

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 00965-24959779
الفاكس: 00965 - 24959755
البريد الالكتروني oapec@oapecorg.org
موقع الأوابك على الانترنت www.oapecorg.org

المحتويات

الأبحاث

تقنيات معالجة مياه الصرف الصناعي لمشروعات البتروكيماويات الجزء الأول

د. ياسر محمد زكي بغدادي 7

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

عبد الفتاح دندي 113

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 الأول

د. ياسر محمد زكي بغدادي*

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

ملخص تنفيذي

اتجهت معظم دول العالم إلى التخطيط، والإدارة السليمة المتكاملة لإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي بعد معالجتها بكفاءة وبدرجة كافية تحول دون الضرر من إعادة استعمالها، وتخلصت من الأسلوب القديم الذى كان يتبع في الماضي بالتخلص منها بالصرف على المسطحات المائية.

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، وذلك من خلال وضع برامج متكاملة للرصد البيئي للملوثات وآثارها على البيئة المحيطة.

أُستهلت الدراسة في **الفصل الأول** بتعريف مفهوم جودة **المياه**، حيث تتطلب كل صناعة جودة " نوعية محددة " من المياه تختلف من صناعة لأخرى، فمن الممكن تكون جودة المياه مناسبة لصناعة ما، ولكنها تكون غير مناسبة أو خطرة لصناعة أخرى. فعلى سبيل المثال، قد تتطلب الصناعات الغذائية مياه تحتوي على تركيزات من كبريتات الكالسيوم، في حين أن المياه المخصصة للغلايات (المراجل) يجب ألا تحتوي على أي أثر منها. لذا 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.

تناولت الدراسة **استخدامات المياه في صناعة البتروكيماويات**، حيث تستهلك مجمعات البتروكيماويات كميات ضخمة من المياه، ومعظم هذه المجمعات لديه موارده المائية الخاصة، سواء من مصادر المياه السطحية، أو الجوفية، أو من كليهما، ويستخدم البعض الآخر مياه الشرب البلدية "City Water"، جزئياً أو كلياً. لذا فإن مصانع البتروكيماويات تنشئ 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، مثل وحدات تكسير الإيثيلين، والنافثا بالبخار"Steam Cracking" لإنتاج الإيثيلين، أو لإنتاج الهيدروجين بطريقة الإصلاح بالبخار"Steam Reforming". هذا وتقوم عدد من مجمعات البتروكيماويات بمعالجة وتنقية، وإعادة استخدام جزء أو كل من مياه الصرف في مصانعها.

استعرضت الدراسة أيضاً تصنيف المياه 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.

تطرقت الدراسة أيضاً لبعض المفاهيم الهامة فيما يتعلق باستخدامات المياه في عمليات التبريد، مع شرح مبسط لأنواع أنظمة التبريد المختلفة، ودور أبراج التبريد في عمليات التبريد. كما أوضحت الدراسة أن تقديرات **كميات مياه التبريد في العمليات الصناعية "** افتراضيات استخدام نظام التبريد الرطب "باستخدام المياه"، يعتمد على عدد من المحددات وأهمها، كميات مياه التبريد لعملية الإنتاج، وعدد مرات إعادة تدوير مياه التبريد والتي تتراوح ما بين 3 إلى 7 دورات، كميات البخر، والطاقة الإنتاجية السنوية للمنتج النهائي.

كما بينت أيضاً أن مفهوم **الاتزان " التوازن " المائي** "Water Balance" لبرج التبريد يشمل جميع مدخلات، ومخرجات المياه المرتبطة بتشغيل النظام. هذا وتشمل مخرجات المياه "outlet"، التحكم في عوامل فقد المياه مثل البخر، والهدر "التفوير"، والانجراف "تطاير، وخروج قطرات المياه"، وتسرب المضخات، أو أية مصادر ومسببات لفقد المياه غير خاضعة للتحكم، مثل طفح المياه "Overflow". يتم تعويض كافة أسباب نقص أو فقد المياه عن طريق إمدادات مياه التغذية "التعويض".

تم تعريف مفهوم دورات التركيز "Cycles of Concentration -COC "، أو ما يعرف أيضاً بمعدل التركيز "Concentration Ratio"، بأنها هي العلاقة بين تركيز المواد الصلبة الذائبة (كلوريدات، وكبريتات) في مياه التفوير إلى نسبتها في مياه التعويض "التغذية"، وهي طريقة لتحديد عدد دورات مياه التبريد المثالية، حيث تتفاوت معدلات دورات تركيز المياه طبقاً لنظام التبريد المركب، وتحدد بعدد مرات مرور مياه التبريد خلال المبادلات الحرارية.

كما أوضحت الدراسة أن **مقدار المياه المهدرة** (تفوير المياه) "Blowdown" من برج التبريد يعتمد على مقدار قساوة (عسر) مياه التبريد داخل الأبراج. للحفاظ على كفاءة مياه التبريد خلال عدد محدد من دورات التركيز، يجب أن يتم تفوير (هدر) كميات محددة من المياه بمعدل منتظم، فإذا كان عدد دورات التركيز ثلاثة، فإن ثلث مياه التبريد يتم سحبها (هدرها). بينما يتم هدر ربع كمية المياه في حالة أن عدد دورات التركيز "أربعة".

تناولت الدراسة في **الفصل الثاني** التعريف بأنواع الملوثات المختلفة الناتجة عن صناعة البتروكيماويات وتقنيات المعالجة المناسبة طبقاً لنوع تلك الملوثات. حيث تعد صناعة البتروكيماويات صناعة معقدة، ومتكاملة وتشمل العديد من العمليات الصناعية، والمنتجات، ويستخدم فيها أنواع مختلفة من المواد الأولية (اللقائم)، والعوامل الحفازة، والإضافات، والكيماويات، وتتم هذه العمليات في بيئة شديدة الخطورة قابلة للانفجار.

من الممكن 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. لذا فإنه بموجب القوانين والتشريعات البيئية الصارمة يتطلب من كل منشأة صناعية إنشاء وحدات، أو محطات لمعالجة مياه الصرف الصناعي بها، وعلى كل مصنع اختيار تصميمات، وتقنيات المعالجة طبقاً لمحددات تتغير بتغير المنتج، ومواصفات مياه الهدر وكمياتها، والغرض من إعادة استخدامها، بالإضافة إلى ضرورة اختيار أنسب طرق إدارتها.

انتقلت الدراسة في هذا الفصل أيضاً إلى استعراض **الطرق التقليدية لمعالجة مياه الصرف وأساليب إعادة استخدام المياه المعالجة**، وشملت استعراض طرق المعالجة الفيزيائية أو الميكانيكية، وطرق المعالجة الكيميائية، وطرق المعالجة البيولوجية. كما تم التطرق إلى التعريف بوحدات ومحطات معالجة مياه الصرف الصناعي، ومستويات وأنظمة المعالجة بها، حيث تتعدد طرق ومستويات معالجة مياه الصرف الصناعي حسب المعالجة المطلوبة، وحسب مواصفات مياه الصرف الداخلة للمحطة، والناتجة منها، وحسب كمية المياه العادمة المراد معالجتها، ولكن بشكل عام فإن مستويات معالجة مياه الصرف الصناعي قد تكون تمهيدية أو تحضرية "Preliminary treatment "، أو ابتدائية "Primary"، أو ثنائية "Secondary"، أو ثلاثية / متقدمة "Tertiary/advanced".

تعتمد المعالجة التمهيدية على ترسيب المواد الصلبة في أحواض الترسيب الأولية، وعادة ما تكون هذه الأحواض عريضة بشكل يسمح للمواد الصلبة الخفيفة، والدهون والزيوت بأن تطفو على سطح الماء، بحيث يسهل كشطها وإزالتها. ويتم ذلك بواسطة الحجز بالمصافي، وفصل المواد الزيتية، والشحوم، والمواد العالقة القابلة للترسيب. شملت طرق المعالجة الابتدائية كل من **التصفية** أو الغربلة "Screening"، و**طرق تثبيت معدل تدفق وتجانس** مياه الصرف الصناعي "Flow Equalization " ، وطرق **فصل الزيوت** المختلفة، وشملت فاصل الزيوت API، ووحدة فصل الزيوت CPI، وطرق **الترسيب والترويق**"/Sedimentation Clarification "، بالإضافة إلى شرح مبسط لطرق الترسيب المختلفة، شملت الترسيب بطريقة **الترويب والتندف** "Coagulation and Flocculation" ، والتعريف بطرق **الطفو** " التعويم" "Flotation "، المختلفة وشملت ، طريقة **التعويم بالهواء المذاب/ الغاز المذاب** (DAF/DGF)، **وطريقة التعويم بالهواء المستحث** "Induced Air Flotation, "IAF، و **التعويم بالغاز المستحث** "Induced Gas Flotation, "IGF، وطرق **التعويم بالغاز/الهواء المستحث الهيدروليكي، وطرق التعويم بالغاز/الهواء المستحث الميكانيكي.** بالإضافة إلى التعريف

بطرق المعالجة والمسماة **فلترة قشور جوز الهند المفتتة** "Walnut Shell Filter"، و**المعالجة بالتعادل** "Neutralization".

تناول هذا الفصل أيضا شرح مبسط **للمعالجة الثانوية** "Secondary Treatment"، أو ما يطلق عليها المعالجة البيولوجية، وتأتي بعد انتهاء مراحل المعالجة الأولية، والابتدائية، وتعد جزء هاماً ومتكاملاً في محطات معالجة مياه الصرف الصناعي. حيث يمكن إزالة أكثر من 90 % من المواد العضوية الموجودة في المياه العادمة من خلال عمليات المعالجة البيولوجية. كما يتم إزالة المواد العضوية الذائبة، التي تتفلّت من مرحلة المعالجة الأولية. أوضحت الدراسة أيضاً أن **المعالجة البيولوجية** "Biological Treatment "، هي عملية تقوم بها مجموعات من الأجسام، والكائنات الحية الدقيقة التي تستهلك المواد العضوية كغذاء لها، وتحوّلها إلى النواتج النهائية لعمليات الأيض "ثاني أكسيد الكربون، والماء، والطاقة الضرورية لنمو الجراثيم وتكاثرها".

تنقسم عمليات المعالجة البيولوجية إلى أربع مجموعات رئيسية، هي: العمليات الهوائية، وعمليات النترتة اللاأكسجينية "Nitrification Anoxic "- عمليات أكسدة الأمونيا في وجود نقص الأكسجين-، والعمليات اللاهوائية، والعمليات الهوائية والنترتة اللاأكسجينية.

تم تسليط الأضواء على طرق المعالجة البيولوجية التقليدية والمعروفة بطرق **الحمأة المنشطة**، والتي تعتبر من أكثر الطرق استخداماً في الوقت الحاضر بسبب كفاءتها المرتفعة في المعالجة، وسميت بهذا الاسم لأنه يتم إعادة جزء من الحمأة المترسبة في أحواض الترسيب الثانوية إلى حوض التهوية وذلك بشكل مستمر، وهذا يساعد في تسريع العملية البيولوجية وزيادة كفاءتها بسبب زيادة كثافة الكتلة الحيوية في حوض التهوية وبالتالي زيادة معدل الاكسدة، وتفكيك المواد العضوية إلى مكوناتها الأساسية. تدخل المياه المعالجة إلى أحواض التهوية بعد مرورها على أحواض الترسيب الأولية.

هذا وقد ظهرت الحاجة إلى طرق بيولوجية أكثر تقدماً لتحسين مواصفات وجودة التدفقات السائلة الخارجة من حيث محتواها من الاحتياج الحيوي للأكسجين BOD،

والنتروجين، والفسفور، ذلك بهدف تلبية الاشتراطات البيئية الصارمة والمتزايدة للسماح بصرف المياه المعالجة على المصارف العمومية، أو إعادة استخدامها في الاستخدامات الصناعية، والاستخدامات الأخرى.

ولضمان الوفاء بتحقيق المعايير البيئية الصارمة المطلوبة، فإن بعض التعديلات المختلفة تم إضافتها إلى التصميم الأساسي لمحطات المعالجة التي تعمل بطريقة الحمأة المُنشطة التقليدية، وشملت بعض تعديلات في 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 "Aeration Extended"، وطريقة قنوات (خنادق) الأكسدة "Oxidation Ditches"، وطرق التثبيت التلامسي، لتشمل طرق أكثر تطوراً وتعديلاً في تصميمات المفاعلات الحيوية مثل طريقة المُفاعلات ذات الدُفعات المتتابع "Sequencing Batch Reactors, (SBR)"، ونظام المعالجة بطريقة السرير المتحرك "Moving-Beds"، ومُفاعلات الأغشية الحيوية "Membrane Bioreactors".

تناولت الدراسة أيضاً تعريف مفهوم **المعالجة الثلاثية** "Tertiary treatment"، وشملت عدد من طرق الفصل الفيزيائية، والكيميائية. تستخدم المعالجة الثلاثية بعد عمليات المعالجة البيولوجية في المرحلة الثانوية، بهدف تلبية متطلبات عمليات المعالجة المتكاملة للوصول إلى مستويات وجودة المياه المطلوبة من حيث المتطلبات البيئية لإعادة استخدامها.

يتم في هذه المرحلة إزالة الملوثات من المياه العادمة والتي لم يتم إزالتها أو التخلص منها بشكل تام في مرحلة المعالجة الثانوية، للوصول إلى الحدود المقبولة من محتوى المواد الصلبة الكلية، ومحتوى الطلب على الأكسجين البيوكيميائي "BOD، TSS"، وإزالة المغذيات "النيتروجين، والفسفور"، وإزالة المركبات العضوية المتطايرة، والمعادن.

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".

تطرق هذا الفصل أيضاً إلى تسليط الأضواء على المفهوم الحديث لنظام التصريف السائل الصفري "ZLD"، أو ما يعرف أيضاً بنظام التدوير الكامل لمياه الصرف الصناعي، وخاصةً مع تزايد المعايير البيئية التي تنفذها الشركات، والتي تنص على منع تصريف ملوثات الأملاح، الملوثات السامة، النترات، والنتريت،...الخ، وقد أصبحت هذه التقنية الآن أكثر انتشاراً في جميع أنحاء العالم. كما يمكن أن تساعد الشركات على التعامل مع العديد من التحديات مثل ارتفاع تكاليف الحصول على المياه اللازمة، وندرتها في كثير من الأحوال، وتزايد الاهتمام بتقنيات التصريف الصفري للسائل نظراً إلى زيادة الوعي البيئي، والمسئولية المجتمعية نحو القضايا البيئية. وقد تبدو التكلفة الاستثمارية والتشغيلية لتقنيات التصريف الصفري للسائل مرتفعة نسبياً 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 أو محطات خارجية.

بينما 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 مناسبه لطيف واسع من الصناعات، وتشمل مشروعات إنتاج الطاقة، وصناعة التكرير، والبتروكيماويات، والأسمدة، والتعدين، وإنتاج الأغذية، حيث تتوفر مجموعة متنوعة من المعدات والتقنيات المناسبة لمعالجة مختلف أنواع المياه العادمة.

تناولت الدراسة في **الفصل الثالث** دراسات حالة لتطبيق مفهوم معالجة مياه الصرف الصناعي في صناعة البتروكيماويات، وشملت نموذجان ، أحدهما لأحد شركات إنتاج الأوليفينات والبولي أوليفينات في جمهورية مصر العربية، والتي اعتمدت في تصميمات

مشروع معالجة مياه الصرف الصناعي على استغلال الفائض المتاح من الشركات الشقيقة "وهي الشركات المجاورة لها جغرافياً والتي تعمل في مجال الصناعات البترولية" ، 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. بينما شمل النموذج الثاني أحد شركات إنتاج اسمدة اليوريا.

وفي هذا الصدد لجأت شركة إنتاج الأوليفينات والبولي أوليفينات إلى تعظيم دور التكنولوجيا الحديثة للوصول إلى أعلى إنتاجية بأقل كمية من المخلفات السائلة وذلك للوصول إلى أقل سعة ممكنة لمعدات التبخير، وليس عن طريق إضافة معدات للتخلص من المخلفات، حيث أنها طريقة بدائية ومكلفة جداً، بل أن الشركة اعتمدت على استراتيجية أو مفهوم التدوير الكامل للمياه. 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 عن طريق التبخير، ثم تليها عملية تكثيف البخار الناتج، والذي يتحول إلى مياه منزوعة الأملاح كلياً، يتم استخدامها في أبراج التبريد، أما الأملاح الناتجة فيتم تركيزها "Brine Concentration"، وبلورتها "Crystallization" للوصول بها إلى الحالة الصلبة، والتي يمكن استخدامها كمواد خام لبعض الصناعات الأخرى.

بين هذا النموذج " دراسة الحالة الأولى" الفوائد الاقتصادية لمفهوم التدوير الكامل للمياه، حيث قدرت تكلفة وحدات التدوير الكامل للمياه، والتي شملت وحدات المعالجة بالأغشية، والتبادل الأيوني، وأجهزة التبخير، بنحو 24.5 مليون دولار أمريكي، بينما انخفضت كمية المياه اللازمة لتغذية مجمع المرافق والتسهيلات لتصل إلى نحو 793 م^3/ساعة بدلا من 2660 م^3/ساعة، وهو ما أدى إلى توفير حوالي 6.3 مليون م^3/سنة من المياه، بلغت تكلفتها نحو 2.8 مليون دولار سنوياً. وعلى هذا فإن الزيادة في قيمة المعدات والتي بلغت نحو 12.61 مليون

دولار، يمكن استردادها خلال فترة لا تزيد عن 22 شهر نتيجة الوفر في تكلفة استهلاكات المياه.

بينما أكدت دراسة الحالة للنموذج الثاني، والذي يمثل أحد شركات إنتاج الأسمدة النيتروجينية أن قيمة الخفض في التكلفة السنوية لمعالجة المياه بلغ نحو 40 % وذلك بعد تطبيق المرحلة الأولى من مشروع المعالجة بنظام التدوير الكامل للمياه، ومن المتوقع زيادة الخفض في تلك التكلفة لتصل إلى نحو 86% مع تطبيق المرحلة الثانية من المشروع. واختتمت الدراسة بالخلاصة والاستنتاجات.



الفصل الأول

جودة المياه واستخداماتها في صناعة البتروكيماويات

الفصل الأول

جودة المياه واستخداماتها في صناعة البتروكيماويات

تمهيد

تقدر كميات المياه العذبة في الطبيعة بنحو 35 مليون كم^3، وفق تقديرات برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)، أي ما يمثل حوالي 2.5 % من الحجم الكلي للأرض والذي يبلغ نحو 1.4 مليار كم^3، علاوة على ذلك فإن نحو 24 مليون كم^3 أي ما يعادل 70 % من هذه المياه العذبة والموارد تتواجد في شكل جليد، ومناطق ثلجية في القطب الجنوبي، والقطب الشمالي.

لا يتم تخزين سوى 30 % من المياه العذبة في العالم كمياه جوفية، ومستنقعات، وبحيرات، وأنهار، ومع ذلك، فإن أقل من 1 % من جميع هذه الموارد، أي حوالي 240.000 كم^3، هو إجمالي إمدادات المياه الصالحة للاستخدام البشري والنظام الإيكولوجي [9]. يستخدم حوالي 70% من المياه العذبة في الأغراض الزراعية، وحوالي 22 % في الأغراض الصناعية، ونحو 8 % في الاستخدامات المنزلية [19].

تعتبر المياه من السوائل المفضلة في الصناعة عن السوائل الأخرى، نظراً لتوفرها في الطبيعة، يضاف إلى ذلك خواصها الطبيعية المتفردة مثل الشفافية، والكثافة، ودرجات التجمد والغليان، والحرارة النوعية، بجانب خواص الذوبانية التي يتمتع بها الماء، وغيرها من الخواص الهامة. وتعد المياه السطحية (الأنهار، والبحار)، والمياه الجوفية (الأبار) من المصادر الهامة لتوفير المياه لكافة الاستخدامات الصناعية.

تعد كمية ونوعية "جودة" المياه المتوفرة، من أحد أهم المحددات الرئيسية في اختيار وتحديد المواقع المناسبة لإنشاء المجمعات الصناعية، وخاصة صناعة البتروكيماويات، نظراً لضخامة كميات المياه المستخدمة في هذه الصناعة.

تعتمد صناعة البتروكيماويات على استخدام المياه بكميات كبيرة في العمليات الصناعية، خاصة في إنتاج الأوليفينات، والعطريات، كما تعد مصدرا هاماً لإنتاج الهيدروجين وهو من أهم مدخلات صناعة البتروكيماويات، كما تستخدم المياه في عمليات التبريد، والتحكم في درجات الحرارة لعمليات البلمرة والمنومرة"monomerization"، وفى تبريد المعدات كالضواغط، والطلمبات، وغيرها من الاستخدامات.

أصبح مفهوم معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي، والصناعي أكثر انتشارا في الوقت الراهن، وقد ساهمت تقنيات معالجة مياه الصرف وإعادة استخدامها في الحفاظ على موارد المياه العذبة، خاصة في ظل ندرة المياه ونقص الإمدادات في كثير من المناطق، وعملت على خفض تكلفة إنتاج المياه، وتلبية المعايير البيئية الصارمة، والحفاظ على البيئة.

تعد صناعة البتروكيماويات من الصناعات الأكثر قابلية لإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي (المياه العادمة) المعاد معالجتها [7]. تعرف المياه العادمة الصناعية بأنها المياه الخارجة من المصانع أو المعامل، والناتجة عن استعمال المياه في بعض أو كل مراحل التصنيع، أو التنظيف، أو التبريد أو غيرها، سواء كانت معالجة داخل المصنع أو غير معالجة. وتعتمد كمية وخصائص مياه الصرف الصناعي الناتجة عن انتاج البتروكيماويات اعتماداً كبيراً على نوع العمليات التي تتم في الوحدات الإنتاجية، ووحدات المرافق كل على حدة.

تحتوي مياه الصرف الصناعي الناتجة عن الصناعات البتروكيماوية على نسب متفاوتة من الشوائب، والملوثات من المركبات العضوية، والفينولات، والمعادن مثل الحديد والنحاس، والمواد الصلبة الذائبة والعالقة، والزيت، والسيانيدات، والكبريتيدات، والكلور، والفينولات، والأمونيا وغيرها من الملوثات [7]، التي يجب معالجتها قبل صرفها مرة أخرى إلى المصادر المائية، أو على شبكات الصرف الصحي، أو إعادة استخدامها مرة أخري في مختلف الاستخدامات الصناعية داخل المنشأة، ذلك وفق القوانين البيئية الصارمة، والقرارات المنظمة

التي تحدد نسب الشوائب، والملوثات المختلفة المسموح بها في المياه طبقاً لمجالات استخدامها المناسبة، أو صرفها [1،2].

1.1. جودة المياه

تعد المياه الطبيعية نقية نسبيا عند تكونها، لكنها تمتص الغازات عندما تدخل إلى الغلاف الجوي، خاصة غازي الأكسجين، وثاني أكسيد الكربون. كما تذوب بعض المواد المعدنية عند وصول المياه إلى الأرض، نتيجة الاتصال المباشر معها. تعتمد نسب هذه المعادن على مقدار ذوبانية الصخور والرمال، ومدة الاتصال بينهما، وتعد الكربونات، والبيكربونات، والكبريتات، والكلوريدات، والنترات، والكالسيوم، والماغنيسيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم من المعادن الشائع وجودها في المياه الطبيعية، كما تتواجد معادن أخرى مثل السيليكا، والحديد، والمنجنيز، بالإضافة إلى نسب منخفضة من الفوسفات، والفلوريدات.

تحتوي جميع المياه الطبيعية على غازات ذائبة، ونسب منخفضة من المواد العضوية حيث تحتوي معظم المياه السطحية على طحالب، ومجموعة متنوعة من البكتيريا، وغيرها من أشكال النباتات والحيوانات، كما تحتوي على مواد صلبة مثل الرمال، والجسيمات المشتتة الغروانية "Colloidally Dispersed Particles" [21].

بينما تحتوي المياه الجوفية على تركيزات مرتفعة من الشوائب، ونسبة الأكسجين المذاب، والرواسب مقارنةً بالمياه السطحية، كما تتميز بالتركيب الثابت من حيث كميات وأنواع الرواسب، على عكس المياه السطحية والذي كثيرا ما يظهر اختلافات في تركيبها من حيث نسب وأنواع هذه الرواسب [21]. لا توجد مياه جامعة "Universal Water"، تستخدم لجميع الأغراض، لذا يطلق مصطلح **"جودة المياه"** على المياه طبقاً للغرض الذي تستخدم فيه. تختلف جودة المياه اختلافا كبيرا باختلاف نوع، ومتطلبات، وغرض الاستخدامات حسب نوع الصناعة.

تتطلب كل صناعة جودة " نوعية محددة " من المياه تختلف من صناعة لأخرى، حيث قد تكون جودة المياه مناسبة لصناعة ما، ولكنها غير مناسبة أو خطرة لصناعة أخرى، فعلى سبيل المثال، قد تتطلب الصناعات الغذائية مياه تحتوي على تركيزات من كبريتات الكالسيوم، في حين أن المياه المخصصة للغلايات (المراجل) يجب ألا تحتوي على أي أثر منها، لذا فمن الضروري معرفة متطلبات الجودة للمياه الصناعية من حيث نوعية، وكمية الشوائب الموجودة بها، وآثارها على الاستخدام الصناعي [27]، حيث تختلف الحدود المسموح بها من هذه الشوائب حسب الاستخدامات. يبين **الجدول (1)** التحاليل الكيميائية اللازمة لإحكام الرقابة على جودة المياه المستخدمة في صناعة البتروكيماويات.

التحاليل الكيميائية تعني تعيين كل من الخواص الطبيعية، والتركيب الكيميائي للمياه [21]. حيث تتحكم خواص، وتركيب، وجودة المياه في تحديد مجالات استخداماتها المختلفة في العمليات الإنتاجية، والصناعية [18]، كما تؤثر الشوائب بدرجة كبيرة على تحديد طريقة المعالجة، واختيار التكنولوجيا المناسبة، والقدرة على تحديد، وتطبيق مفهوم إدارة معالجة مياه الصرف الصناعي، من حيث اختيار طرق مختلفة، ومتكاملة للمعالجة، واختيار مزيج التكنولوجيات المناسبة للمعالجة إذا لزم الأمر [26-27].

جدول (1): التحاليل الكيميائية اللازمة لإحكام الرقابة على جودة المياه المستخدمة في صناعة البتروكيماويات

الخواص الطبيعية	المعادن	اللافلزات	الغازات الذائبة	العضويات	اختبارات أخرى
اللون	• الألومنيوم • الزرنيخ • البورون • الكادميوم • الكالسيوم • الكروم • النحاس • الحديد • الرصاص • الماغنسيوم • المنجنيز • الزئبق • النيكل • البوتاسيوم • الصوديوم • الفضة • الزنك	الحامضية	ثاني أكسيد الكربون	الهيدرازين	الطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي " BOD"
التوصيل الكهربي		القاعدية	الكلور (المتبقي)	النيتروجين (بروتينات)	كربونات الكالسيوم
الرائحة		• الكلوريد • السيانيد • الفلوريد • اليود • النيترات • النترات • الفوسفات • السيليكا • كبريتات • كبريتيد	الأكسجين الذائب	النيتروجين (الديهيدات)	الثبات
			----------	الزيوت، والشحوم	طلب الأكسجين الكيميائي "COD"
رقم الأس الهيدروجيني			----------	فينولات	الكلور المستهلك
المواد الصلبة • الكلية • الذائبة • العالقة • المترسبة			----------	مواد التوتر السطحي	
				الأحماض المتطايرة	

المصدر: Industrial Water Handbook, Principle Public Health Laboratory, India, Chemical Publishing Company,2011.

2.1. جودة المياه وتأثير الشوائب على الاستخدامات في الصناعة

تؤثر خواص المياه، ونسب وكميات الشوائب المتواجدة بها على جودتها، يبين **الجدولان (2)، (3)** مدلولات وجود الملوثات، والشوائب، وأهم المعادن، واللافلزات، وتأثيرها على خواص، وجودة المياه المستخدمة في الصناعة [27].

جدول (2): مدلولات وجود الملوثات، والشوائب وتأثيرها على خواص المياه الصناعية وجودتها

الخاصية	تأثيرها
العكارة	✓ مواد دقيقة ناعمة معلقة، غير مستقرة، لا تترسب. تسبب مظهر موحل، غائم للمياه.
اللون	✓ يعزى وجود اللون في المياه الطبيعية، إلى وجود مخلفات عضوية نباتية، ومعادن، تسبب تغيير اللون من عديم اللون إلى اللون البني الداكن.
التوصيل الكهربي	✓ المياه النقية ليس لها القدرة على توصيل التيار الكهربائي. ✓ ذوبانية الأملاح في المياه يسبب خاصية التوصيل الكهربي للمياه. ✓ خاصية التوصيل الكهربي تعد مقياساً لكمية الأملاح الذائبة في الماء [19].
المواد الصلبة العالقة	✓ يشار عادة إلى المواد الصلبة غير الذائبة في المياه، بمصطلح المواد الصلبة العالقة ✓ تتكون المواد العالقة من الطمي، والطين، والمواد العضوية، والطحالب، والبكتيريا، والفطريات، والمعادن. ✓ تحتوي على نسبة كبيرة من المواد العضوية، قد تسبب تعفن مما يؤدي إلى نقص في كمية الأكسجين المذاب. ✓ تتسبب في حدوث رغوة في الغلايات، وتكون قشور على المعدات. ✓ تسبب العكارة، ويمكن أن تسد خطوط أنابيب نقل المياه، والمكونات الداخلية للمعدات. ✓ يمكن أن تترسب في المبادلات الحرارية، والغلايات. ✓ لا تمثل مثل هذه المواد مشكلات جسيمة، حال معالجتها والتخلص منها بترشيحها.
المواد الصلبة الذائبة	✓ تركيز المواد الصلبة الذائبة يعد من أحد اهم المعايير لتحديد مدى ملائمة المياه للاستخدامات الصناعية. ✓ تتكون المواد الصلبة الذائبة بشكل رئيسي من بيكربونات، وكربونات، وكبريتات، وكلوريدات، ونيترات كل من الكالسيوم، والماغنيسيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم، مع آثار الحديد والمنغنيز. ✓ يعد السيليكا عنصر مهم من المواد الصلبة الذائبة. ✓ يتواجد الفلوريد بتركيزات منخفضة جدًا. ✓ يعد الفوسفات مكون للمواد الصلبة الذائبة في الغلايات. ✓ المواد الصلبة الذائبة في المياه غير مرغوب فيها للاستخدامات الصناعية، حيث تعد من العوامل الرئيسية لتكوين القشور والرواسب. ✓ التركيزات المرتفعة منها يساعد على تسريع عمليات التآكل، وتكوين الرغاوى في الغلايات.
المواد الصلبة الكلية	✓ هي مجموع كميات المواد الصلبة العالقة، والذائبة.

تابع جدول (2): مدلولات وجود الملوثات، والشوائب وتأثيرها على خواص المياه الصناعية وجودتها

الخاصية	تأثيرها
عسر الماء (القساوة)	✓ عسر الماء " قساوة المياه " هو تعبير يستخدم لوصف حالة المياه عندما تكون نسبة الأملاح المعدنية فيها مرتفعة. ✓ تعد املاح الكالسيوم والماغنسيوم أحد أهم الأملاح المعدنية المسببة لعسر الماء. ✓ يجب مراقبة عسر الماء، حيث أنه من اهم الأسباب الرئيسية لتكوين القشور [19].
القاعدية (القلوية)	✓ قد يكون هناك خلط بين مفهوم تعريف رقم الأس الهيدروجيني، وتعريف القاعدية. ✓ مفهوم الأس الهيدروجيني هو مدي حامضية أو قاعدية السائل، بينما القاعدية هي مقدار قدرة المياه "السائل" على امتصاص الحمض دون تغيير في رقم الأس الهيدروجيني. ✓ تتكون الترسبات في حالة القاعدية المرتفعة. ✓ تساعد القيم المنخفضة من القاعدية على حدوث التآكل [19]. ✓ المواد القلوية يمكن أن تتحول إلى ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في البخار مما يسبب حدوث التآكل. ✓ يمكن تعيين البيكربونات (HCO_3)، الكربونات (CO_2)، والهيدرات (OH)، بطريقة المعايرة.
رقم الأس الهيدروجيني PH	✓ يتميز الماء بقدرته على السلوك كحمض أو كقاعدة في التفاعلات الكيميائية. ✓ يستخدم رقم الأس الهيدروجيني لقياس درجة حموضة أو قلوية السائل. ✓ هناك استخدامات معينة يلزم أن يكون فيها المياه في مدى معين من رقم الأس الهيدروجيني
الحموضة	✓ الحموضة ليست مكونًا وحيداً رئيسياً. ✓ هي مقياس لتأثيرات مجموعة من المواد والظروف في الماء. ✓ يمكن تعريف الحموضة بأنها قدرة المياه على معادلة أيونات الهيدروكسيل، ويعبر عنها بكربونات الكالسيوم. ✓ تنجم الحموضة عادة نتيجة وجود ثاني أكسيد الكربون الحر، والأحماض المعدنية مثل حمض الكبريتيك، والأحماض ضعيفة التفكك، كما تنتج ايضاً من تحلل الحديد، وأملاح الألومنيوم. ✓ لا تحتوي معظم المياه الطبيعية على أي حموضة معدنية ولا تحتوي إلا على حموضة ثاني أكسيد الكربون. ✓ لا يوجد حد معين للحموضة ولكن يتم التحكم فيها بطريقة غير مباشرة عن طريق تعيين حدود رقم الأس الهيدروجيني. ✓ تسبب الحموضة الزائدة أضراراً للهياكل المعدنية. ✓ يجب تحييدها للتخفيف من ظاهرة التآكل. ✓ تحتاج معظم العمليات الصناعية إلى مياه خالية من الحموضة، حتى من حموضة ثاني أكسيد الكربون [27].
الحموضة المعدنية الحرة	✓ يعزى وجود الحموضة المعدنية الحرة لوجود حامض الكبريتيك، وحامض الهيدروكلوريك.
الغازات الذائبة	✓ عبارة عن غازات قد تكون ذائبة في المياه مثل غاز الأكسجين، وغاز ثاني أكسيد الكربون. ✓ يساعد وجود مثل هذه الغازات الذائبة على حدوث ظاهرة التآكل.
الكاتيونات	✓ أيونات موجبة الشحنة مثل الكالسيوم Ca^{++}، والماغنسيوم Mg^{++}، والصوديوم Na^{+}، والبوتاسيوم K^{+}
الأنيونات	✓ أيونات سالبة الشحنة، مثل القلويات، والكبريتات (SO_4)، والكلوريد، والنترات (NO_3)

المصدر: Boiler Water- Problems & Solutions, PDH Course M165

جدول (3): أهم المعادن واللافلزات وتأثير وجودها على جودة مياه الصناعة

النوع	التأثير على جودة المياه ومشكلات الصناعة
السيليكا	✓ تتراوح نسبة السيليكا في المياه الطبيعية بين 1 ملغرام/ليتر إلى 100 ملغرام/ليتر. ✓ تشكل السيليكا مع الكالسيوم "قشور سيليكات الكالسيوم"، وتشكل مع الألومنيوم " قشور سيليكات الألومنيوم"، وتشكل مع الحديد ترسبات صلبة يصعب التخلص منها. ✓ يسبب وجود السيليكا مشكلات خطيرة لغلايات توليد البخار، نتيجة تكون قشور من السيليكا، أو من مركبات السيليكا. ✓ يمكن أن تشكل السيليكا رواسب في أنظمة مياه التبريد ولكنها ليست بذات الأهمية، كما هو الحال في نظام الغلايات. ✓ يسبب تكون القشور خفض في خاصية التوصيل الحراري. ✓ تركيز السيليكا يصبح مهمًا فقط لمياه التبريد فقط عندما يكون تركيزها حوالي 150 ملغرام / ليتر، أو إذا كان محتوى المغنيسيوم وقيم الأس الهيدروجيني مرتفعة [27].
الألومنيوم	✓ الألومنيوم، أكثر المعادن وفرة في قشرة الأرض. ✓ يتواجد في المياه الطبيعية من خلال اتصاله مع الصخور، والتربة، والطين التي تحتوي على الألومنيوم. ✓ يتواجد الألمونيوم بصورة شائعة في صورة كبريتات الألومنيوم. ✓ تعد ظاهرة تآكل أنابيب الألومنيوم في مكثفات، وسخانات مياه التغذية، أو في المياه الصناعية، أحد أهم مصادر الألومنيوم في المياه. ✓ معدن الألومنيوم غير مرغوب فيه في مياه الصناعة، حيث يسبب وجود تكون تشكيل الحمأة.
الحديد	✓ تحتوي المياه الطبيعية على نسب منخفضة جداً من الحديد، تتواجد على شكل بيكربونات الحديد "Ferrous Bicarbonate". ✓ عادة ما تكون المياه الطبيعية نظيفة تمامًا وعديمة اللون. ✓ تتلون المياه بسبب تأكسد بيكربونات الحديد القابلة للذوبان عند التعرض إلى الهواء، وتتحول إلى رواسب هيدروكسيد حديد، ويتغير لون المياه من الأصفر إلى البني المحمر عند ارتفاع نسبة الحديد، ويصبح الماء عكرًا. ✓ مياه الغلايات، ومياه التبريد يجب أن تكون خالية تقريباً من معدن الحديد. ✓ ينتج الحديد من تآكل مكونات الغلايات، مما يسبب مشكلات خطيرة نتيجة تحول الحديد إلى أكاسيد الحديد، والذي يترسب مكوناً طبقة لاصقة على أسطح الأنابيب، لا يمكن التخلص منه حتى بتفوير "هدر" المياه. ✓ قد يتحد الحديد مع سيليكات الصوديوم (حال وجودها)، مكوناً رواسب صلبة ملتصقة، تؤثر على أسطح المبادلات الحرارية.
الرصاص	✓ لا يتواجد الرصاص بشكل طبيعي في المياه. ✓ يتواجد الرصاص في المياه نتيجة عمليات التآكل التي تحدث للأنابيب، أو سبائك الوصلات المصنعة من الرصاص، أو نتيجة تلوث مياه الصرف الصناعي الناتج عن العمليات الصناعية. ✓ لا يمثل وجود الرصاص في مياه الصناعة مشكلة كبيرة أو مؤثرة على العمليات الصناعية
الماغنسيوم	✓ يمكن ان يتواجد على هيئة كاتيونات ذائبة، لها القابلية على الترسيب مسببةً تغيير في لون المياه، وتلوثها.

تابع جدول (3): أهم المعادن واللافلزات وتأثير وجودها على جودة مياه الصناعة

النوع	التأثير على جودة المياه ومشكلات الصناعة
الكلوريد	✓ الكلوريد هو أنيون شائع الوجود في المياه. ✓ يختلف تركيز الكلوريد في المياه الطبيعية من بضعة ملغرامات إلى عدة آلاف ملغرامات / ليتر. ✓ وجود الكلوريد بتركيزات أقل من 50 ملغرام/ ليتر ليس له آثار ضارة على الاستخدامات الصناعية. ✓ تركيزات الكلوريدات المرتفعة لها تأثير ضار على الأنابيب، والهياكل المعدنية، حيث تؤثر بشكل ما على زيادة معدلات تأكل الفولاذ، وسبائك الفولاذ المقاوم للصدأ. ✓ يجب أن يتم التحكم في تركيز الكلوريد بعناية في الأنظمة التي تستخدم فيها هذه المواد. ✓ وجود الكلوريد على هيئة كلوريد كالسيوم، أو كلوريد ماغنيسيوم غير مرغوب فيه ولو بتركيزات منخفضة. ✓ يتسبب وجوده في حدوث تآكل شديد للمراجل البخارية، كما انه غير مرغوب فيه في مياه العمليات.
الكلور	✓ لا يتواجد الكلور بشكل طبيعي في المياه. ✓ يضاف الكلور إلى المياه للسيطرة على نمو البكتريا، والكائنات الحية التي تساعد على تكوين العفن. ✓ نسبة الكلور في المياه الطبيعية لا تزيد عن 2 ملغرام/ ليتر بعد معالجتها بالكلور. ✓ تتسبب التركيزات المرتفعة من الكلور في تسريع معدلات التآكل في أبراج التبريد لاسيما في وجود الأكسجين. ✓ قد يؤدي الاتصال المباشر مع الكلور الحر إلى التأثير على مواد الحشو لأبراج التبريد.
الكروم	✓ معدن الكروم ليس مكونا طبيعيا للمياه. ✓ تتواجد نسب من معدن الكروم نتيجة عمليات الصرف الصناعي للصناعات التي تحتوي عليه. ✓ يسبب التركيز المرتفع لمعدن الكروم تغير لون المياه، كما أنه مادة مسرطنة. ✓ إذا دخل الكروم إلى مياه الغلايات، وتواجد بتركيزات مرتفعة فسوف يتحول إلى كروم ثلاثي التكافؤ، ويترسب على هيئة هيدروكسيد الكروميك. ✓ في أنظمة التبريد المغلقة يستخدم الكروم كمثبط للتآكل.
النحاس	✓ نادرا ما يوجد النحاس في المياه الطبيعية. ✓ يعزى وجود النحاس إلى تآكل الأنابيب النحاسية المستخدمة في الصناعة، أو لاستخدام مركبات النحاس في التحكم والسيطرة على نمو الطحالب في الخزانات. ✓ وجود الأمونيا بتركيزات أكثر من 10 ملغرام/ليتر، بالإضافة على الأكسجين الذائب، يعمل على تآكل النحاس، والسبائك النحاسية. ✓ يلزم تحديد نسب النحاس في المياه الصناعية، لرصد عمليات التآكل. ✓ النحاس لديه ميل لمهاجمة الألمنيوم، حتى في حالة تواجده بكميات ضئيلة جداً، خاصة في الماء العسر. ✓ يمكن أن يترسب النحاس في مواسير وأنابيب الغلايات (المراجل).
السيانيد	✓ لا يتواجد السيانيد بشكل طبيعي في المياه. ✓ قد يتواجد السيانيد نتيجة عمليات تنقية الغازات في بعض الصناعات. ✓ يعزى وجود معدن السيانيد إلى عمليات الصرف الصناعي، للصناعات التي تحتوي عليه. ✓ السيانيد معدن شديد الخطورة، وله قيمة سمية مرتفعة.

تابع جدول (3): أهم المعادن واللافلزات وتأثير وجودها على جودة مياه الصناعة

النوع	التأثير على جودة المياه ومشكلات الصناعة
الفلوريد	✓ يتواجد الفلوريد بشكل طبيعي في المياه. ✓ لا تحتوي المياه السطحية عادة على كميات مرتفعة من الفلوريد، ما لم يتم تلوثها بالنفايات الصناعية لبعض الصناعات مثل صناعة الأسمدة.
الهيدرازين	✓ لا يتواجد الهيدرازين بشكل طبيعي في المياه. ✓ يتم إضافة الهيدرازين إلى مياه التغذية، ومياه الغلايات "المراجل" لإزالة بقايا الأكسجين. ✓ يتفاعل الهيدرازين مع الأكسجين ليكون مياه، وغاز النيتروجين، وهي مركبات غير ضارة، ولا تضاف كميات تواجدها إلى مجموع كميات المواد الصلبة الذائبة في مياه الغلايات. ✓ تواجد الهيدرازين بنسب مرتفعة، يؤدي إلى تحلله إلى أمونيا، ويتداخل مع البخار، وهو أمر شديد الخطورة عند وصولة إلى مكثف البخار، حيث يسبب تأكل شديد للأجزاء المكونة له من النحاس، وسبائك النحاس، في وجود الأكسجين.
الزيوت والشحوم	✓ وجود الزيوت والشحوم في المياه، يسبب تكون مستحلبات، وتلوث للمياه.
الزئبق	✓ وجود الزئبق في المياه نادر جداً. ✓ قد يتواجد الزئبق نتيجة بعض الصناعات، مثل الأصباغ، والمبيدات الزراعية، ومبيدات الفطريات. ✓ مركبات الميثيل زئبق، وأسيتات الفينيل الزئبقية من أكثر مركبات الزئبق انتشارا.
النيكل	✓ لا يتواجد النيكل بشكل طبيعي في المياه. ✓ تحتوي بعض شبكات المياه على سبائك من الفولاذ المقاوم للصدأ، والنيكل. ✓ وجود نسب من معدن النيكل في مياه الغلايات دليل على حدوث تأكل في سبائك النيكل المكونة لأجزاء من الغلايات. ✓ يسلك النيكل نفس سلوك النحاس، من حيث إمكانية ترسبه، أما على شكل أكاسيد، أو نيكل معدني "Metallic Nickel"
النترات	✓ تتواجد بنسب ضئيلة عادة في المياه السطحية، بينما قد تتواجد بنسب مرتفعة في المياه الجوفية. ✓ يسهم استخدام الأسمدة في تسرب النترات إلى المياه الجوفية. ✓ يعد الصرف الصناعي لصناعات الأسمدة، والكيماويات، من المصادر الهامة لتلوث المياه بالنترات. ✓ تستخدم النترات كإضافات كيميائية لمعالجة مياه التبريد (مركبات مانع التآكل). ✓ تستخدم النترات وحدها، أو مع بعض المركبات العضوية الأخرى كعوامل إضافية، لمنع تدهور المواد الكاوية في الغلايات التي تعمل بضغوط منخفضة.
النيتريت	✓ تتشكل النيتريت بشكل عام بفعل البكتريا على الأمونيا، والمواد العضوية النيتروجينية؛ حيث تتحول النيتريت إلى أمونيا في الظروف الهوائية، واللاهوائية. ✓ تضاف مركبات النيتريت لمياه التبريد، ومياه الصناعة كمثبطات لعمليات التآكل.

تابع جدول (3): أهم المعادن واللافلزات وتأثير وجودها على جودة مياه الصناعة

النوع	التأثير على جودة المياه ومشكلات الصناعة
المواد العضوية	✓ المواد العضوية ليست مكوناً وحيداً، بل يتواجد عدد من المواد العضوية في المياه. ✓ يعزى وجود المواد العضوية إلى التلوث الناتج عن عمليات الصرف الصناعي، والصحي. ✓ تعد الانشطة الزراعية، وتحلل النباتات، والحيوانات، وغسيل التربة أحد اهم مسببات وجود المواد العضوية في المياه. ✓ يعزى تغيير لون، وطعم، ورائحة المياه الطبيعية إلى وجود المواد العضوية. ✓ معالجة المياه، والتخلص من المواد العضوية يعد أمراً حتمياً لاستخدام المياه في العمليات الصناعية. ✓ أكسدة المواد العضوية باستخدام الكلور، أو ثاني أكسيد الكلور، أو الأوزون يحولها إلى مواد غير ضارة.
الأكسجين الذائب	✓ يتواجد الأكسجين الذائب في معظم المياه بتركيزات مختلفة. ✓ تتراوح نسبة الأكسجين الذائب في المياه السطحية من 3 إلى 12 ملغرام / ليتر. ✓ ذوبانية الأكسجين تعتمد على درجة الحرارة، والضغط، ونسبة ملوحة المياه. ✓ وجود الأكسجين الذائب في مياه الصناعة، أحد أهم مسببات حدوث التآكل للمعادن المستخدمة في الصناعة مثل الحديد، والحديد المجلفن، والفولاذ، والنحاس. ✓ قيم رقم الأس الهيدروجيني المنخفض يسهم في اسراع عمليات التآكل، بينما القيم المرتفعة منه تعمل على تأخيرها. ✓ مياه الصناعة يجب ان تكون خالية من الأكسجين الذائب، وخاصة في مياه الغلايات. ✓ يزداد معدل التآكل بارتفاع درجة الحرارة، حيث يزداد بنحو 500 مرة عند درجة حرارة 90 °م مقارنة بدرجة 0 °م. ✓ محتوى الأكسجين الذائب في مياه تغذية الغلايات يجب أن تكون قيمته منخفضة ولا تتعدى 0.005 ملغرام / ليتر. ✓ يمكن إضافة مركبات (الصوديوم، والكبريت، والهيدرازين) إلى مياه تغذية الغلايات لإزالة الأكسجين المتبقي.
الفينولات	✓ الفينولات، والمركبات الفينولية غير موجودة في المياه الطبيعية، وتنتج من بعض النشاطات والصناعات. ✓ يسبب وجود الفينول ولو بتركيزات منخفضة جدا (0.001 ملغرام/ليتر)، وجود رائحة مميزة للمياه. ✓ إزالة المركبات الفينولية من إمدادات المياه يشكل تحديًا خطيرًا لعمليات المعالجة. ✓ يمكن إزالة الفينولات من المياه ببعض طرق المعالجة. ✓ من أهم طرق إزالة الفينول، المعالجة بامتزاز الكربون المنشط، والمعالجة الفائقة بالكلور، والمعالجة بالكلور، والأمونيا.
الفوسفات	✓ يتواجد الفوسفات في المياه السطحية أو الجوفية كنتيجة لبعض النشاطات الزراعية، واستخدام المنظفات الصناعية، أو تلوث ناتج من عمليات الصرف الصناعي لبعض الصناعات. ✓ يستخدم الفوسفات، ومركبات الفوسفات كمثبطات لتكون القشور، وموانع التآكل في الغلايات التي تعمل في ضغوط أعلى من 400 بوند ثقلي في البوصة المربعة "psi"، ومياه التبريد.

المصدر: Industrial Water Handbook, Principle Public Health Laboratory, India, Chemical Publishing Company,2011.

3.1. استخدامات المياه في صناعة البتروكيماويات

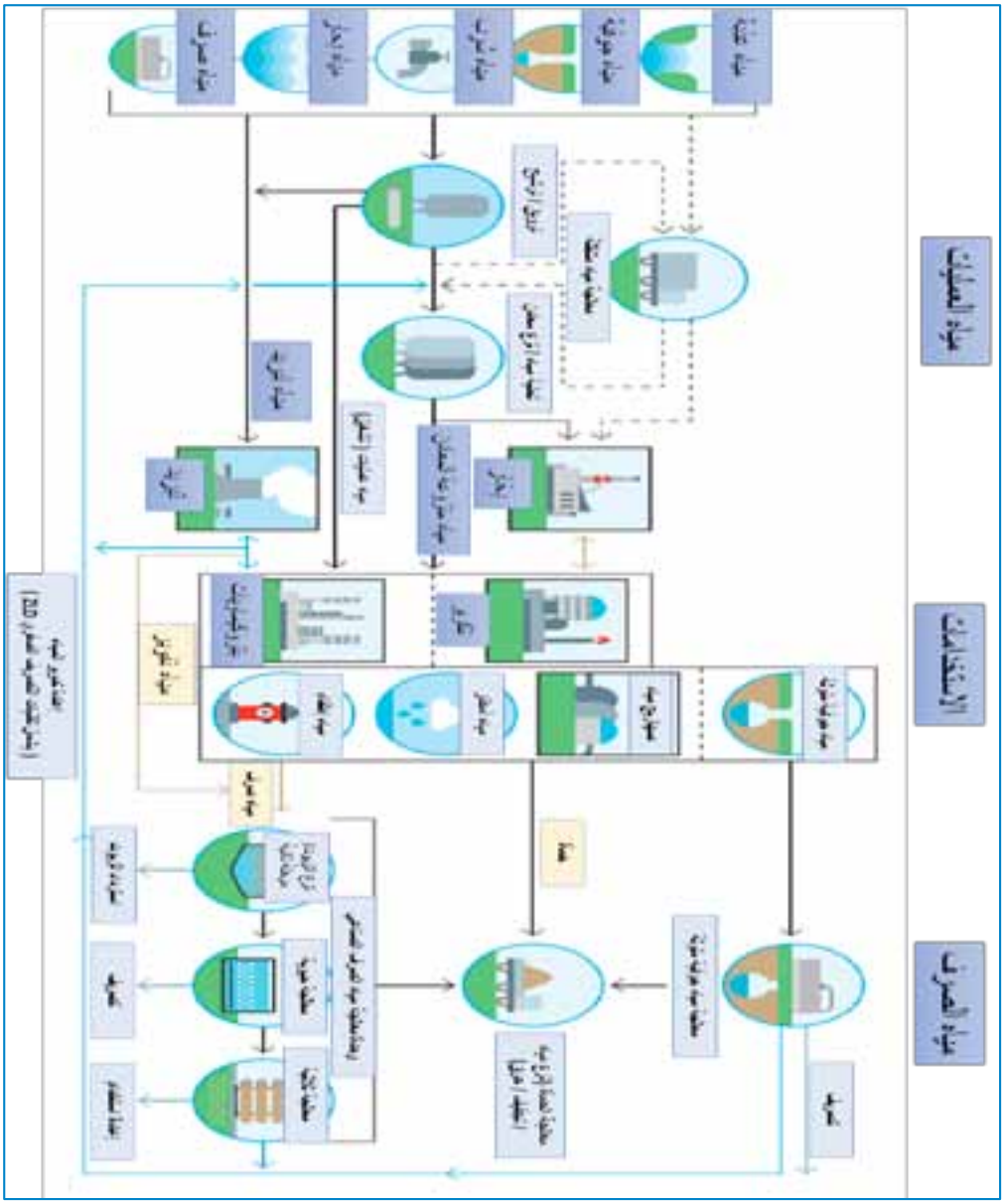
تستهلك مجمعات صناعة البتروكيماويات كميات ضخمة من المياه، وأكثر هذه المجمعات يملك موارده المائية الخاصة، سواءً من مصادر المياه السطحية، أو الجوفية، أو من كليهما. ويستخدم بعضها الآخر مياه الشرب البلدية، جزئياً أو كلياً. تنشيئ مصانع البتروكيماويات وحدات خاصة بها من المرافق لتأمين احتياجاتها من الطاقة والبخار، أو تأمينها من مصادر خارجية، وتقوم عادة بتوليد ما تحتاجه من البخار بضغوط معتدلة [20]، حيث تستخدم مصانع البتروكيماويات كميات ضخمة من البخار في وحداتها الإنتاجية المختلفة، مثل وحدات تكسير الإيثيلين، والنافثا بالبخار"Steam Cracking" لإنتاج الإيثيلين، أو لإنتاج الهيدروجين بطريقة الإصلاح بالبخار "Steam Reforming". هذا وتقوم عدد من مجمعات البتروكيماويات بمعالجة، وتنقية، واعادة استخدام جزء مياه الصناعة، والمياه الخدمية في مصانعها.

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. يبين شكل (1) استخدامات المياه المختفة في صناعتي التكرير والبتروكيماويات [30].

1.3.1. الغلايات (المراجل) لإنتاج البخار

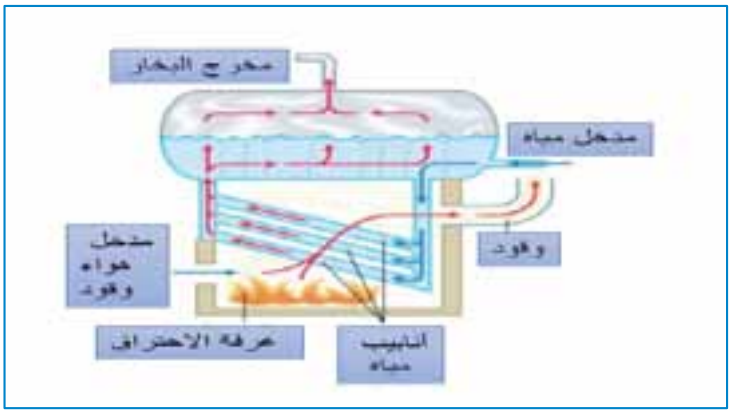
الغلاية (المرجل) عبارة عن جهاز لتوليد البخار، يتكون من جزئيين رئيسيين هما، الفرن لتوليد الحرارة عن طريق حرق الوقود، والغلاية، وهو الجهاز الذي يحول المياه إلى بخار بواسطة الحرارة. يستخدم البخار الناتج في مختلف العمليات الصناعية والإنتاجية، يبين شكل (2) مخطط مبسط لألية عمل الغلاية وإنتاج البخار [23]، ويبين شكل (3) مسقط أفقي لغلاية توليد البخار في مصنع داو للكيماويات، بمقاطعة ألبرتا في كندا [21].

شكل (1): استخدامات المياه المختلفة في صناعتي التكرير والبتروكيماويات



المصدر: Water for downstream refining and petrochemical industries

شكل (2): مخطط مبسط لألية عمل الغلاية وإنتاج البخار



المصدر: https://www.lenntech.com/applications/process/boiler/boiler-feed-water.htm

شكل (3): مسقط افقي لغلاية توليد البخار في مصنع "داو" للكيماويات بمقاطعة ألبرتا في كندا



المصدر: Package steam generating systems, amecfw.com

تعتمد جودة مياه التغذية "التعويض" على مصادرها من حيث احتوائها على نسب من الشوائب، والملوثات [26]. لذا فإنه في حال عدم معالجتها بصورة صحيحة قد تتسبب في تلوث أسطح نقل الحرارة، وزيادة معدل استهلاكات الطاقة. كما قد تحتوي مياه التعويض على نسب من الاكسجين الذائب، مسببةً تكون القشور، وزيادة معدلات عمليات التآكل، وكلما زادت كميات مياه التعويض، كلما زادت معها كميات الرواسب، والأكسجين الذائب.

طرق المعالجة الناجحة للمياه تستهدف تحقيق متطلبات النظام ككل وتشمل، تجهيز المياه قبل الدخول إلى الغلاية وتغذيتها، وتعظيم الاستفادة من المتكثفات، وتحقيق الحماية الداخلية للغلاية، والمحافظة على نظافة الغلاية من الداخل، وتجنب حدوث مشكلات تعمل على توقف الغلاية وخروجها من الخدمة، والمساعدة على إطالة فترة عمر عمل الغلاية، ومراقبة مستويات المعالجة اللازمة والتحكم بها، لذا فإن جودة مياه الغلايات أمراً هاماً لتجنب الإضرار بها وحدوث خسائر جسيمة [26].

1.1.3.1. مياه تغذية الغلايات

مياه تغذية الغلايات يجب أن تكون مياه ذات مواصفات خاصة، وعادة ما تكون خليط من المتكثفات "Condensate" بنسبة 95-99%، وتكون النسبة المتبقية من مياه التعويض، وقد تصل نسبة المتكثفات إلى 100% من اجمالي مياه تغذية الغلايات.

يجب التأكد من جودة المياه قبل البدء في إمداد الغلايات بالمياه لحمايتها من تكون القشور والترسبات، يبين الجدول (4) المواصفات القياسية لمياه الغلايات، طبقاً للرابطة الأمريكية لمصنعي المراجل "American Boiler Manufactures Association, ABMA"، والجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين "American Society of Mechanical Engineers, ASME"، حسب الضغوط التي تعمل بها [25،26].

جدول (4): المواصفات القياسية لمياه الغلايات

الخاصية	الوحدة القياسية	الضغط (بار)							
		0-20.7	20.8-31.0	31.1-41.4	41.5-51.7	51.8-62.1	62.2-68.9	96-103.4	103.5-137.9
المواصفات القياسية لمياه تغذية الغلايات									
الأكسجين الذائب	ملغرام/ليتر	0.04	0.04	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
الحديد	ج.ف.م	0.1	0.05	0.03	0.025	0.02	0.02	0.01	0.01
النحاس	ج.ف.م	0.05	0.025	0.02	0.02	0.015	0.015	0.01	0.01
القساوة الكلية $CaCO_3$	ملغرام/ ليتر	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.05	غير محدد	
الكربون العضوي الكلي "TOC"	ملغرام/ليتر	1	1	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2
المواد الزيتية	ملغرام/ليتر	1	1	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2
الأس الهيدروجيني عند 25° م		10-7.5					-8.5 9.5	9.6-9	9.6-9
المواصفات القياسية لمياه الغلايات									
السيليكا	ج.ف.م	150	90	40	30	20	8	2	1
القلوية الكلية $CaCO_3$	ملغرام/ليتر	350	300	250	200	150	10	غير محدد	
التوصيل النوعي عند 25° م بدون معادلة	ميكروسيمنس/سم µS/cm	3500	3000	2500	2000	1500	1000	150	100

المصدر: Characteristic of boiler feedwater-Lenntech

Boiler Water- Problems & Solutions, PDH Course M165.

تجرى العديد من التحاليل الكيميائية على مختلف أنواع مياه الغلايات بصورة دورية سواءً مرة واحده كل وردية، أو على فترات ثابتة، أو عند الحاجة، ذلك طبقاً لمتطلبات كل اختبار بهدف احكام رقابة الجودة على المياه، والتأكد من مطابقتها للمواصفات القياسية حسب استخداماتها المختلفة، كما يبين الجدول (5). هذا وتحدد نتائج الاختبارات مدي الحاجة لإجراء عمليات معالجة للمياه "إذا دعت الضرورة" (26،21).

جدول (5): تحاليل دورية لإحكام الرقابة على جودة مياه تغذية الغلايات

الخاصية	تكرارية إجراء الاختبار
التوصيل الكهربي	باستمرار
رقم الأس الهيدروجيني	باستمرار
القساوة الكلية	يومي
القاعدية الكلية	تجرى عند الحاجة
محتوى الكلوريد	مرة واحدة كل وردية (مرة كل 8 ساعات)
السيليكا	باستمرار
الأكسجين الذائب	باستمرار
نسبة المتبقي من كبريتيت الصوديوم، هيدرازين	مرة واحدة كل وردية (مرة كل 8 ساعات)
الفوسفات	مرة واحدة يومياً (في حالة تخفيف المياه بالكلس Lime)
الحديد	على فترات
النحاس	تجرى عند الحاجة
المواد الزيتية	تجرى عند الحاجة

المصدر: Industrial Water Handbook, Principle Public Health Laboratory, India, Chemical Publishing Company,2011.

تعالج مياه الغلايات حسب الضغوط التي تعمل بها، فإذا ما كانت المياه لتغذية الغلايات التي تعمل ضمن الضغوط المنخفضة، فقد تكفي عملية إزالة العسر فقط، كما قد يحدث عن طريق تبادل كاتيونات الصوديوم، أما الغلايات التي تعمل ضمن الضغوط المتوسطة، فقد يلزم معالجة المياه لخفض قيمة المواد الصلبة والقلوية، إضافة إلى إزالة العسر بطرق المعالجة على الساخن، أو بطريقة تبادل الكلس البارد لكاتيونات الصوديوم على مرحلتين، أو بطريقة تبادل كاتيونات الهيدروجين، وبعد ذلك، بالتعادل بالصودا الكاوية، وهو الأكثر شيوعاً.

في حالة إنتاج بخار بضغوط مرتفعة فإنه بالإضافة إلى إزالة العسر، وخفض قيمة المواد الصلبة في المياه، يلزم أيضاً خفض محتوى السيليكا، وذلك عن طرق المعالجة بالتبادل لكاتيونات الصوديوم، أو المعالجة بالفوسفات.

أما في حالة الغلايات التي تعمل بضغط مرتفع جداً لابد من استخدام مياه ذات درجة نقاوة قصوى، ذلك بإزالة كافة الشوائب، عن طريق إزالة المعادن بتبادل الأيونات، أو بالتقطير [20]. مع الأخذ في الاعتبار أن مكونات دائرة بخار الماء قد تسبب عمليات التآكل، أو التلوث ليس فقط لأسطح نقل الحرارة للغلايات، ولكن أيضاً للتوربينات البخارية، والمبادلات الحرارية. يجب مراعاة تحديد مسببات تأكل أسطح نقل الحرارة، وقد يعزى إلى وجود المواد الصلبة الكلية، والقلوية، والحموضة الحرة، بالإضافة إلى وجود الأكسجين الذائب، وثاني أكسيد الكربون، كما أن وجود معادن مثل الحديد، والنحاس يعمل على تلوث أسطح نقل الحرارة.

2.1.3.1. مياه الغلايات

دراسة نتائج اختبارات عينات مياه الغلايات مفيدة للغاية، حيث يمكن التعرف على الظروف الداخلية للغلاية، ومنها يمكن التعرف على مدى الحاجة لإجراء بعض المعالجات اللازمة للمياه بإضافة بعض الكيماويات إذا دعت الحاجة لذلك، وفي هذه الحالة فإن هناك بعض الاختبارات يلزم اجراؤها لإحكام الرقابة، ومتابعة مواصفات المياه، كما ذكر في الجدول (5) [21].

3.1.3.1. المتكثفات

المتكثفات "Condensate" عبارة عن مياه ذات درجة نقاوة قصوى ناتجة عن تكثيف للبخار المنتج. من المهم تعيين خواص العكارة، والتوصيل الكهربي، والقساوة للمتكثفات لمعرفة ما إ ذا كان هناك أي تسريب للبخار في المبادلات الحرارية أو المكثفات. ويجري أيضاً اختبار تعيين نسبة السيليكا للتعرف على ما إذا كان هناك تلوث للبخار الراجع، وتفيد مراقبة قيم الأس الهيدروجيني للمتكثفات في تحديد مدى الحاجة إلى إضافة الأمينات بشكل منتظم إذا دعت الضرورة، تكون قيمة رقم الأس الهيدروجيني في حدود "8" بعد إضافة الأمينات. يجرى اختبار تعيين نسب المعادن مثل الحديد، والنحاس، بالإضافة إلى اختبار الأكسجين الذائب لتحديد حدوث عمليات التآكل، يبين الجدول (6) الاختبارات الروتينية اللازمة لإحكام ومراقبة جودة المتكثفات (21).

جدول (6): الاختبارات الروتينية اللازمة لإحكام ومراقبة جودة المتكثفات

الخاصية	تكرارية إجراء الاختبار
العكارة	مرة في اليوم
التوصيل الكهربي	باستمرار
رقم الأس الهيدروجيني	باستمرار
القساوة الكلية	تجرى عند الحاجة
السيليكا	باستمرار
الصوديوم	تجرى عند الحاجة
النحاس	تجرى عند الحاجة
الحديد	تجرى عند الحاجة
المواد الزيتية	تجرى عند الحاجة

المصدر: Industrial Water Handbook, Principle Public Health Laboratory, India, Chemical Publishing Company,2011.

4.1.3.1. تفوير الغلايات

عملية تفوير "هدر" مياه الغلايات هي عملية رئيسية تتم وفق برامج المعالجة المعدة لكل غلاية للتخلص من الحمأة المترسبة، والمعادن الذائبة خارج الغلاية حتى لا تتسبب في أضرار جسيمة لها، تكون عملية التفوير مستمرة أو على فترات متقطعة، قد تكون هناك حاجة لتفوير مياه الغلاية كل ساعة " إذا تطلب ذلك". في كل الحالات يجب أن يكون هناك توازن بين عملية التخلص من الملوثات والشوائب من المعادن، وفقد الحرارة، والمعالجات الكيميائية اللازمة [21].

5.1.3.1. البخار

من الضروري مراقبة نقاوة البخار المنتج، بتعيين خاصية التوصيل الكهربي، أو حساب تركيز الصوديوم في عينة المتكثفات [21].

2.3.1. التكسير بالبخار

التكسير بالبخار يبقى هو حجر الزاوية في صناعة البتروكيماويات لإنتاج الأوليفينات (الإيثيلين، والبروبيلين، والبيوتادايين، والبيوتين)، أو العطريات (بنزين عطري، وطولوين، وزايلين). هذا ويعتمد اختيار المادة الخام الأولية للتصنيع على مدى توافرها، سواءً كانت مواد أولية (لقيم) غازية مثل الإيثان، والبروبان، أو مواد أولية سائلة مثل النافثا، وزيت الغاز، والمتكثفات الغازية، وأيضاً طبقاً لسلة المنتجات النهائية المطلوب إنتاجها [3]. وتبقي كمية البخار اللازمة للإنتاج معتمدة بشكل أساسي على نوع المادة الخام الأولية (اللقيم) المستخدمة، أي تعتمد على نسبة الهيدروكربونات إلى البخار. تحتاج الهيدروكربونات الأخف إلى كميات أقل من البخار مقارنةً بالهيدروكربونات الأثقل. وتعتمد سلة المنتجات التي يتم الحصول عليها أيضاً على درجة حرارة التكسير للفرن، وزمن المكوث في المفاعل "Residence time".

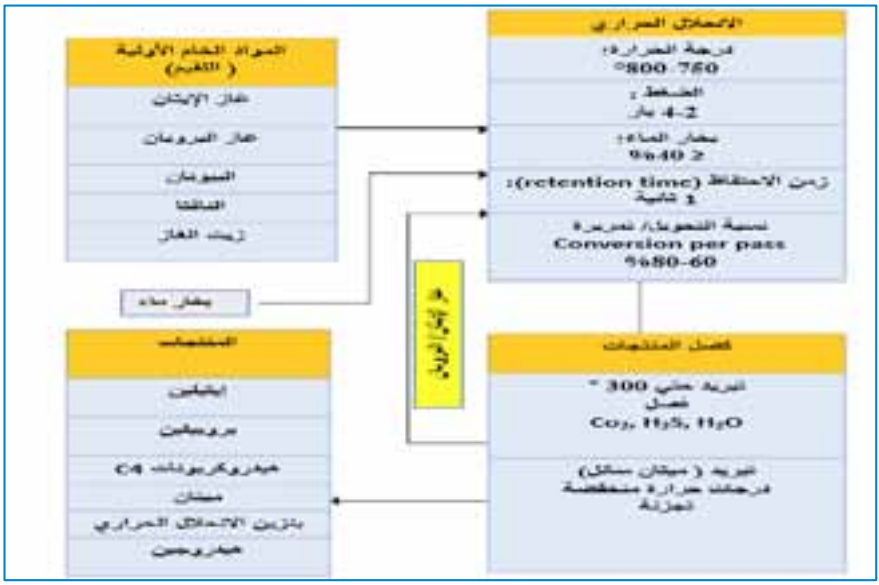
يمثل الجدول (7) تقديرات كميات البخار اللازمة لعمليات التكسير بالبخار تبعا لنوع اللقيم المستخدم [4]. ويمثل شكل (4) مخطط مبسط لعملية الانحلال الحراري للهيدروكربونات بالبخار.

جدول (7): تقديرات كميات البخار اللازمة لعمليات التكسير بالبخار تبعا لنوع اللقيم المستخدم

المادة الخام الأولية	كمية البخار كجم / كجم هيدروكربون
إيثان	0.4-0.2
بروبان	0.5 – 0.3
نافثا	0.8 -0.4
زيت الغاز	1.0 – 0.8

المصدر: Naphtha and Gas Cracking for Production of Olefins

شكل (4): مخطط مبسط عملية الانحلال الحراري للهيدروكربونات بالبخار

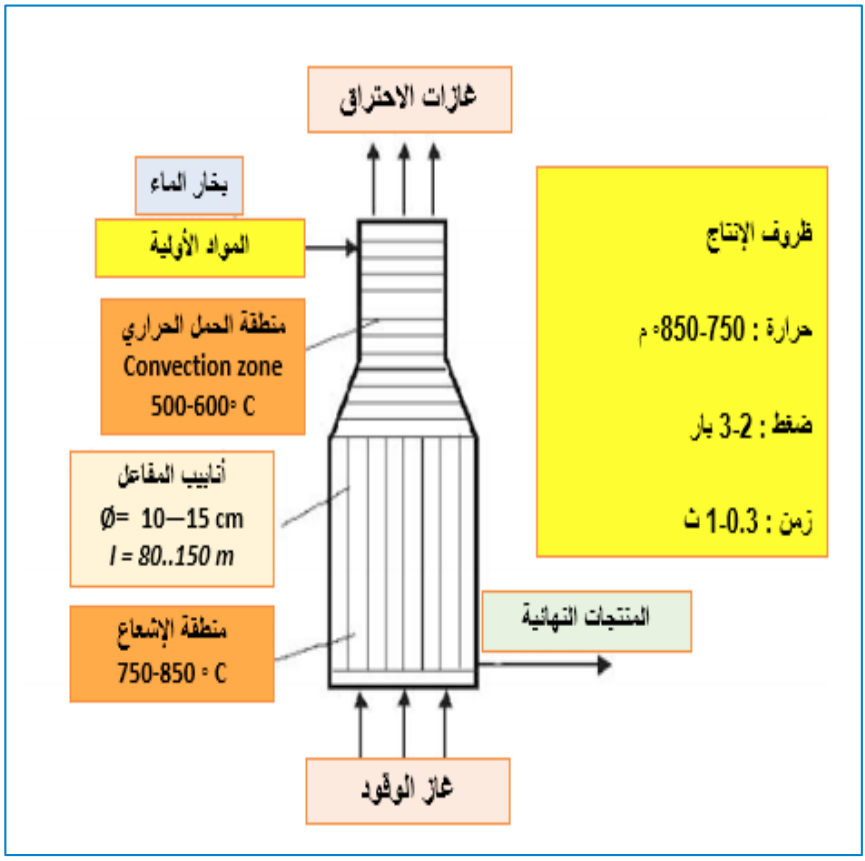


المصدر: Petroleum Refining and Petrochemical Processes, Production of Olefins – Steam Cracking of hydrocarbons

يستخدم مفاعل فرن الانحلال الحراري"pyrolysis furnace"، وهو الأكثر شيوعاً في عمليات الانحلال الحراري للهيدروكربونات الخفيفة مثل الإيثان، والبروبان، والبيوتان، النافثا، ومتكثفات الغاز، الخ، لإنتاج الأوليفينات باستخدام الغاز كلقيم، كما يبين شكل (5) [5]. تتم سلسلة

من العمليات الصناعية، وعمليات التبريد سواءً بالزيت و/أو الماء طبقاً لنوع اللقيم المستخدم (غاز/ سائل)، وطبقاً لسلسلة المنتجات النهائية التي يتم إنتاجها (أوليفينات / وقود بترولي) [3،6].

شكل (5): مخطط مبسط لمفاعل فرن الانحلال الحراري
لإنتاج الأوليفينات باستخدام الغاز كالقيم



المصدر: Petroleum Refining and Petrochemical Processes, Production of Olefins – Steam Cracking of hydrocarbons.

3.3.1. مياه التبريد

تُنتج مصانع البتروكيماويات منتج وحيد، أو منتجات متعددة ولكنها قد تشترك إلى حد ما في البنية التحتية لمياه التبريد، أوقد يكون لها مستوى من التكامل الحراري. تُستخدم كميات كبيرة من المياه في عمليات التبريد في صناعة البتروكيماويات، ويجب ألا تحتوي هذه المياه على نسب مرتفعة من المواد العالقة، أو كميات غير مرغوب فيها من القشور، وألا تكون لها قدرة كبيرة على حدوث عمليات التآكل. يعتمد استخدام مياه التبريد في إنتاج البتروكيماويات كثيرا على نوع المنتجات، وعمليات الإنتاج، وكفاءة العمليات الإنتاجية ونظام التبريد (أو التكامل الحراري) داخل المجمع، لذا يجب ألا يقتصر وصف دور المياه في عمليات التبريد على مفهوم التبريد فقط، ويجب الأخذ في الاعتبار العديد من المفاهيم الأخرى مثل:

1. استخدام مياه التبريد مسألة معقدة ولا يمكن حصرها فقط في مفهوم كمية المياه / طن منتج (طن/م^3).
2. مياه التبريد تعتمد على تكنولوجيا الإنتاج المركبة، وتصميمات نظام التبريد، والتكامل الحراري.
3. يمكن أن يختلف مفهوم عمليات التبريد كثيرا تبعا للموقع الجغرافي للموقع.
4. تقدير كميات مياه التبريد على أساس الطاقة الإنتاجية للمصنع هو نهج عام لا ينطبق بالضرورة على كل موقع، ومن المحتمل وجود مجموعة كبيرة من الاختلافات في تقدير كميات المياه بين المواقع [8،28].

1.3.3.1. أنواع أنظمة التبريد

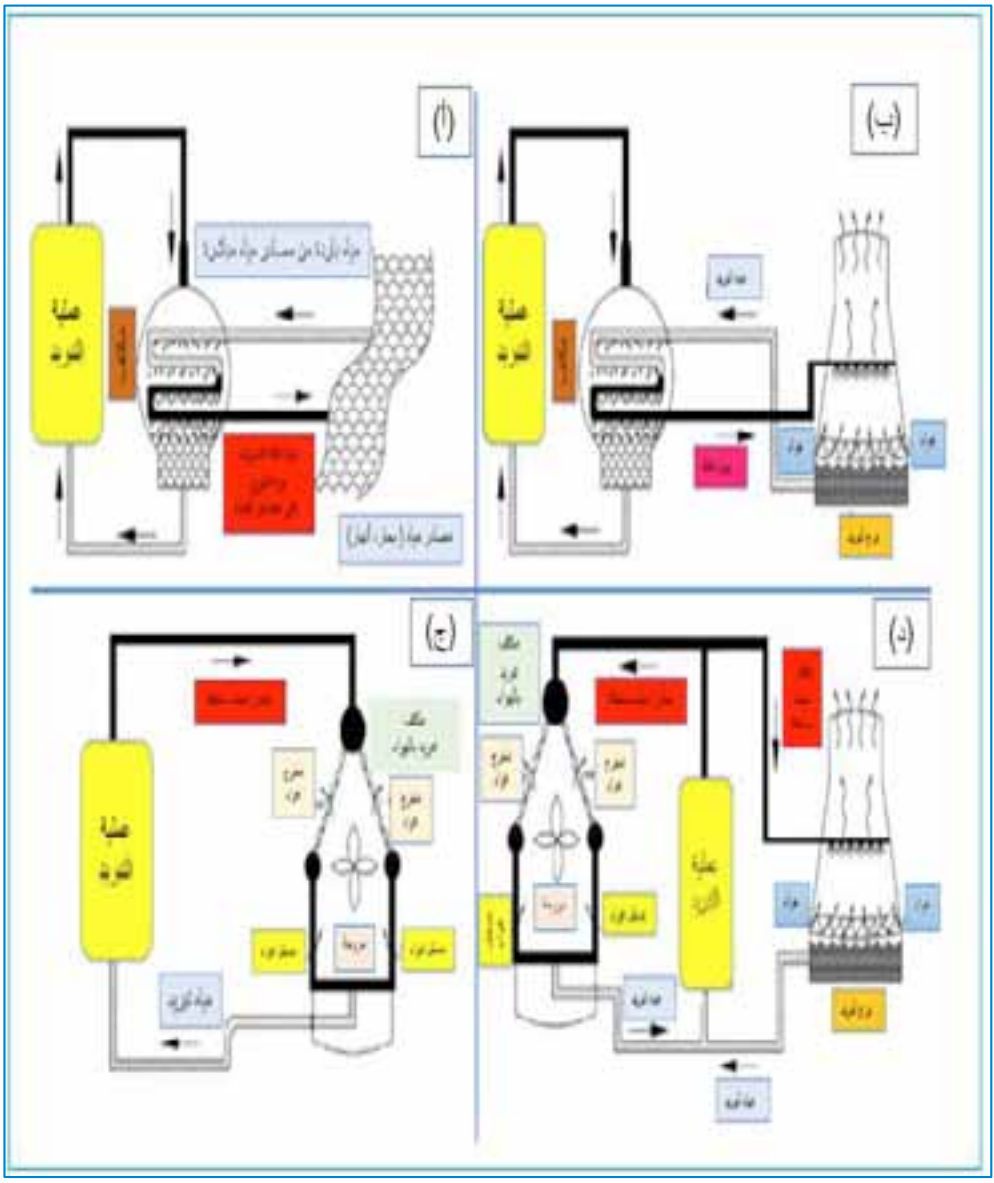
يتميز نظام التبريد بثلاثة أنواع رئيسية: التبريد مرة واحدة، أبراج التبريد "الرطب"، والتبريد الجاف، بالإضافة إلى نظام هجين بين الرطب والجاف " لا يستخدم نظام التبريد الهجين في الوقت الراهن بشكل كبير"، يبين شكل (6) أنواع أنظمة التبريد المختلفة.

يمثل شكل (أ) من شكل (6)، نظام التبريد للمرة الواحدة، وفيه تستخدم كميات ضخمة من المياه مرة واحدة وتصرف "تهدر" مرة أخري إلى مصادرها الطبيعية (بحار، أنهار) [2،7]، في هذه الحالة قد لا نحتاج إلى أي عمليات معالجة لمياه الصرف الصناعي، أو قد يلزم فقط المعالجة بالكلور، أو المعالجة الحمضية، وذلك لتخفيف عسر البيكربونات [20].

يمثل شكل (ب) من شكل (6)، نظام التبريد بالتدوير عدة مرات، حيث تستخدم أبراج تبريد مختلفة لتصريف الحرارة الزائدة إلى الجو، وهذا النظام يحتاج إلى العديد من عمليات الغسيل، والتنظيف لمنع تراكم الأملاح، والتراكم البيولوجي [2،7]، ولمنع تكون وتشكل القشور والناميات العضوية "Microbiological growth". قد تتم المعالجة بطريقة الكلس الباردة "Cold lime soda process"، أو طريقة الكلس الباردة وتبادل الكاتيونات، أو طريقة تبادل كاتيونات الصوديوم، أو بالطريقة الحمضية [20].

يمثل شكل (ج) من شكل (6)، نظام التبريد الجاف وفيه لا يتم استخدام المياه، بل يتم تبريد البخار بواسطة تيارات الهواء الناتجة عن المراوح المستخدمة. يمثل شكل (د) من شكل (6)، نظام التبريد الهجين، حيث يكون نظام التبريد مزيج من نظام التبريد الرطب، ونظام التبريد الجاف. تختلف كميات ومتطلبات المياه المستهلكة طبقاً لنوع نظام التبريد. يبن الجدول (8) مقارنة بين الأنواع المختلفة لأنظمة التبريد [7،11].

شكل (6): أنواع أنظمة التبريد المختلفة



المصدر: Development of a Zero Liquid Discharge Approach for Cooling Tower Blowdown in Petrochemical Industry, Asian Institute of Technology School of Environment, Resources and Development, Thailand, May 2014

جدول (8): مقارنة بين الأنواع المختلفة لأنظمة التبريد

نوع نظام التبريد	التبريد لمرة واحدة Once-through	أبراج التبريد Cooling tower	التبريد الجاف Dry cooling	التبريد الهجين Hybrid cooling
ألية عملية التبريد	• سحب المياه من المصادر السطحية للمياه. • تصريف المياه الدافئة (مياه الصرف الصناعي) مباشرة إلى مصادرها.	• تمرر المياه في المكثفات لخفض درجات الحرارة بها. • يعاد مرور مياه ذات درجة حرارة منخفضة إلى المكثفات مرة أخرى.	• لا تستخدم المياه في عمليات التبريد. • يعتمد التبريد على الهواء في درجات الحرارة العادية، والناتجة عن تيارات هواء مراوح التبريد. • يتكثف البخار على هيئة مياه سائلة.	• نظام هجين، مزيج بين نظام التبريد الرطب والتبريد الجاف. • يمكن تشغيل النظامين لزيادة كفاءة التبريد.
المميزات	• نظام تبريد بسيط. • تكلفة منخفضة.	• نظام دائرة مغلقة لعملية التبريد. • عمليات نقل للحرارت المرتفعة (خفض درجات الحرارة العالية).	• لا يوجد استهلاكات للمياه.	• كفاءة تبريد عالية. • استخدامات منخفضة من المياه والطاقة. • مساحات صغيرة لتشغيل نظام التبريد.
العيوب	• تؤثر على الحياة المائية والنظام البيئي. • حدوث عمليات تآكل. • تكون ترسبات وقشور. • ملوثات بيولوجية.	• تكلفة مرتفعة لارتفاع تركيزات المواد الصلبة الذائبة، نتيجة عمليات البخر. • عمليات تأكل، وتكون ترسبات نتيجة الحرارات المرتفعة.	• تكلفة مرتفعة. • كفاءة تبريد منخفضة.	• تكلفة مرتفعة للغاية.
كمية المياه المتصرفة	كبيرة	متوسطة	لا يوجد	متوسطة
***استهلاكات المياه**	منخفضة	كبيرة	لا يوجد	كبيرة
*فقد المياه نتيجة البخر، والتدفق				

المصدر: Development of a Zero Liquid Discharge Approach for Cooling Tower Blowdown in Petrochemical Industry, Asian Institute of Technology School of Environment, Resources and Development, Thailand, May 2014

2.3.3.1. أبراج التبريد

تحتاج صناعة البتروكيماويات إلى نظام تبريد "Cooling System"، يعمل على خفض درجة الحرارة طبقاً لنوع نظام التبريد المركب بالمصنع. تعد أبراج التبريد أحد الأنظمة الفعالة للتخلص من الحرارة الناتجة، والتي تعمل على نقل الحرارة إلى الهواء المحيط بخفض درجة حرارة تيارات المياه، والتي تعمل كمبادل حراري لخفض درجات الحرارة الناتجة عن مختلف العمليات الصناعية.

يتم امتزاز الحرارة الناتجة بواسطة تيارات المياه ثم يتم خفض درجة حرارة المياه بتمريرها من خلال نظام التبريد الملحق ضمن وحدات المرافق الرئيسية بالمصنع، ثم يعود الماء المبرد مرة أخري لامتزاز الحرارة الناتجة عن العمليات التشغيلية، وينتج عن عمليات التبريد بخر لكميات من مياه التبريد المستخدمة، مما يؤدي إلى ارتفاع نسب الأملاح المعدنية في مياه التبريد، ومع زيادة نسب الأملاح عن معدلات الذوبانية للمياه، يحدث تلوث للمياه، وتتكون القشور على أسطح المبادلات الحرارية، لذا فلابد من التحكم في مستويات ونسب المواد الصلبة الذائبة (الأملاح المعدنية)، وذلك بتفوير "سحب/ هدر" كمية من المياه وتعويضها بكميات مناسبة من مياه التعويض (التغذية).

يمكن إعادة تمرير مياه التبريد لعدد من المرات في أبراج التبريد، أو ما يطلق عليها "دورات التركيز"، مع مراعاة النسب المسموح بها من الملوثات، والأملاح المعدنية، ومعها أيضاً يجب تفوير جزء من المياه، وتجديدها بكميات أخرى من مياه التغذية.

يطلق مصطلح "التفوير" على كميات المياه التي يتم سحبها (تفريغها) من نظام التبريد لخفض معدلات تلوث المياه، بالإضافة إلى عمليات التفوير تلجأ المصانع إلى إضافة بعض أنواع من الكيماويات المستخدمة للتحكم في خفض معدلات نمو الكائنات الحية الدقيقة، ومنع التآكل، وزيادة القدرة على ذوبانية الأملاح المعدنية، ذلك بهدف الاستغلال الأمثل لمياه التغذية، الجدول (9) الكيماويات المستخدمة لضبط خواص المياه في أبراج التبريد [30].

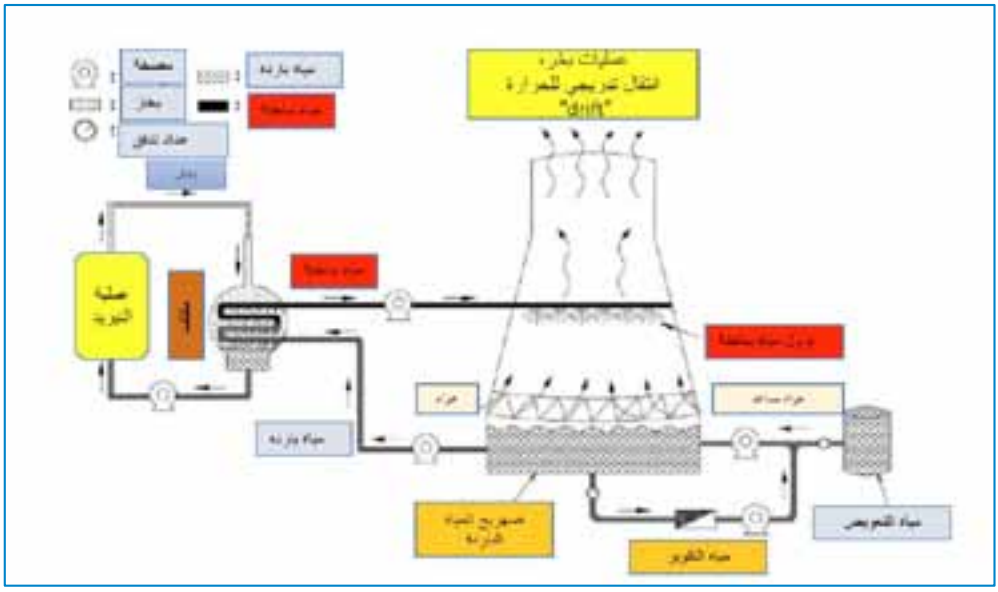
يعد الموليبدينوم (Mo) أحد الكيماويات الشائع استخدامها، كمثبطات للتأكل، وفي كثير من الأحيان يتم استخدام الموليبدينوم جنبا إلى جنب مع مثبطات تآكل أخرى، مثل بعض مركبات الفوسفات العضوية، والأزولات العطرية. هذا ويحظر استخدام الموليبدينوم في حال تصريف مياه التفوير على المصارف أو المجاري الصحية [30]، يبين شكل (7) مخطط مبسط لشرح آليات عمليات التبريد المختلفة باستخدام أبراج التبريد [7]، بينما يبين شكل (8) بعض مكونات أبراج التبريد.

جدول (9): الكيماويات المستخدمة لضبط خواص المياه في أبراج التبريد

نوع الكيماويات	الاستخدامات	التطبيق	الحد الأقصى للتركيزات
• **فوسفات عضوي**	• التحكم في تكون القشور	• باستمرار	20 ملغرام/ ليتر
• **أورثوفوسفات**	• التحكم في تكون القشور • مثبط تأكل	• باستمرار	20 ملغرام/ ليتر
• **سيليكات الصوديوم**	• مثبط تأكل	• باستمرار	150 ملغرام/ ليتر
• **أزولات عطرية**	• مثبط تأكل	• باستمرار	4-1 ملغرام / ليتر
• **موليبدينوم**	• كاشف، ومثبط التآكل	• باستمرار	10-5 ملغرام / ليتر
• **كلور**	• مثبط نمو الكائنات الحية الدقيقة	• باستمرار، أو على جرعات	0.5 ملغرام / ليتر
• **بروم**	• مثبط نمو الكائنات الحية الدقيقة	• باستمرار، أو على جرعات	0.2 ملغرام / ليتر

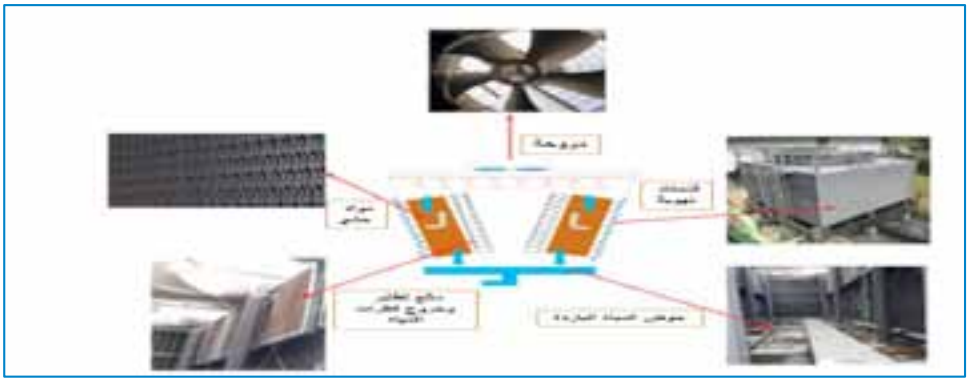
المصدر: Best Management practice and Guidance Manual for Cooling Towers, Prepared by JEA for the control of pollutants discharged to the sanitary collection system, August, 2005.

شكل (7): شرح مخطط مبسط لآليات عملية التبريد باستخدام أبراج التبريد



المصدر:- Pilot project on availability, use and sustainability of water production of nuclear and fossil energy – Geo-localized 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.

شكل (8): بعض مكونات أبراج التبريد



المصدر: Technical Reference for Water Conservation in Cooling Towers, 1 st Edition, Nov 2017, Singapore's National Water Agency.

1.2.3.3.1. تقديرات كميات مياه التبريد في العمليات الصناعية

يعتمد تقدير كميات المياه المستخدمة في العمليات الصناعية على عدد من المحددات وأهمها، متطلبات كميات مياه التبريد لعملية الإنتاج، افتراضيات استخدام نظام التبريد الرطب، مرات إعادة تدوير مياه التبريد والتي تتراوح ما بين 3 إلى 7 دورات، كميات البخر، والطاقة الإنتاجية السنوية للمنتج النهائي [8،10]. يبين الجدول (10) تقديرات استخدام مياه التبريد لإنتاج الأمونيا، والإيثيلين، والهيدروجين [8]. تقدير كميات مياه التبريد اللازمة للعمليات الإنتاجية يتم طبقاً لنوع العملية الإنتاجية والمنتج النهائي، حيث تقدر كميات مياه التبريد اللازمة للإنتاج طن من الإيثيلين بالتكسير بالبخار للنافثا بنحو 200 م3، وتبلغ أيضاً حوالي 200 م^3 لإنتاج طن من الأمونيا، فيما تبلغ نحو 2000 م^3 لإنتاج طن من الهيدروجين [7].

جدول (10): تقديرات استخدام مياه التبريد لإنتاج الأمونيا والإيثيلين والهيدروجين

المنتج	معدل كميات مياه التبريد (م^3/طن)	عدد دورات إعادة التدوير لمياه التبريد	معدل مأخذ كميات المياه (م^3/طن)	نسبة استهلاكات مياه التبريد	معدل كميات استهلاكات مياه التبريد (م^3/طن)	معدل تصريف مياه التبريد (م^3/طن)
أمونيا	200	7-3	67-29	%2	4	63-25
إيثيلين	200	7-3	67-29	%2	4	63-25
هيدروجين	2000	7-3	667-286	%2	40	627-246

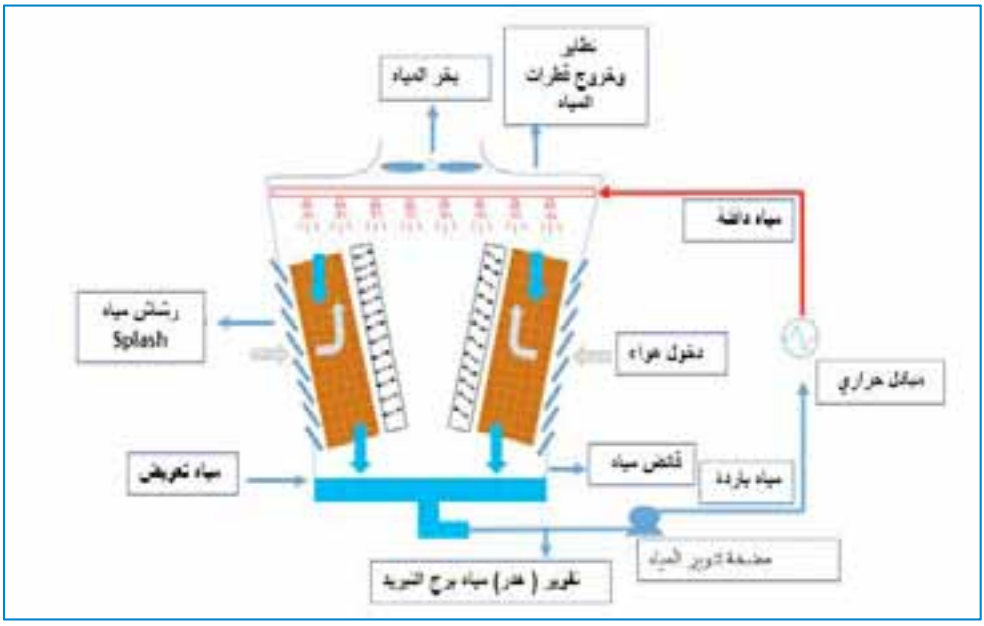
المصدر:- Geo – Pilot project on availability, use and sustainability of water production of nuclear and fossil energy localized inventory of water use in cooling processes, assessment of vulnerability and of water use management measures, End Report, the European Commission Directorate General Environment ,2014.

2.2.3.3.1. الاتزان المائي

الاتزان " التوازن " المائي "Water Balance" لبرج التبريد يشمل جميع مدخلات، ومخرجات المياه المرتبطة بتشغيل النظام. تشمل مخرجات المياه التحكم في عوامل فقد المياه، مثل البخر، والهدر "التفويز"، والانجراف "تطاير، وخروج قطرات المياه"، وتسرب

المضخات، أو أيه مصادر ومسببات لفقد المياه غير خاضعة للتحكم، مثل طفح المياه "Overflow". يتم تعويض كافة أسباب نقص أو فقد المياه عن طريق إمدادات مياه التغذية "التعويض". يبين شكل (9) مخطط مبسط للاتزان المائي في أبراج التبريد [29].

شكل (9): مخطط مبسط للاتزان المائي في أبراج التبريد



المصدر: Technical Reference for Water Conservation in Cooling Towers, 1 st Edition, Nov 2017, Singapore's National Water Agency.

يعد الاتزان المائي الطريقة الأساسية والرئيسية لتحديد كميات ونسب البخر الناتج عن خفض حرارة مياه التبريد، حيث أن خفض درجة حرارة مياه برج التبريد بمقدار 1° ف، يلزم له بخر يقدر بنحو 0.1% من كميات المياه التي يتم تدويرها، وهو ما يعادل 1 % من المياه لكل 10° ف. فمثلاً إذا فرض ان معدل دوران مياه برج التبريد يبلغ 1000 جالون/ دقيقة، ويلزم خفض درجة حرارة مياه التبريد بمقدار 10° ف "من 90° ف إلى 80 ° ف"، فإن معدل بخر مياه برج التبريد يمكن حسابها من خلال المعادلة التالية:

"معدل البخر = 1000 جالون/ دقيقة X (90° ف-80°ف) 0.001X = 10 جالون/دقيقة" [28،18]. يبين الجدول (11) معدل كميات بخر مياه أبراج التبريد لكل 10° ف.

جدول (11): معدل كميات بخر مياه أبراج التبريد لكل 10 ° ف

خفض درجات الحرارة ° ف	معدل بخر مياه التبريد (جالون)		
	لكل دقيقة	لكل يوم	لكل سنة
10	10 ج	14,400	5,265,000
20	20 ج	28,80	10,512,000
30	30 ج	43,20	15,678,000

*يعمل نظام التبريد 24 س/ي، لمدة 365 ي/س، بمعدل 1000 ج/د.

المصدر: Cooling Towers, Continuing Education and Development, Inc.

يساهم الاتزان المائي في تحديد، وكشف التلوث أو الترسبات الحادثة، بالإضافة إلى تحديد مدى الحاجة إلى إضافة كيماويات معالجة المياه. يتم تقييم كفاءة أبراج التبريد عن طريق مقارنة تركيزات المواد الصلبة الذائبة في مياه التعويض، إلى نسبة تواجدها في مياه التفوير لبرج التبريد [28].

3.2.3.3.1. دورات التركيز

دورات التركيز "Cycles of Concentration -COC "، كما يطلق عليها أيضاً معدل التركيز "Concentration Ratio" هي علاقة بين تركيز المواد الصلبة الذائبة (كلوريدات، وكبريتات) في مياه التفوير إلى نسبتها في مياه التعويض " التغذية"، وهي طريقة لتحديد عدد دورات مياه التبريد المثالية [28]. تتفاوت معدلات دورات تركيز المياه طبقاً لنظام التبريد المركب، وتحدد بعدد مرات مرور مياه التبريد خلال المبادلات الحرارية. لذا فإن العدد (1) يشير إلى أن المياه تستخدم لمرة واحدة ثم يهدر، بينما العدد (10) يشير إلى نظام تبريد عالي لإعادة تدوير واستخدام المياه [8]. يعد زيادة عدد مرات دورات التركيز هو النظام الأمثل والأكثر شيوعاً للحفاظ على مياه تبريد الأبراج. إن تحديد القيمة المثلى لعدد دورات التركيز

للمياه ليس بالأمر السهل، إذ لابد من الحفاظ على التوازن بين خفض تكاليف الكيماويات المستخدمة في عمليات المعالجة، والمياه، والصرف مقابل تكون الرواسب. عادة ما يتم تغذية الأبراج بمياه تغذية تحتوي على أقل تركيز ممكن من المواد الصلبة لضمان أكبر عدد من دورات التركيز، وإذا لم يكن عدد دورات التركيز معلوماً، فإن خمس دورات تركيز تعد هي القيمة الافتراضية المناسبة [28]. يجب الأخذ في الاعتبار بأن زيادة عدد دورات التركيز قد يخفض من تكاليف الكيماويات المستخدمة، وكمية مياه التبريد اللازمة، وكمية مياه الصرف، ولكنه في المقابل يزيد من احتمالية زيادة مخاطر تكوين القشور، لذا فإن إحكام ومراقبة جودة مياه التبريد في الأبراج يصبح أكثر أهمية [28]. يبين الجدول (12) العلاقة بين عدد دورات التركيز ونسبة الوفر في مياه التبريد، بافتراض أن معدل تدوير المياه 1000 جالون/دقيقة، وأن مقدار خفض درجات الحرارة ثابت بقيمة 10 ° ف. ويبين الجدول أن زيادة عدد دورات التركيز "COC" يزيد من نسب المحافظة على المياه، وتصل إلى 44.5 % في حال أن عدد دورات التركيز بلغ "10"، بينما لا يتم وفر أي كميات من المياه حال أن عدد الدورات "2" فيما أقل [28].

جدول (12): العلاقة بين عدد دورات التركيز ونسب الوفر في مياه التبريد

تركيز الدورات COC	معدل البخر 1% @ مدى 10° ف (جالون / دقيقة)	معدل التفوير (معدل البخر ÷ تركيز الدورات-1) (جالون/دقيقة)	كمية المياه المضافة إلى نظام التبريد (جالون/ الدقيقة)			% الوفر في المياه
			لكل دقيقة	لكل يوم	لكل سنة	
2	10	10 ج/ د	20	28,800	150,512,000	**0**
4	10	3.3 ج/ د	13.33	19,152	6,990,480	**% 33.5**
6	10	2.0 ج/ د	12	17,280	6,207,200	**%41**
10	10	1.11 ج/ د	11.1	15,984	5,834,160	**%44.5**

المصدر: Cooling Towers, Continuing Education and Development, Inc.

تتسبب عمليات بخر مياه التبريد في زيادة تركيز المواد الصلبة الذائبة (TDS)، وفى بعض النقاط يتجاوز تركز المواد الصلبة الذائبة حد الذوبان المسموح به، مكوناً ترسبات وقشور غير مرغوب بها، كما هو مبين في شكل (10)، كما يلعب تركيز المعادن، ودرجة حرارة الماء، ورقم الأس الهيدروجيني، وتركيز المواد الصلبة العالقة، ومعدلات سريان المياه، بالإضافة إلى نوع المعادن المستخدمة في تصنيع الأجزاء الداخلية دوراً هاماً في تكون القشور والترسبات، كما يبين شكل (11) [19].

شكل (10): تكون ترسبات وقشور في نظام التبريد



المصدر: Cooling Water Management Basic Principles and Technology,2008

شكل (11): العوامل المؤثرة والمساعدة على تكون القشور والترسبات



المصدر: Learning the Way Water Is Managed, Water Introduction, NILCO Water

يعمل تراكم القشور و الترسبات على تكون طبقة تقلل من كفاءة وقدرة المياه على التبريد ونقل الحرارة الناتجة عن العمليات الصناعية، فمثلاً إذا كان سمك طبقة القشور المتكونة من كربونات الكالسيوم 1.5 مل، تعمل هذه الطبقة على خفض الكفاءة الحرارية "Thermal Efficiency" بنحو 12.5 % [17] ، كما يعمل تكون القشور على انسداد أنابيب ومعدات أبراج التبريد، وهو ما يعمل على زيادة استهلاكات كميات الطاقة اللازمة، ، كما يحدث تأكل للمعادن المكونة للمبادلات الحرارية والمكثفات، وهو ما قد يؤدي إلى خفض معدلات الإنتاج، وتأخر الجدول الزمني للإنتاج، وزيادة الوقت اللازم لأعمال الصيانة، بالإضافة إلى زيادة تكلفة الإصلاح والاستبدال للمعدات، كما يمكن أن يؤدي إلى توقف الإنتاج [19].

هناك طرق رئيسية تسهم في منع تكون القشور، والتحكم فيها عن طريق خفض تركيزات المعادن المكونة للقشور، إما بالمعالجة الأولية لمياه التعويض، أو بإضافة كيماويات كمثبطات، وموانع تكوين القشور. تعمل المثبطات بطريقتين، إما ألا تسمح بترسيب القشور وتجعلها عالقة في المياه، كما في شكل (12)، أو تسمح بترسبها على شكل حمأة غير ملتصقة يمكن إزالتها بطرق الترشيح المختلفة، كما تساهم زيادة سرعة دوران (مرور) المياه، وخفض درجات حرارة أسطح المعادن، وزيادة معدلات تفوير مياه أبراج التبريد في خفض معدلات تكون القشور والترسبات [18]. يبين الجدول (13) الخواص القياسية لجودة مياه التبريد [30].

جدول (13): الخواص القياسية لجودة مياه التبريد

الخاصية القياسية	نوع المياه			
	مياه التعويض	عدد 2 دورة تركيز	عدد 3 دورة تركيز	عدد 4 دورة تركيز
نسبة الكالسيوم ج.ف.م.	150	300	450	600
نسبة الكبريتات ج.ف.م.	130	260	390	520
القاعدية الكلية ج.ف.م.	110	220	330	440
نسبة السيليكا ج.ف.م.	30	60	90	120
المواد الصلبة الكلية ج.ف.م.	500	1000	1500	2000
رقم الأس الهيدروجيني	7.8	8.2	8.6	8.8
* مؤشر التشبع Langelier Saturation Index	0.40	1.40	2.10	3.10

* مؤشر التشبع: عبارة عن مؤشر لقياس احتمالية قدرة المياه على التسبب في عمليات التآكل، وتكون القشور. القيمة أقل من صفر تعني احتمالية عمليات التآكل، قيمة أعلى من صفر تعني احتمالية تكون القشور.

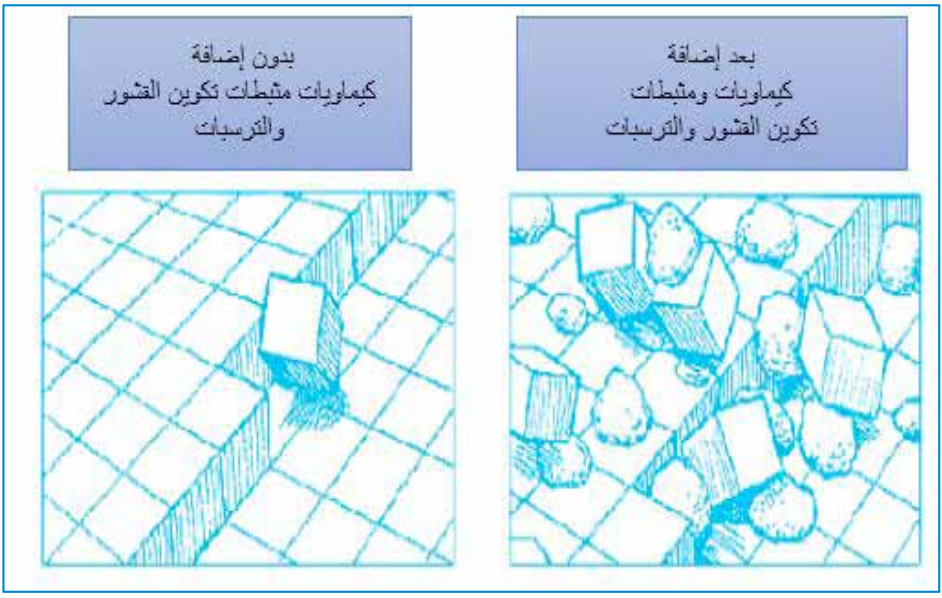
المصدر: Best Management practice and Guidance Manual for Cooling Towers, Prepared by JEA for the control of pollutants discharged to the sanitary collection system, August, 2005.

4.2.3.3.1. تفوير مياه أبراج التبريد

يعتمد مقدار المياه المهدرة (تفوير المياه) من برج التبريد على مقدار قساوة (عسر) مياه التبريد داخل الأبراج. للحفاظ على كفاءة مياه التبريد خلال عدد محدد من دورات التركيز، يجب أن يتم تفوير (هدر) كميات محددة من المياه بمعدل منتظم، فإذا كان عدد دورات التركيز ثلاثة،

فإن ثلث مياه التبريد يتم سحبها (هدرها). بينما يتم هدر ربع كمية المياه في حالة أن عدد دورات التركيز "أربعة" [28]. يتم خلال عملية تفوير مياه أبراج التبريد Cooling Tower Blowdown (CTBD)، سحب كمية من مياه التبريد المحتوية على تركيزات مرتفعة من المواد الصلبة الذائبة، والعسر (الكالسيوم، والماغنسيوم)، وكيماويات المعالجة للتحكم في معدلات التآكل [12].

الشكل (12): مخطط مبسط لميكانيكية عمل مثبطات تكوين القشور والترسبات



المصدر: Learning the Way Water Is Managed, Water Introduction, NILCO Water



الفصل الثاني

أنواع ملوثات مياه الصرف الصناعي وتقنيات المعالجة

الفصل الثاني

أنواع ملوثات مياه الصرف الصناعي وتقنيات المعالجة

تمهيد

تعتبر 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 قابلة للانفجار.

من الممكن أن تتسبب هذه الصناعة 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. لذا فإنه بموجب القوانين والتشريعات البيئية الصارمة يتطلب من كل منشأة صناعية إنشاء وحدات، أو محطات لمعالجة مياه الصرف الصناعي، وعلى كل مصنع اختيار تصميمات، وتقنيات المعالجة طبقاً لمحددات تتغير بتغير المنتج، ومواصفات مياه الهدر وكمياتها، والغرض من إعادة استخدامها، بالإضافة إلى ضرورة اختيار أنسب طرق إدارتها. يتناول هذا الفصل شرح مبسط حول مصادر التلوث المحتملة، وتقنيات وطرق وأساليب عمل وحدات، ومحطات المعالجة المختلفة لمياه الصرف" المياه العادمة".

1.2. التلوث والملوثات

يعرف التلوث بأنه أي تغير فيزيائي، أو كيميائي، أو بيولوجي في نوعية المياه، ويؤثر سلباً على الكائنات الحية، أو يجعل المياه غير صالحة للاستخدامات المطلوبة. بينما تعرف الملوثات بحسب برنامج الأمم المتحدة للبيئة بأنها أي مادة فيزيائية، أو كيميائية، أو عضوية، أو إشعاعية موجودة في مياه الصرف وتعمل على تدني جودة أو نوعية هذه المياه، وتشكل خطورة تمنع الاستفادة منها.

التغير الفيزيائي: تشمل التغيرات التي تحدث لخواص لمياه وتشمل التغيرات التي تطرأ على المياه من حيث اللون، والطعم والرائحة، والتوصيل الكهربي، والقساوة، ودرجة الحرارة، العكارة، والمواد العالقة.

التغير البيولوجي: تشمل طبيعة وعدد الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا، والطفيليات، والفطريات، والفيروسات التي يمكن أن تتواجد فيها.

التغير الكيميائي: تشمل تغير التركيب الكيميائي، وطبيعة وتراكيز المعادن، والشوارد، والأملاح، ورقم الأس الهيدروجيني (PH)، والقلوية، وغيرها من الخواص الكيميائية، والإشعاعية. تتصف مياه الصرف الصناعي بأنها مصدر من مصادر التلوث الذي يشكل خطرا على الصحة العامة، والبيئة بشكل عام لاحتوائها على العديد من الملوثات الفيزيائية، والكيميائية، والبيولوجية "حيوية". يبين الجدول (14) أهم ملوثات مياه الصرف الصناعي [14].

جدول (14): أهم الملوثات في مياه الصرف الصناعي

الملوثات	أهميتها
المواد العالقة	تسبب زيادة ترسيبات الحمأة وتكوين ظروف لاهوائية في المياه عند صرفها
المواد المغذية	مثل النيتروجين، والفوسفات، وتؤدي إلى نمو كائنات مائية غير مرغوب فيها
الملوثات ذات الأهمية القصوى	مركبات عضوية وغير عضوية مسرطنة وذات سمية مرتفعة
المواد العضوية صعبة التحلل	مواد لها القدرة على مقاومة طرق المعالجة التقليدية مثل المنظفات الصناعية، والفينولات
المعادن الثقيلة	نواتج العمليات الصناعية المختلفة
الأملاح غير العضوية الذائبة	أملاح الصوديوم، والكالسيوم، والكبريتات

المصدر: أحمد السروي- معالجة مياه الصرف الصناعي- دار الكتب العلمية

2.2. تصنيف المخلفات السائلة

يعتمد تصنيف المخلفات السائلة على مكونات نظام الصرف المراد طرحها (صرفها) فيه، ومدى ما يتوفر فيه من نظم المعالجة الحديثة، أو وجود وحدات معالجة نوعية كيميائية- فيزيائية مستقلة تعمل على ضبط رقم الأس الهيدروجيني "P^H" للمياه، وإمكانية إضافة بعض المركبات الكيميائية لإزالة بعض المواد اللاعضوية. يساعد تصنيف المخلفات السائلة كخطوة أولى في إعداد الدراسات البيئية الأولية، وحصر الملوثات المتوقع مواجهتها في المنشأة، وهو الخطوة الأهم في الادارة البيئية، كما يساعد في اختيار أساليب، ومستويات عمليات المعالجة اللازمة.

يستند اختيار تكنولوجيا التحكم والمعالجة على تحديد نوع ونسب تلك الملوثات، ويساعد في تحديد طرق، وأساليب، ومستوي، المعالجة من خلال إعداد تصميمات مزيج مثالي من التقنيات المتكاملة. ويستند هذا المزيج من التكنولوجيا في المقام الأول إلى خفض نسب الأكسجين الحيوي الممتص، والأكسجين الكيميائي المستهلك [15].

1.2.2. المخلفات المتوافقة بيئيا

هي المواد التي يمكن إزالتها أو التخلص منها باستخدام تقنيات المعالجة اللازمة للمياه العادمة، مع الأخذ في الاعتبار وجود اختلافات في تركيز المخلفات طبقا لنوع الصناعة، وتتضمن المعالجة الأولية عادة عمليات تصفية خشنة وترسيب، وتتبعها معالجة بالحمأة المنشطة والفلاتر، ويمكن أن تتضمن أيضاً عمليات بيولوجية هوائية أخرى تهدف إلى أكسدة، وإتلاف الجزء الأكبر من المواد العضوية. يقاس نجاح عمليات المعالجة ويعبر عنها عادة بمدى نجاح عمليات المعالجة في خفض قيم الأكسجين الحيوي الممتص، والأكسجين الكيميائي المستهلك.

2.2.2. المخلفات غير المتوافقة بيئيا

تحتوي المخلفات السائلة على كثير من الملوثات التي لا تتوافق مع طرق المعالجة السابقة لكونها تؤثر على آليات عمل المعالجة الحيوية (البيولوجية)، كأن تحتوي على مواد سامة تحد

أو تقضي على الكائنات الحية التي تقوم بالعملية البيولوجية، مثل السيانيد، والمعادن الثقيلة، والزيوت والشحوم البترولية. عند تواجد هذه المخلفات بتراكيز منخفضة لا تؤثر ولا تتأثر بعملية المعالجة وإنما تمر من خلال محطة المعالجة دون تغيير، بالإضافة إلى الملوثات السابقة هناك مواد خطرة يحظر دخولها نهائياً إلى شبكة الصرف الصحي مثل المواد القابلة للاشتعال والانفجار، والنفايات الأكالة "corrosive waste"، والمواد الصلبة أو اللزجة التي قد تسبب حدوث الانسدادات [14،15].

3.2.2. القوانين والتشريعات البيئية

سنت الدول العديد من التشريعات، والقوانين البيئية الصارمة التي تلزم المصانع بضرورة توفير محطات معالجة مياه الصرف الصناعي من أجل حماية البيئة المحيطة ومصادر المياه الجوفية والسطحية. ولم تعد محطة معالجة الصرف الصناعي أمر ثانوياً أو كمالياً، بل أصبحت حاجة ملحة وضرورية للصناعات التي تنتج وتصرف مياه صناعية ملوثة. يبين الجدول (15) التركيز الأقصى لقائمة المواد السامة، والخطرة الناتجة من مياه الصرف الصناعي، والمحظور صرفها على نظام الصرف الصحي لولاية كاليفورنيا [32].

جدول (15): التركيز الأقصى لقائمة المواد السامة، والخطرة الناتجة من مياه الصرف الصناعي، المحظور صرفها على نظام الصرف الصحي لولاية كاليفورنيا

نوع الملوث	التركيز الأقصى المسموح به (ملغم / ليتر)
الأنتيمون	0.5
زرنيخ	1.0
باريوم	0.75
كادميوم	0.7
كروم الكلي	1.0
نحاس	2.7
سيانيد	0.5
حديد	0.4
منجنيز	35.0
زئبق	0.01
نيكل	2.6
فينول، ومشتقاته	30.0
سيلينوم	2.0
فضة	0.7
زايلين	1.5
زنك	2.6

المصدر: Guidelines for Managing Water in Cooling Systems, For Owners, Operators, and Environmental Managers.

3.2. نواتج عمليات التكسير بالبخار

تستخدم مياه العمليات في وحدة التكسير بالبخار لإنتاج بخار التخفيف اللازم لتحسين انتقائية التفاعل لإنتاج الأوليفينات المطلوبة. وتنتج وحدات التكسير بالبخار أنواع مختلفة من المخلفات السائلة، تشتمل على المياه العادمة الناتجة عن عميات التبريد أو الغلايات، ونواتج مياه عمليات وحدة منع التفحم. قد تحتوي هذه المياه العادمة على نسبة من الفينولات، أو الهيدروكربونات الذائبة أو العالقة، كما تعد المياه الزيتية أحد أهم المخلفات السائلة الناتجة عن وحدات التكسير، بالإضافة إلى مخلفات الصودا الكاوية السائلة والتي تعد من المخلفات السائلة.

تستخدم الصودا الكاوية للتخلص من الغازات الحامضية (ثاني أكسيد الكربون، الميركابتنات، كبريتيد الهيدروجين)، الناتجة عن العمليات الإنتاجية، ويرتبط حجم الصودا الكاوية المستهلكة مباشرة بمحتوى الكبريت في المواد الخام الأولية (اللقيم) المستخدمة، كما يعتمد أيضا على معدلات تشغيل برج الصودا الكاوية. تحتوي نواتج مخلفات الصودا الكاوية على كبريتيدات، فينولات، ونسب مرتفعة من طلب الأكسجين الكيميائي الحيوي أو ما يعرف أيضاً بالأكسجين الحيوي الممتص"BOD "، وطلب الأكسجين الكيميائي أوما يطلق علية أيضاً الأكسجين الكيميائي المستهلك "COD"، مواد صلبة عالقة، ومواد بترولية [13].

في حالة ما إذا كان اللقيم المستخدم هو النافثا لإنتاج الأوليفينات فإن نسبة طلب الأكسجين الكيميائي في نواتج سوائل الصودا الكاوية تتراوح ما بين 20-50 غرام /ليتر، في حين تتراوح نسب الملوثات الأخرى من هيدروكسيد الصوديوم نحو(0.5 – 5.0 % بالوزن)، و كبريتيد الصوديوم نحو (0.5 – 5.0 % بالوزن)، وكربونات الصوديوم حوالي (0.5 – 10 ٪ بالوزن)، وهيدروكربونات ذائبة نحو(0.1 – 0.3 % بالوزن)، وبنزين عطري بنسب تصل إلى 100-900 ج.ف.م.، وهيدروكربونات سائلة مثل الفينول، والكريزولات، بالإضافة إلى نسب ضئيلة من مركبات السيانيد، ومركبات المركبتان.

4.2. نواتج وحدات إنتاج العطريات

تستخدم المياه في وحدات انتاج العطريات في دوائر مغلقة، وذلك لاسترداد كميات المذيبات المتبقية المنخفضة في الرافينات، كما تستخدم في فصل العطريات الثقيلة عن المذيبات في أبراج الفصل والتي تتواجد بنسب صغيرة. هذا وتحتوي مياه الصرف الصناعي على أنواع متعددة ومختلفة من الملوثات العضوية وغير العضوية. يبين الجدول (16) ملخص أهم أنواع الملوثات الناتجة عن وحدات التكسير بالبخار، ووحدات إنتاج العطريات [13].

جدول (16): ملخص أهم أنواع الملوثات الناتجة عن وحدات التكسير بالبخار ووحدات إنتاج العطريات

الوحدة الإنتاجية بمصنع البتروكيماويات	أنواع الملوثات البيئية ومياه الصرف الصناعي
التكسير بالبخار	الكبريتيدات غير العضوية، الميركابتنات، الهيدروكربونات القابلة للذوبان، مونوميرات، مركبات فينوليه، كبريتيد، سيانيد، زيوت ثقيلة، فحم الكوك، مواد كاوية، أكاسيد النيتروجين، أكاسيد الكبريت، هيدروكربونات، جزيئات، ملوثات مائية (طلب الأكسجين الكيميائي الحيوي BOD، وطلب الأكسجين الكيميائي COD)، مواد صلبة عالقة، مواد بترولية.
إنتاج العطريات	مواد عضوية ذائبة، مركبات عضوية متطايرة، معادن ثقيلة، هيدروكربونات، جسيمات، كبريتيد الهيدروجين، أكاسيد النيتروجين، أكاسيد الكبريت، ملوثات مائية (طلب الأكسجين الكيميائي الحيوي BOD، وطلب الأكسجين الكيميائي COD)، مواد صلبة عالقة، مواد بترولية، زيوت، تولوين، زيلين، بنزين عطري، حمض الهيدروكلوريك، الكلور، الكادميوم.

المصدر: Technical EIA Guidance Manual for Petrochemical Complexes, The Ministry of Environmental and Forests, India, 2010.

5.2. الطرق التقليدية لمعالجة المياه العادمة

محطات معالجة المياه العادمة ليست حديثة وإنما برزت الحاجة إليها منذ عقود طويلة. حيث أنشئت أنظمة الصرف الصحي وأنظمة المعالجة وصدرت التشريعات البيئية اللازمة لحماية الصحة العامة خلال القرن التاسع عشر بسبب الصرف المستمر للمياه الملوثة الخام في

المسطحات المائية، والبحار، والأنهار، وإلى الأراضي، مما أدى إلى انتشار التلوث بشدة وتدهورت الصحة العامة وتفشت الأمراض.

ظهرت أول محطة معالجة في العالم عام 1885 في بريطانيا، ثم تبعتها الولايات المتحدة الأمريكية والتي تطورت فيها محطات المعالجة تباعا لما يلي:

1. تأسيس محطة تجريبية لوضع معايير مياه الصرف الصحي في ولاية ماساسوستش عام 1866.
2. إنشاء أول محطة معالجة بيولوجية بنظام الفلتر الرملي عام 1887.
3. أنشئت أول محطة مرشحات بيولوجية عام 1901، واستخدمت طريقة المعالجة بنظام أحواض التهوية لأول مرة عام 1909.
4. استخدم الكلور في عمليات تعقيم المياه عام 1914.
5. أنشئت أول محطة تعمل بالحمأة المنشطة عام 1916.

ومع ازدياد مستويات المعالجة ظهرت الحاجة إلى المعالجة الإضافية للحمأة والتخلص منها:

- تم استخدام طرق المعالجة بنظام الهضم الحراري المنفصل، والهضم الغازي عام 1920، وتم استخدام طرق المعالجة بنظام المرشحات الفراغية عام 1921.
- تم استخدام طرق حرق الحمأة عام 1930.
- أصبحت تكنولوجيا معالجة مياه الصرف شائعة الاستخدام وصدرت التشريعات اللازمة لتصميمات محطات ووحدات المعالجة في الفترة 1935-1955.
- ظهرت برك التثبيت، وخنادق الأكسدة، والبرك العادية، والتهوية المطولة، والتثبيت بالتلامس، والمرشحات ذات المعدل العالي والبطيء، كما ظهرت وحدات المعالجة المدمجة في الفترة 1940-1950.
- تطورت طرق المعالجة واستخدام تكنولوجيا الطفو لفصل المواد الصلبة في الفترة 1950-1960.

- ظهرت برك التثبيت المهواة، والأقراص البيولوجية الدوارة، والمعالجة الفيزيائية والكيميائية، والمناخل الميكروسكوبية، والهضم الهوائي للحمأة، وعمليات نزع الفوسفور والنتروجين عام 1960.
- وضع التشريعات اللازمة لحماية المصادر المائية من التلوث عام 1965، وتم وضع معايير خاصة للمياه الناتجة من عمليات المعالجة المختلفة طبقاً للاستخدامات النهائية تبعاً لمصدر التصريف، أو كيفية إعادة الاستخدام، سواءً في عمليات الري، أو في الاستخدامات الصناعية أو تصريفها على المسطحات المائية.

في العقود الأخيرة حدث تطور تكنولوجي كبير في مجال معالجة مياه الصرف، وتضمن تطور أساليب التحكم بالحمأة المنشطة، وتحسين كفاءة عمليات نزع الفوسفور والنيتروجين بيولوجيا، كما تم زيادة فهم سلبيات وعيوب عمليات الترسيب الثانوي، وبرزت الحاجة إلى دمج طرق الترسيب والتهوية معا لِّلحمأة المنشطة. كما تم استخدام الهاضمات ذات الشكل الدائري لتثبيت الحمأة للمحطات الكبيرة.

بدأ شيوع استخدام تقنية الأغشية في محطات المعالجة كأحدث ثورة تكنولوجية خلال العقدين الأخيرين. استعمل أول نظام أغشية بدائي لمعالجة مياه الصرف، وهو ما يعرف بنظام "Dorr-Oliver " عام 1960 في فرنسا، واستمرت الأبحاث حتى بدايات عام 1990، ثم بدأ التوسع لهذا النظام في أوروبا الغربية، والولايات المتحدة الأمريكية، واليابان [83].

6.2. طرق معالجة مياه الصرف الصناعي

يتم معالجة مياه الصرف الصناعي والتخلص من الملوثات بطرق وأليات مختلفة ومتعددة إذا اقتضت الضرورة لذلك، تنقسم طرق وأساليب المعالجة إلى طرق معالجة فيزيائية، وكيميائية، وبيولوجية منفردة أو متجمعة.

تُعالج المياه العادمة الناتجة في صناعة البتروكيماويات، ليعاد استخدامها مرة أخري في إنتاج البخار، أو في العمليات، أو لتعويض كميات المياه، باستخدام العديد من تقنيات المعالجة، تشمل هذه التقنيات مزيجاً من التقنيات التقليدية (المعالجة الحيوية)، وتقنية التبادل الأيوني،

وتقنية الترشيح الدقيق (MF)، وتقنية الترشيح الفائق (UF)، وتقنية التناضح العكسي (RO)، وتقنية الترشيح النانوي (NF). كما يتم استخدام الطاقة الحرارية لتبخير جزء من المياه، وتكثيفها، وتصريفها كمياه مقطرة نظيفة، وبلورات، وهو ما لا ينتج عنة أية مياه عادمة (مياه صرف صناعي)، ويتبقى كميات من الحمأة، ومواد متعجنة يتم دفنها في مدافن خاصة، وهو ما يطلق علية تقنية التصريف الصفري (ZLD) [10] ، يبين الجدول (17) مقارنة بين أنواع الترشيح المختلفة.

جدول (17): مقارنة بين أنواع الترشيح المختلفة

تقنية الترشيح	متوسط حجم مسام الغشاء (نانومتر)
تقنية الترشيح الدقيق – الفلترة الميكروية الدقيقة (MF)	200
تقنية الترشيح الفائق - الفلترة ما فوق الميكروية " فلترة فوقية" (UF)	50-2
تقنية الترشيح النانوي " الفلترة النانو مترية" (NF)	أقل من 2
تقنية التناضح العكسي (RO)	أقل من 1

المصدر [44]: Improvements in Wastewater Treatment Technology

1.6.2. طرق المعالجة الفيزيائية أو الميكانيكية

هي طرق المعالجة التي تعتمد على القوى الطبيعية والفيزيائية، وكانت هذه الطرق هي أول الطرق المستخدمة في معالجة مياه الصرف ومازالت، وتشمل العديد من العمليات، وأهمها عمليات الفصل والتصفية، والترسيب، والفلترة "الترشيح"، والترويب، والتعويم أو الطفو وعمليات فصل الزيوت، والترويق، والتهوية اللازمة للمعالجة البيولوجية [34].

2.6.2. طرق المعالجة الكيميائية

تشتمل طرق المعالجة الكيميائية لمياه الصرف الصناعي على إضافة كيماويات، وتعتمد على حدوث تفاعلات كيميائية من أجل التخلص من أو تحويل الملوثات إلى مواد يسهل فصلها، ومن أكثر الطرق الكيميائية شيوعاً في هذا المجال، الترسيب، والامتزاز.

تتم المعالجة بالترسيب الكيميائي من خلال تكوين راسب كيميائي، وفي معظم الأحيان يحتوي هذا الراسب على المكونات التي تفاعلت مع المواد الكيماوية المضافة إلى جانب المكونات الأخرى التي قد تفصل أثناء الترسيب. أما الامتزاز فيعتمد على قوة الجذب بين الأجسام للتخلص من مركبات معينة من خلال التصاقها بسطح المواد الصلبة، كما تهدف العمليات الكيميائية إلى ضبط قيمة الأس الهيدروجيني، وإضافة مواد مانعة لتكون القشور، والترسبات، والأكسدة، بالإضافة إلى طرق معالجة أخرى لإزالة المعادن الثقيلة، وإزالة المواد السامة، وغيرها. يصحب المعالجة الكيميائية طرق معالجة فيزيائية، وقد تتطلب أيضاً استخدام بعض طرق المعالجة البيولوجية [33].

3.6.2 طرق المعالجة البيولوجية

تعتمد طرق المعالجة البيولوجية على النشاط البيولوجي في التخلص من الملوثات من المواد العضوية (الرغوية أو الذائبة) القابلة للتحلل بيولوجياً. تتم هذه العملية من خلال تحويل الملوثات إلى غازات تتسرب إلى الهواء الخارجي، أو تتحول إلى نسيج من الخلايا البيولوجية (الحمأة) التي يمكن التخلص منها عن طريق الترسيب، وللتخلص أيضاً من المغذيات (النيتروجين، الفسفور). تعاد الحمأة المترسبة في أحواض الترسيب النهائي إلى أحواض التهوية مرة أخرى لتكون الوسط الذي يتم بواسطة عملية الأكسدة العضوية، ويراعى التقليب المستمر لمنع حدوث أي ترسيب داخل الحوض خوفاً من تراكم الرواسب مما يقلل من كفاءة عملية الأكسدة وتنشيط البكتريا اللاهوائية في منطقة الترسيب، ويلي وحدات المعالجة البيولوجية أحواض ترسيب نهائية لإزالة المواد العالقة المؤكسدة، وتكون المياه الخارجة الناتجة من هذه العمليات لا تحتوي إلا على كميات قليلة من المواد العالقة، وقيم منخفضة من طلب الأكسجين الحيوي [82]. طرق المعالجة البيولوجية تكون هوائية أو لا هوائية، وتحتوي طرق المعالجة على العديد من العمليات، ويمكن استخدم طريقة أو أكثر في محطة المعالجة [34].

تتطلب المعالجة البيولوجية الهوائية إضافة الهواء إما بطريقة مباشرة بواسطة كباسات، وناشرات للهواء، أو بطريقة غير مباشرة باستخدام هوايات ميكانيكية، أو بالإثنين معاً [82]، كما

تحتاج أيضاً إلى ضبط قيمة الأس الهيدروجيني، ودرجة الحرارة، للحفاظ على حياة الكائنات الحية الدقيقة اللازمة لعمليات المعالجة البيولوجية، ويجب التأكد من تزويدها بمواد التغذية، والتهوية، وكميات الأكسجين المناسبة. كما يجب أن تدار محطات المعالجة البيولوجية بعناية أثناء استخدامها الكائنات الحية الدقيقة لهضم الملوثات، نظراً لاحتمالية وجود بعض المواد، او المركبات التي قد تكون سامة للبكتيريا المستخدمة في عمليات المعالجة، لذا فقد يكون من الضروري إجراء بعض طرق المعالجة الفيزيائية و/أو الكيميائية الأولية.

7.2. وحدات ومحطات معالجة مياه الصرف الصناعي

تعتمد التصميمات والمخططات المبدئية لمحطات معالجة مياه الصرف الصناعي (IWTPs) على الدراسات المبدئية للوحدة، مما يستلزم ضرورة معرفة التشريعات والقوانين البيئية التي تحدد الحدود القصوى من الملوثات المسموح بها بعد عمليات المعالجة، وتحديد عمليات الإنتاج المختلفة، ونوعية ومواصفات مياه الصرف الصناعي الداخلة لمحطات المعالجة، ومساحة الأرض المتاحة لإنشاء الوحدة، ومدى إمكانية إعادة استعمال أو تدوير المياه المعالجة، ومدى توفر الاستثمارات والخبرات في مجال أعمال التشغيل والصيانة، لذا فإن وحدات المعالجة المختلفة يتم وضعها في ترتيب معين طبقاً لعمليات، ومستويات المعالجة المطلوبة يبين الشكل (13) الاعتبارات الواجب أخذها في الاعتبار عند تخطيط إنشاء وحدة معالجة الصرف الصناعي [34].

الشكل (13): الاعتبارات الواجب أخذها في الاعتبار عند تخطيط إنشاء وحدة معالجة الصرف الصناعي



المصدر: Choosing an Effluent Treatment Plant, M. Akhtaruzzaman, Stockholm Environment Institute,

8.2. مستويات وأنظمة معالجة مياه الصرف الصناعي

تتعدد طرق ومستويات معالجة مياه الصرف الصناعي حسب المعالجة المطلوبة، وحسب مواصفات مياه الصرف الداخلة للمحطة، والناتجة منها، وحسب كمية المياه العادمة المراد معالجتها، ولكن بشكل عام فإن مستويات معالجة مياه الصرف الصناعي قد تكون تمهيدية أو تحضرية "Preliminary treatment "، أو ابتدائية "Primary"، أو ثنائية "Secondary"، أو ثلاثية / متقدمة "Tertiary/advanced". يبين الجدول (18) ملخص لأهم طرق معالجة مياه الصرف الصناعي في صناعة البتروكيماويات [40،41].

جدول (18): طرق معالجة مياه الصرف الصناعي في صناعة البتروكيماويات

مستوى المعالجة	التوصيف
التمهيدية أو التحضيرية Preliminary treatment	✓ هذه المرحلة هي على أهمية بالغة لجهة حماية تجهيزات محطة المعالجة من الأعطال وخصوصا الأنابيب والمضخات.
ابتدائي / Primary	✓ التصفية **Screening** ✓ التجانس **Equalization** ✓ الترويق **Clarifier** ✓ فاصل الزيوت"**API**"/ وحدة فصل الزيوت "**CPI** " ✓ التعويم بالهواء المذاب Dissolved air Flotation "**DAF**"/ التعويم بالغاز المذاب Dissolved Gas Flotation "**DGF**"/ التعويم بالهواء المستحث Induced Air Flotation "**IAF**"/ التعويم بالغاز المستحث Induced Gas Flotation "**IGF**" ✓ الترسيب / التعادل/ الترشيح والفلترة.
ثنائي / Secondary	✓ المعالجة البيولوجية الهوائية "**Aerobic**". ✓ عملية الحمأة المنشطة التقليدية Conventional Activated Sludge Process "**ASP**". ✓ نظام الحمأة المنشطة الدوري Cyclic Activated Sludge System "**CASS**". ✓ نظام الحمأة المنشطة المتكامل ذو الغشاء الثابت Integrated Fixed Film Activated Sludge "**IFAS**". ✓ المفاعل الحيوي بنظام السرير المتحرك Moving Bed Bioreactor"**MBBR**". ✓ المفاعل الحيوي بنظام الغشاء Membrane Bioreactor "**MBD**". ✓ الترشيح الهوائي البيولوجي Biological Aerated Filter"**BAF**".
ثلاثي / متقدم Tertiary/advanced"	**طرق المعالجة لغرض الصرف على المصارف:** ✓ الترشيح بالرمال Sand Filer / التطهير Disinfection ✓ الأكسدة المتقدمة Advanced Oxidation **طرق المعالجة بغرض إعادة الاستخدام:** ✓ تقنية التبادل الأيوني، وتقنية الترشيح الدقيق "**MF**"، وتقنية الترشيح الفائق "**UF**"، وتقنية التناضح العكسي "**RO**" / الأكسدة المتقدمة، التبادل الأيوني.

المصدر: A short account on petrochemical industry effluent treatment. Biological Wastewater Treatment

1.8.2. المعالجة التحضيرية / التمهيدية "Preliminary Treatment"

المعالجة التمهيدية هي المرحلة التي يتم فيها بشكل عام إزالة المواد الصلبة اللاعضوية كبيرة الحجم، عبر استعمال شبكات لالتقاطها وإزالتها، وكذلك لترسيب الرمال والحصى من

المياه، بهدف حماية المنشآت الميكانيكية، والمضخات، والتجهيزات الأخرى من الأعطال، وخصوصاً الأنابيب والمضخات.

تهدف هذه المرحلة ايضاً إلى تحقيق التجانس للمياه الواردة إلى المحطة عند حدوث تغيرات مفاجئة في كمياتها، ومواصفاتها. من أهم وحدات هذه المرحلة، المصافي، وأجهزة التفتيت والسحق والطحن، غرف أو أقنية الترسيب للرمال والحصي.

2.8.2. المعالجة الأولية "Primary Treatment"

المعالجة الأولية، وتسمَّى أيضا المعالجة الميكانيكية، وهي المرحلة الأولى من عمليات المعالجة التي يليها عمليات أخرى، وتعد مرحلة ضرويه قبل إجراء المرحلة التالية، وهي مرحلة عمليات المعالجة الثانوية. الغرض من هذه المرحلة هو التخلص من المواد الطافية، ومعظم المواد العالقة، والمواد العضوية القابلة للترسيب بالطرق الميكانيكية أو الفيزيائية. كما تهدف هذه المرحلة أيضاً إلى الحصول على سائل متجانس قابل للمعالجة بالطرق البيولوجية "الحيوية" في مرحلة لاحقة، وكذا الحصول على حمأة قابلة للمعالجة بشكل منفصل.

تعتمد المعالجة التمهيدية على ترسيب المواد الصلبة في أحواض الترسيب الأولية، وعادة ما تكون هذه الأحواض عريضة بشكل يسمح للمواد الصلبة الخفيفة، والدهون والزيوت بأن تطفو على سطح الماء، ليسهل كشطها وإزالتها. ويتم ذلك بواسطة الحجز بالمصافي، وفصل المواد الزيتية والشحوم، والمواد العالقة القابلة للترسيب.

تكون أحواض الترسيب عادة مجهزة بتجهيزات ميكانيكية تساعد على تجميع الحمأة في قاع الحوض، ثم تضخ من قاع الحوض إلى المراحل التالية لمعالجتها. وكذلك لإزالة المواد الطافية من دفق المياه التي يتم معالجتها. تكون أحواض الترسيب مجهزة أيضاً بتجهيزات ميكانيكية " مضخات" لنقل المياه المتجانسة إلى المراحل التالية من المعالجة.

تستخدم بعض المواد الكيميائية في المرحلة الأولية لمساعدة المواد على الطَّفو على سطح الماء، وكذلك لترسيب المواد الصلبة في القاع، وتسمى الحمأة المتولِّدة عن المعالجة الأولية بالحمأة الأولية. يمكن في هذه العملية خفض قيم طلب الأكسجين الكيميائي الحيوي "BOD"-

أي مستوى التلوُّث بالمواد العضوية القابلة للتحلُّل البيولوجي- بما يزيد عن 20-30 %، وأن تخفِّف نسب المواد الصلبة العالقة الكلية"TSS" بما يزيد عن 50-60%. وتتضمن عمليات المعالجة الأولية كل من العمليات التالية:

1.2.8.2. التصفية أو الغربلة "Screening"

تعتبر التصفية أو الغربلة أول عملية هامة في مرحلة المعالجة الابتدائية لمياه الصرف، وتتم بتمرير المياه الملوثة من خلال مصافي لفصل المواد الصلبة كبيرة الحجم العالقة بالمياه. تستخدم المصافي على شكل قضبان حديدية مستقيمة أو مقوسة، أو أسلاك متوازية رأسية أو مائلة عن الأفقي بزاوية، أو على صورة شبكة سلكية أو أسطح "صفيحة" مثقبة.

يطلق عادة على الشبكة ذات القضبان المتوازية الرأسية أو المائلة عن الأفقي بزاوية بالمشط أو المخلعة "Rack" ومع أن المخلعة هو أداة التصفية إلا أن مصطلح Screen يطلق على النوع الذي يتكون من قماش، أو سلك أو أسطح مثقبة، كما في الشكل (14) [36]، ويمكن أن تكون الفتحات على شكل دائري أو مستطيل.

الشكل (14): نموذج مصافي عمودية



المصدر: http://drycake.com/equipment/screening/MULTIRAKE.php

تصنف المصافي كمصافي خشنة "**Coarse Screening**" – الحواجز ذات القضبان- ، أو كمصافي ناعمة " Fine Screening".

وتكون المسافات بين القضبان أو الاسياخ في المصافي الخشنة في حدود 6-150 ملم "6-0.25 بوصة" [35] ، تتكون المصافي الخشنة المصنعة حديثا من براميل من الفولاذ غير القابل للصدأ، أو من شبكة سلكية خشنة مصنوعة من مادة غير حديدية. تتراوح أبعاد فتحاتها عادة ما بين 6 إلى 20مم أو أكثر، تدور المصافي البرميلية حول محور أفقي بمعدل 4 دورات/دقيقة، وتوضع بحيث يكون أقل من نصفها مغموراً بالمياه العادمة.

تتوفر المصافي البرميلية بأحجام مختلفة تتراوح ما بين 1 إلى 5.1 م في القطر و2.1 م إلى 7.3 م في الطول .تقوم المصافي البرميلية بالتقاط المواد الصلبة ثم رفعها للأعلى أثناء دورانها، ومن ثم تزال منها المواد الملتقطة في أوعية تجميع خاصة وذلك بواسطة قذفها بخرطوم مائي ذو ضغط عالي [75]. بين الشكل (15) أنواع المصافي الخشنة المستخدمة في صناعة إنتاج الكيماويات والبوليمرات.

الشكل (15): بعض أنواع المصافي الخشنة المستخدمة في صناعة إنتاج الكيماويات والبوليمرات

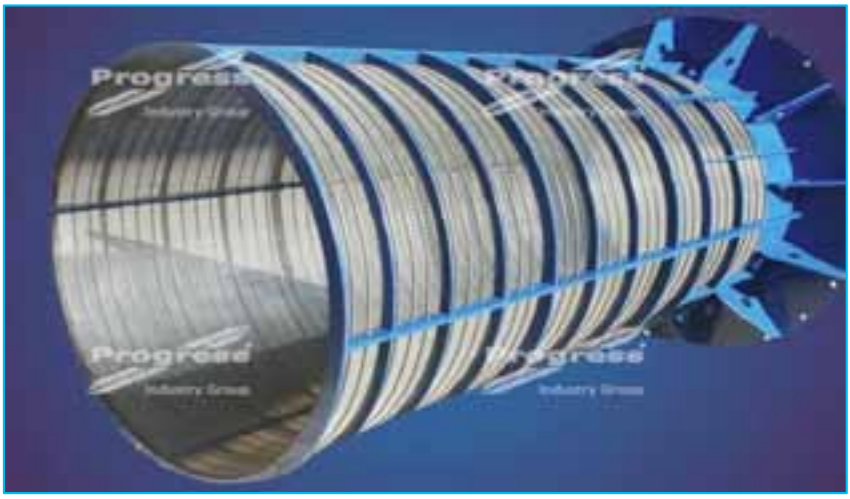


المصدر: pro-slot%20wedge%20wire%20screens%20progress.pdf
https://www.wateronline.com/doc/wwema-window-slots-vs-holes-in-preliminary-treatment-screening

عادة ما تستخدم المصافي الناعمة بعد المصافي الخشنة [82]، وتستخدم لإزالة المواد الصلبة من النفايات السائلة للحد من مشكلة انسداد الفلاتر. تكون المساحة بين فتحات المصافي الناعمة "Fine Screening" في حدود 0.035 – 6 ملم، ويتم تنظيفها ميكانيكيًا بواسطة أمشاط متحركة لها أسنان تتخلل الفتحات التي بين القضبان، وينظف المشط ألياً في نهاية مشواره. يعمل المشط ذاتياً بواسطة عوامتين بقياس منسوب المياه أمام وخلف المصافي، وعند قياس العوامتين لفرق منسوب يصل إلى 15 سم تعطي إشارة ليعمل المشط ويقوم بعملية التنظيف.

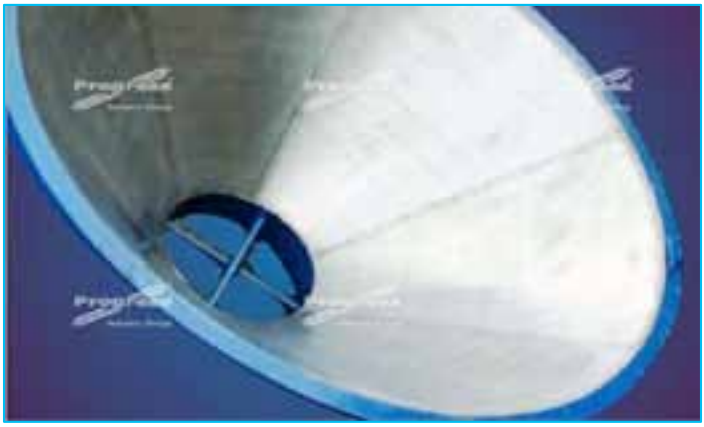
يمكن أن تكون المصافي الناعمة ثابتة "Fixed"، أو من نوع إسفين- سلك الشاشة "wire screen type wedge-"، كما في الشكل (16)، أو أسطوانية "Drum"، أو تعمل بنظام التصفية بالطرد المركزي "Centrifugal Screening"، كما في الشكل (17) [35].

الشكل (16): المصافي الناعمة من نوع إسفين سلك الشاشة الأسطواني



المصدر: - http://progress-screens.com/products/screen_based_products/127,rotary_sieve__wedge_wire_drum_screen

الشكل (17): المصافي الناعمة بطريقة الطرد المركزي



المصدر: http://progress-screens.com/products/screen_based_products/127,rotary_sieve_-__wedge_wire_drum_screen

تـم تطـوير أنـواع مختلفـة مـن المصـافي الناعمـة وهـي المصـافي الميكرونيـة "micro-screens"، بفتحات ترشيح تتراوح في الحجم ما بين 10-35 ميكرون "µm"، لتحسين جودة معالجة المياه في محطات المعالجة الثانوية.

2.2.8.2. تثبيت معدل تدفق وتجانس مياه الصرف الصناعي Flow Equalization

الغرض من عملية تثبيت معدل التدفق والتجانس، او ما يطلق عليها أيضاً بطرق المعادلة "**Equalization** "هو تجميع مياه الصرف، وكذلك المخلفات العضوية من المصادر المختلفة الحامضية أو القاعدية في أحواض خاصة حيث يتم خلطها لتصبح ذات تركيزات متجانسة وتدفق ثابت يسهل معالجتها في المراحل التالية خاصة عملية المعادلة بالأحماض أو القلويات.

تساعد عملية تثبيت تدفق المياه في التغلب على مشكلات التشغيل الناتجة عن التغير في معدلات تدفق المياه إلى محطات المعالجة وبالتالي تحسن من أداء محطة المعالجة، ويستخدم لإتمام هذه العملية خزان خاص يطلق علية خزان التجانس، أو التعادل "Tank Equalization"، بالإضافة إلى خزان أخر للطوارئ لاستقبال المياه الملوثة في حالة حدوث عطل فني أثناء عملية

المعالجة، أو لأعمال الصيانة الطارئة أو الدورية. يبين الشكل (18) خزان التجانس والمعادلة المستخدم في محطات معالجة مياه الصرف الصناعي [39].

الشكل (18): خزان التجانس والمعادلة في محطات معالجة مياه الصرف الصناعي

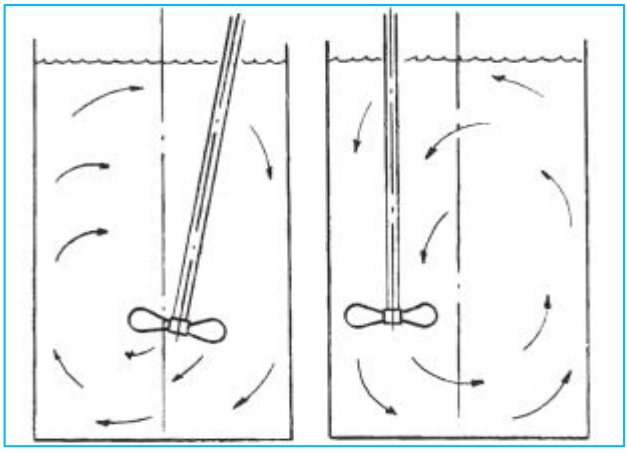


المصدر: http://www.mixing.com/index.php/155-applications-images/321-equalization-tank

تعمل المعالجة بنظام تثبيت معدل تدفق وتجانس المياه العادمة الداخلة إلى محطات المعالجة على زيادة كفاءة عمليات المعالجة، وخاصة المعالجة البيولوجية، حيث أن عملية التجانس والمعادلة تعمل على منع أو تقليل الأحمال المفاجئة، وتخفيف تركيزات المواد السامة، وثبات رقم الأس الهيدروجيني، التي قد تؤثر على العملية البيولوجية "الحيوية"، كما تعمل على تحسين عمليات الترشيح والغسيل العكسي لتكون أكثر انتظاما ،وتحسين أداء المعالجة الكيميائية نظراً لثبات الأحمال مما يؤدي إلى انتظام عمليات إضافة وتغذية جرعات الكيماويات المستخدمة في عمليات المعالجة، كما يعمل على تحسين خواص المياه المعالجة وكفاءة عمليات التثخين "Thickening" في أحواض الترسيب الثانوية التي تتبع المعالجة البيولوجية حيث تزداد كفاءتها نتيجة ثبات أحمال المواد الصلبة.

يمكن تركيب خزان التثبيت والتجانس في بداية عمليات المعالجة، أو بعد المعالجة الأولية وقبل المعالجة البيولوجية. يزود خزان التجانس بخلاطات أو قلابات بحيث يسمح بتقليب المواد المترسبة، لتحقيق التجانس، وتتوفر هذه الخلاطات بأنواع مختلفة، ويعتمد تصنيف الخلاطات على نمط التدفق الناتج عنها. الخلاطات شائعة الاستخدام في الصناعات إما خلاطات ذات أنماط محورية "Axial"، أو خلاطات نصف قطرية "عقربي"Radial Patterns"، بحيث يتم وضع عمود القلاب بزاوية ميل تقدر ب 15 درجة من الوضع الرأسي، أو من نقطة خط المنتصف، كما يبين الشكل (19) [38]. تزود الخزانات بمصدر للتهوية للتغلب على انبعاث الروائح الكريهة [37]، وتعد عملية التثبيت عملية غير مكلفة تساهم في التغلب على مشاكل محطات المعالجة التي تعاني من ازدياد الأحمال.

الشكل (19): رسم توضيحي لوضع عمود القلاب في خزان التجانس والمعادلة



المصدر: Flow Equalization and Neutralization, Ramesh K. Goel, Joseph R.V. Flora, and J. Paul Chen.

3.2.8.2. فصل الزيوت

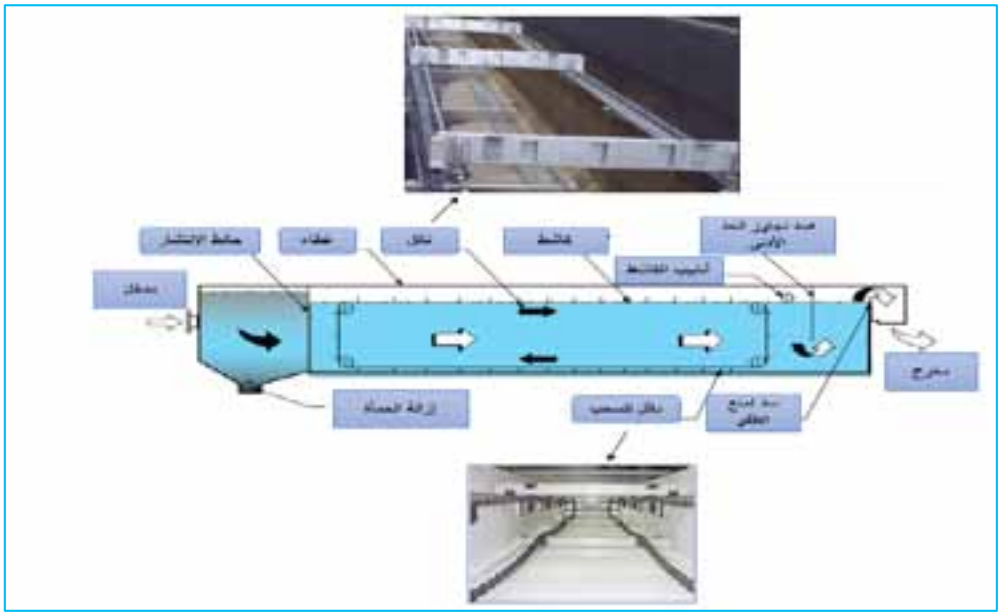
تعد تقنية فصل الزيوت أحد طرق المعالجة الفيزيائية الأولية لمياه الصرف الصناعي، وتعتمد على الفصل بفعل الجاذبية للمواد الطافية، والزيوت، والمواد العضوية الحرة (غير المستحلبة) من المياه الملوثة [54]، لذلك فإن معظم الصناعات البترولية والبتروكيماوية تستخدم أجهزة لفصل الزيوت عن الماء بدلاً من طرق الترسيب الأولية.

1.3.2.8.2. فاصل الزيوت API

فاصل الزيوت **"API"** عبارة عن جهاز قام معهد البترول الأمريكي "American Petroleum Institute" بتصميمة، بالتعاون مع شركة **"سيمنس"** منذ أكثر من ثمانين عاماً، حيث تم استخدامه لأول مره في مصفاة تكرير أطلنتك "Atlantic Refinery" بولاية فلاديفيا عام 1933[55]، وهو الأكثر استخدماً في الصناعات البترولية وإنتاج البتروكيماويات.

يعمل فاصل الزيوت بمبدأ الفصل بالجاذبية طبقاً **"قانون ستوكس"**، والذي يحدد سرعة طفو جزيئات الزيت إلى السطح تبعاً لحجم الزيت وكثافته، وعادة ما يكون الفرق بين الكثافة النوعية للزيت المراد فصله والماء أقرب بكثير إلى الكثافة النوعية للمواد الصلبة العالقة والماء. لذلك، يعتمد تصميم فاصل الزيوت على الفرق في الكثافة النوعية للزيت المراد فصله وكثافة المياه الملوثة به، لذا فسوف تستقر غالبية المواد الصلبة العالقة في الوحدة، وبمجرد إزالة الزيت، والمواد الصلبة العالقة من مياه الصرف الصناعي في فاصل الزيوت، يتم إرسال المياه المتبقية لمزيد من المعالجة [55]، يبين الشكل (20) مخطط تدفق فاصل الزيوت.

الشكل (20): مخطط تدفق فاصل الزيوت API



المصدر: https://www.monroeenvironmental.com/water-and-wastewater-treatment/api-separators/

يوجد نوعان من فواصل الزيوت **"API"**، النوع المستطيل، والنوع الدائري، كما هو مبين في الأشكال (21،22). يعد النوع المستطيل الأكثر شيوعاً حيث كثيراً ما تعمل هذه الأجهزة مع محطات معالجة ذات كميات كبيرة، وتدفق عالي من المياه مما يستلزم وحدات كبيرة الحجم. ويعيب هذا النوع من الأجهزة أنها تحتاج إلى زمن مكوث "Resident time" طويل لضمان أقصى كفاءة لفصل الزيت. ومن الممكن أن تزود فواصل الزيوت بأغطية لمنع انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة، كما يبين الشكل (23).

الشكل (21): فاصل الزيوت API من النوع المستطيل



المصدر: http://nebula.wsimg.com/b6084fdfd24214e4692533b33521a68b

الشكل (22): فاصل الزيوت API من النوع الدائري



المصدر: https://www.monroeenvironmental.com/water-and-wastewater-treatment/api-separators/

الشكل (23): أغطية لفواصل الزيوت API، لمنع انبعاث المواد العضوية المتطايرة



المصدر: https://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/industries-utilities/oil-gas/portfolio/water-solution/Get-the-Most-out-of-API-Separators.pdf

يعمل عدم التخلص من الحمأة على فشل الوحدة، وتوقفها عن العمل، لذا تعد عملية إزالة الحمأة أو التخلص منها من قاع الفاصل من أصعب الخطوات، حيث لا يمكن ضخ مكونات القاع بواسطة مضخات الطرد المركزي، نظراً لاحتوائها على نسب مرتفعة من المواد الصلبة وتصل نسبتها إلى نحو 8%، كما أنها شديدة اللزوجة وتشبه الأسفلت، لذا لابد من استخدام مضخات الفصل الموجبة "Positive displacement pump".

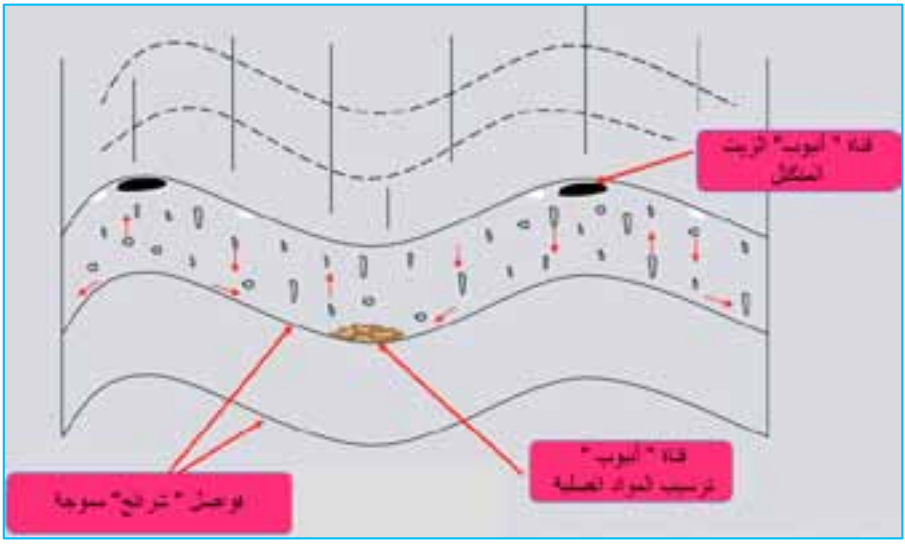
تتأثر كفاءة أداء فاصل الزيوت بالعديد من العوامل، خاصة في حال وجود الزيوت على هيئة زيوت مستحلبة أو ذائبة، والتي لا يمكن عادة فصلها بواسطة فاصل جهاز API، كذلك يعمل ارتفاع قيم رقم الأس الهيدروجيني على ثبات المستحلبات. لذا تضاف الصودا الكاوية لعمليات التعادل، وخفض قيمة الأس الهيدروجيني في فاصل API، بهدف زيادة وتحسين كفاءته [54،55].

2.3.2.8.2. وحدة فصل الزيوت CPI

وحدة فصل الزيوت أو ما يطلق عليها "الشرائح الاعتراضية المموجة " Corrugated Plate Interceptor (CPI)، تستخدم لفصل كل من الزيوت التي تتواجد بنسب منخفضة وتتراوح ما بين 200 – 10.000 ج.ف.م.، أو المواد الصلبة العالقة والتي تتواجد بنسب أقل من 100-200 ج.ف.م.، وتعد بديلاً لوحدة فصل الزيوت "API" في مصافي التكرير، والصناعات البتروكيماوية.

تصل كفاءة فصل الزيت باستخدام هذه الوحدة إلى حوالي 70-99%، وتتكون وحدة فصل الزيوت"CPI" من مجموعة من الشرائح أو مجموعات من الفواصل، يتم وضعها بطريقة متوازية بزاوية ميل 60 درجة للسماح بفصل الزيت أو المواد الصلبة بخاصية الجاذبية الأرضية، يبين الشكل (24) مخطط شكل وحدة فصل الزيوت "الشرائح الاعتراضية المموجة.

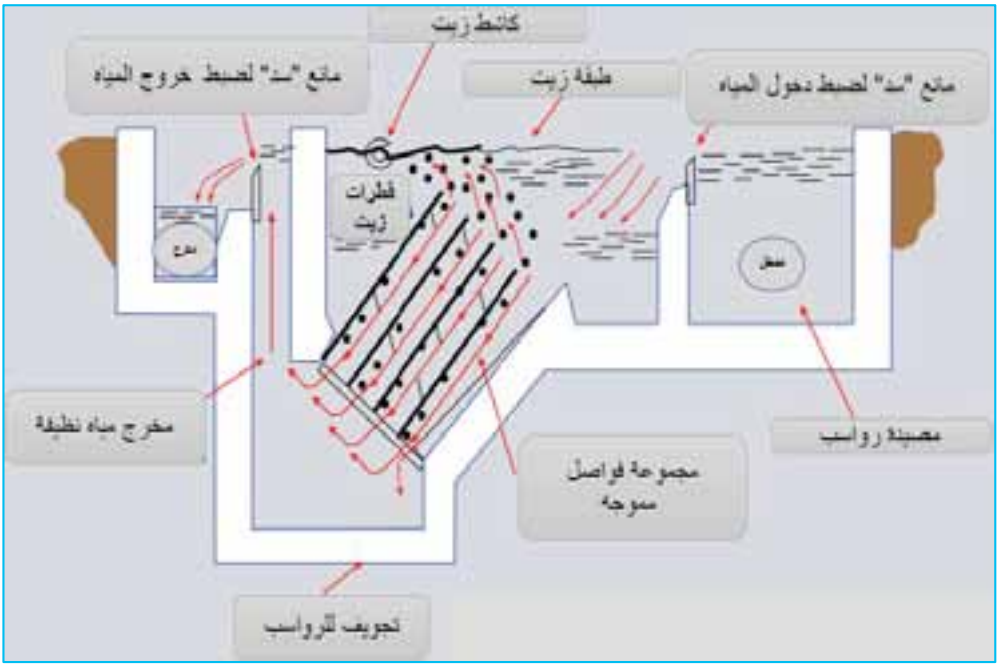
الشكل (24): مخطط شكل وحدة فصل الزيوت "الشرائح الاعتراضية المموجة "
Corrugated Plate Interceptor (CPI)



المصدر: Petroleum Refinery, Ethylene and Gas Plant Wastewater Treatment Presentation, Siemens AG 2006

يدخل الماء الملوث بالزيت، والمواد الصلبة العالقة من أعلى الوحدة، ويتدفق لأسفل بين الشرائح " الفواصل" حيث يلتصق الزيت المنفصل على أسطح فواصل الألواح المتوازية ويتحرك إلى أعلى، بينما يتحرك باقي المياه إلى أسفل. عند فصل جزيئات الزيت الثقيلة عن الماء، يدخل الماء غير المعالج إلى فاصل اللوحة في الجزء السفلي من الجهاز ويتحرك خلال فواصل اللوحة إلى أعلى، تنزلق الجسيمات الأثقل إلى أسفل وتخرج من قاع الجهاز، كما يبين الشكل (25) [56].

الشكل (25): مخطط أليات عمل وحدة فصل الزيوت CPI



المصدر: Petroleum Refinery, Ethylene and Gas Plant Wastewater Treatment Presentation, Siemens AG 2006

تتميز وحدات فصل الزيوت CPI بانخفاض تكلفة الإنشاء، وصغر المساحة اللازمة للوحدة، بالإضافة إلى سهولة التعامل والتحكم في نسب انبعاثات المواد العضوية المتطايرة، والروائح. بينما يعيب الوحدة أنها لا تعمل في تركيزات مرتفعة للمواد الصلبة العالقة والتي

تكون ذات تركيزات أعلى من 500 ج. ف. م. يبين الشكل (26) وحدة فصل الزيوت CPI في مشروع **"فاتيما"** لإنتاج اسمدة اليوريا في دولة باكستان [57].

الشكل (26): وحدة فصل الزيوت CPI في مشروع "فاتيما" لإنتاج اسمدة اليوريا في دولة باكستان



المصدر: http://www.freylit.com/fileadmin/_migrated/content_uploads/CPI_Separator.pdf

4.2.8.2. الترسيب والترويق Sedimentation/ Clarification

الغرض من عملية الترسيب هو ترسيب أكبر نسبة ممكنة من المواد العالقة عن طريق تركها تترسب تحت تأثير وزنها. تكون عملية الترسيب أما أنها تكون طبيعية أي تحت تأثير وزن المواد العالقة بها بدون إضافة أي مواد وتسمي الترسيب الذاتي أو ما تعرف أيضاً بالترسيب الطبيعي -Plain Sedimentation- ، أو تكون بإضافة مواد مساعدة أو كيماويات لتساعد على تجميع المواد الخفيفة والتي ليس لها القدرة على الترسيب بمفردها في الحالة الطبيعية وتسمي "الترسيب باستعمال المروبات" وهو النوع الشائع استخدامه في تقنيات معالجة المياه [82].

تتم عمليات الترسيب الطبيعي في أحواض خاصة تمر فيها المياه لفترة معينة، وتحت ظروف تساعد على ترسيب المواد العالقة إلى قاع هذه الأحواض، وهي من وحدات التشغيل الأكثر شيوعا في معالجة مياه الصرف. تستخدم عمليات الترسيب في إزالة الرمال في أحواض الترسيب الأولية، ولفصل الحمأة النشطة في المعالجة البيولوجية، وكذلك في فصل الرواسب في المعالجة الكيميائية، وفي عمليات تثخين الحمأة. تسمى أحواض الترسيب **"بالمروقات"**. يوجد نوعان من خزانات أو أحواض الترسيب، هما المستطيلة كما في الشكل (27)، أو الدائرية كما في الشكل (28). تزداد معدلات الترسيب في المياه الدافئة عن المياه الباردة حيث تكون المياه أقل كثافة ولزوجة مما يسهم في سرعة الترسيب.

شكل (27): أحواض الترسيب (المروقات) المستطيلة



المصدر: Wastewater Treatment Technology, Michigan Environmental 2010 Michigan Environmental Compliance Conference.

شكل (28): أحواض الترسيب (المروقات) الدائرية

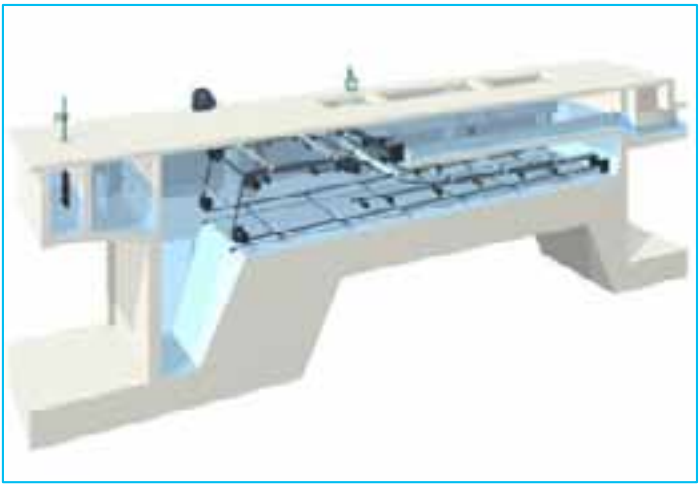


المصدر: Wastewater Treatment Technology, Michigan Environmental 2010 Michigan Environmental Compliance Conference.

يتم المفاضلة بين الشكلين طبقاً لحجم محطة المعالجة، ووفقا للقوانين الموضوعة من قبل الهيئات المحلية، ومتطلبات الموقع، والتكلفة التقديرية للمحطة، ويُراعى عمل خزانين للترسيب على الأقل في كل محطة (واحد رئيسي والآخر احتياطي) حفاظاً على استمرارية العمل في المحطة أوقات أعمال الصيانة والإصلاح فيها [75].

تزود أحواض الترسيب بكاشط للحمأة "Scraper sludge"، لتجميع الحمأة المترسبة في مركز الحوض وسحبها، أو ضخها إلى الخارج، وقد تضاف بعض المواد الكيميائية (ألمنيوم – كلس – حديد – وبعض الأنواع الأخرى)، للمساعدة على عمليات الفصل والترسيب. تزود أحواض الترسيب المستطيلة عادة بكاشط يعمل بطريقة ذهاب وعودة "back and go"، كما في الشكل (29).

الشكل (29): مخطط حوض ترسيب (مروق) مستطيل، مزود بكاشط

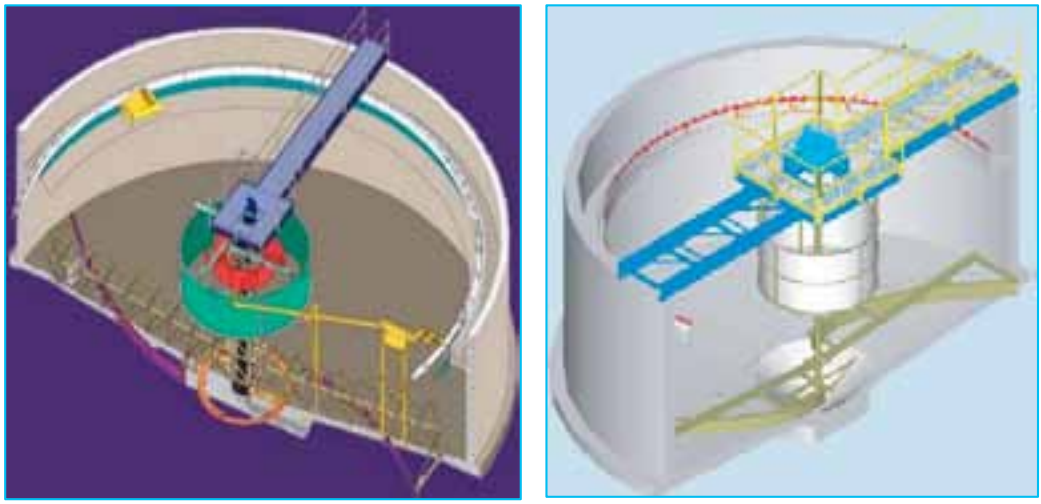


المصدر: Integrated WW treatment and Recycle/ Reuse System, ECHEM

تختلف الخزانات الدائرية عن الخزانات المستطيلة كون الدفق فيها يسير باتجاه قطرها. وللتمكن من ذلك تدفع المياه الداخلة إليها إما من مركز الخزان ويطلق عليه مركزي التغذية أو من محيطه ويطلق عليه محيطي التغذية، وكلتا الطريقتين لا تؤثران على كفاءة الترسيب في الخزان.

تزود الأحواض الدائرية عادة بكاشط دائري، كما في الشكل (30)، ويتم التخلص من الرواسب المتجمعة، إما عن طريق إنزال مضخة من أعلى إلى أسفل الحوض كل ساعة أو نصف ساعة من أجل ضخ الرواسب المجمعة في المخروط " قاع الخزان"، أو يتم ثقب الجدار وسحب الرواسب بعد جفافها [45]، إلا أن هذا النظام لم يعد مجدياً وخاصةً مع التزايد المستمر في كميات المياه المطلوب معالجتها [82].

الشكل (30): مخطط حوض ترسيب (مروق) دائري، مزود بكاشط دائري



المصدر: Integrated WW treatment and Recycle/ Reuse System, ECHEM

1.4.2.8.2. الترسيب بطريقة الترويب والتندف Coagulation and Flocculation

في حالة عدم ملائمة طرق الترسيب الطبيعي وعدم جدواها في ترسيب الملوثات الدقيقة، والخفيفة خاصة العوالق الطينية، والكائنات الحية الدقيقة، والمواد العضوية، وذلك إما بسبب قصر مدة الترسيب وبالتالي تحتاج إلى مدة مكوث أكبر، أو أن الجسيمات التي في المياه تحمل شحنات كهربية سالبة وبالتالي يحدث تنافر لتماثل الشحنات فتبقي الجسيمات متباعدة، فإن هذه الشوائب الصغيرة المعلقة تحتاج إلى عمليات ترويب وتنديف [82].

الترويب "Coagulation" هو المرحلة الأولى لتكوين غرويات غير قابلة للذوبان في الماء، أما التنديف "Flocculation" فهو المرحلة الثانية من عملية الترويب، وهي تكون الندف "Flocs" الأكبر حجماً، والذي يحدث له عمليات الترسب لثقل وزنه.

عملية الترويب والتندف هي عملية فيز وكيميائية، تتم عملية الترويب أثناء عملية المزج والخلط السريع للمياه مع المروب، بغرض الخلط والمزج التام بينهما، وخلال عملية الترويب يتم إضافة مادة أو أكثر من المروبات حسب خواص المياه ومكوناتها.

حسب خواص المياه ومكوناتها يتم خلال هذه العملية إضافة مواد كيميائيّة موجبة الشّحنة إلى المياه لتحييد الأوساخ، والمواد الذّائبة التي تحمل شحنة سالبة، وبهذا يتم تجميع المواد المذابة على شكل كتلة كبيرة الحجم، يطلق عليها الندف"Floc" يتم التخلص منها بالترشيح.

تتأثر عملية الترويب بعدة عوامل من أهمها، درجة الحرارة حيث تكون عملية الترويب أفضل في درجات الحرارة الأعلى، كما أن درجة قلوية المياه تؤثر تأثيراً مباشراً على كفاءة الترويب، وكذلك تتأثر هذه العملية بنوع وجرعة " كمية" مواد الترويب المضافة. يبين الشكل (31) صورة مجهرية للندف البكتيرية في حوض التهوية [71].

الشكل (31): صورة مجهرية للندف البكتيرية في حوض التهوية



المصدر: المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي في محطات الصرف الصحي، د. عبد الرازق محمد سعيد التركماني، 2009.

يمكن أن تكون مواد الترويب المستخدمة في المعالجة مواد غير عضوية (مثل كلوريد الألومينيوم، كلوريد وسلفات الحديديك، سلفات الحديدوز والجير، وسلفات الألمونيوم" الشبة")، أو بوليمرات (مشتقات بولي أكريلاميد، وبولي إيثيلين أمين)، أو مواد مخثرة طبيعية (المخثرات الميكروبية)، كما تستعمل مواد أخرى كمساعدات لمواد الترويب، ومن أهمها السيليكا المنشطة

"سيليكات الصوديوم"، والبولي إلكتروليتات " كاتيونات موجبة الشحنة، أو انيونية سالبة الشحنة، أو نيونية متعادلة الشحنة" (82،48).

من الضروري جداً أن تتم عملية خلط مواد الترويب "المروبات" مع المياه بسرعة وذلك لضمان التجانس التام، وتوزع المروب في جميع أجزاء المياه، كما أن عملية التلامس الأول بين المروب والمياه من أكثر الخطوات أهمية في عملية الترويب بأكملها وذلك لأن تفاعل الترويب يحدث بسرعة عالية، لذا فمن المهم أن يتلامس المروب والجسيمات الغروية فوراً، وأن تتم عملية التقليب في ثواني معدودة حتى تتم عملية التلامس التام بين المروب والجسيمات العالقة.

تتم عمليات الخلط إما بالخلط الميكانيكي، حيث يتم تحريك المياه وتقليبها باستخدام بدالات، أو نافورة دوارة، أو مروحة، ويستخدم الناشر في الخلط عن طريق دفع المحلول " المروب" ليخرج من ثقوب في أنابيب لينتشر في المياه. تقوم مضخة التغذية في الخط بحقن المحلول بواسطة مضخة إلى مواسير المياه فينتشر المحلول من خلال فتحات في أنبوبة التغذية. أما في حالة الخلط الهيدروليكي، يتم الخلط الهيدروليكي باستغلال اندفاع المياه وخاصة إذا أحدثت المياه دوامات نتيجة سرعتها العالية، وهو ما يضمن إتمام عملية الخلط (82).

تستخدم عملية الترويب لسرعة التخلص من المواد العالقة، وطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي في أحواض الترسيب الأولية، أو في حالة المعالجة النهائية لمياه الصرف الصناعي، كما تعمل على تحسين أداء أحواض الترسيب الثانوية وخاصة في عمليات الحمأة المنشطة، ومن أجل زيادة احتمالات الاصطدام بين حبيبات المروب مما يساعد على زيادة التصاقها ببعض لتكوين مواد صلبة قابلة للترسيب أو الترشيح.

توجد عدة طرق لإضافة مواد الترويب " التجميع" إلى المياه، حيث يمكن إضافة المروب على هيئة محلول وهو ما يعطي ميزة كبيره وهي التأكد من ذوبان المادة الكيماوية، وتشمل المواد التي يمكن إضافتها على شكل محلول كل من كلوريد الحديديك، وسيليكات الصوديوم. بينما يعطي إضافة المروب على هيئة مادة جافة الأفضلية من حيث أن المادة المروبة سوف تشغل حيز أقل، بالإضافة إلى الوفر في المجهود نتيجة تحضيره على شكل محلول، ومن المواد

التي يمكن إضافتها الحجر الجيري " الكلس" ، سواء في حالة جافة أو معلقة ، ويشمل كل من كل من الجير الحي " أكسيد كالسيوم "، والجير المطفي "هيدروكسيد الكالسيوم"، والطَفل المساعد [82].

تتكون وحدة التنديف "Flocculation" من حوض، ووسيلة للخلط والتقليب البطيء، وتكون عملية التقليب في هذه المرحلة أبطأ من عملية الترويب، كما تجري عملية الخلط ببطء وتكون سرعة التصريف خلال الحوض بطيئة بما يضمن عدم تفتت الندف المتكون، عادة ما تكون فترة المكوث في هذه المرحلة من 25 إلى 45 دقيقة، وغالباً ما تؤخذ في التصميم بنحو 36 دقيقة. ويمكن إجراء التقليب لعملية التنديف ميكانيكياً باستعمال بدالات دوارة، أو هيدروليكياً " أي ينتج من حركة الماء"، وتشمل قلابات التنديف الميكانيكية عدة أنواع منها: قلابات مروحية، قلابات تربينية، وقلابات متأرجحة [82].

تتأثر عمليات التنديف بجرعة المادة المروبة، إذ يتفاوت حجم الندف تبعاً لكمية المادة المروبة المستخدمة، وبالتالي تتفاوت كثافتها فتزداد كثافة الندف بزيادة حجمها إلى أن تصل إلى حجم معين فتبدأ كثافتها تقل وبالتالي تقل سرعة ترسبها، لذلك فإنه يلزم مراعاة الدقة التامة في تقدير الجرعة الفعالة للمادة المروبة "Optimum Dose"، وذلك للحصول على الندف ذات أعلى كثافة وبالتالي الأسرع في عملية الترسيب.

كما تتأثر عملية التنديف أيضاً بسرعة التقليب فإذا زادت سرعة التقليب عن سرعة معينة فإن ذلك يؤثر على قوة التماسك ويؤدي إلى تفتت الندف، وعدم تجميعها لذلك يجب مراعاة ألا تزيد السرعة في منطقة التنديف عن السرعة المناسبة للحفاظ على تماسك الندف [82].

إن اختيار مادة الترويب يعتمد على نوع المياه المطلوب معالجتها، ونوع المواد العالقة، وتكلفة المادة المروبة، كما أن كمية مادة الترويب تختلف أيضاً باختلاف نوع المياه. يوجد حد معين من مادة الترويب "Optimum Dose" للحصول على أحسن نتائج للمعالجة. تسمي كمية المادة المروبة والتي تعطي أحسن النتائج بالجرعة الفعالة فإن تعدت هذه الكمية الحدود المطلوبة، فإن ذلك يكون غير مجدي [82].

تعد طريقة الترويب، والتندف من الطرق التقليدية لمعالجة مياه الصرف الصناعي المحتوية على أيونات المعادن لترسيبها على هيئة هيدروكسيد، أو أملاح غير ذائبة، ومع هذا فإن هذه الطريقة لا تصلح لفصل أيونات المعادن في بعض الحالات، حيث لا يعد تكون هيدروكسيد المعادن فعالاً في التركيزات المنخفضة الموجودة بمياه الصرف الصناعي، كذلك تميل رواسب الهيدروكسيد إلى الذوبان مره أخرى اعتمادا على تركيز المعادن.

تختلف ظروف تكون الراسب الهيدروكسيلي طبقاً لنوع المعدن، وإلى الحد الأدنى من درجة الحموضة " رقم الأس الهيدروجيني"، فعلى سبيل المثال الحد الأدنى يتكون راسب هيدروكسيد النحاس عند قيمة الأس الهيدروجيني "P^H" تبلغ حوالي 9.5، في حين يتكون راسب هيدروكسيد الكادميوم عند قيمة الأس الهيدروجيني "P^H" يساوي 11.

بعد عمليتي المزج السريع والمزج البطيء، تمر المياه في أحواض الترويق حيث ترسب الندف المتكونة في هذه الاحواض بما جذبت إلى سطحها من مواد عالقة إلى قاع الحوض. يبين الشكل (32) مخطط مبسط لعملية الترويب والتنديف [47].

الشكل (32): مخطط مبسط لعملية الترويب والتنديف



المصدر: http://www.thewatertreatments.com/wastewater-sewage-treatment/317/

لا تختلف أحواض ترويق عمليات الترسيب بالترويب في تصميمها، كما أن العوامل المؤثرة على كفاءة الترسيب فيها لا تختلف أيضاً عن أحواض الترسيب الطبيعي، ولكن يختلف فقط الوقت اللازم لعملية الترسيب، لذا فإن أحجامها تكون أقل كثيراً [82].

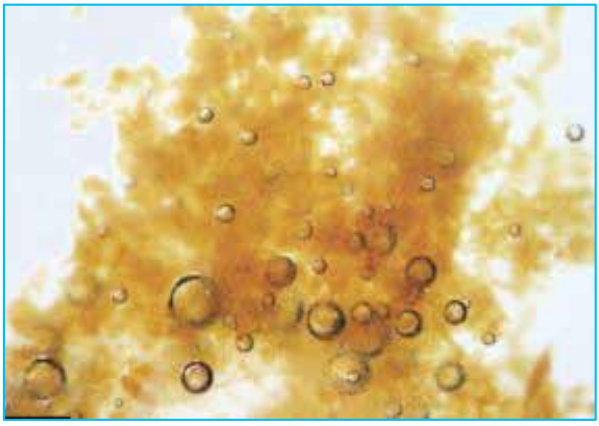
تطورت هذه الأحواض بالتقدم العلمي والتكنولوجي من حيث زيادة سرعة الترسيب، وزيادة سرعة مرور المياه في الأحواض، مما ساهم في تقليل حجمها قدر الإمكان، ثم اتجهت الأبحاث إلى تعويم الندف بطريقة التعويم بالهواء "Air Floatation" بدلاً من ترسيبها، حيث يعيب طريقة الترسيب بالترويب تكون كميات كبيرة جداً من الحمأة ذات محتوى مرتفع من المياه، لذا قد تصعب عمليات الترشيح، لذا يفضل في هذه الحالة استخدام طريقة الطفو "التعويم" بالهواء/ أو الغاز لفصل الرواسب [49].

5.2.8.2. الطفو " التعويم" Flotation

تستخدم طريقة التعويم للندف بالهواء أو بالغاز بدلاً من طرق الترسيب التقليدية لمعالجة مياه الصرف المحتوية على مواد صلبة معلقة بشكل دقيق و/ أو ملوثات زيتية، نظراً لأنه يصعب معالجة مياه تحتوي على مواد ذات كثافة قريبة من كثافة المياه بطرق اقتصادية، خاصة في حالة تكون مستحلبات من المياه والزيت مما يستلزم وقت طويل جداً لإتمام عملية الفصل، وفي مثل هذه الحالات يمكن تسريع عمليات الفصل بالترسيب باستخدام تقنية التعويم أو الطفو، حيث يضخ هواء مضغوط أو غاز في المياه لإذابة أكبر كمية ممكنة من الهواء في المياه، وعند إزالة الضغط عن الماء يتحرر الهواء أو الغاز من الخليط مكوناً فقاعات ترتفع إلى السطح حاملاً معه جزيئات المواد الصلبة، او الملوثات الزيتية.

تلتحم فقاعات الهواء بجزيئات الملوث، وتكفي قوة الطفو للجزيء المركب مع الهواء أو الغاز التي لها كثافة أعلى من الماء من أن تطفو إلى السطح، حيث يسهل إزالتها بطريقة الكشط "Skimming" [50]. يبين الشكل (33) تكون فقاعات الهواء والتحامها مع جزيئات الملوثات [51].

الشكل (33): تكون فقاعات الهواء والتحامها مع جزيئات الملوثات



المصدر [51]: DAF–dissolved air flotation: Potential applications in the mining and mineral processing industry, Universidad Federal do Rio Grande do Sul, July 2006.

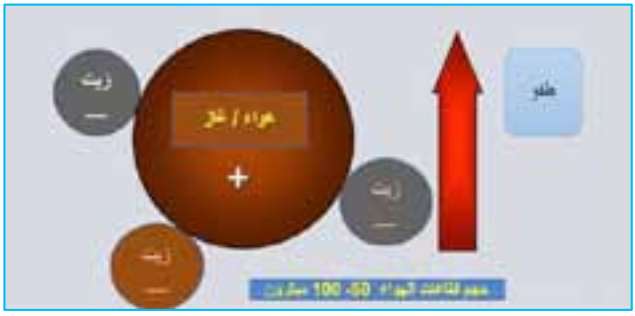
1.5.2.8.2 التعويم بالهواء المذاب/ الغاز المذاب (DAF/DGF)

تستخدم طريقة التعويم بالهواء المذاب/ الغاز المذاب " Dissolved Air Flotation/Dissolved Gas Flotation (DAF/DGF)" في معالجة مياه الصرف الصناعي الناتجة من وحدات فصل الزيوت "API" الملحقة بمصافي التكرير والبتروكيماويات. تعمل هذه التقنية على خفض نسبة الملوثات من الزيوت بنسبة حوالي 95%، وخفض قيمة المواد الصلبة العالقة بنسب تتراوح ما بين 50-80 %. يكون معدل صرف وحدات المعالجة بطرق التعويم "DAF" في الغالب أعلى من 1000م^3/ساعة، ويتراوح زمن المكوث في حدود 30-40 دقيقة [53].

يتم ملامسة الهواء لمياه الصرف تحت ضغط عالي مما يعمل على إذابة الهواء في مياه الصرف، ثم يتم خفض الضغط على سطح المياه من خلال صمام خلفي ينتج فقاعات هواء تماثل حجم الميكرون بأحجام تتراوح ما بين 50-100 ميكرون. تلتصق بالهواء المواد العالقة، والزيوت، ثم تطفو إلى السطح بوحدة المعالجة، ثم بعد ذلك يتم كشط الرغوة المتكونة من على سطح المياه [52].

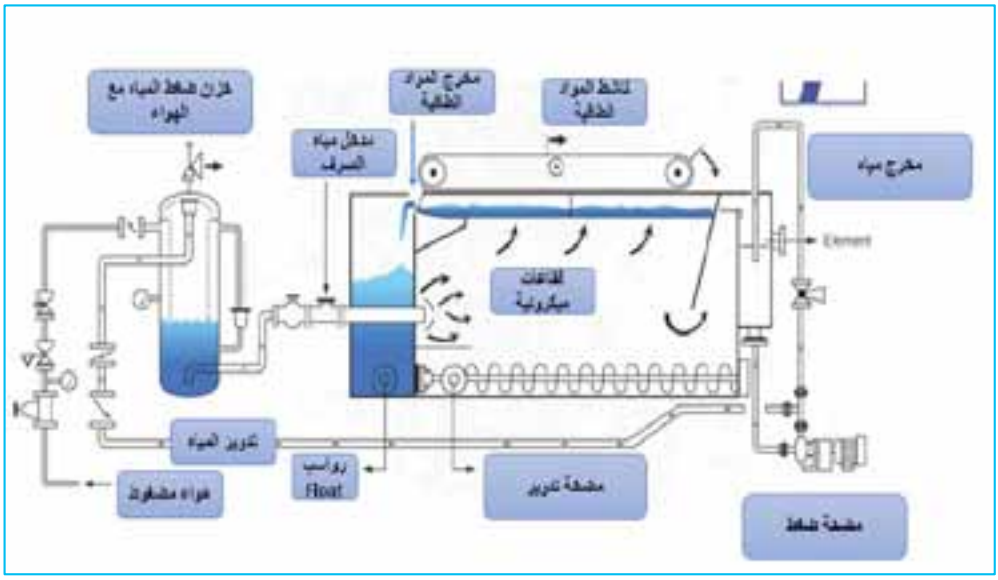
يبين الشكل (34) ميكانيكية عمل طريقة فصل الملوثات بطريقة الطفو بالهواء أو الغاز، كما يبين الشكل (35) مخطط عمل وحدة الطفو بالهواء أو الغاز. بينما يبين الشكل (36) نموذج لوحدات الطفو بالهواء في مصنع بتروكيماويات في سنغافورة بطاقة 1200 م^3/ساعة.

الشكل (34): ميكانيكية التصاق فقاعات الهواء بالمواد العالقة وطفوها إلى السطح



المصدر: Petroleum Refinery, Ethylene and Gas Plant Wastewater Treatment Presentation, Siemens AG 2006

الشكل (35): مخطط عمل وحدة الطفو بالهواء المذاب "DAF"



المصدر: http://www.shanleypump.com/edur_dissolved_air_flotation_daf_pumps.html

الشكل (36): نموذج لوحدات الطفو بالهواء في مصنع بتروكيماويات في سنغافورة بطاقة 1200 م^3/ساعة



المصدر: https://www.nijhuisindustries.com/resources/uploads/bestanden/solutions/High-Rate-i-DAF_MAY-2016.pd

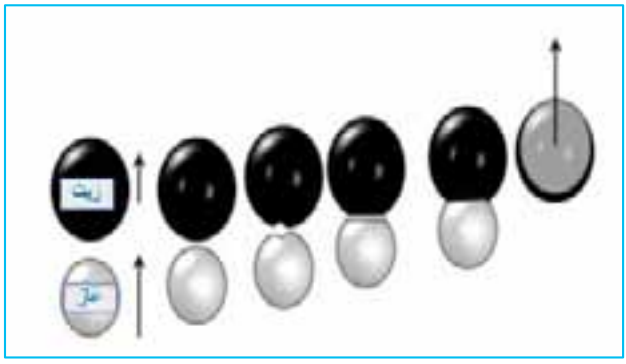
2.5.2.8.2. التعويم بالهواء المستحث "Induced Air Flotation, "IAF

التعويم بالغاز المستحث "Induced Gas Flotation, "IGF

تعتمد هذه الطريقة على تكون الغاز على شكل فقاعات صغيرة بحجم 1000 ميكرون أو أعلى، وانتشاره، بحيث تلامس هذه الفقاعات جزيئات الملوثات " الزيت"، ويحدث تصادم بين جسيمات الملوثات والفقاعات المتكونة لتشكل مجموعات من الرواسب. تضاف بعض مواد التوتر السطحي فتعمل على تقليل التوتر السطحي بينهما، وتقليل زاوية الاتصال التي تشكلت أثناء الاصطدام لتكون راسب يمكن فصله عن مياه الصرف الصناعي، يبين الشكل (37) ألية التعويم المستحث بالهواء (IAF) وتشمل خطوات الاصطدام، والالتصاق، وتشكيل فقاعات وطفوها على السطح، ثم كشطها [58]. يمكن إزالة نحو 75 % من الملوثات، بشرط عدم تكون

مستحلبات، وأن تكون نسبة تلوث الزيت أقل من 300 ج.ف.م.، غير أنها لا تصلح لفصل المواد الصلبة العالقة في تركيزات أقل من 100 ج.ف.م [61].

الشكل (37): آلية تقنية التعويم المستحث بالهواء (IAF): الاصطدام، الالتصاق وتشكيل فقاعة على سطح الجسيمات.



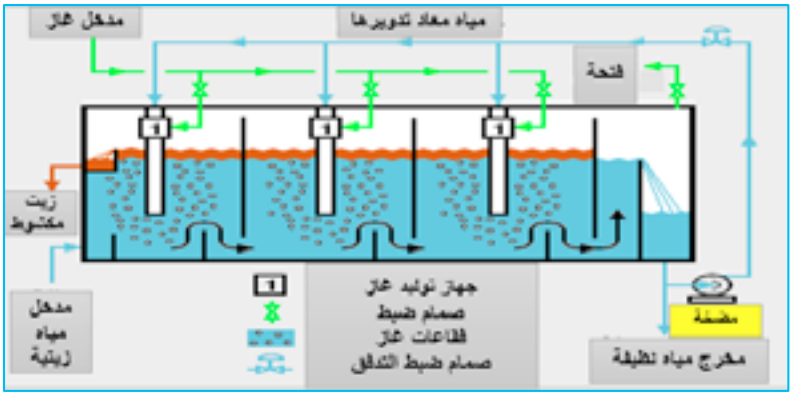
المصدر: Integration of processes induced air flotation and photo-Fenton for treatment of residual waters contaminated with xylene, Journal of Hazardous Materials, 199–200 (2012) 151–157

هنـاك طريقتـان لعمـل تقنيـة التعـويم بـالهواء أو الغـاز المسـتحث وهمـا: الطريقـة الهيدروليكية، والطريقة الميكانيكية.

1.2.5.2.8.2. التعويم بالغاز/الهواء المستحث الهيدروليكي

يتم في هذه الطريقة إعادة تدوير جزء من المياه العادمة الناتجة من حوض التعويم وضخه بواسطة مضخات عبر أنبوب داخلي إلى الحوض مره أخرى، يحتوي الأنبوب على جهاز توليد الغاز لتكوين فقاعات وخلطها بمياه الصرف داخل حوض التعويم، ثم تتكون طبقة زيتية يتم كشطها من على السطح [60]، كما يبين الشكل (38).

الشكل (38): آلية عمل طريقة التعويم بالغاز المستحث الهيدروليكية

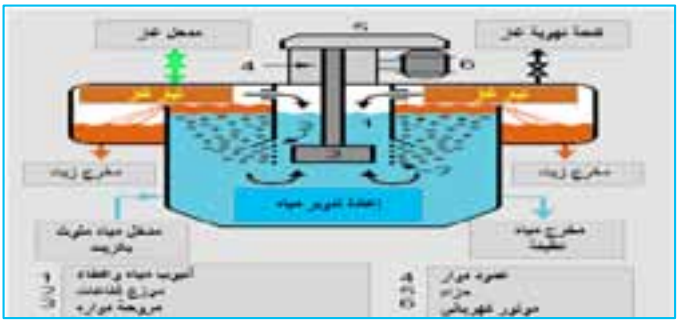


المصدر: http://en.citizendium.org/wiki/File:Hydraulic_IGF.png

2.2.5.2.8.2. التعويم بالغاز/الهواء المستحث الميكانيكي

يتم في هذه الطريقة تكوين دوامات من الغاز بواسطة مراوح "Impellers" داخل حوض التعويم، يتم تشغيلها بواسطة محرك كهربائي مثبتة على السطح الخارجي للحوض، حيث توجه دوامة الغاز إلى الحوض ويخلط مع الماء العادم لتكوين فقاعات داخل الحوض، لتتكون طبقة زيتية يتم كشطها خارج وحدة الطفو. يدور الغاز باستمرار داخل الحوض [60]، كما يوضح الشكل (39)، بينما يبين الشكل (40) وحدة التعويم بالهواء / الغاز المستحث في أحد وحدات المعالجة.

الشكل (39): آلية عمل طريقة التعويم بالغاز المستحث الميكانيكي



المصدر: http://en.citizendium.org/wiki/File:Hydraulic_IGF.png

تتميز طريقة التعويم بالغاز/ الهواء المستحث الهيدروليكي بأنها لا تحتاج إلى مساحات كبيرة من الأراضي لتركيبها، كما أنها أقل من حيث تكلفة الإنشاء بشكل عام، وتتميز بانخفاض تكاليف التشغيل نسبياً، تستلزم وقت أقل في عمليات الصيانة الدورية مقارنةً بطريقة التعويم بالغاز المستحث الميكانيكي [60]. يعيب طريقة الطفو بالحث إنتاج كميات كبيرة من الحمأة، ولا تعمل بكفاءة في فصل مستحلبات الزيت، كما أنها ذات كفاءة محدودة في فصل المواد الصلبة العالقة [61].

الشكل (40): وحدة التعويم بالهواء/ الغاز المستحث بأحد وحدات المعالجة



المصدر: http://www.watertectonics.com/project/oil-de-emulsification-project/

6.2.8.2. فلترة قشور جوز الهند المفتتة Walnut Shell Filter

استخدمت الفلترة السريرية "Bed Filtration" على نطاق واسع لإزالة ملوثات الزيت من المياه الزيتية الناتجة عن العمليات الصناعية، واختلفت المواد المستخدمة " الوسائط" في عمليات الترشيح وتنوعت، ولكن أكثر هذه المواد استخداماً هي: **الرمل** ويعد أرخص وسط للترشيح ويستخدم بشكل واسع في المرشحات الرملية حيث يستخدم رمل الكوارتز"Quartz"، أو الكوارتزيت "Quartzite" لهذا الغرض. يعد **رمل الغارنيت** "Sand Garnet" أو **الليمنايت** "Illuminate" من الوسائط المهمة المستخدمة في عمليات الترشيح، إلا أن كلفة هذا النوع من

الرمال مرتفعة نسبيا وتوافرها محدود، ويلحق بهذا النوع من الرمل **الماغنتيت** "Magnetite". كما يستخدم **فحم الأنثراسيت** "Anthracite" أيضاً كبديل عن الرمال في بعض محطات الترشيح، وقد يستعمل مع الرمل ومواد أخرى كخليط للترشيح.

تستخدم المواد **السيليولوزية الطبيعية والصناعية** مثل أسيتات السيليلوز، ونترات السيليلوز، والقطن بشكل واسع في أغراض الترشيح الفائق. يستخدم أيضاً كل من السيراميك، والفخار غير المزجج، والفخار الصيني، والحجر الرملي، ويتم خلطها أحيانا مع الفضة لأغراض التعقيم، وتستخدم مواد أخرى مثل خبث الزجاج المكسور، والخامات المعدنية، وقشور جوز الهند الطبيعية المفتتة، وقشور الأرز المحروقة.

تتميز قشور جوز الهند الطبيعية المفتتة، والمستخدمة كوسائط ترشيح بقدرتها القوية على الامتصاص، والصلابة العالية، والمقاومة الجيدة للتآكل، والثبات الكيميائي حيث لا تذوب في المحاليل الحامضية أو القاعدية. كما يمكن الحصول عليها بسهولة ومن مجموعة واسعة من المصادر، بالإضافة إلى أنه من السهل أن يتم تجديدها وإعادة استخدامها بعد غسلها [62-64]. يبين الجدول (19) مقارنة بين قشور جوز الهند الطبيعية المفتتة، ورمال السيليكا المستخدمة كوسائط في عمليات الترشيح [64].

جدول (19): مقارنة بين قشور جوز الهند المفتتة، ورمال السيليكا المستخدمة كوسائط في عمليات الترشيح

الوسائط المستخدمة	رمال السيليكا	قشور جوز الهند المفتتة
معدل إزالة الزيت %	50-40	93-82
معدل إزالة المواد العالقة %	65-50	96-85
سرعة الترشيح (م^3/س)	12-8	30-23
مدة الصلاحية للاستخدام	يستبدل كل 2-3 عام	يضاف 10 % كل عام

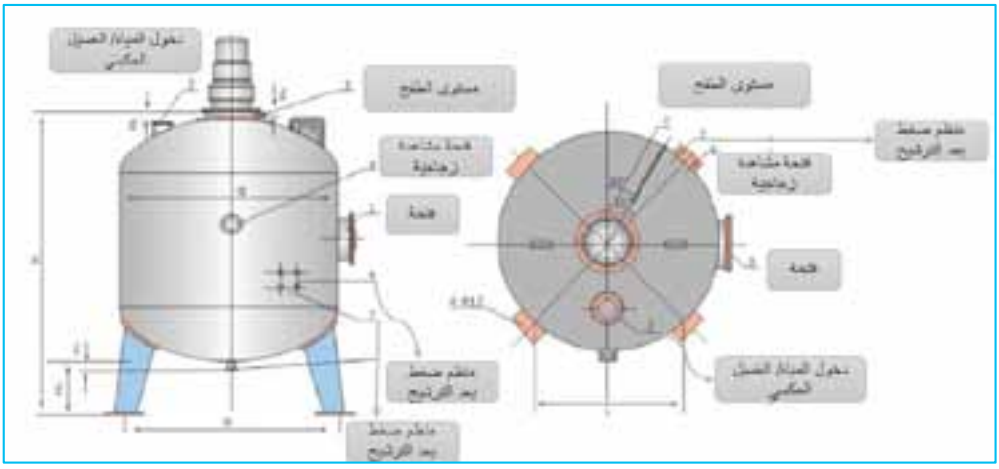
المصدر: Crushed Walnut Shells, https://walnutshellpowder.wordpress.com/tag/walnut-shell-filter-media/.

يتكون نظام الترشيح أساساً من نظام التصفية، ونظام الغسيل، ونظام التحكم (أحدهما آلي والآخر يدوي). عند الترشيح، يكون تدفق مياه الصرف من أعلى إلى أسفل، مروراً بموزع المياه "Water distributor"، ووسائط الترشيح السريرية، ومجمع المياه " Water collector".

تهدف عملية الغسيل العكسي "Backwashing" إلى التخلص من المواد العالقة والتي تخثرت، وترسبت على سطوح حبيبات الرمل وأدت الى انسداد المسامات وبالتالي اعاقة مرور الماء، وزيادة فاقد الضغط "Drop Pressure".

في عملية الغسيل العكسي يقوم المحفز بتحريك قشور الجوز، ويكون تدفق المياه من أسفل إلى أعلى، مما يعمل على إعادة تجديدها بالكامل ليمكن إعادة استخدامها مرة أخرى. يمكن استخدام الهواء كمساعد لماء الغسيل العكسي حيث يتم ادخال تيار هوائي من خلال شبكة من الأنابيب تتحرك في الجزء السفلي من المرشح لتحريك حبيبات الرمل "أوساط الترشيح" واحتكاكها. يبين الشكل (41) مخطط المكونات الرئيسية لنظام الترشيح باستخدام قشور جوز الهند الطبيعية المفتتة، بينما يبين الشكل (42) مخطط المكونات الرئيسية لنظام الترشيح باستخدام قشور جوز الهند الطبيعية المفتتة.

الشكل (41): مخطط المكونات الرئيسية لنظام الترشيح باستخدام قشور جوز الهند الطبيعية المفتتة



المصدر: Crushed Walnut Shells, https://walnutshellpowder.wordpress.com/tag/walnut-shell-filter-media/

الشكل (42): وحدة ترشيح مركبة بنظام قشور جوز الهند الطبيعية المفتتة



المصدر: Crushed Walnut Shells, https://walnutshellpowder.wordpress.com/tag/walnut-shell-filter-media/

تستخدم طريقة الترشيح باستخدام قشور جوز الهند الطبيعية المفتتة في المصانع التي لا تحتوي على وحدات معالجة أخرى مثل المعالجة البيولوجية، ولديها قيود مشددة لتصريف المياه الملوثة بالزيت بتركيزات أعلى من 100 ج.ف.م. وتهدف إلى الحصول على مياه معالجة بتركيزات منخفضة من الزيت تتراوح ما بين 5-10 ج.ف.م.، وتعد التركيزات المنخفضة من الزيت في المياه المعالجة أحد أهم مميزات هذه الطريقة، بينما يعيبها أنها طريقة غير جيدة لفصل المواد الصلبة العالقة، فضلاً عن ارتفاع التكلفة الاستثمارية نسبياً للوحدة [61].

7.2.8.2. طريقة المعالجة بالتعادل Neutralization

تعد عملية المعالجة بالتعادل أحد طرق المعالجة الكيميائية الأولية، والغرض منها هو معادلة النفايات السائلة الناتجة عن العمليات الصناعية، سواءً كانت حامضية أو قاعدية، وذلك عن طريق إضافة بعض المواد الكيميائية المناسبة قبل صرفها على المصارف العمومية، أو إعادة استخدامها حيث تتطلب معظم التشريعات البيئية أن يتراوح رقم الأس الهيدروجيني ما بين

9-6 قبل الصرف النهائي على المسطحات المائية. تستخدم هذه الطريقة أيضاً لتهيئة مياه الصرف للمعالجة البيولوجية التي تستلزم رقم أس هيدروجيني معين لإتمامها، حيث يتم معالجة مياه الصرف الصناعي الحامضية بإضافة محلول قلوي، في حين تتم معالجة مياه الصرف القلوية بإضافة محلول حامضي.

تعتبر المعالجة بطريقة التعادل من أقدم الطرق الكيميائية، وأكثرها استعمالا في معالجة مياه الصرف الحامضية، والقلوية، وتعد عملية ضبط رقم الأس الهيدروجيني من المراحل الهامة في معالجة مياه الصرف الصناعي، حيث أن مياه الصرف الصناعي زائدة الحامضية أو القاعدية غير مرغوب فيها. يبين الشكل (43) مخطط عملية التعادل لمياه الصرف الصناعي [65].

الشكل (43): مخطط عملية التعادل لمياه الصرف الصناعي



المصدر: Waste Neutralization, http://www.tectrapro.com/wp-content/uploads/waste.pdf

تستخدم العديد من المواد الكيميائية التي تختلف من حيث الكفاءة، والتكلفة في عمليات التعادل، يعد الجير الحي " أكسيد كالسيوم " من أكثر المواد المستخدمة في عمليات التعادل وذلك لانخفاض سعره، غير أن استخدام الجير الحي " الصلب" في عمليات التعادل يكون بطيئا

جداً في التفاعل، ويكون رواسب غير قابلة للذوبان مثل كبريتات الكالسيوم . على الرغم من أن كربونات الصوديوم، وهيدروكسيد الصوديوم، والأمونيا أكثر كلفة، إلا أنها تتميز بتفاعلها السريع مع الأحماض مقارنة بالجير الحي، كما أنها سريعة الذوبان في الماء لذلك فإن عمليات التداول والتغذية تكون مناسبة، خاصة في المعدات التي تعمل أوتوماتيكيا.

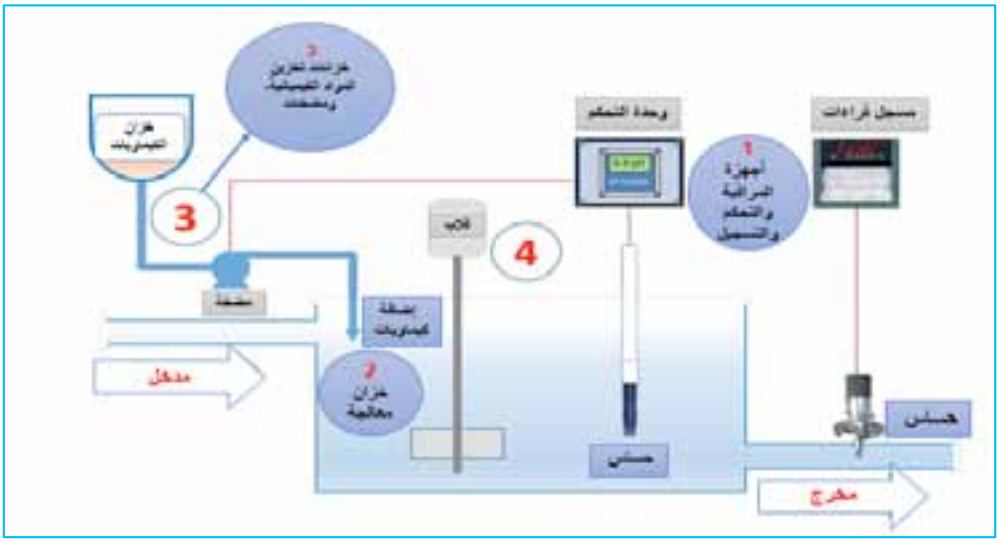
بينما تتم معادلة مياه الصرف الصناعي القلوية باستخدام حامض الكبريتيك، أو بالأحماض الناتجة من عمليات أخرى، ويمكن أيضا الاستفادة من الغازات المتسربة مثل غاز ثاني أكسيد الكربون ليكون حمض الكربونيك عند امتزاجه بالماء [66]. يعتمد اختيار المادة القلوية المستخدمة على حجم مياه الصرف الصناعي، وقيم وتقلبات رقم الأس الهيدروجيني للمياه، بالإضافة إلى تكلفة مادة التعادل المستخدمة.

تحتاج مياه الصرف ذات القلوية المرتفعة إلى المعالجة باستخدام حمض الكبريتيك، أو حمض الهيدروكلوريك، أو الغازات المتسربة المحتوية على ثاني أكسيد الكربون .وعادة ما تتم عملية المعادلة على مرحلتين، فيتم أولا التعادل باستخدام المواد الكيميائية قليلة التكلفة، ثم تتم عملية التعادل النهائية، والتي غالبا ما تتم باستخدام أجهزة تحكم لإضافة الصودا الكاوية، أو حامض الكبريتيك [67].

يتكون نظام معادلة رقم الأس الهيدروجيني " وحدة المعالجة" من أربع مكونات أساسية، كما يبين الشكل (44) [68].

1. أجهزة المراقبة والتحكم والتسجيل.
2. خزان معالجة مياه الصرف الصناعي.
3. خزانات تخزين المواد الكيميائية، والمضخات.
4. قلاب "Agitator".

الشكل (44): المكونات الرئيسية لوحدة المعالجة بطريقة التعادل



المصدر: pH Neutralization in Industrial Wastewater

تتدفق مياه الصرف الصناعي إلى خزان معالجة مياه الصرف الصناعي، الذي يحتوي على وحدة التحكم في الأس الهيدروجيني، ملحق بها جهاز استشعار للأس الهيدروجيني لقياس الرقم الهيدروجيني للمياه. كما تحتوي الوحدة أيضا على نقطة معيارية مضبوطة مسبقاً للمخلفات السائلة، وتستخدم هذه القيمة لتحديد ما إذا كانت النفايات السائلة تتوافق مع تلك النقطة المحددة أم لا، وفي حالة اختلافها تعمل المضخة الكيميائية على حقن المحاليل القلوية، أو الحامضية لإتمام عملية التعادل. يعمل القلاب على ضمان تجانس المياه المعالجة بشكل مناسب وصحيح، لقياس رقم الأس الهيدروجيني في الخزان مباشرةً، يبين الشكل (45) وحدة معالجة مياه الصرف الصناعي بطريقة التعادل.

الشكل (45): وحدة معالجة مياه الصرف الصناعي بطريقة التعادل



المصدر: Case Study Neutralization of Alkaline Wastewater
http://www.fuchs-germany.com/en/wastewater/case-studies/neutralization-of-alkaline-wastewater/example.

9.2. المعالجة الثانوية "Secondary Treatment"

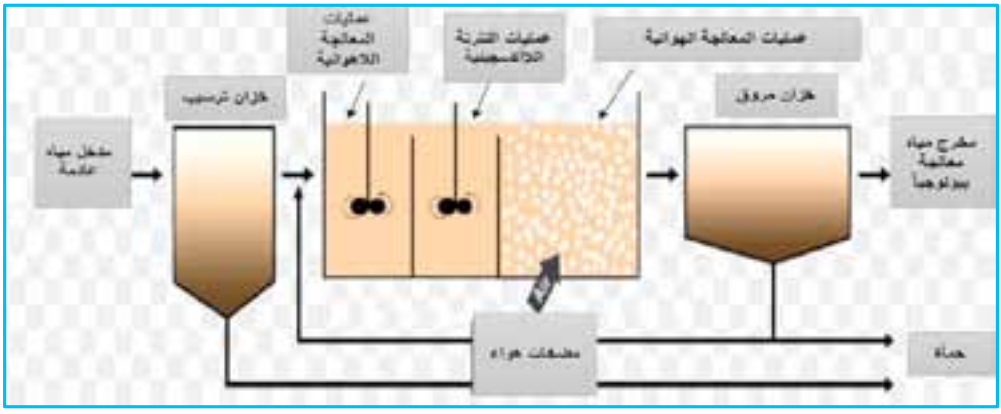
تأتي المعالجة الثانوية أو ما يطلق عليها المعالجة البيولوجية بعد انتهاء مراحل المعالجة الأولية " التمهيدية"، والابتدائية، وتعد جزء هاماً ومتكاملاً في محطات معالجة مياه الصرف الصناعي. يمكن إزالة أكثر من 90 % من المواد العضوية الموجودة في المياه العادمة بطرق المعالجة البيولوجية المختلفة، كما يتم إزالة المواد العضوية الذائبة، التي قد تكون تبقت من طرق مرحلة المعالجة الأولية.

1.9.2. المعالجة البيولوجية "Biological Treatment"

عمليات المعالجة البيولوجية تقوم بها مجموعات من الأجسام، والكائنات الحية الدقيقة التي تستهلك المواد العضوية كغذاء لها، وتحولها إلى النواتج النهائية لعمليات الأيض، وهي ثاني أكسيد الكربون، والماء، والطاقة الضرورية لنمو الجراثيم وتكاثرها.

تنقسم المعالجة البيولوجية إلى أربع مجموعات رئيسية، هي: العمليات الهوائية، وعمليات النترتة اللاأكسجينية"Nitrification Anoxic"، والعمليات اللاهوائية، والعمليات الهوائية والنترتة اللاأكسجينية أو الهوائية واللاهوائية، كما يوضح الشكل (46).

الشكل (46): المجموعات الرئيسية للمعالجة البيولوجية



المصدر: http://www.unisense.com/industrial/wastewater_treatment_plants /

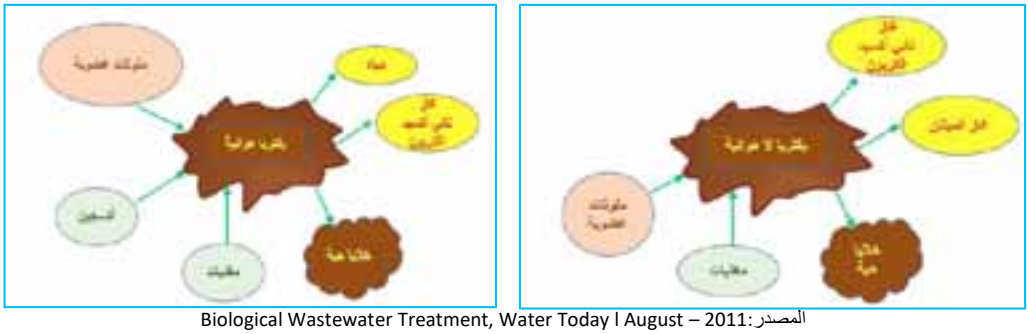
يتلخص أهم أعمال عمليات المعالجة البيولوجية فيما يلي:

1. إزالة المحتوى البيولوجي الكربوني "Carbonaceous".
2. تحويل الأمونيا، أو النيتروجين العضوي إلى نترات.
3. تحويل النترات إلى نيتروجين يتطاير إلى الجو " نزع النيتروجين".
4. تحويل المادة العضوية في الحمأة الناتجة عن عمليات المعالجة الفيزيائية، والبيولوجية إلى غازات وأنسجة خلوية (التثبيت) [75].

تتميز طرق المعالجة البيولوجية عن طرق المعالجة الأخرى مثل الأكسدة الحرارية، أو الأكسدة الكيميائية، بانخفاض التكاليف الاستثمارية الرأسمالية، وتكاليف التشغيل، وأصبحت جزءاً هاماً من طرق المعالجة المتكاملة في صناعة البتروكيماويات.

يمكن أن تكون عمليات المعالجة البيولوجية هوائيةً، أو لا هوائية حسب البكتريا الحيوية المستخدمة، وكل نوع له سلالاته الخاصة من البكتيريا الدقيقة (هوائية أو لاهوائية)، ذات مواصفات تختلف عن النوع الآخر. والهدف في كلتا الطريقتين، هو تحويل المكونات العضوية في الماء الملوث إلى مواد أخرى ثابتة وهي إما غازات" غاز الميثان، وغاز ثاني أكسيد الكربون" تجد مسارها إلى الغلاف الجوي"، أو خلايا حية "يمكن إزالتها بالترسيب"، أو مواد صلبة عالقة من جراء عمليات التخثر الناتجة عن الأنزيمات التي تنتجها الكائنات الحية الدقيقة (ويمكن إزالتها بالترسيب). تعتمد طريقة المعالجة الهوائية على تنشيط البكتيريا الموجودة بالملوثات وتوفير التهوية اللازمة لها، وإمدادها بالمواد الغذائية، أما طريقة المعالجة اللاهوائية فتعتمد على حقن مكان التلوث بكمية معينة من البكتيريا المتخصصة بعد اختبارها بالمعمل وتنشئتها، وتنميتها قبل إضافتها. يبين الشكل (47) مخطط طرق عمل المعالجة البيولوجية الهوائية واللاهوائية [69].

الشكل (47): مخطط طرق عمل المعالجة البيولوجية الهوائية واللاهوائية



المصدر: Biological Wastewater Treatment, Water Today l August – 2011

نظراً لارتفاع تركيزات المواد العضوية في المياه العادمة، فإنه ليس من الضروري أن تكون طرق المعالجة البيولوجية هوائية في طبيعتها أو أن تتم خلال مرحلة واحدة فقط لتحقيق

المعالجة المطلوبة، لذا فقد يلزم استخدام طرق المعالجة اللاهوائية قبل تطبيق طرق المعالجة الهوائية للتخلص الجزئي شبه التام من المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي، وتتميز المعالجة البيولوجية اللاهوائية بما يلي:

1. كمية الحمأة الناتجة أقل بحوالي عشر مرات عن كمية الحمأة الناتجة من المعالجة الهوائية.
2. انخفاض كميات استهلاكات الطاقة من الكهرباء حيث لا تحتاج المعالجة اللاهوائية إلى مضخات لضخ الهواء كما في طرق المعالجة الهوائية.
3. تتمتع بالقدرة على معالجة مياه الصرف الصناعي التي تحتوي على كميات مرتفعة من طلب الاكسجين الكيميائي "COD" أعلى من 1000 ملغرام/ليتر.
4. تنتج كميات من غاز الميثان كمنتج ثانوي للمعالجة اللاهوائية، يمكن استخدامه كبديل عن الغاز الطبيعي في تشغيل المراجل أو المولدات أو المحركات.
5. تحتاج بكتريا المعالجة اللاهوائية إلى كميات أقل من المغذيات (أزوت، فسفور،...) مقارنةً بالمعالجة الهوائية.
6. تتطلب المعالجة اللاهوائية مساحات أقل من الأراضي مقارنة بالمعالجة الهوائية.
7. تحتاج أنظمة المعالجة البيولوجية اللاهوائية إلى تكاليف تشغيل أقل، نظراً لانخفاض كميات المغذيات، واستهلاكات الكهرباء، وكميات الحمأة المتكونة.

بينما تتميز المعالجة الهوائية بانخفاض الزمن اللازم لعملية المعالجة والذي يتراوح ما بين 6 – 7 أيام مقارنة بزمن عمليات المعالجة البيولوجية اللاهوائية والذي يتراوح ما بين 20-30 يوم. وفي حالة ارتفاع نسب الملوثات العضوية، فإنه من الضروري أن يكون هناك مزيج من عمليات المعالجة الهوائية واللاهوائية للحصول على نتائج مثالية لمعالجة المياه العادمة المحتوية على تركيزات مرتفعة نسبياً من الملوثات [69،71]. يبين الجدول (20) مقارنة عامة بين المعالجة البيولوجية الهوائية واللاهوائية [69].

جدول (20): مقارنة بين عمليات المعالجة الهوائية واللاهوائية.

العوامل Parameter	المعالجة الهوائية	المعالجة اللاهوائية
مبدأ العملية Process Principle	✓ تحدث التفاعلات الميكروبية في وجود الأكسجين. ✓ مخرجات التفاعلات: ثاني أكسيد الكربون، والماء، وخلايا حية.	✓ تحدث التفاعلات الميكروبية في غياب الأكسجين. ✓ مخرجات التفاعلات: ثاني أكسيد الكربون، والميثان، خلايا حية.
التطبيق Application	✓ مياه الصرف ذات التركيزات المنخفضة، او المتوسطة من الشوائب العضوية (COD <1000 جزء في المليون). ✓ مياه الصرف الصناعي المحتوية على ملوثات يصعب تحليلها بيولوجياً مثل المياه العادمة لمصافي التكرير وصناعة البتروكيماويات.	✓ مياه الصرف ذات التركيزات المتوسطة إلى العالية من الشوائب العضوية (COD >1000 جزء في المليون). ✓ مياه الصرف الصناعي المحتوية على ملوثات قابلة للتحلل بسهولة مثل مياه الشرب، والصرف الصحي الغنية بالنشا / السكر / الكحول.
الطاقة الحركية للتفاعل Reaction Kinetic	✓ سريعة نسبياً.	✓ بطيئة نسبياً
صافي ناتج الحمأة Net Sludge Yield	✓ مرتفعة نسبياً.	✓ منخفضة نسبياً (حوالي من خمس إلى عشر ناتج عمليات المعالجة الهوائية)
ما بعد المعالجة Post Treatment	✓ يتم الصرف مباشرة، أو يلزم عمليات أخرى "ترشيح، وتطهير".	✓ يلزم لها معالجات هوائية لاحقة
المساحة اللازمة للوحدة Foot Print	✓ كبيرة نسبياً.	✓ صغيرة نسبيا، ووحدة المعالجة صغيرة الحجم
التكلفة الاستثمارية Capital Investment	✓ مرتفعة نسبياً.	✓ منخفضة نسبياً، مع سرعة استرداد رأس المال
أمثلة للتكنولوجيا Example Technologies	✓ عملية الحمأة المنشطة التقليدية Conventional Activated Sludge Process "**CASP**" ✓ نظام الحمأة المنشطة المتتابع Cyclic Activated Sludge System "**CASS**" ✓ نظام الحمأة المنشطة المتكامل ذو الغشاء الثابت Integrated Fixed Film Activated Sludge "**IFAS**" ✓ المفاعل الحيوي بنظام السرير المتحرك Moving Bed Bioreactor "**MBBR**" ✓ المفاعل الحيوي بنظام الغشاء Membrane Bioreactor "**MBD**" ✓ الترشيح الهوائي البيولوجي Biological Aerated Filter " **BAF**" ✓ خنادق الأكسدة "Oxidation Ditch"	✓ خزانات أو مفاعلات ذات تقليب مستمر. ✓ البحيرات اللاهوائية، ✓ والهضم اللاهوائي

المصدر: Biological Wastewater Treatment, Water Today l August – 2011

يتبع العدد 171

البحث الثاني

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

الجزء الأول

عبد الفتاح دندي *

* مدير الإدارة الاقتصادية - ، أوابك - الكويت

الملخص التنفيذي

تهدف الدراسة، بالدرجة الأساس إلى تسليط الضوء على التوقعات المتعلقة بالطلب العالمي على مصادر الطاقة المختلفة وبخاصة الطاقات المتجددة خلال الفترة (2017 – 2040)، بحسب السيناريو المرجعي (سيناريو السياسات الجديدة) من جهة، وسيناريو التنمية المستدامة من جهة أخرى، وذلك للتعرف على الانعكاسات المحتملة للسيناريو الأخير على الطلب العالمي على الوقود الأحفوري وعلى السوق النفطية بشكل عام ، ونفط الدول الأعضاء في منظمة أوابك بشكل خاص.

خصص **الجزء الأول** من الدراسة للتعريف بأنواع الطاقات المتجددة، ومن خلال **الجزء الثاني** تم استعراض التطورات التي شهدها الطلب العالمي على الطاقة خلال الفترة (2017 – 2040)، وكرس **الجزء الثالث** لتحليل نتائج السيناريو المرجعي (سيناريو السياسات الجديدة) الذي تم استعراضه في تقرير أفاق الطاقة العالمي لعام 2018 الصادر عن وكالة الطاقة الدولية ،وانعكاساته على الطلب على مصادر الطاقة الأولية في أسواق الطاقة العالمية وعلى الدول المستهلكة والمنتجة للوقود الأحفوري وفق المجموعات الدولية، ووفق أحد أهم القطاعات وهو قطاع توليد الطاقة الكهربائية.

كما تم خلال الجزء الثالث تحليل نتائج سيناريو التنمية المستدامة، وانعكاساته أيضاً على الطلب على مصادر الطاقة الأولية المختلفة وخصوصاً الوقود الاحفوري، وذلك بحسب المجموعات الدولية ووفق قطاع توليد الطاقة الكهربائية، تم بعد ذلك مقارنة مخرجات سيناريو السياسات الجديدة مع مخرجات سيناريو التنمية المستدامة، لمعرفة مدى انعكاسات السيناريو الأخير على مزيج الطاقة المستهلكة على المستوى العالمي حتى عام 2040.

وقد خصص **الجزء الرابع** من الدراسة لبيان الانعكاسات المحتملة في حال تبني سيناريو التنمية المستدامة على الامدادات النفطية من الدول الأعضاء في أوابك، وذلك من خلال تحليل

نتائج التوقعات المتعلقة بالإمدادات النفطية العالمية حتى عام 2040، بحسب كل من سيناريو السياسات الجديدة مع سيناريو التنمية المستدامة، والانعكاسات المحتملة على تجارة النفط الخام من جهة، والاستثمارات في قطاع النفط بالدول الأعضاء من ناحية أخرى.

وخصص **الجزء الخامس** من الدراسة لتناول إستغلال الطاقات المتجددة في الدول الأعضاء بشكل خاص والدول العربية بشكل عام، حيث تم التطرق الى وضع إنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقات المختلفة، وتم بيان الافاق المستقبلية للتوليد الكهربائي من مصادر الطاقات المتجددة والتحديات المتوقع ان تواجه استخدام الطاقات المتجددة في الدول العربية. واختتمت الدراسة باستعراض لنتائجها والوصول إلى عدد من الاستنتاجات الختامية.

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

المقدمة

تشهد الطاقة المتجددة في جميع أنحاء العالم للطاقة المتجددة توسعا سريعا و نموا ملحوظا، وجزء مهم من هذا التوسع في النمو تشهده طاقة الرياح، و طاقة الخلايا الفوتوفولطية (PV)، والطاقة الشمسية الحرارية (CSP) والطاقة الجوفية (Geothermal). فالطاقة الشمسية، على وجه الخصوص، شهدت زيادة قياسية قدرها 97 جيجاوات من القدرة المركبة خلال عام 2017، تلتها طاقة الرياح بقدرة مركبة إضافية تبلغ 48 جيجاوات. ويعد هذا النمو السريع في مصادر الطاقة المتجددة جزء من التحَول إلى مصادر طاقة تتسم بانخفاض الانبعاثات. وقد تم تحقيق هذا التوسع بفضل التقدم التكنولوجي والدعم الحكومي من أجل تنفيذ عدد من السياسات المحددة التي تبنتها العديد من الدول المستهلكة الرئيسية للطاقة.

ومن الأهمية بمكان أن يؤدي الانخفاض السريع في تكاليف الإنتاج لجميع مصادر الطاقة المتجددة الرئيسية، لا سيما الطاقة الشمسية الفوتوفولطية (PV) وطاقة الرياح، دورا رئيسيا في توسيع نطاق استخداماتها. وقد تحقق ذلك بفضل التطور التكنولوجي ووفورات الحجم، مما شجع على انتشارها. ونتيجة لذلك، أصبحت الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في العديد من أنحاء العالم في الوقت الحاضر قادرة على المنافسة بشكل متزايد مع توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الغاز الطبيعي أو الفحم.

وعلى الرغم من هذا التوسع، لا تزال سياسات الدعم تمثل عنصرا أساسيا في نمو مصادر الطاقة المتجددة. يذكر في هذا السياق، أن معظم مستهلكي الطاقة الرئيسيين، بما في ذلك الولايات المتحدة والصين والهند والاتحاد الأوروبي، لاتزال حتى الآن تدعم تلك السياسات، وبأشكال مختلفة كالحوافز الضريبية، والإعانات ولدوافع زيادة نشر الطاقة المتجددة على أساس العديد من المبررات وعلى رأسها أمن الطاقة (تنويع المصادر، فضلا

عن خفض الاعتماد على الواردات)، والاعتبارات البيئية، وفي كثير من الحالات الرغبة المتزايدة في دعم صناعة تكنولوجية مزدهرة. وتجدر الإشارة إلى أن الدعم السياسي والمالي لاستخدام مصادر الطاقة المتجددة لا يزال يركز بشكل أساسي على توليد الكهرباء، بالمقارنة مع الطاقة الحرارية. وعلى الرغم من معدلات النمو المرتفعة في جميع مصادر الطاقة الرئيسية، الا أن مصادر الطاقة المتجددة مازالت لا تمثل سوى نسبة ضئيلة من إجمالي الطلب على الطاقة الأولية.

ومن الملاحظ وجود تباين واضح إذا ما تم النظر الى الزيادة وفق المناطق المختلفة، ففي حين أظهرت الدول الصناعية في الماضي طلبا أعلى من مصادر الطاقة المتجددة الأخرى مقارنة بالدول النامية، فمن المتوقع أن ينعكس ذلك الوضع في عام 2020.

الجزء الأول: أنواع الطاقات المتجددة[1]

1. الطاقة الشمسية Solar Energy

تتمثل الاستخدامات الرئيسية للطاقة الشمسية المستمدة من أشعة الشمس في توليد الحرارة والطاقة الكهربائية بالإضافة إلى بعض الاستخدامات الأخرى. وإن تطبيقات الطاقة الشمسية الحالية الأوسع استعمالاً هي في مجال تسخين المياه، بينما يتزايد استخدامها في توليد الطاقة الكهربائية.

أما التقنيات الأساسية المستخدمة في مجال الطاقة الشمسية فهي:

أ- الخلايا الفوتوفولطية (PV): وذلك لتحويل أشعة الشمس إلى طاقة كهربائية بصورة مباشرة وهي تتكون من مواد شبه موصلة (Semi Conductors) متنوعة، بالدرجة الأساس من مادة السيليكون، ولا تحتوي على أجزاء متحركة، وتعمل عن طريق استخدام المادة شبه الموصلة لتحويل أشعة الشمس، أي الضوء (Photons)

[1] علي رجب، تطور الطاقات المتجددة وانعكاساتها على أسواق النفط العالمية والأقطار الأعضاء، منظمة أوابك، مجلة النفط والتعاون العربي، العدد 127 ، خريف 2008.

التي تمتصها تلك المادة إلى كهرباء (Voltage) بصورة مباشرة بوساطة ظاهرة التأثير الضوئي (PV Effect).

وهذه التقنيات آخذة في التطور وعالية التكاليف نسبياً وقد تكون تنافسية في حالات معينة مثلاً في الأماكن البعيدة عن شبكات الطاقة الوطنية أو في الأماكن النائية التي يتزايد فيها الطلب العالمي على الطاقة مع معدل سقوط عالي لأشعة الشمس.

ب - الأنظمة الحرارية الشمسية (Solar Thermal Systems) وهي تكون بأنواع مختلفة، منها ما هو بسيط يشتمل بالدرجة الأساس على ألواح أو صحون مسطحة شمسية توضع باتجاه ثابت لالتقاط أشعة الشمس وتوليد الحرارة. مما يذكر، تزايد سوق السخانات الشمسية بصورة كبيرة بالأخص منذ تسعينات القرن الماضي في دول عديدة من العالم لأسباب منها انخفاض التكاليف نسبياً بالمقارنة مع الخلايا الفوتوفولطية، هذا بالإضافة إلى الدعم والتشجيع الحكومي وأن تقنياتها لا تتميز بدرجة عالية من التعقيد. يقدر بأن هنالك ما يزيد عن (40) مليون منزل تستخدم الطاقة الشمسية لتسخين المياه في العالم.

ج - أنظمة التركيز الحرارية الشمسية (Solar Thermal Concentration Systems)

أما بالنسبة لمحطات الطاقة الحرارية الشمسية، أو كما تسمى أنظمة التركيز الحرارية الشمسية فهي تستخدم لتوليد الحرارة ومن ثم توليد الطاقة الكهربائية بصورة غير مباشرة من خلال استغلال أشعة الشمس لتسخين المياه وتوليد البخار الذي يقوم بدوره بتدوير توربينات بخارية تقوم بتوليد الكهرباء، أي من خلال الحرارة ودورات البخار (Steam Cycle).

وتعتمد المحطات الحرارية الشمسية على السقوط المباشر لأشعة الشمس وبدرجة عالية، وبذلك فهي تكون مناسبة للمناطق القاحلة الجافة أو شبه الجافة. ومن بين الدول الواعدة في العالم في هذه الصناعة هي الشرق الأوسط، وإفريقيا وبعض مناطق الولايات المتحدة وامريكا اللاتينية وآسيا.

وعلى الرغم من أن تكاليف تقنية المحطات الشمسية الحرارية أقل من تقنية الخلايا الفوتوفولطية فهي تعتبر أبعد بكثير عن الجدوى الاقتصادية بالمقارنة مع الخلايا الفوتوفولطية وذلك لأسباب متعددة منها:

- الحجم: إن تشييد محطات من هذا النوع يتطلب أن تكون ذات سعة كبيرة جداً لتكون اقتصادية كونها تعتبر منافسة مباشرة لمحطات توليد الكهرباء الكبيرة العاملة على الوقود الأحفوري ذات التكاليف المنخفضة نسبياً بالإضافة إلى محطات الطاقة النووية.
- المرونة: تتميز أنظمة المحطات الحرارية الشمسية بقلة درجة مرونتها بضوء إمكانية استخدامها في مناطق معينة فقط أي التي تتمتع بدرجة عالية من السقوط المباشر لأشعة الشمس. بينما تتميز تقنية الخلايا الفوتوفولطية بدرجة عالية من المرونة بحيث يمكن استخدامها في أماكن بعيدة عن شبكات الطاقة الوطنية ولاستخدامات مختلفة حسب طبيعة وحجم الاستخدام أو ربطها بالشبكات الوطنية.

2. طاقة الرياح

وهي الطاقة المستمدة من الرياح عن طريق تحويل حركة الرياح، أي طاقتها الحركية، إلى شكل آخر من أشكال الطاقة سهلة الاستخدام، بالدرجة الأساس طاقة كهربائية وإلى درجة أقل طاقة ميكانيكية تستخدم في عدد كبير من التطبيقات.

بدأ استخدام طاقة الرياح مع بدايات التاريخ لأغراض مختلفة، إلا أن استخدامها لتوليد الكهرباء يعتبر جديد نسبياً، حيث بدأ، ولأول مرة، في الولايات المتحدة في بدايات القرن الماضي، حيث تم استخدام طواحين هوائية صغيرة في العشرينات، لتوليد الكهرباء في بعض المناطق الريفية من الولايات المتحدة، بالأخص البعيدة عن خدمات الكهرباء. إلا أنه انخفض استخدامها بعد وصول خطوط نقل الطاقة الكهربائية إلى المناطق الريفية الأمريكية خلال الثلاثينات من القرن المذكور.

وقد عاد الاهتمام ثانية لاستخدام طاقة الرياح لتوليد الكهرباء خلال سبعينات القرن الماضي، والذي أصبح يمثل استخدامها الرئيسي على مستوى العالم حالياً. وتستخدم في الوقت الحاضر، توربينات هوائية لتوليد الكهرباء، تتألف من شفرات (Blades) دوارة تُحمل على عمود ومولّد كهربائي قادر على تحويل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة كهربائية.

وتتميز التوربينات بحجوم متنوعة. حيث شهد حجوم التوربينات تطوراً مع مرور الوقت والتقدم التكنولوجي. وكان الحجم السائد يقل عن 100 كيلو واط لغاية منتصف الثمانينات من القرن الماضي. بعدها ازداد إلى بضعة مئات من الكيلوواط إلى أن وصل في منتصف التسعينات إلى 0.5-1.5 ميغاواط، وأخيراً ازدادت الحجوم الكبيرة للتوربينات لتصل إلى 5 ميغاواط وازداد قطرها حتى 125 متر وارتفاعها إلى 90 متر.

3. الطاقة الجوفية (Geothermal Energy)

الطاقة الجوفية هي الطاقة المستمدة من حرارة جوف الارض والتي عادة ما تكون على شكل ماء حار/ بخار. وقد استغلت طاقة الطاقة الجوفية لإمداد الإنسان بالحرارة منذ آلاف السنين. وتستخدم المياه الحارة الجوفية حالياً في دول عديدة في العالم في بعض الاستخدامات الحرارية المباشرة منها تدفئة المنازل وفي أحواض السباحة والمنتجعات السياحية والصحية بالإضافة إلى بعض التطبيقات الأخرى بالأخص في المجالات الزراعية والصناعية. ومنذ بداية القرن العشرين بدأ استغلال الطاقة الجوفية في توليد الكهرباء، حيث تم في عام 1904 بناء مشروع تجاري في العالم لتوليد الكهرباء في إيطاليا باستخدام البخار الصادر من جوف الأرض.

4. الطاقة المائية: Water Power

الطاقة المائية هي الطاقة المستمدة من حركة المياه المستمرة، والتي لا يمكن أن تنفذ، والاستفادة منها لبعض الأغراض المفيدة. وهناك أنواع عديدة من الطاقة المائية من أهمها، الكهرومائية Hydroelectric ، والمد والجزر Tides ، والأمواج Waves .

وتدرج طاقة المد والجزر والأمواج، في بعض الأحيان، ضمن طاقة المحيطات (Ocean Energy) التي قد تشمل أيضاً أنواع أخرى مثل الطاقة الناتجة عن الاختلاف في درجة حرارة المحيطات Ocean Thermal Energy Conversion وطاقة الاختلاف في الملوحة (Salinity Gradient).

أ- الطاقة الكهرومائية

وهي الطاقة الناتجة عن استغلال طاقة مساقط المياه وطاقة المياه الجارية سواء كانت محطات توليد كهرباء هيدرولوجية صغيرة جداً بطاقة تكفي لسد احتياجات عائلة واحدة أو المحطات الضخمة التي تولد الكهرباء لملايين من الناس. وقد لعب التدخل الحكومي المباشر والدعم والتشجيع دوراً أساسياً وراء ذلك التطور الذي قاد إلى بناء سدود ضخمة ولأغراض متعددة، منها ضمان إمدادات المياه للمواطنين، والسيطرة على الفيضانات، بالإضافة إلى توليد الطاقة الكهربائية.

ب- طاقة المد والجزر

يرجع تاريخ استغلال طاقة المد والجزر والمحيطات إلى القرن الحادي عشر عن طريق بناء سدود واستخدام مياه المد التي تحتجزها تلك السدود لتدوير العجلات المائية لبعض الأغراض المفيدة مثل طحن الحبوب، بالأخص في بريطانيا وفرنسا. وبدأ استغلال طاقة المد والجزر لتوليد الكهرباء، لأول مرة في العالم، في فرنسا عام 1966، ثم لحقتها دول أخرى مثل كندا وبريطانيا، لكنه لازالت مساهمة طاقة المد والجزر في توليد الكهرباء لا تذكر وأن طاقتها المركبة متواضعة جداً.

تتميز طاقة المد والجزر بكونها طاقة نظيفة لا تنتج انبعاث غازات ضارة أو نفايات وأن تشغيلها لا يحتاج إلى تكاليف أو وقود حال الاكتمال من بناء المشروع. كما أن تكاليف الإدارة منخفضة أيضاً. إلا أنها تحتاج إلى تكاليف استثمارية عالية للبناء، بالإضافة إلى أن هناك مواقع قليلة جداً مناسبة لإقامة مثل هذه المشاريع. وقد تخلق تلك المشاريع مشاكل سياحية وبيئية بسبب الحواجز الضرورية لحجز الماء لعملية التوليد (على الرغم أن هناك تقنيات أخرى يتم تطويرها لتفادي طريقة الحواجز). كما يقتصر انتاج الكهرباء من محطات المد والجزر على فترات حركة المد والجزر، أي خلال حوالي 10 ساعات يومياً فقط. وأشارت بعض المصادر بأنه في حالة وجود الموقع المناسب، فقد تكون تكاليف توليد الكهرباء من المد والجزر أكثر تنافسية من الفحم ومقاربة للطاقة النووية.

ج - طاقة الأمواج

لاتزال تقنيات توليد الكهرباء من طاقة الأمواج في مراحلها الأولية. وتجري محاولات في بعض الدول لاستغلال هذا المصدر، حيث انشأت البرتغال أول محطة لتوليد الطاقة الكهربائية المستمرة من حركة أمواج البحر في شمال البلاد. كما يجري بناء محطة في اسكتلنده ايضاً بالإضافة إلى محاولات في دول أخرى مثل استراليا والنرويج والصين والهند وإيرلنده والولايات المتحدة والتي جوبهت في البداية بمشاكل فنية كبيرة.

مع ذلك يتوقع البعض أن تكون تقنيات طاقة الأمواج واعدة بدرجة أكبر بالمقارنة مع تقنيات المد والجزر.

5. الطاقة الحيوية (Biomass Energy)

الطاقة الحيوية والتي تعرف اختصاراً (Bio energy)، هي مشتقة من الطاقة المخزونة في الكتلة الحيوية (Biomass)، وتشمل بالدرجة الأساس النباتات والمواد العضوية (باستثناء الوقود الاحفوري) ويمكن استخدامها، عادة، بصورة مباشرة على شكل مواد صلبة قابلة للاحتراق- من ضمنها الأخشاب ومخلفات الصناعة الخشبية والمخلفات الزراعية والغابات والمحاصيل الزراعية. ويضاف إليها كذلك الفضلات الحيوانية ونفايات

المدن (باستثناء المواد البلاستيكية والمركبات غير العضوية). علماً بأن الأخشاب لا تزال تمثل المصدر الأكثر شيوعاً للطاقة الحيوية. وبالإمكان استخدام الطاقة الحيوية للأغراض توليد الكهرباء وإنتاج الحرارة، وإنتاج الوقود الحيوي.

وهنالك طرق وتقنيات عديدة لاستغلال الكتلة الحيوية لأغراض توليد الكهرباء والحرارة منها الحرق المباشر – (Direct Combustion)، و الحرق المساند – (Co-firing) بالأخص مع الفحم، والتحويل إلى غاز (التغويز) Gasification، أي التحويل إلى غاز حيوي (Biogas).

الجزء الثاني: تطور الطلب العالمي على الطاقة وفق المصدر وبحسب المجموعات الدولية المختلفة، 2000-2017

1. الطلب العالمي على مصادر الطاقة الأولية المختلفة

شهد الطلب العالمي على مصادر الطاقة الأولية المختلفة ارتفاعا ملحوظا خلال الفترة (2000-2017)، حيث ارتفع إجمالي الطلب من 10.0 مليار طن مكافئ نفط (طن م ن) في عام 2000 الى 13.6 مليار ط م ن في عام 2017 أي بمعدل نمو سنوي بلغ 1.8 %. وقد تباينت حصة كل مصدر من مصادر الطاقة في مزيج الطاقة المستهلكة خلال ذات الفترة.

فالطلب على الوقود الاحفوري (فحم ونفط و غاز) ارتفع من 8.0 مليار طن م ن في عام 2000 ما يشكل نحو 80.2% من اجمالي الطلب على مصادر الطاقة الاولية الى 10.9 مليار طن م ن ما يمثل أيضا 80.2% من الإجمالي لعام 2017، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 1.8% خلال الفترة (2000-2017).

وفي المقابل ارتفع الطلب على الطاقات المتجددة المختلفة (كهرومائي وطاقة حيوية ومصادر متجددة أخرى) من 1.3 مليار طن م ن في عام 2000، أي ما يشكل نحو 13% من اجمالي الطلب على مصادر الطاقة الاولية الى 2.0 مليار طن م ن في عام 2017 أي بمعدل نمو سنوي يصل الى 2.5 %، لترتفع حصته من مزيج الطاقة العالمي الى 14.7%.

وفيما يخص الطاقة النووية، فقد ارتفع الطلب عليها من 675 مليون طن م ن في عام 2000 الى 688 مليون طن م ن في عام 2017 أي بمعدل نمو سنوي ضئيل جدا بلغ 0.1 %، وعلى الرغم من ذلك الارتفاع الا ان حصتها من مزيج الطاقة العالمي انخفض من 6.7% الى 5.1%. ويوضح الجدول (1) والشكل (1) تطور الطلب على مصادر الطاقة الأولية خلال الفترة (2000-2017):

الجدول (1)

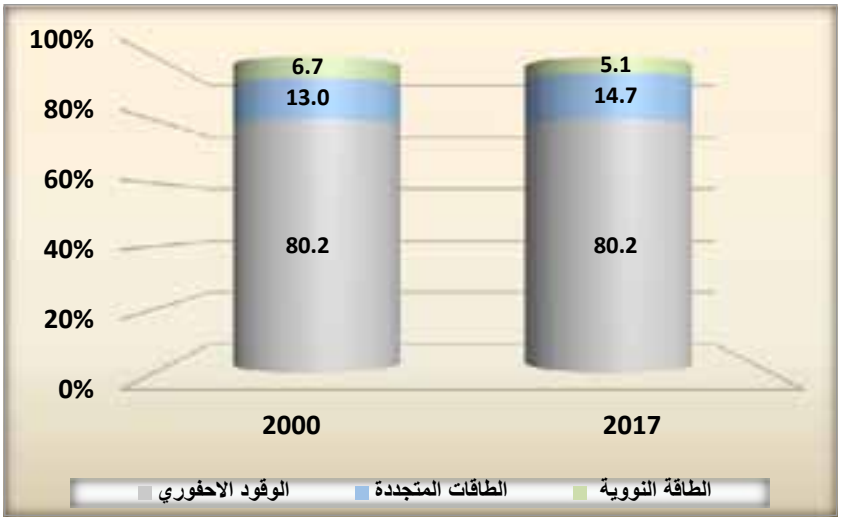
تطور إجمالي الطلب على مصادر الطاقة الأولية،2000-2017

	2000		2017		معدل النمو %
	مليون ط م ن	%	مليون ط م ن	%	
الفحم	2308	23.0	3749	27.6	2.9
النفط	3665	36.6	4032	29.7	0.6
الغاز الطبيعي	2071	20.7	3107	22.9	2.4
إجمالي الوقود الاحفوري	**8044**	**80.2**	**10888**	**80.2**	**1.8**
الطاقة الكهرومائية	225	2.2	353	2.6	2.7
طاقة حيوية*	1022	10.2	1385	10.2	1.8
طاقات متجددة أخرى	60	0.6	254	1.9	8.9
إجمالي الطاقات المتجددة	**1307**	**13.0**	**1992**	**14.7**	**2.5**
الطاقة النووية	**675**	**6.7**	**688**	**5.1**	**0.1**
الإجمالي	**10026**	**100**	**13568**	**100**	**1.8**

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

الشكل (1)

تطور حصة الطلب على مصادر الطاقة الأولية خلال الفترة 2000-2017



المصدر: الجدول (1) أعلاه.

وفيما يلي تفصيل لتطور الطلب على مصادر الوقود المختلفة:

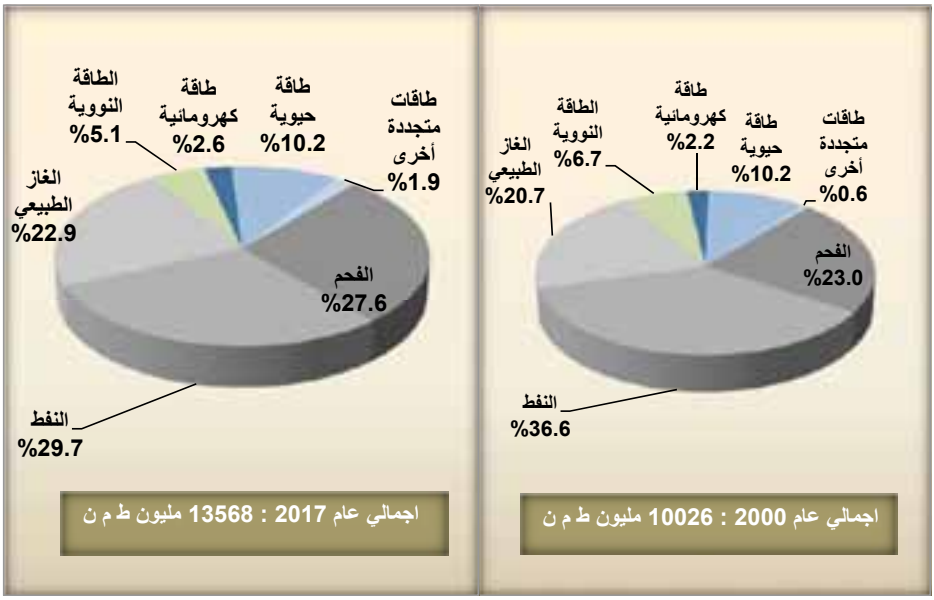
1.1 الطلب العالمي على أنواع الوقود الاحفوري

ارتفع الطلب العالمي على **الفحم** بنحو 1.4 مليار ط م ن أي من 2.3 مليار طن م ن عام 2000 الى 3.7 مليار طن م ن عام 2017 لترتفع حصته في مزيج الطاقة من 23% الى 27.6%، مشكلا نمو معدله 2.9% خلال الفترة (2000-2017). كما ارتفع الطلب العالمي على **النفط** من 3.7 مليار طن م ن عام 2000 الى 4.0 مليار طن م ن عام 2017 أي بمعدل نمو سنوي يصل الى 0.6 %، وعلى الرغم من ذلك الارتفاع الا ان حصته من مزيج الطاقة العالمي انخفض من 36.6% الى 29.7%. وفيما يخص **الغاز الطبيعي**، فقد ارتفع الطلب عليه من 2.1 مليار طن م ن عام 2000 الى 3.1 مليار ط م ن عام 2017 لترتفع بذلك حصته من اجمالي مزيج الطاقة العالمي من 20.7% الى 22.9%.

1.2 الطلب العالمي على مصادر الطاقات المتجددة

ارتفع الطلب العالمي على **الطاقة الحيوية** بنحو 363 مليون ط م ن أي من 1.0 مليار طن م ن عام 2000 الى 1.4 مليار طن عام 2017 أي بمعدل نمو سنوي يصل الى 1.8%، وعلى الرغم من ذلك الارتفاع الا ان حصتها في مزيج الطاقة ظل عند مستوى 10.2% . كما ارتفع الطلب العالمي على **الطاقة الكهرومائية** من 225 مليون طن م ن في عام 2000 الى 353 مليون طن م ن عام 2017 أي بمعدل نمو سنوي يصل الى 2.7 %، لترتفع حصتها من مزيج الطاقة العالمي من 2.2% الى 2.6%. وفيما يخص **الطاقات المتجددة الأخرى** (طاقة شمسية بنوعيها وطاقة الرياح والطاقة الجوفية)، فقد ارتفع الطلب عليها من 60 مليون طن م ن عام 2000 الى 254 مليون ط م ن عام 2017 أي بمعدل نمو سنوي قدره 8.9% لترتفع بذلك حصته من اجمالي مزيج الطاقة العالمي من 0.6% فقط الى 1.9%. كما يوضح الشكل (2) والجدول (1) أعلاه:

الشكل (2)
تطور الطلب العالمي على أنواع الوقود الاحفوري والطاقات المتجددة، عامي 2000 و2017



المصدر: الجدول (1) في ص 10.

2. الطلب على مصادر الطاقة المختلفة وفق المجموعات الدولية

وعلى مستوى المجموعات الدولية، شهدت حصة دول أمريكا الشمالية من إجمالي الطلب العالمي على مصادر الطاقة الأولية المختلفة انخفاضا من 27.5% في عام 2000 الى 19.3% فقط في عام 2017، كما شهدت حصة الدول الأوروبية أيضا إنخفاضا من 20.8% الى 14.8% خلال ذات الفترة. وفي المقابل شهدت حصة دول آسيا والمحيط الهادي ارتفاعا في حصتها من الإجمالي العالمي من 30.9% في عام 2000 الى 42.7% في عام 2017، وارتفعت حصة دول الشرق الأوسط وافريقيا معا من 8.6% الى 11.6% للفترة ذاتها، كما يوضح الجدول (2) والشكل (3):

الجدول (2)

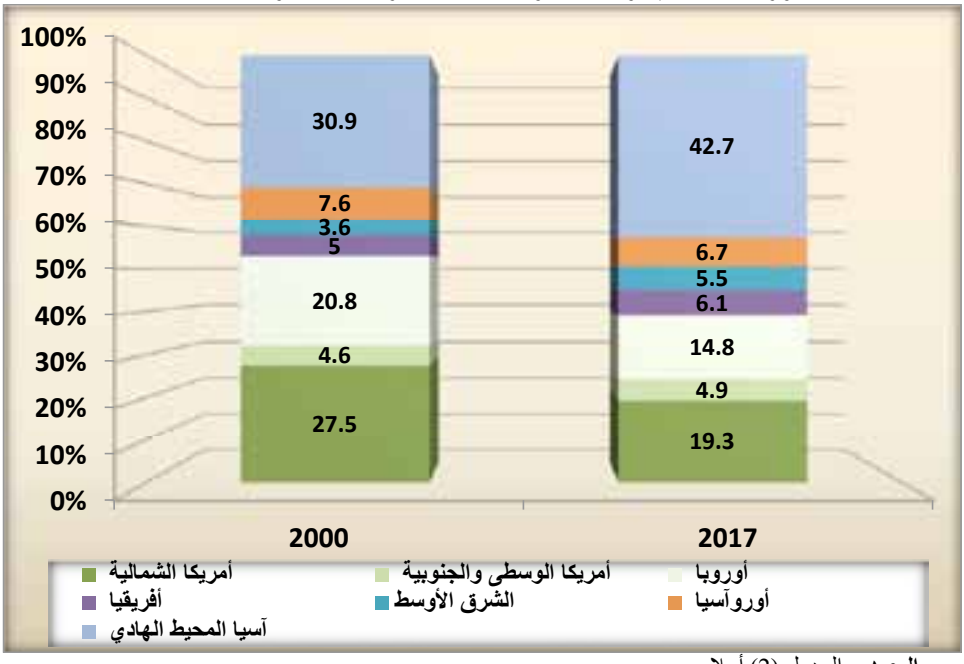
تطور إجمالي الطلب على مصادر الطاقة الأولية (2000-2017)، وفق المجموعات الدولية

	2000		2017		معدل النمو %
	مليون ط م ن	%	مليون ط م ن	%	
أمريكا الشمالية	2678	27.5	2623	19.3	(0.1)
أمريكا الوسطى والجنوبية	449	4.6	668	4.9	2.4
أوروبا	2028	20.8	2008	14.8	(0.1)
أفريقيا	490	5.0	829	6.1	3.1
الشرق الأوسط	353	3.6	740	5.5	4.4
أوروآسيا	742	7.6	911	6.7	1.2
آسيا المحيط الهادي	3012	30.9	5789	42.7	3.9
الإجمالي العالمي	**9752**	**100**	**13568**	**100**	**1.9**

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

الشكل (3)

تطور حصة المجموعات الدولية من مصادر الطاقة الأولية المختلفة



المصدر: الجدول (2) أعلاه.

3. توليد الكهرباء باستخدام مصادر الوقود المختلفة

تم التركيز على قطاع توليد الطاقة الكهربائية، كون أن الكهرباء ناقل مهم وجوهري للطاقة للاقتصادات الحديثة، ومزود لخدمات الطاقة لأغراض التبريد والتكييف والاضاءة وتكنولوجيات المعلومات بالإضافة الى الأغراض الأخرى المتنوعة. فما بين عامي 1990و 2017 تضاعف الطلب على الطاقة الكهربائية بينما الطلب على الطاقة الأولية لم يرتفع الا بنسبة 60%. وهذا الاتجاه من المتوقع ان يستمر نتيجة للنمو الاقتصادي وارتفاع مستويات الدخل وخصوصا في الدول النامية حيث سيرتفع الطلب على الخدمات المرتبطة بالكهرباء، ووصول الـ 1.1 مليار نسمة الذين لا يصلون الى خدمات الكهرباء في الوقت الحاضر إليها في المستقبل.

ان قطاع توليد الكهرباء في الوقت الحاضر يستحوذ على 60% من استخدامات الفحم على المستوى العالمي، و36% من استخدامات الغاز الطبيعي العالمية، وهذا القطاع مسؤول عن 40% تقريبا من الانبعاثات. هذا الوضع مع توفر تقنيات التوليد منخفضة ابنعاثات الكربون ذات التكلفة المنخفضة، وبالأخص الطاقات المتجددة، تضع قطاع توليد الطاقة في قلب أي استراتيجية للتصدي للتغيرات المناخية.

حيث شهدت السنوات الأخيرة تغيرات هائلة في السياسات المنتهجة في قطاع توليد الكهرباء في العديد من الاقتصادات الكبرى، وبشكل واضح التحول من استخدام الفحم الى استخدام الطاقات المتجددة في توليد الطاقة الكهربائية. وبناء على هذا التوجه الجديد، من المتوقع ان تتخطى قدرات التوليد باستخدام الغاز نظيرتها باستخدام الفحم مع حلول عام 2030، وتتجاوز قدرات التوليد من الخلايا الفوتوفولطية (PV) نظيرتها باستخدام طاقة الرياح مع حلول عام 2025 ومثيلتها الكهرومائية مع حلول عام 2040. بينما تظل الطاقة النووية محصورة في عدد محدود من الدول مقابل التوسع في الطاقات المتجددة في جميع دول العالم. وتظل قدرات التوليد باستخدام الفحم تنمو بشكل بطئ مقارنة بمعدلات النمو السابقة وستتركز تلك القدرات في الدول الآسيوية.

شـهدت **قدرات توليد الكهرباء العالمية باسـتخدام مصـادر الوقود المختلفة** ارتفاعا ملحوظا خلال الفترة (2000-2017)، حيث ارتفعت من 15419 تيرا وات سـاعة في عام 2000 الى 25642 تيرا وات سـاعة في عام 2017 أي بمعدل نمو سـنوي بلغ 3%. وقد تباينت حصـة كل مصـدر مصـادر الوقود المستخدم في توليد الكهرباء، حيث ارتفعت **قدرات توليد الكهرباء باسـتخدام الوقود الاحفوري** (فحم ونفط وغاز) من 9960 تيرا وات سـاعة في عام 2000 أي ما يشـكل نحو 64.6% من اجمالي قدرات التوليد الى 16654 تيرا وات سـاعة ما يمثل 64.9% من الإجمالي لعام 2017، أي بمعدل نمو سـنوي بلغ 3.1% خلال الفترة (2000-2017). كما ارتفعت **قدرات توليد الكهرباء بإسـتخدام الطاقات المتجددة المختلفة** (كهرومائي وطاقة حيوية وطاقة الرياح والخلايا الفوتوفولطية PV، والطاقات المتجددة الاخرى) من 2868 تيرا وات ساعة في عام 2000 أي ما يشكل نحو 18.6% من اجمالي قدرات التوليد الى 6351 تيرا وات سـاعة ما يمثل 24.8% من الإجمالي لعام 2017، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 4.8% خلال الفترة (2000-2017).

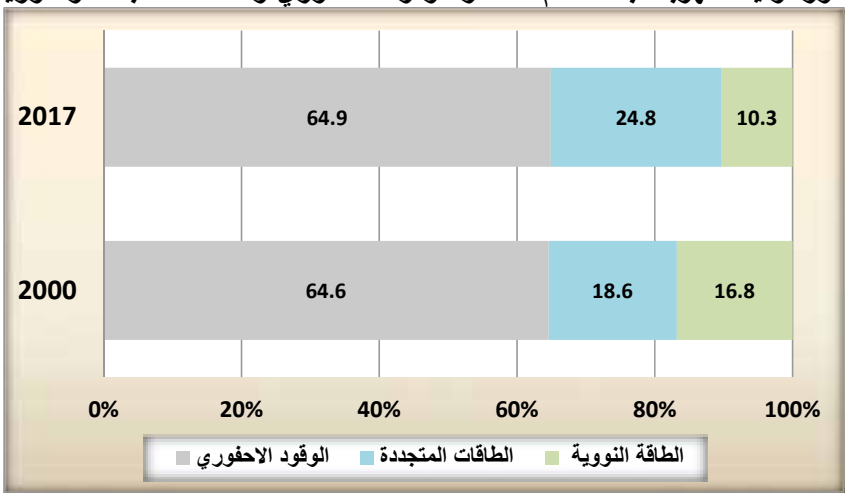
وفيما يخص قدرات توليد الكهرباء بإسـتخدام الطاقة النووية، فقد ارتفعت بشـكل طفيف من 2591 تيرا وات ساعة في عام 2000 الى 2637 تيرا وات ساعة في عام 2017 أي بمعدل نمو سنوي بلغ 0.1%. ومع ذلك انخفضت حصتها في مزيج الوقود المستخدم في توليد الطاقة الكهربائية من 16.8% الى 10.3% خلال ذات الفترة، كما يوضح الجدول (3) والشكل (4):

الجدول (3)
تطور توليد الكهرباء باستخدام مصادر الوقود الاحفوري والطاقة المتجددة والنووية

	2000		2017		معدل النمو %
	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	
الفحم	6001	38.9	9858	38.4	3.0
النفط	1212	7.9	940	3.7	(1.5)
الغاز الطبيعي	2747	17.8	5856	22.8	4.6
إجمالي الوقود الاحفوري	**9960**	**64.6**	**16654**	**64.9**	**3.1**
الطاقة الكهرومائية	2618	17.0	4110	16.0	2.7
طاقة حيوية*	164	1.1	623	2.4	8.2
طاقة الرياح	31	0.2	1084	4.2	23.3
طاقة جوفية	52	0.3	87	0.3	3.1
طاقة كهروضوئية (PV)	1	0.0	434	1.7	43.0
طاقات متجددة أخرى	2	0.0	13	0.1	11.6
إجمالي الطاقات المتجددة	**2868**	**18.6**	**6351**	**24.8**	4.8
الطاقة النووية	2591	16.8	2637	10.3	0.1
الإجمالي	**15419**	**100**	**25642**	**100**	**3.0**

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

الشكل (4)
تطور توليد الكهرباء باستخدام مصادر الوقود الاحفوري والطاقة المتجددة والنووية



المصدر: الجدول (3) أعلاه.

وفيما يلي تفصيل لتطور استخدام مصادر الوقود المختلفة لتوليد الطاقة الكهربائية خلال الفترة 2000-2017:

1.3 الوقود الاحفوري المستخدم في توليد الكهرباء

على مستوى مصادر الوقود الاحفوري، ارتفعت قدرات التوليد باستخدام **الفحم** بنحو 3857 تيرا وات ساعة أي من 6001 تيرا وات ساعة في عام 2000 الى 9858 تيرا وات ساعة في عام 2017 أي بمعدل نمو سنوي بلغ 3%. وعلى الرغم من ذلك الارتفاع الا ان حصته في مزيج الوقود المستخدم في توليد الطاقة الكهربائية قد انخفض من 38.9% الى 38.4%. كما ارتفعت قدرات التوليد باستخدام **الغاز الطبيعي** بنحو 3109 تيرا وات ساعة أي من 2747 تيرا وات ساعة في عام 2000 الى 5856 تيرا وات ساعة في عام 2017 أي بمعدل نمو سنوي بلغ 4.6%. لترتفع بذلك حصته في مزيج الوقود المستخدم في توليد الطاقة الكهربائية من 17.8% الى 22.8%. وفيما يخص قدرات التوليد باستخدام **النفط**، فقد انخفضت من 1212 تيرا وات ساعة في عام 2000 الى 940 تيرا وات ساعة في عام 2017 أي بمعدل انخفاض سنوي بلغ 1.5%. لتنخفض بذلك حصته في مزيج الوقود المستخدم في توليد الطاقة الكهربائية من 7.9% الى 3.7%.

2.3 الطاقات المتجددة المستخدمة في توليد الكهرباء

وبالنسبة لأنواع الطاقات المتجددة المختلفة المستخدمة في التوليد، ارتفعت قدرات التوليد باستخدام **الطاقة الكهرومائية** بنحو 1492 تيرا وات ساعة أي من 2618 تيرا وات ساعة في عام 2000 الى 4110 تيرا وات ساعة في عام 2017 أي بمعدل نمو سنوي بلغ 2.7%. ومع ذلك انخفضت حصتها في مزيج الوقود المستخدم في توليد الطاقة الكهربائية بشكل طفيف أي من 17% الى 16% خلال ذات الفترة.

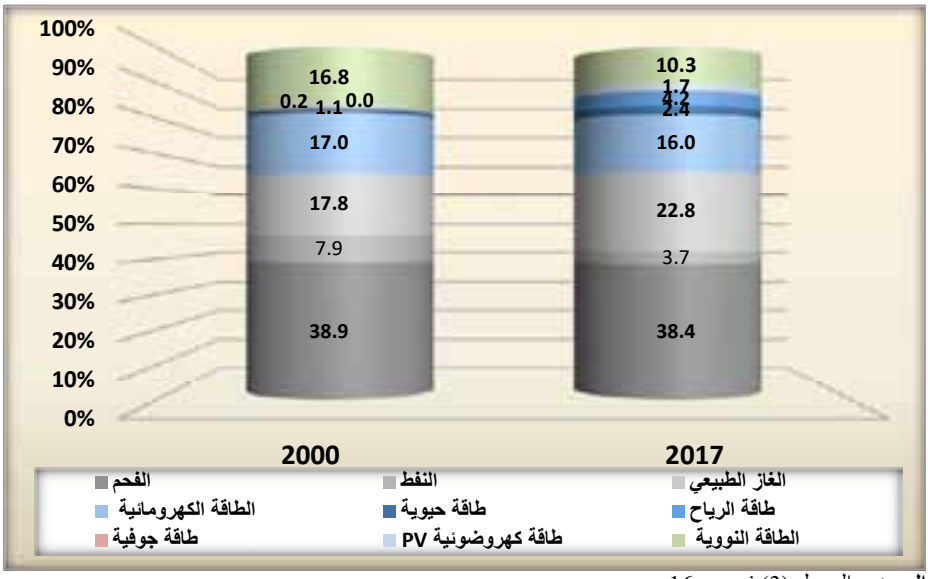
كما ارتفعت قدرات التوليد باستخدام **الطاقة الحيوية** من 164 تيرا وات ساعة فقط في عام 2000 الى 623 تيرا وات ساعة في عام 2017 أي بمعدل نمو سنوي بلغ 8.2% لترتفع بذلك حصتها في مزيج الوقود المستخدم في توليد الطاقة الكهربائية من 1.1% الى 2.4% خلال ذات الفترة.

والجدير بالملاحظة، هو الارتفاع الملحوظ في قدرات التوليد باستخدام **طاقة الرياح** من 31 تيرا وات ساعة فقط في عام 2000 الى 1084 تيرا وات ساعة في عام 2017 أي

بمعدل نمو سنوي بلغ 23.3% لترتفع بذلك حصتها في مزيج الوقود المستخدم في توليد الطاقة الكهربائية من 0.2% فقط الى 4.2% خلال ذات الفترة. وكذلك الارتفاع الكبير في قدرات التوليد باستخدام **الخلايا الفوتوفولطية PV** من 1 تيرا وات ساعة فقط في عام 2000 الى 434 تيرا وات ساعة في عام 2017 أي بمعدل نمو سنوي بلغ 43% لترتفع بذلك حصتها في مزيج الوقود المستخدم في توليد الطاقة الكهربائية من نسبة لا تذكر (0.01%) الى 1.7% خلال ذات الفترة.

وفيما يخص قدرات التوليد باستخدام **الطاقات المتجددة الأخرى** (الطاقة الجوفية، طاقة المد والجزر، أنظمة الطاقة الشمسية المركزة CSP)، فقد ارتفعت مجتمعة من 54 تيرا وات ساعة فقط في عام 2000 الى 100 تيرا وات ساعة في عام 2017 أي بمعدل نمو سنوي بلغ 3.7% لتحافظ بذلك على حصتها في مزيج الوقود المستخدم في توليد الطاقة الكهربائية عند حدود 0.4%. كما يبين الجدول (3) أعلاه والشكل (5):

الشكل (5)
تطور توليد الكهرباء باستخدام أنواع الوقود الاحفوري والطاقات المتجددة المختلفة، عامي 2000 و2017



المصدر: الجدول (3) في ص 16.

4. تطور توليد الكهرباء وفق المجموعات الدولية، 2000-2017

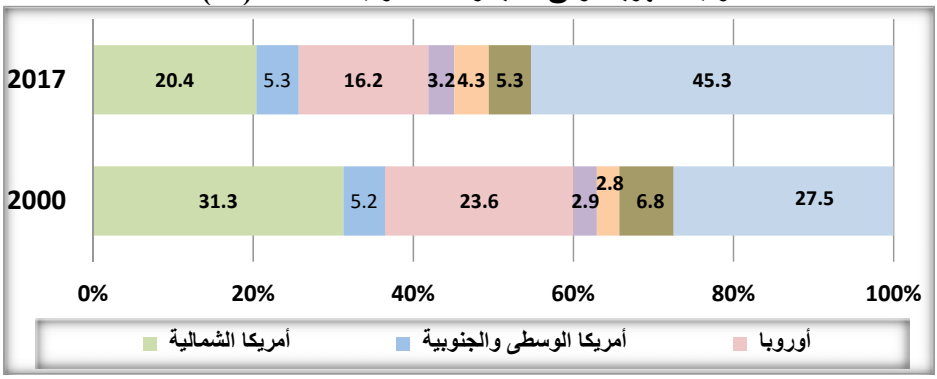
ارتفع إجمالي الكهرباء المولدة على المستوى العالمي من 15477 تيرا وات ساعة في عام 2000 الى 25642 تيرا وات ساعة عام 2017، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 3%. ومن المناطق التي شهدت معدلات نمو مرتفعة، منطقة آسيا والمحيط الهادي التي وصل معدل النمو السنوي فيها الى 6.1% خلال الفترة (2000-2017)، لترتفع الكهرباء المولدة في المنطقة بما يقرب من ثلاثة اضعاف أي من 4262 تيرا وات ساعة الى 11605 تيرا وات ساعة. كما وصل معدل النمو السنوي في منطقة الشرق الأوسط الى نحو 5.7% لتزداد الكهرباء المولدة في المنطقة أيضا بأكثر من الضعفين وتصل الى 1.1 تيرا وات ساعة في عام 2017. يذكر أن منطقة آسيا والمحيط الهادي تستحوذ على حصة 45.3% من إجمالي الكهرباء المولدة على المستوى العالمي عام 2017، يليها دول أمريكا الشمالية بحصة 20.4%، ثم الدول الأوروبية بحصة 16.2%، كما يبين الجدول (4) والشكل (6):

الجدول (4)
تطور توليد الكهرباء وفق المجموعات الدولية المختلفة، 2000-2017

	2000		2017		معدل النمو %
	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	
أمريكا الشمالية	4837	31.3	5230	20.4	0.5
أمريكا الوسطى والجنوبية	803	5.2	1358	5.3	3.1
أوروبا	3650	23.6	4156	16.2	0.8
أفريقيا	449	2.9	831	3.24	3.0
الشرق الأوسط	430	2.8	1106	4.3	5.7
أوروآسيا	1046	6.8	1356	5.3	1.5
آسيا المحيط الهادي	4262	27.5	11605	45.3	6.1
الإجمالي العالمي	**15477**	**100.0**	**25642**	**100.0**	**3.0**

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

الشكل (6)
توليد الكهرباء وفق المجموعات الدولية المختلفة (%)



الجزء الثالث: الآفاق المستقبلية للطاقات المتجددة حتى عام 2040

بالاعتماد على أحدث البيانات والتطورات السياسية، يعرض تقرير آفاق الطاقة العالمية توقعات اتجاهات الطاقة حتى عام 2040 وما مدى انعكاس ذلك على أمن الطاقة والبيئة والتنمية المستدامة. ومن المتوقع أن يقود التفاعل بين العديد من العوامل المختلفة خلال فترة التوقعات التطور المتوقع في أسواق الطاقة. ونظرا لصعوبة التنبؤ بالنتائج بشكل دقيق، يقدم التقرير عدة سيناريوهات مختلفة، والتي تختلف أساسا بناء على الافتراضات المتعلقة بالسياسات الحكومية. يتناول هذا الجزء بشيء من التفصيل نتائج سيناريو السياسات الجديدة (السيناريو المرجعي)، وسيناريو التنمية المستدامة. وسيتم إجراء مقارنة بين التوقعات المستقبلية للطلب على مصادر الطاقة المختلفة بحسب كل سيناريو، لمعرفة مدى تأثير تبني سيناريو التنمية المستدامة على مزيج مصادر الطاقة المختلفة من جهة، وعلى الطلب على نفط الدول الأعضاء في أوابك من جهة أخرى. ومن الأهمية بمكان قبل البدء في استعراض نتائج كل سيناريو التعريف به أولا وبيان الأسس التي تم عليها بناء كل سيناريو من السيناريوهات المختلفة.

أولا: استعراض نتائج سيناريو السياسات الجديدة (السيناريو المرجعي) وانعكاساته على مزيج الطاقة المستهلكة عالميا حتى عام 2040.

وقبل النظر في تطور مزيج الطاقة المستهلكة عالميا حتى عام 2040 وفق السيناريو المرجعي (**سيناريو السياسات الجديدة**)، تجدر الاهمية إلى تقديم تعريف موجز لهذا السيناريو:

1. تعريف سيناريو السياسات الجديدة (New Policies Scenario)

وهو السيناريو المرجعي، الذي يأخذ في الاعتبار التزامات السياسة العامة والخطط التي نفذت بالفعل لمواجهة التحديات المتعلقة بالطاقة فضلا عن الخطط التي تم الإعلان عنها، وإن لم يتم تحديد التدابير المحددة لتنفيذ هذه الالتزامات. والالتزامات الجديدة تشتمل على الطاقة المتجددة والأهداف المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة، والبرامج المتعلقة بإضافة أو

الاستغناء عن عدد من المفاعلات النووية، والأهداف الوطنية المتعلقة بالحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بموجب اتفاقات كانكون عام 2010، والمبادرات التي اتخذتها مجموعة العشرين G-20، وتوجه اقتصاديات مجموعة آسيا والمحيط الهادئ للتعاون الاقتصادي (APEC) نحو التخلص التدريجي من الإعانات غير الفعَالة للوقود الاحفوري.

كما يفترض سيناريو السياسات الجديدة التنفيذ الحذر فقط للالتزامات والخطط الحالية: على سبيل المثال، يفترض أن الدول التي وضعت نطاق من الأهداف المحددة ستتبنى سياسات تتسق مع الوصول إلى الحد الطموح من النطاق المحدد. والدول التي تتسم بعدم الوضوح والتأكيد فيما يتعلق بالسياسات المناخية، يفترض السيناريو أن السياسات المتبناة من قبل هذه الدول لا تكف لبلوغ الهدف المعلن. هذا الافتراض الحذر نابع من التمييز على نطاق واسع بين الالتزامات السياسية وخطط العمل التنفيذية، أو في بعض الحالات محدودية التفاصيل المتاحة حول الشكل الذي ستكون عليه المبادرات الجديدة. وبعض الأهداف مشروطا بالتمويل أو بالخفض المماثل من الانبعاثات في الدول الأخرى. والبعض الأخر يتعلق بكثافة الطاقة أو خفض الكربون، بدلا من توفير الطاقة أو خفض الانبعاثات المطلقة. ولتوضيح نتائج المسار الحالي، إذا لم يتغير، فإن سيناريو السياسات الحالية يجسد آثار السياسات الحكومية والإجراءات التي تم اعتمادها في منتصف عام 2012، دون الأخذ في الاعتبار أي إجراءات ممكنة أو محتملة لأي سياسات مستقبلية. ويشتمل السيناريو، على سبيل المثال، الأهداف المحددة في خطة الصين الخمسية الثانية عشر للفترة 2011-2015 بشأن الطاقة والمناخ، والتعريفات الجديدة المتعلقة بتكنولوجيات الطاقة المتجددة في اليابان.

***إلا أن هذا السيناريو يصطدم بالواقع الاجتماعي والاقتصادي والسياسي عند التنفيذ. حيث أن تنفيذ هذا السيناريو سوف يؤثر بشكل مباشر وسلبي على قطاعات اجتماعية مختلفة في المجتمع الذي ينفذ فيه*تحليل نتائج سيناريو السياسات الجديدة.**

2. تحليل نتائج سيناريو السياسات الجديدة

1.2 التوقعات المتعلقة بإجمالي الطلب على مصادر الطاقة الأولية

نستعرض فيما يلي التوقعات المتعلقة بتطور مزيج الطاقة المستهلكة عالميا حتى عام 2040، يشتمل مزيج الطاقة على مصادر الطاقة المختلفة سواء الاحفورية (النفط والفحم والغاز الطبيعي) أو الطاقة النووية والطاقات المتجددة التي تشتمل على الطاقة الكهرومائية والطاقة الحيوية والطاقات المتجددة الأخرى وذلك بحسب سيناريو السياسات الجديدة كما أوضحنا سلفاً.

من المتوقع ان يشهد مزيج الطاقة المستهلكة عالميا تغيرا في حصة كل مصدر من المصادر المختلفة التي يحتويها هذا المزيج. اذ يتوقع أن يرتفع الطلب العالمي على جميع مصادر الطاقة الأولية من 13.6 مليار طن مكافئ نفط في عام 2017 الى 15.4 مليار طن في عام 2025 ثم إلى 17.1 مليار طن في عام 2040، أي بمعدل نمو سنوي يصل الى 1% خلال الفترة (2017-2040).

فمن المتوقع أن يرتفع الطلب على **الوقود الاحفوري** (فحم ونفط وغاز) من 10.9 مليار ط م ن في عام 2017 ما يشكل نحو 80.2% من اجمالي الطلب على مصادر الطاقة الاولية الى 12.5 مليار ط م ن ما يمثل 73.3% من اجمالي عام 2040، أي بمعدل نمو سنوي يبلغ 0.6% خلال الفترة (2017-2040).

ومن المتوقع أن يرتفع الطلب على **الطاقات المتجددة المختلفة** (كهرومائي وطاقة حيوية وطاقة شمسية وطاقة الرياح) من 2.0 مليار طن م ن في عام 2017، أي ما يشكل 14.7% من اجمالي الطلب على مصادر الطاقة الاولية الى 3.6 مليار طن م ن في عام 2040 أي بمعدل نمو سنوي يصل الى 2.6 %، لترتفع حصته من مزيج الطاقة العالمي الى 21%. **وفيما يخص الطاقة النووية**، فمن المتوقع أن يرتفع الطلب عليها من 688 مليون طن م ن في عام 2017 الى 971 مليون طن م ن في عام 2040 أي بمعدل نمو سنوي 1.5 %، وسترتفع حصتها من مزيج الطاقة العالمي من 4.9% الى 5.7%. ويوضح الجدول (5) والشكل (7) توقعات الطلب على مصادر الطاقة الأولية حتى عام 2040:

الجدول (5)

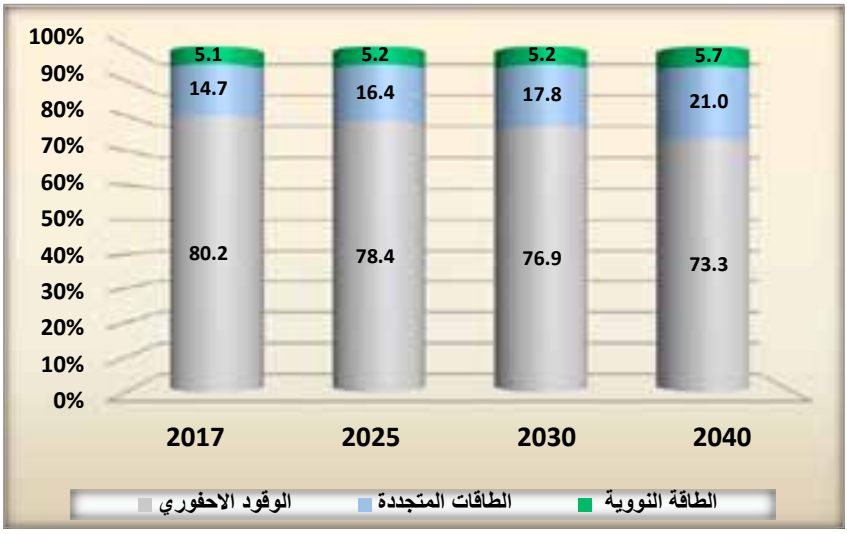
توقعات الطلب على مصادر الطاقة الأولية، بحسب سيناريو السياسات الجديدة

	2017		2025		2030		2040		معدل النمو%
	مليون طم ن	%	مليون طم ن	%	مليون طم ن	%	مليون طم ن	%	2040-2017
الفحم	3749	27.6	3768	24.5	3783	23.4	3810	22.3	0.1
النفط	4032	29.7	4754	30.9	4830	29.9	4322	25.3	0.3
الغاز الطبيعي	3107	22.9	3539	23.0	3820	23.6	4396	25.7	1.5
إجمالي الوقود الاحفوري	**10888**	**80.2**	**12061**	**78.4**	**12433**	**76.9**	**12528**	**73.3**	**0.6**
الطاقة الكهرومائية	353	2.6	415	2.7	458	2.8	533	3.1	1.8
طاقة حيوية	1385	10.2	1590	10.3	1691	10.5	1827	10.7	1.2
طاقات متجددة أخرى	254	1.9	516	3.4	736	4.6	1222	7.2	7.1
إجمالي الطاقات المتجددة	**1992**	**14.7**	**2521**	**16.4**	**2885**	**17.8**	**3582**	**21.0**	**2.6**
الطاقة النووية	688	5.1	805	5.2	848	5.2	971	5.7	1.5
الإجمالي	**13568**	**100**	**15387**	**100**	**16166**	**100**	**17081**	**100**	**1.0**

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

الشكل (7)

توقعات الطلب على مصادر الطاقة الأولية، بحسب سيناريو السياسات الجديدة



المصدر: الجدول (5).

وفيما يلي تفصيل لتوقعات الطلب على مصادر الوقود المختلفة خلال الفترة (2017-2040):

1.1.2 توقعات الطلب العالمي على أنواع الوقود الاحفوري

يتوقع أن يرتفع **الطلب على الفحم** من 3.7 مليار طن مكافئ نفط عام 2017 الى 3.8 مليار ط م ن عام 2040. وعلى الرغم من ارتفاع الطلب العالمي على الفحم إلا أن حصته في مزيج الطاقة المستهلكة عالميا من المتوقع ان تشهد انخفاضا من 24.5% عام 2017 الى 22.3% فقط عام 2040. وفيما يتعلق **بالطلب العالمي على النفط**، فمن المتوقع أن يرتفع من 4.0 مليار ط م ن (أي ما يعادل 80 مليون ب/ي) عام 2017 إلى نحو 4.3 مليار ط م ن (أي ما يعادل 86 مليون ب/ي) عام 2040، أي بنسبة ارتفاع سنوي تبلغ 0.3 %. وعلى الرغم من ارتفاع الطلب العالمي على النفط بالقيمة المطلقة إلا أن حصته في مزيج الطاقة المستهلكة عالميا حتى عام 2040 آخذة في الانخفاض، حيث من المتوقع ان تنخفض من 30.9% عام 2017 الى 25.3% عام 2040.

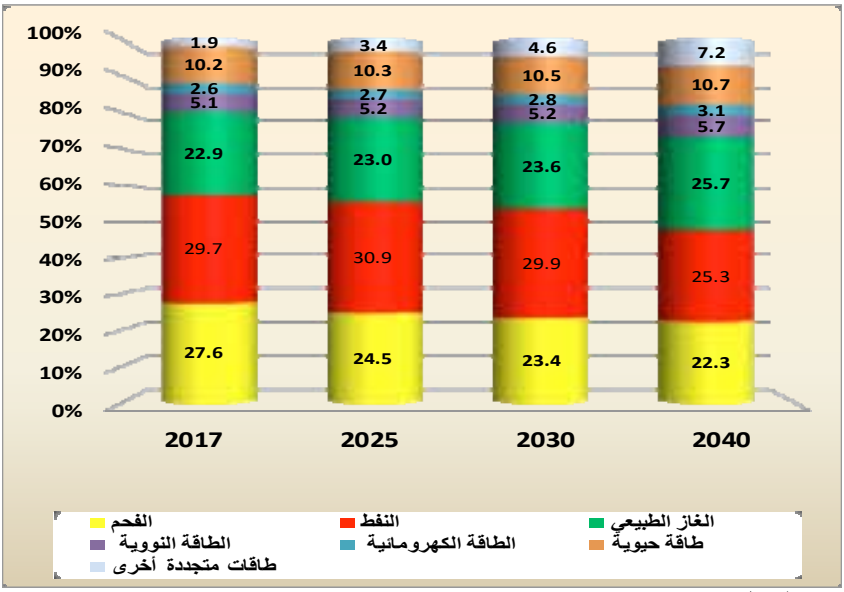
وبالنظر الى **الغاز الطبيعي**، فالصورة تختلف تماما، حيث يتوقع أن يرتفع الطلب على الغاز الطبيعي بالقيمة المطلقة وكذلك الامر بالنسبة للحصة في مزيج الطاقة المستهلكة عالميا. حيث تشير التوقعات الى ارتفاع الطلب العالمي على الغاز الطبيعي من 3.1 مليار ط م ن أي ما يمثل 23% من إجمالي الطاقة المستهلكة عالميا في عام 2017 الى 4.4 مليار ط م ن في عام 2040 مستأثرا بحصة 25.7% من الاجمالي. وبالتالي سيزداد الطلب على الغاز الطبيعي بمعدل 1.5 % سنويا للفترة (2017-2040)، أي بزيادة 1.3 مليار ط م ن.

2.1.2 توقعات الطلب العالمي على أنواع الطاقات المتجددة

من المتوقع ان ترتفع أيضا حصة الطاقة الكهرومائية من حيث الكمية والحصة، حيث يتوقع ان تزداد من 353 مليون ط م ن عام 2017 الى 533 مليون ط م ن عام 2040، لترتفع بذلك حصتها بشكل طفيف من 2.6% الى 3.1% خلال ذات الفترة. ومع توقع ارتفاع الطلب على الطاقة الحيوية من 1.4 مليار طن م ن عام 2017 الى 1.8 مليار ط م ن عام 2040 سترتفع حصتها من 10.2% عام 2017 الى 10.7% عام 2040، كما سترتفع حصة

الطاقة المتجددة الاخرى من 1.9% عام 2017 أي ما يمثل 254 مليون ط م ن الى 7.2% أي ما يعادل 1.2 مليار ط م ن عام 2040، كما يوضح الشكل (8):

الشكل (8)
توقعات تطور حصة أنواع الوقود الاحفوري والطاقات المتجددة في مزيج الطاقة المستهلكة عالميا، بحسب سيناريو السياسات الجديدة



المصدر: الجدول (5) في ص 24.

وما يمكن استنتاجه من خلال تحليل نتائج سيناريو السياسات الجديدة، أن حصة الوقود الاحفوري (نفط وفحم وغاز طبيعي) ستظل مهيمنة على مزيج الطاقة المستهلكة عالميا على الرغم من الانخفاض في حصتها من 80.2% عام 2017 الى 73.3% عام 2040. وستزداد أهمية الطاقات المتجددة بشكل واضح حيث سترتفع حصتها من المزيج من 14.7% عام 2017 الى 21% عام 2040، وحدوث زيادة طفيفة في حصة الطاقة النووية التي سترتفع من 5.1% الى 5.7%.

2.2 توقعات الطلب على مصادر الطاقة الأولية وفق المجموعات الدولية.

بحسب سيناريو السياسات الجديدة، ووفق المجموعات الدولية، يلاحظ أن **الطلب على الوقود الاحفوري** سيظل متركزا في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي التي تستحوذ في الوقت الحاضر على حصة 44.6% من الإجمالي العالمي، ويتوقع ان تستأثر بنحو 49.6% من الإجمالي في عام 2040. كما يتوقع ان ترتفع حصة دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 4.2% عام 2017 الى 4.5% عام 2040، ومن المتوقع أيضا ان ترتفع حصة الدول الافريقية من 3.7% الى 5.2% وحصة دول الشرق الأوسط من 6.7% الى 8.9% خلال ذات الفترة. وفي المقابل، يتوقع أن تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 19.7% من الإجمالي العالمي لعام 2017 الى 16.5% من إجمالي الطلب العالمي على مصادر الطاقة الأولية لعام 2040، كما ستشهد حصة الدول الاوروبية انخفاضا هي الأخرى من 13.5% الى 8.5%، ودول أوروآسيا من 7.6% الى 6.9% خلال ذات الفترة.

كما ستظل مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي مهيمنة على الجزء الأكبر من **الطلب على الطاقات المتجددة** حتى عام 2040 حيث ستظل حصتها من الإجمالي العالمي تتراوح ما بين 40-43%. كما يتوقع ان ترتفع حصة دول أمريكا الشمالية بشكل طفيف من 11.8% عام 2017 الى 12% عام 2040، ومن المتوقع أيضا ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط من 0.2% الى 1.7% وحصة دول أوروآسيا من 1.6% الى 2.1% خلال ذات الفترة. وفي المقابل، يتوقع أن تنخفض حصة دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 10.3% من الإجمالي العالمي لعام 2017 الى 9.4% من إجمالي الطلب العالمي على مصادر الطاقة الأولية لعام 2040، كما ستشهد حصة الدول الاوروبية انخفاضا هي الأخرى من 14.9% الى 14.1%، والدول الافريقية من 21% الى 17.9% لذات الفترة، كما يوضح الجدول (6) والشكل (9):

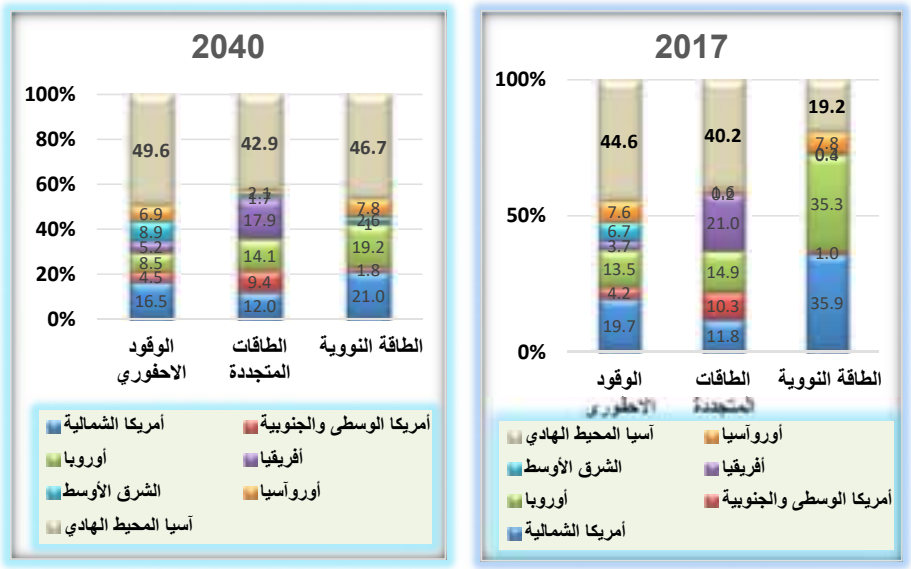
الجدول (6)
تطور إجمالي الطلب على مصادر الطاقة الأولية، بحسب سيناريو السياسات الجديدة (وفق المجموعات الدولية)

	إجمالي الوقود الاحفوري				إجمالي الطاقات المتجددة				الطاقة النووية				إجمالي المصادر			
	2017		2040		2017		2040		2017		2040		2017		2040	
	مليون طن	%	مليون طن	%	مليون طن	%	مليون طن	%	مليون طن	%	مليون طن	%	مليون طن	%	مليون طن	%
أمريكا الشمالية	2141	19.7	2061	16.5	235	11.8	429	12.0	247	35.9	204	21.0	**2623**	19.3	**2694**	15.8
أمريكا الوسطى والجنوبية	455	4.2	562	4.5	206	10.3	337	9.4	7	1.0	17	1.8	**668**	4.9	**916**	5.4
أوروبا	1468	13.5	1061	8.5	297	14.9	506	14.1	243	35.3	186	19.2	**2008**	14.8	**1753**	10.3
أفريقيا	407	3.7	649	5.2	419	21.0	640	17.9	3	0.4	10	1.0	**829**	6.1	**1299**	7.6
الشرق الأوسط	734	6.7	1113	8.9	4	0.2	61	1.7	2	0.3	25	2.6	**740**	5.5	**1199**	7.0
أوروآسيا	826	7.6	869	6.9	31	1.6	74	2.1	54	7.8	76	7.8	**911**	6.7	**1019**	6.0
آسيا المحيط الهادي	4857	44.6	6213	49.6	800	40.2	1535	42.9	132	19.2	453	46.7	**5789**	42.7	**8201**	48.0
الإجمالي*	10888	100	12528	100	1992	100	3582	100	688	100	971	100	**13568**	100	**17081**	100

*** لا يشتمل على بنكر**

المصدر: وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018، مشتق من الجدول (1-أ) في الملحق.

الشكل (9)
توقعات تطور حصة مصادر الطاقة المختلفة في مزيج الطاقة العالمي، بحسب السيناريو والمجموعات

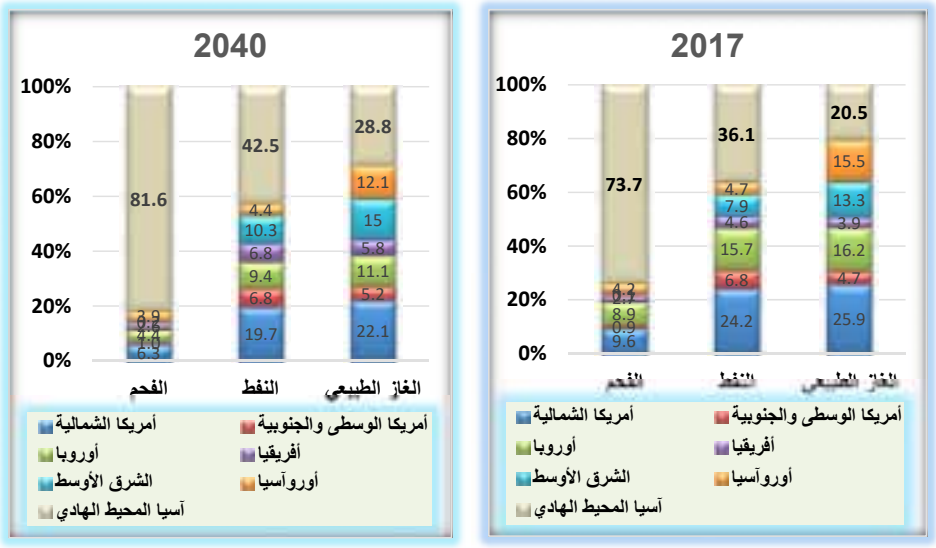


المصدر: الجدول (6) أعلاه.

وعلى مستوى **أنواع الوقود الاحفوري**، من المتوقع أن يتركز **الطلب على الفحم** بشكل رئيسي في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي التي استأثرت بحصة 73.7% من الاجمالي العالمي لعام 2017، ومن المتوقع أن ترتفع الحصة الى 81.6 % من الاجمالي العالمي لعام 2040. وفيما يخص **النفط**، فمن الملاحظ أن الطلب عليه أيضا يتركز في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي في الوقت الحاضر حيث تستأثر بحصة 36.1% من الاجمالي لعام 2017، ومن المتوقع ان ترتفع هذه الحصة لتصل إلى نحو 42.5% من إجمالي عام 2040.وفيما يتعلق **بالغاز الطبيعي**، فيلاحظ تركز الطلب عليه في مجموعة دول امريكا الشمالية في الوقت الحاضر حيث تستأثر بحصة 26% بينما يتوقع أن يتركز الطلب عليه في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي في عام 2040 اذ ستستحوذ دول المجموعة على حصة 28.8%. كما يوضح الجدول (1-ب) في الملحق والشكل (10):

الشكل (10)

توقعات تطور حصة المجموعات الدولية من الطلب العالمي على أنواع الوقود الاحفوري، بحسب سيناريو السياسات الجديدة



المصدر: الجدول (1-ب) في الملحق.

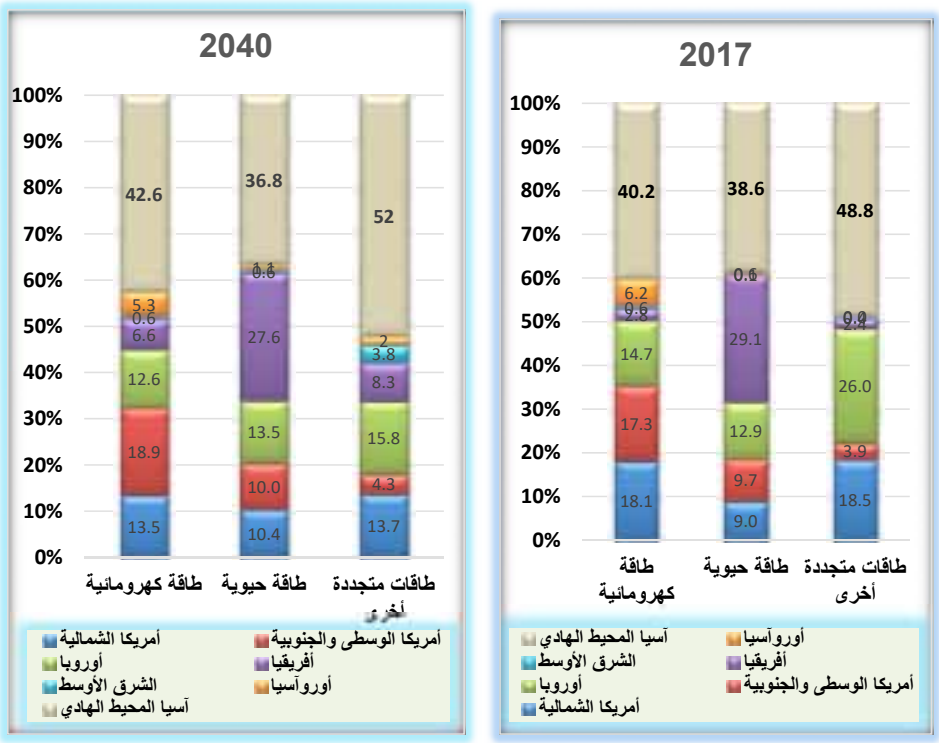
وفيما يخص **أنواع الطاقات المتجددة**، فيلاحظ تركز الطلب على **الطاقة الكهرومائية** في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي التي ستحوذ على حصة 40.2% من الإجمالي العالمي ومن المتوقع ان تستأثر على حصة 42.6% في عام 2040، ومن المتوقع ان ترتفع حصة طلب الدول الافريقية من 2.8% عام 2017 الى 6.6% عام 2040،و حصة دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 17.3% الى 18.9%، وفي المقابل يتوقع ان تنخفض طلب دول أمريكا الشمالية على الطاقة الكهرومائية من 18.1% في الوقت الحاضر الى 13.5% عام 2040، وطلب الدول الأوروبية من 14.7% الى 12.6% خلال ذات الفترة.

أما بالنسبة **للطاقة الحيوية** فهي الأخرى متركز الطلب عليها في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي التي تستحوذ على حصة 38.6% في الوقت الحاضر ومن المتوقع ان تنخفض بشكل طفيف لتصل الى 36.8% عام 2040. وتأتي الدول الافريقية في المرتبة الثاني مستأثرة بحصة 29.1% في الوقت الحاضر وحصة 27.6% في عام 2040، والمرتبة الثالثة للدول الأوروبية التي تصل حصتها الى 12.9% عام 2017 ويتوقع ان تصل الى 13.5% عام 2040.

وفيما يخص **الطاقات المتجددة الأخرى (**طاقة شمسية بنوعيها وطاقة الرياح والطاقة الجوفية**)**، فيتركز الطلب عليها أيضا في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي التي بلغت حصتها 48.8% عام 2017 ويتوقع ان ترتفع لتصل الى 52% عام 2040، وتأتي الدول الأوروبية في المرتبة الثانية بحصة 26% في الوقت الحاضر ومن المتوقع ان تنخفض الى 15.8% عام 2040. كما يوضح الجدول (1-ب) في الملحق والشكل (11):

الشكل (11)

توقعات تطور حصة المجموعات الدولية من الطلب العالمي على أنواع الطاقات المتجددة، بحسب سيناريو السياسات الجديدة



المصدر: الجدول (1-ب) في الملحق.

وفي المقابل يلاحظ تركز الطلب على **الطاقة النووية** بشكل واضح خلال عام 2017 في مجموعة دول امريكا الشمالية بحصة 36% من اجمالي الطاقة المستهلكة عالميا، وفي عام 2040 ستتغير الصورة بشكل لافت حيث سيتركز الطلب على الطاقة النووية في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي التي يتوقع ان تستحوذ على حصة 46.7%، وذلك على حساب انخفاض حصة مجموعة دول امريكا الشمالية الى 21%.

3.2 توقعات تطور توليد الطاقة الكهربائية باستخدام مصادر الوقود المختلفة

يصل إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام مصادر الوقود المختلفة عام 2017 الى 25642 تيرا وات ساعة، ويتم توليد نحو 16654 تيرا وات ساعة من الطاقة الكهربائية باستخدام الوقود الاحفوري مستحوذا على حصة 64.9%، مقارنة بطاقة 6351 تيرا وات ساعة مولدة باستخدام الطاقات المتجددة أي بحصة 24.8%، و2637 تيرا وات ساعة باستخدام الطاقة النووية أي بحصة 10.3%. ومن المتوقع ان تصل الطاقة الكهربائية المولدة في عام 2040 الى 40411 تيرا وات ساعة أي بمعدل نمو سنوي 2% خلال الفترة (2017-2040)، حيث سيتم توليد حوالي 16752 تيرا وات ساعة من الطاقة الكهربائية المولدة في عام 2040 باستخدام الطاقات المتجددة لترتفع حصتها الى 41.5% ومسجلة نمو سنوي 4.3%، مقارنة بتوليد 19934 تيرا وات ساعة باستخدام الوقود الاحفوري الذي ستنخفض حصته الى 49.3% ليسجل نمو سنوي قدره 0.8%، وتوليد 3725 تيرا وات ساعة باستخدام الطاقة النووية التي ستنخفض حصتها الى 9.2% لتسجل نموا سنويا قدره 1.5%. كما يوضح الجدول (7) والشكل (12):

الجدول (7)

تطور توليد الطاقة الكهربائية باستخدام مصادر الوقود المختلفة، بحسب سيناريو السياسات الجديدة

	2017		2025		2030		2040		معدل النمو%
	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	2040-2017
الفحم	9858	38.4	9896	32.7	10016	29.9	10336	25.6	0.2
النفط	940	3.7	763	2.5	676	2.0	527	1.3	(2.5)
الغاز الطبيعي	5856	22.8	6829	22.6	7517	22.5	9071	22.4	1.9
إجمالي الوقود الاحفوري	**16654**	**64.9**	**17488**	**57.9**	**18209**	**54.4**	**19934**	**49.3**	**0.8**
الطاقة الكهرومائية	4110	16.0	4821	16.0	5330	15.9	6179	15.3	1.8
طاقة حيوية	623	2.4	890	2.9	1057	3.2	1427	3.5	3.7
رياح	1084	4.2	2304	7.6	3157	9.4	4690	11.6	6.6
طاقة جوفية	87	0.3	129	0.4	190	0.6	343	0.8	6.1
خلايا فوتوفولطية	434	1.7	1463	4.8	2197	6.6	3840	9.5	9.9
أنظمة التركيز الشمسي	11	0.0	34	0.1	75	0.2	222	0.5	13.9
بحري	2	0.0	3	0.0	12	0.0	51	0.1	15.1
إجمالي الطاقات المتجددة	**6351**	**24.8**	**9644**	**31.9**	**12018**	**35.9**	**16752**	**41.5**	**4.3**
الطاقة النووية	**2637**	**10.3**	**3089**	**10.2**	**3253**	**9.7**	**3725**	**9.2**	**1.5**
الإجمالي	**25642**	**100**	**30221**	**100**	**33480**	**100**	**40411**	**100**	**2.0**

الشكل (12)

تطور توليد الطاقة الكهربائية باستخدام مصادر الوقود المختلفة، بحسب سيناريو السياسات الجديدة



المصدر: وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018، مشتق من الجدول (2-أ) في الملحق.

وفيما يخص الطاقة الكهربائية المولدة باســـتخدام أنواع الوقود الاحفوري، يهيمن **الفحم** على الحصة الاكبر من الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الوقود الاحفوري، حيث يتم توليد نحو 9858 تيرا وات ساعة في عام 2017 باستخدام الفحم مشكلا حصة 59.2% من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باســـتخدام الوقود الاحفوري ومن المتوقع ان يظل الفحم مهيمنا على الرغم من انخفاض حصته الى 51.8% في عام 2040. وبالنسبة للطاقة المولدة باستخدام **الغاز الطبيعي** فتصل في الوقت الحاضر الى 5856 تيرا وات ساعة أي بحصة 35.2% ومن المتوقع ان يتزايد دور الغاز المستخدم في توليد الكهرباء حيث ستصل حصته من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باســـتخدام الوقود الاحفوري الى 45.5% في عام 2040. ومن المتوقع ان تنخفض الطاقة الكهربائية المولدة باســـتخدام **النفط** من 940 تيرا وات ساعة في عام 2017 الى 527 تيرا وات ساعة عام 2040 لتنخفض بذلك حصة النفط

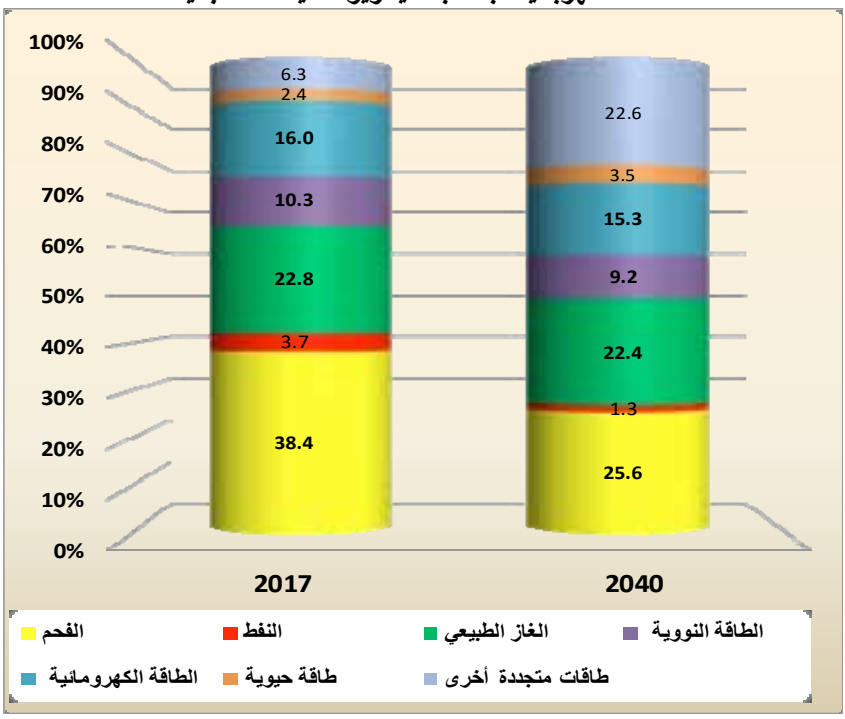
من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الوقود الاحفوري من 5.6% عام 2017 الى 2.6% عام 2040.

أما فيما يتعلق بالطاقة الكهربائية المولدة باستخدام أنواع الطاقات المتجددة، فمن الملاحظ تزايد دور طاقة الرياح وطاقة الخلايا الفوتوفولطية (PV) المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية بشكل لافت مقارنة بمصادر الطاقات المتجددة الاخرى. حيث يتوقع ان ترتفع الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الرياح من 1084 تيرا وات ساعة عام 2017 الى 4690 تيرا وات ساعة أي بمعدل نمو سنوي 6.6% لترتفع بذلك حصتها من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام انواع الطاقات المتجددة المختلفة من 17.1% عام 2017 الى 28% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية من 434 تيرا وات ساعة عام 2017 الى 3840 تيرا وات ساعة أي بمعدل نمو سنوي 9.9% لترتفع بذلك حصتها من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام انواع الطاقات المتجددة المختلفة من 6.8% فقط عام 2017 الى 22.9% عام 2040.

وبالنسبة للطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الطاقة الكهرومائية فمن المتوقع ان ترتفع من 4110 تيرا وات ساعة عام 2017 الى 6179 تيرا وات ساعة أي بمعدل نمو سنوي 1.8% وعلى الرغم من ذلك الارتفاع الا ان حصتها من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام انواع الطاقات المتجددة المختلفة ستنخفض بشكل كبير من 64.7% عام 2017 الى 36.9% عام 2040، كما يوضح الجدول (7) أعلاه والشكل (13):

الشكل (13)

توقعات تطور حصة أنواع الوقود الاحفوري وأنواع الطاقات المتجددة المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية، بحسب سيناريو السياسات الجديدة



المصدر: الجدول (7) في ص 31.

4.2 تطور توليد الطاقة الكهربائية باستخدام مصار الوقود المختلفة وفق المجموعات الدولية

أما على مستوى المجموعات الدولية، فمن الملاحظ استمرار هيمنة الوقود الاحفوري المستخدم في قطاع توليد الطاقة الكهربائية في مجموعة دول آسيا والمحيط الهادي التي تستحوذ على حصة 51.6% من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الوقود الاحفوري عالميا في الوقت الحاضر، ويتوقع ان ترتفع الحصة الى 57% في عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين من 10.4% عام 2017 الى 13.6% عام 2040. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 18.4% الى 14.7%، وحصة الدول الأوروبية من 11.3% الى 6.6%، ودول

أوروآسـيا من 5.4% الى 5.1%، ومن المتوقع ان تسـتقر حصـة دول أمريكا الوسـطى والجنوبية عند مستوى2.9% حتى عام 2040.

وفيما يخص الطاقات المتجددة، فدول آسـيا والمحيط الهادي تسـتحوذ على حصـة 39.4% من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الطاقات المتجددة المختلفة عالميا في عام 2017 ومن المتوقع ان ترتفع الحصـة الى 49.2% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين من 2.7% عام 2017 الى 7.9% عام 2040. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 19.2% الى 14 %، وحصة الدول الأوروبية من 21.2% الى 16.6%، ودول أوروآسيا من 4% الى 2.7% خلال ذات الفترة.

وفيما يخص الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الطاقة النووية، فمن المتوقع ان تشهد تحولا من دول أمريكا الشمالية التي تستأثر بحصة 36% في الوقت الحاضر، مقابل حصة 19.2% لمجموعة دول آسـيا والمحيط الهادي، الى مجموعة الدول الأخيرة التي سـترتفع حصتها الى 46.7% عام 2040 مقابل انخفاض حصة دول أمريكا الشمالية الى 21% فقط. كما يتوقع انخفاض حصـة الدول الأوروبية من 35.3% الى 19.1% فقط، ومن المتوقع ان تشهد حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين ارتفاعا طفيفا من 0.8% عام 2017 الى 3.6% عام 2040، كما يوضح الجدول (8) والشكل (14):

الجدول (8)

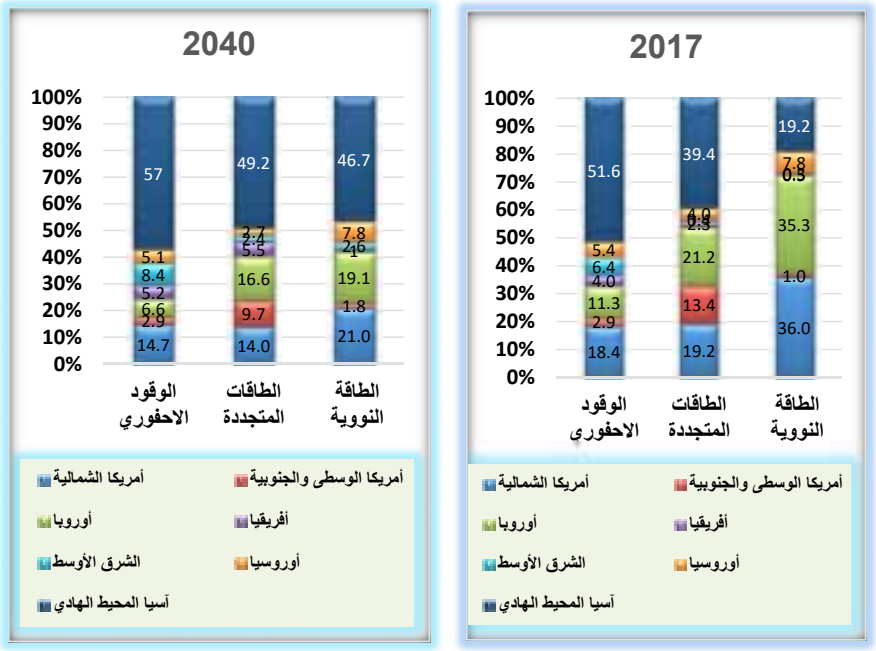
تطور توليد الطاقة الكهربائية باستخدام مصادر الوقود المختلفة، بحسب سيناريو السياسات الجديدة

	إجمالي الوقود الاحفوري				إجمالي الطاقات المتجددة				الطاقة النووية				إجمالي المصادر			
	2017		2040		2017		2040		2017		2040		2017		2040	
	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%
أمريكا الشمالية	3062	18.4	2934	14.7	1218	19.2	2341	14.0	950	36.0	783	21.0	**5230**	20.4	**6058**	15.0
أمريكا الوسطى والجنوبية	481	2.9	584	2.9	851	13.4	1633	9.7	26	1.0	66	1.8	**1358**	5.3	**2283**	5.6
أوروبا	1880	11.3	1306	6.6	1346	21.2	2786	16.6	930	35.3	712	19.1	**4156**	16.2	**4804**	11.9
أفريقيا	672	4.0	1044	5.2	146	2.3	915	5.5	13	0.5	39	1.0	**831**	3.2	**1998**	4.9
الشرق الأوسط	1071	6.4	1678	8.4	28	0.4	394	2.4	7	0.3	96	2.6	**1106**	4.3	**2168**	5.4
أوروآسيا	893	5.4	1019	5.1	257	4.0	447	2.7	206	7.8	289	7.8	**1356**	5.3	**1755**	4.3
آسيا المحيط الهادي	8595	51.6	11369	57.0	2505	39.4	8236	49.2	505	19.2	1740	46.7	**11605**	45.3	**21345**	52.8
الإجمالي*	16654	100	19934	100	6351	100	16752	100	2637	100	3725	100	**25642**	100	**40411**	100

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

الشكل (14)

توليد الطاقة الكهربائية باستخدام مصادر الوقود المختلفة وفق المجموعات الدولية، بحسب سيناريو السياسات الجديدة



5.2 تطور حصـــة كل نوع من أنواع الطاقات المتجددة من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة، حسب سيناريو السياسات الجديدة

نتناول فيما يلي، وبشكل أكثر تفصيلا، التطورات المتعلقة بحصص أنواع الطاقات المتجددة المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية والمتمثلة في كل من الطاقة الكهرومائية والطاقة الحيوية، وطاقة الرياح، والطاقة الجوفية، وطاقة الخلايا الفوتوفولطية PV، وأنظمة الطاقة الشمسية المركزة CPS، وطاقة المد والجزر، وذلك خلال الفترة (2017-2040).

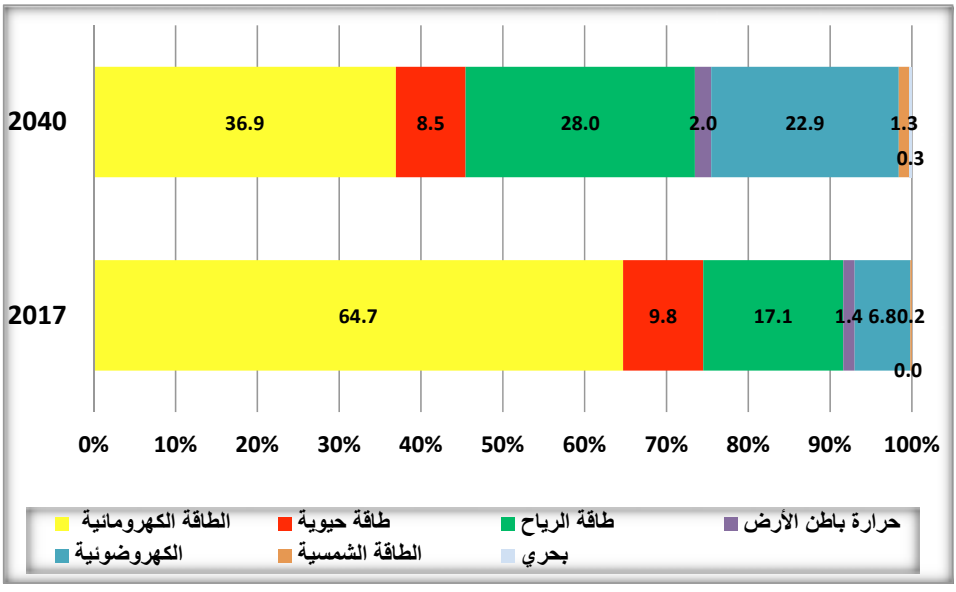
من المتوقع أن تشهد حصة كل نوع من أنواع الطاقات المتجددة المستخدمة من الطاقة الكهربائية المولدة تطورا ملحوظا خلال الفترة (2017-2040)، حيث يتوقع ان ترتفع الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام جميع مصادر الطاقات المتجددة من 6351 تيرا وات ساعة عام 2017 الى 16752 تيرا وات ســـاعة عام 2040 لترتفع بذلك حصـــتها من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام جميع المصـادر من 24.8% فقط عام 2017 الى نحو 41.5% عام 2040 أي بمعدل نمو سنوي يصل الى نحو 4.3%.

ففيما يخص الطاقة الكهربائية المولدة باســـتخدام **الطاقة الكهرومائية** فمن المتوقع ان ترتفع من 4110 تيرا وات ســـاعة عام 2017 الى 6179 تيرا وات ســـاعة عام 2040 أي بمعدل نمو ســـنوي يصـــل الى 1.8%، وعلى الرغم من ذلك الارتفاع إلا أن حصـــتها من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باســـتخدام الطاقات المتجددة ســـتنخفض من 64.7% عام 2017 الى 36.9% عام 2040. كما ستنخفض الطاقة الكهربائية المولدة من **الطاقة الحيوية** من 9.8% عام 2017 الى 8.5% عام 2040 على الرغم من ارتفاع الطاقة الكهربائية منها من 623 تيرا وات ساعة الى 1427 تيرا وات ساعة خلال نفس الفترة مشكلة نمو سنوي قدره 3.7%.

وفي المقابل ســـترتفع حصـــة الطاقة الكهربائية المولدة باســـتخدام **طاقة الرياح** من 17.1% عام 2017 الى 28% عام 2040، وذلك بارتفاع الطاقة المولدة منها من 1084 تيرا وات ســـاعة الى 4690 تيرا وات ســـاعة أي بمعدل نمو ســـنوي 6.6% خلال الفترة (2017-2040). كما ستشهد الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام **الطاقة الجوفية** ارتفاعا من 87 تيرا وات ساعة عام 2017 الى 343 تيرا وات ساعة عام 2040 أي بمعدل نمو سنوي

6.1% لترتفع حصـــتها في مزيج أنواع الطاقات المتجددة المســـتخدمة في توليد الطاقة الكهربائية من 1.4% الى 2%. كما سترتفع الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام **طاقة الخلايا الفوتوفولطية (PV)** من 434 تيرا وات ساعة أي ما يشكل حصة 6.8% عام 2017 الى 3840 تيرا وات ساعة أي ما يمثل 22.9% عام 2040 بمعدل نمو سنوي يصل الى 9.9%. وفيما يخص الطاقة الكهربائية المولدة باســتخدام **الطاقة الشـــمســـية المركزة (CPS)** فمن المتوقع ان ترتفع حصتها من 0.2% فقط عام 2017 الى 1.3% عام 2040، حيث سترتفع الطاقة المولدة منها من 11 تيرا وات ساعة الى 222 تيرا وات ساعة أي بمعدل نمو سنوي سيبلغ 13.9% خلال الفترة قيد الدراسة. وأخيرا سترتفع الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام **طاقة المد والجزر** بشـــكل طفيف من 2 تيرا وات ســـاعة في عام 2017 الى 51 تيرا وات ساعة عام 2040، وستظل حصتها لا تمثل سوى نسبة تقل عن 0.5% خلال الفترة 2017-2040. كما يوضح الشكل (15):

الشكل (15)
تطور حصة كل نوع من أنواع الطاقات المتجددة من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة، سيناريو السياسات الجديدة



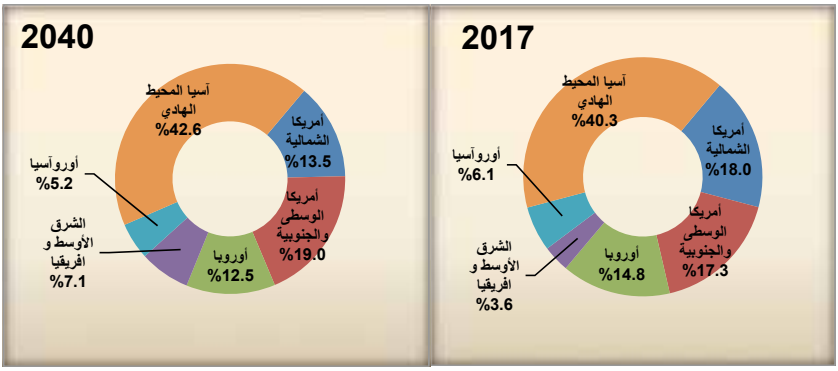
المصدر: الجدول (7) في ص31.

6.2 الطاقات المتجددة المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية بحسب المجموعات الدولية.

وعلى المستوى المجموعات، فدول آسيا والمحيط الهادي تستحوذ على حصة 39.4% من الطاقات المتجددة المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية عام 2017، ومن المتوقع ان ترتفع الحصة الى 49.2% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين من 2.7% عام 2017 الى 7.9% عام 2040. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 19.2% الى 14%، وحصة الدول الأوروبية من 21.2% الى 16.6%، وحصة دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 13.4% الى 9.7%، ودول أوروآسيا من 4% الى 2.7% خلال ذات الفترة. وقد تباينت حصة كل مجموعة من الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام أنواع الطاقات المتجددة المختلفة، ففيما يخص **الطاقة الكهرومائية** المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية، فدول آسيا والمحيط الهادي تستحوذ على حصة 40.3% من إجمالي عام 2017 ومن المتوقع ان ترتفع الحصة الى 42.6% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين من 3.6% عام 2017 الى 7.1% عام 2040، وحصة دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 17.3% الى 19% خلال ذات الفترة. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 18% الى 12.1%، وحصة الدول الأوروبية من 14.8% الى 11.7%، ودول أوروآسيا من 6.1% الى 5.2%. كما يوضح الشكل (16):

الشكل (16)

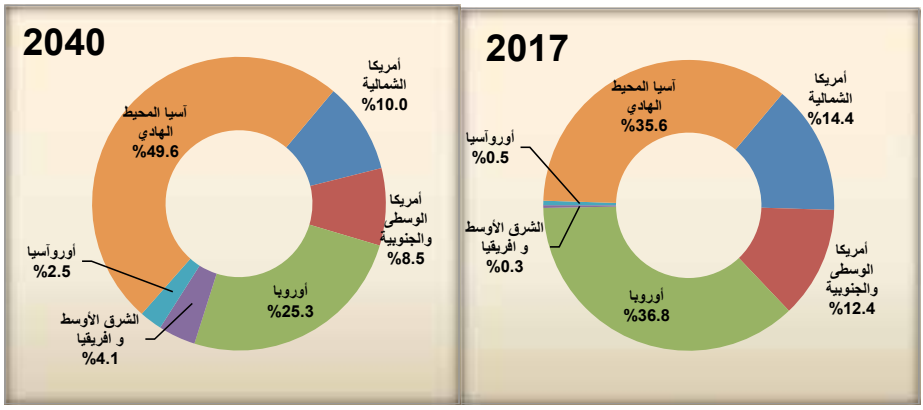
تطور الطاقة الكهرومائية المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية وفق المجموعات الدولية



وفيما يتعلق **بالطاقة الحيوية** المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية، فدول آسيا والمحيط الهادي تستحوذ على حصة 35.6% من إجمالي عام 2017 ومن المتوقع ان ترتفع الحصة الى 49.6% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين من 0.3% عام 2017 الى 4.1% عام 2040، ودول أوروآسيا من 0.5% الى 2.5% خلال ذات الفترة. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 14.4% الى 10%، وحصة الدول الأوروبية من 36.8% الى 25.3% وحصة دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 12.4% الى 8.5%. كما يبين الشكل (17):

الشكل (17)

تطور الطاقة الحيوية المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية وفق المجموعات الدولية

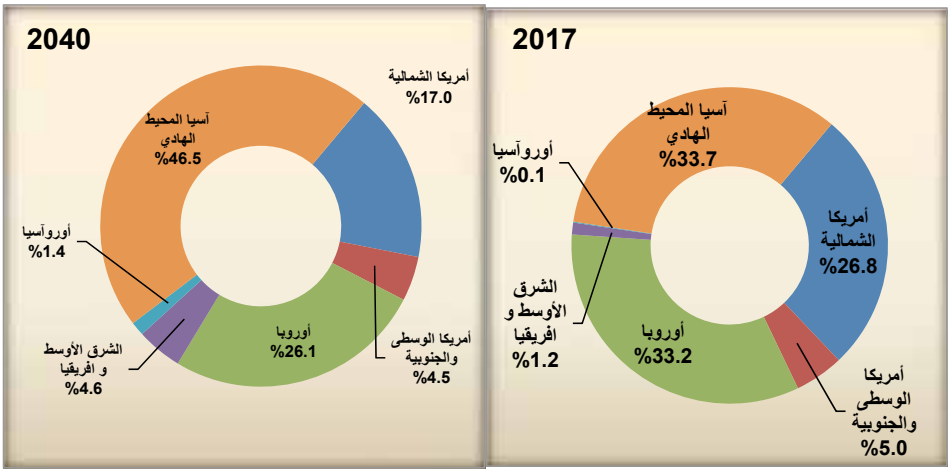


المصدر: الجدول (2-ب) في الملحق.

وفيما يتعلق **بطاقة الرياح** المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية، فدول آسيا والمحيط الهادي تستحوذ أيضا على حصة 33.7% من إجمالي عام 2017 ومن المتوقع ان ترتفع الحصة الى 46.5% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين من 1.2% عام 2017 الى 4.6% عام 2040، ودول أوروآسيا من 0.1% الى 1.4% خلال ذات الفترة. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 26.8% الى 17%، وحصة الدول الأوروبية من 33.2% الى 26.1% وحصة دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 5% الى 4.5%. كما هو موضح بالشكل (18):

الشكل (18)

تطور طاقة الرياح المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية وفق المجموعات الدولية

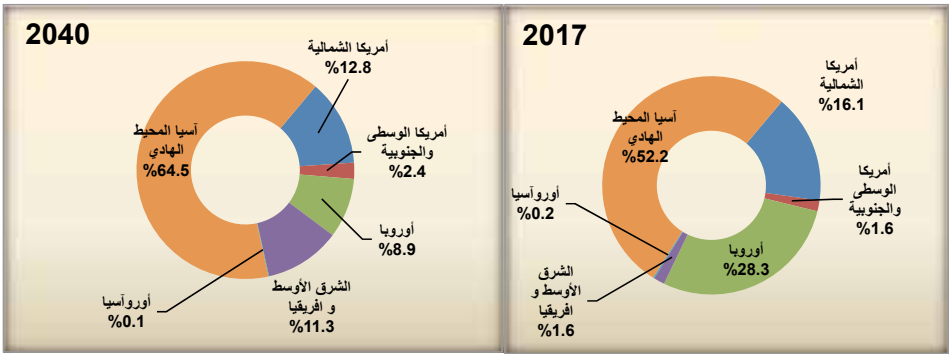


المصدر: الجدول (2-ب) في الملحق.

وفيما يتعلق **بالخلايا الفوتوفولطية PV** المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية، فدول آسيا والمحيط الهادي تستحوذ على حصة 52.1% من إجمالي عام 2017 ومن المتوقع ان ترتفع الحصة الى 64.5% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعة من 1.6% عام 2017 الى 11.3% عام 2040، ودول دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 1.6% الى 2.4%. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 16.1% الى 12.8%، وستنخفض حصة الدول الأوروبية بشكل كبير من 28.3% الى 8.9%، وحصة أوروآسيا من 0.2% الى 0.1%خلال ذات الفترة كما يوضح الشكل (19):

الشكل (19)

تطور الخلايا الفوتوفولطية المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية وفق المجموعات الدولية

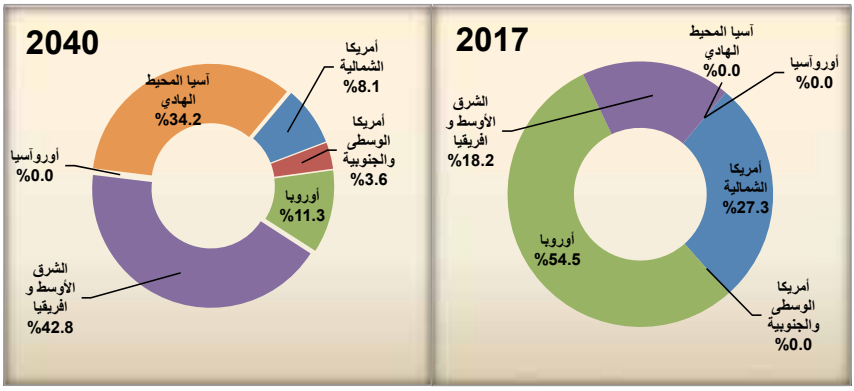


المصدر: الجدول (2-ب) في الملحق.

وفيما يتعلق بتوليد الطاقة الكهربائية باستخدام **أنظمة التركيز الشمسي CSP**، فدول آسيا والمحيط الهادي سترتفع حصتها من أقل من 0.5% من إجمالي عام 2017 الى 34.2% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين من 18.2% عام 2017 الى 42.8% عام 2040، ودول أمريكا الوسطى والجنوبية من 0.1% الى 3.6% خلال ذات الفترة. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 27.3% الى 8.1%، وحصة الدول الأوروبية من 54.5% الى 11.3%. كما يوضح الشكل (20):

الشكل (20)

تطور أنظمة التركيز الشمسي المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية وفق المجموعات الدولية



ثانياً: استعراض نتائج سيناريو التنمية المستدامة، وانعكاساته على مزيج الطاقة المستهلكة عالمياً حتى عام 2040.

قبل البدء في تحليل نتائج سيناريو التنمية المستدامة من الاهمية بمكان إعطاء نبذة عن السيناريو والافتراضات المتعلقة به:

1. تعريف سيناريو التنمية المستدامة (Sustainable Development Scenario)

يستند هذا السيناريو على أهداف التنمية المستدامة 2030 للأمم المتحدة والسعي لتوفير مسارا لقطاع الطاقة يتم من خلاله دمج ثلاثة أهداف من أهداف التنمية المستدامة المرتبطة ارتباطا وثيقا ببعضها ولكن أهداف سياساتها متباينة. وتتمثل أهداف تلك السياسات في **أولا:** ضمان حصول الجميع على طاقة ميسورة التكلفة وموثوق بها وخدمات طاقة حديثة بحلول عام 2030 (الهدف 7 من أهداف التنمية المستدامة)؛ **وثانيا:** الحد بشكل كبير من تلوث الهواء الذي يسبب الوفيات والمرض (الهدف 3 من أهداف التنمية المستدامة)؛ **وثالثا:** اتخاذ إجراءات فعّالة لمكافحة تغير المناخ (الهدف 13 من أهداف التنمية المستدامة). والهدف من سيناريو التنمية المستدامة هو وضع استراتيجية متكاملة لتحقيق أهداف تلك السياسات الهامة، جنبا إلى جنب مع أمن الطاقة، من أجل إظهار كيفية التوفيق بين الأهداف والتعامل مع الأولويات التي يحتمل أن تكون متضاربة أحياناً، وذلك لتحقيق الفوائد الداعمة المتبادلة. والسياسات الرئيسية المفترض اعتمادها في كل من السيناريوهات الرئيسية، فالتدابير المدرجة في سيناريو التنمية المستدامة تعتبر مكملة لتلك الخاصة بسيناريو السياسات الجديدة.

2. تحليل نتائج سيناريو التنمية المستدامة

1.2 التوقعات المتعلقة بإجمالي الطلب على مصادر الطاقة الأولية

نستعرض فيما يلي التوقعات المتعلقة بتطور مزيج الطاقة المستهلكة عالميا حتى عام 2040، يشتمل مزيج الطاقة على مصادر الطاقة المختلفة سواء الاحفورية (النفط والفحم والغاز الطبيعي) أو الطاقة النووية والطاقات المتجددة (تشتمل على الطاقة الكهرومائية

والطاقة الحيوية والطاقات المتجددة الأخرى) وذلك بحسب سيناريو التنمية المستدامة كما أوضحنا سلفاً.

من المتوقع ان يشهد مزيج الطاقة المستهلكة عالميا تغيرا في حصة كل مصدر من المصادر المختلفة التي يحتويها هذا المزيج. اذ يتوقع أن ينخفض الطلب العالمي على جميع مصادر الطاقة الأولية من 13.6 مليار طن مكافئ نفط في عام 2017 الى 13.3 مليار طن في عام 2040، أي بمعدل انخفاض سنوي يصل الى 0.1% خلال الفترة (2017-2040).

فمن المتوقع أن ينخفض الطلب على **الوقود الاحفوري** (فحم ونفط و غاز) من 10.9 مليار ط م ن في عام 2017 ما يشكل نحو 80.2% من اجمالي الطلب على مصادر الطاقة الاولية الى 7.8 مليار ط م ن ما يمثل 59% من اجمالي عام 2040، أي بمعدل انخفاض سنوي يبلغ 1.4% خلال الفترة (2017-2040).

ومن المتوقع أن يرتفع الطلب على **الطاقات المتجددة المختلفة** (كهرومائي وطاقة حيوية وطاقة شمسية وطاقة رياح) من 2.0 مليار طن م ن في عام 2017، أي ما يشكل 14.7% من اجمالي الطلب على مصادر الطاقة الاولية الى 4.2 مليار طن م ن في عام 2040 أي بمعدل نمو سنوي يصل الى 3.3%، لترتفع حصته من مزيج الطاقة العالمي الى 31.2%. **وفيما يخص الطاقة النووية**، فمن المتوقع أن يرتفع الطلب عليها من 688 مليون طن م ن في عام 2017 الى 1292 مليون طن م ن في عام 2040 أي بمعدل نمو سنوي 2.8 %، وسترتفع حصتها من مزيج الطاقة العالمي من 5.1% الى 9.7%. ويوضح الجدول (9) والشكل (21) توقعات الطلب على مصادر الطاقة الأولية حتى عام 2040:

الجدول (9)

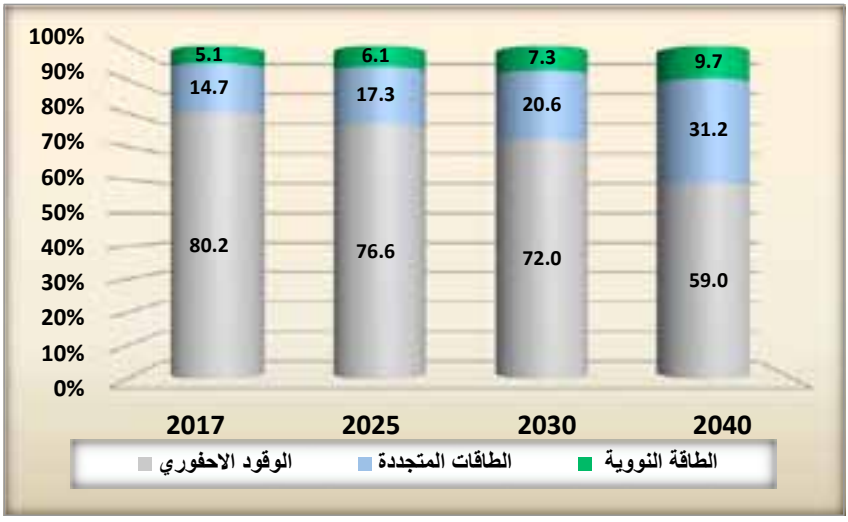
توقعات الطلب على مصادر الطاقة الأولية، بحسب سيناريو التنمية المستدامة،2017-2040

	2017		2025		2030		2040		معدل النمو%
	مليون ط م ن	%	مليون ط م ن	%	مليون ط م ن	%	مليون ط م ن	%	2040-2017
الفحم	3749	27.6	3045	21.5	2416	17.5	1597	12.0	(3.6)
النفط	4032	29.7	4334	30.6	3985	28.8	2834	21.3	(1.5)
الغاز الطبيعي	3107	22.9	3454	24.4	3554	25.7	3419	25.7	0.4
إجمالي الوقود الاحفوري	**10888**	**80.2**	**10833**	**76.6**	**9955**	**72.0**	**7850**	**59.0**	**(1.4)**
الطاقة الكهرومائية	353	2.6	431	3.0	492	3.6	601	4.5	2.3
طاقة حيوية	1385	10.2	1373	9.7	1277	9.2	1420	10.7	0.1
طاقات متجددة أخرى	254	1.9	648	4.6	1083	7.8	2134	16.0	9.7
إجمالي الطاقات المتجددة	**1992**	**14.7**	**2452**	**17.3**	**2852**	**20.6**	**4155**	**31.2**	**3.3**
الطاقة النووية	688	5.1	861	6.1	1013	7.3	1292	9.7	2.8
الإجمالي	**13568**	**100**	**14146**	**100**	**13820**	**100**	**13297**	**100**	**(0.1)**

المصدر: وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018، مشتق من جدول (3-أ) في الملحق.

الشكل (21)

توقعات الطلب على مصادر الطاقة الأولية، بحسب سيناريو التنمية المستدامة



المصدر: الجدول (9) أعلاه.

وفيما يلي تفصيل لتوقعات الطلب على مصادر الوقود المختلفة خلال الفترة 2017-2040:

1.1.2 توقعات الطلب العالمي على أنواع الوقود الاحفوري

يتوقع أن ينخفض **الطلب على الفحم** من 3.7 مليار طن مكافئ نفط عام 2017 الى 1.6 مليار ط م ن عام 2040، لتنخفض حصته في مزيج الطاقة المستهلكة عالميا من 27.6% عام 2017 الى 12% فقط عام 2040.

وفيما يتعلق **بالطلب العالمي على النفط**، فمن المتوقع أن ينخفض من 4.0 مليار ط م ن (أي ما يعادل 80 مليون ب/ي) عام 2017 إلى نحو 2.8 مليار ط م ن (أي ما يعادل 56 مليون ب/ي) عام 2040، أي بنسبة انخفاض سنوي تبلغ 1.5 %. لتنخفض حصته في مزيج الطاقة المستهلكة عالميا من 29.7% عام 2017 الى 21.3% عام 2040.

وبالنظر الى **الغاز الطبيعي**، فالصورة تختلف تماما، حيث يتوقع أن يرتفع الطلب على الغاز الطبيعي بالقيمة المطلقة وكذلك الامر بالنسبة للحصة في مزيج الطاقة المستهلكة عالميا. حيث تشير التوقعات الى ارتفاع الطلب العالمي على الغاز الطبيعي من 3.1 مليار ط م ن أي ما يمثل 22.9% من إجمالي الطاقة المستهلكة عالميا في عام 2017 الى 3.4 مليار ط م ن في عام 2040 مستأثرا بحصة 25.7% من الاجمالي. وبالتالي سيزداد الطلب على الغاز الطبيعي بمعدل 0.4 % سنويا خلال الفترة (2017-2040).

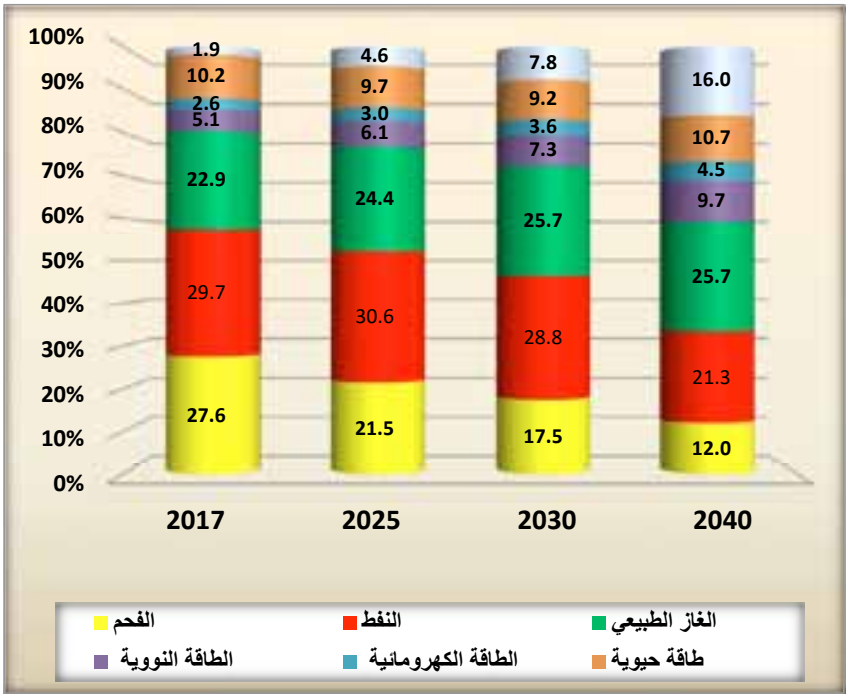
2.1.2 توقعات الطلب العالمي على أنواع الطاقات المتجددة

من المتوقع ان ترتفع أيضا حصة **الطاقة الكهرومائية** من حيث الكمية والحصة، حيث يتوقع ان تزداد من 353 مليون ط م ن عام 2017 الى 601 مليون ط م ن عام 2040، لترتفع بذلك حصتها بشكل طفيف من 2.6% الى 4.5% خلال ذات الفترة. ومع توقع ارتفاع الطلب على **الطاقة الحيوية** من 1.385 مليار طن م ن عام 2017 الى 1.420 مليار ط م ن عام 2040 سترتفع حصتها من 10.2% عام 2017 الى 10.7% عام 2040، كما سترتفع حصة **الطاقة المتجددة الاخرى** من 1.8% عام 2017 أي ما يمثل 254 مليون ط م ن الى

15.5 % أي ما يعادل 2.1 مليار ط م ن عام 2040، كما يوضح الجدول (9) أعلاه والشكل (22):

الشكل (22)

توقعات تطور حصة أنواع الوقود الاحفوري والطاقات المتجددة في مزيج الطاقة المستهلكة عالميا، بحسب سيناريو التنمية المستدامة



المصدر: الجدول (9) في ص 45.

وما يمكن استنتاجه من خلال تحليل نتائج سيناريو التنمية المستدامة، أن حصة الوقود الاحفوري (نفط وفحم وغاز طبيعي) ستظل مهيمنة على مزيج الطاقة المستهلكة عالميا على الرغم من الانخفاض في حصتها من 80.2% عام 2017 الى 59% عام 2040. وستزداد أهمية الطاقات المتجددة بشكل واضح من 14.7% عام 2017 الى 31.2% عام 2040، وحدوث زيادة معتبرة في حصة الطاقة النووية من 5.1% الى 9.7%.

2.2 توقعات الطلب على مصادر الطاقة الأولية وفق المجموعات الدولية.

بحسب سيناريو التنمية المستدامة، ووفق المجموعات الدولية، يلاحظ أن **الطلب على الوقود الاحفوري** سيظل متركزا في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي التي تستحوذ في الوقت الحاضر على حصة 44.6% من الإجمالي العالمي، ويتوقع ان تستأثر بنحو 47.7% من الإجمالي في عام 2040. كما يتوقع ان ترتفع حصة دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 4.2% عام 2017 الى 4.6% عام 2040، ومن المتوقع أيضا ان ترتفع حصة الدول الافريقية من 3.7% الى 5.7% وحصة دول الشرق الأوسط من 6.7% الى 9.5% ودول أوروآسيا من 7.6% الى 8.1%. وفي المقابل، يتوقع أن تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 19.7% من الإجمالي العالمي لعام 2017 الى 15.8% من إجمالي الطلب العالمي على مصادر الطاقة الأولية لعام 2040، كما ستشهد حصة الدول الاوروبية انخفاضا هي الأخرى من 13.5% الى 8.6% خلال ذات الفترة.

كما ستظل مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي مهيمنة على الجزء الأكبر من **الطلب على الطاقات المتجددة** حتى عام 2040 حيث ستظل حصتها من الإجمالي العالمي تتراوح ما بين 40-48%. كما يتوقع ان ترتفع حصة دول أمريكا الشمالية بشكل طفيف من 11.8% عام 2017 الى 15.4% عام 2040، ومن المتوقع أيضا ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط من 0.2% الى 4.1% وحصة دول أوروآسيا من 1.6% الى 3.1% خلال ذات الفترة. وفي المقابل، يتوقع أن تنخفض حصة دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 10.3% من الإجمالي العالمي لعام 2017 الى 8.7% من إجمالي الطلب العالمي على مصادر الطاقة الأولية لعام 2040، كما ستشهد حصة الدول الاوروبية انخفاضا هي الأخرى من 14.9% الى 12.5%، والدول الافريقية من 21% الى 8.5% لذات الفترة، كما يوضح الجدول (10) والشكل (23):

الجدول (10)

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

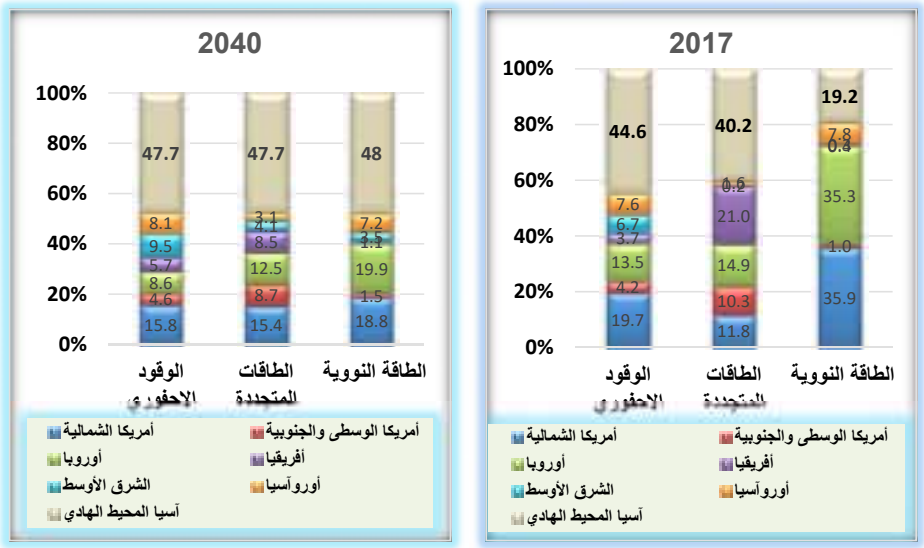
	إجمالي الوقود الاحفوري				إجمالي الطاقات المتجددة				الطاقة النووية				إجمالي المصادر			
	2017		2040		2017		2040		2017		2040		2017		2040	
	مليون طم ن	%	مليون طم ن	%	مليون طم ن	%	مليون طم ن	%	مليون طم ن	%	مليون طم ن	%	مليون طم ن	%	مليون طم ن	%
أمريكا الشمالية	2141	19.7	1239	15.8	235	11.8	626	15.4	247	35.9	243	18.8	**2623**	19.3	**2108**	16.0
أمريكا الوسطى والجنوبية	455	4.2	360	4.6	206	10.3	354	8.7	7	1.0	20	1.5	**668**	4.9	**734**	5.6
أوروبا	1468	13.5	679	8.6	297	14.9	597	12.5	243	35.3	257	19.9	**2008**	14.8	**1533**	10.9
أفريقيا	407	3.7	449	5.7	419	21.0	346	8.5	3	0.4	14	1.1	**829**	6.1	**809**	6.1
الشرق الأوسط	734	6.7	743	9.5	4	0.2	168	4.1	2	0.3	45	3.5	**740**	5.5	**956**	7.2
أوروآسيا	826	7.6	635	8.1	31	1.6	126	3.1	54	7.8	93	7.2	**911**	6.7	**854**	6.5
آسيا المحيط الهادي	4857	44.6	3745	47.7	800	40.2	1938	47.7	132	19.2	620	48.0	**5789**	42.7	**6303**	47.7
الإجمالي*	**10888**	**100**	**7850**	**100**	**1992**	**100**	**4155**	**100**	**688**	**100**	**1292**	**100**	**13568**	**100**	**13297**	**100**

*** لايشتمل على بنكر**

المصدر: وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام 2018، مشتق من الجدول (3-أ) في الملحق.

الشكل (23)

توقعات تطور حصة مصادر الطاقة المختلفة في مزيج الطاقة المستهلكة عالميا، بحسب سيناريو التنمية المستدامة ووفق المجموعات الدولية

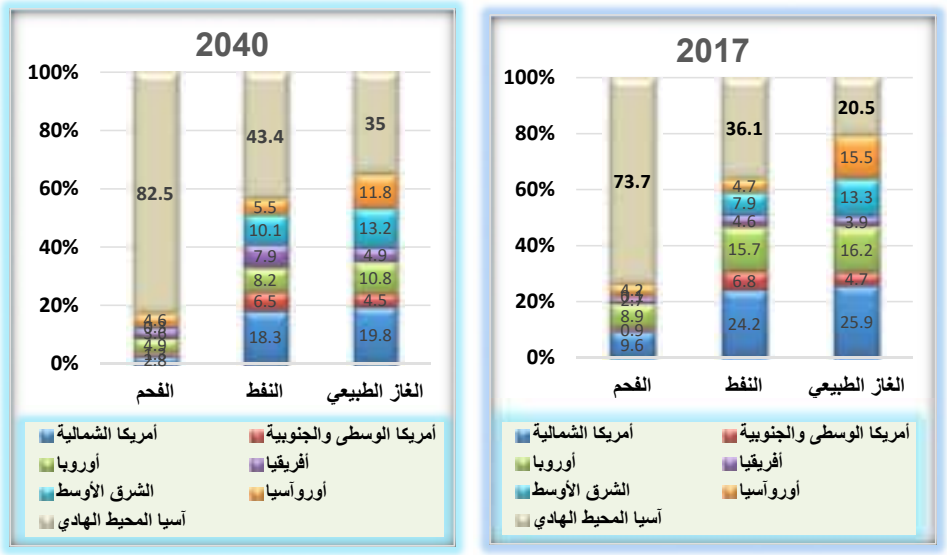


المصدر: الجدول (10) أعلاه.

وعلى مستوى **أنواع الوقود الاحفوري**، من المتوقع أن يتركز **الطلب على الفحم** بشكل رئيسي في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي التي استأثرت بحصة 73.7% من الاجمالي العالمي لعام 2017، ومن المتوقع أن ترتفع الحصة الى 82.5 % من الاجمالي العالمي لعام 2040. وفيما يخص **النفط**، فمن الملاحظ أن الطلب عليه أيضا يتركز في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي في الوقت الحاضر حيث تستأثر بحصة 36.1% من الاجمالي لعام 2017، ومن المتوقع ان ترتفع هذه الحصة لتصل إلى نحو 43.4% من إجمالي عام 2040.وفيما يتعلق **بالغاز الطبيعي**، فيلاحظ تركز الطلب عليه في مجموعة دول امريكا الشمالية في الوقت الحاضر حيث تستأثر بحصة 26% بينما يتوقع أن يتركز الطلب عليه في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي في عام 2040 اذ ستستحوذ دول المجموعة على حصة 35% مقابل انخفاض حصة مجموعة دول امريكا الشمالية الى 19.8%. كما يوضح الجدول (3-ب) في الملحق والشكل (24) :

الشكل (24)

تطور حصة المجموعات الدولية من الطلب العالمي على أنواع الوقود الاحفوري، بحسب سيناريو التنمية المستدامة



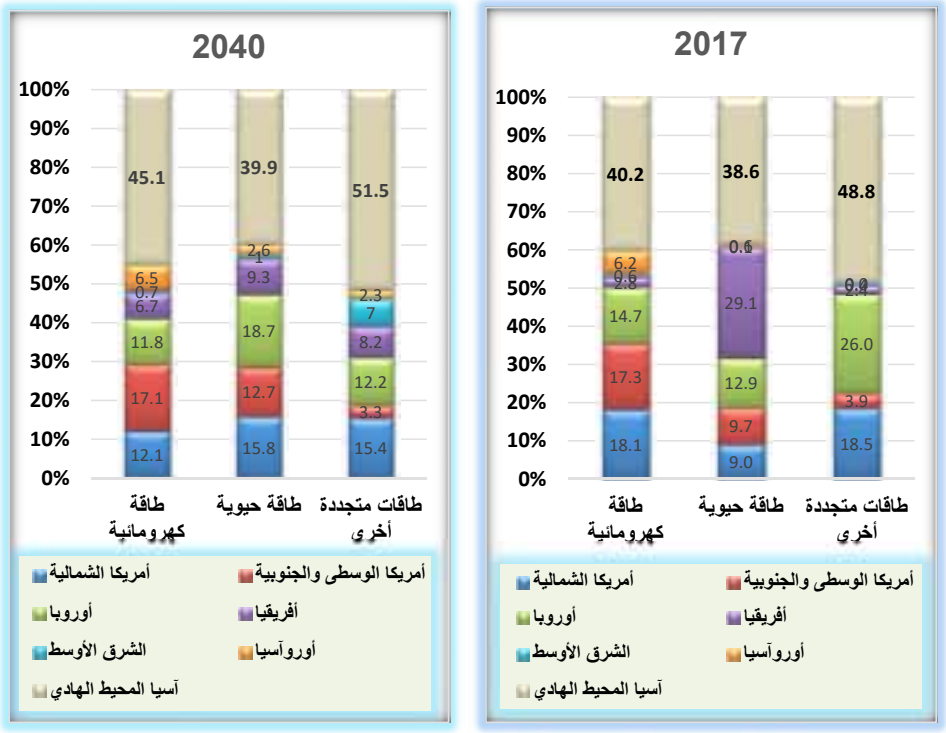
المصدر: الجدول (3-ب) في الملحق.

وفيما يخص **أنواع الطاقات المتجددة**، فيلاحظ تركز الطلب على **الطاقة الكهرومائية** في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي التي تستحوذ على حصة 40.2% من الإجمالي العالمي ومن المتوقع ان تستأثر بحصة 45.1% في عام 2040، ومن المتوقع ان ترتفع حصة طلب الدول الافريقية من 2.8% عام 2017 الى 6.7% عام 2040. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الوسطى والجنوبية بشكل طفيف من 17.3% الى 17.1%، وطلب دول أمريكا الشمالية على الطاقة الكهرومائية من 18.1% في الوقت الحاضر الى 12.1% عام 2040، وطلب الدول الأوروبية من 14.7% الى 11.8% خلال ذات الفترة.

أما بالنسبة **للطاقة الحيوية** فهي الأخرى متركز الطلب عليها في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي التي تستحوذ على حصة 38.6% في الوقت الحاضر ومن المتوقع ان ترتفع الى 39.9% عام 2040. وتأتي في المرتبة الثاني الدول الأوروبية التي تصل حصتها الى 12.9% عام 2017 ويتوقع ان تصل الى 18.7% عام 2040. والمرتبة الثالثة لدول أمريكا الشمالية مستأثرة بحصة 9% في الوقت الحاضر وحصة 15.8% في عام 2040.

وفيما يخص **الطاقات المتجددة الأخرى (**طاقة شمسية بنوعيها وطاقة رياح والطاقة الجوفية**)**، فيتركز الطلب عليها أيضا في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي التي بلغت حصتها 48.8% عام 2017 ويتوقع ان ترتفع لتصل الى 51.5% عام 2040، وتأتي الدول الأوروبية في المرتبة الثانية بحصة 26% في الوقت الحاضر ومن المتوقع ان تنخفض الى 12.2% عام 2040. كما يوضح الجدول (3-ب) في الملحق والشكل (25):

الشكل (25)
توقعات تطور حصة المجموعات الدولية من الطلب العالمي على أنواع الطاقات المتجددة، بحسب سيناريو التنمية المستدامة



المصدر: الجدول (3-ب) في الملحق.

وفي المقابل يلاحظ تركز الطلب على **الطاقة النووية** بشكل واضح خلال عام 2017 في مجموعة دول امريكا الشمالية بحصة 36% من اجمالي الطاقة المستهلكة عالميا، وفي عام 2040 ستتغير الصورة بشكل لافت حيث سيتركز الطلب على الطاقة النووية في مجموعة الدول الآسيوية ومنطقة المحيط الهادي التي يتوقع ان تستحوذ على حصة 48%، وذلك على حساب انخفاض حصة مجموعة دول امريكا الشمالية الى 18.8%.

3.2 توقعات تطور توليد الطاقة الكهربائية باستخدام مصادر الوقود المختلفة

يصل إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام مصادر الوقود المختلفة عام 2017 الى 25641 تيرا وات ساعة، ويتم توليد 16653 تيرا وات ساعة من الطاقة الكهربائية باستخدام الوقود الاحفوري مستحوذا على حصة 64.9%، مقارنة بطاقة 6351 تيرا وات ساعة مولدة باستخدام الطاقات المتجددة أي بحصة 24.8%، و2637 تيرا وات ساعة باستخدام الطاقة النووية بحصة 10.3%. ومن المتوقع ان تصل الطاقة الكهربائية المولدة عام 2040 الى 37082 تيرا وات ساعة بمعدل نمو سنوي 1.6% للفترة (2017-2040)، حيث سيتم توليد حوالي 24585 تيرا وات ساعة من الطاقة الكهربائية المولدة عام 2040 باستخدام الطاقات المتجددة لترتفع حصتها الى 66.3% ومسجلة نمو سنوي قدره 6.1%، مقارنة بتوليد 7537 تيرا وات ساعة باستخدام الوقود الاحفوري الذي ستنخفض حصته الى 20.3% ليسجل معدل انخفاض قدره 3.4%، وتوليد 4960 تيرا وات ساعة باستخدام الطاقة النووية التي سترتفع حصتها الى 13.4% لتسجل نموا سنويا قدره 2.8%. كما يوضح الجدول (11) والشكل (26):

الجدول (11)
تطور توليد الطاقة الكهربائية باستخدام مصادر الوقود المختلفة، بحسب سيناريو التنمية المستدامة

	2017		2025		2030		2040		معدل النمو%
	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	2040-2017
الفحم	9858	38.4	7193	25.0	4847	15.6	1981	5.3	(6.7)
النفط	940	3.7	605	2.1	413	1.3	196	0.5	(6.6)
الغاز الطبيعي	5856	22.8	6810	23.6	6830	21.9	5359	14.5	(0.4)
إجمالي الوقود الاحفوري	**16654**	**64.9**	**14608**	**50.7**	**12090**	**38.8**	**7536**	**20.3**	**(3.4)**
الطاقة الكهرومائية	4110	16.0	5012	17.4	5722	18.4	6990	18.9	2.3
طاقة حيوية	623	2.4	1039	3.6	1325	4.3	1967	5.3	5.1
رياح	1084	4.2	2707	9.4	4355	14.0	7729	20.8	8.9
حرارة جوف الأرض	87	0.3	162	0.6	282	0.9	556	1.5	8.4
خلايا فوتوفولطية	434	1.7	1940	6.7	3268	10.5	6410	17.3	12.4
أنظمة التركيز الشمسي	11	0.0	54	0.2	184	0.6	855	2.3	20.8
بحري	2	0.0	4	0.0	15	0.0	78	0.2	20.3
إجمالي الطاقات المتجددة	**6351**	**24.8**	**10918**	**37.9**	**15151**	**48.7**	**24585**	**66.3**	**6.1**
الطاقة النووية	**2637**	**10.3**	**3303**	**11.5**	**3888**	**12.5**	**4960**	**13.4**	**2.8**
الإجمالي	**25642**	**100**	**28829**	**100**	**31129**	**100**	**37081**	**100**	**1.6**

الشكل (26)

تطور توليد الطاقة الكهربائية باستخدام مصادر الوقود المختلفة، بحسب سيناريو التنمية المستدامة



المصدر: الجدول (11) أعلاه.

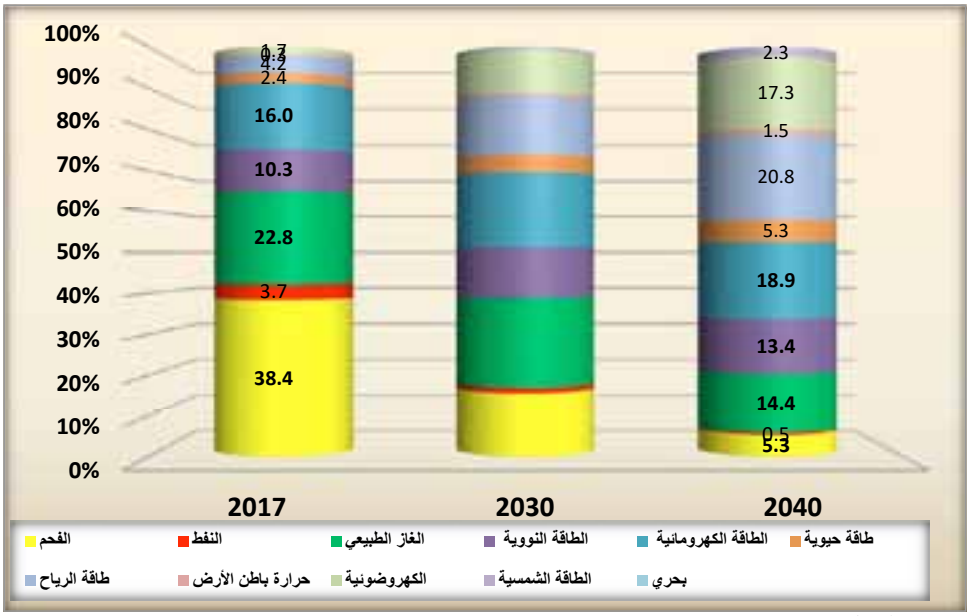
فيما يخص الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام أنواع الوقود الاحفوري، يهيمن **الفحم** على الحصة الاكبر من الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الوقود الاحفوري، حيث يتم توليد نحو 9858 تيرا وات ساعة في عام 2017 باستخدام الفحم مشكلا حصة 59.2% من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الوقود الاحفوري ومن المتوقع ان تنخفض حصته الى 26.3% في عام 2040. وبالنسبة للطاقة المولدة باستخدام **الغاز الطبيعي** فتصل في الوقت الحاضر الى 5855 تيرا وات ساعة أي بحصة 35.2% ومن المتوقع ان يتزايد دور الغاز المستخدم في توليد الكهرباء بشكل كبير حيث ستصل حصته من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الوقود الاحفوري الى 71.1% في عام 2040. ومن المتوقع ان تنخفض الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام **النفط** من 940 تيرا وات ساعة في عام 2017 الى 197 تيرا وات ساعة عام 2040 لتنخفض بذلك حصة النفط من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الوقود الاحفوري من 5.6% عام 2017 الى 2.6% عام 2040.

أما فيما يتعلق بالطاقة الكهربائية المولدة باســـتخدام أنواع الطاقات المتجددة، فمن الملاحظ تزايد دور طاقة الرياح والطاقة الشمسية الكهروضوئية (PV) المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية بشـــكل لافت مقارنة بمصـــادر الطاقات المتجددة الاخرى. حيث يتوقع ان ترتفع الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الرياح من 1085 تيرا وات ساعة عام 2017 الى 7730 تيرا وات ساعة أي بمعدل نمو سنوي 8.9% لترتفع بذلك حصتها من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باســـتخدام انواع الطاقات المتجددة المختلفة من 17.1% عام 2017 الى 31.4% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضـوئية من 435 تيرا وات ساعة عام 2017 الى 6409 تيرا وات ساعة أي بمعدل نمو ســنوي 12.4% لترتفع بذلك حصــتها من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باســتخدام انواع الطاقات المتجددة المختلفة من 6.8% فقط عام 2017 الى 26.1% عام 2040.

وبالنســـبة للطاقة الكهربائية المولدة باســـتخدام الطاقة الكهرومائية فمن المتوقع ان ترتفع من 4109 تيرا وات ســـاعة عام 2017 الى 6990 تيرا وات ســـاعة أي بمعدل نمو ســـنوي 2.3% وعلى الرغم من ذلك الارتفاع الا ان حصـــتها من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باســـتخدام انواع الطاقات المتجددة المختلفة ســـتنخفض من 64.7% عام 2017 الى 28.4% عام 2040، كما يوضح الجدول (11) أعلاه والشكل (27):

الشكل (27)

توقعات تطور حصة أنواع الوقود الاحفوري وأنواع الطاقات المتجددة المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية، بحسب سيناريو التنمية المستدامة



المصدر: الجدول (11) في ص53.

4.2 تطور توليد الطاقة الكهربائية باستخدام مصار الوقود المختلفة وفق المجموعات الدولية

أما على مستوى المجموعات الدولية، فمن الملاحظ استمرار هيمنة الوقود الاحفوري المستخدم في قطاع توليد الطاقة الكهربائية في مجموعة دول آسيا والمحيط الهادي التي تستحوذ على حصة 51.6% من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الوقود الاحفوري عالميا في الوقت الحاضر، ويتوقع ان ترتفع الحصة الى 56.1% في عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين من 10.4% عام 2017 الى 14.9% عام 2040. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 18.4% الى 13.5%، وحصة الدول الأوروبية من 11.3% الى 8.5%، ودول أوروآسيا من 5.4% الى 5.1%، ومن المتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 2.9% الى 1.8%.

وفيما يخص الطاقات المتجددة، فدول آسيا والمحيط الهادي تستحوذ على حصة 39.4% من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الطاقات المتجددة المختلفة عالميا في عام 2017 ومن المتوقع ان ترتفع الحصة الى 50.8% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين من 2.7% عام 2017 الى 10.1% عام 2040. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 19.2% الى 15.1 %، وحصة الدول الأوروبية من 21.2% الى 13.8%، ودول أوروآسيا من 4% الى 2.9% خلال ذات الفترة.

وفيما يخص الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الطاقة النووية، فمن المتوقع ان تشهد تحولا من دول أمريكا الشمالية التي تستأثر بحصة 36% في الوقت الحاضر، مقابل حصة 19.2% لمجموعة دول آسيا والمحيط الهادي، الى مجموعة الدول الأخيرة التي سترتفع حصتها الى 48% عام 2040 مقابل انخفاض حصة دول أمريكا الشمالية الى 18.8% فقط. كما يتوقع انخفاض حصة الدول الأوروبية من 35.3% الى 19.9% فقط، ومن المتوقع ان تشهد حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين ارتفاعا من 0.8% عام 2017 الى 4.6% عام كما يوضح الجدول (12) والشكل (28):

الجدول (12)

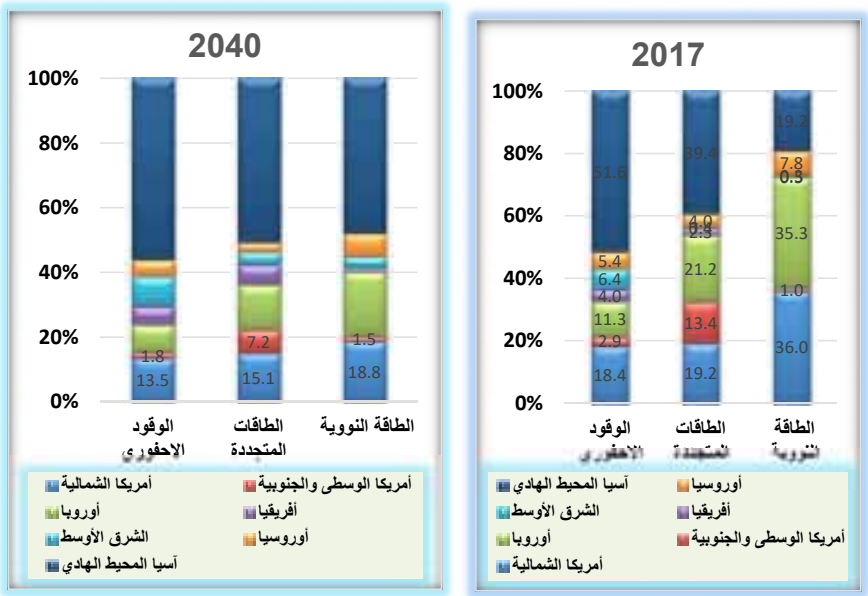
تطور توليد الطاقة الكهربائية باستخدام مصادر الوقود المختلفة، بحسب سيناريو التنمية المستدامة

	إجمالي الوقود الاحفوري				إجمالي الطاقات المتجددة				الطاقة النووية				إجمالي المصادر			
	2017		2040		2017		2040		2017		2040		2017		2040	
	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%	تيرا وات ساعة	%
أمريكا الشمالية	3062	18.4	1017	13.5	1218	19.2	3719	15.1	950	36.0	933	18.8	**5230**	20.4	**5669**	15.3
أمريكا الوسطى والجنوبية	481	2.9	139	1.8	851	13.4	1773	7.2	26	1.0	76	1.5	**1358**	5.3	**1988**	5.4
أوروبا	1880	11.3	643	8.5	1346	21.2	3403	13.8	930	35.3	986	19.9	**4156**	16.2	**5032**	13.6
أفريقيا	672	4.0	419	5.6	146	2.3	1528	6.2	13	0.5	54	1.1	**831**	3.2	**2001**	5.4
الشرق الأوسط	1071	6.4	703	9.3	28	0.4	956	3.9	7	0.3	174	3.5	**1106**	4.3	**1833**	4.9
أوروآسيا	893	5.4	386	5.1	257	4.0	725	2.9	206	7.8	356	7.2	**1356**	5.3	**1467**	4.0
آسيا المحيط الهادي	8595	51.6	4229	56.1	2505	39.4	12481	50.8	505	19.2	2381	48.0	**11605**	45.3	**19091**	51.5
الإجمالي*	16654	100	7536	100	6351	100	24585	100	2637	100	4960	100	**25642**	100	**37081**	100

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

الشكل (28)

توليد الطاقة الكهربائية باستخدام مصادر الوقود المختلفة وفق المجموعات الدولية، بحسب سيناريو التنمية المستدامة



5.2 تطور حصـــة كل نوع من أنواع الطاقات المتجددة من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة، وفق سيناريو التنمية المستدامة

نتناول فيما يلي، وبشكل أكثر تفصيلا، التطورات المتعلقة بحصص أنواع الطاقات المتجددة المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية والمتمثلة في كل من الطاقة الكهرومائية والطاقة الحيوية، وطاقة الرياح، والطاقة الجوفية، وطاقة الخلايا الفوتوفولطيةPV، وأنظمة الطاقة الشمسية المركزة CPS، وطاقة المد والجزر، وذلك خلال الفترة (2017-2040).

من المتوقع أن تشهد حصة كل نوع من أنواع الطاقات المتجددة المستخدمة من الطاقة الكهربائية المولدة تطورا ملحوظا خلال الفترة (2017-2040)، حيث يتوقع ان ترتفع الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام جميع مصادر الطاقات المتجددة من 6351 تيرا وات ساعة عام 2017 الى 24585 تيرا وات ســـاعة عام 2040 لترتفع بذلك حصـــتها من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام جميع المصـادر من 24.8% فقط عام 2017 الى نحو 66.3% عام 2040 أي بمعدل نمو سنوي يصل الى نحو 6.1%.

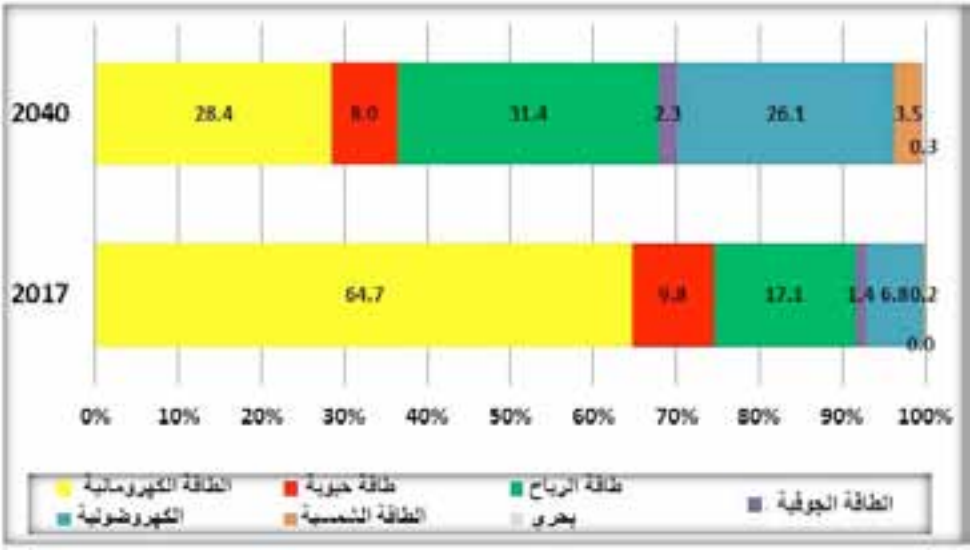
ففيما يخص الطاقة الكهربائية المولدة باســتخدام **الطاقة الكهرومائية** فمن المتوقع ان ترتفع من 4110 تيرا وات ســـاعة عام 2017 الى 6990 تيرا وات ســـاعة عام 2040 أي بمعدل نمو ســـنوي يصـــل الى 2.3%، وعلى الرغم من ذلك الارتفاع إلا أن حصـــتها من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة باســـتخدام الطاقات المتجددة ســـتنخفض من 64.7% عام 2017 الى 28.4% عام 2040. كما ستنخفض الطاقة الكهربائية المولدة من **الطاقة الحيوية** من 9.8% عام 2017 الى 8% عام 2040 على الرغم من ارتفاع الطاقة الكهربائية منها من 623 تيرا وات ساعة الى 1968 تيرا وات ساعة خلال نفس الفترة مشكلة نمو سنوي قدره 5.1%.

وفي المقابل ســـترتفع حصـــة الطاقة الكهربائية المولدة باســـتخدام **طاقة الرياح** من 17.1% عام 2017 الى 31.4% عام 2040، وذلك بارتفاع الطاقة المولدة منها من 1085 تيرا وات ســـاعة الى 7730 تيرا وات ســـاعة أي بمعدل نمو ســـنوي 8.9% خلال الفترة (2017-2040). كما ستشهد الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام **الطاقة الجوفية** ارتفاعا من

87 تيرا وات ساعة عام 2017 الى 555 تيرا وات ساعة عام 2040 أي بمعدل نمو سنوي 8.4% لترتفع حصتها في مزيج أنواع الطاقات المتجددة المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية من 1.4% الى 2.3%. كما سترتفع الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام **طاقة الخلايا الفوتوفولطية (PV)** من 435 تيرا وات ساعة أي ما يشكل حصة 6.8% عام 2017 الى 6410 تيرا وات ساعة أي ما يمثل 26.1% عام 2040 بمعدل نمو سنوي يصل الى 12.4%. وفيما يخص الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام **الطاقة الشمسية المركزة (CPS)** فمن المتوقع ان ترتفع حصتها من 0.2% فقط عام 2017 الى 3.5% عام 2040، حيث سترتفع الطاقة المولدة منها من 11 تيرا وات ساعة الى 855 تيرا وات ساعة أي بمعدل نمو سنوي سيبلغ 20.8% خلال الفترة قيد الدراسة. وأخيرا سترتفع الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام **طاقة المد والجزر** بشكل طفيف من 1 تيرا وات ساعة في عام 2017 الى 78 تيرا وات ساعة عام 2040، وستظل حصتها لا تمثل سوى نسبة تقل عن 0.3% خلال الفترة 2017-2040. كما يوضح الجدول (11) والشكل (29):

الشكل (29)

تطور حصة كل نوع من أنواع الطاقات المتجددة من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة، سيناريو التنمية المستدامة



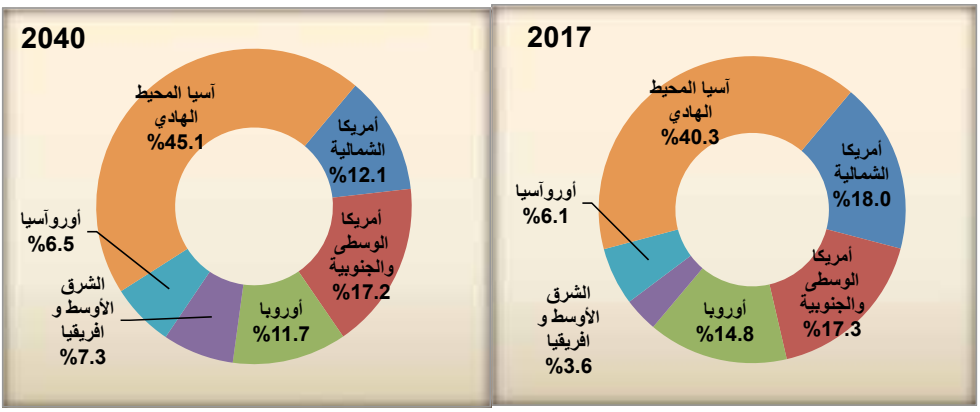
المصدر: الجدول (11) في ص53.

6.2 الطاقات المتجددة المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية بحسب المجموعات الدولية.

ففيما يخص الطاقات المتجددة المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية على المستوى العالمي، فدول آسيا والمحيط الهادي تستحوذ على حصة 39.4% من إجمالي عام 2017 ومن المتوقع ان ترتفع الحصة الى 50.8% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين من 2.7% عام 2017 الى 10.1% عام 2040. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 19.2% الى 15.1 %، وحصة الدول الأوروبية من 21.2% الى 13.8%، وحصة دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 13.4% الى 7.2%، ودول أوروآسيا من 4% الى 2.9% خلال ذات الفترة. وقد تباينت حصة كل مجموعة من الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام أنواع الطاقات المتجددة المختلفة، ففيما يخص **الطاقة الكهرومائية** المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية، فدول آسيا والمحيط الهادي تستحوذ على حصة 40.3% من إجمالي عام 2017 ومن المتوقع ان ترتفع الحصة الى 45.1% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين من 3.6% عام 2017 الى 7.3% عام 2040، ودول أوروآسيا من 6.1% الى 6.5%. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 18% الى 12.1%، وحصة الدول الأوروبية من 14.8% الى 11.7%، وحصة دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 17.3% الى 17.2%. كما يوضح الشكل (30):

الشكل (30)

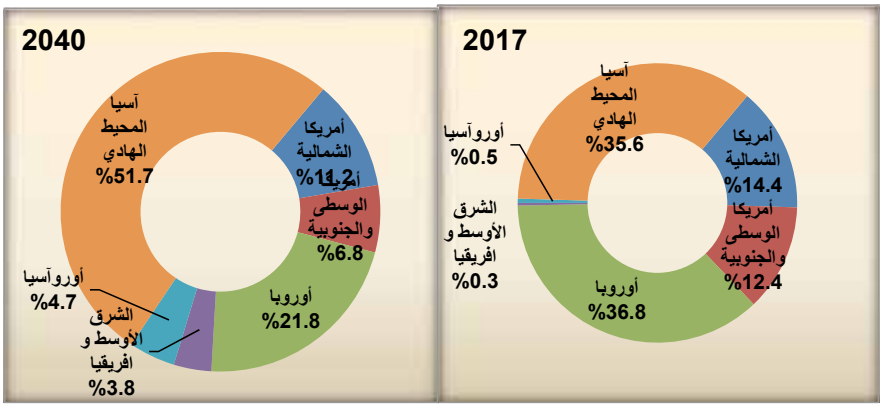
تطور الطاقة الكهرومائية المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية وفق المجموعات الدولية



وفيما يتعلق **بالطاقة الحيوية** المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية، فدول آسيا والمحيط الهادي تستحوذ على حصة 35.6% من إجمالي عام 2017 ومن المتوقع ان ترتفع الحصة الى 51.7% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين من 0.3% عام 2017 الى 3.8% عام 2040، ودول أوروآسيا من 0.5% الى 4.7% خلال ذات الفترة. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 14.4% الى 11.2%، وحصة الدول الأوروبية من 36.8% الى 21.8% وحصة دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 12.4% الى 6.8%. كما يبين الشكل (31):

الشكل (31)

تطور الطاقة الحيوية المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية وفق المجموعات الدولية

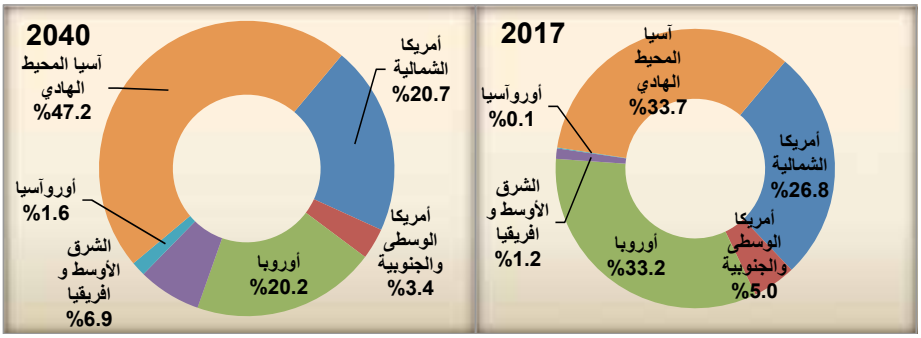


المصدر: الجدول (4-ب) في الملحق.

وفيما يتعلق **بطاقة الرياح** المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية، فدول آسيا والمحيط الهادي تستحوذ على حصة 33.7% من إجمالي عام 2017 ومن المتوقع ان ترتفع الحصة الى 47.2% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين من 1.2% عام 2017 الى 6.9% عام 2040، ودول أوروآسيا من 0.1% الى 1.6% خلال ذات الفترة. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 26.8% الى 20.7%، وحصة الدول الأوروبية من 33.2% الى 20.2% وحصة دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 5% الى 3.4%. كما يوضح الشكل (32):

الشكل (32)

تطور طاقة الرياح المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية وفق المجموعات الدولية

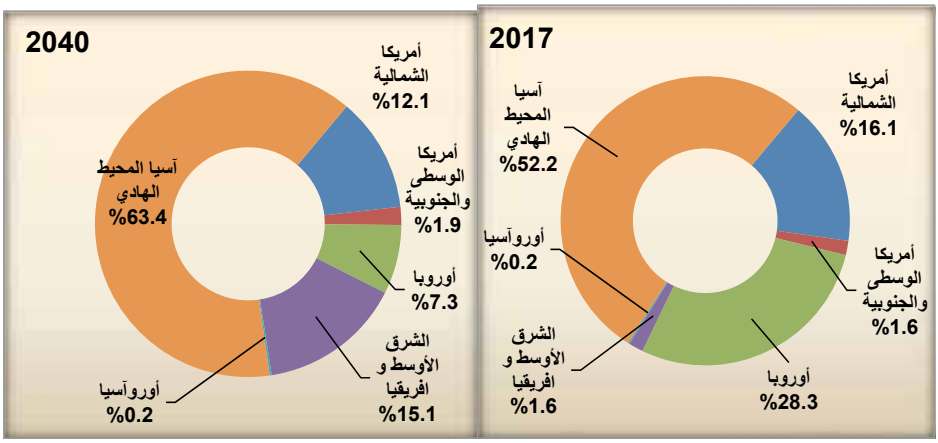


المصدر: الجدول (4-ب) في الملحق.

وفيما يتعلق **بالخلايا الفوتوفولطية PV** المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية، فدول آسيا والمحيط الهادي تستحوذ على حصة 52.1% من إجمالي عام 2017 ومن المتوقع ان ترتفع الحصة الى 63.3% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين من 1.6% عام 2017 الى 15.1% عام 2040، ودول دول أمريكا الوسطى والجنوبية من 1.6% الى 1.9%، وستستقر حصة أوروآسيا عند 0.2%. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 16.1% الى 12.1%، وستنخفض حصة الدول الأوروبية بشكل كبير من 28.3% الى 7.3%. كما يوضح الشكل (33):

الشكل (33)

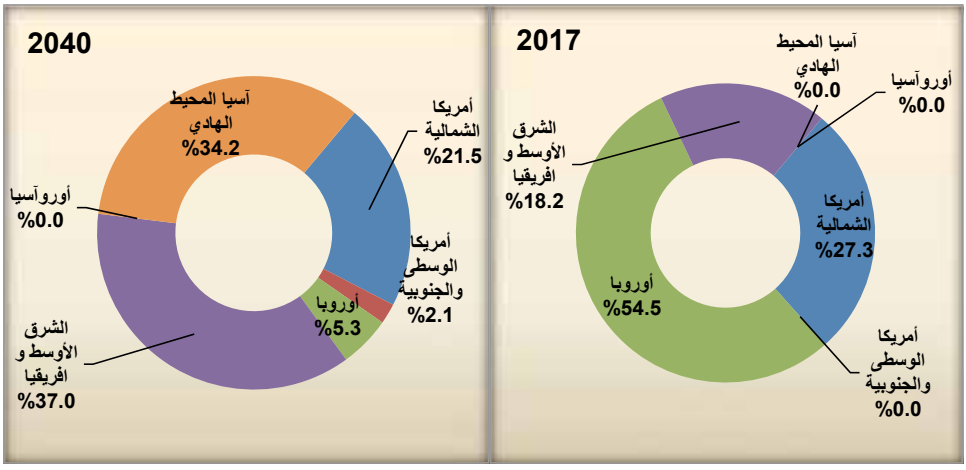
تطور الخلايا الفوتوفولطية المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية وفق المجموعات الدولية



وفيما يتعلق بتوليد الطاقة الكهربائية باستخدام **أنظمة التركيز الشمسي CPS**، فدول آسيا والمحيط الهادي سترتفع حصتها من أقل من 0.5% من إجمالي عام 2017 الى 34.2% عام 2040، كما يتوقع ان ترتفع حصة دول الشرق الأوسط وأفريقيا مجتمعين من 18.2% عام 2017 الى 37% عام 2040، ودول أمريكا الوسطى والجنوبية من 0.1% الى 2.1% خلال ذات الفترة. وفي المقابل يتوقع ان تنخفض حصة دول أمريكا الشمالية من 27.3% الى 21.5%، وحصة الدول الأوروبية من 54.5% الى 5.3%. كما يوضح الشكل (34):

الشكل (34)

تطور أنظمة التركيز الشمسي المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية وفق المجموعات الدولية



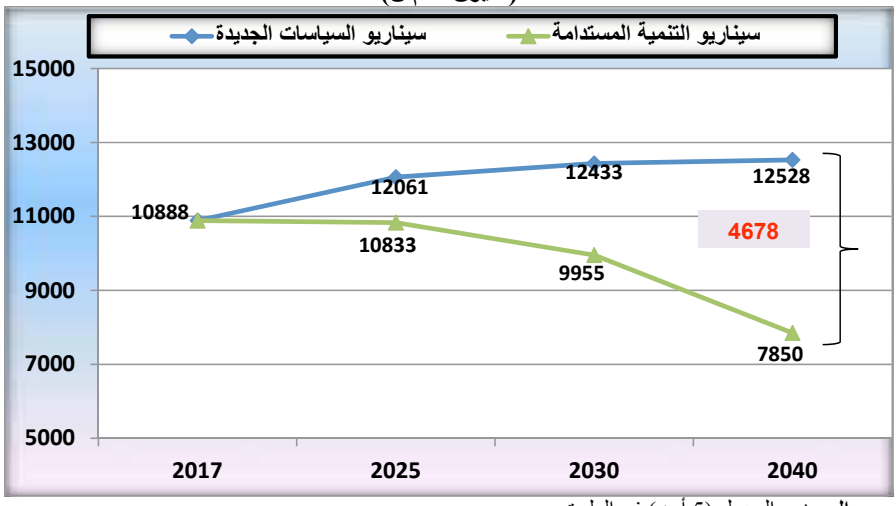
المصدر: الجدول (4-ب) في الملحق.

ثالثاً: مقارنة توقعات سيناريو السياسات الجديدة مع توقعات سيناريو التنمية المستدامة لمعرفة انعكاسات الأخير على مزيج الطاقة المستهلكة على المستوى العالمي.

1. مقارنة التوقعات المتعلقة بإجمالي الطلب على مصادر الطاقة الأولية.

يختلف مزيج الطاقة المستهلكة وكذلك حصة كل مصدر من المصادر المختلفة التي يحتويها هذا المزيج طبقاً لسيناريو التوقعات المتبع. فبحسب سيناريو السياسات الجديدة يتوقع أن ترتفع حصة **الوقود الاحفوري** من 10.9 مليار ط م ن عام 2017 إلى 12.5 مليار ط م ن عام 2040. فيما يتوقع أن تنخفض الحصة إلى 7.8 مليار ط م ن بحسب سيناريو التنمية المستدامة، ومن ثم فإن الطلب العالمي على الوقود الاحفوري بحسب سيناريو التنمية المستدامة سيكون أقل مقارنة بسيناريو السياسات الجديدة بمقدار 4.7 مليار ط م ن، كما يوضح الشكل (35):

الشكل (35)
مقارنة تطور الطلب المتوقع على الوقود الاحفوري (2017 – 2040)، وفق السيناريو (مليون ط م ن)

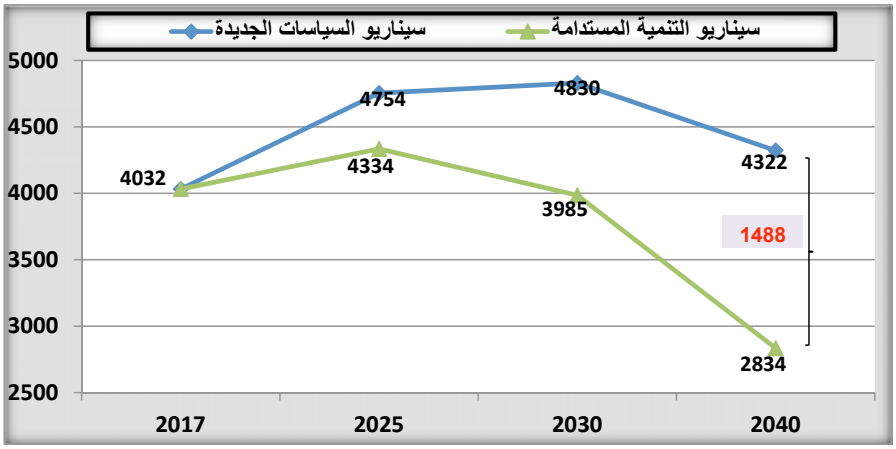


المصدر: الجدول (5 أ-هـ) في الملحق.

ومن ضمن أنواع الوقود الاحفوري، وبحسب سيناريو السياسات الجديدة، من المتوقع أن يرتفع الطلب العالمي على **النفط** من 4.0 مليار ط م ن (أي ما يعادل 80 مليون ب/ي) عام 2017 الى نحو 4.3 مليار ط م ن (أي ما يعادل 86 مليون ب/ي) عام 2040، وفى

المقابل يتوقع أن ينخفض الطلب ليصل إلى 2.8 مليار ط م ن (أي ما يعادل 56 مليون ب/ي) بحسب سيناريو التنمية المستدامة، ومن ثم فإن الطلب العالمي على النفط بحسب سيناريو التنمية المستدامة سيكون أقل مقارنة بسيناريو السياسات الجديدة بمقدار 1.5 مليار ط م ن (أي ما يعادل 30 مليون ب/ي) ، كما يوضح الشكل (36):

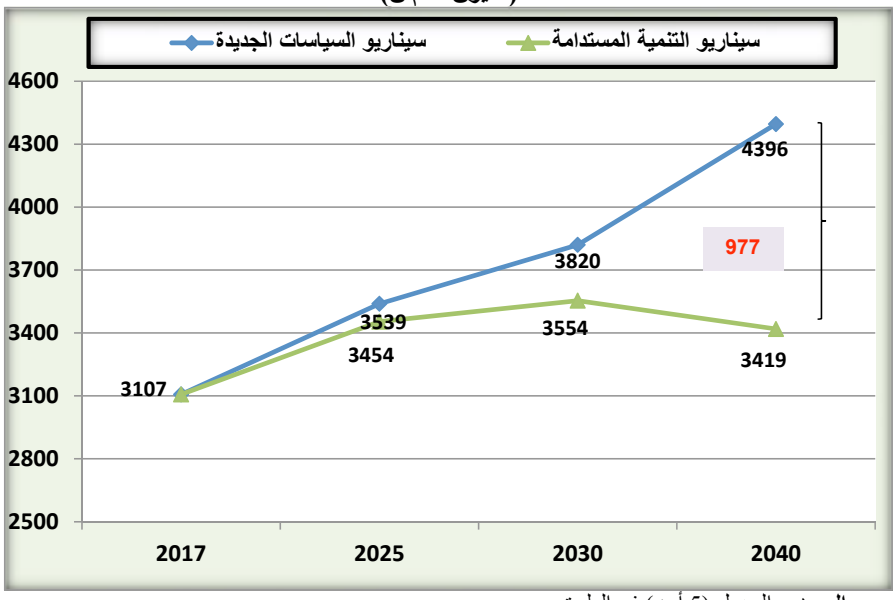
الشكل (36)
مقارنة تطور الطلب المتوقع على النفط (2017 – 2040)، وفق السيناريو (مليون ط م ن)



المصدر: الجدول (5 أ-هـ) في الملحق.

وبالنظر إلى **الغاز الطبيعي**، يتوقع أن يرتفع الطلب عليه بالقيمة المطلقة في كلا السيناريوهين. فبحسب سيناريو السياسات الجديدة تشير التوقعات الى ارتفاع الطلب على الغاز الطبيعي من 3.1 مليار ط م ن عام 2017 الى 4.4 مليار ط م ن في عام 2040. كما يتوقع أيضاً أن يرتفع الطلب العالمي عليه ليصل إلى 3.4 مليار ط م ن بحسب سيناريو التنمية المستدامة، ومن ثم فإن الارتفاع في الطلب العالمي على الغاز الطبيعي بحسب سيناريو التنمية المستدامة سيكون بمعدل أقل مقارنة بسيناريو السياسات الجديدة بمقدار 977 مليون ط م ن، كما يوضح الشكل (37):

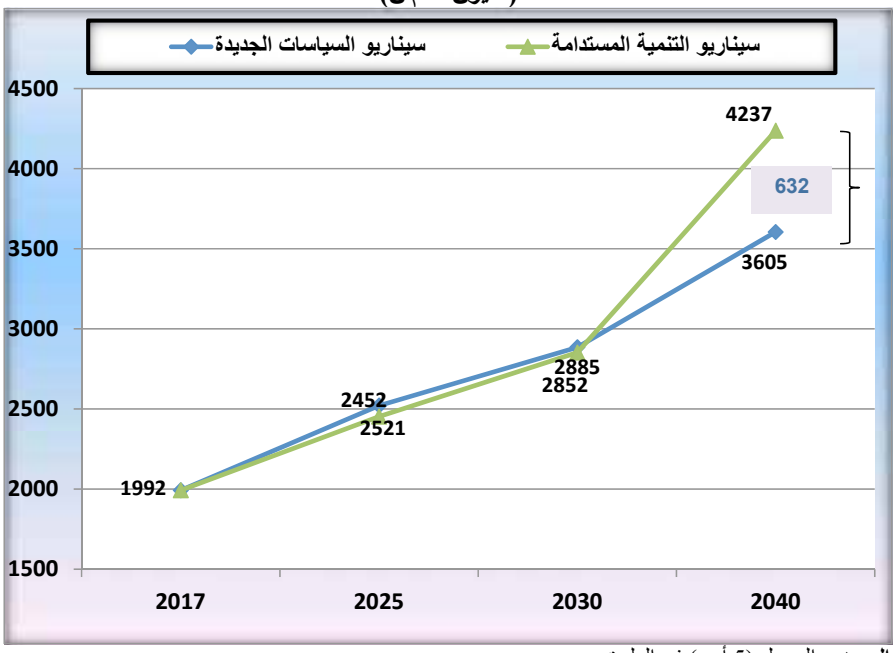
الشكل (37)
مقارنة تطور الطلب المتوقع على الغاز الطبيعي (2017 – 2040)، وفق السيناريو
(مليون ط م ن)



المصدر: الجدول (5 أ-هـ) في الملحق.

وفيما يخص **الطاقات المتجددة** (الطاقة الكهرومائية والطاقة الحيوية والطاقات المتجددة الأخرى) فمن المتوقع أن تزداد من 2 مليار ط م ن عام 2017 الى 3.6 مليار ط م ن عام 2040 وفقا لسيناريو السياسات الجديدة، كما يتوقع أيضاً أن ترتفع هذه الحصة لتصل إلى 4.2 مليار ط م ن بحسب سيناريو التنمية المستدامة، ومن ثم فإن الارتفاع في الطلب العالمي على الطاقات المتجددة بحسب سيناريو التنمية المستدامة سيكون بمعدل أكبر مقارنة بسيناريو السياسات الجديدة بمقدار 632 مليون ط م ن، كما يوضح الشكل (38):

الشكل (38)
مقارنة تطور الطلب المتوقع على الطاقات المتجددة* (2017 – 2040)، وفق السيناريو (مليون ط م ن)

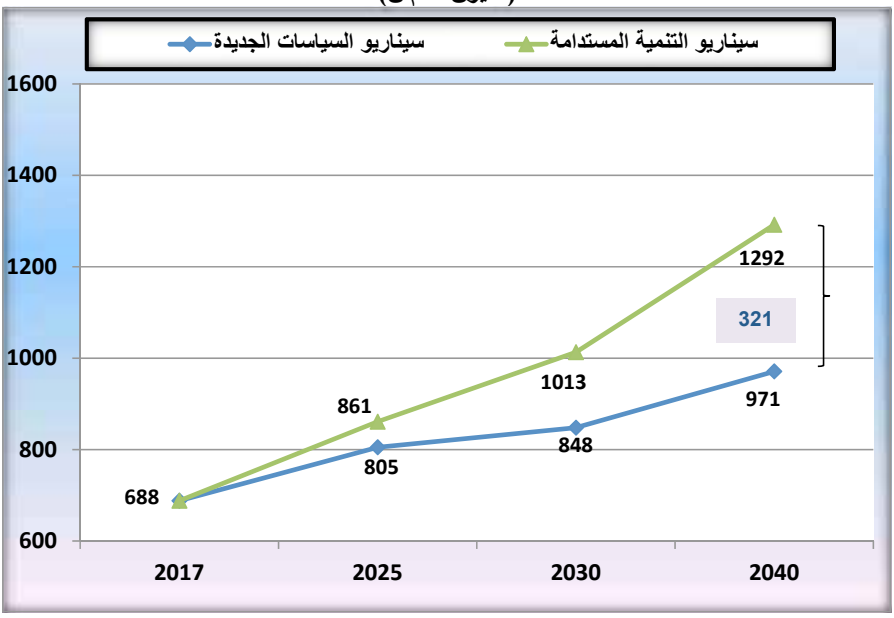


المصدر: الجدول (5 أ-هـ) في الملحق.

* تشمل الطاقة الكهرومائية والطاقة الحيوية والطاقات المتجددة الاخرى.

وبالنسبة **للطاقة النووية**، من المتوقع أن يرتفع الطلب العالمي على هذا المصدر من 688 مليون ط م ن في عام 2017 الى 971 مليون ط م ن عام 2040 وفقا لسيناريو السياسات الجديدة، كما يتوقع أيضاً ان يرتفع الطلب ليصل إلى 1.3 مليار ط م ن بحسب سيناريو التنمية المستدامة، ومن ثم فإن الارتفاع في الطلب العالمي على الطاقة النووية بحسب سيناريو التنمية المستدامة سيكون بمعدل أكبر مقارنة بسيناريو السياسات الجديدة بمقدار 321 مليون ط م ن، كما يوضح الشكل (39):

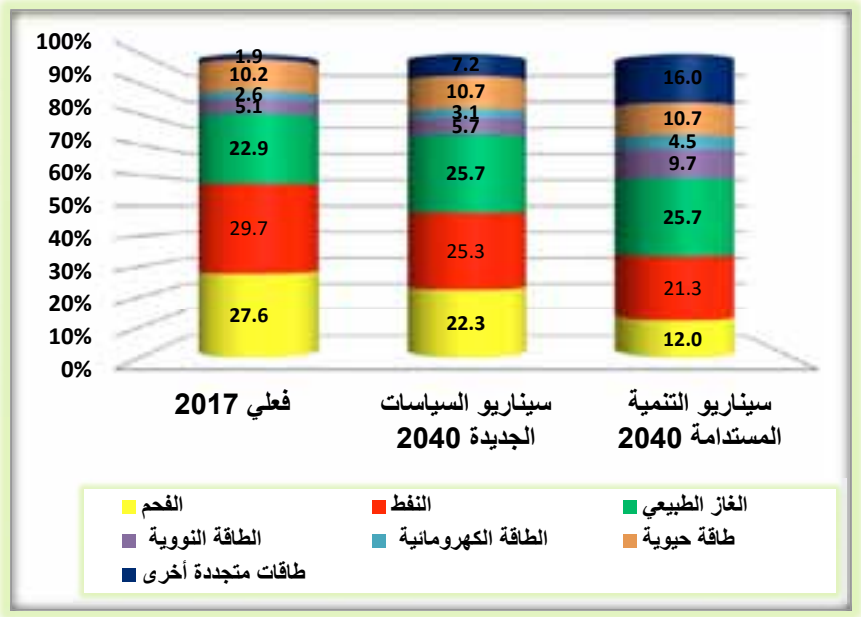
الشكل (39)
مقارنة تطور الطلب المتوقع على الطاقة النووية (2017 – 2040)، وفق السيناريو (مليون ط م ن)



المصدر: الجدول (5 أ-هـ) في الملحق.

وما يمكن استنتاجه من خلال مقارنة نتائج سيناريو السياسات الجديدة مع سيناريو التنمية المستدامة، أن حصة الوقود الاحفوري (نفط وفحم وغاز طبيعي) ستظل مهيمنة على مزيج الطاقة المستهلكة عالميا في كلا السيناريوهين وذلك على الرغم من الانخفاض في حصته من 80.2% عام 2017 إلى 73.3% عام 2040 بحسب سيناريو السياسات الجديدة، وإلى 59% بحسب سيناريو التنمية المستدامة ، مقابل ارتفاع حصة الطاقات المتجددة من 14.7% عام 2017 إلى 21% عام 2040 بحسب سيناريو السياسات الجديدة و إلى 31.2 % بحسب سيناريو التنمية المستدامة، كما يوضح الشكل (40):

الشكل (40)
مقارنة تطور مزيج الطاقة الأولية المستهلكة عالمياً عام 2040، وفق السيناريو (%)



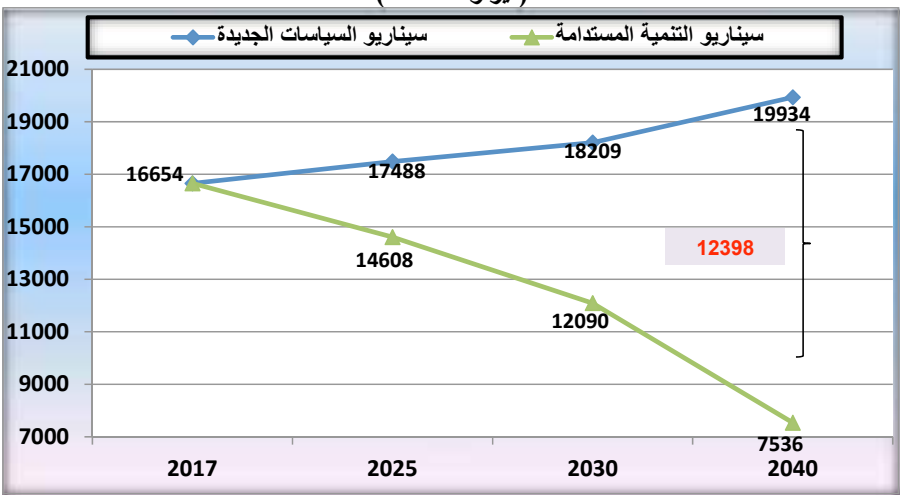
المصدر: الجدول (6) في الملحق.

2. مقارنة توقعات الطلب على مصـــادر الوقود المختلفة في قطاع توليد الطاقة الكهربائية بحسب السيناريوهين

يصل إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة في الوقت الحاضر بإستخدام مصادر الوقود المختلفة حوالي 25642 تيرا وات ساعة، ويستحوذ الوقود الاحفوري على النسبة الأكبر من مزيج الطاقة المستهلكة في هذا القطاع والتي وصلت الى 64.9% عام 2017، أي ما يمثل 16654 تيرا وات ساعة، ومن المتوقع وفقاً لسيناريو السياسات الجديدة ان يظل الوقود الاحفوري مهيمنا على هذا القطاع حيث سترتفع الكميات المستهلكة منه في هذا القطاع بمعدل سنوي 0.8% خلال الفترة (2017-2040) ليصل 19934 تيرا وات ساعة عام 2040 ما يشكل 49.3% من الإجمالي.

وفى المقابل من المتوقع أن تنخفض الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الوقود الاحفوري بانخفاض سنوي معدله 3.4% لتصل إلى 7536 تيرا وات ساعة ما يشكل 20.3% من إجمالي عام 2040 وفقاً لسيناريو التنمية المستدامة. ومن ثم فإن الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الوقود الاحفوري بحسب سيناريو التنمية المستدامة ستكون أقل مقارنة بسيناريو السياسات الجديدة بمقدار 12396 تيرا وات ساعة، كما يوضح الشكل (41):

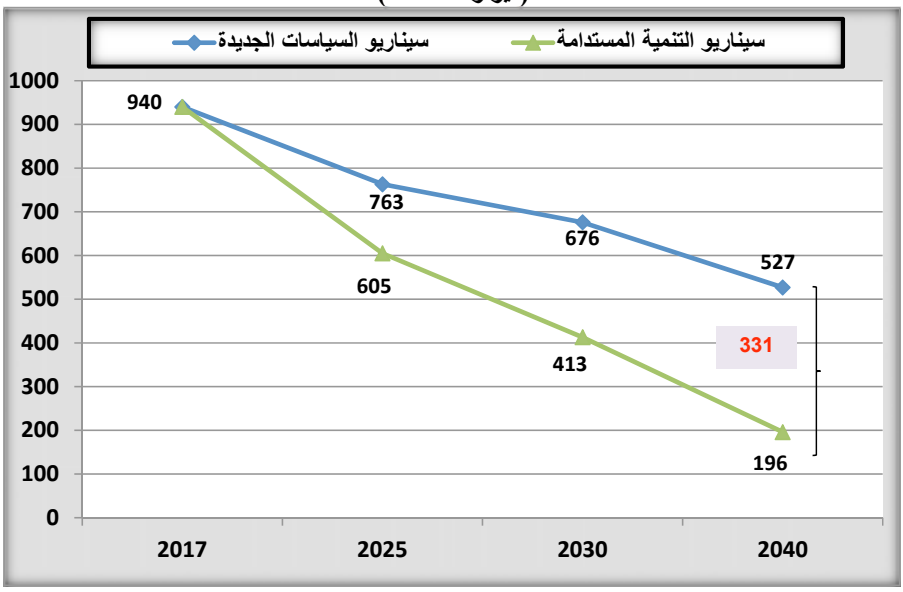
الشكل (41)
مقارنة تطور الطلب المتوقع على الوقود الاحفوري في قطاع توليد الطاقة الكهربائية (2017 – 2040)، وفق السيناريو
(تيراوات ساعة)



المصدر: الجدول (7أ-هـ) في الملحق.

ويتوقع انخفاض الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام **النفط** في كلا السيناريوهين حيث من المتوقع أن تنخفض من 940 تيرا وات ساعة عام 2017 إلى 527 تيرا وات ساعة عام 2040 بحسب سيناريو السياسات الجديدة، وإلى 196 تيرا وات ساعة فقط بحسب سيناريو التنمية المستدامة، ومن ثم فإن الانخفاض في الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام النفط بحسب سيناريو التنمية المستدامة سيكون بمعدل أكبر مقارنة بسيناريو السياسات الجديدة بمقدار 331 تيرا وات ساعة، كما يوضح الشكل (42):

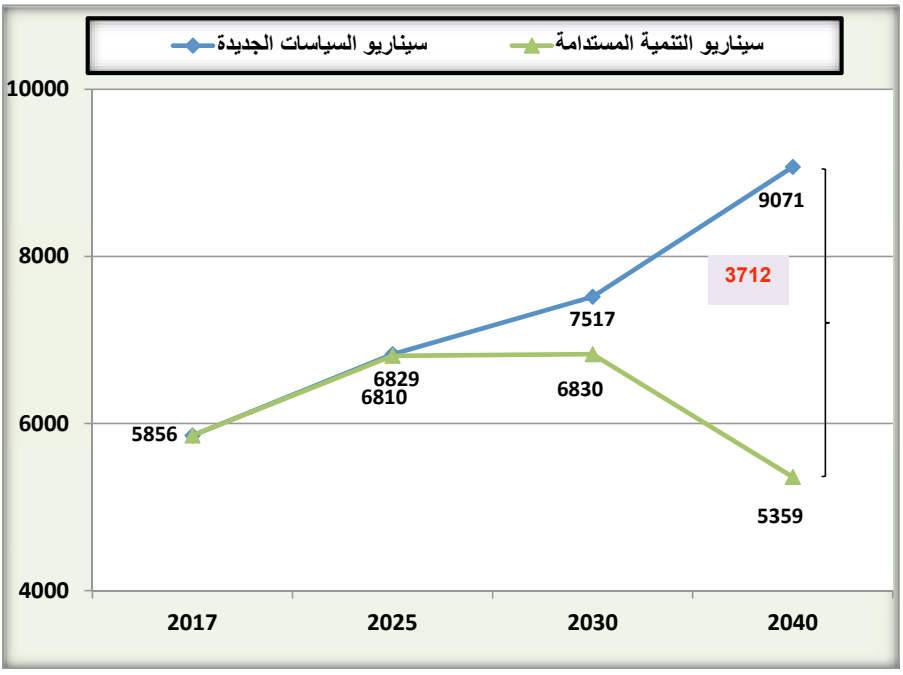
الشكل (42)
مقارنة تطور الطلب المتوقع على النفط في قطاع توليد الطاقة الكهربائية (2017 – 2040)، وفق السيناريو
(تيراوات ساعة)



المصدر: الجدول (7أ-هـ) في الملحق.

وبحسب سيناريو السياسات الجديدة يتوقع ارتفاع الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام **الغاز الطبيعي** من 5856 تيرا وات ساعة عام 2017 إلى 9071 تيرا وات ساعة عام 2040، ويتوقع انخفاضها إلى 5359 تيرا وات ساعة بحسب سيناريو التنمية المستدامة، ومن ثم فإن الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الغاز الطبيعي بحسب سيناريو التنمية المستدامة سيكون بمعدل أقل مقارنة بسيناريو السياسات الجديدة بمقدار 3712 تيرا وات ساعة، كما يوضح الشكل (43):

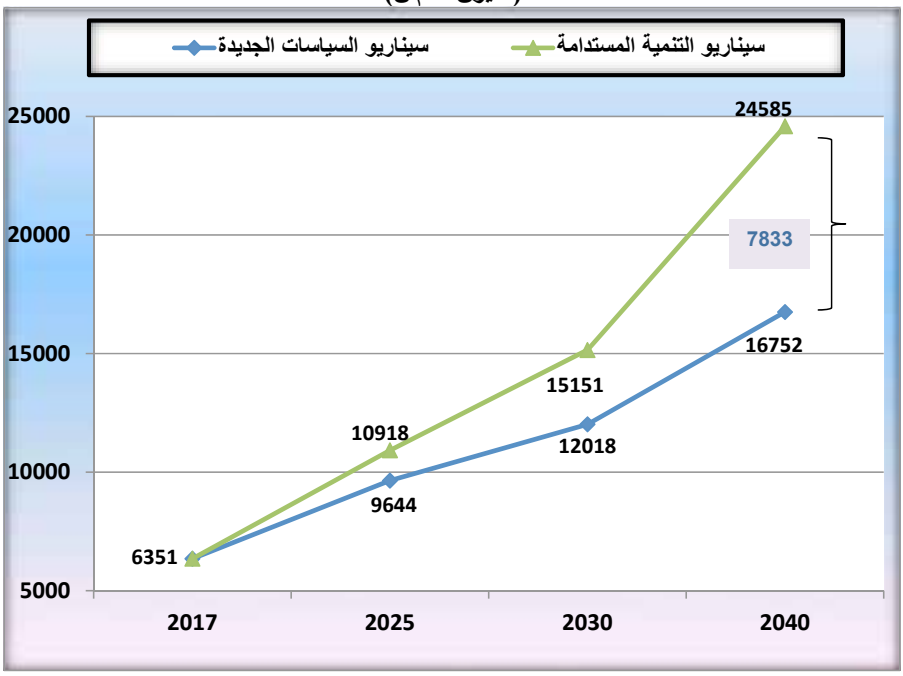
الشكل (43)
مقارنة تطور الطلب المتوقع على الغاز الطبيعي في قطاع توليد الطاقة الكهربائية (2017 – 2040)، وفق السيناريو
(تيراوات ساعة)



المصدر: الجدول (7أ-هـ) في الملحق.

كما أنه بحسب سيناريو السياسات الجديدة فمن المتوقع ارتفاع الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام **الطاقات المتجددة** (الطاقة الكهرومائية والطاقة الحيوية والطاقات المتجددة الأخرى) من 6351 تيرا وات ساعة عام 2017 إلى 16752 تيرا وات ساعة عام 2040، كما يتوقع أيضاً ارتفاعها إلى 24585 تيرا وات ساعة بحسب سيناريو التنمية المستدامة، ومن ثم الارتفاع في الطاقة الكهربائية المولدة بحسب سيناريو التنمية المستدامة سيكون بمعدل أكبر مقارنة بسيناريو السياسات الجديدة بمقدار 7833 تيرا وات ساعة، كما يوضح الشكل (44):

الشكل (44)
مقارنة تطور الطلب المتوقع على الطاقات المتجددة* في قطاع توليد الطاقة الكهربائية (2017 – 2040)، وفق السيناريو
(مليون ط م ن)

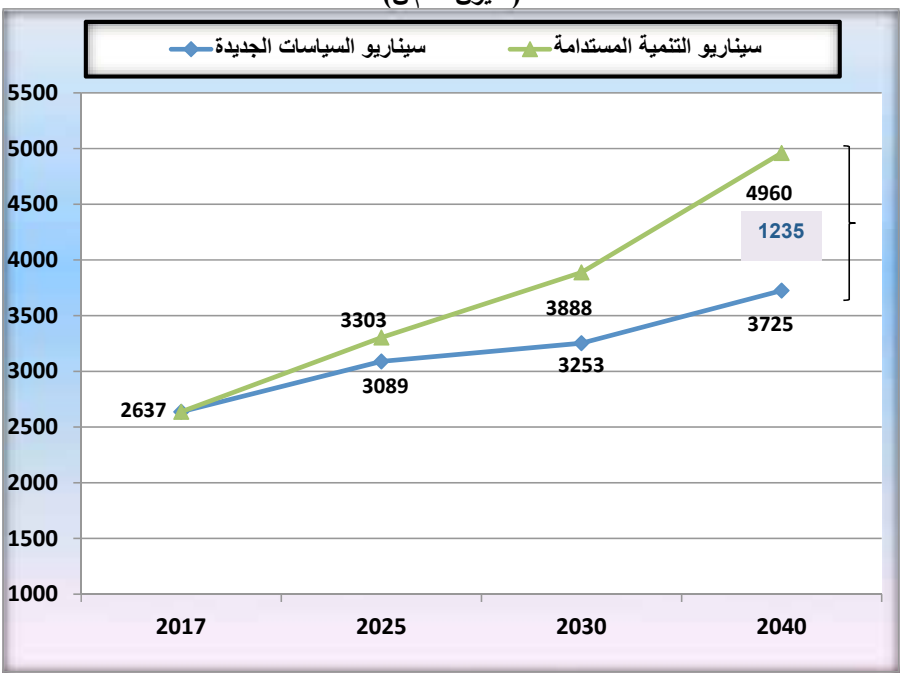


المصدر: الجدول (7أ-هـ) في الملحق.

* تشمل الطاقة الكهرومائية والطاقة الحيوية والطاقات المتجددة الاخرى.

ويتوقع ايضـاً بحسـب سـيناريو السـياسـات الجديدة ارتفاع الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام **الطاقة النووية** من 2637 تيرا وات ساعة عام 2017 إلى 4960 تيرا وات ساعة عام 2040 بحسب سيناريو التنمية المستدامة، كما يتوقع أيضاً ارتفاعها إلى 3726 تيرا وات ساعة بحسب سيناريو السياسات الجديدة، ومن ثم فإن الارتفاع في الطاقة الكهربائية المولدة بحسـب سـيناريو التنمية المسـتدامة سـيكون بمعدل أكبر مقارنة بسـيناريو السـياسـات الجديدة بمقدار 1235 تيرا وات ساعة، كما يوضح الشكل (45):

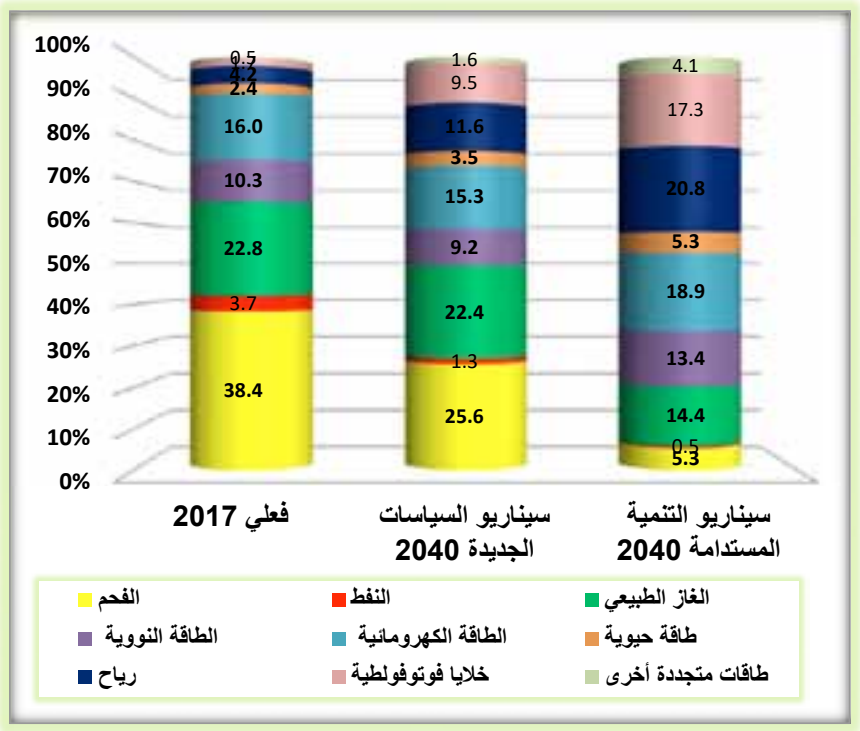
الشكل (45)
مقارنة تطور الطلب المتوقع على الطاقة النووية في قطاع توليد الطاقة الكهربائية (2017 – 2040)، وفق السيناريو
(مليون ط م ن)



المصدر: الجدول (7أ-هـ) في الملحق.

وما يمكن استنتاجه من خلال تحليل نتائج كل من سيناريو السياسات الجديدة وسيناريو التنمية المستدامة، أن الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الوقود الاحفوري ستنخفض من 64.9% عام 2017 إلى 49.3% بحسب سيناريو السياسات الجديدة ، و الى 20.3% وفق سيناريو التنمية المستدامة خلال عام 2040، ويتوقع ان ترتفع حصة الطاقة الكهربائية المولدة باستخدام الطاقات المتجددة بشكل ملحوظ من 24.8% في عام 2017 إلى 41.5% بحسب سيناريو السياسات الجديدة ، و الى 66.3% وفق سيناريو التنمية المستدامة خلال عام 2040،، كما يوضح الشكل (46):

الشكل (46)
مقارنة تطور المزيج المتوقع لمصادر الطاقة المستهلكة في قطاع توليد الطاقة الكهربائية، وفق السيناريو %



المصدر: الجدول (8) في الملحق.

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 (2017-2040), 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 2000-2017. 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 1 **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 1 **113**

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 170 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)