



منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول
أوابك

النُّفُط والتَّعَاوُنُ الْعَرَبِيُّ

**عدد خاص
بجائزة أوابك
العلمية لعام
2020**

المجلد السابع والأربعون 2021 - العدد 178

ثلاثة بحوث تتقاسم الجائزة الثانية لمنظمة أوابك

■ الآفاق المستقبلية للطاقة المتجدد، وانعكاساتها على الصادرات النفطية في الدول الأعضاء لمنظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

د. سالم بيتس
المهندسة منال بن سبت
المهندسة منى عبد الملك
المهندسة دلال عبد المحسن الاشوك

■ دور تقنية النانو في الحد من التأثيرات البيئية: استخدام الجسيمات النانوية البولي إلکتروليت متعددة الطبقات لتحسين إنتاجية الآبار النفطية

د. مبارك محمد الهاجري

■ أنشطة إستكشاف وإنتاج النفط والغاز : تقييم التأثيرات المحتملة لقطاع الإستكشاف والإنتاج والقطاع اللاحق على البيئة

د. جمال حربى



منظمة أوابك تطلق جائزتها العلمية



لعام 2022
حوال

« تقنيات نزع الكربون في الصناعة البترولية،
والاقتصاد الدائري للكربون »



منظمة أوابك تطلق جائزتها العلمية لعام 2022

حول

«تقنيات نزع الكربون في الصناعة البترولية،
والاقتصاد الدائري للكربون»

يسر منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوابك" الاعلان عن جائزتها العلمية لعام 2022 التي تقرر أن يكون مجال البحث حول "تقنيات نزع الكربون في الصناعة البترولية، والاقتصاد الدائري للكربون" وذلك بناء على قرار المكتب التنفيذي للمنظمة رقم 1/162 بتاريخ 18 مايو 2022.

يأتي إطلاق جائزة أوابك للبحث العلمي لعام 2022 استمراً لسياسة المنظمة بشأن تشجيع الباحثين بتخصيص جائزتين تقديريتين كل سنتين، قيمة الجائزة الأولى تتراوح ما بين سبعة إلى عشرة آلاف دينار كويتي، (أي ما يعادل نحو 32.5 ألف دولار أمريكي)، وقيمة الجائزة الثانية خمسة آلاف دينار كويتي، (أي ما يعادل حوالي 16 ألف دولار أمريكي)، وبناءً على هزار المكتب التنفيذي المنصوص عليه في القرار رقم 1/162 بتاريخ 18 مايو 2022، فقد تقرر أن يكون مجال البحث العلمي الحصوٌ على جائزة عام 2022 بعنوان:

«تقنيات نزع الكربون في الصناعة البترولية،
والاقتصاد الدائري للكربون»



ينطلق اهتمام الأمانة العامة للمنظمة بمجال "تقنيات نزع الكربون في الصناعة البترولية، والاقتصاد الدائري للكربون" في إطار الجهود العالمية الرامية إلى الحد من الانبعاثات الضارة بالبيئة، ويتركز الاهتمام بشكل خاص على الصناعات البترولية بكافة مراحلها لتمكنها من تلبية متطلبات نزع الكربون مع المحافظة على ريعيتها ودورها الحيوي في توفير المنتجات البترولية النظيفة بأسعار مقبولة وعادلة. ويتناول مجال الجائزة العلمية لمنظمة أوابك لعام 2022 البحث في التقنيات التي تساعد الصناعة البترولية بكافة مراحلها بدءاً من عمليات الحفر والإنتاج، مروراً بالتكثير والتكرير والتوزيع، على خفض انبعاثات الكربون وتحقيق إنتاج خالٍ من الانبعاثات. فضلاً عن الاستفادة من تطبيق مبدأ الاقتصاد الدائري للكربون كوسيلة للحد من آثار الانبعاثات الكربونية.

وقد تم تحديد يوم 31 مايو 2023 كآخر موعد لاستلام الأبحاث المشاركة لنيل الجائزة، وستمنح الجوائز لأصحاب البحوث الفائزة من كافة الجنسيات العربية والأجنبية التي يتم اختيارها من قبل لجنة التحكيم العلمية المشكلة برئاسة الأمين العام للمنظمة علي بن سبت وعضوية مجموعة من خبراء الصناعة البترولية من داخل وخارج الأمانة العامة للمنظمة، وبإمكان الراغبين بالمشاركة الإطلاع على شروط الجائزة من خلال مسح الكود التالي :





النفط

والتعاون العربي

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

الاشتراك السنوي : 4 أعداد (ويشمل أجور البريد)

البلدان العربية

8 د. ك أو 25 دولاراً أمريكياً	للأفراد :
12 د.ك أو 45 دولاراً أمريكياً	للمؤسسات :

البلدان الأخرى

30 دولاراً أمريكياً	للأفراد :
50 دولاراً أمريكياً	للمؤسسات :

الاشتراكات باسم : منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

النفط والتعاون العربي



علي سبت بن سبت

الأمين العام لمنظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)

رئيس التحرير

عبد الفتاح دندي

مدير الإدارة الاقتصادية والمشرف على إدارة الاعلام والمكتبة
منظمة أوابك

مدير التحرير

م. عماد مكي
مدير إدارة الشؤون الفنية
منظمة أوابك

هيئة التحرير

د. داود باهزاد
مدير إدارة العلوم والتكنولوجيا
معهد الكويت للأبحاث العلمية

د. بلقاسم العباس
كبير المستشارين
المعهد العربي للتخطيط

قواعد النشر في المجلة

تعريف بالمجلة واهدافها

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

الأبحاث

كافحة الأبحاث التي تتعلق بالنفط والغاز والطاقة والتي تهدف إلى الحصول على إضافات جديدة في حقل الفكر الاقتصادي 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 مواجهتها ذات صلة بالنفط والغاز والطاقة، كما يشترط استئذان الجهة التي أوفدته للمؤتمر أو المؤسسات المشرفة عليه لكي تسمح له بنشرها في مجلتنا. وأن لا تزيد عدد صفحات التقرير عن 10 صفحات مع كافة الأشكال والخرائط والجدواں إن وجدت.

شروط البحث

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

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

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

المحتويات

الأبحاث

الآفاق المستقبلية للطاقة المتجددة، وانعكاساتها على الصادرات النفطية في الدول الاعضاء لمنظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

د. سالم بيدس

المهندسة منى عبد الملك

9

المهندسة منال بن سبت

المهندسة دلال عبد المحسن الاشوك

دور تقنية النانو في الحد من التأثيرات البيئية: استخدام الجسيمات النانوية البولي إلكتروليت متعددة الطبقات لتحسين إنتاجية الآبار النفطية

91

د. مبارك محمد الهاجري

أنشطة استكشاف وإنتاج النفط والغاز : تقييم التأثيرات المحتملة لقطاع الاستكشاف والإنتاج اللاحق على البيئة

11

د. جمال حربى

البحث الأول

**الآفاق المستقبلية للطاقات المتجددة، وانعكاساتها على
ال الصادرات النفطية في الدول الاعضاء لمنظمة القطران
العربية المصدرة للبترول**

إعداد :

**د. سالم بيدهس
المهندسة منى عبد الملك**

**المهندسة منال بن سبت
المهندسة دلال عبد المحسن الاشوك**

الفصل الأول

الإطار العام للدراسة

١-١: ملخص تمهدى

أَدَّت التَّطْوِرَاتُ الْحَالِيَّةُ الَّتِي يَشْهَدُهَا قِطَاعُ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ إِلَى إِزْدِيادِ نِسْبَةِ مُسَاهَمَتِهَا فِي مَزِيجِ الطَّاقَةِ الْعَالَمِيِّ وَخَاصَّةً فِي مَجَالِ تَوْلِيدِ الطَّاقَةِ الْكَهْرَبَائِيَّةِ.

وَلِهَذَا، هَدَفَتْ هَذِهِ الدِّرَاسَةُ إِلَى الْبَحْثِ فِي أَثْرِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ عَلَى الإِقْتَصَادِيَّاتِ النَّفْطِيَّةِ لِلِّدُولِ الْأَعْضَاءِ فِي الْأَوَابِكِ، وَالْخُرُوجِ بِتَوْصِيَّاتٍ تُسَاعِدُ الدُّولَ الْأَعْضَاءَ عَلَى التَّكْيُفِ مَعَ هَذِهِ التَّطْوِرَاتِ بِطَرِيقَةٍ تُمْكِنُهَا مِنْ تَقْلِيلِ الْإِنْعَكَاسَاتِ السَّلْبِيَّةِ الْمُتَوَقَّعةِ مِنْ تَغْيِيرِ مَزِيجِ الطَّاقَةِ وَتَأْثِيرِ مَكَانَةِ النَّفْطِ.

هَدَفَتْ الدِّرَاسَةُ أَيْضًا، إِلَى إِيْجَادِ حُلُولٍ عَمَلِيَّةٍ لِلْإِسْتِفَادَةِ مِنِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ وَتَعْزيزِ مَوْقِعِ الدُّولِ الْأَعْضَاءِ الْمُهِمِّ فِي مِيرَانِ الطَّاقَةِ الْعَالَمِيِّ.

تُؤْمِنُ هَذِهِ الْحُلُولُ أَيْضًا، عِدَّةً مَرَازِيَا مِنْهَا زِيادةُ الْمَدْخُولِ وَإِنشَاءُ سُوقِ عَمَلِ جَدِيدٍ وَتَوْفِيرُ فُرَصِّ عَمَلٍ. كَمَا تَعْمَلُ عَلَى تَمْدِيدِ الْعُمُرِ الْإِفْتَرَاضِيِّ لِمَخْزُونِ الْوَقْدِ الْأَحْفَوْرِيِّ وَالْإِحْفَاظِ بِهِ كِإِحْتِياطِيِّ لِلْأَجْيَالِ.

مِنْ أَهْمُمِ مَا خَلِصَتْ إِلَيْهِ الدِّرَاسَةُ، هُوَ ضَرُورَةُ إِتْخَادِ الدُّولِ الْأَعْضَاءِ تَدَابِيرَ إِحْتَرازِيَّةٍ وَحَطْطَوَاتٍ جِدِّيَّةٍ وَمَدْرُوْسَةٍ لِتَعْزِيزِ مَوْقِعِهَا الْمُهِمِّ فِي مِيرَانِ الطَّاقَةِ الْعَالَمِيِّ عَنْ طَرِيقِ تَطْوِيرِ وَإِسْتِغْلَالِ إِمْكَانِيَّاتِهَا الْوَفِيرَةِ مِنِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ، بِجَانِبِ إِسْتِغْلَالِ مَوَارِدِ الْوَقْدِ الْأَحْفَوْرِيِّ.

بِالإِضَافَةِ إِلَى حَثِّ الدُّولِ الْأَعْضَاءِ عَلَى ضَرُورَةِ الإِطْلَاعِ عَلَى السِّيَاسَاتِ الْمُسْتَقْبِلِيَّةِ لِلِّدُولِ الصَّنَاعِيَّةِ فِي مَجَالِ تَحْدِيدِ نِسْبَتِ إِسْتِهلاَكِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ وَدِرَاسَةِ التَّشْرِيعَاتِ الْبَيْئِيَّةِ وَنِسْبَةِ إِزْدِيادِ صَرَائِبِ الإِنْبَاعِ الْكَرْبُوْنِيِّ عَلَى الْوَقْدِ الْأَحْفَوْرِيِّ.

يَجِبُ أَيْضًا، أَنْ تَقْوِمُ الدُّولَ الْأَعْضَاءُ بِالتَّعَاوُنِ وَالتَّنْسِيقِ فِيمَا بَيْنَهَا لِلْوُصُولِ إِلَى حُلُولٍ تَضْمَنُ الْمُوازِنَةَ بَيْنَ تَحْقِيقِ النُّمُوْءِ الْإِقْتَصَادِيِّ وَتَحْكِيفِ الْعِبْءِ الْبَيْئِيِّ.

آخِيرًا، يَجِبُ التَّحْوُظُ مِنْ إِحْتماليةِ ضَعْفِ الْطَّلَبِ الْعَالَمِيِّ عَلَى النَّفْطِ فِي الْمُسْتَقْبِلِ، بِاغْتِنَامِ فُرْصَةِ إِرْتِفَاعِ الْأَسْعَارِ الْحَالِيَّةِ وَإِسْتِثْمَارِهَا فِي تَطْوِيرِ إِقْتَصَادِيَّاتِهَا بِصُورَةٍ مُسْتَدَامَةٍ.

عِمِدتْ هَذِهِ الْدِرَاسَةُ إِلَى الْبَحْثِ فِي مَوْضُوعِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدةِ، مُرْتَكِزًةً عَلَى ثَلَاثَةِ مُحاوِرٍ رَئِيسِيَّةٍ؛ الْمِحْوَرُ الْأَوَّلُ هُوَ الْمِبَادِيَّاتُ الْعِلْمِيَّةُ وَالْأُسُسُ الْهَنْدِسِيَّةُ، الْمِحْوَرُ الثَّانِيُّ هُوَ الْإِسْتِرَاتِيجِيَّاتُ وَآفَاقِ التَّولِيدِ الْكَهْرِبَائِيِّ، وَالْمِحْوَرُ الثَّالِثُ هُوَ التَّوَقُّعَاتُ وَالْإِنْعَكَاسَاتُ الْمُحْتمَلَةُ.

يُأْمِلُ الْبَاحِثُ أَنْ تُسَاهِمَ هَذِهِ الْدِرَاسَةُ فِي تَسْلِيطِ الضَّوءِ عَلَى مَفْهُومِ وَتِقْنِيَّاتِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدةِ وَآثَارِهَا الْبَيْئِيَّةِ وَالْإِنْعَكَاسَاتِ الْمُحْتمَلَةِ عَلَى مَكَانَةِ النَّفْطِ فِي مَزِيجِ الطَّاَقةِ الْعَالَمِيِّ مِنْ مَنْظُورِ مَصْلَحةِ الدُّولِ الْأَعْضَاءِ فِي مُنَظَّمةِ الْأَوَابِكِ.

الكلمات الدالة: أوابك، الطاقات المتجددة، مزيج الطاقة العالمي، الطاقة الشمسية، طاقة الرياح، الوقود الأحفوري.

٢-١: مقدمة

يشهد قطاع الطّاقات المُتجدّدة في العالم إنتشاراً واسعاً ونمواً سريعاً، وبالأخص قطاع الطّاقة الشمسية وطاقة الرياح. فحسب مؤشرات وكالة الطّاقة الدوليّة فإن حجم الطلب على الطّاقات المُتجدّدة سيُسجّل أعلى معدّلات نموًّ، خلال الفترة ٢٠١٣-٢٠٤٠، ليبلغ ما بين ٥,٦ إلى ٨,٥ في المائة سنوياً. وبذلك من المتوقّع أن تَبلغ حصة الطّاقات المُتجدّدة ما بين ٣,٥ إلى ٩,٧ في المائة من إجمالي الطلب العالمي على الطّاقة (أوابك، ٢٠١٦).

لذلك، من المتوقّع أن يزداد إنتشار مصادر الطّاقة المُتجدّدة في السنوات القادمة لأسباب عديدة، أهمها التّوجّه العام لدى الدول المُستهلكة نحو مصادر طاقة مُنخفِضة الإنبعاثات وتَوافر الدعم الحكومي والحوافر الضريبيّة.

الطاقة المُتجدّدة هي التي تم إسْتِحْدَاثُها دون إستنفاد أو التّسبُب بضرر كبير على البيئة. تُسمّى أيضاً، بالطاقة البديلة أو المستدامة أو الخضراء، مثل الطّاقة الشّمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية والطاقة الحرارية الجُوّفِيَّة وطاقة الكُتلَة الحَيَويَّة والطاقة البحريّة. تَتميّز الطّاقة المُتجدّدة عن الوقود الأحفوري مثل الفحم والنّفط والغاز الطبيعي بِأنَّها لا تَنْضَب، حيث أنها تَتجَدّد في الطبيعة بِاستمرار ودون تَدْخُل من الإنسان.

تتطلّب دراسة مجال الطّاقات المُتجدّدة والنظيفة الإلمام بالعديد من العلوم المُختلَفة، لفهم طريقة إنتاجها وكيفية عملها. كما تتطلّب الدّراسة التعريف بِأنواعها وإستعراض أمثلة عنها. تَبُرُّز أهمية هذه الطّاقات، ومُنافَسَتها المُتزايدة للوقود الأحفوري في سوق الطّاقة العالمي، من خلال معرفة الآثار البيئية والإقتصادية المُترتبة على إستخدامها، مُقارنةً بالآثار البيئية والإقتصادية المُترتبة على إستخدام الوقود الأحفوري.

من ناحية أخرى، يَجُمّع عن إستغلال الطّاقات المُتجدّدة عدة تحديات، مثل عدم وصول تقنيات الطّاقة المُتجدّدة إلى مراحل ناضجة ومستويات إنتاج مُستقرّة وتکاليف مُنخفِضة.

بالإضافة إلى، أن قطاع الطّاقات المُتجدّدة لا يزال يُواجه تحديات تقنية يجب معالجتها مثل إنقطاع الطّاقة الشّمسية ليلاً أو عند وجود الغيم أو الغبار، وأيضاً التّغيير المُستمر في ظروف الرياح. وهذا يتطلّب تطوير تقنيات جديدة لتخزين الطّاقة كما يتطلّب بناء شبكة كهربائية أكثر مرنة من النظام التقليدي قادرّة على إستيعاب إمداد غير مُنْظَم للكهرباء.

ولكن بعد التغلب على معظم هذه التحديات في المستقبل القريب، سيصبح بمقدور قطاع الطاقات المتجددة النجاح في تحقيق الموارنة بين تلبية إحتياجات الطاقة من جهة، التي تشمل التموي الاقتصادي والإستهلاك الفردي، وبين تخفيف العبء البيئي والوصول إلى التنمية المستدامة من جهة أخرى.

فمقارنةً بالوقود الأحفوري، لا تسبّب مصادر الطاقات المتجددة، آثار بيئية سلبية بدرجة كبيرة، مثل: • إنبعاثات الكربون وإنبعاثات غازات الدفيئة • تلوث الهواء والماء • إرتفاع درجات الحرارة وإرتفاع منسوب المياه • زيادة العواصف العبارية والتّصحر • الأضرار التي تلحق بالصحة العامة • فقدان الحياة البرية والمُوايِل • إستنزاف مصادر المياه والأراضي الزراعية.

تَوَجَّهَ الدُّولَ الْأَعْضَاءَ فِي الْأَوَابِكَ حَالِيَا، كَسَائِرِ مُعْظَمِ دُولِ الْعَالَمِ، إِلَى الإِسْتِثْمَارِ وَالتَّطْبِيرِ فِي مَجَالِ مَصَادِرِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ وَالنَّظِيفَةِ وَإِلَى زِيادةِ التَّنَوُّعِ فِي مَزِيجِ الطَّاقَةِ. حِيثُ أَعْلَنَتْ بَعْضُ الدُّولِ الْأَعْضَاءِ أَهْدَافَهَا الإِسْتَرَاتِيجِيَّةِ لِمَسَاهَمَةِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ فِي مَزِيجِ الطَّاقَةِ، تَرَوْحُ بَيْنَ ٤٣٠ إِلَى ٤٠٢٠ فِي الْمَائَةِ، وَرُؤْيَا مُسْتَقْبَلِيَّةٌ تَمَتدُّ مِنْ ٢٠١٦ إِلَى ٢٠٤٠ (أَوَابِكَ، ٢٠١٦).

وقد إتخذت دُولَ الْأَوَابِكَ هَذِهِ الْخُطُوطَ لِمُوَاجَهَةِ الْطَّلَبِ الْمُتَزايدِ عَلَى مَصَادِرِ الطَّاقَةِ وَزِيادةِ الْطَّلَبِ الْمَحْليِّ عَلَيْهَا، وَبِالْأَخْصِ الطَّاقَةِ الْكَهْرَبَائِيَّةِ. حِيثُ سَجَّلَتْ مَجْمُوعَةُ الدُّولِ الْأَعْضَاءِ أَعْلَى مُعَدَّلِ نُمُوٍّ سنويٍّ فِي الْعَالَمِ فِي إِجماليِّ إِسْتِهْلاَكِ الطَّاقَةِ، خَلَالِ الْفَتَرَةِ ١٩٨٠-١٥١٥، وَالْبَالِغِ ٧,٤ فِي الْمَائَةِ. وَأَيْضًا، تُشِيرُ الدِّرَاسَاتُ أَنَّ نِسْبَةَ التَّمُوٰرِ الْمُتَوَقَّعةِ، خَلَالِ الْفَتَرَةِ ٢٠١٥-٢٠٣٥، فِي إِجماليِّ إِسْتِهْلاَكِ الدُّولِ الْأَعْضَاءِ مِنَ النَّفْطِ وَالْغَازِ الطَّبِيعِيِّ حَوَالِي ١,٩ وَ ١,٥ فِي الْمَائَةِ عَلَى التَّوَالِي (أَوَابِكَ، ٢٠١٦).

أَثْبَتَتِ الدِّرَاسَاتُ أَنَّ مَنْطَقَةَ دُولِ الْأَوَابِكَ غَنِيَّةٌ بِمَصَادِرِ الطَّاقَةِ الْمُتَجَدِّدَةِ وَبِالْأَخْصِ الطَّاقَةِ الشَّمْسِيَّةِ وَطَاقَةِ الرِّيَاحِ، لِأَنَّهَا تَقْعُدُ فِي مَنْطَقَةِ الْحِزَامِ الشَّمْسِيِّ، كَمَا تَتَمَتَّعُ بِمَكَانَاتِ جِيدَةٍ فِي مَجَالِ طَاقَةِ الرِّيَاحِ لِتَوْلِيدِ الْكَهْرَبَاءِ.

إِلَّا أَنَّهَا لَمْ تُسْتَغْلِلِ الْإِسْتِغْلَالَ الْأَمْمَلِ إِلَى الْآنِ. فَمَسَاهَمَةِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ فِي مَزِيجِ الطَّاقَةِ بِالنِّسْبَةِ إِلَى الدُّولِ الْأَعْضَاءِ، تُعْتَبَرُ مَتَوَاضِعَةً مُقَارَنَةً بِإِمْكَانِيَّاتِهَا الْوَفِيرَةِ مِنْ تَلِكَ الطَّاقَاتِ. عَلَى سَبِيلِ الْمِثالِ، فِي الْعَامِ ٢٠١٤، لَمْ تَتَجَاهَزِ الطَّاقَةِ الْقُصُوَّى لِصَافِيِّ قُدْرَاتِ تَوْلِيدِ الْكَهْرَبَاءِ مِنَ مَصَادِرِ مُتَجَدِّدَةٍ فِي الدُّولِ الْأَعْضَاءِ ٥,٥ فِي الْمَائَةِ مِنْ إِجماليِّ الطَّاقَاتِ الْقُصُوَّى لِصَافِيِّ قُدْرَاتِ تَوْلِيدِ الْكَهْرَبَاءِ مِنَ مَصَادِرِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ فِي الْعَالَمِ (أَوَابِكَ، ٢٠١٦).

مثال آخر، لم تُشكّل مُساهمة الطّاقات الأخرى، التي تشمل الطّاقات المُتجدّدة والطاقة النّوويّة والفحّم، من إجمالي الطّاقة المستخدمة في الدول الأعضاء أكثر من واحد في المائة عام ٢٠١٥ (أوابك، ٢٠١٦).

لذلك، يبدو الحل المُتمثل في إستغلال مصادر الطّاقة المُتجدّدة بصورة مدرّسة، ونقل التقنيات الخاصة بالتصنيع والتّطوير إلى الدول الأعضاء خياراً إستراتيجيًّا لتأمين وتعزيز مصادر الطّاقة لديها، بما في ذلك إرساء قواعد صناعة الأنظمة في المنطقة، على نهج المواصفات العالمية (الإستراتيجية العربية، ٢٠١٣).

يؤمّن هذا الخيار بالنسبة للدول الأعضاء عدّة مزايا، منها زيادة المدخول وإنشاء سوق عمل جديد وتوفير فرص عمل وخفض تكلفة شبكات التوزيع في المناطق النائية. كما يضمّن تمديد العمر الإفتراضي لمصادر الوقود الأحفوري والإحتفاظ به كمخزون إستراتيجي للأجيال القادمة. ويعتمد التّوقع بأن دخول الطّاقات المُتجدّدة إلى سوق الطّاقة المحلي يتّبع عنه تحرير المزيد من الوقود الأحفوري للتصدير (أوابك، ٢٠١٦). بالإضافة إلى أن مُعظم الدول الأعضاء تدعّم بشكل كبير الوقود الأحفوري المخصص للسوق المحلي.

كل هذه العوامل، تحثّ الدول الأعضاء على إتخاذ خطوات عمليّة وسريعة لتعزيز موقعها المهم في ميزان الطّاقة العالمي عن طريق تطوير وإستغلال إمكانياتها الوفيرة من الطّاقات المُتجدّدة، بجانب إستغلال موارد الوقود الأحفوري.

يجب على الدول الأعضاء أيضًا، العمل على تعزيز السياسات الجاذبة للإستثمار الخاص في هذا القطاع وزيادة الإنفاق على مشاريع الأبحاث والتّطوير بما في ذلك مشاريع البنية التّحتية والمدن الخضراء التي تركّز على مصادر الطّاقات المُتجدّدة.

عليها أيضًا، أن تُنمّي الوعي العام بالطّاقات المُتجدّدة لدى مواطنينها من خلال إنشاء مراكز تدريب وإستحداث التخصصات العلميّة ذات الصلة في مؤسساتها التعليمية. بالإضافة إلى زرع مفاهيم الوعي البيئي والتنمية المستدامة لدى الأجيال الناشئة. أخيراً، مما قد يُسّرع من وتيرة نموّ سوق الطّاقات المُتجدّدة في الأسواق الاستهلاكية للدول الأعضاء تسهيل منح قروض لمشاريع الطّاقات المُتجدّدة وتقديم حوافز وممّيزات وإعفاءات جمّركيّة لدعم المبادرة في إستغلال مصادر الطّاقات المُتجدّدة، مثل إقتناء المنازل المُحتوّية على أنظمة شمسيّة أو إقتناء السيارات الكهربائية أو سيارات الوقود الهيدروجيني.

يَعْتَمِدُ مُسْتَقْبِلُ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ فِي مَزِيجِ الطَّاقَةِ الْعَالَمِيِّ عَلَى عَدَةِ عَوَامِلٍ مُثْلِ التَّطَوُّرِ التَّقْنِيِّ وَدُورِهِ فِي خَفْضِ التَّكَالِيفِ وَالْقَوَانِينِ الْبَيَئِيَّةِ وَالرَّسُومِ الَّتِي تَفْرُضُهَا الدُّولَ الْمُسْتَهْلِكَةَ عَلَى الْوَقْدَ الْأَحْفَوْرِيِّ وَالدُّعْمِ الْمَالِيِّ الْحُكُومِيِّ كَمَا يَعْتَمِدُ أَيْضًا عَلَى الإِتْجَاهَاتِ الْمُسْتَقْبِلِيَّةِ لِأَسْعَارِ النَّفْطِ الْعَالَمِيَّةِ.

يَعْتَمِدُ رُؤْيَاةُ الدُّولِ الْأَعْصَاءِ فِي مُنَظَّمةِ الْأَوَابِكِ عَلَى التَّرْحِيبِ بِزِيادةِ التَّنْوُعِ فِي مَزِيجِ الطَّاقَةِ الْعَالَمِيِّ إِلَّا أَنَّهَا تَرِى أَنَّ يَتَمُّ هَذَا التَّنْوُعُ وَفَقَ آلَيَّاتِ وَأَسَاسِيَّاتِ عَوَامِلِ السُّوقِ التَّقْلِيدِيَّةِ. لَا أَنَّ يَتَمُّ دُعمُ قِطَاعِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ بِطُرُقِ تَؤْدِي إِلَى حَدُوثِ إِنْعَكَاسَاتِ سَلْبِيَّةٍ مُثْلِ دُعْمِ إِسْتَقْرَارِ السُّوقِ بِسَبَبِ غِيَابِ التَّموِيلِ الْلَّازِمِ لِزِيادَةِ الطَّاقَاتِ الْإِنْتَاجِيَّةِ الْنَّفْطِيَّةِ فِي ظَلِّ تَرَادِفِ تَدَفُّقِ الإِسْتِثْمَارِ إِلَى قِطَاعِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ (أَوَابِكُ، ٢٠١٩).

حِيثُ يُتَوَقَّعُ أَنْ يَصِلَ إِجمَالِيُّ حِجمِ الإِسْتِثْمَارَاتِ الْمُتَرَاكِمَةِ فِي قِطَاعِ النَّفْطِيِّ وَالْغَازِ الْطَّبِيعِيِّ خَلَالِ الْفَتَرَةِ ٢٠١٥-٢٠٤٠ إِلَى ٢٥,٣ تِرِيلِيُونِ دُولَارِ أَمْرِيْكِيِّ (أَوَابِكُ، ٢٠١٦). مِنْ الْمُتَوَقَّعِ أَيْضًا فِي الْعَامِ ٢٠٤٠ أَنْ يَكُونَ هُنَاكَ عَجْزٌ فِي إِمْدادَاتِ النَّفْطِيَّةِ دَاخِلَ الدُّولِ الصِّنَاعِيَّةِ يَتَرَوَّحُ مَا بَيْنَ ٥,٧ إِلَى ١٢ مِلِيُونِ بِرْمِيلِ يَوْمِيًّا يُقَابِلُهُ فَائِضٌ فِي الدُّولِ الْأَعْصَاءِ يَتَرَوَّحُ مَا بَيْنَ ١٢,٨ إِلَى ١٢ مِلِيُونِ بِرْمِيلِ يَوْمِيًّا. وَعَجْزٌ فِي إِمْدادَاتِ الْغَازِ الْطَّبِيعِيِّ تَصُلُ إِلَى ٢٨٩ مِلِيَارِ مِترٍ مَكْعَبٍ، وَذَلِكَ حَسْبَ تَقْدِيرَاتِ وَكَالَّةِ الطَّاقَةِ الْعَالَمِيَّةِ وَتَقْدِيرَاتِ أَوَابِكُ (أَوَابِكُ، ٢٠١٦).

رَغْمَ تَوَقُّعِ زِيادَةِ الْطَلْبِ الْعَالَمِيِّ عَلَى النَّفْطِ وَالْغَازِ الْطَّبِيعِيِّ، وَتَوَقُّعِ أَيْضًا أَنْ حِصْنَةَ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ فِي مَزِيجِ الطَّاقَةِ الْعَالَمِيِّ فِي الْعَامِ ٢٠٤٠ لَنْ تَتَعَدَّ ٩,٧ فِي الْمَائَةِ عَلَى أَحْسَنِ تَقْدِيرٍ، إِلَّا أَنْ هُنَاكَ هَوَاجِسُ وَعَوَامِلُ عَدْمِ يَقِينٍ تُحِيطُ بِالْطَلْبِ عَلَى الْوَقْدَ الْأَحْفَوْرِيِّ مِنْ دُولِ الْأَوَابِكُ. بِالْإِضَافَةِ إِلَى صَعْوبَاتٍ تَتَعَلَّقُ بِزِيادَةِ تَنْوُعِ الْوَقْدِ فِي صِنَاعَةِ التَّكْرِيرِ وَالتَّشْغِيلِ.

أَيْضًا، تُمَثِّلُ الْقَضَايَا الْخَاصَّةُ بِالتَّغَيِّيرِ الْمُنَاخِيِّ مَصْدِرَ قَلْقَ بالِنَسْبَةِ لِلْدُولِ الْأَعْصَاءِ. وَلَذِكَ، هُنَاكَ حَاجَةٌ إِلَى مَزِيدٍ مِنَ التَّعَاوُنِ وَالْتَّنَسِيقِ لِلْوُصُولِ إِلَى حَلُولٍ تَضْمِنُ تَحْقيقَ تَوازنٍ بَيْنَ بَيْئَةِ نَظِيفَةِ مِنْ جِهَةِ وَبَيْنَ نُمُوْذِجَاتِ الْوَقْدِ الْأَحْفَوْرِيِّ مِنْ جِهَةِ أُخْرَى. مِثَالٌ عَلَى ذَلِكَ، تَطْوِيرِ تَقْنِيَاتِ إِصْطِيَادِ وَتَخْزِينِ الْكَرْبُونِ لِتَقْلِيلِ آثارِ النَّفْطِ الْبَيَئِيَّةِ. عَامِلٌ مُهِمٌّ أَيْضًا، هُوَ إِعْلَانُ مُعَظَّمِ الدُّولِ الصِّنَاعِيَّةِ بِأَنَّ الْهَدْفَ مِنْ دَعْمِهَا لِلْطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ هُوَ تَقْلِيلِ إِعْتِمَادِهَا عَلَى نَفْطِ الشَّرْقِ الْأَوْسَطِ وَالْأَنْتِيَجَةُ قَدْ تَعْنِي ضَعْفَ الْطَلْبِ الْعَالَمِيِّ عَلَى النَّفْطِ فِي الْمُسْتَقْبِلِ مَا قَدْ يُسَبِّبُ ضَرَرًا كَبِيرًا عَلَى الدُّولِ الَّتِي يَعْتَمِدُ إِقْتَصَادُهَا عَلَى النَّفْطِ بِشَكْلٍ رَئِيْسيٍّ مُثْلِ مُعَظَّمِ

دول الأوابك. ولذلك يجب على الدول الأعضاء إغتنام فرصة إرتفاع الأسعار الحالية للنفط وإستثمارها في تطوير إقتصادياتها بصورة مستدامة (أوابك، ٢٠١٩).

هدفت هذه الدراسة إلى: • تقديم نظرة ثاقبة على كل من الأسس العلمية والممارسات الهندسية لنظم الطاقة المتجددة والنظيفة، مع التركيز على النظم التي تمثل أهمية بالنسبة إلى الدول الأعضاء • عرض جوانب الآخر البيئي والإقتصادي لاستغلال الطاقات المتجددة • تسلیط الضوء على إستراتيجیات الدول الأعضاء للإستفادة من الطاقات المتجددة، و مجالات التطبيق في قطاع التوليد الكهربائي • إستشراف التغيرات المستقبلية لمزيج الطاقة العالمي نتيجة نمو قطاع الطاقات المتجددة • الإحاطة بالإنعکاسات المحتملة لنمو قطاع الطاقات المتجددة وتأثيرها على مكانة النفط في سوق الطاقة العالمي • عرض نتائج الدراسة وتقديم التوصيات بطريقة تخدم مصالح الدول الأعضاء في الأوابك.

نظمت هذه الدراسة في ستة فصول متكاملة فيما بينها:

يتطرق الفصل الأول إلى الإطار العام للدراسة؛ إذ يتضمن الملخص والمقدمة التي تحتوي على أهمية الدراسة وأهدافها الرئيسية.

يعمل الفصل الثاني على التعريف بالطاقات المتجددة وأهم أنواعها، وأبرز التحديات التي تواجه تطبيقها وتعيق انتشارها.

يقدم الفصل الثالث الآثار البيئية المترتبة على استخدام الوقود الأحفوري مثل إنبعاثات الكربون وغازات الدفيئة التي تساهم في ظاهرة تغير المناخ والاحتباس الحراري.

يسترعرض الفصل الرابع إستراتيجيات الدول الأعضاء لتطوير استخدامات الطاقة المتجددة وآفاق التطبيق من خلال مشاريع توليد الطاقة الكهربائية.

يبحث الفصل الخامس الإنعکاسات المحتملة لزيادة مساهمة قطاع الطاقات المتجددة في سوق الطاقة العالمي وتأثيره على الإمدادات النفطية وتجارة النفط الخام بالنسبة إلى الدول الأعضاء.

وأخيرا، يختتم الفصل السادس الدراسة بتقديم النتائج وعرض التوصيات.

الفصل الثاني

الطاقة المتجددة والنظيفة

تمهيد

أصبح بالإمكان معالجة مشاكل الطاقة الحالية المقترنة بالنفط والغاز الطبيعي مثل نضوب الوقود الأحفوري والتلوث وإنبعاث الكربون وغازات الدفيئة من خلال طريقتين أساسيتين: (١) استخدام مصادر الطاقة المتجددة والنظيفة لتحل مكان الوقود الأحفوري؛ (٢) تنفيذ ممارسات زيادة كفاءة الطاقة في جميع جوانب إنتاج الطاقة وتوزيعها وإستهلاكها بحيث يتم استخدام وقود أقل للحصول على نفس المنتج. ولا يمكن لزيادة كفاءة الطاقة إلا أن تقلل من استخدام الوقود الأحفوري بينما يمكن للطاقة المتجددة والنظيفة أن تحل محل الوقود الأحفوري مباشرة (Kanoglu 2020). تشمل مصادر الطاقة المتجددة الرئيسية الطاقة الشمسية، والرياح، والطاقة المائية، والطاقة الحرارية الأرضية، والكتلة الحيوانية (الغضوية). كما أن الطاقات البحرية الحركية مثل المد والجزر والموج هي مصادر متجددة ولكنها غير إقتصادية حالياً ولا تزال في مرحلة التطوير ولهذا لن يتطرق الحديث عنها في هذه الدراسة.

يهدف الفصل الثاني إلى التعريف بالطاقة المتجددة والنظيفة وطرق إنتاجها وذكر أمثلة عن تطبيقاتها. ويهدف الفصل أيضاً إلى إستعراض أهم التحديات التي تواجه قطاع صناعة الطاقة المتجددة وآفاقها المستقبلية.

١-٢: تعريف الطاقة النظيفة والمتجددة وأنواعها

توصف الطاقة بالنظيفة إذا كانت مستمدّة من مصادر الطاقة المتجددة الخالية من الإنبعاثات أو ناتجة عن إتخاذ ممارسات زيادة كفاءة الطاقة، بحيث يتم استخدام وقود أقل وبالتالي آثار بيئية أقل. تُسمى الطاقة بالمتجددة إذا تم إستخدامها وتتجدد دون إستدامتها دون إستنفاد وضرر كبير على البيئة. تُسمى أيضاً بالطاقة البديلة أو المستدامة أو الخضراء. الوقود الأحفوري مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي، من ناحية أخرى، غير متجدد، ويتم إستنفاده عن طريق الإستخدام. كما ينبع من الوقود الأحفوري ملوثات ضارة وغازات دفيئة وإنبعاثات كربونية.

تُعتبر الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة. وعلى الرغم من أن الطاقة الشمسية كافية لتلبية جميع احتياجات الطاقة في العالم من الناحية النظرية، إلا أنها لا تستخدَم حالياً على نطاق أوسع مثل الوقود الأحفوري بسبب التكلفة العالية نسبياً لتسخيرها وحاجة الخلايا الشمسية إلى مساحات واسعة.

تجدر الإشارة بأن الطاقة المتجددة عادةً ما تكون إنعكاساً لمظاهر الطاقة الشمسية ولكن بشكل مختلف. على سبيل المثال، لا يمكن لمحطة توليد الطاقة الكهرومائية أن تولِّد الكهرباء بشكل مستمر ما لم تتَبَرَّجْ المياه عن طريق إمتصاص الطاقة الشمسية وتعود على شكل أمطار لتجديد مصدر المياه.

تعتمد طاقة الرياح على تحويل الطاقة الحركية للرياح إلى كهرباء عبر مولدات توربينية، وهي واحدة من أسرع مصادر الطاقة المتجددة نمواً حيث تم تركيب عدد قياسي من المولدات التوربينية في الزمن الحاضر على مستوى العالم.

يعتمد توليد الطاقة الكهرومائية على تجميع مياه الأنهر في السدود على ارتفاعات ثم توجيه المياه المجمعة إلى توربين هيدروليكي حيث يتم تحويل طاقة الوضع المائي إلى كهرباء. تمثل الطاقة الكهرومائية أكبر مصدر لإنتاج الكهرباء من الطاقات المتجددة والتي تلبي معظم احتياجات الكهرباء في بعض الأقطار.

تُستمد الطاقة الحرارية الجوفية من حرارة الأرض حيث يتم استخراج السائل الحراري الجوفي من باطن الأرض والذي يكون على درجة حرارة عالية، ثم يتم تحويل طاقة السائل إلى كهرباء أو حرارة. تُعتبر الطاقة الحرارية الجوفية من أقدم تقنيات الطاقة المتجددة وستُستخدم غالباً لتوليد الكهرباء أو في عمليات التدفئة.

تعتمد طاقة الكثلة الحيوانية (العصوية) على مجموعة متنوعة من المصادر (الزراعة، الغابات، المحاصيل، وما إلى ذلك من تركيب عصوي) لإنتاج الطاقة.

تُعد الطاقة البحرية التي تعتمد على حركة الأمواج والمد والجزر من مصادر الطاقة المتجددة، وعادةً ما تُعتبر جزءاً من طاقة المحيطات مضافاً إلى الطاقة الحرارية والتي تنتُج عن إمتصاص سطح المحيطات للطاقة الشمسية. ويمكن تسخير مثل هذه الطاقات بإستخدام محركات تعمل على تحويل الطاقة الحركية أو الحرارية إلى طاقة كهربائية غالباً.

الهيدروجين هو عنصر ناقل للطاقة يمكن استخدامه لتخزين الكهرباء الناتجة من مصادر الطاقات المتجددة. لاتزال تقنية الهيدروجين في مراحلها الأولى حيث الأبحاث جارية لجعلها قابلة للتطبيق. تفتتح هذه التقنية على خلايا الوقود التي تقوم بتحويل الطاقة الكيميائية للهيدروجين إلى طاقة كهربائية.

يمكن استخدام جميع مصادر الطاقة المتجددة لإنتاج الطاقة والتي تكون غالباً على شكل طاقة كهربائية، كما يمكن لبعض مصادر الطاقة المتجددة أن تُنتج طاقة حرارية لتطبيقات التدفئة والتبريد. يتم تحويل طاقات الرياح والمياه إلى كهرباء فقط بينما يمكن تحويل الطاقة الشمسية والكتلة الحيوية والطاقة الحرارية الجوفية إلى كهرباء وطاقة حرارية.

٢-٢: الطاقة الشمسية

تتمتع الطاقة الشمسية بأكبر قدر من الإمكانيات بين جميع مصادر الطاقة الأخرى لأنها مجانية وغير ملوثة ولاتناسب. يكمن المبدأ الأساسي لعمل تطبيقات الطاقة الشمسية على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة أخرى يمكن الاستفادة منها.

هناك تقنيتان رئيستان لتوليد الكهرباء بواسطة الطاقة الشمسية، هما التوليد باستخدام مركبات الطاقة الشمسية، كما هو مبين في الشكل رقم (١-٢). والتوليد باستخدام أنظمة الخلايا الفوتوفولطية، كما هو مبين في الشكل رقم (٢-٢). في مركبات الطاقة يتم تجميع الطاقة الشمسية وتحويلها إلى طاقة حرارية ثم إلى كهرباء بواسطة محرك حراري. أما في الخلايا الفوتوفولطية، يتم تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء مباشرة.

الشكل (١-٢) مُرَكّزات الطّاقة الشّمسية



Source: (<http://helioscsp.com/concentrated-solar-power-skyfuel-completes-efficiency-testing-of-the-skytrough-dsp-collector/>).

الشكل (٢-٢) أنظمة الخلايا الفوتوفولطية



Source: (<https://studentenergy.org/solar-pv/>).

لأنَّ تركيز الإشعاع الشمسي يكون منخفضاً تعمال مُركّزات الطَّاقة على تركيز الإشعاع الشمسي في مساحة صغيرة بحيث ينتج تسخين أكبر للسطح وبالتالي الحصول على مقدار أكبر من الكهرباء. يتكون نظام مُركّز الطَّاقة من مُستقْبِل، الذي يعمل على إمتصاص الإشعاع الشمسي وتحويله إلى طاقة، ومن مُركّز، وهو نظام بصري يعمل على توجيه الإشعاع الشمسي إلى المُستقْبِل. تُسْتَخدَم مُركّزات الطَّاقة الشمسية لتتدفَّق وتبريد الأماكن وأيضاً لإنتاج الماء الساخن للمباني (loan and Calin, 2017).

يتكون نظام الخلايا الفوتوفولطية من ألواح شمسية تحتوي على الوحدات الأصغر والتي تُسمَّى الخلايا الفوتوفولطية. تتكون الخلية الفوتوفولطية من مادة شبه مُوَصلَة مثل السيليكون. تقوم الخلية الفوتوفولطية بتحويل الأشعه الشمسية إلى كهرباء على ثلاث مراحل: ١) تقوم ذرات السيليكون بإمتصاص الفوتونات من الأشعة الشمسية وبالتالي تفقد الإلكترونات يُولَدُ تيار كهربائي ٢) تَدَقُّقُ الإلكترونات ٣) تقوم الخلية بجمع التيار ونقله إلى أسلاك.

من الشائع استخدام السيليكون في الخلايا الشمسية، لكن خلايا السيليكون الشمسية لها كفاءة مُنْخَفِضَة (بين ١٥ و ٢٠ بالمائة). تم اختبار مواد أخرى من أجل زيادة كفاءة الخلايا الشمسية، مثل تيلورايد الكادميوم، كبريتيد الكادميوم، ديسلينيد النحاس الإنديوم، فوسفید الغاليوم، وفوسفید الإنديوم. ديسلينيد النحاس والإنديوم وزرنيخيد الغاليوم من بين المواد الْوَاعِدَة التي حققت كفاءة ٤٠ في المائة ولكن بتكلفة أعلى بكثير من خلايا السيليكون.

تُنتَجُ الخلية الشمسية الواحدة من ١ إلى ٢ واط من الطَّاقة وبلغ عمر الخلية الشمسية حوالي ٢٠ إلى ٣٥ عاماً. لازالت تَكْلِيفَةُ الألواح الشمسية تَنْخَصُ مع الوقت، حيث تَبْلُغُ قيمتها حالياً ٢,٥٠ دولار / واط ومن المُتَوَقَّعُ أن تَنْخَصُ لتصل إلى ١,٢٠ دولار / واط بحلول عام ٢٠٢٣.

٣-٢: طاقة الرياح

تم تَسْخِير طاقة الرياح منذ الْقِدَم للقيام بأنشطة مُتَعَدِّدة مثل تسخير المراكب الشراعية، طحن الحبوب، صَحْ المياه، ولتوليد الكهرباء. لكن التَّطَوُّر الكبير لتقنية توربينات الرياح الحديثة لم يَحْدُثْ إِلَّا مؤخراً إِستجابة لازمة الطَّاقة في أوائل السبعينيات.

تعمل توربينات الرياح على تحويل الطَّاقة الحركية للرياح إلى نوع آخر من الطَّاقة يُمْكِن الإستفادة منها. طاقة

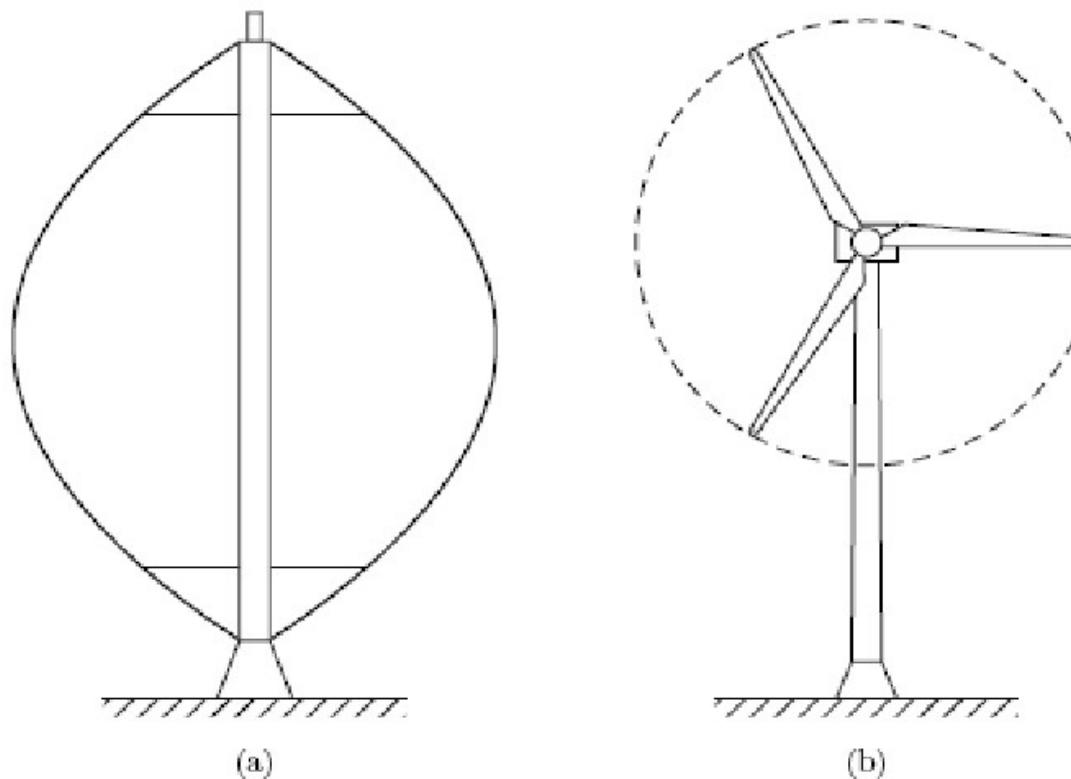
الرّياح هي واحدة من أسرع مصادر الطّاقة نُموًا في العالم. أدى بناء المنشآت الحديثة مؤخرًا إلى وصول إجمالي قدرة طاقة الرّياح في العالم إلى ٥٣٩ جيجاواط (جيجاواط، ١ جيجاواط = ١٠٠٠ ميجاواط = ١٨٨ مليون كيلوواط) في عام ٢٠١٧. تُعتبر جمهورية الصين هي الرائدة في العالم مع قدرة طاقة الرّياح تبلغ ٦٧ جيجاواط. تأتي الولايات المتحدة في المرتبة الثانية بقدرة ٨٩ جيجاواط. ثم ألمانيا والهند وإسبانيا بقدرة ١٠,٨ و ١١,٨ و ١٧,٢ و ٢٣ جيجاواط على التوالي. كانت الزيادة المئوية في طاقة الرّياح ١٦,٦١ و ١٧,٢ و ١٠,٨ للأعوام ٢٠١٤ و ٢٠١٥ و ٢٠١٦ و ٢٠١٧ و ٢٠١٨ على التوالي. يمكن أن تُغطي السعة الإجمالية الحالية لطاقة الرّياح أكثر من ٥ في المائة من الطلب العالمي على الكهرباء (WWEA, 2018).

إنخفضت تكلفة طاقة الرّياح من ٥٠٠ دولار / كيلوواط ساعة في أوائل الثمانينيات إلى ٥٠٠ دولار / كيلوواط ساعة في منتصف التسعينيات. التكلفة الحالية لطاقة الرّياح بما في ذلك رأس المال وتكليف التشغيل هي ٨٢٠٠ دولار / كيلوواط ساعة. هذا أقل بكثير من تكلفة محطات الفحم والطاقة النووية الحديثة بمتوسط قيمة ١١٠٠ دولار / كيلوواط ساعة. ومع ذلك، فإن محطات الغاز الطبيعي الحديثة تُتيج الكهرباء بتكلفة ٦٣٠٠ دولار / كيلوواط ساعة (EIA, 2018).

تُعد المناطق التي يبلغ متوسط سرعة الرّياح فيها ٦ ميلاً / الثانية (أو ١٤ ميلاً في الساعة) أو أكثر موقعًا مُجدِّدةً اقتصاديًّا لاستخدام طاقة الرّياح. تُولَّد مُعظم توربينات الرّياح التجارية من ١٠٠ كيلوواط إلى ٣٢٠٠ ميجاواط من الطّاقة الكهربائية. يمكن لتوربينات الرّياح التي تم تركيبها مؤخرًا أن تُولَّد أكثر من ٨ ميجاواط من الكهرباء. عادةً ما تكون سرعة دوران توربينات الرّياح الدّوارة أقل من ٤٠ دورة في الدقيقة (أقل من ٢٠ دورة في الدقيقة للتوربينات الكبيرة). يمكن أن يصل قُطر الشفرة الواحدة لتوربينات الرّياح إلى ٩٧,٥ متراً.

كما هو مُبيَّن في الشكل رقم (٣-٢)، تُصنَّف توربينات الرّياح حسب إتجاه محور دورانها إلى توربينات الرّياح ذات المحور الأفقي وتوربينات الرّياح ذات المحور الرأسي. الطريقة الأخرى لتصنيفها هي حسب آلية عزم الدوران للعمود الدوار: الرفع أو السحب. حتى الآن، لم تُحقَّق تصميمات توربينات المحور الرأسي من نوع السحب كفاءة عالية تؤهلها للنجاح والإنتشار حيث بلغت بحد أقصى ١٥ في المائة بينما تصل كفاءة توربينات المحور الأفقي من نوع الرفع إلى ٥٩ في المائة. ولهذا السبب، الغالبية العظمى من توربينات الرّياح التي تم بناؤها حول العالم هي ذات المحور الأفقي من نوع الرفع (Manwell et al., 2010).

الشكل (٣-٢) (a) توربين المِخْوَر الرأسي من نوع السحب (b) توربين المِخْوَر الأفقي من نوع الرفع



Source: (Abdel Halim, 2014)

عندما يتم تنفيذ مشروع توربينات الرياح في موقع الرياح النشطة يتم عادة تركيب مجموعة من التوربينات، ويسمى الموقع مزرعة الرياح. يتمتع مشروع مزرعة الرياح بعدة مميزات أهمها إنخفاض تكاليف التطوير وبساطة خطوط النقل وسهولة الوصول لأعمال التشغيل والصيانة. من ناحية أخرى، يتم تركيب توربين واحد غالباً للمنازل البعيدة عن الشبكة الكهربائية في المناطق النائية.

يعتمد عدد توربينات الرياح في موقع معين على مسافة التباعد بين التوربينات. إذا كانت التوربينات متقاربة جداً من بعضها البعض، فإن التدفق عبر توربين واحد يؤثر على التدفق عبر التوربين التالي، وهذا يقلل من أداء التوربين. وعلى العكس، إذا كانت التوربينات بعيدة عن بعضها البعض، فهذا يعني استخداماً سيناً للموقع حيث تندم إمكانية تركيب توربينات إضافية لإنتاج طاقة أكبر. يتضح أن هناك تباعداً مثالياً بين التوربينات، يقدر أن يكون من 3 إلى 5 أقطار الشفرات بين التوربينات في صف واحد ومن 5 إلى 9 أقطار الشفرات بين صفوف التوربينات. (Patel, 2009).

غالباً يتم بناء توربينات عالية الإرتفاع لأن سرعة الرياح تزداد مع الإرتفاع ولتقليل أثر إضطراب الرياح وأيضاً لإعطاء مرونة في توزيع التوربينات.

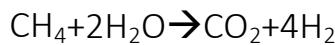
هناك العديد من العوامل التي يجب مراعاتها عند التخطيط لمشروع مزرعة رياح. يجب دراسة العوامل الجيوфизيكية للموقع مثل الغطاء النباتي والتضاريس ومعدل خشونة السطح ومسامية التربة وسعة تحملها للضغط (Yao et al., 2011). عامل مهم آخر هو التأكد من أن موقع المشروع بعيد عن مخطوطات التأثير العماني التي ربما تعيق وصول الرياح إليه.

٤- تقنية سيارات الوقود الهيدروجيني والسيارات الكهربائية

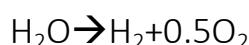
تتمثل إحدى المشكلات الرئيسية في مصادر الطاقة المتتجدة في عدم القدرة على تخزين الطاقة المنتجة بطريقة عملية. على سبيل المثال، لا يمكن تخزين الكهرباء المنتجة من الأنظمة الشمسية والسدود الكهرومائية ومحطات الطاقة الحرارية الأرضية وتوربينات الرياح لاستخدامها لاحقاً. البطاريات ليست خياراً عملياً لقدرتها المحدودة على التخزين. أحد الحلول الممكنة لهذه المشكلة هو إنتاج الهيدروجين.

الهيدروجين هو غاز ثبائي اللون والرائحة وغير معدي ولا طعم له وقابل للإشعاع بدرجة كبيرة مع الصيغة الجزيئية (H_2) كما أنه أخف عنصر كتلته الجزيئية ٢,١٦ كجم / كيلومول. الهيدروجين هو وقود ذو قيمة تسخين أعلى تبلغ ١٤١,٨٠٠ كيلو جول / كجم وقيمة تسخين أدنى تبلغ ١٢٠,٠٠٠ كيلو جول / كجم. من المهم أوضح أن الهيدروجين هو ناقل للطاقة وليس مصدراً للطاقة مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي نظراً لعدم وجود إحتياطيات هيدروجين في الأرض.

يتم إنتاج الهيدروجين من الوقود الأحفوري مثل الغاز الطبيعي أو من مصادر متتجدة مثل الماء خلال عملية التحليل الكهربائي عن طريق إستهلاك الكهرباء. ولكن حالياً، يتم إنتاج معظم الهيدروجين (٩٥ في المائة) من الوقود الأحفوري (٧٦ في المائة من الغاز الطبيعي و ٢٣ في المائة من الفحم)(Lambert, 2020) من خلال عملية تسمى إعادة التشكيل بالبخار:



لهذا، لكل ١ كيلو مول (١٦ كجم) من الميثان المستخدم في هذا التفاعل، يتم إنتاج ٤ كيلومول (٨ كجم) من الهيدروجين. لإنتاج كيلوجرام من الهيدروجين نحتاج إلى ما يعادل ٨١,٨٥٠ كيلو جول (أو ٢٢,٧٣ كيلو واط ساعة) من الطاقة. وبالمقارنة تفاعلاً التحليل الكهربائي للماء هو:



لإنتاج كيلوجرام من الهيدروجين بهذه الطريقة تحتاج إلى ما يعادل ١١٧,٦٥٠ كيلو جول (أو ٣٢,٦٨ كيلو واط ساعة) من الطاقة. كما تبلغ كفاءة عملية التحليل الكهربائي حوالي ٨٠ بالمائة.

ولهذا السبب، لا تعتبر عملية التحليل الكهربائي طريقة عملية لإنتاج الهيدروجين وأن عملية إعادة التشكيل بالبخار هي أكثر عملية وأقل تكلفة. ومع ذلك، فإن استخدام الوقود الأحفوري لإنتاج الهيدروجين ليس مساراً مستداماً. ولهذا، يقع الاهتمام في المقام الأول بالتحليل الكهربائي للمياه لأنه يسمح باستخدام الكهرباء المترتبة من الطاقات المتعددة.

يُسمى الهيدروجين الناتج من الوقود الأحفوري بالهيدروجين الرمادي لأنّه يُنتج إنبعاثات الكربون يتيم إطلاقها إلى الهواء الجوي والنوع الأنظف يُسمى بالهيدروجين الأزرق، حيث يتيم إنبعاثات الكربون الناتجة وتخزينها أو إعادة استخدامها. وأخيراً، يُسمى الهيدروجين المترتب من مصادر متعددة بالهيدروجين الأخضر (EIA, 2019).

يمكن استخدام الهيدروجين، كوقود لمحركات الاحتراق الداخلي حيث يمكن حرقه تماماً مثل البنزين. يمكن استخدام الهيدروجين أيضاً، في خلايا الوقود لتحويل طاقة الهيدروجين إلى كهرباء. تمثل إحدى أعظم مزايا الهيدروجين في أن عادم محرك الهيدروجين لا يحتوي على إنبعاثات الكربون أو الكبريت كما أن عادم خلية الوقود الهيدروجيني الوحيد هو الماء. يمكن استخدام الهيدروجين في مجموعة متنوعة من التطبيقات بما في ذلك محطات توليد الكهرباء والعديد من الاستخدامات الصناعية.

يُنتج عن عمليات إنتاج ونقل وتخزين وإعادة تعبئه وإستهلاك الهيدروجين عدد من التحديات الفنية والإقتصادية. وهناك عدد كبير من الأبحاث جارية لمواجهة مثل هذه التحديات. على سبيل المثال، يتطلب تخزين الهيدروجين في صورة سائلة درجات حرارة متحفضة جداً (حوالي ٢٥٣-٢٠ كلفن أو ٤٥٣-٣٠ درجة مئوية) والتي تكون مكلفة من الناحية العملية. من ناحية أخرى، فإن تخزينه على صورة غاز عند ضغط مرتفع ينطوي على كثافة متحفضة، وبالتالي الحصول على مسافة قصيرة من خزانات مركبات الهيدروجين. تشير الإختبارات المكتنفة إلى أنه يمكن استخدام ضغط يصل إلى ٧٠ ميجا باسكال بأمان لتخزين الهيدروجين في المركبات التجارية. يمكن أيضاً تخزين الهيدروجين على صورة سائلة في الهيدريد المعدني الصلب. يمكن للهيدريد أن يمتضي حوالي ٣,٥ بالمائة من كتلته على شكل هيدروجين. يسمح تبريد الهيدрид بإمتصاص الهيدروجين بينما يؤدي تسخينه إلى إطلاق الهيدروجين على شكل غاز. تُعد هذه التقنية في مراحلها الأولى وليس جاهزة للسوق التجاري.

الجدير بالذكر، أن شركات السيارات تخطط إلى تقديم مركبات خلايا الوقود الهيدروجيني بصفة تجارية في المستقبل القريب. في هذه المركبات، يتم تخزين الهيدروجين كغاز مضغوط.

تعتبر السيارات الكهربائية التي تعمل ببطاريات الليثيوم بدلاً لسيارات الوقود الهيدروجيني. حيث، تم في السنوات الأخيرة طرح السيارات الكهربائية بصفة تجارية في العديد من الدول. يعمل مبدأ عمل السيارات الكهربائية على استخدام الكهرباء المخزنة في حزمة بطاريات لتشغيل محرك كهربائي وتحريك العجلات. عند نفاد سخونة البطارية، يتم إعادة شحنتها باستخدام كهرباء الشبكة، إما من مقبس الحائط أو من وحدة شحن مخصصة.

نظرًا لأنها لا تعمل بالبنزين أو дизيل ويتم شحنتها بالكهرباء، فإن السيارات الكهربائية تعتبر مركبات كهربائية بالكامل. لا ينبع عن السيارات الكهربائية إشعاعات من العادم وبالتالي لا تسبب أضرار بيئية. يمكن وصف السيارات الكهربائية بأنها مركبات "عديمة الإشعاعات"، وينظر البعض إلى استخدامها على نطاق واسع على أنه الحل النهائي لمشكلة تلوث الهواء. ومع ذلك، يجب التذكرة بأن الكهرباء المستخدمة في السيارات الكهربائية يتم توليدتها في الغالب عن طريق حرق الوقود الأحفوري. لذلك، في كل مرة تستهلك فيها السيارة الكهربائية 1 كيلو واط / ساعة من الكهرباء، فإنها مسؤولة عن الانبعاث الناجم من توليد 1 كيلو واط / ساعة من الكهرباء.

ولذلك، يمكن الجزم بأن السيارات الكهربائية تكون عديمة الانبعاثات فقط في حالة توليد الكهرباء التي تستهلكها من مصادر متعددة. ولهذا السبب، يجب تشجيع استخدام الطاقة المتجدد في جميع أنحاء العالم، لتقليل الآثار البيئية. من مزايا السيارات الكهربائية عدم استخدام البنزين أو дизيل، مما يعني أن السيارات الكهربائية أرخص بكثير من السيارات التقليدية في ما يتعلق بكلفة الوقود.

فيما يلي مقارنة بين السيارات الكهربائية والسيارات التي تعمل بخلايا الوقود الهيدروجيني، بما ذلك التحديات التي تواجه كلتا الصناعتين (IAHE, 2014): الهيدروجين له قيمة تسخين قليلة لبلوغ الإنفجار تبلغ ١٠٠٠٠٠٠٠٠ كيلو جول / كجم. يحتوي معدن الليثيوم على طاقة إستيعابية قصوى تبلغ ٤٤ كيلو جول / كجم. معدن الليثيوم غير مستقر وبالتالي هناك حاجة إلى تخزين آمن لمنع الإنفجار الناجم عن إرتفاع الحرارة. بالنسبة لكل من الهيدروجين والليثيوم، فإن التخزين يمثل مشكلة لأن وزن الخزانات لكلا العنصرين يكون ثقيل جداً مقارنة بوزنهما. على سبيل المثال، يحتوي ١ كجم من بطارية الليثيوم على ٨٤ كيلو جول من الطاقة الكهربائية. وتحتوي ١ كجم من خزان الهيدروجين على ٥٤٥٥ كيلو جول. تبلغ كثافة طاقة بطارية

الليثيوم الحالية حوالي ٢٥٠٠ كيلو جول / لتر. للمقارنة فإن كثافة طاقة البنزين تبلغ حوالي ٣٢٠٠٠ كيلوجول / لتر. أخيرا، مدة التزود بالوقود للهيدروجيني أقل بكثير من مدة شحن بطاريات الليثيوم.

٥-٢: مُسْتَقْبِلُ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ وَأَبْرَزُ التَّحْديَاتِ

من المُتَوَقَّع أن تزداد مُسَاهَّةُ الكهرباء من مصادر مُتَجَدِّدة في السنوات القادمة، لكن دخول طاقة الرياح والطاقة الشمسية في الشبكة الكهربائية ينطوي على درجة من الخطورة بسبب التَّغْيُّرُ الْمُسْتَمِرُ في ظروف الرياح والطاقة الشمسية مع إنقطاع الطاقة الشمسية ليلاً أو عند وجود الغيم أو الغبار.

وهذا يتطلب بناء شبكة كهربائية أكثر مرونة من النظام التقليدي قادر على إستيعاب إمداد غير مُنتَظِم للكهرباء من مصادر مُتَجَدِّدة. يُسمَّى نظام الشبكة الجديد هذا بالشبكة الذكية، وهو مجال مهم للبحث والتطوير لمهندسي الكهرباء. كما يتطلب تطوير تقنيات جديدة لتخزين الطاقة حيث تم إقتراح العديد من التقنيات، ولكن النوعين الأكثر شيوعاً هما البطاريات القابلة لإعادة الشحن وهذا النوع معروف والنوع الثاني هو التخزين بالضَّحْ. يتضمن التخزين بالضَّحْ المياه "صعوداً" من الخزان السفلي إلى مستوى أعلى عند توفر الطاقة الرائدة ، ثم عكس العمليَّة "نزولاً" لتشغيل التوربينات عندما يكون الطلب على الكهرباء مُرتفعاً.

من المُتَوَقَّع أن تزداد الحاجة إلى أنظمة تخزين ذكية بشَكِّل كبير. يُعدُّ تخزين الطاقة الشمسية للإستخدام الليلي خياراً متاحاً لمعالجة مشكلة عدم إنتظام الطاقة الشمسية، ولكن هذا يزيد من التكلفة وقد لا يكون فعالاً في العديد من التطبيقات. ومع ذلك، يجب محاولة الحصول على أفضل ما تقدِّمه الطاقة الشمسية من خلال إستخدام أحدث التقنيات ومواصلة العمل على تحسين أنظمة الطاقة الشمسية وجعلها أكثر فعالية من حيث التكلفة. هذا مَدْفُوعاً بحقيقة أن الطاقة الشمسية لديها الإمكانيات الأكبر بين جميع مصادر الطاقة فلا يوجد حد لِلمُقدَّار الذي يمكن إستخدامه لسد احتياجاتنا من الطاقة. يجب الملاحظة أَيْضًا أن تكلفة أنظمة الطاقة الشمسية تتناقص مع الوقت.

من المُتَوَقَّع حدوث زيادة كبيرة في منشآت الطاقة الشمسية في السنوات القادمة. الأسباب الرئيسية لهذا الإتجاه هي كما يلي:

- إنخفاض تكلفة الألواح الشمسية وإرتفاع كفائتها
- إنخفاض تكلفة تمويل مشاريع الطاقة الشمسية
- إزدياد الإهتمام والوعي بقضايا الطاقات المتجددة وبالأخص الطاقة الشمسية
- نمو وتحسن التقنيات التكميلية للطاقة الشمسية مثل التخزين والشبكة الذكية.

لقد تَحسَّنت تقنية توربينات الرياح بِشكُلٍ كبير على مر السنين ولكن هناك مجال لمزيد من التحسينات التي سُتساهم على زيادة إنتشار هذه الطريقة المستدامة لتوليد الطاقة. تَتمَّثل بعض التَّحدِيَات في تكنولوجيا طاقة الرياح في زيادة حجم التوربينات، وتصميم التوربينات خصيصاً لِتَلْائِم موقع مُعيَّن، وتطوير مفاهيم ديناميكية هيكلية جديدة للتوربينات، وتطوير المُوَلَّدَات المُخَصَّصة وإلكترونيات الطاقة، وتحسين تكنولوجيا التصنيع، وتحسين تقنيات التحكم والت تخزين.

على الرغم من أن طاقة الرياح مجانية ومُتجددة، إلا أن توربينات الرياح الحديثة باهظة الثمن وتعاني من عيب واضح مُقارنةً بمعظم أجهزة توليد الطاقة الأخرى، فهي تُنْتِج الطاقة فقط عندما تهب الرياح، وبالتالي يكون ناتج طاقة التوربينات بطيئتها غير مُنْتَظِم. علاوة على ذلك، توربينات الرياح يجب أن تكون في مكان هبوب الرياح، والتي غالباً ما تكون بعيدة عن أماكن شبكات الطاقة التقليدية، وهذا يتطلب إنشاء خطوط طاقة جديدة. وبالرغم ذلك، من المُتَوقَّع أن تلعب توربينات الرياح دوراً مُتزايداً في الإمداد العالمي للطاقة في المُسْتَقْبَل القريب.

يُواجِه قِطاع السيارات الكهربائية وقطاع سيارات الوقود الهيدروجيني تَحدِيَات تَتمَّثل في الآثار البيئية السلبية الناتجة عن عمليات التنقيب عن الليثيوم وتصنيع البطاريات والتخلص منها. يُواجِه أَيْضًا تَحدِيَات تقنية مثل صعوبة إعادة تدوير البطاريات وصعوبة إعادة استخدامها. تَقلِّل سعة بطارية الليثيوم خلال العمر الإفتراضي للبطارية نتيجة للاستخدام المتكرر لعمليتي إعادة الشحن وإفراغ الشحن. أَيْضًا، كفاءة البطارية تتأثر بعوامل مثل التذبذب الكبير في درجات الحرارة والرطوبة.

العوائق الأخرى هي عدم توفر البنية التحتية لخدمة السيارات الكهربائية أو سيارات الوقود الهيدروجيني مثل محطات التعبئة والصيانة. وأخيرا، تخوف المستهلك من إقتناء السيارات الكهربائية أو سيارات الوقود الهيدروجيني يعيق إنتشارها. ويرجع هذا لعدة أسباب كغلاء ثمنها وعدم وجود الوعي أو عدم الإلمام بطريقة عملها ودرجة خطورتها وأيضاً عدم إنتشار محطات التعبئة والصيانة وعدم الثقة من نجاحها في السوق وإستمرارها.

رغم هذه العوائق، من المتوقع أن تلعب تقنيات البطاريات خلايا الوقود الهيدروجيني دوراً مهماً في مجال صناعة السيارات. كما يتضح من حقيقة أن شركات السيارات الكبرى تواصل الاستثمار في هذه التقنيات. أخيرا، إن إنشاء بنية تحتية متمثلاً ببناء نظام توزيع واسع للهيدروجين والكهرباء ضروري لإنتشار سيارات خلايا الوقود الكهربائي والهيدروجيني. كما أن التوجه نحو الإنتاج من مصادر متجددة مهم لتقليل الآثار البيئية وتحقيق التنمية المستدامة.

الفصل الثالث

الأثر البيئي

تمهيد

أدّى التَّوْسُع في إسْتِهْلَاك الطَّاقيَة في الْوَقْت الْحَاضِر إلى مَشَاكِل تَلُوتُ الْبَيْئَة التي شَمَلَت الهَوَاء وَالْمَاء وَالْتُّرْبَة. تَرَتَّبَتْ مَشَاكِل الطَّاقيَة وَالْمَشَاكِل الْبَيْئِيَّة بِبعْضِهَا إِرْتِبَاطًا وَثِيقًا لِأَنَّهُ يَكَاد يَكُونُ مِنَ الْمُسْتَحِيل إِنْتَاجُ أَوْ نَقلُ أَوْ إِسْتِهْلَاكُ للطَّاقيَة بِدُونِ حَدُوث آثارَ بَيْئِيَّة مَلْحوِظَة. تَتَضَمَّنُ الْآثَار الْبَيْئِيَّة الْمُرْتَبِيَّة بِإِنْتَاجِ الطَّاقيَة وَإِسْتِهْلَاكِهَا تَلُوتُ الهَوَاء وَالْمَاء وَالْإِحْتِباسِ الْحَارِي وَالتَّخَلُّصُ مِنَ الْمُخَلَّفَاتِ الصَّلِبة (جَبْرِيل، ٢٠٢٠).

تُعَتَّبَرْ عمليَّة توليد الطَّاقيَة من أَكْبَرِ مُسَبِّبَاتِ التَّلُوت سَوَاءً بِصُورَةِ مُباشِرَةٍ أَوْ غَيْرِ مُباشِرَةٍ. وَلَعَلَّ مِنْ أَبْرَزِ صُورَهَا الغازاتُ وَالْجُسِيمَاتُ الضَّارَّةُ الْمُنْبَعِثَةُ مِنْ حَرْقِ الْوَقْدُ الْأَحْفُوري. بِالإِضَافَةِ إِلَى تَسْرُبِ النَّفْطِ إِلَى الْمُحِيطَاتِ وَظَاهِرَةِ الإِحْتِباسِ الْحَارِيِّ وَكَذَلِكَ الْمُلَوِّثَاتُ النَّاتِيَّةُ عَنِ إِسْتِهْلَاكِ الطَّاقيَةِ التَّوَوِيَّةِ.

يَهْدِيَ الفَصْلُ الثَّالِثُ إِلَى شَرْحِ الْآثَارِ الْبَيْئِيَّةِ الْمُرْتَبِيَّةِ عَلَى إِسْتِهْلَاكِ الْوَقْدِ الْأَحْفُوريِّ، مُثْلِ إِنْبَاعَاتِ الْكَربُونِ وَغَازَاتِ الدَّفِيَّةِ وَتَلُوتِ الْهَوَاءِ وَالْمَاءِ وَإِسْتِنْزَافِ مَصَادِرِ الْمَيَاهِ وَإِسْتَوْسَعَةِ رُقْعَةِ التَّصْرُّحِ.

نبذة تاريخية عن تأثير الطاقة على البيئة:

مُنْذُ ما قَبْلَ مرحلة تدوين التاريخ وَرِبِّما مُنْذُ العَصْر الْحَجَرِيِّ بَدَأَتْ رَحْلَةَ الْمُلَوِّثَاتِ فِي الْعَالَمِ. فَعِنْدَمَا كَانَ الْإِنْسَانُ الْبَدَائِيُّ يَتَعَلَّمُ أَوْلَى خَطُوطَهِ فِي إِشْعَالِ النَّارِ بِغَرْضِ التَّدْفَقَةِ أَوْ الطَّهِيِّ كَانَتِ الْمُلَوِّثَاتُ قَدْ بَدَأَتْ هِيَ الْأُخْرَى رَحْلَتَهَا عَلَى ظَهَرِ كُوكَبِ الْأَرْضِ. وَمَعَ تَقدِّمِ الزَّمْنِ عَرَفَ الْإِنْسَانُ الصَّيْدَ فَظَهَرَتْ صَنَاعَةُ الْأَسْلَحةِ وَبَدَأَ إِسْتِهْلَاكُ الْمَعَادِنِ كَالْنَّحَاسِ وَالْحَدِيدِ فِي تَصْنِيعِهَا. وَمَاتَّيْعُ ذَلِكَ مِنْ عَمَلِيَّةِ صَهْرِ لَهُذِهِ الْمَعَادِنِ وَإِسْتِخْلَاصِهَا نَتَّجَ عَنْهُ مُلَوِّثَاتٌ عَدِيدَةٌ لِلْبَيْئَةِ أَمْكَنَ رَصْدُهَا فِي الْحَضَاراتِ الْقَدِيمَةِ وَعَنْ طَرِيقِ الْحَفْرِيَّاتِ، مُثْلِ الْحَضَارَةِ الْمِصْرِيَّةِ الْقَدِيمَةِ، مِنْ حَضَارةِ فَارِسِ وَالْهِنْدِ وَبِلَادِ مَا وَرَاءِ النَّهَرِيْنِ وَصَوْلَا إِلَى الصِّينِ شَرْقاً وَإِلَى بِلَادِ الْيُونَانِ وَرُومَا غَرِبَاً.

تَمَّ رَصْدُ الْمُلَوِّثَاتِ فِي كُلِّ تَلَكِ الْمَنَاطِقِ وَكَانَ أَغْلِبُهَا الْمُلَوِّثَاتُ النَّاتِيَّةُ عَنِ تَشْكِيلِ الْمَعَادِنِ. مَعَ تَقدِّمِ الْمَسِيرَةِ الْبَشَرِيَّةِ ظَلَّ إِعْتِمَادُ الْإِنْسَانِ عَلَى الطَّاقيَةِ عَامِلاً رَئِيْسِيًّاً لِيَدْفَعَ عَجلَةَ التَّقدِّمِ الْبَشَرِيِّ إِلَى أَنْ جَاءَتِ التَّثْوِرَةُ

الصناعية مُحدّثةً ظفرة غير مسبوقة في عملية التصنيع وأساليبه وإستهلاكاً كيراً للموارد الطبيعية الازمة لتوسيع الطاقة، مما سبب في إحداث أكبر عملية للتلوث البيئي التي استمرت حتى اليوم مهددةً صحة الإنسان وبقي الكائنات الأخرى مثل الحيوانات والطيور والأسماك والتي بدأت بالإنتفاض فعلاً.

١-٣: إنبعاثات الكربون

إنبعاثات الكربون هي أحد أنواع غازات الدفيئة التي تحدث عندما ينبعث ثاني أكسيد الكربون إلى الهواء بعد نشاط أو عملية بشرية. يعبر غاز ثاني أكسيد الكربون من أهم أنواع الإنبعاثات من حيث الكمية، حيث شكلت إنبعاثاته ٨٢ في المائة من إجمالي إنبعاثات غازات الاحتباس الحراري في بعض الدول عام ٢٠١٧.

تساهم إنبعاثات الكربون في تغيير المناخ مما يؤدي إلى حرق الوقود الأحفوري وإطلاق ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئة. ترفع إنبعاثات الكربون درجات الحرارة العالمية عن طريق حبس الطاقة الشمسية في الغلاف الجوي مما قد يتسبب في حدوث العواصف والحرائق والجفاف وموجات الحرارة العالمية.

عندما تصعد غازات الدفيئة إلى الغلاف الجوي، ترتفع درجة الحرارة على مستوى العالم. يحجز الاحتباس الحراري الأشعة تحت الحمراء في الغلاف الجوي وهذا يسبب زيادة في حرارة الكوكب. في بعض الأحيان يكون سبب إنبعاثات الكربون هم البشر، بالعمليات اليومية مثل الصناعة والزراعة وقيادة السيارات وإنتاج الكهرباء. تؤثر إنبعاثات الكربون بشكل مباشر على البشر أيضاً مما يسبب المزيد من أمراض الجهاز التنفسي بسبب زيادة الضباب الدخاني و تلوث الهواء، وقد تسبب كمية إنبعاثات الكربون المحتسبة في الإحتيار العالمي الذي بإمكانه إذابة القمم الجليدية القطبية وإرتفاع منسوب المياه.

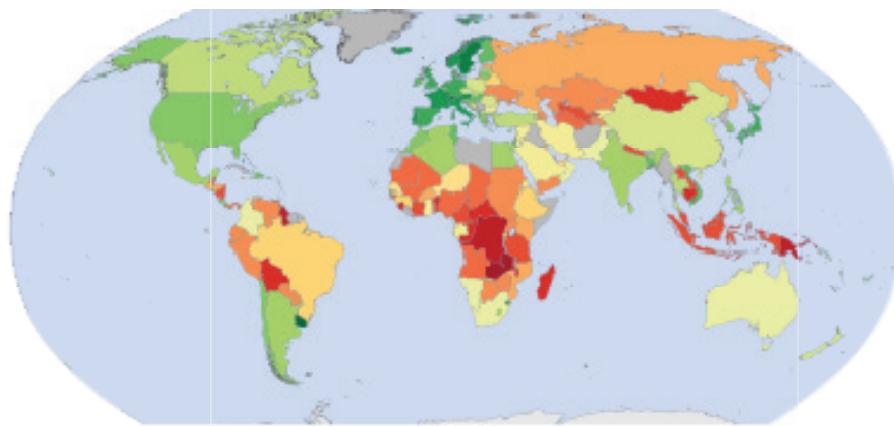
٢-٣: إنبعاثات غازات الدفيئة

تقسم إنبعاثات غازات الدفيئة إلى ستة أقسام رئيسية ومع ذلك يأتي الجزء الرئيسي من إنبعاثات الكربون من أكبر فئة على الإطلاق وهو النقل حيث شكلت وسائل النقل ٢٨,٩ في المائة من جميع إنبعاثات غازات الدفيئة عام ٢٠١٧ في بعض الدول. الشكل رقم (١-٣) يوضح كثافة غازات الاحتباس الحراري في عام ٢٠٠٠.

أكثر غازات الدفيئة إنتشارا في النظام البيئي هي:

- بخار الماء: ينبع عن عمليات تبخر الماء
- ثاني أكسيد الكربون (CO_2): ينبع عن إحراق الوقود الأحفوري
- ثاني أكسيد النيتروجين (N_2O): ينبع عن إحراق الوقود الأحفوري وإنتاج الكهرباء من مصادر غير متجددة
- الميثان (CH_4): ينبع عن الثروة الحيوانية
- الأوزون (O_3): ينبع عن تفاعلات إنبعاثات الكربون مع الغلاف الجوي
- مركبات الكلوروفلوروكربون (CFCs): كانت تستخدم بالماضي في تبريد الثلاجات

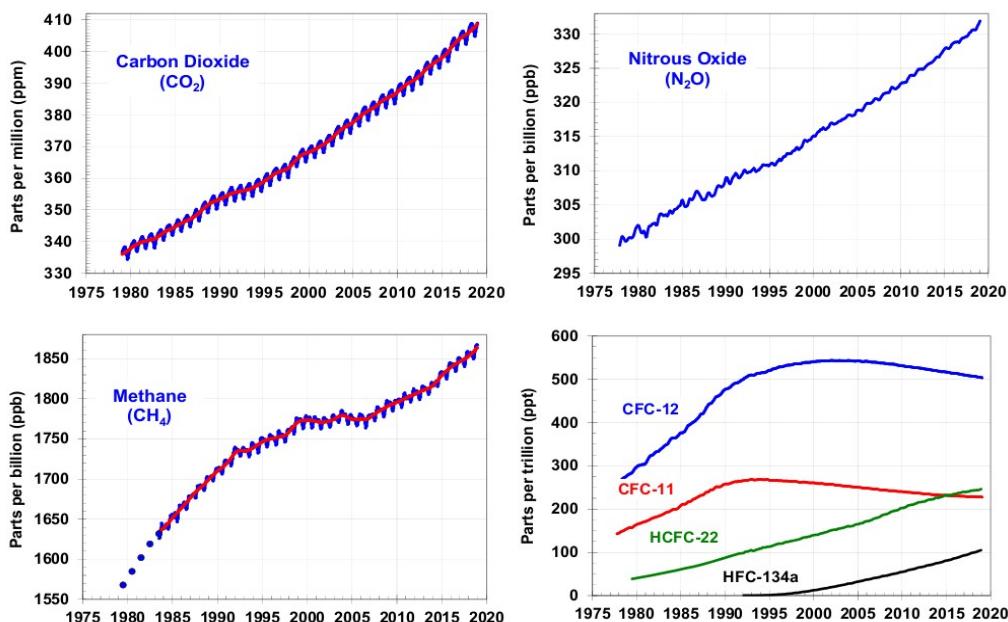
الشكل (١-٣) كثافة غازات الاحتباس الحراري عام (٢٠٠٠)



Source: https://www.marefa.org/images/8/8a/GHG_intensity_2000.png

المشكلة الرئيسية تكمن في تزايد غازات الاحتباس الحراري وأهمها غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن إحراق مليارات الأطنان من الوقود سواء من المصانع الصناعية أو من محطات الطاقة والمصانع. الشكل رقم (٢-٣) يوضح الإتجاهات الرئيسية لغازات الدفيئة.

الشكل (٢-٣) تَغْيُّر تركيز غازات الدفيئة في الجو خلال الفترة (١٩٧٥-٢٠٢٠)



Source: https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%84%D9%81:Major_greenhouse_gas_trends.png
الوحدات: ppt جزء في المليون، ppb جزء في البليون، ppm جزء في التريليون.

بروتوكول كيوتو هو الإتفاق الدولي الوحيد ذو أهداف ملزمه بخفض إنبعاثات غازات الدفيئة. يتطلب البروتوكول نسبة ٥ في المائة تخفيض لإنبعاثات الدول المتقدمة بالنسبة إلى مستويات عام ١٩٩٠ خلال الفترة (٢٠١٢-٢٠٠٨). يتضمن إتفاق كيوتو مجموعتين من الإلتزامات المحددة تحقيقاً للمبادئ العاملة التي أقرتها إتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. تتضمن المجموعة الأولى الإلتزامات التي تتطلبها جميع الأطراف المتعاقدة، في حين تختص المجموعة الثانية بالإلتزامات التي تحملها الدول المتقدمة تجاه الدول النامية.

٣-٣ تلوث الهواء

تعتبر إنبعاثات الوقود الأحفوري السبب الرئيسي لتلوث الهواء. الذي ينبع عن الغازات المشعة وعواود السيارات والأدخنة، وغيرها من الجزيئات التي تنبع من المفاعلات، وأيضاً ينتشر ذلك التلوث في

المناطق الصناعية المُختلفة وما تُطلِّقه من إبعاثات. عندما تتكرر هذه العمليات الخطيرة تزداد كمية التلوث في الهواء مما يجعل الكائنات تُستنشق هواءً ملوثاً.

الحماية من تلوث الهواء:

- زراعة الأشجار التي تمتص غاز ثاني أكسيد الكربون وتطلق غاز الأكسجين خلال عملية البناء الضوئي.
- التخلص من النفايات بشكل سليم ومستدام.

٤-٣: إرتفاع منسوب المياه

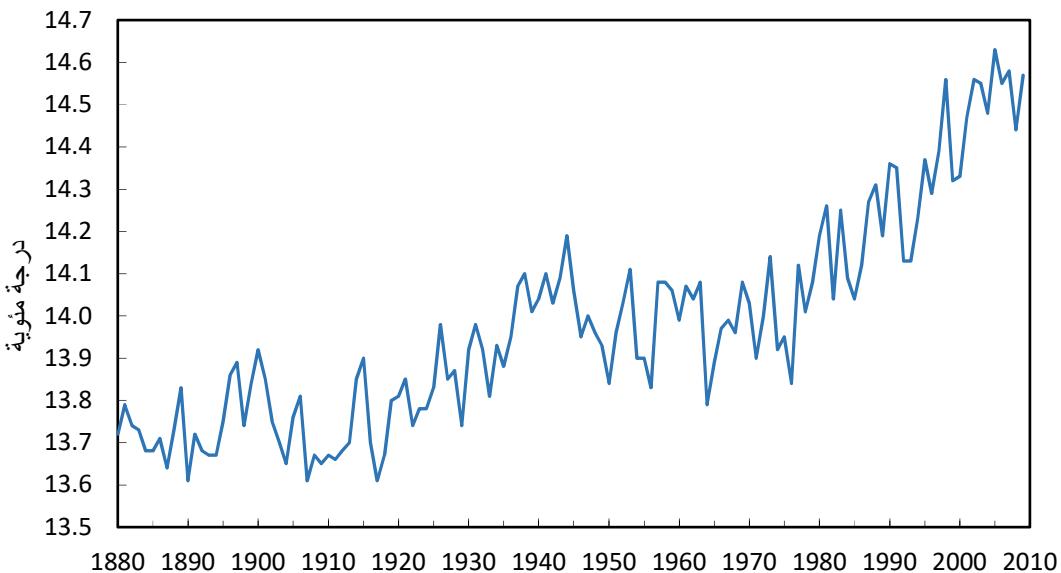
إذا استمر التغير المناخي بنفس الوتيرة الحالية، فربما نتوقع إرتفاعاً كبيراً في منسوب مياه البحر في القرن الحالي، وسيزداد الأمر سوءاً في القرون القليلة المقبلة. لم يكتشف العلماء قبل بدايات القرن العشرين أن منسوب المياه آخذ في التزايد حتى القرن الماضي. كما أن أجهزة القياس التي تستخدمها وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) تؤكد تلك الزيادة أيضاً. السبب الرئيسي في إرتفاع منسوب المياه هو الإحتباس الحراري وذوبان الأنهار الجليدية، فإن ذوبان الجليد في قارة غرينلاند والقارتين القطبية الجنوبيتين سيلعب دوراً كبيراً في المستقبل. ومن المتوقع أن يستمر أثر هذه التغيرات لعدة قرون.

الظواهر المتوقعة نتيجة الإحتباس الحراري:

- حدوث كوارث زراعية وفقدان المحاصيل
- إحتمالات متزايدة بوقوع أحداث متطرفة في الطقس
- زيادة حرائق الغابات
- إزدياد الفيضانات لأنَّ جزءاً كبيرة من الجليد ستذوب وتدلي إلى إرتفاع منسوب المياه
- غرق الجزر المنخفضة والمدن الساحلية
- حدوث موجات جفاف وإتساع رقعة التصحر
- زيادة في عدد وشدة العواصف والأعاصير
- إنتشار الأمراض المعدية في العالم
- إنقراض العديد من الكائنات الحية
- إزدياد تقلبات الجو

يؤثّر الإحتباس الحراري سلباً على البيئة ويعيّر من معالم سطح الأرض لأنّه يُساهِم في ذوبان الجليد وإرتفاع مَنْسُوب مياه البحار وذلك يتسبّب بغرق المناطق المُنْخَفَضَة والشواحل. الشكل رقم (٣-٣) يوضّح درجات الحرارة السطحية في العالم خلال الفترة (١٨٨٠-٢٠١٠).

الشكل (٣-٣) درجات الحرارة السطحية في العالم خلال الفترة (١٨٨٠-٢٠١٠).



Source: Compiled by Earth Policy Institute from NASA Goddard Institute for Space Studies, "Global Temperature Anomalies in 0.01 degrees Celsius" at data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata/GLB.Ts.txt, updated December 2010.

غازات الدّفيئة الرئيسية هي: بخار الماء والذي يُسَبِّب من ٣٦ إلى ٧٠ في المائة من الإحتباس الحراري (بدون إحتساب الغيوم)، غاز ثانوي أكسيد الكربون (CO_2) والذي يُسَبِّب من ٩ إلى ٢٦ في المائة، الميثان (CH_4) والذي يُسَبِّب من ٤ إلى ٩ في المائة، والأوزون والذي يُسَبِّب من ٣ إلى ٧ في المائة من الإحتباس الحراري.

أدى النشاط البشري مُنْذُ الثورة الصناعية إلى إزدياد نسبيّة إطلاق غازات الدّفيئة في الهواء الجوي، وبخاصّة ثاني أكسيد الكربون والميثان بالإضافة إلى الأوزون في طبقة التروبوسفير ومركبات الكلوروفلوروكربون وثاني أكسيد النيتروجين. إن تركيز كل من CO_2 و CH_4 في الهواء الجوي قد إزداد بنسبة ٣٦ و ١٤٨ في المائة على التوالي مُنْذُ أواسط القرن الثامن عشر. تُعد هذه المُسْتَوَيات أعلى قيمة تم تسجيّلها أو تحديدها خلال السنة الماضية بناءً على البيانات المأخوذة من عينات جليدية.

في حين أن بعض الأدلة الجيولوجية غير المباشرة تشير إلى أنَّ قِيمَ CO_2 لم تَبلغِ مِثْلُ هذا المستوى الحالي إلَّا قَبْلَ حَوَالِي ٢٠ مليون سنة. وحوالي ٧٥ في المائة من نِسْبَةِ الإزدياد في غاز ثُنائِيِّ أكسِيد الكَربُون تعود إلى حَرْقِ الوقُود الأحفوري خلال العشرين سنة الماضية، في حين أن الباقي يعود أَعْلَاهُ إلى الإستهلاك البشري للموارد الطَّبِيعِيَّةِ مِثْلِ إِزَالَةِ الغَابَات.

إِنَّ التَّغَيُّرِ المُتَنَاهِي الذي تَسَبَّبَ فيه البشر، وما نَجَمَ عَنْهُ من إرتفاع في مَنْسُوبِ مِياهِ البحار، يعيَدُ الآن رسم خطوط السواحل في العالم، كما حَدَثَ مِنْ قَبْلِ، وسَتَتَحَمَّلُ الأجيال الْقَادِمَةَ تَبعَاتَ ذَلِكَ. يُمْكِنُ أن تستجيب المجتمعات لارتفاع مَنْسُوب سطح البحر من خلال ثلاثة طرق مختلفة يجب أن تعمل بالتوالي: التَّرَاجُعُ والتَّكَيُّفُ والحماية، وقد لا تكون النُّظم البيئية التي تَتَكَيَّفُ مع ارتفاع مَنْسُوب سطح البحر عن طريق الزُّحف نحو اليابسة قادرة دَوْمًا على التَّكَيُّفِ، بِسَبَبِ وجودِ الحاجزِ الطَّبِيعِيِّ أو الصناعيِّةِ.

الفصل الرابع

الإستراتيجيات وآفاق التّوليد الكهربائي

تمهيد

يهدف الفصل الرابع إلى إستعراض آفاق التّوليد الكهربائي من الطّاقة الشمسية في الدول الأعضاء لِمنظَمة الأوابك وخصوصاً في دُول الخليج العربي.

يهدف الفصل أَيْضًا، إلى شَرْح تَطْلُوز التقنيات المُسْتَخَدَمة في تَوليد الطّاقة الكهربائية وِمقارنة كفاءة هذه التقنيات بالمصادر الأُخْرى من حيث تلبية إحتياجات الطّاقة الكهربائية، مع التَّركيز على أهميتها في تَحْفيض الإستهلاك المُسْتَقْبَلِي لِلوقود الأحفوري، وَتَبْيَان نِسب مساهمتها في خفض الإنبعاثات من محطات التّوليد الحرارية وتقليل الأثر البيئي.

أَبْرَز ما يحتويه هذا الفصل هو موجز لأهم مشاريع الدُّول الأَعْضَاء، بالإضافة إلى دُول عربية أُخْرى، الحالية والمُسْتَقْبَلِية. وإستعراض الإستراتيجيات الحكومية في مجال تَوليد الطّاقة الكهربائية من مصادر مُتَجَدِّدة، لِلْعَشْر سنوات القادمة، مع مُرَاغَة الطبيعة المُنَاخِيَة وَالجُغرَافِيَّة لِكل دَوْلَة.

وأخيراً، تَبْيَان أَهْدَاف الدُّول في تحسين كفاءة محطات الطّاقَات المُتَجَدِّدة مُتَضَمِّنَةً ببيانات إجمالي قُدرات تَوليد المشاريع. مع تسليط الضوء على مشاريع محطات الطّاقَات المُتَجَدِّدة في دُول الخليج العربي.

تَمْتَاز الدُّول الأَعْضَاء بِمنْظَمة أَوابك بِوُجُودِهَا ضِمْنَ منْطَقة جُغرَافِيَّة تَتَمَّع بِأعلى سطوع شمسي على الأرض وسرعات ريحية مُعْتَدلة إلى مُرْتَفَعَة. إِضَافَةً إلى، وجود مصادر من الطّاقة المائية لبعض الدُّول الأَعْضَاء وكثِيرات من طاقة الكُثْنَة الْحَيَوَيَّة.

تَتَرَكَّز مُعْظَم قُدرات تَوليد الكهرباء من مصادر الطّاقَات المُتَجَدِّدة للدُّول الأَعْضَاء في ثلَاث دُول: الجمهورية العربية السُّورِيَّة وجمهورية العراق وجمهورية مصر العربية، بِنِسْبَة ٩٠ في المائة من إجمالي الطّاقَات الْقُصُوَّى، حَيْثُ تَسْتَحِوذ الطّاقة الكهرومائية على النِّسْبَة الأَكْبَر من إجمالي الطّاقَات المُتَجَدِّدة للدُّول الأَعْضَاء، بِحِصَّة بلغت ما يُعادِل ٨٥,٧ في المائة.

تجدر الإشارة، بأن الطاقات المتجددة للدول الأعضاء لم تحظ بالاستغلال الأمثل حيث بلغ صافي قدرات توليد الكهرباء من مصادر الطاقات المتجددة للعام ٢٠١٤ ما يعادل ٨,٤ ج.و. فقط (ج.و:جيجا وات)، بنسبة ٥,٠ في المائة من إجمالي الطاقات القصوى لصافي قدرات توليد الكهرباء من مصادر الطاقات المتجددة في العالم لنفس العام.

تنامي الاهتمام في السنوات الأخيرة لدى الدول الأعضاء نحو تنويع مصادر الطاقة بإعلان بعض الدول عن رؤيتها المستقبلية لمساهمة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة. حيث أعلنت كل من: المملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة وجمهورية مصر العربية، مؤخراً عن الرغبة في إضافة الطاقة النووية إلى مزيج الطاقة وذلك بتشغيل مفاعلات نووية للأغراض السلمية لمواجهة الطلب المتزايد على الكهرباء ولتحرير المزيد من النفط والغاز للتصدير.

٤- توجهات الدول الأعضاء في مجال التوليد الكهربائي

تمكنت الدول الأعضاء في الأوابك خلال العقود الماضية من تحقيق تقدّم ملحوظ في تطوير قطاع التوليد الكهربائي باستخدام محطات توليد الطاقات المتجددة. تقع معظم الدول العربية في منطقة الحزام الشمسي. مما يعني وجود إشعاع شمسي مستمر مُعَظّم أيام السنة، إضافةً إلى وجود طاقة الرياح ومصادر مائية جيدة.

تماشيا مع التوجّه العالمي في تحفيض إستهلاك النفط والغاز وعرض تخفيف العبء البيئي، فقد توجّحت معظم الدول الأعضاء وبعض الدول العربية إلى زيادة الاعتماد على الطاقات المتجددة في مجال التوليد الكهربائي، مثل دولة الإمارات العربية المتحدة وجمهورية مصر العربية.

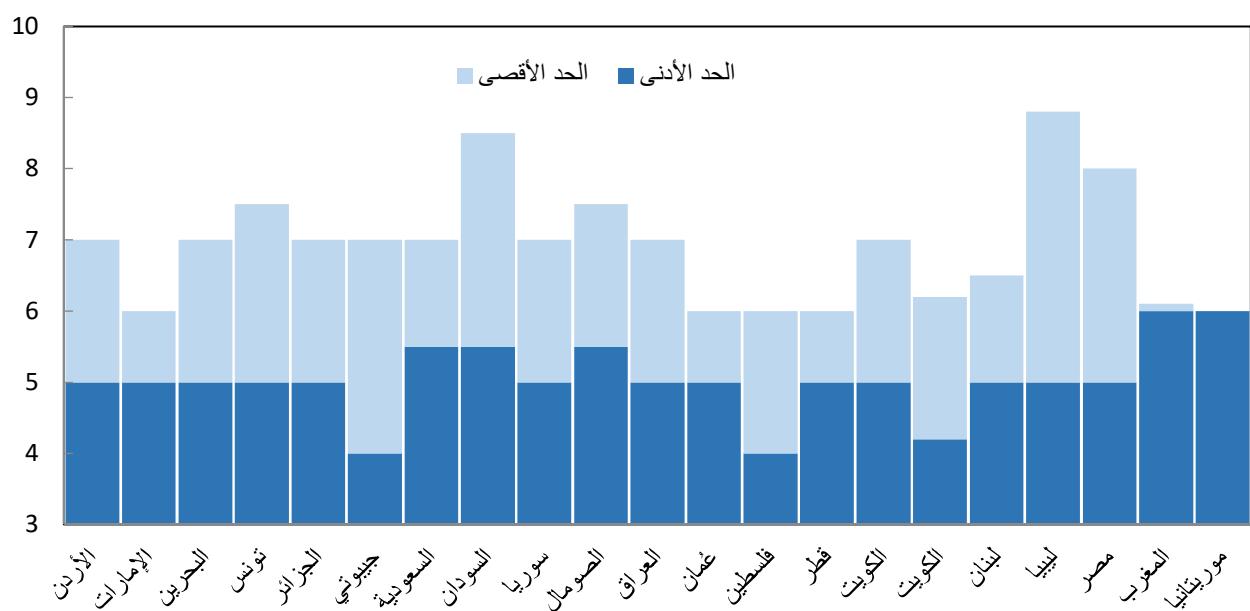
٤- توليد الكهرباء في الدول العربية

٤-١: الطاقة الشمسية

تتميز المنطقة العربية بوجود فيض إشعاعي شمسي يصل في المتوسط إلى حوالي ٦ ك.و.س/متر مربع/ اليوم أو ما يعادل ٢٠٠٠ ك.و.س/متر مربع/ سنة (ك.و.س: كيلو وات ساعة). حيث يعتبر أعلى إشعاع شمسي في العالم حيث تردد الشمس كوكب الأرض بطاقة تفيس عن إجمالي إحتياجات العالم بما يزيد عن ٥٠٠٠ ضعف. وتكتفى الطاقة والتي يمكن الحصول عليها من أشعة الشمس خلال ١٠٥ دقيقة بإحتياجات العالم

من الطاقة الكهربائية لمدة عام. تتفاوت كثافة الإشعاع الشمسي بين فصلي الشتاء والصيف ومن منطقة لأخرى داخل الدولة الواحدة. كما هو موضح بالشكل رقم (٤-١).

الشكل (٤-١) كثافة الإشعاع الشمسي في الدول العربية، (كيلو وات ساعة/ متر مربع/ اليوم)



المصدر: التقرير العربي الاقتصادي الموحد. صندوق النقد العربي ٢٠١٨.

٤-٢-٤: تقنيات توليد الكهرباء بواسطة الطاقة الشمسية

طورت كل من الجزائر وجمهورية مصر العربية والإمارات العربية المتحدة محطات توليد فتو VOLTEC بقدرات ٣٢٤ و ١٠٠ و ٢١٣ م.و. (ميجا وات) على التوالي، إضافة إلى إنشاء مشروع للتوليد الكهربائي يعمل بالطاقة الشمسية المركبة في إمارة أبوظبي تبلغ قدرته ١٠٠ م.و. كما قامت كل من الجزائر وجمهورية مصر العربية بإنشاء محطات توليد هجينية تعمل بالطاقة الشمسية. إجمالي قدرة المحطة الجزائرية ١٥٠ م.و. منها ٢٠ م.و. قدرة توليد شمسية. وإجمالي قدرة المحطة المصرية ١٤٠ م.و. منها ٤٠ م.و. قدرة توليد شمسية.

٤-٢-٣: التّوليد الكهربائي في الدُّول الأَعْضاء

تَحْتَلِفُ الدُّولُ الأَعْضاءُ فِي مَصَادِرِ الطَّاقيَةِ الْمُتَجَدِّدةِ الْمُوجَودَةِ لِدِيهَا وَمَدِى تَنَاسُبِ تِلْكَ الْمَصَادِرِ لِمُتَنَاهِيَّ الدِّولَةِ وَالطَّبِيعَةِ الْجُغْرَافِيَّةِ، كَمَا تَحْتَلِفُ فُرَصُ الإِسْتِفَادَةِ مِنِ الطَّاقيَةِ الشَّمْسِيَّةِ بَيْنَ الدُّولِ الأَعْضاءِ وَفَقَاءِ لِكَفَاءَةِ الْخَلَائِيَّةِ حِيثُ تَنْخَفِضُ تِلْكَ الْكَفَاءَةَ بِمَا يُعَادِلُ نَصْفَ بِالْمَائِةِ لِكُلِّ درَجَةِ حرَارَةٍ تَزِيدُ عَنْ ٢٥ درَجَةً مَئُوِيَّةً إِضَافَةً إِلَى إنْخَفَاضِ تِلْكَ الْكَفَاءَةِ نَتْيَاجُ تَجَمُّعِ الأَتْرِيَةِ عَلَيْهَا مِمَّا يَعْنِي إِنَّ التَّوليدَ الكَهربَائِيَّ يُسْتَخدَمُ الطَّاقيَةَ الشَّمْسِيَّةَ مُلَائِمًا فِي الْأَجْوَاءِ الْمِصْرَيَّةِ وَالْأَجْوَاءِ التُّونْسِيَّةِ لِإِعْتِدَالِ درَجَةِ الحرَارَةِ فِيهِمَا. بَيْنَمَا تَقَلِّ مُلَائِمَتُهُ فِي دُولِ الْخَلِيجِ لِإِرْتِفَاعِ درَجَةِ الحرَارَةِ وَوُجُودِ الْعَوَاصِفِ الْغَبَارِيَّةِ. تَسْتُورُدُ بَعْضُ الدُّولِ الأَعْضاءِ مِثْلُ جَمْهُوريَّةِ الْمِصْرَيَّةِ الْعَرَبِيَّةِ وَالْعَرَاقِ جَزءًا أَوْ مَعْظَمَ إِحْتِياجَاتِهِ مِنَ الْوَقْدُ، لِذَلِكَ فَإِنَّ لِدِيهَا حَافِزاً لِإِنْشَاءِ مَحَطَّاتِ تَولِيدٍ تَعْمَلُ بِالطَّاقيَاتِ الْمُتَجَدِّدةِ.

١- جَمْهُوريَّةِ مِصْرَ الْعَرَبِيَّةِ

إِرْدَادُتُ قُدْرَاتِ التَّوليدِ الْكَهربَائِيِّ فِي جَمْهُوريَّةِ مِصْرَ الْعَرَبِيَّةِ لِلْفَتَرَةِ (٢٠١١ - ٢٠١٧) يُشَكِّلُ مَلْحوظَةً حِيثُ أَنْشَأَتْ مَحَطَّاتٍ تَولِيدَ حَرَارَيَّةً وَبُخَارِيَّةً وَمَحَطَّاتٍ تَولِيدَ تَعْمَلُ بِنَسْطَامِ الدُّولَةِ الْمُرَكَّبَةِ. إِجمَالِيُّ قُدْرَتُهَا مَا يُعَادِلُ ٢٠ ج.و. وَمِنَ الْمُتَوَقَّعِ أَنْ تَزَدَّادَ قُدْرَاتِ التَّوليدِ خَلَالِ الْفَتَرَةِ (٢٠١٨ - ٢٠٢٢) بِشَكْلِ كَبِيرٍ نَظَرًا لِقِيَامِ هَيَّةِ الطَّاقيَةِ الْمُتَجَدِّدةِ بِتَنْفِيذِ مَشَارِيعٍ تَعْمَلُ بِطاقةِ الرِّيَاحِ وَالطَّاقيَةِ الشَّمْسِيَّةِ الْفُوْتُوفُولَطِيَّةِ إِضَافَةً إِلَى قِيَامِ الْقَطَاعِ الْخَاصِ بِتَنْفِيذِ مَحَطَّاتٍ تَولِيدٍ بِالطَّاقيَةِ الشَّمْسِيَّةِ الْفُوْتُوفُولَطِيَّةِ وَطاقةِ الرِّيَاحِ بِقُدرَةٍ إِجمَالِيَّةٍ تُعادِلُ ٢٤٠٠ م.و. كَمَا هُوَ مُبَيَّنُ فِي الجَدُولِ رَقْمِ (٤-١).

جدول (٤-١) قدرات التوليد الحالية والمُتوقّع إضافتها على الشبكة المصريّة

القدرة المُتوقّع وجودها على الشبكة (٢٠٣٠)	(2024-2030)	(2021-2023)	(2018-2020)	قدرة التوليد الحالية (م.و.م.)	نوع التوليد
55,472	-	-	13,890	41,582	توليد حراري
2,832	-	-	32	2,800	توليد كهرومائي
8,000	4,620	1,500	1,740	140	محطات توليد شمسية
14,300	9,541		1,042	747	مزارع رياح
80,604	14,161	1,500	16,704	45,269	المجموع

المصدر: المئتي العربي لمنظمي الكهرباء، تقرير حول التجربة المصريّة لتنمية الطّاقات المُتجدّدة.

ومن المُتوقّع أن تصل قدرات التوليد من مصادر الطّاقة المُتجدّدة في جمهورية مصر العربية ما يعادل ٣١,٢ في المائة من إجمالي قدرات التوليد على الشبكة، بحلول عام ٢٠٣٠، وإجمالي التوليد الكهربائي ما يعادل ٣,٥ في المائة من تلك القدرات.

٢- الجمهورية العربية السورية

يشكّل إجمالي قدرات التوليد المركبة في محطات توليد السدود في الجمهورية العربية السورية ما يعادل ١٥ في المائة من إجمالي قدرات التوليد المركبة في البلاد للعام ٢٠١٠ حيث شكّلت الطّاقة المولدة منها حوالي ٩ في المائة من الطّاقة المنتجة لذلك العام.

من المُتوقّع أن تكفي إحتياطات الوقود الثقيل والغاز الطبيعي الجمهورية السورية مُتطلبات الإنتاج حتى عام ٢٠٢٠ في محطات التوليد الكهربائي، حيث تعتمد عليها بشكل أساسي. لذلك شرعت الحكومة السورية في البحث عن بدائل لتوليد الكهرباء، وذلك بإعداد أطلس للطاقة الشمسية وأطلس لرياح بتمويل من الاتحاد الأوروبي. وقد حالت الأوضاع الداخلية في البلاد دون تأفيذ مشاريع جديدة لإنتاج الكهرباء.

٣- جمهورية العراق

يُشكّل إجمالي قدرات التوليد في محطات توليد السدود في جمهورية العراق ما يعادل ٢٦,١ ج.و. بنهاية عام ٢٠١٧، ومع إزدياد إجمالي الطلب على الطاقة في ذلك العام، كان هناك عجز في التوليد بما يعادل ٣١,٩ ت.و.س. (ت.و.س: تيرا وات ساعة). مما أدى إلى معانة الشبكة العراقية، بسبب العديد من الانقطاعات. ولزيادة قدرة التوليد فقد تعاقدت الحكومة العراقية مع مستثمرين من القطاع الخاص لتنفيذ ١٣ مشروع للتلod الكهربائي بإستخدام الطاقة الشمسية.

٤- دولة ليبيا

أدت الأوضاع الداخلية في ليبيا بدءاً من عام ٢٠١١ إلى توقف الجهد لإنشاء محطات توليد تعمل بالطاقة المتجددة، حيث أن الخطة الليبية كانت تهدف إلى إنشاء محطات للطاقة المتجددة بقدرة تبلغ ١٢٠٠ م. و بإستخدام الطاقة الشمسية المركزة.

٥- الجمهورية التونسية

قامت الحكومة التونسية في نهاية عام ٢٠١٦ بوضع خطة عمل للطاقة المتجددة تهدف إلى توليد ٣٠ في المائة من الطاقة الكهربائية في البلاد من مصادر الطاقة المتجددة خلال الفترة من ٢٠١٨ إلى ٢٠٣٠ حيث من المتوقع أن ترتفع نسب التوليد لـ كل من الطاقة الكهرومائية والشمسية وطاقة الرياح بما يعادل ٣٧ في المائة من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشبكة بحلول عام ٢٠٣٠.

٦- الجزائر

تمكنت الجزائر بنهاية عام ٢٠١٧ من تحقيق ما يعادل ١٩,٥ ج.و. إجمالي قدرات توليد من محطات التوليد التي تعمل بالغاز الطبيعي (وجود إحتياطات كبيرة من الغاز الطبيعي في الجزائر) والتي تتضمن وحدات حرارية وكهرومائية وشمسية وهوائية. حيث غطت تلك الوحدات كامل الطلب على الكهرباء لذلك العام. وقد وضعت الحكومة الجزائرية خططاً لزيادة الاعتماد على الطاقة المتجددة حتى عام ٢٠٣٠ حيث من المتوقع أن تبلغ ١٥,٣ في المائة من إجمالي التوليد على الشبكة.

٧- المملكة العربية السعودية

قامت المملكة العربية السعودية بإنشاء مدينة الملك للطاقة الذرية والمتجددة وذلك لزيادة قدرتها على توليد الطاقة بإستخدام طاقة الرياح والطاقة الشمسية والحرارية والنووية وزيادة إنتاج الكهرباء من مصادر نظيفة وتقليل الاعتماد على مصادر الوقود الأحفوري. ولكن من المتوقع أن تتجاوز كمية الطاقة المولدة في المحطات الشمسية ما يعادل ٤٪ في المائة من إجمالي الطاقة المولدة. أما بحلول عام ٢٠٣٠ فمن المتوقع أن تتمكن الطاقات المركبة من محطات التوليد الشمسية من تشكيل حوالي ٧٪ في المائة من إجمالي قدرات التوليد في المملكة.

٨- دولة الكويت

تمكنت دولة الكويت من إنشاء ٢٦ مشروعًا صغيراً للتوليد الكهربائي بإستخدام الطاقة الشمسية، يعادل قدرتها حوالي ١٥ م.و. تشمل تغطية موقع الإنتظار وأسقف المباني بألواح شمسية. تمثل قدرة محطة توليد "الشقايا الشمسية" المشغلة مؤخرًا ما يعادل ٥٠ م.و. و الجاري حالياً إنشاء محطة توليد هوائية بقدرة ١٥٠ م.و. تعادلت الحكومة أيضًا، على إنشاء محطة توليد "الدببة" بقدرة ١٥٠٠ م.و. وذلك لتحقيق خطط الحكومة بالإعتماد على الطاقات المتجددة بنسبة ١٥ بالمائة من قدرات التوليد لعام ٢٠٣٠.

٩- مملكة البحرين

تعتمد مملكة البحرين على الغاز الطبيعي بشكل رئيسي في وحدات التوليد الحرارية، حيث أنسأت محطات حكومية مثل "سترة" و"الرافع" و"الحد" إضافةً إلى محطات تابعة للقطاع الخاص "الدور" و"العزل" مما سبب في إزدياد إستهلاك الغاز الطبيعي خلال الأعوام الأخيرة الماضية. لهذا، تبني الحكومة البحرينية إنشاء محطات توليد شمسية وهوائية في المستقبل للتقليل من معدل الزيادة في إستهلاك الغاز الطبيعي.

تعتبر محطة "الأولى" أولى مشاريع التوليد الشمسية بقدرة ٥ م.و. وهي عبارة عن ألواح فتو VOLTE موزعة على موقع مركبة فوق أسطح ساحات الإنتظار، وجرى تنفيذ مشروع محطة "الدور" بقدرة ٥ م.و. ويتضمن إنشاء محطة توليد فتو VOLTE ومحطة توليد هوائية. حيث تهدف المملكة إلى توفير ١٥٪ في المائة من احتياجات البلاد من الطاقة الكهربائية بحلول عام ٢٠٣٥.

١٠- دولة قطر

تستخدم دولة قطر الغاز الطبيعي كوقود لمحطات التوليد والتي تُعتبر من أكفاء النظم في التوليد على الصعيد العربي. وتشكل قدرات تلك المحطات ما يعادل ٨٠ في المائة من مجموع قدرات التوليد على الشبكة. وقد أعلنت الحكومة القطرية هدفها في الوصول إلى نسبة ٢٠ في المائة من الطاقة المولدة عن طريق المحطات الهوائية والشمسية، حيث تم تنفيذ ١٥ م.و. فقط من المحطة الشمسية في منطقة "الرهيل".

١١- الإمارات العربية المتحدة

من المتوقع أن يزداد الطلب على الكهرباء في دولة الإمارات بمتوسط سنوي يبلغ حوالي ٤٣٪ في المائة خلال الفترة (٢٠١٨-٢٠٢٥). لذلك، كثفت الحكومة الإماراتية جهودها لتنويع مصادر التوليد الكهربائية و استخدام مصادر الطاقة الشمسية.

فقد أنشأت هيئة المياه والكهرباء في إمارة أبوظبي عام ٢٠١٤ محطة توليد شمسية "١" بقدرة ١٠٠ م.و. والتي تعمل بنظام الطاقة الشمسية المركبة، كما تعاقدت الهيئة في العام ٢٠١٧ مع مستثمر خاص لإنشاء محطة توليد شمسية فوتوفولطية في منطقة "سویحان" بقدرة ١١٧٧ م.و. إضافةً إلى إنشاء العديد من محطات التوليد الشمسية في مجمع مجد بن راشد آل مكتوم للطاقة الشمسية. كما هو موضح بالجدول رقم (٢-٤).

من المتوقع أن يكون إجمالي قدرات التوليد في دولة الإمارات بحلول عام ٢٠٣٠ من محطات الطاقة المتجدددة ما يعادل ٦٥٠٠ م. بحيث تشكل من الإجمالي حوالي ١٤٪ في المائة من إجمالي قدرة التوليد في دولة الإمارات لعام ٢٠٣٠.

جدول (٤-٢) خطوات تنفيذ مشروع مجمع محمد بن راشد آل مكتوم للطاقة الشمسية (٢٠١٣-٢٠٣٠)

المرحلة	الجزء	القدرة (م.و.و.)	عام الدخول في الخدمة	نوع التقنية	سعر الكهرباء (سنت /ك.و.س.)
الأولى	-	13	2013	فوتوفولطية	غير معلوم
الثانية	-	200	2017	فوتوفولطية	5.84
الثالثة	الأول	200	2018	فوتوفولطية	2.99
الثالثة	الثاني	300	2019	فوتوفولطية	
الرابعة	الثالث	300	2020	طاقة شمسية مركزة	7.3
مراحل مستقبلية	747	3,287	2010-2030	غير معلوم	-
المجموع		5,000			

المصدر: الشركة العربية للاستثمارات البترولية.

٤-٣: إستنتاجات

يشير هذا الفصل إلى جهود الدول الأعضاء وجهود بعض الدول العربية في تحقيق تقدُّم ملموس في قِطاع التَّوليد الكهربائي من مصادر الطَّاقات المُتَجَدِّدة، بما في ذلك رُؤيتها المُسْتَقْبِلِيَّة في الاعتماد عليها.

تحتل دُولَة قطر المرتبة الأولى، بين دُول الخليج العربي، بإمتلاكها أكْثَرَ مَنْظُومة للتَّوليد الكهربائي وهدف للوصول إلى نِسبة ٢٠ في المائة من الطَّاقات المُولَّدة من الطَّاقات المُتَجَدِّدة. تَلِيهَا دُولَة الامارات العَرَبِيَّة المُتَحِدَّة بِنِسبة ١٤,٣ في المائة، ثم مَمْلَكَة الْبَحْرَيْن والمَمْلَكَة العَرَبِيَّة السُّعُودِيَّة بِنِسبة ١٠ في المائة. وأخيراً، دُولَة الْكُوَيْت.

الفصل الخامس

التوقعات والإنبعاسات المُحتملة

تمهيد

يهدف الفصل الخامس إلى دراسة نمو الطلب العالمي على مصادر الطاقات المتجددة وإنبعاساته على الطلب العالمي على الوقود الأحفوري وبالأخص النفط، خلال الفترة (٢٠١٧-٢٠٤٠).

لتحقيق هذا الهدف، فإن الدراسة عمدت إلى عرض التوقعات المتعلقة بالطلب العالمي على جميع مصادر الطاقة المختلفة، وما يترتب عليه من تغيرات في مزيج الطاقة العالمي، خلال نفس الفترة.

يعرض الفصل التوقعات حسب مخرجات (سيناريوهين) إثنين بدلًا من سيناريو واحد، وذلك للحصول على نتائج أدق وأقرب للصحة. (السيناريوهان) هما: سيناريو السياسات الجديدة (س ج) وسيناريو التنمية المستدامة (س ت م). إستندت هذه التوقعات على الجزء الثاني والجزء الرابع لدراسة بعنوان "واقع وآفاق الطاقات المتجددة في مزيج الطاقة العالمي وإنبعاسات المُحتملة على الصناعة النفطية" التي أعدتها الأوابك عام ٢٠١٩.

يهدف هذا الفصل أيضًا، إلى بحث الإنبعاسات المُحتملة لنمو قطاع الطاقات المتجددة على مستقبل الإمدادات والاستثمارات النفطية العالمية وعلى أسعار النفط الخام لدى الدول الأعضاء.

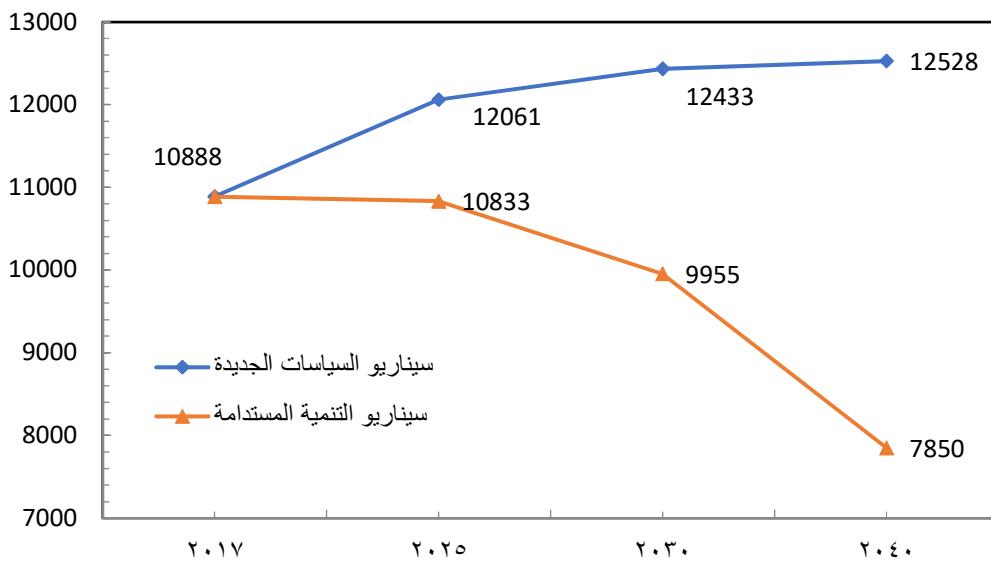
وأخيرًا، يهدف الفصل إلى دراسة تأثير جائحة كورونا على قطاع الطاقات المتجددة.

١-٥: مقارنة نتائج توقعات السيناريوهين

١-٥-١: إجمالي الطلب على مصادر الطاقة الأولية

من المتوقع أن يرتفع الطلب على الوقود الأحفوري من ١٠,٩ إلى ١٢,٥ مليار طن نفط مكافئ (طن م) بحسب س ج. فيما يتوقع أن ينخفض الطلب إلى ٧,٨ مليار طن م بحسب س ت م. كما هو موضح بالشكل رقم (١-٥).

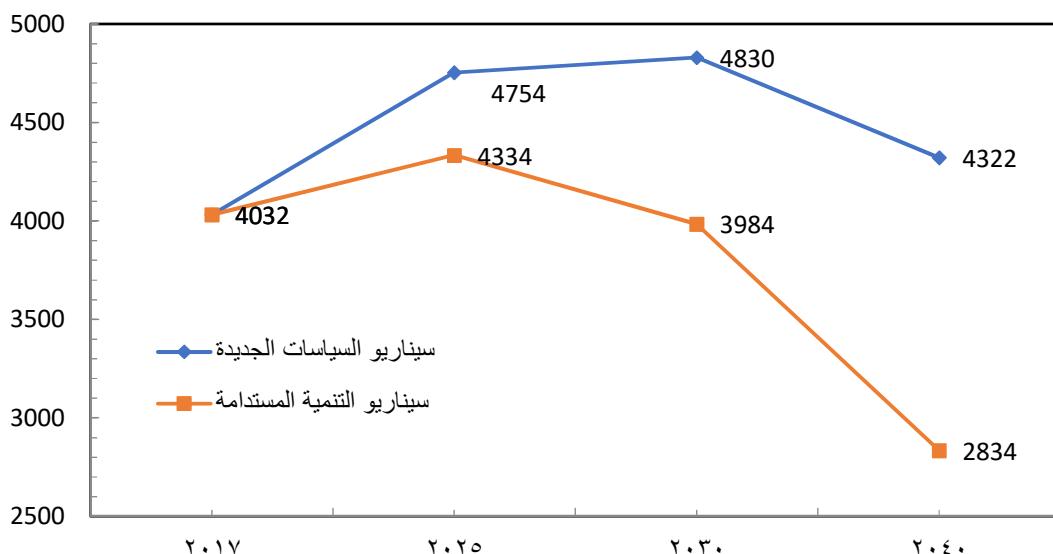
الشكل (١-٥) مقارنة تطور الطلب المتوقع على الوقود الأحفوري (٢٠١٧-٢٠٤٠)، (مليون طن م)



المصدر: أوابك ٢٠١٩. جدول (١-أ) في الملحق.

من المتوقع أن يرتفع الطلب العالمي على النفط من ٤٠,٤ إلى ٤٣,٤ مليار طن م (ما يعادل ٨٠ مليون ب/ي) بحسب س.ج. فيما يتوقع أن ينخفض الطلب ليصل إلى ٢٨,٦ مليار طن م (ما يعادل ٥٦ مليون ب/ي) بحسب س.ت.م. كما هو موضح بالشكل رقم (٢-٥).

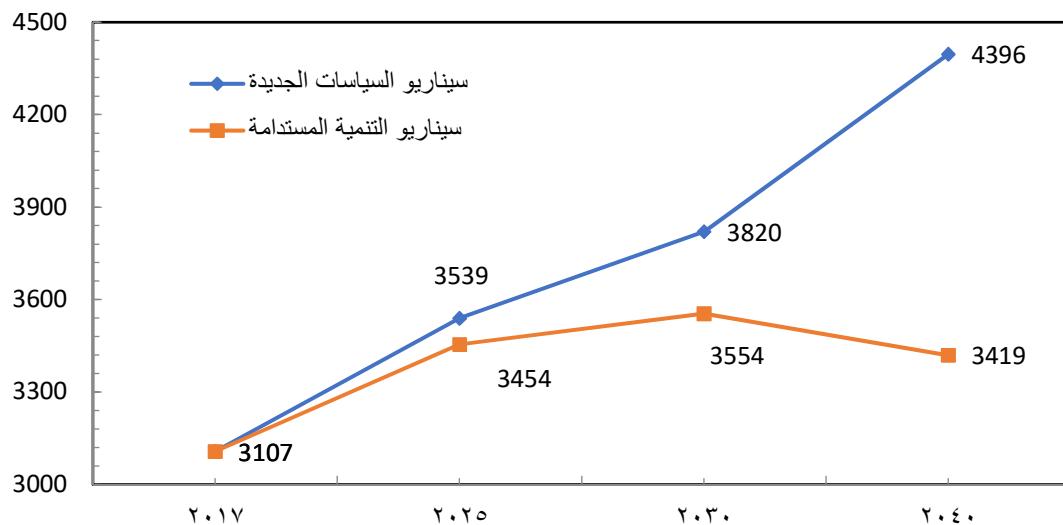
الشكل (٢-٥) مقارنة تطور الطلب المتوقع على النفط (٢٠١٧-٢٠٤٠)، (مليون طن م)



المصدر: أوابك ٢٠١٩. جدول (١-ب) في الملحق.

من المُتَوقَّع أن يَرْتَفِع الْطَّلَبُ عَلَى الغَازِ الطَّبِيعِي مِن ٣,١ إِلَى ٤,٤ مِليار طن م بحسب سس ج وإلى ٣,٤ مِليار طن م بحسب سس ت. كما هو مُوضَّح بالشكل رقم (٣-٥).

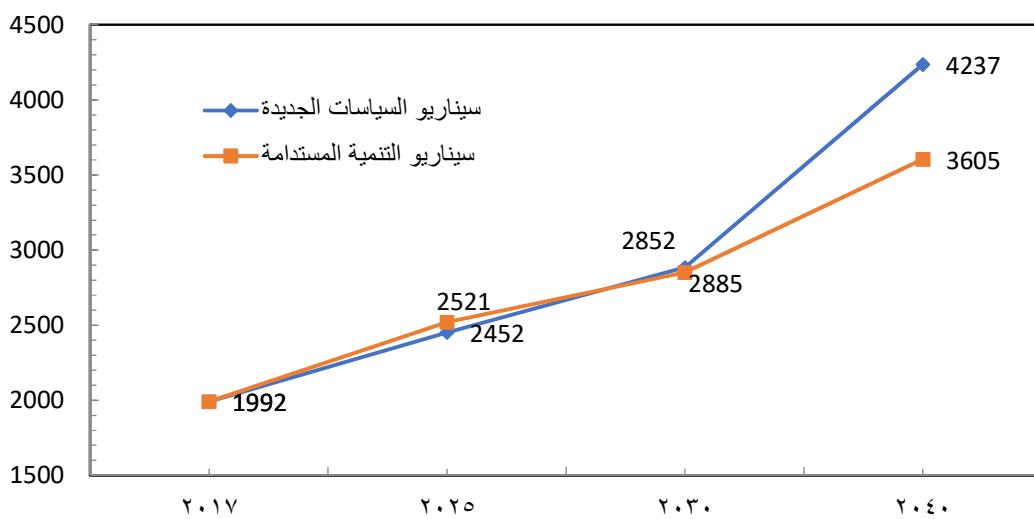
الشكل (٣-٥) مُقارنة تَطْوُر الْطَّلَبِ المُتَوقَّع عَلَى الغَازِ الطَّبِيعِي (٢٠١٧-٢٠٤٠)، (مليون طن م)



المصدر: أوابك ٢٠١٩. جدول (١-ج) في الملحق.

فيما يَحُصّ الْطَّلَبُ عَلَى مَصَادِرِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ، مِن المُتَوقَّع أن يَرْتَفِع الْطَّلَبُ مِن ٢,٠ إِلَى ٣,٦ مِليار طن م بحسب سس ج وإلى ٢,٤ مِليار طن م بحسب سس ت. كما هو مُوضَّح بالشكل رقم (٤-٥).

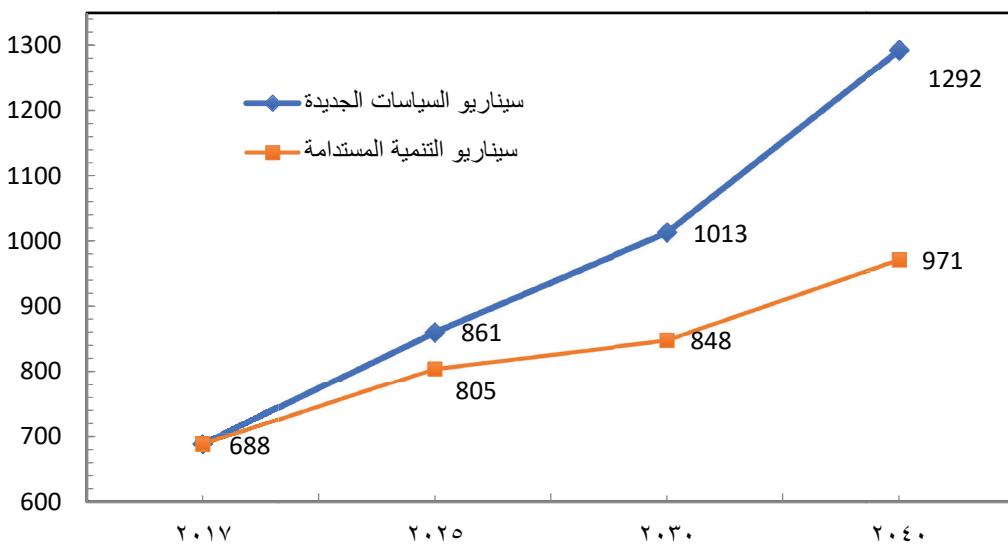
الشكل (٤-٥) مُقارنة تَطْوُر الْطَّلَبِ المُتَوقَّع عَلَى الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ (بِجَمِيعِ أَنْوَاعِهَا) (٢٠١٧-٢٠٤٠)، (مليون طن م)



المصدر: أوابك ٢٠١٩. جدول (١-هـ) في الملحق.

وفيما يُخَصُّ الطلب على الطاقة النَّوَوِيَّة، من المُتَوقَّعُ أن يَرْتَفَعُ الطلب من ٦٨٨ مليون طن م بحسب سنت ٢٠٢٥ إلى ٩٧١ مليون طن م بحسب سنت ٢٠٤٠ (٥-٥).

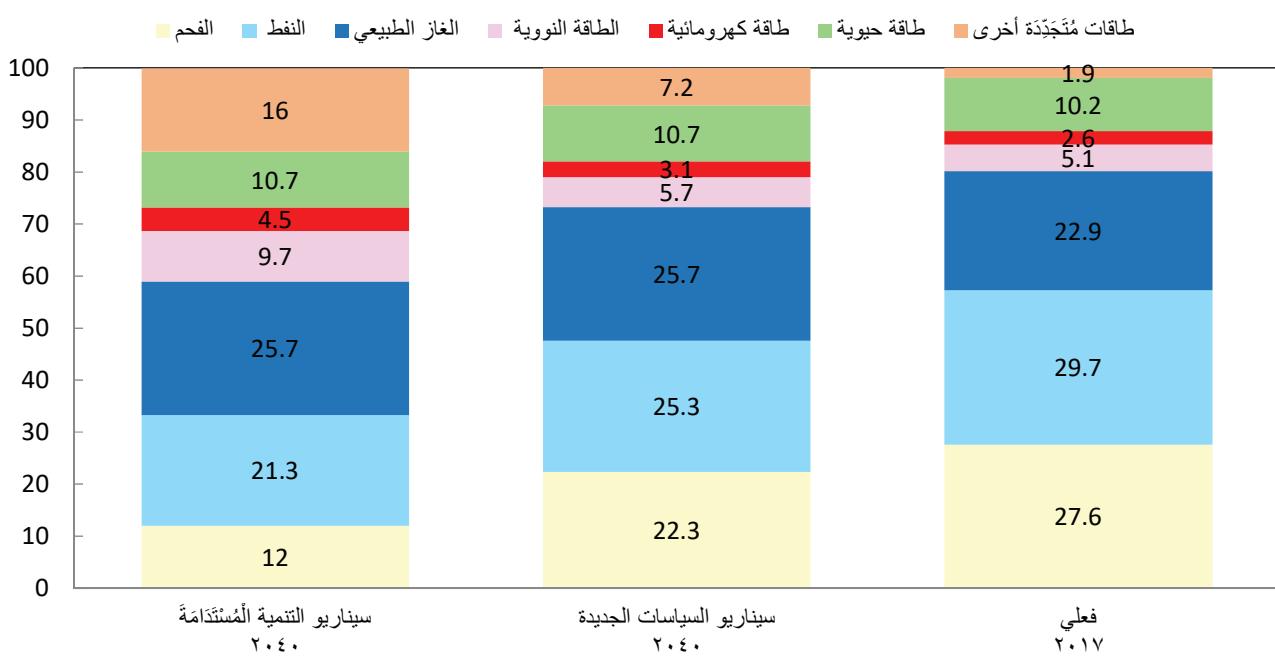
الشكل (٥-٥) مقارنة تَطْلُبُ الْمُتَوقَّعِ عَلَى الطَّاقَةِ النَّوَوِيَّةِ (٢٠١٧-٢٠٤٠)، (مليون طن م)



المصدر: أوابك ٢٠١٩. جدول (١-٤) في الملحق.

أخيراً، تُفِيد نتائج التَّوَقُّعات أن يشهد مزيج الطَّاقَةِ الْمُسْتَهْلِكَةِ عَالَمِياً تَغَيُّرًا في حِصَّةِ المصادر الْمُخْتَلِفَةِ الَّتِي يحتويها هذا المزيج. تُفِيد النتائج أَيْضًا، أنه من المُتَوقَّعُ أن تَنْخَفِضَ نِسْبَةُ الْوَقْدِ الْأَحْفَوْرِيِّ من ٨٠٪ إلى ٧٣٪ بحسب سنت ٢٠٤٠ في المائة بحسب سنت ٢٠٢٥. ولكن بالرغم من ذلك، ستظل حِصَّةُ الْوَقْدِ الْأَحْفَوْرِيِّ هي الْمُهِمَّةُ عَلَى مصادر الطَّاقَاتِ الْأُخْرَى، بحسب كلا السيناريوهين. كما هو مُوضَّح بالشكل رقم (٦-٥).

الشكل (٦-٥) مقارنة تطوير مزيج الطاقة الأولية المستهلكة عالمياً، (نسبة مئوية)



المصدر: أوبك ٢٠١٩. جدول (٢) ج في الملحق.

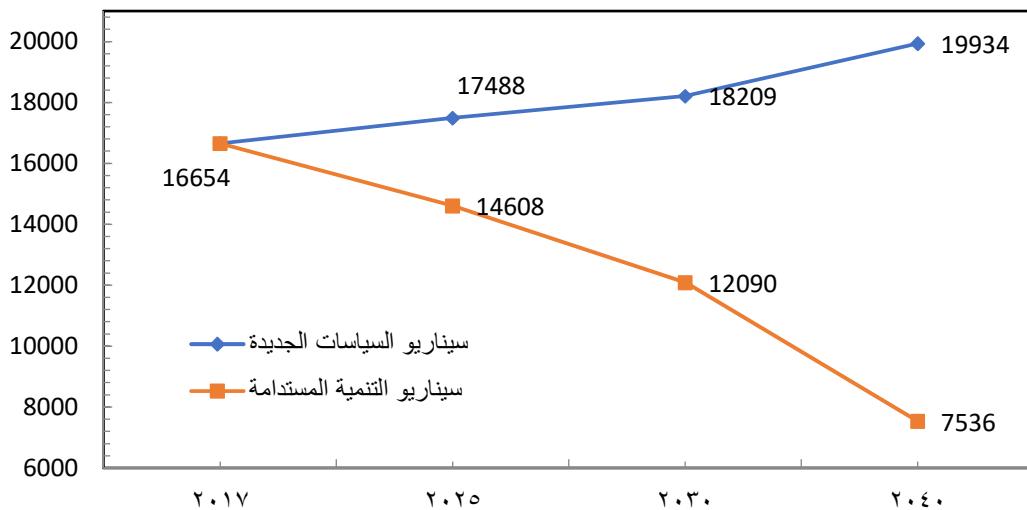
٤-٢: الطلب على مصادر الوقود المختلفة في توليد الكهرباء

يصل إجمالي الطاقة الكهربائية المتأولدة عام ٢٠١٧ بإستخدام مصادر الوقود المختلفة ٢٥٦٤٢ تيرا وات ساعة (ت و س). يستحوذ الوقود الأحفوري على النصيب الأكبر من مزيج الطاقة المستهلكة في هذا القطاع والتي وصلت إلى ٦٤,٩ في المائة، ما يعادل ١٦٦٥٤ ت و س.

من المتوقع أن يكون الوقود الأحفوري له النصيب الأكبر حيث سترتفع الكميات المستهلكة منه في هذا القطاع بمعدل سنوي ٨,٠ في المائة ليصل إلى ١٩٩٣٤ ت و س أو ٤٩,٣ في المائة من الإجمالي بحسب س. ج.

في المقابل، من المتوقع أن تنخفض الطاقة الكهربائية المتأولدة بإستخدام الوقود الأحفوري بإنخفاض سنوي مقداره ٤,٣ في المائة لتصل إلى ٧٥٣٦ ت و س أو ٢٠,٣ في المائة من الإجمالي بحسب س. ت. م. كما هو موضح بالشكل رقم (٧-٥).

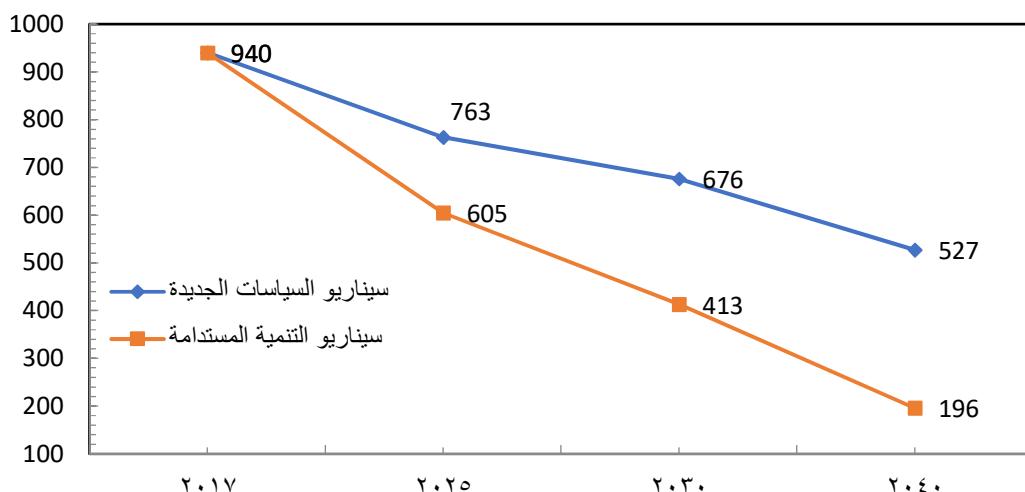
الشكل (٧-٥) مقارنة تطور الطلب المُتَوقّع على الوقود الأحفوري في قطاع توليد الطاقة الكهربائية (٢٠١٧-٢٠٤٠)، (ت وس)



المصدر: أوابك ٢٠١٩. جدول (٣-أ) في الملحق.

يُتَوقّع إنخفاض الطاقة الكهربائية المُتَوَلّدة بإستخدام النَّفط، بحسب كلا السيناريوهين. حيث من المُتَوقّع أن تنخفض من ٩٤٠ ت وس إلى ٥٢٧ ت وس بحسب س ج وإلى ١٩٦ ت وس بحسب س ت م. كما هو مُوضّح بالشكل رقم (٨-٥).

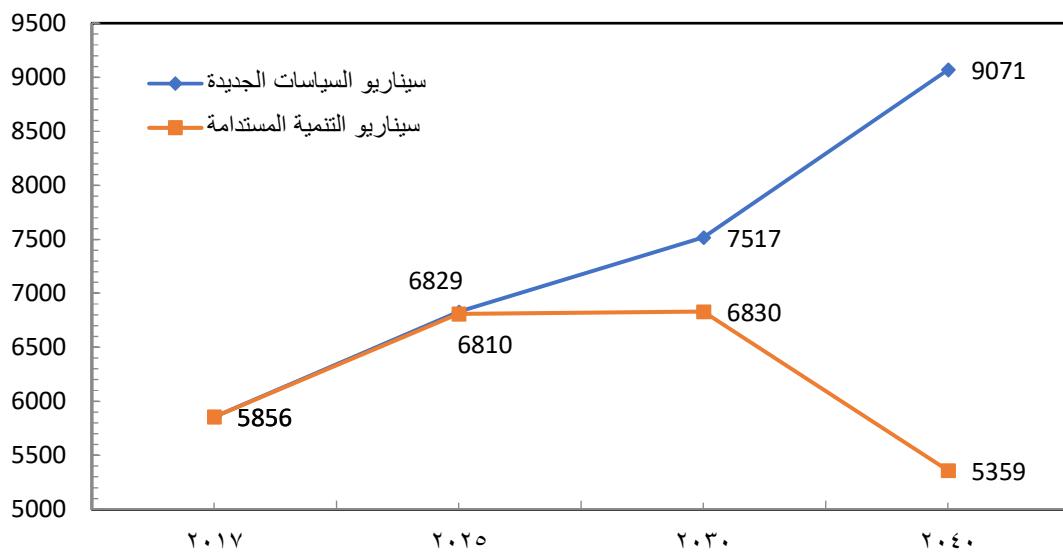
الشكل (٨-٥) مقارنة تطور الطلب المُتَوقّع على النَّفط في قطاع توليد الطاقة الكهربائية (٢٠١٧-٢٠٤٠)، (ت وس)



المصدر: أوابك ٢٠١٩. جدول (٣-ب) في الملحق.

يُتوَقّع إرتفاع الطَّاقة الكهربائية المُتولّدة بِاستخدام الغاز الطبيعي من ٥٨٥٦ ت وس بحسب س ج وإنخفاضها إلى ٥٣٥٩ ت وس بحسب س ت م. كما هو مُوضَح بالشكل رقم (٩-٥).

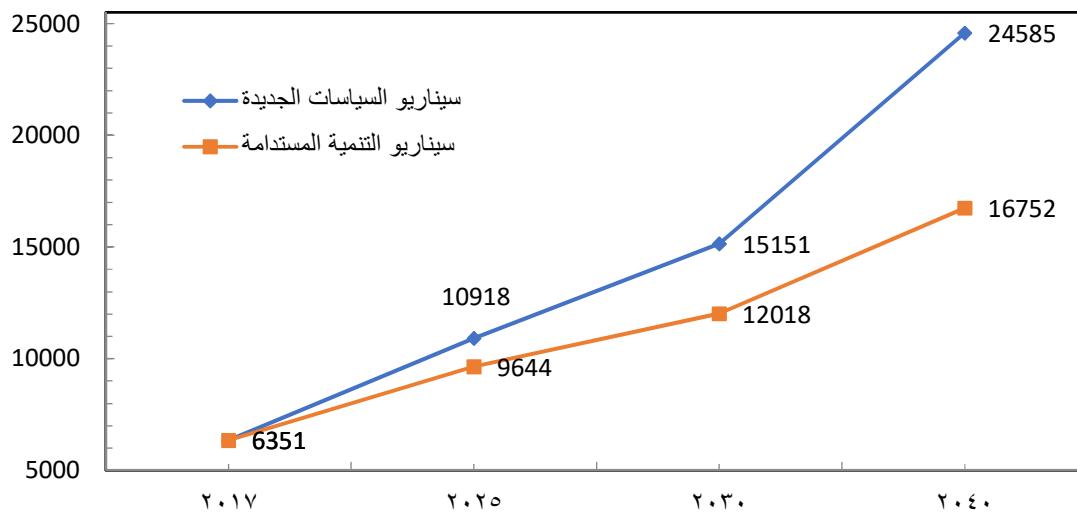
الشكل (٩-٥) مُقارنة تَطْلُب الْمُتَوَقّع عَلَى الغَازِ الطَّبِيعِي فِي قِطَاعِ تَوْلِيدِ الطَّاقَةِ الْكَهْرِبَائِيَّةِ (٢٠١٧-٢٠٤٠)، (ت وس)



المصدر: أوابك ٢٠١٩. جدول (٣-ج) في الملحق.

يُتوَقّع إرتفاع الطَّاقة الكهربائية المُتولّدة بِاستخدام الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ من ٦٣٥١ ت وس إلى ١٦٧٥٢ ت وس بحسب س ج وإلى ٢٤٥٨٥ ت وس بحسب س ت م. كما هو مُوضَح بالشكل رقم (١٠-٥).

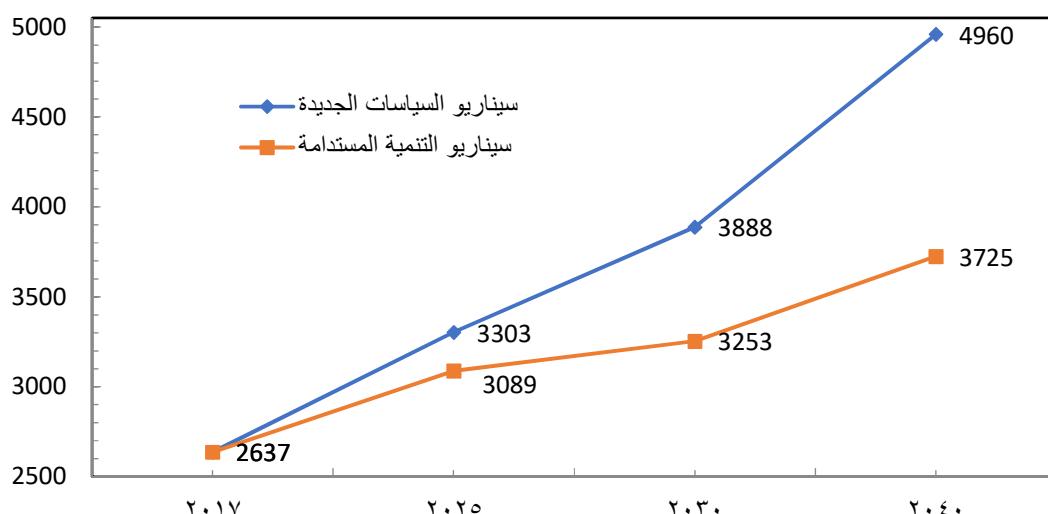
الشكل (١٠-٥) مقارنة تطوير الطلب المتوقع على الطاقات المتجددة (بجميع أنواعها) في قطاع توليد الطاقة الكهربائية (٢٠١٧-٢٠٤٠)، (ت وس)



المصدر: أوابك ٢٠١٩. جدول (٣-٥) في الملحق.

ويتوقع إرتفاع الطاقة الكهربائية المترددة بإستخدام الطاقة النّووية من ٣٧٢٦ ت و س بحسب س س ج وإلى ٤٩٦٠ ت و س بحسب س ت م. كما هو موضح بالشكل رقم (١١-٥).

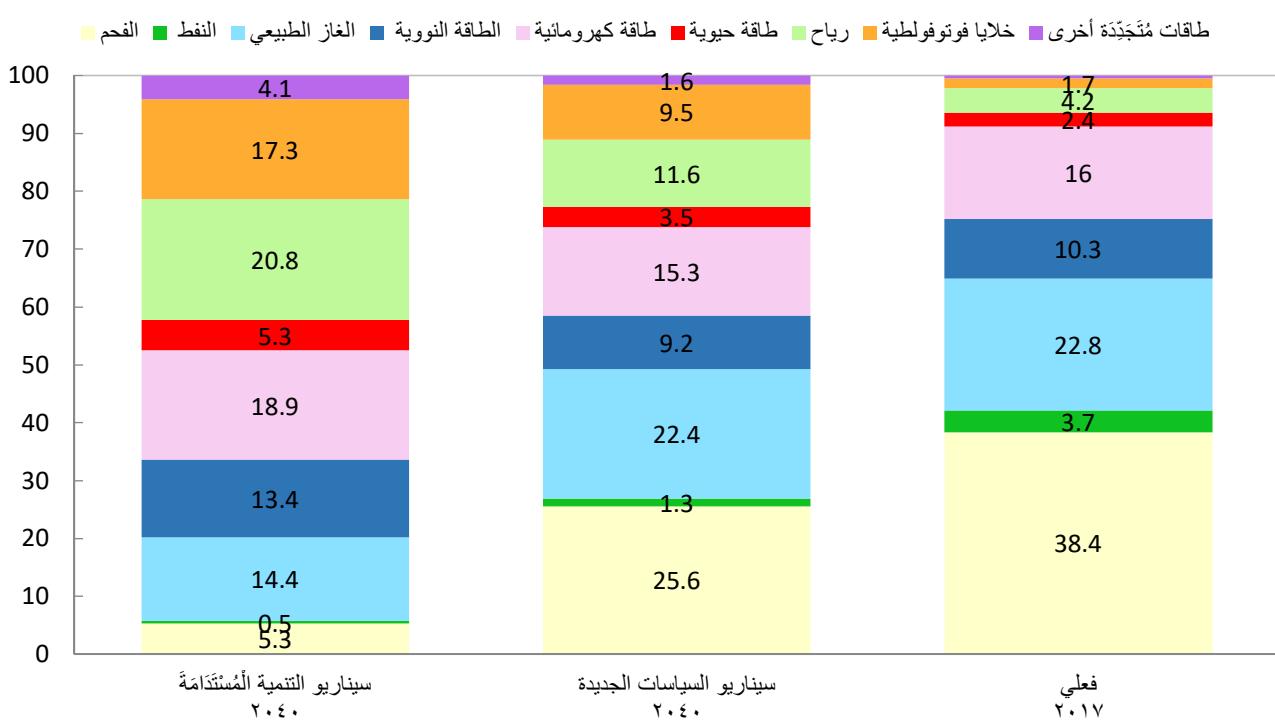
الشكل (١١-٥) مقارنة تطوير الطلب المتوقع على الطاقة النووية في قطاع توليد الطاقة الكهربائية (٢٠١٧-٢٠٤٠)، (ت وس)



المصدر: أوابك ٢٠١٩. جدول (٣-٥) في الملحق.

أخيرا، تُفيد نتائج التَّوقُّعات أن الطَّاقة الكهربائية المُتَوَلِّدة بِاستخدام الْأَحْفُورِي سَنَخَفِض من ٦٤,٩ إِلَى ٤٩,٣ فِي المائة بحسب سس ج و إِلَى ٢٠,٣ فِي المائة بحسب س ت م. وَيُتَوقَّع أَن تَرَفِع نِسْبَة الطَّاقة الكهربائية المُتَوَلِّدة من الطَّاقَات الْمُتَجَدِّدة مِن ٤١,٥ إِلَى ٤٢,٨ فِي المائة بحسب سس ج و إِلَى ٦٦,٣ فِي المائة بحسب س ت M. كَمَا هُو مُوضَّح بالشكل رقم (١٢-٥).

الشكل (١٢-٥) مُقارنة تَطَوُّر مزيج الطَّاقة الْأُولِيَّة الْمُسْتَهْلَكَة عَالْمِيَا فِي قِطَاع تَوْلِيد الطَّاقة الْكَهْرِبَائِيَّة، (نِسْبَة مَئُوِّيَّة)



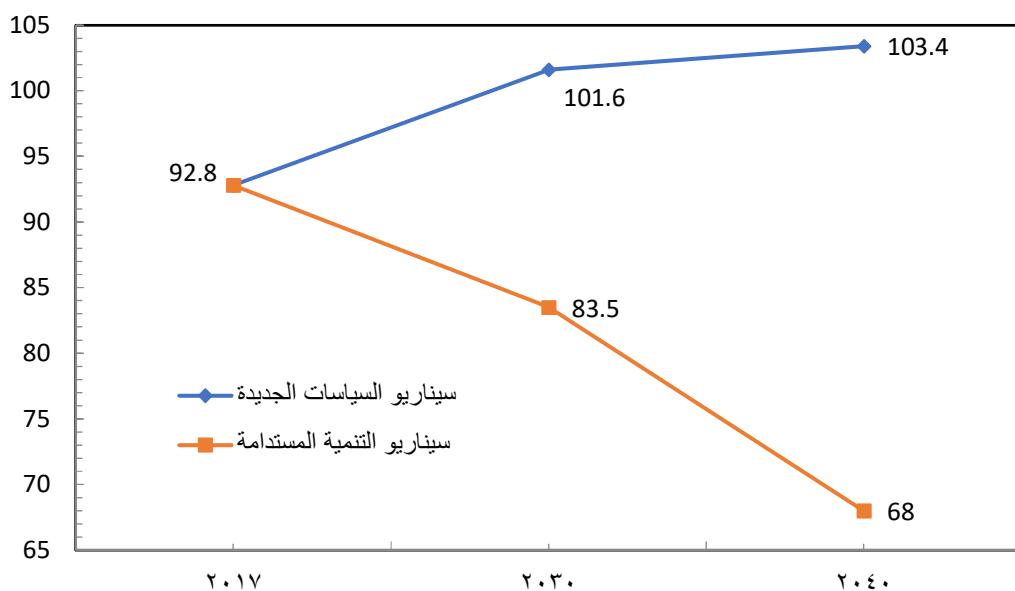
المصدر: أوباك ٢٠١٩. جدول (٤) في الملحق.

٢-٥: الإنعكاسات المختملة

١-٢-٥: الإمدادات النفطية

من المُتَوقَّع أن تَرتفع الإمدادات النفطية من ٩٢,٨ إلى ١٠٣,٤ مليون ب/ي بحسب س ج. ويُتَوقَّع أن تَنْخَفِض إلى ٦٨ مليون ب/ي بحسب س ت م. كما هو مُوضَّح بالشكل رقم (١٣-٥).

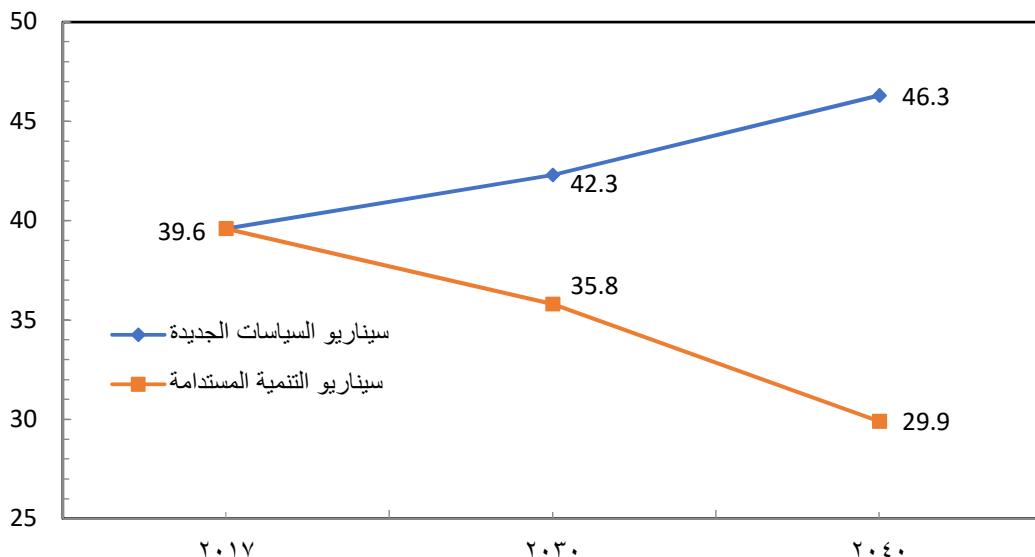
الشكل (١٣-٥) تَطَوُّر الإمدادات النفطية العالمية (٢٠١٧-٢٠٤٠)، (مليون ب/ي)



المصدر: أوابك ٢٠١٩. جدول (٥) في الملحق.

من المُتَوقَّع أن تَرتفع الإمدادات النفطية من الدُّول الأَعْصَاء في مُنَظَّمة أوبك من ٣٩,٦ إلى ٤٦,٣ مليون ب/ي بحسب س ج. ويُتَوقَّع أن تَنْخَفِض إلى ٢٩,٩ مليون ب/ي بحسب س ت م. كما هو مُوضَّح بالشكل رقم (١٤-٥).

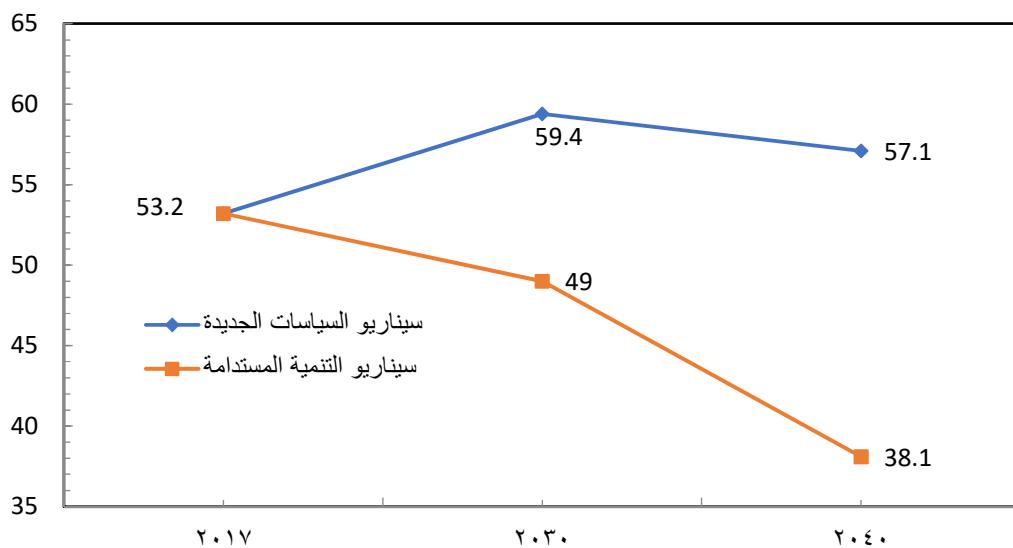
الشكل (١٤-٥) تَطْوُر الإِمَادَاتِ النَّفْطِيَّةِ لِلْدُّولِ الأَعْصَاءِ فِي مُنَظَّمةِ أُوبَكِ (٢٠١٧-٢٠٤٠)، (مِلْيُونَ بِي)



المصدر: أوباك ٢٠١٩. جدول (٥) في الملحق.

من المُتَوقَّع أن تَرْتَفِع الإِمَادَاتِ النَّفْطِيَّةِ من الدُّولِ خارج مُنَظَّمةِ أُوبَكِ من ٥٣,٢ مِلْيُونَ بِي إِلَى ٥٧,١ مِلْيُونَ بِي بحسب س.ج. ويُتَوقَّع أن تَنْخَفِض إلى ٣٨,١ مِلْيُونَ بِي بحسب س.ت.م. كما هو مُوضَّح بالشكل رقم (١٥-٥).

الشكل (١٥-٥) تَطْوُر الإِمَادَاتِ النَّفْطِيَّةِ من الدُّولِ خارج مُنَظَّمةِ أُوبَكِ (٢٠١٧-٢٠٤٠)، (مِلْيُونَ بِي)



المصدر: أوباك ٢٠١٩. جدول (٥) في الملحق.

٢-٢-٥: أسعار النُّفط والغازات النَّفطية

بالإسناد على سيناريو السياسات الجديدة، من المتوقع أن يرتفع حجم تجارة النُّفط الخام من ٣٦,٣ إلى ٤٤ مليون ب/ي أو نسبة تعادل ٢٣ في المائة. من المتوقع أيضاً، أن ترتفع صادرات الدول الأعضاء في منظمة الأوباك من ١٢٣,١ إلى ٢٥,٨ مليون ب/ي. ولكن من نظرة شمولية، يتوقع أن تنخفض مساهمة دول أوباك في الإجمالي العام من ٦٦,٦ إلى ٥٧,٧ في المائة.

الجدير بالذكر، أنه من المتوقع أن تكون أغلب تلك الصادرات بإتجاه الأسواق الآسيوية. وأيضاً، يمكن ملاحظة أن معظم صادرات المنطقة عام ٢٠١٧ من الوقود الأحفوري كانت على شكل نفط خام ولكن من المتوقع أن تتغير تدريجياً لتكون على شكل منتجات نفطية عام ٢٠٤٠.

٣-٢-٥: المُتطلبات الإستثمارية

١-٣-٢-٥: الإجمالي وحسب نوع الوقود وحسب المجموعة الدولية

بالإسناد على سيناريو السياسات الجديدة، من المتوقع أن يصل حجم إجمالي الإستثمارات المترادفة لجميع أنواع مصادر الطاقة خلال الفترة (٢٠١٨-٢٠٤٠) إلى ١١,٤ تريليون دولار أمريكي. بإسحاق قطاع الطاقات المتجددة على النصيب الأكبر منها بنسبة ٧٠,٣ في المائة، يليها الوقود الأحفوري بنسبة ٢٠,١ في المائة ثم الطاقة النووية بنسبة ٩,٦ في المائة.

بالإسناد على سيناريو التنمية المستدامة، من المتوقع أن يصل حجم إجمالي الإستثمارات المترادفة لجميع أنواع مصادر الطاقة خلال الفترة (٢٠١٨-٢٠٤٠) إلى ١٦,٤ تريليون دولار أمريكي. بإسحاق قطاع الطاقات المتجددة مرأة أخرى، على النصيب الأكبر منها بنسبة ٧٨ في المائة، يليها الوقود الأحفوري بنسبة ١٢,٩ في المائة ثم الطاقة النووية بنسبة ١,٩ في المائة.

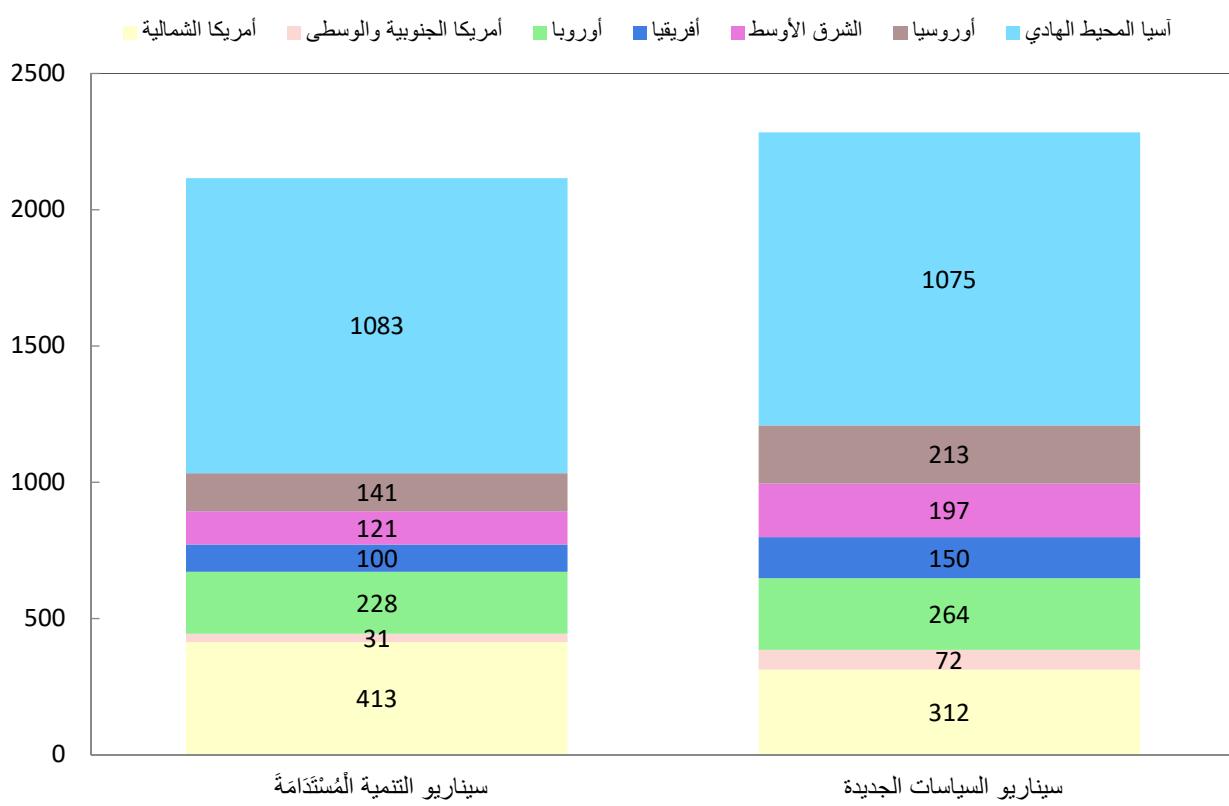
فيما يتعلق بتوزيع الإستثمارات بحسب أنواع الوقود، فإنه من المتوقع أن تصعد المُتطلبات الإستثمارية للوقود الأحفوري إلى ٢,٣ تريليون دولار بحسب س ج وإلى ٢,١ تريليون دولار بحسب س ت م.

فيما يتعلق بتوزيع الإستثمارات بحسب المجموعة الدولية، وبالإسناد على سيناريو السياسات الجديدة، فإن الجزء الأكبر من تلك الإستثمارات سيكون من نصيب مجموعة دول آسيا والمحيط الهادئ بنسبة ٤٧,١ في المائة، تليها مجموعة دول أمريكا الشمالية بنسبة ١٣,٧ في المائة، ثم الدول الأوروبية بنسبة ١١,٦ في المائة،

ثم دُول أوروباً آسيا بِنسبة ٩,٣ في المائة، ثم دُول الشرق الأوسط بِنسبة ٨,٦ في المائة، ثم الدُول الأفريقية بِنسبة ٦,٦ في المائة، ثم دُول أمريكا الجنوبية والوسطى بِنسبة ٣,٢ في المائة.

وفِيمَا يَتَعَلَّق بِتَوْزُع الإِسْتِثْمَارَات بِحَسْبِ الْمَجْمُوعَة الْدُولِيَّة، وَبِالإِسْتِنَاد عَلَى سِينَارِيو السِّيَاسَات الْجَدِيدَة، فَإِنَّ الْجُزْء الْأَكْبَر مِنْ تِلْكَ الإِسْتِثْمَارَات سَيَكُون أَيْضًا مِنْ نَصِيبِ مَجْمُوعَة دُول آسِيا وَالْمَحيَط الْهَادِي بِنِسْبَة ٥١,٢ في المائة، تَلِيهَا مَجْمُوعَة دُول أمريكا الشَّمَالِيَّة بِنِسْبَة ١٩,٥ في المائة، ثُمَّ الدُول الأُورُوبِيَّة بِنِسْبَة ١٠,٨ في المائة، ثُمَّ دُول أوروباً آسِيا بِنِسْبَة ٦,٧ في المائة، ثُمَّ دُول الشرق الأوسط بِنِسْبَة ٥,٧ في المائة، ثُمَّ الدُول الأُفْرِيقِيَّة بِنِسْبَة ٤,٧ في المائة، ثُمَّ دُول أمريكا الجنوبيَّة والوسطى بِنِسْبَة ١,٥ في المائة. كَمَا هُو مُوَضَّح بالشكل رقم (١٦-٥).

الشكل (١٦-٥) الْمُتَطلُّبَات الإِسْتِثْمَارِيَّة الْمُتَوقَّعة لِلوقود الْأَحْفَوْرِي بِحَسْبِ الْمَجْمُوعَة الْدُولِيَّة (٢٠١٨-٢٠٤٠)، (مليار دُولَارَ أمْرِيكِي)



المصدر: أوابك ٢٠١٩. جدول (٦) في الملحق.

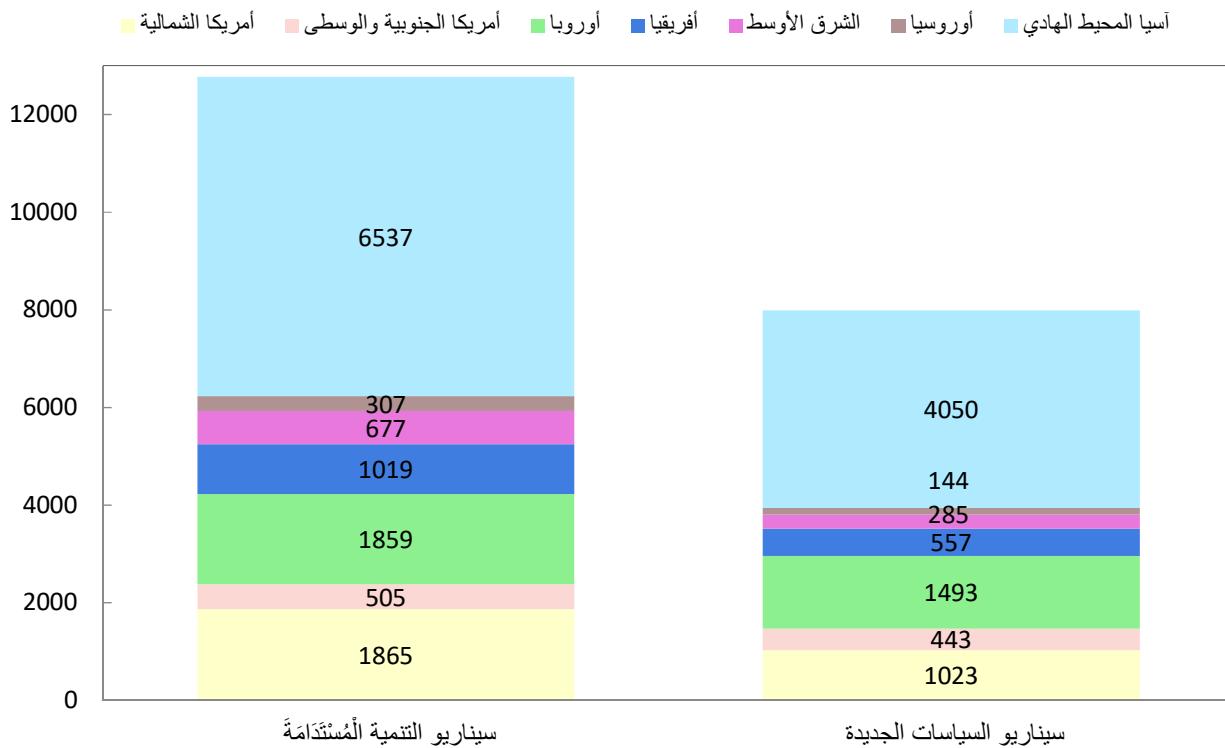
٢-٣-٢-٥: قطاع الطاقات المتجددة وحسب المجموعة الدولية

من المتوقع أن يصل حجم إجمالي المُتطلبات الإستثمارات المترادمة لقطاع الطاقات المتجددة خلال الفترة (٢٠١٨ - ٢٠٤٠) إلى ٨ تريليون دولار أمريكي بحسب سعر ج إلى ١٢,٨ تريليون دولار بحسب سعر ت.

فيما يتعلق بتوزع إستثمارات قطاع الطاقات المتجددة، بحسب المجموعة الدولية، وبالإسناد على سيناريو السياسات الجديدة فإن الجزء الأكبر من تلك الإستثمارات سيكون من نصيب مجموعة دول آسيا والمحيط الهادئ بنسبة ٥٠,٧ في المائة، تليها مجموعة الدول الأوروبية بنسبة ١٨,٧ في المائة، ثم دول أمريكا الشمالية بنسبة ١٢,٨ في المائة، ثم الدول الأفريقية بنسبة ٧ في المائة، ثم دول أمريكا الجنوبية والوسطى بنسبة ٥,٥ في المائة، ثم دول الشرق الأوسط بنسبة ٣,٦ في المائة، ثم دول أوروبا بنسبة ١,٨ في المائة.

فيما يتعلق بتوزع إستثمارات قطاع الطاقات المتجددة، بحسب المجموعة الدولية، وبالإسناد على سيناريو التنمية المستدامة فإن الجزء الأكبر من تلك الإستثمارات سيكون من نصيب مجموعة دول آسيا والمحيط الهادئ بنسبة ٥١,٢ في المائة، تليها مجموعة دول أمريكا الشمالية ومجموعة الدول الأوروبية بنسبة ١٤,٦ في المائة لكل منهما، ثم الدول الأفريقية بنسبة ٨ في المائة، ثم دول الشرق الأوسط بنسبة ٥,٣ في المائة، ثم دول أمريكا الجنوبية والوسطى بنسبة ٤ في المائة، ثم دول أوروبا بنسبة ٢,٤ في المائة. كما هو موضح بالشكل رقم (١٧-٥).

الشكل (١٧-٥) المُتطلبات الإستثمارية المتوقعة للطاقة المتجددة بحسب المجموعة الدولية (٢٠١٨-٢٠٤٠)، (مليار دولار أمريكي)



المصدر: أوبك ٢٠١٩. جدول (٦) في الملحق.

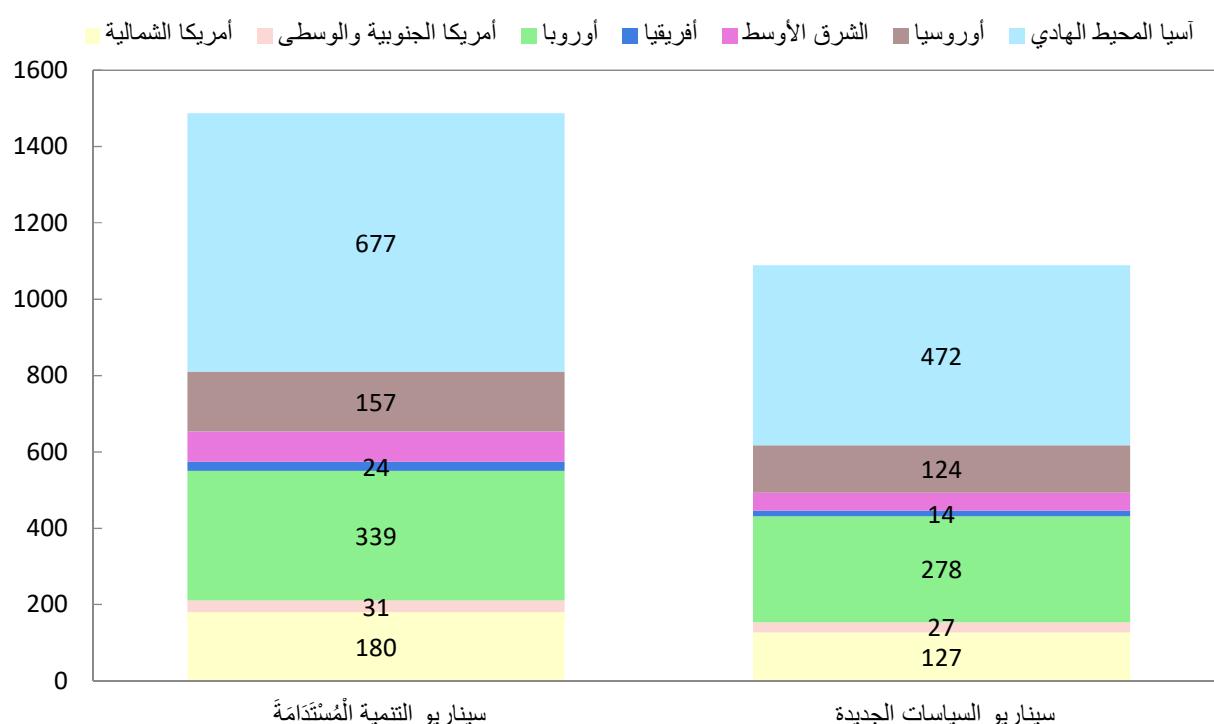
٣-٣-٥: قطاع الطاقة النووية وحسب المجموعة الدولية

من المتوقع أن يصل حجم إجمالي المُتطلبات الإستثمارات المترافقية لقطاع الطاقة النووية خلال الفترة (٢٠١٨-٢٠٤٠) إلى ١,١ تريليون دولار بحسب سسج وإلى ١,٥ تريليون دولار بحسب ستس.

فيما يتعلق بتوزع إستثمارات قطاع الطاقة النووية، بحسب المجموعة الدولية، وبالإشتراك على سيناريو السياسات الجديدة فإن الجزء الأكبر من تلك الإستثمارات سيكون من نصيب مجموعة دول آسيا والمحيط الهادئ بنسبة ٤٣,٣ في المائة، تليها مجموعة الدول الأوروبية بنسبة ٢٥,٥ في المائة، ثم دول أمريكا الشمالية بنسبة ١١,٧ في المائة، ثم دول أوروسيا بنسبة ١١,٤ في المائة، ثم دول الشرق الأوسط بنسبة ٤,٣ في المائة، ثم دول أمريكا الجنوبية والوسطى بنسبة ٢,٥ في المائة، ثم الدول الأفريقية بنسبة ١,٣ في المائة.

فيما يتعلّق بتوزُّع إستثمارات قطاع الطَّاقة النَّوويَّة، بحسب المجموعة الدُّولية، وبالإسْتِناد على سيناريو التَّنَمِيَّة المُسْتَدَامَة فإنَّ الجزء الأكْبَر من تلك الإِسْتِثْمَارات سَيَكُون مِنْ نَصِيبِ مجمُوعَة دُول آسِيا والمحيط الهادي بِنِسْبَة ٤٥,٥ في المائة، تليها مجمُوعَة الدُّول الأوروبيَّة بِنِسْبَة ٢٢,٨ في المائة، ثم دُول أمريكا الشَّماليَّة بِنِسْبَة ١٢,١ في المائة، ثم دُول أوروباً بِنِسْبَة ١٠,٦ في المائة، ثم دُول الشرق الأوسط بِنِسْبَة ٥,٣ في المائة، ثم دُول أمريكا الجنوبيَّة والوسطيَّ بِنِسْبَة ٢,١ في المائة، ثم الدُّول الأفريقيَّة بِنِسْبَة ١,٦ في المائة. كما هو مُوضَّح بالشكل رقم (١٨-٥).

الشكل (١٨-٥) المُنَظَّلَات الإِسْتِثْمَاريَّة المُتَوقَّعة لِلطاقة النَّوويَّة بحسب المجموعة الدُّولية (٢٠١٨-٢٠٤٠)، (مليار دولار أمريكي)



المصدر: أوابك ٢٠١٩. جدول (٦) في الملحق.

٤-٣-٢-٤: قطاع الوقود الأحفوري (النفط والغاز الطبيعي)

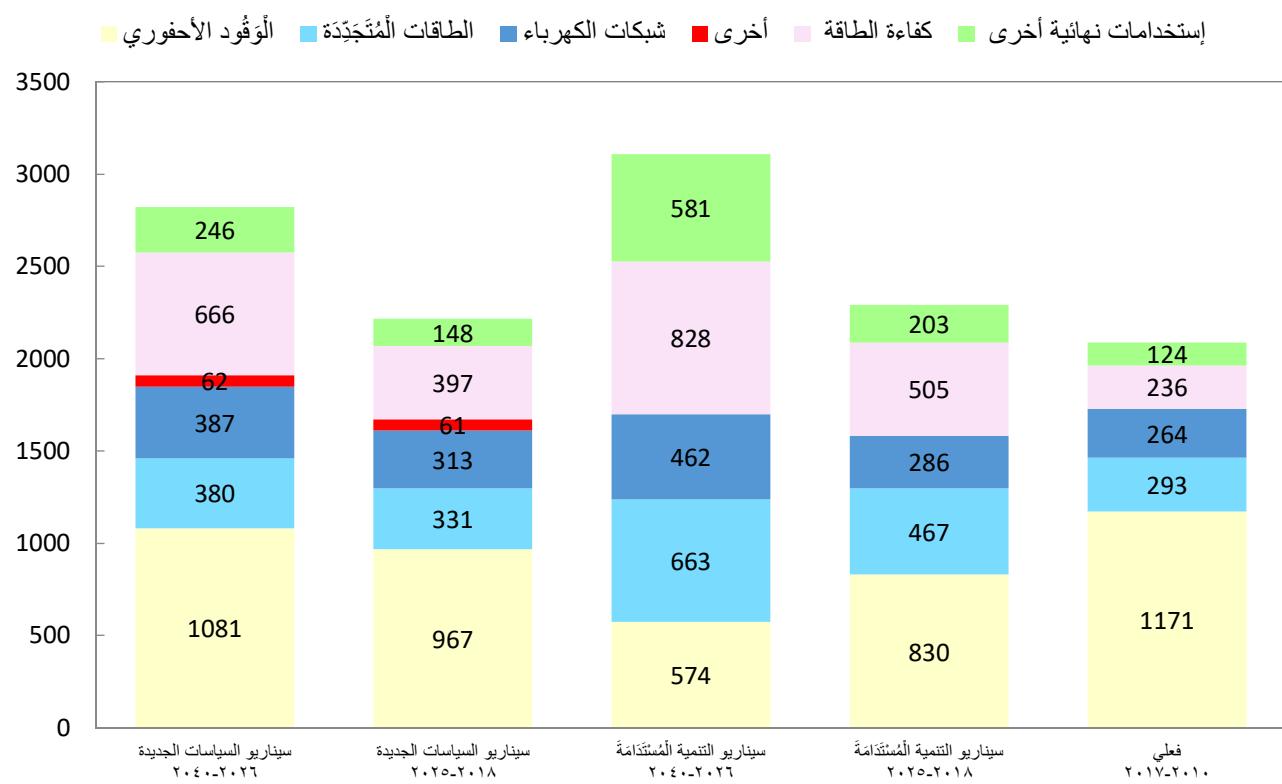
بالإسناد على سيناريو السياسات الجديدة، تتطلب الإتجاهات المُتوَقَّعه للإمدادات النفطيَّة ضخ إستثمارات عالمية في البُني التحتية لِقطاع النَّفط والغاز الطبيعي تصل إلى ٢٠,٧٠٨ تريليون دولار. نصيب قطاع الإستكشاف والإنتاج منها ١٥,٧٣ تريليون دولار أو نسبة ٧٦ في المائة. كما تحتاج منطقة الشرق الأوسط إلى ضخ إستثمارات تراكميَّة تصل إلى ٢,٩٨٩ مليار دولار أو ٤٤ في المائة من إجمالي الإستثمارات العالميَّة. نصيب قطاع الإستكشاف والإنتاج منها ٢,٢٨٣ مليار دولار أو نسبة ٣٦,٣ في المائة. ونصيب قطاع التكرير ١٨٤ مليار دولار أو نسبة ٦,٢ في المائة.

من المُتوَقَّع أيضًا، أن تَسْتَأْثِر دُول الأوپك، والتي من ضمنها الدُّول الأَعْضَاء في الأوپاك، على النصيب الأَكْبَر من حجم تلك الإستثمارات المُتَوَقَّعة حتى عام ٢٠٤٠. ولهذا، من الضروري الحصول على أمن طلب من الدُّول المُسْتَهْلِكَة لِضخ مثل تلك الإستثمارات الضخمة.

وبالإسناد على سيناريو التنمية المستدامة، سيكون هناك تأثير على حجم الإستثمارات التي يُتَوقَّع أن تُضَخ في هذا القطاع. فمن المُتَوَقَّع أن يصل حجم إجمالي الإستثمارات المُتَراكِمة عالمياً في البُني التحتية للنَّفط والغاز الطبيعي إلى ١٣,٤٥٥ تريليون دولار.

تجدر الإشارة، بِأنَّ المُتَطلبات الإستثمارية بحسب سـ٢٥٣ تَقْل بـ٧,٢٥٣ مليار دولار عن المُتَطلبات الإستثمارية بحسب سـ١٩-٥ أو نسبة ٣٥ في المائة. ويُوضَح الشكل رقم (١٩-٥) المُتوسَط السنوي لحجم مُتَطلبات الإستثمار بحسب القطاع.

الشكل (١٩-٥) المُتوسّط السنوي لحجم مُتطلبات الإستثمار بحسب القطاع، (مليار دولار أمريكي)



المصدر: أوابك ٢٠١٩. جدول (٧) في الملحق.

٣-٥: إستخلاص وتحليل النتائج

فيما يلي، ملخص نتائج سيناريو السياسات الجديدة وسيناريو التنمية المستدامة، خلال الفترة (٢٠١٧-٢٠٤٠).

فيما يخص تطور الطلب بحسب نوع الطاقة:

- إنخفاض حصة الوقود الأحفوري من ٢٣,٣% إلى ١٣,٣% في المائة بحسب سنت ٢٠٣٠.
- ارتفاع الطلب على النفط من ٨٦ مليون ب/ي بحسب سنت ٢٠٣٠، وإنخفاضه إلى ٥٦ مليون ب/ي بحسب سنت ٢٠٤٠.
- إنخفاض حصة النفط في مزيج الطاقة من ٢٩,٧% إلى ٢٥,٣% في المائة بحسب سنت ٢٠٣٠، وإلى ٢١,٣% في المائة بحسب سنت ٢٠٤٠.

٤. إرتفاع الطَّلَب على الغاز الطبيعي من ٣ إلى ٤,٤ مليار طن م بحسب سس ج، وإلى ٣,٤ مليار طن م بحسب سس ت.
٥. إرتفاع حِصَّة الغاز الطبيعي في مزيج الطَّاقة من ٢٢,٩ إلى ٢٥,٧ في المائة، بحسب كلا السيناريوهان.
٦. إرتفاع الطَّلَب على الطَّاقَات الْمُتَجَدِّدة من ٢ إلى ٣,٦ مليار طن م بحسب سس ج، وإلى ٢,٤ مليار طن م بحسب سس ت.
٧. إرتفاع حِصَّة الطَّاقَات الْمُتَجَدِّدة في المزيج من ١٤,٧ إلى ٢١ في المائة بحسب سس ج، وإلى ٢١,٢ في المائة بحسب سس ت.
٨. إرتفاع الطَّلَب على الطَّاقيَة النَّوَوِيَّة من ٦٨٨ إلى ٩٧١ مليون طن م بحسب سس ج، وإلى ١,٣ مليار طن م بحسب سس ت.
٩. إرتفاع حِصَّة الطَّاقيَة النَّوَوِيَّة في مزيج الطَّاقيَة من ١,٥ إلى ٥,٧ في المائة بحسب سس ج، وإلى ٩,٧ في المائة بحسب سس ت.

فيما يَخُصّ تَطْوُر الطَّلَب بحسب نوع الطَّاقيَة الْمُسْتَخْدِمة في توليد الطَّاقيَة الكهربائية:

١. إنخفاض حِصَّة الْأَحْفُورِيَّة من ٤٩,٣ إلى ٦٤,٩ في المائة بحسب سس ج، وإلى ٢٠,٣ في المائة بحسب سس ت.
٢. إنخفاض حِصَّة النَّفْط في مزيج وَقُود التوليد من ٣,٧ إلى ١,٣ في المائة بحسب سس ج، وإلى ٥,٠ في المائة بحسب سس ت.
٣. إنخفاض حِصَّة الغاز الطبيعي في مزيج وَقُود التوليد من ٢٢,٤ إلى ٢٢,٨ في المائة بحسب سس ج، وإلى ١٤,٥ في المائة بحسب سس ت.
٤. إرتفاع حِصَّة الطَّاقَات الْمُتَجَدِّدة في مزيج وَقُود التوليد من ٤١,٥ إلى ٤٢,٨ في المائة بحسب سس ج، وإلى ٦٦,٣ في المائة بحسب سس ت.
٥. إنخفاض حِصَّة الطَّاقيَة النَّوَوِيَّة في مزيج وَقُود التوليد من ١٠,٣ إلى ٩,٢ في المائة بحسب سس ج، وإرتفاع حصتها إلى ١٣,٤ في المائة بحسب سس ت.

فيما يُخصّ تَطْوُرِ الإِمَادَاتِ النَّفْطِيَّةِ:

١. إرتفاع الإِمَادَاتِ النَّفْطِيَّةِ الْعَالَمِيَّةِ مِنْ ٩٢,٨ إِلَى ١٠٣,٤ مِلْيُونِ ب/ي بحسب سس ج، وإنخفاضها إلى ٦٨,١ مِلْيُونِ ب/ي بحسب سس ت م.
٢. إرتفاع الإِمَادَاتِ النَّفْطِيَّةِ لِدُولَ أُوبَكَ (التي تَضَمَّنَ دُولَ أُوبَكَ) مِنْ ٣٩,٦ إِلَى ٤٦,٣ مِلْيُونِ ب/ي بحسب سس ج، وإنخفاضها إلى ٢٩,٩ مِلْيُونِ ب/ي بحسب سس ت م.
٣. إرتفاع حِصَّةِ الإِمَادَاتِ النَّفْطِيَّةِ لِدُولَ أُوبَكَ (التي تَضَمَّنَ دُولَ أُوبَكَ) مِنِ الإِجمَالِيِّ الْعَامِيِّ مِنْ ٤٢,٧ إِلَى ٤٤,٨ فِي المائة بحسب سس ج، وإنخفاضها من ٧,٤ إِلَى ٤٣,٩ فِي المائة بحسب سس ت م.
٤. إرتفاع الإِمَادَاتِ النَّفْطِيَّةِ لِدُولَ خارج أُوبَكَ مِنْ ٥٣,٢ إِلَى ٥٧,١ مِلْيُونِ ب/ي بحسب سس ج، وإنخفاضها إلى ٣٨,١ مِلْيُونِ ب/ي بحسب سس ت م.
٥. إنخفاض حِصَّةِ الإِمَادَاتِ النَّفْطِيَّةِ لِدُولَ خارج أُوبَكَ مِنْ ٥٥,٢ إِلَى ٥٧,٣ فِي المائة بحسب سس ج، وإلى ٥٦,١ فِي المائة بحسب سس ت م.

فيما يُخصّ حجمِ الإِسْتِثْمَاراتِ المطلوبةِ:

١. بحسب سيناريو السّيَاسَاتِ الْجَدِيدَةِ، يبلغ الإِجمَالِيِّ الْعَامِيِّ ١١,٤ تريليون دولار، نصيب الْوَقْودِ الْأَحْفُوريِّ مِنْهَا ٢,٣ تريليون دولار أو نِسْبَة ٢٠,١ فِي المائة. ونصيب الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ ٨ تريليون دولار أو نِسْبَة ٧٠,٣ فِي المائة.
٢. بحسب سيناريو التَّنْمِيَةِ الْمُسْتَدَامَةِ، يبلغ الإِجمَالِيِّ الْعَامِيِّ ١٦,٤ تريليون دولار، نصيب الْوَقْودِ الْأَحْفُوريِّ مِنْهَا ٢,١ تريليون دولار أو نِسْبَة ١٢,٩ فِي المائة. ونصيب الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ ١٢,٨ تريليون دولار أو نِسْبَة ٧٨ فِي المائة.

٤-٥: إِسْتِنْتَاجَات

هناك تَعَارُضٌ بَيْنَ حَصْولِ الدُّولَ الْمُنْتَجَةِ عَلَى أَمْنِ الإِمَادَاتِ وَبَيْنَ رغبةِ الدُّولَ الْمُسْتَهْلِكَةِ الْخُروجِ مِنْ مفهومِ التَّبَعِيَّةِ النَّفْطِيَّةِ. ويرجع السبب إلى أنَّ مُعْظَمَ إِحْتِياطَاتِ الْوَقْودِ الْأَحْفُوريِّ موجودَة خارج حدود الدُّولَ الْمُسْتَهْلِكَةِ. بالإضافة إلى أنَّ وصولِ الْمُنْتَجَاتِ النَّفْطِيَّةِ النَّهَائِيَّةِ إِلَى الْمُسْتَهْلِكِينَ يمرُّ بِسَلْسَلَةِ تَورِيدَاتِ طَوِيلَةٍ. من هنا، ظهرت الحاجة إلى إعادة هيكلة الصناعَةِ وَالْبُنَيَّةِ التَّحتِيَّةِ النَّفْطِيَّةِ، وَالْحاجَةُ أَيْضًا إِلَى وجودِ تنسيق قويٍّ بَيْنَ الأَطْرَافِ الْمُخْتَلِفَةِ فِي مَجَالِ تَجَارَةِ الطَّاقَةِ.

كما تَنْتَظِرُ الدُّولَ المُنْتَجَةَ عَلَى أَنَّ النَّفْطَ هُوَ السَّلْعَةُ الْأُولَى، لِدَوْرِهِ الْمُهِمِّ فِي التَّطَوُّراتِ الإِقْتَصَادِيَّةِ وَالسِّيَاسِيَّةِ وَالإِجْتِمَاعِيَّةِ. حِيثُ تُغْتَبِرُ صَادِراتُ النَّفْطِ إِيرَادَاتُ رَئِيسِيَّةٍ تَعْتَمِدُ عَلَيْهَا فِي الْمَشَارِيعِ التَّمْوِيَّةِ لِتَحْقِيقِ نُمُوكِ اِقْتَصَادِيِّ مُسْتَدَامٍ وَتَوْفِيرِ فُرَصِّ عَمَلٍ. وَلَكِنَّ إِقْتَصَادِيَّاتِ الدُّولَ الْمُنْتَجَةِ لِلنَّفْطِ كَمَصْدِرٍ وَحِيدٍ لِلْإِيرَادَاتِ تَتَأْثِيرُ بِالْظُّرُوفِ السِّيَاسِيَّةِ وَأَكْثَرَ تَأْثِيرًا بِأَسْعَارِ النَّفْطِ، فِي مُقَابِلِ الدُّولِ الْأَكْثَرِ تَنَوُّعًا فِي إِقْتَصَادِيَّاتِهَا گَدُولَ مُنَظَّمةِ التَّعاَونِ الإِقْتَصَادِيِّ وَالتَّنْمِيَّةِ.

مِنْ نَاحِيَّةٍ أُخْرَى، لَا يُشَكِّلُ الْإِعْتِمَادُ عَلَى النَّفْطِ مَصْدِرَ قُلْقَلٍ إِذَا تمَّ ضَمَانُ التَّدَفُّقِ السَّلِيسِ لِلنَّفْطِ مِنَ الدُّولِ الْمُنْتَجَةِ إِلَى الْمُسْتَهْلِكَةِ. وَكَثِيرًا مَا يُفْتَرَضُ أَنَّ سِيَاسَاتِ الْحُكُومَاتِ الْمُسْتَهْلِكَةِ، وَالَّتِي يَقُودُهَا الْقُلْقَلُ بِشَأنِ أَمْنِ الطَّاْفَةِ أَوْ سِيَاسَاتِ تَغْيِيرِ الْمُنَاخِ، تَلْعَبُ دُورًا هَامًا فِي إِحْدَاثِ حَالَةِ عَدْمِ اليَقِينِ حَوْلِ الِاتِّجَاهَاتِ طَوِيلَةِ الْأَجْلِ الْمُتَعَلِّقَةِ بِالْطَّلَبِ عَلَى النَّفْطِ. وَبِالْتَّالِي، فَقَدْ قَوْبَلَتِ الدُّعَوَاتُ الْمُتَعَلِّقَةِ بِالْحَصُولِ عَلَى أَمْنِ الْإِمَادَاتِ مِنَ الدُّولِ الْمُنْتَجَةِ بِإِصرَارِ الدُّولِ الْمُسْتَهْلِكَةِ عَلَى ضَرُورَةِ حلِّ قَضَائِيَّاً الْوَصُولِ إِلَى الِاحْتِياطِيَّاتِ بِكَفَاءَةٍ وَتَطْوِيرِ الْقُدْرَاتِ لِدِيِ الشَّرِكَاتِ النَّفْطِيَّةِ.

الْجَدِيدُرُ بِالْذِكْرِ، قِيَامُ الْعَدِيدِ مِنَ الدُّولِ بِتَحْفيِزِ إِسْتِغْلَالِ قِطَاعِ الطَّاْفَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ، كَجَزِئِيَّةِ مِنْ سِيَاسَاتِهَا حَوْلَ مَكَافِحةِ تَغْيِيرِ الْمُنَاخِ، مِنْ خَلَالِ تَغْيِيرِ مَزيجِ الطَّاْفَةِ الْمَخْلُّى إِلَى أَنْوَاعِ ذَاتِ مَحْتَوِيَّةِ كَرْبُونِيَّةٍ أَقْلَى. تَؤَدِّيُ هَذِهِ السِّيَاسَاتُ إِلَى تَغْيِيرِ تَوزِيعِ عَوَادِيِّ الْوَقْدُ الأَحْفُوريِّ، كَمَا تَؤَدِّيُ إِلَى إِعادَةِ تَوزِيعِ الْعَوَادِيَّاتِ بَيْنِ أَنْوَاعِ الْوَقْدُ الْمُخْتَلِفَةِ وَلَهَا أَيْضًا تَأْثِيرٌ عَلَى الْعَرْضِ وَالْطَّلَبِ. وَقَدْ كَانَ عَامِلُ أَمْنِ الْإِمَادَاتِ الْمُحَرِّكُ الرَّئِيْسِيُّ لَهَذِهِ السِّيَاسَاتِ.

وَتَنْتَظِرُ الدُّولَ الْمُنْتَجَةَ، أَنَّ الضَّرَائبِ الْكَرْبُونِيَّةِ الْمُفْرُوضَةِ عَلَى الْمُنْتَجَاتِ النَّفْطِيَّةِ عَلَى أَنَّهَا تَمْيِيزِيَّةٌ، وَتَمْنَعُ التَّنَافُسَ الْحُرِّ فِي السُّوقِ. وَبِالْتَّالِي تَؤَدِّيُ إِلَى ضَعْفِ الْطَّلَبِ الْمُسْتَقْبَلِيِّ عَلَى النَّفْطِ وَبِالْتَّالِي حَفْضِ حِصْصَتِهِ فِي مَزيجِ الطَّاْفَةِ عَلَى الْمَدِيِّ الطَّوِيلِ. كَمَا أَنَّ لِلضَّرَائبِ تَأْثِيرٌ عَلَى الْعَوَادِيَّاتِ، فَمِنْ خَلَالِهَا يُمْكِنُ لِلْدُولَ الْمُسْتَهْلِكَةِ الْإِسْتِحْوَادُ عَلَى جَزءٍ كَبِيرٍ مِنَ الْعَوَادِيَّاتِ مُقَارَنَةً بِنَصْبِ الدُّولِ الْمُنْتَجَةِ. عَلَى الرَّغْمِ مِنَ أَنَّ أَثْرَ تَلْكِ السِّيَاسَاتِ سِيَكُونُ مَحْدُودًا عَلَى الْمَدِيِّ الْقَصِيرِ، إِلَّا أَنَّهُ سِيَكُونُ مُتَرَاكِمًا وَبِالْتَّالِي سِيُّضِعُفُ الْطَّلَبُ عَلَى الْمَدِيِّ الطَّوِيلِ، وَبِالْتَّالِي لَا يُمْكِنُ تَجَاهِلُهُ.

بِالْعَادَةِ تُقَابِلُ شَكَاوِيِّ الْمُنْتَجِينَ، حَوْلِ فَرْضِ ضَرَائبِ الْكَرْبُونِيَّةِ عَلَى الْمُنْتَجَاتِ النَّفْطِيَّةِ، بِهَوَاجِسِ الْمُسْتَهْلِكِينَ حَوْلِ سِيَاسَاتِ دَعْمِ الطَّاْفَةِ. فَالْدَّعْمُ يُوْفِرُ حِمَايَةً مِنْ تَأْثِيرِ إِرْتِفَاعِ أَسْعَارِ الطَّاْفَةِ. وَالْمَنْتِجَةُ غَيَابُ الْحَافِزِ لِدِيِ

المُسْتَهْلِكين لضبط الإستهلاك وفشل سياسات الترشيد وتقليل الأثر الكَرْبُوَنِي. إضافة على ذلك، فإن إستمرار إرتفاع الطلب، من شأنه إرهاق القدرات التصديرية للدول المنتجة مع الوقت. كما بإمكان سياسات دعم الطاقة أن تعيق جهود مكافحة تَغَيُّر المَنَاخ وتحقيق التنمية المستدامة.

على نفس السياق، فلقد أضافت الهواجس الأخيرة بشأن التأثيرات البيئية للوقود الأحفوري بعدها آخر للمشكلة. وفي الوقت الحاضر، تنظر العديد من الدول المُسْتَهْلِكة إلى أن قضية التَّغَيُّر المَنَاخي لا تقل أهمية عن قضية أمن الطاقة، ويطغى الجانب البيئي على جميع جوانب السلسلة النفطيَّة: من الإنتاج إلى الإستهلاك. وفي مرحلة الإنتاج، هناك اعتبارات بيئية مثل التنقيب في القطب الشمالي، والإحتياطيات الموجودة في المياه العميقية، وحرق الغاز المصاحب، والحوادث والتَّسْرُبات النفطيَّة. وفي مرحلة النقل، هناك مخاوف حول السُّرُب في خطوط الأنابيب ومن حوادث الناقلات. وفي مرحلة الإستهلاك، هناك مخاوف من التلوث والآثار الصحية الناجمة عن حرق المنتجات النفطيَّة. هذا بالإضافة إلى مخاوف الدول المنتجة من تحمل التبعيات البيئية لاستخدام الوقود الأحفوري، مثل ظاهرة تَغَيُّر المَنَاخ.

وتري الدول المنتجة، أن تَغَيُّر المَنَاخ له تأثير سلبي على سوق الوقود الأحفوري، الذي يشكّل المصدر الرئيسي لاقتصاديات تلك الدول. كما يبدي المُنتِجون تَحْوُفهم من أن الحواجز التي تُقدّم لقطعان الطاقات المتَجَدِّدة يمكن أن تُقلل من نمو حجم السوق النفطيَّة على المدى الطويل. أضاف على ذلك، أن سياسات الدول المُسْتَهْلِكة المُتعلقة بالبحث عن بدائل للوقود الأحفوري ستزيد من مخاوف الطلب في المستقبل وتؤدي إلى إحجام المُنتِجين عن الاستثمار، وهذا بدوره سُيُضايق من مخاوف الدول المُسْتَهْلِكة بشأن أمن الإمدادات النفطيَّة.

أخيراً، إن جميع توقعات الطاقة على المدى الطويل تُحكِّمها بِشَكْل أو بآخر، أوضاع أسعار النفط وحجم الإمدادات وسياسات الطاقة والظروف السياسية والإقليمية، وقت إعداد هذه التوقعات.

هناك أيضاً جانب لا بد التَّحُوط منه بعد دراسة هذه التَّوَقُّعات وقبل تبني قرارات الإنتاج والاستثمار، هو الأخذ بالإعتبار التَّغَيُّرات السريعة في المشهد الاقتصادي العالمي وتحولات إنتاج الطاقة والأثر البيئي.

٥-٥: كورونا

لَسَبَبَتْ جائحة كورونا بكثير من المشاكل والإضطرابات لِقِطَاع الطَّاقيَة أَكْثَرَ مِنْ أَيِّ حَدَّثْ آخَرُ فِي التَّارِيخ وَالَّذِي أَثَّرَ عَلَى قِطَاع الطَّاقيَة بِشُكْلٍ سُلْبِيٍّ، لِذَلِكَ هُنَاكَ الْكَثِيرُ مِنَ الْأَثَارِ الْمُتَرَبَّةِ عَلَى الْجَائِحَةِ وَالَّتِي سَوْفَ تَسْتَمِرُ لِسَنْوَاتٍ قَادِمَةٍ.

تَوَقَّعَتِ الْوِكَالَةُ الدُّولِيَّةُ لِلْطَّاقيَةِ (IEA) بِتَأْثِيرِ الْوَبَاءِ عَلَى الْمَدِيِّ الْبَعِيدِ وَبِالْأَخْصِّ عَلَى الْقِطَاعِ النَّفْطِيِّ وَبِمَا أَنَّنَا مَا زَلْنَا نَعِيشُ الْوَبَاءَ فَالسَّابِقِ لِأَوَانِهِ الْإِفْتِرَاضِ مَا إِذَا كَانَتِ الْأَزْمَةُ تُمَثِّلُ إِنْتَكَاسَةً حَقِيقِيَّةً لِلْجُهُودِ الْمُبْدُولَةِ لِتَحْقِيقِ نَظَامٍ أَكْثَرَ أَمَانًا وَأَكْثَرَ إِسْتِدَامَةً.

أَخَذَتْ تَلْكَ التَّوَقُّعَاتِ مَسَارَاتٍ مُخْتَلِفةً لِلْخُرُوجِ مِنْ أَزْمَةِ الْجَائِحَةِ مَعَ التَّرْكِيزِ عَلَى الْعَشْرِ سَنَوَاتِ الْقَادِمَةِ حَتَّىِ عَامِ ٢٠٣٠ فَتِلْكَ الْفَتَرَةُ بِالْغَةِ الْأَهْمِيَّةِ لِقِطَاعِ الطَّاقيَةِ وَالْإِسْتِجَابَةِ الْعَالَمِيَّةِ لِتَغَيِّيرِ الْمُنَاخِ.

الْتَّوَقُّعَاتُ الَّتِي تُشِيرُ إِلَى أَنَّ الْطَّلَبَ الْعَالَمِيَّ عَلَى الطَّاقيَةِ سَيَقْلُلُ إِلَى ٥٥٪ فِي عَامِ ٢٠٣٠ وَإِنْبَعَاثَاتُ غَازِ ثَانِي أُوكْسِيدِ الْكَرْبُونِ الْمُرْتَبِطِ بِإِحْتِرَاقِ الْوَقْودِ يَنْسِبَةُ ٦٪ وَالْإِسْتِثْمَارُ فِي الطَّاقيَةِ إِلَى ١٨٪، وَتَخْتَلِفُ نِسْبَةُ الْإِنْخَافَاضَاتِ الْمُقَدَّرَةِ بِنَوْعِيَّةِ الْوَقْودِ النَّفْطِيِّ إِلَى ٨٪ وَالْفَحْمِ إِلَى ٧٪ سَيُصَاحِبُ ذَلِكَ نُمُّوْ طَفِيفٌ فِي مَصَادِرِ الطَّاقيَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ بَيْنَمَا سَيَبْلُغُ الْإِنْخَافَاضُ فِي الْطَّلَبِ عَلَى الغَازِ الْطَّبِيعِيِّ إِلَى ٣٪ وَسَيَنْخَفِضُ كَذَلِكَ الْطَّلَبُ الْعَالَمِيُّ عَلَى الْكَهْرِبَاءِ إِلَى ٢٪.

نَظَرًا لِحَالَةِ دُمَّهُ الْوَبَاءِ وَمَا سَتَوْلُ إِلَيْهِ الْأَثَارِ الْإِقْتَصَادِيَّةِ وَالْإِجْتَمَاعِيَّةِ، فَإِنَّ السِّينَارِيوُهَاتِ التَّالِيَّةِ سَتُتَبَحِّثُ أَقْصَى إِسْتِفَادَةً مِنْ مَصَادِرِ الطَّاقيَةِ:

السِّينَارِيوُ الْأُولُّ

سِينَارِيوُ الْسِّيَاسَاتِ الْمُعَلَّنَةِ (STEPS) وَالَّذِي يَفْتَرِضُ القَضَاءَ عَلَى الْوَبَاءِ عَامِ ٢٠٢١ وَعَوْدَةَ الْإِقْتَصَادِ الْعَالَمِيِّ إِلَى مُسْتَوَيَّاتِ مَا قَبْلِ الْجَائِحَةِ، وَيُسَيِّنُ هَذَا السِّينَارِيوُ إِجْرَاءَاتٍ مُفَصَّلَةً لِتَحْقِيقِ تِلْكَ الْمُسْتَوَيَّاتِ.

السِّينَارِيوُ الْثَانِيُّ

سِينَارِيوُ الْإِسْتِرِدَادِ الْمُتَأَخَّرِ (DRS) وَالَّذِي يَفْتَرِضُ بِأَنَّ أَضَرَارَ الْجَائِحَةِ تَفُوقُ الْتَّوَقُّعَاتِ وَعَوْدَةَ الْإِقْتَصَادِ الْعَالَمِيِّ إِلَى مُسْتَوَيَّاتِ قَبْلِ الْجَائِحَةِ عَامِ ٢٠٣٣ وَتَسْجِيلِ أَدْنَى مُعَدَّلِ نُمُّوْ طَلَبٍ عَلَى الطَّاقيَةِ مِنْ ثَلَاثِينِيَّاتِ هَذَا الْقَرْنِ.

السيناريو الثالث

سيناريو التنمية المستدامة (SDS) والذي يفترض بأن سياسات وإستثمارات القطاع النفطي على المسار الصحيح لتحقيق أهداف التنمية المستدامة بما في ذلك إتفاقية باريس وإتفاقية تغيير المناخ والإقتراحات المتعلقة بالصحة العامة والاقتصاد.

تفترض السيناريوهات أن الطلب العالمي على الطاقة سوف يعود إلى مستوى الطبيعى عام ٢٠٢٣ كما هو المُتوقع في السيناريو الأول ولكن في السيناريو الثاني سوف يتَّأخر إلى عام ٢٠٢٥.

- كان من المُتوقع إزدياد الطلب على الطاقة بنسبة ١٢٪ خلال الفترة ٢٠١٩-٢٠٣٠ قبل الجائحة ولكن سُجِّل النمو الحالي ٩٪ بحسب سيناريو السياسات المُعَنَّة و ٤٪ بحسب سيناريو التنمية المستدامة DRS.

- تَوَقُّع نُمو مصادر الطاقات المتجددة بحسب جميع السيناريوهات مع هيمنة الطاقة الشمسية على تقنيات توليد الطاقة الكهربائية حيث أصبحت أقل تكلفة من محطات الفحم والغاز في معظم الدول.

- تُوفِّر مشاريع الطاقة الشمسية جزءاً من الكهرباء والأقل تكلفة على الإطلاق في سيناريو STEPS تغطي مصادر الطاقات المتجددة ٨٠٪ من النمو في الطلب العالمي على الكهرباء حتى عام ٢٠٣٠ وتظل الطاقة الكهرومائية أكبر مصدر طاقة متجدد للكهرباء لكن الطاقة الشمسية هي المحرّك الرئيسي للنمو تليها طاقة الرياح.

- أدَّت الجائحة إلى إنخفاض الطلب العالمي على الفحم إلى مستويات ما قبل الأزمة في سيناريو STEPS بإنخفاض حجمه من مزيج الطاقة لعام ٢٠٤٠ إلى أقل من ٢٠٪ لأول مرة منذ الثورة الصناعية. أدَّت سياسات التخلص التدريجي من الفحم وظهور مصادر الطاقات المتجددة ومنافسة الغاز الطبيعي إلى سحب ٧٥ ميجاوات من الطاقة التي تعمل بالفحم في جميع أنحاء العالم بحلول عام ٢٠٢٥ إلى ١٣٪ من الإجمالي عام ٢٠١٩.

- كما ستَنْخَفِض حصة الفحم من مزيج توليد الطاقة العالمي من ٣٧٪ عام ٢٠١٩ إلى ٢٨٪ عام ٢٠٣٠ بحسب سيناريو STEPS وإلى ١٪ بحسب سيناريو التنمية المستدامة SDS.

- في ظل تلك السياسات سوف يقل الطلب العالمي على النفط بمقدار ٤ ملايين برميل يوميا خلال العشر سنوات القادمة، مدفوعا بالإنكماش الاقتصادي بسبب الجائحة، وكلما زادت فترة الوباء وما يصاحبها من تغيرات في السلوكيات العامة مثل العمل من المنزل وتوقف حركة النقل التجاري كلما قل الطلب على النفط.
- من المشاكل الكبرى التي تواجه قطاع النفط والغاز الطبيعي هي مخاطر الاستثمار مما ترتب عليه إنخفاض الأسعار في ظل الجائحة إلى ربع القيمة ويواجه العديد من ممتنحي النفط والغاز الطبيعي لاسيما في الشرق الأوسط وأفريقيا هبوطا ماليا حادا نتيجة الإعتماد الكبير على عائدات النفط والغاز الطبيعي وبذلت جهود وسياسات واضحة للتتويج والإصلاح الاقتصادي.
- أدىت الجائحة إلى خفض الإنبعاثات ولكن هناك مسارات أكثر إستدامة للخروج من الأزمة مثل تعزيز سياسات الاستثمار في قطاع الطاقات المتجددة. يظهر ذلك بوضوح في الاتحاد الأوروبي وفي المملكة المتحدة وكندا وكوريا ونيوزلندا وعدد من الدول الأخرى.
- بحسب سيناريو التنمية المستدامة SDS فإن خطوة التعافي المستدام لوكالة الطاقة الدولية المنشورة في يونيو ٢٠٢٠ بالتعاون مع صندوق النقد الدولي، فإن اقتصاد العالم يتآخذ مسارا مختلفا بعد الأزمة بتوجيهه لاستثمارات الطاقة نحو طرق تحسين الكفاءة وإنتاج الطاقات منخفضة الإنبعاثات كالكهرباء وأنواع الوقود الأكثر إستدامة، وهذا يجعل عام ٢٠١٩ ذروة إنبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، وبحلول عام ٢٠٣٠ ستكون الإنبعاثات أقل بـ ١٠ جيجا طن بحسب سيناريو SDS مقارنةً مع سيناريو STEPS بحلول عام ٢٠٣٠.

منذ بدء عمليات الإغلاق بسبب الجائحة عام ٢٠٢٠ تحسنت جودة الهواء فهناك توقع بتحسن كبير في جودة الهواء بحلول عام ٢٠٣٠ بحسب سيناريو SDS وذلك بسبب تغير نمط الحياة مما أدى إلى إنخفاض تركيز ملوثات الجو وتوقع تجنب أكثر من ١٢ مليون حالة وفاة مبكرة خلال العقد المقبل.

سيناريو السياسات المعلنة (STEPS)

يفترض هذا السيناريو إنجلاء المخاطر الكبيرة على الصحة العامة عام ٢٠٢١ مما سيسمح بإنتعاش النشاط الاقتصادي ويضمن هذا السيناريو جميع السياسات والأهداف التي تم تشييعها أو الإعلان عنها من قبل الحكومات على مستوى العالم.

سيناريو الإسترداد المتأخر (DRS)

يفترض هذا السيناريو بقاء الوباء لفترة أطول وبالتالي تضرر الأنشطة الاقتصادية والاجتماعية بدرجة أكبر مما يتطلب التحول للطاقات النفعية وهناك مجموعه من التوقعات:

يعتمد سيناريو التنمية المستدامة STEPS ولكن ي العمل بشكل معاكس لأهداف إتفاقيات تغير المناخ، ويدرس الإجراءات التي ستكون ضرورية لتحقيق هذه الأهداف مستمد من ذلك خطوة التعافي المستدام لوكالة الطاقة الدولية والتي تعزز الاقتصاد وتتوفر فرص عمل أكثر مع بناء أنظمة أكثر مرونة لوكالة الطاقة الدولية ٢٠٥٠ حيث يتوقع سيناريو SDS أن العديد من الدول المتقدمة ستكون عديمة إنبعاثات بحلول عام ٢٠٥٠ على أبعد تقدير وستضع العالم على المسار الصحيح للإنبعاثات الصفرية بحلول عام ٢٠٧٠.

بالنسبة للطلب العالمي على الطاقة فإنه أقل بمقدار ٥٪ خلال القرن الماضي، لم يتاثر الطلب على الطاقة بهذا المستوى منذ الحرب العالمية ومنذ الكساد العظيم ومن المتوقع أن يتحفظ الطلب على النفط بنسبة ٨٪ مع توقع قطاع الطلب على وقود الطائرات الأكثرب تضرراً، وتوقع إنخفاض الطلب على الفحم بنسبة ٧٪. كما أن مصادر الطاقات المتتجدة هي الأقل تأثيراً لذا من المتوقع أن تنخفض إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة ١٨٪ إلى جانب إنخفاض ٢٠٪ في حصة الاستثمار في قطاع الطاقة عام ٢٠٢٠ مسجلة أكبر تراجعاً في الإنفاق على إمدادات النفط والغاز الطبيعي.

وال التالي توضيح لأهم آثارجائحة كورونا :

بحسب سيناريو السياسات المعلنة STEPS فإنه من المتوقع أن تنحسر أخطار الوباء خلال عام ٢٠٢١ بسبب وجود اللقاح وبالتالي تعافي الاقتصاد العالمي إلى مستويات ٢٠١٩ خلال عام ٢٠٢١ وأيضاً تعافي إجمالي الطلب على الطاقة مطلع عام ٢٠٢٣.

ولكن بحسب سيناريو الإسترداد المتأخر DRS فإنه من المتوقع أن يتعافي الاقتصاد العالمي عام ٢٠٢٣ وتعافي إجمالي الطلب على الطاقة عام ٢٠٢٥.

إن الأولوية العاجلة للحكومات هي إحتواء إنتشار الفيروس والتخفيف من الآثار الاقتصادية الناتجة. وأكدت الأزمة على الدور الحاسم للحكومات والذى يمثل نقطة تحول في قطاع الطاقة.

إن خطوة التنفيذ والتقييد الكامل للتداير الواردة في خطوة التعافي المستدام، والتي وضعتها الوكالة الدولية للطاقة بالتعاون مع صندوق النقد الدولي المنصوص عليها في خطوة تقرير التعافي المستدام الأخير والتقرير الخاص بآفاق الطاقة العالمية (الوكالة الدولية للطاقة ٢٠٢٠) من شأنه أن يعيد الطاقة إلى مسارها الصحيح.

في حين أعلنت بعض الحكومات عن أهداف لزيادة الإنفاق على الإستدامة فـان تقييمات الطاقة النظيفة لم تظهر بشكل بارز في خطط التعافي من الجائحة باستثناء بعض الخطط في الاتحاد الأوروبي والمملكة المتحدة وكندا وكوريا ونيوزلندا وبعض الدول الأخرى وبالرغم من إنخفاض الإنبعاثات في زمن الجائحة إلى أن التوقعات تشير إلى ارتفاعها من جديد عام ٢٠٢١ لتصل إلى ٣٦ جيجا طن عام ٢٠٣٠.

إن قطاع الطاقات المتتجدة والطاقة الشمسية بالأخص هو القطاع الوحيد الذي يستمر في النمو خلال عام ٢٠٢٠ بحوالي ٨٠٪ من النمو في توليد الكهرباء على مستوى العالم في العقد المقبل متجاوزا الفحم بحلول ٢٠٢٥ ومن المتوقع أن تتصدر الطاقة الشمسية لتصبح المصدر الرئيسي. للإمدادات الكهربائية وحسب سيناريو السياسات المعلنة STEPS فإنه من المتوقع أن تنمو قدرة الطاقة الشمسية الكهروضوئية بمتوسط ١٢٪ سنويا حتى ٢٠٣٠ وكذلك في سيناريو التنمية المستدامة SDS. من المتوقع أيضا نموا الطاقة الكهروضوئية إلى الصيف عام ٢٠٢٥ وستستمر بالارتفاع حتى عام ٢٠٣٠.

وبحسب سيناريو التنمية المستدامة SDS ارتفعت الحصة المجمعة للطاقة الشمسية وطاقة الرياح في التوليد العالمي إلى ٨٪ عام ٢٠١٩ وإلى ٣٠٪ عام ٢٠٣٠ ومن المتوقع أن تصبح الهند أكبر سوق لتخزين البطاريات عام ٢٠٤٠.

وبحسب سيناريو السياسات المعلنة فإنه من المتوقع أن تتحفظ حصة الفحم في مزيج التوليد العالمي من ٣٧٪ عام ٢٠١٩ إلى ٢٨٪ عام ٢٠٣٠ مع نموا قطاع الطاقات المتتجدة بالتوازي مع قطاع الغاز الطبيعي، وبسبب سياسات التخلص التدريجي من الفحم، فإن الاعتماد على الفحم في الدول المتقدمة سيتحفظ بمقدار النصف عام ٢٠٣٠ ولوحظ أن استخدام الفحم في الهند وجنوب شرق آسيا إنخفض مما كان عليه وبحلول عام ٢٠٤٠ فإنه من المتوقع أن تتحفظ حصة الفحم في إجمالي إمدادات الطاقة الأولية إلى أقل من ٢٪ لأول مرة في تاريخ الطاقة الحديث.

أَدَّتْ أَزْمَةُ الْجَائِحَةِ إِلَى إنْخَافَصِ أَسْعَارِ جَمِيعِ أَنْوَاعِ الْوَقْدُودِ وَيُقَدَّرُ إِجمَالِيُّ الإنْفَاقُ عَلَى الطَّاْفَةِ لِلْإِسْتِخْدَامَاتِ الْوَقْدُودِ حَوْالِي ١٠٣ تِرِيلِيونَ دُولَارٍ عَامَ ٢٠٢٠ وَتَمِيلُ الْأَسْعَارُ الْمُنْخَفِضَةُ إِلَى تَقْلِيلِ الْحَوَافِرِ لِلابْتِعَادِ عَنِّ أَنْوَاعِ الْوَقْدُودِ التَّقْلِيدِيَّةِ أَوْ إِسْتِخْدَامِهَا بِشَكْلٍ أَكْثَرَ كَفَاءَةً وَتَجْعَلُ مَهْمَةَ توسيعِ نَصْبِ الْوَقْدُودِ الْحَيُويِّيِّ أَوِ الْهِيْدِرُوجِينِيِّيِّ مُنْخَفِضَ الْكَرِيبِينَ أَكْثَرَ صَعْوَةً.

وَآخِيرًا، لَا يَجُبُ دراسة آثار جائحة كورونا إِلَّا بَعْدِ الْإِنْتِهَاءِ مِنَ الْأَزْمَةِ وَإِلَغَاءِ حَالَةِ الإِغْلَاقِ الْعَامِ وَحَالَةِ الطَّوَارِئِ الْمُفْرُوضَةِ فِي مُعْظَمِ أَنْحَاءِ الْعَالَمِ. بِمَعْنَىِ آخِرٍ، إِنَّ مِنَ الصَّعْبِ الْقِيَامِ بِإِرَاسَةِ مُسْتَفِيَّضَةِ وَإِعْدَادِ تَوْقُّعَاتِ مُسْتَقْبِلِيَّةٍ بَعِيدَةِ الْمَدِيِّ وَفِي الْوَقْتِ ذَاتِهِ قَرِيبَةٍ إِلَى الصَّحَّةِ بِنَاءً عَلَى أَحْدَاثِ جَارِيَةٍ وَمُمْتَغِيَّةٍ بِشَكْلٍ يَوْمِيٍّ. تَجَدُّرُ الإِشَارةِ أَنَّ هُنَاكَ عَوَامِلٌ أُخْرَى يَنْبَغِي أَنْ تَكُونَ أَكْثَرَ تَأْثِيرًا عَلَى قِطَاعِ الطَّاْفَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ مِنَ الْجَائِحَةِ كَالْتَّغَيُّرُ الْمُتَرَقَّبُ فِي سِيَاسَةِ الْوِلَائِيَّاتِ الْمُفْتَحَةِ وَالْمُمْتَمَثِّلُ فِي الرُّجُوعِ إِلَى الْإِلْزَامِ بِإِتْفَاقِيَّةِ بَارِيسِ وَخَفْضِ الْإِنْبَعَاثَاتِ وَالَّذِي مِنَ الْمُتَوَقَّعِ أَنْ تَحْذُوَ حِذْوَهُ الدُّولُ الصَّنَاعِيَّةُ الْأُخْرَى وَبِشَكْلٍ أَكْثَرَ ِجَدِيدَةً. وَالْإِنْتِيَّجَةُ أَنْ يَزِدَّ الْطَّلَبُ عَلَى قِطَاعِ الطَّاْفَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ لِلْوُقَاءِ بِخَفْضِ الْإِنْبَعَاثَاتِ.

الفصل السادس

النتائج والتوصيات

تمهيد

يهدف الفصل السادس إلى عرض نتائج الدراسة وتقديم التوصيات من منظور مصلحة الدول الأعضاء في منظمة الأوابك.

٦- ملخص ختامي

شهد قطاع الطاقات المتجددة في السنوات الأخيرة نموا سريعا على مستوى العالم، وبالأخص في مجال الطاقة الشمسية وطاقة الريح. ومن المتوقع أن تزداد وتيرة هذا النمو في السنوات القادمة بسبب التوجه العام لدى الدول الصناعية نحو مصادر طاقة متحفصة الإنبعاثات وتوافر الدعم الحكومي والحوافز الضريبية.

إستجابت دول الأوابك لهذا التوجه، مدفوعةً بارتفاع أنماط الاستهلاك المحلي للطاقة، بإتخاذ خطوات للإستفادة من مصادر الطاقات المتجددة الوفيرة لديها. حيث أعلنت أهدافها الإستراتيجية لزيادة التنوع في مزيج الطاقة. ولكن يجب أن تتم زيادة هذا التنوع بصورة مدقورة ووفق آليات السوق التقليدية بدون حدوث إنعكاسات سلبية مثل عدم إستقرار السوق بسبب غياب التمويل اللازم لزيادة الإمدادات النفطية في ظل تزايد الاستثمار إلى قطاع الطاقات المتجددة. هناك عوامل أخرى تتعلق بالقلق من ضعف الطلب العالمي على الوقود الأحفوري في المستقبل.

هدفت هذه الدراسة إلى البحث في موضوع الطاقات المتجددة. مركزةً على ثلاثة محاور رئيسية؛ المحور الأول هو المبادئ العلمية والأسس الهندسية، المحور الثاني هو الإستراتيجيات وآفاق التوليد الكهربائي، المحور الثالث هو التوقعات والإنعكاسات المحتملة.

٢-٦: نتائج الدراسة

لخصت الدراسة إلى النتائج التالية:

١. يمكن تقليل الآثار البيئية الناجمة عن الوقود الأحفوري بإستخدام مصادر الطاقة المتجددة والتي تشمل الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة الحرارية الأرضية، والكتلة الحيوية (العضوية).
٢. يتم إستخدام مصادر الطاقات المتجددة لإنتاج الطاقة الكهربائية غالباً، كما يمكن لبعض مصادر الطاقات المتجددة أن تنتج طاقة حرارية لتطبيقات التدفئة والتبريد. يتم تحويل طاقات الرياح والمياه إلى كهرباء فقط بينما يمكن تحويل الطاقة الشمسية والكتلة الحيوية والطاقة الحرارية الجوفية إلى كهرباء وطاقة حرارية.
٣. هناك تقنيتان رئيستان لتوليد الكهرباء بواسطة الطاقة الشمسية، هما التوليد باستخدام مركبات الطاقة الشمسية، والتوليد بإستخدام أنظمة الخلايا الفوتو VOLTRONIC.
٤. تُعد تقنية توربينات الرياح من أقدم مصادر الطاقة المتجددة في العالم. لكن التطور الكبير لهذه التقنية لم يحدُث إلا مؤخراً إستجابة لأزمة الطاقة في أوائل السبعينيات. تُقسم توربينات الرياح حسب إتجاه محور الدوران وحسب آلية عزم الدوران.
٥. يعتبر إنتاج الهيدروجين كنافل للطاقة أحد الحلول العملية لتخزين الطاقة المتجددة من مصادر متجددة. يتم إنتاج معظم الهيدروجين من الغاز الطبيعي من خلال عملية تسمى إعادة التشكيل بالبخار ونسبة ضئيلة يتم إنتاجها من الماء خلال عملية التحليل الكهربائي. ينقسم الهيدروجين إلى ثلاثة أنواع، بحسب الأثر البيئي لعملية الإنتاج، هي الرمادي والأزرق والأخضر.
٦. يمكن إستخدام الهيدروجين في مجموعة متنوعة من التطبيقات بما في ذلك السيارات التي لا ينتج عنها إنبعاثات كربونية.
٧. تعتبر السيارات الكهربائية مشابهة لسيارات الوقود الهيدروجيني من حيث إمكانية شحنتها من مصادر متجددة، كما أنها عديمة الإنبعاثات.

٨. تَرَكَّزَ مُعْظَم قُدْرَاتِ تَوْلِيدِ الْكَهْرَبَاءِ مِنْ مَصَادِرِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ لِلْدُولَ الْأَعْضَاءِ فِي ثَلَاثَ دُولٍ: الْجَمَهُورِيَّةِ الْعَرَبِيَّةِ السُّوْرِيَّةِ وَجَمَهُورِيَّةِ الْعَرَاقِ وَجَمَهُورِيَّةِ مِصَرَّ الْعَرَبِيَّةِ، بِنِسْبَةِ ٩٠ فِي الْمِائَةِ مِنْ إِجمَالِ الطَّاقَاتِ الْفُصُوْلِيَّةِ، حَيْثُ تَسْتَحْوذُ الطَّاقَةُ الْكَهْرُومَائِيَّةُ عَلَى النِّسْبَةِ الأَكْبَرِ مِنْ إِجمَالِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ لِلْدُولَ الْأَعْضَاءِ، بِحِصَّةٍ بَلَغَتْ مَا يُعَادِلُ ٨٥,٧ فِي الْمِائَةِ.
٩. نجحت مُعْظَم الدُولَ الْأَعْضَاءِ وَبَعْضُ الدُولَ الْعَرَبِيَّةِ فِي تَحْقِيقِ تَقدِيمِ مَلْمُوسٍ فِي قِطَاعِ التَّوْلِيدِ الْكَهْرَبَائِيِّ مِنْ مَصَادِرِ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ، بِمَا فِي ذَلِكَ رُؤْيَاَهَا الْمُسْتَقْبِلِيَّةِ بِالإِعْتِمَادِ عَلَيْهَا.
١٠. تَحْتَلَ دَوْلَةُ قَطَرِ الْمَرْتَبَةِ الْأُولَى، بَيْنَ دُولَ الْخَلِيجِ الْعَرَبِيِّ، بِإِمْتِلاَكِهَا أَكْفَأَ مَنْظُومَةً لِلتَّوْلِيدِ الْكَهْرَبَائِيِّ وَهُدُفُ لِلْوُصُولِ إِلَى نِسْبَةِ ٢٠ فِي الْمِائَةِ مِنْ الطَّاقَاتِ الْمُوَلَّدةِ مِنْ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ. تَلِيهَا دَوْلَةُ الْإِمَارَاتِ الْعَرَبِيَّةِ الْمُتَّحِدَةِ بِنِسْبَةِ ١٤,٣ فِي الْمِائَةِ، ثُمَّ مَمْلَكَتِ الْبَحْرَانِ وَالسُّعُودِيَّةِ بِنِسْبَةِ ١٠ فِي الْمِائَةِ. وَآخِيرًا، دَوْلَةُ الْكُوْيْتِ.
١١. تُشِيرُ نَتَائِجُ التَّوْقُّعَاتِ أَنَّ يَشَهَّدُ الطَّلَبُ عَلَى الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ نُمُوا سَرِيعًا مُقَارَنَةً بِمَصَادِرِ الطَّاقَاتِ الْأُخْرَى. حِيثُ بَلَغَتْ حِصَّةُ الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ ١,٩ فِي الْمِائَةِ مِنْ إِجمَالِيِّ الطَّلَبِ عَلَى الطَّاقَةِ عَامِ ٢٠١٧ وَمِنْ الْمُتَوَقَّعِ أَنْ تَصُلَّ إِلَى ٧,٢ فِي الْمِائَةِ بِحِسْبِ سَسَجِ وَإِلَى ١٦ فِي الْمِائَةِ بِحِسْبِ سَسَتِ مَعْاِنِي ٢٠٤٠.
١٢. تُشِيرُ نَتَائِجُ التَّوْقُّعَاتِ أَنَّ يَشَهَّدُ مَزِيجُ الطَّاقَةِ الْمُسْتَهْلِكَةِ عَالَمِيًّا تَغْيِيرًا فِي حِصَّةِ المَصَادِرِ الْمُخْتَلِفَةِ الَّتِي يَحْتَوِيهَا هَذَا الْمَزِيجُ، خَلَالَ الْفَتَرَةِ (٢٠١٧-٢٠٤٠). تُؤَكِّدُ النَّتَائِجُ أَيْضًا، أَنَّهُ مِنَ الْمُتَوَقَّعِ أَنْ تَنْخَفِضَ نِسْبَةُ الْوَقْدُ الْأَحْفَوْرِيِّ مِنْ ٧٣,٣ إِلَى ٨٠,٢ بِحِسْبِ سَسَجِ وَإِلَى ٥٩ فِي الْمِائَةِ بِحِسْبِ سَسَتِ مَعْاِنِي. بِالرَّغْمِ مِنْ ذَلِكَ، سَتَظْلُمُ حِصَّةُ الْوَقْدُ الْأَحْفَوْرِيِّ هِيَ الْمُهَبِّيَّةُ عَلَى مَصَادِرِ الطَّاقَاتِ الْأُخْرَى، بِحِسْبِ كُلَّ السَّنَارِيُّوْهِينِ.
١٣. تُشِيرُ نَتَائِجُ التَّوْقُّعَاتِ عَلَى إِرْتِفَاعِ الطَّلَبِ عَلَى النَّفْطِ مِنْ ٨٠ إِلَى ٨٦ مَلِيُونِ بَيْلَدِ سَسَجِ، وَإِنْخَافَصَهُ إِلَى ٥٦ مَلِيُونِ بَيْلَدِ سَسَتِ مَعْاِنِي.
١٤. تُشِيرُ نَتَائِجُ التَّوْقُّعَاتِ عَلَى إِنْخَافَصِ حِصَّةِ النَّفْطِ فِي مَزِيجِ الطَّاقَةِ مِنْ ٢٩,٧ إِلَى ٢٥,٣ فِي الْمِائَةِ بِحِسْبِ سَسَجِ، وَإِلَى ٢١,٣ فِي الْمِائَةِ بِحِسْبِ سَسَتِ مَعْاِنِي.
١٥. تُشِيرُ نَتَائِجُ التَّوْقُّعَاتِ عَلَى إِرْتِفَاعِ الطَّلَبِ عَلَى الطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدَةِ مِنْ ٢ إِلَى ٣,٦ مِلِيُونِ طَنِ مَعْاِنِي بِحِسْبِ سَسَجِ، وَإِلَى ٤,٢ مِلِيُونِ طَنِ مَعْاِنِي بِحِسْبِ سَسَتِ مَعْاِنِي.

١٦. تُشير نتائج التَّوَقُّعات على إرتفاع حِصَّة الطَّاقَات الْمُتَجَدِّدة في مزيج الطَّاقَة من ١٤,٧ إلى ٢١ في المائة بحسب س ج، وإلى ٣١,٢ في المائة بحسب س ت م.
١٧. تُشير نتائج التَّوَقُّعات على إنخفاض حِصَّة النَّفْط في مزيج وَقْود توليد الكهرباء من ٣,٧ إلى ١,٣ في المائة بحسب س ج، وإلى ٥,٠ في المائة بحسب س ت م.
١٨. تُشير نتائج التَّوَقُّعات على إرتفاع الإِمدادات النَّفْطِيَّة الْعَالَمِيَّة من ٩٢,٨ إلى ١٠٣,٤ مليون ب/ي بحسب س ج، وإنخفاضها إلى ٦٨ مليون ب/ي بحسب س ت م.
١٩. تُشير نتائج التَّوَقُّعات على إرتفاع الإِمدادات النَّفْطِيَّة لِدُولَ أوبك (التي تَتَضَمَّنُ دُولَ أوبك) من ٣٩,٦ إلى ٤٦ مليون ب/ي بحسب س ج، وإنخفاضها إلى ٢٩,٩ مليون ب/ي بحسب س ت م.
٢٠. تُشير نتائج التَّوَقُّعات على إرتفاع حِصَّة الإِمدادات النَّفْطِيَّة لِدُولَ أوبك (التي تَتَضَمَّنُ دُولَ أوبك) من الإِجمالي العام من ٤٢,٧ إلى ٤٤,٨ في المائة بحسب س ج، وإنخفاضها من ٤٤,٧ إلى ٤٣,٩ في المائة بحسب س ت م.
٢١. بحسب سيناريو السّياسَات الجديدة، يبلغ حجم الإِسْتِثْمَارات المطلوبة ١١,٤ تريليون دولار، نصيب الوقود الأحفوري منها ٢,٣ تريليون دولار أو نسبة ٢٠,١ في المائة. ونصيب الطَّاقَات الْمُتَجَدِّدة منها ٨ تريليون دولار أو نسبة ٧٠,٣ في المائة.
٢٢. بحسب سيناريو التَّنْبَيْه المُسْتَدَامَة، يبلغ حجم الإِسْتِثْمَارات المطلوبة ١٦,٤ تريليون دولار، نصيب الوقود الأحفوري منها ٢,١ تريليون دولار أو نسبة ١٢,٩ في المائة. ونصيب الطَّاقَات الْمُتَجَدِّدة منها ١٢,٨ تريليون دولار أو نسبة ٧٨ في المائة.
٢٣. تُشير نتائج التَّوَقُّعات أن الطَّاقَة الكهربائية المُتَوَلِّدة بِاستخدام الوقود الأحفوري ستُنْخَفِض من ٦٤,٩ إلى ٤٩,٣ في المائة بحسب س ج، وإلى ٢٠,٣ في المائة بحسب س ت م. ويتَوقَّع أن تَرَفِع نِسْبَة الطَّاقَة الكهربائية المُتَوَلِّدة من الطَّاقَات الْمُتَجَدِّدة من ٨,٤ إلى ١٥ في المائة بحسب س ج وإلى ٦٦,٣ في المائة بحسب س ت م.
٢٤. تُشير نتائج التَّوَقُّعات إلى إرتفاع حجم التجارة النَّفْطِيَّة من ٣٦,٣ إلى ٤٤,٧ مليون ب/ي أو نسبة ٢٣ في المائة وإلى إرتفاع صادرات دُولَ الأَعْصَاء في مُنظَّمة الأوباك من ٢٣,١ إلى ٢٥,٨ مليون ب/ي. بالرغم من هذا، فإنه من المُتَوقَّع أن تَنْخَفِض مُسَاَهَمَة دُولَ أوبك في الإجمالي العام من ٦٣,٧ إلى ٥٧,٧ في المائة.

٢٥. مُعَظَّم صادرات المنطقة عام ٢٠١٧ من الْوَقْدُ الْأَحْفُوري كانت على شكل نَفْط خام، ولكن من المُتَوَقِّع أن تَتَعَيَّن نحو عام ٢٠٤٠ وسيكون أغلبها على شكل مُنْتَجَات نَفْطِيَّة.
٢٦. هناك تَعَارُض بين حصول الدُّول المُنْتَجَة على أمن الإِمدادات و بين رغبة الدُّول المُسْتَهْلِكَة الخروج من مفهوم التَّبعيَّة النَّفْطِيَّة.
٢٧. قُوبِلت الدُّعَوَاتُ الْمُتَعَلِّقة بالحصول على أمن الإِمدادات من الدُّول المُنْتَجَة بِإِصرارِ الدُّول المُسْتَهْلِكَة على ضرورة حل قضايا الوصول إلى الإِحْتِياطِيَّات النَّفْطِيَّة بكفاءة و تطوير قُدرَات الشرَّاكَات النَّفْطِيَّة.
٢٨. ترى الدُّول المُنْتَجَة أنَّ الضَّرَائب الْكَرْبُونِيَّة المفروضة على المُنْتَجَات البتروليَّة على أنها تَمْيِيزِيَّة، و تمنع التَّنَافُس الْحُرَّ في السوق. وبالتالي تؤدي إلى ضَعْفِ الطلب على النَّفْط و خفض حصته في مزيج الطَّاَفَة على المدى الطويل. كما أنَّ هذه الضَّرَائب تُمْكِن الدُّول المُسْتَهْلِكَة من الإِسْتِحْواز على الجزء الأَكْبَر من العوائد النَّفْطِيَّة والذي يكون عادةً من نصيب الدُّول المُنْتَجَة.
٢٩. ترى الدُّول المُسْتَهْلِكَة أنَّ قضية تَغْيِيرِ المَناخ لا تَقْلِيلُ أهميَّة عن قضية أمن الطَّاَفَة. في المقابل، ترى الدُّول المُنْتَجَة أنَّ تَغْيِيرِ المَناخ له تأثير سلبي على سوق الْوَقْدُ الْأَحْفُوري، والذي يُشكِّلُ المَصْدِر الرئيسي لِاِقْتَصَادِيَّاتِ الدُّول المُنْتَجَة.
٣٠. تزيد سياسات الدُّول المُسْتَهْلِكَة الْمُتَعَلِّقة بالبحث عن بدائل للْوَقْدُ الْأَحْفُوري كالطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدة من مَخَاوِفِ الطلب لدى الدُّول المُنْتَجَة وتؤدي إلى الإِحْجَام عن زيادة الإِسْتِثْمَار في القطاع النَّفْطِي، وهذا من شأنه مضاعفة مَخَاوِفِ الدُّول المُسْتَهْلِكَة بشأن أمن الإِمدادات النَّفْطِيَّة. أَضِفْ عَلَى هَذَا، مَخَاوِفِ الدُّول المُنْتَجَة من تَحْمِيلِ التَّبَعَاتِ البيئيَّة لِاستِخدَامِ الْوَقْدُ الْأَحْفُوري، مثل تَغْيِيرِ المَناخ.

٣-٦: توصيات الدراسة

١. حتّى الدول الأعضاء على إتخاذ خطوات عملية وسريعة لتعزيز موقعها المهم في ميزان الطاقة العالمي عن طريق تطوير وإستغلال إمكاناتها الوفيرة من الطاقات المتجددة بجانب إستغلال موارد الوقود الأحفوري. يؤمن هذا الخيار عدة مزايا أخرى مثل زيادة المدخول وإنشاء سوق عمل جديد وتوفير فرص عمل وخفض تكلفة تمديد الشبكات وتمديد العمر الإفتراضي لمصادر الوقود الأحفوري. كما يحمي إقتصاديات الدول الأعضاء من تقلبات السوق الناتجة عن إحتمالية ضعف الطلب على الوقود الأحفوري في المستقبل. وأخيراً، إن دخول الطاقات المتجددة إلى سوق طاقة المحلي ينتج عنه تحرير المزيد من الوقود الأحفوري والمدعوم محلياً في معظم دول الأوابك وتوجيهه نحو التصدير.
٢. حتّى الدول الأعضاء على التعاون والتنسيق فيما بينها للوصول إلى حلول تضمن الموارنة بين تخفيف العبء البيئي وتحقيق النمو الاقتصادي.
٣. حتّى الدول الأعضاء على ضرورة التمثّل في السياسات المستقبلية للدول الصناعية في مجال تحديد نسب إستهلاك الطاقات المتجددة ودراسة التشريعات البيئية ونسبة إزدياد ضرائب الإنبعاث الكربوني على الوقود الأحفوري.
٤. حتّى الدول الأعضاء على تعزيز السياسات الجاذبة للإستثمار الخاص في هذا القطاع وزيادة الإنفاق على مشاريع الأبحاث والتطوير بما في ذلك مشاريع البنية التحتية والمدن الخضراء التي ترتكز على مصادر الطاقات المتجددة.
٥. حتّى الدول الأعضاء على تسويق تقنيات الطاقة المتجددة داخل أسواقها المحليّة وتغيير النظرة العامّة والمفهوم السائد تجاهها: من مُنافس للوقود الأحفوري إلى شريك إستراتيجي وحليف مهم في سوق الطاقة.
٦. حتّى الدول الأعضاء على تسهيل منح قروض لمشاريع الطاقات المتجددة وتقديم حواجز ومميزات وإعفاءات جمركية لدعم المبادرة في إستغلال مصادر الطاقات المتجددة، مثل إقتناء المنازل المُحتَوَية على أنظمة شمسية أو إقتناء السيارات الكهربائية أو سيارات الوقود الهيدروجيني.
٧. حتّى الدول الأعضاء على دعم إنتشار السيارات الكهربائية من خلال توفير شبكات الشحن الكهربائي ومرافق الخدمة.

٨. حَتَّى الدُّولَ الأَعْضَاءَ عَلَى تَقْدِيمِ حَوَافِزٍ لِلسيَاراتِ الْكَهْرِبَائِيَّةِ، بِمَا فِي ذَلِكَ تَخْصِيصِ مَوَاقِفٍ مُحْتَوَيَّةٍ عَلَى مَقَابِسِ الشَّحْنِ أَمَامِ مَدَارِكِ الْوَزَارَاتِ وَالْجِهَاتِ الْحُكُومِيَّةِ، وَإِعْفَاءِ مِنْ رِسُومِ التَّسْجِيلِ وَالتَّجَدِيدِ، وَتَرْكِيبِ مُلْصَقٍ خَاصٍ لِلْلَّوْحَاتِ الْأَرْقَامِ.
٩. حَتَّى الدُّولَ الأَعْضَاءَ عَلَى زِيادةِ الْوَعِيِّ الْعَامِ بِالْطَّاقَاتِ الْمُتَجَدِّدةِ لَدِيِّ مَوَاطِينِهَا مِنْ خَلَالِ إِنشَاءِ مَرَاكِزِ تَدْرِيبٍ وَإِسْتِحْدَاثِ التَّخَصِّصَاتِ الْعِلْمِيَّةِ ذَاتِ الْمُنْتَهَىِ الْمُسْتَدَامَةِ لَدِيِّ الْأَجِيَالِ النَّاسِيَّةِ.
١٠. حَتَّى الدُّولَ الأَعْضَاءَ عَلَى رَزْعِ مَفَاهِيمِ الْوَعِيِّ الْبَيْئِيِّ وَالْتَّنَمُّيِّ الْمُسْتَدَامَةِ لَدِيِّ الْأَجِيَالِ النَّاسِيَّةِ.
١١. حَتَّى الدُّولَ الأَعْضَاءَ عَلَى إِعْادَةِ هَيْئَةِ الصَّنَاعَةِ وَالْبَنِيهِ التَّحْتِيهِ النَّفْطِيَّهِ وَإِلَى إِيجَادِ تَنْسِيقٍ قَوِيٍّ بَيْنِ الْأَطْرَافِ الْمُخْتَلِفَةِ فِي مَجَالِ تِجَارَةِ الطَّاَقةِ.

٦-٤: قائمة المراجع

٦-٤-١: المراجع العربية

آفاق التوليد الكهربائي بإستخدام مصادر الطاقة المتتجدة في الدول العربية. التقرير العربي الاقتصادي الموحد. صندوق النقد العربي. ٢٠١٨. الفصل العاشر.

الآفاق المستقبلية لمصادر الطاقة المختلفة في مزيج الطاقة العالمي حتى عام ٢٠٤٠، منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)، (أكتوبر، ٢٠١٦)، ص. ١٣.

الإستراتيجية العربية لتطوير إستخدامات الطاقة المتتجدة (٢٠١٠-٢٠٣٠)، القطاع الاقتصادي، إدارة الطاقة، أمانة المجلس الوزاري للكهرباء، الجامعة العربية، (يناير، ٢٠١٣)، ص. ٧.

واقع وآفاق الطاقات المتتجدة في مزيج الطاقة العالمي والإعكاسات المحتملة على الصناعة النفطية، منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)، (أبريل، ٢٠١٩)، ص. ١١١.

ليلي جبريل، "بحث عن العوامل التي تؤدي الى إحداث تغيرات في البيئة"، (مايو، ٢٠٢٠)، <https://www.mlzamty.com/factors-lead-changes-environment>

مزيج الطاقة في الدول الأعضاء في منظمة الأوابك: الواقع الحالي وفرص التنوع، منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)، (يونيو، ٢٠١٦)، ص. ٣، ١١.

٦-٤-٢: المراجع الأجنبية

Abdel-Halim, Mohammed. (2014). Enhancing the Performance of Wind-Energy-Driven Double-Fed Induction Generators. Qassim University Scientific Journal-Engineering and Computer Sciences. 7. 23-42.

Çengel YA and Cimbala JM. 2018. Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications, 4th ed. New York: McGraw-Hill.

EIA. 2018. U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook.

IEA. 2020. World Energy Outlook. International Atomic Energy Agency.

IEA. 2019. The clean hydrogen future has already begun, IEA, Paris
<https://www.iea.org/commentaries/the-clean-hydrogen-future-has-already-begun>.

IEA. 2018. World Energy Outlook. International Atomic Energy Agency.

IEA. 2017. International Energy Agency, Key World Energy Statistics.

IAHE. 2014. "Is Elon Musk Correct?" International Association for Hydrogen Energy. Electronic Newsletter, Vol. 6, Issue 1.

Kanoglu, Mehmet. 2020. Fundamentals and Applications of Renewable Energy. McGraw-Hill Education. Kindle Edition.

Ioan Sarbu, Calin Sebarchievici, Chapter 3 - Solar Collectors, Solar Heating and Cooling Systems, Academic Press, 2017, Pages 29-97.

Martin Lambert. Oxford Institute for Energy Studies. "Hydrogen and decarbonisation of gas: false dawn or silver bullet". 2020, Pages 1-23.

Manwell JF, McGowan JG, and Rogers AL. 2010. Wind Energy Explained—Theory, Design, and Application, 2nd Ed. West Sussex, England: John Wiley & Sons.

Patel MR. 1999. Wind and Solar Power Systems. Boca Raton: CRC Press.

WWEA. 2018. World Wind Energy Association. <http://wwindea.org>.

Yao F, Bansal RC, Dong ZY, Saket RK, and Shakya JS. 2011. "Wind Energy Resources: Theory, Design and Applications." In Handbook of Renewable Energy Technology, edited by AF Zobaa and RC Bansal, Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

٦- الملاحق

الجدول (١) أ-ه: مقارنة تطور الطلب المُتوقّع بحسب نوع الطّاقة (٢٠٤٠-٢٠١٧)، (مليون طن)

جدول (أ)	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة
2017	10,888	10,888
2025	12,061	10,833
2030	12,433	9,955
2040	12,528	7,850

جدول (ب)	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة
2017	4,032	4,032
2025	4,754	4,334
2030	4,830	3,985
2040	4,322	2,834

جدول (ج)	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة
2017	3,107	3,107
2025	3,539	3,454
2030	3,820	3,554
2040	4,396	3,419

جدول (د)	سيناريو السياسات الجديدة	سيناريو التنمية المستدامة
2017	688	688
2025	805	861
2030	848	1,013
2040	971	1,292

سيناريو التنمية المستدامة	سيناريو السياسات الجديدة	جدول (هـ)
1,992	1,992	2017
2,452	2,521	2025
2,852	2,885	2030
4,237	3,605	2040

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام ٢٠١٨.

الجدول (٢) مقارنة تطور مزيج الطاقة الأولية المستهلكة عالميا، (نسبة مئوية)

سيناريو التنمية المستدامة	سيناريو السياسات الجديدة	فعلي	نوع الوقود
2040	2040	2017	
12	22.3	27.6	الفحم
21.3	25.3	29.7	النفط
25.7	25.7	22.9	غاز الطبيعي
9.7	5.7	5.1	طاقة النووية
4.5	3.1	2.6	طاقة كهرومائية
10.7	10.7	10.2	طاقة حيوية
16	7.2	1.9	طاقات متجددة أخرى
100	100	100	المجموع

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام ٢٠١٨.

الجدول (٣) أ-هـ: مقارنة تطور الطلب المتوقع لتوليد الطاقة الكهربائية بحسب نوع الطاقة

(ت و س)، (٢٠١٧-٢٠٤٠)

سيناريو التنمية المستدامة	سيناريو السياسات الجديدة	جدول (أ)
16,654	16,654	2017
14,608	17,488	2025
12,090	18,209	2030
7,536	19,934	2040

سيناريو التنمية المستدامة	سيناريو السياسات الجديدة	جدول (ب)
940	940	2017
605	763	2025
413	676	2030
196	527	2040
سيناريو التنمية المستدامة	سيناريو السياسات الجديدة	جدول (ج)
5,856	5,856	2017
6,810	6,829	2025
6,830	7,517	2030
5,359	9,071	2040
سيناريو التنمية المستدامة	سيناريو السياسات الجديدة	جدول (د)
2,637	2,637	2017
3,303	3,089	2025
3,888	3,253	2030
4,960	3,725	2040
سيناريو التنمية المستدامة	سيناريو السياسات الجديدة	جدول (ه)
6,351	6,351	2017
10,918	9,644	2025
15,151	12,018	2030
24,585	16,752	2040

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام ٢٠١٨.

الجدول (٤) مقارنة تطور مزيج الطاقة المستهلكة في قطاع توليد الطاقة الكهربائية، (نسبة مئوية)

سيناريو التنمية المستدامة	سيناريو السياسات الجديدة	فعلي	نوع الوقود
2040	2040	2017	
5.3	25.6	38.4	الفحم
0.5	1.3	3.7	النفط
14.4	22.4	22.8	الغاز الطبيعي
13.4	9.2	10.3	طاقة النووية
18.9	15.3	16	طاقة كهرومائية
5.3	3.5	2.4	طاقة حيوية
20.8	11.6	4.2	رياح
17.3	9.5	1.7	خلايا فوتوفولطية
4.1	1.6	0.5	طاقات متجددة أخرى
100	100	100	المجموع

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام ٢٠١٨.

الجدول (٥) تطور الإمدادات النفطية العالمية (٢٠١٧-٢٠٤٠)، (مليون ب/ي)

سيناريو التنمية المستدامة	سيناريو السياسات الجديدة	فعلي	المجموعة		
2040	2030	2040	2030	2017	
		33.4	30.9	27.8	الدول العربية الأعضاء في أوبك وأوباك
		32.3	30.4	30	حصة الدول الأعضاء في أوباك من المجموع العام %
		12.9	11.4	11.8	باقي الدول الأعضاء في أوبك
29.9	35.8	46.3	42.3	39.6	مجموع دول أوبك
44	42.9	44.8	41.6	42.7	حصة دول أوبك من المجموع العام
		72.1	73	70.2	حصة الدول الأعضاء في أوباك من مجموع أوبك %
38.1	49	57.1	59.3	53.2	مجموع دول خارج أوبك
56	58.7	55.2	58.4	57.3	حصة دول خارج أوبك من المجموع العام
68	83.5	103.4	101.6	92.8	المجموع العالمي

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية عام ٢٠١٨.

الجدول (٦) المُتطلبات الإستثمارية المتوقعة للوقود الأحفوري بحسب المجموعة الدولية (٢٠١٨-٢٠٤٠)، (مليار دولار أمريكي)

سيناريو السياسات الجديدة							
المجموع	نسبة مئوية	طاقة متجددة	نسبة مئوية	الطاقة النووية	نسبة مئوية	الوقود الأحفوري	المجموعة الدولية
1462	12.8	1023	11.7	127	13.7	312	أمريكا الشمالية
542	5.5	443	2.5	27	3.2	72	أمريكا الجنوبية والوسطى
2035	18.7	1493	25.5	278	11.6	264	أوروبا
721	7	557	1.3	14	6.6	150	أفريقيا
529	3.6	285	4.3	47	8.6	197	الشرق الأوسط
481	1.8	144	11.4	124	9.3	213	أوروسيا
5597	50.7	4050	43.3	472	47.1	1075	آسيا المحيط الهادى
11367	100.1	7995	100	1089	100.1	2283	العالم

سيناريو التنمية المستدامة							
المجموع	نسبة مئوية	طاقة متجددة	نسبة مئوية	الطاقة النووية	نسبة مئوية	الوقود الأحفوري	المجموعة الدولية
2458	14.6	1865	12.1	180	19.5	413	أمريكا الشمالية
567	4	505	2.1	31	1.5	31	أمريكا الجنوبية والوسطى
2426	14.6	1859	22.8	339	10.8	228	أوروبا
1143	8	1019	1.6	24	4.7	100	أفريقيا
877	5.3	677	5.3	79	5.7	121	الشرق الأوسط
605	2.4	307	10.6	157	6.7	141	أوروسيا
8297	51.2	6537	45.5	677	51.2	1083	آسيا المحيط الهادى
16373	100.1	12769	100	1487	100.1	2117	العالم

المصدر: وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية ٢٠١٨، مأخوذ من جداول A في التقرير.

الجدول (٧) المُتوسّط السنوي لحجم مُتطلبات الإستثمار بحسب القطاع، (مليار دولار أمريكي)

سيناريو التنمية المستدامة		سيناريو السياسات الجديدة		فعلي	نوع الوقود
(2026-2040)	(2018-2025)	(2026-2040)	(2018-2025)	(2010-2017)	
574	830	1081	967	1171	الأوّلاد الأحفوري
663	467	380	331	293	الطاقة المتجددة
462	286	387	313	264	شبكات الكهرباء
150	67	62	61	20	أخرى
1849	1650	1910	1672	1748	مجموع الإمدادات
32%	46%	53%	52%	58%	إمدادات الوقود
68%	54%	47%	48%	42%	إمدادات الطاقة الكهربائية
828	505	666	397	236	كفاءة الطاقة
581	203	246	148	124	إستخدامات نهائية أخرى
1409	708	912	545	360	مجموع استخدام النهائي
3258	2358	2822	2217	2108	مجموع الإستثمارات
67,713		60,042		(2040-2018)	
الاستثمارات المتراكمة (2040-2018)					

المصدر : وكالة الطاقة الدولية، تقرير آفاق الطاقة العالمية ٢٠١٨ ، مأخوذ من جداول A في التقرير.

البحث الثاني

**دور تقنيات النانو في الحد من التأثيرات البيئية :
استخدام الجسيمات النانوية البولي إلكتروليت متعدد
الطبقات لتحسين إنتاجية الآبار النفطية**

إعداد : د. مبارك محمد الهاجري

الفصل الأول

الملخص العام للدراسة

تعد عمليات التكسير الهيدروليكي من الممارسات الشائعة الاستخدام في صناعة النفط والغاز لتعزيز الإنتاج، حيث تتم معالجة التكسير الهيدروليكي كأحد تقنيات تحفيز الآبار في الخزانات منخفضة النفاذية والتكتويات الصخرية الضيقة على ضخ كميات كبيرة من السوائل (الماء والرمل والبوليمرات ومخاليط المواد المضافة الكيميائية) إلى أسفل البئر عند ضغط مرتفع للغاية. وطبقاً لمبادئ وقوانين ميكانيكا الموائع (المكونات الهيدروليكيّة)، حيث تعمل هذه الموائع على خلق شروحاً صغيرة في التكتويات الصخرية تسمى الكسور، مما يسمح لسوائل الخزان مثل الغاز الطبيعي والبترول والماء الملحي بالتدفق من التكتويات الضيقة. وتتجدد الإشارة بأن ما يقرب من ثلثي السوائل الهيدروليكيّة المستخدمة في عمليات التكسير الهيدروليكي هي عبارة عن بوليمرات قائمة على مركب الغوار polymer-Guar-base حيث تصنف بأنها الأكثر شيوعاً نظير تكلفتها التشغيلية المنخفضة وقابليتها العالية للذوبان في المياه وسهولة التعامل معها. وعلى الرغم من وجود أنواع أخرى من السوائل، مثل مستحلبات البوليمر المائية في الزيت والراغاوي المائية، فقد تم تصميمها جمیعاً لتعزيز تكوين الكسور عن طريق حمل الدعامات proppant وكذلك تقليل تأثيرها في اتلاف طبقات التكتويين الصخرية. ويتم ربط البوليمرات القائمة على الغوار بواسطة أيونات معدنية، مثل البورات، لتكون سوائل ذات لزوجة عالية لتتم عملية التكسير الهيدروليكي في أحداث الكسور، تضيف شركات خدمات حقول النفط والغاز قواطع عالية التركيز تتكون من إنزيمات ولتقليل أضرار عمليات تكوين الكسور، تضيف شركات خدمات حقول النفط والغاز قواطع عالية التركيز تتكون من إنزيمات ومؤكسدات في السوائل لتحليل المواد الهلامية البوليمرية. والمؤكسدات هي مواد خطيرة تشكل تهدداً على الصحة العامة والبيئة. لذلك يفضل استخدام قواطع الإنزيم Enzyme-breaker على المؤكسدات في الحد من التأثيرات الصحية والبيئية لعملية التكسير كونها صديقة للبيئة. وبالإضافة إلى كونها حميدة بيئياً، فإن قواطع الإنزيم تتميز بأنها منخفضة التكلفة وغير قابلة للتآكل وسهلة التعامل معها وهي آمنة للشحن والنقل. وتهدف طرق الحقن المختلفة والمستخدمة في هذا المجال إلى زيادة التحكم في القواطع العالية التركيز وذلك لتحسين عملية تنظيف الكسر والشقوق في الطبقات الصخرية. ومع ذلك، غالباً ما يكون كفاءة أداء الطرق الحالية ضعيفاً بسبب التنظيف غير الفعال للكسر أو التدهور المبكر لقواطع الإنزيمات في أسفل البئر.

وعلى مدى العقود الماضية، تم تكييف التقنيات الحديثة على نطاق واسع في مجالات مختلفة في صناعة النفط والغاز والتي تتضمن المراحل الأولى في استكشاف وإنتاج النفط والغاز، وحتى مرحلة تكثير النفط الخام والمنتجات الكيميائية. وتعد تقنية النانو من أنواع التكنولوجيا الحديثة التي اكتسبت مؤخراً قدراً كبيراً من الاهتمام. وتعود تقنية النانو بأنها تطبيق للمواد النانوية ذات بعد واحد على الأقل في نطاق من 1 إلى 100 نانومتر. أي الاستفادة من نسبة السطح إلى الحجم العالية والتتشغيل النوعي العالي للسطح، حيث تساعد تقنية النانو في إنتاج مواد لها خصائص مختلفة تماماً عن المواد الأصلية. وتعتبر تقنية النانو وتطبيقاته مجال بحث نشط في جميع المجالات الهندسية، ولا نستثنى من ذلك مجال هندسة البترول. كما يبذل العديد من الباحثين قصارى جهدهم لإحداث ثورة صناعية من خلال الاستفادة من تكنولوجيا النانو لإيجاد حلول للتحديات التي تواجهها التكنولوجيا الحالية في صناعة النفط والغاز. ومنذ ظهور هذه التكنولوجيا، تم استخدام المواد النانوية على نطاق واسع في مجالات مختلفة بما في ذلك الحفر والإكمال وإصلاح الآبار والتحفيز ومعالجة مياه الصرف الصحي. وتعتبر تقنية النانو في مقدمة المواضيع البحثية النشطة حالياً وخاصة في مجال التكسير الهيدروليكي. وفي هذه الدراسة، تم تطوير جسيمات النانوية من البولي إلكتروليت Polyelectrolyte متعدد الطبقات عن طريق آلية الترسيب من طبقة إلى طبقة Layer-by-Layer كطريقة لتغليف قواطع الإنزيم بحيث تؤخر إطلاق المادة الفعالة، كنوع من الاطلاق المستهدف والمحكم لقواطع الإنزيم في عمليات التكسير الهيدروليكي. وتم تجميع البولي إلكتروليت متعدد الطبقات- Polyelectrolyte-Multilayers (PEMs) عن طريق الامتصاص الكهروستاتيكي للعديد من البوليمرات التي تحمل مجموعات أيونية متعددة الشحنات الكهربائية (شحنات كهربائية موجبة و سالبة) باستخدام التركيب الغرواني للجسيمات النانوية المتكونة من مجموعات البولي إلكتروليت-Polyelectrolyte-Complexes (PECs) كنواة لبناء الطبقات الأيونية. حيث يتم إدخال تركيزات عالية من قواطع الإنزيم في مركب البولي إيثيلين أمين - (PEI) Polyethyleneimine وهو محلول بولي إلكتروليت ذو شحنة كهربائية إيجابية، بعرض تكوين جسيمات نانوية PECS بوجود كبريتات ديكستران-Dextran-Sulfate(DS)، وهو محلول بولي إلكتروليت ذو شحنة كهربائية سالبة. وباستخدام التركيزات الصحيحة وظروف الأس الهيدروجيني، تم تجميع البولي إلكتروليت متعدد الطبقات

بالتناوب بترسيب البولي إيثيلين أمين مع محلول كبريتات ديكستران في التركيب الغرواني الدقيق لتجمعات PEI-DS. وتم اختبار استقرار وإعادة انتاج البولي إلكتروليت متعدد الطبقات بمرور الوقت. ويوضح هذا العمل أهمية الجسيمات النانوية للبولي إلكتروليت متعددة الطبقات كتقنية للإطلاق المستهدف والمحكم للإنزيمات بناءً على قدرتها الفائقة على حمل تركيزات عالية من قواطع الإنزيم وكذلك كفاءة الجسيمات النانوية على التحكم في إطلاق الإنزيم المحمول. وتم تقييم كفاءة الاحتجاز-- Entrapment Efficiency (%)EE للجسيمات النانوية للبولي إلكتروليت متعدد الطبقات باستخدام طرق قياس التركيز مثل مقاييس اللزوجة. كذلك تم تحديد التوزيع المورفولوجي والحجم على مستوى النانومتر لكل من PECS و PEMs باستخدام المجهر الإلكتروني النافذ Transmission-Electron-Microscope(TEM) ، وتم التحكم في تأخير إطلاق قواطع الإنزيم المحتجز داخل البولي إلكتروليت متعدد الطبقات على مدى فترات زمنية أطول (18 ساعة) من خلال تقليل اللزوجة، ومعامل المرونة لغوار الهيدروكسي بروبيل .Hydroxypropyl-guar(HPG)

وكشفت اختبارات موصلية الكسر Conductivity-test على المدى الطويل عند 40 درجة سيليزيه تحت ضغوط الاختبار البالغة 1000 و 2000 و 4000 رطل لكل بوصة مربعة عن كفاءة عالية في تنظيف الكسر لسائل التكسير الممزوج بالجسيمات النانوية المحملة بالإنzym. ويشير تحسن موصلية الكسر المحتجزة من 25٪ إلى 60٪ إلى تأثير التوزيع المتتحكم فيه للجسيمات النانوية في قالب المرشح وعلى طول وجه الكسر بالكامل على عكس الإنزيم الحر (الغير المحتجز) الممزوج عشوائياً في سوائل التكسير الهيدروليكي. وتم العثور على موصلية الكسر المحتجزة بنسبة 34٪ لأنظمة السوائل التي تحتوي على تجمعات مركب البولي إلكتروليت التقليدية المحملة بالإنzym. بالإضافة إلى ذلك، أظهر البولي إلكتروليت متعدد الطبقات والمحمل بالإنzym توزيعاً محسناً للجسيمات النانوية على طول الكسر، وقدرة تحمل عالية، وكفاءة احتجاز في التركيب الغرواني، وإطلاقاً مستداماً للإنzym عبر الملف المتشعب المتعدد للجسيمات النانوية. ويمكن تغليف القواطع مرونة في استخدام تركيزات عالية من قواطع الإنzym دون المساس بخصائص السوائل أثناء معالجة التكسير الهيدروليكي، وبالتالي يؤدي بشكل فعال إلى تنظيف الكسور المتكونة من بقايا الهلام المركي.

كما تمت دراسة خصائص تسرب السوائل للجسيمات النانوية للبولي إلكتروليت متعدد الطبقات إلى التكوينية الصخرية في ظل ظروف ثابتة باستخدام خلية فقدان السوائل عالية الضغط Fluid-loss-cell. وتم ترشيح HPG الممزوج بالجسيمات النانوية على المقابس الأساسية ذات النهاية المماثلة. وتمت دراسة إضافة الجسيمات النانوية متعددة الطبقات إلى سائل التكسير لتحسين تأثير منع فقدان السوائل بشكل ملحوظ. وتم تحديد قيم معامل الترسيب والتي تسبب حجم ترشيح أقل من تلك التي تحتوي على محلول أساسى متشابكة. وكشفت تأثيرات التجسيم المعقده من PEI-DS في زيادة كثافة وسمكية قالب كعكة الترشيج كدلالة واضحة على التشتت المتجانس نسبياً للجسيمات ذات الحجم المناسب في قالب المرشح.

الفصل الثاني

الإطار النظري، الدراسات السابقة، وفرضيات الدراسة

تمهيد

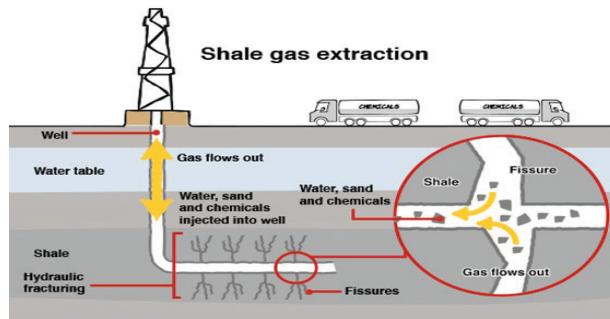
يهدف هذا الفصل من الدراسة إلى التعرف على المفاهيم الأساسية لعمليات التكسير الهيدروليكي والعوامل المؤثرة على كفاءة هذه العمليات ودور تقنيات النانو في مجالات تعزيز انتاج النفط والغاز وبما يحقق أهداف الدراسة في الحد من التأثيرات البيئية.

المبحث الأول: تعريف عمليات التكسير الهيدروليكي

التكسير الهيدروليكي هو ممارسة شائعة جدًا لتحفيز آبار النفط والغاز تهدف إلى خلق موصولة عالية للكسور والتشققات الموجودة في الطبقات التكوينية، مما يؤدي إلى إنتاج كميات كبيرة من الهيدروكربونات. وقد ساهم بشكل كبير في جعل الاحتياطييات غير القابلة للاسترداد في السابق بأن تكون قابلة للاستغلال لتعزيز معدلات الإنتاج من الحقول الموجودة. حيث تم إجراء أول معالجة للكسر الهيدروليكي في حقل هوجوتون للغاز في مقاطعة غراند، كانساس، الولايات المتحدة الأمريكية في عام 1947 (1).

تتكون العملية من ضخ مائع تكسير في منطقة الانتاج عند ضغط شديد ومعدلات حقن عالية بما يكفي لتوليد الكسور وانتشارها في الطبقات التكوينية. ويعتبر سائل التكسير المستخدم في العملية عبارة عن مزيج من مواد مضافة مختلفة مثل عوامل الزوجة التي تساعده في تكوين الكسور التي من شأنها أن تعمل كقناة تسمح بسريان الهيدروكربونات في حفرة البئر. وتبدأ عمليات التكسير الهيدروليكي بضخ السائل بدون إضافات تسمى "الموسادة" لبدء الكسر ولضبط درجة حرارة وملوحة منطقة الكسر مما يجعلها قريبة إلى القيم المتوافقة مع السائل المحقون. يتبع ذلك حقن "المونة"، وهو خليط من مواد مضافة ومادة التدعيم، وهي مادة صلبة على شكل حبيبات كروية، مثل الحبيبات الرملية والخزفية والتي ستعمل بعد ذلك في تمديد الكسر بشكل أكبر في الطبقات التكوينية وتوزيع مادة التدعيم على امتداد طول الكسور الناتجة من عمليات الحقن. وبمجرد إزالة ضغط الحقن و"إغلاق" البئر، تميل الكسور إلى الانغلاق بسبب إجهاد الإغلاق الذي تمارسه الصخور، وللحفاظ على نفاذية الكسر يتم حقن مادة التدعيم في الكسر لإبقاءه مفتوحاً بعد مرحلة الانغلاق مما يضمن مساحة لسوائل النفط والغاز للسريان بمجرد بدء إنتاج البئر. وقبل أن تبدأ مرحلة الإنتاج، فإنه يستوجب على مائع التكسير اللزج الموجود في الكسر بأن يتفكك ويتحلل ويعود إلى السطح، حتى لا يتسبب في إعاقة سريان الهيدروكربونات أثناء الإنتاج. لهذا الغرض، تحتوي "المونة الاسمونية" لسوائل المتشابكة على مواد كيميائية تسمى "قواطع" والتي من شأنها أن تكسر سوائل التكسير عالية الزوجة إلى سائل أقل لزوجة حتى يمكنه العودة إلى السطح خلال فترة "التدفق التراجيوني العكسي". بعد إغلاق Fluid-Flow-back، حيث يطلق على هذه العملية بـ "التنظيف" Clean-up. بعد فترة العودة المنخفضة، يتم وضع البئر في الإنتاج وتتدفق الهيدروكربونات في حفرة البئر من خلال شبكة التكسير الهيدروليكي عالية التوصيل. تميل آراء الخبراء في هذا المجال إلى الاعتقاد بأن سوائل التكسير من نوع الماء الزلق تولد كعكة ترشيح طفلية دقيقة. ولذلك، يميل الرأي المتزايد من مشغلين عمليات التكسير الهيدروليكي لاستبعاد أنظمة التكسير عند استخدامهم لسوائل المياه الزلقة (2).

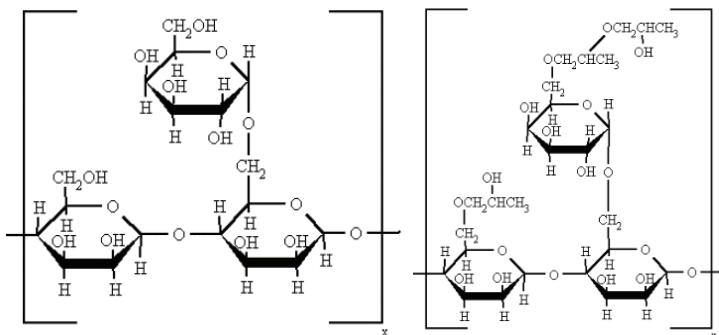
الشكل 1: رسم تخطيطي لمعالجة التكسير الهيدروليكي لاستعادة الغاز والنفط من الصخور الصخرية.



كما أن الهدف الرئيسي من عمليات التكسير الهيدروليكي هو إنشاء كسر بشكل مصطنع يربط العديد من الكسور الموجودة مسبقاً في الطبقات التكوينية، ومسارات التدفق، والمساحات الفارغة، وما إلى ذلك، على أن يتمتد الكسر الناتج من عمليات التكسير الهيدروليكي إلى أعماق ومساحات متشعبه في صخور الخزان. وعادة ما يكون مائع التكسير عبارة عن سوائل ذات أساس مائي من بوليمرات (عوامل لزوجة) يتم حقنها بضغط عالي للتغلب على نقطة الضغط للانهيار في الطبقات التكوينية، مما يؤدي إلى حدوث كسر في الصخر. وعلى الرغم من وجود العديد من أنواع سوائل التكسير المستخدمة في معالجات التكسير الهيدروليكي، مثل محليل البوليمر ذات الأساس المائي ومستحلبات البوليمر المائي في الزيت والرغاو المائية، إلا أنه تم تصميمها جميعاً لتعزيز تكوين الكسر من خلال حمل مادة التدعيم وتقليل أضرار مائع التكسير على طبقات التكوين الجيولوجية (3).

تستخدم سوائل التكسير ذات الأساس المائي على نطاق واسع بسبب تكلفتها المنخفضة، وفاعليتها العالية في حمل ونقل مادة التدعيم بالإضافة إلى كونها حميده بيئياً وسهلة التعامل في النقل والتخزين. وتعتبر المواد الهلامية القائمة على الغوار هي أكثر بوليمرات سوائل التكسير شيوعاً (4). على سبيل المثال، يتم استخدام guar galactomann ، وهو عبارة عن بوليمر طبيعي قائم على الماء يعرف باسم الغوار (guar) على نطاق واسع نظراً لارتفاع درجة تقاربه مع الماء. ويمكن أن تستهلك عملية التكسير المفردة ما يصل إلى مليون جallon من محلول غوار بتركيز 0.75٪ (وزن / حجم) (5). حيث يتم ربط البوليمرات القائمة على الغوار بواسطة أيونات معدنية، مثل Borate ، لزيادة لزوجة سوائل التكسير تكون كافية لتوليد كسور أوسع لنفاذ الدعامات أثناء عمليات التكسير الهيدروليكي. ويظهر الغوار الهيدروكسي بروبيل (HPG) hydroxypropyl guar في الترتيب الكيميائي HPG في التركيب الجزيئي للغوار حيث يتكون من أساس أحادي β -1 من وحدات mannose مرتبطة بالإضافة إلى سلسلة جانبية α -1 من وحدات galactose. وتبلغ نسبة وحدات mannose إلى وحدات galactose 1,6:1 تقريباً (6). وترتبط اللزوجة العالية لمحاليل البوليمر القائمة على الغوار ارتباطاً مباشرًا بالوزن الجزيئي العالي لجزيئات الغوار ($M_w > 2 \times 10^6 \text{ Da}$) لبعض النوعيات التجارية، ووجود جزيئات قطبية قادرة على الترابط بين الجزيئات بفعل الروابط الهيدروجينية. ويمكن للماء أن يهدى جزيئات البوليمر عن طريق اختراق الشبكة البوليمرية، وتشكيل روابط هيدروجينية جديدة مع الماء في جزيئات الغوار (5). وأثناء عملية الترطيب، يضاف البوليمر الصلب إلى الماء أو محلول ملحي ويختلط حتى يتشكل محلول البوليمر.

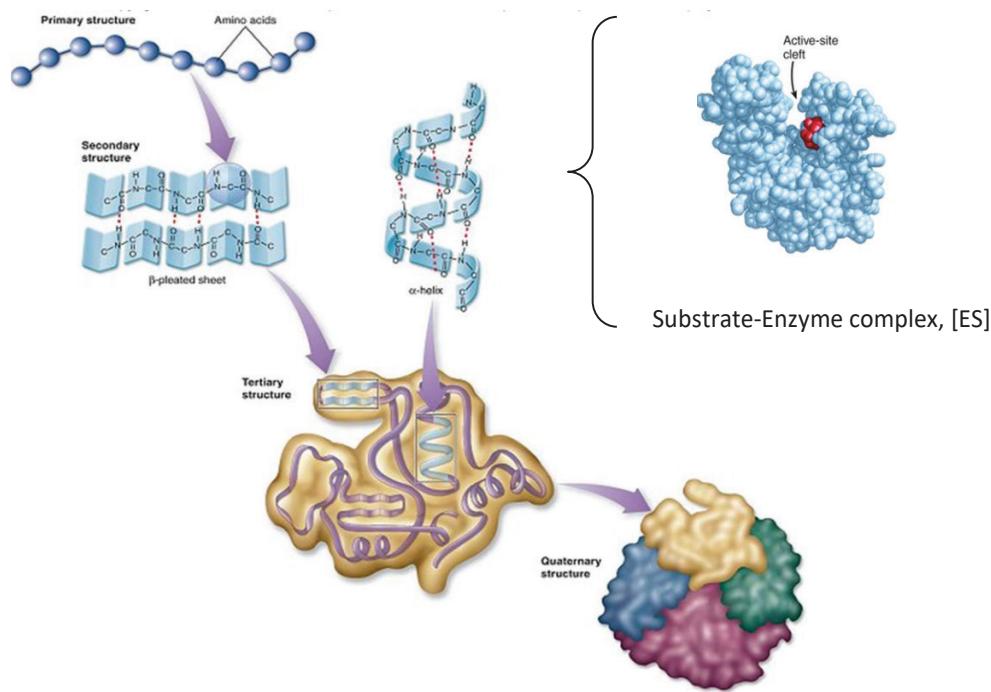
الشكل 2 : هيكل الغوار (على اليسار) ومشتقاته من hydroxypropyl guar (على اليمين) (2).



المبحث الثاني: التحديات المتعلقة بعملية تنظيف سائل التكسير

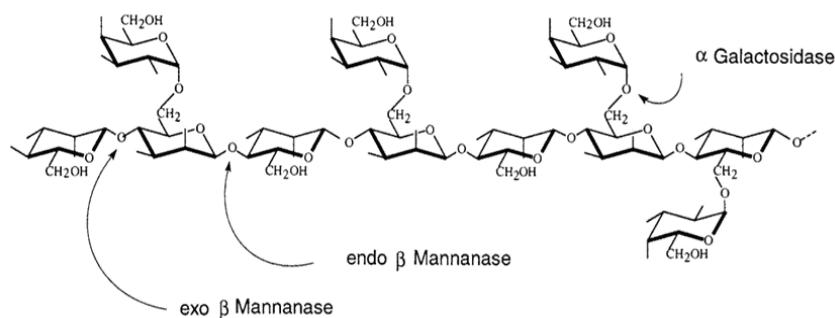
يمكن نجاح عمليات التكسير الهيدروليكي في سهولة تحلل وتفكك سوائل التكسير بعد الإغلاق، حيث ينبغي إزالة محلول الغوار على اللزوجة في نهاية عملية التكسير مع عدم الاحمال أو إزاحة مادة التدعيم من الشقوق والكسور أو إتلاف موصلية هذه الكسور. وتعمل قواطع الإنزيم التكسير مثل الإنزيمات والمؤكسدات على تقليل لزوجة مائع التكسير بشكل فعال. وتعرف الإنزيمات بوصفها بروتينات فهي بوليمرات ببيولوجية تكون فيها الأحماض الأمينية هي لبنة بناء الوحدة الأساسية، حيث تتشكل عن طريق تكتيف الأحماض الأمينية المرتبطة بعضها البعض بواسطة رابطة الببتيد الخطى بين المجموعة الأمينية ($-NH_2^+$) من وحدة الأحماض الأمينية ومجموعة الكربوكسيل ($-COO^-$) من المجموعة الأخرى. ويعمل الإنزيم كمحفز ببيولوجي يسرع فعلياً جميع التفاعلات الكيميائية في جميع أنحاء تكوين المواقع النشطة في [ES] Substrate-Enzyme-complex كما هو موضح في الشكل 3.

الشكل 3: الإنزيمات كبولимер بيولوجي بهيكل بناءً أساسياً وثانوي وثلاثي ورباعي، والمواقع النشطة أو مجتمع الركيزة الإنزيمية عبارة عن شق ثلاثي الأبعاد يحتوي على جزء صغير من الحجم الكلي للإنزيم (أعلى اليمين).



يفضل استخدام قواطع الإنزيم Enzyme-breaker على المؤكسدات لتحسين عملية تنظيف الكسر والشقوق في الطبقات الصخرية نظرًا لتكلفتها المنخفضة، وغير المسببة للتآكل، وسهولة التعامل معها، وبالإضافة إلى كونها حميدة بيئياً. وهي توفر طريقة فعالة لتحليل سوائل التكسير من خلال تكوين المواقع النشطة الموجودة داخل مجتمع [ES] حيث أن الإنزيمات لا يتم استهلاكها في التفاعل، كما هو حاصل للقواطع المؤكسدات، وتبقى فعالة ونشطة طوال التفاعلات الحيوية (7). ويمتلك الإنزيم النموذجي الخاص بعملية تكسير وتفكك بوليمر الغوار على خليط من البروتينات ذات النشاط الإنزيمي، حيث ينخفض الوزن الجزيئي للغوار نتيجة انقسام سلاسل البولимер بواسطة الإنزيمات المعنية (الشكل 4). كما أن تفكك السلسلة الفقرية في polymannose في الروابط بين وحدات mannose؛ تسبب انخفاض كبير وفوري في لزوجة محلول الغوار وتتصبح روابط polymannose أقصر من أن تتشابك بشكل فعال، وينتج عنه انخفاض كبير في متوسط الوزن الجزيئي للغوار ولزوجة محلول الغوار. أما بالنسبة إلى تفكك الروابط الجانبية galactose-mannose فهي لا تعكس الانخفاض الكبير كما في روابط السلسلة الفقرية للبولимер. ومع ذلك، فإن إزالة أكثر من 6 وحدات galactose من العمود الفقري polymannose يؤدي إلى الترسب بسبب تكوين الحلزونات بعد التعرض الطويل للقواطع. وتكون حلزونات polymannose المتبقية غير قابلة للذوبان تماماً ولا يمكن تحللها بواسطة قواطع الإنزيم. ولمنع تكوين هذه البقايا الغير قابلة للذوبان، يجب أن يتكون قواطع الإنزيم من مجموعات إنزيمية محددة قادرة على كسر السلسلة الفقرية للpolymannose في نفس الوقت قبل تفكك السلسلة الجانبية للgalactose.

الشكل 4: هيكل البولимер لغوار galactomann، الذي يظهر العمود الفقري الخطى لوحدات mannose المرتبطة $\alpha-1,4$ ووحدات galactose المرتبطة $\beta-6$ ، مع السلاسل التي تكون عرضة للانقسام بواسطة إنزيم exo- β -mannanase و endo- β -mannanase و α -galactosidase .(5)

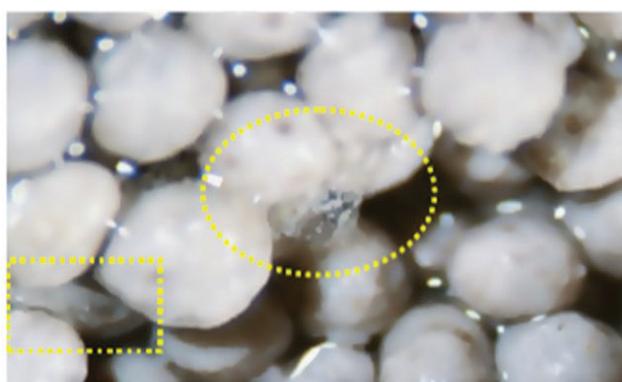


وغالباً ما يكون أداء عمليات التكسير الهيدروليكي ضعيفاً نتيجة لتلف موصلية الكسر بسبب البوليمرات المتشابكة (Crosslinked polymers). وعلى الرغم من أن موائع التكسير تتمتع بقدرة عالية على تكوين التصدع في الطبقات التكوينية على اختلاف نفاذية ودرجة حرارة الطبقة المنتجة، إلا أن العوائق الرئيسية للبوليمرات المتشابكة تكمن في تلف موصلية الكسر نتيجة لتكون بقايا الهلام Fluid residue)، وكعكة الترشيح (filter-cake)، وبالإضافة إلى تلف التكوين الناجم عن تسرب السوائل خارج مسار الكسر (loss).

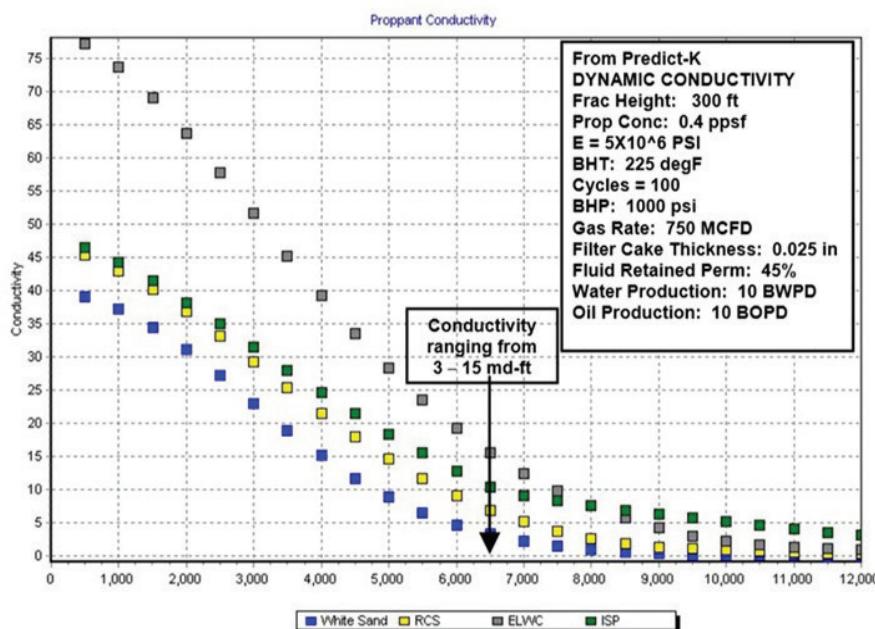
وعلى الرغم من إضافة تركيزات عالية من قواطع الإنزيم إلى سوائل التكسير، فإن التحلل غير الكامل للبوليمرات المتشابكة ينبع عنه بقايا هلامية من المحتمل أن تسد فراغات المسام بين حبيبات المادة التدعيم الموجودة بداخل الكسر. حيث تشير دراسة كوك (8) أن كمية بقايا الهلام الموجودة في فراغات المسام تقلل من موصلية مادة الدعم. علاوة على ذلك، سيكون هناك انخفاض في موصلية الكسر على المدى الطويل ولن يتم إزاحتها عن الكسر أثناء التدفق العكسي أو عودة تشغيل إنتاج البئر وذلك بسبب انخفاض معدلات التحلل لبقايا الهلام. ويشير أيضاً إلى أنه كلما زاد الحجم الجزيئي للبوليمر > cellulose derivative > polyacrylamide (guar)، زادت أيضاً كمية الانخفاض في موصلية الكسر كما أن تأثير السوائل الضارة على موصلية الكسر يتضاعف عند ظروف الضغط العالي. والعوامل التي تؤثر على كمية البقايا الناتجة من عوامل التبلور المتكسرة عند درجة حرارة منخفضة هي تركيز قواطع الإنزيم ونوع القواطع، ووقت الكسر، والارتباط المتشابك، ودرجة الحموضة في سائل التكسير. وهناك عوامل أخرى مثل الرقم الهيدروجيني لموائع التكسير، ونوع أيونات المعدنية المستخدمة في الارتباط المتشابك، والتركيز هذه الأيونات المعدنية، والتي يمكن أن تؤثر على نشاط الإنزيم وبالتالي كمية بقايا الهلام الموجودة في مساحة المسام (9).

كما أظهرت نتائج الدراسات التي أجريت لدراسة تأثير بقايا الهلام على تدفق السوائل داخل الكسور المدعمة على انخفاض بنسبة 70٪ في الموصلية وعلى امتداد طول الكسر المتتصدع (10). كما تم عرض بقايا الهلام على شكل مادة ليفية بين حبيبات مادة التدعيم، مما تسبب في أضرار أكثر خطورة لمسامية الكسر ونفاذه كما هو مبين في الشكل 5. علاوة على ذلك، ظهرت مستويات الإنتاج منخفضة بنحو أكثر من 98٪ نتيجة لتكون بقايا الهلام على امتداد طول الكسر بعد عمليات التكسير والذي يعد عاملاً مهماً لتقدير مستويات الإنتاج كما هو مبين في الشكل 6.

الشكل 5: تلف بقايا الهلام الموجود في حزمة الكسر باستخدام خلية الموصلية أثناء اختبار التوصيل على المدى الطويل (10).



الشكل 6: تطابق نتائج منحى Agarwal-Gardner، مما يشير إلى فقد التوصيل بسبب تلف الهلام المتبقى (10).



ويتضمن التكسير الهيدروليكي ضخ سوائل بوليمر متشابكة في صخور التكوين والتي تكون من جزيئات تكون غالباً أكبر من المسام الصغيرة في التكوين، وعندما يتسرّب السائل خارج مسار الكسر وإلى التكوينات الصخرية المقابلة لطول الكسر، وتمتلئ جدران الكسر الداخلية بطبقة ذات تركيز عاليٍ من البوليمر تسمى "كعكة الترشيح filter-cake" والتي تحد من تسرب السوائل إلى التكوينات المقابلة. وتعتمد سماكة كعكة الترشيج على توازن الضغط التي تبذلها جزيئات سوائل البوليمر على جدار الكعكة أثناء تدفقها على طول الكسر مع الضغط الداخلي في كعكة الترشيج المقاومة للانكماش. كما يمكن أن يصل تركيز البوليمر في كعكة المرشح إلى 20 ضعف التركيز الموجود في سوائل التكسير (4). ونتيجة لذلك، تكتسب كعكة المرشح "نقطة اجهاد shear stress" عالية مما يسبب تلفاً في موصلية الكسر ويقل إنتاج سوائل النفط والغاز. وأشارت النماذج المدروسة إلى انخفاض في تدفق السوائل وأداء البئر على مدى 1000 يوم عند نقاط اجهاد مرتفعة وقيم نفاذية منخفضة (0.005 إلى 5 ملي داري MD)، بالمقابل ينخفض تأثير نقطة الجهد لکعكة الترشيج على تدفق السوائل عند قيم نفاذية أكبر من 5 ملي داري (11).

إن خصائص تسرب مائع التكسير الهيدروليكي، ومع الحد الأدنى من معدلات التسرب فإنها تؤثر على امتداد الكسر لتحقيق طول كسر فعال عن طريق حمل الدعائم العميق داخل الكسر. ومن ناحية أخرى، تؤدي معدلات التسرب المرتفعة وفقدان السوائل المفترض في التكوين إلى استقرار مادة الحشو الدعمي والإنهاء المبكر للمعالجة. على سبيل المثال، ذكر فولك وآخرون (12) أن الانخفاض في نفاذية الغاز كان ناتجاً عن تكسير الهلام غير الكامل الذي لن يمر عبر "اللب core-plug" وكعكة الترشيج. ويمكن أن تكون كمية السوائل المتتسربة في ظل الظروف الديناميكية كبيرة مقارنة مع الظروف الثابتة التي يكون فيها معدل فقد السوائل بالنسبة لمحاليل البوليمر الخطية مستقل عن معدل تدفق السوائل، حيث تزداد كمية تسرب السوائل من المواد الهلامية المتشابكة مع زيادة معدل تدفق السوائل، ولكن تقل في حالة وجود اللب عالي النفاذية.

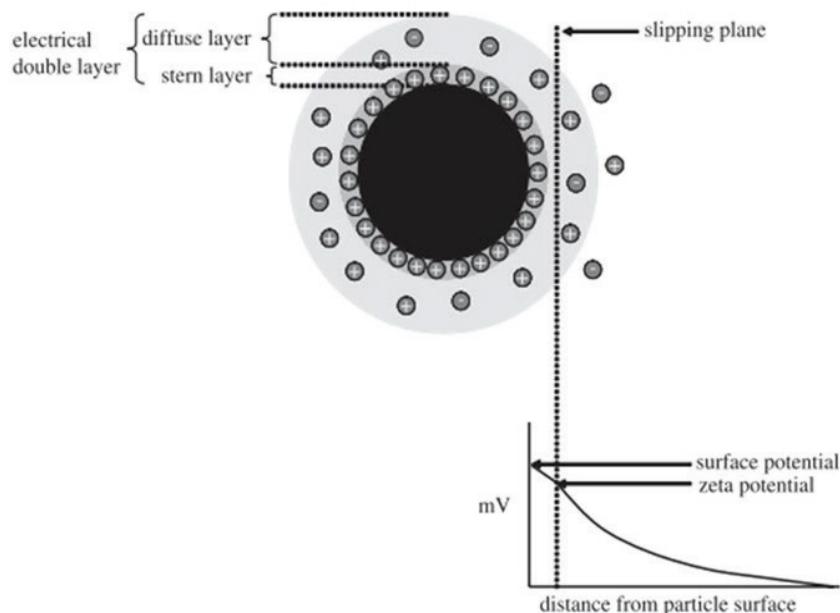
المبحث الثالث: تقنية النانو

أولاً: تعريفات وأسسيات تقنية النانو

تتمركز تقنية النانو حول معالجة الذرات والجزيئات لتجميع "المعلقات الغروية" colloidal suspensions على مقياس نانومتر (من 1 إلى 1000 نانومتر). وبدأ العمل في هذا المجال في أوائل السبعينيات، ونفذ لأول مرة من قبل باحثين في مجالات الفيزياء والكيمياء، ثم تطور لاحقاً في العديد من مجالات علم الأحياء والطب. وتتمتع المواد النانوية بميزة وظائف السطح، نظرًا لنسبة السطح إلى

الحجم الكبيرة التي يمكن أن تزيد فيها مساحات السطح العالية من تفاعل المواد عند ملامستها للمواد المحيطة. ونتيجة لذلك، أصبحت منطقة بحث نشطة مع العديد من التطبيقات عبر الصناعات، بما في ذلك الأغذية والإلكترونيات وجودة الهواء والماء والأدوية والبطاريات والوقود (13). ومن أكثر الخصائص المميزة للمعلقات الغروية هي الشحنات السطحية والجهد الكهروستاتيكي، حيث يوجد العديد من الطرق المستخدمة لتحضير المعلقات الغروية لإنتاج جزيئات تحمل شحنات كهربائية محددة. وتولد هذه الشحنات السطحية عن طريق تأين "المجموعات الوظيفية" functional-group، أو امتصاص الأيونات، أو إذابة المواد الصلبة الأيونية، أو الاستبدال المتماثل للأيونات (14). وتم موازنة شحنة سطح الجسيم عن طريق زيادة الأيونات المضادة الشحنة في محلول. وتصف نظرية ستيرن-جوي-تشابمن توزيع الأيونات المضادة حول سطح الجسيم كنتيجة لتأثير قوتان إلكتروستاتيكيتان متعاكستان هما: قوى التنافر الكهروستاتيكية التي تطلق الأيونات المضادة ذات الشحنة المعاكسة لتنشر. بشكل عشوائي في جميع أنحاء محلول، وقوى الجذب الكهروستاتيكية التي تجذب الأيونات المضادة إلى سطح الجسيمات. وتتشكل طبقة كهربائية مزدوجة حول الجسيم المشحون، حيث يوجد جزء من الأيونات المضادة لشحنة الجسيم على السطح نتيجة لقوى الجذب الكهروستاتيكية (طبقة ستيرن diffuse layer)، بينما يتوزع الجزء الآخر من الأيونات المضادة لشحنة الجسيم في الطبقة الانسياية Stern layer كما هو موضح في الشكل 7.

الشكل 7: رسم توضيحي للطبقة الكهروستاتيكية المزدوجة وتوزيع الأيونات المضادة المحيطة بجسيم في محلول الماء. وجهد zeta هو الجهد الكهربائي عند المستوى الانسياقي (طبقة ستيرن) (15).



وتداخل الطبقات المنتشرة حول الجسيمات مع بعضها البعض عملية التفاعل الكهربائي بين الجسيمات. ويرى الباحثون أن الجهد الكهروستاتيكي بسبب تفاعل الجسيمات يكون على المستوى الانسياقي بين طبقة ستيرن والطبقة المنتشرة (جهد ستيرن، Ψ ، أو جهد زيتا، ζ). ويقع مستوى القص shear plane (مستوى ستيرن) بشكل عام على مسافة حوالي 0.5-0.3 نانومتر من سطح الجسيم، وهو ما يقرب من قطر الأيون المضاد المائي (14). ويعتمد حجم الجهد على مدى انتشار الطبقة الانسياية والتي تتلاشى تدريجياً كلما زادت المسافة عن سطح الجسيم وفق نظرية بواسون-بولتزمان الخطية لنقاط الأيونات:

$$(1) \quad \Psi = \Psi_0 \exp(-\kappa x)$$

حيث يعرف

Ψ = الجهد الكهروستاتيكي على مسافة مدي الطبقة الانسياقية بالنانومتر.

Ψ_0 = الجهد الكهروستاتيكي القريب من السطح على مسافة δ ، تقريباً نصف قطر الأيون الرطب.

x = مدى الطبقة الانسيابية بالنانومتر.

κ = ثابت ديباي-هوكل، أي (m^{-1})

بالنسبة للمحاليل المائية عند 25 درجة، يُعطى ثابت ديباي-هوكل بواسطة المعادلة:

$$(2) \quad \kappa = 2.3 \times 10^9 \left(\sum c_i z_i^2 \right)^{1/2}$$

حيث يعرف

c_i = التركيز المولى للأيون i .

z_i = تكافؤ الأيون i .

ويعبر عن ثابت ديباي-هوكل بطول ديباي، أي المسافة التي ينخفض عندها الجهد الكهروستاتيكي إلى 37% من جهد في طبقة ستيرن. ويحدد طول ديباي مدى الطبقة الانسيابية حول الجسيم والتي تؤدي إلى استقرار المحاليل الغروية. على سبيل المثال، عندما تكون مدى الطبقة المنتشرة بالنانومتر تساوي $\kappa/1$ ، يتم اختزال المعادلة (1) إلى $\Psi_0/\exp(\Psi_0) = 1$ والتي غالباً ما تعطي مقاييس لسمakanة الطبقة المزدوجة الكهربائية. ومن ناحية أخرى، فإن ضعف طول ديباي أو $\kappa/2$ يمكن أن يعطي قياساً تقريريًّا لمدى المجال الكهربائي بعيداً عن سطح الجسيم. وبالمثل، تشير أربعة أضعاف طول ديباي أو $\kappa/4$ إلى بدء التفاعل الكهروستاتيكي بين جسيمين مشحونين. ويمكن للمرة تحديد جهد زيتا في التجارب الكهروميكية عبر عملية الفصل الكهربائي Electrophoresis. ويتم قياس العلاقات بين الجهد الكهربائي والتنقل النسبي للجسيمات في محلول باستخدام تقرير سمولوتشفوسكي للجسيمات الكروية مثل:

$$(3) \quad u = \frac{2\epsilon_r \epsilon_0 \zeta}{3\eta} \quad \text{لـ } \kappa R \ll 1$$

$$(4) \quad u = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 \zeta}{\eta} \quad \text{لـ } \kappa R > 100$$

حيث يعرف

u = التنقل الكهربائي

ϵ_r = النفاذية النسبية للمذيب

ϵ_0 = نفاذية الفراغ

η = لزوجة المذيب

R = نصف قطر الجسيم الكروي

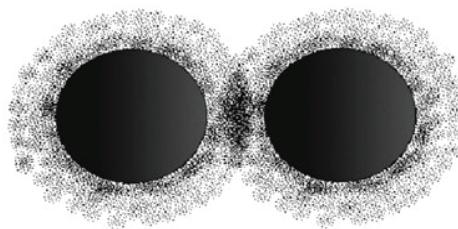
كما يعتبر جهد زيتا معلمة مفيدة وعملية لتمييز المعلقات الغروية وذلك لعدة أسباب: أولاً، الإشارة إلى ما إذا كان الجسيم مشحوناً سالباً أو موجباً، أو إذا لم يكن له شحنة ظاهرة. ثانياً، يمكن أن يُظهر تباين التنقل الكهربائي، من حيث الرقم الهيدروجيني للوسط الذي تنتقل عبره الجسيمات، وتركيز الإلكتروليت، وإضافة مواد مختلفة مثل المؤثر السطحي، والبوليمرات، والإلكتروليتات المتعددة. علاوة على ذلك، يُعد جهد زيتا أكثر أهمية عندما يكون مرتبط بالاستقرار الغروي في حالة وجود مزيج من الإلكتروليتات المتعددة (16).

ثانياً: استقرار الشحنات في الجسيمات الغروية

يشير استقرار الأنظمة الغروية إلى التغيرات في الحالة الفيزيائية للجزيئات الغروية عند تعرضها لاضطراب في تركيز الجسيمات وحجم محلول ودرجة الحموضة وإضافة الأملاح. وتميل الجسيمات الغروية المستقرة إلى التجمع والبقاء في حالة تشتت. وتميل الجسيمات الغروية غير المستقرة أيضاً إلى تكوين تجمعات، ولكنها تتجمع بشكل دائم عندما تكون القوى الجاذبة التي تحمل التجمعات كبيرة وغير قابلة للتأثير بالقوى النموذجية المستخدمة في التحرير، أو الخلط، أو الطحن، أو باستخدام المجسات فوق

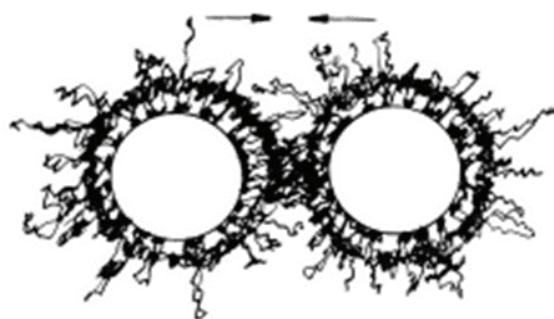
الصوتية. وغالباً ما تستخدم مصطلحات التخثر والتلبد في مجالات العلوم للمحاليل الغروانية لوصف عمليات التجميع والتكتوين الكاملة والتي لا رجعة فيها، أو العمليات القابلة للتفكيك والرجوع إلى ما حالة ما قبل التجميع، ولكن بشكل ضعيف. ومع ذلك، فإن مصطلح الترسب يستخدم لوصف تغير طور هذه التجمعات إلى مواد صلبة. وبعض آليات التثبيت المهمة التي تعمل على الجزيئات المشتتة في المحاليل المائية هي التثبيت الكهروستاتيكي والتثبيت الحيزي الفراغي. فعندما يتحرك جسيمان مشحونان على السطح في البولي إلكتروليت في الاتجاه نحو بعضهما البعض، ستتدخل طبقاتهما الانسيابة ويزداد تركيز الأيونات المحلية عند نقطة الوسط المتداخلة. ويوضح الشكل 8 رسم تخطيطي لتفاعل التداخل بين الطبقات المنتشرة، حيث يؤدي الاختلاف في تركيز الأيونات عند نقطة الوسط المتداخلة والمحلول السائب إلى ضغط تناضجي يعمل كقوة طاردة. وفي حالة وجود جسيمات متطابقة في الكتلة والشحنة الكهربائية، والذي يؤدي إلى تفوق القوة الطاردة على قوى التجاذب بين الذرات، بما يُعرف بـ"فاندرفالس"، وبالتالي ينتج عنه نظام السائل الغروي المستقر (17). وتسمى آلية التثبيت الناتجة عن قوى التناحر الطاردة بالثبيت الكهروستاتيكي حيث يمكن أن يعطي الجهد زيتاً مقياساً تقريرياً لقوى التناحر الكهروستاتيكي. كما يرتبط استقرار الجسيمات الغروية بحجم الجهد زيتاً المُمقاس. وبشكل عام، يمكن اعتبار الجسيمات النانوية الغروية ذات الجهد زيتاً المرتفع كجسيمات نانوية مستقرة، على سبيل المثال $>+30$ ميلي فولت أو <-30 ميلي فولت.

الشكل 8: رسم تخطيطي لتفاعل المتداخل للطبقات الانسيابية على الجسيمات المجاورة (17).



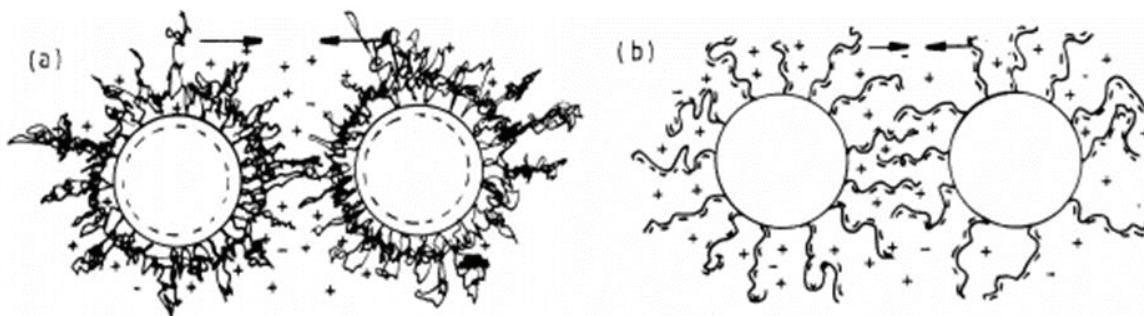
كما يمكن أن يؤدي التفاعل مع البوليمرات إلى استقرار الجسيمات الغروية، أو كما هو مبين في الشكل 9، فعندما يقترب جسيمان متجاوران بطبقات بوليمر ممتتصة من بعضهما البعض، تبدأ سلسلتا البوليمر في التشابك ويزداد تركيز البوليمر بين الجسيمات تدريجياً. وتؤدي طاقة غيبس الحرارة الناتجة عن تفاعل التداخل إلى تفاعل منفرد فاصل يجبر الجزيئات على التباعد. وتسمى آلية التثبيت الناتجة عن طبقات البوليمر الممتتصة بشكل عام باسم التثبيت الحيزي الفراغي (18). وهناك نوع آخر من التفاعل بين البوليمرات والجزيئات الغروية هو النضوب، حيث تحفظ البوليمرات غير الممتتصة عوامل الجذب. كما تحدث تفاعلات التجسير وذلك عندما يُحفّز البوليمر الممتتص على جسيمين عوامل جذب في نفس الوقت (19).

الشكل 9: رسم توضيحي تخططي للتثبيت الحيزي الفراغي بسبب التفاعل المتداخل لطبقات البوليمر الممتتص (19).



بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يحصل دمج في آليات التثبيت الكهروستاتيكي والتثبيت الحيزي الفراغي في آن واحد، حيث توجد شحنة على سطح الجسيمات أو البوليمر المشحون في حالة البولي إلكتروليت كما هو موضح في الشكل 10 (19).

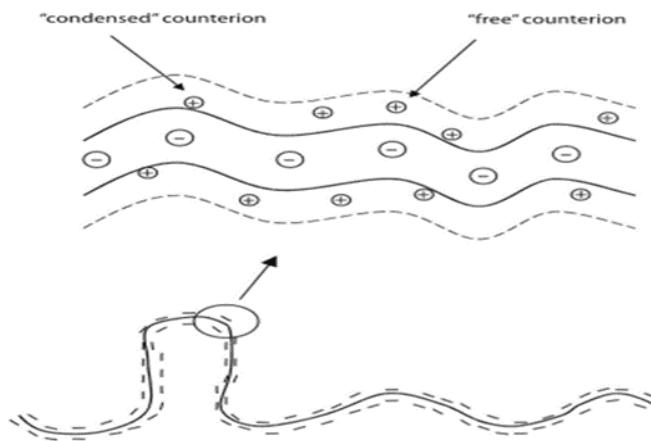
الشكل 10: رسم تخطيطي للتثبيت الكهروستاتيكي بسبب: (أ) تفاعلات الجسيمات المشحونة مع البوليمرات غير الأيونية الملتحقة بالسطح، و (ب) تفاعل الإلكتروليتات المتعددة من اثنين من الجسيمات غير المشحونة (19).



ثالثاً: البولي إلكتروليت والجسيمات النانوية

البولي إلكتروليت عبارة عن بوليمرات تتكون من مجموعات أيونية منفصلة. على سبيل المثال، في المذيبات القطبية، مثل الماء، تنفصل المجموعة الأيونية متعددة الإلكتروليت وتطلق أيونات مضادة في محلول مما ينتج عنه إلكتروليتات مشحونة للغاية وجزيئات سلسلة جزيئية كبيرة. وتحكم قوتان إلكتروستاتيكيتان متعارضتان في العملية: قوى التناحر الكهروستاتيكي التي تطلق أيونات مضادة "الحرة" ذات الشحنة المعاكسة لتنشر عشوائياً في جميع أنحاء محلول؛ وقوى التجاذب الكهروستاتيكي التي تجذب الأيونات المضادة "المكثفة" لسلسلة البولي إلكتروليت (20). وتحكم الأيونات المضادة "الحرة" و "المكثفة" مدفوعان بالقوتين الكهروستاتيتين المعاكستين في الطبقات المزدوجة الكهربائية المتكوتة حول سلسلة البوليمر (الشكل 11).

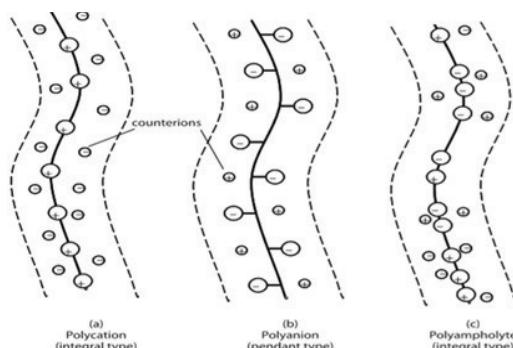
الشكل 11: رسم تخطيطي للبولي إلكتروليت في محلول، ويظهر الأيونات المضادة المكثفة والحرجة (20).



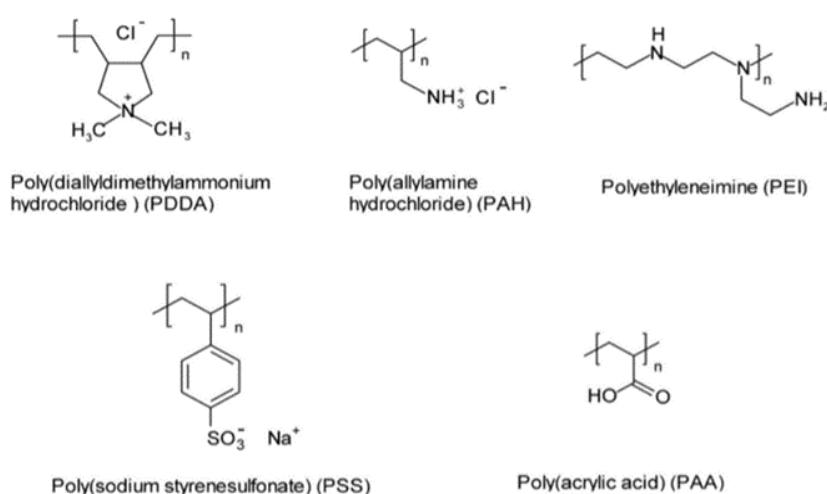
ويمكن تصنيف البولي إلكتروليت وفقاً لشحنته السطحية إلى بوليمرات متعددة الكهارل (الكولييانات) وسالبة الشحنة (البولييانات) ومتفاوتة الشحنة، كما هو موضح في الشكل 12. وتحدد المجموعة الأيونية في سلاسل البوليمر الشحنات السطحية للبوليمرات متعددة الإلكتروليت. وبعض المجموعات الأيونية المرتبطة بالبوليمر متعدد الإلكتروليت هي: الكربوكسيل (-COO⁻)، ثانوي كبريتيد (-CS⁻)، كبريتات (-SO₃⁻)، سلفونات (-OPO₃²⁻)، فوسفات (-PO₄³⁻)، الأمينات الأولية (=NH⁻)، الأمينات الثانوية (≡NH⁻)، أو الأمينات الثلاثية (-NR₃⁻). على سبيل المثال، كلوريد بولي داي ميثيل أمونيوم (PDMA) ، والبولي إيثيلين أمين (PEI) ، وهيدروكلوريد بولياليل أمين (PAH) هي عمليات متعددة حيث ترجع الشحنات الإيجابية إلى مجموعتها الكاتيونية الخاصة بها. وتعتبر الكولييانات من ناحية أخرى، هي مركبات البوليستيرين سلفونات الصوديوم (PSS) وحمض البولي أكريليك (PAA) بشحنات سالبة من مجموعات أنيونية السلفونات والكربوكسيل، على التوالي (الشكل 13) (21). وتعتبر البروتينات هي مثال على البولي أمفوليت التي تكون من كل من المجموعات الأمينية الكاتيونية والأنيونية الكربوكسيلية. وتصبح البروتينات موجبة أو سالبة الشحنة

في كل من الظروف الحمضية أو القلوية، على التوالي، ولكن سيكون لها شحنة صافية قدرها صفر عند نقطة تساوي عدد الشحنات الكهربائية المتضادة في المحلول (الشكل 14).

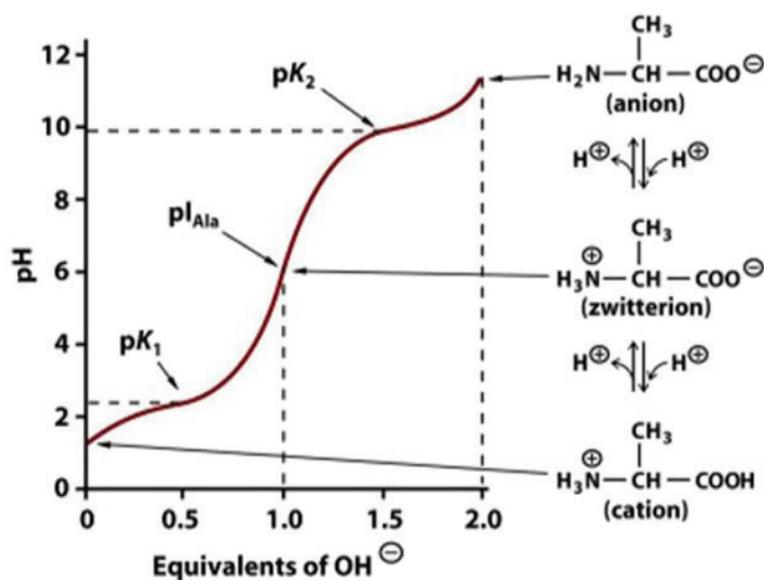
الشكل 12: رسم تخطيطي لتصنيف البولي إلكتروليت بناءً على شحنته السطحية (20).



الشكل 13: تمثيل تخطيطي للبنية الجزيئية للبولي إلكتروليت ومجموعاتها الأيونية الخاصة (21).

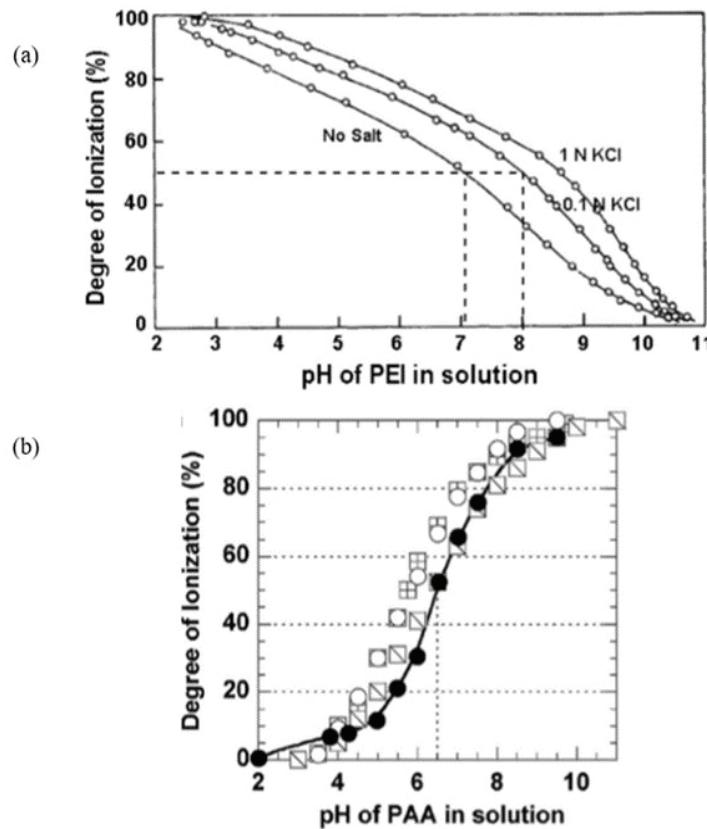


الشكل 14: تأين البروتينات بالمعايرة ، على سبيل المثال الألانين (7).



بالمقابل، تفصل البولي إلكتروليت القوية تماماً في محلول الماء حيث تنتج الأيونات المضادة وتنتشر عشوائياً في محلول على سبيل المثال، يتم شحن كلوريد بولي دياليل أمونيوم والبوليسترين سلفونات الصوديوم بشكل إيجابي في جميع نطاقات الرقم الهيدروجيني، ولا يؤثر الرقم الهيدروجيني للمحلول بشدة على درجات التأين. ومع ذلك، تظل البولي إلكتروليت الضعيفة غير منفصلة عند نطاقات معينة من الرقم الهيدروجيني ، كما تتأثر درجات تأينها بشكل كبير بالرقم الهيدروجيني للمحلول. ومن الأمثلة النموذجية للعديد من إلكتروليت الضعيف، البولي إيثيلين أمين وحمض البولي أكريليك، حيث تكون درجة التأين في البولي إيثيلين أمين صفر بدرجة عالية من الرقم الهيدروجيني، في حين أن درجة تأين حمض البولي أكريليك قريبة من الصفر عند درجة حموضة منخفضة، على سبيل المثال الرقم الهيدروجين $pH < 2$ كما هو موضح في الشكل 15 (22).

الشكل 15: درجة تأين البولي إلكتروليت الضعيف كدالة للرقم الهيدروجيني: (أ) البولي إيثيلين أمين (23)، و (ب) وحمض البولي أكريليك (22).



رابعاً: الجسيمات النانوية للبولي إلكتروليت

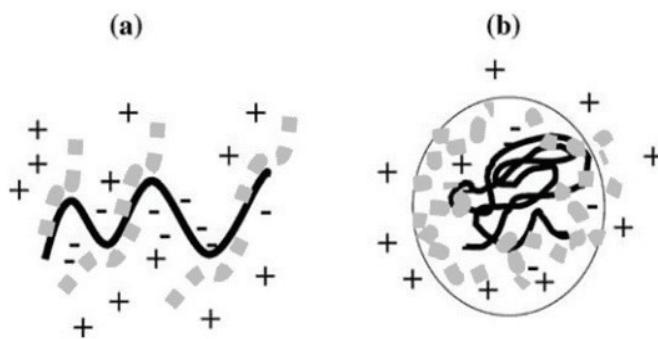
يتم تعريف الجسيمات النانوية على أنها معلقات غروية صلبة ذات أحجام جسمانية في حجم مقياس النانومتر. وتشكل تجمعات إلكتروليتات المتعددة، أو البولي إلكتروليت Polyelectrolytes (PECs) عن طريق إضافة البولينات ذات الشحنة المعاكسة والكولييانات من أنواع مختلفة من البوليمرات والبوليمرات المشتركة . ويوفر تكوين تجمعات البولي إلكتروليتات إمكانية الجمع بين الخصائص الفيزيائية والكميائية لما لا يقل عن اثنين من البولي إلكتروليتات (20). والجسيمات النانوية للبولي إلكتروليت عبارة عن معلقات بحجم النانو قابلة للذوبان في الماء وقابلة للتحلل الحيوي بمعدلات غروية بوليميرية مع مجموعات أيونية متعددة. وللجسيمات النانوية للبولي إلكتروليت العديد من التطبيقات الواسعة في التكنولوجيا الحيوية كنماذج للقاولات وأدوية مضادة للسرطان (24).

تشكل تجمعات البولي إلكتروليت عن طريق خلط محاليل الكولييانات ومحاليل والبوليمرات ذات كثافة الشحن العالية. وتحكم التفاعلات الكهروستاتيكية القوية بين إلكتروليتات ذات الشحنة المعاكسة بشكل كبير في تكوين تجمعات البولي إلكتروليت. وتشترك أيضاً قوى التفاعل الأخرى مثل الرابطة الهيدروجينية، والتفاعلات الطاردة للماء، وقوى فاندرفالس. ويمكن تقسيم عملية تكوين

تجمعات الإلكتروليتات إلى خطوطين وصفهما هارتيج وآخرون (24): أولاً، هناك انتشار لسلسل البوليمر المضادة والتي تعمل على تكوين التجمعات الأولية، والتي تحدث بسرعة كبيرة. ثانياً، هناك إعادة ترتيب الديناميكا الحرارية لسلسل البوليمر والتي ينشأ عنها تكوين المجموعات الثانوية وذلك عبر تفاعلات طاردة للماء.

عندما يتم خلط الإلكتروليتات القوية ذات الكتلة المولية المتشابهة معًا، هناك نموذجان يصفا الهيكل النهائي للتجمعات الإلكتروليتات: الهيكل الذي يشبه السلم ونموذج البيض المخفوق (الشكل 16). ويحتوي الهيكل الذي يشبه السلم على روابط متشابكة أيونية ثابتة يحدث فيها التكوين المعقد عبر التكيف التوافقي. ويتم تشكيله عن طريق خلط اثنين من تجمعات الإلكتروليتات مع مجموعات وظيفية ضعيفة، والاختلافات الكبيرة في الكتلة الجزيئية التي ينتشر فيها التفاعل المعقد في آلية "الضغط" مع عدم كفاية الاقتران الأيوني. يحدث نموذج البيض المخفوق عندما يتم خلط الإلكتروليتات القوية مع الكتلة المولية المماثلة. وسوف ينتج عن القياس المتكافئ 1: 1 تجمعات غير قابلة للذوبان وعالية التجميع. ومع ذلك، عندما يتم ضبط قياس العناصر المتكافئة، يتم تثبيت تجمعات البولي إلكتروليت المتعددة الغروية ذات النواة المحاطة بالإلكتروليتات الملزمة الزائدة. ونظرًا لاستقراره، يوفر هذا النموذج نظام البولي إلكتروليت بحجم النانو في العديد من التطبيقات المحتملة.

الشكل 16: رسم تخطيطي للنموذج الهيكي للتجمعات البولي إلكتروليت: (أ) وضع يشبه السلم حيث يكون الاقتران الأيوني غير كافٍ بسبب انتشار التفاعل المعقد كإجراء مضبوط، و(ب) نموذج البيض المخفوق نتيجة لتوسيعة البولي إلكتروليت مع مجموعات وظيفية أيونية قوية وكتلة جزيئية مماثلة (24).



يمكن الحصول على العديد من أنواع تجمعات البولي إلكتروليت ذات الخصائص المختلفة عن طريق تغيير الخصائص الكيميائية للتجمعات الإلكتروليتات الكوليانيات أو للتجمعات الإلكتروليتات البوليمرات مثل الوزن الجزيئي (25)، ومرنة سلسلة بوليمر (26)، وبنية المجموعة الوظيفية (27)، وكثافة الشحنة (28)، وتوازن القوى الجاذبة والطاردة للماء (29)، والتجسيمية والتوافق (30). علاوة على ذلك، يمكن للباحثين معالجة خصائص تجمعات البولي إلكتروليت من حيث حجم الجسيمات، وشحنة السطح، وكفاءة التغليف، عن طريق تغيير ظروف التفاعل المعقدة، مثل الرقم الهيدروجيني (31)، والقوة الأيونية (32)، تركيز المحاليل (33)، نسب الخلط بين المحاليل (34)، وترتيب إضافة الإلكتروليتات الكوليانيات مع الإلكتروليتات البوليمرات (35).

المبحث الرابع: تجمعات البولي إلكتروليت متعددة الطبقات

أولاً: النشأة والاكتشافات

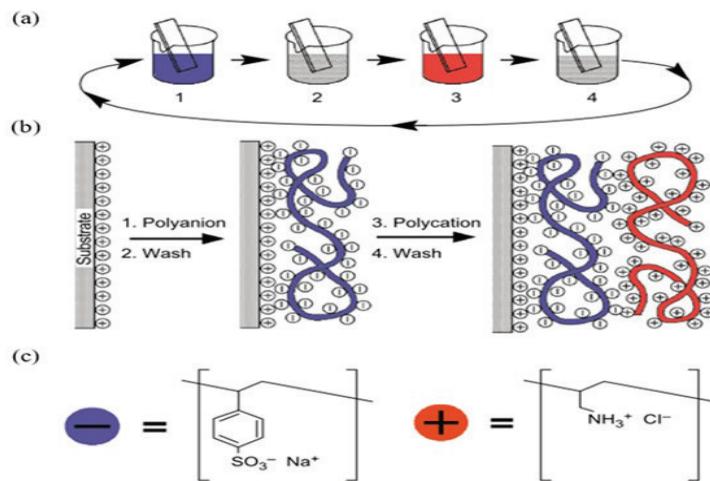
البولي إلكتروليت متعددة الطبقات (PEMs) عبارة عن أغشية رفيعة متعددة الطبقات يتم إعدادها على أسطح مستوية (مسطحة) أو غير مستوية (غروية)، مثل الجسيمات النانوية. وتسمح طريقة التجميع الذاتي للترسيب من طبقة إلى طبقة (LBL) بتشكيل الجسيمات النانوية متعددة الطبقات من خلال الإضافة المتسلسلة للكوليانيات والبوليمرات. وتم تقديم طريقة الترسيب من طبقة إلى طبقة لأول مرة بواسطة العالم الكندي رالف إيلر (36) في منتصف السبعينيات لتصنيع طبقات متعددة عن طريق ترسيب الجسيمات الغروية الموجبة والسلبية باستخدام آلية الترسيب من طبقة إلى طبقة، أي الترسيب البديل للسيليكا الغروية والألومنيا على الأسطح الزجاجية. وأصبحت شائعة جدًا منذ إعادة اكتشافها في منتصف السبعينيات بواسطة العالم الألماني جيرو ديشر (37) والذي يعد الرائد في تجميع الترسيب من طبقة إلى طبقة للبولي إلكتروليت متعددة الطبقات من خلال امتصاص الأيونات ثنائية القطب والكوليانيات ثنائية القطب على الأسطح المستوية المشحونة، أي امتصاص طبقات من سلفونات البوليسترين (PSS) وهيدروكلوريد البولي إيثيلين

(PAH) على رقائق السيليكون. ويعتقد الباحثون أنها طريقة بسيطة ومتعددة الاستخدامات في تحضير الجسيمات النانوية متعددة الطبقات ذات الأحجام والأشكال المختلفة، بالإضافة إلى أنها توفر ثباتاً إضافياً على الجسيمات أحادية الطبقة وقدرة أعلى على دمج الأنواع الجزئية الكبيرة، مثل البروتينات (38)، والحمض النووي (39)، والأصباغ العضوية (40). واستخدم العلماء والباحثون أنظمة البولي إلكتروليت متعددة الطبقات في مجموعة متنوعة من السياقات نظرًا لبساطتها في الاستخدام، خاصة في مجالات توصيل الجينات والأدوية (41, 24)، والمستشعرات الضوئية (42)، والحماية من التآكل (43). وعلى الرغم من أنه يمكن استخدام تقنيات لانغمومير وبلودجيت (LB) Langmuir-Blodgett (LB) والامتصاص الكيميائي لتشكيل أغشية متعددة الطبقات، وتقتصر هذه الطرق إلى التحكم في تكوين الطبقة وسمكها، مما يحد من تطبيقها على أنواع معينة من المواد (44).

ثانياً: مبادئ البولي إلكتروليت متعدد الطبقات

تعتمد المبادئ الأساسية في اكتشافات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات على آلية تكرار ترسيب التسلسل لمركبين من البولي إلكتروليت المشحونة عكسيًا، والذي أدى في البداية إلى تطوير البولي إلكتروليت متعدد الطبقات. ويوضح الشكل 17 تخطيطياً عملية تجميع LbL، حيث يمكن للمرء إجراء تقنية تجميل الترسيب من طبقة إلى طبقة باستخدام آلية غمس بسيطة. ويتم غمر ركيزة ذات سطح مستوي موجب الشحنة في محلول أيوني سالب (polyanions)، حيث تتصل الأيونات السالبة بسطح الركيزة المغمور عبر قوى جذب إلكتروستاتيكية قوية. وبعدقضاء بعض الوقت في تراكم طبقة الامتصاص، تحفظ الطبقة الخارجية بشحنة سطحية سالبة بسبب الأيونات الزائدة. ثم يتم رفع الركيزة من محلول الماء النقي وغسله بالماء النقي للتخلص من بعض الأيونات الزائدة في الطبقة الخارجية. ويتم بعد ذلك غمر الركيزة مع الطبقة الممتصلة في محلول أيوني موجب الشحنة (polycations). وبين إمتصاص الأيونات الموجبة على الطبقة الخارجية سالبة الشحنة بسبب قوى الجذب القوية. وتنعكس الأيونات الزائدة على الشحنة السطحية للطبقة الخارجية الرقيقة. ومرة أخرى، بعد خطوة غسيل أخرى، تكون الطبقة الخارجية مشحونة بشكل إيجابي وجاهزة لدور الغمس التالية. ويمكن تكرار عملية الغمس والطلاء والغسيل بأكملها عدة مرات حسب الحاجة. والإلكتروليتات التي تستخدم بشكل شائع في مجموعة الترسيب من طبقة إلى طبقة تتراوح من مركبات البولي إلكتروليتات القوية ، مثل البوليسترين سلفونات الصوديوم(PSS)، وكلوريد بولي دياليل أمين(PDADMAC)، وبولي فينيل سلفونات (PVS)؛ إلى مركبات البولي إلكتروليتات الضعيفة مثل حمض البولي أكريليك (PAA) ، وبولي إيثيلين أمين (PEI) ، وهيدروكلوريد متعدد الأalamين (PAH) (45). ونظرًا للتقدم السريع في تقنيات تجميل الترسيب من طبقة إلى طبقة، فقد تم توسيعها ليشمل أنواعًا غير مسبوقة من المواد من أي حجم من الجزيئات، بما في ذلك الحمض النووي، والألياف، والمعادن الطينية، وجزيئات اللاتكس أو جسيمات نانوية أو خلية حية؛ بالتزامن مع مجموعة متنوعة من أسطح الركيزة من أي حجم وأي شكل ومواد مختلفة مثل الأسطح المسطحة والرقائق والألياف والغربيات والجسيمات النانوية.

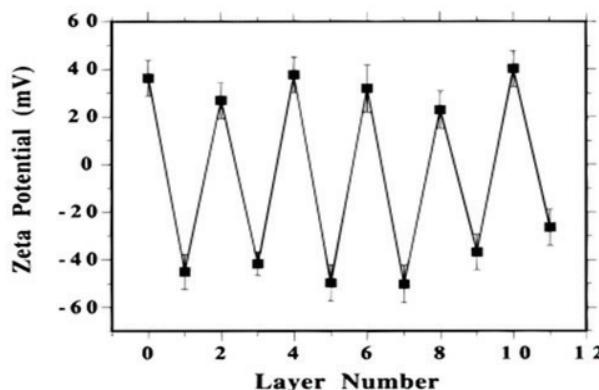
الشكل 17: رسم تخطيطي لتجمیل الترسیب من طبقة إلى طبقة لطبقات البولي إلکتروليت على سطح مستو مشحون: (أ) تقنية ترسیب الغمس؛ (ب) صورة مبسطة لأول طبقتين امتصاص تكون من البالیونات والبوليکات؛ (ج) التركیبات الكیمیائیة لسلفونات البولیستیرین (PSS) وهیدرولکلورید متعدد الالامین (PAH)، وهما بولي إلکتروليت نموذجي يستخدم في تجمیل الترسیب من طبقة إلى طبقة (44).



ثالثاً: آلية تجميع البولي إلكتروليت متعدد الطبقات

إن العملية الكيميائية التي تمكن من تجميع الترسيب من طبقة إلى طبقة هي في الأساس تفاعل إلكتروستاتيكي بين مقاطع البولي إلكتروليت المعاكسة الشحنة. وأثناء خطوات الترسيب من طبقة إلى طبقة، لا يشكل امتصاص البوليكات على الطبقة الخارجية للأغشية مع الباليونات، أو العكس، مقياساً متكافئاً 1:1. وبدلاً من ذلك، يتم تعويض الشحنة الموجودة على طبقة البولي إلكتروليت بشكل مفرط عن طريق الأيونات المضادة الزائدة من الطبقة التالية من البولي إلكتروليت عكسي الشحنة. ويرجع انعكاس شحنة السطح على الطبقة الخارجية للأغشية إلى تعويض الشحن الزائد. ويُظهر في الشكل 18 التغييرات في جهد زيتا بعد الإضافة الدورية لطبقة البولي إلكتروليت أثناء تجميع الترسيب من طبقة إلى طبقة لمركبات البوليسترين سلفونات الصوديوم مع هيدروكلوريد متعدد الألامين. وتلاحظ العديد من دراسات الترسيب من طبقة إلى طبقة تعويض الشحن الزائد أثناء تجميع الترسيب من طبقة إلى طبقة بعد كل خطوة تجميع (43-49).

الشكل 18: انعكاس جهد زيتا أثناء خطوات تجميع الترسيب من طبقة إلى طبقة الدورية كدالة لرقم طبقة البولي إلكتروليت المتعدد لمركبات البوليسترين سلفونات الصوديوم مع هيدروكلوريد متعدد الألامين (49).



وبإضافة إلى التفاعلات الكهروستاتيكية، تساهم الرابطة الهيدروجينية كطريقة أخرى بالإضافة إلى التفاعلات الكهروستاتيكية في تصنيع البولي إلكتروليت متعددة الطبقات. حيث يبدأ التجميع المرتبط بالهيدروجين بالترسيب من طبقة في المحاليل القطبية المائية. وهي تتضمن عدداً من دورات الترسيب بين البولي إلكتروليت الضعيف، مثل حمض متعدد الكربوكسيل، وبوليمير متوازن الشحنة الكهربائية أو غير أيوني (50). ومع ذلك، يتم تنفيذ خطوة الترسيب أولاً عند درجة الأنس الهيدروجيني الحمضي حيث يتكون البولي الحامض تماماً ويعمل كمانح لرابطة الهيدروجين. على سبيل المثال، يتم تكوين التجميع الذاتي لحمض بوليميثاكريليك (PMA) مع بولي فينيل بيرولييدو (PV Pon) عن طريق الرابطة الهيدروجينية. وعند مستوى الأنس الهيدروجيني الحمضي، يتم تكوين المجموعات الكربوكسيلية الموجودة في حمض بوليميثاكريليك وتعمل كمانح لرابط الهيدروجين، بينما تعمل مجموعات الأميد الموجودة في البولي فينيل بيرولييدو كمستقبل لرابطة الهيدروجين. ومقارنة بالتفاعلات الكهروستاتيكية المتكونة في أنواع أخرى من تجميع الترسيب من طبقة إلى طبقة، تصبح الروابط الهيدروجينية المتكونة بين البوليميرات أكثر حساسية لبيئة الأنس الهيدروجيني. على سبيل المثال، يمكن إجراء تفكيك رابطة الهيدروجين عند درجة حرارة حموضة حرجية حيث يتم نزع مجموعات الكربوكسيل من حمض بوليميثاكريليك، ويتم طرد الطبقات اللاحقة من حمض بوليميثاكريليك مما يؤدي إلى تفكيك الغشاء الغروي. وتعد آلية مستوى الأنس الهيدروجيني الحمضي واستخدام المذيبات المائية مثل المياه من الطرق التي اجتذبت اهتماماً كبيراً في العقود الأخيرة نظراً لارتباطها في صناعة الأدوية والتدخلات البيولوجية الأخرى (51).

وغالباً ما تسمى الطرق المذكورة أعلاه بالطرق التقليدية للترسيب من طبقة إلى طبقة وهي تشتمل الطرق التقليدية الأخرى مثل الروابط التساهمية (52)، وتفاعلات الأحماض والقلويات الأساسية (53)، وتفاعلات نقل الشحنة (54). وفي المقابل، توفر طرق الترسيب من طبقة إلى طبقة الغير التقليدية تصنيع طبقات متعددة لا يمكن تجميعها باستخدام الطرق التقليدية. وغالباً ما تتضمن هذه الطرق تكوين هيكل فوق جزيئية ذاتية التجميع، والتي يمكن استخدامها لاحقاً كركيزة لبناء تجميع الترسيب من طبقة إلى طبقة.

وبعض الأمثلة على الطرق غير التقليدية تشمل تجميغات التضمين الداخلي (55)، والتعديل غير تساهمي للمجموعات (56)، والتنسيق في روابط البولي إلكترووليت (57)، والتجميغ الإلكتروني (58)، ومذيلات البوليمر المشتركة (59).

رابعاً: إعداد وتصنيف البولي إلكترووليت متعددة الطبقات

يسهم التجميغ الذاتي للترسيب من طبقة إلى طبقة بترسيب البولي إلكترووليت متعددة الطبقات على المعلقات الغروية عن طريق التفاعلات الكهروستاتيكية بين اثنين من البولي إلكترووليت المعاكس الشحنة. إن انعكاس جهد زيتا على الطبقة الخارجية في كل خطوة ترسيب دوري يرجع إلى تعويض الشحن الزائد. وتؤدي التفاعلات المتداخلة بين سلاسل البولي إلكترووليت والمعلقات الغروية إلى استقرار كهربائي، كما هو الحال في الأسطح المستوية (19). ومع ذلك، فإن التحدى الرئيسي في ترسيب البولي إلكترووليت متعددة الطبقات في المعلقات الغروية، هو فصل الطبقات الزائدة من البوليونات على سطح الجسيمات، والبوليونات المتبقية غير الممتصلة في محلول السائب. وعلى الرغم من هذا التحدى، يمكن إجراء الترسيب من طبقة إلى طبقة في المعلقات الغروية بطريقتين: (1) الطرد المركزي والتشتت، و (2) الطرق المتسلسلة.

ويمكن طريقة الطرد المركزي والتشتت على إزالة البولي إلكترووليت الزائد غير الممتص قبل إضافة البولي إلكترووليت معاكس الشحنة في الطبقة التالية. كما يمكن تكرار استخدام أجهزة الطرد المركزي وعمليات الغسيل بالماء النقى لإزالة البوليونات الزائدة ومن ثم إعادة تعليق الجسيمات المتراكمة في محلول. ويمكن أيضًا إزالة البوليونات الزائدة عن طريق إعداد الترشيح لفصل البوليونات الزائدة عن الجسيمات الغروية. ومع ذلك، يمكن أن تصبح هذه الأساليب صعبة للغاية، لا سيما عند التعامل مع إعادة تعليق الجسيمات المتراكمة بقوة حيث يمكن أن تؤدي المعالجة الصوتية إلى إتلاف سطح الجسيمات. علاوة على ذلك، يمكن أن تتسبب السرعات العالية لأجهزة الطرد المركزي في إتلاف إعادة التعليق اللاحق للتجمعات أثناء خطوات الترسيب الدورى، ويمكن أن تستغرق عملية إعادة التعليق المتكررة بالطرد المركزي والغسيل والوقت إلى حد ما وقتاً طويلاً، خاصةً مع معلقات الجسيمات صغيرة الحجم نسبياً (<100 نانومتر) (60).

في المقابل، تتضمن طرق الامتصاص المتسلسلة إضافة بولي إلكترووليت في كل دورة ترسيب. وتم إضافة كمية كبيرة من البولي إلكترووليت لتشكيل طبقة أحادية مشبعة (48)؛ أو عند تركيز زائد من البولي إلكترووليت فيحدث الامتزاز الدورى (61, 49, 47)، وهذه الطريقة بسيطة و مباشرة، وتسمح بتصنيع البولي إلكترووليت متعددة الطبقات في فترة قصيرة من الوقت، عند المستوى الأمثل لتركيزات البولي إلكترووليت خلال كل دورة ترسيب. علاوة على ذلك، وبالمقارنة مع طريقة الطرد المركزي والتشتت حيث لا توجد خسارة في كمية البولي إلكترووليت سواء في الطبقات الممتزة أو في محلول السائب (البوليونات الحرة). ومع ذلك، نظراً لوجود البوليونات الزائدة في محلول الكتلي، فإن احتمالية تكون تجمعات البولي إلكترووليت تصبح مرتفعة جداً مما يؤدى صعوبة الحصول على بولي إلكترووليت متعدد الطبقات في حالة مستقرة. حيث يمكن تخفيف تركيز تجمعات البولي إلكترووليت بالماء النقى للتغلب على هذه المشكلة.

خامساً: التجميغ الذاتي للترسيب من طبقة إلى طبقة للغرويات الأساسية

ولقد أتاح التوسيع في التجميغ الذاتي للترسيب من طبقة إلى طبقة وتطبيقه خلال العقد الماضي بتكوين الجسيمات النانوية ذات القشرة الأساسية وتغليف أنواع مختلفة من المركبات. على سبيل المثال، وجد كيلر وآخرون (62) خلال منتصف التسعينيات أنه يمكن إنشاء مركب متعدد الطبقات من الأغشية الرقيقة عن طريق تبديل تربس صفائح فوسفات الزركونيوم المتقرفة، وبوليمرات الأكسدة والاختزال المشحونة على السيليكا المعدلة. وبعد عدة سنوات، أبلغ تشين (63) عن تكوين الجسيمات النانوية ذات الطبقة الأساسية من خلال الترسيب المتسلسل لجزيئات الألومنيا بحجم النانو، مع حمض البولي أكريليك (PAA) الذي يعمل كبوليمر تجسيير على جزيئات الألومنيا شبه الميكرومتيرية. كما بحث بوميرشام وآخرون (64) تغليف الإنزيمات، مثل الفوسفاتيز الحمضي، عن طريق الترسيب بالتناوب - حتى أربع طبقات - من بولي إيثيلين أمين مع حمض البولي أكريليك على كبسولات دقيقة تعتمد على الألجينات.

كما يمكن أيضاً أن تشمل تطبيقات البولي إلكترووليت متعددة الطبقات لتغليف الغرويات الحيوية، مثل الإنزيمات حيث يتم تغليف بلورات الإنزيم المكونة من تجمعات البروتين بطبقات متعددة كثيفة على أسطحها. فعلى سبيل المثال، قدم كاروسو وآخرون (65)

طريقة جديدة لتغليف بلورات إنزيم الكاتلаз عن طريق الامتزاز المتسلسل لمركبات البوليسترين سلفونات الصوديوم مع هيدروكلوريد متعدد الألامين. وأظهرت بلورات إنزيم الكاتلاز شحنة سطحية موجبة عند تأينها في الماء عند الرقم الهيدروجيني 5 (جهد زيتا = 20+) ملي فولت، نقطة تساوي الشحنة لإنزيم الكاتلاز عند الاس 5.8). وتم الحصول على البولي إلكتروليت متعددة الطبقات عن طريق الامتصاص المتسلسل لهيدروكلوريد متعدد الألامين ومركبات البوليسترين سلفونات الصوديوم على سطح البلورة. وتم تجميع البولي إلكتروليت متعددة الطبقات لأول مرة من خلال التفاعلات الكهروستاتيكية بعد إضافة مركبات البوليسترين سلفونات الصوديوم سالبة الشحنة على سطح الكاتلاز المشحون إيجابياً. لقد أظهر انعكاس جهد زيتا في كل دورة ترسيب لهيدروكلوريد متعدد الألامين ومركبات البوليسترين سلفونات الصوديوم على تراكم البولي إلكتروليت متعددة الطبقات. وتم تغليف بلورات إنزيم الكاتلاز بأربع طبقات من هيدروكلوريد متعدد الألامين مع مركبات البوليسترين سلفونات الصوديوم. كما تم التحقق من تغليف بلورات إنزيم الكاتلاز عن طريق قياس نشاط الإنزيم المنطلق (أي التحلل التحفيزي لبوروكسيد الهيدروجين في الماء والأكسجين) بسبب التفكك الجرئي للطبقات في بيئة قلوية. وجدوا بأن تحمل تركيزات عالية من الإنزيم في البولي إلكتروليت متعددة الطبقات يساهم في الحفاظ على نشاط إنزيم الكاتلاز المغلق. وبمعنى آخر، لم يكن هناك فقدان لنشاط الإنزيم أثناء تجميع الترسيب متعددة الطبقات. وهذا يكشف كيف يعمل البولي إلكتروليت متعددة الطبقات كدرع واقي لإنزيم الكاتلاز المغلق من الظروف المحيطة القاسية؛ ولم يتم قياس أي خسارة في نشاط الإنزيم بعد التعرض للبروتياز، مقابل الخسارة التي تزيد عن 90% لبلورات إنزيم الكاتلاز "الحر" (الغير محتجز) في المحلول.

وفي دراسات أخرى ذات صلة، قام الباحثون بتغليف جزيئات غير متبلورة تتكون من مجاميع بروتينية باستخدام البولي إلكتروليت متعددة الطبقات. وتم تغليف مجاميع البروتين مثل الالاكتات ديهيدروجينز (66)، وكيموتربسين (67) بالترسيب من طبقة إلى طبقة إلى ما دون ثلاث طبقات متعددة إلكتروليت من هيدروكلوريد متعدد الألامين مع مركبات البوليسترين سلفونات الصوديوم. وبالمثل، عملت الطبقات المتعددة من البولي إلكتروليت كجدران واقية من المواد المهيضة الضارة على الإنزيمات، بحيث تم الحصول على أكثر من 70% من نشاط الإنزيم المغلق بعد التعرض لمثبتات M_w العالية.

سادساً: الترسيب من طبقة إلى طبقة قائمة بذاتها باستخدام تجمعات البولي إلكتروليت كوحدات بناء

جذبت الجسيمات النانوية متعددة الطبقات القائمة بذاتها والتي تم تجميعها بواسطة طريقة الترسيب من طبقة إلى طبقة الكثير من الاهتمام مؤخراً بسبب أغشيتها الرقيقة متعددة الطبقات، والتي لها تطبيقات واعدة في العديد من المجالات، على سبيل المثال، فصل الغاز، وأجهزة الاستشعار، والأجهزة الميكانيكية الدقيقة، والحفز المتقدم (68). كما تُظهر الجسيمات النانوية متعددة الطبقات القائمة بذاتها بخصائص ميكانيكية محسنة واستقراراً طوily الأمد بالنسبة للطبقات التقليدية (69-71). ويتضمن إنشاء مثل هذه الأغشية تحضير جسيمات نانوية قائمة بذاتها متعددة الطبقات باستخدام تقنيات الترسيب من طبقة إلى طبقة بدون ركيزة صلبة. وتم سابقاً توضيح عدة طرق لتشكيل جسيمات نانوية متعددة الطبقات قائمة بذاتها من الترسيب من طبقة إلى طبقة، بما في ذلك استخدام ركائز حساسة للأس الهيدروجيني (72)، وعمليات الصب (73)، واستخدام أغشية لانجموير (74)، واستخدام ركائز تقريرية (68). ومع ذلك، تتطلب هذه الطرق عمليات متعددة الخطوات من التكوين والترسيب والربط المتشابك، ولها نطاق زمني طوily (من ساعات إلى أيام).

كما تم تطوير طريقة قوية لتصنيع جسيمات نانوية متعددة الطبقات من الترسيب من طبقة إلى طبقة قائمة بذاتها من دون استخدام ركيزة صلبة وذلك بواسطة تشاو وآخرون (76)، والتي تتضمن استخدام جزيئات مركب البولي إلكتروليت (PEC) كوحدات بناء الترسيب المتعدد الطبقات. كما تسمح هذه الطريقة بتكوين أغشية متعددة الطبقات قائمة بذاتها في أوقات قصيرة جداً (على سبيل المثال في غضون دقائق)، عبر الامتصاص المتسلسل لاثنين من مركب البولي إلكتروليت مشحونة بشكل معاكس. وتتضمن أيضاً طريقة الترسيب الجديدة إعداد الجسيمات النانوية القابلة للذوبان باستخدام نسب التركيز الغير متكافئ أثناء عملية الخلط بين مركبات البولي إلكتروليت، وتحت تركيز منخفض من إلكتروليت. على سبيل المثال، أوضح تشاو وآخرون (76) أن جسيمات نانوية موجبة الشحنة تم تحضيرها بخلط غير متكافئ بين بولي (بولي كلوريدي ديالي ميثيل الأمونيوم) (PDPA) والبوليسترين سلفونات الصوديوم (PSS)، تحت معدل تقليل 600 دورة في الدقيقة. وبالمثل، تم تشكيل الجسيمات النانوية سالبة الشحنة من البولي إلكتروليت عن طريق إضافة بولي كلوريدي ديالي ميثيل الأمونيوم إلى سليلوز كربوبي ميثيلي الصوديوم (CMC). وتم غسل روابط البولي إلكتروليت سالبة الشحنة وتجفيفها وإعادة إذابتها في هيدروكسيد الصوديوم. وتم تحميل جسيمات البولي إلكتروليت السلبية بأتايب نانوية

كربونية متعددة الجدران (MWCNTs) لدراسة تغليف مواد الحشو داخل الأنابيب النانوية. وأوضحت أن كلًا من التكتوكيات النانوية الموجبة والسلالبة قد حافظت على استقرار الهيكل الغرواني للتكتوكي لمدة شهر. وتم وصف تصنيع طبقات الترسيب القائمة بذاتها عن طريق غمس الركيزة الصلبة بالتناوب في بولي كلوريد ديالي ميثيل الأمونيوم / البوليسترين سلفونات الصوديوم والمحاليل المشحونة عكسياً حتى يتم تحقيق العدد المطلوب من الطبقات؛ وتمت إزالة أغشية الترسيب متعددة الطبقات الناتج من الركيزة وتتجفيفه بالهواء، كما قاموا أيضًا بالبحث في الأشكال السطحية وسلوك النمو لطبقات الترسيب المتعددة والقائمة على البولي إلکتروليت كدالة لعدد الطبقات باستخدام توازن الكوارتز الكريستال المجهرى (QCM)، وأجهزة قياس النفاذية البصرية، وامتصاص الأشعة فوق البنفسجية، ومجهر القوة الذرية (AFM). وخلصوا إلى أن معدل النمو، والاستقرار الميكانيكي، وتغليف مواد الحشو النانوية قد تحسن بشكل كبير باستخدام الترسيب القائم على البولي إلکتروليت.

الفصل الثالث

أهداف البحث؛ نماذج الدراسة العملية وأساليب الإجراءات التجريبية

تمهيد

يتطرق هذا الفصل إلى المواد والإجراءات التجريبية المستخدمة للوصول إلى أهداف الدراسة. ويقدم المبحث الأول المواد المستخدمة لبناء الجسيمات النانوية وسوائل التكسير المستخدمة في التجارب العلمية. كما يقدم المبحث الثاني المعدات المستخدمة في هذه الدراسة والإجراءات المتتبعة في عمل قياسات الخصائص العلمية للمواد النانوية وذلك إستناداً إلى استراتيجية قائمة على النظريات المفسرة لخصائص الجسيمات النانوية وسوائل التكسير.

المبحث الأول: أهداف ونطاقات البحث

تحتوي هذه الدراسة على مناقشة نهج جديد لتحسين عملية تنظيف الكسور باستخدام طبقات متعددة مجمعة بذاتها من البولي إلكتروليت كتقنية للإطلاق المستهدف والتحكم في قواطع الإنزيم. ومن المفترض أن توفر مركبات البولي إلكتروليت إطلاقاً محكماً فائقاً لقواطع التكسير، وبنفس الوقت، قدرة تحمل عالية. والهدف العام من هذه الدراسة هو تطوير جسيمات بحجم النانو متعددة الطبقات محمّلة بقواطع الإنزيم القادرة على العمل داخل سوائل التكسير أثناء تسرب السوائل إلى التكوينات الصخرية، وأنشاء تكون كعكة الترشيح، وكذلك داخل الكسر الهيدروليكي.

ويتم فحص تطوير الجسيمات النانوية متعددة الطبقات القائمة بذاتها مع إستراتيجية قائمة على الترسيب من طبقة إلى طبقة باستخدام مركبات البولي إلكتروليت كلينات أساسية. ويلي ذلك رسم توضيحي للإنحباس وإطلاق الإنزيمات من الجسيمات النانوية متعددة الطبقات. ويتم تجميع الجسيمات النانوية متعددة الطبقات عن طريق الامتصاص الكهروستاتيكي البديل للباليونات (كيريات ديكستران) البوليكتريات (بولي إيثيلين أمين)، على كتلة بناء البولي إلكتروليت. ويتم إدخال قواطع الإنزيم في لبنة بناء مركبات البولي إلكتروليت قبل عمليات تجميع البولي إلكتروليت متعددة الطبقات. ويوفر هيكل البولي إلكتروليت متعددة الطبقات النهائي سعة تحمل عالية وكفاءة تغليف فائقة وتحكمًا شديداً في تركيز الإنزيم. ويتم استخدام المجهر الإلكتروني النافذ (TEM) لتوصيف تجميع البولي إلكتروليت متعددة الطبقات؛ كما يتم نشر مقاييس الزوجة الإنزيمية لتحديد نسبة المحتوى الإنزيم المغلف (EEA%).

كما تستخدم اختبارات موصلية الكسر على المدى الطويل عند درجة حرارة 40 مئوية وتحت ضغط الإغلاق 1000، 2000، و4000 رطل لكل بوصة-مربعة لتقدير خصائص أداء أنظمة مائع التكسير، وإمكاناتها لتحسين موصلية الكسر. بالإضافة إلى ذلك، تُستخدم اختبارات الترشيج الخلوي لفقدان السوائل الساكنة تحت ضغط تقاضي قدره 500 رطل لكل بوصة مربعة وعند 40 درجة مئوية لتحليل كفاءة تحكم جسيمات البولي إلكتروليت متعددة الطبقات على درجة تسرب سائل التكسير.

كما ستضيف نتائج هذه الدراسة إلى مجموعة المعرفة حول تقنية مائع التكسير الذاتي التي يمكن أن توزع بشكل موحد داخل سوائل التكسير أثناء تسرب السوائل إلى التكوينات الصخرية، وأنشاء تكوين كعكة الترشيج، وداخل منطقة الكسر الهيدروليكي الناتج.

المبحث الثاني: المواد والإجراءات التجريبية

أولاً: المواد

البوليكتريات (بولي إيثيلين متفرع مع وزن جزيئي = 25 كيلو دالتون من شركة سيجما، رقم التسجيل في دائرة المستخلصات الكيميائية 98-9002، دفعـة رقم 408727 ، رقم القطعة MKBL7852V) والباليونات (ملح الصوديوم ديكستران مع وزن جزيئي = 500 كيلو دالتون من فيشر العلمية، رقم التسجيل في دائرة المستخلصات الكيميائية 18-1-9011 ، رقم القطعة 116614) تم الحصول عليها

من شركة فيشر العلمية (بيتسبرغ). وتم استخدام محلول البكتيناز من فطر الرشاشيات (سيجما الدريتش ، سانت لويس ، كتالوج رقم P2611-250mL، دفعه رقم 079K1479) طبقيات 25 درجة مئوية. وكان نشاط محلول الماء لإنزيم البكتيناز هو 26000 وحدة / مل، وكان مستوى الأُس الهيدروجيني الأمثل ونطاق درجة الحرارة بين 4-7 و 50-30 درجة مئوية. وبالتالي تم تمديد استخدام إنزيم البكتيناز لتطبيقات 40 درجة مئوية. وقبل الاستخدام، تم خلط 3 مل من محلول إنزيم البكتيناز مع 9 مل من محلول الفوسفات في درجة حرارة سعة 20 مل. وتم تنقية محلول الناتج باستخدام 2 لتر من محلول فوسفات 0.1 مolar عند درجة الحرارة 7 درجة مئوية لمدة 9 ساعات. ثم تمت إزالة محلول إنزيم البكتيناز 25٪ من محلول الغسيل وتخزينه في قنينة سعة 20 مل عند 4 درجات مئوية لمدة 9 ساعات. تم استخدام مزيج صمغ هيدروكسي بروبيل (Jaguar® 415)، لجميع التجارب في هذه الدراسة. تم استخدام الصوديوم بورات ديكاهيدراتي (شركة جي في بيكر كيميكل، رقم الدفعه 214346) تم استخدامه كوصلة تشاكية مع بوليمر متفرع. ويتم إنتاج أيونات البورات عندما تذوب أملاح مركب البورات في الماء. وتم استخدام ACS المعتمد من ثيوسلفات الصوديوم بيتشاهيدراتي (STS) (فيشر. العلمية، بيتسبرغ، القطعة رقم 076679) كمثبت لسوائل البوليمر القائمة على الغوار. وهو كاسح للأكسجين ويتفاعل مع الأكسجين لإنتاج كبريتات الصوديوم والكربونات. وتم استخدام هيدروكسيد الصوديوم (1 م و 0.1 م) وحمض الهيدروكلوريك (4 ن أو 1 ن) لتعديلات الأُس الهيدروجيني. وتم الحصول على كلاً المحلولين من فيشر العلمية، بيتسبرغ).

ثانياً: تحضير الجسيمات النانوية المحملة بالإإنزيم

تم تحضير الجسيمات النانوية المعقدة متعددة الإلكتروليت باستخدام بروتوكول معياري مع نسبة تركيز مثلثي من البولي إيثيلين أمين (PEI) إلى كبريتات ديكستران (DS)، كما تمت مناقشته سابقاً (78). وتم إعداد دفعه من نظام البولي إيثيلين أمين مع إنزيم البكتيناز بمعدل 2: 0.1: 1 باتباع إجراءات البروتوكول الموحدة، حيث تمت إضافة 0.1 مل من إنزيم البكتيناز بالتنقيط إلى 1 مل من البولي إيثيلين أمين. وتم تقليل محلول عند 600 دوره في الدقيقة لمدة 20 دقيقة. بعد ذلك، تمت إضافة 1 مل من كبريتات ديكستران سريعاً يدوياً باستخدام محقنة مزودة ببكرة قياس 20، وتم التقليل المستمر عند 600 دوره في الدقيقة. وتم التوصل إلى أن الجسيمات النانوية قد تشكلت عندما تغير اللون من محلول شفاف عديم اللون إلى محلول شفاف عكر. وبعد 20 دقيقة، تم تقليل سرعة التحريك إلى 200 دوره في الدقيقة وأخذت قياسات حجم الجسيمات وشحنات السطح لدراسة ثبات الجسيمات النانوية. وفي تجمعات البولي إلكتروليت الخاضعة لللحاظة، تمت إضافة مياه التناضح العكسي بدلاً من إنزيم البكتيناز للحفاظ على النسبة الحجمية لـ البولي إيثيلين أمين / كبريتات ديكستران. ويبين في الجدول 1 ملخص نسبة البولي إلكتروليت في النظمة المستخدمة في هذه الدراسة.

الجدول 1: محلول مركب البولي إلكتروليت حيث نسبة الكتلة 1.0-وزن% بالوزن من كبريتات ديكستران إلى 1.0-وزن% من البولي إيثيلين أمين 1: 2 مع الوزن الجزيئي لـ البولي إيثيلين أمين البالغ 25000 Dalton.

النظام	(مل)	البولي إيثيلين أمين (مل)	كبريتات ديكستران (مل)	% بالوزن من البكتيناز (مل)	مترizوم الأيونات (مل)	الماء
NPsPec	2	1	0.1	0.25	----	
NPsPec50%	2	1	0.05	0.025	0.05	

ثالثاً: قياس حجم الجسيمات النانوية وجهد زيتا

يتم تحديد متوسط حجم الجسيمات، ومؤشر التشتت المتعدد، ومتوسط معدل العد من خلال تجارب تشتت الضوء الديناميكي باستخدام محلل جهد زيتا (Brookhaven ZetaPALS). وتم تخفيف كمية صغيرة (0.1 مل) من البولي إلكتروليت باستخدام 3.9 مل من الماء منزوع الأيونات، وتم إجراء ثلاث قياسات متتالية لمدة دقيقة واحدة عن طريق اكتشاف تشتت الضوء بزاوية 90 درجة خلال فترة ثلاثة دقائق. وتم تحديد متوسط قطر الفعال والتشتت المتعدد بواسطة طريقة التراكمات من معادلة الانتشار لـ لينشتاين-ستوكس. وتمت طباعة النتائج في شكل ملف نصي لتحليل البيانات ودراسة متوسط التباين الفعال في القطر مع مرور الوقت.

وباستخدام نفس الأداة، تم تحليل جهد زيتا وشحنة السطح بالطور (بالراديان) لتشتت الضوء. وتم قياس العينات ثلاثة مرات باستخدام 0.1 مل من معلقات الجسيمات النانوية و 2.4 ملي مولار كلوريد البوتاسيوم. وتم حساب جهد زيتا الموجود في استخدام تقرير سمولوتشوفسكي الوارد في المعادلين (3) و (4).

رابعاً: فصل الجسيمات النانوية والمادة الطافية

يتم فرز معلق الجسيمات النانوية (1.5 مل) باستخدام جهاز الطرد المركزي الصغير (Fisher inc)، عند 14000 لمرة 90 دقيقة، عند 4 درجات مئوية لفصل الإنزيمات الحرة (طاافية) من الإنزيمات المحاصرة داخل تجمعات البولي إلكتروليت.

خامساً: تحديد نشاط الإنزيم في معلقات الجسيمات النانوية

تم تحديد نشاط الإنزيم باستخدام فحوصات اللزوجة التي أوضحتها بيل و إيتشرل (79). حيث تم خلط 2.0 جم من 5000 جزء في المليون من محلول الهيدروكسي بروبيل (HPG) مع 0.5 جم من الجسيمات النانوية متعددة الطبقات المخففة والمحمولة بالإنzyme (8 × مخففة بمياه التناضح العكسي). وتم استخدام حوالي 1.5 مل من محلول المختلط لقياس اللزوجة بمرور الوقت باستخدام مقاييس Bholin CS10 rheometer عند قص 90 ثانية وعند قيم درجة الحرارة ودرجة الحموضة محددة وذات أهمية. وتم تعريف نشاط إنزيم البكتيناز (A_E) على أنه متبادل قيمو الوقت المستغرق حتى يتم تقليل اللزوجة الأولية لمحلول الهيدروكسي بروبيل (μ_0) إلى 50 % من قيمته الأولية، أي يمكن تقرير نشاط الإنزيم من المعادلة (5)

$$(5) \quad A_E = \left(t_{\frac{1}{2} \mu_0} \right)^{-1}$$

حيث

A_E = نشاط الإنزيم عند درجة حموضة ودرجة حرارة مضبوطة (1/hr)
 $t_{\frac{1}{2} \mu_0}$ = الوقت بالساعات للوصول إلى هبوط بنسبة 50 % في لزوجة الأساس μ_0 لمحلول الهيدروكسي بروبيل (hr)
 μ_0 = اللزوجة الأساسية لمحلول الهيدروكسي بروبيل عند درجة حموضة ودرجة حرارة مضبوطة (CP)

وباستخدام تركيزات مختلفة من الإنزيمات (0.001-0.1% بالوزن٪)، تم إنشاء منحنيات المعايرة المتعلقة بنشاط الإنزيم وفق تركيزه، كما تم تحليل مقاييس الحساسية لدرجة الحرارة ودرجة الحموضة على نشاط الإنزيم ومنحنيات المعايرة. وتم أيضاً قياس نشاط الإنزيم في المادة الطافية، بعد الانفصال عن الجسيمات النانوية، باستخدام نفس الطريقة.

وبالتالي، تم تحديد كفاءة احتجاج الجسيم المحمل بالإنzyme من كمية الإنزيم المغلف بناءً على توازن المادة قبل وبعد تشكيل الجسيمات النانوية متعددة الطبقات. وتم استخدام منحنى المعايرة لتحديد تركيز الإنزيم الموجود في المادة الطافية؛ وبالتالي، تم تحديد EE_A % عن طريق الاستبدال في المعادلة، مثل:

$$(6) \quad EE_A = \frac{A_E - A_S}{A_E} \times 100\%$$

حيث يعبر A_E عن نشاط الإنزيم عند نفس مستوى تركيز الإنزيم المستخدم أثناء تكوين الجسيمات النانوية، و A_S عن نشاط الإنزيم المقاس في المادة الطافية. كما أظهرت الطرق الأخرى لتحديد كفاءة احتجاج الإنزيم نتائج مماثلة باستخدام مقاييس اللزوجة (78).

سادساً: تحضير محلول غوار الهيدروكسي بروبيل (HPG)

تم تحضير دفعه جديدة من 5000 جزء في المليون من غوار الهيدروكسي بروبيل (500 مل)، باستخدام 2.0 % ماء من الكتلة المولية و 1.35 جم / لتر من ثيوسلفات الصوديوم في دورق سعة 1000 مل. وتم تقليل محلول إلى 600 دورة في الدقيقة حتى يتم تمييز دوامة. وتمت إضافة 2.5 جرام من غوار الهيدروكسي بروبيل ببطء إلى الدوامة. وتم تخزين محلول طوال الليل في درجة حرارة

الغرفة للسماح بترطيب غوار الهيدروكسي بروبيل. كما تم تعديل الأنس الهيدروجيني للمحلول إلى مستوى 8.70 باستخدام 0.1 مل هيدروكسيد الصوديوم (Fisher Scientific، الولايات المتحدة الأمريكية).

سابعاً: تحضير البلوميرات المتشابكة من نظام غوار الهيدروكسي بروبيل مع بلورات البوراكس

من أجل تكوين عينة مقدارها 100 مل من مادة الهلام المستخدمة في هذه الدراسة، تم خلط 61.5 مل من 5000 جزء في المليون من غوار الهيدروكسي بروبيل مع 19.25 مل من الجسيمات النانوية المحمولة بإذنzym البولي إلكتروليت (التركيز = 0.1 وزن-% بكتيناز)؛ ثم تمت إضافة 19.25 مل من 1000 أو 2000 جزء في المليون من محلول البوراكس إلى محلول.

الفصل الرابع

النتائج وتحليل مسار الدراسة

تمهيد

يتطرق الفصل الرابع من هذه الدراسة الى اختبار فرضيات الدراسة في دور تقنيات النانو في الحد من التأثيرات البيئية باستخدام الجسيمات النانوية المنحللة بالكهرباء لرفع التوصيل الهيدروليكي وتحسين إنتاجية الآبار النفطية. حيث يقدم هذا الفصل التحليل الوصفي للجسيمات النانوية متعددة الطبقات من البولي إلكتروليت ونتائج تأثير الشحن بواسطة الطبقة السطحية لجسيمات البولي إلكتروليت. كما يقدم هذا الفصل تقييم الاطلاق المستهدف لأنزيم البكتيناز عبر مجموعات الجسيمات النانوية متعددة الطبقات اثناء عمليات تنظيف الكسر وذلك عن طريق اختبارات موصلية الكسر (Long-Term Fracture Conductivity Test)، واختبار فقدان السوائل (Fluid-loss Test)، وأخيراً اختبار نزوح السوائل (Fluid Dosplacement Test).

المبحث الأول: وصف الجسيمات النانوية متعددة الطبقات من البولي إلكتروليت

من خلال هذه الدراسة، تم اختبار تجميع البولي إلكتروليت متعدد الطبقات (PEMs) من أجل الثبات، وحساسيّة القص، وكفاءة الانحباس. وتم تشكيل البولي إلكتروليت متعدد الطبقات من خلال الامتزاز المتسلسل للبولي إيثيلين أمين (PEI) وكبريتات ديكستران سالبة الشحنة (DS) باستخدام مجموعات إلإلكتروليت (PECs) كوحدة بناء أولى، أي جسيمات بولي إيثيلين أمين مع كبريتات ديكستران النانوية كقوالب غروانية للترسيب من طبقة إلى طبقة. وفي نظام بولي إيثيلين أمين - كبريتات ديكستران، تعد سعة التحمل للجسيمات النانوية من البولي إلكتروليت متعدد الطبقات واحدة من أهم المميزات. وإلى جانب المزايا المعروفة، والتي تشمل جزيئات بحجم النانو، يمنح البولي إلكتروليت متعدد الطبقات القدرة على حبس المزيد من إنزيم البكتيناز، والحفاظ على النشاط الإنزيمي، والقدرة على البقاء أثناء التدفق، والحفاظ على إطلاق الإنزيم، وبالتالي تحسين أداء تنظيف الكسور بشكل كبير. ومع ذلك، وقبل البدء في تشكيل البولي إلكتروليت متعدد الطبقات، تم تحسين وحدات بناء البولي إلكتروليت الأولية من حيث الأنسهاد الهيدروجيني وتركيز البولي إلكتروليت ونسبة الخلط والنوع.

حيث تمت دراسة ثبات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات من خلال التغيرات في خواص التعليق الغرواني مثل حجم القطر، جهد بيتا، درجة الحموضة، والتعكر. وتم تحضير البولي إلكتروليت متعدد الطبقات بنسبة 2:1:0.05 من نظام بولي إيثيلين أمين - كبريتات ديكستران - البكتيناز بالترتيب التالي بالإضافة: بولي إيثيلين أمين، البكتيناز، ثم كبريتات ديكستران. حيث يتشكل سائل عديم اللون مع معلقات صلبة بيضاء عند إضافة كبريتات ديكستران إلى محلول بولي إيثيلين أمين مع البكتيناز، ونظير لوجود كمية زائدة من البولي إيثيلين أمين في المحلول الناتج، اكتسبت الجسيمات النانوية شحنات كهربائية موجبة (الجدول 2). وتم قياس حجم الجسيمات ومراقبتها في أوقات مختلفة بعد تكوين البولي إلكتروليت متعدد الطبقات، من فترة ساعة واحدة إلى أسبوع (حوالي 168 ساعة). وتم زيادة حجم الجسيمات بعد تكوين الجسيمات النانوية من البولي إلكتروليت متعدد الطبقات لساعة الأولى بسبب تكوين بنية البولي إلكتروليت الثانية؛ ومع ذلك، فإن التغيرات في حجم الجسيمات أصبحت غير مهمة بعد الساعة الأولى كما هو موضح في الجدول 3. وهذه النتيجة تتماشى مع نتائج تيابونتشاي (80) باستخدام مادة كيميائية مختلفة في تكوين الجسيمات النانوية من بولي إيثيلين أمين - كبريتات ديكستران.

الجدول 2: كتل بناء البولي إلكتروليت بنسب 2:1 (حجم / حجم) وزن-% من البولي إلكتروليت بنسبة 1.0 وزن-% كبريتات ديكستران مع الوزن الجزيئي لـ البولي إلكتروليت البالغ 25000 دالتون مع البولي إلكتروليت: الكبريتات ديكستران كترتيب للإضافة.

#	العينة	بولي إيثيلين أمين (مل)	كربريتات ديكستران (مل)	% بالوزن من البكتيناز (مل)	% بالوزن من التناضح العكسي (مل)	تكوين المظهر	الأس الهيدروجيني
1		2	1	0.05	0.05	غائم	8.31
2		2	1	0.05	0.05	غائم	8.38
3		2	1	0.05	0.05	غائم	8.35
4		2	1	0.05	0.05	غائم	8.35

الجدول 3: متوسط القطر الفعال، والتشتت المتعدد، وجهد زيتا لنظام الكتل الإنسائية من البولي إلكتروليت مع نسبة كتلة 2:1 من بولي إيثيلين أمين إلى كبريتات ديكستران مع بولي إيثيلين أمين : البكتيناز: كبريتات ديكستران كترتيب للإضافة.

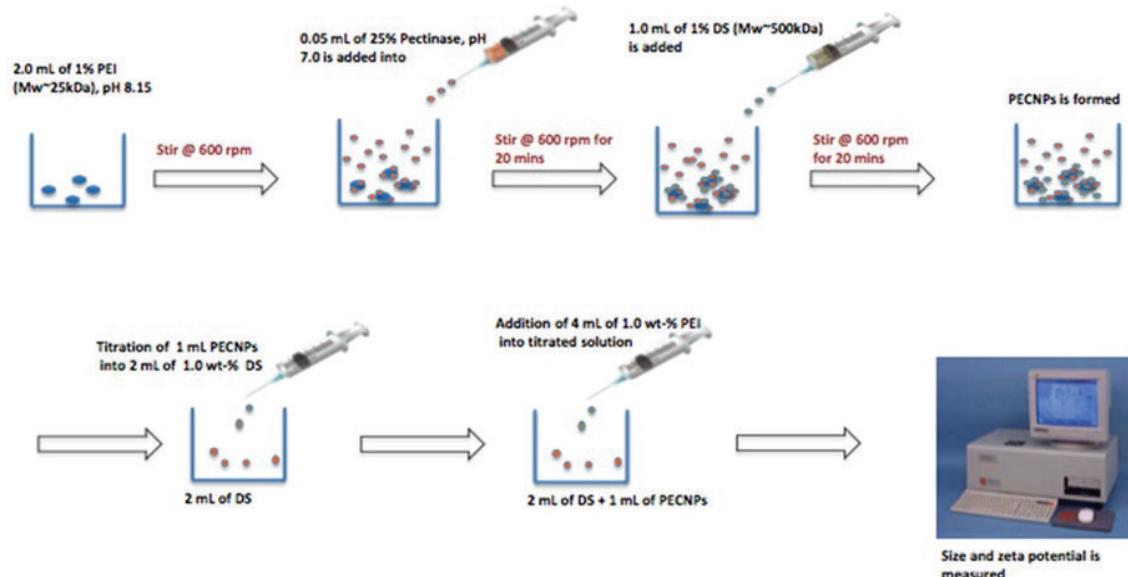
نظام الجسيمات النانوية متعددة الطبقات من البولي إلكتروليت	الوقت ، ساعة قطر (نانومتر)	خطا قياسي	التشتت المتعدد	خطا قياسي	معدل العد (كيلو في الثانية)	زيتا خطأ قياسي (ملي فولت)	± 3.98
1	+25.26	403.3	± 0.042	0.072	± 2.8	397.4	2
		530.1	± 0.014	0.077	± 4.3	404.1	8
		432.9	± 0.036	0.072	± 7.4	461.1	22
		443.9	± 0.043	0.145	± 0.3	437.3	144
		381.9	± 0.037	0.137	± 4.3	429.7	168
2	+29.25	483.8	± 0.023	0.028	± 12.6	387.7	2
		436.6	± 0.026	0.087	± 2.3	397.9	8
		417.3	± 0.031	0.036	± 6.6	387.8	22
		460.3	± 0.021	0.058	± 1.0	388.6	144
		447.2	± 0.050	0.141	± 7.6	375.8	168
3	+28.41	516.1	± 0.039	0.128	± 5.5	391.0	2
		435.4	± 0.018	0.112	± 2.3	398.3	8
		438.6	± 0.041	0.118	± 10.9	399.2	22
		399.9	± 0.036	0.131	± 6.6	436.3	144
		403.7	± 0.037	0.075	± 8.3	429.4	168
4	+28.01	423.8	± 0.043	0.048	± 6.5	437.4	2
		467.0	± 0.016	0.026	± 5.4	465.4	8
		501.1	± 0.030	0.035	± 7.7	458.2	22
		470.5	± 0.051	0.058	± 2.9	445.9	144
		497.7	± 0.033	0.104	± 2.6	437.6	168

المبحث الثاني: تأثير الشحن للطبقة السطحية لترسيب البولي إلكتروليت متعدد الطبقات

تمت دراسة تكوين الطبقة الأولى من البولي إلكتروليت متعدد الطبقات (PEMs) على تجمعات إلكترونوليت (PECs) كركبة بناء باستخدام تقنية الترسيب المتسلسل لطبقات المتعددة. وتم معايرة محاليل كبريتات ديكستران المخففة بتركيزات متفاوتة من 1.0 إلى 0.0625 وزن-%. وكانت أنواع المعايرة 1 مل من الجسيمات النانوية من البولي إلكتروليت المحملة بالإإنزيم (الجدول 4)، والتي تم إسقاطها في عينة يتم تحريكها باستمرار في قسامات منتظمة (2 مل من كبريتات ديكستران). ويوضح الشكل 19 الإجراءات المختبرية لمعايرة كتل البناء من البولي إلكتروليت المحملة بالإإنزيم باستخدام كبريتات ديكستران. وتم قياس متوسط حجم الجسيمات، وممؤشر التشتت المتعدد، ومتوسط معدل العد باستخدام محلل جهد زيتا (ZetaPALS Brookhaven Instruments Corp.). وباستخدام

نفس الجهاز، تم تحديد الجهد باستخدام وحدة تشتت الضوء الكهربائي. ويتم عرض حجم الجسيمات ذات الصلة، ومؤشر التشتت المتعدد، ومعدل العد، والشحنة السطحية المحتملة للجسيمات النانوية المعايرة في الجدول 5. وتم معايرة الجسيمات النانوية المحملة بالبكتيناز في كبريتات ديكستران بتركيز 1.0 وزن-% وأسفرت عن جسيمات نانوية أحادية التشتت مستقرة، سالبة الشحنة. ومن ناحية أخرى، عانت تجمعات البولي إلكتروليت التي تمت معايرتها بتركيزات كبريتات ديكستران أقل من 0.5 بالوزن-% وأكثر من 1.0 بالوزن-% من عدم الاستقرار الغرواني وانفصال بنية إلكتروليت، كما هو موضح في الشكل 22.

الشكل 19: رسم توضيحي تخطيطي لتصنيع البولي إلكتروليت المحملة بالبكتيناز.



كما أدى تراكم الجسيمات النانوية أحادية الانتشار المستقرة سالبة الشحنة بعد المعايرة في 1.0 وزن-% من كبريتات ديكستران إلى انخفاض حجم الجسيمات. وكان متوسط حجم الجسيمات لنظام البولي إيثيلين أمين/كبريتات ديكستران المحمّل بالبكتيناز هو 4.31 ± 491.4 نانومتر، مقارنة بـ 1.34 ± 236.2 نانومتر لنظام البولي إيثيلين أمين/كبريتات ديكستران المطلي بمحلول باليونات كبريتات ديكستران. ولوحظ هذا الانخفاض في حجم الجسيمات في دراسات سابقة عند استخدام نظام البولي إيثيلين أمين/بولي فينيل سلفونات متعدد الطبقات. وارتبطت التغييرات في شقوق التركيز بالتغييرات في الشحنة السطحية المحمّلة، على سبيل المثال، أسفرت النسبة الحجمية من الباليونات بحجم 2:1 عن جسيمات نانوية سالبة الشحنة بمتوسط حجم قطر يبلغ 200 نانومتر.

الجدول 4: وحدات البناء تجمعات البولي إلكتروليت بنسـبـة 2:1 من البولي إيثيلين أمين (الرقم الهيدروجيني 8.12) إلى 1.0 وزن-% من كبريتات ديكستران (الرقم الهيدروجيني = 7.20) مع الوزن الجزيئي لـ البولي إيثيلين أمين البالـغ 25000 دالتون مع البولي إيثيلين أمين؛ البكتيناز؛ كبريتات ديكستران كتركيز لإضافة.

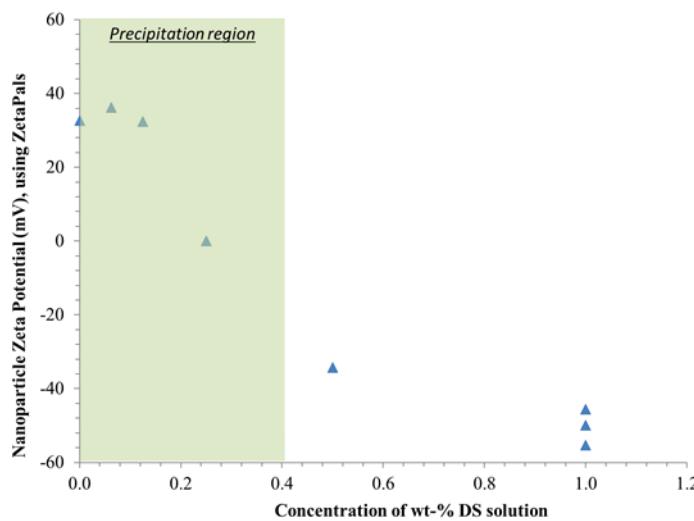
العينة	الجسيمات النانوية	بولي إيثيلين أمين (مل)	كبريتات ديكستران (مل)	% بالوزن من البكتيناز (مل)	التناضح العكسي (مل)	تكوين (مل)	الأس الهيدروجيني
الجسيمات النانوية	2	1	0.05	0	8.42		

الجدول 5: متوسط القطر الفعال، والتشتت المتعدد، ومعدلات العد، وجهد زيتا لترسبات البولي إلكتروليت متعددة الطبقات ذاتيا التجميع.

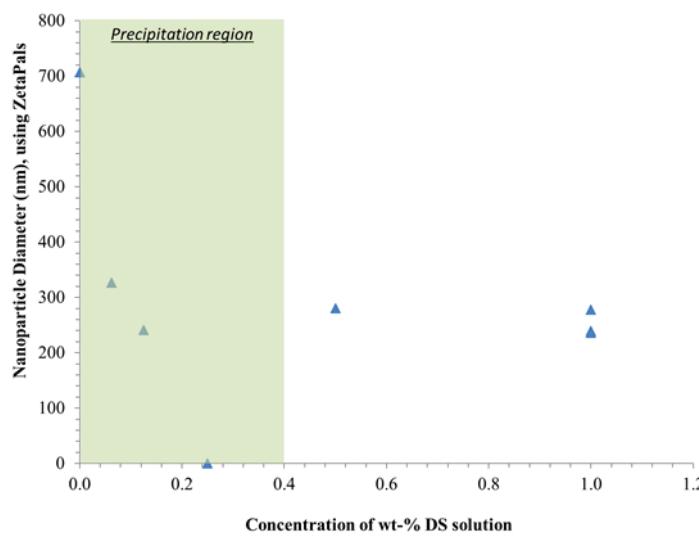
خطأ قياسي (ملي فولت)	جهد زيتا (ملي فولت)	معدل العد (كيلو في الثانية)	التشتت المتعدد	خطأ قياسي (نانومتر)	القطر (نانومتر)	كربيتات ديكسنaran (مل)	% بالوزن من الوزن	معايير الوزن كربيتات ديكسنaran (وزن - %)	هوية العينة (#)
± 0.89	+32.6	412.8	0.138	± 4.31	491.4	0.0	0.0	0	0
± 0.74	-45.6	5166.4	0.198	± 0.79	239.3	2	1.0	1	1
± 0.80	-55.3	489.8	0.189	± 1.34	236.2	2	1	2	2
± 0.59	-49.9	427.2	0.166	± 4.5	277.5	2	1	3	3
± 2.06	-34.2	454.3	0.168	± 1.71	280.3	2	0.5	4	4
----- حدث هطول وتحثر (بولي إلكتروليت متعددة الطبقات غير مستقر)						2	0.25	5	
± 2.31	+32.4	417.6	0.177	± 2.01	241.2	2	0.125	6	
± 1.83	+36.2	407.7	0.246	± 4.11	326.9	2	0.0625	7	

ويرجع الانخفاض في الحجم إلى التعويض الزائد في الشحنة التي تملية كمية الشحنات الزائدة وانتشار سلاسل بوليمر البولي إيثيلين أمين داخل الطبقة المترسبة من كربيتات ديكسنaran لتشكيل هيكل بولي إلكتروليت أكثر كثافة بحجم النانو. ويوفر مؤشر التشتت المتعدد معلومات حول تجانس التشتت في المعلقات الغروانية حيث تشير القيم بين 0 و 0.3 إلى توزيع جزيئات متجانس نسبياً. وكما هو موضح في الجدول 5، كما يميل مؤشر التشتت المتعدد إلى الانخفاض بعد معايرة مركبات البولي إلكتروليت المحملة بالبكتيناز إلى كربيتات ديكسنaran، والقيم المقاومة لعينات جسيمات البولي إلكتروليت 2 كانت ولا تزال في نطاق تجانس التشتت. وبجانب حجم الجسيمات والتشتت المتعدد، تلعب شحنة السطح المحتملة دوراً مهماً في استقرار معلقات الجسيمات النانوية. وفي الواقع، تشير القيم المحتملة التي تزيد عن 30+ ملي فولت أو أقل من 30 ملي فولت بشكل عام إلى قوى تنافر قوية في أنظمة مركبات البولي إلكتروليت تمنع التصادم والتحثر، وبالتالي تعزز الاستقرار والتجانس في معلقات الجسيمات النانوية، كما هو موضح في الشكل 20 والشكل 21. ويمكن أيضاً رؤية تأثير الطبقة الأولية لـ كربيتات ديكسنaran من حيث التعكر، وكما هو مبين في الشكل 22، يمكن أن تؤثر الكميات الكبيرة من 1.0 وزن-% محلول كربيتات ديكسنaran بشكل كبير على طبقات [بولي إيثيلين أمين / كربيتات ديكسنaran]، حيث يتم صد عملية إزالة البروتون والطبقات اللاحقة من كربيتات ديكسنaran، مما يتسبب في تفكك الطبقة.

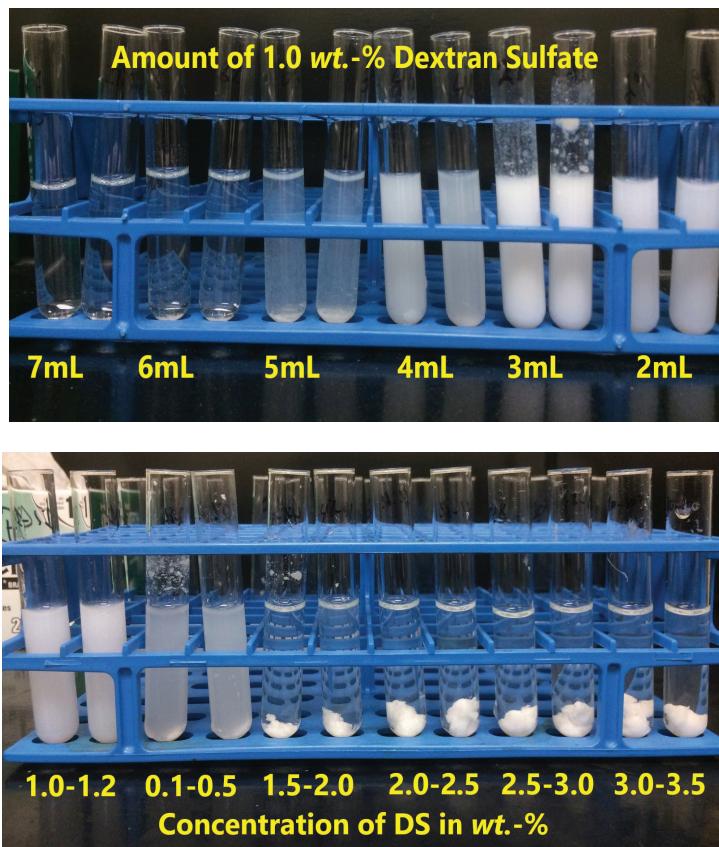
الشكل 20: جهد زيتا للجسيمات النانوية للبنات الأساسية لمركبات البولي إلكتروليت كدالة لتركيز كبريتات ديكستران.



الشكل 21: متوسط حجم الجسيمات النانوية من البنات الأساسية لمركبات البولي إلكتروليت كدالة لتركيز كبريتات ديكستران.



الشكل 22: تأثير طبقة كبريتات ديكستران على تجميع ترسيب البولي إلكتروليت متعددة الطبقات باستخدام نسبة خلط مختلفة (الصورة العلوية)، واستخدام تركيز مختلف (الصورة السفلية).



المبحث الثالث: تجمعات البولي إلكتروليت على طبقة من (مركب البولي إلكتروليت / كبريتات ديكستران)

تم تشكيل ترسيب البولي إلكتروليت متعددة الطبقات ذاتي التجميع عن طريق الترسيب البديل لكبريتات ديكستران و البولي إيثيلين أمين باستخدام شقوق التركيز الأمثل. وتم صياغة البولي إلكتروليت متعددة الطبقات باستخدام مركبات البولي إلكتروليت موجبة الشحنة كركيزة بناء من مركب البولي إلكتروليت / كبريتات ديكستران في نسبة غير متكافئة 2:1 ، كما هو موضح في الجدول 6. ثم، يتم عمل المعايرة من 1.0 مل من مركبات البولي إلكتروليت المحمولة بالبكتيناز - وحقنه في عينة تم تقليلها باستمرار في أجزاء منتظمة تحتوي على 2 مل من 1.0 وزن-% من كبريتات ديكستران. حيث تم التتحقق سابقاً في تحديد تركيز طبقة كبريتات ديكستران لإعطاء جسيمات نانوية مستقرة سالبة الشحنة، ذات طبقات. والكمية المعروفة من 1.0 وزن-% البولي إيثيلين أمين (الوزن الجزيئي = 25 كيلو دالتون) عند درجة حرارة 8.15 ، هي التي تم إدخالها على الفور في محلول المعاير. كما تمت دراسة تأثير استخدام كميات مختلفة من البولي إيثيلين أمين من 2 و 3 و 4 مل على تكوين الجسيمات النانوية متعددة الطبقات. حيث تم قياس متوسط حجم الجسيمات، ومؤشر التشتت المتعدد، ومتوسط معدل العد باستخدام جهد زيتا. وباستخدام نفس الجهاز، تم تحديد الجهد باستخدام وحدة تشتت الضوء الكهربائي. وكما تم عرض حجم الجسيمات ذات الصلة، ومؤشر التشتت المتعدد، ومعدل العد، والشحنة السطحية المحتملة لكتل بناء مركب البولي إلكتروليت والترسبات ذاتية التجميع من البولي إلكتروليت متعددة الطبقات كما هو موضح في الجدول 7 والجدول 8. وأثبتت الإضافة التسلسنية للبوليانيونات والكتل المتعدد على ركيزة بناء مركب البولي إلكتروليت المحمولة بالبكتيناز أنها تسفر عن م العلاقات جسيمات نانوية مستقرة. وتمت دراسة التأثيرات الجانبية على كمية البوليانيونات المضافة وذلك عند استخدام سلسلة من العينات بكميات مختلفة من 1.0 وزن-% من البولي إيثيلين أمين أثناء ترسيب الطبقات على كتل البناء مركب البولي إلكتروليت المحمولة بالبكتيناز. حيث تشير النتائج إلى تشكيل جسيمات نانوية مستقرة في حالة إضافة 4 مل من 1.0 وزن-% البولي إيثيلين أمين على الطبقة الثانية في دورة الترسيب. ومن ناحية أخرى، أنتجت كمية البولي إيثيلين أمين التي تقل

عن 2 مل أو أكثر من 4 مل أحجاماً أكبر بشكل متزايد من الجسيمات النانوية البولي إلكتروليت متعدد الطبقات التي عانت من التخثر في أوقات لاحقة (> 12 ساعة).

الجدول 6: كتل بناء مركب البولي إلكتروليت بنسبي 2: 1 من 1.0 وزن-% من البولي إيثيلين أمين (الرقم الهيدروجيني 8.12) إلى 1.0 وزن-% كبريتات ديكسن (الرقم الهيدروجيني 7.20) مع الوزن الجزيئي لبولي إيثيلين أمين البالغ 25000 دالتون مع البولي إيثيلين أمين؛ البكتيناز؛ كبريتات ديكسن كرتير إضافة.

العينة (#)	بولي إيثيلين أمين (مل)	كبريتات ديكسن (مل)	% 1.0 بالوزن من البكتيناز (مل)	% 25 بالوزن من النانو من العنكبوت (مل)	تكوين النانو من العنكبوت (مل)	الأس الأس الهيدروجيني
8	2	1	0.05	0	0.05	8.15
9	2	1	0.05	0	0.05	8.24
10	2	1	0.05	0	0.05	8.21
11	2	1	0.05	0	0.05	8.22

يمكن تفسير عدم الاستقرار الغرواني للبولي إلكتروليت متعدد الطبقات الذي لوحظ في أوقات أطول من خلال الكمية الزائدة من أيونات البولي إيثيلين أمين في المحاليل السائبة، حيث تحفز الجسيمات قوى كهروستاتيكية جذابة تتغلب على قوى فاندرفالس (قوى التأثيرات المتبادلة) في تعليق غرواني ثابت. على سبيل المثال، تأثر استقرار تعليق البولي إلكتروليت متعدد الطبقات بشدة عند استخدام 1 مل من 1.0 وزن-% البولي إيثيلين أمين أثناء الترببات المتسلسلة من البولي إيثيلين أمين/كبريتات ديكسن للبولي إلكتروليت متعدد الطبقات، مما تسبب في تفكك الطبقات وتشكيل كمية كبيرة من التجمعات في المحاليل السائبة، كما هو موضح في الشكل 23. ومع ذلك، فإن الزيادة في كمية 1.0 وزن-% البولي إيثيلين أمين (> 1 مل) أثناء تناوب البولي إيثيلين أمين/كبريتات ديكسن قد عززت استقرار وتعزّز تجميع البولي إلكتروليت متعدد الطبقات.

الجدول 7: متوسط القطر الفعال، والتشتت المتعدد، ومعدلات العد، وجهد زيتا من اللببات الأساسية لمركبات البولي إلكتروليت مع نسبة كثالة 2: 1 من البولي إيثيلين أمين إلى كبريتات ديكسن.

نظام الجسيمات النانوية متعددة الطبقات من البولي إلكتروليت	الوقت، ساعة	قطر (نانومتر)	خطأ قياسي	التشتت المتعدد	خطأ قياسي	جهد زيتا (ملي فولت)	معدل العد	خطأ قياسي	جهد زيتا (ملي فولت)	نظام
8	90.65	7.01	± 0.167	± 0.02	476.27	+32.12	± 1.2	± 0.02	476.27	نظام الجسيمات النانوية متعددة الطبقات من البولي إلكتروليت
9	505.27	2.01	0.238	± 0.017	426.85	+32.90	± 2.1	± 0.017	426.85	نظام الجسيمات النانوية متعددة الطبقات من البولي إلكتروليت
10	482.61	9.83	0.119	± 0.045	504.4	+33.40	± 2.7	± 0.045	504.4	نظام الجسيمات النانوية متعددة الطبقات من البولي إلكتروليت
11	450.88	4.11	0.132	± 0.052	405.1	+34.12	± 3.4	± 0.052	405.1	نظام الجسيمات النانوية متعددة الطبقات من البولي إلكتروليت

الجدول 8: متوسط القطر الفعال، والتشتت المتعدد، ومعدلات العد، وجهد زيتا لترسيب البولي إلكتروليت متعدد الطبقات ذاتي التجميج.

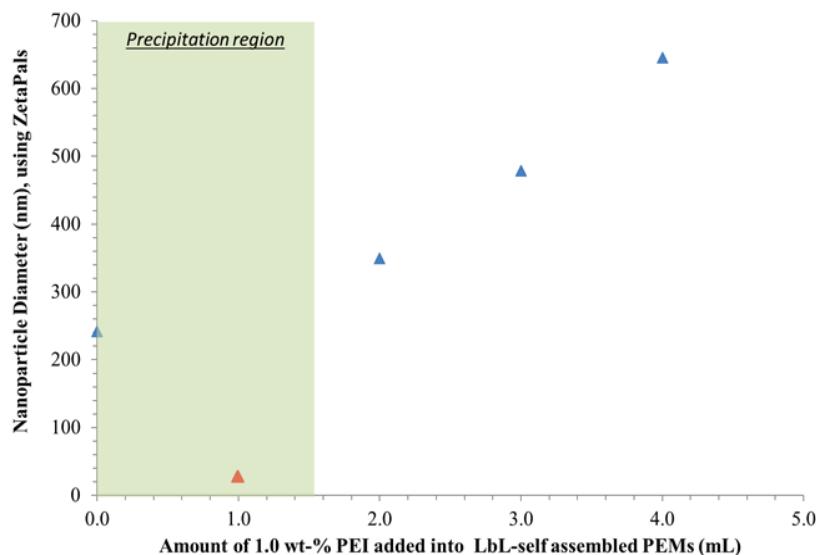
هوية العينة	إيثيلين أمين (%)	القطر (نانومتر)	خطأ قياسي (نانومتر)	التشتت المتعدد	جهد زيتا (ملي فولت)	خطأ قياسي (ملي فولت)	جهد زيتا (ملي فولت)	معدل العد	خطأ قياسي	جهد زيتا (ملي فولت)	نظام
8	2.0	349.51	± 6.76	0.202	+29.2	± 0.82	8.78	2.0	± 0.202	+405.8	نظام الجسيمات النانوية متعددة الطبقات من البولي إلكتروليت
9	3.0	479.11	± 3.71	0.145	+34.0	± 4.15	8.49	3.0	± 0.145	+420.7	نظام الجسيمات النانوية متعددة الطبقات من البولي إلكتروليت
10	4.0	645.81	± 19.59	0.125	+37.0	± 1.89	8.42	4.0	± 0.125	+462.9	نظام الجسيمات النانوية متعددة الطبقات من البولي إلكتروليت
*11	0.0	241.55	± 0.88	0.179	-43.2	± 0.75	10.42	0.0	± 0.179	+388.7	نظام الجسيمات النانوية متعددة الطبقات من البولي إلكتروليت

* ترسبات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات مع الطبقة الخارجية من كبريتات ديكسن.

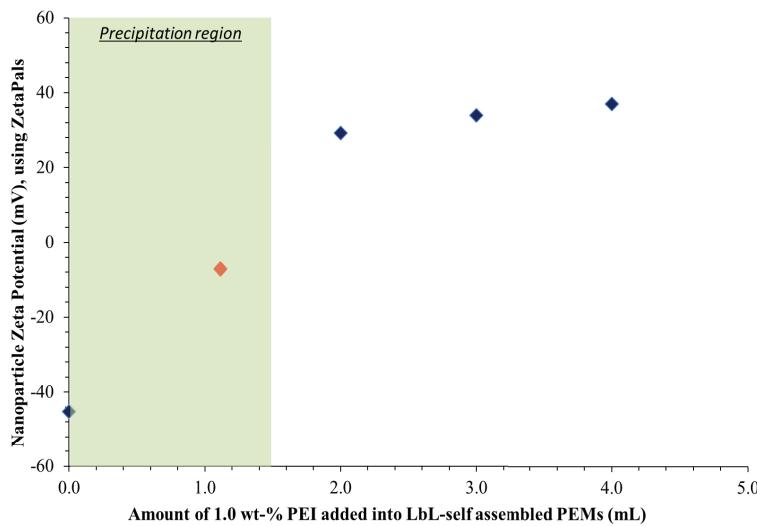
ولوحظ تكوين طبقات لاحقة مستقرة موجبة الشحنة بعد إضافة الطبقة الثانية 1.0 وزن-% البولي إيثيلين أمين. ويقدم انعكاس جهد زيتا والحجم المتزايد نسبياً للجسيمات دليلاً جيداً على تكوين البولي إلكتروليت متعدد الطبقات. وكان متوسط حجم الجسيمات

المحملة بالبكتيناز لنظام البولي إيثيلين أمين/كربيتات ديكستران 482.61 ± 9.83 نانومتر، مقارنة بـ 645.81 ± 19.59 نانومتر لنظام مركب البولي إلكتروليت/كربيتات ديكستران/البولي إيثيلين أمين المغلفة بطبقة لاحقة من البولي إيثيلين أمين؛ على سبيل المثال عينة الجسيمات النانوية #10 في الجدول (7) مقابل عينة جسيمات البولي إلكتروليت #10 في الجدول (8). وللحظ أيضاً انخفاض في حجم الجسيمات في وحدات البناء لمركب البولي إلكتروليت المطلية بمحلول بوليانيون من كربيتات ديكستران. وكان الانخفاض في الحجم بسبب التعويض الزائد في الشحن الذي تملية كمية الشحنات الزائدة ودورها في التفاعلات الكهروستاتيكية والتعقيد لتشكيل بنية متعددة إلكتروليت بحجم النانو أكثر كثافة. وكان تجانس التشتت للجسيمات النانوية متعددة الطبقات، كما تم قياسه بواسطة قيم مؤشر التشتت المتعدد، بين 0 و 0.3، مما يشير إلى توزيع جزيئات متجانس نسبياً. على سبيل المثال، كانت القيم المقاومة لعينة مركبات البولي إلكتروليت/كربيتات ديكستران/البولي إيثيلين أمين لجسيمات البولي إلكتروليت في العينة #8 والجسيمات النانوية في العينة #10، كما هو موضح في الجدول 8، هي 0.202 و 0.125 على التوالي. بالإضافة إلى حجم الجسيمات والتشتت المتعدد، لوحظت أيضاً زيادة في مقادير قيم جهد زيتا لـ (مركبات البولي إلكتروليت / كربيتات ديكستران / البولي إيثيلين أمين) كما هو موضح في الشكل 24. وعلى سبيل المثال، تم قياس جهد زيتا لعينة جسيمات البولي إلكتروليت #10 عند $37+37$ ملي فولت، مما يدل على قوى التنافر القوية التي من شأنها أن تمنع التصادم والتخثر، وبالتالي تعزيز استقرار الجسيمات النانوية متعددة الطبقات.

الشكل 23: اختبار ثبات ترببات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات ذاتية التجميع من حيث متوسط حجم الجسيمات على كمية البولي إيثيلين أمين المستخدمة أثناء الترسيب المتسلسل لكربيتات ديكستران / البولي إيثيلين أمين.

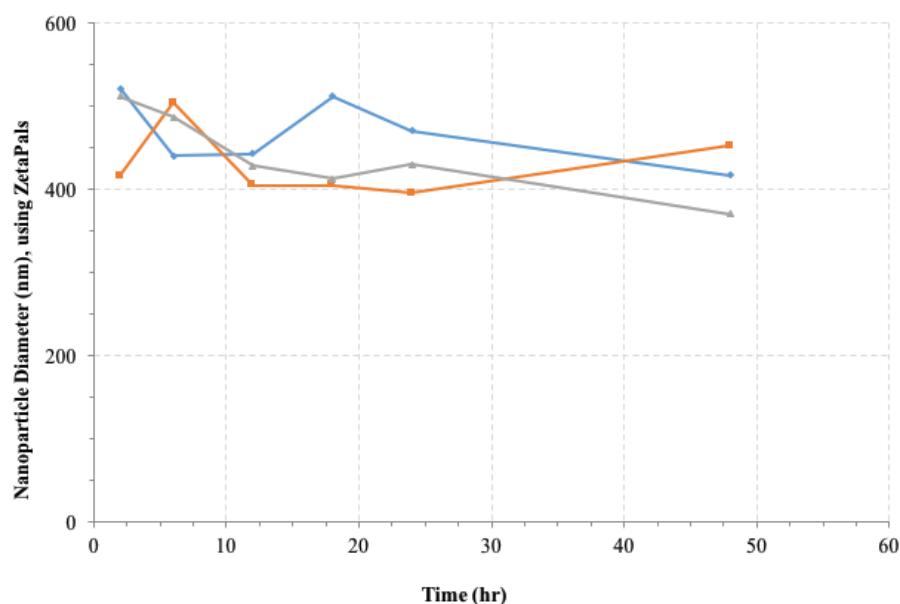


الشكل 24: اختبار الثبات على تربسات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات ذاتية التجميع من حيث شحنة السطح لجهد زيتا على كمية البولي إيثيلين أمين المستخدمة أثناء التربيب التسلسلي لكبريتات ديكستران / البولي إيثيلين أمين.

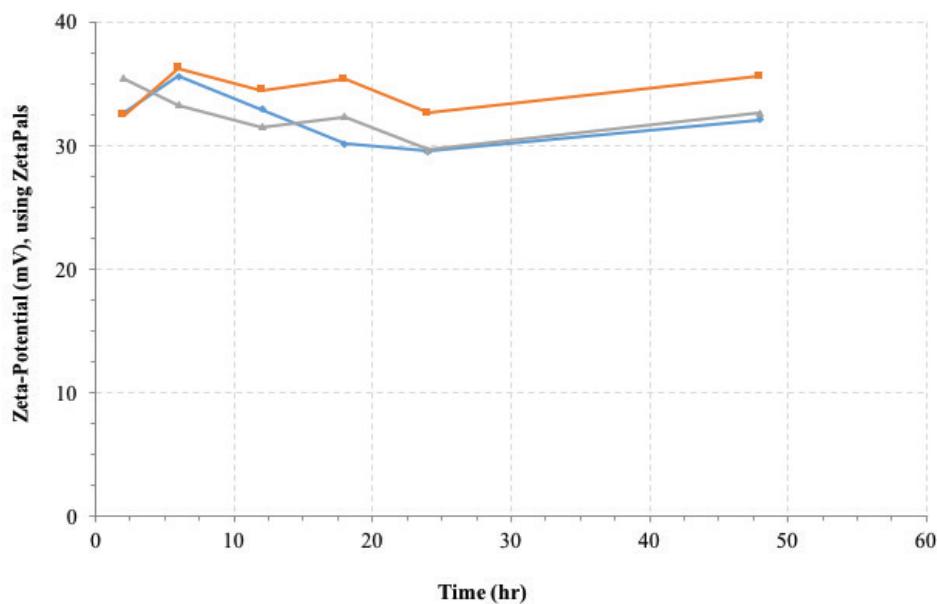


ومن أجل إختبار ثبات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات المحمول بالإنزيم، تم مراقبة التغيرات في حجم الجسيمات، مؤشر التشتت المتعدد، معدل العد، شحنة السطح المحتملة، الأُس الهيدروجيني، والتعكر كدالة للوقت. ويوضح الشكل 25 إلى الشكل 27 عدم ملاحظة أي تغيرات مهمة لمدة تصل إلى 96 ساعة، مما يشير إلى تكوين جسيمات نانوية متعددة الطبقات موجبة الشحنة، متعددة الطبقات من التربيب اللاحق للطبقات (كبريتات ديكستران والبولي إيثيلين أمين).

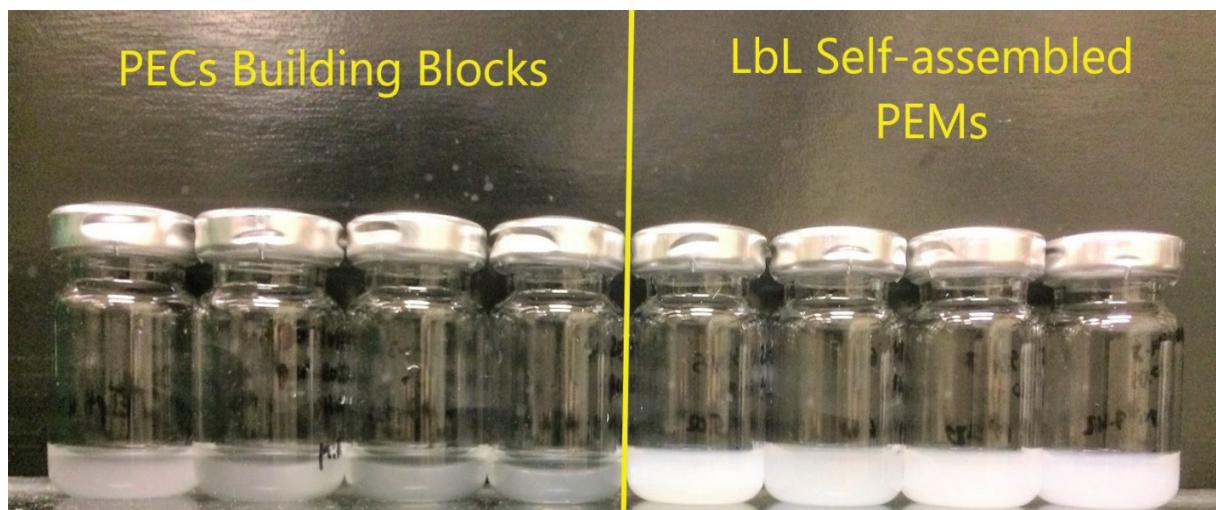
الشكل 25: اختبار الاستقرار على تربسات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات ذاتية التجميع من حيث متوسط حجم الجسيمات كدالة للوقت.



الشكل 26: اختبار الاستقرار على ترببات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات ذاتية التجميع من حيث جهد زيتاً كدالة للوقت.



الشكل 27: استقرار وحدات البناء لمركب البولي إلكتروليت (يسار) مقابل ترببات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات ذاتية التجميع (يمين) بعد 96 ساعة.



المبحث الرابع: أنماط إطلاق البكتيناز في طبقات إلكتروليت المتعددة

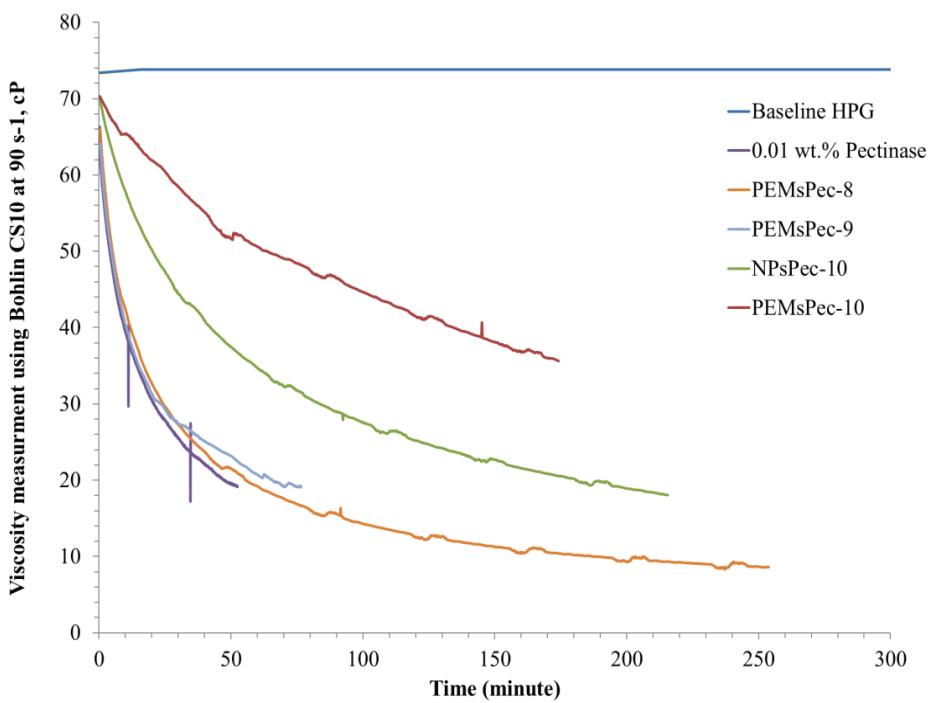
تشير النتائج لمقاييس الزوجة من إنزيم البكتيناز المغلف داخل البولي إلكتروليت متعدد الطبقات كما في الشكل 28 بأن تركيز البكتيناز في البولي إلكتروليت متعدد الطبقات يتاسب طردياً مع الطبقة المجموعة من كبريات ديكستران - البولي إيثيلين أمين. ويظهر الجدول 9 كفاءة إنزيم البكتيناز داخل الترببات المجموعة ذاتياً من البولي إلكتروليت متعدد الطبقات، مقارنة بـ مركبات البولي إلكتروليت التقليدية أحادية الطبقة، باستخدام فحوصات الزوجة من البكتيناز الممزوج بـ 4000 جزء في المليون من غوار الهيدروكسي بروبيل عند 25 درجة مئوية ودرجة الحموضة 8.7. كما تظهر النتائج زيادة كبيرة في $EE_A\%$ في الجسيمات النانوية متعددة الطبقات عند 90.4% مقابل وحدات البناء لمركبات البولي إلكتروليت عند 70.9%， كما هو موضح في الجدول 9. ويمكن لـ البولي إلكتروليت متعدد الطبقات التي تستخدم ترببات التجميع الذاتي أن تحرّر بشكل فعال كمية إضافية من الإنزيمات. وتم تحقيق قدرة تحمل أعلى وكفاءة احتجاز فائقة مع الإضافة اللاحقة لطبقات كبريات ديكستران والبولي إيثيلين أمين. وبالمثل، يمكن

أن تتضمن كفاءة الاحتباس العالية لـالبولي إلكتروليت متعدد الطبقات، مع إضافة المزيد من الطبقات ودورات الترسيب، كمية أكبر من الإنزيمات.

الجدول 9: كفاءات إنزيم البكتيناز في المادة الطافية بعد الانفصال عن الترببات ذاتية التجميج، مقارنة بمركبات البولي إلكتروليت، باستخدام فحوصات المزوجة من البكتيناز الممزوج بـ4000 جزء في المليون من غوار الهيدروكسي بروبيل عند 25 درجة مئوية ودرجة الحموضة 8.7.

EE_C	التركيز	EE_A	A_E	العينة	
(%) / ساعة (%) (جزء في المليون)				(#)	
3.41	100	4.42	3.506	جسيمات البولي إلكتروليت 8	
0.00	100	0.00	3.906	جسيمات البولي إلكتروليت 9	
91.3	8.76	90.4	0.3516	جسيمات البولي إلكتروليت 10	
71.4	28.8	70.9	1.066	الجسيمات النانوية 10	
0.00	100	0.00	3.668	بالوزن -٪ البكتيناز 0.01	

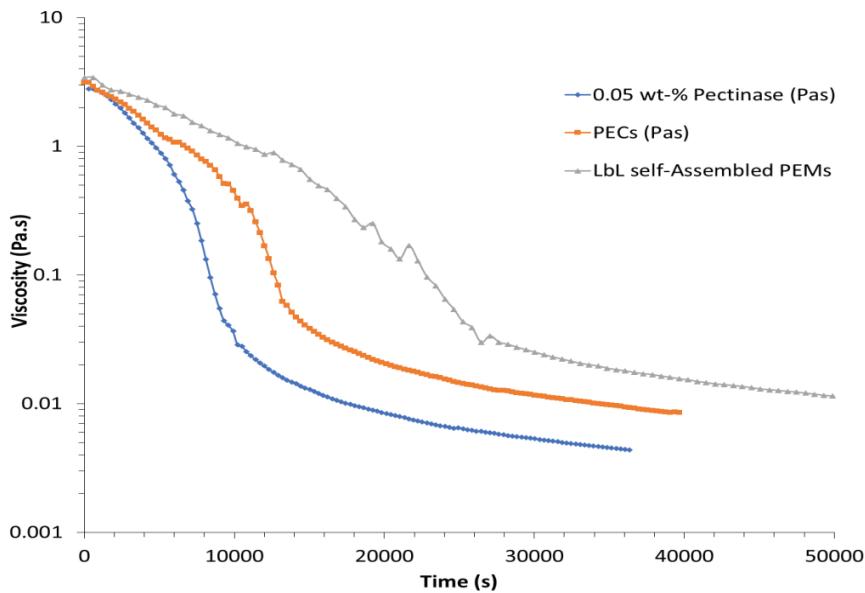
الشكل 28: مقاييس المزوجة لإنزيم البكتيناز المحبوسة داخل الترببات المجمعة ذاتياً للبولي إلكتروليت متعدد الطبقات الواردة في الجدول 8، مقارنة مع إنزيم البكتيناز الحر في المادة الطافية، والمختلطة مع 5000 من غوار الهيدروكسي بروبيل عند 25 درجة مئوية ودرجة الحموضة 8.7 تحت معدل القص 90 ثانية⁻¹. وكان التركيز النهائي للبكتيناز في جميع الأشواط 0.01 وزن-%.



وأظهرت دراسة التحلل الأنزيمي لغوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك مع البورات قدرة التحكم في إطلاق إنزيم البكتيناز من ترببات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات. حيث تم خلط الجسيمات النانوية المخففة مع محلول البوليمر لغوار الهيدروكسي بروبيل قبل إضافة رابط أملاح البورات، وتم تعديل الرقم الهيدروجيني للمحلول النهائي إلى 9.20 باستخدام 0.1 مolar هيدروكسيد الصوديوم. وزادت أيونات البورات في محلول عند مستويات الأس الهيدروجيني الأعلى (>9)، مما يزيد من ميل أيونات البورات لتشكيل مجموعات 1:1 أو 2:1 مع سلاسل الغوار الجانبية لتشكيل بنية هلامية. ونتيجة لذلك، زادت المزوجة وتغير محلول من سائل إلى ما

يشبه الهلام. وتم نقل المواد الهلامية الناتجة ووضعها في أجهزة قياس الانسيابية Bholin CS10 rheometer في تكوين فجوة مزدوجة وتحت درجة حرارة مضبوطة. وتم قياس اللزوجة بمعدل قص 4.5 في الثانية¹ في وضع التشغيل المستمر، كما هو موضح في الشكل 29. وتم تحضير محاليل الإنزيم المخفف، وكتل بناء مركب البولي إلكتروليت، وجسيمات ترببات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات النانوية باستخدام نفس الوزن 0.1% من تركيز إنزيم البكتيناز في جميع العينات. وتظهر النتائج عملية التحلل الإنزيمي الكامل لجل غوار الهيدروكسي بروبيل مع تزامن الإطلاق المتحكم فيه لإنزيم البكتيناز ولأكثر من 15 ساعة. واستمر إطلاق البكتيناز طوال اختبار اللزوجة قبل الوصول إلى حالة الاستقرار. ويوضح الشكل 29 نمط التحلل للبوليمر ومنحنى إطلاق إنزيم البكتيناز خلال فترة التجربة. ويتوافق شكل خفض اللزوجة مع طبيعة التحلل الأنزيمي، الذي يحدث أولاً في بنية الهلام، يليه تدهور العمود الفقرى للغوار. وتم شد شكل منحنى اللزوجة للجسيمات النانوية لترسبات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات في كل منطقة التحلل - كل من بنية الهلام والعمود الفقرى للبوليمر. وكان معدل إطلاق البكتيناز في البولي إلكتروليت متعدد الطبقات أبطأ مما هو عليه في وحدات البناء لمركب البولي إلكتروليت، مما يشير إلى أن عدد طبقات البوولي إلكتروليت يتاسب مع استدامة معدل إطلاق البكتيناز من الجسيمات النانوية متعددة الطبقات للبولي إلكتروليت.

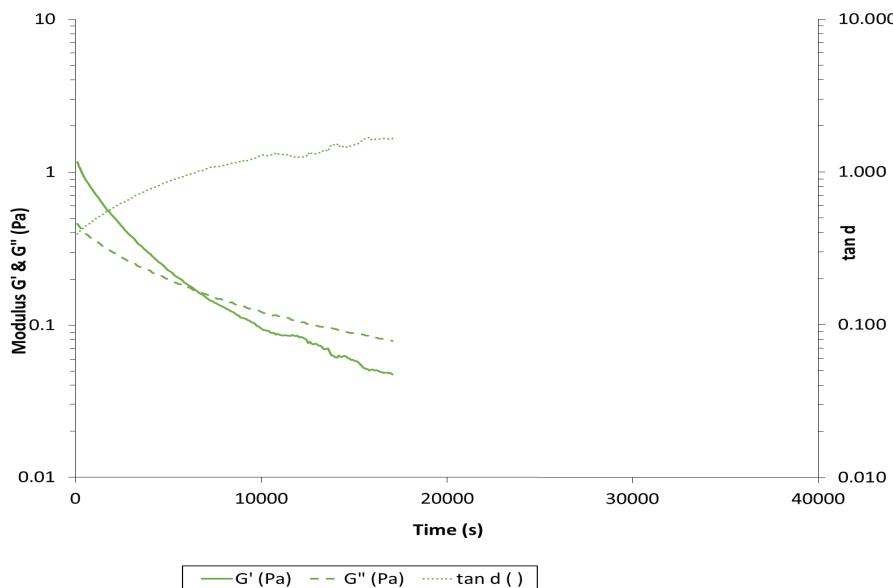
الشكل 29: شكل إطلاق البكتيناز في ترببات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات ذاتية التجميع مقابل كتل البناء لمركب البولي إلكتروليت أثناء قياسات اللزوجة عند 25 درجة مئوية ودرجة الحموضة 9.08 من البورات - (2000 جزء في المليون) من غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك (5000 جزء في المليون).



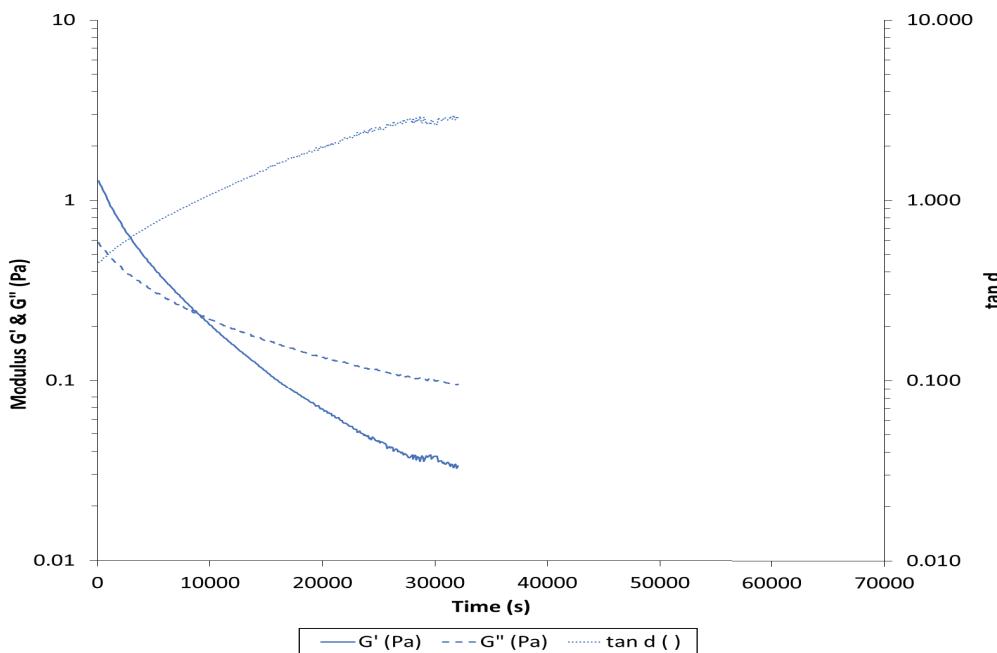
ولتقييم خصائص السوائل لغوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك بشكل أفضل، تم قياس الخصائص الانسيابية مثل 'G' و "G" عن طريق اكتساح التردد عند 0.5 هرتز باستخدام مقياس Bholin CS10 rheometer في درجة حرارة مضبوطة باستخدام تكوين فجوة مزدوجة. وتم تحضير محاليل الإنزيم المخفف، وركائز البناء لمركب البولي إلكتروليت، والجسيمات النانوية للترببات ذاتية التجميع باستخدام نفس تركيز 0.1 وزن-% من إنزيم البكتيناز. وأوضحت النتائج أن قيم معامل المرونة واللزوجة انخفضت بسبب النشاط التحفيزي للإنزيم البكتيناز. ويعرض الشكل 30 شكل الاختزال لمعامل القص للنشاط التحفيزي النموذجي للإنزيمات على السوائل القائمة على الغوار حيث يقل معامل التخزين ووقت الاسترخاء بشكل كبير أثناء التحلل النزيمي لبوليمر الغوار. ومع ذلك، يوضح الشكل 32 نمط تدهور المواد الهلامية المتشابكة الناجم عن إطلاق متحكم ومستدام لإنزيم البكتيناز من الإلكتروليتات المتعددة الطبقات. ولوحظت فترة تدهور اللزوجة الأطول كعلامة على الإطلاق البطيء للبكتيناز من الجسيمات النانوية. ومع ذلك، أظهر شكل إطلاق البكتيناز في ترببات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات فترات تأخير كبيرة على مركب البولي إلكتروليت، حيث تم تحويل نقاط التقاطع لكل من خطوط 'G' و "G" نحو أوقات لاحقة لأنظمة البولي إلكتروليت متعدد الطبقات. بالإضافة إلى ذلك، غالباً ما يشير التحلل الأنزيمي للمواد الهلامية القائمة على الغوار إلى انخفاض حاد في معامل المرونة فوق المعامل اللزج. ويرجع هذا السلوك إلى حقيقة أن التفاعل الإنزيمي يحدث أولاً في موقع ارتباط البورات لهيكل الهلام الممثل في معامل التخزين ('G')؛ ثم يتبع

ذلك تدهور العمود الفقرى للغوار، عندما تصبح الوحدة اللزجة ("G") أكثر بروزاً. ومع ذلك، تم تمديد منحنيات معامل القص لـ "G'" و "G''" لترسبات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات ذاتية التجميع، مما يشير إلى معدلات إطلاق البكتيناز البطيئة من طبقات البولي إلكتروليت اللاحقة وكفاءة الاحتياز العالية.

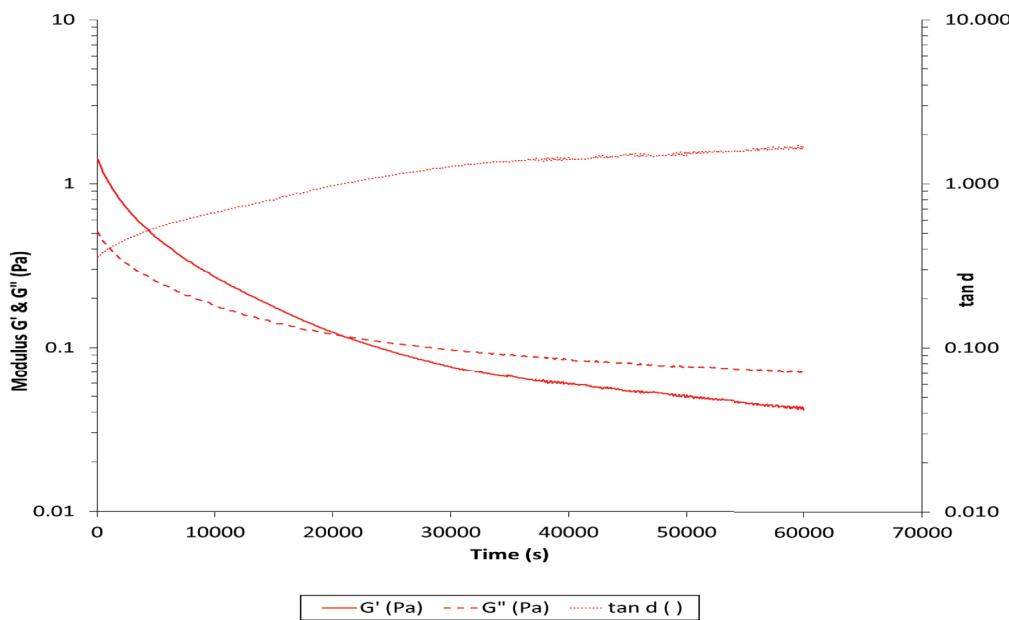
الشكل 30: الخواص الانسيابية لتدفق للغوار ، "G'" و "G''" مقابل الوقت لمحلول غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك (2000 جزء في المليون) من البورات عند درجة حرارة 9.08 ممزوجة بمحلول البكتيناز المخفف.



الشكل 31: الخواص الانسيابية للهلام "G'" و "G''" مقابل وقت محلول غوار الهيدروكسي بروبيل المتقاطع (2000 جزء في المليون) عند درجة حرارة 9.08 مختلطة مع مركب البولي إلكتروليت المحمولة بالبكتيناز.



الشكل 32: الخواص الانسيابية للغوار 'G' و "G" مقابل الوقت لمحلول غوار الهيدروكسي بروبيل المتقاطع (2000 جزء في المليون) عند درجة حرارة 9.08 مختلطة مع تربسات البولي إلكترونيليت متعدد الطبقات ذاتية التجميم المحملة بالبكتيناز.

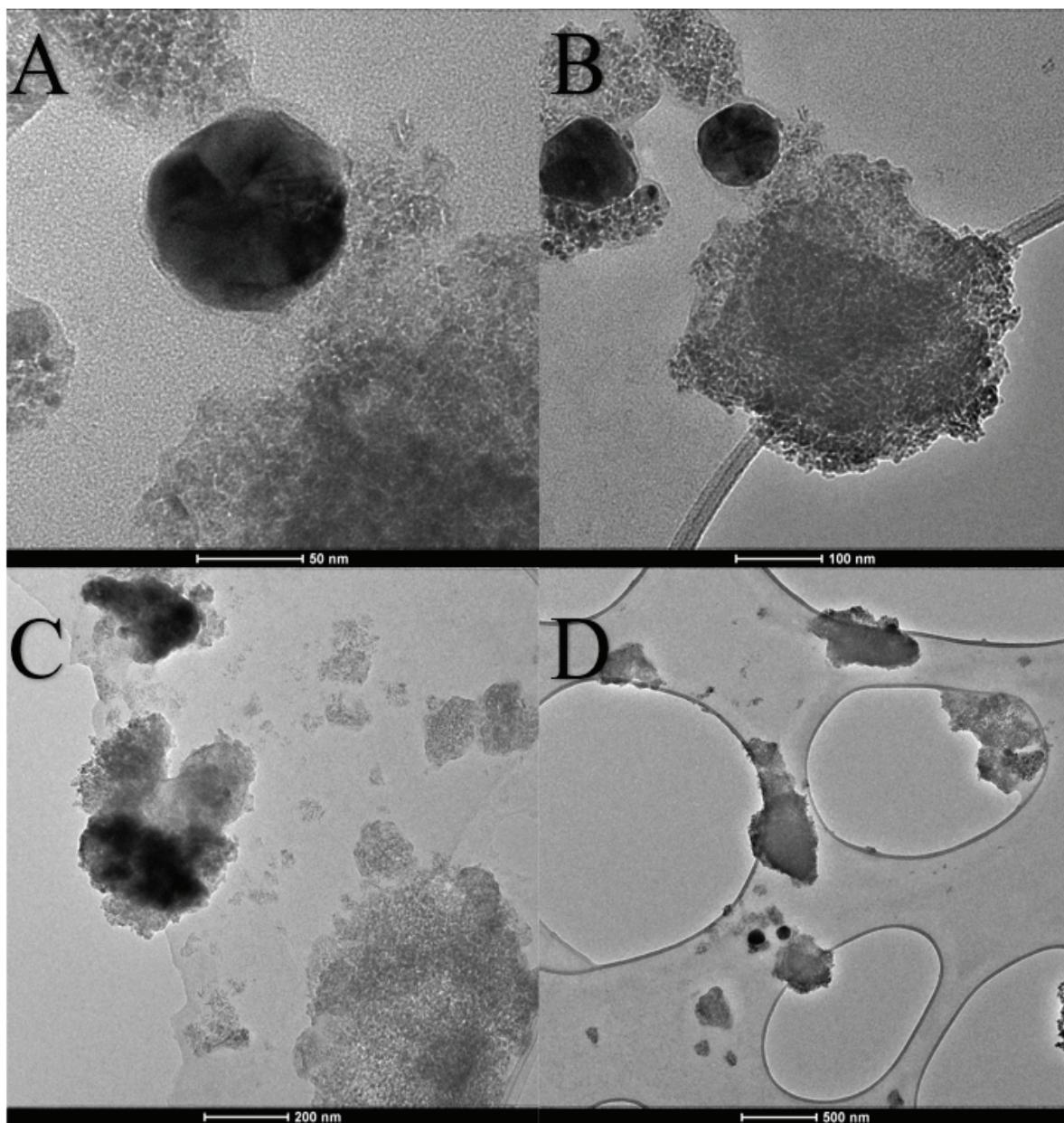


المبحث الخامس: البنية السطحية لتجمعات البولي إلكترونيليت

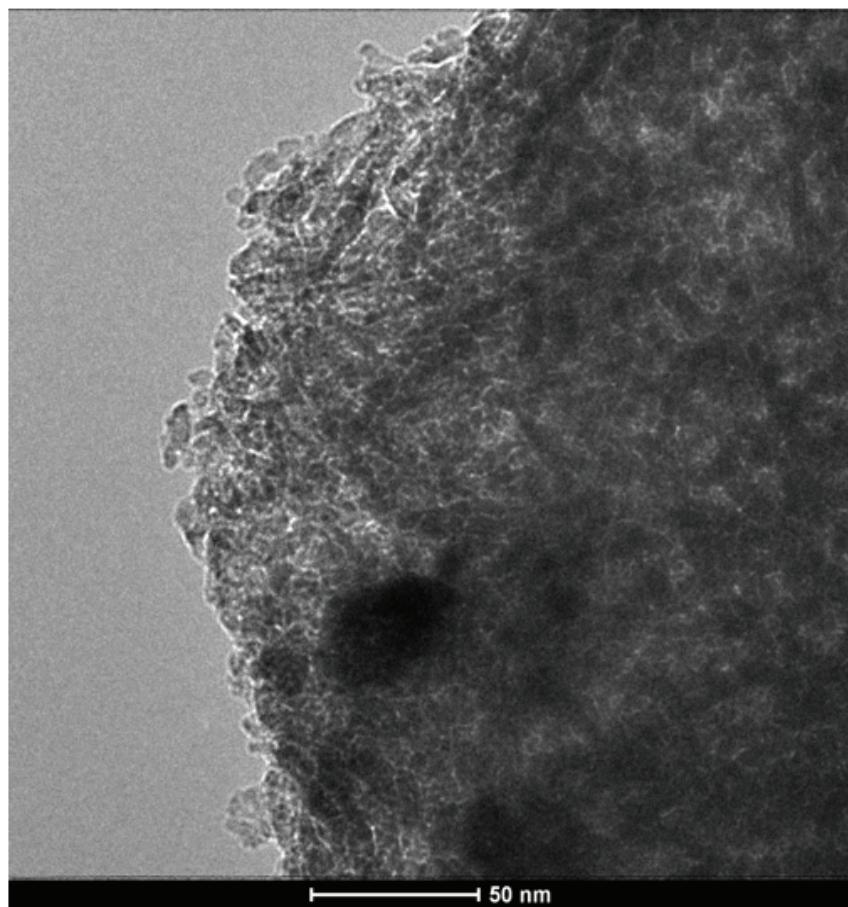
عمدت الدراسة في هذا الجزء إلى تحديد التوزيع المورفولوجي والحجم على مستوى النانومتر لمعملات الجسيمات النانوية المختلفة باستخدام المجهر الإلكتروني النافذ (TEM). وتم تحضير عينات المجهر الإلكتروني النافذ من مركبات البولي إلكترونيليت المحملة بالبكتيناز، وغير محملة بالبكتيناز كعينات للاستلال والملاحظة. كما تم تحضير عينات من مركبات البولي إلكترونيليت متعدد الطبقات المحملة بالبكتيناز وغير محملة بالبكتيناز للمقارنة والاستدلال. حيث تم إسقاط 1 ميكرولت من محلول العينة مباشرة على الشبكة النحاسية للمجهر الإلكتروني النافذ. وتم تحديد التشكل السطحي لعينات الجسيمات النانوية متعددة الإلكترونيليت باستخدام المجال الم Shr و الحقل المظلم باستخدام المجهر الإلكتروني النافذ بجهد تسريع إلكتروني 200 كيلو فولت. وتم التقاط صورة المجهر الإلكتروني النافذ لكل عينة بتكتيريات مختلفة (500 نانومتر، 200 نانومتر، 100 نانومتر، 50 نانومتر) باستخدام جرعة معيارية من الإلكترون وقيمة ثابتة لإلغاء الضيبل البؤري من الكربون على شبكات المجهر الإلكتروني النافذ النحاسية. وتم أخذ جميع قياسات المجهر الإلكتروني النافذ في مختبر التصوير المجهي والتحليلي باستخدام المجهر الإلكتروني النافذ فيليبس CM-12 مع عدسة 70 ميكرون، تعمل عند 200 كيلو فولت، وبدقة 2.0 Å نقطة إلى نقطة. وتم إجراء العديد من تجارب التحكم لاختبار استنساخ النتائج بسبب طريقة تحضير العينة (على سبيل المثال، إيداع العينات كقطرة مقابل تبخر العينة؛ التغييرات في جهد الحزمة، ووقت التعرض). وأظهر الاختبار أن طريقة تحضير العينات من تطبيق حزمة المجهر الإلكتروني النافذ لم يكن لها أي تأثير على النتائج.

يوضح الشكل 33 صور المجهر الإلكتروني النافذ بتكتيريات مختلفة لإنزيم البكتيناز المحاصر داخل مجتمعات الإلكترونيليت. وتُظهر الصور أن البكتيناز يرتبط بالبنية النانوية كما هو موضح في الخلية المظلمة، في حين أن الخلية الواضحة في صور المجهر الإلكتروني النافذ هي المركب الكربوني على شبكات المجهر الإلكتروني النافذ النحاسية. وكشفت صور المجهر الإلكتروني النافذ كذلك أن البكتيناز محاصر داخل بنية شبكة البولي إيثيلين أمين - كبريتات ديكستان، ولوحظ وجود بنية نانوية متعددة الإلكترونيليت وتوزيع حجم الجسيمات بتكتير أعلى (الشكل 34). كما أظهرت صور المجهر الإلكتروني النافذ توزيع حجم الجسيمات النانوية البولي إيثيلين أمين - كبريتات ديكستان والذي كان متسقاً مع النتائج الأخرى التي تم الحصول عليها سابقاً باستخدام جهد زيتا (ZetaPAL Brookhaven Instruments Corp.).

الشكل 33: صورة المجهر الإلكتروني النافذ للبكتيناز المحاصر داخل تجمعات البولي الكتروليت تم التقاطها بتقنيات مختلفة: (أ) و (ب) تم العثور على البكتيناز في محلول السائب غير المحبوس؛ (ج) عدد قليل من جزيئات البكتيناز محاصرة في البنية التانوية؛ (د) تم ترتيب البنية التانوية للبولي الكتروليت في حزمة ومجموع مضغوطة.

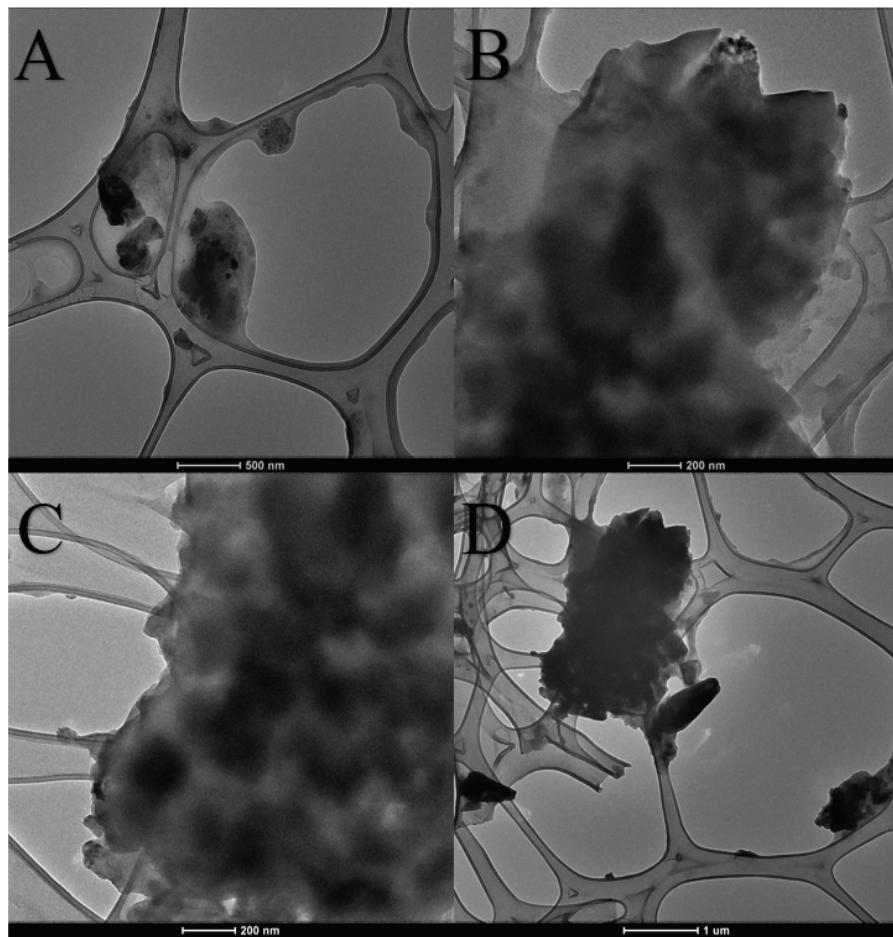


الشكل 34: وجود البكتيناز (خلفية داكنة) في البنية النانوية للشبكة الملقطة بتكبير أعلى (50 نانومتر).



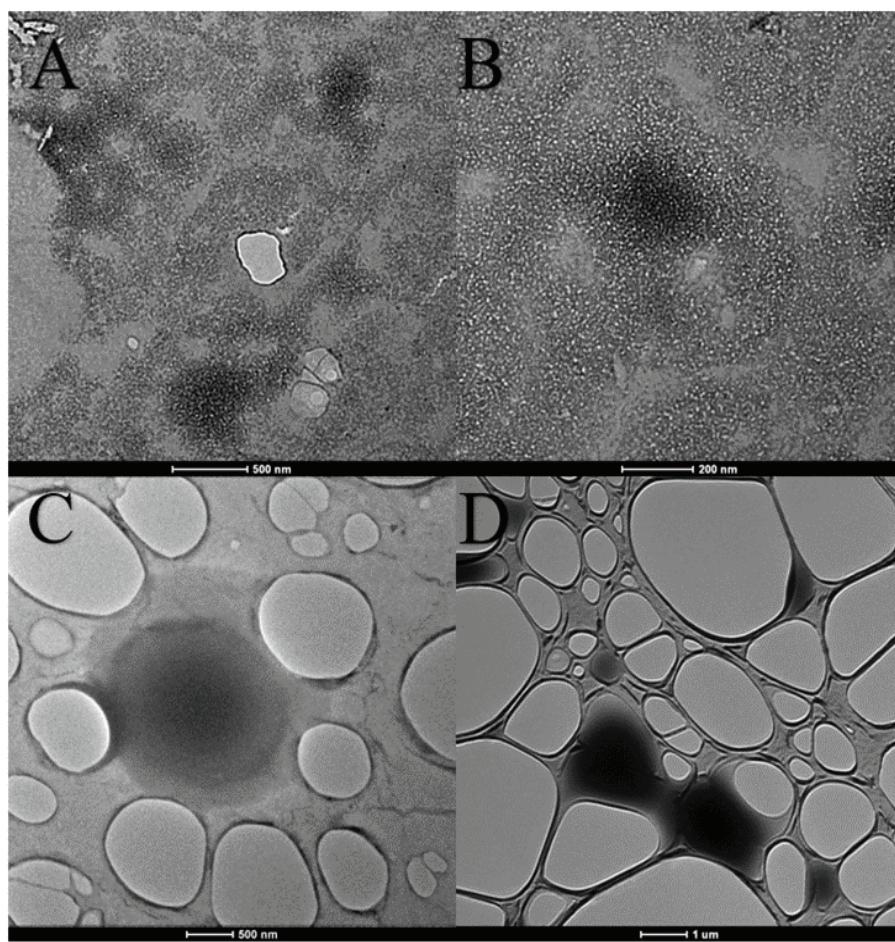
كما تم أيضًا إجراء تصوير المجهر الإلكتروني النافذ لترسبات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات والمحملة بالبكتيناز لدراسة المقارنة. وكما هو مبين في الشكل 35، يتشابه شكل ومورفولوجيا البكتيناز والبنية النانوية في تباين الخلفية. ومع ذلك، تظهر صور طبقات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات توزيعًا أكبر حجمًا وبنية طبقات مجمعة. وتم ترتيب خيوط البولي إلكتروليتات في حزم ومجموعات مدمجة. ويتم تمثيل البكتيناز على أنه تباين مظلم ويوجد داخل الشبكة المجمعة للبني النانوية متعددة الإلكتروليت. وارتباط تأثير تجميع ترسبات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات بتحفيض كمية الإنزيم الحر (غير المحبوس). وتسمح الزيادة في حجم البنية النانوية للجسيمات النانوية متعددة الطبقات بحمل كمية أكبر من البكتيناز، أي قدرة تحمل أعلى.

الشكل 35: صورة المجهر الإلكتروني النافذ للبولي إلكتروليت متعدد الطبقات المحمول بالبكتيناز بتغيرات مختلفة: (أ) لوحظ انخفاض في كمية الإنزيم الحر؛ (ب) و(ج) معظم جزيئات البكتيناز محاصرة في البنية النانوية؛ (D) تم ترتيب خيوط البولي إلكتروليت متعدد الطبقات في حزمة ومجموع مضغوط.



وتتوفر العديد من صور المجهر الإلكتروني النافذ لمعلقات الجسيمات النانوية الخاضعة للملاحظة مقارنة محددة جيداً بين نظام مركب البولي إلكتروليت ونظام ترببات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات الذائي التجميع (الشكل 36). ولم يكن التباين والخلفية لصور المجهر الإلكتروني النافذ الخاصة بمركبات البولي إلكتروليت الخاضعة للملاحظة موحدة مثل الصور الخاصة بمركبات البولي إلكتروليت المحملة بالبكتيناز (الشكل A-36 و B). كما تم تعديل قيم إعدادات حدود الجزء الأغمق والأفتح من الصور لتعزيز وضوح البنية النانوية، كما هو موضح في الشكل 36-د. ويمكن رؤية تأثير الهياكل النانوية المجمعة متعددة الطبقات في معلقات الجسيمات النانوية الخاضعة للملاحظة في الشكل C-36 ، حيث يحيط التربب اللاحق للطبقات بكتل بناء مركب البولي إلكتروليت. ومع ذلك، يُظهر البولي إلكتروليت متعدد الطبقات الخاضع للملاحظة خصائص مشابهة جداً لتلك التي تحتوي على البكتيناز المحبوس؛ بمعنى آخر، تم تحسين توزيع حجم الجسيمات، والاستقرار الغرواني، والتعرّك في الجسيمات النانوية متعددة الطبقات.

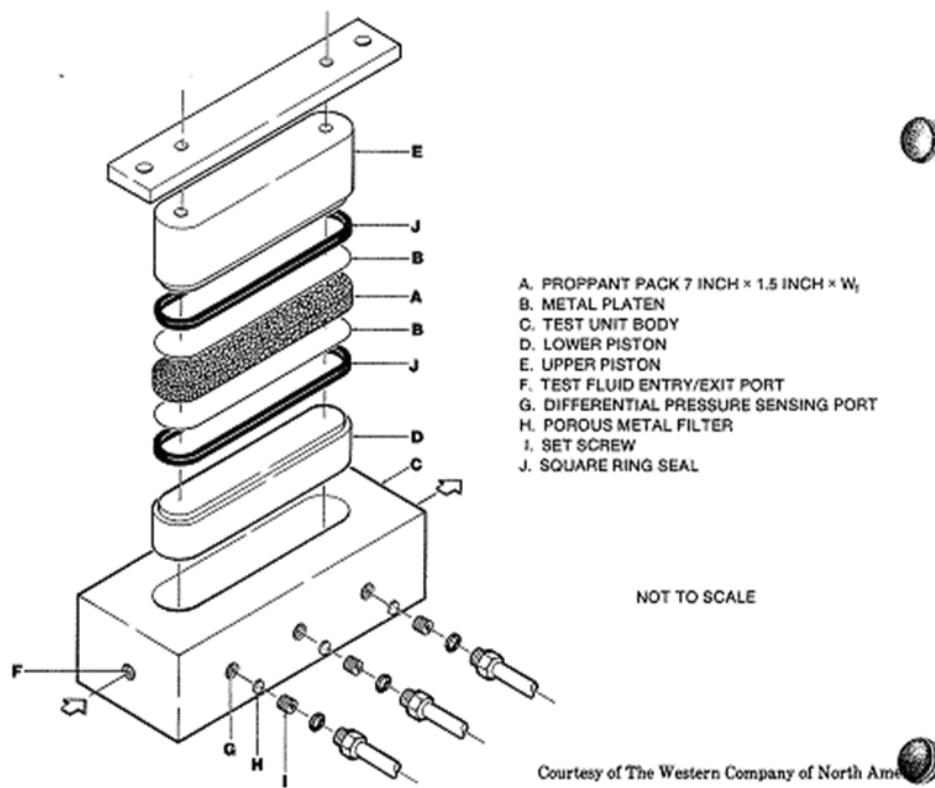
الشكل 36: صور المجهر الإلكتروني النافذ لتجمعات البولي إلكتروليت المتحكم بها بتكتيرات مختلفة وتأثير البنية النانوية المجمعة متعددة الطبقات: (أ) و (ب) التقطت صور مركب البولي إلكتروليت بمقاييس 500 نانومتر و 200 نانومتر؛ (ج) و (د) البنية النانوية للبولي إلكتروليت متعدد الطبقات عند 500 نانومتر و 1000 نانومتر.



المبحث السادس: تنظيف الحزمة الوقائية باستخدام اختبار موصلية الكسر

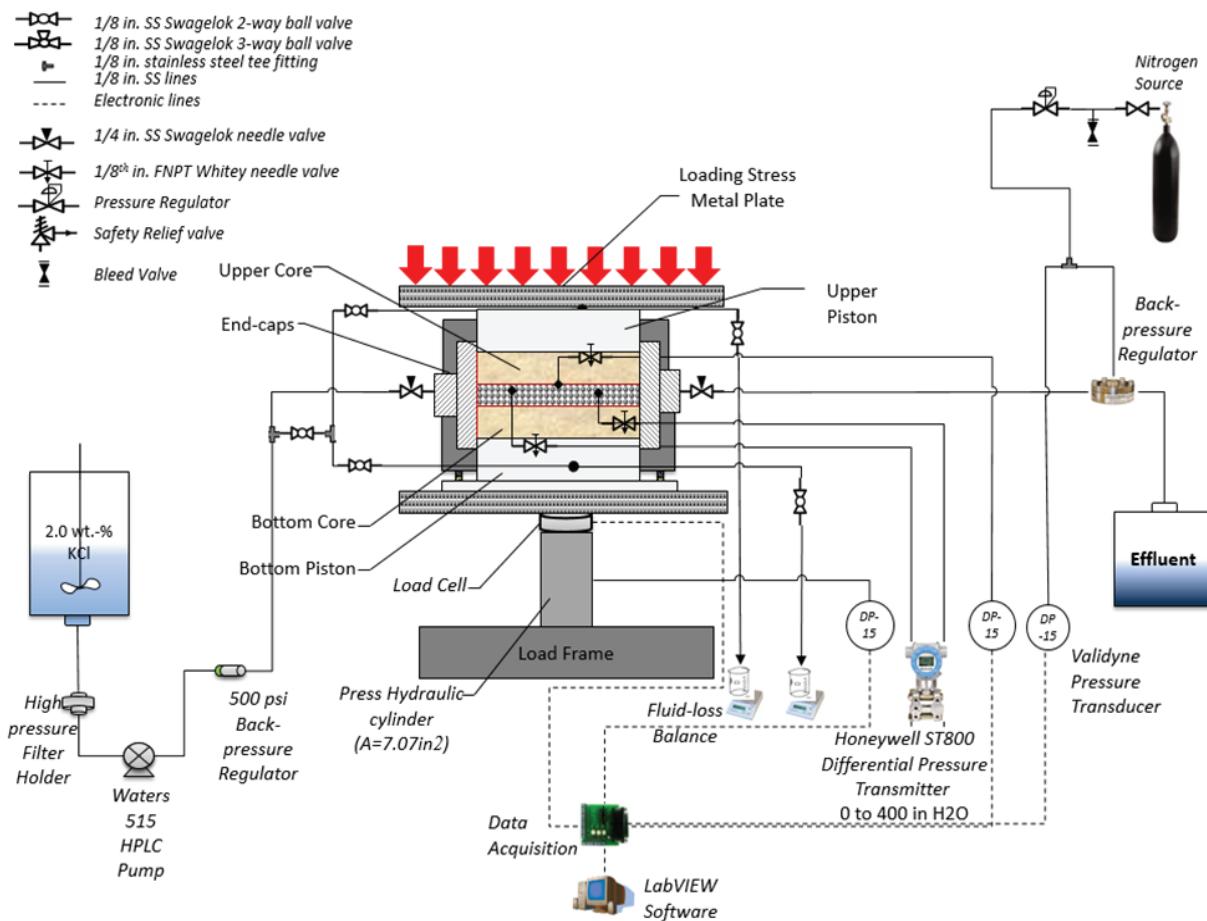
عمدت الدراسة في هذا الجزء إلى تقييم مواد الدعامات تحت ظروف المكمن باستخدام خلية توصيل الكسر RP-61 المعدلة من معهد البترول الأمريكي (API). وت تكون خلية توصل الكسر RP-61 من جسم الخلية ومكبسين وإدخالات تدفق كما هو موضح في الشكل 37. حيث تم استخدام خلية توصيل معهد البترول الأمريكي المعدلة (ISO13503-5) متبرعة بإجراء تنظيف الكسر طويلاً الأجل. وتم اختبار موائع التكسير في جهاز التوصيل لحزمة الدعامة. وت تكون سوائل الاختبار من غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك بالبورات، مع قواطع الإنزيم سواء كانت مغلفة داخل مركب البولي إلكتروليت متعدد الطبقات أو المشتقة بحرية.

الشكل 37: رسم توضيحي تخطيطي لوحدة اختبار موصلية حزمة مواد الدعم معهد البترول الأمريكي (API-61) (81).



وتشمل إعدادات تجربة قياس موصلية الكسر من خلية توصيل كسر API-61 معدلة، وإطار حمل هيدروليكي لتطبيق إجهاد الإغلاق، ومضخة معدل تدفق ثابت، وأسطوانة نقل عالية الضغط، ونظام تدفق مع إمكانية التسرب، ومحولات ضغط تفاضلية، منظم الضغط الخلفي، والمعدات المساعدة لجمع البيانات (الشكل 38). كما يلاحظ أيضاً بأن جميع خطوط التدفق والتوصيات بقطر ¼ بوصة من الفولاذ المقاوم للصدأ. وتم استخدام الصمامات الكروية وخطوط الالتفاف للتنظيف بعد كل تجربة.

الشكل 38: رسم توضيحي تخطيطي لجهاز اختبار الموصولة لحزمة مادة الدعم.



وأثبتت فاعلية إجراء سلسلة من الاختبارات لتقييم موصولة الكسر وتحسين النفاذية التي تم تحقيقها من خلال إضافة جزيئات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات إلى غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك بالبورات. وتمت مقارنة تأثير الإنزيم المحتجز داخل تربات الجسيمات النانوية مع محاليل الإنزيم الحرة (الغير متحجزة) والممزوجة عشوائياً في السوائل التكسير. وتم اختبار خمسة أنظمة للسوائل باستخدام خلية توصيل الكسر: (1) سائل تنظيف أساسى، على سبيل المثال 2.0 وزن-% كلوريد البوتاسيوم؛ (2) محلول بوليمر غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك بالبورات بدون قاطع؛ (3) محلول بوليمر غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك بالبورات المخلوط مع قاطع الإنزيم، على سبيل المثال 0.1 وزن-% بكتيناز؛ (4) محلول بوليمر غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك بالبورات الممزوج بجسيمات نانوية ذات طبقة أحادية محملة بإينزيم البكتيناز؛ و (5) محلول بوليمر غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك بالبورات الممزوج بـ البولي إلكتروليت متعدد الطبقات المحمل بإينزيم البكتيناز. ويوضح الجدول 10 المكونات الكيميائية وتركيزاتها النهائية في نظام هلام غوار الهيدروكسي بروبيل-البوريaks. ويوضح الشكل 40 نتائج التوصيلية والنفاذية لحزمة مادة الدعم مقابل إجهاد الإغلاق واختبار نظام السوائل، باستخدام مادة دعم 20/40 lb/in² لتحميل مادة دعم 2.0 موضعية بين رقائق أساسية من الحجر الرملي من تكوين أوهابيو الصخري. وبينما تم استخدام أنظمة سوائل مختلفة أثناء اختبار الموصولة، شهدت جميع أنظمة السوائل انخفاضاً في الموصولة عند زيادة الإغلاق. وتم قياس موصولة نظام السائل "خط الأساس" الداعم باستخدام 2.0 وزن-% كلوريد البوتاسيوم وعند ضغط إغلاق من 1000 إلى 6000 رطل لكل بوصة مربعة مع عدم وجود هلام في عبوة مادة الدعم. وتمت مقارنة الموصلات الأساسية مع الموصلات المرجعية في مختبر CARBO-Ceramic. فعلى سبيل المثال، تم قياس موصولة الكسر الأساسية البالغة $503.1 \pm 6,913$ ملي دارسي-قدم عند 40 درجة مئوية تحت إجهاد إغلاق 2000 رطل، في حين أن الموصولة المرجعية بمختبر CARBO-Ceramic عند 121 درجة مئوية تحت ضغط إغلاق 2000 رطل لكل بوصة مربعة كانت 6300 ملي-دارسي-قدم.

الجدول 10: تركيزات غوار الهيدروكسي بروبيل و البوراكس و البولي إيثيلين أمين و كبريتات ديكستران في المخزون والمحاليل النهائية.

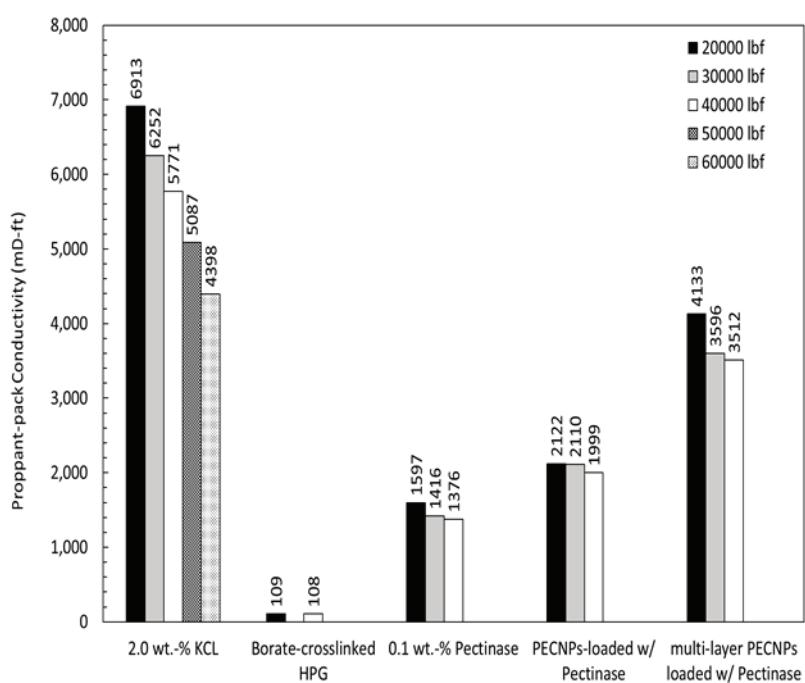
النظام الماء جزء في المليون من غوار الهيدروكسي بروبيل جزء في المليون (مل)	جزء في المليون من بوراكس جزء في المليون (مل)	أنظمة السوائل المستخدمة في اختبار تقييم موصلية الكسر					
						غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك	غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك + البكتيناز
0	38.5	0	0	38.5	123	غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك	غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك + البكتيناز
0	0	0	38.5	38.5	123	غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك + الجسيمات النانوية أحادية الطقة	غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك + جسيمات البولي إكتروليت متعدد الطبقات
0	0	38.5	0	38.5	123	غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك + جسيمات البولي إكتروليت متعدد الطبقات	خط الأساس
200	0	0	0	0	0		

وأوضح باحثون آخرون (82-84) قيم مرجعية مختلفة لموصلية الكسر لنظام السائل "خط الأساس" (2.0 وزن-% كلوريد البوتاسيوم). وقد يُعزى هذا الاختلاف إلى الاختلاف في الموصولة المرجعية إلى بيئة الموصولة وظروف الاختبار. وقد تؤثر تأثيرات درجة الحرارة المتزايدة، وتركيز مادة الدعم غير المنتظم، وتحلل مادة الدعم على المدى الطويل بشكل كبير على الموصولة والنفاذية لحزمة مادة الدعم (85).

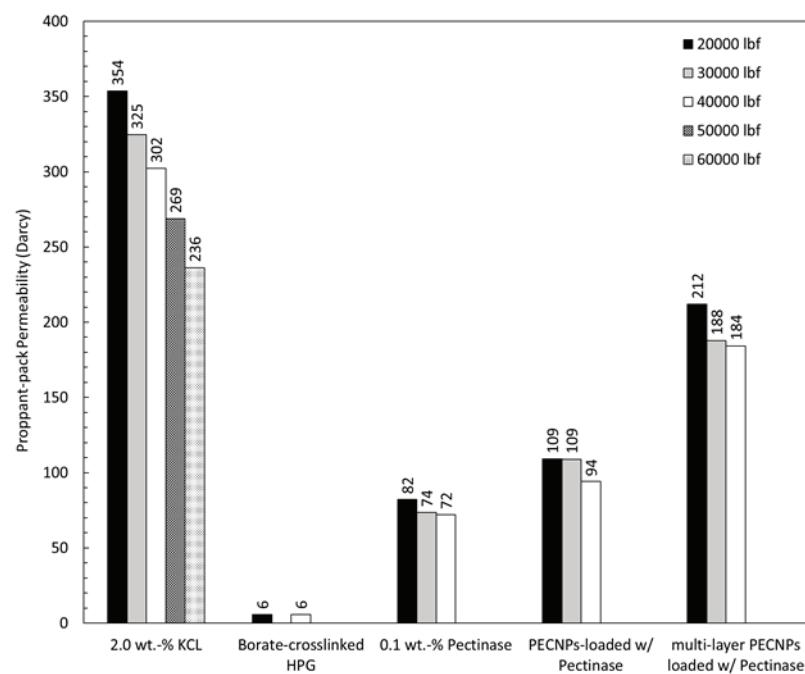
وكشفت نتائج اختبار موصلية الكسر، كما هو مبين في الشكل 39، أن غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك البورات يسبب أقصى قيم ممكنة لتلف الكسر في حالة عدم إضافة قاطع، حيث سجلت نسبة تلف لموصلية الكسر أكثر من 98%. ولاحظت العديد من الدراسات سابقاً (86, 87) أن ذلك يتكون باستخدام مركبات الغوار المركيزة وسوائل التكسير المعتمدة على غوار الهيدروكسي بروبيل. ويرجع التلف الناجم في موصلية الكسر إلى كتلة كعكة الترشيح المتكبونة أثناء مرحلة تسرب السوائل خارج مسار الكسر وإلى التكوينات الصخرية المقابلة لطول الكسر، حيث لوحظ ارتفاع ضغط الحقن بعد بدء عملية التنظيف، مما يشير إلى "نقطة إجهاد shear stress" عالية الذي تمارسه كعكة الترشيح على امتداد طول مسار الكسر، ومدى حجم التلف داخل عبوة مادة الدعم. وفي حالة عدم إضافة قواتع إلى سوائل التكسير، تترافق كعكة الترشيج على حزمه مادة الدعم مما يسبب الإغلاق لموصلية الكسر بالكامل. ويعتبر هذا التأثير مرتبطة بشكل مباشر بقيم نقاط الإجهاد على مائع التكسير وكمية الطاقة لازمة للتغلب على نقطة الإجهاد لبدء التدفق عبر الهلام غير المنكسر، حيث يمكن أن يؤثر إجهاد الخضوع المرتفع بشكل كبير على تنظيف الهلام وبالتالي يقل إنتاج سوائل النفط والغاز (11).

من ناحية أخرى، أظهرت نتائج اختبار موصلية الكسر، كما هو مبين في الشكل 40، بإن إضافة القواطع مثل إنزيم البكتيناز إلى سوائل التكسير (بنسبة 0.1 وزن-%) يحسن عملية تنظيف الكسر ويساهم في زيادة النفاذية داخل عبوة مادة الدعم، حيث سجلت نسب تحسين النفاذية بمقدار 25% في أنظمة السوائل التي تحتوي الإنزيم الحر (الغير محتاج) بشكل عشوائي في سوائل الكسر، بينما سجلت أنظمة السوائل التي تستخدم الإنزيم المغلف تحسيناً ملحوظاً بمقدار 34% لبولي الكتروليت أحادية الطبقة. كما أظهرت النتائج قدرة أنظمة السوائل التي تستخدم جسيمات البولي إكتروليت النانوية متعدد الطبقات على تنظيف الكسر بكفاءة عالية، حيث ساهمت بشكل كبير في تحسين موصلية ونفاذية مادة الدعم بنسبة 60% مما يدل على تأثير التوزيع المتحكم فيه للجسيمات النانوية في كعكة الترشيج وعلى امتداد طول وجه الكسر بالكامل؛ على عكس التشتت العشوائي عندما يكون الإنزيم غير محاصر. بالإضافة إلى ذلك، يوضح نظام السوائل للبولي إكتروليت متعدد الطبقات توزيعاً محسناً للجسيمات النانوية، وإطلاقاً مستداماً للإنزيم، وتحميلاً عالياً للإنزيم، وكفاءة محسنة للاحتجاز. ويسمح هذا بإضافة تركيزات إنزيم أعلى دون المساس بخصائص السوائل أثناء المعالجة، مما قد يؤدي بشكل فعال إلى تدهور الهلام المتبقى المركز. وفي جميع الحالات، من الواضح أن وجود قاطع في سائل التكسير يقلل من تلف موصلية الكسر؛ ومع ذلك، فإن تغليف الإنزيم والتحكم فيه يوفر تنظيفاً أكثر فعالية وإنجازية مثالية.

الشكل 39: تقييم تنظيف الكسر من تربات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات ذاتية التجميع باستخدام اختبار موصلية الكسر.



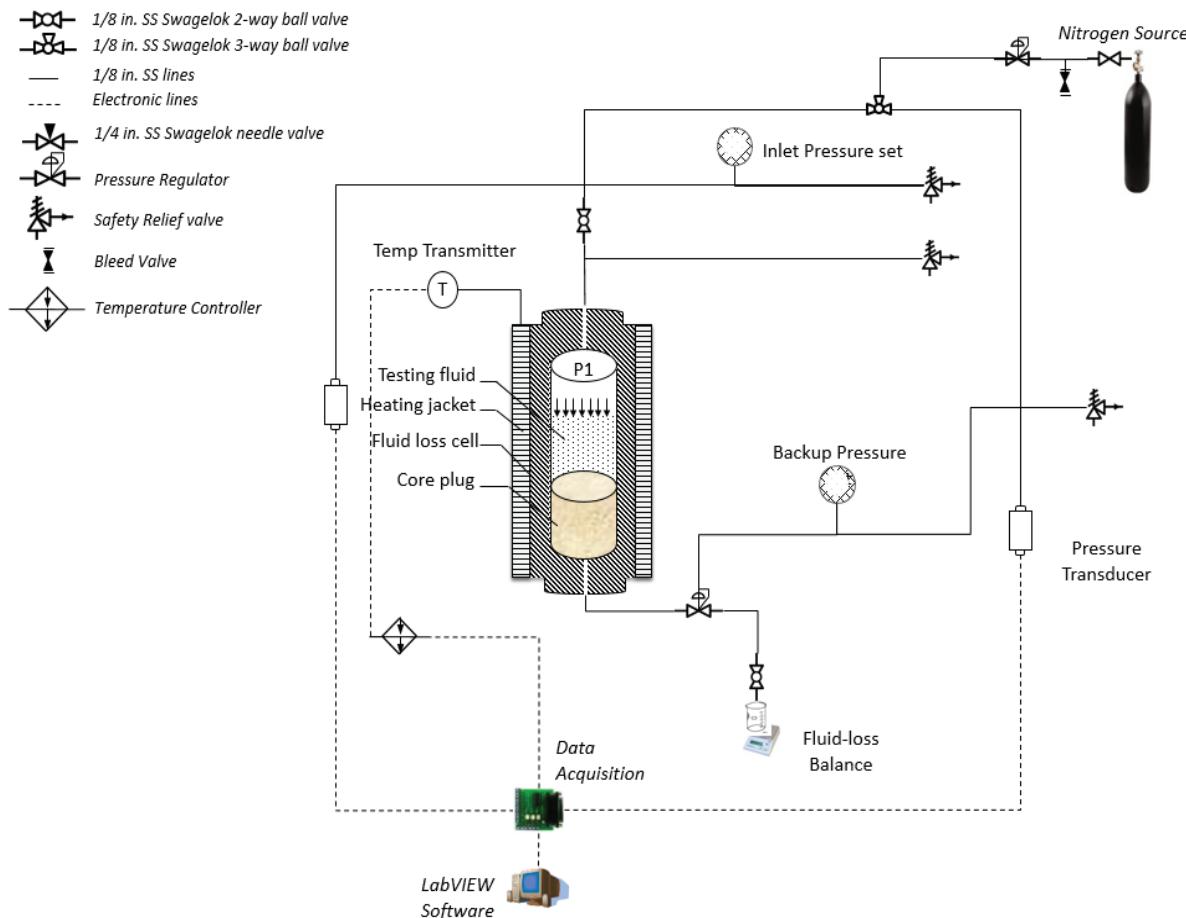
الشكل 40: مقارنة نفاذية عبوة الدعامة المقاسة باستخدام أنظمة موائع مختلفة.



المبحث السابع: خصائص فقدان السوائل لتجمعات البولي إلكتروlyt

كشفت الدراسة في هذا المبحث إلى تقييم خصائص فقدان السوائل لنظام التكسير التي تحتوي على الجسيمات النانوية متعددة الطبقات تحت ظروف ثابتة باستخدام خلية فقدان السوائل (RP-39) ذات الضغط العالي. وتم ترشيح محلول غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك بالبورات الممزوج بالجسيمات النانوية ضد المقابس الأساسية ذات النفاذية المماثلة. ويظهر الرسم التخطيطي للجهاز المستخدم في الشكل 41. ويكون جهاز فقدان السوائل من مجموعة خلايا فقدان السوائل (RP-39)، ومحولات الطاقة، وإمداد النيتروجين، وسترة التسخين، ومنظم الضغط الخلفي، والمعدات المساعدة لجمع البيانات ومعالجتها. كما أن خطوط التدفق والتوصيلات يقتصر $\frac{1}{8}$ بوصة من الفولاذ مقاوم للصدأ. وتم استخدام الصمامات الكروية والخطوط الالتفافية لتجميع الترشيح. وتم التبرع بخلية فقدان السوائل من قبل مختبر شلمبرجير للتحفيز (شلمبرجير إنك، هيوستن، تكساس). وهي تتتألف من خلية ضغط أسطوانية مجوفة وغطاءان طرفيان. وجميع الأجزاء مصنوعة من الفولاذ مقاوم للصدأ PV-334 وتم تصنيفها لـ 1000 رطل لكل بوصة مربعة. وتحتوي مجموعة خلايا فقدان السوائل على ثلاثة إعدادات مختلفة اعتماداً على نوع الوسيط المسامي المستخدم في اختبار التسرب: ورق الترشيح أو الأقراص الخزفية أو المقابس الأساسية. ومع ذلك، في هذا الاختبار، تم استخدام المقابس الأساسية بحجم 1 بوصة \times 1 بوصة كوسبيط مسامي لقياس تأثيرات كعكة الجدار. وتتضمن إعدادات المقابس الأساسية مرفقات طرفية مثل غلاف مطاطي، وغطاء بلاستيكي، وحافظة من الفولاذ مقاوم للصدأ، ووعاء مدبوب من الفولاذ مقاوم للصدأ.

الشكل 41: رسم تخطيطي لجهاز فقدان السوائل.



ويتكون نظام الماء المستخدم في اختبار تسرب السائل من محلول بوليمر غوار الهيدروكسي بروبيل متشابك البورات. وتم خلط الجسيمات النانوية المخففة مع 5000 جزء في المليون من غوار الهيدروكسي بروبيل قبل إضافة 2000 جزء في المليون من البورات. وتعديل الرقم الهيدروجيني للمحلول النهائي إلى 9.20 باستخدام 0.1 مolar هيدروكسيد الصوديوم حيث زادت أيونات البورات في

المحلول عند مستويات الأُس الهيدروجيني أكبر من 9. وتم شراء عينة اللب الصخرية من الحجر الرملي أوهابيو (12 بوصة في الطول، 1 بوصة في القطر) من صناعات Kocurek. وتم قطع ما مجموعه 11 في 1 بوصة من مقابس اللب قبل التجربة. وتم قياس طول وقطر هذا اللب باستخدام فرجار CD-6 Inc. (Mitutoyo Inc، اليابان). وكانت هناك حاجة إلى ثلاث قراءات قياس على الأقل لحساب متوسط حجم الكتلة. بعد ذلك تم تجفيف اللب في فرن 76 درجة مئوية (Alfie Packer Inc.)، الولايات المتحدة الأمريكية) لمدة 48 ساعة على الأقل حتى لا يتغير الوزن بشكل ملحوظ ($\Delta=0.01$ جم). ولتقليل تأثير معامل انصهاطية السوائل أثناء التجربة، فقد تم تشبع سدادات اللب بـ 2.0 وزن-% كلوريدي البوتاسيوم تحت فراغ 740 ملم زئبق لمدة 24 ساعة قبل التجربة. وتم تحديد اللب بطريقة التشرب وقياس نفاديته باستخدام الإعداد التجريبي لغمر اللب.

كما تم إجراء سلسلة من الاختبارات لتقييم تأثير من فقدان السوائل لتجمعات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات. لدراسة مقاومة تأثير الجسيمات النانوية على معدلات التسرب ونفادية سدادات اللب مع تأثيرات السوائل المركزة المتباينة. وعمدت هذه الدراسة إلى اختبار ثلاثة أنظمة موائع باستخدام خلية فقدان مائع ثابتة: (1) محلول بوليمر غوار الهيدروكسي بروبيل متشابك البورات بدون قاطع؛ (2) محلول بوليمر غوار الهيدروكسي بروبيل متشابك البورات ممزوج بجسيمات نانوية تقليدية (أحادية الطبقة)؛ و (3) محلول بوليمر غوار الهيدروكسي بروبيل متشابك البورات الممزوج بجزيئات نانوية متعددة الطبقات وذاتية التجميع. ويرد وصف هذه السوائل وتركيبها النهائي في الجدول 11، والذي يوضح المكونات الكيميائية وتركيباتها النهائية في نظام هلام غوار الهيدروكسي بروبيل - بوراكس.

الجدول 10: تركيزات غوار الهيدروكسي بروبيل وبوراكس والبولي إيثيلين أمين وكبريتات ديكستران في المخزون والمحاليل النهائية.

الكتلة (مل)	البولي إلكتروليت متعدد الطبقات (مل)	البولي إلكتروليت / البولي إلكتروليت متعدد الطبقات	وزن -% من البكتيناز	بسطر عليها مركب مياه التناضح العصكي	أنظمة السوائل المستخدمة في اختبار تقييم تسرب السوائل	
					جزء في المليون من غوار	جزء في المليون من غوار
38.5	0	0	38.5	38.5	123	محلول بوليمر غوار الهيدروكسي بروبيل متشابك بورات
0	38.5	0	38.5	38.5	123	محلول بوليمر غوار الهيدروكسي بروبيل متشابك بورات + الجسيمات النانوية أحادية الطبقة
0	38.5	0	38.5	38.5	123	محلول بوليمر غوار الهيدروكسي بروبيل متشابك بورات + الجسيمات النانوية متعددة الطبقات

وتحتاج نتائج اختبارات فقدان السوائل الثابتة لعدة أنواع من السوائل في الشكل 42. وحيث تمت دراسة خصائص فقد السوائل باستخدام مفهوم معاملات الجدار التي طورها Howard و Fast (89) والمحدد في المرجع الحسابي API- RP 39 كما هو موضح في المعادلات (5) و (6). كما تم رسم كمية سائل الترشيح مقابل الجذر التربيعي للوقت (دقيقة $^{1/2}$) وتم حساب معامل الانحدار، m ، والتقطاع، V_{sp} ، عن طريق علاقة الانحدار الخطية. كما تم حساب فقد المائع لمعامل الجدار، C_w ، لكل عينة سائلة في هذه الدراسية، وفقاً للمعادلة:

$$(5) \quad V_L = 2C_w * \sqrt{t} \Big|_{V=V_{spt}}^{\infty} + V_{spt}$$

$$(6) \quad C_w = 0.0164 * m/A$$

حيث:

V_L = إجمالي حجم فقد السوائل معبراً عنه بالملليلتر (مل)؛

C_w = معامل جدار فقد السوائل معبراً عنه بالقدم لكل جذر تربيعي للدقيقة (قدم/دقيقة $^{1/2}$)؛

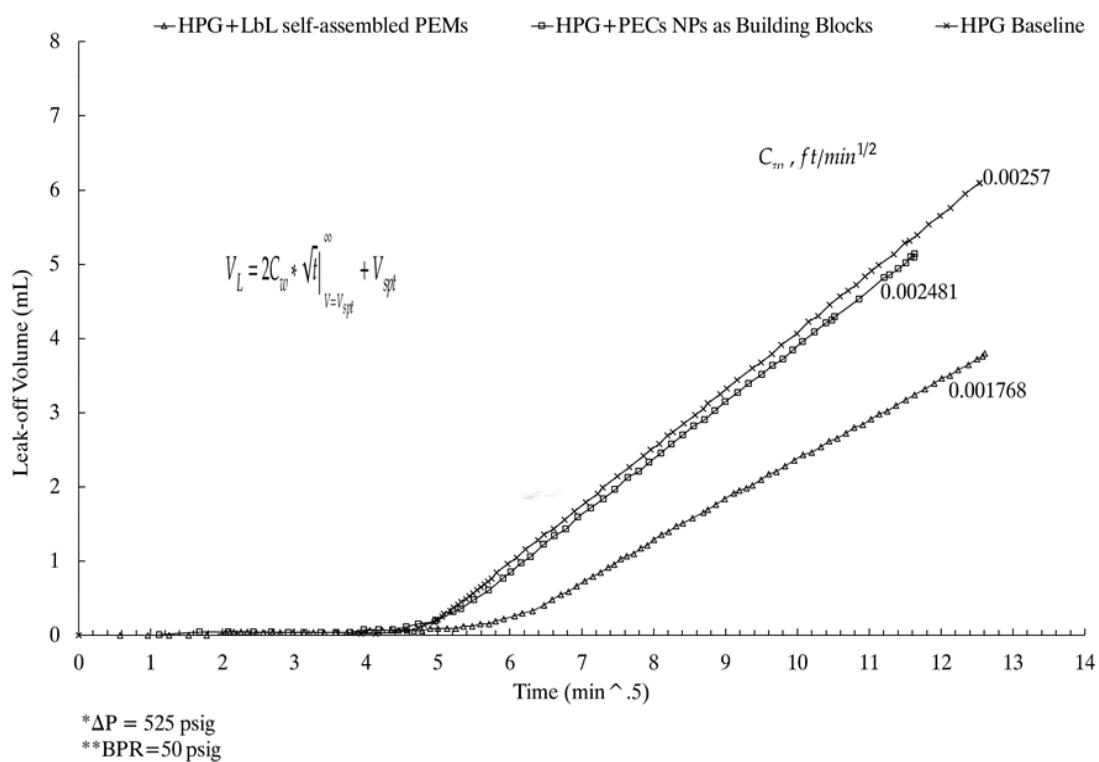
V_{spt} = معامل فقد الاندفاع معبراً عنه بالملليلتر (مل)؛

t = المدة الزمنية الإجمالية لاختبار فقد السوائل معبراً عنها بالدقائق (دقيقة)؛

A = مساحة المقطع العرضي لمقبس اللب معبراً عنها بالستيمتر المربع (سم^2)؛ و
 m = ميل الخط للرسم البياني الزمني معبراً عنه بالملليتر لكل جذر تربعي للدقيقة (مل/دقيقة%).

وتشير مقارنة قيم معامل جدار فقد السوائل، الموضحة في الشكل 42، إلى أن إضافة الجسيمات النانوية تمنح أداء أفضل لفقدان السوائل على غوار الهيدروكسي بروبيل المركز المتشابك البورات. حيث بلغ معامل جدار فقد السوائل 0.002576 قدم/دقيقة عند عدم وجود إضافات. وساهمت إضافة الجسيمات النانوية لمركب البولي إلكتروليت في مائع التكسير في انخفاض طفيف لقيم معامل جدار فقد السوائل (0.002481 قدم/دقيقة%). وهذه النتائج تتفق مع الاختبارات السابقة التي أظهرت تحسناً في خصائص فقدان السوائل بعد إضافة الجسيمات النانوية لمركب البولي إلكتروليت (82). ومع ذلك، لوحظ أن إضافة الجسيمات النانوية متعددة الطبقات إلى سائل التكسير أدى لتحسين تأثير منع فقدان السوائل بشكل كبير وأصبحت قيمة معامل جدار فقد السوائل أقل إلى 0.001768 قدم/دقيقة%. ولوحظ أن قيم الخسارة المفاجئة باستخدام ترببات البولي إلكتروليت متعددة الطبقات تتسبب في انخفاض حجم الترشيح عن تلك الموجودة في محلول المتشابك. وسجلت قيم معامل جدار فقد السوائل باستخدام نظام سائل الجسيمات النانوية متعددة الطبقات ثباتاً نسبياً أثناء اختبار فقد السوائل. علاوة على ذلك، تجدر الإشارة إلى أن إضافة الجسيمات النانوية متعددة الطبقات في مائع التكسير أنتجت كعكة ترشيح بيضاء غير شفافة بدلاً من كعكة الترشيح الشفافة عند استخدام محلول بوليمر متشابك. مما يدل على أن الجسيمات النانوية من البولي إيثيلين أمين-كربيتات ديكستران تعمل كحلقة وصل متقطعة لسلسل البوليمر ينبع عن شبكة هيكلية هلامية قوية وتحكم أفضل في منع التسرب. وكشفت تأثيرات التجسير لمركبات البولي إيثيلين أمين-كربيتات ديكستران عن قالب ترشيح ملون ذو كثافة عالية، مما يشير إلى كفاءة التشتت المتجانس للجسيمات وتكون ذات حجم مناسب لاختراق كعكة المرشح. حيث يبلغ متوسط حجم الجسيمات لنظام سائل البولي إلكتروليت متعددة الطبقات ذاتية الجميع، كما هو موضح في الجدول 8، 640 نانومتر مع انحراف معياري قدره 20 نانومتر؛ ونظرًا لصغر حجمها فإن هذه الجسيمات سوف تخترق وتسد ثقوب المسام في التكوين الصخري. وبناءً على الخصائص المضافة لفقدان السوائل لحجم الجزيئات وتوزيعها، يمكن أن تكون إضافة الجسيمات النانوية في نظام سوائل التكسير مفيدة للتحكم في فقد السوائل، بالإضافة إلى العديد من إضافات فقدان السوائل الأخرى، مثل مسحوق السيليكا، والتي، عند 20 رطلاً / 1,000، يبلغ متوسط حجم الجسيمات 2 ميكرون مع انحراف معياري 1.6 ميكرون.

الشكل 42: اختبار فقدان السوائل الثابت لسائل الخط الأساسي، والجسيمات النانوية لمركب البولي إلكتروليت، والجسيمات النانوية للبولي إلكتروليت متعدد الطبقات باستخدام مفهوم معاملات الجدار.

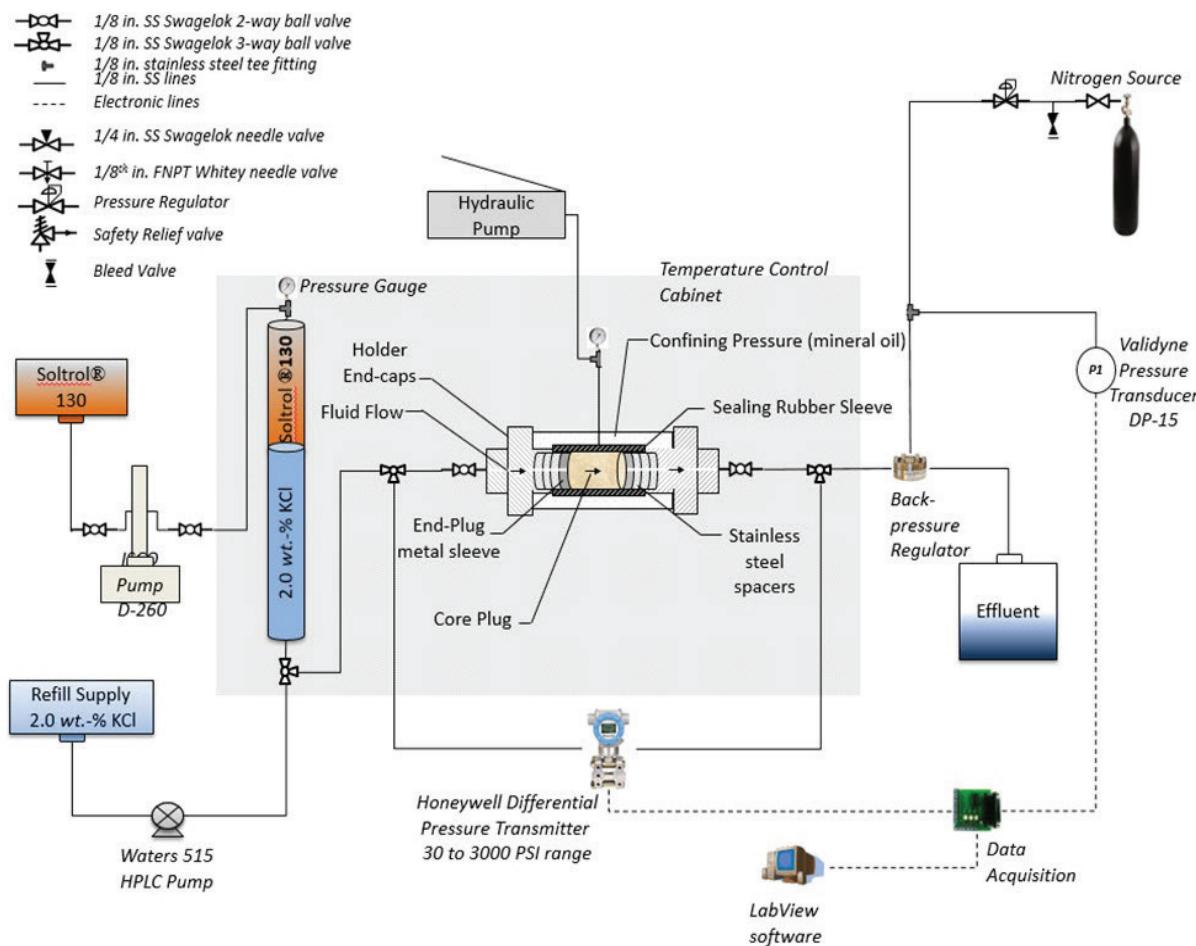


المبحث الثامن: اختبارات نزوح السوائل

من خلال هذه الدراسة، تم قياس نفاذية العينات الصخرية الأساسية المستخدمة في اختبارات فقد السوائل باستخدام الإعداد التجاري لغمر اللب الموجود في مختبر البترول للموارد غير التقليدية. ويوضح الشكل 43 مخططاً تخطيطياً لجهاز قياس النفاذية. حيث تم استخدام حامل اللب من النوع Hassler-type core holder في المقابس الأساسية 1 بوصة × 1 بوصة المستخدمة لاختبار فقد السوائل الثابت وإدخال اللب الصخري الأساسي في الحامل ووضعه في منتصف الأكمام المطاطية المانعة للتسلر، وكذلك إدخال الأكمام المعدنية للسدادة النهائية على جانبي الحامل الأساسي ودفعها مقابل اللب الصخري الأساسي. كما تم استخدام حلقات المباعدة المصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ لثبيت الأكمام المعدنية في مكانها مع تثبيت غطاء نهاية الحامل بإحكام على الحامل الأساسي. ويتم تحمليل اللب الصخري ضغط جانبي قدره 750 رطل / بوصة مربعة باستخدام مضخة زيت Enerx مليئة بالزيت الهيدروليكي Enerpac HF-101 (الولايات المتحدة الأمريكية) وذلك لمنع تسرب السائل أثناء الاختبار. وبعد توصيل مضخة حقنة ISCO D260 مملوءة بـ 130° Soltrol (شركة شيفرون فيليبس للكيماويات، الولايات المتحدة الأمريكية) بمكبس عائم يحتوي على 2.0 وزن-% محلول كلوريد البوتاسيوم، يتم أخذ قراءات الضغط التفاضلي من نقاط وصول الضغط الموجودة عبر حامل القلب من نوع Hassler. وكانت نقاط الضغط هذه بقطر ¼ بوصة وصمامات كروية ثلاثة الاتجاه من الفولاذ المقاوم للصدأ Swaglok. حيث يتم توصيل تركيبات أنبوب Soltrol بـ 130° Honeywell ST800. وكان لجهاز إرسال الضغط نطاق 0-3000 رطل لكل بوصة مربعة بمستوى دقة ± 0.05 % من قيمة النطاق الأعلى (أي ± 1.5 رطل لكل بوصة مربعة). ويعنى جهاز إرسال الضغط بـ 130° Soltrol لمنع حدوث أضرار تأكل للمعدات والتي من المحتمل أن تعرّض نتائج الاختبار للخطر. حيث يتم ربط جهاز إرسال الضغط بلوحة طرفية SCB-68 من شركة National Belden M84551 وتطبيق نظام خاص لبرمجة الحصول على البيانات في الكمبيوتر Instrument™.

باستخدام برنامج LabView™ 10.0 software. حيث يقوم البرنامج بتحويل تيارات الإدخال من 4 إلى 20 مللي أمير لتوسيع البيانات الناظري لقيم الضغط لعرض بيانات الضغط كمحططات موجية في اللوحة الأمامية ولتخزينها في ملف يسمى coreflood.txt ، والذي يمكن تصديره إلى برنامج الإكسل لمزيد من التحليل. واثناء اختبارات نزوح السوائل، يتم الحفاظ على درجة حرارة الإعداد التجاري لغمير اللب عند 40 درجة مئوية بواسطة خزانة حمام الهواء وذلك عند طريق تسخين حمام الهواء باستخدام سخان لوحه معدنية ومروره كهربائية متصلة بجهاز التحكم في درجة الحرارة وضبط وحدة التحكم على قيمة درجة الحرارة المرغوبة مع ± 5 ، (أي 36 درجة مئوية و 45 درجة مئوية لنطاقات درجة الحرارة العليا والسفلى، على التوالي). وينشط السخان عندما تنخفض درجة حرارة الهواء عن نطاق درجة الحرارة المنخفضة ويتم إلغاء تشبيطه بعد ارتفاع درجة الحرارة فوق نطاق درجة الحرارة العليا.

الشكل 43: جهاز إزاحة السوائل المستخدم لقياس نفاذية اللب.



وعمدت هذه الدراسة إلى قياس نفاذية المقابس الأساسية المستخدمة في اختبارات فقد السوائل باستخدام الإعداد التجاري لغمير اللب، وقد أجريت هذه القياسات قبل وبعد اختبارات فقد السوائل. وقبل اختبار الغمر الأساسي، تم تجفيف سدادات اللب في فرن 76 درجة مئوية (Alfie Packer Inc.)، الولايات المتحدة الأمريكية لمدة 48 ساعة على الأقل حتى لم يعد الوزن يتغير بشكل كبير (5 جم). وتم تشعيب العينات الصخرية الأساسية بـ 2.0 وزن-% من كلوريد البوتاسيوم تحت فراغ 740 ملم بوصة من الرئيق لمدة 24 ساعة باستخدام جهاز التشعيب الأساسي الداخلي، حيث تتم قياس النفاذية بإغراق اللب بـ 2.0 وزن-% كلوريد البوتاسيوم بمعدل حقن ثابت وذلك عند معدلات الحقن 1.0 و 2.0 و 3.0 مل/ دقيقة. ولحساب نفاذية العينات الصخرية الأساسية، يتم تطبيق قانون دارسي في المعادلتين (7) و (8) والتي تتطلب رسم معدلات التدفق مقابل انخفاض الضغط، وتم حساب الانحدار m ، والاعتراض b ، من خلال معادلة الانحدار الخطى.

$$q = \frac{kA\Delta p}{\mu\Delta L} \quad (7)$$

$$k = m \cdot \frac{\mu \Delta L}{A} \quad (8)$$

حيث

k = نفاذية اللب معبرًا عنها في داري (D) ؟

μ = لزوجة السوائل معبرًا عنها ب سنتي بوير (cP) ؟

q = معدل التدفق معبرًا عنه بالسنتيمتر المكعب في الثانية (cm³ / s) ؟

$L\Delta$ = المسافة بين منفذ الضغط، معبرًا عنها بالسنتيمتر (سم) ؟

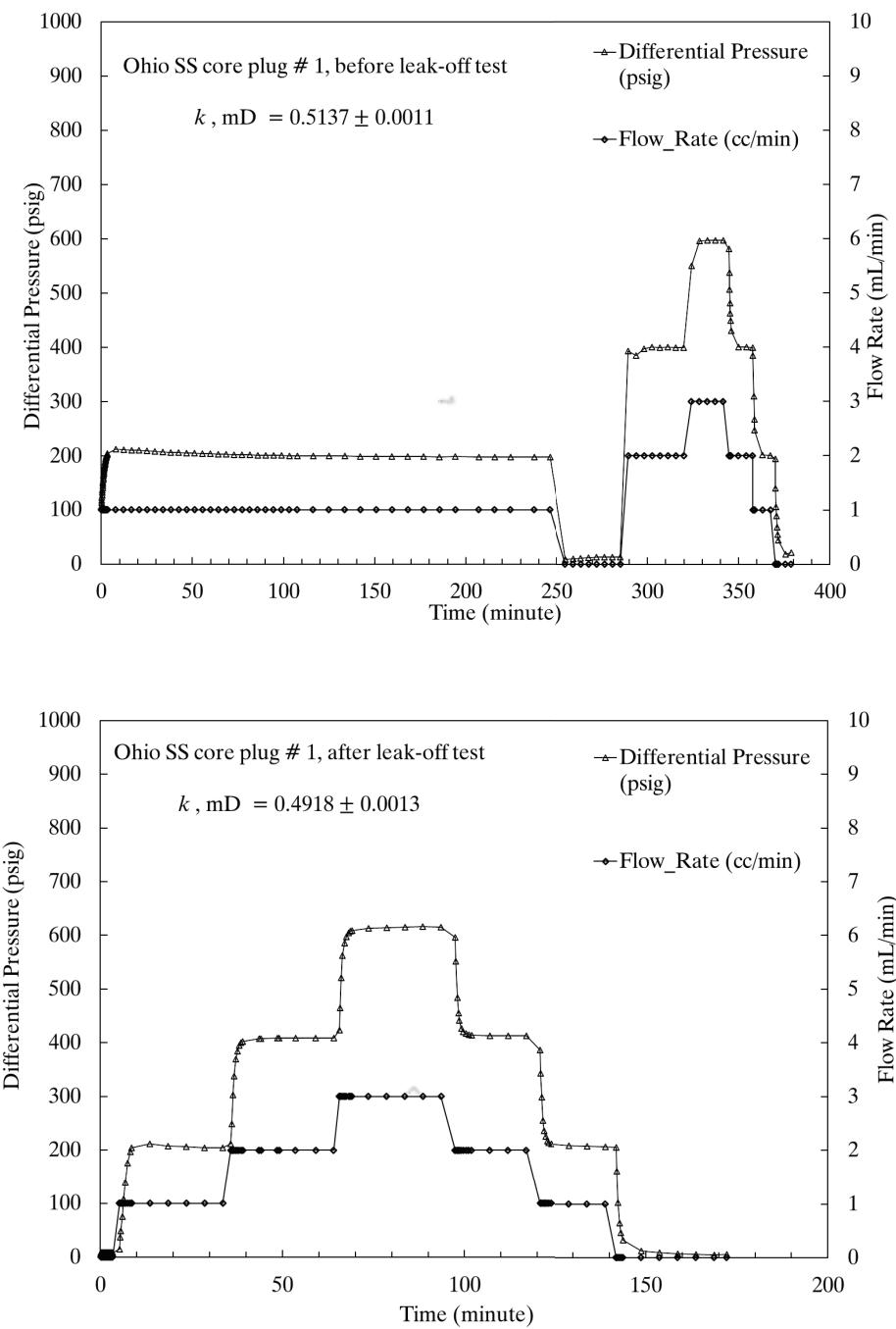
A = مساحة المقطع العرضي الأساسية معبرًا عنها بالسنتيمتر المكعب (سم²)؛ و

$P\Delta$ = انخفاض الضغط المعبر عنه في الغلاف الجوي (atm).

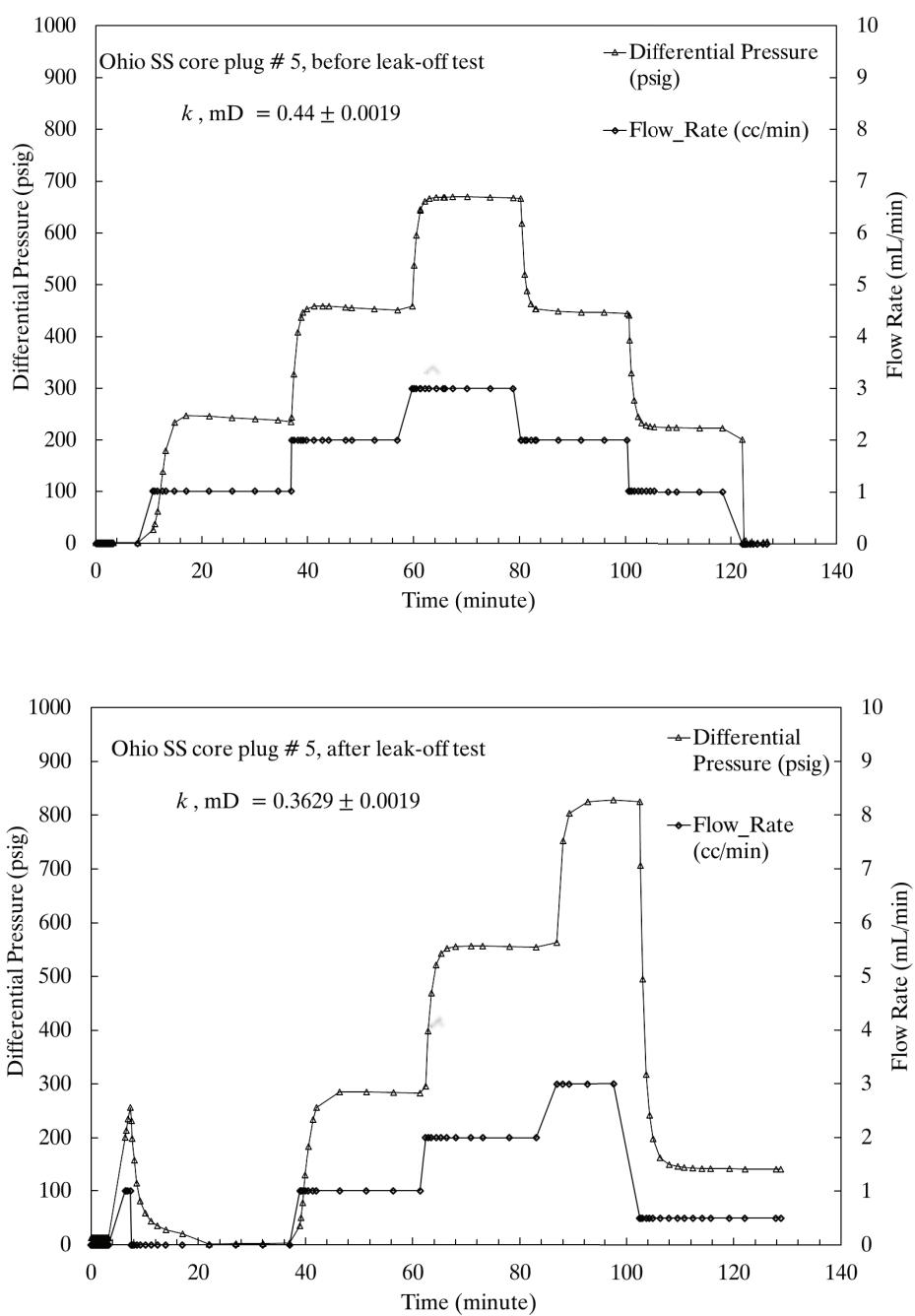
وظهر قيم نفاذية العينات الصخرية الأساسية قبل وبعد اختبار فقدان السوائل في الشكل 44، والشكل 45، والشكل 46 لخط الأساس لعينة السوائل، والجسيمات النانوية التقليدية لمركب البولي إلكتروليت، وترسبات الجسيمات النانوية ذاتية التجميم، على التوالي. ولوحظ أن غوار الهيدروكسي بروبيل المتشابك البورات بدون إضافات يسبب تلفاً على نفاذية العينة الصخرية بنسبة 2 إلى 4٪ أضرار نفاذية. وتم تحقيق قيم أعلى لفقدان التدفق وأحجام الترشيح أثناء اختبار فقد السوائل (الشكل 42). ويمكن أن يكون تقليل النفاذية مرتبطاً بشكل مباشر بظواهر تلف الهلام التي تسببها بقايا سوائل التكسير الغير متحللة. وتم الإبلاغ سابقاً عن تقليل النفاذية بسبب إضافة الجسيمات النانوية التقليدية لمركب البولي إلكتروليت مع سائل التكسير باستخدام عينات صخرية من تكوني كنتاكي الصخري ذات نفاذية 0.1-1 mD. ومع ذلك، لم يتم العثور على أي ضعف في النفاذية نتيجة الجسيمات النانوية (تمت إضافة الجسيمات النانوية المخففة إلى 2.0 وزن-% كلوريد البوتاسيوم).

كما أدت إضافة الجسيمات النانوية متعددة الطبقات المحملة بالبكتينياز إلى تحسين النفاذية المحتجزة بنسبة تصل إلى 94٪. ويمثل تحسين النفاذية من 82٪ إلى 94٪ نتيجة للتوزيع النسبي للجسيمات النانوية في كعكة المرشح بدلاً من محلول الترشيح. ويمكن أن يكون هذا السلوك مرتبطاً ارتباطاً مباشراً بالتفاعل الأيوني الكهروسستاتيكي القوي والذي ينتج عنه تشغّل جسيمات متعددة بحجم النانو. بالإضافة إلى ذلك، تم تفسير جهد زيتنا على أنه تأثير كبير لقوى التناحر بين طبقات محلول الكهربائي المتعدد الذي يمنع التجميم والتختثر وبالتالي يعزز الاستقرار والأنسقابية في حركة الجسيمات النانوية.

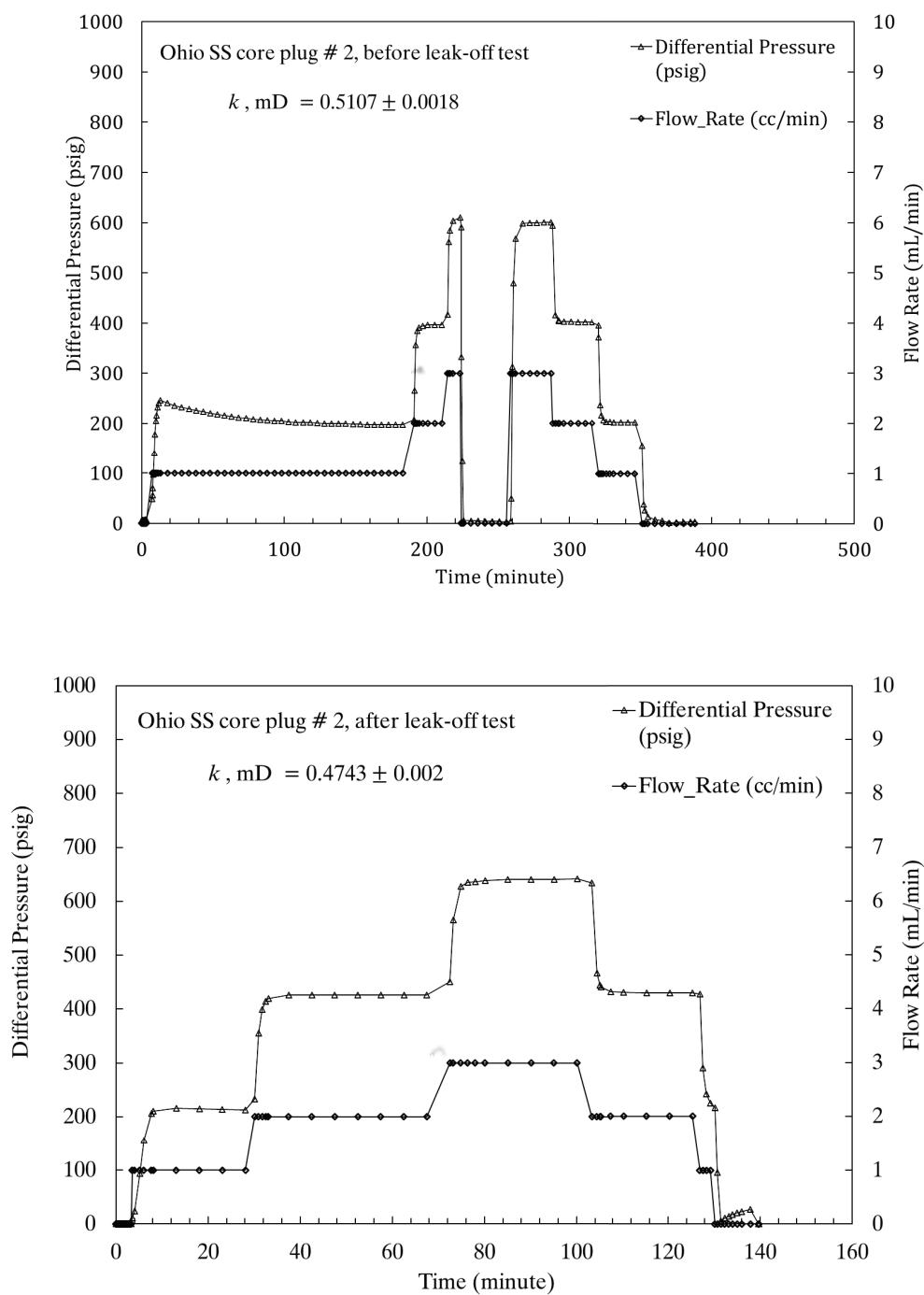
الشكل 44: قياس النفاذية إلى اللب رقم 1 قبل (أعلى) وبعد (أسفل) اختبار فقدان السوائل، باستخدام محلول بوليمر غوار الهيدروكسي بروبيل مشابك البورات.



الشكل 45: قياس النفاذية للب رق 5 قبل (أعلى) وبعد (أسفل) اختبار فقدان السوائل، باستخدام محلول بوليمر غوار الهيدروكسي بروبيل متشابك البورات المختلط مع الجسيمات النانوية لمركب البولي إلكتروليت.



الشكل 46: قياس النفاذية للب لـ رقم 2 قبل (أعلى) وبعد (أسفل) اختبار فقدان السوائل ، باستخدام محلول بوليمر غوار الهيدروكسي بروبيل متشابك البورات المختلط مع الجسيمات النانوية متعددة الطبقات لمركب البولي إلكتروليت.



الفصل الخامس

استخلاص النتائج وتحصيات الدراسة

تمهيد

يعمد الفصل السادس الى استعراض ما قدمته هذه الدراسة بعد الانتهاء من إجراء التجارب واختبار الفرضيات، حيث يتطرق المبحث الأول الى عرض ومناقشة النتائج المستخلصة في هذه الدراسة. كما يستعرض المبحث الثاني أهم التوصيات والدراسات المستقبلية.

المبحث الأول: استخلاص ومناقشة النتائج

لم يقتصر دور المحافظة على البيئة في مجالات صناعة النفط والغاز على تقليل الانبعاثات وتدوير النفايات فحسب، بل أصبح فكرة استخدام مواد صديقة للبيئة في جميع أنشطة عمليات الاستكشاف والحفري من أهم الأهداف المتعلقة في الحد من التأثيرات البيئية. حيث هدفت هذه الدراسة الى ادخال تقنية النانو في تعزيز كفاءة القواطع الانزيمية، لحل محل القواطع المؤكسدة الضارة بيئيا. وقد توصلت الدراسة الى الاستنتاجات والنتائج الآتية:

1. أتضح من نتائج الدراسة إمكانية تطوير جسيمات نانونية من البولي إلكتروليت متعدد الطبقات (PEMs) بآلية التجميغ والترسيب من طبقة إلى طبقة (LBL) كطريقة للإفراج المستهدف والتحكم في قواطع الإنزيم أثناء عمليات تنظيف سائل التكسير. ومن خلال أنظمة الإنزيمات التي تمت دراستها في هذا العمل وهي إنزيم البكتيناز والتي تتكون من تجمعات بروتينية، تم تصنيع البولي إلكتروليت متعدد الطبقات بآلية الترسيب من طبقة إلى أخرى عن طريق الامتصاص الكهروستاتيكي من مركبات الباليونات و البوليكات عبر استخدام التركيب الغرواني للجسيمات النانوية لمركب البولي إلكتروليت(PEC) كركيزة أساسية في وحدات البناء والترسيب من طبقة إلى طبقة. كما تم تشكيل الجسيمات النانوية التقليدية المستقرة الجسيمات النانوية لمركب البولي إلكتروليت في نطاق حجم 300-500 نانومتر عن طريق إضافة غير متكافئة من البولي إيثيلين أمين وكبريتات ديكستران عند حجم 1:2 في ظل التركيزات الصحيحة البالغة 1.0 وزن-% لـ البولي إيثيلين أمين وكبريتات ديكستران، وظروف الأس الهيدروجيني عند 8.14، وتم تجميع الجسيمات النانوية من البولي إلكتروليت متعدد الطبقات بالتناوب بترسيب البولي إيثيلين أمين مع المحاليل المائية لكبريتات ديكستران عند التركيب الغرواني لتجمعات البولي إيثيلين أمين-كبريتات ديكستران.
2. بيّنت الدراسة أثر الجسيمات النانوية متعددة الطبقات في الحفاظ على الاستقرار الغرواني من حيث حجم الجسيمات، وجهد زيتا، والتشتت المتعدد، والعکارة لأكثر من 96 ساعة في ترببات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات ذاتي التجميغ، مقارنة بـ 36 ساعة للجسيمات النانوية لمركب البولي إلكتروليت التقليدية. وتم تحسين الاستقرار وقابلية التكاثر بشكل كبير في ترببات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات، مقارنة بالجسيمات النانوية التقليدية، والتي تُعزى إلى آلية التثبيت الكهروستاتيكي بين الطبقات.
3. وجدت الدراسة أن جسيمات البولي إلكتروليت متعددة الطبقات لديها كفاءة عالية في حبس الإنزيم والتحكم الشديد في تركيز الإنزيم، حيث تم الحفاظ على استدامة الإطلاق المتحكم من البكتيناز المحتجز داخل ترببات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات مدى فترات زمنية أطول (> 18 ساعة) من خلال تقليل الزوجة ومعامل المرونة من غوار الهيدروكسي بروبيل. وتم تأكيد كفاءة الاحتياز (EEA%) بنسبة 90.4% في الجسيمات النانوية متعددة الطبقات (مقابل 70.9% مع مركب البولي إلكتروليت التقليدي).
4. وتشير نتائج التوزيع المورفولوجي والحجم على مستوى النانومتر لتجمعات البولي إلكتروليت باستخدام المجهر الإلكتروني النافذ (TEM) إبطاط البكتيناز بالشبكة المجمعة للبنية النانوية للبولي إلكتروليت. وارتبط تأثير تجميغ ترببات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات بتخفيض كمية الإنزيم الحر (غير المحبوس). كما سمحت الزيادة في حجم البنية النانوية للبولي إلكتروليت متعدد الطبقات بالاحتفاظ بكمية أكبر من البكتيناز (أي، لديه قدرة تحمل أعلى). وأظهرت صور المجهر

- الإلكتروني النافذ لأنظمة التحكم في البولي إلكتروليت متعدد الطبقات مقارنة جيدة بين جسيمات مركب البولي إلكتروليت التقليدية ونظام الترسيب ذاتي متعدد الطبقات.
5. عمدة الدراسة الى اختبار موصلية الكسر على المدى الطويل عند 40 درجة تحت ضغوط الإغلاق البالغة 1000 و 2000 و 4000 رطل لكل بوصة مربعة، وتبين وجود كفاءة عالية في تنظيف الكسر لسائل التكسير الممزوج بالجسيمات النانوية للبولي إلكتروليت متعدد الطبقات والمحملة بالإنزيم. ويشير تحسن موصلية الكسر المحتاجة من 25 إلى 60٪ إلى تأثير التوزيع المتتحكم فيه للجسيمات النانوية في كعكة الترشيح وعلى طول وجه الكسر بالكامل، على عكس التشتت العشوائي للإنزيم غير المحبوس. وتم العثور على موصلية الكسر المحتاجة بنسبة 34٪ لأنظمة السوائل التي تحتوي على الجسيمات التقليدية المحملة بالإنزيم. بالإضافة إلى ذلك، أظهرت ترببات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات المحملة بالإنزيم توزيعاً محسناً للجسيمات النانوية، وتحميلاً عالياً وكفاءة احتباساً، وإطلاقاً مستداماً للإنزيم. ويسمح بإضافة تركيزات إنزيم أعلى دون المساس بخصائص السوائل أثناء المعالجة، مما قد يزيد من تدهور الهلام المتبقى المركز.
6. ثم عمدة الدراسة الى اختبار خصائص فقد السوائل لجسيمات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات في ظل ظروف ثابتة باستخدام خلية فقدان السوائل عالية الضغط. وتم ترشيح محلول بوليمر غوار الهيدروكسي بروبيل متشابك البورات ممزوج بجسيمات نانوية على المقاييس الأساسية ذات النفاذية المماثلة. وتمت ملاحظة إضافة جزيئات ترببات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات النانوية إلى سائل التكسير لتحسين تأثير من فقدان السوائل بشكل كبير، والذي يمثله عواملات بناء الجدار المنخفضة 0.001768 قدم/دقيقة٪ في البولي إلكتروليت متعدد الطبقات و 0.002481 قدم/دقيقة٪ في الجسيمات التقليدية. وتم تحديد قيم فقد التدفق أيضاً للتسبب في انخفاض حجم الترشيح عن حلول القاعدة المتشابكة. وكشفت تأثيرات التجزيير من البولي إيثيلين أمين-كريبيات ديكستران عن كعكة ترشيح ملونة أكثر كثافة، مما يشير إلى كفاءة تشتت متجانس نسبياً وجزيئات ذات حجم مناسب لاختراق كعكة المرشح.
7. وفي الأخير عمدة الدراسة الى اختبار إضافة جسيمات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات النانوية والمحملة بالبكتيناز إلى تحسين النفاذية المحافظ بها بنسبة تصل إلى 94٪. ويمثل تحسين النفاذية المحافظ به من 82٪ إلى 94٪ لتأثير التوزيع المتتحكم فيه للجسيمات النانوية في كعكة الترشيج، على عكس الإنزيم الحر (غير المحبوس). ويمكن أن يكون هذا السلوك مرتبطة ارتباطاً مباشراً بالتفاعل الأيوني الكهروساتاتيكي القوي والتعقيد الذي يشكل بنية متعددة إلكتروليت بحجم النانو. وتم تفسير جهد زيتا بالإضافة إلى ذلك على أنه مؤشر كبير على قوى التناحر بين طبقات المحلول الكهربائي المتعدد التي تمنع التجميع والتختثر، وبالتالي، تعزيز الاستقرار والانسيابية في حركة الجسيمات النانوية.

المبحث الثاني: التوصيات والدراسات المستقبلية

أولاً: توصيات الدراسة

1. توصي الدراسة باستخدام تقنية النانو لتغلب على قصور كفاءة قواطع الإنزيم في سوائل التكسير واستبدال قواطع المؤكسدات وذلك للحد من التأثيرات البيئية لسوائل التكسير المستخدمة حالياً.
2. توصي الدراسة باستمرار العمل بتقنية النانو لتجمیع جسيمات نانوية قادرة على حماية قواطع الإنزيم من الظروف القارصية أثناء عمليات التكسير الهيدروليكي والتي تؤثر سلباً في كفاءة وقدرة قواطع الإنزيمات على تنظيف الكسر الناتج.
3. توصي الدراسة بتبني فكرة استخدام مركبات تجمیع البولي إيثيلين أمین-كريبيات ديكستران في عمليات تشكیل جسيمات نانوية متعددة الطبقات ذات توزیعاً محسناً للجسيمات النانوية، وتحمیلاً عالياً وكفاءة احتباساً، وإطلاقاً مستداماً للإنزيم.
4. يتعین على شركات خدمات القطاع النفطي استبدال المواد الضارة بالماء الحسنة بيئياً أثناء عمليات تحفيز الإنزام استحداث طرق جديدة من شأنها تقليل الاضرار البيئية بصناعة النفط والغاز.

ثانياً: الدراسات المستقبلية

على الرغم من تطوير جسيمات نانوية مستقرة وذات كفاءة عالية من مركبات تجمیع البولي إيثيلين أمین-كريبيات ديكستران ، الا انه من الإمکان زيادة عدد الطبقات للوصول الى كفاءة 100٪ في حماية قواطع الإنزيم، ولذلك توصي الدراسة باستكمال العمل بنظام

البولي الكتروليت باستخدام دورات ترسيب متعددة تصل إلى 20 – 50 درجة ترسيب. كما توصي الدراسة باستخدام أوزان جزيئية لمركبات البولي إيثيلين أمين أقل من 25,000 دالتون لتشكيل جسيمات نانونية صغيرة بمقارنة مع الجسيمات المتكونة في هذه الدراسة. كما توصي الدراسة باستخدام مركبات انزيمية أخرى غير إنزيم البكتيناز ومعرفة ما إذا بالإمكان تغليف الإنزيمات الأخرى داخل جسيمات البولي إلكتروليت متعدد الطبقات

المراجع الأجنبية:

- (1) Howard GC, Fast CR. Hydraulic Fracturing. New York: Society of Petroleum Engineers of AIME; 1970. 203 p.
- (2) Gidley JL. Recent Advances in Hydraulic Fracturing. Richardson, TX: Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME, Society of Petroleum Engineers; 1989. ix, 452 p. p.
- (3) Harris PC. Fracturing-Fluid Additives. *J Petrol Technol.* 1988;40(10):1277-9.
- (4) Economides MJ, Nolte KG. Reservoir stimulation. 3rd ed. Chichester, England ; New York: John Wiley; 2000. (various pagings) p.
- (5) Tayal A, Kelly RM, Khan SA. Viscosity Reduction Of Hydraulic Fracturing Fluids Through Enzymatic Hydrolysis. *SPE Journal.* 1997;2(2).
- (6) Cheng Y, Brown KM, Prud'homme RK. Characterization and Intermolecular Interactions of Hydroxypropyl Guar Solutions. *Biomacromolecules.* 2002;3(3):456-61.
- (7) Horton HR. Principles of biochemistry. 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall; 2006. 852 p.
- (8) Cooke Jr. CE. Effect of Fracturing Fluids on Fracture Conductivity. *SPE Journal of Petroleum Technology.* 1975;27(10):1273-82.
- (9) Almond SW. Factors Affecting Gelling Agent Residue Under Low Temperature Conditions. *SPE Formation Damage Control Symposium*; 03/24/1982; Lafayette, Louisiana: Society of Petroleum Engineers of AIME; 1982.
- (10) Palisch TT, Duenckel RJ, Bazan LW, Heidt JH, Turk GA. Determining Realistic Fracture Conductivity and Understanding its Impact on Well Performance-Theory and Field Examples. *SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference*; 01/29; College Station, Texas, U.S.A.: Society of Petroleum Engineers; 2007.
- (11) Ghahfarokhi RB, Hutchins RD, friedel t, Ayoub JA, Dessinges M-N, England KW. Impact of Yield Stress and Fracture-Face Damage on Production Using a Three-Phase, 2D Model. *SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control*; 02/13/2008; Lafayette, Louisiana, USA: Society of Petroleum Engineers; 2008.
- (12) Volk LJ, Gall BL, Raible CJ, Carroll HB. A Method for Evaluation of Formation Damage Due to Fracturing Fluids. *SPE/DOE Low Permeability Gas Reservoirs Symposium*; 03/14/1983; Denver, Colorado: Society of Petroleum Engineers of AIME; 1983.
- (13) Boysen E, Boysen NM. Understanding Nanotechnology Washington: Hawk's Perch Technical Writing, LLC.; 2018 [Available from: <http://www.understandingnano.com/>].
- (14) Fermin D, Riley J. Charge in Colloidal Systems. In: Cosgrove T, editor. *Colloid science : Principles, Methods and Applications*. Second ed. Oxford, UK: Blackwell Pub.; 2010. p. 23-43.
- (15) Kaszuba M, Corbett J, Watson FM, Jones A. High-Concentration Zeta Potential Measurements using Light-Scattering Techniques. *Philosophical transactions Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences.* 2010;368(1927):4439-51.
- (16) Lee D, Gemici Z, Rubner MF, Cohen RE. Multilayers of Oppositely Charged SiO₂ Nanoparticles: Effect of Surface Charge on Multilayer Assembly. *Langmuir.* 2007;23(17):8833-7.
- (17) Ottewill RH. Stabilization of Polymer Colloid Dispersions. In: El-Aasser MS, Lovell PA, editors. *Emulsion polymerization and emulsion polymers*. New York: J. Wiley; 1997. p. 59-117.
- (18) Duijneveldt Jv. Effect of Polymers on Colloidal Stability. In: Cosgrove T, editor. *Colloid Science : Principles, Methods and Applications*. Second ed. Oxford, UK: Blackwell Pub.; 2010. p. 181-95.
- (19) Napper DH. Polymeric Stabilization of Colloidal Dispersions. New York: Academic Press; 1983.
- (20) Koetz J, Kosmella S. Polyelectrolytes and Nanoparticles. Berlin ; New York: Springer; 2007. 105 p.
- (21) Ladam G, Schaad P, Voegel JC, Schaaf P, Decher G, Cuisinier F. In Situ Determination of the Structural Properties of Initially Deposited Polyelectrolyte Multilayers. *Langmuir.* 2000;16(3):1249-55.
- (22) Choi J, Rubner MF. Influence of the Degree of Ionization on Weak Polyelectrolyte Multilayer Assembly. *Macromolecules.* 2005;38(1):116-24.
- (23) Shepherd EJ, Kitchener JA. The Ionization of Ethyleneimine and Polyethyleneimine. *Journal of the Chemical Society.* 1956:2448-52.
- (24) Hartig S, Greene R, Dikov M, Prokop A, Davidson J. Multifunctional Nanoparticulate Polyelectrolyte Complexes. *Pharmaceutical Research.* 2007;24(12):2353-69.

- (25) Hu Y, Yang T, Hu X. Novel Polysaccharides-Based Nanoparticle Carriers Prepared by Polyelectrolyte Complexation for Protein Drug Delivery. *Polymer bulletin (Berlin, Germany)*. 2012;68(4):1183-99.
- (26) Delair T. Colloidal Polyelectrolyte Complexes of Chitosan and Dextran Sulfate Towards Versatile Nanocarriers of Bioactive Molecules. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2011;78(1):10-8.
- (27) Zintchenko A, Dautzenberg H, Tauer K, Khrenov V. Polyelectrolyte Complex Formation with Double Hydrophilic Block Polyelectrolytes: Effects of the Amount and Length of the Neutral Block. *Langmuir*. 2002;18(4):1386-93.
- (28) Shovsky AV, Varga I, Makuška R, Claesson PM. Formation and Stability of Soluble Stoichiometric Polyelectrolyte Complexes: Effects of Charge Density and Polyelectrolyte Concentration. *Journal of Dispersion Science & Technology*. 2009;30(6):980-8.
- (29) Popa-Nita S, Rochas C, David L, Domard A. Structure of Natural Polyelectrolyte Solutions: Role of the Hydrophilic/Hydrophobic Interaction Balance. *Langmuir*. 2009;25(11):6460-8.
- (30) Lindman B, Khan A, Marques E, Miguel MD, Piculell L, Thalberg K. Phase-Behavior of Polymer-Surfactant Systems in Relation to Polymer-Polymer and Surfactant-Surfactant Mixtures. *Pure Appl Chem*. 1993;65(5):953-8.
- (31) Fukuda H, Kikuchi Y. Polyelectrolyte Complexes of Sodium Dextran Sulfate with Chitosan. *Marcromolecular Chemistry and Physics*. 1977;178(10):2895-9.
- (32) Berger J, Reist M, Mayer JM, Felt O, Gurny R. Structure and Interactions in Chitosan Hydrogels Formed by Complexation or Aggregation for Biomedical Applications. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2004;57(1):35-52.
- (33) Schatz C, Lucas J-M, Viton C, Domard A, Pichot C, Delair T. Formation and Properties of Positively Charged Colloids Based on Polyelectrolyte Complexes of Biopolymers. *Langmuir*. 2004;20(18):7766-78.
- (34) Dautzenberg H. Polyelectrolyte Complex Formation in Highly Aggregating Systems. 1. Effect of Salt: Polyelectrolyte Complex Formation in the Presence of NaCl. *Macromolecules*. 1997;30(25):7810-5.
- (35) Mende M, Buchhammer HM, Schwarz S, Petzold G, Jaeger W. The Stability of Polyelectrolyte Complex Systems of Poly(Diallyldimethyl-Ammonium Chloride) with Different Polyanions. *Macromolecular symposia*. 2004;211(1):121-34.
- (36) Iler RK. Multilayers of Colloidal Particles. *J Colloid Interf Sci*. 1966;21(6):569-94.
- (37) Decher G, Hong JD. Buildup of Ultrathin Multilayer Films by a Self-Assembly Process: II. Consecutive Adsorption of Anionic and Cationic Bipolar Amphiphiles and Polyelectrolytes on Charged Surfaces. *Berichte der Bunsengesellschaft für physikalische Chemie*. 1991;95(11):1430-4.
- (38) Lvov Y, Ariga K, Ichinose I, Kunitake T. Assembly of Multicomponent Protein Films by Means of Electrostatic Layer-by-Layer Adsorption. *Journal of the American Chemical Society*. 1995;117(22):6117-23.
- (39) Wang F, Wang J, Zhai Y, Li G, Li D, Dong S. Layer-by-Layer Assembly of Biologically Inert Inorganic Ions/DNA Multilayer Films for Tunable DNA Release by Chelation. *Journal of Controlled Release*. 2008;132(1):65-73.
- (40) Nicol E, Habib-Jiwan J-L, Jonas AM. Polyelectrolyte Multilayers as Nanocontainers for Functional Hydrophilic Molecules. *Langmuir*. 2003;19(15):6178-86.
- (41) Haidar ZS, Hamdy RC, Tabrizian M. Protein Release Kinetics for Core–Shell Hybrid Nanoparticles Based on the Layer-by-Layer Assembly of Alginate and Chitosan on Liposomes. *Biomaterials*. 2008;29(9):1207-15.
- (42) Lee S-H, Kumar J, Tripathy SK. Thin Film Optical Sensors Employing Polyelectrolyte Assembly. *Langmuir*. 2000;16(26):10482-9.
- (43) Shchukin DG, Zheludkevich M, Yasakau K, Lamaka S, Ferreira MGS, Möhwald H. Layer-by-Layer Assembled Nanocontainers for Self-Healing Corrosion Protection. *Advanced Materials*. 2006;18(13):1672-8.
- (44) Decher G. Fuzzy Nanoassemblies: Toward Layered Polymeric Multicomposites. *Science (New York, NY)*. 1997;277(5330):1232-7.
- (45) Seyrek E, Decher G. Layer-by-Layer Assembly of Multifunctional Hybrid Materials and Nanoscale Devices. In: Matyjaszewski K, Möller M, editors. *Polymer Science: A Comprehensive Reference*. Amsterdam: Elsevier; 2012. p. 159-85.
- (46) Caruso F. Hollow Capsule Processing through Colloidal Templating and Self-Assembly. *Chemistry – A European Journal*. 2000;6(3):413-9.

- (47) Sukhorukov GB, Donath E, Lichtenfeld H, Knippel E, Knippel M, Budde A, et al. Layer-by-layer self assembly of polyelectrolytes on colloidal particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 1998;137(1):253-66.
- (48) Sukhorukov GB, Donath E, Davis S, Lichtenfeld H, Caruso F, Popov VI, et al. Stepwise Polyelectrolyte Assembly on Particle Surfaces: A Novel Approach to Colloid Design. *Polymers for Advanced Technologies*. 1998;9(10-11):759-67.
- (49) Caruso F, Donath E, Möhwald H. Influence of Polyelectrolyte Multilayer Coatings on Förster Resonance Energy Transfer between 6-Carboxyfluorescein and Rhodamine B-Labeled Particles in Aqueous Solution. *The Journal of Physical Chemistry B*. 1998;102(11):2011-6.
- (50) Sukhishvili SA, Granick S. Layered, Erasable Polymer Multilayers Formed by Hydrogen-Bonded Sequential Self-Assembly. *Macromolecules*. 2002;35(1):301-10.
- (51) Kharlampieva E, Kozlovskaya V, Sukhishvili SA. Layer-by-Layer Hydrogen-Bonded Polymer Films: From Fundamentals to Applications. *Advanced Materials*. 2009;21(30):3053-65.
- (52) Amigoni S, Taffin de Givenchy E, Dufay M, Guittard F. Covalent Layer-by-Layer Assembled Superhydrophobic Organic-Inorganic Hybrid Films. *Langmuir*. 2009;25(18):11073-7.
- (53) Johnston APR, Read ES, Caruso F. DNA Multilayer Films on Planar and Colloidal Supports: Sequential Assembly of Like-Charged Polyelectrolytes. *Nano Letters*. 2005;5(5):953-6.
- (54) Shimazaki Y, Mitsuishi M, Ito S, Yamamoto M. Preparation of the Layer-by-Layer Deposited Ultrathin Film Based on the Charge-Transfer Interaction. *Langmuir*. 1997;13(6):1385-7.
- (55) Ikeda A, Hatano T, Shinkai S, Akiyama T, Yamada S. Efficient Photocurrent Generation in Novel Self-Assembled Multilayers Comprised of [60]Fullerene–Cationic Homooxacalix[3]arene Inclusion Complex and Anionic Porphyrin Polymer. *Journal of the American Chemical Society*. 2001;123(20):4855-6.
- (56) Artyukhin AB, Bakajin O, Stroeven P, Noy A. Layer-by-Layer Electrostatic Self-Assembly of Polyelectrolyte Nanoshells on Individual Carbon Nanotube Templates. *Langmuir*. 2004;20(4):1442-8.
- (57) Schütte M, Kurth DG, Linford MR, Cölfen H, Möhwald H. Metallosupramolecular Thin Polyelectrolyte Films. *Angewandte Chemie International Edition*. 1998;37(20):2891-3.
- (58) Chang-Yen DA, Lvov Y, McShane MJ, Gale BK. Electrostatic Self-Assembly of a Ruthenium-Based Oxygen Sensitive Dye Using Polyion–Dye Interpolyelectrolyte Formation. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2002;87(2):336-45.
- (59) Ma N, Wang Y, Wang B, Wang Z, Zhang X, Wang G, et al. Interaction between Block Copolymer Micelles and Azobenzene-Containing Surfactants: From Coassembly in Water to Layer-by-Layer Assembly at the Interface. *Langmuir*. 2007;23(5):2874-8.
- (60) Caruso F, Sukhorukov G. Coated Colloids: Preparation, Characterization, Assembly and Utilization. In: Decher G, Schlenoff JB, editors. *Multilayer Thin Films: Sequential Assembly of Nanocomposite Materials*. Weinheim, Germany: John Wiley & Son; 2003. p. 331-62.
- (61) Caruso F, Caruso RA, Möhwald H. Nanoengineering of Inorganic and Hybrid Hollow Spheres by Colloidal Templating. *Science*. 1998;282(5391):1111.
- (62) Keller SW, Johnson SA, Brigham ES, Yonemoto EH, Mallouk TE. Photoinduced Charge Separation in Multilayer Thin Films Grown by Sequential Adsorption of Polyelectrolytes. *Journal of the American Chemical Society*. 1995;117(51):12879-80.
- (63) Chen T, Somasundaran P. Preparation of Novel Core-Shell Nanocomposite Particles by Controlled Polymer Bridging. *J Am Ceram Soc*. 1998;81(1):140-4.
- (64) Pommersheim R, Schrezenmeir J, Vogt W. Immobilization of Enzymes by Multilayer Microcapsules. *Macromolecular Chemistry and Physics*. 1994;195(5):1557-67.
- (65) Caruso F, Trau D, Möhwald H, Renneberg R. Enzyme Encapsulation in Layer-by-Layer Engineered Polymer Multilayer Capsules. *Langmuir*. 2000;16(4):1485-8.
- (66) Bobreshova ME, Sukhorukov G, Saburova EA, I Elfimova L, I Shabarchina L, I Sukhorukov B. Lactate dehydrogenase in an interpolyelectrolyte complex. Function and stability [Laktatdehidrogenaza v interpoliélektritolitnom komplekse. Funktsiiia i stabil'nost']. 1999. 813-20 p.
- (67) Balabushevitch NG, Sukhorukov GB, Moroz NA, Volodkin DV, Larionova NI, Donath E, et al. Encapsulation of

- Proteins by Layer-by-Layer Adsorption of Polyelectrolytes onto Protein Aggregates: Factors Regulating the Protein Release. *Biotechnology and Bioengineering*. 2001;76(3):207-13.
- (68) Mamedov AA, Kotov NA. Free-Standing Layer-by-Layer Assembled Films of Magnetite Nanoparticles. *Langmuir*. 2000;16(13):5530-3.
- (69) Jiang C, Markutsya S, Tsukruk VV. Compliant, Robust, and Truly Nanoscale Free-Standing Multilayer Films Fabricated Using Spin-Assisted Layer-by-Layer Assembly. *Advanced Materials*. 2004;16(2):157-61.
- (70) Mamedov AA, Kotov NA, Prato M, Guldi DM, Wicksted JP, Hirsch A. Molecular Design of Strong Single-Wall Carbon Nanotube/Polyelectrolyte Multilayer Composites. *Nature Materials*. 2002;1:190.
- (71) Tang Z, Kotov NA, Magonov S, Ozturk B. Nanostructured Artificial Nacre. *Nature Materials*. 2003;2:413.
- (72) Dubas ST, Farhat TR, Schlenoff JB. Multiple Membranes from "True" Polyelectrolyte Multilayers. *Journal of the American Chemical Society*. 2001;123(22):5368-9.
- (73) Hashizume M, Kunitake T. Preparations of Self-Supporting Nanofilms of Metal Oxides by Casting Processes. *Soft Matter*. 2006;2(2):135-40.
- (74) Goedel WA, Heger R. Elastomeric Suspended Membranes Generated via Langmuir–Blodgett Transfer. *Langmuir*. 1998;14(13):3470-4.
- (75) Mallwitz F, Goedel WA. Physically Cross-Linked Ultrathin Elastomeric Membranes. *Angewandte Chemie International Edition*. 2001;40(14):2645-7.
- (76) Zhao Q, Qian J, An Q, Du B. Speedy Fabrication of Free-Standing Layer-by-Layer Multilayer Films by Using Polyelectrolyte Complex Particles as Building Blocks. *J Mater Chem*. 2009;19(44):8448-55.
- (77) Cordova M, Cheng M, Trejo J, Johnson SJ, Willhite GP, Liang J-T, et al. Delayed HPAM Gelation via Transient Sequestration of Chromium in Polyelectrolyte Complex Nanoparticles. *Macromolecules*. 2008;41(12):4398-404.
- (78) Barati Ghahfarokhi R. Fracturing Fluid Cleanup by Controlled Release of Enzymes from Polyelectrolyte Complex Nanoparticles [Dissertation]. Lawrence, Kansas: University of Kansas; 2010.
- (79) Bell TA, Etchells JL. Pectinase Inhibitor in Grape Leaves. *Botanical Gazette*. 1958;119(3):192-6.
- (80) Tiyaboonchai W. Development of a New Nanoparticle Delivery Vehicle Based on an Aqueous Polymer System: Polyethylenimine and Dextran Sulfate [3082678]. Lawrence, Kansas: University of Kansas; 2002.
- (81) Recommended Practices for Evaluating Short Term Proppant Pack Conductivity. API RECOMMENDED PRACTICE 61 (RP 61). First ed. Washington, D.C.: American Petroleum Institute; 1989. p. 21.
- (82) Chempakathinal Bose C. Application Of Nanoparticles As Proppants And Breaker Encapsulating Agents [Thesis]. Lawrence, Kansas: University of Kansas; 2016.
- (83) Reza B, Charles Chempakathinal B. Improvement of Hydraulic Fracture Conductivity Using Nanoparticles. *Advances in Natural Gas Emerging Technologies*. United Kingdom: IntechOpen Limited; 2017. p. 55-74.
- (84) Pongthunya P. Development, Setup and Testing of a Dynamic Hydraulic Fracture Conductivity Apparatus: Texas A&M University; 2007.
- (85) Montgomery CT, Steanson RE. Proppant Selection: The Key to Successful Fracture Stimulation. 1985.
- (86) Brannon HD, Pulsinelli RJ. Breaker Concentrations Required To Improve the Permeability of Proppant Packs Damaged by Concentrated Linear and Borate-Crosslinked Fracturing Fluids. *Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference*; 03/08/1990; Midland, Texas: Society of Petroleum Engineers, Inc.; 1990.
- (87) Pursell DA, Blakeley D. Laboratory Investigation of Inertial Flow in High-Strength Fracture Proppants. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*; 10/02/1988; Houston, Texas: Society of Petroleum Engineers AIME; 1988.
- (88) Recommended Practices on Measuring the Viscous Properties of a Cross-linked Water-based Fracturing Fluid. API RECOMMENDED PRACTICE 39 (RP 39). third ed. Washington D.C.: American Petroleum Institute; 1998.
- (89) C.R.Fast, Flickinger DH, Howard GC. Effect of Fracture-formation Flow Capacity Contrast on Well Productivity. *Drilling and Production Practice*: American Petroleum Institute; 1961.



منظمة أوابك تطلق جائزتها العلمية لعام 2022

حول

«تقنيات نزع الكربون في الصناعة البترولية، والاقتصاد الدائري للكربون»

يسر منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوابك" الاعلان عن جائزتها العلمية لعام 2022 التي تقرر أن يكون مجال البحث حول "تقنيات نزع الكربون في الصناعة البترولية، والاقتصاد الدائري للكربون" وذلك بناء على قرار المكتب التنفيذي للمنظمة رقم 1/162 بتاريخ 18 مايو 2022.

يأتي إطلاق جائزة أوابك للبحث العلمي لعام 2022 استمراً لسياسة المنظمة بشأن تشجيع الباحثين بتخصيص جائزتين تقديريتين كل سنتين، قيمة الجائزة الأولى تتراوح ما بين سبعة إلى عشرة آلاف دينار كويتي، (أي ما يعادل نحو 23 إلى 32.5 ألف دولار أمريكي)، وقيمة الجائزة الثانية خمسة آلاف دينار كويتي، (أي ما يعادل حوالي 16 ألف دولار أمريكي)، ما يعادل حوالي 16 ألف دولار أمريكي).

ينطلق اهتمام الأمانة العامة للمنظمة بمجال "تقنيات نزع الكربون في الصناعة البترولية، والاقتصاد الدائري للكربون" في إطار الجهود العالمية الرامية إلى الحد من الانبعاثات الضارة بالبيئة، ويتركز الاهتمام بشكل خاص على الصناعات البترولية بكافة مراحلها لتمكنها من تلبية متطلبات نزع الكربون مع المحافظة على ريعيتها ودورها الحيوي في توفير المنتجات البترولية النظيفة بأسعار مقبولة وعادلة. ويتناول مجال الجائزة العلمية لمنظمة أوابك عام 2022 البحث في التقنيات التي تساعد الصناعة البترولية بكافة مراحلها بدءاً من عمليات الحفر والإنتاج، مروراً بالتكثير والتبروكيماويات والتوزيع، على خفض انبعاثات الكربون وتحقيق إنتاج خال من الانبعاثات. فضلاً عن الاستفادة من تطبيق مبدأ الاقتصاد الدائري للكربون كوسيلة للحد من آثار الانبعاثات الكربونية.

وقد تم تحديد يوم 31 مايو 2023 كآخر موعد لاستلام الأبحاث المشاركة لنيل الجائزة، وستمنح الجوائز لأصحاب البحوث الفائزة من كافة الجنسيات العربية والأجنبية التي يتم اختيارها من قبل لجنة التحكيم العلمية المشكلة برئاسة الأمين العام للمنظمة علي بن سبت وعضوية مجموعة من خبراء الصناعة البترولية من داخل وخارج الأمانة العامة للمنظمة، وبإمكان الراغبين بالمشاركة الإطلاع على شروط الجائزة من خلال مسح الكود التالي :



أوابك
منظمة الأقطار
العربية المصدرة
للبترول

جائزة
منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)
2022
للبحث العلمي لعام 2022

استمراً لسبعين كل سنتين، قيمة الجائزة الأولى تتراوح ما بين سبعة إلى عشرة آلاف دينار كويتي (أي ما يعادل نحو 23 إلى 32.5 ألف دولار أمريكي)، وقيمة الجائزة الثانية خمسة آلاف دينار كويتي (أي ما يعادل حوالي 16 ألف دولار أمريكي)، وبناءً على هزار المكتب التنفيذي المنعقدة رقم 1/162 بتاريخ 18 مايو 2022، فقد تقرر أن يكون مجال البحث العلمي الحصول على جائزة عام 2022 بعنوان:

«تقنيات نزع الكربون في الصناعة البترولية،
والاقتصاد الدائري للكربون»

ANNOUNCEMENT**OAPEC AWARD**FOR SCIENTIFIC RESEARCH FOR THE YEAR **2022**

In line with OAPEC's policy to encourage scientific research by awarding two prizes on a biennial basis (**First Prize** KD 7000-10000 equivalent to USD \$23000-\$32500, **Second Prize** KD 5000 equivalent to USD \$16000), upon the resolution number 1/162 of OAPEC Executive Bureau at its meeting dated 18 May 2022. The Organization of Arab Petroleum Exporting Countries (OAPEC) is pleased to announce that the research field selected for the "OAPEC Award for Scientific Research for the Year 2022" is:

Decarbonization Techniques in the Petroleum Industry and the Circular Carbon Economy "CCE"



on

OAPEC
ORGANIZATION OF ARAB
PETROLEUM EXPORTING
COUNTRIES



أوابك
منظمة الأقطار
العربية المصدرة
للبترول

OAPEC launches its **Scientific Award for the year 2022**

"Decarbonization Techniques in the Petroleum Industry and the Circular Carbon Economy"

The Organization of Arab Petroleum Exporting Countries (OAPEC) is pleased to announce its Scientific Award for the year 2022, the research topic will be "Decarbonization Techniques in the Petroleum Industry, and the Circular Carbon Economy" as per the organization's Executive Office Decision No. 1/162 dated 18 May 2022.

The launch of OAPEC Award comes in line with the organization's policy to encourage researchers by awarding two prizes on a biennial basis (**First Prize** KD **7000-10000** equivalent to USD \$23000-\$32500, **Second Prize** KD **5000** equivalent to USD \$16000).

OAPEC's interest in the field of "Decarbonization Techniques in the Petroleum Industry, and the Circular Carbon Economy" stems from the global efforts aimed at reducing harmful emissions to the environment. A special focus has been given to petroleum industries (at all stages) to enable them meeting the requirements of decarbonization while maintaining their profitability and vital role in providing clean petroleum products at acceptable and fair prices.

The research topic of OAPEC Scientific Award for the Year 2022 tackles technologies that can help the petroleum industry to cut carbon emissions and achieve emissions-free production during all its stages, from drilling and production operations, to refining, petrochemicals production and distribution. This is in addition to benefitting from adopting the Circular Carbon Economy notion as a mean to cut carbon emissions.

The deadline for receiving the participating research works is 31 May 2023. Winners will be chosen by a scientific committee formed under the chairmanship of OAPEC Secretary General, Ali Sibt Ben Sibt, and the membership of OAPEC and non-OAPEC petroleum experts. For more information about the award, please scan the following code:



Advanced Materials Research. 550-553. 667-670. 10.4028/www.scientific.net/AMR.550-553.667.

Wang L.K., Lin W., Hung YT. (2004) Thermal Oxidation. In: Wang L.K., Pereira N.C., Hung YT. (eds) Air Pollution Control Engineering. Handbook of Environmental Engineering, vol 1. Humana Press, Totowa, NJ. https://doi.org/10.1007/978-1-59259-778-9_8

Wang, H., Kuang, S., Lang, Q., & Yu, W. (2018). Effects of Aged Oil Sludge on Soil Physicochemical Properties and Fungal Diversity Revealed by High-Throughput Sequencing Analysis. Archaea (Vancouver, B.C.), 2018, 9264259. <https://doi.org/10.1155/2018/9264259>

WB(2007), Environmental, health, and safety guidelines for natural gas processing : Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para el procesamiento de gas natural (Spanish). Washington, D.C. : World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/105531487237374716/Guias-sobre-medio-ambiente-salud-y-seguridad-para-el-procesamiento-de-gas-natural>

WB, 1998. Petroleum Refining, Pollution Prevention and Abatement Handbook, World Bank Group. July 1998.

Xuening Li et al 2020 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 467 012173. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/467/1/012173/pdf>

Yang, G., He, L., Feng, L., Yong, Z., Bo, Y., & Haoyu, L. (2015, October 20). Application of DOWS (Downhole Oil Water Separation) Technology Used in High Water-Cut Oilfield: Case Study. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/176421-MS

Yokogawa (2020), Sour Water Stripper Process, <https://www.yokogawa.com/library/resources/application-notes/sour-water-stripper-process/>

Yu, Y., Jin,Z., Li,J., Jia,L., (2020) "Research on the Impact of Carbon Tax on CO2 Emissions of China's Power Industry", Journal of Chemistry, vol. 2020, Article

Zhang X, Gao B, Creamer AE, Cao C, Li Y. Adsorption of VOCs onto engineered carbon materials: A review. J Hazard Mater. 2017 Sep 15;338:102-123. doi: 10.1016/j.jhazmat.2017.05.013. Epub 2017 May 12. PMID: 28535479.

Zhang, C., Wu, Q., Wang, X., & Lü, N. (2013). Application of rotary geosteering drilling in deep and thin reservoirs of Tarim Basin, NW China. *Petroleum Exploration and Development*, 40, 801-805.

Zhao, M., Liu, F., Sun, W., & Tao, X. (2020). The Relationship between Environmental Regulation and Green Total Factor Productivity in China: An Empirical Study Based on the Panel Data of 177 Cities. International journal of environmental research and public health, 17(15), 5287. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155287>

Zhixin, Zhang & Ya, Li. (2011). The Impact of Carbon Tax on Economic Growth in China. Energy Procedia. Available on line at www.sciencedirect.com

Sorrels, J.L., Randall, D.D, Fry, C.R., Schaffner, K.S., Frey, C.R. (2019), Selective Catalytic Reduction, June 2019. https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-12/documents/scrcostmanualchapter7thedition_2016revisions2017.pdf

Sorrels, J.L., Randall, D.D, Fry, C.R., Schaffner, K.S., (2019), Selective Non-catalytic Reduction-April 2019. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-12/documents/snrcostmanualchapter7thedition20162017revisions.pdf>

Speight, J.G., (2019) Chapter 10 - Upgrading by Hydrotreating, Editor(s): James G. Speight, Heavy Oil Recovery and Upgrading, Gulf Professional Publishing, 2019, Pages 423-465, ISBN 9780128130254, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813025-4.00010-6>.

Stephan, B.J, 2013. Refining refiners' spent catalysts.
<https://www.digitalrefining.com/article/1000782/refining-refiners-spent-catalysts>

Stewart, R.B. Environmental regulation and international competitiveness 1993, The Yale law journal № 1993, Vol.102

Strausscenter, n.d., Seismic mapping, <https://www.strausscenter.org/energy-and-security-project/seismic-mapping/>).

The editors of Encyclopedia Britannica, <https://www.britannica.com/technology/wastewater-treatment/Dewatering>

Taiwo, E. A. ; Otolorin, J.A (2009) Oil Recovery from Petroleum Sludge by Solvent Extraction, Petroleum Science and Technology, 27:8, 836-844, DOI: 10.1080/10916460802455582.

UNFCCC (2021), UN Climate press release / 26 Fev, 2021, Greater Climate Ambition Urged as Initial NDC Synthesis Report Is Published. <https://unfccc.int/news/greater-climate-ambition-urged-as-initial-ndc-synthesis-report-is-published>

Ulucak,R., Yücel,A.G. Koçak,E.(2019) - The Process of Sustainability: From Past to Present, Editor(s): Burcu Özcan, İlhan Öztürk, Environmental Kuznets Curve (EKC), Academic Press, 2019, Pages 37-53,

U.S. Congress, Office of Technology Assessment, Managing Industrial Solid Wastes From Manufacturing, Mining, Oil and Gas Production, and Utility Coal Combustion-Background Paper, OTA-BP-O-82 –p70, (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, February 1992)

Veil, J.A, 2001; New Technologies for Managing Oil Field Wastes presented at the ASTM Energy Technology Conference and Exhibition,Environmental Symposium, February 5-7, 2001 Houston, Texas <https://www.osti.gov/servlets/purl/766354>

Van der Vaart, D. R., Marchand, E.G., Bagely, A., - Pride (1994) Thermal and catalytic incineration of volatile organic compounds, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 24:3, 203-236, DOI: 10.1080/10643389409388466

Vikrant, Kumar & Kim, Ki-Hyun & Szulejko, Jan & Pandey, Sudhir & Singh, R S & Giri, Balendu & Brown, Richard & Lee, Sang-hun. (2017). Bio-filters for the Treatment of VOCs and Odors - A Review. Asian Journal of Atmospheric Environment. 11. 139. 10.5572/ajae.2017.11.3.139.

Wachasunder, S., (2004) Assessment of refinery noise impact on workers – a case study, International Journal of Environmental Studies, 61:4, 459-470, DOI: 10.1080/0020723032000163146
Walley, N., Whitehead, B., 1994, It's Not Easy Being Green, Harvard Business Review, May–June 1994. <https://hbr.org/1994/05/its-not-easy-being-green>

Wang, Chun & Liu, Jian & Guo, Peng. (2012). An Analysis of Limestone Gypsum Desulfurization Systems.

Petropedia (n.d). Slim Hole Drilling (<https://www.petropedia.com/definition/9221/slim-hole-drilling>)
 PI (2019), Pembina Institute, Where the money goes: How revenue from carbon taxes drives change without hurting Albertans. <https://www.pembina.org/pub/price-on-pollution-carbon-taxes>

Poddar, T.K., Majumdar, S., Sirkar, K.K., 1996, Removal of VOCs from air by membrane-based absorption and stripping, Journal of Membrane Science, Volume 120, Issue 2, 1996, Pages 221-237, ISSN 0376-7388, [https://doi.org/10.1016/0376-7388\(96\)00145-7](https://doi.org/10.1016/0376-7388(96)00145-7).

Prestivac (n.d), How to Safely Recover Coke Dust? <https://prestivac.com/blog/how-to-safely-recover-coke-dust>.

Ramón A. Alvarez, R.A., Paranhos, E., 2012, Air Pollution Issues Associated with Natural Gas and Oil Operations. <https://www.edf.org/sites/default/files/AWMA-EM-airPollutionFromOilAndGas.pdf>

Ratnayaka, D.D., Brandt, M.J., Johnson, M.K., Chapter 7 - Storage, Clarification and Chemical Treatment, Water Supply (Sixth Edition), Butterworth-Heinemann, 2009, Pages 267-314, <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6843-9.00015-9>

Refinitiv (2020), Global Carbon Market Report 2020 <https://www.refinitiv.com/en/resources/special-report/global-carbon-market-report>

REN21 (2018), Decarbonising the Transport Sector with Renewables Requires Urgent Action- 18 November 2020. <https://www.ren21.net/decarbonise-transport-sector-2020/>

Repetto, R. Jobs, Competitiveness, and environmental regulation: What Are the Real Issues? World Resources Institute March 1995, http://pdf.wri.org/jobscompetitivenessenvironment_bw.pdf

Rezaei, F., Rownaghi, A.A., Monjezi, S., Lively, R.P., Jones, C.W., (2015)- SOx/NOx Removal from Flue Gas Streams by Solid Adsorbents: A Review of Current Challenges and Future Directions. Energy Fuels 2015, 29, 9, 5467–5486 Publication Date: August 4, 2015, <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b01286>

Rudd, H.J., Hill, N.A., 2013, Measures to Reduce Emissions of VOCs during Loading and Unloading of Ships. <https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/vocloading.pdf>

Ryu, R., Park, C., Jeon, S.W., 2019, Mapping and Statistical Analysis of NO₂ Concentration for Local Government Air Quality Regulation. <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/14/3809/pdf>

Salvucci, R., & Tattini, J. (2019). Global outlook for the transport sector in energy scenarios. In DTU International Energy Report 2019: Transforming Urban Mobility (p25)

Salymp petroleum, Smart fields, (<https://salympetroroleum.com/technologies/production/smartfields/>). EPA, 2013. Petroleum Refineries, GHGRP Industrial Profiles. https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-11/documents/refineries_2013_112516.pdf

Senat (2020), La qualité de l'eau et assainissement en France. Annexe 78 - Etapes et procédés de traitement des eaux usées. <https://www.senat.fr/rap/I02-215-2/I02-215-269.html>.

Sil A., Wakadikar K., Kumar S., Babu S., Sivagami S., Tandon S., Hettiaratchi P., 2012, Toxicity Characteristics of Drilling Mud and Its Effect on Aquatic Fish Populations, Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste 12 (16), 51-57.

Soegianto A., Irawan B., Affandi M., 2008, Toxicity of Drilling Waste and Its Impact on Gill Structure of Post Larvae of Tiger Prawn (Penaeus monodon), Global Journal of Environmental Research 2 (1), 36-41.
 Solarcellcentral (n.d.), http://solarcellcentral.com/csp_page.html

Masekameni MD, Moolla R, Gulumian M, Brouwer D. Risk Assessment of Benzene, Toluene, Ethyl Benzene, and Xylene Concentrations from the Combustion of Coal in a Controlled Laboratory Environment. *Int J Environ Res Public Health.* 2018;16(1):95. Published 2018 Dec 31. doi:10.3390/ijerph16010095

McCurdy, R., 2014. Underground Injection Wells For Produced Water Disposal, https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/21_McCurdy_-_UIC_Disposal_508.pdf.

Miah, Muhammad & Kazi, Raihan & Uddin, Nazim & Bhuiyan,. (2012). Effluent Treatment Plant: A Tool for Protecting Environment from Pollution. University Journal of Business. 33.

Miller, B.G., 9- Formation and Control of Sulfur Oxides, Editor(s): Bruce G. Miller, Clean Coal Engineering Technology (Second Edition), Butterworth-Heinemann, 2017, Pages 467-506, ISBN 9780128113653, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811365-3.00009-0>.

Millimet, D.L, Roy,S., Sengupta, A., Environmental Regulations and Economic Activity: Influence on Market Structure- Southern Methodist University.
<https://core.ac.uk/download/pdf/204482966.pdf>

Mueller, D. (2015, February 3). Treatment and Permitting of Produced Water for Discharge to Surface Water. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/173366-MS

Nasr, Fayza & Shana, Abdelrahman. (2019). Natural gas processing wastewater management. Egyptian Journal of Chemistry. 10.21608/ejchem.2019.12230.1763.
https://www.researchgate.net/publication/334294787_Natural_gas_processing_wastewater_management

Neff, J.M., S. McKelvie and R.C. Ayers, Jr. 2000. Environmental impacts of synthetic based drilling fluids. Report prepared for MMS by Robert Ayers & Associates, Inc. August 2000. U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA. OCS Study MMS 2000-064. 4 pp

Nwanyanwu, C.E., & Abu, G.O. (2010). In vitro effects of petroleum refinery wastewater on dehydrogenase activity in marine bacterial strains. *Ambiente E Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 5, 21-29.

Oikawa, Katsuo & Yongsiri, Chaturong & Takeda, Kazuo & Harimoto, Takayoshi. (2003). Seawater flue gas desulfurization: Its technical implications and performance results. *Environmental Progress*. 22. 67 - 73. 10.1002/ep.670220118.

Onwukwe, S.I.; and M. S. Nwakaudu. (2012). Drilling Wastes Generation and Management Approach. *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 3, No. 3, June 2012.
<http://www.ijesd.org/papers/226-D598.pdf>

OPEC (2020), OPEC launches 2020 edition of the World Oil Outlook.
https://www.opec.org/opec_web/en/press_room/6147.htm

Ozturk, B. Yilmaz, D., (2006), Absorptive Removal of Volatile Organic Compounds from Flue Gas Streams. *Process Safety and Environmental Protection - PROCESS SAF ENVIRON PROT.* 84. 391-398. 10.1205/psep05003.

Pett, P., (2017). The pros and cons of flue gas recirculation- 10 August 2017,
<https://www.hvpmag.co.uk/The-pros-and-cons-of-flue-gas-recirculation-/10382>

Pettinger,T (2019), Carbon Tax – Pros and Cons,
<https://www.economicshelp.org/blog/2207/economics/carbon-tax-pros-and-cons>

Kamal, M.S., Razzak, S.A., Hossain, M.M (2016), Catalytic oxidation of volatile organic compounds (VOCs): A review, Atmospheric Environment, Volume 140, 2016, Pages 117-134, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.031>.

Kharaka, Yousif & Dorsey, Nancy. (2005). Environmental issues of petroleum exploration and production: Introduction. Environmental Geosciences. 12. 61-63. 10.1306/eg.intro0605020205.

Khurana,P. Thatai,S., Kumar,S.D, 2019. Destruction of recalcitrant nanomaterials contaminants in industrial wastewater, Chap.6, Elsevier, 2019, Pages 137-158, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814673-6.00006-1>.

Kokayeff P., Zink S., Roxas P. (2015) Hydrotreating in Petroleum Processing. In: Treese S., Pujadó P., Jones D. (eds) Handbook of Petroleum Processing. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14529-7_4

Krupnick,A., Gordom, H.,Olmstead, S., 2013, What the Experts Say about the Environmental Risks of Shale Gas Development and production activities. <https://www.rff.org/news/press-releases/what-the-experts-say-about-the-environmental-risks-of-shale-gas-development/>

Kuvaev, I.,2020, Modern Geosteering Technologies.

https://prod.eage.org/sitecore/content/events/home/2020/saint-petersburg-2020/technical-programme/lectures/lecture-3?sc_lang=en

Lanoie, P., M. Patry, and R. Lajeunesse (2008), Environmental Regulation and Productivity: New Findings on the Porter Hypothesis, Journal of Productivity Analysis 30, 121–128.

LCI, 2018, La redaction de LCI: où va l'argent de la fiscalité écologique ? 28/11/2018, <https://www.lci.fr/politique/gilets-jaunes-ou-va-l-argent-de-la-fiscalite-ecologique-impots-transition-ecologie-2105784.html>

Lesage, N. (2020), Etude d'un procédé hybride Adsorption / Bioréacteur à membranes pour le traitement des effluents industriels. https://www.researchgate.net/figure/1-Schema-dune-filiere-de-traitement-des-eaux-de-raffinerie_fig2_50193642

Jiling Liang, Lingxi Zhao, Wanguo Hou, Solid effect in chemical cleaning treatment of oily sludge, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 522, 2017, Pages 38-42, ISSN 0927-7757, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.02.038>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927775717301723>)

Lockhart F.J., Chilingarian,G.V., Kumar,S., (1987) Chapter 3 Separation of oil and Gas, Editor(s): G.V. Chilingarian, J.O. Robertson, S. Kumar, Developments in Petroleum Science, Elsevier, Volume 19, Part A, 1987, Pages 59-108, ISSN 0376-7361

Londerville, S; Anderson, K; Baukal, C; Bussman, W, (2019)- Water/Steam injection for NOx reduction in process burners. https://www.medsci.cn/sci/show_paper.asp?id=111d71213515ce20

Macaluso et al (2018), The impact of carbon taxation and revenue recycling on u.s. industries <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7050298/pdf/nihms-966723.pdf>

Marjolaine (2017), Canada and USA renewable energy regulations, <https://www.biogasworld.com/news/low-carbon-fuel-standards-canada-renewable-fuel-standards-us-two-regulations-will-affect-production-future-biogas/>

Martin, M.D., (2006), Managed pressure drilling techniques and tools. <https://core.ac.uk/download/pdf/147125512.pdf>

Idachaba, F.E. (2012) *Current Trends and Technologies in the Oil and Gas Industry*. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2 (7). ISSN 2250-2459.
<http://eprints.covenantuniversity.edu.ng/3932/>

IEA (2016), Energy policies of IEA countries-IEA publications, International Energy Agency
<https://webstore.iea.org/download/summary/307>

IEA (2020), Methane Tracker 2020, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/methane-tracker-2020>

IEA (2020), World Energy Outlook 2020, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>

IEA(2018) International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2018. Paris, France: IEA Publications; 2018.

Igunnu, Ebenezer & Chen, George. (2012). (Open Access) Produced water treatment technologies. International Journal of Low-Carbon Technologies. 1-21. 10.1093/ijlct/cts049.

Imrane, A.; Al-Thukair, A. (2009). Environmental Assessments in the Oil and Gas Industry. Water, Air, & Soil Pollution: Focus. 9. 99-105. 10.1007/s11267-008-9190-x.

https://www.researchgate.net/publication/227246012_Environmental_Assessments_in_the_Oil_and_Gas_Industry

IOGP (2019), Demand for oil & gas grows faster than production in most of the world.

<https://www.iogp.org/blog/press-releases/global-production-report-press-releases/demand-for-oil-gas-grows-faster-than-production/>

IPIECA, International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA), International OGP (2009), Association of Oil and Gas Producer, Drilling Fluids and Health Risk Management: A Guide for Personnel, Managers and Health Professionals in the Oil and Gas Industry, IPIECA/OGP, Report 396, United Kingdom.

IRENA (2019), Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050

https://www.opec.org/opec_web/en/press_room/6147.htm

IRENA (2020), Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Apr/IRENA_GRO_Summary_2020.pdf

Ismail, A., Alias, A.H., Wan Sulaiman, W., Jaafar, M. Z, Ismail, I. (2017). Drilling Fluid Waste Management in Drilling for Oil and Gas Wells. Chemical Engineering Transactions. https://www.researchgate.net/publication/316312485_Drilling_Fluid_Waste_Management_in_Drilling_for_Oil_and_Gas_Wells

Ismail, Abdul & Alias, Abdul & Wan Sulaiman, Wan Rosli & Jaafar, Mohd Zaidi & Ismail, Issham. (2017). Drilling Fluid Waste Management in Drilling for Oil and Gas Wells. Chemical Engineering Transactions. 56. 1351-1356. 10.3303/CET1756226.

Jaffe, A., Peterson, S., Portney, P., & Stavins, R. (1995). Environmental Regulation and the Competitiveness of U.S. Manufacturing: What Does the Evidence Tell Us? Journal of Economic Literature, 33(1), 132-163. Retrieved December 16, 2020, from <https://scholar.harvard.edu/files/stavins/files/env regulationand.pdf>

Jerry M. Neff, Kenneth Lee, Elisabeth M. DeBlois. "Produced Water: Overview of Composition, Fates and Effects", https://www.researchgate.net/publication/279946440_Produced_Water

Kalogirou,S.A.,2009, Chapter nine - Photovoltaic Systems, Editor(s): Soteris A. Kalogirou, Solar Energy Engineering, Academic Press, 2009, Pages 469-519, ISBN 9780123745019,<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374501-9.00009>

Gbadebo A.M.A., Taiwo A.M.A., Eghele U.U., 2010, Environmental Impacts of Drilling Mud and Cutting Wastes from the Igbokoda Onshore Oil Wells, Southwestern Nigeria, Indian Journal of Science and Technology 3 (5), 504-510.

Garg, A.,(1994). Specify better low-NOx burners for furnaces. Chemical Engineering Progress; (United States). 90:1.

Geldermann, Jutta & Treitz, M. & Schollenberger, H. & Rentz, O.. (2006). Evaluation of VOC recovery strategies. OR Spectrum. 28. 3-20. 10.1007/s00291-005-0006-3.

Gibson, D.M. (2016). The advantages & requisite considerations of slim-hole drilling.

GP (n.d.), Georgia Power, improving air quality-finding balance

<https://www.georgiapower.com/community/environment/improving-air-quality-finding-balance.html>

Goldberg, E., Min, M.K., 2014, Chapter 19 - Environmental Concerns, Editor(s): Henry C. Vogel, Celeste M. Todaro, Fermentation and Biochemical Engineering Handbook (Third Edition), William Andrew Publishing, 2014, Pages 385-400, ISBN 9781455725533, <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-2553-3.00019-2>.

Guerra, K., Dahm,K., Dundorf,S., (2011)- Oil and Gas Produced Water Management and Beneficial Use in the Western United States, p.5, S&T report No. 157. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver. <https://www.usbr.gov/research/dwpr/reportpdfs/report157.pdf>

Hayward, L. (2015), Produced Water: An Expensive Problem For A Thirsty Fracking Industry,

Henze, V. (2020), Solar and Wind Reach 67% of New Power Capacity, BloombergNEF, 01/09/2020

<https://about.bnef.com/blog/solar-and-wind-reach-67-of-new-power-capacity-added-globally-in-2019-while-fossil-fuels-slide-to-25/>

HHS (2004) Interaction profile for: Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX) U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.atsdr.cdc.gov/interactionprfiles/ip-btex/ip05.pdf>

Hou, S. X. Xie, M. Chen, Y. Jin, D. Hao & R. S. Wang (2013) The Treatment of Refinery Heavy Oil Sludge, Petroleum Science and Technology, 31:5, 458-464, DOI: 10.1080/10916466.2012.708083

Hove, A.,(2020),Trends and Contradictions in China's Renewable Energy Policy-Columbia SIPA-Center on global policy <https://www.energypolicy.columbia.edu/research/commentary/trends-and-contradictions-chinas-renewable-energy-policy>

HSRC (2003),Hazardous Substance Research Centers/ Environmental Impact of the Petroleum Industry-June 2002. https://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.files/fileID/14522
<http://energyfuse.org/oil-and-water/>

Huang, Weiqiu & Shi, L. & Hu, Z.-L & Zheng, Z.-N. (2012). Integrated technology of condensation and adsorption for volatile organic compounds recovery. Huaxue Gongcheng/Chemical Engineering (China). 40. 13-17+71.

Huang, Z., Xu,Z., Quan,Y., Jia,H., Li,J., Li,Q., Chen Z., Pu,K., A review of treatment methods for oil-based drill cuttings, 2nd International Symposium on Resource Exploration and Environmental Science (REES 2018), IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Volume 170,

ICF (2000), Overview of exploration and production waste volumes and waste management practices in the united states. ICF consulting, May 2000.

https://www.api.org/~media/files/ehs/environmental_performance/icf-waste-survey-of-eandp-wastes-2000.pdf?la=en

DTE (2018), Most EU countries set to miss 2020 carbon emission reduction targets: report. Published: 19 June 2018. <https://www.downtoearth.org.in/news/climate-change/most-eu-countries-set-to-miss-2020-carbon-emission-reduction-targets-report-60882>)

Dutton, n.d., Natural Gas Processing. <https://www.e-education.psu.edu/fsc432/content/natural-gas-processing>.

EB (2013), Encyclopedia Britannica, 2013., The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2013. Adsorption, PUBLISHER Encyclopædia Britannica, Date published, August 06, 2013. <https://www.britannica.com/science/adsorption>

Echeverría, Víctor, Monsalve, Gladys, & Vidales, Humberto. (2002). CONTINUOS TREATMENT OF OILY SLUDGE AT COLOMBIAN REFINERIES. CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro, 2(3), 61-70. Retrieved January 23, 2021, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53832002000100006&lng=en&tlang=en.

EDF (n,d), Environmental Defense Fund, The world's carbon markets A case study guide to emissions trading. <https://www.edf.org/worlds-carbon-markets>

Eman A. Emam (2015), Gas flaring in industry: an overview, Department of Chemical Eng. and Pet. refinery, Suez University, Egypt.<http://large.stanford.edu/courses/2016/ph240/miller1/docs/emam.pdf>.

El Neiri, M.H., Dahab, A.S., A.M. Abdulaziz. (2016), "The Dynamic Underbalanced Drilling: A New Drilling Technique." Paper presented at the SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition, Abu Dhabi, UAE, January 2016. doi: <https://doi.org/10.2118/178153-MS>

EPA (1978), US EPA Office of air quality, Control of VOCs leaks from petroleum refinery equipment, p.13 <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=2000UO9J.txt>

EPA (2003), Environmental Impact of the Petroleum Industry, Published by the Hazardous Substance Research Centers, June 2003.

https://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.files/fileID/14522

Exxonmobil (2019), Emissions aug 28, 2019 <https://corporate.exxonmobil.com/Energy-and-environment/Looking-forward/Outlook-for-Energy/Emissions>

Fattal (2005), Les problèmes d'environnement dans une région d'extraction pétrolière. https://igarun.univ-nantes.fr/medias/fichier/08_fattal_1423122075979.pdf

Fernandez, R.M. Conflicting energy policy priorities in EU energy governance. J Environ Stud Sci 8, 239–248 (2018). <https://doi.org/10.1007/s13412-018-0499-0>

Ferris, A. E., and A. McGartland. 2014. A research agenda for improving the treatment of employment impacts in regulatory impact analysis. In Does Regulation Kill Jobs?

Francis, D., (2014), Extended-reach drilling systems address downhole challenges Sep 17th, 2014. <https://www.offshore-mag.com/drilling-completion/article/16804571/extendedreach-drilling-systems-address-downhole-challenges>

Fink, J.K., 2015). Chapter VI - Environmental Aspects and Waste Disposal, Water-Based Chemicals and Technology for Drilling, Completion, and Workover Fluids, Gulf Professional Publishing, 2015, Pages 251-270, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802505-5.00006-8>.

García-Olivares, D. et al , 2018. Transportation in a 100% renewable energy system, Energy Conversion and Management, Volume 158, 2018, Pages 266-285, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.053>.

Brunnermeier, S.B., and M.A. Cohen (2003), Determinants of Environmental Innovation in US Manufacturing Industries, Journal of Environmental Economics and Management 45, 278–293.

Bruvoll,A., Larsen,B.M., Greenhouse gas emissions - do carbon taxes work?
<https://econweb.ucsd.edu/~carsonvs/papers/632.pdf>

C2ES (n.d.), Renewable energy, Center for climate and energy solutions
<https://www.c2es.org/content/renewable-energy/>

Cairncross, F. (1992). Costing the earth: The challenge for governments, the opportunities for business. Boston, Mass: Harvard Business School Press.

Chan, Hei Sing (Ron) & Li, Shanjun & Zhang, Fan, 2013. "Firm competitiveness and the European Union emissions trading scheme," Energy Policy, Elsevier, vol. 63(C), pages 1056-1064.

Chaudhary, Durgananda & Vigneswaran, Saravanamuth & Ngo, Huu-Hao & Shim, Wang-Geun & Moon, Hee. (2003). Biofilter in Water and Wastewater Treatment. Korean Journal of Chemical Engineering. 20. 1054-1065. 10.1007/BF02706936.

Clark, C.E., Veil, J.A., 2009. Produced water volumes and management practices in the US. Environmental Science Division, Argonne National Laboratory, September 2009. https://www.circleofblue.org/wp-content/uploads/2010/09/ANL_EVS_R09_produced_water_volume_report_2437.pdf

Condorchem, n.d., NOx purification (nitrogen oxides), <https://condorchem.com/en/nox-purification/>
D.A. Dando, Martin, D.E, 2003, a guide for reduction and disposal of waste from oil refineries and marketing installations. http://files.gamta.lt/aaa/Tipk/tipk/4_kiti%20GPGB/44.pdf

Cunic, J D, & Feinberg, A S. (1996), Innovations in FCCU wet gas scrubbing. United States.

Dechezleprêtre, A., Sato, M. 2017, The Impacts of Environmental Regulations on Competitiveness. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1093/reep/rex013>

Dechezleprêtre, Antoine & Sato, Misato. (2017). The Impacts of Environmental Regulations on Competitiveness. Review of Environmental Economics and Policy. 11. 183–206. 10.1093/reep/rex013. https://www.researchgate.net/publication/317028447_The_Impacts_of_Environmental_Regulations_on_Competitiveness

Deng, S., Wang, X., Tan, H., Mikulčić, H., Yang, F., Li, Z., Duić, N. Thermogravimetric study on the Co-combustion characteristics of oily sludge with plant biomass, Thermochimica Acta, Volume 633, 2016, Pages 69-76, ISSN 0040-6031, <https://doi.org/10.1016/j.tca.2016.03.006>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040603116300284>)

Desrosiers, Eric, 2020. "Les énergies renouvelables moins chères que tout autre carburant fossile" <https://www.ledevoir.com/economie/580067/environnement-les-energies-renouvelables-moins-cheres-que-tout-autre-carburant-fossile>

Dhir, Ravindra & Csetenyi, Laszlo & Dyer, Tom & Smith, G.. (2010). Cleaned oil-drill cuttings for use as filler in bituminous mixtures. Construction and Building Materials. 24. 322–325. 10.1016/j.conbuildmat.2009.08.022.

Diane (1995), Managing Industrial Solid Wastes from Manufacturing, Mining, Oil and Gas Production and Utility Coal Combustion, Diane Publishing Company, 1995, p.67

Doyle, B.W (2009), Oxygen-based NOx Control,
<http://www.westar.org/Training/Course%20Material/Manual-Ch05-Staging.pdf>

References

- Abdelkader, M & Al-Salaymeh, Ahmed & Al-Hamamre, Zayed & Sharaf, Firas. (2010). A comparative Analysis of the Performance of Monocrystalline and Multiocrystalline PV Cells in Semi Arid Climate Conditions: the Case of Jordan. *Jordan J Mech Ind Eng.* 4.
- Abdelsabour, M. (2015). Oil & Gas industry Waste Management.
https://www.researchgate.net/publication/286620089_Oil_Gas_industry_Waste_Management
- Aldy, J.E., Stavins, R. 2011. The Promise and Problems of Pricing Carbon: Theory and Experience NBER Working Paper No. 17569, November 2011.
https://www.nber.org/system/files/working_papers/w17569/w17569.pdf
- Al-Mutairi N., Bufarsan A., Al-Rukaibi F. Ecorisk evaluation and treatability potential of soils contaminated with petroleum hydrocarbon-based fuels. *Chemosphere.* 2008;74(1):142–148. doi: 10.1016/j.chemosphere.2008.08.020
- Alshammari, J.S., Gad,F.K., Elgibaly, A.M., Khan, A., 2008. Solid Waste Management in Petroleum Refineries. *American Journal of Environmental Sciences* 4 (4): 353-361, 2008.
<http://thescipub.com/pdf/10.3844/ajessp.2008.353.361>
- Appunn, K., Eriksen, F., Wettengel,J., (2020),. Germany's greenhouse gas emissions and energy transition targets. 03 Jun 2020. <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-greenhouse-gas-emissions-and-climate-targets>
- Armstrong, A.J., Hamrin, D., 2000. The renewable energy policy manual- U.S. Export Council for Renewable Energy. <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea79e/ch05.htm>
- Azizah, Alif & Widiasa, I. (2018). Advanced Oxidation Processes (AOPs) for Refinery Wastewater Treatment Contains High Phenol Concentration. *MATEC Web of Conferences.* 156. 03012. 10.1051/matecconf/201815603012.
- Badrulislam, 2015, Petroleum sludge, its treatment and disposal: a review. *Int. J. Chem. Sci.:* 13(4), 2015, 1584-1602, ISSN 0972-768X, www.sadgurupublications.com
- Bakke, Torgeir & Klungsøy, Jarle & Sanni, Steinar. (2013). Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry. *Marine environmental research.* 92. 10.1016/j.marenvres.2013.09.012.
- Baptiste, A.K, and Nordenstam, B.J. (2009). Impact of oil and gas drilling in Trinidad: factors influencing environmental attitudes and behaviours within three rural wetland communities. *Environmental Conservation.* Pp 1-8. In Press.
- Benyahia, Farid & Al Zarooni, Mohamed & Embaby, Ahmed. (2006). Refinery wastewater treatment: A true technological challenge. 10.13140/RG.2.1.4642.8562.
https://www.researchgate.net/publication/228486935_Refinery_wastewater_treatment_A_true_technological_challenge
- Beuermann C, Santarius T (2006) Ecological tax reform in Germany: Handling two hot potatoes at the same time. *Energy Policy,* 34(8): 917–929.
- Bothamley, Mark. (2004). Offshore processing options vary widely. 102. 47-50+52.
https://www.researchgate.net/publication/294337125_Offshore_processing_options_vary_widely.
- Boyd,G .A., Mclelland, J., 1996, The impact of environmental constraints on productivity improvement and energy efficiency in integrated paper and steel plants. <https://www.osti.gov/servlets/purl/446026>

10. Conclusions

This study was about assessing one of the most polluting human activities, and identifying the local and global environmental and ecological impacts resulting from those activities. The study has provided insights on the environmental and ecological impacts resulting from the exploration, production and processing of oil and gas. It has also identified wastes resulting from upstream and downstream activities and identified current treatment methods to deal with these wastes. Also, the study focused on the issue of energy transition and the prominent role that renewable energies should have in this transition to a low carbon economy. This being said, it is important to emphasize that the majority of the world's ecological problems are in fact energy problems. Climate change and all its consequences on the environment are essentially linked to the energy issue, since it is the fossil sources of energy that we produce and use that create the problems of pollution (Air, water and land pollution), the greenhouse effect and CO₂ emissions. Air pollution is also an energy issue, since it is again these energies that produce fine particles and most polluting gases. In fact, because our socio-economic system operates in an "open" circuit (the recycling rate is minimal compared to what is produced), the activities of almost all sectors and industries are responsible for pollution. In addition, pollutant discharges know no borders, neither physical nor administrative, and also contaminate air, soil and subsoil, as well as rivers, aquifers and oceans.

This dire situation resulted both from the unsustainable exploitation of fossil energy sources as well as from the energy consumption patterns which consisted in producing fossil energy to satisfy an ever increasing demand with no regard to environmental implications. The ever increasing energy consumption combined with the expected oil scarcity and the climate change issues make the current consumption model unsustainable. It is therefore essential to switch to another model of responsible consumption of energy. The current energy paradigm, based on unrestrained use of fossil fuels, must be replaced by a consumption model that favor environmental friendly energy sources such as wind, solar sources, etc.; and at the same time limit wastes and favor recycling in order to preserve the planet. There is no miracle solution but there exist a set of alternative solutions which should be implemented in the logic of complementarity. The situation requires a multi-pronged approach that includes the use of biofuels, hybrid vehicles, synthetic fuels, natural gas, and hydrogen. It is the only viable way to reverse a trend which has been taking place for decades. Failing to do so, fossil energy will continue to predominate for a long time to come.

The urgency of the climate threat requires that the right incentives be created now, so that energy transition is directed in the right direction and in the meantime economies reduce their use of fossil fuels. These incentives can only be provided by an energy policy, which must make carbon emissions more expensive. Carbon taxation is indeed an effective lever in the general orientation of the energy policy and the economy towards less polluting activities. Above and beyond budgetary and financial considerations, the energy transition is also proving to be both a challenge and an opportunity for economic development.

Table 11. Carbon tax, Pros and Cons

Source: Pettinger (2019)

Pros	Cons
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Make polluters pay external cost of carbon ✓ Raises revenue which can be spent on mitigating effects of pollution ✓ Encourages firms and consumers to look for alternatives, e.g. solar power ✓ Reduces environmental costs associated with excess carbon pollution. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Loss of international competitiveness ✓ Laying off of workers ✓ Raise cost of goods and services ✓ Hurts low income people ✓ May encourage tax evasion, i.e. firms polluting in secret to avoid tax ✓ Induce administration costs in measuring pollution ✓ Businesses may shift production to countries without a carbon tax

towards renewables, to improve energy efficiency or to invest in clean technology innovation. Each country has its own policy regarding the redistribution of the revenues from carbon taxation. A number of countries including Canada, France, Germany, China, use part of the carbon tax revenues to finance the energy transition, coal phase-out, energy efficiency, or to support further emissions reductions, etc. (PI, 2019; LCI, 2018; Beuermann and Santarius, 2006, Zhixin and Li, 2011).

The carbon tax impacts directly businesses as the cost of using fossil fuels increases and hence the cost of producing a good, which the consumer ultimately pays. The implementation of the European Emissions Trading System has brought about an increase in the material costs (including fuel) for regulated firms in the power, cement, and iron and steel sectors by 5 percent to 8 percent (Chan and Zhang 2013, as cited in Dechezlepretre and Sato, 2017). Several countries have experienced an increase in fuel prices and home heating and cooking costs. While the negative effects of carbon taxation policy are felt almost immediately, the benefits on the other hand, are tangible only much later. In Norway, a study showed that the tax levy has had only a modest influence on GHG gas emissions (Bruvoll and Larsen, n.d.)

The conflicting views as to the relevance of the carbon tax resulted in a lack of consensus among industry operators on the carbon tax implementation, especially the manufacturing and energy-intensive sectors arguing that it brings about, among other things, a loss in competitiveness of the businesses (Macaluso et al, 2018).

All pros and cons (see Table 11) should be carefully weighed up before any decision is made regarding the implementation of the carbon tax because it is a “double-edged sword”. A high tax policy may hurt low income families because they cannot bear the tax burden resulting from the increase in fuel prices, home heating, etc. A more progressive tax policy is more likely to bring positive results.

By imposing a tax on GHG emissions, the policymakers have created a de facto interdependence between carbon taxation and energy policy since the tax in itself can be considered as an environmental policy tool. Existing studies on the impact of carbon taxation on the industries support that carbon pricing is an effective way to reduce CO₂ emissions (Macaluso et al, 2018; Yu et al, 2020; Aldy and Stavins, 2011)). Some of the key takeaways from the studies cited above:

- ✓ Without a new carbon tax, primary energy demand rises steadily along with economic expansion throughout the forecast period.
- ✓ If a carbon tax is implemented, the demand for emissions-intensive energy sources (like coal and oil) gives way to less emissions-intensive sources (like renewables and natural gas).
- ✓ the electricity sector has the most flexibility to fuel-switch away from emissions-intensive fuels
- ✓ The second-largest source of emissions, transportation, exhibited little to no reduction in emissions intensity
- ✓ Results show a reduction in exports from energy-intensive industries if a carbon price is implemented
- ✓ A carbon price implemented unilaterally in one region will support a shift in production away from that region to a region with no carbon price
- ✓ carbon pricing can promote cost-effective abatement, deliver powerful innovation incentives, and ameliorate rather than exacerbate government fiscal problems

While China strives to peak its CO₂ emissions by 2030, authorities have clearly stated renewable energy has priority for development in the country's energy system (Hove, 2020). In its energy policy, France is prioritizing the transport and building sectors to reduce CO₂ emissions and improve energy efficiency (IEA, 2016). Although the global lockdown due COVID-19 induced a large drop in GHG (particularly CO₂) emissions across the world, many countries are expected not to meet their 2020 CO₂ emissions targets (DTE, 2018). So, there is need for reorienting energy policies in order to reach the national GHG emissions reduction targets; and to improve the energy efficiency and reduce the energy costs. Table 10 summarizes national climate targets of developed countries.

Table 10. Climate targets by country

Source: Author, data from BP statistics and other sources

Country	GHG emissions reduction target	Net zero emissions by	RE ¹ in the energy mix
Canada	30%	2050	7.2%
France	40%	2050	11.0%
Germany	55%	2050	36.7%
Italy	33%	2050	28.1%
Japan	26%	2050	11.7%
Russia	33%	2050	0.1%
Spain	23%	2050	36.6%
UK	68%	2050	35.0%
USA	26%~28% ²	2050	11.1%

¹ excluding Hydro,

² by 2025

9.2 The carbon tax and markets

The rationale behind the carbon tax is to limit GHG emissions responsible for climate change. The idea was to put a price on carbon emissions, which would increase progressively and regularly so as to encourage individuals and businesses to take the time to adapt to the changing environment.

Along with the carbon tax, carbon markets have been created with the aim of encouraging businesses to "cap and trade" their GHG emissions. A carbon market refers to "the market in which carbon credits, in other words carbon certificates, are obtained and sold within defined standards for the prevention or reduction of GHGs" (Ulucak et al, 2019). It operates according to the "polluter pays" principle. It is a system which punishes the businesses which exceeds the authorized limits on CO₂ emissions standards but rewards those which emit less. e.g. A power plant that emits more than its allocated allowance can buy missing allowances on the market; if that one plant reduces its emissions, it can resell its unused allowances and thus benefit from additional income.

Carbon markets are now underway in over 50 jurisdictions around the world including Europe, United States, Canada, China, Japan, New Zealand, South Korea and Switzerland (EDF,n.d.). The total value of global carbon market reached EUR194 billion in 2019. Traded volume reached 8.7 billion tons of emission allowances (Refinitiv, 2020). Revenues generated from the carbon taxation system can be used to finance the energy transition

9. Energy Policies Trends in the Developed Countries and the Impacts of Carbon Tax and its markets following conclusions of PCCA

A key role for COP21 was to explore ways and elaborate measures for restructuring the global energy system towards a low-carbon world economy. Implementing the Paris climate change agreement (PCCA) implies drastic changes in the current energy policies which are based on the consumption of fossil fuels (Business-as-usual policies). Basically the PCCA is about restructuring the global energy system to insure a transition towards a low-carbon economy. In this respect, more than 170 countries agreed to limit global warming to below two degrees Celsius in the present century. In order to reach this objective, parties to the agreement, including developed countries devised national energy policies based on promoting renewable energy and reducing fossil fuels consumption. Presently the main sources of energy are fossil fuels, mainly coal, oil and natural gas, which contain a high percentage of carbon. Therefore, any consistent energy transition policy aimed at reducing the global carbon footprint must be based on low carbon energy policy, and there is a global consensus that renewables and alternative fuels can help meet this objective. Developed countries have a key role to play as they hold most of the global development potential in RE technologies. According to IRENA, G20 countries hold 75% of total global deployment potential and around 70% of total global investment potential for renewable energy between now and 2030.

9.1 Energy policies trends in developed countries

Any energy policy must be based on the specific characteristics of the country where it is going to be implemented: availability of energy resources, climate, standard of living, structure of the economy, motorization rate, electrification rate, etc.

In the past, energy policies have been centered on two objectives of security of supply and affordability. With the problems linked to climate change, decarbonization of the economies has quickly emerged as an important objective. Most of the new energy policies have been designed around this objective, which clearly promotes renewable energy. By adopting the Kyoto protocol, Annex B countries (developed countries) have committed themselves to coping with key climate change challenges, most specifically reducing GHG emissions and decarbonizing the energy supply.

In the quest for a successful energy transition, the world's governments need to take radical actions with the aim of restructuring the global energy system towards sustainability. In other words, it is about reconfiguring the world's energy systems in order to accommodate changes which will inevitably occur. The energy transition requires significant investments in many economic sectors, which may span several years. To move towards this objective, policymakers must act at two levels: i) on the energy production level by promoting investments in the RE sector and slowing down the investments in fossil fuel-based energy production, and ii) on the energy supply level by introducing a carbon tax on fossil fuels. The combined effects of the energy projects policies (more RE projects and less fossil fuel-based projects) and the carbon taxation are expected to bring prospects for change in Business-As-Usual energy policies by steering energy production towards renewables.

No two countries have the same energy policy because each country has its own specific characteristics. Even among developed countries, energy policies are quite different from one another. There are even conflicting energy policies priorities within the EU (Fernandez, 2018). Some countries express their energy policy goals in terms of CO₂ emissions only while others in terms of GHG emissions-an important difference (Appunn et al, 2020).

The IEA notes that the growth in global oil demand comes to an end in the next 10 years (IEA, 2020). In all scenarios considered in the future outlook, oil is projected to remain an important component of the global (and the transport sector) energy mix. In the most optimistic cases, i.e. the low-carbon scenarios, such as BP's net zero, the use of oil would be substantially reduced to 20%. In order to achieve any of these optimistic scenarios, it will be essential to implement strengthened policies on fuel efficiency, to encourage the use of alternative fuels, and to invest heavily in the RE industry. It does not seem to be the case since both IRENA (2018) and IEA (2019) expressed the view that the current stated policies are not on the right path. What's more, a recent UN report stressed that pledges and commitments made by countries are not on track to meet the Paris agreement climate objectives (UNFCCC, 2021). If these observations are correct then we might expect an increase in the oil demand. As some have already pointed out, demand for oil and gas grows faster than production in most of the world (IOGP, 2019).

As mentioned earlier, oil is mainly used in the transport sector and it is not currently possible to replace quantitatively this energy source with sustainable energy sources. If renewable energy makes our electricity production more sustainable, that only solves part of the problem. We still have to resolve the issue of oil, which represents almost one-third of the primary energy consumption. The problem is that world's energy needs are increasing faster due to population and economic growth. The questions that come to mind are: is an energy policy based on RE technologies, up to the challenge of meeting increasing energy needs and, more specifically, decarbonizing the transport sector where most of the oil is used? How much of the primary (and the transport) energy requirements can be supplied by RE, bearing in mind that: i) the growth in RE is dominated by wind and solar power, ii) Solar and wind technologies produce only electricity whose share in the transport sector is only 1% (IRENA, 2019), and iii) other alternative sources such as biofuels, fuel cells and hydrogen are insignificant. In light of the above, and despite the continuous improvement in terms of cost effectiveness and energy efficiency, RE technologies energy output potential will not be able to displace oil from the global energy mix. The solution lies in an integrated mix of complementary solutions and approaches. This includes ambitious energy policies based on massive investments in RE projects including wind, solar, hydro and bioenergy; on improvement of energy efficiency of buildings and fuel efficiency of vehicles, and on the use of biofuels.

In order to significantly displace oil from the primary energy mix, and by the same token, decarbonize the transport sector and lower the global carbon footprint, it is necessary to take measures based on a series of steps outlined in the prospective scenarios developed by many well-known world organizations such as IEA, IRENA, BP, OPEC, etc. These scenarios are intended to show policymakers the path to a low-carbon economy and help them shape their energy policies. Basically these measures can be summarized as follows:

- ✓ Efficient Feed-In-Tariff Policies for renewable energy technologies
- ✓ Worldwide mass electrification of the transport system.
- ✓ Increasing use of alternative vehicles such as EVs, NGV and H2-fuel vehicles, efficiency of ICEs and tightening emissions standards
- ✓ Increasing use of low carbon fuels such as NG and alternative fuels such as biofuels, biomethane and hydrogen in the transport sector
- ✓ Coal phase-out plans and reliance on solar and wind in the power sector
- ✓ Development of the hydrogen industry
- ✓ Progressive implementation of government carbon-pricing systems
- ✓ Implementation of Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS)
- ✓ Increasing use of highly efficient appliances in the building sector
- ✓ Making the buildings energy efficient

Figure 17: IEA Planned scenarios

Source: IEA (2020)

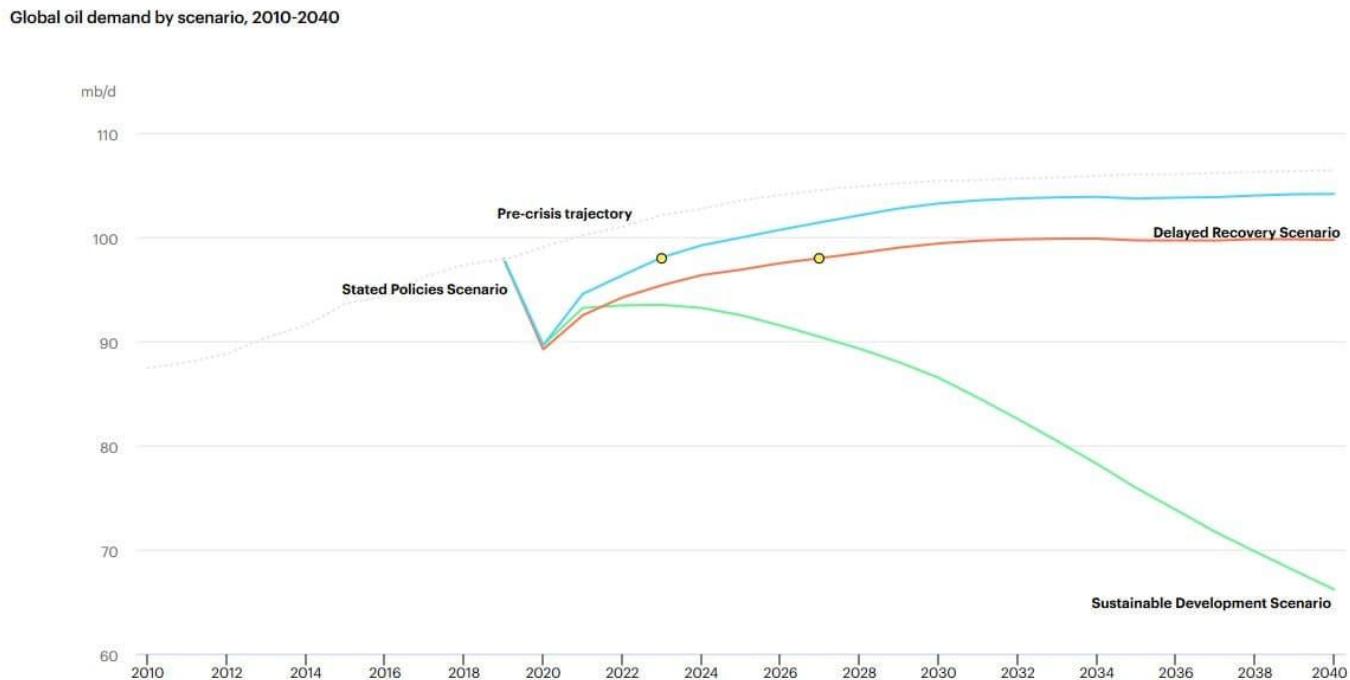
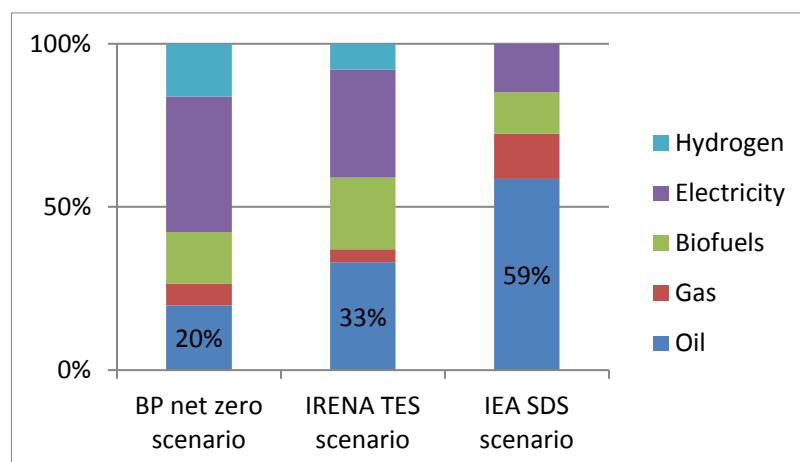


Figure 18: Projected global transport energy mix

Sources: BP statistics, Irena, IEA, (Salvucci and Tattini, 2019).



In light of these facts, is it reasonable to expect that oil will remain an important component of the global (transport) energy mix? In an attempt to provide long term perspectives for the energy transition, including the future global energy mix, several private and public organizations have presented, taking into account the negative effects of the COVID-19 pandemic, many scenarios which, they say, are not predictions but rather ways forward to phase out fossil fuels, and most particularly oil from the energy mix.

The oil giant British Petroleum (BP) explored various scenarios for the energy transition in the future (BP, 2020): Business-As-Usual, Rapid and Net Zero. By 2050, according to the conclusions, the share of oil falls from over 90% in 2020 to 80% in the business-as-usual scenario, to 40% in the Rapid scenario and to 20% in Net Zero scenario. In all three scenarios, the use of oil peaks in mid-to-late 2020s but stays an important component in the global energy mix until 2050, by which time energy consumption is expected to shift away from fossil fuels.

The International Energy Association (IEA) presented four scenarios (IEA, 2020) for future energy outlook: The stated policies scenario (STEPS) which reflects the announced policy intentions and targets, the Delayed Recovery Scenario (DRS) which addresses the implications of COVID-19 pandemic on global energy outlook, the Sustainable Development Scenario (SDS) which provides a pathway designed to meet climate change requirements and where environmental concerns are more important, and a relatively new scenario called Net Zero Emissions by 2050 case (NZE2050). In any case, IEA, in recognition of the COVID pandemic on world economy, has revised down its forecasts for global oil demand relative to 2019 global energy outlook.

In the STEPS, global economy is expected to recover to pre-COVID-levels in 2021. After the recovery, world oil demand will rise from 97.9 mb/d (million barrels per day) in 2019 to 104.1 mb/d in 2040 down from 106 mb/d in the 2019 outlook. In the DRS, the oil demand is expected to grow by only 4%, staying below 100 mb/d over the outlook. In both DRS and SDS, oil demand will flatten out starting in the 2030s. In the SDS with oil demand forecast to decline by nearly 35%. In SDS all fossil fuels are expected to decline while the RE is expected to meet 63% of energy demand growth. The Net Zero Scenario is an extension of the SDS. It describes the path to net zero emissions by 2050. Figure 17 illustrates the planned scenarios.

As noted in their world oil outlook, OPEC expects this energy source to remain the largest contributor to the global energy mix throughout the forecast period, accounting for more than 27% by 2045(OPEC, 2020).The OPEC report also indicates that oil demand is projected to increase from nearly 100 mb/d in 2019 to around 109 mb/d in 2045.

The International Renewable Energy Agency (IRENA) presented four scenarios over the period to 2050, namely the Baseline Energy Scenario (BES), the Planned Energy Scenario (PES) and the Transforming Energy Scenario (TES) and the Deeper Decarbonization Perspective (DDP). The BES reflects energy policies that were underway around the time of the Paris Agreement in 2015.The PES, the primary reference case, is based on governments' current energy plans and other planned targets and policies (as of 2019). The TES is an ambitious scenario based on the development of renewables. In the BES, fossil fuels consumption keeps increasing and CO₂ emissions would grow to reach 43 gigatons by 2050. Under the PES, renewable energy is expected to play an increasingly important role, so that the amount of fossil fuels remains roughly similar to today's level. The Transforming Energy Scenario would cut fossil-fuel use by about 75% by 2050. The DDP scenario is an overambitious scenario in which CO₂emissions would be reduced to zero by as early as 2050 or latest by 2060 (IRENA, 2020).

Table 9. Evolution of global energy mix

Source: Author

Data from: BP Statistical Review of World Energy 2020

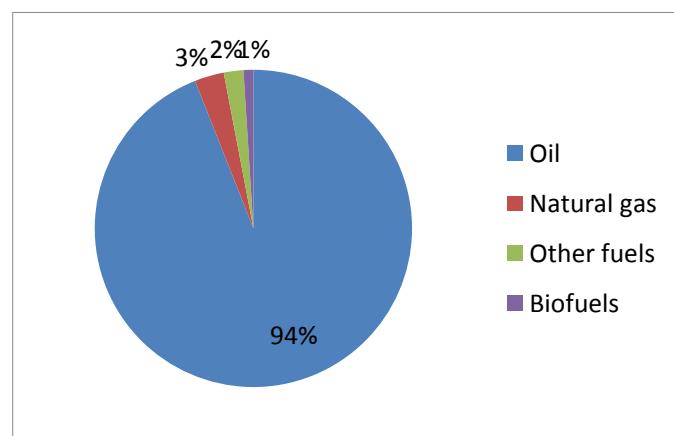
Units:EJ(Exajoules)

Energy source	2009	2011	2013	2015	2017	2019
Oil	168.0	174.8	178.9	183.2	189.2	193.0
Natural gas	105.9	116.5	121.6	125.2	131.7	141.5
Coal	144.5	158.4	162.0	157.8	156.1	157.9
Fossil fuels	418.4	449.8	462.4	466.3	477.0	492.3
Nuclear	25.5	24.8	23.0	23.5	23.8	24.9
Hydroelectricity	30.7	32.7	35.2	35.4	36.6	37.6
Renewable energy	8.2	11.1	14.4	18.1	23.0	29.0
Total renewables	39.0	43.8	49.5	53.5	59.6	66.6
Total energy	482.8	518.3	534.9	543.2	560.4	583.9
% Oil	34.8	33.7	33.4	33.7	33.5	33.0
% Fossil	86.7	86.8	86.4	85.8	85.1	84.3
% Renewables	8.1	8.4	9.3	9.8	10.6	11.4

Total renewables= Renewable energy+ Hydroelectricity

Figure 16: The global energy mix in the transport sector

Data source (García-Olivares et al, 2017)



8.2 Potential implication for the status of oil in the global energy mix

Many authors and organizations see the RE technologies as a ready-made solution for a low carbon and sustainable world economy that is applicable immediately. It is true that with the advent of new technologies such as wind and solar production systems, it is reasonable to hope that more progress can be made towards achieving these sought-after goals outlined in the Paris agreement. There has been much progress, but there is still a long way to go towards reaching these goals. So far, the production costs of renewable energy stood as a major obstacle to worldwide implementation of RE projects. Now, these costs have been reduced to a level comparable to that of fossil fuels-based power generation; and renewable energy is increasingly cheaper. The cost of electricity production by solar PV, onshore wind power plants and hydropower is now equal or lower than the cost of production of fossil fuels-based power plants (IRENA, 2019). In 2019, solar PV fell 13% reaching \$0.068 per kWh. Onshore wind energy one of the most competitive technologies achieved a record low of \$0.053 per kWh. Costs for CSP the most expensive new energy technology average \$0.182 per kWh. While for power plants running on fossil fuels, the cost interval is \$0.04–0.14 per kWh (IRENA, 2019). On the other hand, about 67% of new power capacity was solar and wind-based power projects (Henze, 2020). The constant decrease in the production costs, thanks to technology improvements and economies of scales, has enabled the RE industry to become competitive and, as a result, to increase its share in the global energy mix. However, despite the cuts in production costs and the substantial rise in RE projects the share of RE in the global energy mix amounted to only 10.6% in 2017(C2ES, n.d.). In the transport sector, the RE share in the energy consumption was only 3.7% in 2018 (REN21, 2018). The relative increase in RE projects which is driven by solar and wind projects, is not reflected in this vital sector due to the fact that the renewable energy mix is dominated by biofuels. Presently, solar and wind technologies have little impact on the transport sector. The transport sector is singled out not only because it is the largest consumer of oil but also because it is a source of major pollution. This sector as a whole accounts for approximately 94% (García-Olivares et al, 2017) of the global oil consumption and represents about 13% of overall GHG emissions and about 24% of global CO₂ emissions (Exxonmobil, 2019). What's more, the burning of fossil fuels in internal combustion engines leads to harmful emissions of nitrogen oxides (NO_x) and particulates matter (PM). It becomes therefore obvious that any serious energy policy aimed at decreasing CO₂ emissions must be based on decarbonizing the transport sector. i.e. to reduce the use of oil in the transport sector.

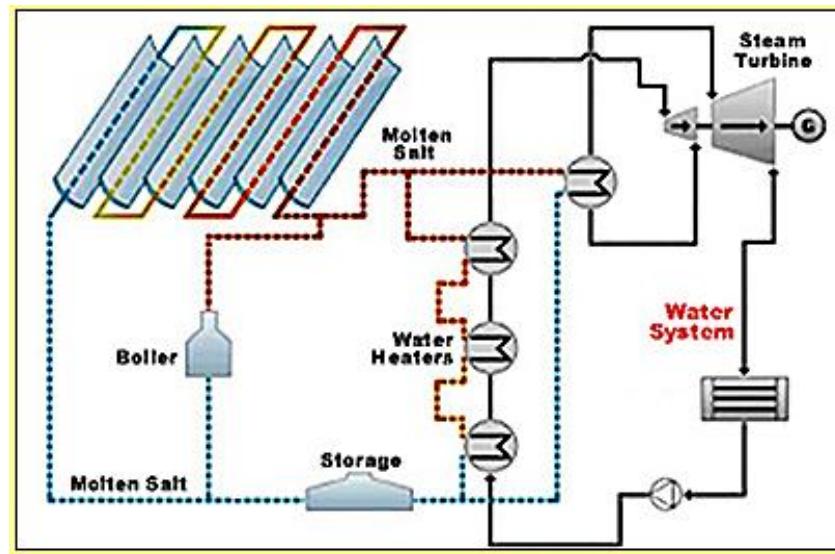
As shown in Table 9, over the last 20 years fossil fuels accounted for more than 85% of the global energy mix; the oil share remained more or less constant with an average of 32~35% (33.1% as per BP statistics) while the RE share in the mix is marginal. In any economy the transport system is fundamental as it enables goods to be exchanged among economic operators and nations, and it also allows the movement of people across lands, skies and oceans. Today the transport sector uses 29% of global primary energy (IEA, 2018) and is second only to electricity production in CO₂ emissions. This vital sector is highly dependent on oil since almost all transportation fuels have in common their fossil origin. As shown in Figure 16, up to 94% of the transport sector energy requirements are provided by oil. The share of alternative sources such as biofuels and electricity remains marginal.

Biofuels account for nearly 1% and the electricity use remains marginal although its importance in passenger rail transport remains high (IEA, 2016). The entire growth in the oil demand is driven by the transport sector. It is therefore the transport energy mix -dominated by oil- that needs to be transformed. More specifically road transport with 44% of global energy consumption is the largest single component (IEA, 2018).

The reflected condensed sunlight is very intense and heats a fluid flowing through the tubes to a very high temperature (about 550°C). The very hot fluid is then used to heat water to create steam for a conventional steam turbine generator to produce electricity (Solarcellcentral, n.d.). A simplified schematic diagram is illustrated in Figure 14.

Figure 14: Schematic diagram of a CSP plant

Source: SolarCellCentral

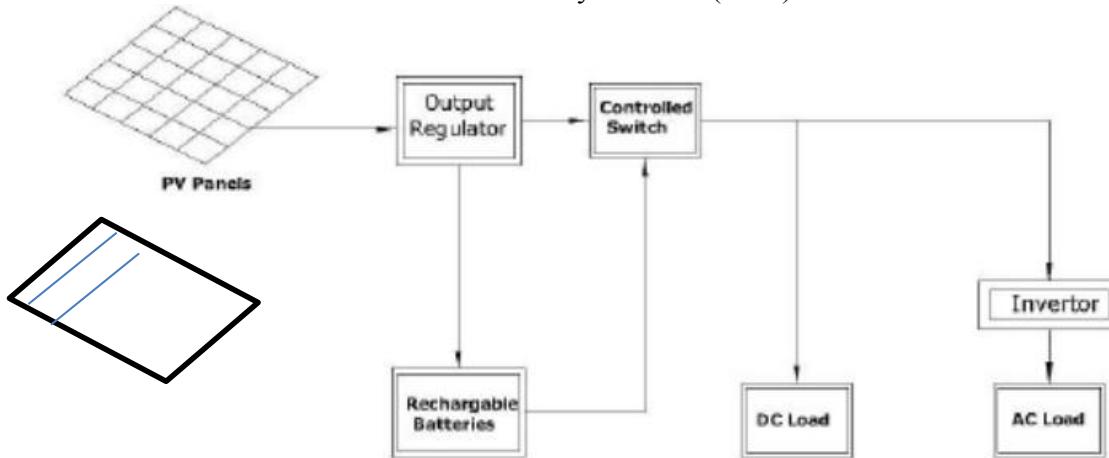


Photovoltaics

Photovoltaic (PV) modules are devices that convert sunlight directly into electricity. PV systems rely on sunlight, have no moving parts, no heat engine and rotating equipment. Photovoltaic cells are made of various semiconductors, are modular to match power requirements on any scale. They are reliable and have a long life (Kalogirou, 2009). A simplified schematic diagram is illustrated in Figure 15.

Figure 15: Schematic diagram of a photovoltaics system

Source: Al-Salaymeh et al (2010)



8. New Energy and Renewable Technologies and their Potential Implications for the Status of Oil in the Global Energy Mix

8.1 Renewable energy technologies overview

Renewable Energy (RE) can be defined as a source of energy that occurs naturally and is generally non-depletable. IRENA listed renewable energy sources as bioenergy (biofuels and biomass), wind power, solar power (thermal, photovoltaic and concentrated), hydropower, tidal power, geothermal energy, ambient heat captured by heat pumps, and waste-to-energy technologies (incineration, gasification, fermentation, etc.) .

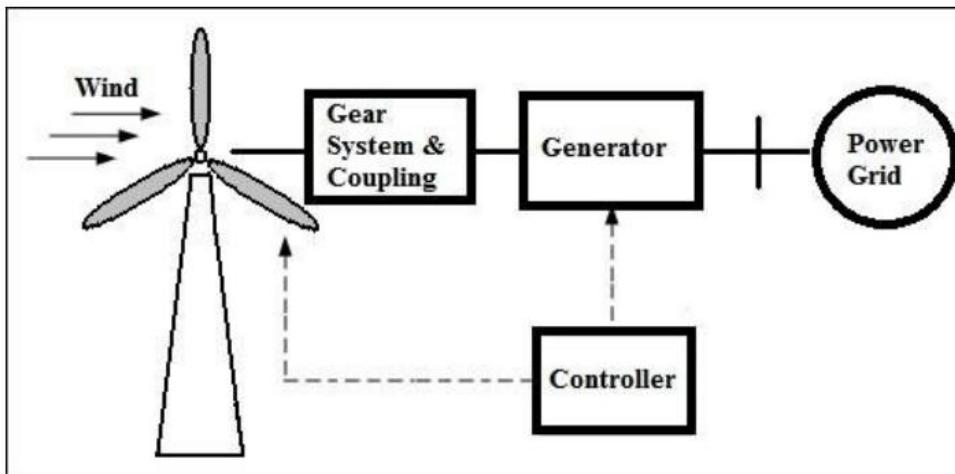
RE technologies produce power, heat or mechanical energy by converting those resources either to electricity or to motive power (Armstrong and Hamrin, 2000). Some technologies such as hydropower, wind and solar, waste-to-energy technologies are commercially applicable. Tide, wave and other technologies are in the research or early commercial stages. Also worthy of mention are other new energy technologies such as fuel cell and hydrogen technologies. Detailed technical description of these RE technologies is beyond the scope of this study. Only a brief description of the most widely used RE technologies will be given below, namely photovoltaics, concentrated solar power and wind power.

Wind power system

Simply put, the kinetic energy in the wind turns the propeller-shaped blades (generally three) around a rotor. The rotor is connected to the main shaft, which spins a generator to create electricity. Electricity output is proportional to the speed of wind (DOE, n.d.). Figure 13 illustrates a simplified schematic diagram of the wind power system.

Figure 13: Simplified schematic diagram of a wind power system

Source: DOE



Concentrated Solar Power system

Basically, the Concentrated Solar Thermal systems (CSP) produce electric power by converting the solar energy into heat using different mirrors configurations. The three main types of CSP systems are parabolic trough, power tower, and dish Sterling engine systems.

clean fuels which by definition are exempt from the carbon tax. The effective implementation of the guidelines laid down in the new environmental regulations, coupled with the carbon tax on fossil fuels, is likely to give a boost to the use of clean and alternative fuels. The existing facilities might need to increase their output and improve their performance. In Canada it is expected that the clean fuel standard policy will create jobs, boost the economy, and promote national investments and new infrastructures (Marjolaine, 2017). As many have pointed out, the current supply of clean fuels will not be enough to meet the created compliance demand and, consequently, there is need for dramatic increase in production (Jonathan Cocker, 2020). The environmental policies based on the use of alternative fuels must therefore be part of a logic of complementarity with other energy carriers such as electricity.

Table 8. New environmental regulations in developed countries

Source : UNFCC, GRI (Grantham Research Institute)

Country	Strategy	Climate targets
Canada	Clean Fuel Standard	-To triple the use of clean fuels by 2030 -1.2 million electric vehicles would be on the road -To reduce CO2 emissions 30 million tons by 2030
France	National Low carbon strategy	-Reducing by 2030 of GHG emissions by 28% in the transport sector -Improving light and heavy vehicles' fuel efficiency -Reaching 35% of sales of new electric or hydrogen passenger cars in 2030 and 100% in 2040
Germany	Integrated National Energy and Climate Plan	-Reducing greenhouse gas emissions by at least 55 % compared to 1990 level -To increase the share of renewable energies in gross final energy consumption by 30% in 2030. -A reduction in primary energy consumption of 30% in 2030 compared to 2008 levels
Japan	Plan for Global Warming Countermeasures	-Reduction by 26% in GHG emissions by 2030 compared to 2013 levels (80% by 2050) -19% reduction in GHG emissions in transport sector - 22%-24% of national energy to be supplied by renewable energy by 2030
UK	Clean Growth Strategy	-29% reduction in GHG emissions in transport sector by 2032 compared to 2015 levels -To put an end to the sale of all new conventional petrol and diesel by 2040 -at least 30 per cent of new car sales are expected to be ULEVs by 2030

7. New Environmental Regulations and their Impacts on the Operation Performance of Production Units, e.g. Cleaner Fuel Production

Many countries have committed to reducing their greenhouse gas (GHG) emissions by 30 percent to 68 percent by 2030 and achieving net zero emissions by 2050. But according to EPA (2018) and IRENA (2019), current energy policies cannot meet climate change targets, and without improved environmental protection policies, it would be difficult to achieve stated objectives. To adequately tackle the problems, new energy policies comparable to those recommended by IEA (Sustainable Development Scenario) and IRENA (Transformation Energy Scenario), need to be put in place. These energy policies must be centered on two objectives of promoting clean alternative fuels and discouraging the use of fossil fuels.

7.1 What are clean alternative fuels?

Clean fuels can be defined as alternative fuels which emit little or no pollution. As the name implies, an alternative fuel is a fuel that allows an alternative to conventional petroleum fuels such as gasoline, diesel, kerosene, etc. As per EPAct (1992), clean alternative fuels include- but are not limited to- the following: Hydrogen, natural gas, propane, alcohols such as ethanol, methanol, and butanol, vegetable and waste-derived oils; and electricity, biodiesel, biogas, Compressed Natural Gas (CNG) or Liquefied Petroleum Gas (LPG). These fuels have been developed for several reasons. The most frequent being i) to alleviate the problems of shortages due to embargo or depletion of reserves, ii) to achieve security of energy supplies, or iii) to reduce the environmental pollution caused by the transport sector. Clean alternative fuels can be derived from biomass (biogas, biodiesel) and from fossil fuels (CNG, LPG). Another option is to switch to another energy carrier e.g. electricity.

7.2 New environmental regulations

Many countries have enacted and deployed strong national laws and regulations to accelerate transition towards renewable energies. Examples of such regulations include: the Clean Fuel Standard (Canada), the National Low Carbon Strategy (France), the Low Plan for Global Warming Countermeasures (Japan), Clean Growth Strategy (UK), and the Integrated National Energy and Climate Plan (Germany) (see Table 8). Many other countries have also updated their national energy policies in order to meet their international commitments and to be compliant with their “Nationally Determined Contributions”. These complementary environmental policy instruments are expected to make a positive contribution to the realization of the climate change objectives. More specifically, they are intended, among other things, to promote the use of cleaner fuels in the transport sector which is a key contributor to air pollution and climate change.

7.3 Impacts on the operation performance of production units, e,g. Cleaner fuel production

It goes without saying that the implementation of new environmental standards that promote the use of clean fuels will certainly encourage cleaner fuels production units to increase their production in order to meet the anticipated increase in demand. While it is generally believed that environmental policies may have a negative impact on competitiveness, imposing additional costs (e.g. carbon tax) on polluting firms may favor the production of

Figure 11: The conventional view and the Porter hypothesis

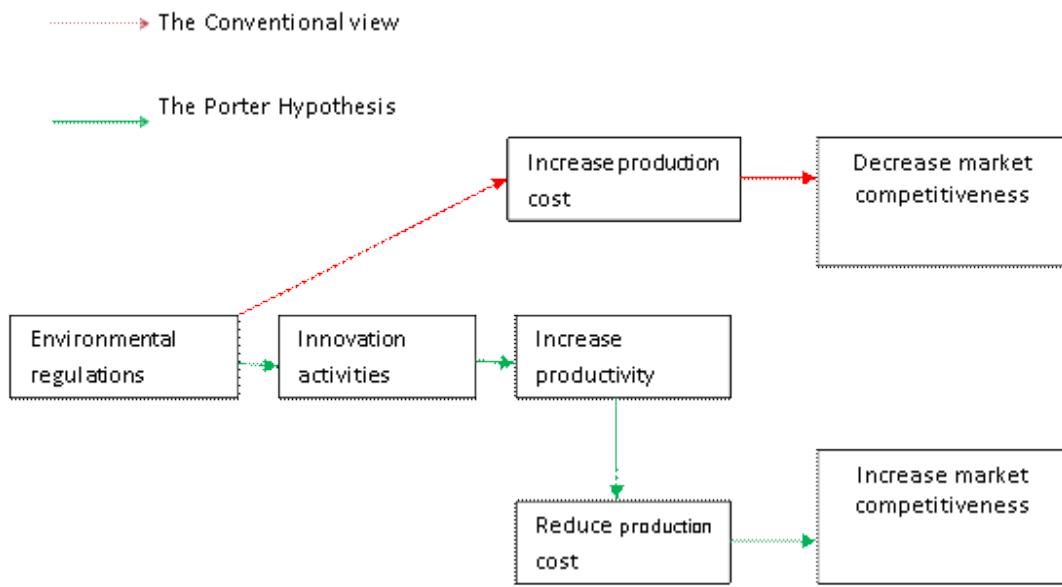
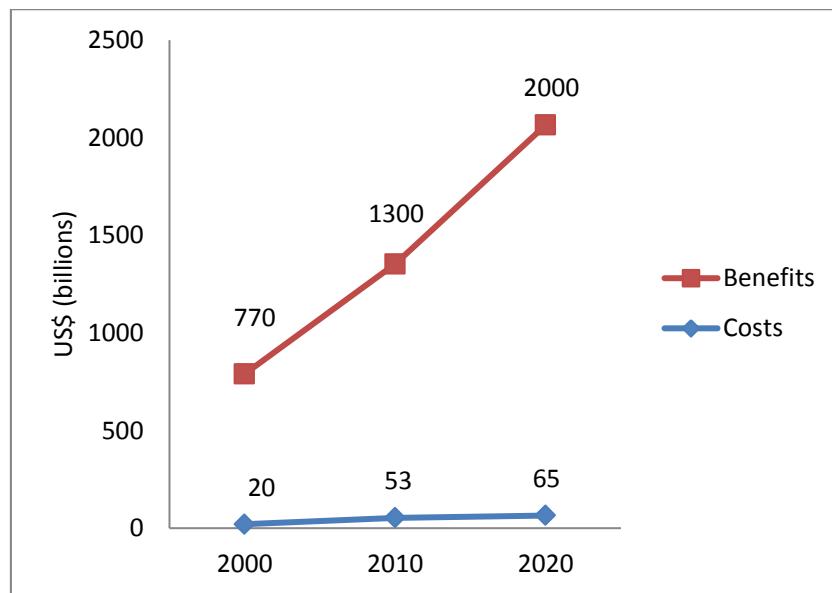


Figure 12. The benefits and costs of the Clean Air Act implementation

Source: USEPA the benefits and costs of the CAA (2011)



Clearly, the implementation of environmental regulations has a cost which must be taken into account in the firm's financial perspective and formulation of business strategies. For example, the purchase, operation and maintenance of pollution control equipment generally incur costs with low profitability. These operating and maintenance costs ought to be accounted for and integrated in the global operating costs of the firm. In the US, the Clean Air Act and state regulations have also caused the industry to incur high costs for environmental compliance (HSRC, 2003). These annual costs were estimated at around \$ 5 billion to control sulfur dioxide emissions (and other pollutants) in U.S. power plants and over \$ 37 billion for petroleum refineries (Cairncross, 1992 ; Walley and Whitehead, 1994). These expenses however must be put into perspective as in terms of investment levels, the proportion allocated to environmental projects is in the range of a few percent of the firms' turnover. In the United States, for example, in 2005 each of these sectors (power and refining) "spent approximately 1 percent of their turnover to comply with environmental regulations, while the average for all manufacturing plants was 0.4 percent" (Ferris and McGartland, 2014). What's more, the US EPA assessment of the costs and benefits clearly shows that throughout the study period 2000-2020, the benefits, as shown in Figure 12, clearly outweigh by far the costs of compliance.

In any case, the environmental targets and the profitability objectives are not necessarily compatible, thus necessitating a careful balance between them. At the local and national levels, environmental legislation generates compliance costs for businesses, and these costs may arise from the requirement to reprocess industrial effluents, to standardize their installations, etc. At the same time, environmental compliance can be a driver for innovation, to upgrade the processes or to recover waste or heat. But at the international level, there is a lack of policy coherence on environmental issues as national environmental legislations are to a great extent not homogeneous. And that may lead to unfair competition from companies that are not necessarily subjected to (stringent) environmental compliance.

In short, the implementation of environmental legislation may reduce the return on investment of the stockholders but it will not incur losses to the company. While the intended purpose of environmental regulation is to protect people's health and the environment, positive contributions such as health benefits and environmental protection are not stressed enough.

6. Economic Implications of Environmental Legislation on the Petroleum and Energy Industry

Complying with environmental rules can represent considerable investment in both time and money for businesses and firms. Confronted on the one hand with profitability constraints which limit non-profitable investment, and on the other hand with environmental pressure requiring effective application of regulatory laws, these companies have little room for maneuver. Especially when the economic implications of environmental actions seem all the more difficult to grasp as studies on the issue give contradictory results.

Numerous studies have been carried out over the years to assess the relationship between environment and economy, and to say the least that relationship can only be described as non-linear and complex (Zhao, M. et al,2020; Conrad and Wastel, 1995; Repetto, R.,1995 ; Stewart, R.B, 1993). Some studies on the environment and productivity have backed up the conventional view which suggests the environmental issues are likely to be a threat rather than an opportunity to the enterprise (Stewart, R.B, 1993; Repetto, R.1995, Boyd and McLelland, 1996).

On the other hand, the other line of environmental thinking claims that, under certain conditions, implementation of environmental regulations can be beneficial to the company. It is known as the Porter hypothesis. It is based on the assumption that environmental regulations may foster the use of more innovative technologies which will subsequently lead to increased profitability and market competitiveness (Figure 11). Many studies and reports (Brunnermeier and Cohen, 2003; Lanoie et al, 2008) tend to support the Porter hypothesis according to which incorporating the environmental factor into the planning process can be positive for businesses. Chan et al(2013) carried out a review to determine the potential impact of the emissions trading scheme on the competitiveness of industry using a panel of 5873 firms in 10 European countries. The analysis suggested a positive effect on both material costs and revenue in the power sector. Jaffe et al (1005) concluded that there was relatively little evidence that environmental policies lead to large losses in competitiveness (Jaffe et al. 1995).

As can be seen, opinions differ as to the impact of environmental regulations on the performance of businesses. Pros and cons which exist on both side of the issue are summarized in Table 7 below:

Table 7. Conventional thinking Pros and Cons

Source: Gray (2015)

Pros	Cons (Conventional thinking)
Environmental regulations have greatly improved air and water quality	Environmental regulations raise production costs and lower productivity
Reducing PM saves lives and prevent illnesses	Regulatory compliance can influence firms' decisions to relocate new plants
The potential health benefits may be even greater in developing countries	Stricter regulations on new plants can discourage new investments
Proposed reductions in GHG have potentially large benefits from slowing climate change and preventing some of its adverse effects	Stricter regulations in dirty locations can lead to increasing pollution in once-clean areas

Another impact of environmental regulation is the temptation for firms to relocate to countries or regions where environmental constraints are less demanding (Gray and Shadbegian, 2002; as cited in Millimet et al).

disposal of residues resulting from the treatment units. These include incineration, stabilization burial, encapsulation/solidification, oxidation, bioremediation, bioslurry systems, biopile/composting, etc.

In order to meet the new constraints of sludge treatment, new technologies have been developed. These technologies do not yet have sufficient experience feedback to conclude on their viability, but they could have better environmental performance than conventional processes. Among these new technologies are wet air oxidation, chemical stabilization with nitrates (Veolia, n.d), supercritical water oxidation technology, ultrasound treatment technology, microwave radiation technology (Solid wastes treatment and disposal is covered by [section 4.2](#)

Figure 10. Oily sludge treatment and disposal methods

Source: Author, Data from (Echeverria et al, 2002; Xuening Li et al, 2020)

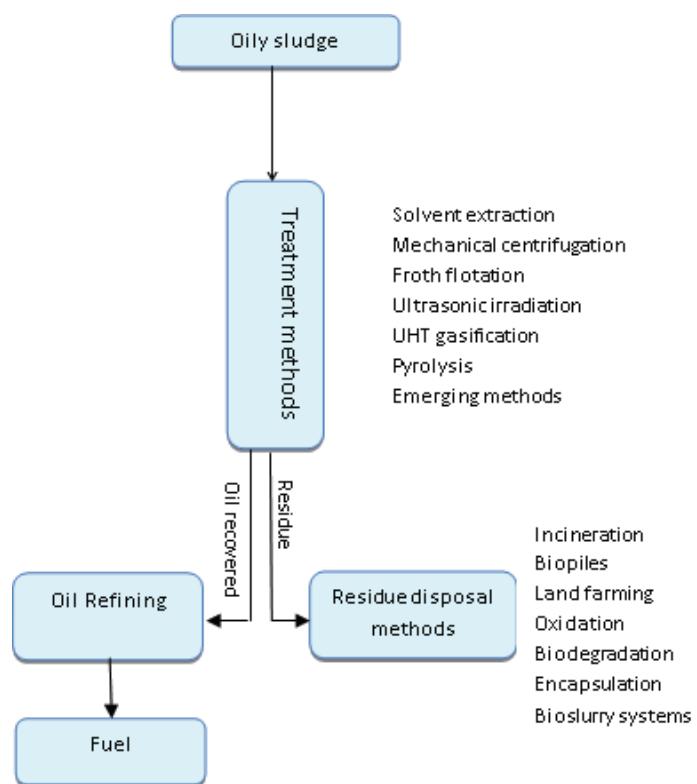
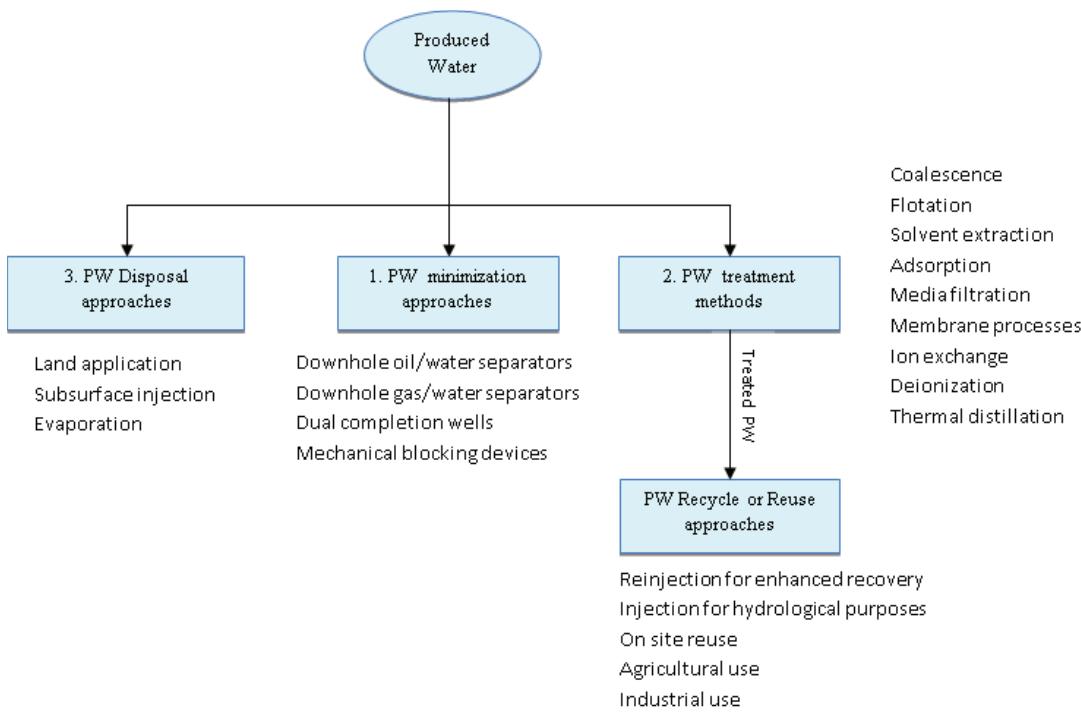


Figure 9: Produced water treatment and disposal methods

Source: Author, Data from (Igunnu et al, 2012; Guerra et al, 2011)



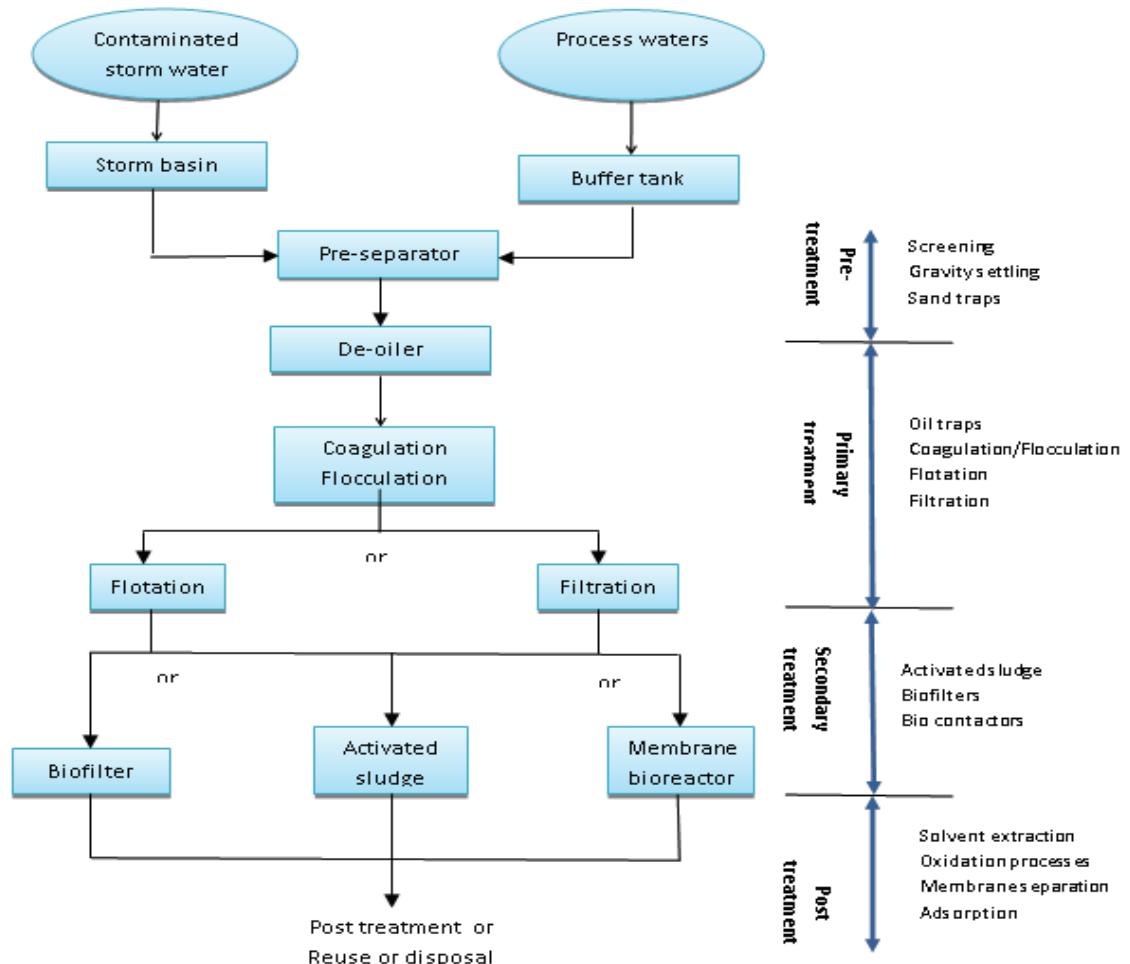
5.2.3 Treatment and disposal methods of solid wastes

Solid wastes generated from petroleum and energy facilities can be classified into two categories: incinerable and non-incinerable wastes. Non-incinerable wastes consist mainly of spent catalysts. They contain precious metals such as platinum, nickel, molybdenum, cobalt, tungsten, and vanadium. For this reason they are returned to the manufacturers for regeneration, whilst others are sent for metals reclamation and recycling (Dando and Martin, 2003; Stephan, 2013). Incinerable wastes consist mainly of oily sludge which is mainly generated during the production, transportation, storage and refining of oil (Deng et al., 2016, Liang et al., 2017). It can be found in tank bottoms, process units and wastewater treatment plants. These residues can contain oil, emulsified water and solids impregnated with hydrocarbons. Disposal of sludge without the appropriate treatment and disposal methods may lead to surface and ground water contamination, surrounding air contamination, increase in the risks of fire and explosions, etc. Depending on the characteristics and quality of the sludge, the requirements of local regulations, the sludge treatment unit may include one or more processing methods. Other parameters such as site constraints, investment costs, etc., can have a significant influence on the choice of the processing methods.

Some of the conventional methods used in the treatment and disposal methods of oily sludge are shown in Figure 10. These processes include solvent extraction, mechanical centrifugation, froth flotation, ultrasonic irradiation, UHT gasification, pyrolysis and other emerging methods. Many techniques have been reported for the

Figure 8: Arrangement of a typical liquid wastes treatment plant integrating surface and process waters

Source: Author



Re-injection is however the method most used to dispose of produced water pumped during the production process of oil or gas. Most of the produced water is usually re-injected into the producing formation for enhancing oil recovery or into another geologic formation (Bothamley, 2004). For final disposal purposes, about 90 % of produced waters from onshore oil and gas operations are disposed of in more than 166,000 underground injection wells (Karami et. al., 2013 as cited in Abdelsabour, 2015).

When produced water cannot be handled through minimization, reuse or recycle, it can be disposed of using surface impoundments such as evaporation ponds, settling, aeration pits and lagoon. It is allowed to evaporate through solar radiation and wind, leaving a pond of concentrated residual waste for treatment and obtaining zero liquid discharge. Surface and groundwater contamination is thus avoided. However, ponds may also create nuisance problems related to odor generation when they are in close proximity to nearby towns.

5.2.2 Control and treatment techniques of liquid wastes

Petroleum and energy facilities generate large quantities of liquid wastes which contain organic chemical contaminants. These liquid wastes, which mainly include produced water and wastewaters, are strongly regulated, and strict limits are set for the level of contaminants contained in those wastes. In general, at the project and design stage of the facility, a liquid waste treatment system is provided. As pointed earlier, the choice of the treatment method(s) is driven by the cost and the options available that comply with the local waste regulations. Several treatment methods are available to deal with these liquid effluents.

Figure 8 illustrates a typical wastewater treatment arrangement. The pre-treatment step is designed to remove debris and coarse particles that may damage the equipment. This can be achieved by screening, gravity settling or sand traps or a combination thereof. This is then followed by a primary treatment designed to remove suspended solids and organic matter. The treatment (it could be physical or chemical) can be achieved by oil traps, coagulation/flocculation units or flotation and filtration units. A secondary (biological and/or chemical) treatment is necessary to remove biodegradable organic matter. It could be performed by activated sludge process, biofilters or biocontactors. Finally, if necessary, the effluent may undergo a post-treatment based on chemical and biological processes such as solvent extraction, oxidation processes or membrane separation. This post-treatment step is designed to thoroughly remove remaining components such as suspended and dissolved solids resulting from the decomposition of organic substances (Miah, 2012). The conditioned water can then be safely discharged or reused within the refinery for process or cooling purposes.

Liquid wastes treatment and disposal is covered by [Section 4.1](#)

On the other hand, large quantities of produced water (PW) are generated during the production of oil and gas. PW must be handled in accordance with local regulations and permit requirements because it contains organic and inorganic pollutants. Depending on the final use, it may or may not require extensive treatment. Handling methods include minimization, re-injection, surface discharge and recycling/reuse after treatment, and evaporation. Operators ought to give priority to PW minimization as it results in better protection of the environment. For example, in oil production, one of the techniques used is the so-called downhole oil–water separation, which is based on the oil-water separation principle.

When options for minimization are limited, the use of other methods such as recycling, reuse or surface discharge may be an interesting alternative. The final disposition of reused/recycled produced water dictates the level of treatment. With minimal treatment, produced water can be reused on site (e.g. for fracturing) and when recycled for other purposes (agricultural or industrial use) it must undergo higher levels of treatment such as solvent extraction (Mueller, 2015). Direct discharge to waterways may be permitted under specific conditions. Onsite pretreatment or at a publically owned wastewater treatment plants, is therefore necessary to remove oil and organics and to give water an environmental quality. There are various physical and chemical methods (cf. figure 9) to treat the produced water and the treatment depends on the characteristics of produced water and local regulations. Treatment processes include, but are not limited to, the following: Coalescence, flotation, solvent extraction and adsorption.

Figure 6: NOx control technologies

Source: Author

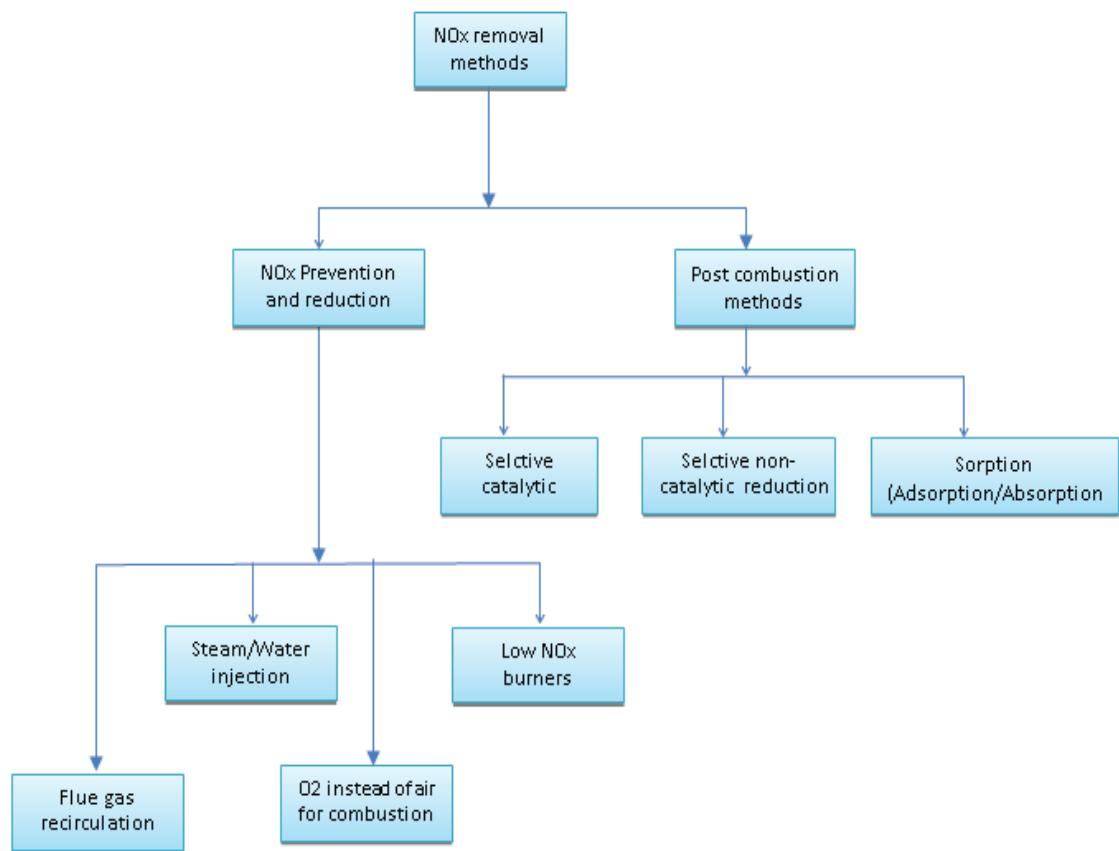
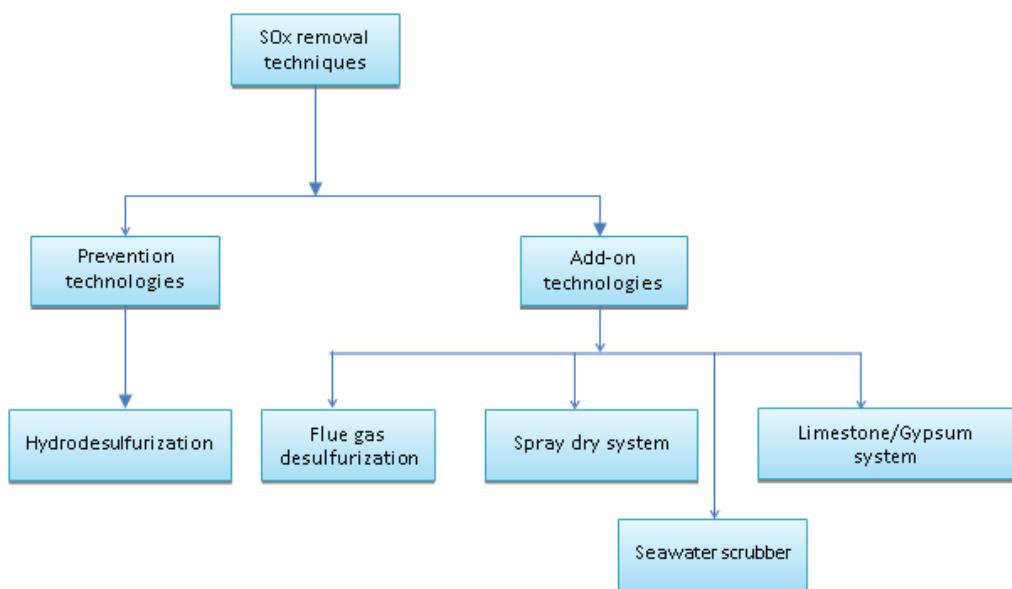


Figure 7: SOx Removal techniques

Source: Author



(Pett, 2017), Steam/Water Injection (Londerville et al, 2019), Oxygen instead of air for combustion (Doyle, 2009), and Low NOx Burners (Garg, 1994).

ii) Post combustion methods

Post combustion methods or add-on technologies are designed to remove NOx emissions from flue gases after combustion. Existing technologies include Selective Catalytic Reduction (Sorrels et al, 2019), Selective Non-catalytic Reduction (Sorrels et al, 2019), Sorption (Rezaei et al, 2015), and Absorption by chemical reaction (Condorchem, n.d.)

5.2.1.3 Control and treatment methods of Sulfur Oxides (SOx) emissions

Petroleum refineries and associated facilities are potential sources of Sulfur Oxides (SOx) emissions, the most significant being SO₂ and SO₃. SOx can arise from process units, storage facilities, steam boilers, process heaters, etc. In order to meet environmental requirements, SOx emissions need to be controlled below specific limits. As shown in figure 7, there are two main approaches to SOx removal:

i) Prevention technologies

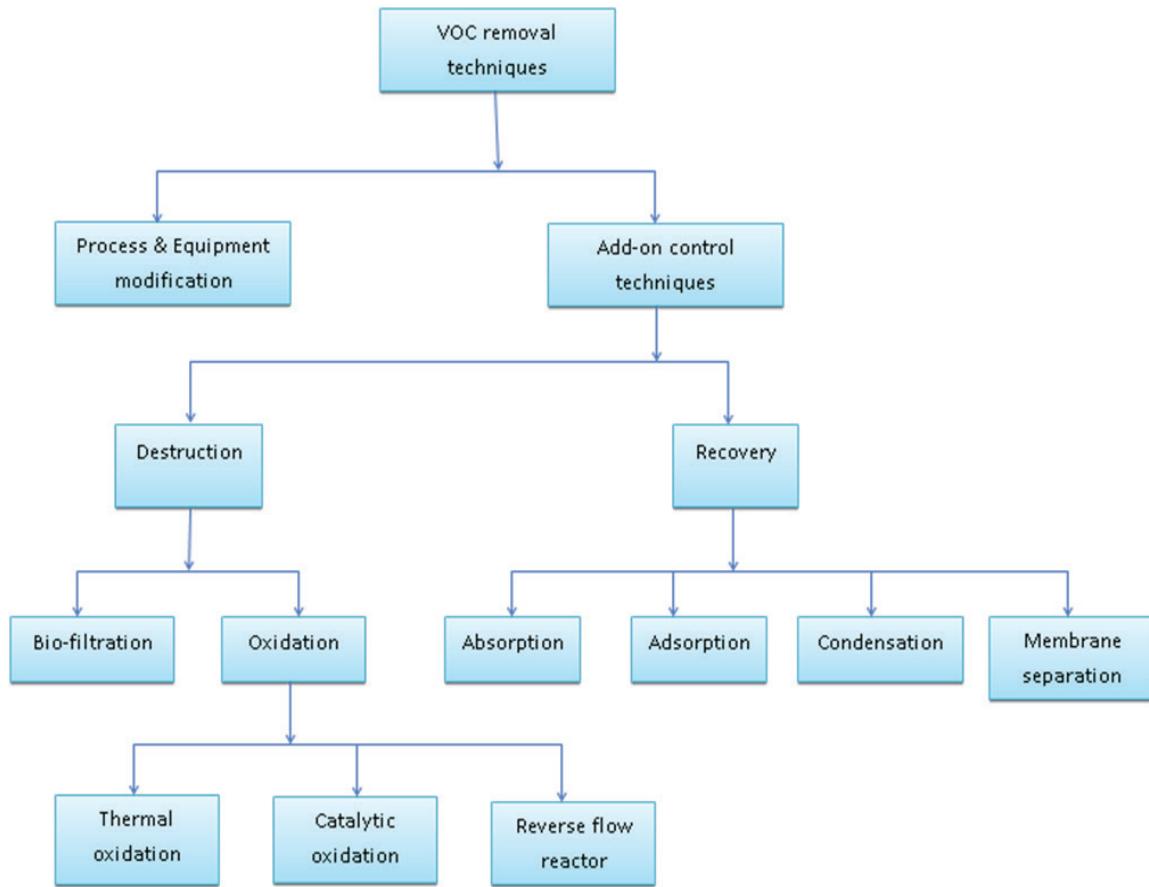
SOx emissions can be eliminated prior to combustion using prevention and source reduction technologies such as hydrotreating and hydrodesulfurization. These control techniques are often used in refineries to remove sulfur oxides from refined petroleum products but they require high investment and operational costs. (Kokayeff et al, 2015; Speight, 2019).

ii) Add-on technologies

Add-on technologies are used to remove SOx emissions after combustion. Wet gas scrubbing or flue gas desulfurization can be used to remove SOx from refinery flue gases (Cunic and Feinberg, 1996). Alternatively, other add-on technologies-widely discussed in the literature- can be used. This include spray dry system (Miller, 2017), limestone/gypsum system (Wang et al, 2012), and seawater scrubbing system (Oikawa et al, 2003).

Figure 5: VOCs control and removal techniques

Source: reproduced from Geldermann et al, 2006



5.2.1.2 Control and treatment methods for Nitrogen Oxides emissions

Nitrogen Oxides (NOx) are another major contributor to air pollution. They have a particular significant effect on the environment with the main effects being the destruction of stratospheric ozone, contribution to the greenhouse effect and production of acid rain. NO and NO₂ are the most common forms of NOx, and they are largely due to human activities. Emissions of NOx from petroleum and energy facilities arise primarily from combustion processes (boilers, process heaters, furnaces, combustion engines, etc,) mainly in the form of NO and NO₂.

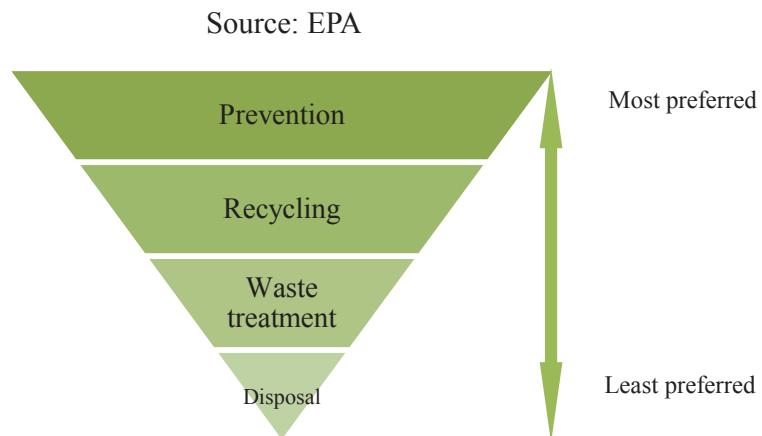
Figure 6 lists control methods mostly used to reduce NOx. Basically there are NOx prevention and source reduction technologies and add-on technologies.

i) Prevention and sources reduction methods

Prevention and sources reduction technologies are designed to prevent or reduce the formation of NOx emissions before the combustion takes place. Among the prevention technologies, the most widely used ones include Flue Gas Recirculation

wastes in general were managed in the most practical and inexpensive ways. But now things have changed since the advent of environmental and climate protection regulations and laws. Most of the national and local environmental laws require that all wastes generated by the oil and gas industry be treated in accordance with the provisions of those laws. The most widely used methods for waste management in the petroleum and energy facilities include, but are not limited to, the following:

Figure 4: Hierarchy of waste management practices



5.2.1 Control and treatment methods of air emissions

5.2.1.1 Control and treatment methods for VOCs gaseous emissions

VOCs are among the main air pollutants released to the atmosphere during O&G operations, oil refining, and natural gas treatment, oil and gas transport by pipeline, loading and unloading of petroleum products. VOCs pose a real health and environmental risk, and the emissions of which are more and more regulated and enforced. In order to set up a strategy for reducing emissions of volatile organic compounds, it is necessary to characterize and quantify the different sources of VOC emissions, then define the solutions adapted to the industrial site concerned as the available techniques have both advantages and shortcomings. Before opting for a treatment technology, it is necessary to first try to find ways to limit or reduce emissions at the point source in accordance with the hierarchy of waste management practices. This can be accomplished through process and equipment modifications. When modifications are not feasible, add-on techniques may be used. There are a number of commercially available add-on technologies for treating and controlling VOCs emissions. As illustrated in Figure 5, these add-on techniques can be divided into destruction and recovery techniques. These techniques have been widely described in the literature including, among others, absorption (Poddar et al, 1996; Ozturk and Yilmaz, 2006), adsorption (Zhang et al, 2016), condensation (Huang et al, 2012), membrane separation (Rudd and Hill, 2013), thermal oxidation (Van der Vaart, 1994; Wang et al, 2004; Goldberg and Min, 2014), catalytic oxidation (Kamal et al, 2016), bio-filtration (Vikrant et al, 2017).

and plants (El-Mutairi et al, 2008). Biological sludge, which is formed during wastewater treatment processes, can be oxidized and converted into stable compost.

More details are given in [Section 4.2](#).

5.1.4 Noise and odor nuisances

Petroleum and energy facilities can generate significant noise emissions. Point sources can be compressors, control valves, pipelines, turbines and motors, flares, cooling air heat exchangers as well as refrigeration towers, ventilation systems, steam turbine generator, etc. Sound levels generally range between 60 and 110 dB over a distance of one meter. In oil refineries, the noise level in some operation may exceed 90 dBA, which affects the environment (Wachasunder, 2004).

Petroleum and energy facilities, most specifically oil refineries create strong nuisance odors that can be detected over long distances. Sulfides, mercaptans, and hydrocarbon compounds are among those that cause smells. It is possible to control odors by eliminating or reducing their source through utilizing specific chemical treatments such as neutralization, acidification, alkalization.

5.1.5 Risks of accidental releases

An accident release or spill of raw materials, products or waste can have disastrous effects on the natural environment and in particular on marine or aquatic ecosystems. Groundwater, in particular, is easily polluted by leaking reservoirs or pipelines that go undetected. For this reason petroleum and energy facilities should be located away from areas prone to natural disasters such as floods, earthquakes, unfavorable weather conditions, etc., and away from sensitive resources that cannot be protected from the risk of a spill. The design of storage facilities and pipelines must incorporate alarm devices and automatic shut-off valves that respond immediately to operational failures.

5.2 Overview of waste treatment and disposal methods in the petroleum and energy facilities

In waste management practices, there exists an established hierarchy applicable to all forms of waste including those resulting from petroleum and energy activities. As illustrated in figure 4, there are four levels of waste management procedures in dealing with the environmental issues. Prevention or source reduction is of course the most preferred option since it reduces or eliminates the production of wastes at the very source. This could be achieved through process modification, technologies adaptation, or products substitution so that less waste is generated (Veil, 2001) Recycling is the next preferred option. Recycling is the process of reusing wastes into other applications. For example, waste mud from one oil well can be used for plugging other wells. Recycling can avoid release of large amounts of wastes into the environment. Combining source reduction and recycling help minimize wastes generation. Waste treatment and disposal are the least preferred options. In practice, waste management decisions are driven by the cost and the options available but cost-effectiveness is an important factor in the choice of the disposal route.

As mentioned earlier, impacts that petroleum and energy facilities represent on the environment are mainly due to air emissions, wastewater discharges, solid wastes, noise, and odor nuisance. In the following section, a review of remediation measures or waste management practices used with each type of waste generated during the exploration and production of oil and gas, oil refining operations, and natural gas processing. In the past,

In addition to local effects such as air, water, and soil contamination in the surrounding areas, air emissions have far-reaching global consequences for the planet ecological equilibrium. Indeed, the accumulation of gases in the atmosphere due to air pollution generates global environmental problems with known consequences such as global warming and soil acidification. Global warming is caused, among other things, by the increased amount of greenhouse gases emitted during human activities. Gaseous emissions are generated in particular by the production and consumption of fossil fuels, such as petroleum, gas. The oil and gas industry is a major source of GHG emissions and a major contributor to global warming. Total indirect greenhouse gas (GHG) emissions from oil and gas operations today are around 5200 million tons of carbon-dioxide equivalent (IEA, 2020).

Air pollution can also amplify soil acidification due to acid rain resulting from gaseous emissions. Indeed, when released into the atmosphere, sulfur dioxide and nitrogen oxide change into sulfuric and nitric acid compounds by chemical transformation upon contact with rainwater. These acid rains destroy ecosystems, in particular flora and aquatic ecosystems located hundreds or thousands of miles away from emitting sources.

5.1.2 Environmental impacts of liquid wastes

Petroleum and energy facilities use large amounts of water for plant processes and for cooling purposes. As a result, their operational activities generate large quantities of wastewaters with half being process waters. Process waters can be polluted with oils, ammonia, phenol compounds, sulphides, organic acids, benzene, and heavy metals (Benyahia et al, 200).

As pointed out earlier, oil and gas production facilities generate also large amounts of produced water which, as we know, is contaminated with organic compounds and heavy metals. Both wastewaters and produced waters are not without potential risks for soil, surface water and groundwater. Such risks may be due to leaks, spillages or uncontrolled discharges of these waters. In any case, the discharged waters must be cleaned, filtered, and processed before being disposed of.

Oil leaks from pipeline operations or spills from loading/unloading activities can represent a potential hazard for surface and groundwater and soil. Also, soil contamination may occur from accidental spills of hydrocarbons such as oil, diesel, and fuel oil. If not handled properly, pollutants may infiltrate and contaminate the soil.

In short, the environmental impacts could arise from the improper disposal of water produced with oil and gas, uncontrolled discharges of wastewaters from refineries and natural gas processing, or from accidental release of hydrocarbons. These pollutants must be recovered and treated in accordance with local environmental regulations.

Treatment methods are covered by [Section 5.2.2](#)

5.1.3 Environmental impacts of solid wastes

Many residuals such as oily sludge, biological sludge from WWTPs and spent catalysts are generated during normal operations of the petroleum and energy facilities. Oily sludge is one of the most significant hazardous solid wastes generated in the petroleum industry. Uncontrolled release of such waste into the environment leads to soil and water contamination. It has been reported that it significantly modify the physical and chemical properties of the receiving soil (Wang et al, 2018), and it increases the contents of main pollutants (oil, organic compounds and heavy metals) in soil. On the receiving soils, the toxic components in oily sludge may cause nutrient deficiency or limit the growth of seed

devices); high-temperature combustion processes in the actual burning of fuels for electricity generation; the heating of steam and process fluids; and the transfer of products (EPA, 2003). What's more, the impact of these gases can vary from local effects- as in the case of CO and VOC- to global warming effects, as is the case of CO₂ (Cheremisinoff, 2002 as cited in Imrane and Al-Thukair, 2009)

Large quantities of these air pollutants are released into the atmosphere during the annual operating cycle through normal and fugitive emissions, accidental releases, or plant upsets. Table 5 shows the average quantities of gaseous emissions per ton of processed crude.

A summary description of the potential impacts and environmental hazards likely to affect the environment is given below in Table 6. The pollutants can be emitted during normal operations, production, processing and distribution of gas and oil products.

Table 5: Air emissions from refineries

Source: World Bank

	kg/ton of crude processed
Particulate Matter	0.8
Sulfur Oxides	1.3
Nitrogen Oxides	0.3
BTX	0.025
VOCs	1

Table 6: Environmental impacts of pollutants

Source : Author

Type of pollutants	Sources may be one or more of the following	Impacts Assessment
SO ₂ , NO _x , VOCs, CO, H ₂ S	Oil refining operations, Natural gas plant operations, Gas compression stations, Oil pumping stations	Acidification, Eutrophication, Photochemical pollution
CO ₂ , CH ₄ , NO	Oil and gas operations, Oil refining, Burning of fossil fuels, Gas compression stations	Increase global warming
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)	Combustion of fossil fuels, Oil pumping stations, Gas compression station	Contamination by organic pollutants, toxic effects on ecosystems and human health
Particulate Matter	Gas compression stations, Oil pumping stations, Combustion of fossil fuels, Petroleum refining	Environmental and health effects
NORMs	O&G operations, Pipe and pipeline scale from refinery or oil-field operations, Refining sludges	Soil and water contamination
Heavy metals (As, Pb, Zn, Cd, Cr,Ni, Cu, Hg)	O&G operations, Refinery operation	Water and Soil contamination by heavy metals
Diesel	Gas compression stations, oil pumping stations, Loading and unloading of fuels	Soil and water contamination
Sludge	O&G operations, refinery operations, WWTPs	Soil and water contamination

5. Environmental Impact Assessment of the Petroleum and Energy Facilities and the Processing Methods

5.1 Environmental impact assessment of the petroleum and energy facilities

For the purpose of this study, the petroleum and energy facilities include, but are not limited to, the following: Oil and Gas production facilities, petroleum refineries, natural gas treatment plants, and their associated facilities (Storage, Loading/Unloading, Transport, Distribution and marketing). In order to assess the environmental impact of any industrial facility, it is important to identify the technologies underpinning the processes and related operational activities, the raw materials used in the fabrication process, the intermediates materials and by-products, and the final products. In addition, the nature, the location and the size of the industrial facility must be clearly defined.

The objective of the environmental impact assessment (EIA) is to evaluate beforehand the impacts of the concerned industrial facility on the environment with a view to planning the measures (or processing methods) required to eliminate, mitigate or compensate for the negative impacts and, by the same token, improve the positive aspects of the industrial facility. This being said, the petroleum and energy industries are mature industries and have been largely involved in developing and applying waste management techniques. Petroleum and energy facilities operations have the potential for a variety of impacts on the environment, and programs to manage, mitigate or eliminate them do exist. Potential impacts that petroleum and energy facilities represent on the environment are mainly due to air emissions, wastewater discharges, solid wastes, noise, and odor nuisance.

5.1.1 Environmental impacts of air pollution

From production wells to marketing, all petroleum and energy facilities contribute to air pollution emissions but in varying proportions. The main causes of air pollution are related to the production and burning of fossil fuels. The petroleum and energy facilities are among the most polluting industries with a large share of air emissions. These emissions come from point sources such as O&G production facilities, gas compression stations, oil pumping stations, oil refining and natural gas processing units, heaters, flares and storage of products or raw materials, etc., and non-point sources, e.g., Transport of the oil or gas, loading and unloading, spills and leakages. These point and non-point sources of pollution emit air pollutants such as Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylene, or BTEX as more commonly known. They are released to the atmosphere during oil and gas operations, oil loading and transportation, and oil refining and natural gas processing. BTEX, which are volatile organic compounds, are toxic and hazardous. Due to its toxicity, volatility, solubility in water, and ability to migrate, BTEX represents a serious environmental problem. Media contaminated with BTEX include air, water, and soil. All of the BTEX chemicals can produce neurological impairment, and exposure to benzene can additionally cause hematological effects including anemia and acute myelogenous leukemia. Both benzene and ethylbenzene are considered carcinogenic (Masekameni et al, 2018). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) may cause DNA damage, oxidative stress, and cardiac function defects. Fish growth may be affected as well (Bakke et al, 2013).

Petroleum and energy facilities are also a major source of other types of air pollutants such as Particulate Matter (PM), Nitrogen Oxides (NOx), Carbon Monoxide (CO), Hydrogen Sulfide (H₂S), and Sulfur Dioxide (SO₂). Air emissions can arise from various sources within a petroleum or an energy facility including equipment leaks (from valves or other

2015; Alshammari et al , 2008). There are advantages and disadvantages to each method. The choice of the treatment method(s) depends on the sludge characteristics, the requirements of local regulations, site constraints, construction costs, operating costs, etc.

Table 4: Typical physico-chemical characteristics of oily sludge

Source: SangeethaI and Thangadurai (2014)

Parameter	Value
pH	8.6
Oil (wt. %)	45.1
Water (wt.%)	2.3
Sediment (wt.%)	52.6
Sulphide (mg/kg)	985
Zinc (mg/kg)	1032
Mercury (mg/kg)	1.72
Nickel (mg/kg)	127
Lead(mg/kg)	55.06
Chromium (mg/kg)	158
Copper(mg/kg)	282
Manganese(mg/kg)	188

Figure 3: Oily sludge treatment by solvent extraction method

Source: Badrulislam, 2015

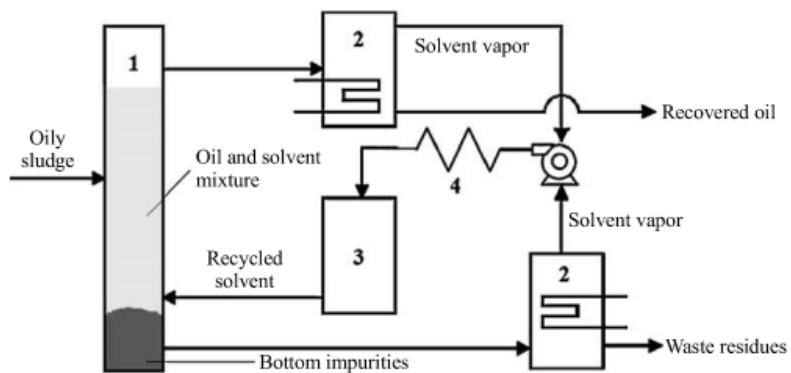
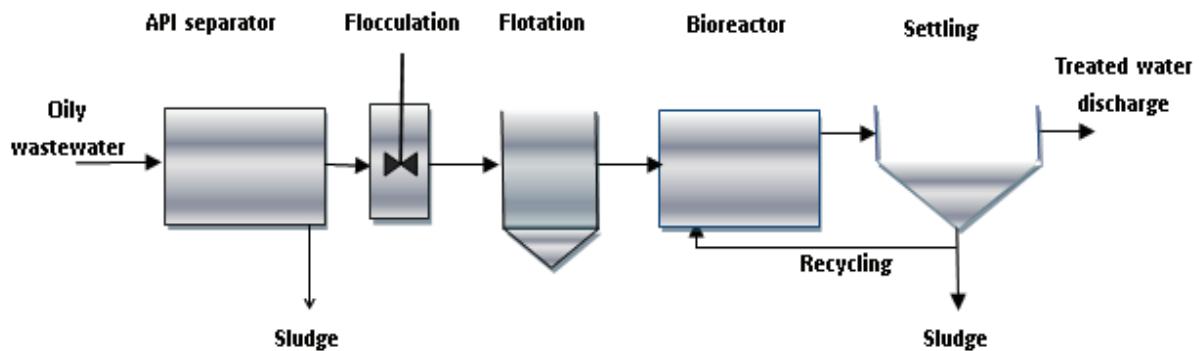


Figure 2: Refinery wastewater treatment scheme

Source: adapted from Lesage (2020)



4.2 Environmental impacts and treatment methods of solid wastes

Solid wastes generated from downstream industries can be classified into two categories: Incinerable and non-incinerable wastes. These wastes can be hazardous because they may contain toxic compounds such as organics and heavy metals. It is estimated that approximately 3 to 5 kg of solid wastes are generated per ton of crude processed (Benyahia et al, 2006). Metal-based catalysts such as those used in refinery processes cannot be incinerated. Traditionally, landfilling was the way to dispose of them. This practice is of course not environmentally friendly and can lead to ground water contamination. Spent catalysts contain precious metals such as platinum nickel, molybdenum, cobalt, tungsten, and vanadium. For this reason they are returned to the manufacturers for regeneration, whilst others are sent for metals reclamation and recycling (Dando and Martin, 2003; Stephan, 2013).

Incinerable wastes consist mainly of sludge which is recovered from tanks bottoms, process equipment, and wastewater treatment units. Oily sludge, also referred to as slop oil, results from crude oil storage tanks bottoms and desalting units. It is a complex mixture of hydrocarbons, sediment, paraffin and water, and other odorous and toxic substances such as metals (cf. Table 4). It is corrosive, and is considered hazardous. It has been estimated that one ton of oily sludge is generated for every 500 tons of crude oil processed (Badrulislam, 2015). Oily sludge composition can vary considerably, depending on the crude oil type and on the extraction and refining processes. Sludge recovered from crude oil storage tanks and desalting unit contains a high percentage of oil, the recovery of which can mean extra savings for the refinery. The sludge is usually treated using solvent extraction (Figure 3) followed by combustion of the residue. In some cases, the residue may require stabilization prior to disposal to reduce the leachability of toxic metals ((Hou et al, 2013). Solvent extraction can achieve a recovery of about 67.5% hydrocarbon oils (Taiwo and Otolorin, 2009).

In addition to solvent extraction, other treatment techniques exist, such as centrifugation, surfactant enhanced oil recovery (EOR), frost and melt treatment, sludge pyrolysis, microwave and ultrasonic radiation, electromagnetic method, flocculation, froth flotation, filtration, thermal desorption, incineration, biodegradation, and oxidation (Badrulislam,

Table 3: Characteristics of oil refinery wastewater effluent characteristics

Source: (Nwanyanwu and Abu, 2010)

Parameters	Value
pH	7.64
THC (mg/l)	17.5
TDS (mg/l)	950
BOD (mg/l)	32
COD (mg/l)	112
Phenol (mg/l)	71.2
Phosphate (mg/l)	0.22
Chloride (mg/l)	44
Lead (mg/l)	<0.01
Copper (mg/l)	<0.01

Several treatment methods are available to deal with these liquid effluents. The choice of the treatment method(s) is driven by the cost and the options available that comply with the local waste regulations. In general, at the project and design stage of the facility, a wastewater treatment system is provided. As illustrated in Figure 2, it usually includes a preliminary physical treatment, in this case an API separator, to remove coarse particles that may damage equipment. This is then followed by a primary treatment (it could be physical or chemical), represented by the flocculation/flotation unit, designed to remove suspended solids and organic matter. A secondary (biological and chemical) treatment is necessary to remove biodegradable organic matter. At the end, the effluent undergo a final treatment- the clarification step- based on chemical and biological processes designed to remove products such as suspended and dissolved solids resulting from the decomposition of organic substances (Miah, 2012). The conditioned water can then be safely discharged or reused within the facility.

Some refineries use deep-injection wells to dispose of wastewater generated inside the plants, but this can generate risks as some of these wastes end up in aquifers and groundwater (McCurdy, 2014).

The existing treatment methods have been the subject of numerous publications including dissolved air flotation (Ratnayaka et al, 2019), activated sludge (Senat, 2020), biofilters (Chaudhary et al, 2003), Advanced Oxidation Processes (Khurana et al , 2019; Azizah et al, 2018), Sour water stripping (Yokogawa, 2020), Coagulation/Flocculation (Zhao et al, 2020). In addition to these techniques which have proven to be very efficient, new treatment methods have been developed. These include the membrane bioreactor process, the ballasted floc reactor, and the integrated fixed-film activated sludge (IFAS) process (The editors of Encyclopedia Britannica, n.d).

4. Treatment of liquid and solid wastes resulting from downstream industries

For the purpose of this study, the Oil and Gas downstream industries refers to oil refining and natural gas processing and associated facilities. Large quantities of liquid and solid wastes are generated during the processing of oil and natural gas into useful commercial products. These wastes have potential hazards for the environment and human. Therefore, it becomes a necessity to rid them of the noxious products they contain and which are likely to cause environmental damage and harm human health.

4.1 Environmental impacts and treatment methods of liquid wastes

O&G downstream industries generate large quantities of liquid wastes which consist mainly of wastewaters such as process water, sour water, storm water, and sanitary sewage water. The wastewaters can be divided into process and non-process waters. Non process waters usually consist of storm waters and surface runoff waters and usually do not represent a risk to the environment unless they are contaminated by oil leaks and spillage, in which case a treatment is necessary. Process waters results from the use of water in refinery processes such as desalting, distillation, hydrotreating, cooling systems, etc. It can also arise from natural gas processing such as phase separation units, dehydration units, product fractionators, reflux drum drains, etc.,(Ravenswaay, 1995). In natural gas processing plants, produced water may be occasionally found in the gas. Sometimes, it may happen that during the production phase produced water is not fully separated in the production field. This water must be removed prior to gas processing. It is estimated that about 9.5 million barrels of produced water are removed annually from natural gas processing plants in the U.S (ICF, 2000). Produced water handling is covered by [Section 2.2](#).

Of the total wastewaters, process water accounts for more than half all the effluents waters. As a general guide, approximately 3.5 to 5 cubic meters of wastewater per ton of crude oil are generated (Benyahia et al, 2006). As illustrated in Table 3, wastewater effluents emanating from downstream industries can contain Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD). Levels of approximately 150–250 milligrams per liter (mg/l) and 300–600 mg/l, respectively have been reported (WB, 1998; Benyahia et al, 2006; Nasr et al, 2019). Other contaminants in significant quantities may be present in the wastewaters including phenols, oil, BTEX, heavy metals.

Clearly, wastewaters, if not treated properly, can pose potential risks to the environment and ecosystems, including soil and water contamination. In general, wastewater effluents generated from downstream industries are strongly regulated, and strict limits are set for the level of contaminants contained in those wastes. In order to minimize potential environmental and health risks, raw wastewaters must be adequately treated before disposal.

3.2 Smart oil and gas fields (Digital fields)

Oil and gas producers have huge amounts of complex data to process. In order to remain profitable in the face of an ever changing operating context and policies, the companies need to properly manage these data processes and to ensure that everyone involved has access to relevant information. It allows the operating company to achieve economies of scale and real time oil well management and production, reduce workflow cycle times, while saving on operational costs (Idachaba, 2012). Therefore, some major oil companies have developed the concept of smart fields (or digital fields), which is a set of innovative technologies allowing real-time transfer of data from the well pads to the control station. Production and downhole equipment are monitored in real time. It is a technology which supposedly can integrate people, processes, machinery and technology. It has been validated in experimental settings in many areas including intelligent management of producing oil and gas fields and oil and natural gas exploration (Salympetroleum, n.d.).

3.3 Seismic mapping technology

Seismic acquisition is the process of generating, collecting and recording seismic signals in a field. The objective is to detect or better define oil and gas fields, typically located a hundred meters to a few kilometers deep. Geophones which are ultra-sensitive sound-emitting devices are used by seismologists to bounce sound waves off underground rock formations to uncover hydrocarbon reservoirs. The seismic images, before interpretation, are the product of different steps including recording of data and conversion into 3D maps (Strausscenter, n.d.).

3.4 New geo-steering technologies

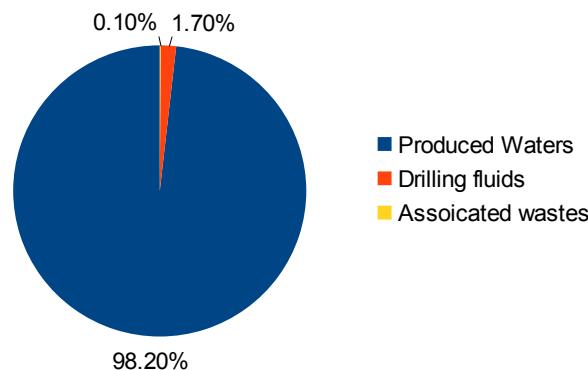
Geo-steering is one of the many revolutionary downhole drilling technologies developed to improve reservoir encountering rate for directional wells and horizontal wells (Zhand et al, 2013). According to Wikipedia, “Geosteering is the optimal placement of a wellbore based on the results of real time downhole geological and geophysical logging measurements...” For deep reservoirs with complex geologic structure, wellbore trajectory cannot be effectively guided to the reservoir with conventional techniques such as logging-while-drilling. It is therefore necessary to resort to more sophisticated tools and technique such as rotary geosteering (Zhang et al, 2013). Currently, over 60% of horizontal wells around the world are geosteered (Kuvaev, 2020). This technology has several variants including density image, rotary steerable system, resistivity image and rotary geosteering.

3.5 Downhole Oil/Water separation

This technique can separate the oil and water directly in the wellbore. It is based on the oil-water separation principle. The produced water is separated from the oil at the bottom of the well and is usually re-injected into another formation which is usually deeper than the producing formation, while the oil and gas rich stream is pumped to the surface (Yang et al, 2015).

Figure 1: Relative amounts of O&G exploration and production wastes

Source:(USC, 1992)



3. Role of modern technologies in the exploration and production of oil and gas

The oil and gas industry is faced with many constraints including increasing complexity of hydrocarbons deposits, volatility of crude and gas prices, considerations of climate change, and environmental pressure. Thus, the development and the adoption of new technologies is an issue of fundamental importance to these businesses as it could improve their production techniques while reducing their operating costs and mitigating the environmental impact in an increasingly demanding operating context.

Modern technologies can provide new solutions to some of the environmental risks associated with exploration and production of oil and gas. It can delay the depletion of oil and gas fields by recovering remaining hydrocarbons which cannot be produced by conventional methods. New techniques like smart fields, small hole drilling make it possible to monitor and control the drilling process while protecting this natural resource, to reduce the drilling time and the amount of drilling wastes. Some of the key new technologies that will drive the Oil & Gas exploration and production sector are identified below.

3.1 Advanced drilling techniques

The search for new oil deposits, deeply buried or under great heights of water, leads to drilling in conditions where conventional drilling is difficult to achieve. Faced with these difficulties, the oil industry has developed a set of alternative drilling techniques which have been the subject of numerous publications. Among these techniques one can list the underbalanced drilling technique (El Neiri et al, 2016), the managed pressure drilling technique (Martin, 2006), the extended reach drilling (Francis, 2014), and the slim-hole drilling technique (Gibson, 2016). These techniques, along with up-to-date technical improvements, can be an important tool for the recovery of oil and gas. By employing these efficient methods, wells' productivity can be increased and the impact on the environment lessened.

accordance with local regulations to insure no negative impact to environment and human. Drilling fluids can be disposed of onshore, offshore or re-injected into disposal wells. Offshore disposal is constrained by regulations while onshore disposal can give additional liability at the disposal site (Ismail et al, 2017).

Table 2: Drilling wastes treatment and disposal methods

Source: Onwukwe and Nwakaudu (2012)

Waste Minimization Approaches	Recycle or Reuse Approaches	Disposal Approaches
synthetic-based and oil-based muds generate less cuttings than water-based muds	road spreading when roads benefit from application of waste	land spreading or land farming
coiled tubing drilling	reuse synthetic-based and oil-based muds	:road spreading
directional/horizontal drilling	use cleaned cuttings for fill or cover material	burial in onsite pit or offsite landfill
use of less toxic components and additives for muds	restoration of wetlands with clean cuttings	discharge to ocean
air drilling	use cuttings as aggregate for concrete or bricks	salt cavern disposal
	thermal treatment with fluid recovery	underground injection
		thermal treatment
		biotreatment (e.g., composting, vermiculture)

Drill cuttings are broken rocks brought to the surface by the drilling fluid. Oil-based drill cuttings are contaminated with hydrocarbons and may contain up to 15 % of oil (Huang et al, 2018). As most of the disposal guidelines require that the oil-based drill cuttings must contain less than 1% oil, it is therefore necessary to adopt specific treatment so as to remove extra oil from the cuttings in order to meet local waste discharge requirements. The quantity of cuttings and mud produced from a well can range from 60,000 to 300,000 gallons per day (Karl, 2005). According to API, an estimated 150 million of barrels of drilling wastes have been generated during year 1995. Onsite burial is a common onshore disposal technique used for disposing of drill cuttings. It can also be recycled for use as a bulk particulate solid construction material such as road base for site roads and pads (Dhir, 2010)

Much smaller quantities of associated wastes are produced through the process of collecting, treating, and storing oil and gas. Examples of these wastes are tank bottoms, soil contaminated by spills of produced water or crude oil, spent chemicals used to complete and stimulate wells, pipe scale, sludge, oily debris, contaminated soils and workover. Based on API survey, oil production processes used in conventional drilling generate an estimated 230,000 metric tons sludge each year. Most sludge settles out of the production stream and remains in the oil stock and water storage tanks. Sludge is often contaminated with NORMs such as radium and thorium (EPA, n.d.). High concentrations of PAHs have been found in drill cuttings (Gbadebo et al, 2010). Associated wastes account for 0.1 percent of oil and gas wastes. USEPA documented 62 actual or potential damage cases resulting from the (mis)management of E&P wastes including damage to agricultural land, crops, streams, aquatic life, degradation of soil and groundwater; damage to vegetation, etc.

Table 1: Typical produced water characteristics

Parameter	Concentration
Density (kg/m ³)	1014-1140
Surface tension (dynes/cm)	43-78
TOC (mg/L)	0-1500
COD (mg/L)	±1220
TSS (mg/L)	1.2-1000
TDS (mg/L)	100-400000
pH	4.3-10
Total oil (mg/L)	2-565
BTEX (mg/L)	0.39-35
Alkalinity (mg/L)	<140
Oil and grease ($\mu\text{g}/\text{L}$)	>275
Chloride (mg/L)	80-200000
Bicarbonate (mg/L)	77-3990
Sulfate (mg/L)	<2-1650
Ammonium (mg/L)	30-300
Sulfite (mg/L)	>10
Phenols (mg/L)	0.009-23

2.3 Environmental impacts of solid wastes

Drilling wastes are the second largest volume of wastes generated during the O&G exploration and production activities. Two types of drilling wastes are generated during the drilling process of oil and gas wells: Muds and cuttings. Muds known as drilling fluids can be water, oil or synthetic-based fluids with additives and are used to facilitate the drilling process. The drilling of oil and gas wells is carried out using a mud consisting of a fluid and clay, such as bentonite, to which several chemical compounds are added to form the drilling fluid (MDDEP, 2013). These compounds can be found in wastewater resulting from the solid/liquid separation of spent drilling muds. Drilling fluids can adversely impact the environment because they contain toxic substances. It has been observed that water-based drilling fluids have little or no adverse, long-term biological impact in the water column or on the seafloor (Neff et al, 2000). Being non-hazardous, they are therefore allowed for disposal as long as they meet local discharge standards. In less challenging drilling, water-based fluids are the ideal choice as the subsequent waste management is less expensive. Drilling fluids could be reconditioned and reused for other wells. For example, waste mud from one well can be used for plugging other wells.

Oil-based and synthetic-based drilling fluids, however, can potentially cause adverse effect to the environment. Oil-based drilling fluid is considered the most toxic drilling fluid and possesses the most severe environmental effect compared to other drilling fluids (Ismael et al, 2017). Many studies have reported the detrimental effects of these drilling fluids on ecosystems (Gbadebo et al, 2010; Soegianto et al, 2008; Sil et al, 2012) . Health effects have also been reported including headaches, skin irritation and dermatitis (IPIECA, 2009). Moreover, drill cuttings may contain radioactive materials or Naturally Occurring Radioactive Materials (NORMs), as such they should be carefully treated in order to avoid contaminating the environment.

Other studies mostly carried out in the North Sea, show that discharge of oil-based fluids and associated cuttings may cause persistent adverse biological effects at the seafloor (Neff et al, 2000). In general drilling fluids are not readily degradable and must be treated in

2.2 Environmental impacts of liquid wastes

During O&G exploration and production activities, produced water is generated in large quantities. It is a mixture of dissolved organic and inorganic chemicals, occurs naturally in oil and gas reservoirs and is brought to the surface as a byproduct during the extraction of oil and gas. Produced water is highly saline (3000 to more than 350000 mg/l of TDS) and accounts for 96 to 98 percent of all oil and gas wastes. It may contain toxic metals, organic and inorganic components, and naturally occurring radioactive materials (NORMs) such as Radium (226/228) (Diane, 1995; Kharaka and Dorsey, 2005). Typical produced water characteristics are shown in Table 1. Being a toxic substance, if not properly handled, it can easily contaminate soil, surface and groundwater. Handling of produced water has become a national issue in some countries because the amounts produced are staggering. In 2003, an estimated 667 million metric tons (about 800 million m³) of produced water were discharged offshore throughout the world, including 21.1 million tons to offshore waters of North America, mostly the U.S. Gulf of Mexico, and 358-419 million tons to offshore waters of Europe, mostly the North Sea (OGP, 2004; Garland 2005; as cited in Neff et al, 2011). The ratio of produced water to oil in conventional well is on average 7 to 10 barrels of produced water per barrel of oil (Guerra et al, 2011). This ratio is called water to oil (WOR) and it increases over the life of a conventional oil or gas well.

The beneficial reuse of produced water, after appropriate treatment, is 50-70 percent more expensive than disposal (Hayward, 2015). Therefore industry tends to rely on disposal rather than beneficial reuse. For every ton of hydrocarbon produced in 2010 (including oil, condensates and gas) 0.6 ton of produced water were discharged to the marine environment and 1.0 ton of produced water was re-injected into the ground (Abdelsabour, 2015). According to statistics, 98 percent of onshore produced water is injected underground (Clark and Veil, 2009); 59 percent of that amount is injected into producing formations to maintain pressure and enhance the recovery of oil that cannot; and 40 percent is injected into other rock formations for disposal. The remaining 2 percent is managed through beneficial reuse and other surface disposal methods (Hayward, 2015).

The primary issue in managing produced water is the potential for contamination of soil, land and water resources. It has been reported that underground injection of produced water have been associated with migration to nearby wells of various liquids and chemicals (Diane, 1985). In some cases produced water is discharged to surface water in which case aquatic species can be endangered. The amount of produced water which rises to the surface during the exploitation of hydrocarbons depends on the type each geological formation (Neff et al, 2011).

2. Environmental Impacts of the Exploration and Production of Oil and Gas

Over the years, the oil and gas industry has come under severe criticism from environmentalists for its role in degrading the environment with serious consequences to air, water, soil, ecosystems and public health. The O&G (Oil and Gas) upstream activities which include exploration, drilling, and production, generate deleterious gases as well as noxious liquid and solid wastes. The potential risks to the environment are multiple and can be local or global. All represent a potential danger to environment and humans as will be explained below:

2.1 Environmental impacts of air pollution

Air pollution emanating from the exploration and production activities is generally a less significant problem when compared to contamination of soil and water induced by liquid and solid wastes. Nonetheless, oil and gas exploration and production activities are a source of hazardous air pollutants which cannot be neglected. Exploration activities, however, have a much lesser atmospheric impact. Flaring, venting and purging gases are among the main sources of air pollutants, to which we may add other sources such as combustion processes and fugitive gases. During the oil extraction process, natural gas is often produced as a by-product, and oftentimes, it is uneconomical to build infrastructure to bring it to the market. It is therefore flared or vented. In terms of the greenhouse effect, methane, the largest component of natural gas, is much more potent than CO₂. According to the World Bank, 150 to 170 billion m³ of natural gas is flared around the world, contaminating the environment with about 400 Mt CO₂ per year (Eman, 2015). Today, gas flaring is the most significant source of air emissions and represents one of the most challenging environmental problems facing the world.

Combustion and fugitive gases are released through production processes and equipment including engines, turbines, and process heaters and heater treaters (WB, 1998). According to the United States Environmental Protection Agency, offshore oil and gas production was responsible for the release of 6.2 million metric tons of combustion gases in 2013 (EPA, 2013).

The pollutants released to the atmosphere are Nitrogen Oxides (NOx), Sulfur Dioxide (SO₂), Particulate Matter (PM) and Volatile Organic Compounds (VOCs). Process heaters are the main sources of NOx emissions while combustion processes produce SO₂ emissions. NOx emissions contribute to eutrophication, acidification, and the formation of ground-level ozone, and result in higher background concentrations of Nitrogen Dioxide (NO₂) (Ryu et al, 2019). Non-methane VOCs emissions combined with NOx result in the ozone formation, whereas CO₂ and CH₄ can contribute to global warming. The SOx and NOx can undergo chemical reaction in the atmosphere to generate several secondary contaminants, such as sulfuric and nitric acids. These contaminants come down as acid rain into the soil and the ocean, thus affecting the fauna and flora of the region where the E&P activities are being conducted, and far beyond. VOCs which can emanate from equipment leaks, storage tanks, vacuum producing systems, wastewater separators, gasoline transfer systems, and process units turnarounds (EPA, 1978), contribute to harmful ozone formation in the lower atmosphere

1. Introduction

For many years the environmental issues have been given little attention because they were considered as a secondary priority in the formulation of strategies and planning processes of businesses and corporations. Today, due to increasing environmental awareness and societal pressure, the environment-related issues have become a matter of serious concern for states, businesses and people alike. Nowadays, in many countries, all forms of industrial activities are now subjected to more and more stringent environmental regulations and laws which are regularly updated. However, most major environmental laws (Clean Air Act, Clean Water Act, etc.) were passed in the USA, in a timeframe from the late 1960s through the early 1980s (Kepner, 2016). These early laws and regulations have largely inspired those that came later.

One of the main sources of environmental concerns is the exploration and production (E&P) of fossil fuels such as oil and gas. While it is widely recognized that oil and gas are essential commodities which fuel world economies, how they are extracted from the ground, produced and processed, has become problematic in light of the recurrent environmental problems. In many parts of the world, detrimental impacts on ecosystems have been reported (Baptiste and Nordenstam, 2009; Fattal, 2005). All environmental media such as air, water, land and sea have been copiously contaminated with huge amounts of wastes that are generated during the E&P activities. Although there are waste management techniques, these are often disregarded or not fully implemented.

In downstream activities, the situation is no better. Oil refineries and gas processing plants use large amounts of chemical substances potentially dangerous for humans and the environment. The environmental impacts caused by such facilities are mainly due to gaseous emissions, wastewater discharges, solid wastes, and noise and odor nuisances. Being at the heart of environmental concerns, the oil and gas industry is forced to regularly adapt to standards and regulation issued by national institutions such as the European Commission or the US Environmental Protection Agency (EPA).

There is no doubt that the oil and gas industry has made a significant contribution to the world in terms of economic growth and prosperity. But it turns out that this industry, with its more than 700 refineries and countless oil and gas wells around the world, is one of, if not, the root causes of environmental problems. The environmental situation has reached a critical point where the problems caused by global climate changes have become more apparent. If we continue on the business-as-usual path, we are heading for disaster. At a time when climate change is disrupting our living conditions, it seems urgent to find alternative solutions for our energy needs and in particular for our means of transport. A rapid and planned energy transition is more than necessary. It must be increasingly based on new and renewable sources of energy, and energy efficiency. In this regard, solar and wind technologies are expected to play a leading role in the energy transition.

But despite their negative impact on the global climate and the amount of atmospheric pollutants emitted by their combustion, oil and gas are expected to remain for the foreseeable future the engine of world economy.

ابحث الثالث

The oil and gas exploration and production industry: An assessment of the potential impacts of the upstream and downstream operation on the environment

Dr. Jamal Harbi

as a way to encapsulate enzyme breakers to delay the release of the active substance, as a kind of targeted and controlled launch of enzyme cutters into hydraulic fracturing processes. By electrostatic absorption of many polymers carrying multi-charge ion groups (positive and negative electrical charges) using the colloidal composition of nanoparticles made up of polyelectrolyte-Complexes (PECs) as the nucleus of the construction of ion layers. High concentrations of enzyme breakers are inserted into polyethyleneimine (PEI), a poly-electrolyte solution with a positive electrical charge, for the purpose of forming nanoparticles PECs with Dextran-Sulfate (DS), a poly-electrolyte solution with a negative electrical charge. Using correct concentrations and pH conditions, multi-layer polyelectrolyte was alternately assembled with a polyethylene deposition on the dextran sulfate outer layer of the PEI-DS clusters. The stability and reproduction of polyelectrolyte multilayer has been tested over time. This work illustrates the importance of polyelectrolyte nanoparticles as a technique for targeted and binding release of enzymes based on their superior ability to carry high concentrations of enzyme breakers as well as the efficiency of nanoparticles in controlling the release of the mobile enzyme. Nanoparticles of polyelectrolyte are multilayered using concentration measurement methods such as viscosity measurements. The morphological distribution and size at the nanometer level of both PECs and PEMs were also determined using transmission-Electron-Microscope (TEM). Delayed release of enzyme breakers held within polyelectrolyte multilayers over longer periods of time (18 hours) was controlled by reducing viscosity and hydroxypropyl-guar (HPG) elastic modulus (e.g. shear and viscous modulus).

Long-term Conductivity-test break conductivity tests at 40 C degrees and under test pressures of 1,000, 2000 and 4,000 pounds per square inch revealed high clean-up efficiency in cleaning the breakage of fracking fluid mixed with enzyme-loaded nanoparticles. The improvement in retained fracture conductivity from 25% to 60% indicates the effect of controlled distribution of nanoparticles in the filter cake and along the entire face of the fracture, unlike the free enzyme (unloaded) randomly mixed in fracking fluids. A 34% retained fracture conductivity was found for fluid systems containing traditional enzyme-loaded polyelectrolyte compound clusters. In addition, polyelectrolyte multilayered and enzyme-carrying showed improved distribution of nanoparticles along the breakage, high loading capacity, colloidal retention efficiency, and sustainable release of the enzyme through the multilayer envelope of nanoparticles. The higher loading capacity gives flexibility in the use of high concentrations of enzyme breakers without compromising fluid properties during hydraulic fracturing treatment, thus effectively cleaning up fractures made up of concentrated gel residues.

The properties of fluid leakage of polyelectrolyte nanoparticles into the formation were also studied under constant conditions using fluid-loss-cell high-pressure. HPG mixed with nanoparticles was filtered on similar permeable core plugs. The addition of multilayered nanoparticles to fracking fluid was found to significantly improve the effect of preventing fluid loss. Leak coefficient values that cause less filtration volume than those with a tangled primary solution were also studied. The effects of complex bridging effects from PEI-DS revealed increased density and thickness of the filter cake as a clear indication of the relatively homogeneous dispersion of appropriately sized particles in the filter cake wall.

Abstract

The Role of Nanotechnology in Reducing Environmental Impacts: Using Polyelectrolyte Multilayered Nanoparticles (PEMs) to Improve Oil Wells Productivity

Dr. Mubarak Mohammed Alhajeri

Hydraulic fracturing is a common practice in the oil and gas industry to boost production, with hydraulic fracturing being treated as a technique for stimulating wells in low-permeable reservoirs and narrow rock formations to pump large amounts of liquids (e.g. water, sand, polymers and chemical additive mixtures) down into the well at extremely high pressure. In accordance with the principles and laws of fluid mechanics (hydraulic components), these fluids create small cracks in rock formations called fractures, allowing reservoir fluids such as natural gas, oil and salt water to flow from the narrow formations. It is noted that nearly two thirds of the hydraulic fluids used in hydraulic fracturing process are Guar-based polymers, which are classified as the most common type due to their low operational cost, high water solubility and ease of handling. It also has a minimal impact in terms of damages of rock formation layers. Guar-based polymers are connected by metal ions, such as borate, to form high-viscosity liquids for hydraulic fracturing to cause fractures in rock formations as well as carrying and transporting proppants into the created fractures. To minimize the damage to fracture formation processes, oil and gas field service companies add high-concentration breakers consisting of enzymes and fluid oxidants to decompose polymer gels. Oxidants are hazardous substances that pose a threat to public health and the environment. Therefore, it is preferable to use enzyme-breaker types over oxidants to reduce the health and environmental impacts. Although this type of breakers are environmental friendly, it comes at a price of ineffective break-up or early deterioration of enzyme cutters at the bottom of the well causing lower production efficiencies.

Over the past decades, modern technologies have been widely adapted in various areas of the oil and gas industry, including the early stages in oil and gas exploration and production, and even the refining phase of crude oil and chemical products. Nanotechnology is a type of modern technology that has recently gained a great deal of attention. Nanotechnology is defined as an application of nanomaterials with at least one dimension in a range of 1 to 100 nm. That is, taking advantage of the high surface-to-size ratio and the high qualitative operation of the surface, where nanotechnology helps produce materials that have completely different characteristics from the original materials. Nanotechnology and its applications are an active field of research in all engineering fields, and definitely not to exclude petroleum engineering. Many researchers are also doing their best to revolutionize industry by leveraging nanotechnology to find solutions to the challenges current technology faces in the oil and gas industry. Since the advent of this technology, nanomaterials have been widely used in various areas including drilling, completion, well repair, stimulation and wastewater treatment. Nanotechnology is currently at the forefront of research, particularly in hydraulic fracturing. In this study, polyelectrolyte multilayers (PEMs) nanoparticles were developed through layer-by-Layer sedimentation mechanism

Abstract

Renewable Energy in OAPEC Member Countries: Effects on Economic and Environmental Sustainability

Eng. Manal Ben Sibt, Dr. Salem Baidas,
Eng. Dalal Al-Ashwak, Eng. Mona Malek

The renewable energy sector has increased its contribution to the global energy mix, especially in the field of electric power generation. In this paper, we investigate implications of a rising renewable energy share on OAPEC member states. We consider three areas: scientific principles and engineering foundations, strategies and prospects for electricity generation, and economic and environmental impacts. Based on this analysis, we propose practical and cost-efficient actions to better utilize renewable energy resources and bolster the position of member states in the global energy market. The advantages of this proposal include increased income, a new labor market, more job opportunities, and extending the lifespan of fossil fuel stocks for future generations.

We also make recommendations to mitigate the expected negative impacts of the energy transition. Among our most important findings is the urgent need for member states to develop their abundant potential as renewable energy producers concurrently with exploiting fossil fuel resources. Second, to achieve economic and environmental sustainability, member states are encouraged to review economic policies, environmental legislation, and the carbon emission taxes on fossil fuel imposed by oil consuming countries. Third, member states must cooperate and coordinate to reach solutions that ensure a balance between economic growth and the environmental burden. Finally, member states must safeguard against the possibility of a weaker global demand for oil, by capitalizing on the current oil price hike and investing more in prospective economies. For example, with heavily subsidized domestic fuel prices, more oil and gas can be released for export markets, improving the economics of renewables projects. The authors hope that this study will shed light on how renewable energy can help OAPEC member states adapt and enhance their important position in the global energy market.

Contents

Renewable Energy in OAPEC Member Countries: Effects on Economic and Environmental Sustainability	9		
Eng. Manal Ben Sabt, Eng. Dalal Al-Ashwak,	Dr. Salem Baidas, Eng. Mona Malek,	Abstract	7
The Role of Nanotechnology in Reducing Environmental Impacts: Using Polyelectrolyte Multilayered Nanoparticles (PEMs) to Improve Oil Wells Productivity	11		
Dr. Mubarak Mohammed Alhajeri	Abstract	8	
The oil and gas exploration and production industry: An assessment of the potential impacts of the upstream and downstream operation on the environment	11		
Dr. Jamal Harbi	Abstract	10	

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

excluding the list of references. The full text of the article should be sent electronically as a Word document.

- Figures, maps, and pictures should be sent in a separate additional file in JPEG format.
- “Times New Roman” should be used with font size 12. Line spacing should be 1.5. Text alignment should be “justified”.
- Information sources and references should be referred to/enlisted in a clear academic method.
- When citing information from any source (digital, specific vision, or analysis), plagiarism should be avoided. Such information should be rephrased by the researcher’s own words while referring to the original source. For quotations, quotation marks (“...”) should be used.
- It is preferred to write the foreign names of cities, research centres, companies, and universities in English not Arabic.
- The researcher’s CV should be attached to the article if it was the first time he/she cooperates with the journal.
- Views published in the journal reflect those of the authors and do not necessarily represent the views of OAPEC. The arrangement of the published articles is conditioned by technical aspects.
- Authors of rejected articles will be informed of the decision without giving reasons.
- The author of any published article will be provided with 5 complementary copies of the issue containing his/her article.

Articles and reviews should be sent to:
The Editor-in-Chiref, Oil and Arab Cooperation Journal, OAPEC

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

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)



OIL AND ARAB COOPERATION

Editor - in - Chief

Ali Sabt Ben Sabt

Secretary General, Organization of Arab Petroleum Exporting Countries (OAPEC)

Managing Editor

Abdulfattah Dandi

Director of Economics Dept. and Supervisor of Media and Library Dept.
OAPEC

Editorial Board

Eng. Imad Nassif Makki

Director of Technical Affairs Dept.
OAPEC

Dr. Dawwod Bahzad

Director Science and Technology Dept.
Kuwait Institute for Scientific Research

Dr. Belkacem L aabas

Chief Economist
Arab Planning Institute

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

ANNOUNCEMENT**OAPEC AWARD**FOR SCIENTIFIC RESEARCH FOR THE YEAR **2022**

In line with OAPEC's policy to encourage scientific research by awarding two prizes on a biennial basis (**First Prize** KD 7000-10000 equivalent to USD \$23000-\$32500, **Second Prize** KD 5000 equivalent to USD \$16000), upon the resolution number 1/162 of OAPEC Executive Bureau at its meeting dated 18 May 2022. The Organization of Arab Petroleum Exporting Countries (OAPEC) is pleased to announce that the research field selected for the "OAPEC Award for Scientific Research for the Year 2022" is:

Decarbonization Techniques in the Petroleum Industry and the Circular Carbon Economy "CCE"



on

OAPEC
ORGANIZATION OF ARAB
PETROLEUM EXPORTING
COUNTRIES



أوابك
منظمة الأقطار
العربية المصدرة
للبترول

OAPEC launches its **Scientific Award for the year 2022**

"Decarbonization Techniques in the Petroleum Industry and the Circular Carbon Economy"

The Organization of Arab Petroleum Exporting Countries (OAPEC) is pleased to announce its Scientific Award for the year 2022, the research topic will be "Decarbonization Techniques in the Petroleum Industry, and the Circular Carbon Economy" as per the organization's Executive Office Decision No. 1/162 dated 18 May 2022.

The launch of OAPEC Award comes in line with the organization's policy to encourage researchers by awarding two prizes on a biennial basis (**First Prize** KD **7000-10000** equivalent to USD \$23000-\$32500, **Second Prize** KD **5000** equivalent to USD \$16000).

OAPEC's interest in the field of "Decarbonization Techniques in the Petroleum Industry, and the Circular Carbon Economy" stems from the global efforts aimed at reducing harmful emissions to the environment. A special focus has been given to petroleum industries (at all stages) to enable them meeting the requirements of decarbonization while maintaining their profitability and vital role in providing clean petroleum products at acceptable and fair prices.

The research topic of OAPEC Scientific Award for the Year 2022 tackles technologies that can help the petroleum industry to cut carbon emissions and achieve emissions-free production during all its stages, from drilling and production operations, to refining, petrochemicals production and distribution. This is in addition to benefitting from adopting the Circular Carbon Economy notion as a mean to cut carbon emissions.

The deadline for receiving the participating research works is 31 May 2023. Winners will be chosen by a scientific committee formed under the chairmanship of OAPEC Secretary General, Ali Sibt Ben Sibt, and the membership of OAPEC and non-OAPEC petroleum experts. For more information about the award, please scan the following code:





ORGANIZATION OF ARAB PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES
OAPEC

OIL & ARAB COOPERATION

Volume 47 - 2021 - Issue 178

Special Issue
Dedicated to
**OAPEC's
Scientific
Research Award
for the Year
2020**

Three Researches Share OAPEC's Second Prize

■ Renewable Energy in OAPEC Member Countries: Effects on Economic and Environmental Sustainability

Eng. Manal Ben Sabt,
Eng. Dalal Al-Ashwak,
Dr. Salem Baidas,
Eng. Mona Malek,

■ The Role of Nanotechnology in Reducing Environmental Impacts: Using Polyelectrolyte Multilayered Nanoparticles (PEMs) to Improve Oil Wells Productivity

Dr. Mubarak Mohammed Alhajeri

■ The oil and gas exploration and production industry: An assessment of the potential impacts of the upstream and downstream operation on the environment

Dr. Jamal Harbi

OAPEC
launches its **Scientific Award**
for the year

on

2022

"Decarbonization Techniques in the Petroleum
Industry and the Circular Carbon Economy"

