العام، مقارنة بحوالي 107 جيجا وات، و599 تيرا وات ساعة للحمل الأقصى والطاقة المنتجة، على التوالي، في عام 2005، أي بمتوسط زيادة سنوية حوالي 5.8 % للحمل الأقصى، وحوالي 5 % للطاقة المنتجة خلال تلك الفترة.

وقد بلغ إجمالي قدرات التوليد المركبة عام 2017 حوالي 288 جيجا وات، منها حوالي 272.7 جيجا وات من وحدات توليد حرارية، وحوالي 10.9 جيجا وات من وحدات توليد كهرومائية، وحوالي 2.1 جيجا وات من وحدات توليد تعمل بالطاقة الشمسية، ونحو 2.3 جيجا وات من وحدات توليد تعمل بطاقة الرياح، ليبلغ إجمالي قدرات التوليد التي تعمل على الطاقة المتجددة نحو 5.3 % من إجمالي قدرات التوليد، قامت بتوليد حوالي 26.9 تيرا وات ساعة، ما يمثل حوالي 2.5 % من إجمالي الطاقة المولدة في الدول العربية في عام 2017.

ومن المتوقع أن يرتفع الطلب على الحمل الأقصى في الدول العربية إلى حوالي 240 جيجا وات بحلول عام 2020، وإلى حوالي 345 جيجا وات بحلول عام 2030، وأن يرتفع إجمالي الطاقة المولدة من وحدات التوليد الموجودة على شبكات الدول العربية إلى حوالي 1428 تيرا وات ساعة وحوالي 2104 تيرا وات ساعة في عامي 2020 و2030 على التوالي. وقد بلغ استهلاك الدول العربية حوالي 241 مليون طن مكافئ نفط (ط.م.ن.) عام 2017 لأغراض توليد الكهرباء، وهو ما يعادل استهلاك حوالي 4.6 مليون برميل مكافئ نفط يومياً. واستناداً إلى دراسة فنية أجريت عام 2014، فإنه لو استمر اعتماد الدول العربية بصفة شبه كاملة على التوليد الكهربائي من مصادر الطاقة الحرارية، فإن تكلفة الوقود اللازم للتوليد سوف تبلغ حوالي 58 مليار دولار عام 2020، وترتفع بعد ذلك إلى حوالي 95 مليار دولار عام 2030، وهو ما سيمثل عبئاً مالياً كبيراً على الدول العربية سواءً المستوردة للنفط أو المنتجة والمصدرة له، بإضاعة فرص تصدير هذا الوقود.

---

[2] . التقرير الاقتصادي العربي الموحد 2018، فصل المحور "آفاق التوليد الكهربائي بإستخدام مصادر الطاقات المتجددة في الدول العربية".

2- توليد الطاقة باستخدام مصادر الطاقات المتجددة المختلفة في الدول العربية[3]

1.2 توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الطاقة الكهرومائية

يتم التوليد الكهرومائي بإنتاج الكهرباء عن طريق تحويل طاقة الوضع للمياه إلى طاقة حركية، وتعتمد كمية الطاقة المنتجة على كمية المياه المتدفقة بالثانية وعلى ارتفاع الماء، فكلما زاد معدل كمية المياه المتدفقة في التربين زادت الطاقة المنتجة، وكلما زاد ارتفاع الماء زادت أيضاً الطاقة المنتجة.

وتتميز محطات القوى التي تنتج الكهرباء من السدود بدرجة كفاءة عالية، حيث يمكن أن تصل كفاءة التربينات والمولدات الكهربائية إلى 50 % في تحويل طاقة الحركة إلى طاقة كهربائية. وعادة ما تكون تكلفة التوليد الكهرومائي أقل من تكلفة التوليد من أية مصادر أخرى، نظراً لأن عمر السدود قد يصل إلى أكثر من مائة عام، كما أن التكاليف التشغيلية لمحطات التوليد الكهرومائي الملحقة بالسدود أقل بكثير من التكاليف التشغيلية لمحطات التوليد الحراري.

وعادة ما يتم استخدام التوليد الكهرومائي لغرضين، الأول هو لتلبية جزء من حمل القاعدة، نظراً لانخفاض تكلفة التوليد منه، والثاني هو للاستجابة لأية تغيرات في الأحمال أو في التوليد، حيث يمكن، عن طريق تغيير اتجاه شفرات التربينات، زيادة أو تخفيض القدرة المولدة من التربينة، بسرعة كبيرة. وعليه، فإن وجود توليد كهرومائي في دول مثل مصر والمغرب يعد من أفضل الوسائل لتخفيض تأثير التذبذبات في مستوى التوليد من مزارع الرياح الموجودة في تلك الدول، أو المخطط إنشاؤها، كنتيجة للتغيرات غير المتوقعة في سرعة الرياح المندفعة نحو التربينات الهوائية.

وقد قامت كل من مصر وسورية ولبنان والعراق والمغرب والجزائر بالاستفادة من مصادر الطاقة الكهرومائية الموجودة لديها، حيث تبلغ قدرات التوليد الكهرومائي المركبة في مصر حوالي 2800 ميجا وات، تليها العراق بقدرة حوالي 2513 ميجا وات، بينما تبلغ

[3] . التقرير الاقتصادي العربي الموحد 2018، فصل المحور "آفاق التوليد الكهربائي بإستخدام مصادر الطاقات المتجددة في الدول العربية".

قدرات التوليد الكهرومائي المركبة في المغرب السودان وسورية ولبنان والجزائر حوالي 1770 و1753 و1494 و280 و228 ميجا وات، على التوالي.

2.2 توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الطاقة الشمسية

تتمتع المنطقة العربية بأعلى فيض إشعاع شمسي في العالم، حيث يصل متوسط كثافة الإشعاع الشمسي إلى حوالي 250 وات / متر مربع في الساعة، أي ما يعادل حوالي 6 ك.و.س. /متر مربع/اليوم، أو 2000 ك.و.س./متر مربع/السنة. وتتفاوت كثافة الإشعاع الشمسي في الدول العربية من دولة لأخرى، كما تختلف كثافة الإشعاع الشمسي بين فصلي الشتاء والصيف من منطقة لأخرى داخل الدولة الواحدة.

وبشكل عام، هناك تقنيتان لتوليد الكهرباء بواسطة الطاقة الشمسية، هما التوليد باستخدام أنظمة الخلايا الفوتوفولطية (الخلايا الشمسية)، والتوليد باستخدام مركزات الطاقة الشمسية. يتم في أنظمة الخلايا الفوتوفولطية تحويل الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية. تتميز هذه التقنية بانخفاض تكاليف التشغيل والصيانة خلال العمر الافتراضي للمحطة الذي يصل إلى 25 – 30 سنة، إلا أن ما يعيبها أنها تقوم بتوليد الكهرباء أثناء فترات النهار فقط. أما بالنسبة لأنظمة مركزات الطاقة الشمسية، فيتم فيها استخدام مرايا لتركيز الطاقة الشمسية على موقع محدد، وذلك لتسخين سائل أو مادة صلبة وإنتاج بخار، يتم توجيهه لتوربين بخاري لتوليد الكهرباء. ويتميز هذا النظام بأنه يمكن من خلاله توليد كهرباء أثناء النهار ولمدة حوالي 4 ساعات إضافية، بعد غروب الشمس، نتيجة لاحتفاظ السائل (المادة الصلبة) الذي يجري تسخينه بواسطة الأشعة المسلطة عليه بدرجة حرارة مرتفعة لهذه الفترة، إلا أن تكلفة التوليد بواسطة نظام مركزات الطاقة الشمسية عادة ما تكون حوالي ضعف تكلفة التوليد باستخدام أنظمة الخلايا الفوتوفولطية.

وقد قامت كل من المغرب والجزائر ومصر والإمارات بإنشاء محطات توليد فوتوفولطية بقدرات 481 و324 و100 و213 ميجا وات، على التوالي. وتم إنشاء مشروعين للتوليد الكهربائي بواسطة الطاقة الشمسية المركزة في المغرب والإمارات. تبلغ

قدرة مشروع ورزازات (نور) في المغرب حوالي 160 ميجا وات، بينما تبلغ قدرة مشروع شمس "1" في أبوظبي حوالي 100 ميجا وات، وتم كذلك، إنشاء ثلاث محطات توليد هجينة في الجزائر ومصـــر والمغرب تتكون تلك المحطات من جزء حراري وجزء يعمل بالطاقة الشمسية المركزة. يبلغ إجمالي قدرة المحطة الجزائرية 150 ميجا وات، منها 20 ميجا وات قدرة توليد شمسية حرارية، ويبلغ إجمالي قدرة المحطة المصرية 140 ميجا وات، منها 40 ميجا وات قدرة توليد شـمسـية حرارية، بينما يبلغ إجمالي قدرة توليد المحطة المغربية 462 ميجا وات، منها 20 ميجا وات قدرة توليد شمسية.

3.2 توليد الطاقة الكهربائية باستخدام طاقة الرياح

يتم في محطات توليد الكهرباء التي تســتخدم طاقة الرياح تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية، من خلال تسبب تدفق الهواء في تدوير مجموعة من الشـفرات ذات تصـميم إنســيابي يشـــبه كل منها إلى حد كبير جناح الطائرة. حيث تبدأ التوربينات عادة في توليد الكهرباء عندما تصــل ســرعة الرياح إلى حوالي 3 أو 4 متر/ الثانية، ومن ثم ترتفع القدرة المولدة منها تدريجياً مع ارتفاع سرعة الرياح لتصل إلى أعلى مستوى للتوليد عند سرعة ما بين 10 و14 متر / الثانية. وتتركز طاقة الرياح في العالم العربي في مناطق بعينها، ولا تتوفر في كل مكان. على سبيل المثال، فإن دولاً مثل مصر والمغرب وعمان لديها مواقع بها متوسط سرعات رياح سنوي يتراوح ما بين 9 و11 متراً في الثانية، خلال فترات طويلة من العام. وتوجد كذلك في تلك الدول، مواقع بها متوسط سرعات رياح سنوي تتراوح ما بين 7 و8 متراً في الثانية، وبالتالي فهي تصــلح لتوليد الكهرباء، ولكن بســعات توليد أقل، وبالتالي بتكلفة توليد أعلى.

ونتيجة لتطور التقنيات، شـهدت السـنوات الماضـية زيادة في قدرة التوليد التي يمكن توليدها من التربينة الواحدة، وما صـــاحب ذلك من ارتفاع في أطوال الأبراج. فعلى ســبيل المثال، كانت أكبر قدرة توليد يمكن الحصـــول عليها عام 1995، من التربينة، حوالي 1.5 ميجا وات، بارتفاع للبرج حوالي 40 متراً، وقد شهد هذان الرقمان ارتفاعا بصفة مضطردة إلى حوالي 8.8 ميجا وات، وحوالي 180 متراً، على التوالي، في عام 2017.

وقد قامت المغرب ومصر والأردن بإنشاء مزارع للرياح بقدرات تبلغ 1018 ميجا وات، و747 ميجا وات و198 ميجا وات، على التوالي، وقامت تونس والجزائر وموريتانيا بإنشاء مزارع للرياح بقدرات أقل، كلها على اليابسة، ولا توجد حتى الآن مشاريع لإنشاء مزارع للرياح في البحار (Offshore)، وذلك لأن متوسط تكلفة التوليد منها يصل إلى حوالي ضعف تكلفة التوليد من الأبراج التي تقام على اليابسة.

4.2 توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الطاقات المتجددة الأخرى

تشمل مصادر الطاقات المتجددة الأخرى الطاقة الحرارية الجوفية، والوقود الحيوي المستدام، وغيرها. **فالطاقة الحرارية الجوفية** هي طاقة حرارية تولدت وتم تخزينها في باطن الأرض، ويعود مصدرها الأساسي من عمليات تحلل عضوي لبعض العناصر في باطن الأرض، وجزء صغير منها مصدره الحرارة المصاحبة لنشأة الأرض، التي تصل درجة حرارة مركزها إلى حوالي 5000 درجة مئوية. وتنشأ من هذه الحالة تيارات مستمرة من الغازات، أهمها غاز الهيليوم ونظائره، تحمل معها الطاقة الحرارية، وتتجه بها نحو سطح الأرض. وتقوم هذه التيارات بصهر بعض الصخور مكونة ما يسمى بالصهارة، التي تنقل حرارتها إلى المياه الجوفية التي قد تصل درجة حرارتها إلى 370 درجة مئوية.

وقد أوضحت بعض الأبحاث ودراسات الجدوى بأن محطات توليد الكهرباء التي تستخدم الطاقة الحرارية الجوفية اقتصادية التكلفة وذات اعتمادية عالية وذات إنتاج مستمر، كما أنها صديقة للبيئة. لذلك فهي تصلح كوحدات توليد لتلبية الأحمال الأساسية على الشبكة، لكونها محصنة عموماً من تقلبات الطقس والتباين الموسمي، اللذين يعاني منهما التوليد الشمسي الفوتوفولطي والتوليد بواسطة طاقة الرياح.

أما **الوقود الحيوي**، فهو وقود يستخلص من الكائنات الحية، وأشهر أنواعه هو الديزل الحيوي والإيثانول، حيث يستخدما في تشغيل المحركات والمركبات وتوليد الكهرباء داخل خلايا الوقود. وحتى الآن، لم يتم استخدام الوقود الحيوي لتوليد الكهرباء في الدول العربية.

3. تكلفة التوليد من مصادر الطاقات المتجددة مقارنة بتكلفة التوليد الحراري[4]

تعتمد تكلفة التوليد من محطات التوليد من مصـــادر الطاقات المتجددة على عدة عوامل، منها حجم المشـــروع، وطبيعة المنطقة، ونوع التمويل، والتســـهيلات المقدمة من الدولة لتشـجيع الاسـتثمار في تلك المحطات. عادة ما تتراوح تكلفة التوليد الهوائي ما بين 5 و7 ســـنت/ك.و.س.، إلا أنها يمكن أن تنخفض إلى حوالي 3 ســـنت/ك.و.س. عندما يتجاوز معامل الســـعة حوالي 50 %، يذكر أن معامل الســـعة هو نســـبة الطاقة الفعلية المولدة من محطة التوليد خلال عام مقارنة بالطاقة التي كان ســـيتم توليدها لو عملت المحطة بكامل طاقتها خلال العام. أما بالنســـبة للتوليد الشـــمســـي الفوتوفولطي، فتتراوح تكلفته ما بين 5 ســـنت/ك.و.س. و9 ســـنت/ك.و.س.، اعتماداً على حجم المحطة. فعلى ســـبيل المثال، تكون تكلفة التوليد في حدود 9 سنت/ك.و.س. لمحطات توليد صغيرة، ذات قدرات 10 – 20 ميجا وات، وتنخفض إلى حوالي 2 سنت/ك.و.س.، بالنسبة لمحطات عملاقة، إجمالي قدراتها في حدود 800 ميجا وات، والشكل (59) يبين متوسط تكلفة التوليد من محطات التوليد المختلفة.

الشكل رقم (59)
متوسط تكلفة التوليد من محطات التوليد المختلف



المصدر: التقرير الاقتصادي العربي الموحد 2018، الفصل العاشر (فصل المحور).

[4] . التقرير الاقتصادي العربي الموحد 2018، فصل المحور "آفاق التوليد الكهربائي بإستخدام مصادر الطاقات المتجددة في الدول العربية".

وكنتيجة للتطورات الكبيرة المتوقعة في كفاءة الألواح الضـــوئية المســـتخدمة في محطات التوليد الشمسية الفوتوفولطية، وانخفاض تكاليف إنتاجها مع زيادة الكميات المصنعة منها، فمن المتوقع أن ينخفض متوســـط تكلفة التوليد من المحطات الفوتوفولطية، بقدرة تتراوح ما بين 50 و 100 ميجا وات ، من حوالي 5 – 10 سنت/ ك.و.س. عام 2015 إلى حوالي 3.5 – 5 ســـنت/ ك.و.س. عام 2035، حيث يتوقع أن يكون متوســـط تكلفة التوليد، عام 2035، أقل من متوســـط تكلفة التوليد من مزارع الرياح، بقدرات مشـــابهة، والذي من المتوقع أن يبقى عند مســـتوى حوالي 4 – 5 ســـنت/ ك.و.س.، وتكلفة التوليد من محطات الشمسية المركزة الذي سوف يتراوح ما بين 11 – 15 سنت/ ك.و.س. ومن المتوقع أن يظل متوســـط تكلفة التوليد من محطات التوليد الديزل ومحطات التوليد التي تعمل بنظام الدورة المركبة عند مســـتواه الحالي، حيث أن أغلب التكلفة هي تكلفة الوقود، وخاصـــة النفط الذي يتوقع ألاّ تنخفض أســـعاره عن مســـتوياتها الحالية في المديين القصـــير والمتوســـط. وعليه، ستكون لمحطات التوليد الهوائية والشمسية ميزه نسبية من ناحية التكلفة، مقارنة بمحطات التوليد الحرارية، خاصـــة إذا ما تم اســـتخدام تلك المحطات مع بطاريات لتخزين الكهرباء المولدة منها، حيث يتم شحن تلك البطاريات في الصباح، وتفريغها في المساء لزيادة سعة التوليد من محطات التوليد الشـمسـية الفوتوفولطية، ولتنظيم كمية القدرة المنتجة من مزارع الرياح عند تذبذب مستوى التوليد منها نتيجة للتغير غير المتوقع في سرعة الرياح.

4. واقع وآفاق التوليد الكهربائي من مصادر الطاقات المتجددة في الدول العربية[5]

هناك تبيان في مصادر الطاقة المتجددة المتوفرة في الدول العربية، وفي مدى مناسبة كل من تلك المصـادر لمناخ الدولة وطبيعتها الجغرافية. وقد تمكنت كل من مصـر وسـورية والعراق والجزائر من الاستفادة شبه الكاملة من مصادر التوليد المائي في أراضيها، وهناك فرص للتوليد الكهرومائي في الســـودان والمغرب، فعلى ســـبيل المثال، تخطط الحكومة الســـودانية لإنشـــاء ثلاثة ســـدود رئيســـية على نهر النيل إجمالي قدراتها حوالي 2500 ميجا

[5] . التقرير الاقتصادي العربي الموحد 2018، فصل المحور "آفاق التوليد الكهربائي بإستخدام مصادر الطاقات المتجددة في الدول العربية".

وات، إلا أنه لا يتوقع أن يتم اكتمال تنفيذ أي من هذه السدود قبل نهاية عام 2030، نظراً لارتفاع تكلفتها وصعوبة توفير التمويل اللازم لها في المستقبل القريب.

وتتفاوت فرص الاستفادة من الطاقة الشمسية بين دولة عربية وأخرى نظراً لأن كفاءة الخلايا الضوئية تنخفض بمعدل 0.5% لكل درجة حرارة تزيد عن 25 درجة مئوية، كما تنخفض كفاءة تلك الخلايا عندما تتجمع الأتربة على تلك الخلايا، حيث تقدر الدراسات أن القدرة المولدة منها قد تنخفض إلى النصف عند تراكم الأتربة على الخلايا الضوئية. وعليه، فإن التوليد الكهربائي باستخدام الطاقة الشمسية مناسب لدول مثل مصر والأردن وتونس والجزائر والمغرب لاعتدال درجة الحرارة فيها، بينما ملاءمتها أقل في دول الخليج نظراً لارتفاع درجة الحرارة فيها ووجود العديد من العواصف الرملية.

أما بالنسبة للتوليد بواسطة طاقة الرياح، فيتركز في المناطق الساحلية، وعلى الأخص في دول شمال إفريقيا. ومن المتوقع أن تقوم مصر خلال الأعوام السبعة القادمة بإنشاء مزارع للرياح بقدرة حوالي 3700 ميجا وات، وأن تقوم المغرب والجزائر، خلال الفترة ذاتها، بإنشاء مزارع للرياح بقدرة حوالي 2200 ميجا وات و1800 ميجا وات، على التوالي. وفيما يلي نستعرض طبيعة التوليد الحالي والبرامج المستقبلية لنشر استخدامات الطاقات المتجددة لتوليد الكهرباء في كل من الدول الأعضاء في منظمة أوابك والدول العربية الأخرى.

أ ـ الدول الأعضاء في منظمة أوابك

دولة الإمارات العربية المتحدة

بلغ الحمل الأقصى في الإمارات عام 2017 حوالي 24.4 جيجا وات، تمت تلبية أكثر من 99 % منه بواسطة وحدات توليد حراري تستخدم الغاز الطبيعي كوقود. وبالنظر إلى أن جزءاً من ذلك الغاز يتم استيراده، من خلال خط أنابيب "دولفين"، ولأن الطلب على الكهرباء في الإمارات يتوقع أن يزداد بمعدل سنوي متوسط يبلغ حوالي 4.3 % خلال الفترة (2018 – 2025)، تركزت جهود الحكومة الإماراتية في تنويع مصادر التوليد باستخدام

مصادر الطاقة الشمسية. وعليه، قامت هيئة المياه والكهرباء في أبوظبي، عام 2014، بإنشاء محطة توليد شمس "1" التي تعمل بنظام الطاقة الشمسية المركزة، بقدرة 100 ميجا وات، والتي كانت عند افتتاحها، تعد من أكبر محطات التوليد الشمسية المركزة. وقامت الهيئة، عام 2017، بالتعاقد مع تجمع لإنشاء محطة توليد شمسية فوتوفولطية في منطقة سويحان بقدرة 1177 ميجا وات ومن المقرر أن تدخل هذه المحطة في الخدمة عام 2019، وأن يكون السعر الذي تشتري به الهيئة الكهرباء من التجمع هو 2.4 سنت/ ك.و.س.، والذي يعد من أرخص أسعار الكهرباء في العالم لمحطات شمسية فوتوفولطية. وبالمثل، قامت هيئة دبي للكهرباء والمياه بالتعاقد على العديد من محطة التوليد الشمسية، كلها في مجمع الشيخ محمد بن راشد آل مكتوم للطاقة الشمسية، دخل بعضها في الخدمة وجاري تنفيذ البعض الآخر.

ومن الملاحظ، الانخفاض الكبير في سعر شراء الكيلووات ساعة بين المرحلة الثانية والمرحلة الثالثة، كما يعد السعر الذي حصلت عليه الهيئة لشراء الكهرباء المولدة من المرحلة الرابعة للمجمع من أرخص الأسعار للطاقة الكهربائية المولدة من محطات توليد تعمل بنظام الطاقة الشمسية المركزة. ولا توجد بيانات حول اعتزام الإمارات الأخرى على إنشاء محطات توليد تعمل بالطاقات المتجددة. وعليه، فمن المتوقع، بحلول عام 2030، أن يكون إجمالي قدرات التوليد، من محطات الطاقة المتجددة، حوالي 6500 ميجا وات، منها 1500 ميجا وات من محطات توليد شمسية في أبو ظبي، و5000 ميجا وات من محطات توليد شمسية في دبي. سوف يشكل إجمالي قدرات هذه المحطات حوالي 14.3 % من إجمالي قدرة التوليد في دولة الإمارات المتحدة في عام 2030، وسيشكل إجمالي الطاقة المولدة منها حوالي 4 – 6 % من إجمالي الطاقة المولدة في الإمارات بالنظر إلى أن نصف هذه المحطات، تقريباً، سوف يستخدم تقنية الطاقة الشمسية المركزة، التي تتراوح معاملات سعاتها ما بين 50 و70 %، مقارنة بحوالي 15 % لمحطات التوليد الشمسية الفوتوفولطية.

مملكة البحرين

بلغ إجمالي قدرات التوليد في البحرين، بنهاية عام 2017، حوالي 3.9 جيجا وات، معظمها من وحدات توليد حرارية تعمل على الغاز الطبيعي. وتوزعت تلك المحطات بين

محطات حكومية، مثل محطات سترة والرفاع والحد الحكومية، ومحطتي الدور والعزل اللتين قام القطاع الخاص بإنشائهما. وقد بلغ متوسط الزيادة السنوية في استهلاك الغاز الطبيعي في هذه المحطات، خلال الأعوام الخمسة الأخيرة، حوالي 5 %. وعليه تعتزم الحكومة البحرينية الاعتماد على محطات التوليد الشمسية والهوائية، في المستقبل، لتخفيض معدل الزيادة في استهلاك الغاز، حتى لا تضطر إلى استيراده من الخارج. وتمثل أول مشاريع التوليد باستخدام الطاقة الشمسية في محطة الأوّلي، بقدرة 5 ميجا وات، والتي دخلت في الخدمة عام 2014، وهي مكونة من ألواح ضوئية موزعة على تسعة مواقع. وقد تم تركيب تلك الألواح فوق أسطح ساحات الانتظار. ويتم حالياً تنفيذ مشروع آخر بقدرة 5 ميجا وات في موقع بالقرب من محطة توليد الدور، وسوف يتضمن المشروع إنشاء محطة توليد فوتوفولطية بقدرة 3 ميجا وات، ومحطة توليد هوائية بقدرة 2 ميجا وات ونظراً لصغر حجم هذين المشروعين، يمكن القول إنهما مشروعان تجريبيان، تمهيداً لإنشاء مشاريع توليد أخرى، منها مشروع لإنشاء محطة توليد شمسية بقدرة حوالي 100 ميجا وات، وذلك بهدف توفير 10 % من احتياجات المملكة من الطاقة الكهربائية بحلول عام 2035.

الجمهورية التونسية

تضمنت الخطط التي وضعتها الحكومة التونسية في نهاية عام 2009، أن يتم الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة لتلبية 4 % من إجمالي احتياجات البلاد من الطاقة عام 2014، وأن يتم ذلك عن طريق القطاع الخاص. إلا أن القطاع الخاص لم يقم بإنشاء أية مشاريع للتوليد باستخدام الطاقات المتجددة حتى الآن، لعدد من الأسباب منها عدم إدراج مواقع لإنشاء محطات الطاقة المتجددة على الشبكة الكهربائية، وعدم إعطاء الخواص أية أفضلية عند الربط بالشبكة الوطنية. ومن أجل تسهيل تلك العقبات، قامت الحكومة التونسية، في نهاية عام 2016، باستحداث خطة عمل للطاقة المتجددة تهدف إلى أن يتم توليد 30 % من الطاقة الكهربائية في البلاد من مصادر الطاقة المتجددة، من خلال إضافة 1000 ميجا وات خلال الفترة (2018 – 2020)، و1250 ميجا وات خلال الفترة (2021 – 2030). وعليه، من المتوقع أن ترتفع نسبة قدرات التوليد الهوائية، من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على

الشبكة، عام 2030، إلى حوالي 22.2 % من تلك القدرات، وأن تبلغ حوالي 14.1 % بالنسبة لقدرات التوليد الشمسية، وأقل من 1 % لقدرات التوليد الكهرومائية، بحيث تشكل تلك القدرات، مجتمعة، حوالي 37 % من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشبكة بحلول عام 2030.

الجمهورية الجزائرية

نظراً لوجود احتياطيات كبيرة من الغاز الطبيعي في الجزائر، فقد تركزت جهود الحكومة الجزائرية، في إنشاء محطات توليد غازية ومحطات توليد تعمل بنظام الدورة المركبة، حيث بلغ إجمالي قدرات التوليد على الشبكة، بنهاية عام 2017، حوالي 19.5 جيجا وات، منها حوالي 18.9 جيجا وات (97 %) محطات توليد حرارية، وحوالي 582 ميجا وات (3 %) محطات توليد كهرومائية وشمسية وهوائية. وقد قامت تلك الوحدات بتغطية كامل الطلب على الطاقة الكهربائية في الجزائر في ذلك العام. وقد تضمنت خطط الحكومة الجزائرية، عام 2011، إضافة حوالي 11.8 جيجا وات قدرات توليد هوائية وشمسية بحلول عام 2030 ستشكل في حال تنفيذها حوالي 41 % من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشبكة في ذلك العام. إلا أن الحكومة الجزائرية، قامت، مؤخراً، بتعديل برامج تطوير قدرات التوليد، بحيث تشمل تلك الخطط إضافة محطات توليد شمسية بنظام الطاقة الفوتوفولطية، بواقع 450 ميجا وات كل عام خلال الفترة (2022 – 2030). بحيث يكون إجمالي قدرات التوليد من المحطات التي تعمل على الطاقات المتجددة، عام 2030، حوالي 4632 ميجا وات، منها نحو 4394 ميجا وات قدرات توليد من محطات توليد شمسية، ونحو 228 ميجا وات قدرات توليد كهرومائية وحوالي 10 ميجا وات قدرات توليد من محطات توليد تعمل بطاقة الرياح. وعليه، سوف يشكل إجمالي قدرة التوليد من محطات الطاقة المتجددة حوالي 15.3 % من إجمالي قدرات التوليد على الشبكة بحلول عام 2030.

المملكة العربية السعودية

بلغ الحمل الأقصى في السعودية حوالي 59.1 جيجا وات عام 2017، مقارنة بحوالي 60.8 جيجا وات عام 2016، وذلك لوجود انكماش في الاقتصاد السعودي. وقد

تمكنت المملكة من تلبية هذا الطلب من خلال قدرات توليد إجمالي قدراتها حوالي 81 جيجا وات، كلها، تقريباً، من وحدات توليد حرارية. وبلغ إجمالي استهلاك النفط والغاز لتوليد الكهرباء، عام 2017، ما يعادل مليون برميل مكافئ نفط، منها حوالي 700 ألف برميل مكافئ نفط استهلاك وقود ثقيل وزيت غاز خفيف (ديزل)، وحوالي 300 ألف برميل مكافئ فقط استهلاك غاز طبيعي ويتوقع أن يتضاعف هذا الرقم بحلول عام 2030 في حالة عدم تنفيذ أية مشاريع للتوليد باستخدام الطاقات المتجددة.

وفي محاولة منها لتخفيض استهلاك الوقود المستخدم للتوليد، قامت المملكة العربية السعودية، عام 2010، بإنشاء مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة، وذلك لزيادة قدرة المملكة على توليد الطاقة باستخدام طاقة الرياح والطاقات الشمسية والحرارية والنووية، وذلك بهدف أن يتم بحلول عام 2040 إنتاج حوالي 34 % من إجمالي الكهرباء من غير مصادر الوقود الأحفوري. وفي سبيل ذلك، تضمن البرنامج الذي أعدته المدينة إضافة حوالي 17.6 جيجا وات من الطاقة النووية، و41 جيجا وات من الطاقة الشمسية، بواقع 16 جيجا وات من الطاقة الشمسية الفوتوفولطية و25 جيجا وات من الطاقة الشمسية المركزة. إلا أنه تم في وقت لاحق تخفيض تلك الأرقام بنسبة كبيرة وذلك ضمن **"رؤية السعودية 2030"**، حيث من المتوقع، وفق تلك الرؤية، أن يتم الاكتفاء بإضافة حوالي 9.5 جيجا وات من الطاقات الشمسية الفوتوفولطية، بتكلفة إجمالية 24 مليار دولار أمريكي، ومشاريع للتوليد الهوائي إجمالي قدراتها حوالي 700 ميجا وات، وعدم المضي قدماً في تنفيذ أية مشاريع للتوليد باستخدام الطاقة النووية أو باستخدام الطاقة الشمسية المركزة.

ومن المتوقع، بحلول عام 2030، أن تشكل القدرات المركبة من محطات التوليد الشمسية حوالي 10 % من إجمالي قدرات التوليد في المملكة، ومحطات التوليد الهوائية حوالي 1 % من إجمالي قدرات التوليد، بينما سوف تشكل قدرات محطات التوليد الحرارية النسبة المتبقية وهي 89%. ومن المتوقع ألا تتجاوز كمية الطاقة المولدة من المحطات الشمسية حوالي 2.4 % من الطاقة المولدة في المملكة، وبالتالي لن يكون لها تأثير كبير على تخفيض استهلاك المملكة من الوقود الأحفوري. إلا أنه بالنظر إلى أن الحمل الأقصى في

المملكة يحدث خلال فترات الظهيرة، وهي الفترات التي يكون فيها إنتاج محطات التوليد الشمسية في أعلى مستوياته، فمن المتوقع أن يؤدي تركيب المحطات الشمسية إلى تخفيض التكلفة الاستثمارية لمحطات توليد حرارية جديدة تحتاجها المملكة لساعات قليلة في السنة لتلبية الطلب على الحمل الأقصى.

الجمهورية العربية السورية

توجد في سورية عدة سدود لإنتاج الكهرباء إجمالي قدراتها حوالي 1494 ميجا وات شكل إجمالي قدرات التوليد المركبة في محطات التوليد الملحقة بتلك السدود حوالي15 % من إجمالي قدرات التوليد المركبة في سورية عام 2010، بينما شكلت الطاقة المولدة منها حوالي 9 % من الطاقة المنتجة في ذلك العام.

وتعتمد نصف محطات التوليد الحرارية في سورية على الغاز الطبيعي المنتج محلياً، بينما يعتمد النصف الآخر على زيت الوقود الثقيل. وبالنظر إلى أن احتياطيات الوقود والغاز الطبيعي في سورية كان من المتوقع أن تكفي فقط حتى عام 2020، شرعت الحكومة السورية، خلال الفترة (2005 – 2011)، في البحث عن بدائل لتوليد الكهرباء باستخدام مصادر للطاقة المتجددة. وفي سبيل ذلك قامت بإعداد أطلس للرياح وأطلس للطاقة الشمسية بتمويل من الاتحاد الأوروبي، إلا أن الأحداث السياسية في سورية، خلال الأعوام السبعة الأخيرة، أدت إلى عدم تنفيذ أي مشروع جديد لإنتاج الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة.

دولة العراق

بلغت قدرة التوليد على الشبكة العراقية، بنهاية عام 2017، حوالي 26.1 جيجا وات منها حوالي 23.6 جيجا وات قدرات توليد من محطات حرارية، وحوالي 2.5 جيجا وات من وحدات توليد كهرومائية، أهمها سد حديثة بقدرة 660 ميجا وات، وسد الموصل الرئيسي بقدرة 750 ميجا وات. وقد بلغ إنتاج الطاقة الكهربائية في العراق، عام 2017، حوالي 85.6 تيرا وات ساعة، منه حوالي 78.7 تيرا وات ساعة، أي ما يمثل 92%، من المحطات الحرارية، وحوالي 6.9 تيرا وات ساعة، أي ما يشكل 8%، من محطات التوليد الكهرومائية،

إلا أن إجمالي الطلب على الطاقة في ذلك العام بلغ حوالي 117.5 تيرا وات ساعة، أي أنه كان هناك عجز في التوليد مقداره 31.9 تيرا وات ساعة.

وفي سبيل زيادة قدرة التوليد، خاصة التوليد من مصادر الطاقة المتجددة، تعاقدت الحكومة العراقية مع مستثمرين أجانب لتنفيذ تسعة مشاريع للتوليد الكهربائي باستخدام الطاقة الشمسية الفوتوفولطية، إجمالي قدراتها حوالي 700 ميجا وات، أهمها محطة توليد الإسكندرية بقدرة 225 ميجا وات ومحطة توليد الرمادي بقدرة 100 ميجا وات

ومن المتوقع أن تدخل كل هذه المشاريع في الخدمة قبل نهاية عام 2018، وسوف تشكل إضافة مقدارها حوالي 2.7 % لقدرات التوليد الموجودة على الشبكة. ومن المتوقع أيضاً أن تقوم تلك المحطات بتوليد حوالي 1400 جيجا واتس. عام 2018، أي ما تشكل أقل من 1 % من إجمالي الطلب على الكهرباء في ذلك العام.

دولة قطر

تعتبر منظومة التوليد في قطر، في الوقت الحاضر، من أكفأ منظومات التوليد في الدول العربية، حيث تشكل قدرات محطات التوليد، بنظام الدورة المركبة مرتفع الكفاءة، حوالي 80 % من قدرات التوليد على الشبكة. كما يتم استخدام الغاز الطبيعي كوقود في كل محطات التوليد. وعليه، يقدر متوسط تكلفة التوليد على الشبكة القطرية حوالي 6 سنت/ك.و.س. لذلك، لا يوجد حافز كبير لدى الحكومة القطرية للاستغناء عن تشغيل محطات التوليد الحرارية الموجودة لديها واستبدالها بمحطات تحويل تعمل على الطاقات المتجددة. فعلى الرغم من أن الأهداف المعلنة للحكومة القطرية هي الوصول إلى نسبة 20 % من الطاقة المولدة عن طريق محطات شمسية وهوائية، إلا أن كل ما تم تنفيذه حتى الآن هو محطة شمسية بقدرة 15 ميجا وات في منطقة الدهيل.

دولة الكويت

تتوزع قدرات التوليد في الكويت، حالياً، ما بين محطات توليد بخارية إجمالي قدراتها حوالي 9 جيجا وات، ومحطات توليد غازية إجمالي قدراتها حوالي 8 جيجا وات، ومحطات توليد تعمل بنظام الدورة المركبة إجمالي قدراتها حوالي 2 جيجا وات وقد بلغ استهلاك هذه المحطات من الغاز الطبيعي ما يعادل 9.1 مليون طن مكافئ نفط (1 برميل مكافئ نفط = 0.14 طن مكافئ نفط)، وبلغ استهلاكها من الوقود الخفيف والوقود الثقيل حوالي 770 و7800 ألف طن مكافئ نفط، على التوالي. وبالنظر إلى أن استهلاك الطاقة الكهربائية، وبالتالي الوقود، سوف يتضاعف خلال الفترة (2017 – 2030)، فمن المتوقع أن يصل استهلاك الكويت من النفط والغاز الطبيعي عام 2030، إلى ما يعادل حوالي 900 ألف برميل مكافئ نفط يومياً.

وقد قامت الحكومة الكويتية، خلال الأعوام الخمسة الماضية، بإنشاء 26 مشروعاً صغيراً للتوليد الكهربائي بواسطة الطاقة الشمسية، بلغ إجمالي قدراتها حوالي 10 ميجا وات تمثل أغلبها في تغطية أسقف بعض المباني الحكومية ومواقف الانتظار بألواح شمسية. وتم مؤخراً تشغيل محطة توليد الشقايا الشمسية بقدرة حوالي 50 ميجا وات، كما يتم في الوقت الحاضر إنشاء محطة توليد هوائية بقدرة 10 ميجا وات.

كما تعاقدت الحكومة مؤخراً على إنشاء محطة توليد الدبدبة بقدرة 1500 ميجا وات، كجزء من خططها لأن تشكل إجمالي قدرات التوليد، من مصادر الطاقة المتجددة، حوالي 15% من قدرات التوليد في البلاد، في عام 2030. وستشكل قدرة هذه المحطة حوالي 6 % من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشبكة عام 2030، إلا أن الطاقة المولدة منها لن تغطي سوى حوالي 1 % من إجمالي الطلب على الطاقة في البلاد، حيث أن معامل سعتها سيكون بحدود حوالي 15 %، مقارنة بمعامل سعة حوالي 70 % لمحطات التوليد الحرارية العاملة في الكويت. وسوف تحتاج الكويت إلى إنشاء محطات توليد أخرى تعمل على الطاقات المتجددة، إجمالي قدراتها حوالي 1 جيجا وات، لتصل إلى الهدف المنشود.

دولة ليبيا

بلغ الحمل الأقصى على الشبكة الليبية، عام 2010، حوالي 4759 ميجا وات، تمت تلبيته من خلال محطات توليد بخارية ومحطات توليد غازية ومحطات توليد تعمل بنظام الدورة المركبة. كانت الخطة الليبية للطاقات المتجددة تهدف إلى إنشاء محطات توليد، إجمالي قدراتها حوالي 1000 ميجا وات، تعمل بالطاقة الشمسية الفوتوفولطية، ومحطات توليد بالطاقة الشمسية المركزة، إجمالي قدراتها حوالي 1200 ميجا وات، إلا أن الأحداث السياسية في ليبيا، بدءاً من عام 2011، أدت إلى توقف كافة الجهود لإنشاء محطات توليد تعمل بالطاقات المتجددة.

جمهورية مصر العربية

بلغت القدرة الكهربائية المركبة على الشبكة المصرية، عام 2010، حوالي 24.7 جيجا وات، موزعة على النحو التالي: وحدات توليد حرارية بقدرة 21.4 جيجا وات، وحدات توليد كهرومائية بقدرة حوالي 2.8 جيجا وات، ومحطات توليد تعمل بطاقة الرياح والطاقة الشمسية بقدرة حوالي 490 ميجا وات، وقد شكلت الطاقة الكهربائية المولدة من المحطات الكهرومائية والهوائية والشمسية حوالي 7 % من إجمالي الطاقة المولدة على الشبكة. وقد شهدت الفترة (2011-2017) زيادة كبيرة في قدرات التوليد في مصر، تمثل أغلبها في إنشاء محطات توليد حرارية، حيث قامت الحكومة المصرية، خلال تلك الفترة، بإنشاء محطات توليد بخارية ومحطات توليد تعمل بنظام الدورة المركبة إجمالي قدراتها حوالي 20 جيجا وات، ولم تقم بإضافة سوى 397 ميجا وات قدرات توليد هوائية وشمسية. ومن المتوقع أن تشهد الفترة (2018 – 2022) طفرة كبيرة في قدرات التوليد من مصادر الطاقة المتجددة، حيث تقوم هيئة الطاقة المتجددة بالإشراف على تنفيذ مشاريع توليد بطاقة الرياح والطاقة الشمسية الفوتوفولطية في مناطق جبل الزيت وخليج السويس والغردقة وكوم أمبو، عن طريق قروض ميسرة، بينما يقوم القطاع الخاص بتنفيذ محطات توليد بطاقة الرياح وبالطاقة الشمسية الفوتوفولطية ضمن مشروع تعرفة التغذية (Feed-in-Tariff)، أكبرها مجمع بانبان للطاقة الشمسية الفوتوفولطية، بقدرة 1600 ميجا وات. وكذلك يتم

الإعداد لمشـاريع بالطاقة الشـمسـية الفوتوفولطية وطاقة الرياح بقدرة إجمالية حوالي 2400 ميجا وات، تنفد عن طريق نظام البناء والتملك والتشـــغيل. ومع حلول عام 2030، ســـوف تشكل قدرات التوليد من مصـادر الطاقة المتجددة حوالي 31.2 % من إجمالي قدرات التوليد على الشبكة، وسوف يمثل التوليد الكهرومائي حوالي 3.5 % من تلك القدرات، بينما ستشكل القدرة المركبة لمحطات التوليد الشـمسـية والهوائية حوالي 10 و17.8 %، على التوالي من تلك القدرات.

ب ـ الدول العربية الأخرى

تشـمل على دول من المشـرق العربي وهي الأردن وسـورية ولبنان وفلسـطين، التي تستورد جزءاً من، أو كل، احتياجاتها من الوقود، لذلك فإن لديها حافزاً كبيراً لإنشاء محطات توليد تعمل بالطاقات المتجددة لتقليل تكلفة الاســـتيراد. وقد خطت الأردن خطوات كبيرة في هذا المجال ففيما يخص السياسات والتشريعات الخاصـة بمشاركة القطاع الخاص في إنشاء تلك المحطات، قامت أجهزة تنظيم قطاع الكهرباء في كل منهما باســـتحداث تعرفة لتغذية الشبكة، وإعداد عقود نمطية لشراء الطاقة من الخواص، وتحديد جهات فض النزاعات، وهو ما انعكس بصورة إيجابية في عدد المشاريع التي تم تنفيذها أو جاري إنشاؤها.وفي المقابل لم تتخذ لبنان وفلســـطين، حتى الآن، خطوات مشـــابهة. وبالتالي، لا يتوقع أن تتمكن أي منها تحقيق الأهداف التي أعلنت عنها لنسب التوليد من مصادر الطاقات المتجددة. كما تشمل على دول من المغرب العربي وهي المغرب وموريتانيا. ويحتل المغرب المرتبة الأولى، ضـــمن دول المغرب العربي، في الاهتمام بمشـــاريع التوليد الكهربائي باســـتخدام الطاقات المتجددة، حيث لا توجد لديه أية مصادر للوقود الأحفوري.

وفيما يلي موجز لأهم مشاريع التوليد من مصادر الطاقة المتجددة في تلك الدول:

الأردن: نظراً لعدم وجود أيـة مصـــــادر للوقود الأحفوري في الأردن، اعتمـدت الحكومـة الأردنية على استيراد النفط الخام وتكريره في مصفاة الزرقاء، واستخدام زيت الوقود الثقيل المنتج من المصـفاة لتوليد الكهرباء من محطات توليد بخارية. وتمثلت أهم تلك المحطات في

محطة توليد العقبة بقدرة 650 ميجا وات، والتي شـــكلت قدرة التوليد فيها حوالي نصـــف قدرات التوليد في المملكة عام 2010. وشـــهدت الفترة (2008 – 2011)، اعتماد الأردن على الغاز الطبيعي المصـــري لتوليد الكهرباء من خلال خط الغاز العربي الذي تم إنشـــاؤه لتصـدير الغاز المصـري إلى كل من الأردن وسـورية وتركيا وقبرص، حيث قامت الحكومة الأردنية بتحويل محطة توليد العقبة لتعمل على الغاز الطبيعي، بدلاً من زيت الوقود الثقيل، وإنشاء محطة تحويل السمرا الحكومية، والسماح للقطاع الخاص بإنشاء محطتي توليد شرق عمّان والقطرانة، والتي تعمل كلها بنظام الدورة المركبة، وتستخدم الغاز الطبيعي المستورد من الشبكة المصرية كوقود.

إلا أنه نتيجة للحوادث المتكررة لخط الغاز، أثناء مروره في صـــحراء ســـيناء، ولانخفاض مســـتوى إنتاج الحقول المصـــرية خلال الفترة (2012 – 2017)، فقد انخفض مستوى الغاز المصـري المصـدر إلى الأردن إلى أقل من 6 % من مستواه في عام 2010، مما سـبب مشـاكل كثيرة لمنظومة التوليد في الأردن، حيث اضـطرت الحكومة الأردنية إلى اسـتيراد زيت الغاز الخفيف، مرتفع التكلفة، لتشـغيل تلك المحطات، مما أدى لتكبد الحكومة لخسـائر تقدر بحوالي 1.5 مليار دولار سـنوياً نتيجة لارتفاع تكلفة التوليد وعدم قدرتها على رفع سعر الكهرباء بالمقابل، لتغطية الزيادة في التكاليف. وقد تمثلت خطة الحكومة الأردنية، للتغلب على تلك المشكلة السير في مسارين: الأول هو إنشاء محطات ديزل، تعمل على زيت الوقود الثقيل، لتلبية أحمال القاعدة، والثاني إنشـــاء محطات توليد تعمل بالطاقات المتجددة لتخفيض اسـتهلاك الوقود. وقد قامت الحكومة الأردنية بإنشـــاء محطتي توليد ديزل، الأولى بقدرة 573 ميجا وات في محطة توليد شـــرق عمان، والأخرى بقدرة 580 ميجا وات في محطة توليد المناخر. وقد دخلت المحطتان الخدمة عام 2015، وتقومان بتغطية حوالي ثلث الطلب على الطاقة في المملكة.

أما بالنسبة لمحطات التوليد التي تعمل بالطاقات المتجددة، فقد قامت الحكومة الأردنية بإنشـــاء مزرعة رياح الطفيلة بقدرة 117 ميجا وات، والتي دخلت في الخدمة في نهاية عام 2015، وشـــكلت أول محطة توليد بالطاقات المتجددة يتم تنفيذها بعد صـــدور قانون الطاقة

المتجددة وكفاءة الطاقة الذي قامت الحكومة بإصداره عام 2010، والذي ينص على أن تبلغ قدرة التوليد المركبة من محطات الطاقة المتجددة 10 % من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشبكة بحلول عام 2030.

وقد شهد عام 2016 دخول مزرعة الملك حسين الهوائية الخدمة بقدرة 80 ميجا وات ، ولثلاث محطات شمسية فوتوفولطية، إجمالي قدراتها 180 ميجا وات ومن المتوقع أن تدخل محطة القويرة الفوتوفولطية، بقدرة 103 ميجا وات ، في الخدمة عام 2018، وأن تشهد الفترة (2019 – 2021) دخول 7 مزارع أخرى للرياح و12 محطة توليد شمسية في الخدمة، بحيث يتوقع أن يبلغ إجمالي قدرات التوليد لمحطات الطاقة المتجددة في الخدمة، بحلول عام 2021، حوالي 1930 ميجا وات ، منها 715 ميجا وات مزارع رياح و1203 ميجا وات من محطات توليد شمسية فوتوفولطية، و 12 ميجا وات محطات توليد كهرومائية. وسوف تشكل قدرات تلك المحطات حوالي 29.2 % من إجمالي قدرات التوليد المتوقع وجودها على الشبكة عام 2030.

فلسطين: تعتمد فلسطين، بصورة شبه كاملة، على شراء الكهرباء من الجانب الإسرائيلي، نظراً لعدم وجود أية وقود أحفوري في البلاد، وحظر استيراده من جانب قوات الاحتلال. وعليه، يعتبر التوليد من مصادر الطاقة المتجددة الوسيلة المثلى لتخفيض فاتورة الكهرباء، والتي بلغت حوالي 400 مليون دولار عام 2017.

وتوجد في فلسطين إمكانيات جيدة للتوليد الشمسي وبعض الإمكانيات للتوليد الهوائي، إلا أن المشاريع التي تم تنفيذها قليلة، نظراً لوجود العديد من العوائق التي تضعها سلطات الاحتلال الإسرائيلي، مثل عدم وجود تصاريح لإنشاء تلك المحطات، وحظر استيراد الخلايا الضوئية، وعزوف المستثمرين عن تمويل تلك المشاريع نتيجة للظروف السياسية في المنطقة. ولذلك اقتصرت مشاريع التوليد باستخدام الطاقات المتجددة في فلسطين في عدة مشاريع صغيرة، بقدرة إجمالية حوالي 12 ميجا وات، يتم فيها وضع خلايا ضوئية فوق أسطح المباني الحكومية الإدارية والمدارس والمستشفيات، وربطها بالشبكة الكهربائية على

التوتر المنخفض أو المتوسط. تتم أغلب هذه المشاريع بتمويل من مؤسسات التمويل العربية والإقليمية وحكومات الدول الأوروبية.

لبنان: تعاني الشبكة اللبنانية من عجز كبير في التوليد يقدر بحوالي 454 ميجا وات حيث بلغ الحمل الأقصى عام 2017 حوالي 3500 ميجا وات، بينما لم تتعدى قدرة التوليد المركبة على الشبكة حوالي 3046 ميجا وات، أغلبها من وحدات توليد بخارية موجودة في محطات الذوق والجية، ومحطات توليد تعمل بنظام الدورة المركبة في محطتي الزهراني والبداوي. وبالإضافة للوحدات الحرارية المذكورة أعلاه، توجد بعض محطات للتوليد الكهرومائي إجمالي قدراتها حوالي 280 ميجا وات، من سدود الليطاني والبارد والصفاة، تشكل حوالي 9% من القدرة المركبة على الشبكة. يذكر أن متوسط تكلفة التوليد على الشبكة اللبنانية، من مصادر التوليد الحراري، يبلغ حوالي 7.5 سنت/ ك.و.س.، حيث تعمل تلك الوحدات على زيت الوقود الثقيل المستورد، بينما كان هذا المتوسط أقل من تكلفة التوليد المتوقعة من محطات توليد هوائية، والذي قدر عام 2013 بحوالي 11.4 سنت/ ك.و.س.، ومتوسط تكلفة التوليد من المحطات الشمسية الفوتوفولطية، والذي قدر، في العام ذاته بحوالي 9.4 سنت/ ك.و.س. وعليه، لم يتم إنشاء أية محطات توليد كبيرة لتوليد الكهرباء باستخدام مصادر الطاقة المتجددة، حيث اقتصرت استخدامات الطاقة الشمسية على السخانات الشمسية للتدفئة.

ويعود أحد الأسباب الرئيسية لارتفاع التكلفة المتوقعة للتوليد الهوائي والشمسي في لبنان إلى ارتفاع مستوى المخاطر. حيث مثلت المخاطر حوالي 20 % من متوسط التكلفة المقدرة للتوليد، نظراً للظروف السياسية والشكوك في قدرة مؤسسة الكهرباء في لبنان على سداد تكلفة الطاقة المشتراه من تلك المشاريع، بالإضافة إلى عدم قدرة شبكة النقل الحالية على استيعاب الطاقات الإضافية التي ستولدها تلك المحطات. وبالرغم من ذلك، فقد وافقت الحكومة اللبنانية مؤخراً على شراء 200 ميجا وات بموجب عقد شراء طاقة من مشروع تنفذه ثلاث شركات لبنانية لتوليد الطاقة من تربينات الرياح، والذي من المخطط أن يدخل الخدمة عام 2020. ومع اكتشافات الغاز الطبيعي الكبيرة في البحر المتوسط، والتي يبلغ نصيب الحكومة اللبنانية منها حوالي 7 – 10 تريليون قدم مكعب، من غير المتوقع أن

تشـــهد الفترة المقبلة إنشـــاء محطات التوليد الهوائية والشـــمســـية، وأن يظل أغلب التوليد الحراري في لبنان معتمداً على وحدات التوليد ذات الدورة المركبة التي سوف تستخدم الغاز الطبيعي كوقود.

المغرب: شهد المغرب، خلال السنوات العشرين الماضية، نمواً كبيراً في مختلف المجالات الاقتصـــادية، حيث بلغ متوســـط الارتفاع الســـنوي في الناتج المحلي الإجمالي حوالي 5 %، وبلغ متوسط الارتفاع السنوي في استهلاك الكهرباء حوالي 6.5 %، وبلغ الحمل الأقصى على الشبكة المغربية عام 2017 حوالي 6.2 جيجا وات، وقد قامت الحكومة المغربية بتلبية الطلب على الكهرباء بواسطة محطات توليد حرارية تحرق الفحم وزيت الوقود الثقيل والغاز الطبيعي، ومحطات توليد كهرومائية وشمسية وهوائية، بالإضافة إلى استيراد حوالي 4.3 تيرا وات ساعة من الشبكة الإسبانية، شكلت حوالي 14 % من إجمالي الطلب على الطاقة في المملكة.

تمتع المغرب بموارد كبيرة بالنسبة لمصـــادر الطاقة المتجددة، ســـواءً كانت الطاقات الشمسية أو طاقات الرياح، حيث تشير بعض الدراسات إمكانية توليد حوالي 327 جيجا وات من الطاقة الهوائية الموجودة في المناطق الســـاحلية، التي تتراوح ســـرعة الرياح فيها ما بين 7.5 و11 متراً في الثانية، وإمكانية توليد حوالي 10.8 ألف جيجا وات من محطات توليد فوتوفولطية، وحوالي 8.8 ألف جيجا وات من محطات توليد تعمل بالطاقة الشمسية المركزة، وهي كميات هائلة دون شـــك. يذكر أن أجمالي قدرات التوليد المائية والشـــمســـية والهوائية، حتى عام 2015، لم تشـكل سـوى 22 و2 و10 %، على التوالي، من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشـــبكة. وقد قامت تلك القدرات بتغطية حوالي 13.5 % من إجمالي الطلب على الكهرباء في ذلك العام، وقامت محطات التوليد الحرارية بتغطية حوالي 71.7 % من ذلك الطلب، بينما قامت المغرب باسـتيراد النسـبة المتبقية (14.8%) من الشـبكة الإسـبانية. وفي سبيل تقليل الاعتماد على التوليد الحراري، قامت الحكومة المغربية بالتحرك على ثلاثة محاور رئيسية. يتمثل المحور الأول في زيادة قدرة التوليد الكهرومائي من 1770 ميجا وات عام 2015 إلى حوالي 2900 ميجا وات بحلول عام 2030، والمحور الثاني في زيادة قدرة

التوليد الشمسي من 661 ميجا وات إلى 4800 ميجا وات، والمحور الثالث في زيادة قدرة التوليد الهوائي من 1018 ميجا وات إلى حوالي 5000 ميجا وات، خلال الفترة ذاتها، بحيث تشكل قدرات التوليد من تلك المحطات حوالي 52 % من إجمالي قدرات التوليد المركبة على الشبكة في ذلك العام.

وبالنسبة للتوليد الكهرومائي، فهناك مشروع لإنشاء محطة توليد مديز المنزل بقدرة توليد 130 ميجا وات، ومشروع إنشاء محطة عبدالمنعم بقدرة توليد 350 ميجا وات، ومع دخولهما الخدمة بحلول عام 2020 سوف ترفع من قدرة التوليد الكهرومائي من 1770 ميجا وات إلى 2250 ميجا وات بحلول عام 2020، بالإضافة لمشاريع توليد كهرومائي أخرى مستقبلية إجمالي قدراتها حوالي 650 ميجا وات. وبالنسبة للتوليد الهوائي، فبالإضافة إلى مزارع رياح تطوان وأم جدول وطنجة والعيون وطرفيا، التي قام المكتب الوطني للكهرباء بإنشائها خلال الفترة (2000 – 2014)، قام المطورون الخواص بإنشاء مزارع رياح أخضنير وفم الواد والحاومه وجبل خلادي بقدرات 420 ميجا وات، 200 ميجا وات، 50 ميجا وات، و120 ميجا وات، على التوالي. كما توجد لدى المكتب الوطني للكهرباء برامج مزارع رياح جديدة إجمالي قدراتها حوالي ألف ميجا وات، موزعة على ستة مواقع. من المتوقع أن تدخل تلك المزارع في الخدمة تباعاً خلال الفترة (2018 – 2020).

أما بالنسبة للتوليد الشمسي، فتمثلت جهود الحكومة المغربية في إنشاء محطات توليد شمسية فوتوفولطية ومحطات توليد تعمل بالطاقة الشمسية المركزة إجمالي قدراتها حوالي 2000 ميجا وات بحلول عام 2020 في خمس مناطق، لتغطي حوالي 10 % من الطلب على الكهرباء بحلول عام 2020.

وتمثل محطة توليد نور "I"، في منطقة ورزازات أول مشروع كبير للتوليد باستخدام الطاقة الشمسية المركزة في المغرب، بقدرة 160 ميجا وات وقد دخلت المحطة في الخدمة عام 2015، وتقوم الوكالة المغربية حالياً بتنفيذ محطات نور "2"، ونور "3"، ونور "4" بقدرات 200 و150 و170 ميجا وات، على التوالي. وقد تم تصميم محطات نور "2" ونور

"3" لتعملا بنظام الطاقة الشمسية المركزة، لتغطية جزء من حمل القاعدة، بينما تم اختيار تصميم محطة نور"4" لتعمل على الطاقة الشمسية الفوتوفولطية منخفضة تكلفة التوليد.

وبالإضافة لوجود العديد من مصادر الطاقة المتجددة في المغرب، فقد ساعدت عدة عوامل على نجاح الحكومة المغربية في نشر تلك الاستخدامات. تمثل أول هذه العوامل في إصدار عدد من القوانين التشجيعية التي تسمح للخواص بإنشاء محطات توليد وبيع إنتاجها لكبار المستهلكين، بالإضافة إلى الشبكة، كما سمح لهم بإنشاء خطوط نقل لربط محطاتهم بالشبكة، وفي استحداث مؤسسة مستقلة عن شركة الكهرباء والماء، تكون مسؤولة عن الترويج لمشاريع الطاقة المتجددة. وشراء الطاقة المولدة منها، وتخصيص موارد مالية في ميزانية الحكومة للإنفاق على مشاريع الطاقات المتجددة، كما نجحت الحكومة المغربية في توفير التمويل اللازم من عدد من مؤسسات التمويل الدولية، مثل البنك الدولي والبنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتنمية، ومؤسسة التمويل الدولية، لعدد كبير من تلك المشاريع.

سلطنة عُمان: تعتمد عُمان بصفة شبه كاملة على محطات التوليد الحرارية لتوليد الكهرباء، وتعمل هذه المحطات على الغاز الطبيعي كوقود. وبالرغم من وجود كميات كافية من الغاز لأغراض التوليد ومقابلة عقود التصدير، إلا أن الأسعار المستخدمة في تلك العقود منخفضة وغير قابلة للمراجعة طوال فترات التعاقد. وعليه، فإن التوجه إلى التوليد الكهربائي باستخدام مصادر الطاقة المتجددة سوف يؤدي إلى توفير كميات من الغاز المنتج يمكن للحكومة العمانية تصديرها وفق عقود جديدة بأسعار أفضل من تلك المنصوص عليها في العقود الحالية. وتقوم شركة كهرباء المناطق الريفية (RAECO) الحكومية في السلطنة حالياً بإنشاء محطة توليد هوائية بقدرة حوالي 50 ميجا وات في منطقة ظفار، كما تضمنت خطة الحكومة العمانية السماح للقطاع الخاص بإنشاء سبع محطات توليد جديدة بنظام البناء والتملك والتشغيل إجمالي قدراتها حوالي 2550 ميجا وات، تدخل في الخدمة تباعاً خلال الفترة (2018-2024). ومن المتوقع أن يبلغ إجمالي قدرات التوليد لمحطات الطاقات المتجددة الموجودة على الشبكة العمانية، بحلول عام 2030، حوالي 2600 ميجا وات، وسوف تشكل حوالي 18.9% من إجمالي قدرات التوليد في السلطنة.

اليمن: لا توجد، في الوقت الحاضـــر، أية محطات توليد بالطاقة المتجددة في اليمن، حيث اعتمدت البلاد على محطات توليد بخارية تعمل على زيت الوقود الثقيل مثل محطات الحســـوة، ومحطة توليد مأرب الغازية التي تعمل على الغاز الطبيعي الموجود في منطقة صـافر بالقرب من موقع المحطة، ومحطات ديزل متوسـطة الحجم يعمل بعضـها على زيت الوقود الثقيل والبعض الآخر على زيت الغاز الخفيف.

وقدّرت بعض الدراسات أن العجز في التوليد الكهربائي سوف يبلغ حوالي 300 ميجا وات عام 2030 لعدم وجود مصـادر للنفط في البلاد، ولأن احتياطيات الغاز تكفي فقط لتوليد حوالي 1200 ميجا وات خلال الفترة (2015 – 2040)، قبل أن تنضب بشكل كلي.

وتوجد إمكانات كبيرة للتوليد الكهربائي من مصـــادر الطاقة المتجددة، حيث قدّرت بعض الدراسات أن هناك إمكانية لتوليد حوالي 34 جيجا وات من مصـادر الرياح في منطقة المخا، وحوالي 18 جيجا وات من الطاقة الشمسية، وحوالي 3 جيجا وات من مصـادر المياه الحرارية الجوفية، في أماكن مختلفة في البلاد.

وقد قامت وكالة التنمية الفرنسـية عام 2010 بإعداد دراسـة جدوى إنشـاء مزرعة للريـاح، بقدرة حوالي 60 ميجـا وات، في منطقـة المخـا، حيث تتوفر إمكـانيـة جيدة للتوليد الهوائي، على أن يتم استخدام خط النقل القائم بين محطة توليد المخا البخارية ومحطة تحويل في مدينة تعز لربط مزرعة الرياح بالشبكة الكهربائية.

وكنتيجة للانقطاعات المتكررة للكهرباء في اليمن نتيجة للظروف السياسية في البلاد، وتدمير أغلب خطوط النقل الهوائية، فقد لجأ السـكان إلى تركيب خلايا شـمسـية فوق أسـطح منازلهم. يقدر إجمالي قدرات التوليد المركبة باسـتخدام تلك الخلايا بحوالي 450 ميجا وات، لا تسـتفيد الشـبكة الكهربائية من تلك القدرات لعدم وجود تعرفة للتغذية في اليمن، يمكن من خلالها للخواص بيع الطاقة الفائضة عن احتياجاتهم لشركة الكهرباء.

السـودان: بلغت القدرة المركبة على الشـبكة السـودانية، عام 2017، حوالي 3567 ميجا وات، منها حوالي 1814 ميجا وات من محطات توليد كهرومائية، وهي سـدود مروي

والروصيرص وسنار وخشم القربة المقامة على النيل الأزرق، وجبل الأولياء المقام على النيل الأبيض، وأعالي عطبرة وستيت المقام على نهر عطبرة، شكلت حوالي نصف قدرات التوليد في البلاد. وبالنظر إلى الطبيعة الموسمية للتوليد من نهر النيل، فإن القدرة والطاقة الكهربائية المولدة من تلك السدود تكون عند أعلى مستوى خلال أشهر الشتاء وتنخفض إلى أدنى مستوى خلال أشهر الصيف.

وتتمثل خطوط الحكومة السودانية المستقبلية في المدى القصير أي خلال الفترة (2018 – 2025) في إضافة حوالي 1000 ميجا وات من قدرات توليد من محطات توليد شمسية ومزارع للرياح، بحيث يصبح إجمالي قدرات التوليد من مصادر الطاقات المتجددة، حوالي 2814 ميجا وات، وسوف تشكل حوالي 51 % من إجمالي قدرات التوليد في ذلك العام، منها 33 % قدرات توليد كهرومائية. وتتمثل أهم مشاريع الطاقة المتجددة في السودان، حالياً، في إنشاء محطة توليد هوائية بقدرة 80 ميجا وات في مدينة عطبرة، وفي إنشاء محطات توليد شمسية بقدرة حوالي 200 ميجا وات بالقرب من مدينة الخرطوم.

موريتانيا: تمثل التوليد الكهربائي في موريتانيا، حتى عام 2015، في وحدات ديزل صغيرة تعمل على زيت الغاز الخفيف، أو وحدات ديزل متوسطة الحجم، تعمل على زيت الوقود الخفيف. تراوح متوسط تكلفة التوليد من الوحدات الصغيرة ما بين 25 و30 سنت/ ك.و.س.، بينما تراوح متوسط تكلفة التوليد من الوحدات متوسطة الحجم ما بين 12 و15 سنت / ك.و.س.، مما شكل عبئاً كبيراً على الحكومة الموريتانية، حيث اضطرت لاستيراد الوقود اللازم للتوليد لعدم توفره داخل البلاد. ومن أجل تقليل الاعتماد على الوقود المستورد، قامت الحكومة الموريتانية بتنفيذ برنامج طموح لإنشاء محطات توليد تعمل على الطاقات المتجددة. تمثل أول المشاريع المشمولة في البرنامج في إنشاء محطة توليد شمسية، بقدرة 15 ميجا وات، شمال مدينة نواكشوط، والتي دخلت في الخدمة عام 2013. وتبع ذلك إنشاء محطة توليد هوائية بقدرة 30 ميجا وات، جنوب المدينة، وقد دخلت تلك المحطة في الخدمة عام 2015. وبلغ متوسط تكلفة التوليد من المحطة الشمسية عام 2015 حوالي 9 سنت / ك.و.س.، بينما بلغ متوسط تكلفة التوليد من المحطة الهوائية

حوالي 6 سنت / ك.و.س.، مما شجع الحكومة الموريتانية على التوسع في التوليد بواسطة مصادر الطاقة المتجددة، حيث قامت الحكومة بإنشاء محطة توليد شمسية فوتوفولطية ثانية، بقدرة 50 ميجا وات، شرقي العاصمة، والتي دخلت في الخدمة في نهاية عام 2017، وتقوم حالياً بإنشاء محطة توليد هوائية بقدرة 100 ميجا وات في مدينة بولانوار، على بعد حوالي 400 كم شمال العاصمة. ومن المتوقع أن يبلغ إجمالي قدرات محطات التوليد التي تعمل بالطاقات المتجددة، في عام 2030، حوالي 195 ميجا وات سوف تمثل حوالي 45% من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشبكة الموريتانية.

وتقدر تكلفة التوليد من محطة التوليد الشمسية الجديدة حوالي 5.5 سنت / ك.و.س.، بينما من المقدر أن يبلغ متوسط تكلفة التوليد من محطة توليد بولانوار الهوائية، عند دخولها في الخدمة عام 2020، حوالي 3.5 سنت / ك.و.س.، حيث أن معامل السعة المتوقع منها يقدر بحوالي 57 %، مقارنة بمعامل سعة يتراوح ما بين 30 و35 % لأغلب المحطات الهوائية.

جيبوتي: اعتمدت جيبوتي، خلال الفترة 1990 – 2015، على محطتي توليد ديزل صغيرتين لتلبية الأحمال على الشبكة الكهربائية، وهما محطة توليد بولاوس التي تحتوي على عشرة وحدات توليد ديزل تتراوح قدراتها ما بين 5 و15 ميجا وات، تعمل كلها على زيت الوقود الثقيل، ومحطة توليد مارابو التي تحتوي على ست وحدات توليد ديزل، قدرة كل منها 2.5 ميجا وات ، تعمل كلها على زيت الغاز الخفيف. ونظراً إلى أن متوسط تكلفة التوليد من محطة بولاوس حوالي 15 سنت / ك.و.س. بينما يبلغ متوسط تكلفة التوليد من محطة توليد مارابو حوالي 30 سنت / ك.و.س.، قامت الحكومة الجيبوتية بتنفيذ مشروع لربط الشبكة الجيبوتية بالشبكة الأثيوبية عن طريق خط نقل، بطول حوالي 300 كم، على التوتر 230 ك.ف.، تقوم جيبوتي بموجبه باستيراد طاقة كهربائية من أثيوبيا، بسعر حوالي 7 سنت / ك.و.س. وقد أدى دخول هذا المشروع في الخدمة، عام 2015، إلى قيام الحكومة الجيبوتية بتشغيل محطتي التوليد الديزل الموجودتين لديها فقط في أوقات الذروة، أوفي الفترات التي تنخفض كمية القدرة التي يمكن للشبكة الأثيوبية تزويدها للشبكة الجيبوتية.

ومن أجل تخفيض تكاليف استيراد الكهرباء، ونظراً لوجود مصادر جيدة للطاقة الحرارية الجوفية في بحيرة عسل، التي تبعد حوالي 150 كم شرق مدينة جيبوتي، تقوم الحكومة الجيبوتية في الوقت الحاضر بإنشاء محطة توليد بخارية بقدرة 15 ميجا وات في موقع جللاكوما القريب من البحيرة، وذلك كمرحلة أولى من مشروع لتوليد 100 ميجا وات من الموقع ذاته. وسوف تتضمن محطة التوليد ثلاثة مولدات بخارية، قدرة كل منها 5 ميجا وات، تعمل على الحرارة المولدة من المياه الجوفية الموجودة في تلك المنطقة. ومن المتوقع أن تبلغ تكلفة التوليد من المحطة البخارية حوالي 7 سنت / ك.و.س.، تعادل تكلفة استيراد الكهرباء من أثيوبيا، وتقل بدرجة كبيرة عن تكلفة التوليد من محطتي الديزل. وعليه، سوف يتم استخدام الطاقة الكهربائية المنتجة من بحيرة عسل لتلبية جزء من حمل القاعدة في جيبوتي. والجدير بالذكر أن المشروع سوف يشمل حفر حوالي 15 بئراً للطاقة الحرارية الجوفية، تكفي لإنتاج حوالي 60 ميجا وات، على أساس أن الحكومة الجيبوتية سوف تقوم، عند الانتهاء من المرحلة الأولى للمشروع، بطرح مراحل أخرى على القطاع الخاص لتنفيذها، بحيث يتولى المستثمر توريد وتركيب وحدات التوليد، وربطها بالشبكة، بينما تقوم الحكومة بتزويده بالمياه الساخنة التي سيتم استخراجها من الآبار التي سيتم حفرها ضمن المرحلة الأولى من المشروع (15 ميجا وات).

جزر القمر: تتكون جزر القمر من ثلاث جزر، وهي جزيرة القمر الكبرى وإنجوان وموهيلي. وتحتوي كل منها على محطة أو محطتي توليد ديزل لتلبية أحمال الجزيرة. تبلغ قدرة التوليد في جزيرة القمر الكبرى حوالي 20 ميجا وات، وتحتوي على عشرة وحدات توليد تتراوح قدراتها ما بين 1.5 و2.5 ميجا وات، تعمل كلها على زيت الغاز الخفيف، مرتفع التكلفة، وفي المقابل تبلغ قدرة محطات التوليد الموجودة في كل من جزيرتي إنجوان وموهيلي حوالي 3 ميجا وات، وتصل تكلفة التوليد من وحدات الديزل المذكورة أعلاه إلى حوالي 35 سنت / ك.و.س. هي تكلفة مرتفعة للغاية، خاصة بالنسبة للموارد المحدودة لجمهورية القمر المتحدة.

وفي سبيل تخفيض تكلفة التوليد، والاستغناء عن استيراد الوقود، قامت الحكومة القمرية بإجراء عدة دراسات جدوى لتحديد أنسب وسائل التوليد باستخدام الطاقات المتجددة لسد كل أو جزء من احتياجاتها. وبالنسبة لجزيرتي انجوان وموهيلي، تمت دراسة التوليد الكهرومائي باستخدام "تدفق الأنهار"، وقد أوضحت الدراسة أن هناك إمكانية لتوليد حوالي 10 ميجا وات في كل من الجزيرتين، إلا أن تكلفة التوليد ستكون مرتفعة حيث قدرت تكلفة السدود الصغيرة المطلوبة بحوالي 4 آلاف دولار/ ك.و. مركب، نظراً لصعوبة التضاريس الجغرافية في هاتين الجزيرتين، بالإضافة إلى أنه ستكون هناك فترة تقدر بحوالي 4 أشهر، من كل عام، يتوقف فيها تدفق المياه لعدم هطول أمطار. كما تمت دراسة بدائل التوليد الهوائي والتوليد الشمسي في الجزر الثلاث. وخلصت الدراسة إلى أنه بالرغم من وجود رياح قوية في الجزر الثلاث، إلا أن سرعة تلك الرياح تتجاوز 40 متر/ الثانية خلال بعض الفترات، مما يستلزم تصميماً خاصاً للأبراج، وبالتالي ارتفاع التكلفة الاستثمارية بصورة كبيرة، وخلصت الدراسة أيضاً إلى أن أنسب تقنية للتوليد هي باستخدام الطاقة الشمسية.

وقد تمت دراسة بديلين للتوليد باستخدام الطاقة الشمسية الفوتوفولطية: البديل الأول بدون تخزين، والبديل الثاني عن طريق إضافة بطاريات لتخزين الطاقة الشمسية المولدة أثناء النهار لاستخدامها أثناء المساء، عندما لا يكون هناك توليد. وقد أوضحت الدراسة أن تكلفة إنتاج الكهرباء من البديل الأول ستكون بحدود 28 سنت/ ك.و.س.، وأنها ستكون بحدود 35 سنت/ ك.و.س. في حالة البديل الثاني. وتقوم الحكومة القمرية حالياً بعمل قياسات للطاقة الشمسية في إحدى المواقع بجزيرة القمر الكبرى لتحديد جدوى إنشاء محطات توليد فوتوفولطية بقدرة حوالي 2 ميجا وات.

5. تحديات استخدام الطاقات المتجددة في الدول العربية[6]

هناك العديد من الأمور الفنية الواجب أخذها في الاعتبار عند إنشاء محطات توليد تعمل بالطاقات المتجددة. بالنسبة لمحطات التوليد الشمسية، يعتبر اختيار موقع المشروع أحد أهم هذه الأمور حيث يجب أن تتوفر في الموقع عدة عوامل مثل ارتفاع مستوى الإشعاعات الضوئية، وقلة السحب على مدار العام، وقربه من شبكة الكهرباء. وعادة ما تتم الاستعانة بالخرائط الدولية التي توضح مستوى الإشعاعات الشمسية لاختيار أفضل المواقع، يلي ذلك أخذ قياسات لمدة عام، في الموقع الذي يتم تحديده، وذلك لتقدير، بدرجة عالية من الاعتمادية، كمية الطاقة المتوقع توليدها من الموقع، وتكلفة المشروع وجدواه الاقتصادية، مع الأخذ في الاعتبار أن كفاءة التوليد من الخلايا الفوتوفولطية تنخفض بمعدل حوالي 1 % سنوياً خلال عمر المشروع، الذي يقدر عادة بحوالي 20 عاماً. أما بالنسبة لمحطات التوليد التي تعمل بطاقة الرياح، فيلزم أيضاً عمل قياسات لسرعة واتجاه الرياح خلال عام كامل، حيث تكون أفضل المواقع تلك التي تكون فيها سرعة الرياح ثابتة، بقدر الإمكان طوال العام، وأن يكون متوسطها من 7 – 10 متر/ الثانية وأن تهب في اتجاه واحد.

والجدير بالذكر أن المحطات الشمسية الفوتوفولطية لا تقوم بتوليد الكهرباء إلا خلال ساعات النهار، أو في حالة مرور سحب فوق الخلايا الضوئية، لذلك عادة ما يتم إنشاء محطات التوليد في المناطق النائية، غير المتصلة بالشبكة، على هيئة محطة هجينة تتكون من جزئين: خلايا ضوئية لتوليد الكهرباء أثناء النهار، ووحدات توليد ديزل تستخدم لتوليد الكهرباء أثناء الليل، مما يرفع من تكلفة المحطة لتصبح تكلفة التوليد منها حوالي 9 سنت/ك.و.س. مقارنة بحوالي 4 سنت/ك.و.س. لمحطات التوليد الشمسية الفوتوفولطية.

ومن مساوئ المحطات الهوائية أن الطاقة المولدة منها غير مؤكدة، حيث يمكن أن تنخفض إلى صفر عند توقف الرياح في موقع المحطة. وعليه، يجب على شركات الكهرباء إنشاء محطات توليد حرارية بقدرات تكفي لتغطية الحمل الأقصى على الشبكة، حتى في حالة توقف المحطات الهوائية عن العمل.

[6] . التقرير الاقتصادي العربي الموحد 2018، فصل المحور "آفاق التوليد الكهربائي بإستخدام مصادر الطاقات المتجددة في الدول العربية".

وكانت شـركات الكهرباء في السـابق، تكتفي بان لا يتجاوز إجمالي قدرات محطات التوليد الهوائية والشمسية الفوتوفولطية 25 % من إجمالي قدرات التوليد على الشبكة. إلا أن هذا الحد الأقصـى قد تمت زيادته إلى حوالي 50 %، نظراً لتحسـن قدرات برامج التنبؤ بالأحمال، وتحسـن سـرعة اسـتجابة وحدات التوليد الحرارية لأية تغيرات في مسـتويات الأحمال أو التوليد، وإمكانية المزج بين المحطات الشـمسـية والمحطات الهوائية، حيث عادة ما يكون التوليد الهوائي في أعلى مسـتوياته في الليل، مما يعوض انخفاض مسـتوى التوليد من المحطات الشمسية في تلك الفترة.

6. الآفاق المستقبليـــة[7]

1.6 نظرة مستقبلية على تكلفة توليد الطاقة الكهربائية

شـهدت الفترة (2009 – 2017) على المسـتوى العالمي انخفاضـاً كبيراً في تكلفة التوليد من المحطات الشـمسـية والهوائية، إذ بلغ متوسـط هذا الانخفاض حوالي 80 % للمحطات الشمسية الفوتوفولطية وحوالي 50 % للمحطات الشمسية المركزة، وحوالي 40 % للمحطات التي تعمل بطاقة الرياح. وكنتيجة لذلك، قام العديد من الدول الغربية بالتركيز على التوليد الهوائي والشـمسـي على حسـاب التوليد الحراري، مما أدى إلى انخفاض نسـب اسـتغلال وحدات التوليد الحراري في تلك الدول من حوالي 70 % عام 2006 إلى حوالي 20 % عام 2017، والنسـبة الأخيرة متدنية للغاية حيث يفضـل أن يتم تشـغيل الوحدات الحرارية بنسب تتراوح ما بين 60 % و90% لأسباب فنية واقتصادية.

وتتوقع أغلب الدراسات أن يستمر الانخفاض في تكلفة التوليد، ولكن بمعدلات أقل، إذ يتوقع أن تبلغ تكلفة التوليد من المحطات الشمسية الفوتوفولطية، في عام 2040، ما بين 1.8 و3.5 سـنت/ ك.و.س.، وما بين 2 و3 سـنت/ ك.و.س. للمحطات الهوائية. وسـتكون تلك التكلفة حوالي نصـف تكلفة التوليد من محطات التوليد التي تعمل بنظام الدورة المركبة وحوالي ثلث تكلفة التوليد من المحطات البخارية والغازية.

[7] . التقرير الاقتصادى العربى الموحد 2018، فصل المحور "آفاق التوليد الكهربائى بإستخدام مصادر الطاقات المتجددة فى الدول العربية".

ومن الملاحظ أن الانخفاض في تكلفة التوليد من محطات الطاقات المتجددة لم يصاحبه انخفاض مشابه في أسعار الكهرباء في الدول التي شهدت زيادة كبيرة في قدرات التوليد الهوائية والشمسية. فعلى سبيل المثال، ارتفع متوسط تكلفة التوليد في ألمانيا، من جميع مصادر التوليد، بنسبة 51 % خلال الفترة (2006-2016)، وبنسبة 24 % في ولاية كاليفورنيا خلال الفترة (2011 – 2017)، وبنسبة مشابهة في الدانمارك. ويعود السبب الرئيسي في ذلك إلى أن شركات الكهرباء لا تعتبر محطات التوليد الهوائية والشمسية الفوتوفولطية، في الوقت الحاضر، ضمن القدرات المؤكدة على شبكاتها، فتقوم بإنشاء (أو الإبقاء على) محطات توليد حرارية لاستخدامها في حالة عدم توفر الرياح أو أثناء الليل. وبالتالي ارتفع مستوى احتياطي التوليد لدى شركات الكهرباء التي توسعت في استخدام الطاقات المتجددة من حوالي 115 % إلى حوالي 150 %، وما يقابله ذلك من زيادة في التكاليف الاستثمارية التي تنعكس على تكلفة التوليد.

وعليه، يتم التركيز حالياً على تخفيض تكلفة البطاريات التي تستخدم في تخزين الطاقة المولدة من محطات التوليد الشمسية الفوتوفولطية لتغذية الأحمال في الليل أو في تخفيض التذبذب اللحظي في القدرة المولدة من مزارع الرياح نتيجة لتغير سرعة الرياح بشكل مفاجئ، وعلى تحسين كفاءة محطات التوليد الشمسية المركزة وتخفيض تكلفتها. وقد شهدت الفترة (2010 – 2017) انخفاضاً ملحوظاً في تكلفة البطاريات، حيث بلغت حوالي 250 دولار/ ك.و.س. عام 2017 مقارنة بحوالي 1200 دولار/ ك.و.س. عام 2010. ومن المتوقع أن يستمر الانخفاض في تلك التكلفة لتصل إلى حوالي 100 دولار/ ك.و.س. بحلول عام 2030.

كما يتوقع أن ينخفض متوسط تكلفة التوليد من محطات التوليد الشمسي المركزة من حوالي 15 سنت/ ك.و.س. عام2017 إلى حوالي 5 سنت/ ك.و.س. خلال الفترة ذاتها، مما سيكون له أكبر الأثر في تخفيض متوسط تكلفة التوليد على الشبكات، حيث يمكن لشركات الكهرباء عندئذٍ إخراج وحدات توليد حرارية من الخدمة على أساس اعتبار القدرات المركبة في محطات التوليد التي تعمل على الطاقات المتجددة قدرات توليد مؤكدة على الشبكة.

2-6 برامج وخطط التوليد المستقبلية للدول العربية

وبالنسبة لبرامج وخطط التوليد المستقبلية للدول العربية، والمشاريع الجاري تنفيذها، فمن المتوقع أن تقوم الدول العربية خلال الفترة (2018 – 2030) بإنشـــاء محطات توليد تعمل بالطاقات المتجددة إجمالي قدراتها حوالي 63.2 جيجا وات، منها حوالي 39.8 جيجا وات (62.9%) لمحطات توليد تعمل بالطاقة الشـمسـية، وحوالي 22.2 جيجا وات (35.1 %) لمحطات توليد تعمل بطاقة الرياح، وحوالي 1.2 جيجا وات (2 %) لمحطات كهرومائية ومحطات تعمل بالطاقة الحرارية الجوفية أو الكتلة الحيوية. وبالإضـــافة إلى قدرات التوليد القائمة، والتي تعمل بالطاقات المتجددة، والتي بلغ إجماليها حوالي 15 جيجا وات في عام 2017، فمن المتوقع أن يصـــل إجمالي قدرات محطات التوليد التي تعمل بالطاقات المتجددة عام 2030 إلى نحو 73 جيجا وات ما يشـكل 15 % من إجمالي القدرات المركبة على الشبكات، مقارنة بحوالي 5.3 % عام 2017.

من المتوقع أن تقوم محطات التوليد التي تعمل بالطاقات المتجددة، الجديدة منها والقائمة، بتوليد حوالي 170 تيرا وات ســـاعة عام 2030، ومن المتوقع أن تغطي حوالي 81% من الطلب على الطاقة في ذلك العام، مقارنة بحوالي 2.5 % في عام 2017. وبالرغم من الزيادة الكبيرة المتوقعة، إلا أن هذه النسـبة سـتكون أقل بكثير من النسـب المشـابهة في الدول الأوروبية، حيث أصـــدرت الدانمارك تشـريعات بأن لا تقل نسـبة الطاقة المولدة من محطات التوليد التي تعمل على الطاقات المتجددة عن 50% من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة على الشـبكة، كما أصـدرت كل من ألمانيا وانجلترا تشـريعات بأن لا تقل هذه النسـبة عن 30% بحلول عام 2030.

ومن المتوقع أن يؤدي ذلك إلى تخفيض اســـتهلاك الدول العربية من النفط والغاز، لتوليد الكهرباء، بما يعادل حوالي 750 ألف برميل مكافئ نفط في اليوم في عام 2030، مقارنة باستمرار الاعتماد على محطات التوليد الحرارية. ويتوقع كذلك أن يؤدي هذا التحّول إلى توفير حوالي 200 ألف فرصـــة عمل في قطاع الكهرباء، تشـمل تصـنيع معدات التوليد وتركيبها وصـيانتها، ناهيك عن تخفيض انبعاثات الغازات الضـارة بالبيئة. وسـوف تتفاوت نسب قدرات التوليد بالطاقات المتجددة بدرجة كبيرة من دولة لأخرى، حيث يتوقع أن تتجاوز

هاتان النسبتان 50 % في كل من المغرب والسودان، وأن تبلغ حوالي 45 % في موريتانيا، وحوالي 37 % في تونس، وحوالي 30 % في كل من مصر والأردن وجيبوتي، وأن تتراوح ما بين 10 و20 % في كل من الإمارات والجزائر والسعودية وعُمان والكويت. والجدير بالذكر أن التوقعات المستقبلية، المشار إليها أعلاه عرضة للتغيرات التقنية والتطورات التكنولوجية التي قد تؤثر في معطيات التوليد باستخدام الطاقات المتجددة وتكاليفها وجدواها وانتشارها وحصتها في كل سوق الطاقة، في مقابل التطورات في إنتاج وتسويق النفط وأسعاره.

ومن غير المتوقع أن تشكل تلك النسب المرتفعة مشاكل كهربائية تذكر لكل من المغرب ومصر وموريتانيا وجيبوتي، حيث يوجد توليد كهرومائي في مصر والمغرب يمكنه تقليل التذبذبات غير المتوقعة في القدرة المولدة من المحطات الهوائية والشمسية، بينما ترتبط موريتانيا كهربائياً بمالي، التي يوجد بها سد مانانتالي، كما أن خطط تلك الدول تعتمد على المزج بين التوليد الهوائي والتوليد الشمسي، بحيث يتم الاعتماد بصورة كبيرة على التوليد الشمسي أثناء ساعات النهار والتوليد الهوائي أثناء فترات الليل. أما بالنسبة للشبكة الجيبوتية، فلا يتوقع أيضاً وجود مشاكل لديها، لأنها ستظل مربوطة بالشبكة الاثيوبية، التي يتم فيها أغلب التوليد بواسطة محطات كهرومائية، وبالمثل، لا يتوقع أن تشكل محطات التوليد الشمسية والهوائية الجديدة، المزمع إنشاؤها في السودان أية مشاكل للشبكة السودانية، حيث ستظل قدرات التوليد المائي في السودان تشكل أكثر من ثلث قدرات التوليد على الشبكة.

وسيكون الوضع مختلفاً بعض الشيء بالنسبة للأردن وتونس والجزائر، نظراً لقلة أو عدم وجود توليد مائي لديها. وعليه، من المتوقع أن تستفيد تلك الدول من مشاريع الربط الكهربائي القائمة وتلك المخطط تنفيذها لتخفيض مستوى التذبذبات المتوقعة، حيث سوف تستفيد شبكة الأردن من الربط الكهربائي القائم مع الشبكة المصرية والربط الكهربائي المخطط مع الشبكة السعودية، وهما شبكتان قادرتان على تحقيق اتزان للشبكة الأردنية. كما سوف تستفيد تونس والجزائر من الربط الكهربائي بينهما، ومن ارتباط الشبكة المغربية بالشبكة الأوروبية.

وبالنسبة للدول الخليجية، فمن غير المتوقع أن يكون لمشاريع إنشاء محطات التوليد الفوتوفولطية في السعودية تأثير كبير على شبكة الكهرباء فيها، نظراً لأن إجمالي قدرة التوليد لها لن يشكل سوى حوالي 10 % من إجمالي قدرة التوليد على الشبكة، ولأن تلك المحطات تقوم بتوليد أقصى قدرة أوقات الظهيرة، وهي فترة الحمل الأقصى في السعودية. وسيكون الوضع مختلفاً بعض الشيء في الإمارات، حيث أن دخول محطات الطاقة النووية الأربع، بإجمالي قدرة 5600 ميجا وات، سوف يؤدي إلى تقليل الاعتماد على محطات التوليد الغازية القائمة، وهي الوحدات التي يمكن من خلالها زيادة أو تخفيض قدرة التوليد بصورة سريعة لتعويض التفاوت في قدرات التوليد من المحطات الشمسية والهوائية. وعليه، تبرز أهمية شبكة الربط الخليجي في تحقيق توازن لحظي بين كمية التوليد والاستهلاك على الشبكة الإماراتية. وسوف يتعين على الدول العربية تقوية شبكات النقل الداخلية فيها حتى تتمكن من تصريف الطاقة التي سيتم توليدها من المحطات الجديدة. وستكون هناك أيضاً حاجة لتطوير أساليب إدارة الشبكات بحيث يتم استخدام العدادات الذكية والبرامج المتطورة لحسن إدارة الشبكة في ظل وجود التوليد غير المركزي. كما سيتعين على بعض الدول، التي لم تقم بعد بفتح سوق الكهرباء، بسن التشريعات التي تساعد على مشاركة القطاع الخاص في إنشاء مشاريع التوليد، وتمكينه من بيع الطاقة المولدة منها للمستهلكين، بالإضافة إلى شركات الكهرباء الحكومية، والتي تقوم بتهيئة المناخ التشريعي المناسب للمستثمرين، سواءً كان ذلك في ثبات سعر الصرف أو قابلية تحويل الأرباح خارج البلاد، بالإضافة لوجود منظم كهرباء مستقل.

خامساً: الخلاصة

يمكن إيجاز أهم ما خلصت إليه الدراسة عند مقارنة توقعات سيناريو السياسات الجديدة مع توقعات سيناريو التنمية المستدامة، على النحو التالي:

أولا: توقعات تطور حصة أنواع مصادر الطاقة المختلفة في مزيج الطاقة الأولية العالمي		
	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة
الوقود الأحفوري	- ستظل حصة الوقود الأحفوري مهيمنة على مزيج الطاقة العالمي وذلك على الرغم من الانخفاض في حصته من 80.2% إلى 73.3% عام 2040.	- ستظل حصة الوقود الأحفوري مهيمنة على مزيج الطاقة المستهلكة عالمياً وذلك على الرغم من الانخفاض في حصته إلى 59% عام 2040.
الطلب على النفط	- يتوقع أن يشهد الطلب على النفط ارتفاعاً بالمطلق من 80 مليون ب/ي عام 2017 الى 86 م ب ي عام 2040 رغم انخفاض حصته في المزيج من 29.7% الى 25.3%.	- يتوقع أن ينخفض الطلب على النفط الى 56 مليون ب ي عام 2040 استجابة لسياسات خفض استخدامات مصادر الطاقة التقليدية، لتنخفض حصته في المزيج الى 21.3%.
الطلب على الغاز	- يتوقع ارتفاع الطلب على الغاز من 3 مليار ط م ن عام 2017 الى 4.4 مليار عام 2040 لترتفع حصته في المزيج من 22.9% الى 25.7%.	- يتوقع أن يرتفع الطلب على الغاز الى 3.4 مليار ط م ن عام 2040 لترتفع حصته في المزيج من الى 25.7%.
الطاقات المتجددة	- من المتوقع ان يرتفع الطلب على الطاقات المتجددة من 2 مليار ط م ن عام 2017 الى 3.6 مليار عام 2040، لترتفع حصتها في المزيج من 14.7% الى 21%.	- من المتوقع ان يرتفع الطلب على الطاقات المتجددة الى 4.2 مليار ط م ن عام 2040، لترتفع حصتها في المزيج من 14.7% الى 31.2%.
الطاقة النووية	-يتوقع ان يرتفع الطلب على الطاقة النووية من 688 مليون ط م ن عام 2017 الى 971 مليون ط م ن عام 2040، لترتفع حصتها في المزيج من 5.1% الى 5.7%.	- يتوقع ان يرتفع الطلب على الطاقة النووية الى 1.3 مليار ط م ن عام 2040، لترتفع حصتها في المزيج الى 9.7%.

ثانيا: توقعات تطور حصة أنواع الوقود المستخدم في توليد الطاقة الكهربائية		
	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة
الوقود الأحفوري	- يتوقع أن تنخفض حصة الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الوقود الاحفوري من 64.9% عام 2017 الى 49.3% عام 2040.	- يتوقع أن تنخفض حصة الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الوقود الاحفوري الى 20.3% عام 2040.
استخدام النفط في توليد الكهرباء	- يتوقع انخفاض الكهرباء المولدة باستخدام النفط من 940 تيرا وات ساعة عام 2017 إلى 527 تيرا وات ساعة عام 2040، لتنخفض حصته في مزيج وقود التوليد من 3.7% الى 1.3%.	- يتوقع انخفاض الكهرباء المولدة باستخدام النفط إلى 196 تيرا وات ساعة عام 2040، لتنخفض حصة النفط في مزيج الوقود المستخدم في التوليد من 3.7% الى 0.5%.
استخدام الغاز في توليد الكهرباء	- يتوقع ارتفاع الكهرباء المولدة باستخدام الغاز من 5856 تيرا وات ساعة عام 2017 إلى 9071 تيرا وات ساعة عام 2040، رغم انخفاض حصته في مزيج وقود التوليد من 22.8% الى 22.4%.	- يتوقع انخفاض الكهرباء المولدة باستخدام الغاز إلى 5359 تيرا وات ساعة عام 2040، لتنخفض معه حصة الغاز في مزيج الوقود المستخدم في التوليد الى 14.5%.
الطاقات المتجددة	- يتوقع ارتفاع الكهرباء المولدة باستخدام الطاقات المتجددة من 6351 تيرا وات ساعة عام 2017 إلى 16752 تيرا وات ساعة عام 2040، لترتفع حصتها في مزيج وقود التوليد من 24.8% الى 41.5%.	- يتوقع ارتفاع الكهرباء المولدة باستخدام الطاقات المتجددة إلى 24585 تيرا وات ساعة عام 2040، لترتفع معها حصة الطاقات المتجددة في مزيج الوقود المستخدم في التوليد الى 66.3%.
الطاقة النووية	- يتوقع ارتفاع الكهرباء المولدة باستخدام الطاقة النووية من 3725 تيرا وات ساعة عام 2017 إلى 4960 تيرا وات ساعة عام 2040، رغم انخفاض حصتها في مزيج التوليد من 10.3% الى 9.2%.	- يتوقع ارتفاع الكهرباء المولدة باستخدام الطاقة النووية إلى 4960 تيرا وات ساعة عام 2040، لترتفع معها حصة الطاقات المتجددة في مزيج الوقود المستخدم في التوليد الى 13.4%.

ثالثا: توقعات تطور الامدادات النفطية وحجم الاستثمارات اللازمة		
	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة
الإمدادات النفطية	- من المتوقع أن ترتفع الإمدادات النفطية العالمية والتي تشتمل على النفط التقليدي وغير التقليدي وسوائل الغاز الطبيعي من 92.8 مليون ب ي عام 2017 الى 103.4 مليون ب ي عام 2040. - من المتوقع أن ترتفع إمدادات الدول الأعضاء في منظمة أوبك، وخاصة من الدول العربية السبع الأعضاء في المنظمة، من 39.6 مليون ب ي عام 2017 الى 46.3 مليون ب ي عام 2040، لترتفع حصتها من الإجمالي العالمي من 42.7% عام 2017 الى 44.8% عام 2040. - من المتوقع أن ترتفع إمدادات دول خارج أوبك من 53.2 مليون ب ي عام 2017 الى 57.1 مليون ب ي عام 2040، رغم انخفاض حصتها من الإجمالي من 57.3% عام 2017 الى 55.2% عام 2040.	- من المتوقع أن تنخفض الإمدادات النفطية العالمية والتي تشتمل على النفط التقليدي وغير التقليدي وسوائل الغاز الطبيعي الى 68.1 مليون ب ي عام 2040. - من المتوقع أن تنخفض إمدادات الدول الأعضاء في منظمة أوبك من 39.6 مليون ب ي عام 2017 الى 29.9 مليون ب ي عام 2040. لتنخفض حصتها من الإجمالي العالمي الى 43.9% عام 2040. - من المتوقع أن تنخفض إمدادات دول خارج أوبك الى 38.1 مليون ب ي عام 2040، لتنخفض حصتها من الإجمالي العالمي من 57.3% عام 2017 الى 56.1% عام 2040.
الاستثمارات	- من المتوقع أن تصل الاستثمارات المتراكمة على الوقود الاحفوري على مستوى العالم خلال الفترة (2018 – 2040) الى 2.3 تريليون دولار بأسعار عام 2017 مستحوذا على حصة 20.1% من الإجمالي المتوقع بنحو 11.4 تريليون دولار. - يتوقع أن تصل الاستثمارات المتراكمة على الطاقات المتجددة على مستوى العالم خلال الفترة (2018 – 2040) الى 8 تريليون دولار بأسعار عام 2017 مستحوذا على نسبة 70.3% من الإجمالي.	- يتوقع أن تصل الاستثمارات المتراكمة على الوقود الاحفوري على مستوى العالم خلال الفترة (2018 – 2040) الى 2.1 تريليون دولار بأسعار عام 2017 مستحوذا على حصة 12.9% من الإجمالي المتوقع بنحو 16.4 تريليون دولار. - يتوقع أن تصل الاستثمارات المتراكمة على الطاقات المتجددة خلال الفترة (2018 – 2040) الى 12.8 تريليون دولار بأسعار عام 2017 مستحوذا على نسبة 78% من الإجمالي.

➢ التوصيات الختامية

- إن مستقبل الطاقات المتجددة في مزيج الطاقة العالمي متوقف على عدد من العوامل والتي من أهمها التطور التقني ودوره في تخفيض التكاليف، والاشتراطات البيئية والرسوم الضريبية المتزايدة التي تفرضها الدول المستهلكة على الوقود الاحفوري، فضلاً عن الدعم المالي والتشريعي الحكومي والاتجاهات المستقبلية لأسعار النفط العالمية.
- تشير المعطيات الحالية لصناعة الطاقات المتجددة بأنها أصبحت واقعاً وتحتل جزءاً مهماً من السياسات الطاقوية للدول المستهلكة، وأن مزيج الطاقة العالمي آخذ في التنوع في معظم الاستخدامات التي تشمل قطاع النقل بالإضافة إلى توليد الكهرباء والحرارة. وقد تختلف تشكيلة المزيج حسب المناطق والدول تبعاً لظروفها.
- تمر الطاقات المتجددة في الوقت الحاضر بمفترق طرق، ففي الوقت الذي تقدم فيه حكومات بعض البلدان المستهلكة دعماً سخياً وتشجيعاً كبيراً لصناعة الطاقات المتجددة، فإن التوسع الكبير في إنتاجها يجابه بتحديات كبيرة ولا يبعث بنفس الدرجة من التفاؤل والتضخيم التي يتوقعها المتفائلون بخصوص احتمالاتها المستقبلية وذلك لأسباب عديدة منها:

  - وصول بعض تقنيات الطاقات المتجددة في توليد الكهرباء والحرارة إلى مراحل ناضجة ومستويات مستقرة في تكاليفها بحيث يصعب تحقيق مزيد من التخفيض في مستوياتها في المستقبل المنظور، بينما تعتمد إمكانية تخفيض التكاليف في البعض الآخر على بعض العوامل مثل التقدم التكنولوجي واقتصاديات الحجم وتحسين مستوى الكفاءة.
  - لا ينحصر تأثير أسعار النفط المرتفعة في الجانب الإيجابي وتحسين الجدوى الاقتصادية لمشاريع الطاقات المتجددة فقط، بل قد تكون له آثار سلبية أيضاً تتمثل في زيادة تكاليف إنتاجها. وفي حالة انخفاض الأسعار، بالأخص إن كان حاداً، ستكون له انعكاسات مؤثرة على اقتصاديات تلك المشاريع التي تم تقييم اقتصادياتها على اساس مستويات أسعار نفط مرتفعة.

- إن تقنيات الطاقات المتجددة الأخرى (الشمسية والرياح والجوفية والمد والجزر) والتي تشهد معدلات نمو عالية بشكل خاص التي تشكل حالياً حوالي 2% من إجمالي الطلب على مصادر الطاقة الأولية في العالم وتتميز بأرضية منخفضة جداً ما يجعل مساهمتها المستقبلية لا تشكل تغييراً جوهرياً في نمط مزيج الطاقة العالمي بحيث لا يتوقع أن تزيد نسبتها عن 7% من إجمالي الطلب على مصادر الطاقة الأولية في العالم في عام 2040.
- إن زيادة التنوع في مزيج الطاقة العالمي يجب أن يكون وفق آليات وأساسيات عوامل السوق التقليدية، وأن إصرار الدول المستهلكة على دعم الطاقات المتجددة، لأسباب لا علاقة لها بعوامل السوق، قد يؤثر في النهاية في استقرار السوق من خلال عدم إمكانية تهيئة مبالغ التمويل الهائلة اللازمة لزيادة الطاقات الإنتاجية والتكريرية النفطية في ظل تزايد تدفق الاستثمارات إلى صناعة الطاقات المتجددة. بالإضافة إلى الزيادة في عوامل عدم اليقين المحيطة بالطلب على نفوطها والتحديات والصعوبات التي تجابهها نتيجة لزيادة تنوع الوقود بالأخص في صناعة التكرير وبعض الجوانب التشغيلية.
- تمثل القضايا الخاصة بالتغيير المناخي والاحتباس الحراري قلق بالنسبة لدول أوبك وللدول الأعضاء في أوابك وهي ظاهرة تحتاج إلى مزيد من التعاون والتنسيق بين الدول للوصول إلى حلول جذرية وبيئة أكثر نظافة ولكن ليس على حساب الصادرات النفطية أو الغازية. وبهذا الصدد يمكن الإشارة إلى مقترح تقنيات اصطياد وتخزين الكربون كطريقة تقلل من الأثار البيئية الضارة للنفط بالإضافة إلى استخدامها في عمليات الاستخلاص المعزز لإطالة عمر النفط.
- أعلنت بعض الدول المستهلكة الرئيسية وبصراحة بأن الهدف من دعمها وتشجيعها لصناعة الطاقات المتجددة هو تقليل اعتمادها على النفط، وبالأخص نفط الشرق الأوسط. ويبعث ذلك برسالة هامة للدول الأعضاء بأن العالم سيستغني عن النفط كمصدر رئيسي عاجلا أم آجلاً، وبالتالي يجب عليها استغلال فرصة أسعار النفط المرتفعة الحالية لتطوير اقتصاداتها بصورة مستدامة وأكثر توازناً من الاقتصادات الحالية الأحادية الجانب.

- يجب أن يكون دخول الدول الأعضاء في صناعة الطاقات المتجددة بصورة مدروسة بهدف الإلمام بتقنياتها المتقدمة وللمجالات التي يمكن فيها إستغلال تلك الطاقات في بعض الدول الأعضاء أو للمساعدة في تحرير كميات من النفط والغاز الطبيعي للتصدير في الدول الأعضاء الأخرى.

المراجع

أولا: المراجع العربية

- التقرير الاقتصادي العربي الموحد عام 2018.

- علي رجب، دراسة حول تطور الطاقات المتجددة وانعكاساتها على أسواق النفط العالمية والأقطار الأعضاء، منظمة أوابك، مجلة النفط والتعاون العربي، العدد 127، خريف 2008.

ثانيا: المراجع الأجنبية

- *IEA, World Energy Outlook 2018.*

- *OPEC, World Oil Outlook 2018.*

الملاحق

الجدول (1-أ)

تطور الطلب على مصادر الطاقة الأولية وفق المجموعات الدولية بحسب سيناريو السياسات الجديدة

أمريكا الشمالية						أمريكا الوسطى والجنوبية						أوروبا					
	2017		2040		معدل النمو %		2017		2040		معدل النمو %		2017		2040		معدل النمو %
	مليون ط م ن	%	مليون ط م ن	%	2040-2017		مليون ط م ن	%	مليون ط م ن	%	2040-2017		مليون ط م ن	%	مليون ط م ن	%	2040-2017
الفحم	359	13.7	239	8.9	(1.8)	الفحم	34	5.1	38	4.1	0.5	الفحم	332	16.5	168	9.6	(2.9)
النفط	977	37.2	851	31.6	(0.6)	النفط	274	41.0	296	32.3	0.3	النفط	632	31.5	407	23.2	(1.9)
الغاز الطبيعي	805	30.7	971	36.0	0.8	الغاز الطبيعي	147	22.0	228	24.9	1.9	الغاز الطبيعي	504	25.1	486	27.7	(0.2)
إجمالي الوقود الاحفوري	**2141**	**81.6**	**2061**	**76.5**	**(0.2)**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**455**	**68.1**	**562**	**61.4**	**0.9**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**1468**	**73.1**	**1061**	**60.5**	**(1.4)**
الطاقة الكهرومائية	64	2.4	72	2.7	0.5	الطاقة الكهرومائية	61	9.1	101	11.0	2.2	الطاقة الكهرومائية	52	2.6	67	3.8	1.1
طاقة حيوية	124	4.7	190	7.1	1,9	طاقة حيوية	135	20.2	183	20.0	1.3	طاقة حيوية	179	8.9	246	14.0	1.4
طاقات متجددة أخرى	47	1.8	167	6.2	5.7	طاقات متجددة أخرى	10	1.5	53	5.8	7.5	طاقات متجددة أخرى	66	3.3	193	11.0	4.8
إجمالي لطاقات المتجددة	**235**	**9.0**	**429**	**15.9**	**2.6**	**إجمالي لطاقات المتجددة**	**206**	**30.8**	**337**	**36.8**	**2.2**	**إجمالي لطاقات المتجددة**	**297**	**14.8**	**506**	**28.9**	**2.3**
الطاقة النووية	**247**	**9.4**	**204**	**7.6**	**(0.8)**	**الطاقة النووية**	**7**	**1.0**	**17**	**1.9**	**4.2**	**الطاقة النووية**	**243**	**12.1**	**186**	**10.6**	**(1.2)**
الإجمالي	**2623**	**100**	**2694**	**100**	**0.1**	**الإجمالي**	**668**	**100**	**916**	**100**	**1.4**	**الإجمالي**	**2008**	**100**	**1753**	**100**	**(0.6)**

أفريقيا						الشرق الأوسط						أوروآسيا					
	2017		2040		معدل النمو %		2017		2040		معدل النمو %		2017		2040		معدل النمو %
	مليون ط م ن	%	مليون ط م ن	%	2040-2017		مليون ط م ن	%	مليون ط م ن	%	2040-2017		مليون ط م ن	%	مليون ط م ن	%	2040-2017
الفحم	101	12.2	100	7.7	(0.1)	الفحم	3	0.4	9	0.8	4.5	الفحم	157	17.2	148	14.5	(0.3)
النفط	185	22.3	294	22.6	2.0	النفط	319	43.1	446	37.2	1.5	النفط	188	20.6	190	18.6	0.1
الغاز الطبيعي	121	14.6	255	19.6	3.3	الغاز الطبيعي	412	55.7	658	54.9	2.1	الغاز الطبيعي	481	52.8	531	52.1	0.4
إجمالي الوقود الاحفوري	**407**	**49.1**	**649**	**50.0**	**2.1**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**734**	**99.2**	**1113**	**92.8**	**1.8**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**826**	**90.7**	**869**	**85.3**	**0.2**
الطاقة الكهرومائية	10	1.2	35	2.7	5.3	الطاقة الكهرومائية	2	0.3	3	0.3	2.0	الطاقة الكهرومائية	22	2.4	28	2.7	1.1
طاقة حيوية	403	48.6	504	38.8	1.0	طاقة حيوية	1	0.1	11	0.9	11.4	طاقة حيوية	9	1.0	21	2.1	3.7
طاقات متجددة أخرى	6	0.7	101	7.8	13.3	طاقات متجددة أخرى	1	0.1	47	3.9	19.5	طاقات متجددة أخرى	0	0.0	25	2.5	21.7
إجمالي الطاقات المتجددة	**419**	**50.5**	**640**	**49.3**	**1.9**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**4**	**0.5**	**61**	**5.1**	**12.6**	**إجمالي لطاقات المتجددة**	**31**	**3.4**	**74**	**7.3**	**3.9**
الطاقة النووية	**3**	**0.4**	**10**	**0.8**	**4.7**	**الطاقة النووية**	**2**	**0.3**	**25**	**2.1**	**12.3**	**الطاقة النووية**	**54**	**5.9**	**76**	**7.5**	**1.5**
الإجمالي	**829**	**100**	**1299**	**100**	**2.0**	**الإجمالي**	**740**	**100**	**1199**	**100**	**2.1**	**الإجمالي**	**911**	**100**	**1019**	**100**	**0.5**

يتبع/

آسيا والمحيط الهادي						الإجمالي العالمي					
	2017		2040		معدل النمو %		2017		2040		معدل النمو %
	مليون ط م ن	%	مليون ط م ن	%	2040-2017		مليون ط م ن	%	مليون ط م ن	%	2040-2017
الفحم	2763	47.7	3108	37.9	0.5	الفحم	3749	27.6	3810	22.3	0.1
النفط	1457	25.2	1838	22.4	1.0	النفط	4032	29.7	4322	25.3	0.3
الغاز الطبيعي	637	11.0	1267	15.4	3.0	الغاز الطبيعي	3107	22.9	4396	25.7	1.5
إجمالي الوقود الاحفوري	**4857**	**83.9**	**6213**	**75.8**	**1.1**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**10888**	**80.2**	**12528**	**73.3**	**0.6**
الطاقة الكهرومائية	142	2.5	227	2.8	2.0	الطاقة الكهرومائية	353	2.6	533	3.1	1.8
طاقة حيوية	534	9.2	672	8.2	1.0	طاقة حيوية	1385	10.2	1827	10.7	1.2
طاقات متجددة أخرى	124	2.1	636	7.8	7.4	طاقات متجددة أخرى	254	1.9	1222	7.2	7.1
إجمالي الطاقات المتجددة	**800**	**13.8**	**1535**	**18.7**	**2.9**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**1992**	**14.7**	**3582**	**21.0**	**2.6**
الطاقة النووية	**132**	**2.3**	**453**	**5.5**	**5.5**	**الطاقة النووية**	**688**	**5.1**	**971**	**5.7**	**1.5**
الإجمالي	**5789**	**100**	**8201**	**100**	**1.5**	**الإجمالي**	**13568**	**100**	**17081**	**100**	**1.0**

ملاحظة : الارقام بين الاقواس تعني سالبة.

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018.

الجدول (1-ب)

تطور حصة كل مجموعة دولية من إجمالي الطلب العالمي على مصادر الطاقة الأولية،بحسب سيناريو السياسات الجديدة

أمريكا الشمالية			أمريكا الوسطى والجنوبية			أوروبا		
2017	2040		2017	2040		2017	2040	
%	%		%	%		%	%	
9.6	6.3	الفحم	0.9	1.0	الفحم	8.9	4.4	الفحم
24.2	19.7	النفط	6.8	6.8	النفط	15.7	9.4	النفط
25.9	22.1	الغاز الطبيعي	4.7	5.2	الغاز الطبيعي	16.2	11.1	الغاز الطبيعي
19.7	**16.5**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**4.2**	**4.5**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**13.5**	**8.5**	**إجمالي الوقود الاحفوري**
18.1	13.5	الطاقة الكهرومائية	17.3	18.9	الطاقة الكهرومائية	14.7	12.6	الطاقة الكهرومائية
9.0	10.4	طاقة حيوية	9.7	10.0	طاقة حيوية	12.9	13.5	طاقة حيوية
18.5	13.7	طاقات متجددة أخرى	3.9	4.3	طاقات متجددة أخرى	26.0	15.8	طاقات متجددة أخرى
11.8	**12.0**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**10.3**	**9.4**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**14.9**	**14.1**	**إجمالي الطاقات المتجددة**
35.9	**21.0**	**الطاقة النووية**	**1.0**	**1.8**	**الطاقة النووية**	**35.3**	**19.2**	**الطاقة النووية**
19.3	**15.8**	**الإجمالي**	**4.9**	**5.4**	**الإجمالي**	**14.8**	**10.3**	**الإجمالي**

افريقيا			الشرق الاوسط			اورواسيا		
2017	2040		2017	2040		2017	2040	
%	%		%	%		%	%	
2.7	2.6	الفحم	0.1	0.2	الفحم	4.2	3.9	الفحم
4.6	6.8	النفط	7.9	10.3	النفط	4.7	4.4	النفط
3.9	5.8	الغاز الطبيعي	13.3	15.0	الغاز الطبيعي	15.5	12.1	الغاز الطبيعي
3.7	**5.2**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**6.7**	**8.9**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**7.6**	**6.9**	**إجمالي الوقود الاحفوري**
2.8	6.6	الطاقة الكهرومائية	0.6	0.6	الطاقة الكهرومائية	6.2	5.3	الطاقة الكهرومائية
29.1	27.6	طاقة حيوية	0.1	0.6	طاقة حيوية	0.6	1.1	طاقة حيوية
2.4	8.3	طاقات متجددة أخرى	0.4	3.8	طاقات متجددة أخرى	0.0	2.0	طاقات متجددة أخرى
21.0	**17.9**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**0.2**	**1.7**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**1.6**	**2.1**	**إجمالي الطاقات المتجددة**
0.4	**1.0**	**الطاقة النووية**	**0.3**	**2.6**	**الطاقة النووية**	**7.8**	**7.8**	**الطاقة النووية**
6.1	**7.6**	**الإجمالي**	**5.5**	**7.0**	**الإجمالي**	**6.7**	**6.0**	**الإجمالي**

يتبع/

آسيا والمحيط الهادي			الإجمالي العالمي	
	2017	2040		2017	2040
	%	%		%	%
الفحم	73.7	81.6	الفحم	100.0	100.0
النفط	36.1	42.5	النفط	100.0	100.0
الغاز الطبيعي	20.5	28.8	الغاز الطبيعي	100.0	100.0
إجمالي الوقود الاحفوري	**44.6**	**49.6**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**100.0**	**100.0**
الطاقة الكهرومائية	40.2	42.6	الطاقة الكهرومائية	100.0	100.0
طاقة حيوية	38.6	36.8	طاقة حيوية	100.0	100.0
طاقات متجددة أخرى	48.8	52.0	طاقات متجددة أخرى	100.0	100.0
إجمالي الطاقات المتجددة	**40.2**	**42.9**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**100.0**	**100.0**
الطاقة النووية	**19.2**	**46.7**	**الطاقة النووية**	**100.0**	**100.0**
الإجمالي	**42.7**	**48.0**	**الإجمالي**	**100.0**	**100.0**

ملاحظة : الأرقام بين الاقواس تعني سالبة.

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018.

الجدول (2 - أ)

توليد الطاقة الكهربائية وفق المجموعات الدولية وبحسب سيناريو السياسات الجديدة

أمريكا الشمالية						أمريكا الوسطى والجنوبية						أوروبا					
	2017		2040		معدل النمو %		2017		2040		معدل النمو %		2017		2040		معدل النمو %
	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	2040-2017		تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	2040-2017		تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	2040-2017
الفحم	1416	27.1	920	15.2	(1.9)	الفحم	74	5.4	63	2.8	(0.7)	الفحم	945	22.7	403	8.4	(3.6)
النفط	77	1.5	11	0.2	(0.8)	النفط	149	11.0	69	3.0	(3.3)	النفط	67	1.6	14	0.3	(6.5)
الغاز الطبيعي	1569	30.0	2003	33.1	1.1	الغاز الطبيعي	258	19.0	452	19.8	2.5	الغاز الطبيعي	868	20.9	889	18.5	0.1
إجمالي الوقود الاحفوري	**3062**	**58.5**	**2934**	**48.4**		**إجمالي الوقود الاحفوري**	**481**	**35.4**	**584**	**25.6**		**إجمالي الوقود الاحفوري**	**1880**	**45.2**	**1306**	**27.2**	
الطاقة الكهرومائية	740	14.1	833	13.8	0.5	الطاقة الكهرومائية	709	52.2	1177	51.6	2.2	الطاقة الكهرومائية	608	14.6	775	16.1	1.1
طاقة حيوية	90	1.7	142	2.3	2.0	طاقة حيوية	77	5.7	122	5.3	2.0	طاقة حيوية	229	5.5	361	7.5	2.0
رياح	291	5.6	796	13.1	4.5	رياح	54	4.0	210	9.2	6.0	رياح	360	8.7	1222	25.4	5.5
طاقة جوفية	24	0.5	55	0.9	3.6	طاقة جوفية	4	0.3	24	1.1	7.6	طاقة جوفية	19	0.5	35	0.7	2,6
خلايا فوتوفولطية	70	1.3	490	8.1	8.8	خلايا فوتوفولطية	7	0.5	92	4.0	12.0	خلايا فوتوفولطية	123	3.0	340	7.1	4.5
انظمة التركيز الشمسي	3	0.1	18	0.3	7.6	انظمة التركيز الشمسي	0	0.0	8	0.4	0.0	انظمة التركيز الشمسي	6	0.1	25	0.5	6.3
بحري	0	0.0	7	0.1	27.8	بحري	0	0.0	0	0.0	0.0	بحري	1	0.0	28	0.6	18.5
إجمالي لطاقات لمتجددة	**1218**	**23.3**	**2341**	**38.6**	**2.9**	**إجمالي لطاقات لمتجددة**	**851**	**62.7**	**1633**	**71.5**	**2.9**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**1346**	**32.4**	**2786**	**58.0**	**3.2**
الطاقة النووية	**950**	**18.2**	**783**	**12.9**	**(0.8)**	**الطاقة النووية**	**26**	**1.9**	**66**	**2.9**	**4.2**	**الطاقة النووية**	**930**	**22.4**	**712**	**14.8**	**(1.2)**
الإجمالي	**5230**	**100**	**6058**	**100**	**0.6**	**الإجمالي**	**1358**	**100**	**2283**	**100**	**2.3**	**الإجمالي**	**4156**	**100**	**4804**	**100**	**0.6**

يتبع/

أفريقيا						الشرق الأوسط						أوروآسيا					
	2017		2040		معدل النمو %		2017		2040		معدل النمو %		2017		2040		معدل النمو %
	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	2040-2017		تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	2040-2017		تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	2040-2017
الفحم	256	30.8	241	12.1	(3.3)	الفحم	0	0.0	27	1.2	19.0	الفحم	249	18.4	240	13.7	(0.2)
النفط	92	11.1	95	4.8	0.1	النفط	311	28.1	249	11.5	(1.0)	النفط	13	1.0	2	0.1	(7.8)
الغاز الطبيعي	324	39.0	708	35.4	3.5	الغاز الطبيعي	760	68.7	1402	64.7	2.7	الغاز الطبيعي	631	46.5	777	44.3	0.9
إجمالي الوقود الاحفوري	**672**	**80.9**	**1044**	**52.3**		**إجمالي الوقود الاحفوري**	**1071**	**96.8**	**1678**	**77.4**		**إجمالي الوقود الاحفوري**	**893**	**65.9**	**1019**	**58.1**	**0.6**
الطاقة الكهرومائية	122	14.7	403	20.2	5.3	الطاقة الكهرومائية	23	2.1	36	1.7	2.0	الطاقة الكهرومائية	251	18.5	321	18.3	1.1
طاقة حيوية	2	0.2	36	1.8	13.2	طاقة حيوية	0	0.0	23	1.1	35.1	طاقة حيوية	3	0.2	35	2.0	11.3
رياح	12	1.4	117	5.9	10.6	رياح	1	0.1	100	4.6	20.2	رياح	1	0.1	65	3.7	19.9
طاقة جوفية	5	0.6	63	3.2	11.8	طاقة جوفية	0	0.0	0	0.0	0.0	طاقة جوفية	1	0.1	21	1.2	14.1
خلايا فوتوفولطية	4	0.5	247	12.4	19.4	خلايا فوتوفولطية	3	0.3	189	8.7	19.8	خلايا فوتوفولطية	1	0.1	5	0.3	7.2
أنظمة التركيز الشمسي	1	0.1	49	2.5	18.1	أنظمة التركيز الشمسي	1	0.1	46	2.1	20.9	أنظمة التركيز الشمسي	0	0.0	0	0.0	0.0
بحري	0	0.0	0	0.0	0.0	بحري	0	0.0	0	0.0	0.0	بحري	0	0.0	0	0.0	0.0
إجمالي الطاقات المتجددة	**146**	**17.6**	**915**	**45.8**	**4.3**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**28**	**2.5**	**394**	**18.2**	**12.2**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**257**	**19.0**	**447**	**25.5**	**2.4**
الطاقة النووية	**13**	**1.6**	**39**	**2.0**	**4.7**	**الطاقة النووية**	**7**	**0.6**	**96**	**4.4**	**12.3**	**الطاقة النووية**	**206**	**15.2**	**289**	**16.5**	**1.5**
الإجمالي	**831**	**100**	**1998**	**100**	**3.9**	**الإجمالي**	**1106**	**100**	**2168**	**100**	**3.0**	**الإجمالي**	**1356**	**100**	**1755**	**100**	**1.1**

آسيا والمحيط الهادي						الاجمالي العالمي					
	2017		2040		معدل النمو %		2017		2040		معدل النمو %
	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	2040-2017		تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	2040-2017
الفحم	6918	59.6	8442	39.6	0.9	الفحم	9858	38.4	10336	25.6	0.2
النفط	231	2.0	87	0.4	(4.2)	النفط	940	3.7	527	1.3	(2.5)
الغاز الطبيعي	1446	12.5	2840	13.3	3.0	الغاز الطبيعي	5856	22.8	9071	22.4	1.9
إجمالي الوقود الاحفوري	**8595**	**74.1**	**11369**	**53.3**		**إجمالي الوقود الاحفوري**	**16654**	**64.9**	**19934**	**49.3**	**0.8**
الطاقة الكهرومائية	1657	14.3	2634	12.3	2.0	الطاقة الكهرومائية	4110	16.0	6179	15.3	1.8
طاقة حيوية	222	1.9	708	3.3	5.2	طاقة حيوية	623	2.4	1427	3.5	3.7
رياح	365	3.1	2180	10.2	8.1	رياح	1084	4.2	4690	11.6	6.6
طاقة جوفية	34	0.3	145	0.7	6.5	طاقة جوفية	87	0.3	343	0.8	6.1
خلايا فوتوفولطية	226	1.9	2477	11.6	11.0	خلايا فوتوفولطية	434	1.7	3840	9.5	9.9
أنظمة التركيز الشمسي	0	0.0	76	0.4	0.0	أنظمة التركيز الشمسي	11	0.0	222	0.5	13.9
بحري	1	0.0	16	0.1	0.0	بحري	2	0.0	51	0.1	15.1
إجمالي الطاقات المتجددة	**2505**	**21.6**	**8236**	**38.6**	**5.3**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**6351**	**24.8**	**16752**	**41.5**	**4.3**
الطاقة النووية	**505**	**4.4**	**1740**	**8.2**	**5.5**	**الطاقة النووية**	**2637**	**10.3**	**3725**	**9.2**	**1.5**
الإجمالي	**11605**	**100**	**21345**	**100**	**2.7**	**الإجمالي**	**25642**	**100**	**40411**	**100**	**2.0**

ملاحظة : الأرقام بين الاقواس تعني سالبة.

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018.

جدول (2-ب)

حصة كل مجموعة دولية من الإجمالي العالمي للطاقة الكهربائية المولدة بحسب سيناريو السياسات الجديدة

امريكا الشمالية			امريكا الوسطى والجنوبية			اوروبا	
2017	2040		2017	2040		2017	2040
%	%		%	%		%	%
الفحم	14.4	8.9	الفحم	0.8	0.6	الفحم	9.6	3.9
النفط	8.2	2.1	النفط	15.9	13.1	النفط	7.1	2.7
الغاز الطبيعي	26.8	22.1	الغاز الطبيعي	4.4	5.0	الغاز الطبيعي	14.8	9.8
إجمالي الوقود الاحفوري	**18.4**	**14.7**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**2.9**	**2.9**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**11.3**	**6.6**
الطاقة الكهرومائية	18.0	13.5	الطاقة الكهرومائية	17.3	19.0	الطاقة الكهرومائية	14.8	12.5
طاقة حيوية	14.4	10.0	طاقة حيوية	12.4	8.5	طاقة حيوية	36.8	25.3
رياح	26.8	17.0	رياح	5.0	4.5	رياح	33.2	26.1
طاقة جوفية	27.6	16.0	طاقة جوفية	4.6	7.0	طاقة جوفية	21.8	10.2
خلايا فوتوفولطية	16.1	12.8	خلايا فوتوفولطية	1.6	2.4	خلايا فوتوفولطية	28.3	8.9
أنظمة التركيز الشمسي	27.3	8.1	أنظمة التركيز الشمسي	0.0	3.6	أنظمة التركيز الشمسي	54.5	11.3
بحري	0.0	13.7	بحري	0.0	0.0	بحري	50.0	54.9
إجمالي الطاقات المتجددة	**19.2**	**14.0**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**13.4**	**9.7**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**21.2**	**16.6**
الطاقة النووية	**36.0**	**21.0**	**الطاقة النووية**	**1.0**	**1.8**	**الطاقة النووية**	**35.3**	**19.1**
الإجمالي	**20.4**	**15.0**	**الإجمالي**	**5.3**	**5.6**	**الإجمالي**	**16.2**	**11.9**

يتبع/

افريقيا			الشرق الاوسط			اوروآسيا	
2017	2040		2017	2040		2017	2040
%	%		%	%		%	%
الفحم	2.3	2.6	الفحم	0.0	0.3	الفحم	2.5	2.3
النفط	18.0	9.8	النفط	33.1	47.2	النفط	1.4	0.4
الغاز الطبيعي	7.8	5.5	الغاز الطبيعي	13.0	15.5	الغاز الطبيعي	10.8	8.6
إجمالي الوقود الاحفوري	**5.2**	**4.0**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**6.4**	**8.4**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**5.4**	**5.1**
الطاقة الكهرومائية	6.5	3.0	الطاقة الكهرومائية	0.6	0.6	الطاقة الكهرومائية	6.1	5.2
طاقة حيوية	2.5	0.3	طاقة حيوية	0.0	1.6	طاقة حيوية	0.5	2.5
رياح	2.5	1.1	رياح	0.1	2.1	رياح	0.1	1.4
طاقة جوفية	18.4	5.7	طاقة جوفية	0.0	0.0	طاقة جوفية	1.1	6.1
خلايا فوتوفولطية	6.4	0.9	خلايا فوتوفولطية	0.7	4.9	خلايا فوتوفولطية	0.2	0.1
أنظمة التركيز الشمسي	22.1	9.1	أنظمة التركيز الشمسي	9.1	20.7	أنظمة التركيز الشمسي	0.0	0.0
بحري	0.0	0.0	بحري	0.0	0.0	بحري	0.0	1.9
إجمالي الطاقات المتجددة	**5.5**	**2.3**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**0.4**	**2.4**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**4.0**	**2.7**
الطاقة النووية	**1.0**	**0.5**	**الطاقة النووية**	**0.3**	**2.6**	**الطاقة النووية**	**7.8**	**7.8**
الإجمالي	**4.9**	**3.2**	**الإجمالي**	**4.3**	**5.4**	**الإجمالي**	**5.3**	**4.3**

يتبع/

آسيا والمحيط الهادي			الاجمالي العالمي		
	2017	2040		2017	2040
	%	%		%	%
الفحم	70.2	81.7	الفحم	100	100
النفط	24.6	16.5	النفط	100	100
الغاز الطبيعي	24.7	31.3	الغاز الطبيعي	100	100
إجمالي الوقود الاحفوري	**51.6**	**57.0**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**100.0**	**100.0**
الطاقة الكهرومائية	40.3	42.6	الطاقة الكهرومائية	100	100
طاقة حيوية	35.6	49.6	طاقة حيوية	100	100
رياح	33.7	46.5	رياح	100	100
طاقة جوفية	39.1	42.3	طاقة جوفية	100	100
خلايا فوتوفولطية	52.1	64.5	خلايا فوتوفولطية	100	100
أنظمة التركيز الشمسي	0.0	34.2	أنظمة التركيز الشمسي	100	100
بحري	50.0	31.4	بحري	100	100
إجمالي الطاقات المتجددة	**39.4**	**49.2**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**100.0**	**100.0**
الطاقة النووية	**19.2**	**46.7**	**الطاقة النووية**	**100.0**	**100.0**
الإجمالي	**45.3**	**52.8**	**الإجمالي**	**100.0**	**100.0**

ملاحظة : الأرقام بين الاقواس تعني سالبة.

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018.

الجدول (3-أ)

تطور إجمالي الطلب على مصادر الطاقة الأولية وفق المجموعات الدولية بحسب سيناريو التنمية المستدامة

أمريكا الشمالية	2017		2040		معدل النمو %	أمريكا الوسطى والجنوبية	2017		2040		معدل النمو %	أوروبا	2017		2040		معدل النمو %
	مليون طم ن	%	مليون طم ن	%	2040-2017		مليون طم ن	%	مليون طم ن	%	2040-2017		مليون طم ن	%	مليون طم ن	%	2040-2017
الفحم	359	13.7	45	2.1	(8.7)	الفحم	34	5.1	20	2.7	(2.3)	الفحم	332	16.5	78	5.1	(6.1)
النفط	977	37.2	518	24.6	(2.7)	النفط	274	41.0	185	25.2	(1.7)		632	31.5	233	15.2	(4.2)
الغاز الطبيعي	805	30.7	676	32.1	(0.8)	الغاز الطبيعي	147	22.0	155	21.1	0.2	الغاز الطبيعي	504	25.1	368	24.0	(1.4)
إجمالي الوقود الاحفوري	**2141**	**81.6**	**1239**	**58.8**	**(2.3)**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**455**	**68.1**	**360**	**49.0**	**(1.0)**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**1468**	**73.1**	**679**	**44.3**	**(3.3)**
الطاقة الكهرومائية	64	2.4	73	3.5	0.6	الطاقة الكهرومائية	61	9.1	103	14.0	2.3	الطاقة الكهرومائية	52	2.6	71	4.6	1.3
طاقة حيوية	124	4.7	225	10.7	2.6	طاقة حيوية	135	20.2	180	24.5	1.3	طاقة حيوية	179	8.9	265	17.3	1.7
طاقات متجددة أخرى	47	1.8	328	15.6	8.8	طاقات متجددة أخرى	10	1.5	71	9.7	8.8	طاقات متجددة أخرى	66	3.3	261	17.0	6.1
إجمالي الطاقات المتجددة	**235**	**9.0**	**626**	**29.7**	**4.3**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**206**	**30.8**	**354**	**49.2**	**2.4**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**297**	**14.8**	**597**	**38.9**	**3.1**
الطاقة النووية	247	9.4	243	11.5	(0.1)	الطاقة النووية	7	1.0	20	2.7	4.8	الطاقة النووية	243	12.1	257	16.8	0.3
الإجمالي	**2623**	**100**	**2108**	**100**	**(1.0)**	**الإجمالي**	**668**	**100**	**734**	**100**	**0.4**	**الإجمالي**	**2008**	**100**	**1533**	**100**	**(1.2)**

يتبع/

أفريقيا	2017		2040		معدل النمو %
	مليون طن	%	مليون طن	%	2040-2017
النفط	111	12.2	98	7.2	(2.4)
الغاز	185	20.3	225	27.8	0.9
الغاز الطبيعي	121	14.6	166	20.5	1.4
إجمالي الوقود الأحفوري	417	49.1	489	55.5	0.4
الطاقة الكهرومائية	35	3.2	40	4.9	6.0
طاقة حيوية	403	48.6	332	16.3	(1.7)
طاقات متجددة أخرى	6	0.7	174	21.5	16.0
إجمالي الطاقات المتجددة	439	50.5	346	42.8	(0.8)
الطاقة النووية	3	0.4	14	1.7	6.3
الإجمالي	829	100	809	100	(0.1)

الشرق الأوسط	2017		2040		معدل النمو %
	مليون طن	%	مليون طن	%	2040-2017
النفط	3	0.4	5	0.5	1.9
الغاز	319	43.1	287	30.0	(0.5)
الغاز الطبيعي	412	55.7	451	47.2	0.4
إجمالي الوقود الأحفوري	734	99.2	743	77.7	0.1
الطاقة الكهرومائية	2	0.3	4	0.4	2.9
طاقة حيوية	1	0.1	14	1.5	12.5
طاقات متجددة أخرى	1	0.1	150	15.7	25.2
إجمالي الطاقات المتجددة	4	0.5	168	17.6	17.6
الطاقة النووية	2	0.3	45	4.7	15.3
الإجمالي	740	100	956	100	1.1

أوروآسيا	2017		2040		معدل النمو %
	مليون طن	%	مليون طن	%	2040-2017
النفط	157	17.2	75	8.5	(3.3)
الغاز	188	20.6	157	18.4	(0.8)
الغاز الطبيعي	481	52.8	405	47.4	(0.7)
إجمالي الوقود الأحفوري	826	90.7	635	74.4	(1.1)
الطاقة الكهرومائية	22	2.4	39	4.6	2.6
طاقة حيوية	9	1.0	37	4.3	6.2
طاقات متجددة أخرى	0	0.0	50	5.9	25.4
إجمالي الطاقات المتجددة	31	3.4	126	14.8	8.3
الطاقة النووية	54	5.9	93	10.9	2.4
الإجمالي	911	100	854	100	(0.3)

أسيا والمحيط الهادي	2017		2040		معدل النمو %
	مليون طن	%	مليون طن	%	2040-2017
النفط	2763	47.7	1318	20.9	(3.2)
الغاز	1457	25.2	1229	19.5	(0.7)
الغاز الطبيعي	637	11.0	1198	19.0	2.8
إجمالي الوقود الأحفوري	4857	83.9	3745	59.4	(1.1)
الطاقة الكهرومائية	142	2.5	271	4.3	2.8
طاقة حيوية	534	9.2	567	9.0	0.3
طاقات متجددة أخرى	124	2.1	1100	17.5	10.0
إجمالي الطاقات المتجددة	800	13.8	1935	30.7	3.9
الطاقة النووية	132	2.3	620	9.8	7.0
الإجمالي	5789	100	6303	100	0.4

إجمالي العالم	2017		2040		معدل النمو %
	مليون طن	%	مليون طن	%	2040-2017
النفط	3749	27.6	1597	12.0	(3.6)
الغاز	4032	29.7	2834	21.3	(1.5)
الغاز الطبيعي	3107	22.9	3419	25.7	1.4
إجمالي الوقود الأحفوري	10888	80.2	7850	59.0	2.3
الطاقة الكهرومائية	353	2.6	601	4.5	0.1
طاقة حيوية	1385	10.2	1420	10.7	9.7
طاقات متجددة أخرى	254	1.9	2134	16.0	3.2
إجمالي الطاقات المتجددة	1992	14.7	4155	31.2	8.2
الطاقة النووية	688	5.1	1292	9.7	2.8
الإجمالي	13568	100	13297	100	(0.1)

ملاحظة : الأرقام بين الأقواس تعني سالبة

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018.

الجدول (3-ب)

تطور حصة كل مجموعة دولية من إجمالي الطلب على مصادر الطاقة الأولية،بحسب سيناريو التنمية المستدامة

أمريكا الشمالية	2017 %	2040 %	أمريكا الوسطى والجنوبية	2017 %	2040 %	أوروبا	2017 %	2040 %
الفحم	9.6	2.8	الفحم	0.9	1.3	الفحم	8.9	4.9
النفط	24.2	18.3	النفط	6.8	6.5	النفط	15.7	8.2
الغاز الطبيعي	25.9	19.8	الغاز الطبيعي	4.7	4.5	الغاز الطبيعي	16.2	10.8
إجمالي الوقود الاحفوري	**19.7**	**15.8**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**4.2**	**4.6**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**13.5**	**8.6**
الطاقة الكهرومائية	18.1	12.1	الطاقة الكهرومائية	17.3	17.1	الطاقة الكهرومائية	14.7	11.8
طاقة حيوية	9.0	15.8	طاقة حيوية	9.7	12.7	طاقة حيوية	12.9	18.7
طاقات متجددة أخرى	18.5	15.4	طاقات متجددة أخرى	3.9	3.3	طاقات متجددة أخرى	26.0	12.2
إجمالي الطاقات المتجددة	**11.8**	**15.1**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**10.3**	**8.5**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**14.9**	**14.4**
الطاقة النووية	**35.9**	**18.8**	**الطاقة النووية**	**1.0**	**1.5**	**الطاقة النووية**	**35.3**	**19.9**
الإجمالي	**19.3**	**15.9**	**الإجمالي**	**4.9**	**5.5**	**الإجمالي**	**14.8**	**12**

يتبع/

أفريقيا	2017 %	2040 %	الشرق الأوسط	2017 %	2040 %	أوروآسيا	2017 %	2040 %
الفحم	2.7	3.6	الفحم	0.1	0.3	الفحم	4.2	4.6
النفط	4.6	7.9	النفط	7.9	10.1	النفط	4.7	5.5
الغاز الطبيعي	3.9	4.9	الغاز الطبيعي	13.3	13.2	الغاز الطبيعي	15.5	11.8
إجمالي الوقود الاحفوري	**3.7**	**5.7**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**6.7**	**9.5**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**7.6**	**8.1**
الطاقة الكهرومائية	2.8	6.7	الطاقة الكهرومائية	0.6	0.7	الطاقة الكهرومائية	6.2	6.5
طاقة حيوية	29.1	9.3	طاقة حيوية	0.1	1.0	طاقة حيوية	0.6	2.6
طاقات متجددة أخرى	2.4	8.2	طاقات متجددة أخرى	0.4	7.0	طاقات متجددة أخرى	0.0	2.3
إجمالي الطاقات المتجددة	**21.0**	**8.3**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**0.2**	**4.0**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**1.6**	**3.0**
الطاقة النووية	**0.4**	**1.1**	**الطاقة النووية**	**0.3**	**3.5**	**الطاقة النووية**	**7.8**	**7.2**
الإجمالي	**6.1**	**6.1**	**الإجمالي**	**5.5**	**7.2**	**الإجمالي**	**6.7**	**6.4**

آسيا والمحيط الهادي	2017 %	2040 %	إجمالي العالم	2017 %	2040 %
الفحم	73.7	82.5	الفحم	100.0	100.0
النفط	36.1	43.4	النفط	100.0	100.0
الغاز الطبيعي	20.5	35.0	الغاز الطبيعي	100.0	100.0
إجمالي الوقود الاحفوري	**44.6**	**47.7**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**100.0**	**100.0**
الطاقة الكهرومائية	40.2	45.1	الطاقة الكهرومائية	100.0	100.0
طاقة حيوية	38.6	39.9	طاقة حيوية	100.0	100.0
طاقات متجددة أخرى	48.8	51.5	طاقات متجددة أخرى	100.0	100.0
إجمالي الطاقات المتجددة	**40.2**	**46.6**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**100.0**	**100.0**
الطاقة النووية	**19.2**	**48.0**	**الطاقة النووية**	**100.0**	**100.0**
الإجمالي	**42.7**	**47.4**	**الإجمالي**	**100**	**100**

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018.

الجدول (4-ب)

توليد الطاقة الكهربائية وفق المجموعات الدولية وبحسب سيناريو التنمية المستدامة

أمريكا الشمالية	2017 %	2040 %	أمريكا الوسطى والجنوبية	2017 %	2040 %	أوروبا	2017 %	2040 %
الفحم	14.4	4.6	الفحم	0.8	0.3	الفحم	9.6	3.4
النفط	8.2	5.1	النفط	15.9	6.1	النفط	7.1	5.1
الغاز الطبيعي	26.8	17.1	الغاز الطبيعي	4.4	2.3	الغاز الطبيعي	14.8	10.6
إجمالي الوقود الاحفوري	**18.4**	**13.5**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**2.9**	**1.8**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**11.3**	**8.5**
الطاقة الكهرومائية	18.0	12.1	الطاقة الكهرومائية	17.3	17.2	الطاقة الكهرومائية	14.8	11.7
طاقة حيوية	14.4	11.2	طاقة حيوية	12.4	6.8	طاقة حيوية	36.8	21.8
رياح	26.8	20.7	رياح	5.0	3.4	رياح	33.2	20.2
طاقة حرفية	27.6	14.2	طاقة حرفية	4.6	5.4	طاقة حرفية	21.8	8.5
خلايا فوتوفولطية	16.1	12.1	خلايا فوتوفولطية	1.6	1.9	خلايا فوتوفولطية	28.3	7.3
أنظمة التركيز الشمسي	27.3	21.5	أنظمة التركيز الشمسي	0.0	2.1	أنظمة التركيز الشمسي	54.5	5.3
بحري	0.0	17.9	بحري	0.0	1.3	بحري	50.0	46.2
إجمالي الطاقات المتجددة	**19.2**	**15.1**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**13.4**	**7.2**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**21.2**	**13.8**
الطاقه النوويه	**36.0**	**18.8**	**الطاقه النوويه**	**1.0**	**1.5**	**الطاقه النوويه**	**35.3**	**19.9**
الإجمالي	20.4	15.3	الإجمالي	5.3	5.4	الإجمالي	16.2	13.6

يتبع/

2040	2017	أوروآسيا	2040	2017	الشرق الأوسط	2040	2017	أفريقيا
%	%		%	%		%	%	
1.8	2.5	الفحم	0.6	0	الفحم	4.3	2.6	الفحم
1.0	1.4	النفط	29.1	33.1	النفط	19.9	9.8	النفط
6.5	10.8	الغاز الطبيعي	11.8	13.0	الغاز الطبيعي	5.5	5.5	الغاز الطبيعي
5.1	**5.4**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**9.3**	**6.4**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**5.6**	**4.0**	**إجمالي الوقود الاحفوري**
6.5	6.1	الطاقة الكهرومائية	0.6	0.6	الطاقة الكهرومائية	6.7	3.0	الطاقة الكهرومائية
4.7	0.5	طاقة حيوية	1.5	0.0	طاقة حيوية	2.3	0.3	طاقة حيوية
1.6	0.1	رياح	4.4	0.1	رياح	2.5	1.1	رياح
7.0	1.1	طاقة حرفية	0.0	0.0	طاقة حرفية	14.0	5.7	طاقة حرفية
0.2	0.2	خلايا فوتوفولطية	5.3	0.7	خلايا فوتوفولطية	9.8	0.9	خلايا فوتوفولطية
0.0	0.0	أنظمة التركيز الشمسي	23.5	9.1	أنظمة التركيز الشمسي	13.5	9.1	أنظمة التركيز الشمسي
1.3	0.0	بحري	1.3	0.0	بحري	1.3	0.0	بحري
2.9	**4.0**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**3.9**	**0.4**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**6.2**	**2.3**	**إجمالي الطاقات المتجددة**
7.2	**7.8**	**الطاقة النووية**	**3.5**	**0.3**	**الطاقة النووية**	**1.1**	**0.5**	**الطاقة النووية**
4.0	**5.3**	**الإجمالي**	**4.9**	**4.3**	**الإجمالي**	**5.4**	**3.2**	**الإجمالي**

يتبع/

2040	2017	إجمالي العالم	2040	2017	آسيا والمحيط الهادي
%	%		%	%	
100	100	الفحم	85.0	70.2	الفحم
100	100	النفط	33.7	24.6	النفط
100	100	الغاز الطبيعي	46.3	24.7	الغاز الطبيعي
100.0	**100.0**	**إجمالي الوقود الاحفوري**	**56.1**	**51.6**	**إجمالي الوقود الاحفوري**
100	100	الطاقة الكهرومائية	45.1	40.3	الطاقة الكهرومائية
100	100	طاقة حيوية	51.7	35.6	طاقة حيوية
100	100	رياح	47.2	33.7	رياح
100	100	طاقة جوفية	50.9	39.1	طاقة جوفية
100	100	خلايا فوتوفولطية	63.3	52.1	خلايا فوتوفولطية
100	100	أنظمة التركيز الشمسي	34.2	0.0	أنظمة التركيز الشمسي
100	100	بحري	30.8	50.0	بحري
100.0	**100.0**	**إجمالي الطاقات المتجددة**	**50.8**	**39.4**	**إجمالي الطاقات المتجددة**
100	**100**	**الطاقه النوويه**	**48.0**	**19.2**	**الطاقه النوويه**
100.0	**100.0**	**الإجمالي**	**51.5**	**45.3**	**الإجمالي**

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير افاق الطاقة العالمية عام 2018.

الجدول (5 أ-هـ)

تطور إجمالي الطلب على الوقود الاحفوري، بحسب السيناريو

(مليون ط م ن)

جدول أ	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة	الفرق
2017	10888	10888	0
2025	12061	10833	(1228)
2030	12433	9955	(2478)
2040	12528	7850	(4678)

تطور إجمالي الطلب على النفط، بحسب السيناريو

مليون ط م ن

جدول ب	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة	الفرق
2017	4032	4032	0
2025	4754	4334	(420)
2030	4830	3985	(845)
2040	4322	2834	(1488)

تطور إجمالي الطلب على الغاز الطبيعي، بحسب السيناريو

مليون ط م ن

جدول ج	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة	الفرق
2017	3107	3107	0
2025	3539	3454	(85)
2030	3820	3554	(266)
2040	4396	3419	(977)

يتبع/

تطور إجمالي الطلب على الطاقة النووية، بحسب السيناريو

مليون ط م ن

جدول د	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة	الفرق
2017	688	688	0
2025	805	861	56
2030	848	1013	165
2040	971	1292	321

تطور إجمالي الطلب على الطاقات المتجددة، بحسب السيناريو

مليون ط م ن

جدول هـ	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة	الفرق
2017	1992	1992	0
2025	2521	2452	(69)
2030	2885	2852	(33)
2040	3605	4237	632

ملاحظة : الأرقام بين الأقواس تعني سالبة.

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018، ملحق الجداول ص 526 و ص 527

الجدول (6)

مقارنة تطور مزيج الطاقة الأولية المستهلكة عالميا وفق السيناريو، 2017-2040

	فعلي 2017	سيناريو السياسات الجديدة 2040	سيناريو التنمية المستدامة 2040
الفحم	27.6	22.3	12.0
النفط	29.7	25.3	21.3
الغاز الطبيعي	22.9	25.7	25.7
الطاقة النووية	5.1	5.7	9.7
الطاقة الكهرومائية	2.6	3.1	4.5
طاقة حيوية	10.2	10.7	10.7
طاقات متجددة أخرى	1.9	7.2	16.0
الإجمالي	**100.0**	**100.0**	**99.9**

المصدر: وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018.

الجدول (7 أ-هـ)

تطور توليد الكهرباء باستخدام الوقود الاحفوري

تيرا وات ساعة

جدول أ	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة	الفرق
2017	16654	16654	0
2025	17488	14608	(2880)
2030	18209	12090	(6119)
2040	19934	7536	(12398)

تطور توليد الكهرباء باستخدام النفط

تيرا وات ساعة

جدول ب	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة	الفرق
2017	940	940	0
2025	763	605	(158)
2030	676	413	(263)
2040	527	196	(331)

تطور توليد الكهرباء باستخدام الغاز الطبيعي

تيرا وات ساعة

جدول ج	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة	الفرق
2017	5856	5856	0
2025	6829	6810	(19)
2030	7517	6830	(687)
2040	9071	5359	(3712)

يتبع/

تطور توليد الكهرباء باستخدام الطاقة النووية

تيرا وات ساعة

جدول د	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة	الفرق
2017	2637	2637	0
2025	3089	3303	214
2030	3253	3888	635
2040	3725	4960	1235

تطور توليد الكهرباء باستخدام الطاقات المتجددة

تيرا وات ساعة

جدول هـ	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة	الفرق
2017	6351	6351	0
2025	9644	10918	1274
2030	12018	15151	3133
2040	16752	24585	7833

ملاحظة : الأرقام بين الاقواس تعني سالبة.

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018.

الجدول (8)

مقارنة تطور المزيج المتوقع لمصادر الطاقة المستهلكة في قطاع توليد الكهرباء وفق السيناريو، 2017-2040

	فعلي 2017	سيناريو السياسات الجديدة 2040	سيناريو التنمية المستدامة 2040
الفحم	38.4	25.6	5.3
النفط	3.7	1.3	0.5
الغاز الطبيعي	22.8	22.4	14.4
الطاقة النووية	10.3	9.2	13.4
الطاقة الكهرومائية	16.0	15.3	18.9
طاقة حيوية	2.4	3.5	5.3
رياح	4.2	11.6	20.8
خلايا فوتوفولطية	1.7	9.5	17.3
طاقات متجددة أخرى	0.5	**1.6**	**4.1**
الإجمالي	100.0	100.0	100.0

المصدر: وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018.

الجدول (9)

تطور الامدادات النفطية العالمية وفق المجموعات الدولية، وفق سيناريو السياسات الجديدة و سيناريو التنمية المستدامة

(ي / مليون ب)

	فعلي	سيناريو السياسات الجديدة		سيناريو التنمية المستدامة		مقدار ونسبة الانخفاض*			
	2017	2030	2040	2030	2040	2030	%	2040	%
بلدان أوبك									
النفط الخام	31.7	32.7	34.2						
سوائل الغاز الطبيعي	6.6	8.2	9.9						
نفوط غير تقليدية	1.3	1.3	2.3						
المجموع	**39.6**	**42.3**	**46.3**	**35.8**	**29.9**	**-6.5**	**-15.4**	**-16.4**	**-35.4**
بلدان خارج أوبك									
النفط الخام	35.2	33	29.6						
سوائل الغاز الطبيعي	10	11.7	11.2						
نفوط غير تقليدية	8	14.7	16.3						
المجموع	**53.2**	**59.4**	**57.1**	**49**	**38.1**	**-10.4**	**-17.5**	**-19**	**-38.8**
الإجمالي العالمي									
النفط الخام	66.9	65.7	63.8	54.2	40.2	-11.5	-17.5	-23.6	-37.0
سوائل الغاز الطبيعي	16.6	19.9	21.1	17.2	15.6	-2.7	-13.6	-5.5	-26.1
نفوط غير تقليدية	9.3	16	18.5	12.1	12.3	-3.9	-24.4	-6.2	-33.5
المجموع**	**92.8**	**101.6**	**103.4**	**83.5**	**68.1**	**-18.1**	**-17.8**	**-35.3**	**-34.1**

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018، مشتق من الجداول 3.1- 3.4 في التقرير.

*المستدامة بسيناريو السياسات الجديدة عند مقارنة سيناريو التنمية

**لايشتمل على هوامش التكرير

الجدول (10)

تطور الامدادات النفطية* من بلدان أوبك، وفق سيناريو السياسات الجديدة

(ي / مليون ب)

	فعلي	سيناريو السياسات الجديدة		سيناريو التنمية المستدامة	
	2017	2030	2040	2030	2040
الدول الأعضاء في أوبك و أوابك					
الامارات العربية	3.8	4.1	4.4		
الجزائر	1.5	1.4	1.3		
السعودية	12.0	12.7	13.3		
العراق	4.6	5.6	6.8		
قطر	2.0	2.4	2.6		
الكويت	3.0	3.5	3.4		
ليبيا	0.9	1.2	1.6		
مجموع الدول العربية الأعضاء في أوبك و أوابك	**27.8**	**30.9**	**33.4**		
حصة الدول الأعضاء في أوابك من الاجمالي العالمي	**30.0**	**30.4**	**32.3**		
باقي الدول الأعضاء في أوبك	**11.8**	**11.4**	**12.9**		
مجموع بلدان أوبك	**39.6**	**42.3**	**46.3**	**35.8**	**29.9**
حصة بلدان أوبك من الاجمالي العالمي %	**42.7**	**41.6**	**44.8**	**42.9**	**43.9**
الاجمالي العالمي**	**92.8**	**101.6**	**103.4**	**83.5**	**68.1**

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018.

*تحويل الغاز الى سوائل الغاز الطبيعي والنفوط غير التقليدية المتضمنة للخام الثقيل جدا الفنزويلي و تشتمل على النفط الخام و سوائل

**لايشتمل على هوامش التكرير

الجدول (11)

تطور الامدادات النفطية * للدول الأعضاء فى أوبك وأوابك، وفق سيناريو السياسات الجديدة و سيناريو التنمية المستدامة

(ي / مليون ب)

	فعلي	سيناريو السياسات الجديدة		سيناريو التنمية المستدامة		مقدار الانخفاض**
	2017	2030	2040	2030	2040	2040
مجموع الدول العربية الأعضاء فى أوبك وأوابك	27.8	30.9	33.4			
حصة الدول الأعضاء فى أوابك من الاجمالى العالمى %	30.0	30.4	32.3			
باقى الدول الأعضاء فى أوبك	11.8	11.4	12.9			
مجموع بلدان أوبك	39.6	42.3	46.3	35.8	29.9	(16.4)
حصة بلدان أوبك من الاجمالى العالمى %	42.7	41.6	44.8	42.9	44.0	
حصة الدول الأعضاء فى أوابك من إجمالى أوبك %	70.2	73.0	72.1			
مجموع بلدان خارج أوبك	53.2	59.3	57.1	49	38.1	(19.0)
حصة بلدان خارج أوبك من الاجمالى العالمى %	57.3	58.4	55.2	58.7	56.0	
الاجمالى العالمى	92.8	101.6	103.4	83.5	68	(35.4)

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018.

*تحويل الغاز الى سوائل الغاز الطبيعي والنفوط غير التقليدية المتضمنة للخام الثقيل جدا الفنزويلي و تشتمل على النفط الخام و سوائل

**عند مقارنة سيناريو التنمية المستدامة بسيناريو السياسات الجديدة لعام 2040

الجدول (12)

تطور الامدادات النفطية العالمية وفق المجموعات الدولية، وفق سيناريو السياسات الجديدة و سيناريو التنمية المستدامة

(ي / مليون ب)

	فعلي	سيناريو السياسات الجديدة		سيناريو التنمية المستدامة		مقدار ونسبة الانخفاض*			
	2017	2030	2040	2030	2040	2030	2040	%	2040
الإنتاج العالمي وفق المجموعات الدولية									
أمريكا الشمالية	20.3	26.3	25.3	22.4	18.5	-3.9	-6.8	-14.8	-26.9
أمريكا الجنوبية والوسطى	7.3	8	9.9	6	5.1	-2	-4.8	-25.0	-48.5
أوروبا	3.7	3.5	2.8	3.1	2.2	-0.4	-0.6	-11.4	-21.4
أفريقيا	8.2	8.1	8.7	6.5	5.4	-1.6	-3.3	-19.8	-37.9
الشرق الأوسط	31.3	34.7	37.2	30	24.8	-4.7	-12.4	-13.5	-33.3
أوروسيا	14.3	14.2	12.6	11.3	7.8	-2.9	-4.8	-20.4	-38.1
آسيا المحيط الهادي	7.7	6.7	6.8	5.5	4.1	-1.2	-2.7	-17.9	-39.7
المجموع	**92.8**	**101.5**	**103.4**	**84.8**	**67.9**	**-16.7**	**-35.5**	**-16.5**	**-34.3**

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018.

*الجديدة التنمية المستدامة بسيناريو السياسات عند مقارنة سيناريو

الجدول (13)

حجم الاستثمارات المتراكمة للفترة 2018-2040 بحسب السيناريو ووفق المجموعات الدولية

(دولار بأسعار عام 2017 مليار)

	سيناريو السياسات الجديدة						
	الوقود الاحفوري	%	طاقة نووية	%	طاقات متجددة	%	الإجمالي
أمريكا الشمالية	312	13.7	127	11.7	1023	12.8	1462
أمريكا الجنوبية والوسطى	72	3.2	27	2.5	443	5.5	542
أوروبا	264	11.6	278	25.5	1493	18.7	2035
أفريقيا	150	6.6	14	1.3	557	7.0	721
الشرق الأوسط	197	8.6	47	4.3	285	3.6	529
أوروسيا	213	9.3	124	11.4	144	1.8	481
آسيا المحيط الهادي	1075	47.1	472	43.3	4050	50.7	5597
العالم	**2283**	**100.0**	**1089**	**100.0**	**7995**	**100.0**	**11367**
	سيناريو التنمية المستدامة						
	الوقود الاحفوري	**%**	**طاقة نووية**	**%**	**طاقات متجددة**	**%**	**الإجمالي**
أمريكا الشمالية	413	19.5	180	12.1	1865	14.6	2490
أمريكا الجنوبية والوسطى	31	1.5	31	2.1	505	4.0	570.5490707
أوروبا	228	10.8	339	22.8	1859	14.6	2460
أفريقيا	100	4.7	24	1.6	1019	8.0	1149.337653
الشرق الأوسط	121	5.7	79	5.3	677	5.3	888
أوروآسيا	141	6.7	157	10.6	307	2.4	622.2185393
آسيا المحيط الهادي	1083	51.2	677	45.5	6537	51.2	8394
العالم	**2117**	**100.0**	**1487**	**100.0**	**12769**	**100.0**	**16573**

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018، مشتق من جداول الملحق A الواردة في التقرير.

الجدول (14)

المتوسط السنوي لحجم الاستثمارات اللازمة وفق الوقود و بحسب السيناريو

	فعلي	السياسات الجديدة		التنمية المستدامة		الفرق بين السيناريوهين	
	2010-2017	2018-2025	2026-2040	2018-2025	2026-2040	2018-2025	2026-2040
الوقود الاحفوري	1171	967	1081	830	574	(137.0)	(507.0)
الطاقات المتجددة	293	331	380	467	663	136.0	283.0
شبكات الكهرباء	264	313	387	286	462	(27.0)	75.0
أخرى	20	61	62	67	150	6.0	88.0
إجمالي الامدادات	**1748**	**1672**	**1910**	**1650**	**1849**	**(22.0)**	**(61.0)**
إمدادات الوقود	58%	52%	53%	46%	32%	10.7	2.6
إمدادات الطاقة الكهربائية	42%	48%	47%	54%	68%	15.6	8.8
كفاءة الطاقة	236	397	666	505	828	29.7	
استخدامات نهائية أخرى	124	148	246	203	581	11.5	-0.1
إجمالي استخدام نهائي	**360**	**545**	**912**	**708**	**1409**		
إجمالي الاستثمارات	**2108**	**2217**	**2822**	**2358**	**3258**	100.0	**-1**
الاستثمارات المتراكمة 2018-2040		**60,042**		**67,713**			

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018، مشتق من جداول الملحق A الواردة في التقرير.

Current and Future Prospects of Renewables Energy in global Energy Mix and their Impacts on the Oil Industry

Abdul Fattah Dandi *

The study aims mainly to highlight the expectations of the global demand for different energy sources, especially renewable energies during the period (20172040-), according to the new policy scenario and the sustainable development scenario, in order to identify the impacts of the latest scenario on the global demand for fossil fuels on general and on the oil of OAPEC member countries in particular.

The first part of the study was dedicated to define the types of renewable energies, and the second part reviewed developments in the global energy demand during the period 20002017-. The third part was devoted to analyzing the results of the new policy scenario as illustrated in IEA International Energy Outlook 2018 report in order to illustrate its impacts on the demand for primary energy sources on one hand and on consuming and producing countries' fossil fuels on the other.In the third part of the study, the results of the sustainable development scenario were also analyzed to show its implications for the demand for different primary energy sources, especially fossil fuels, according to international groups and according to the main economic sectors. After that, the results of the new policy scenario were compared with their counterpart of the sustainable development scenario, in order to find out the implications of the last scenario on the global energy mix until 2040.

The fourth part of the study was devoted to illustrate the consequences of adopting the sustainable development scenario on OAPEC member countries' oil supplies, by evaluating the results of global oil supplies forecasts until 2040, according to each scenario to examine the implications for crude oil trade and investments in oil sector in member countries.

The fifth part of the study was devoted to addressing the exploitation of renewable energies in the Arab countries in general and in OAPEC members in particular. In this part, the generation of electric energy from different energy sources was discussed, and future prospects for electric generation from renewable energy sources and the expected challenges of using renewable energies in Arab Countries were also tackled. The last part summarizes the outcomes of the study and draw some conclusions.

* Director of the Economics Department, OAPEC, Kuwait.

Abstract

Industrial wasterater treatment technologies in Petrochemicals Industry

Yasser Mohammed Zaki Boghdadi *

Wastewater treatment in petrochemicals industry is a complex process, with demanding environmental management challenges as byproducts can be both volatile and toxic.

Petrochemical wastewater often requires a combination of treatment methods to remove oil and other contaminants before discharge. Issues such as groundwater contamination; aromatics; oil, grease and organic matters, and VOC's control have to be addressed in order to comply with environmental regulations.

A typical wastewater system may include neutralization, coagulation/flocculation, floatation/sedimentation/filtration, clarification and biodegradation (e.g., trickling filter, anaerobic treatment, and aerated lagoon, rotating biological contactor and activated sludge). A final polishing step using filtration, ozonation, activated carbon, or chemical treatment may also be required.

This study is divided into three Chapters, including the identification of different types of pollutants in industrial wastewater from various production units in the petrochemical industry, also various production processes, methods, and levels and applied treatment techniques.

The study highlighting some successful models and case studies adopted in the treatment of industrial waste water. In order to draw attention to the environmental and economic benefits of implementing these successful strategies in the petrochemical industry and various petroleum industries.

*Oil Industries Expert, Technical Affairs Dept. OAPEC – Kuwait.

Contents

Articles

Industrial wasterater treatment technologies in Petrochemicals Industry part 2 **7**

Yasser Mohammed Zaki Boghdadi - Abstract **7**

Current and Future Prospects of Renewables Energy in global Energy Mix and their Impacts on the Oil Industry part 2 **107**

Abdul Fattah Dandi - 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-Chiref, Oil and Arab Cooperation Journal, OAPEC

P.O.Box 20501 Safat -13066 Kuwait
Tel.: (+965) 24959000 - (+965) 24959779
Fax : (+965) 24959755
E-mail : oapec@oapecorg.org - www.oapecorg.org

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”.

Volume 55 - 2019 - Issue 171 3

OIL AND ARAB COOPERATION

Editor - in - Chief **Abbas Ali Al-Naqi**

Deputy Editor - in - Chief **Abdul Kareem Kh. Ayed**

Editorial Board

D. Samir El Kareish **Ahmed Al-Kawaz**

Abdul Fattah Dandi **Ahmed Al-Kawaz**

Saad Akashah **Emad Makki**

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

Refereed Journal Published Quarterly by the Organization of Arab Petroleum Exporting Countries (OAPEC)