منظمة الاقطار العربية المصدرة للبترول
أوابك

النفط والتعاون العربي

المجلد الثامن والأربعون 2022 - العدد 183

الأبحاث

- دور المواد الحيوية المتجددة والوقود الحيوي في إنتاج البلاستيك الحيوي

د. ياسر محمد بغدادي

- الآفاق المستقبلية لأسواق النفط العالمية ما بعد جائحة فيروس كروونا

ماجد عامر

مجلة فصلية محكمة تصدر عن الأمانة العامة لمنظمة الاقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)

النفط
والتعاون العربي

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

الاشتراك السنوي :	4 أعداد (ويشمل أجور البريد)

البلـــدان العـربيـــة

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

البلدان الأخرى

للأفراد :	30 دولاراً أمريكياً
للمؤسسات :	50 دولاراً أمريكياً

الاشتراكات باسم : منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

النفط
والتعاون العربي

قواعد النشر في المجلة

تعريف بالمجلة واهدافها

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

الأبحاث

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

مراجعة الأبحاث والكتب

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

التقارير

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

شروط البحث

- نشر الأبحاث العلمية الأصيلة التي تلتزم بمنهجية البحث العلمي وخطواته المتعارف عليها دولياً ومكتوبة باللغة العربية.
- أن لا يتجاوز البحث العلمي المنشور على 40 صفحة، (متن البحث، الجداول والاشكال) بدون قائمة المراجع، ويرسل إلكترونيا 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 الى مصادر المعلومات بطريقة علمية واضحة.

- عند اقتباس أي معلومات من أي مصدر (إذا كانت المعلومات رقميه أو رؤية معينة أو تحليل ما) يجب أن لا يتم الاقتباس الحرفي وإنما يتم أخذ أساس الفكرة وإعادة صياغتها بأسلوب الباحث نفسه، والإشارة إلى مصدر الإقتباس. أما في حالات الإقتباس الحرفي فتضع المادة المقتبسة بين علامتي الإقتباس ("...").
- يفضل أن تذكر المدن ومراكز الأبحاث والشركات والجامعات الاجنبية الواردة في سياق البحث باللغة الانجليزية ولا تكتب باللغة العربية.
- إرفاق نسخة من السيرة العلمية للباحث مع البحث المرسل.
- تعبر جميع الأفكار المنشورة في المجلة عن آراء كاتبيها ولا تعبر بالضرورة عن وجهة نظر جهة الإصدار ويخضع 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 الصفاة- الرمز البريدي: 13066 دولة الكويت
الهاتف: 24959000 -00965 أو 00965-24959779
الفاكس: 24959755 - 00965
البريد الالكتروني oapec@oapecorg.org
موقع الأوابك على الانترنت www.oapecorg.org

المحتويات

الأبحاث

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

البحـــث الأول

دور المواد الحيوية المتجددة والوقود الحيوي في إنتاج البلاستيك الحيوي

د. ياسر محمد بغدادي *

* خبير أول صناعات نفطية - إدارة الشؤون الفنية ، أوابك - الكويت

الفصل الأول

دور التكنولوجيا الحيوية والمواد الخام الأولية في إنتاج الكيماويات الحيوية

تمهيد

أنتجت في تسعينيات القرن الماضي أنواع متعددة من الكيماويات الحيوية من الجيل الأول، ومن أهمها الوقود الحيوي " الإيثانول الحيوي"، والبلاستيك الحيوي، من السكريات والنشويات والجلوكوز المستخلص من الكتلة الحيوية من النباتات الغذائية كالقمح، والذرة، والبطاطس، وقصب السكر، وايضاً من الدهون الحيوانية، والزيوت النباتية. يعد كل من بوليمر حمض البولي لاكتيك، وبوليمرات البولي هيدروكسيل كانوتيه، والبلاستيك الحراري الممزوج بالنشا من أشهر أنواع البلاستيك الحيوي، وأوسعها انتشاراً [6].

أدى التوسع السريع في إنتاج الإيثانول، والكيماويات الحيوية إلى ارتفاع حاد في أسعار المحاصيل الزراعية الغذائية المستخدمة كمواد خام أولية لإنتاجها، وانعكس ذلك على قضية الأمن الغذائي سواءً للإنسان أو لتغذية الحيوان. مما حدا بمطوري التكنولوجيا الحيوية إلى تطوير تكنولوجيا إنتاج المنتجات الحيوية من الجيل الثاني، من الكتلة الحيوية غير الغذائية **Lignocellulose**، ومازالت هذه التقنية بحاجة إلى مزيد من التطوير لتعظيم إنتاجيتها على المستوى التجاري.

تتعدد مسارات إنتاج الكيماويات الحيوية من الجيل الثاني بطرق تحويل مبتكرة **Novel Conversion** طبقاً لأسس التكنولوجيا الحيوية، والتي تعتمد بصورة أساسية على

العمليات التصنيعية المختلفة، باستخدام الكائنات الحية الدقيقة، أوفي المصافي الحيوية **Biorefineries**[1]، وكذلك بتطبيق تكنولوجيا التغويز، أو الإسالة [(2)].

1-1: التكنولوجيا الحيوية Biotechnology

تعرف التكنولوجيا الحيوية على أنها تطبيقات تكنولوجية تعتمد على استخدام الكائنات الحية الدقيقة، أو الإنزيمات المصنعة منها لإنتاج أو لتعديل مختلف المواد لخدمة الإنسان، وهي تكنولوجيا قائمة بالأساس على علم الأحياء. وعرفها الاتحاد الأوروبي للتكنولوجيا الحيوية **"The European Federation of Biotechnology"**، بأنها دمج للعلوم الطبيعية والكائنات الحية، والخلايا وأجزائها والنظائر الجزيئية للمنتجات والخدمات.

اعتبرت التكنولوجيا الحيوية أحد أهم الثورات العلمية التي حققها الإنسان في العصر الحديث، وقد شهدت تقدما كبيرا منذ أواخر القرن العشرين، واستخدمت في كثير من التطبيقات الهامة وفي عدد من المجالات والقطاعات سواءً الطبية، أو الصناعية، أو الزراعية، أو البترولية، وغيرها من المجالات، والنشاطات المختلفة[5] . وتتميز العمليات الصناعية الجديدة المبتكرة في القطاع الصناعي باستخدام التكنولوجيا الحيوية الصناعية بإمكانية رفع مستوى تطبيقها من النطاق المعملي إلى النطاق التجاري خلال 5 سنوات فقط، مقارنة بما يمكن تطبيقه في القطاع الطبي مثلاً، والتي يلزم لها عقود من التجارب المعملية، للوصول إلى مستوى الإنتاج التجاري[12] . طور العالم كافرسكي **Kafarski**، في عام 2012 بعض الرموز اللونية واستخدمها لتسهيل التمييز بين المجالات الرئيسية للتكنولوجيا الحيوية، كما هو مبين في الجدول (1-1)[7].

الجدول (1- 1): مدلول رمز اللون المميز للمجالات الرئيسية للتكنولوجيا الحيوية

التكنولوجيا الحيوية البيضاء (القطاع الصناعي)
التكنولوجيا الحيوية الخضراء (القطاع الزراعي)
التكنولوجيا الحيوية الزرقاء (القطاع البحري، والمياه العذبة بحري ومياه عذبة)
التكنولوجيا الحيوية الحمراء (القطاع الصيدلاني)
التكنولوجيا الحيوية البنية (البيئية الصحراوية)
التكنولوجيا الحيوية الأرجوانية (في مجال براءات الاختراع والاختراعات)
التكنولوجيا الحيوية الصفراء (وهي التكنولوجيا الحيوية للحشرات، مجال ناشئ جديد في علم الحشرات التطبيقي يغطي استخدام الحشرات في اكتشاف الأدوية).

تشير بعض التوقعات إلى زيادة الاعتماد على استخدام التكنولوجيا الحيوية خلال السنوات العشر القادمة، خاصةً مع التطورات المتلاحقة للمحفزات الحيوية الأكثر ذكاءً[10] في مجال إنتاج البوليمرات والمذيبات الحيوية المستخدمة في قطاعات التعبئة والتغليف، والأكياس وحيدة الاستخدام[11] . وتعد الولايات المتحدة الأمريكية الدولة الرائدة الأولى في تطوير وتطبيق التكنولوجيا الحيوية، إلا أن بعض الدول النامية مثل البرازيل، والهند تمكنت من تعزيز قدراتها في مجال التكنولوجيا الحيوية، وخاصة التكنولوجيا الحيوية الزراعية، والصناعية.

1-1-1: التكنولوجيا الحيوية الصناعية "البيضاء"
White (industrial) Bioecology

واجهت صناعة البتروكيماويات، ضغوطاً متزايدة نتيجة تعدد استخداماتها في كافة الأنشطة الحياتية والقطاعات المختلفة، والمتطلبات البيئية الصارمة لجعل إنتاجها أكثر سلامة من الناحية البيئية، خاصة مع تنامي تولد النفايات السامة والمنتجات الثانوية. حيث ساهم تطبيق وتطويع التكنولوجيا الحيوية في تلبية تلك المتطلبات، ومواكبتها، وإنشاء مجال عُرف باسم "التكنولوجيا الحيوية البيضاء"، أو

"الكيمياء الخضراء"[3،4]، أو الموجة الثالثة للتكنولوجيا الحيوية **Third Wave In Biotechnology**. وهي تقنية شاملة توفر طرقاً مبتكرة منخفضة الاستهلاك للطاقة، وتنتج عنها نسب منخفضة من النفايات، سواءً السائلة أو الصلبة أو الغازية.

تعتمد في عملها لإنتاج الكيماويات وبعض المذيبات الحيوية، إلى جانب الوقود والغاز الحيوي، على نظم بيولوجية خاصة، وباستخدام عمليات التحفيز الحيوي بواسطة الأنزيمات لتسهيل وتسريع التفاعلات الكيميائية الحيوية المعقدة، أو على استخدام تكنولوجيا التخمير بواسطة الكائنات الحية الدقيقة. كما تُعنى بالتطورات في مجال الهندسة الأيضية **Metabolic Engineering**، وعلم الوراثة الجزيئية[8] **Molecular Genetics**. يبين الجدول (1-2) أهم تطورات التكنولوجيا الحيوية في القطاع الصناعي.

الجدول (1- 2): اهم تطورات التكنولوجيا الحيوية في القطاع الصناعي

ما قبل الأربعينيات
المذيبات، وخميرة الخبز، الأحماض العضوية، والأحماض الامينية.
ما قبل الثمانينيات
المضادات الحيوية، البوليمرات الحيوية، البروتينات وحيدة الخلية، الإنزيمات، العوامل الحيوية خلية واحدة، عوامل التوتر السطحي الحيوية "Biosurfactants ".
بعد الثمانينيات
المستحضرات الصيدلانية الحيوية، البروتينات المعدلة "Recombinant Proteins"، الأجسام المضادة، المركبات النباتية المنشطة بيولوجيا "Plant Bioactive Compounds "، الوقود الحيوي.

كما يعكف الباحثون على إعداد خطط لاستكشاف الكائنات الحية الدقيقة، والجزيئات الجديدة **New Molecules**، المصممة خصيصاً لإنتاج الكيماويات الحيوية من الكتلة الحيوية، بما يساهم في خفض تكاليف الإنتاج، وخفض كميات النفايات المتولدة، ونسب الانبعاثات من غازات الدفيئة، ونسب استهلاك الطاقة، وبما يتطابق مع الأهداف البيئية[9] .

1-2: دور التكنولوجيا الحيوية الصناعية في صناعة البتروكيماويات الحيوية

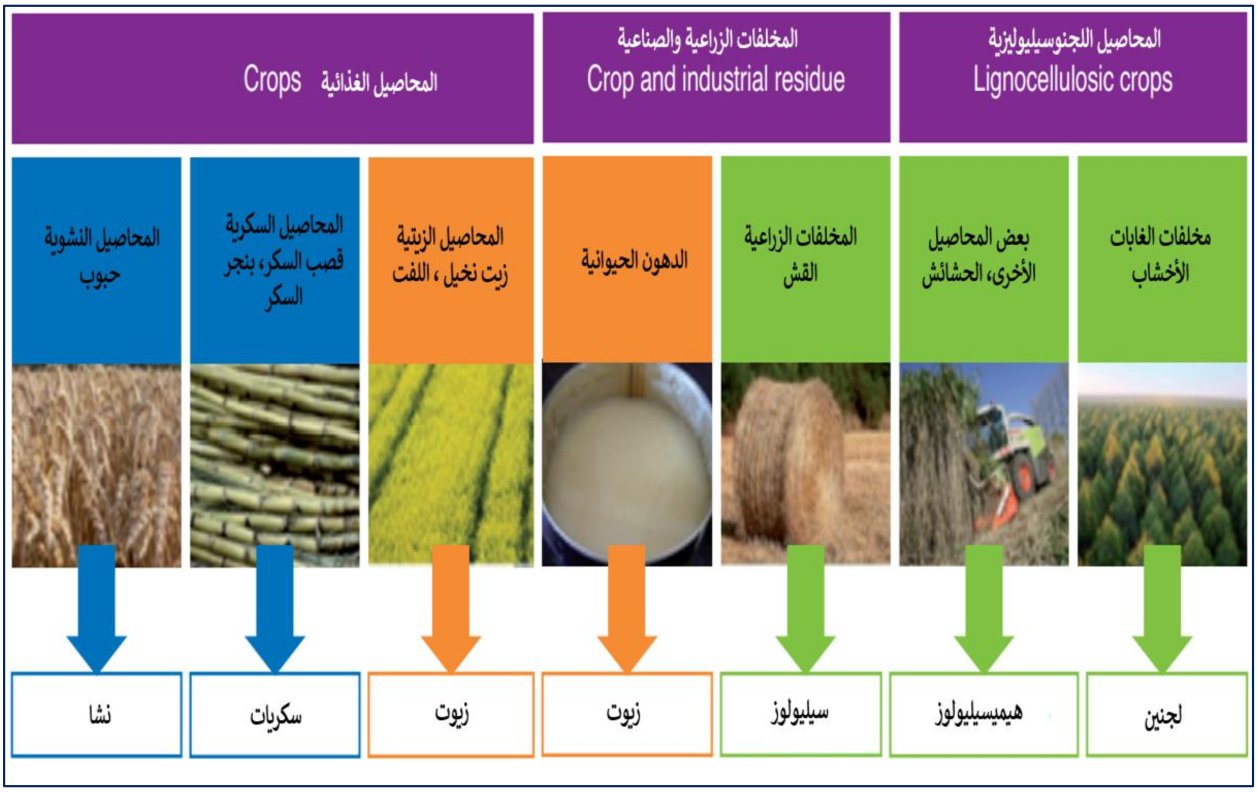
ساهمت التكنولوجيا الحيوية بشكل فعال في خفض البصمة الكربونية لمنتجات البتروكيماويات، وذلك من خلال إيجاد الحلول الاقتصادية الحيوية والبيئية لها، خاصة مع إنتاج البلاستيك الحيوي القابل للتحلل. ويعول على البلاستيك الحيوي القابل للتحلل أن يسهم في حل بعض من المشكلات البيئية الناجمة عن تراكم كميات النفايات البلاستيكية الأحفورية في المكبات والمرادم الأرضية، أو تلك المتسربة إلى البيئات البرية والبحرية. وعلى الرغم من أن تسويق التكنولوجيا الجديدة قد يستغرق وقتاً خلال المراحل المختلفة من تطوير العملية الصناعية، حتى اختيار أنسب المواد الخام الحيوية الأولية، وإنتاج المنتج النهائي، وصولاً إلى الاستخدامات النهائية للمستهلك، فإن تطبيق مبادئ التكنولوجيا الحيوية الجديدة على العمليات الكيميائية التقليدية وتعديلها يختصر الزمن في إنتاج المواد الكيميائية الحيوية داخل المصافي الحيوية، لتكتسب هذه المنتجات حصة أكبر في أسواق المنتجات الحيوية مدفوعةً بزيادة نمو الطلب عليها في عديد من التطبيقات، وخاصة البلاستيك الحيوي المستخدم في قطاعات تغليف وتعبئة المواد الغذائية، والقناني البلاستيكية، والصناعات المغذية للسيارات [74].

3-1: المواد الخام الأولية الحيوية في صناعة الكيماويات الحيوية

ينتج الوقود الحيوي، والكيماويات الحيوية من الجيل الأول بشكل موسع من السكريات، أو النشويات، أو من الجلوكوز المستخلص من المواد الخام الأولية الحيوية، وعادةً ما تكون من المحاصيل الغذائية مثل الذرة، والقمح، أو قصب السكر. وتعد هذه الطريقة أكثر طرق الإنتاج كفاءة في الوقت الحالي. ولكن بسبب قضايا الأمن الغذائي والذي قد يسببه استغلال الأراضي الزراعية المخصصة لإنتاج النباتات اللازمة لتغذية الإنسان والحيوان، في زراعة بعض المحاصيل الغذائية كمواد خام أولية، فقد تم تطوير تقنيات تعتمد على المحاصيل غير الغذائية، أو مخلفات الأخشاب، أو المخلفات الزراعية كقش القمح والأرز، أو الزيوت النباتية، والدهون الحيوانية المستعملة لإنتاج الكيماويات والبوليمرات الحيوية من الجيل الثاني.

تنقسم الكتلة الحيوية المستخدمة في إنتاج المواد الخام الأولية الحيوية من الجيل الأول والثاني إلى ثلاث فئات رئيسية وهي المحاصيل، والمخلفات الحيوانية والنباتية، والمحاصيل اللجنوسيلوليزية (الشبه سيللوزية)، كما هو مبين في الشكل (1-1).

الشكل (1-1): تصنيف الكتلة الحيوية ومكوناتها الرئيسية



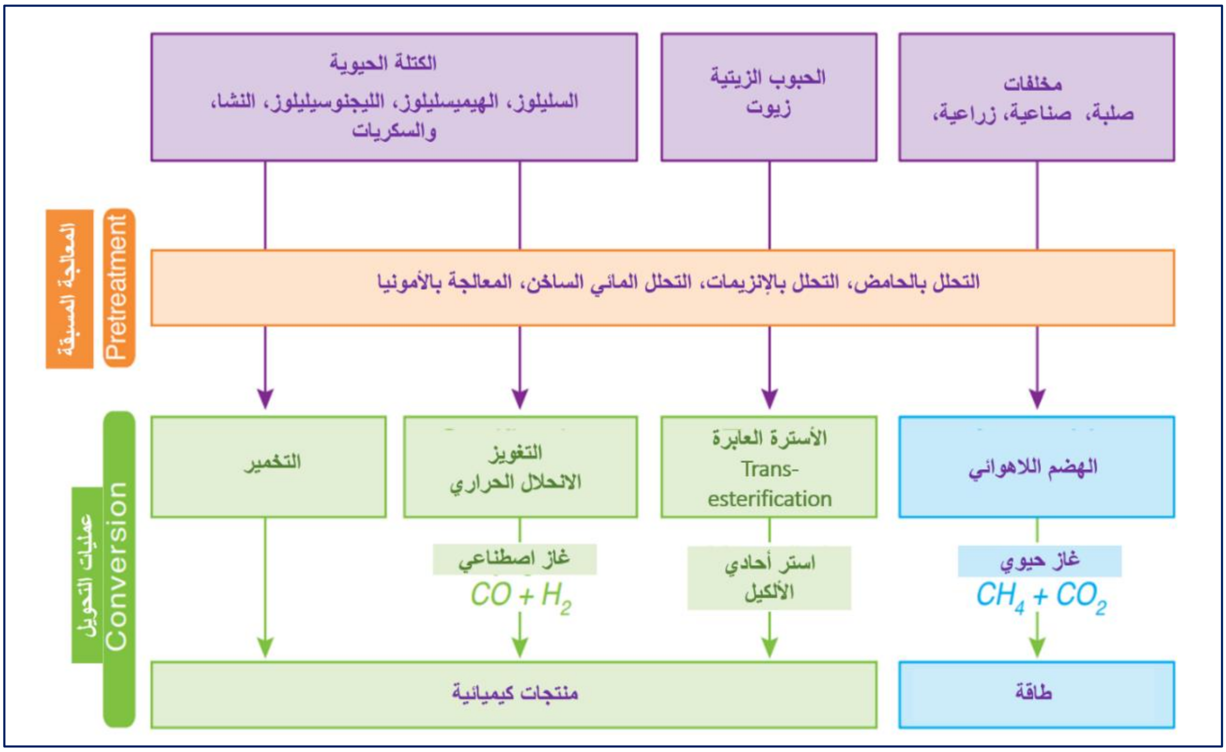
المصدر: Fabio Alario, Petrochemicals and green chemistry, IFP Energies nouvelles-,2013

بعد الإعداد الأولي لتجهيز ومعالجة المواد الخام الأولية الحيوية من مصادرها المختلفة، تطبق بعض العمليات الصناعية الميكانيكية، أو الكيميائية، أو الحيوية كالتخمر باستخدام مجموعة من الخمائر، أو البكتريا، أو المحفزات الحيوية بهدف استعادة المكونات العضوية الموجودة بها، وكذلك الطاقة الكيميائية المخزنة، والتي تعمل على كسر الهياكل البنائية البوليمرية المعقدة للنباتات إلى وحداتها البنائية الرئيسية.

تعد عمليات التحلل المائي البسيط، أو الأنزيمي، أو الحمضي بالإضافة إلى المعالجة بالأمونيا من أكثر عمليات المعالجة الأولية شيوعاً، والتي يتم من خلالها تحويل السكريات، أو النشويات إلى بوليمرات، وكيماويات، ووقود حيوي في المصفاة الحيوية. بينما تتم بعض عمليات التحول الأخرى مثل عمليات التخمير، أو الانحلال الحراري، أو الأسترة العابرة **Transesterification**، لإنتاج منتجات كيميائية وسطية، أو عمليات

الهضم اللاهوائي لإنتاج غاز الميثان الحيوي واستخدامه في إنتاج الطاقة، كما هو مبين في الشكل (1-2).

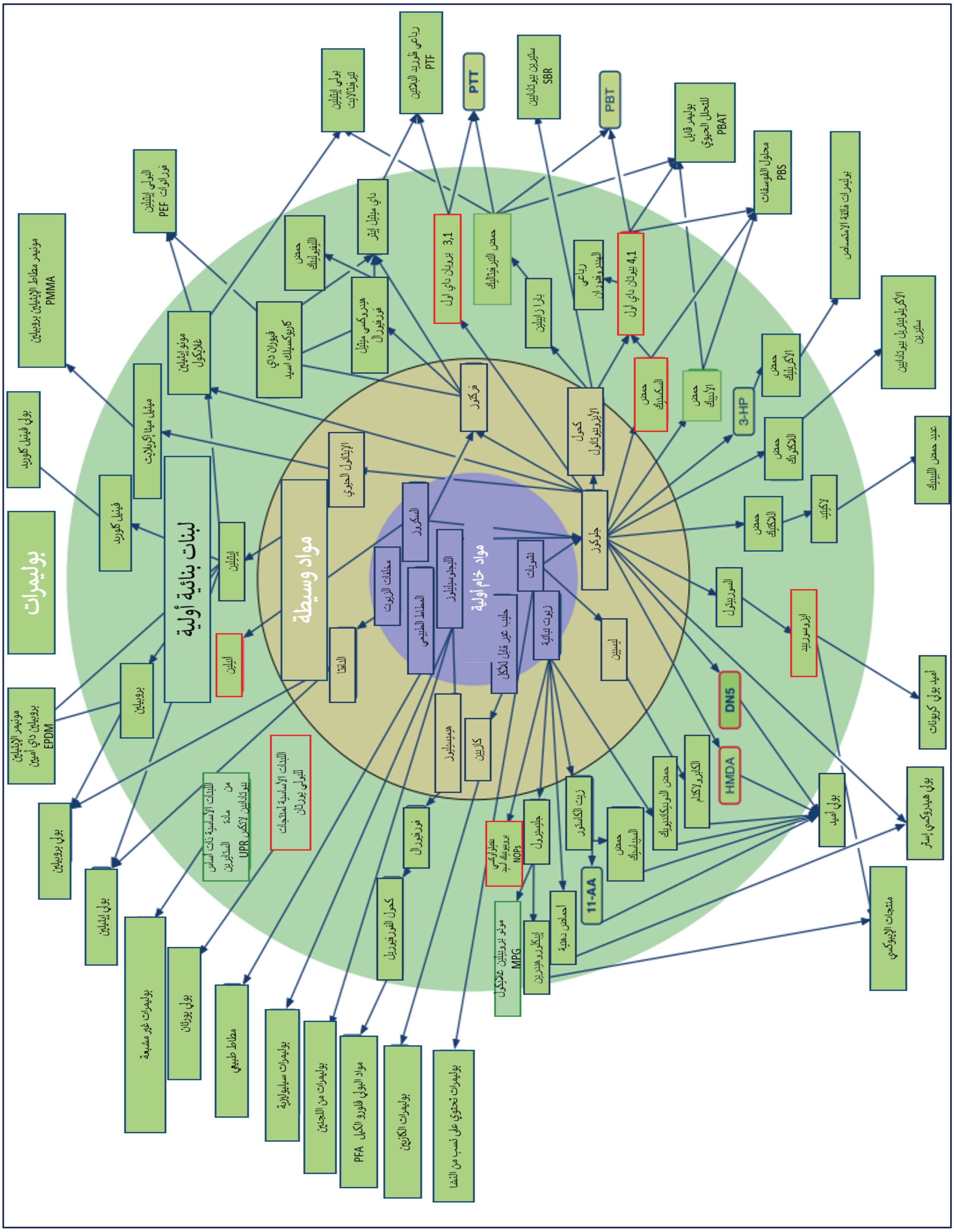
الشكل (1-2): العمليات الصناعية لتحويل الكتلة الحيوية إلى منتجات كيماوية، وطاقة



المصدر: Fabio Alario, Petrochemicals and green chemistry, IFP Energies nouvelles-,2013

أجرت وزارة الطاقة الأمريكية **DOE** في عام 2004، دراسة مبدئية لتصنيف وتحديد المواد الكيميائية المتجددة، وأسفرت النتائج عن إمكانية إنتاج نحو 30 مونومر حيوي بتقنيات تخمر السكريات لتكون بمثابة اللبنات الأساسية للمواد الكيميائية الأكثر تعقيداً، أو كمواد وسطية، أو منتجات نهائية جديدة، أو بدائل مباشرة للمنتجات البترولية. يبين الشكل (1-3) إنتاج بعض المواد البنائية الأولية الحيوية، والبوليمرات الحيوية من المواد الخام الأولية الحيوية.

الشكل (3-1): إنتاج بعض المواد البنائية الأولية الحيوية، والبوليمرات الحيوية
من المواد الخام الأولية الحيوية



المصدر: Global Markets and Trends of Bio-based Building Blocks and Polymers 2020–2025

كما نجح إنتاج الجيل الثالث من الديزل الحيوي من الطحالب، والتي يحتوي البعض منها على نسب مرتفعة من الدهون الثلاثية اللازمة لإنتاجه، ومنه يمكن إنتاج النافثا الحيوية كمادة خام أولية لصناعة الكيماويات الحيوية. وعلى الرغم من أن هذه التقنية تتميز بقدرتها على تحقيق إنتاجية أكبر بكثير عن المواد الأولية من الجيل الأول أو الثاني، إلا أن هناك بعض التحديات التقنية التي تحول دون التوسع فيها في الوقت الحالي، وتتعلق بشكل أساسي بالعوامل البيئية الحساسة اللازمة لتنمية الطحالب مثل تغير المواسم ودرجات الحرارة[6،5].

1-3-1: المصافي الحيوية Biorefinery

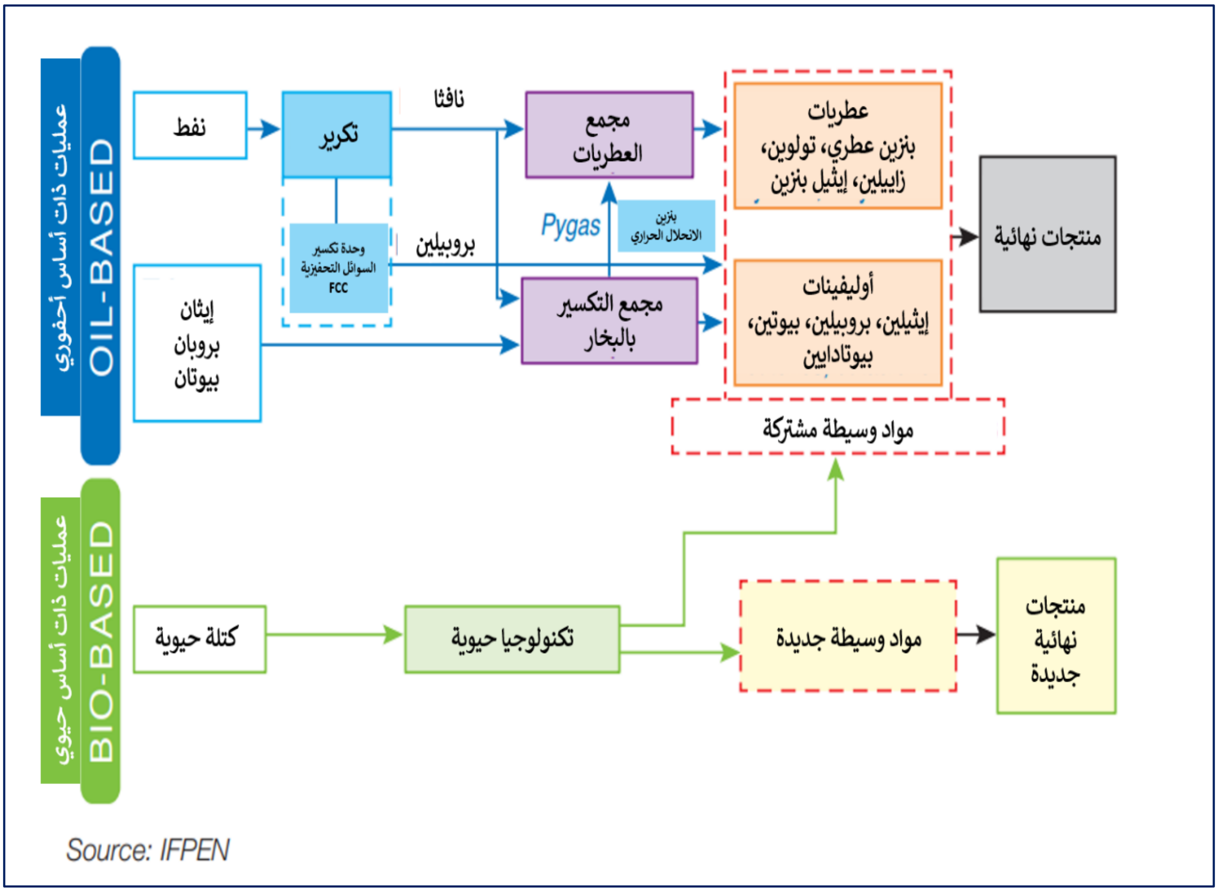
إن الانتقال من صناعة التكرير التقليدية والتي تعتمد على المواد الأولية الخام من المصادر الأحفورية من النفط والغاز، إلى صناعة قائمة على المواد الخام الأولية من الكتلة الحيوية، أفرز مفهوم تكنولوجي وصناعي جديد يعتمد على معالجة الكتلة الحيوية لإنتاج الكيماويات الحيوية في مصافي عُرفت بالمصافي الحيوية، وخاصة في أعقاب نجاح إنتاج الوقود الحيوي "الإيثانول الحيوي، والغاز الحيوي "من الجيل الثاني.

هذا النوع من المصافي الجديدة الناشئة يعالج في وقت واحد مجموعة متنوعة من الكتلة الحيوية، ويحولها إلى منتجات ذات قيمة مضافة مرتفعة من الوقود الحيوي، والطاقة، والمواد الكيميائية، والأسمدة الحيوية. وتهدف بشكل رئيسي إلى خفض البصمة الكربونية الناتجة عن العمليات الإنتاجية، او تداول النفايات والتخلص منها بعد استخداماتها النهائية. تنتج المصافي الحيوية بشكل رئيسي النافثا الحيوية، والإيثانول الحيوي، والإيثيلين الحيوي، والبروبيلين الحيوي، والبيوتادايين الحيوي، ومادة ميثيل ثلاثي البيوتيل إيثر الحيوي **ETBE**، وذلك على غرار المنتجات التقليدية القائمة على النافثا الاحفورية.

تعتمد استدامة إنتاج النافثا الحيوية بشكل كبير على مدى توفر المواد الخام الأولية الحيوية بكميات مناسبة، وأسعار تنافسية، وعلى نوع العمليات الصناعية ونسبة الناتج النهائي منها، ومعدلات نمو الطلب عليها، وغيرها من العوامل ذات الصلة [74].

انتهجت بعض الشركات الرائدة في مجال صناعة التكرير والبتروكيماويات استراتيجيات جديدة تعتمد على اندماج وتكامل العمليات الحيوية مع الطرق التقليدية في المصفاة، واستخدام المواد الخام الأولية من الكتلة الحيوية، في إنتاج النافثا الحيوية، أحد أهم اللبنات الأساسية اللازمة لإنتاج الكيماويات الحيوية، جنباً إلى جنب مع المواد الخام الأولية من المصادر الأحفورية، وبغرض الاستفادة من مرافق ووحدات الإنتاج المختلفة والموجودة في المصفاة، كما هو مبين في الشكل (1-4).

الشكل (1-4): اندماج وتكامل العمليات الحيوية مع الطرق التقليدية في المصفاة



المصدر: Fabio Alario, Petrochemicals and green chemistry, IFP Energies nouvelles-,2013

يساعد تطوير المصافي الحيوية عالية الكفاءة من خلال سياسة دمج الوحدات الإنتاجية المختلفة لإنتاج المنتجات الحيوية في خفض تكاليف إنتاجها، وبما يسمح بالمنافسة بشكل أكثر فعالية مع مثيلاتها من المنتجات الأحفورية، وهو ما يمثل فرص جيدة لاستبدال بعض أنواع البتروكيماويات التقليدية في بعض التطبيقات بموارد متجددة على المدى القريب [74].

هناك عدد من المصافي الحيوية على مستوى العالم، ولعل من أشهرها، معمل تكرير بوماكل- بازانكورت **Pomacle-Bazancourt** بالقرب من مدينة "ريمس" **Reims** في فرنسا، ويحتوي على مجمع صناعي يتضمن مصنع لإنتاج السكريات، والجلوكوز، والنشا، لإنتاج الايثانول الحيوي. وهناك مشروع أخر على النطاق التجريبي، وهو مشروع فيتورول **Futurol** لإنتاج الوقود الحيوي من الجيل الثاني. كما تمتلك شركة نيستي **Neste** مصفاة في سنغافورة تبلغ طاقاتها الإنتاجية السنوية حوالي 3.2 مليون طن من الوقود والمواد الأولية الحيوية "النافثا الحيوية، والبروبان الحيوي"، وتخطط لرفع طاقاتها الإنتاجية إلى نحو 4.5 مليون طن بحلول عام 2023، خاصة بعد أن قامت الشركة بزيادة الاستثمارات الرأسمالية خلال عام 2021، بنسبة 33 % مقارنة بعام 2018.

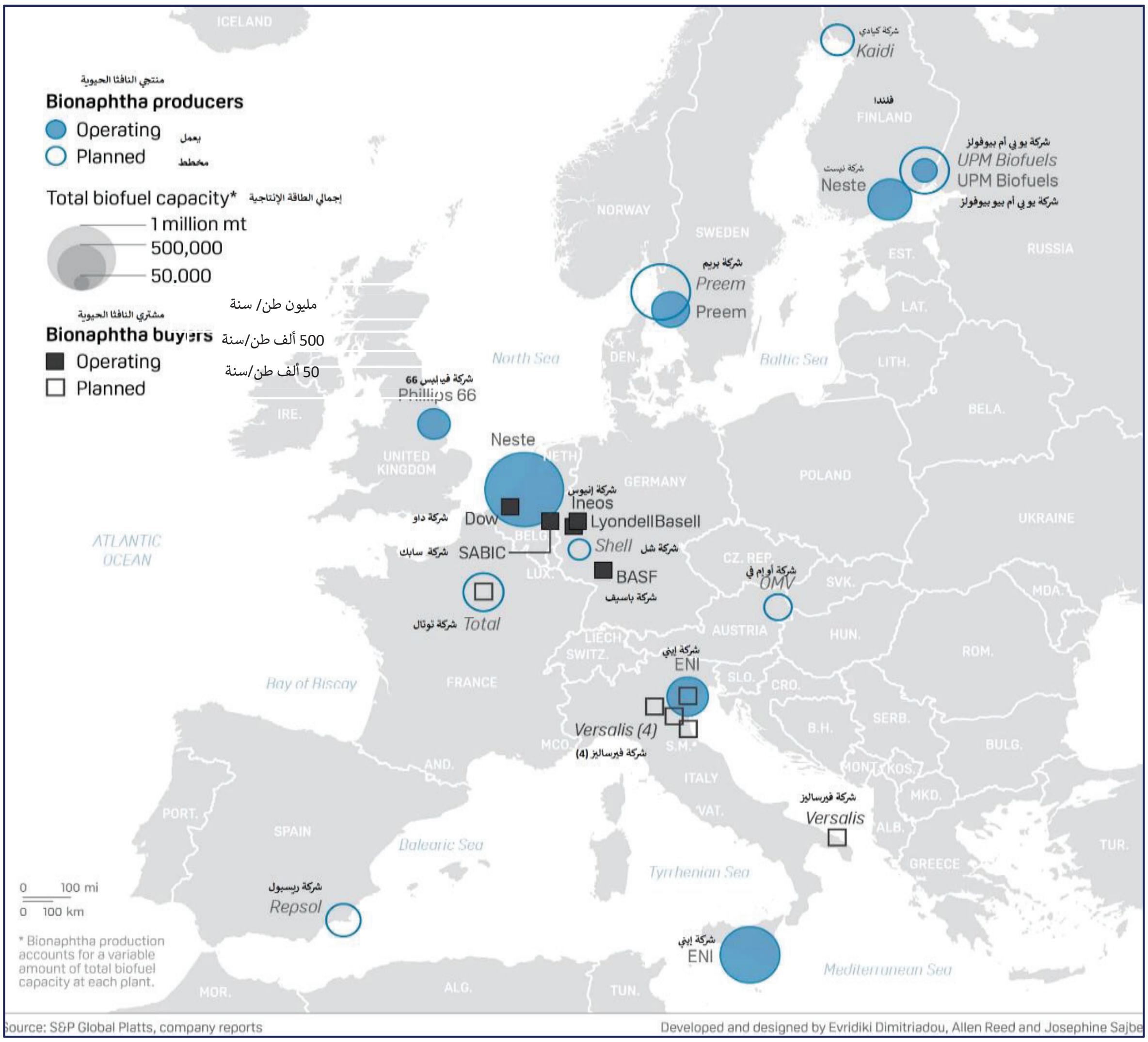
أنتجت كل من شركة نيستي، وشركة يو إم بي، وشركة إيني في عام 2019 كميات إجمالية من النافثا الحيوية بلغت حوالي 150 ألف طن. كما تخطط شركة "كيادي" في فنلندا لإنتاج النافثا الحيوية، وتخطط شركة يو بي إم **UPM** لإنشاء مصفاة حيوية أخرى في فنلندا، لإنتاج النافثا الحيوية من النفط الخام طويل السلسلة الكربونية المنتج من لب الورق من مخلفات الأشجار بطاقة 500 ألف طن سنوياً لإنتاج البولي إيثيلين الحيوي. يبين الشكل (1-5) مصفاة شركة "يو بي إم" لإنتاج النافثا الحيوية في فنلندا.

الشكل (1-5) مصفاة شركة "يو بي إم" لإنتاج النافثا الحيوية التابع في فنلندا

المصدر: https://www.pulpapernews.com

تقوم شركة توتال إنرجيز **Total Energies**، وشركة شل، بتسريع بعض خطط إنتاج الوقود الحيوي، والمواد الأولية الحيوية، خاصةً مع تزايد الدروس المستفادة من آثار إغلاق معظم مصافي التكرير في جميع أنحاء العالم بسبب فيروس كورونا. كما تخطط شركة "ريبسول" لإنشاء أول مصنع لوقود النفاثات الحيوي، والنافثا الحيوية، والبروبان الحيوي"، بطاقة إجمالية سنوية تبلغ 250 ألف طن في إسبانيا. يبين الشكل (1-6) أهم مواقع إنتاج واستهلاك النافثا الحيوية في أوروبا.

الشكل (1-6): أهم مواقع إنتاج واستهلاك النافثا الحيوية في أوروبا



المصدر: S&P Global Platts, Company reports

من جانب أخر ينشط المنتجون في الأمريكيتين بشكل متزايد في أسوق النافثا المتجددة، ولا سيما شركة **ماراثون للبترول**، وشركة **فاليرو**، لكن هذه الكميات على نطاق الإنتاج ا التجريبي، ويتم استخدامها على نطاق الشركات المنتجة فقط، في حين تخطط شركة **فيليبس 66**، لتحويل مصفاة "سان فرانسيسكو" في ولاية كاليفورنيا إلى واحدة من أكبر مصانع الوقود المتجدد في العالم بما في ذلك النافثا الحيوية، بطاقة حوالي 800 مليون جالون سنوياً (52 ألف برميل يومياً) بحلول عام 2024.

1-3-1-1: النافثا الحيوية *Bio* naphtha

تتشابه مواصفات النافثا الحيوية مع مواصفات النافثا التقليدية من المصادر الأحفورية، من حيث التركيب الجزيئي، ولها نفس الاستخدامات، سواءً بالخلط لإنتاج الغازولين، أو كمواد خام أولية في صناعة الكيماويات المختلفة والبوليمرات.

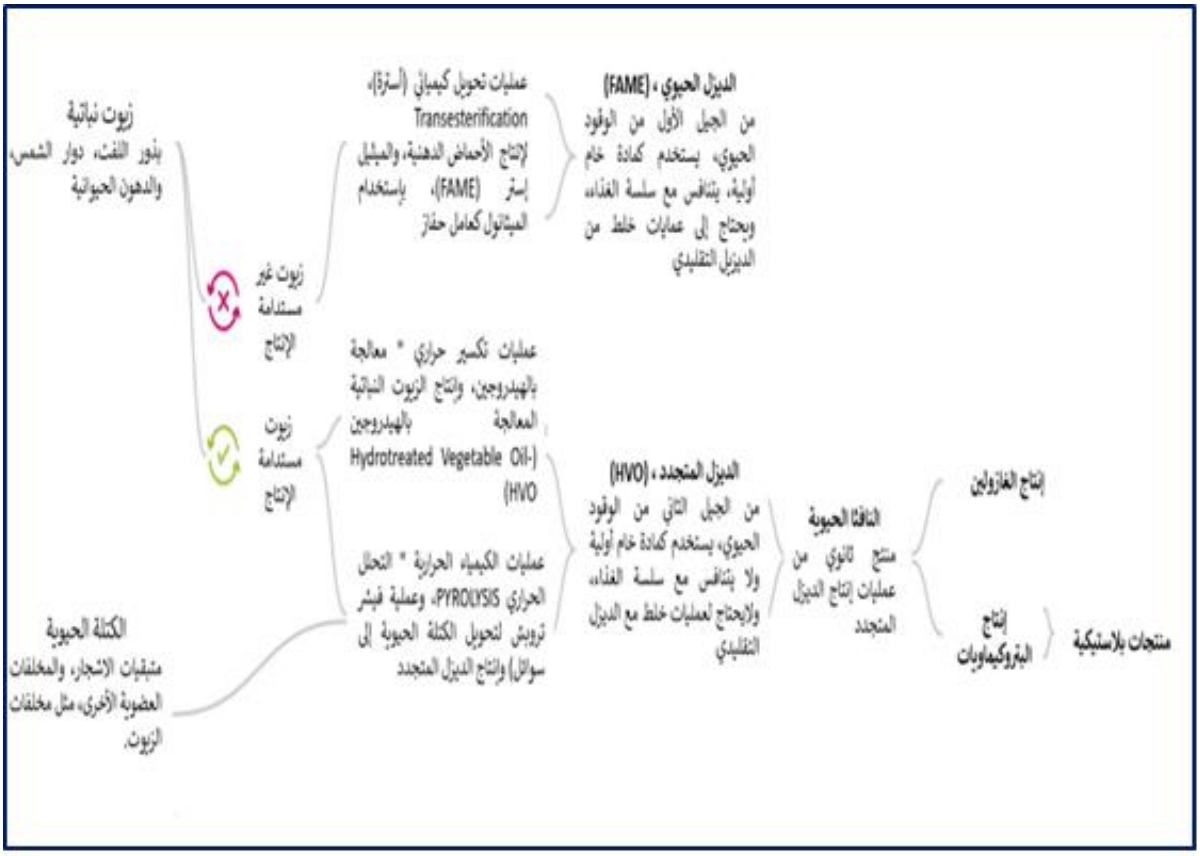
يهتم منتجو البتروكيماويات بارتفاع مكونات النافثا من البارافينات، أكثر من محتواها من كل من النافثينات **Naphthenes** [1]، أو العطريات **Aromatics**، بالإضافة إلى نسب محتواها من الكبريت، أو من الكلور. يمتد مجال الغليان لها " بداية ونهاية الغليان" إلى ما بين 30-210 ^{o} م. كما تحتوي النافثا الحيوية غالباً على نسب من الكبريت بحد أقصى 10 مجم/كجم، وتبلغ كثافتها 775 كجم/ م^3"كحد أقصى"، وهي مواصفات أقرب للتركيب البارافيني، مما يجعلها مناسبة كالقيم لعمليات إنتاج الإيثيلين بطريقة التكسير البخاري، وإنتاج البلاستيك الحيوي.

تنتج النافثا الحيوية كمنتج ثانوي **Byproduct** من عمليات إنتاج" الديزل المتجدد من **Renewable Diesel**، والمنتج من الزيوت النباتية المعالجة بالهيدروجين **Hydrotreated Vegetable Oil-HVO**، أومن نفايات المنتجات غير الغذائية، وتنتج كذلك كمنتج ثانوي من عمليات إنتاج وقود الطيران الحيوي "المستدام" **Sustainable Aviation Fuel-SAF**، أو بشكل مستقل بطريقة التغويز**Gasification**، وهي طريقة مرتفعة التكاليف مقارنة بطرق الإنتاج الأخرى، يبين الشكل (1-7) مخطط إنتاج النافثا الحيوية.

---

[1] النفثينات (C_nH_{2n}) عبارة عن مركبات هيدروكربونية مشبعة حلقية تم "على شكل حلقة أو شكل دوري".

الشكل (1-7): مخطط إنتاج النافثا الحيوية



المصدر: S&P Global Platts, Company reports

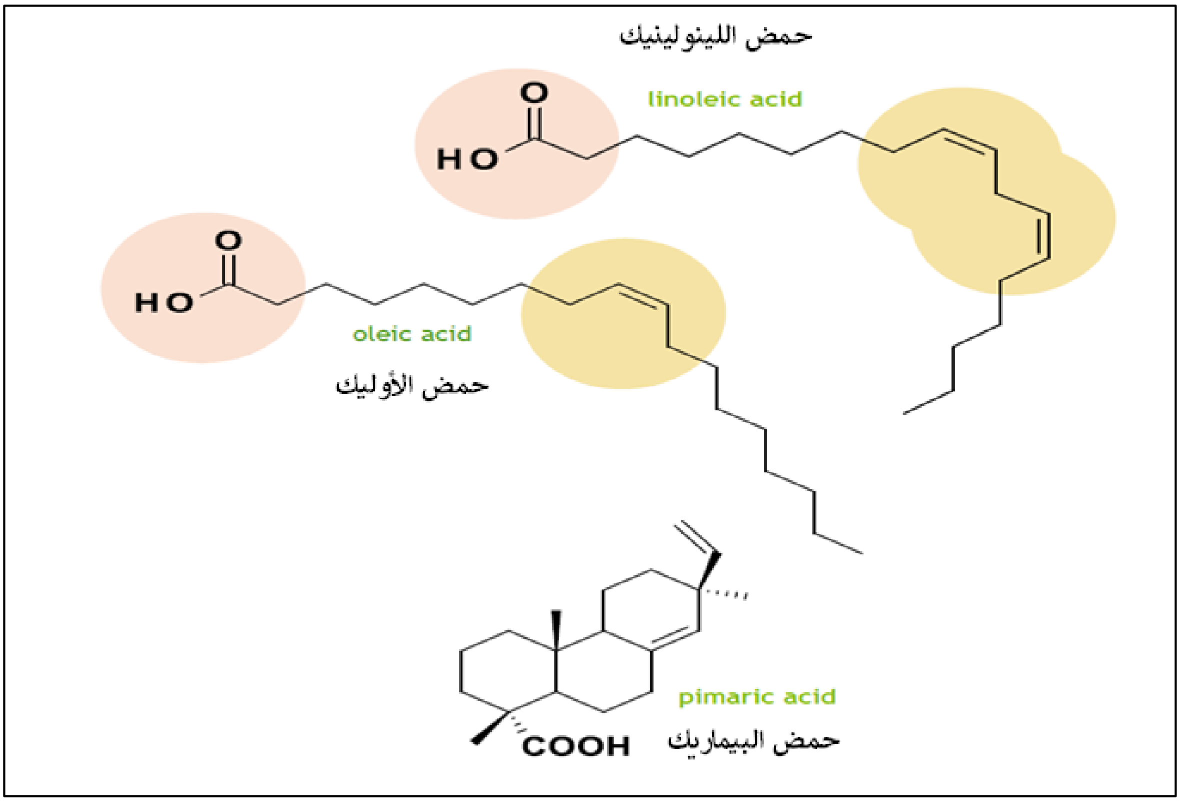
تنتج النافثا الحيوية أيضاً من النفط الخام المتجدد طويل السلسلة الكربونية **Crude Tall Oil- CTO** من الكتلة الحيوية غير الغذائية من لب الورق من مخلفات الاشجار، أو من زيوت الطهي المستعملة، أومن زيوت النخيل، أو من بذور اللفت، أو الدهون الحيوانية. [17].

يعد النفط الخام المتجدد طويل السلسلة الكربونية (**Crude Tall Oil - CTO**)[2]، من أهم المواد الخام الحيوية الأولية لإنتاج النافثا الحيوية في المصافي الحيوية، ويتكون من مجموعة متنوعة من الأحماض الزيتية الدهنية. يبين الشكل (1-8) مكونات النفط الخام طويل السلسلة الكربونية المتجدد من الاحماض الزيتية الدهنية.

---

[2] مزيج زيتي متجدد من الأحماض الزيتية الدهنية Oil Fatty Acids

الشكل (1-8): مكونات النفط الخام طويل السلسلة الكربونية المتجدد من الأحماض الزيتية الدهنية



المصدر: Tall Oil Fatty Acid, A Sustainable System For High Quality Alkyd Paint System, Patric Van waes, 2019

تعد الدول الإسكندنافية، وروسيا، والولايات المتحدة الأمريكية من كبار منتجيه، حيث يمثل إنتاجها نحو 90 % من إجمالي الإنتاج العالمي. وتعد كل من شركات "نيستي"، و " يو بي إم بيوفويلز"، وبريم من أبرز المنتجين في الدول الإسكندنافية، وأعلنت هذه الشركات عن خططها المستقبلية نحو التوسع في إنتاج النفط الخام المتجدد طويل السلسلة الكربونية **CTO** من أنواع مختلفة من الكتلة الحيوية [17].

لا يتم تداول النافثا الحيوية على نطاق واسع بين أسواق قارات العالم المختلفة، على الرغم من أن بعض المواد الأولية الحيوية اللازمة لإنتاجها مثل زيت الطهي المستعمل تُصدر من بعض دول منطقة آسيا، ودول أمريكا الجنوبية مثل " الأرجنتين"

إلى أوروبا. أما فيما بين الدول الأوروبية فعادة ما تستورد دول شمال غرب أوروبا المواد الخام الأولية الحيوية من الدول الإسكندنافية [19]، ودول البحر الأبيض المتوسط.

في كثير من الأحيان يتم توفير كميات النافثا الحيوية حسب الطلب، فنجد أن حوالي 90% من الإنتاج الفعلي مخصص لعدد محدود من كبار منتجي البتروكيماويات في أوروبا مثل شركة باسيف "**BASF** "، وشركة بورياليس "**Borealis**"، وشركة داو "**Dow**"، وشركة سابك "**SABIC**". تتراوح كميات النافثا الحيوية المعروضة في الأسواق العالمية ما بين 250 ألف طن – 500 ألف طن سنويا، تنتج منها أوروبا نحو 100ألف طن سنوياً. ومن المتوقع زيادة نمو الطلب عليها خلال الخمس سنوات المقبلة والمنتجة بشكل رئيسي كمنتج ثانوي لعمليات إنتاج الديزل الحيوي، أو وقود الطائرات الحيوي طبقاً للتوسع في الطاقات الإنتاجية المخطط تنفيذها بحلول عام 2025. [(7)].

يتزايد الطلب في الولايات المتحدة الأمريكية على النافثا الحيوية، وأنواع الوقود الحيوي الأخرى كالإيثانول الحيوي، ومن بين المنتجين البارزين كل من شركة ماراثون بتروليوم **Marathon Petroleum**، وشركة فاليرو إنيرجي **Valero Energy**، بالإضافة إلى شركة جيفو "**Gevo**"، في حين يتزايد الاهتمام بالنافثا والوقود الحيوي في عدد من دول منطقة آسيا، وإن كان ذلك بوتيرة أبطأ. وفي أوروبا نجد أن شركة نيستي **Neste**، إحدى أكبر منتجي الوقود الحيوي قد وقعت صفقة لتزويد شركة "ميتسوي للكيماويات" بنحو عشرة آلاف طن من النافثا الحيوية، لإنتاج الإيثيلين الحيوي في اليابان. يبين الجدول (1-3) قائمة أهم منتجي النافثا الحيوية في أوروبا. كما يبين الجدول (1-4) قائمة أهم مستهلكي النافثا الحيوية في أوروبا.

جدول (3-1): قائمة أهم منتجي النافثا الحيوية في أوروبا

اسم الشركة	الموقع	موقف الإنتاج	بدء الإنتاج	حجم إنتاج الوقود الحيوي (طن)/سنه	حجم إنتاج النافثا الحيوية (طن)/ سنه	المواد الخام الأولية المستخدمة في الإنتاج
نيستي Neste	هولندا	فعال	2014	مليون و300 ألف	مرن Flexible	الزيوت النباتية، زيوت الطهي المستعملة.
إيني Eni	إيطاليا	فعال	2019	750 ألف	مرن Flexible	زيوت الطهي المستخدمة، مخلفات الدهون الحيوانية، الزيوت النباتية، الخ..
بريم Preem	السويد	مخطط له	2024	730 ألف	مرن Flexible	المتبقيات الزراعية من الأخشاب، ومخلفات الزيوت النباتية.
يو إم بي بيوفويلز UPM Biofuels	فنلندا	مخطط له	غير محدد	500 ألف	مرن Flexible	زيوت الطهي المستخدمة، مخلفات الدهون الحيوانية، الزيوت النباتية، الخ.
نيستي Nest	فنلندا	فعال	2012	400 ألف	مرن Flexible	الزيوت النباتية، زيوت الطهي المستعملة
إيني Eni	إيطاليا	فعال	2014	360 ألف	مرن Flexible	الزيوت والدهون الحيوانية والنباتية.
توتال إنيرجي Total Energy	فرنسا	مخطط له	2024	340 ألف	56 الف	زيوت الطهي المستخدمة، مخلفات الدهون الحيوانية، الزيوت النباتية، الخ..
بريم Preem	السويد	فعال	2010	300 ألف	مرن Flexible	المتبقيات الزراعية من الأخشاب، ومخلفات الزيوت النباتية.
ريسبول Respol	إسبانيا	مخطط له	2023	250 ألف	غير محدد	الزيوت النباتية، زيوت الطهي المستعملة
كيادي Kaidi	فنلندا	مخطط له	غير محدد	225 ألف	مرن Flexible	المتبقيات الزراعية من الأخشاب.
فيليبس 66 Fhillips 66	إنجلترا	فعال	2018	221 ألف	غير محدد	زيوت الطهي المستخدمة
أو إم في OMV	النمسا	مخطط له	2023	160 ألف	مرن Flexible	الكتلة الحيوية السائلة.
يو إم بي بيوفويلز UPM Biofuels	فنلندا	فعال	2015	130 ألف	مرن Flexible	المتبقيات الزراعية من الأخشاب، ومخلفات الزيوت النباتية
شل Shell	ألمانيا	مخطط له	2025	100 ألف	غير محدد	الهيدروجين الأخضر، المتبقيات الزراعية من الأخشاب.

المصدر: Kafarski, P., Rainbow code of biotechnology. Chemik 6,2012

جدول (1-4): قائمة أهم مستهلكي النافثا الحيوية في أوروبا

اسم الشركة	الموقع	نوع النشاط	موقف الإنتاج	بدء الإنتاج	المنتج الحيوي النهائي
داو Dow	فرنسا	بتروكيماويات	فعال	2019	بولي إيثيلين حيوي
إنيوس Ineos	ألمانيا	بتروكيماويات	فعال	2020	بولي أوليفينات حيوية
ليونديل باسيل LyondellBasell	ألمانيا	بتروكيماويات	فعال	2019	بولي بروبيلين حيوي، بولي إيثيلين تيرفيثالايت حيوي
سابك SABIC	هولندا	بتروكيماويات	فعال	2020	بوليمرات متجددة
توتال إنيرجي Total Energy	فرنسا	تكامل تكرير / بتروكيماويات	مخطط له	2024	بلاستيك حيوي
فيرساليس Versalis	إيطاليا	تكامل تكرير / بتروكيماويات	مخطط له	2021	بولي إيثيلين، ستيرين، مواد مطاطية
فيرساليس Versalis	إيطاليا	تكامل تكرير / بتروكيماويات	مخطط له	2021	بولي إيثيلين، ستيرين، مواد مطاطية
فيرساليس Versalis	إيطاليا	تكامل تكرير / بتروكيماويات	مخطط له	2021	بولي إيثيلين، ستيرين، مواد مطاطية
فيرساليس Versalis	إيطاليا	تكامل تكرير / بتروكيماويات	مخطط له	2021	بولي إيثيلين، ستيرين، مواد مطاطية
فيرساليس Versalis	إيطاليا	تكامل تكرير / بتروكيماويات	مخطط له	2021	بولي إيثيلين، ستيرين، مواد مطاطية
باسف BASF	ألمانيا	بتروكيماويات	فعال	غير محدد	بولي إيثيلين حيوي
بورياليس Borealis	غير محدد	بتروكيماويات	فعال	غير محدد	غير محدد

المصدر: Kafarski, P., Rainbow code of biotechnology. Chemik 6,2012

تتميز عقود بيع النافثا الحيوية بأنها عقود محددة المدة، وتتميز بارتفاع أسعارها مقارنة بالنافثا الأحفورية التقليدية، فنجد أن متوسط أسعارها تراوح ما بين 1200-1800 دولار للطن في مايو من عام 2021، مقارنةً بمتوسط أسعار تراوح ما بين 545-592 دولار للنافثا الأحفورية في نفس الفترة. وعلى الرغم من أن هوامش ربحية إنتاج المنتجات الحيوية المتجددة العالمية أقل مقارنة بأرباح الصناعات النفطية التقليدية،

إلا أن الاستثمارات العالمية المعلنة والمخطط لها على المدى المتوسط تبين المستقبل الواعد للوقود الحيوي، والبتروكيماويات الحيوية.

2-1-3-1: **الأوليفينات الحيوية** Bio-olefins

شهدت صناعة الأوليفينات الحيوية (الإيثيلين، والبروبيلين، والبيوتادايين) تطوراً ملحوظاً خلال العقد الأخير، وتنوعت طرق إنتاجها حسب نوع المواد الخام الأولية المستخدمة، كالتكسير البخاري للنافثا الحيوية، أو بعمليات التخمر اللاهوائي للإيثانول الحيوي، وغيرها من الطرق الصناعية المبتكرة لإنتاجها.

1.2.1.3.1. الإيثيلين الحيوي Bio-ethylene

أستخدم الإيثيلين الحيوي على نطاق واسع في قطاع الصناعات التحويلية، ولاسيما في إنتاج البولي إيثيلين الحيوي، واسيتات فينيل الإيثيلين "**EVA**". وتعد شركة "براسكيم **Braskem**، من الشركات الرائدة في مجال إنتاج الإيثانول الحيوي كمادة خام أولية لإنتاج الإيثيلين الحيوي، بطاقة إنتاج سنوية تبلغ 60 ألف طن، لترتفع إلى نحو 260 ألف طن مع اكتمال مشروعات توسعاتها بنهاية عام 2022، في منطقة "ريو غراندي دو سول" **Rio Grande do Sul** في جنوب البرازيل.

وفي السنوات الأخيرة اكتسب إنتاج الإيثيلين الحيوي زخماً في أسواق دول أوروبا، ولكن تبقى تكاليف الإنتاج المرتفعة، مقارنة بالإيثيلين التقليدي عائقاً كبيراً للمنتجين. ومع ذلك، واصل عدد من المنتجين الرئيسيين مثل شركة " **داو**"، وشركة "**إينيوس**" التعاون مع شركة **يو إم بي فويلز**، لتطوير خيارات إنتاجه من النافثا الحيوية، التي تنتجها الأخيرة كمادة وسطية لإنتاج البلاستيك الحيوي، وفي عام 2018 أنتجت شركة **كلارينت** Clariant المواد اللاصقة، والبلاستيك الحيوي، والطلاءات من الإيثيلين الحيوي،

تبعتها شركة ليونديل باسيل **LyondellBasell** في عام 2019، بالشراكة مع شركة نيستي Neste كمورد رئيسي لها من المواد الأولية الخام الحيوية اللازمة لعمليات الإنتاج[20] .

2.2.1.3.1. البروبيلين الحيوي Bio-Propylene

على الرغم من أن تطور تقنيات إنتاج البروبيلين الحيوي كان أبطأ من تطورات إنتاج الإيثيلين الحيوي، إلا أن طرق إنتاجها انتشرت وبرزت منذ عام 2019، خاصةً مع تطلع الشركات إلى ضمان إنتاجه. كما تبحث الصناعة عن طرق بديلة لإنتاجه بطرق التكسير البخاري، حيث أعلنت شركة **بورياليس** في عام 2019 عن خططها لإنتاج البولي بروبيلين الحيوي على النطاق التجاري في النمسا بتقنيات نزع الهيدروجين **Renewable Propane Dehydrogenation**..

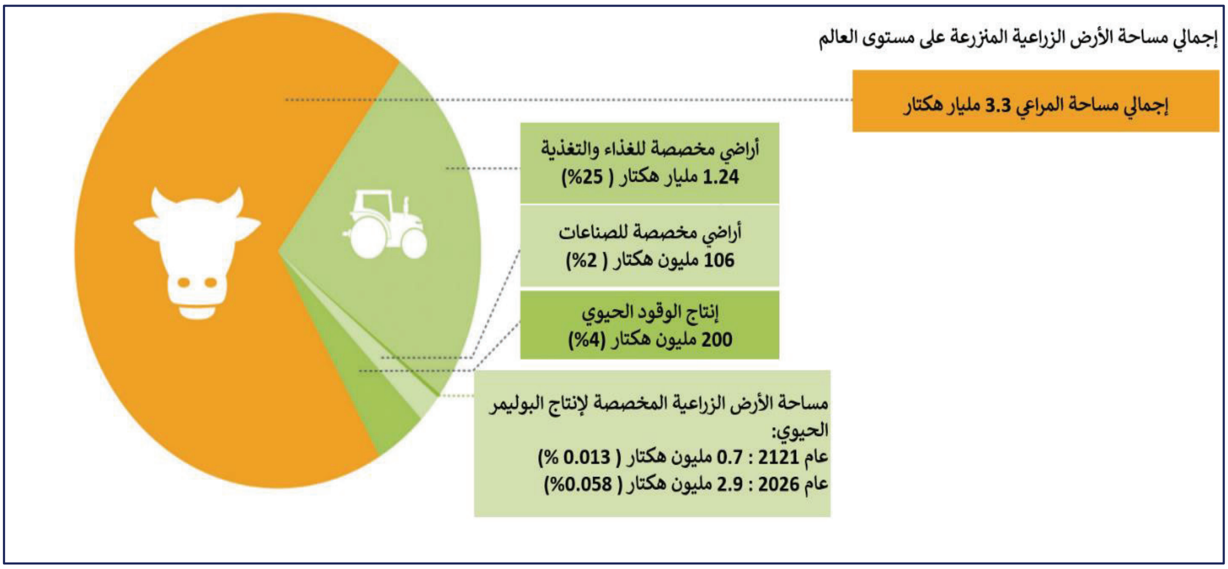
من جانب آخر، حقق إنتاج البولي بروبلين الحيوي من الإيثانول الحيوي نجاحاً ملموساً، ومن المتوقع أن يشهد تسويقاً على نطاق واسع في المستقبل المنظور. وتنتج شركة "براسكيم" البولي بروبيلين الحيوي في منشآتها في "ريو غراندي دو سول"، بطاقة حوالي 50 ألف طن سنوياً، وتعكف عدة شركات رائدة في مجال صناعة المنتجات الكيميائية كشركة " داو كيميلز"**Dow Chemicals**، وشركة براسكيم **Braskem** على تطوير تقنيات جديدة لإنتاج البولي بروبيلين من مصادر متجددة[21].

1-3-2: توفير الكتلة الحيوية اللازمة لإنتاج المواد الخام الحيوية

يواجه توفير الأراضي الزراعية اللازمة لزراعة النباتات الغذائية لإنتاج المواد الخام الأولية من الجيل الأول بعض القيود الخاصة، نظراً لاحتمالية انعكاسات ذلك على قضية توفير الأمن الغذائي للإنسان والتغذية الحيوانية. إلا أن عدد من الإحصاءات

والدراسات الدولية، أوضحت أن حصة الأراضي الزراعية المخصصة لزراعة النباتات الغذائية اللازمة لإنتاج الوقود الحيوي والبلاستيك الحيوي قدرت بنحو 0.7 مليون هكتار في عام 2021، وهو ما يمثل حوالي 0.015% من إجمالي المساحة العالمية المزروعة، والتي بلغت نحو 4.7 مليار هكتار. من المتوقع أن ترتفع هذه المساحة إلى حوالي 2.9 مليون هكتار بحلول عام 2026، وهو ما يمثل حوالي 0.058 %، مما يعني أن المساحات المخصصة لإنتاج المواد الخام الأولية من الجيل الأول من النباتات الغذائية لا تتعارض مع قضية تأمين الامن الغذائي، وزراعة المحاصيل الغذائية أو الأعلاف الحيوانية [22]، كما هو مبين في الشكل (1-9).

الشكل (1-9): تقدير مساحة الأراضي الزراعية المخصصة لإنتاج المواد الحيوية الأولية خلال الفترة 2021-2026



المصدر:BIOPLASTICS MARKET DEVELOPMENT UPDATE 2021

من جانب آخر قد يلزم إجراء المزيد من الدراسات لتقييم الأثر البيئي نحو استخدام مخلفات الأشجار لإنتاج المواد الخام الحيوية الأولية من الجيل الثاني، لما قد يكون لها تأثير سلبي على البيئة من حيث تقليص مساحات الغابات، وقدرتها على امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن مختلف الأنشطة الحياتية والصناعية الحديثة [23].

منظمة الأقطار
العربية المصدرة
للبترول (أوابك)

البحث الأول

فصل الثاني:

البلاستيك الحيوي، إنتاجه وإستخداماته

الفصل الثاني

البلاستيك الحيوي، إنتاجه واستخداماته

تمهيد

يعود إنتاج البلاستيك الحيوي من مصادر الكتلة الحيوية، إلى القرن الثامن عشر، مع بدايات إنتاج واستخدام المطاط الطبيعي "اللاتكس". ثم تطور إنتاج البلاستيك الحيوي من السليلوز كبديل للعاج بواسطة العالم جون ويسلي حياة John Wesley Hyatt في عام 1869، وبنهاية القرن التاسع عشر أنتج البلاستيك الحيوي باستخدام الكازين المشتق من الحليب.

تمكنت شركة فورد في أربعينيات القرن الماضي من إنتاج البلاستيك الحيوي لتصنيع قطع غيار السيارات، مدفوعةً بالقيود التي فرضت على استخدام الفولاذ بسبب الحرب. كما طورت الشركة هيكل سيارة من البلاستيك الحيوي منتج من زيت الصويا في عام 1941. في حين تم إنتاج أول بلاستيك حيوي في الولايات المتحدة الأمريكية من البولي أميد، والمعروف باسم النايلون بواسطة شركة **ديوبنت Dupont** في عام 1947، واستخدم بشكل أساسي في تصنيع قطع غيار السيارات، إلا أن هذه المبادرات توقفت بعد انتهاء الحرب.

مع التوسع في إنتاج الكيماويات وزيادة الطلب عليها، وعدم تمكن المصادر الحيوية من تلبية الطلب المتنامي عليها توجهت الصناعة إلى الاعتماد على المصادر الأحفورية من الفحم ثم النفط والغاز في إنتاج البتروكيماويات والمذيبات العضوية. لتبلغ نسبة اعتماد إنتاج البتروكيماويات في الوقت الحالي، على المصادر الأحفورية من

النفط الخام، والغاز الطبيعي على شكل مواد خام أولية، أو كمصادر لإنتاج الطاقة اللازمة للإنتاج حوالي 10 %، و8% على التوالي من إجمالي الاستهلاك العالمي.

تعد المواد البلاستيكية بشكل عام مواد مقاومة للتحلل بطبيعتها، حيث تتكون من سلاسل هيدروكربونية طويلة، تحتوي على عدد قليل أو منعدم من المجموعات الوظيفية الفعالة **Function Groups**، لكي تسمح بعمل الكائنات الحية الدقيقة من البكتيريا والإنزيمات، والتصاقها بها لإتمام عمليات التحلل الحيوي لها. يضاف إلى ذلك، تكوين هيكلها البنائي شبه البلوري، ووجود خاصية الربط المتبادل بين السلاسل الكربونية **Cross-linking**، التي لا تسمح للكائنات الحية الدقيقة باختراقها. مما يعني أنه حتى في حال احتواء بعض المنتجات البلاستيكية على مجموعات وظيفية فعالة من "الأكسجين"، كما في منتجات البولي إستير **Poly-Ester**، فهي مواد محمية بطبيعتها، وغير قابلة للتحلل الحيوي، مما يسبب مشكلات بيئية جمة ناتجة عن تراكم النفايات البلاستيكية في المسطحات المائية، واليابسة، وتأثيراتها الضارة المختلفة.

عاد مجدداً الاهتمام بإنتاج الكيماويات الحيوية الخضراء الصديقة للبيئة من الكتلة الحيوية مع تزايد المخاوف البيئية نتيجة زيادة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بشكل خاص، وتراكم النفايات البلاستيكية، فكان البلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي أحد أهم تلك الحلول والمطروحة بشدة نظراً لأنه يتكون من سلاسل كربونية ذات أطوال أصغر، تحتوي على مجموعات وظيفية فعالة سواءً من الأكسجين، أو النيتروجين، مما يُمكن الكائنات الحية الدقيقة من إجراء عمليات التحلل الحيوي عليها، مساهماً بشكل كبير في الحد من تراكم النفايات البلاستيكية، وخفض البصمة الكربونية. خاصةً وأن الطرق الجديدة لإنتاج البلاستيك الحيوي تعد نموذجاً فعالاً حول كيفية إسهام المذيبات الصديقة للبيئة، والعوامل الحفازة الحيوية الأكثر فاعليةً في إنتاج

بلاستيك حيوي هندسي متخصص ضمن مفهوم الاقتصاد الدائري الكبرى بمواصفات تضاهي، بل وتتفوق في كثير من الأحيان على مواصفات البلاستيك التقليدي من المصادر الأحفورية[14] .

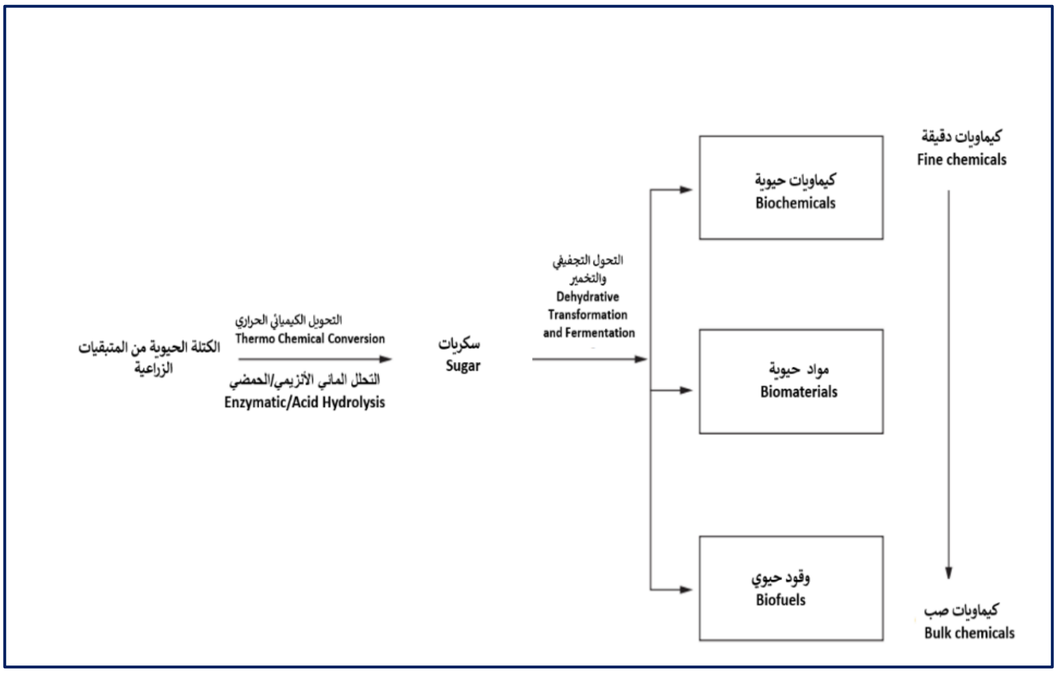
تعد التكلفة الإنتاجية المرتفعة نسبياً للبلاستيك الحيوي أحد العقبات الرئيسية التي تحد من انتشاره واستخدامه على نطاق واسع. كما تحتاج عمليات تجهيز المواد الخام الأولية الحيوية، والعمليات الإنتاجية اللازمة لإنتاجه إلى كميات ضخمة من المياه، مما يتطلب اتخاذ مجموعة من التدابير والحلول الإبداعية، بدءاً من تصميم مجموعة من اللوائح التنظيمية، وصولا إلى تغيير مفاهيم المجتمع للتشجيع على استخدام البلاستيك الحيوي، والحد من وتقنين استخدام البلاستيك التقليدي.

يتأثر بشدة نمو أسواق البلاستيك الحيوي باللوائح الحكومية والوعي العام، حيث وضعت عدد من الحكومات لوائح، وتشريعات، وأطر تنظيمية لتقييد استخدام البلاستيك التقليدي خاصة وحيد الاستخدام، مقابل تشجيع وتعزيز صناعة البلاستيك الحيوي القابل للتحلل. ووفقاً لتقرير صادر عن الأمم المتحدة للبيئة ومعهد الموارد العالمية، أصدرت حوالي 127 دولة على الأقل لوائح ضد استخدام الأكياس البلاستيكية التقليدية بحلول عام 2018. كما صوت برلمان الاتحاد الأوروبي على حظر العديد من المواد البلاستيكية وحيدة الاستخدام بحلول عام 2021. وعملت مقاطعة **هاينان** في الصين على حظر جميع المواد البلاستيكية غير القابلة للتحلل الحيوي وحيدة الاستخدام بحلول عام 2020، وغيرها من المناطق على مستوى العالم[24] .

1-2: إنتاج البلاستيك الحيوي

جذبت المنتجات الحيوية بأنواعها المختلفة " كيماويات حيوية، وبلاستيك حيوي، ووقود حيوي" الانتباه منذ عام 2000، بفضل التطور التكنولوجي الكبير في إنتاجها، ترافق ذلك مع إجراء عدد من التحديثات والتعديلات لعدد من العمليات الصناعية، والتقنيات المستخدمة قديماً في إنتاج بعض أنواع الكيماويات الحيوية، وخاصةً البولي إيثيلين الحيوي من الجيل الأول بتقنيات تجفيف الإيثانول الحيوي كيميائياً **Chemical Dehydration** [26,25]. كما تستخدم مجموعة متنوعة من التقنيات الحديثة التي تستخدم المواد الخام الأولية من المتبقات الزراعية لإنتاج البلاستيك الحيوي من الجيل الثاني كتقنيات التحويل الكيميائي الحراري **Thermo Chemical Conversion**، والتحلل المائي الإنزيمي/الحمضي **Enzymatic/Acid Hydrolysis**، والتحول التجفيفي والتخمير **Dehydrative Transformation and Fermentation**، كما هو مبين في الشكل (2-1).

الشكل (2-1): بعض التقنيات الحديثة المستخدمة في إنتاج بعض المنتجات الحيوية من الجيل الثاني

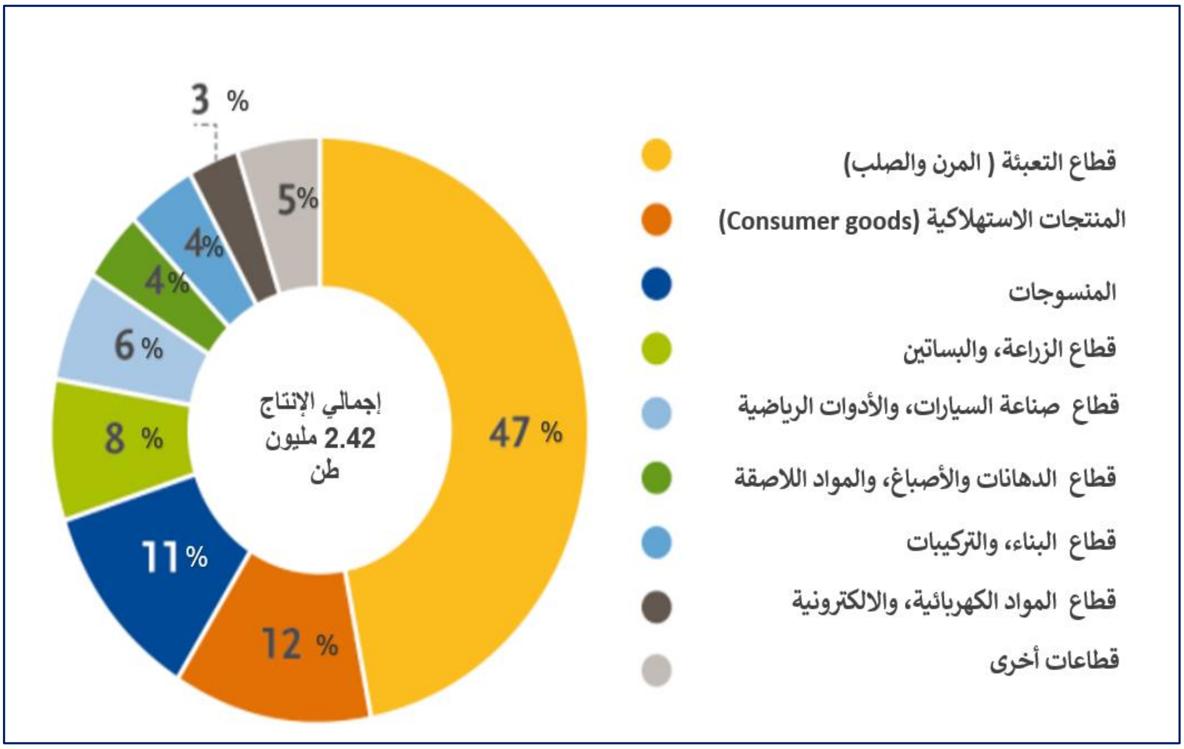


المصدر: Biotechnology in the Chemical Industry, Towards A Green and Sustainable Future, ELSEVIER, Pratima Bajpai

يتميز البلاستيك الحيوي بقابليته للتحلل الحيوي بنسب مرتفعة، مقارنةً مع البلاستيك التقليدي، لذا فقد كان البدء بمزج البلاستيك الحيوي مع البلاستيك التقليدي، لإنتاج منتجات بلاستيكية قابلة للتحلل الجزئي بواسطة الكائنات الحية الدقيقة هي الخطوة الأولى لتوفير بدائل للمساعدة في خفض مشاكل تراكم النفايات البلاستيكية. ومع ذلك، لم تحل المشكلة بشكل جذري، فبعد استهلاك جزء الكتلة الحيوية، يظل تأثير المكون الرئيسي للبلاستيك الاحفوري الضار بالبيئة. لذا فقد عملت الشركات الرائدة على تطوير بلاستيك حيوي صديق للبيئة قابل للتحلل الكامل بشكل طبيعي عند التخلص منه في البيئة، ومراقبة البصمة الكربونية لإنتاجه بما يضمن حماية مستدامة للبيئة [15].

تباينت نسب استخدام البلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي في القطاعات المختلفة، حيث بلغت في قطاع التعبئة المرن والصلب حوالي 990 ألف طن سنوياً، وهو ما يمثل حوالي 47%، وهي النسبة الأعلى من حيث الاستهلاك، مقارنةً بباقي القطاعات الرئيسية، وذلك نتيجة استخدامه في إنتاج منتجات التعبئة والتغليف للمواد الغذائية، والمواد الأخرى سريعة التلف. فيما تصل نسبة البلاستيك الحيوي المستخدم في إنتاج المنتجات الاستهلاكية ذات الاستخدام الواحد إلى حوالي 12 %، ونحو 11 % في قطاع إنتاج المنسوجات، وحوالي 11% في قطاع الزراعة، وحوالي 8 % في قطاع الصناعات المغذية لصناعة السيارات، والأدوات الرياضية، كما هو مبين في الشكل (2-2).

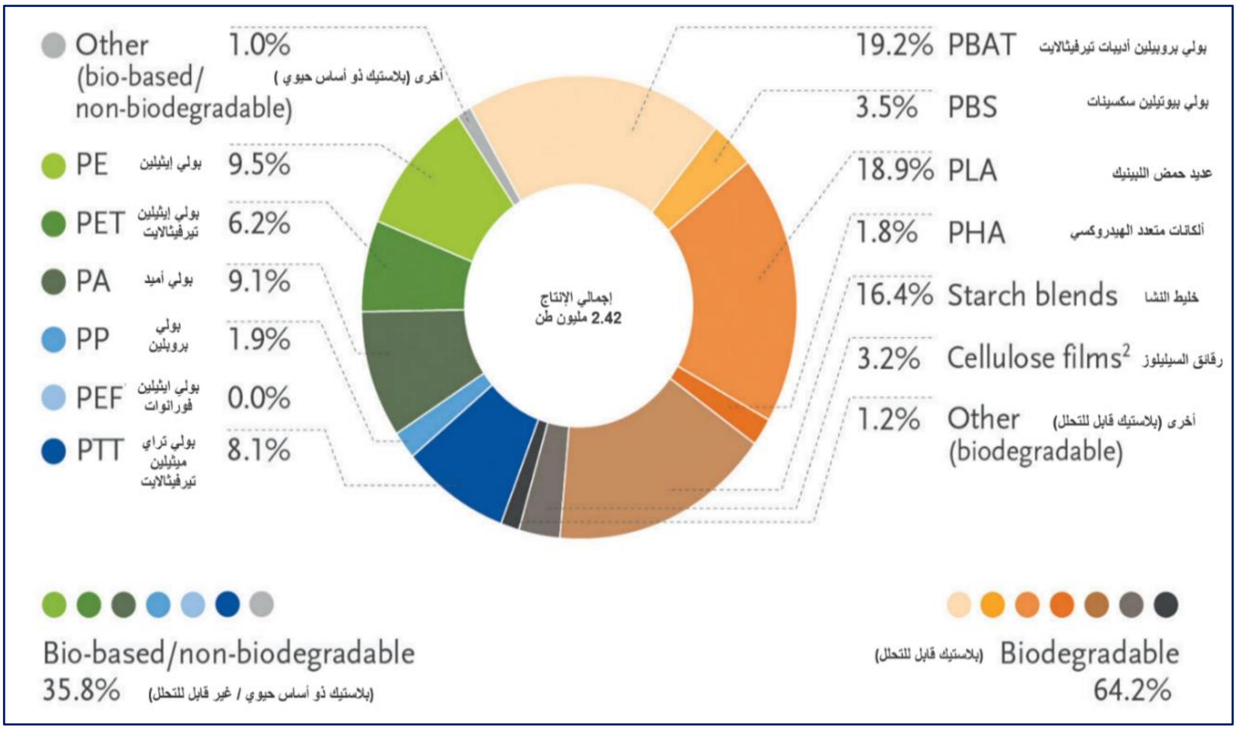
الشكل (2-2): نسب استخدامات القطاعات المختلفة من البلاستيك الحيوي لعام 2021



المصدر: Bioplastics Market Development Update 2020, European bioplastic organization

أما من حيث الإنتاج على مستوى مناطق الإنتاج الرئيسية، فقد شكل إنتاج البولي بروبيلين أديبات تيرفيثالايت في عام 2021 نحو 19.2% من إجمالي الإنتاج العالمي من البوليمرات الحيوية القابلة للتحلل الحيوي، في حين بلغت نسبة إنتاج عديد حمض اللبنيك حوالي 18.9%، وجاء إنتاج البلاستيك الحراري الممزوج بالنشا في المرتبة الثالثة بنسبة 16.4%. بينما قاد البولي إيثيلين الحيوي أسواق البوليمرات الحيوية غير القابلة للتحلل الحيوي بنسبة 9.5%، ثم جاء البولي أميد بنسبة 9.1%، تلاه البولي تراي ميثيلين تيرفيثالايت بنسبة 8.1%، ثم البولي إيثلين تيرفيثالايت في المرتبة الرابعة بنسبة 6.2%، كما هو مبين في الشكل (2-3).

الشكل (2-3): توزع نسب انتاج البلاستيك الحيوي لعام 2021



المصدر: European Bioplastics,2021

تعد تكلفة إنتاج البلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي مرتفعة نسبياً مقارنة بنظيرتها الأحفورية ، فهي حالياً أعلى بنسب تتراوح ما بين 2-8 أضعاف، بينما كانت في بداية هذا القرن، أعلى بنسبة 35-100 ضعف، وتتراوح تكلفة إنتاج البلاستيك الحيوي في الوقت الحالي ما بين حوالي 4 آلاف دولار كما في حالة إنتاج بوليمر حمض البولي لاكتيك، إلى حوالي 10 آلاف دولار لطن البولي هيدروكسي بوتيرات، مقارنة بنحو 1000-1500 دولار للطن لإنتاج البلاستيك التقليدي شائع الاستخدام، ومن المتوقع انخفاض أسعار البلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي بشكل كبير مع انتهاء مراحل تطوير تقنيات الإنتاج و إنتاجه على النطاق التجاري [62].

1-1-2: تصنيف البلاستيك الحيوي

يعد مصطلح البلاستيك الحيوي مصطلحاً محيراً نوعاً ما، لأنه يشمل مجموعة متنوعة من البلاستيك، سواءً البلاستيك ذو الأساس الحيوي **Bio-based Plastics**، من المواد الخام الأولية الحيوية من المحاصيل الغذائية الغنية بالكربوهيدرات، والسكريات كالذرة، أو قصب السكر، أو المنتجة من تحويل بعض المحاصيل غير الغذائية، مثل "اللجنوسيلوز" إلى وحدات كيميائية بنائية **Budling Blocks**، لإنتاج مجموعة متنوعة من البلاستيك الحيوي [27]. كما يطلق مصطلح البلاستيك الحيوي على البلاستيك القابل للتحلل الحيوي **Biodegradable plastics**[28]، بفعل التأثيرات الأنزيمية للكائنات الحية الدقيقة وتحويله إلى المكونات الأولية من ثاني أكسيد الكربون، والمياه، والمركبات غير العضوية أو الكتلة الحيوية. يمكن الإشارة إلى منتج ما، بأنه حيوي حتى لو كان يحتوي على نسب عالية من المصادر الأحفورية[29] . وفي ظل تنوع التعريفات للبلاستيك الحيوي، فيمكن الأخذ في الاعتبار نسبة المحتوى الحيوي للمنتج، الذي يعرف بأنه "مقدار الكتلة الحيوية المستخدمة كنسبة مئوية من الوزن الكلي للمنتج النهائي"، فمثلاً يحتوي منتج البولي إيثيلين تيرفيثالايت الحيوي **Bio-PET** على مكونات "مونيمرات" حيوية تصل نسبتها إلى حوالي 32%، بينما تمثل نسبة المونيمرات المنتجة من المصادر الأحفورية فيه حوالي 68%. لذا فقد يتطلب في بعض الأحيان عند إصدار شهادات المواصفات الفنية النهائية للبلاستيك الحيوي احتوائه على حد أدنى "نسبة مئوية" من محتوى الكربون الحيوي.

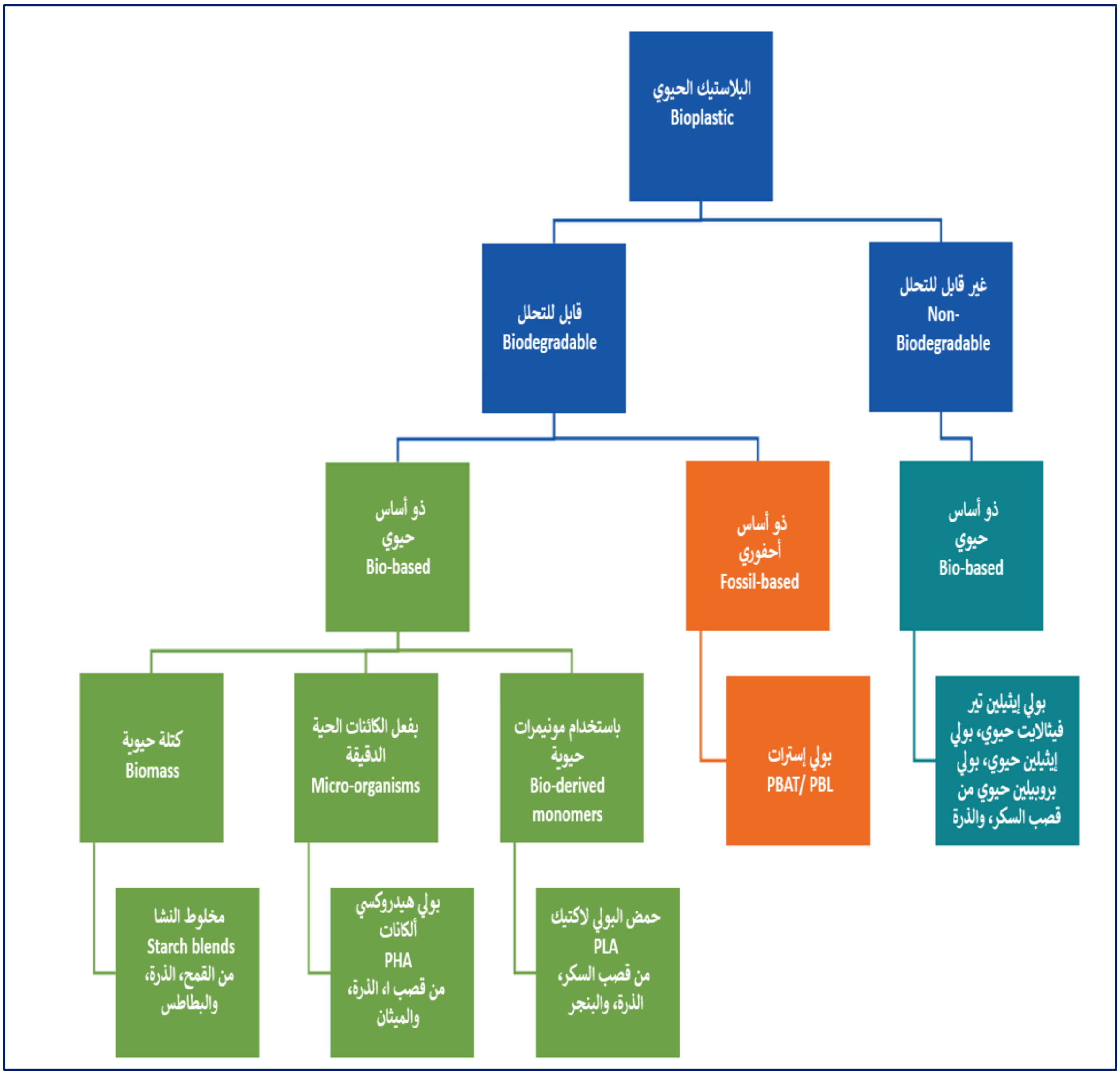
يصنف البلاستيك الحيوي **Bio-Plastic** إلى ثلاث تصنيفات رئيسية، وهي:

1. البلاستيك ذو الأساس الحيوي قابل للتحلل **Bio-Base, Biodegradable Plastic**.

2.البلاستيك من المصادر الأحفورية القابلة للتحلل **Fossil-Base, Biodegradable Plastic**.

3.البلاستيك ذو الأساس الحيوي غير قابل للتحلل الحيوي **Bio-Based Non-Biodegradable Plastics**، كما هو مبين في الشكل (2-4).

الشكل (2-4): تصنيف البلاستيك الحيوي



المصدر: The Norwegian Environment Agency, Bio-Based And Biodegradable Plastics

2-1-1-1: البلاستيك ذو الأساس الحيوي القابل للتحلل الحيوي
Bio-base, Biodegradable Plastics

ينتج البلاستيك ذو الأساس الحيوي القابل للتحلل الحيوي كلياً أو جزئياً سواءً من الجيل الأول من مصادر متجددة من الكتلة الحيوية، حيث ينتج من نشا الذرة، أو البطاطس، أو التابيوكا tapioca، أو الأرز، أو القمح، كما ينتج أيضاً من بعض الزيوت النباتية، مثل زيوت النخيل، أو الكتان، أو من فول الصويا، أو من السكريات المنتجة من قصب السكر. أو من الجيل الثاني من المخلفات الزراعية، أو السيليلوز **Cellulose**، أو من الألياف **Fibers**، أو من اللجنين **Lignin**،[3] أو من الشيتوزان "الكيتوزان"[4]**Chitosan**، أو من الدهون الثلاثية، والزيوت النباتية المستعملة[30] ، أو بفعل بعض الكائنات الحية الدقيقة[31] .

يعد بوليمر حمض البولي لاكتيك أو ما يطلق عليه متعدد حمض اللبنيك **Polylactic (PLA)**، وبوليمر البولي هيدروكسيل كانوتيه **Polyhydroxyalkanoates (PHAs)**، ومنتجات البلاستيك الحراري الممزوج بالنشا **Thermoplastic Starches**، من أهم أنواع البلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي، والأكثر شيوعاً وإنتاجاً في الوقت الحاضر، بالإضافة إلى بعض البوليمرات الحيوية الأخرى القابلة للتحلل الحيوي والتي يتم إنتاجها على نطاق صغير، مثل بولي كابرولاكتون **(PCL)**، وبولي هيدروكسي بوتيرات **(PHB)**[35-32].

---

[3] وهو عبارة عن مركب كيميائي معقد يستخرج في أغلب الأحيان من الخشب، حيث يشكل حوالي ربع إلى ثلث الكتلة الجافة منه
[4] تم تصنيعه عن طريق معالجة قشور بعض أنواع الأسماك

2-1-1-1-1: بوليمر حمض البولي لاكتيك Poly lactic Acid PLA

بوليمر حمض البولي لاكتيك عبارة عن بولي إستر أليفاتي مشتق من حمض اللاكتيك الحيوي والمنتج من مصادر حيوية نباتية أو حيوانية بنسبة 100 % [42]. كان العالم "كاروثرز" **Carothers** أول من أنتجه في عام 1932 بوزن جزيئي منخفض، ثم حصلت شركة "دوبونت" **DuPont** في عام 1954 على براءة اختراع لمنتج جديد ذي أوزان جزيئية مرتفعة[41] .

يعد بوليمر حمض البولي لاكتيك من أهم البوليمرات الحيوية الواعدة الصديقة للبيئة، والقابل للتحلل الحيوي، وأُطلق علية بوليمر القرن الحادي والعشرين، لتعدد استخداماته في مختلف التطبيقات، نظراً لتميزه بعدد من الخواص الميكانيكية المتفردة، مما يجعله بديلاً مثالياً للبوليمرات التقليدية الأحفورية. حيث يستخدم في عدد من التطبيقات والقطاعات الهامة، ويشمل إنتاج عبوات حفظ الأطعمة، وأدوات المائدة وحيدة الاستخدام، وفي قطاعات الإلكترونات والمنسوجات والصناعات المغذية للسيارات، والأجهزة والأدوات الطبية والجراحية، وقطاع البناء والتشييد .

وساهمت خواص التحلل الحيوي لبوليمر حمض البولي لاكتيك في استخدامه في التطبيقات الزراعية، نظراً لإمكانية تحويله إلى سماد دون ترك مخلفات ضارة بالتربة. لذلك يستخدم كغشاء رقيق من البلاستيك لتغطية الحقول والأراضي الزراعية. كما يمكن تعبئة المواد الكيميائية والمخصبات في عبوات تدفن في التربة. ومع مرور الوقت يتحلل ببطء كل من الغشاء، أو الحاويات مع انتهاء فترة حصاد المحاصيل، دون الحاجة لقيام المزارعين بالتخلص منها. ومن جانب أخر تعددت استخدامات بوليمر البولي لاكتيك في تصنيع منتجات مبتكرة كأكياس الشاي، والتي يسهل تحويلها بسهولة إلى أسمدة صناعية مع نفايات الشاي، لتحل محل أكياس الشاي الورقية والتي تحتوي على

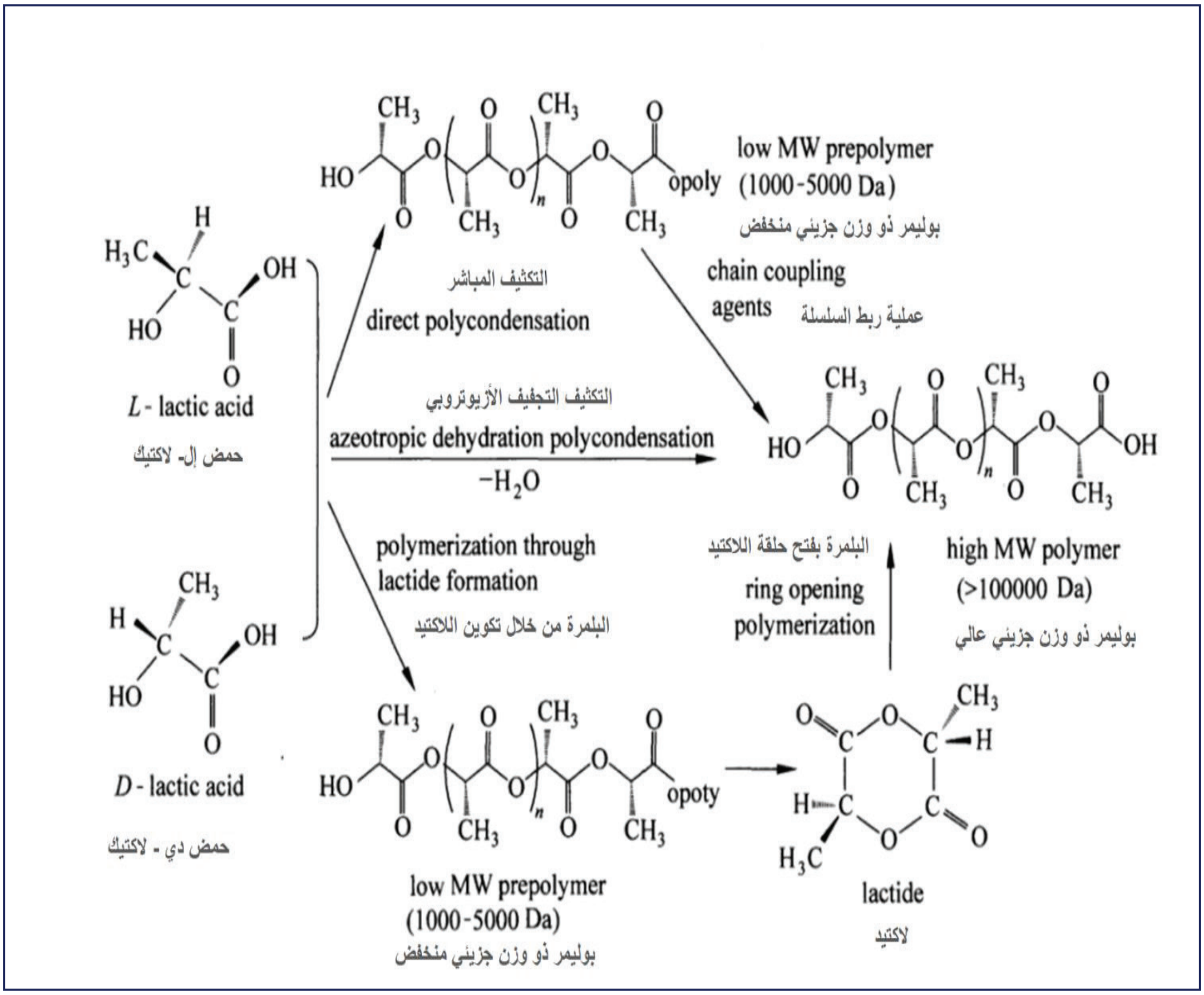
نسبة تتراوح ما بين 20-30 % من البولي بروبيلين غير الصالحة للتسميد. يبين الشكل (2-5) بعض استخدامات بوليمر حمض البولي لاكتيك في القطاعات المختلفة[57].

الشكل (2-5): بعض استخدامات بوليمر حمض البولي لاكتيك في القطاعات المختلفة

المصدر: Poly (lactic Acid): A Versatile Biobased Polymer for the Future with Multifunctional Properties—From Monomer Synthesis, Polymerization Techniques and Molecular Weight Increase to PLA Applications

يتم في الغالب إنتاج بوليمر حمض البولي لاكتيك عالي الوزن الجزيئي على النطاق التجاري باستخدام عوامل حفازة، وتحت ظروف مرتفعة من الضغط الفراغي ودرجة الحرارة. وينتج بشكل عام بعدة طرق، تشمل التكثيف المتعدد المباشر لحمض اللاكتيك، أو البلمرة من خلال تكوين اللاكتيد، أو بفتح حلقة اللاكتيد، كما هو مبين في الشكل (2-6).

الشكل (2-6): طرق إنتاج بوليمر حمض البولي لاكتيك



المصدر: Ramos, M.V., Melo, D.F., Silva, A.L.C. Biotechnologies, 2016

في حال إنتاجه مباشرة من حمض اللاكتيك [5]، يتم ذلك من خلال عدد من المراحل، وتشمل إنتاج حمض اللاكتيك بالتخمير اللاهوائي للكربوهيدرات باستخدام الماء، وأنواع وسلالات مختلفة من بكتيريا حمض اللاكتيك **Lactic Acid Bacteria LAB** في مفاعلات دفعيه **Batch Reactors**. ثم يتم ترشيح المخلوط للتخلص من الكالسيوم لاكتيات المتكونة **Calcium Lactate**، وتبخيره، ومعالجته بحمض الكبريتيك للحصول

[5] حمض اللاكتيك عبارة جزئ غير متطابق، ويحتوي على أيزومرات " متشكلات فراغية" مختلفة من النوع "دي" **D**، والنوع "إل" **L**.

على حمض اللاكتيك، وكبريتات الكالسيوم [47,48]. ثم التخلص من كبريتات الكالسيوم بتفاعلها مع الميثانول. يبين الشكل (2-7) مراحل انتاج حمض اللاكتيك بتقنيات تخمر الكربوهيدرات.

الشكل (2- 7): تفاعلات إنتاج حمض اللاكتيك بتقنيات تخمر الكربوهيدرات

1. التخمر Fermentation

$$C_6H_{12}O_6 + Ca(OH)_2 \xrightarrow{\text{تخمر}} (2CH_3CHOHCOO^-)\,Ca^{2+} + 2H_2O$$

كربوهيدرات + هيدروكسيد الكالسيوم ← كالسيوم لاكتات + مياه

2. التحلل باستخدام حمض الكبريتيك

$$2(CH_3CHOHCOO^-)\,Ca^{2+} + H_2SO_4 \longrightarrow 2\,CH_3CHOHCOOH + Ca\,SO_4$$

كالسيوم لاكتات + حمض الكبريتيك ← حمض اللاكتيك + كبريتات الكالسيوم

3. الأسترة

$$CH_3CHOHCOOH + CH_3OH \longrightarrow CH_3CHOHCOOCH_3 + H_2O$$

حمض لاكتك + ميثانول ← ميثيل لاكتات + مياه

4. التحلل باستخدام المياه

$$CH_3CHOHCOOCH_3 + H_2O \longrightarrow CH_3CHOHCOOH + CH_3OH$$

ميثيل لاكتات + مياه ← حمض لاكتك + ميثانول

المصدر: Ramos, M.V., Melo, D.F., Silva, A.L.C. Biotechnologies, 2016

ينتج كذلك حمض اللاكتيك بعمليات تخمير الكربوهيدرات في وسط خال من المياه باستخدام مفاعل الحالة الصلبة **Solid State Reactor**، إلا أن هذه الطريقة يعيبها عدم الاستقرار الحراري، نظراً لعدم إمكانية مراقبة درجة الحرارة والتحكم فيها بسهولة [50]. أو بإنتاجه كيميائياً عن طريق تفاعل الأسيتالديهيد مع سيانيد الهيدروجين.

بعد إتمام عملية إنتاج حمض اللاكتيك، تأتي المرحلة الثانية وهي التجفيف للحصول على منتج اللاكتيد، ثم مرحلة البلمرة وفيها إنتاج بوليمر حمض البولي لاكتيك، ويكون في ثلاث تشكيلات مختلفة [55]، وهي حمض بولي إل- لاكتيك **Poly (L-lactic acid) PLLA**، وحمض بولي دي- لاكتيك**Poly (D-lactic acid) PDLA**، وحمض البولي دي، إل لاكتيك **Poly (D,L-lactic acid) PDLLA**

تعد شركة " كوربيون بوراك" **Corbion Purac**، من الشركات الرائدة في إنتاج حمض اللاكتيك، على النطاق الصناعي بطاقة إجمالية لعدد من مشروعاتها حول العالم تصل إلى نحو 200 ألف طن سنوياً. يأتي ثاني أكبر مصنع في العالم في ولاية لوس أنجلوس، وهو مصنع شركة كارجيل **Cargill** بطاقة 100 ألف طن سنوياً، بالإضافة إلى مصنع في الصين بطاقة 100 ألف طن سنوياً، وتنتج أيضاً بلجيكا حوالي 40 ألف طن سنوياً، والذي تمتلكه شركة جلاكتيك **Galactic**، بالإضافة إلى عدد من الشركات الأخرى التي تقوم ببناء مصانع لها في الصين مثل شركة جولدن كورن **Golden Corn**، وشركة باشينج **Baisheng** بواسطة سلالات معدلة وراثيا [53]. يبين الجدول (2-1) قائمة ببعض الشركات المنتجة لحمض اللاكتيك حول العالم [54].

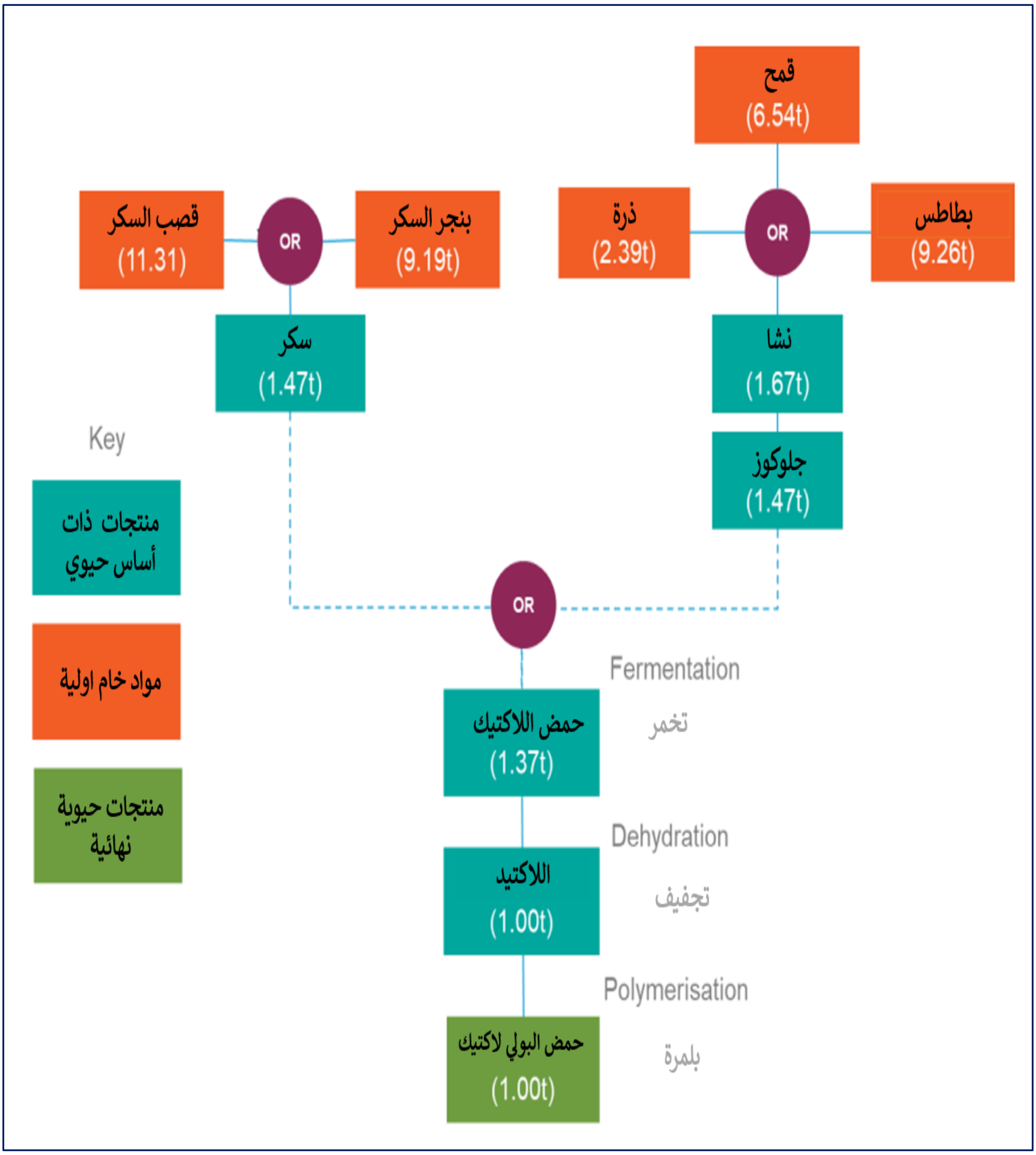
الجدول (2-1): قائمة أهم الشركات المنتجة لحمض اللاكتيك حول العالم

منتجو حمض اللاكتيك (2018-2020)	موقع المشروع	الطاقة الإنتاجية (ألف طن سنوياً)
كوربيون بوراك Corbion Purac	هولندا، إسبانيا، الولايات المتحدة الأمريكية، البرازيل، تايلاند	240
كارجيل Cargill	الولايات المتحدة الأمريكية	180
جيندان Jindan	الصين	100
بي بي سي أيه & جالاكتيك BBCA & Galactic	الصين	80
شينغهان Xinghan	الصين	30
بياشينغ Bai sheng	الصين	20
جلاكتيك Galactic	بلجيكا	18
موساشينو Musashino	اليابان، الصين	10
أيه دي إم ADM	الولايات المتحدة الأمريكية	10
هواكانغ Huakang	الصين	10
جولدن كورن Golden Corn	الصين	4

المصدر: The development and challenges of poly (lactic acid) and poly (glycolic acid)

تعد الذرة من أنسب المواد الحيوية لإنتاج الكربوهيدرات، وخاصة النشا اللازم لإنتاج الجلوكوز، المستخدم في عمليات التخمر اللاهوائي. حيث يلزم نحو 2.33 طن من الذرة لإنتاج 1.47 طن من الجلوكوز بدلاً من 11.31 طن من قصب السكر لإنتاج نفس الكمية من الجلوكوز، وهي الكمية اللازمة لإنتاج طن واحد من بوليمر حمض البولي لاكتيك. يبين الشكل (2-8) الموازنة المادية لإنتاج بوليمر حمض البولي لاكتيك من المواد الأولية الحيوية المختلفة.

الشكل (2-8): الموازنة المادية لإنتاج بوليمر حمض البولي لاكتيك من المواد الأولية الحيوية المختلفة



المصدر: An Assessment of the Value Chain for Biobased and Biodegradable Plastics in Norway,2018

ابتكر عدد من الباحثين في مركز "كيمياء العوامل الحفازة" التابع لجامعة **لوفان Leuven** في بلجيكا عمليات جديدة لتصنيع بوليمر البولي لاكتيك، في مرحلة واحدة فقط، تحت درجة حرارة أقل من 100 ° م. تعتمد عملية التصنيع على التفاعل بالتكثيف

بتلامس حمض اللاكتيك بالعامل الحفازة من مادة الزيوليت النانوية، وتتميز هذه الطريقة بالإنتاجية العالية والتي تصل إلى نحو 85 %، مقارنة بالطرق التقليدية، والتي تتراوح ما بين 60-70 % [56].

يعد مصنع شركة ناتشوروركس **NatureWorks** في الولايات المتحدة الأمريكية والذي بدء تشغيله في عام2002، أكبر مصنع في العالم لإنتاج بوليمر حمض اللاكتيك بطاقة حوالي 150 ألف طن سنوياً، يأتي مصنع شركة توتال وشركة كوربيون **Total and Corbion's** في تايلاند في المركز الثاني بطاقة حوالي 75 ألف طن سنوياً. ثم مصنع هيسون **Hisun** في الصين بطاقة حوالي 45 ألف طن سنوياً. بالإضافة إلى عدد أخر من المصانع التي نفذت خلال الفترة 2018-2020 في عدد الدول حول العالم. يبين الجدول (2-2) قائمة أهم الشركات العالمية المنتجة لبوليمر حمض اللاكتيك.

الجدول (2-2): قائمة أهم الشركات العالمية المنتجة لبوليمر حمض اللاكتيك

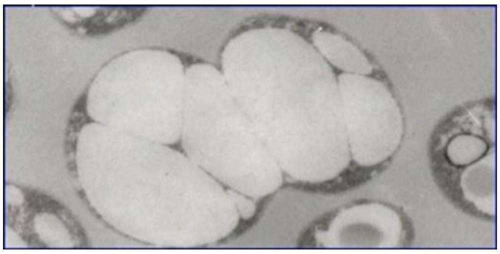
الشركة المنتجة	موقع المشروع	الطاقة الإنتاجية (ألف طن) / سنة
ناتشور ورك NatureWorks	الولايات المتحدة الأمريكية	150
توتال كوربيون Total Corbion PLA JV	تايلاند	75
هيسون Hisun	الصين	45
بي بي سي ايه& جلاكتيك BBCA & Galactic	الصين	40
كوفكو COFCO	الصين	10
هنجتيان Hengtian	الصين	10
سوبلا SuPLA	الصين	10
تونغشي لانغ TongJieLiang	الصين	10
سينبرا Synbra	هولندا	5
تيانرين TianRen	الصين	3
فوفيرو (جلاكتيك) Futerro (under Galactic)	بلجيكا	1
جيانغشي جي لانغ Jiangxi KeYuan	الصين	1
سولازر Sulzer	سويسرا	اقل من 1
بيراميد (أودي)(Pyramid (under Udhe	ألمانيا	اقل من 1
شركات في مناطق أخرى في الصين " شين نينغ، هونغداي، تونغ بنغ، يوشانغ) (e.g., XinNing, HongDa, TongBang, YouCheng)	الصين	غير معلوم

المصدر: The development and challenges of poly (lactic acid) and poly (glycolic acid)

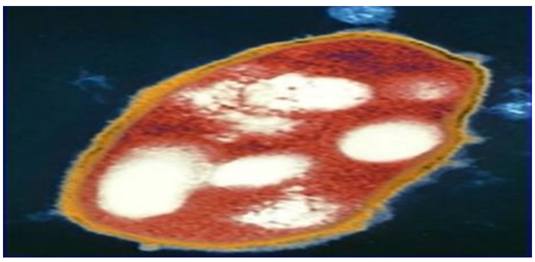
2-1-1-1-2: بوليمر بولي هيدروكسيل كانوتيه Polyhydroxy alkanoates PHA

اكتشف العالم "ليموين" **Lemoigne** البولي هيدروكسيل كانوتيه لأول مرة في عام 1925، وكان على هيئة بوليمر بولي (3-هيدروكسي بيوتيرات)، ثم اكتشفت بوليمرات أخرى في عام 1974 مثل: 3-هيدروكسي فاليرات. وتوالت الاكتشافات حتى وصلت إلى ما يقرب من 150 بوليمر، ولا يزال العدد يتزايد، خاصةً مع تطور تقنيات الإنتاج سواءً الفيزيائية، أو الكيميائية، أو طرق التعديل الجيني للكائنات الدقيقة، وتقنيات الهندسة الوراثية[60]. كما يمكن إنتاج بوليمرات البولي هيدروكسيل كانوتيه طبيعياً، على نطاق صناعي بواسطة سلالات مختلفة من البكتيريا، وتصل نسبة البوليمر فيها أحيانا إلى نحو 80% من كتلة البكتيريا الجافة، كما هو مبين في الشكل (2-9).

الشكل (2-9): تكون وإنتاج بوليمر البولي هيدروكسي كانوتيه
في خلايا سلالات بعض أنواع البكتريا



حبيبات البلاستيك في خلايا سلالة بكتريا
Alcaligenes latus



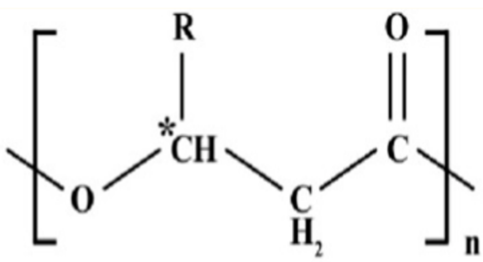
حبيبات البلاستيك في خلايا سلالة بكتريا
Haloferax mediterranei

بوليمر البولي هيدروكسيل كانوتيه عبارة عن بولي إستر خطي يحتوي على مونيمرات لأحماض دهنية مثل **3-hydroxy fatty acid**، ويصنف إلى ثلاث فئات رئيسية حسب طول السلسلة الكربونية، وهي قصير السلسلة، ويتراوح فيه عدد ذرات الكربون ما بين 3- 5 ذرات، ومتوسط السلسلة ويحتوي على ما بين 6-14 ذرة كربون،

وطويل السلسلة ويحتوي على أكثر من 14 ذرة كربون، لتختلف معه خواص البوليمرات الفيزيائية والكيميائية من نوع إلى اخر حسب طول السلسلة الكربونية.

يسمى بوليمر بولي هيدروكسيل كانوتيه، نسبة إلى عدد ذرات الكربون المكونة لمجموعة الألكيل "R". فإذا كانت مجموعة الألكيل الميثيل (CH_3)، فيسمى البوليمر ببولي (3- هيدروكسي بيوتيرات)، لأنه سيحتوي على أربع ذرات كربون، وبالمثل إذا كانت مجموعة الألكيل C_3H_7، فإنه يسمى بولي (3-هيدروكسي هكسانوات)، وهكذا، كما هو مبين في الشكل (2-10).

الشكل (2-10): تسميات بوليمرات البولي هيدروكسيل كانوتيه حسب عدد الذرات النهائية من الكربون



Poly(3-hydroxyalkanoate)

3- هيدروكسي ألكانو أت

مجموعة "R"	عدد ذرات الكربون	تسمية بوليمر بولي هيدروكسي ألكانات	
ميثيل	C_4	Poly(3-hydroxybutyrate)	بولي (3- هيدروكسي بيوتيرات)
إيثيل	C_5	Poly(3-hydroxyvalerate)	بولى (3- هيدروكسى فاليرات)
بروبيل	C_6	Poly(3-hydroxyhexanoate)	بولى (3- هيدروكسى هكسانوات)
بيوتيل	C_7	Poly(3-hydroxyheptanoate)	بولي (3- هيدروكسي هبتانوات)
بنتيل	C_8	Poly(3-hydroxyoctanoate)	بولي (3- هيدروكسي إكتانوات)
هيكسيل	C_9	Poly(3-hydroxynonanoate)	بولي (3- هيدروكسي نونانوات)
هبتيل	C_{10}	Poly(3-hydroxydecanoate)	بولي (3- هيدروكسي ديكانوات)

تتحلل منتجات **البولي هيدروكسيل كانوتيه** إلى كل من غاز ثاني أكسيد الكربون والماء في ظل ظروف التحلل الهوائية بمساعدة الكائنات الحية الدقيقة (مثل البكتيريا والفطريات والطحالب) خلال فترة محددة، خاصة في الظروف المناخية الاستوائية[6] ، ليختفي تماماً في غضون 80 يوم، كما هو مبين في الشكل (2-11)، بينما يتحلل إلى كل من غاز الميثان، والماء في ظروف التحلل اللاهوائية.

الشكل (2-11): معدلات تحلل عبوات منتجة من بوليمر البولي هيدروكسيل كانوتيه في الظروف المناخية الاستوائية

المصدر:Novel Polyhydroxybutyrate (PHB) Production Using A Waste Date Seed Feedstock,2018

6 يتميز بالحرارة المرتفعة وأمطاره الغزيرة التي تسقط طوال العام

ساهمت تلك المميزات في استخدام منتجات بوليمر البولي هيدروكسيل كانوتيه في عدد من القطاعات الحيوية، وخاصة في مجال الطب الحيوي وإنتاج الأجزاء التعويضية كالغضاريف المفصلية، والأوعية الدموية الصناعية، ومسامير غرس الاسنان، والمنتجات ذات الاستخدام الواحد مثل إبر الحقن، والخيوط، والقفازات الجراحية. بالإضافة إلى استخدامه في إنتاج منتجات التغليف للمواد الغذائية القابلة للتحلل الحيوي والصديقة للبيئة.

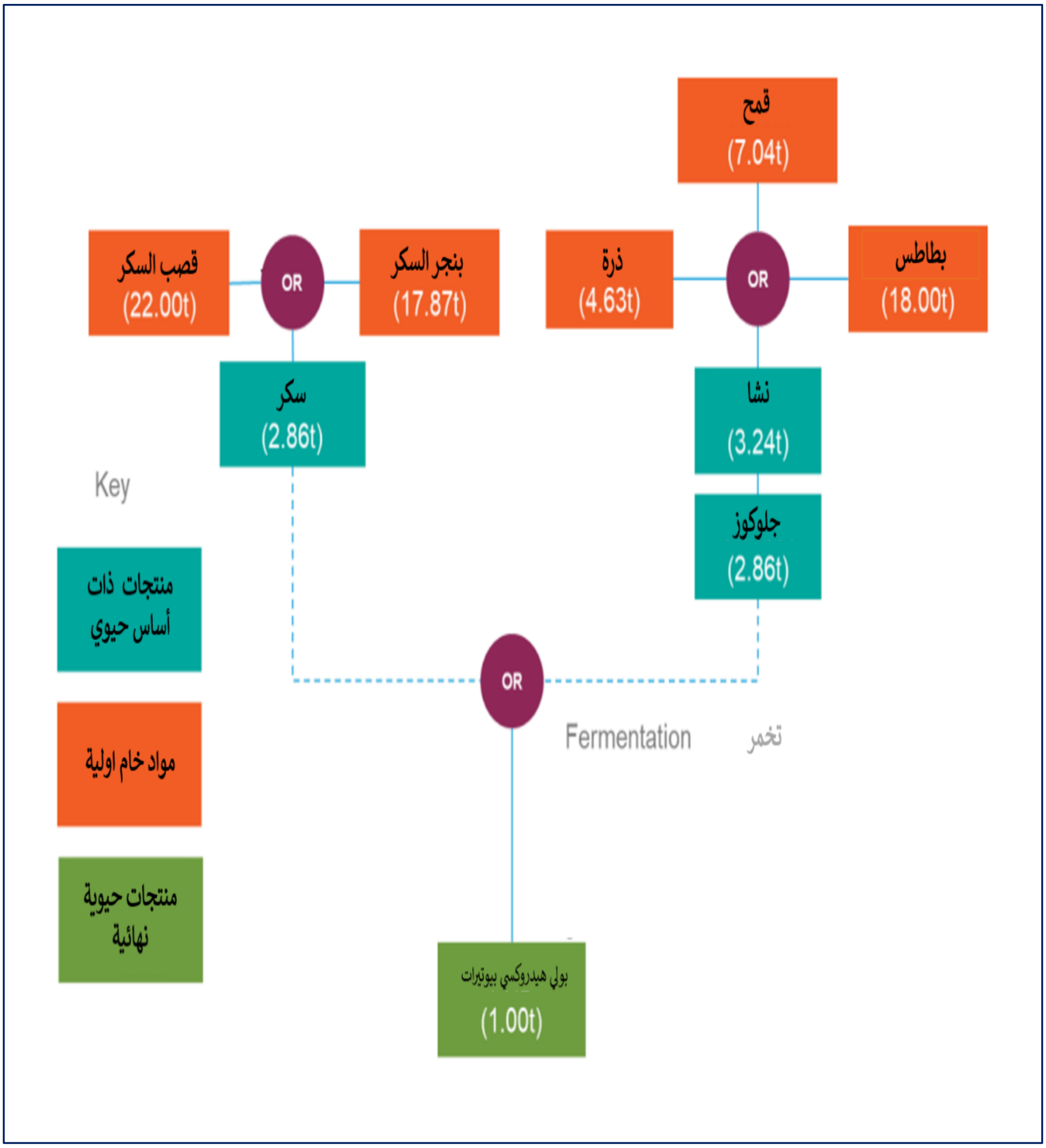
2-1-1-1-2: بوليمر بولي هيدروكسي بوتيرات

بوليمر بولي (هيدروكسي بيوتيرات) من البوليمرات قصيرة السلسلة الكربونية، وهو الأكثر شيوعاً من بين الأنواع المختلفة لبوليمرات البولي هيدروكسيل كانوتيه الأخرى. وتشبه خواص البولي هيدروكسي بوتيرات، خواص البولي بروبيلين من حيث إمكانية معالجته بالحرارة، وتميزه بعدم قابليته للذوبان في الماء، ولا يطفو على الماء نظراً لكثافته المرتفعة، مما يسمح له بالتحلل الحيوي اللاهوائي عندما يُغمر بالماء. إلا أن له قابلية للذوبان في المذيبات، والهيدروكربونات المكلورة مثل الكلوروفورم، ليكون سائل غير لزج عند ذوبانه يجعله مناسباً للاستخدام في العديد من التطبيقات الصناعية مثل المنسوجات. كما ساهمت خاصية حجز الغازات والروائح في استخدامه بشكل أفضل في تغليف الأطعمة، وحفظ المشروبات الباردة. كما يستخدم في القطاع الزراعي، خاصة في مجال الزراعات الموفرة للمياه، ويعمل كمرافق كيميائي [7] **Chemical Chaperone**، حيث يساعد البكتيريا على البقاء في ظل ظروف غير مواتية من الحرارة والإجهاد التأكسدي.

[7] المرافقات الكيميائية هي جزيئات صغيرة تربط وتثبت البكتريا.

ينتج البوليمر بولي هيدروكسي بوتيرات على النطاق التجاري من خلال عمليات التخمر للمواد الأولية الحيوية من المصادر المتعددة من الكربوهيدرات، والسكريات، والنشويات، كما هو مبين في الشكل (2-12).

الشكل (2-12): إنتاج بوليمر بولي هيدروكسي بوتيرات
من المواد الأولية الحيوية المختلفة، والموازنة المادية لإنتاجه



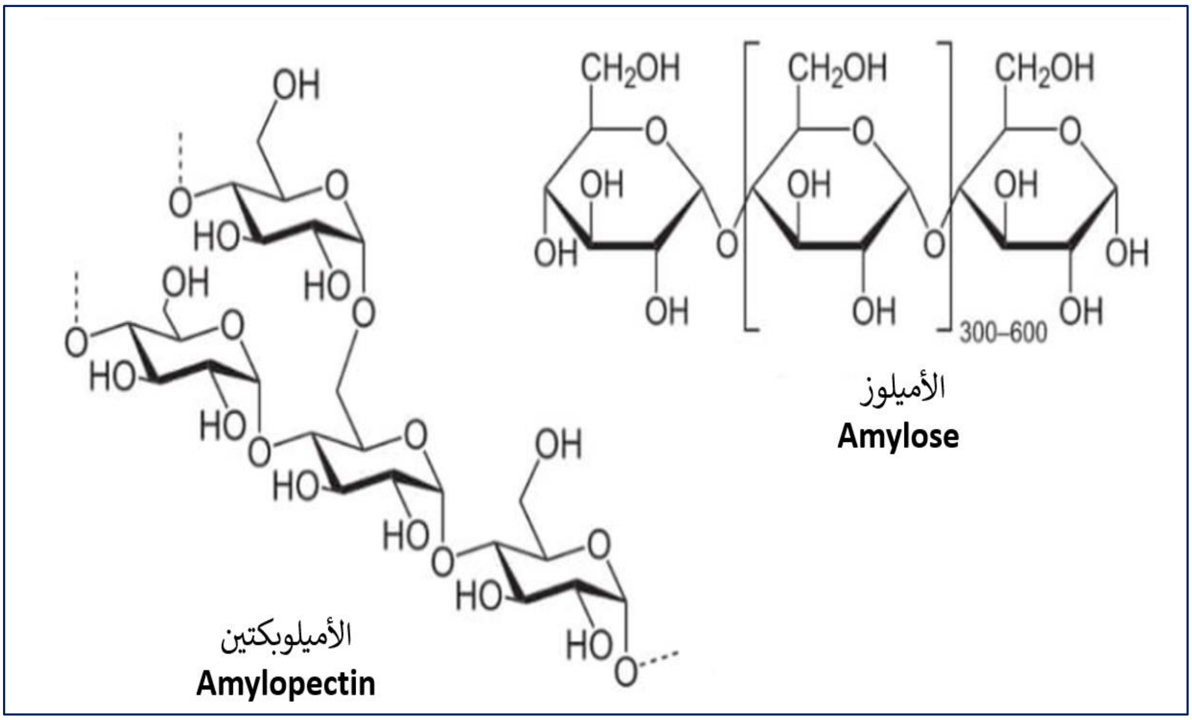
المصدر: An Assessment of the Value Chain for Biobased and Biodegradable Plastics in Norway,2018

2-1-1-2: البلاستيك الحراري الممزوج بالنشا القابل للتحلل الحيوي
Starch Base, Biodegradable Plastics

استخدم النشا المؤكسد بنجاح في الستينيات والسبعينيات من القرن الماضي، في تراكيب بعض منتجات المطاط والبوليمرات الأخرى، كما استخدم في عام 1972 كمادة مالئة "حشوات" لبعض منتجات البولي إيثيلين منخفض الكثافة **LDPE**، بهدف تحسين خواص منتجاته المصنعة بطرق النفخ بالبثق **Extrusion-Blown** [63]. وتم كذلك تطوير العديد من التقنيات لتحسين خواص توليفة البلاستيك الملدن من البولي فينيل كلوريد **PVC** الممزوج بالنشا [64].

يتكون النشا من مزيج من السكريات والجلوكوز المعقد، من جزيئين رئيسين، هما الأميلوز **Amylose**، وهو جزيء خطي قليل التشعب للغاية، والأميلوبكتين **Amylopectin**، وهو جزيء متشعب بدرجة كبيرة، كما هو مبين في الشكل (2-13).

الشكل (2-13): التركيب الكيميائي للنشا من جزيئات للأميلوز، والأميلوبكتين

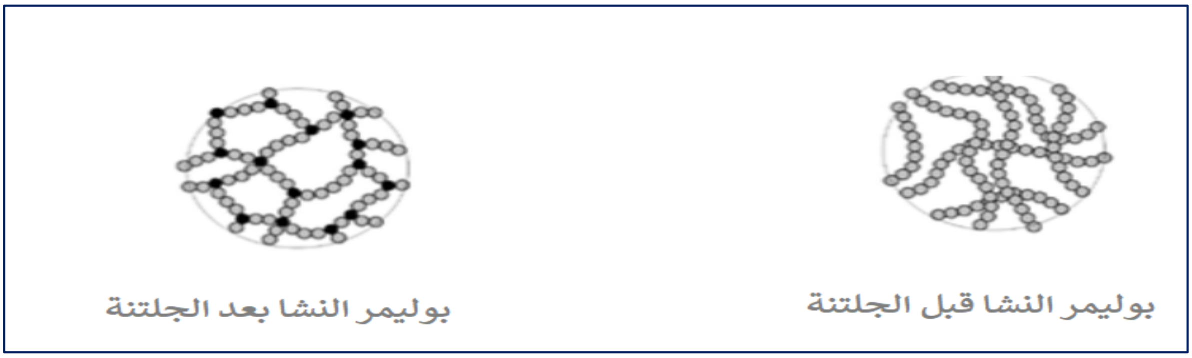


المصدر: Biopolymers facts and statistics, Production capacities, processing routes, feedstock, land and water use,2017

أثناء عمليات إنتاج البلاستيك الحراري الممزوج بالنشا تتحد كل من جزيئات النشا والماء فيزيائياً قبل عملية التسخين لتكون مزيـج سائل غير متجانس. ولجعل هذا المزيـج أكثر تجانساً يتم كسر الروابط الهيدروجينية بين جزيئات النشا بإذابته في الماء مع التسخين، ليتكون معلق غرواني **Colloid Suspension**.

يضاف الماء الساخن خلال عمليات الإنتاج بهدف بقاء جزيئات النشا مرتبطة مع بعضها البعض، ثم يضاف الجلسرين المتميز بقابليته للذوبان في الماء والانتشار بين جزيئات البوليمر، كما تضاف بعض أنواع من الملدنات والإضافات.[65] وهكذا تبدأ سلاسل البوليمرات بتشكيل روابط بين السلاسل المكونة له، مكونةً جزيء واحد كبير، فيتخذ النشا شكلاً أكثر مرونة (جيلاتين). وتسمى عملية تكون القوام الهلامي اللزج من بوليمرات النشا بعملية "الجلتنة". يبين الشكل (2-14) التركيب الفراغي لبوليمر النشا قبل وبعد عملية الجلتنة.

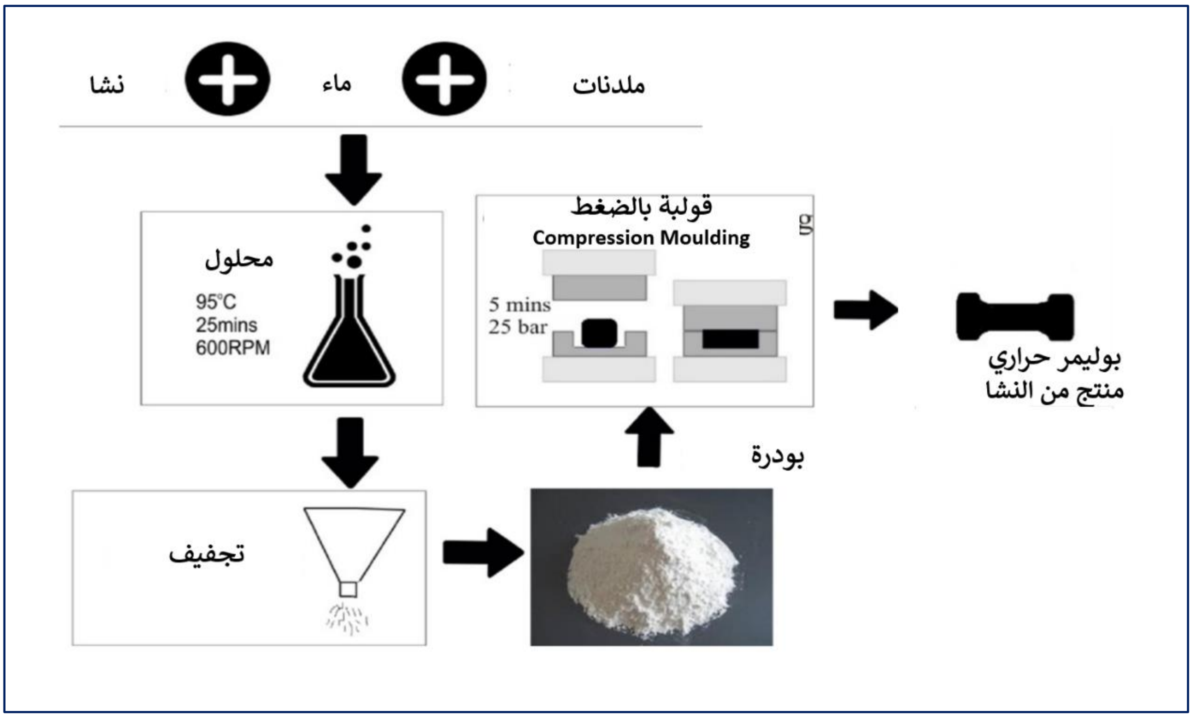
الشكل (2-14): التركيب الفراغي لبوليمر النشا قبل وبعد عملية الجلتنة



المصدر: Biopolymers facts and statistics, Production capacities, processing routes, feedstock, land and water use,2017

يسهم القوام الجيلاتيني في مرونة المنتج النهائي ويعمل على سهولة تشكيله وتصنيعه بطرق التشكيل "القولبة" للبلاستيك. كما تتم عمليات التجفيف للحصول على بودرة البلاستيك الحراري الممزوج بالنشا القابل للتحلل، وذلك كما هو مبين في الشكل (2-15).

الشكل (2-15): خطوات إنتاج البلاستيك الحراري الممزوج بالنشا القابل للتحلل



المصدر: Biopolymers facts and statistics, Production capacities, processing routes, feedstock, land and water use,2017

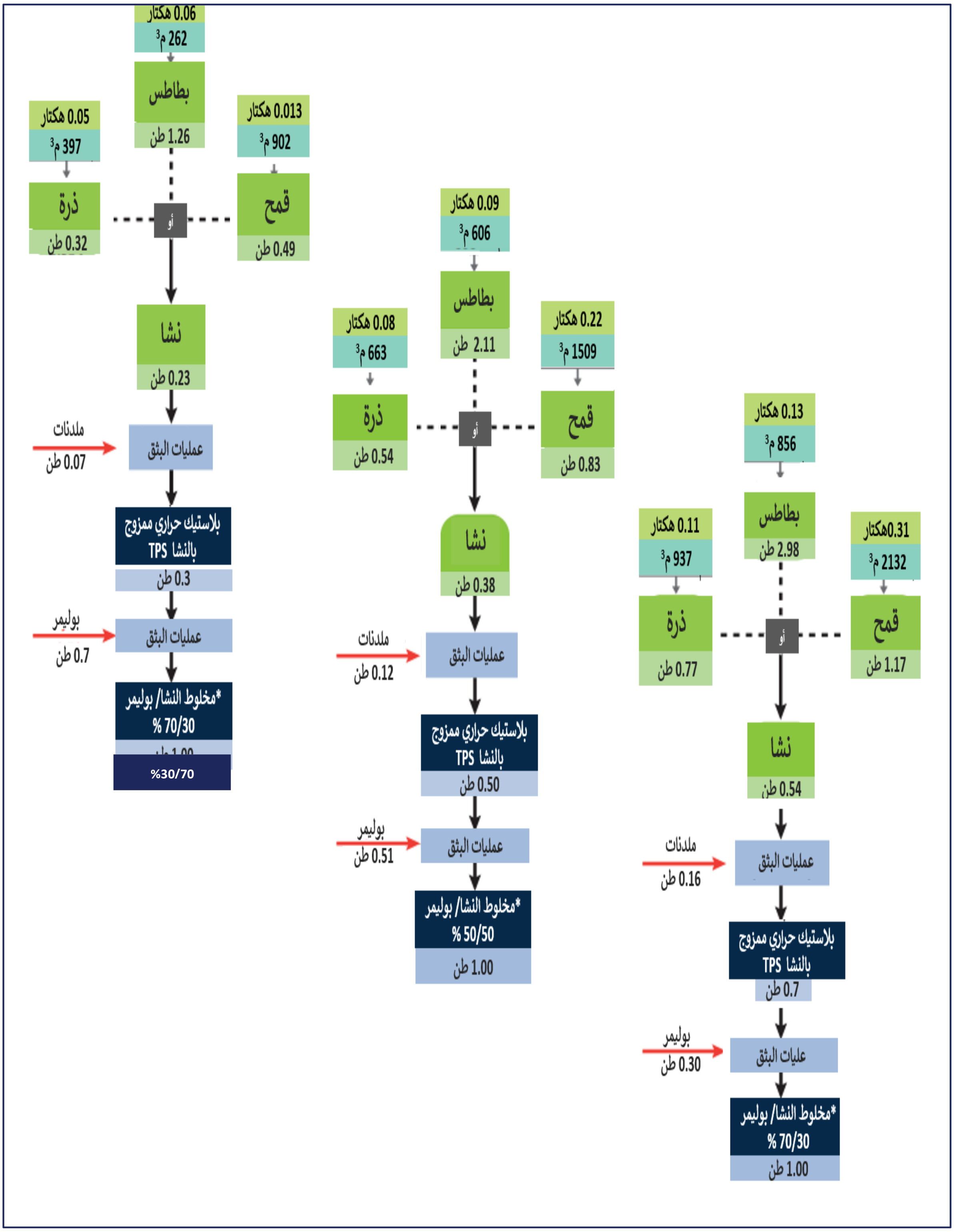
توالت عمليات تطوير تكنولوجيا الإنتاج، وحصلت شركة "وارنر لامبرت **Warner-Lambert**" في التسعينيات على براءة اختراع لإنتاج البلاستيك الحراري الممزوج بالنشا، ذو خواص ميكانيكية محسنة، لتستخدم في بعض التطبيقات التي تتطلب مقاومة المياه، بالإضافة إلى خاصية التحلل الحيوي في البيئات المختلفة سواءً التربة، أو في منشآت التحلل اللاهوائي، أو المياه العذبة، أو البيئات البحرية، أو تحويلها إلى اسمدة في بعض البيئات المناسبة بعد انتهاء فترات استخدامها، وخاصة في مجالات الأنشطة الزراعية كإنتاج رقائق تغطية التربة، أو إنتاج أكياس القمامة القابلة للتحلل الحيوي.

ينتج البلاستيك الحراري الممزوج بالنشا المستخلص من مختلف المصادر الحيوية كالذرة، أو القمح أو البطاطس، وتتنوع نسب النشا في البلاستيك الحراري لتتراوح ما بين 30-70 %، بالإضافة إلى بعض الإضافات، والمُلدنات، والمواد الأخرى المتوافقة

Compostable، بهدف تحسين مقاومتها للمياه، وتحسين خواصها الميكانيكية والحرارية. ومن جانب أخر تتباين كميات المياه المستهلكة واللازمة لعمليات تجهيز المواد الخام الأولية الحيوية، وإنتاج النشا من مصادره الحيوية المختلفة، حيث تقدر كمية المياه اللازمة لإنتاج طن واحد من مخلوط البلاستيك الحراري الممزوج بالنشا (70/30) بنحو 2132 طن لاستخلاصه من القمح. في حين يستهلك إنتاجه من البطاطس نحو 856 طن من المياه.

بينما يستهلك إنتاج طن واحد من مخلوط البلاستيك الحراري الممزوج بالنشا (50/50) نحو 1500 طن من المياه لإنتاج نشا القمح، ويستهلك نحو 663 طن من المياه لإنتاجه من الذرة، ونحو 606 طن من المياه لإنتاجه من البطاطس. اما مخلوط البلاستيك الحراري الممزوج بالنشا (30/70) فيلزم إنتاج الطن منه، استهلاك نحو 902 طن من المياه لإنتاج نشا القمح، مقابل 362 طن لإنتاج نشا البطاطس. في كل الأحوال يلاحظ ان كميات المياه المستهلكة في إنتاج النشا من البطاطس أقل من المصادر الحيوية الأولية الأخرى من القمح او الذرة، لإنتاج البلاستيك الحراري الممزوج بالنشا. يبين **الشكل (16-2)** الموازنة المادية لإنتاج بعض مخاليط البلاستيك الحراري الحيوي الممزوج بالنشا.

الشكل (2-16): الموازنة المادية لإنتاج بعض من مخاليط البلاستيك الحراري الحيوي الممزوج بالنشا



المصدر: Biopolymers facts and statistics, Production capacities, processing routes, feedstock, land and water use,2017

3-1-1-2: بلاستيك ذو أساس أحفوري قابل للتحلل
Fossil-Based Biodegradable Plastic

يتميز البلاستيك ذو الأساس الأحفوري القابل للتحلل بعدم إطلاق غاز الميثان عند تحلله، ولا ينتج عنه شظايا بلاستيكية في التربة، بالإضافة إلى انخفاض تكاليف إنتاجه، وتمثل المادة المضافة أقل من 3 % فقط من المنتج، وأمنه عند تلامسها طويل الأمد مع أي أنواع من الأطعمة في درجات حرارة تصل إلى 40° م. لذلك فإن هذه النوعية من البوليمرات تستخدم في إنتاج أكياس التسوق وحيدة الاستخدام. فضلاً عن تميزها بعدم الذوبانية في المياه مما يجعلها مناسبة لإنتاج الأكواب الورقية المقاومة للمياه، كما يمكن دمجها مع مواد بلاستيكية أخرى أكثر صلابة، واستخدامها في إنتاج القناني البلاستيكية المستخدمة في تعبئة المياه والمشروبات [66].

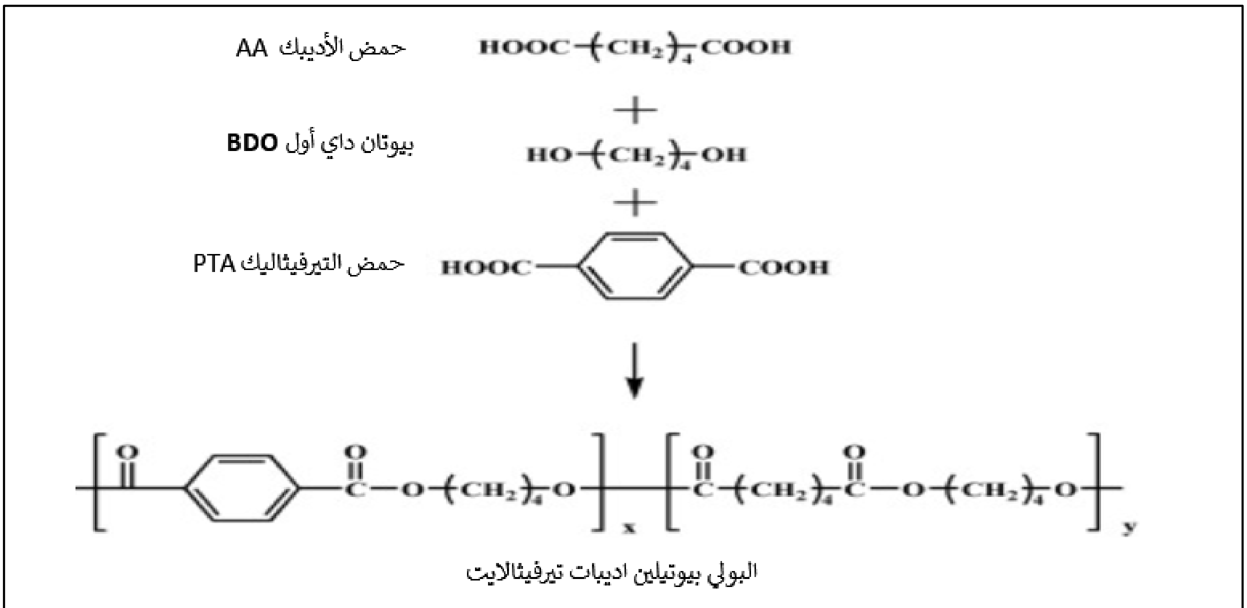
هناك أنواع متعددة من البلاستيك ذو الأساس الأحفوري بنسبة 100%، والتي تتميز بقابليتها للتحلل الحيوي، ولعل أشهرها البولي إسترات الأليفاتية **Aliphatic Polyesters**، وتعتمد خاصية التحلل بها على التحلل المائي لروابط الإستر، مما يجعلها من البوليمرات القابلة للتحلل في مختلف البيئات.

تُظهر البولي إسترات الأليفاتية مثل بولي كابرولاكتون **PCL**، والبولي هيدروكسي بوتيرات **PHB**، خواص ميكانيكية وحرارية ضعيفة. بينما تُظهر البولي إسترات العطرية مثل البولي إيثيلين تيرفيثالايت **PET**، والبولي بيوتيلين تيرفيثالايت **PBT** خصائص ميكانيكية جيدة جدًا ولكنها مقاومة للتحلل بفعل الكائنات الحية الدقيقة. لذلك، تم تصميم بولي إسترات جديدة لها خصائص ميكانيكية جيدة، وايضاً قابلة للتحلل الحيوي.

ينتج ايضاً البلاستيك ذو الأساس الأحفوري القابل للتحلل من البولي إسترات المشتركة من وحدات أليفاتية وأروماتية (عطرية)، ومن بين العديد من البولي إسترات

المشتركة الأليفاتية العطرية، يأتي بوليمر البولي بيوتيلين اديبات تيرفيثالايت **Polybutylene Adipate Terephthalate-PBAT**، أو كما يطلق علية اسم البولي بيوتارات **Polybutyrate**، وهو بوليمر عشوائي **Random Copolymer**. ينتج عن طريق التكثيف المتعدد **Poly-Condensation**، بين حمض الأديبك AA، و1،4 بيوتان داي أول **BDO**، وحمض التريفثاليك **PTA**، باستخدام المركبات القائمة على معادن الزنك، والقصدير، والتيتانيوم، كمواد حفازة، يبين الشكل (17-2) التركيب البنائي لبوليمر البولي بيوتيلين اديبات تيرفيثالايت.

الشكل (17-2): التركيب البنائي لبوليمر البولي بيوتيلين اديبات تيرفيثالايت



المصدر: Poly (Butylene Adipate-Co-Terephthalate (PBAT) Properties and Applications

تشبه خواص بوليمر البولي بيوتيلين اديبات تيرفيثالايت خواص البولي إيثيلين عالي أو منخفض الكثافة، وبالتالي يمكن استخدامها في تطبيقات مماثلة في تغليف المواد الغذائية وتطبيقات الأغشية الزراعية، كما يتميز بخواص ميكانيكية ممتازة، مقارنة بمعظم البولي إسترات الأخرى القابلة للتحلل الحيوي مثل حمض البولي

اللاكتيك PLA، والبولي بيوتيلين- سوكسينات PBS، وذلك بفضل الوحدة العطرية في سلسلة البوليمر. فضلاً عن تميزه بخاصية التحلل الحيوي في التربة، وتحوله على اسمدة صناعية. يبين الشكل (2-18) بعض نتائج اختبارات التحلل الحيوي لبوليمر البولي بيوتيلين اديبات تيرفيثالايت وتحوله إلى سماد عضوي صناعي.

الشكل (2-18): بعض نتائج اختبارات التحلل الحيوي لبوليمر البولي بيوتيلين اديبات تيرفيثالايت وتحوله إلى سماد عضوي صناعي

المصدر: JiaoJian , An overview on synthesis, properties and applications of poly(butylene-adipate-*co*-terephthalate)–PBAT, advanced Industrial and Engineering Polymer Research, Volume 3, Issue 1, January 2020 .

تنتج عديد من الشركات البولي بيوتيلين أديبات تيرفيثالايت على النطاق التجاري، كما هو مبين في الجدول (2-3).

الجدول (2-3): قائمة أهم الشركات المنتجة لبوليمر البولي بيوتيلين اديبات تيرفيثالايت

الشركة المنتجة	الدولة	الطاقة الإنتاجية ألف طن/سنة
BASF	المانيا	60
KINGFA	الصين	50
NOVAMONT	إيطاليا	40
TUNHE	الصين	30
XINFU	الصين	20
JINHUI	الصين	20

المصدر: JiaoJian , An overview on synthesis, properties and applications of poly(butylene-adipate-*co*-terephthalate)–PBAT, advanced Industrial and Engineering Polymer Research**,** Volume 3, Issue 1, January 2020, Pages 19-26**30**Adv

من جانب آخر يمكن تعديل تصميم وتركيب البلاستيك الأحفوري لإكسابه صفات التحلل الحيوي بالأكسجين **Oxo-biodegradable**.، وذلك بإضافة بعض أنواع من الإضافات الخاصة من العوامل الحفازة من الايونات المعدنية المختلفة، مثل الكوبالت **(Co)** أو المغنيسيوم **(Mg)** أو المنغنيز **(Mn)** أو الزنك **(Zn)** أو الحديد **(Fe)** أو النيكل **(Ni)**[8] ، وتتم عملية التحلل لهذا النوع من البلاستيك، عبر مرحلتين، الأولى منها، وهي الأكسدة، وفيها يتم تكسير بوليمرات البلاستيك إلى جزيئات صغيرة في وجود الأكسجين، والضوء والحرارة. أما المرحلة الثانية، فهي مرحلة التحلل

[8] هذه الأيونات المعدنية عرضة للضوء والحرارة والرطوبة والضغط الميكانيكي، وبالتالي تضعف قوة الشد لسلسلة البوليمر.

البيولوجي **Biodegradation**، حيث تتغذى فيها الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا والفطريات على جزيئات البلاستيك الصغيرة وتحللها إلى مكونات عضوية أولية.

4-1-1-2: بلاستيك ذو أساس حيوي غير قابل للتحلل
Bio-Base, Non-Biodegradable Plastic

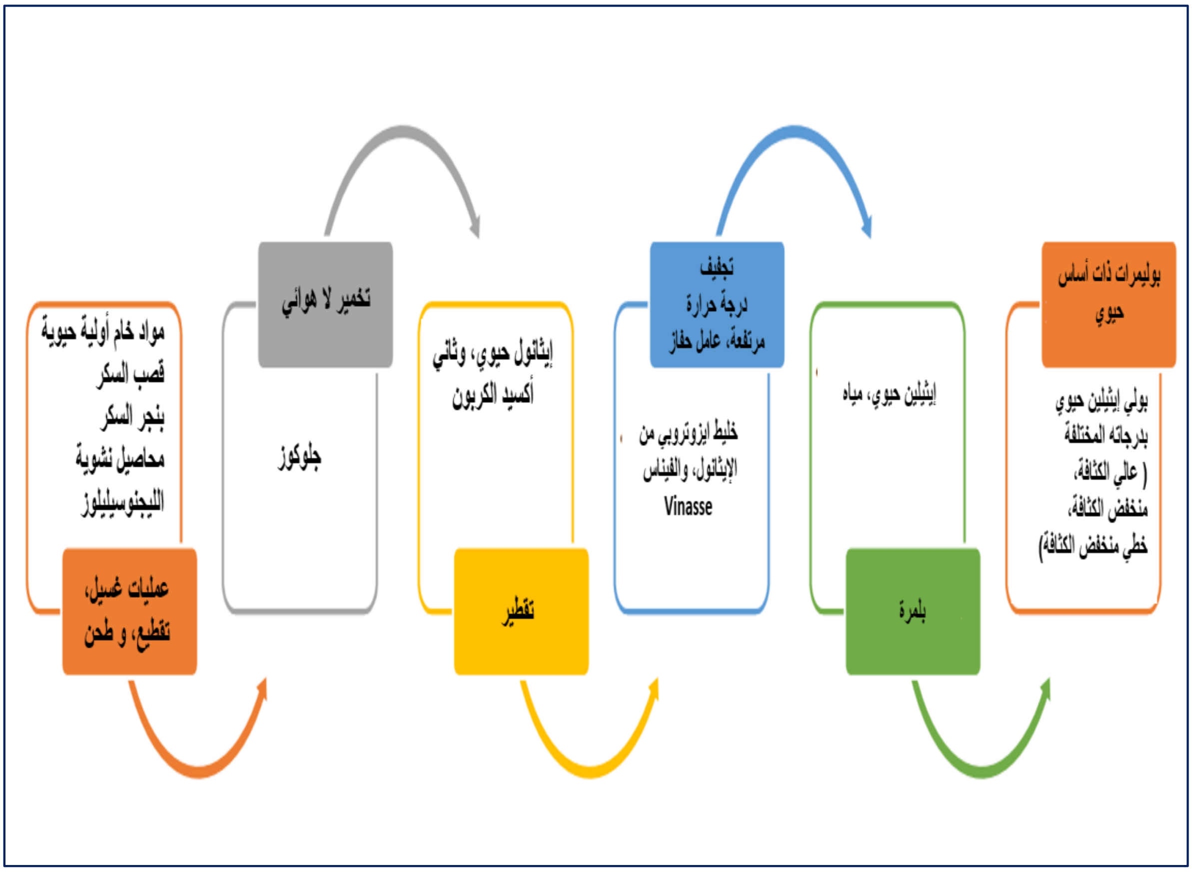
يعد كل من البولي إيثيلين الحيوي، والبولي بروبيلين الحيوي، والبولي إيثيلين تيرفيثالايت الحيوي، والبولي أميد الحيوي من أشهر المواد البلاستيكية الحيوية غير القابلة للتحلل الحيوي، والأوسع انتشارا.

1.4.1.1.2. البولي إيثيلين الحيوي Bio-PE

يعد بوليمر البولي إيثيلين التقليدي الأكثر استخداماً وشيوعاً بفضل أدائه المتميز وتطبيقاته المتعددة، كما يدخل بشكل مباشر في إنتاج بوليمرات أخرى هامة كالبولي فينيل كلوريد، والبولي ستيرين ويعتمد إنتاجه بشكل مباشر على الإيثيلين الأحفوري. وهناك اهتمام عالمي متزايد في الوقت الحالي للحصول على مونيمر الإيثيلين من الموارد الحيوية، وإنتاج البولي إيثيلين الحيوي **Bio-PE**.

بدأ الإنتاج الفعلي للبولي إيثلين الحيوي على النطاق التجاري في عام 2010، بواسطة شركة براسكيم البرازيلية Braskem، من الإيثلين المنتج من الإيثانول الحيوي. واستخدم في عدد من التطبيقات، كإنتاج مواد التغليف المرنة والصلبة للمواد الغذائية، والصناعات المغذية للسيارات، وألعاب الأطفال.[67] يبين الشكل (2-19) مخطط إنتاج البولي إيثيلين الحيوي.

الشكل (2-19): مخطط إنتاج البولي إيثيلين الحيوي

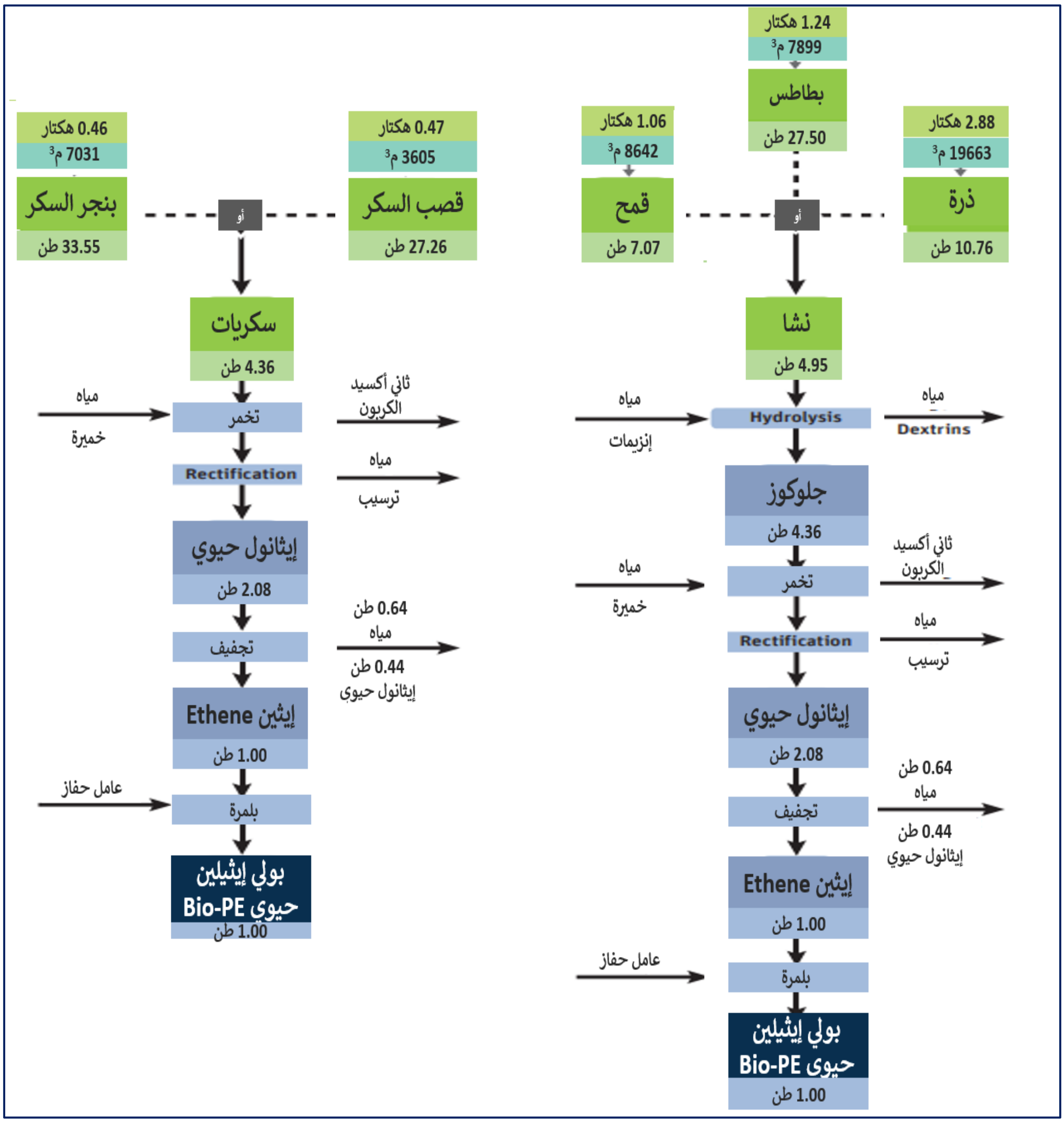


المصدر: Bio-Polyethylene (Bio-PE) Review ,Valentina Siracusa، Bio-Polypropylene (Bio-PP) and Bio-Poly (ethylene terephthalate) (Bio-PET): Recent Developments in Bio-Based Polymers Analogous to Petroleum-Derived Ones for Packaging and Engineering Applications

تتم بعض الخطوات الرئيسية المسبقة لإنتاج البولي إيثيلين الحيوي، وتشمل تجهيز المادة الخام الأولية الحيوية المختلفة، مثل التنظيف، والتقطيع، والطحن، للحصول على الجلوكوز الذي يحتوي على نسب من السكروز تتراوح ما بين 12-13%، ثم عملية التخمير اللاهوائي لإنتاج الإيثانول الحيوي. ثم عملية التقطير للتخلص من الماء، وينتج عن ذلك الإيثانول الحيوي المائي بنسبة 95.5 ٪. ثم تتم عمليات بلمرة تقليدية كالتي تتم على الإيثيلين الأحفوري، وما يقابلها من إنتاج البوليمرات الحيوية المطابقة في خواصها الكيميائية والفيزيائية والأدائية، من البولي إيثيلين عالي، ومنخفض، والخطي منخفض الكثافة.

يلزم إنتاج طن واحد من البولي إيثيلين الحيوي حوالي 4.36 طن من الجلوكوز أو السكريات. وللحصول على هذه الكمية يلزم استخدام كميات متنوعة من المواد الخام الأولية الحيوية، أعلاها بنجر السكر (شمندر) (نحو 33 طن)، وأقلها القمح (نحو 7 طن)، كما يعد استهلاك المياه، والأراضي الزراعية اللازمة من المحددات الرئيسية لاختيار المادة الخام الأولية الحيوية المناسبة، كما هو مبين في الشكل (2-20) .

الشكل (2-20): الموازنة المادية لإنتاج البولي إيثيلين الحيوي
من مواد أولية حيوية مختلفة

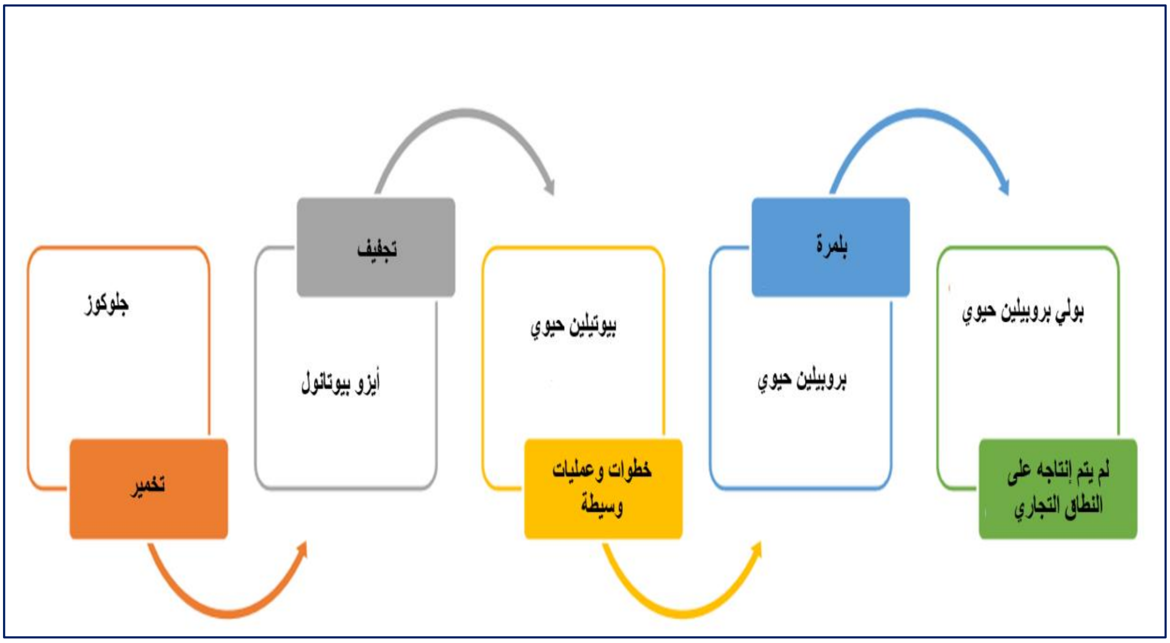


المصدر: Biopolymers facts and statistics, Production capacities, processing routes, feedstock, land and water use,2017

2.4.1.1.2. **البولي بروبيلين الحيوي** Bio-PP

يأتي البولي بروبيلين الحيوي Bio-PP في المرتبة الثانية من حيث الأهمية بعد البولي إيثيلين الحيوي، ولا يزال إنتاجه يتم بالطرق التقليدية المعروفة من البيوتيلين الحيوي بتقنيات تجفيف الأيزو بيوتانول الحيوي، المنتج من الجلوكوز، ثم يتبعه عمليات بلمرة للحصول على المنتج النهائي، كما هو في الشكل (2-21).

الشكل (2-21): مخطط إنتاج البولي بروبيلين الحيوي



المصدر: Valentina Siracusa, Review Bio-Polyethylene (Bio-PE)، Bio-Polypropylene (Bio-PP) and Bio-Poly (ethylene terephthalate) (Bio-PET): Recent Developments in Bio-Based Polymers Analogous to Petroleum-Derived Ones for Packaging and Engineering Applications

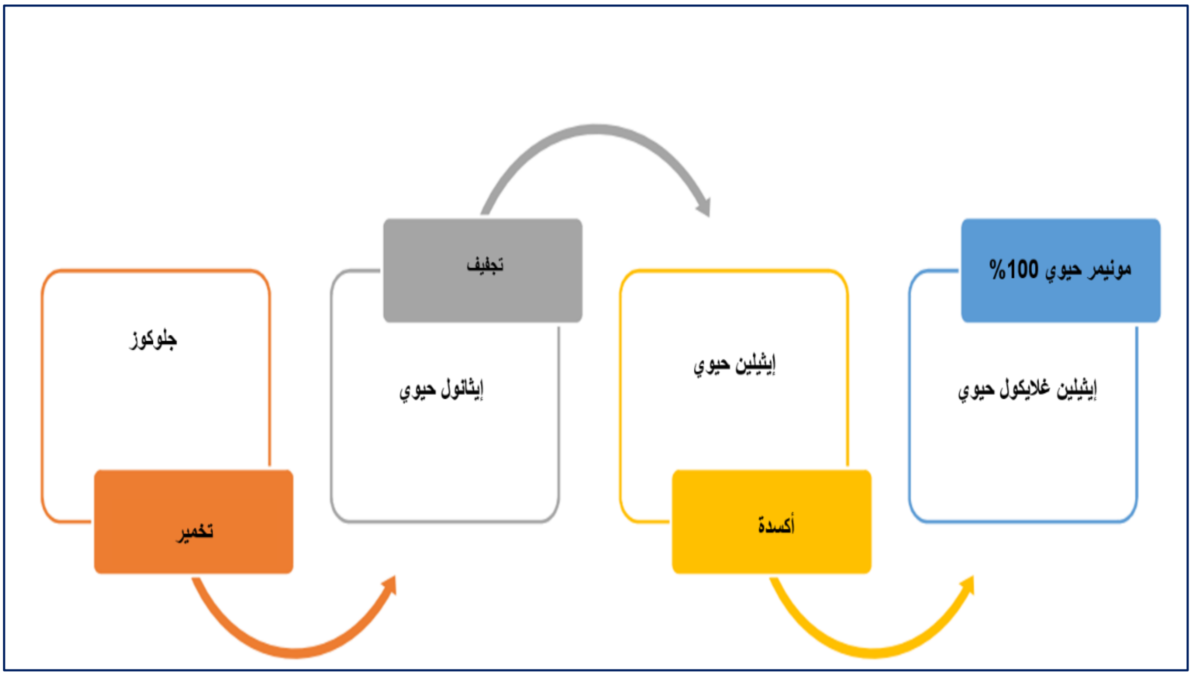
تعد شركة براسكيم البرازيلية **Braskem** أول الشركات المنتجة له، إلا أن عمليات إنتاجه غير معلنة حتى الان، ولكن من أكثر الطرق المحتملة، والواعدة للحصول على البولي بروبيلين الحيوي هي تقنية "ليرجي" **Lurgi** لتحويل الميثانول إلى بروبيلين **MTP**، أو بطريقة "يو أي بي" **UOP** لتحويل الميثانول إلى أوليفينات **MTO**.

البحث الأول

3.4.1.1.2. البولي إيثيلين تيرفيثالايت الحيوي

تمكنت بعض الشركات من إنتاج البولي إيثيلين تيرفيثالايت الحيوي لأول مرة في عام 2009، بمزج حمض التريفثاليك الحيوي، مع حوالي 30 % من الإيثيلين غلايكول الحيوي المنتج من الجلوكوز[68]، كما هو مبين في الشكل (2-22).

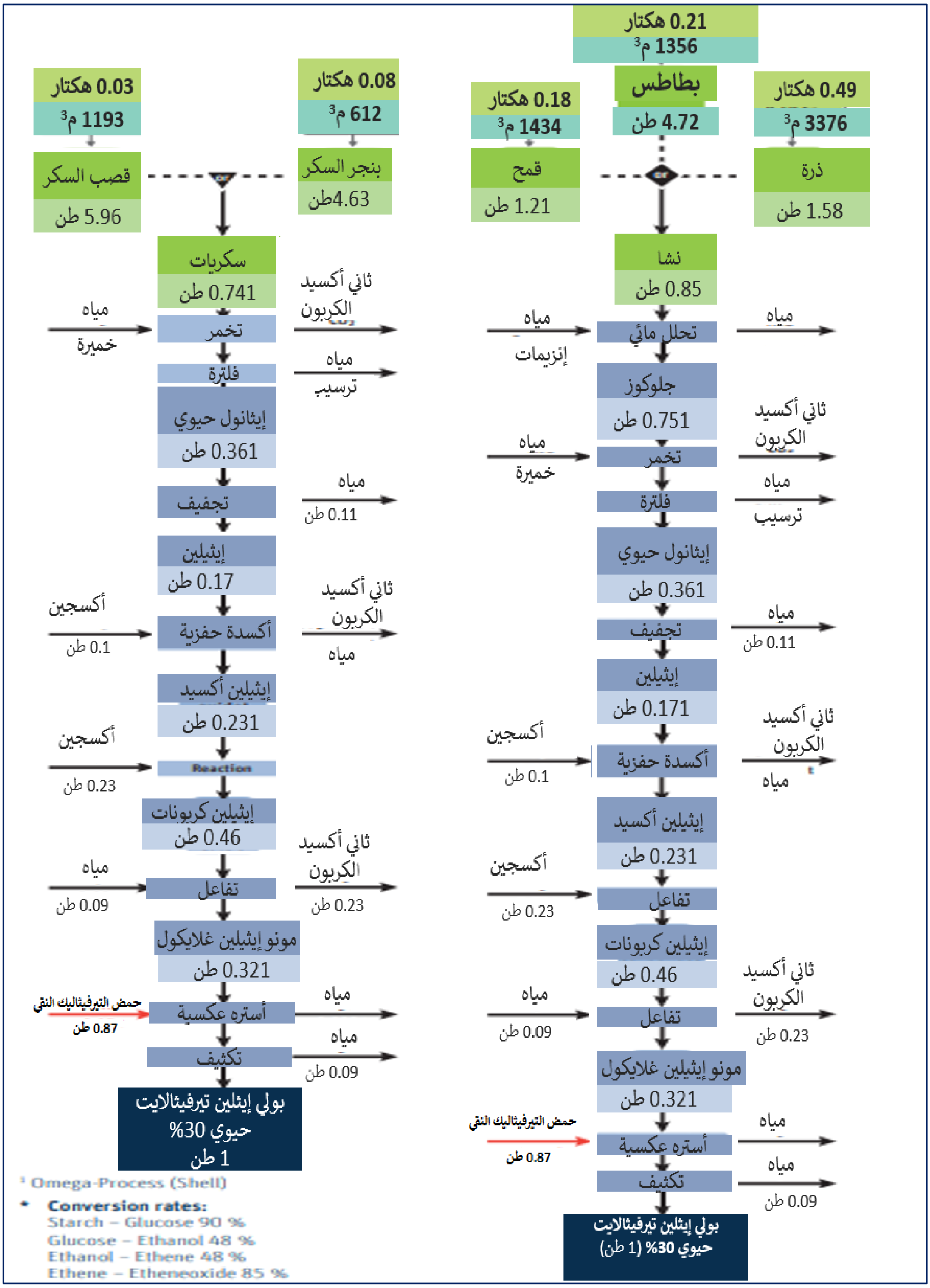
الشكل (2-22): مخطط إنتاج الإيثيلين غلايكول الحيوي



المصدر: Valentina Siracusa, Review Bio-Polyethylene (Bio-PE), Bio-Polypropylene (Bio-PP) and Bio-Poly(ethylene terephthalate) (Bio-PET): Recent Developments in Bio-Based Polymers Analogous to Petroleum-Derived Ones for Packaging and Engineering Applications

تتنوع المواد الخام الأولية الحيوية كمصادر للسكريات والجلوكوز لإنتاج الإيثيلين غلايكول الحيوي، كما هو مبين في الشكل (2-23). يعد القمح أنسب المواد الخام الأولية من حيث الكميات اللازمة لإنتاج طن واحد من البولي إيثيلين غلايكول الحيوي، وتبقى المياه والأراضي الزراعية اللازمة لإنتاج المواد الخام الأولية من المحددات الرئيسية المؤثرة في إنتاج البولي إيثيلين غلايكول الحيوي.

الشكل (2-23): الموازنة المادية لإنتاج البولي إيثيلين تير فيثالايت الحيوي من مواد أولية حيوية مختلفة



المصدر: Biopolymers facts and statistics, Production capacities, processing routes, feedstock, land and water use,2017

2-2: خاصية التحلل الحيوي للبلاستيك الحيوي

ليس من الضروري أن تتحلل كل منتجات البلاستيك الحيوي ذاتياً، كما ليس بالضروري أن يطلق مصطلح البلاستيك الحيوي على كل بلاستيك قابل للتحلل، حيث يمكن أن تتحلل بعض أنواع من منتجات البلاستيك التقليدي بفعل الحرارة وعوامل أخرى، أو بإعادة تصميم تراكيب جديدة باستخدام بعض أنواع الإضافات المعدنية.

لذا فقد يبدو البلاستيك الحيوي خياراً أفضل من البلاستيك الأحفوري، ولكن هناك بعض أوجه التشابه بين النوعين، حيث ان البلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي، يتحلل بمعدلات مختلفة في بيئات محددة وتحت ظروف معينة، ولكنه غير قابل للتحلل بشكل كامل في مختلف أو كل البيئات المتاحة، فتتحلل مكوناته إلى ملايين القطع الصغيرة المتناثرة، إلا أنها لن تعود إلى حالتها الأصلية إذا تركت في بيئة غير مناسبة للتحلل الحيوي الكامل. وفي كثير من الأحيان لا يمكن للمستهلك العادي التميز بين البلاستيك الحيوي القابل أو غير قابل للتحلل من حيث المظهر، إلا باستخدام بعض الشعارات، أو العلامات أو المسميات الدالة على ذلك، كما هو مبين في الشكل (2-24)، مع ضرورة تحديد البيئة الملائمة لعمليات التحلل الحيوي الكامل، والفترة الزمنية اللازمة لتحلله[36] .

الشكل (2-24): أمثلة الشعارات الدالة على البلاستيك الحيوي

المصدر: The Norwegian Environment Agency, Bio-Based and Biodegradable Plastics,2018

يصعب التأكد بشكل قاطع، او الجزم بأن نوعاً معيناً من البلاستيك الحيوي يمكن أن يتحلل حيوياً في مختلف أنواع البيئات بمختلف ظروفها [26]. لذا فإن عملية إتمام التحلل الحيوي الكامل يمكن أن تستغرق عدة سنوات، أو عدة عقود[38] ، وقد تتحلل بعض المواد البلاستيكية القابلة للتحلل بمعدلات سريعة في بيئة معينة ومحددة، ولكن ليس من الضروري ان تتحلل بنفس المعدلات في بيئات أخرى. لذلك من المهم للغاية تحديد البيئة والإطار الزمني اللازم لإتمام عملية التحلل الحيوي، حيث أن مصطلح "قابل للتحلل الحيوي" لا معنى له بدون تحديد الظروف البيئية المتوقع أن تحدث بها عملية التحلل الحيوي[39] . ولا يمكن ضمان إتمام عملية التحلل الحيوي بالكامل وبنسبة 100 %، إلا إذا كانت جميع مكونات البوليمر، ونوع الإضافات، والمواد المالئة (الحشوات العضوية) المستخدمة، قابلة ومواتية أيضاً لظروف التحلل الحيوي المحيطة مثل درجة الحرارة، والضغط الواقع عليها، وكمية الكائنات الحية الدقيقة من الميكروبات والبكتيريا الجائعة، والنشاط الجرثومي، ونسبة الأكسجين، ووضعها في بيئة مناسبة سواءً كانت بيئة بحرية، أو بيئة مياه عذبة، أو تربة، أو مرادم، أو تحويلها إلى اسمدة صناعية، إلخ..."

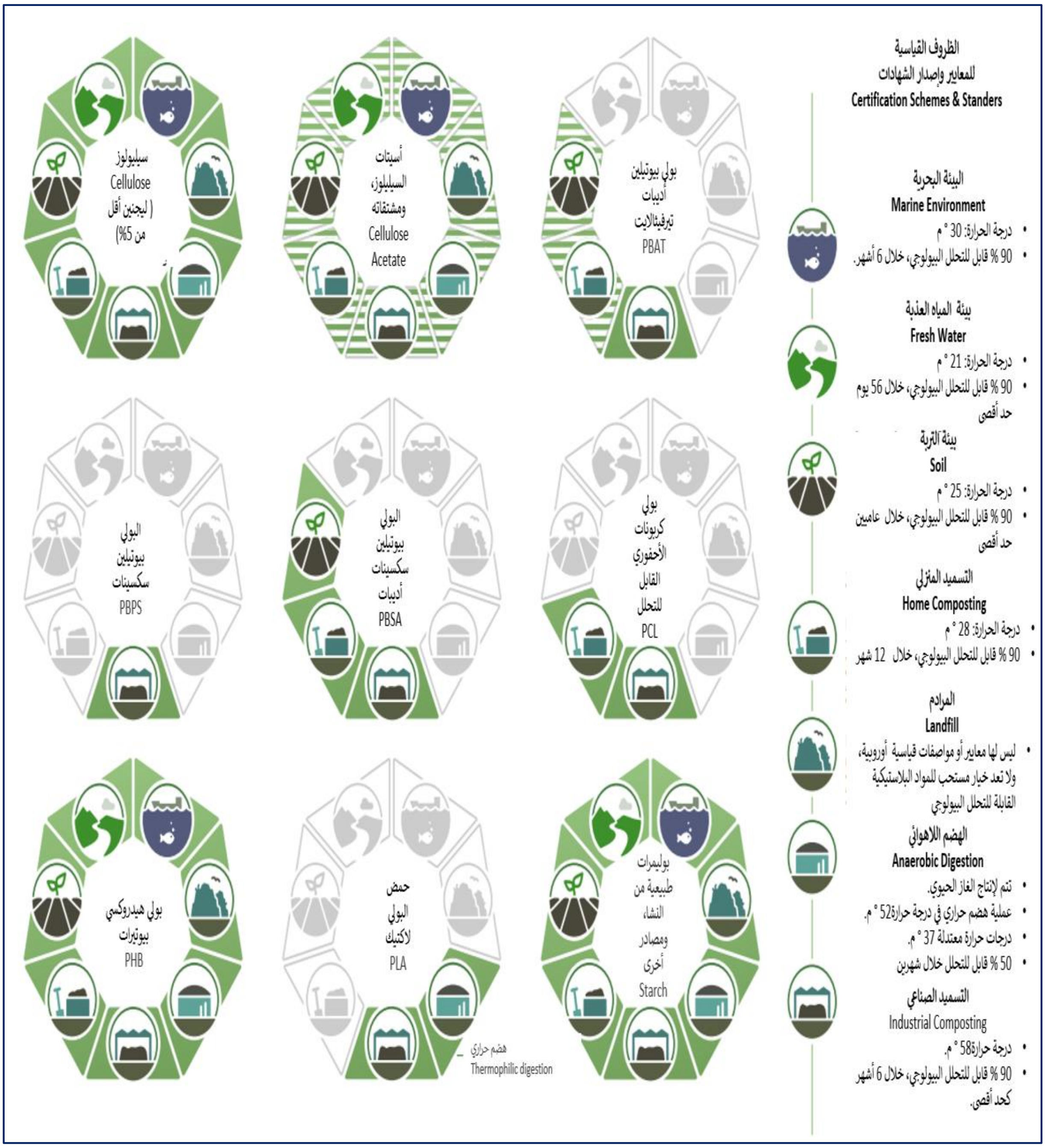
فعلى سبيل المثال نجد ان أنواع محددة من البلاستيك القابل للتحلل الحيوي يتحلل بشكل تام في التربة بفعل الكائنات الحية والبكتريا ليتحول إلى سماد صناعي، ولكنه يتحلل بمعدلات اقل في البيئات البحرية، أو البيئات الأخرى. لذا فقد اعتمد الإتحاد الأوروبي كل من بيئة التسميد الصناعي، وبيئة التدهور اللاهوائي **Anaerobic Degradation**، فقط كمعيار لعمليات التحلل الحيوي الكامل للعبوات البلاستيكية، وذلك نظراً لإمكانية معرفة وتحديد آليات وظروف التحلل الحيوي والتحكم فيها، مما

يسهل من القدرة على تطوير وتطبيق اختبارات معملية تحاكي بعض ظروف التحلل في تلك البيئات، مع إمكانية وضع المعايير اللازمة لها.

تعتبر التربة **Soil**، من أكثر البيئات كفاءة لعمليات التحلل الحيوي وإنتاج الأسمدة العضوية الحيوية بسبب ظروف التحلل بها، وتنوعها الميكروبي الكبير. تعرف الأسمدة الحيوية، بأنها لُقاحات جرثومية **Microbial Inoculants**، تعمل على تحسين خصوبة وإنتاجية النبات والتربة. وتنتج عادةً عن طريق عمليات التخمير بفعل البكتيريا، والفطريات. وتتميز بإنها منتجات غير ملوثة وطبيعية تماماً، وتعمل على زيادة خصوبة التربة بشكل طبيعي، دون إضافة مواد ضارة إلى النباتات أو البذور مقارنة بالأسمدة الكيماوية التقليدية، والتي يمكن أن تؤثر على التربة والمياه الجوفية مسببة تلوث البيئة[40].

وعلى العكس من ذلك يصعب وضع معايير في البيئات المفتوحة، والتي لا يمكن السيطرة على ظروف التحلل بها، كالبيئة البحرية، نظراً لوجود عدد كبير من المتغيرات المتنوعة، من درجات الحرارة، والحياة العضوية البحرية. يبين الشكل (2-25) بعض البيئات وظروف التحلل الحيوي لبعض أنواع البوليمرات الحيوية القابلة للتحلل، وفقاً للمعايير الأوروبية المعمول بها[37] .

الشكل (2-25): بيئات وظروف التحلل الحيوي لبعض أنواع البوليمرات الحيوية القابلة للتحلل، وفقا للمعايير المعمول بها



المصدر: www.renewable-carbon.eu/graphics

من جانب آخر يعد تكوين البلاستيك الحيوي وهيكله البنائي من المحددات الرئيسية المؤثرة على معدلات تحلله، وبالتالي فإن تطوير تصاميم تركيبة، وهيكل البلاستيك الحيوي يؤثر في ارتفاع او انخفاض قابليته للتحلل الحيوي الذاتي.[39] وتعتمد خاصية التحلل الحيوي للبلاستيك الحيوي في البيئات المختلفة، وتطبيقاته الرئيسية، بشكل كبير على نوع المادة الخام الأولية المنتج منها، وأيضاً على نسبة محتواه من الكربون الحيوي، كما يبين **الجدول (2-4).**

الجدول (2-4): مقارنة نسبة الكربون الحيوي، والبيئات المناسبة للتحلل، والمواد الخام الأولية المستخدمة، وأهم الشركات المنتجة، وتطبيقات أهم الأنواع الرئيسية من البوليمرات الحيوية

البلاستيك الحيوي	نسبة محتوى الكربون الحيوي	التحلل الحيوي في تطبيقات محددة	المواد الخام الأولية الحيوية (حال استخدامها)	الشركات الرائدة في الاسواق	التطبيقات الرئيسية
البلاستيك الحيوي غير قابل للتحلل الحيوي					
بولي أميد ذو الأساس الحيوي Bio-PAs (Nylon)	%100-30	غير محدد	قصب السكر، بنجر السكر، الذرة، البطاطس، القمح، زيوت النخيل	رينوفيا Renovia	رقائق، خيوط، أكياس وحيدة الاستعمال، نشارة الرقائق للتربة
بولي تراي مثيلين تيرفيثالايت PTT	%37	غير محدد	قصب السكر، بنجر السكر، الذرة، البطاطس، القمح	ديوبنت DuPont	ألياف للغزل والنسج، السجاد، تعبئة الأغذية، البلاستيك الهندسي
بلاستيك ذو أساس أحفوري قابل للتحلل					
بولي بيوتيلين أديبات تيرفيثالايت PBAT	%50-0	اسمدة صناعية	كتلة حيوية	باسف BASF	رقائق، خيوط، أكياس وحيدة الاستعمال، نشارة للتربة
سكسينات بولي بيوتيلين PBS	%20-0	اسمدة صناعية، ومنزلية	كتلة حيوية	ميتسوبيشي كيميكالز Mitsubishi Chemicals	رقائق، أكياس، تعبئة الأغذية ومستحضرات التجميل
بولي كابرولاكتون PCL	%0	غير محدد	غير محدد	غير محدد	استخدامات طبية

تابع الجدول (2-4): مقارنة نسبة الكربون الحيوي، والبيئات المناسبة للتحلل، والمواد الخام الأولية المستخدمة، وأهم الشركات المنتجة، وتطبيقات أهم الأنواع الرئيسية من البوليمرات الحيوية

البلاستيك الحيوي	نسبة محتوى الكربون الحيوي	التحلل الحيوي في تطبيقات محددة	المواد الخام الأولية الحيوية (حال استخدامها)	الشركات الرائدة في الاسواق	التطبيقات الرئيسية
البلاستيك الحيوي قابل للتحلل الحيوي					
حمض البولي لاكتيك PLA	%100	أسمدة	قصب السكر، بنجر السكر، القمح، البطاطس، الذرة	ناتشرورك NatureWorks	العبوات، الأكياس، الأكواب، الأنابيب، الأواني الخاصة بالأغذية
بولي هيدروكسي ألكانات PHA	%100	أسمدة صناعية، ومنزلية، قابل للتحلل في المياه، والتربة، والمياه البحرية	قصب السكر، بنجر السكر، القمح، البطاطس، الذرة	دانمر ساينتفيك Danimer Scientific	العبوات، الأكياس، الأكواب، الأنابيب، الأواني الخاصة بالأغذية، التطبيقات الطبية
البلاستيك الممزوج بالنشا Starch Blends	%100-25	يعتمد على المخلوط blend أسمدة، قابل للتحلل في التربة	الذرة، والقمح، والبطاطس	نوفامونت Novamont	أكياس
سكسينات البولي بيوتيلين ذو الأساس الحيوي Bio-PBS	%100-20	أسمدة صناعية ومنزلية	قصب السكر، بنجر السكر، قمح، ذرة، بطاطس	ميتسوبيشي كيميكالز Mitsubishi Chemicals	رقائق، أكياس، تعبئة منتجات غذائية ومستحضرات تجميل
البلاستيك الحيوي غير قابل للتحلل الحيوي					
بولي إيثيلين تيرفيثالايت الحيوي Bio-PET	%30-20 ماهي النسبة الباقية	غير محدد	الأغلب من قصب السكر، وإمكانية إنتاجية من بنجر السكر، والنشا	إندوراما Indorama	القناني البلاستيكية، الرقائق، وتعبئة الأغذية
البولي إيثلين الحيوي Bio-PE	% 100	غير محدد	قصب السكر، بنجر السكر، الذرة، البطاطس، القمح	براسكيم Braskem	تعبئة، رقائق، أكياس وحيدة الاستخدام
البولي إيثلين فورانوات	%100	غير محدد	قصب السكر، بنجر السكر، الذرة، البطاطس، القمح	أفانتيوم/ باسف Avantium/ BASF	قناني، غزل ونسج، تعبئة الأغذية، سجاد، إلكترونيات، وصناعة سيارات
البولي بروبيلين الحيوي Bio-PP	%30	غير محدد	قصب السكر، بنجر السكر، الذرة، البطاطس، القمح	فكيور FKUR	تعبئة، غزل ونسج، قناني، عملات بلاستيكية

المصدر: An Assessment of the Value Chain for BioBased and Biodegradable Plastics in Norway,2018

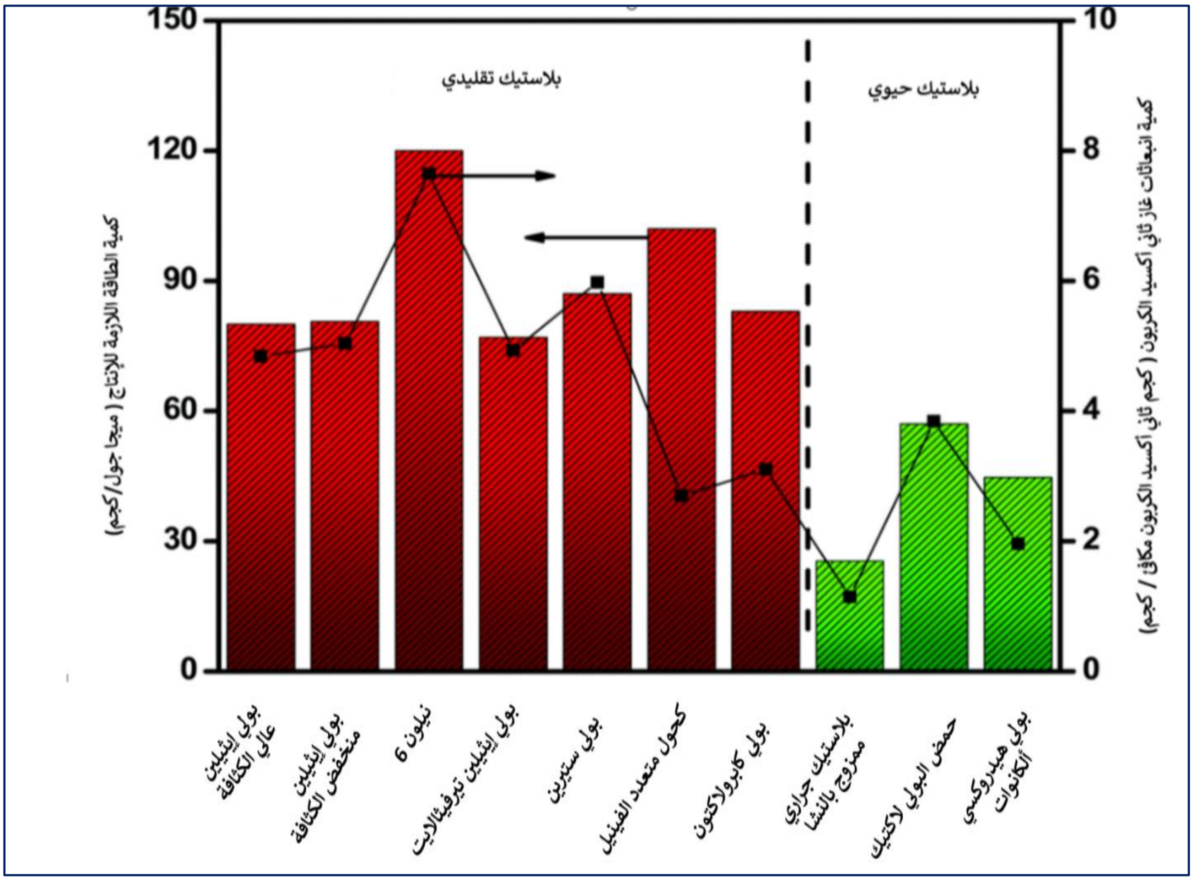
3-2: البلاستيك الحيوي والأثر البيئي

تمثل النفايات البلاستيكية التقليدية تهديداً مباشراً للبيئة البرية والبحرية، نتيجة المدد الزمنية الطويلة اللازمة لتحللها اعتمادا على الظروف البيئية. وبسبب ارتفاع التيارات المحيطية، تراكمت كميات ضخمة من النفايات البلاستيكية مكونةً جزر متناثرة من النفايات في مختلف محيطات العالم. فضلاً عن إطلاق الغازات السامة بشكل متكرر نتيجة احتراقها الذاتي، بما يسهم في زيادة نسب غازات الدفيئة في الغلاف الجوي، وخاصة غاز ثاني أكسيد الكربون. بينما يتميز حرق البلاستيك الحيوي في محطات حرق النفايات لإنتاج الطاقة، بأن كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المحررة أو المنبعثة عند الاحتراق تكون فقط بقدر ما تم استهلكه النبات خلال فترة نموه.

وتشير بعض التقديرات إلى أن البلاستيك الحيوي قد ساهم في خفض نسب انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون ضمن مفهوم الحياد الكربوني، وكذلك المساهمة في خفض كمية استهلاك الطاقة اللازمة لإنتاجه، فعلى سبيل المثال يسهم إنتاج بعض المنتجات البلاستيكية الحيوية من بوليمر حمض البولي لاكتيك في خفض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، فمثلاً إنتاج حوالي 10 آلاف قطعة ملابس منه، يخفض انبعاثاتها بنحو 540 غالون. كما أن إنتاج 100 ألف عبوة بلاستيكية لتعبئة المياه سعة 1 لتر، يسهم في خفض كميات الانبعاثات بمقدار نحو 1160 غالون. بينما إنتاج 250 ألف عبوة بلاستيكية متوسطة الحجم لحفظ الأطعمة يمكن من خفض كميات الانبعاثات بمقدار حوالي 3000 غالون. كما تشير التقديرات إلى أن إنتاج مليون قطعة من الأكواب والملاعق والأطباق، يسهم في خفض كميات الانبعاثات بمقدار حوالي 5950 غالون من الغازات. أما إنتاج 20 مليون كيس بلاستيكي وحيد الاستخدام، كفيل بأن يسهم في

خفض كميات انبعاثات غاز الدفيئة بمقدار حوالي 30 ألف غالون من الغازات. كما هو مبين في الشكل (2-26).

الشكل (2-26) مقارنة كمية انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة، والطاقة اللازمة لإنتاج كل من البلاستيك التقليدي والبلاستيك الحيوي

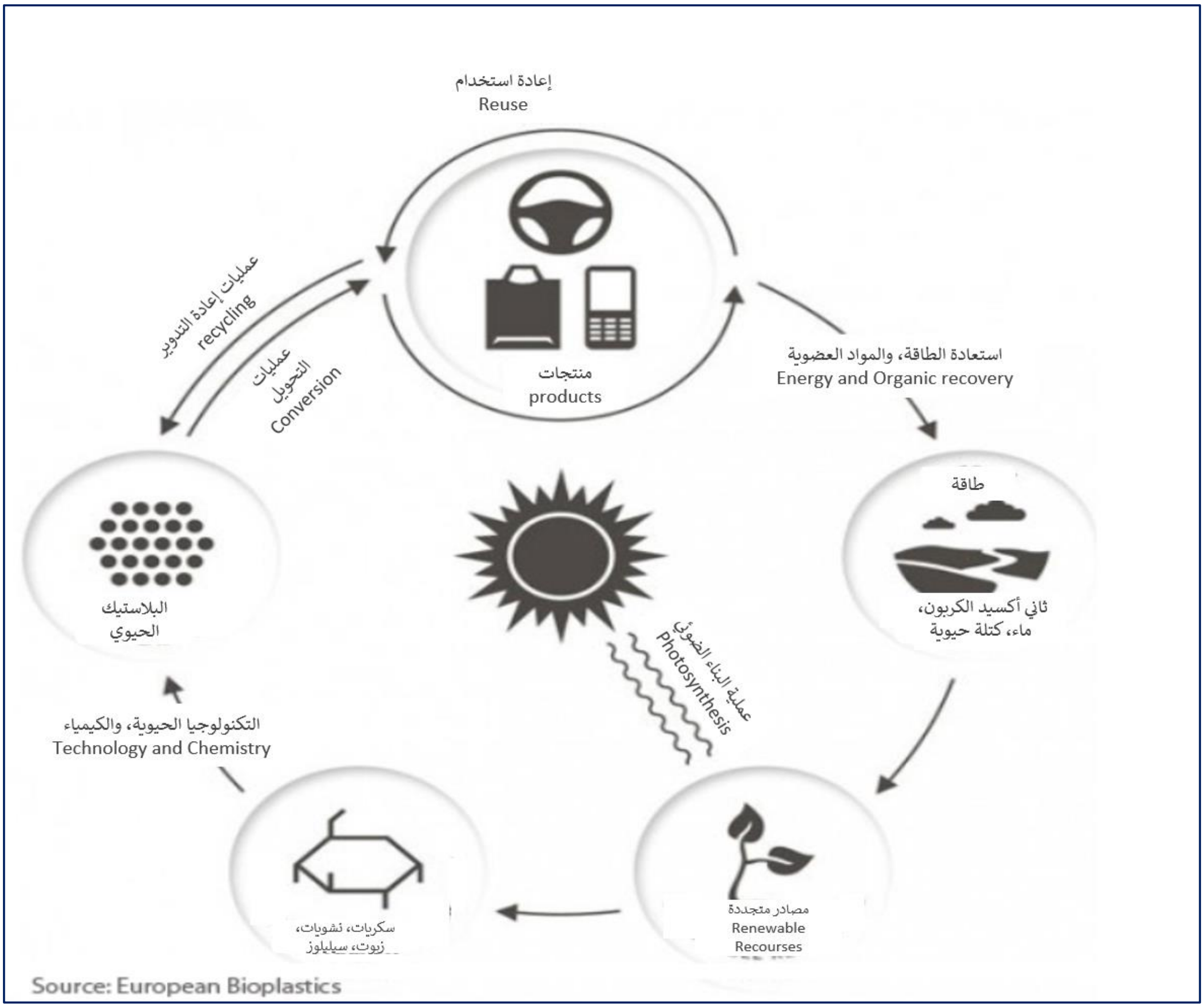


المصدر: Kjeld W. Meereboer, Review of recent advances in the biodegradability of Polyhydroxyalkanoate (PHA) bioplastics and their composites,2020.

هذا ويتطلب تقييم الحياد الكربوني للمواد البلاستيكية الحيوية تحليلاً دقيقًا مع ضرورة مراعاة سلسلة الإنتاج بأكملها، بدءاً من زراعة المواد الخام من المحاصيل الغذائية من النباتات التقليدية، وانتهاءً بالتخلص منها. حيث يعد التسميد الصناعي للأراضي أحد الحلول الممكنة، إلا ان انبعاث غاز أكسيد النيتروز (NO_2)، نتيجة التوسع في عمليات التسميد بهذه الطريقة، قد يسبب ضرراً للبيئة. ومع ذلك، لم يكن تحويل البلاستيك الحيوي إلى سماد في كثير من الأحيان أمر سهل حتى الآن، لأنه يتطلب تجهيز بيئة مناسبة، موجودة فقط في منشآت التسميد الصناعي. إلا أنه من خلال الالتزام

بمعايير الاستدامة على طول سلسلة الإنتاج والتخلص منها، يمكن تحقيق فوائد مناخية وتوازن بيئي إيجابي مقارنة بالبلاستيك التقليدي. حيث يتم توفير الكتلة الحيوية اللازمة لإنتاج البلاستيك مرة أخرى من خلال دورة الكربون المغلقة، لاستعادتها من خلال نمو نباتات جديدة عن طريق التسميد، وبالتالي تساهم في ارتباط غاز ثاني أكسيد الكربون بالتربة. يبين الشكل (2-27) نموذج مثالي لدورة حياة البلاستيك الحيوي المنتج من موارد متجددة وقابل للتسميد.

الشكل (2-27): نموذج مثالي لدورة حياة البلاستيك الحيوي المنتج من موارد متجددة وقابل للتسميد



المصدر: http://www.biokunststoffe.de/index.php?option=com_content&view=article&id=43&Itemid=123&lang=en

2-3-1: إعادة تدوير نفايات البلاستيك الحيوي

يعتمد اختيار أفضل مسارات معالجة نفايات أي منتج على كمياتها في الاسواق، والبنية التحتية المتاحة لعمليات المعالجة. وفقًا للتوجهات العالمية بشأن إدارة النفايات، فهناك أولويات للحد من كميات تلك النفايات على هيئة تسلسل هرمي، ويأتي على راسها المنع، ثم إعادة الاستخدام، ثم إعادة التدوير، فعمليات استرداد الطاقة منها، واخيراً مرحلة التخلص منها بالدفن في المكبات والمرادم الأرضية.

لا يؤدي بالضرورة استبدال اللدائن التقليدية بالبلاستيك الحيوي القابلة للتحلل الحيوي و / أو القابلة للتحلل، إلى حل مشكلات استنفاد الموارد وتراكم النفايات البلاستيكية. وللوصول إلى اقتصاد دائري بلاستيكي مستدام، يجب أن يتوازى إنتاج البلاستيك الحيوي المتنامي مع الحلول والاستراتيجيات الأخرى اللازمة للتعامل مع نفاياته البلاستيكية بعد نهاية فترة العمر الفعالة لنفايات الحيوية.

وفي حين تظهر أهمية تطبيق تقنيات إعادة تدوير نفايات البلاستيك الحيوي غير القابل للتحلل الحيوي مثل البولي إيثيلين تيرفيثالايت، والبولي إيثيلين الحيوي، والبولي بروبيلين الحيوي، فإن الأمر يختلف بالنسبة للبلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي، التي غالباً ما يُنظر إلى التحلل البيولوجي لها على أنه الخيار الوحيد المقبول لنهاية العمر الافتراضي. لكن معظم أنواع البلاستيك الحيوي القابل للتحلل، على سبيل المثال، بوليمر حمض البولي لاكتيك، والبولي هيدروكسيل كانوتيه تتحلل ببطء في ظل الظروف المحيطة، حتى في وجود الكائنات الحية الدقيقة.

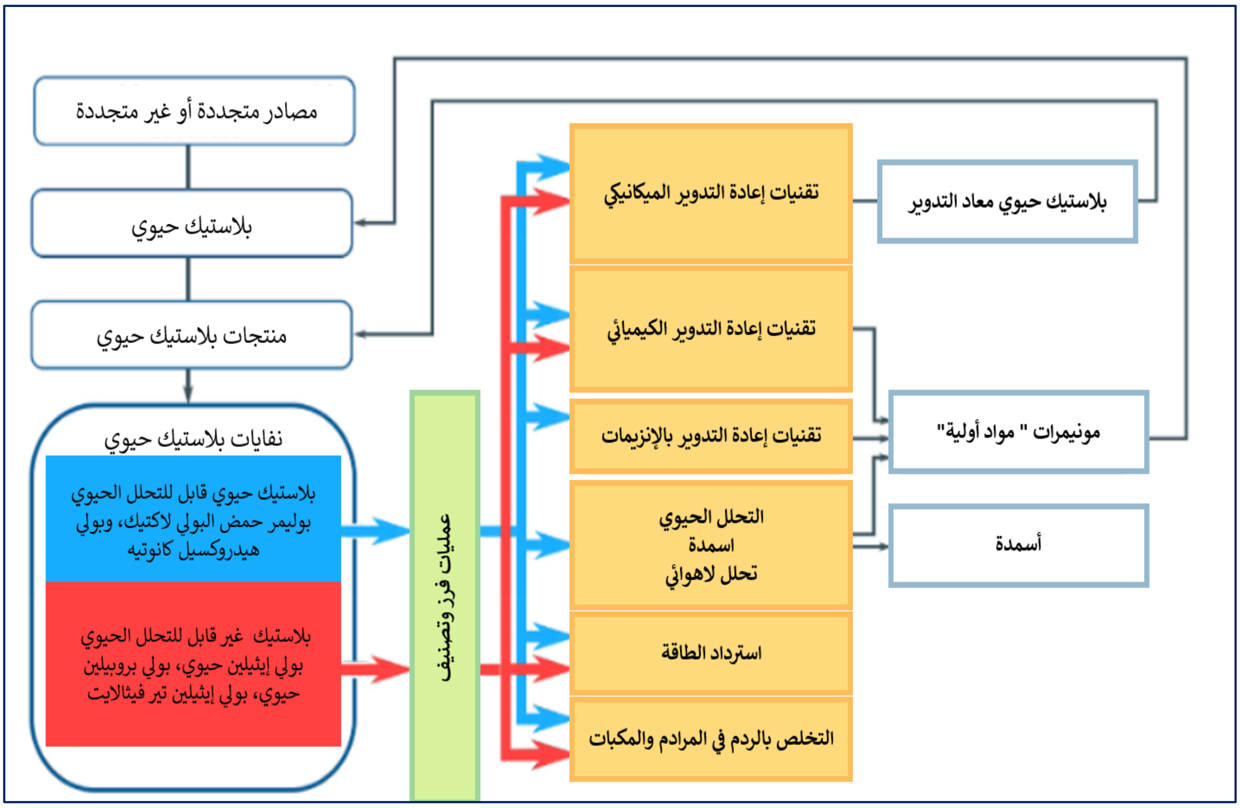
كما أن التحلل الحيوي لا يهدف عادةً إلى استعادة المواد البلاستيكية أو المونيمرات لإعادة إدخالها في دورة حياة المنتجات البلاستيكية، في حين أن هذا هو الهدف الأساسي لخيارات إعادة التدوير للنفايات البلاستيكية الاحفورية، سواءً بطرق،

إعادة التدوير الميكانيكية، أو الكيميائية، والتي تهدف إلى الحفاظ على الموارد الأولية. و نظراً لأن معدلات نمو الطلب على إنتاج البلاستيك الحيوي آخذه في الزيادة، وستتواجد لعقود قادمة مع البلاستيك التقليدي، فمن الضروري إيجاد أفضل المسارات التقنية للتعامل مع نفاياتها بعد نهاية العمر لها [75].

من جانب آخر فإن نواتج إعادة تدوير نفايات البلاستيك الحيوي غير قابل للتحلل الحيوي مثل البولي إيثيلين، والبولي إيثيلين تيرفيثالايت الحيوي يمكن خلطها بنظيراتها الجديدة، وهو ما لا ينطبق دائماً على المواد البلاستيكية الحيوية القابلة للتحلل. حيث ان البلاستيك الحيوي القابل للتحلل، وخاصة تلك المستخدمة في التعبئة والتغليف، يتم تحويل نفاياتها إلى سماد حيوي، وهو ما يتطلب عمليات فرز دقيقة وصارمة، وهو ما ينعكس مباشرةً على زيادة تكاليف مصروفات التشغيل. لذلك، لا ينبغي الافتراض المسبق أن التحلل البيولوجي للنفايات البلاستيكية هو الاختيار الأفضل دائماً نهاية العمر للبلاستيك القابل للتحلل، ولكن يجب استكشاف جميع استراتيجيات إعادة التدوير المتاحة، من أجل تعظيم الفوائد البيئية لهذه النفايات.

هناك طرق وتقنيات متعددة لمعالجة النفايات البلاستيكية القابلة للتحلل الحيوي، حيث يمكن إعادة تدويرها ميكانيكياً، للحصول على بلاستيك معاد تدويره يمكن استخدامه لنفس الغرض المستخدم فيه البلاستيك الجديد ولكن في تطبيقات تتطلب جودة اقل. كما يمكن إعادة تدوير البلاستيك الحيوي بالطرق الكيميائية لتحويله إلى مكوناته الأولية كوحدات بناء للبوليمرات الجديدة أو المواد الكيميائية ذات القيمة المضافة المرتفعة. وفي حالات الجودة المنخفضة للنفايات البلاستكية الحيوية، يمكن تطبيق تقنيات الحرق لإنتاج الطاقة، كما هو مبين في الشكل (2-28).

الشكل (2-28): مسارات معالجة النفايات البلاستيكية الحيوية القابلة للتحلل وغير قابلة للتحلل



المصدر: Giulia Fredi, Recycling of bioplastic waste: A review, Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, Volume 4, Issue 3, July 2021, Pages 159-177

2-3-2: قيود استخدامات البلاستيك الحيوي القابل للتحلل

تكمن القيمة السوقية للبلاستيك الحيوي في أدائه القابل للتحلل الحيوي عند التخلص منه. إلا أن إنتاجه يواجه عدد من التحديات الاقتصادية، وتتمثل في ارتفاع تكاليف إنتاجه نسبياً، فضلا عن تحديات تصنيعية نظرا لقلة كميات إنتاجه عالميا، وعدم تمتعه بكافة الخواص المميزة للبلاستيك الأحفوري التقليدي. و لايزال استخدام البلاستيك الحيوي القابل للتحلل محدوداً في بعض التطبيقات، نتيجة ضعف بعض خواصه مقارنة بالبلاستيك التقليدي، لذا فإنه عادةً ما يتم مزج البوليمرات الحيوية القابلة للتحلل مع بوليمرات أخرى لتحسين الخواص الأدائية والميكانيكية مثل، الليونة، أو الصلابة، أو الثبات الحراري [74]. إلا أن مزج البوليمرات الحيوية مع بوليمرات أخرى قد يؤثر على خاصية القابلية للتحلل.

من جانب أخر يعتبر استخدام الأراضي الزراعية في إنتاج المحاصيل الغذائية بدلاً من إنتاج الغذاء مشكلة، وظهرت بوادرها قبل الأزمة المالية عام 2008، بسبب زيادة كميات انتاج الوقود الحيوي وما نتج عنه من ارتفاع حاد في أسعار المواد الغذائية، إلا أن ذلك لا ينطبق بشكل مباشر على إنتاج البلاستيك الحيوي نظراً لصغر حجم إنتاجه، وليس هناك تعارض في استخدام الأراضي الزراعية لتوفير المواد الخام الأولية اللازمة لإنتاج البلاستيك الحيوي من الجيل الأول، وقضايا الامن الغذائي سواءً للإنسان او الحيوان. فعلى سبيل المثال بلغت نسبة الأراضي المخصصة لإنتاج نباتات الطاقة في أوروبا حوالي 0.1٪ فقط من الأراضي الصالحة للزراعة بها، وكانت هذه المساحة كافية لتلبية الطلب من تلك الدول بأكملها في عام 2008 من البلاستيك الحيوي من الجيل الأول، إلى جانب ذلك، إنتاج البلاستيك الحيوي من الجيل الثاني، اعتمادا على الكتلة الحيوية من النباتات غير الغذائية، والنفايات الزراعية [77].

منظمة الأقطار
العربية المصدرة
للبترول(أوابك)

الفصل:
الثالث

تطورات إنتاج البلاستيك الحيوي في العالم والدول الأعضاء في أوابك

الفصل الثالث

الأسواق العالمية للبلاستيك الحيوي، وجهود الدول الأعضاء في اوابك

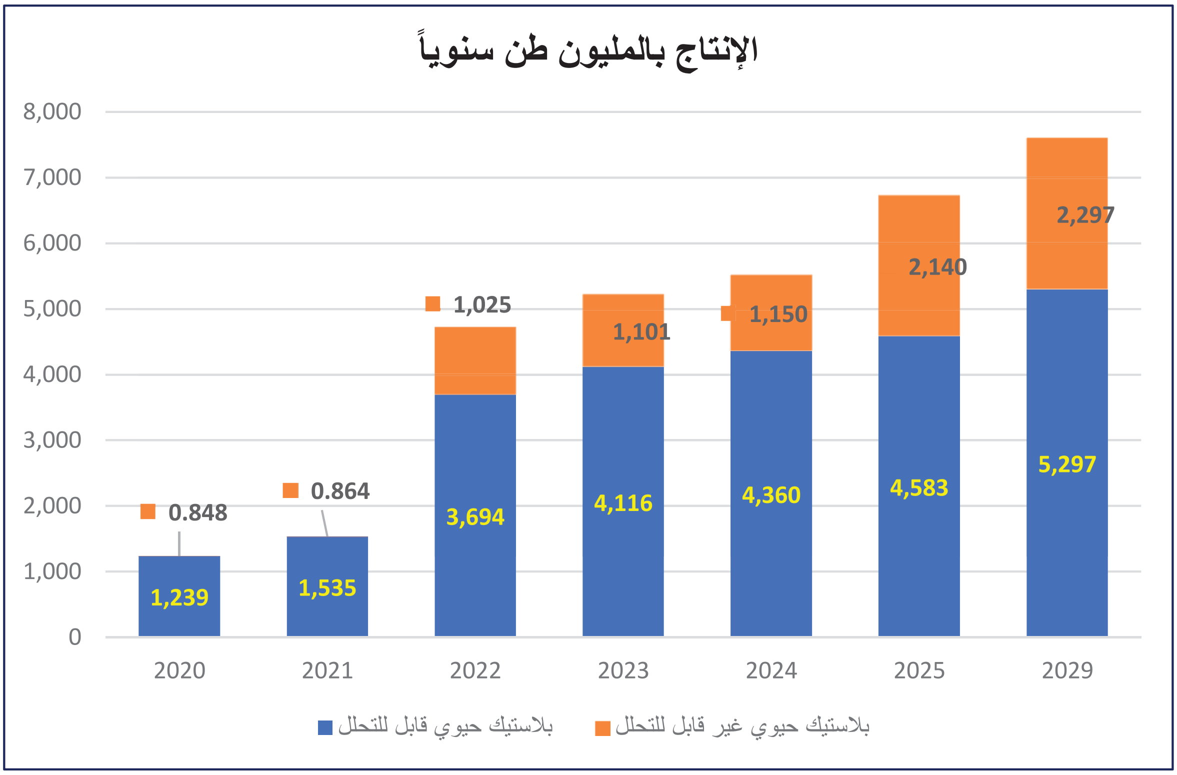
تمهيد

أظهرت عدد من منتجات البلاستيك الحيوي الجديدة والمبتكرة معدلات نمو عالية، ومن المتوقع أن تزيد الطاقات الإنتاجية لبعض أنواع منها خلال الخمس السنوات القادمة لنحو عشرة أضعاف كميات إنتاجها الحالي، نتيجةً لزيادة الاستثمارات الجديدة والمعلنة في الولايات المتحدة الأمريكية، وعدد من دول أوروبا [65].

3-1: تطور الإنتاج العالمي من البلاستيك الحيوي

بلغ الإنتاج العالمي من البلاستيك الحيوي في عام 2021 حوالي2.399 مليون طن وهو ما يمثل نحو 0.6 % من إجمالي الإنتاج العالمي من البتروكيماويات، والمقدر بنحو 367 مليون طن. ومن المتوقع أن يزداد معدل النمو السنوي المركب للبلاستيك الحيوي بنسب تتراوح ما بين 10-15 ٪ خلال العقد القادم، لترتفع الطاقات الإنتاجية العالمية إلى ما يقرب من 6,723 مليون سنوياً في عام 2025، وإلى نحو 7,593 مليون طن في عام 2029، كما هو مبين في الشكل (3-1).

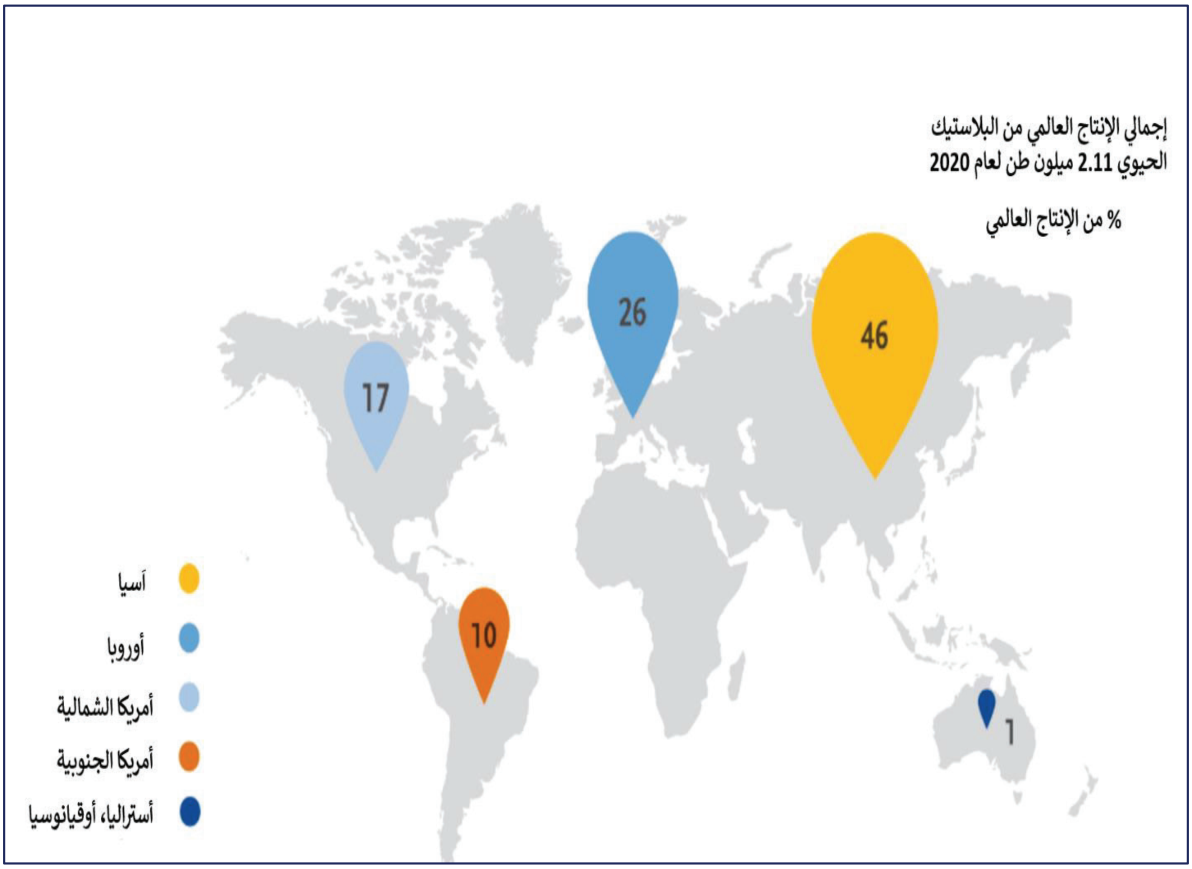
الشكل (3-1): مخطط تطور إنتاج البلاستيك الحيوي والتوقعات المستقبلية خلال الفترة (2020-2029)



المصدر: Bioplastics Market Development Update 2021, European bioplastic organization

تحتل دول منطقة آسيا موقع الريادة في إنتاج البلاستيك الحيوي، حيث تنتج حوالي 46% من إجمالي الإنتاج العالمي، وستظل مركزاً رئيسياً للإنتاج خلال الخمس سنوات المقبلة. تليها أوروبا بنسبة حوالي 26 %. بينما تنتج دول منطقة أمريكا الشمالية حوالي 17%، ومن المتوقع أن ترتفع إلى 18% بحلول عام 2025، وتأتي أمريكا الجنوبية في المرتبة الرابعة بنسبة 10%، في حين تأتي أستراليا ودول أوقيانوسيا في المرتبة الخامسة بنسبة 1 %. يبين الشكل (3-2) نسب إنتاج المناطق الرئيسية من البلاستيك الحيوي لعام 2020.

الشكل (3-2): نسب إنتاج المناطق الرئيسية من البلاستيك الحيوي لعام 2020



المصدر: Bioplastics Market Development Update 2020, European bioplastic organization

من جانب آخر تهيمن دول أوروبا على أنشطة البحث والتطوير للتكنولوجيا الحيوية، وتمثل اسواقها أعلى معدلات الطلب العالمية على البتروكيماويات الخضراء، بينما تظل أمريكا الشمالية منتجاً هاماً لغالبية المواد الكيميائية المتجددة أو المواد الخام الأولية الحيوية.

كان عام 2020 عاماً مميزاً بالنسبة للبلاستيك الحيوي، حيث تم تسويق كميات ملموسة من بوليمر حمض البولي لاكتيك، والذي بلغ إنتاجه أكثر من 400 ألف طن سنوياً، مقارنة بنحو 120 ألف طن فقط في عام 2014. كما قُدرت قيمة أسواق بوليمر حمض البولي لاكتيك بنحو 525 مليون دولار أمريكي، ومن المتوقع أن يزداد الطلب

العالمي عليه بمعدل نمو سنوي تراكمي **CAGR** يبلغ نحو 18.1٪ خلال الفترة 2021-2028 [58].

تشير التوقعات بأن الأسواق الإقليمية لمنطقة آسيا والمحيط الهادئ، هي الأسرع نمواً خلال هذه الفترة خاصة في كل من ماليزيا، والصين، والهند، وفيتنام، وتايلاند، وسنغافورة، وكوريا الجنوبية، واليابان، مقروناً ذلك بالتطور المستمر في قطاعات صناعة السيارات، والتعبئة والتغليف. كما تشير التوقعات أيضاً إلى أن دول أمريكا الشمالية كالولايات المتحدة، وكندا ستشهد نمواً كبيراً خلال نفس الفترة، ويعزى ذلك لنمو أسواق الأغذية المغلفة، والوجبات المجمدة والجاهزة. ومن المتوقع أن تشهد المكسيك، ودول أمريكا اللاتينية نمواً ملحوظاً في معدلات الطلب على بوليمر حمض البولي لاكتيك بسبب زيادة إنتاج السيارات، والمنتجات الإلكترونية. من جانب آخر برز عدد من الدول مثل بولندا، وروسيا، وفرنسا، وإسبانيا، والمملكة المتحدة، وألمانيا كمستهلكين رئيسيين لبوليمر حمض البولي لاكتيك بسبب التطوير المستمر لقطاع إنتاج السيارات والنقل. بينما تشير التقديرات إلى أن منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا ستشهد نمواً كبيراً في صناعة النسيج المعتمد على بوليمر حمض اللاكتيك [59].

من جانب أخر تمت إضافة قدرات إنتاجية جديدة للبولي إيثيلين الحيوي، والبولي بروبيلين الحيوي المنتج من النافثا الحيوية، فضلاً عن خطط مشروعات مستقبلية وإعادة توسع في إنتاج مركبات البولي أميد الحيوية من البولي هيدروكسيل كانوتيه، والبولي بيوتيلين أديبات تيرفيثالايت **Polybutylene Adipate-Terephthalate -PBA** [69].

2-3: إنتاج البلاستيك الحيوي في الدول العربية

تعد الدول العربية من المناطق الرئيسية لصناعة البتروكيماويات، وخاصة دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، إلا أن إنتاج البلاستيك الحيوي القابل للتحلل لايزال محدوداً، ومعظم مشروعاته في طور التنمية والدراسة، والبحث والتطوير. وفي ضوء حرص عدد من الدول الأعضاء، وخاصة دولة الإمارات العربية المتحدة، والمملكة العربية السعودية، ودولة قطر، ودولة الكويت، وجمهورية مصر العربية على وجود بدائل في الوقت الحالي للبلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي، فقد اعتمدت تلك الدول سياسات استخدام البلاستيك الأحفوري القابل للتحلل الحيوي بالأكسجين **Oxo-Biodegradable Plastic**، كبديل للعبوات البلاستيكية التقليدية أحادية الاستخدام، وكحل يساهم في مشكلة تراكم النفايات البلاستيكية لمنتجات التعبئة والتغليف. خاصة مع التوقعات بنمو السوق العالمي للعبوات البلاستيكية القابلة للتحلل الحيوي بالأكسجين بمعدلات سنوية مركبة تصل إلى حوالي 5.4٪ حتى عام 2026.

3-2-1: دولة الإمارات العربية المتحدة

أطلقت **دولة الإمارات العربية المتحدة** عام 2020 مبادرة لإنتاج البلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي، وإنتاج قناني بلاستيكية قابلة للتحلل الحيوي منتجة من مواد خام أولية حيوية من حمض البولي لاكتيك، لتعبئة المياه. وتتميز هذه العبوات بقدرتها على تحمل درجات حرارة مرتفعة تصل على 90° م. كما تتميز بتحولها بنسبة 100 % إلى اسمدة حيوية خلال 80 يوماً [71] من دفنها. تهدف المبادرة إلى خفض حوالي 60 % من البصمة الكربونية الناتجة عن منتجات مثيلة من المصادر الأحفورية.

يبين الشكل (3-3) نموذج من القناني البلاستيكية الحيوية المنتجة في دولة الإمارات العربية المتحدة.

الشكل (3-3): نموذج للقناني البلاستيكية الحيوية القابلة للتحلل في دولة الإمارات العربية المتحدة

المصدرhttp://www.gamaconsumer.com/uae-agthia-launches-middle-east-first-bioplastic-bottle/

من جانب آخر، وفي إطار استراتيجيات دولة الإمارات العربية المتحدة في التخلص الآمن من النفايات البلاستيكية، بتحللها ذاتياً، فقد بدأت، بتعديل تركيبة البلاستيك التقليدي على البلاستيك القابل للتحلل الأوكسجيني بطاقة 1000 طن شهرياً، من خلال مشروع شركة سيمفوني بن هلال للبلاستيك المحدودة **Symphony Bin Hilal Plastics LLC**، في ابوظبي، وهو مشروع مشترك يتبع القطاع الخاص بين كل من شركة سيمفوني بلاستيك البريطانية**Symphony Plastics of UK** ، وشركة بن هلال - أبو ظبي **Ben Hilal Enterprises of Abu Dhabi**، بتكلفة استثمارية تبلغ حوالي 25 مليون درهم إماراتي. تتميز هذه النوعية من المنتجات المبتكرة والقابلة للتحلل الأوكسجيني الحيوي بانها تحتفظ بكافة خواصها لمدة عام في درجة حرارة الغرفة، وتتميز الأكياس المنتجة بالتدهور خلال 3 أسابيع فقط، وبعد تعرضها للحرارة والضوء.[72]

كانت وزارة البيئة في دولة الإمارات العربية المتحدة قد أطلقت عدد من المبادرات، ومنها مبادرة تهدف إلى خفض استهلاك الأكياس البلاستيكية ذات الاستخدام الواحد غير القابلة للتحلل وتطبيق نظام الاقتصاد الدائري بهدف خفض البصمة الكربونية في عام 2009. كما صدر قرار مجلس الوزراء رقم 5/376 لسنة 2009 لحظر الطباعة على الأكياس البلاستيكية غير القابلة للتحلل. وقامت وزارة البيئة بتنظيم تداول الأكياس والمنتجات البلاستيكية القابلة للتحلل، واعتماد مواصفة قياسية إلزامية بشأن خواص نحو 15 منتج قابل للتحلل الحيوي الأوكسجيني، وذلك بهدف التسريع في استخدامه.

3-2-2: دولة الكويت

تماشياً مع رؤية الكويت 2035 لتكون من بين الدول الخالية من التلوث، والصديقة للبيئة، وبما يتوافق مع برنامج المسؤولية الاجتماعية والبيئية، أطلق اتحاد الجمعيات التعاونية الاستهلاكية، والمصنع العربي للبلاستيك، التابع لشركة مجموعة الخضيري، مبادرة لتشجيع استخدام البلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي بالأكسجين، بالتعاون مع شركة ويلز بلاستيك ليميتد **WELLS Plastics Limited**، والتي تعد من أكبر شركات إنتاج الإضافات والمنتجات المتخصصة في المملكة المتحدة. تهدف المبادرة إلى تقليل الآثار السلبية للأكياس البلاستيكية غير القابلة للتحلل على صحة الإنسان والبيئة العامة [73].

ومن جانب أخر هناك عدد من الدراسات والبرامج الجامعية التي تهدف إلى إنتاج البلاستيك الحيوي القابل للتحلل، حيث نجح فريق علمي من جامعة الكويت في إنتاج البلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي من مخلفات الأسماك، وخلطة مع بوليمر حمض البولي لاكتيك، ليتحلل المنتج الجديد تماماً خلال 21 يوم [74].

3-2-3: المملكة العربية السعودية

بلغ الطلب على البلاستيك القابل للتحلل الحيوي في المملكة العربية السعودية نحو 16 ألف طن سنوياً في عام 2020، ومن المتوقع أن يصل إلى 29 ألف طن بحلول عام 2030، بمعدل نمو سنوي مركب يصل إلى 6.25٪ [75] . وفي هذا الشأن أطلقت المملكة العربية السعودية عدد من المبادرات الحكومية، في إطار إستراتيجية المملكة نحو التنوع الاقتصادي، وسياسة الاقتصاد الدائري الكربوني، ضمن خيارات النمو الأخضر للمملكة العربية السعودية في إطار رؤية المملكة 2030 [67]. شملت تلك المبادرات إصدار هيئة المواصفات والمقاييس السعودية (ساسو)، لائحة في عام 2017، تهدف إلى إلزام الشركات المنتجة والمستوردة على تغليف كافة المنتجات التي يتمي تصنيعها أو استيرادها بمنتجات بلاستيكية قابلة للتحلل الحيوي بالأكسجين.

3-2-4: دولة قطر

تنتج دولة قطر حوالي 4 الاف طن سنوياً من البلاستيك القابل للتحلل الحيوي بالأكسجين، حيث أسست مصنع الحياة للبلاستيك في المنطقة الصناعية الجديدة بالدوحة في عام 2008، لإنتاج المنتجات المستخدمة في أنشطة التغليف المرن للأغذية، وقطاعات الزراعة، والمستهلكات الصحية.

3-2-5: جمهورية مصر العربية

أعلنت وزارة البترول في جمهورية مصر العربية في عام 2021، وفي إطار الخطة القومية المحدثة للبتروكيماويات 2020-2035، عن حزمة من المشروعات في مجال صناعة البتروكيماويات الخضراء. شملت اتخاذ الإجراءات التنفيذية لمشروع الشركة المصرية للإيثانول الحيوي، في مدينة دمياط، بطاقة 100 ألف طن سنوياً من مولاس بنجر السكر (شمندر)، بتكلفة استثمارية للمشروع تبلغ حوالي 100 مليون دولار أمريكي.

يستخدم الإيثانول الحيوي في عدد من الصناعات الكيماوية، وتشمل إنتاج الإيثلين والبولي إيثيلين الحيوي، وحمض الخليك، الأسيتالديهيد، والأسيتون، والإيثيل أسيتات، بالإضافة إلى إنتاج الأحبار والدهانات. هذا وقد كان لجمهورية مصر العربية السبق في إنتاج الإيثانول الحيوي من خلال شركات السكر المحلية، واستخدامه في إنتاج الإيثيلين الحيوي بطاقة 60 ألف طن سنوياً لإنتاج البولي فينيل كلوريد بواسطة شركة **تي سي إي سنمار** الهندية في منطقة بورسعيد.

كما اعلنت وزارة البترول في مايو 2022، عن التخطيط لتنفيذ عدد ثلاث مشروعات أخرى في مجال البتروكيماويات الخضراء، وهي مشروع استخلاص زيت الطحالب بالتعاون مع شركة "ريجا جرين إنيرجي" الإماراتية، وإنتاج النافثا الحيوية بطاقة إنتاجية 350 ألف طن سنوياً، وباستثمارات تصل إلى حوالي 600 مليون دولار، بالإضافة إلى مشروع آخر لإنتاج حمض البولي لاكتيك ، بطاقة 75 ألف طن سنوياً، وباستثمارات مالية تصل إلى نحو 600 مليون دولار، والمشروع الثالث لتحويل مخلفات البلاستيك إلى مواد أولية بنائية، لإنتاج البولي إيثيلين المستدام بطاقة إنتاجية 30 ألف طن سنوياً باستثمارات 50 مليون دولار.

وعلى صعيد البحث العلمي نجح باحثون تابعين للمركز القومي للبحوث في عزل أنواع من البكتريا الموجودة في التربة لإنتاج البلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي من نوع البولي بيتا هيدروكسي بيوتيرات.

الخلاصة والاستنتاجات

إن التطور المستمر لتكنولوجيا إنتاج البلاستيك الحيوي من الجيل الثاني، وتعظيم الاستفادة من النفايات الزراعية، يسهم في زيادة إنتاجها على النطاق التجاري، وبما ينعكس على خفض تكلفة إنتاجه، وتحسين مواصفاته الميكانيكية والأدائية، فضلاً عن تحسين البيئة وخفض البصمة الكربونية ضمن مفهوم الحياد الكربوني الذي تسعى له كافة الدول الأعضاء في منظمة أوابك ضمن رؤى وإستراتيجيات تلك الدول.

1. الكيماويات الحيوية أحد الخيارات والحلول المتاحة لحل مشكلات تراكم كميات النفايات البلاستيكية، وخفض البصمة الكربونية، والتحول نحو تحقيق إستراتيجيات الانبعاثات الصفرية.
2. يعتمد التطور المستقبلي للبتروكيماويات الخضراء، وخاصةً من الجيل الثاني على مدى توافر المواد الخام الأولية الحيوية بكميات كافية وبأسعار تنافسية، ونمو معدلات الطلب العالمية في أسواق المنتجات الحيوية.
3. يسهم نمو الطلب على الكيماويات والبوليمرات الحيوية القائمة على أساس حيوي في زيادة الاعتماد على مجمعات المصافي الحيوية، وتطوير تكنولوجيا مرنة للتعامل مع كافة أنواع المواد الخام الأولية من الكتلة الحيوية
4. الانتقال من صناعة الكيماويات الأحفورية إلى الحيوية يتطلب زيادة ضخ الاستثمارات العالمية الضخمة في هذا المجال.
5. خفض تكلفة إنتاج البوليمرات الحيوية يرتبط ارتباطا وثيقاً بالتحول نحو إنتاجها على النطاق التجاري، وتوفر المواد الخام الأولية المناسبة، وبأسعار مناسبة.

6. وضع الخطط، والاستراتيجيات، والأطر التنظيمية للدول الأعضاء نحو إدراج إنتاج البوليمرات الحيوية من الجيل الثاني او الثالث ضمن رؤاها المستقبلية، حال ثبوت جدواها الاقتصادية من إنتاجها.
7. التوسع في إنتاج البلاستيك الحيوي يلزمه اتخاذ عدد من التدابير والحلول الإبداعية المشجعة على إنتاجه واستهلاكه، وزيادة الوعي المجتمعي بأهمية البلاستيك الحيوي.

المراجع

1. W. Keim, Petrochemicals: Raw Material Change from Fossil to Biomass, ISSN 09655441, Petroleum Chemistry, Vol. 50, No. 4, 2010 pp. 298–304.

2. Kafarski, P. Rainbow code of biotechnology. Chemik 66., 2012, 814–816.

3. Barcelos, M.C.S., Lupki, F.B., Campolina, G.A., Nelson, D.L., Molina, G. The colors of biotechnology: general overview and developments of white, green and blue areas, 2018.

4. Trident Renewables ,Renewable Chemicals & Biodegradable Products,2022. Https://Www.Tridentchemicals.Com.

5. Herbert Boyer, Biotechnology: Principles and Processes,2022.

6. Ramos, M.V., Melo, D.F., Silva, A.L.C. Biotechnologies, 2016.

7. Based on Kafarski, P., Rainbow code of biotechnology. Chemik 6,2012., 814–816.

8. Tang and Zhao, 2009; Carole et al., 2004; Philp et al., 2013; Barcelos et al., 2018; DSM, 2004; European Union, 2003; EuropaBio, 2003; OECD Report, 2001; William et al., 1999.

9. Chukwuma S. Ezeonu, et al, Can “White Biotechnology” Help Create a Green Chemicals Industry? The Environmental and Energy Study Institute (EESI),2009.

10. McKinsey and Company, Industrial Biotech—New Value-Creation opportunity, Presentation at the Bio conference, Yee York, 2003.

11. Pratima Bajpai, Biotechnology in the Chemical Industry, Towards A Green and Sustainable Future, ELSEVIER, 2019.

12. Javier Garcia Martinez - Bioplastics can solve one of the main pollution problems, Scientific American, 2019.

13. Sina Ebnesajjad, Handbook Of Biopolymers and Biodegradable Plastics Properties, Processing, And Applications,2013.

14. S&P Global Platts , Bio-petrochemicals, ,2021.

15. S&P Global Platts, Europe's nascent bio naphtha market gearing up to serve demand for cleaner fuels and petchems ,2021.

16. S&P Global Platts Bio-petrochemicals from feedstocks to plastics: the rise of bio-based alternatives, 2021.

17. Research & markets, World Bio-based Poly Propylene (PP) Market - Opportunities and Forecasts, 2017 – 2023, 2019.

18. European Bioplastics, Plastics Market Development Update 2020, European bioplastic organization,2020.

19. Science Direct, GhadaAtiwesh, et al, Environmental impact of bioplastic use: A review, Volume, September 2021, e07918.

20. K. JimJemm The development and challenges of poly (lactic acid) and poly (glycolic acid), Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, Volume 3, Issue 2, April 2020, Pages 60-70

21. Philp, J.C.; Ritchie, R.J.; Allan, J.E.M. Biobased chemicals: The convergence of green chemistry with industrial Biotechnology. Trends Biotechnol. 2013, 31, 219–222.

22. Molina-Besch, K.; Palsson, H. A Supply Chain Perspective on Green Packaging Development-Theory Versus Practice. Pack. Technol. Sci. 2016, 29, 45–63.

23. Ain UMAIRA Md Shah ,Overview Of Bioplastic Introduction And Its Applications In Product Packaging, Coatings 2021,11, 1423

24. Simon Hann, The Norwegian Environment Agency Bio-Based And Biodegradable Plastics, Eunomia,2019.

25. Jabeen, N.; Majid, I.; Nayik, G.A.; Jabeen, N.; Majid, I.; Nayik, G.A., Bioplastics And Food Packaging: A Review. Cogent. Food Agric. 2015, 42.

26. Joseph P. Greene, Sustainable Plastics, Environmental Assessments of Biobased, Biodegradable, and Recycled Plastics, 2014 .

27. Alexey Iordanskii Bio-Based and Biodegradable Plastics: From Passive Barrier to Active Packaging Behavior, MDPI, 2020.

28. Nguyen, H.T.H.; Qi, P.; Rostagno, M.; Feteha, A.; Miller, S.A. The quest for high glass transition temperature bioplastics. J. Mater. Chem. A 2018, 6, 9298–9331.

29. Valentina Siracusa, Bio-Polyethylene (Bio-PE), Bio-Polypropylene (Bio-PP) and Bio-Poly(ethylene terephthalate) (Bio-PET): Recent Developments in Bio-Based Polymers Analogous to Petroleum-Derived Ones for Packaging and Engineering Applications, 2020 Aug; 12(8): 1641.

30. Niaounakis, M., Recycling of biopolymers—The patent perspective. Eur. Polym. J. 2019, 114, 464–475.

31. Karin Molenveld, Maarten van der Zee, Harriëtte, Bio-based and biodegradable plastics - Facts and Figures Focus on food packaging in the Netherlands Martien van den Oever ,2017.

32. Simon Hann, Bio-based and Biodegradable Plastics in Denmark Market, Applications, Waste Management and Implications in the Open Environment, 2020.

33. Nova Institute, et al., Biodegradable Polymers in Various Environments According to Established Standards & Certification Scheme,2018.

34. The Norwegian Environment Agency, Bio-Based and Biodegradable Plastics,2018.

35. Steven Savage Replacing Petro-chemicals with Bio-Based Alternatives,2016.

36. Maharana, T.; Mohanty, B.; Negi, Y.S., Melt-solid polycondensation of lactic acid and its biodegradability. Prog. Polym. Sci. 2009, 34, 99–124.

37. Jin, F.L.; Hu, R.R.; Park, S.J. Improvement of thermal behaviors of biodegradable poly (lactic acid) polymer: A review. Compos. Part B Eng. 2019, 164, 287–296.

38. Hamad, K.; Kaseem, M.; Yang, H.W.; Deri, F.; Ko, Y.G. Properties and medical applications of polylactic acid: A review. Express Polym. Lett. 2015, 9, 435–455.

39. Jie Ren, Biodegradable Poly (Lactic Acid): Synthesis. Modification, Processing and Application, Springer,2010.

40. Abdel-Rahman, M.A.; Tashiro, Y.; Sonomoto, K. Lactic acid production from lignocellulose-derived sugars using lactic acid bacteria: Overview and limits. J. Biotechnol. 2011, 156, 286–301.

41. Helen Shiphrah, V.; Sahu, S.; Ranjan Thakur, A.; Ray Chaudhuri, S. Screening of bacteria for lactic acid production from whey water. Am. J. Biochem. Biotechnol. 2013, 9, 118–123.

42. Abedi, E.; Hashemi, S.M.B. Lactic acid production—Producing microorganisms and substrates sources-state of art. Heliyon 2020, 6, e04974.

43. Nduko, J.M.; Taguchi, S. Microbial production of biodegradable lactate-based polymers and oligomeric building blocks from renewable and waste resources. Front. Bioeng. Biotechnol. 2021, 8, 1–18.

44. Risheng, Y., L-lactic acid production from Lactobacillus case by solid state fermentation using rice straw. Bioresources 2007, 2, 419–429.

45. Park, J.; Cho, H.; etal,. Design of a novel process for continuous Lactide synthesis from lactic acid. Ind. Eng. Chem. Res. 2018, 57, 11955–11962.

46. Jem, K.J.; Tan, B., The development and challenges of poly (lactic acid) and poly (glycolic acid). Adv. Ind. Eng. Polym. Res. 2020, 3, 60–70

47. 1 K. Jim Jem, The development and challenges of poly (lactic acid) and poly (glycolic acid), Advanced Industrial and Engineering Polymer Research,2020.

48. Li, G.; Zhao, M.; Xu, F.; Yang, B.; Li, X.; Meng, X.; Teng, L. Synthesis and biological application of polylactic acid. Molecules 2020, 25, 5023.

49. Farah, S.; Anderson, D.G.; Langer, R., Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications—A comprehensive review. Adv. Drug Deliv. Rev. 2016, 107, 367–392.

50. Research and markets , Polylactic Acid Market Size Share and Trends, 2021.

51. MRFR: Pune, Polylactic Acid Market Size, Trends, Industry Growth and Research Report—Forecast to 2027; 2021; 138p.

52. Rutika Sehgal and Reena Gupta ,Polyhydroxyalkanoate and its efficient production: an eco-friendly approach towards development,2020.

53. Plastemart.com, Biopolymer has good global growth prospects,2022.

54. Sina Ebnesajjad, Handbook of Biopolymers And Biodegradable Plastics Properties, Processing, And Applications,2013.

55. BahramKhan, Effect of ultra-violet cross-linking on the properties of boric acid and glycerol co-plasticized thermoplastic starch films, ScienceDirect,2019.

56. Joseph P. Greene, Sustainable Plastics Environmental Assessments of Biobased, Biodegradable, and Recycled Plastics, 2014 .

57. Muniyasamy, S.; Reddy, M.M.; Misra, M.; Mohanty, A. Biodegradable green composites from bioethanol co-product and poly (butylene adipate-co-terephthalate). Ind. Crops Prod. 2013, 43, 812–819.

58. Filipe V. Ferreira, etal., An overview on synthesis, properties and applications of poly(butylene-adipate-co-terephthalate)–PBAT, Adv30, advanced Industrial and Engineering Polymer Research, Volume 3, Issue 1, January 2020, Pages 19-26

59. Valentina Siracusa, Review Bio-Polyethylene (Bio-PE), Bio-Polypropylene (Bio-PP) and Bio-Poly(ethylene terephthalate) (Bio-PET): Recent Developments in Bio-Based Polymers Analogous to Petroleum-Derived Ones for Packaging and Engineering Applications,2018.

60. Gordon L. Robertson , Biobased But Not Biodegradable, Food Technology Magazine,2009.

61. European Bioplastics, European BioplasticsReport,2019.

62. Bio-based Building Blocks and Polymers – Global Capacities, Production and Trends 2020–2025.

63. Times Kuwait, Alarabi Plastic Factory announces the launch of its environmental initiative, 2020.

64. Pressreader, Bioplastic production using shrimp waste, Arab Times, 2019.

65. Market Research, Saudi Arabia Biodegradable Polymers Market Analysis: Plant Capacity, Production, Operating Efficiency, Technology, Demand & Supply, End-User Industries, Distribution Channel, Regional Demand, 2015-2030 .May 2021.

البحث الأول

66. European Union Websites, EU – GCC Dialogue on Economic Diversification Gulf Cooperation Council (GCC) Countries Study on Circular Economy developments in the GCC region and opportunities for collaboration with the European Union April 2021.

67. Kjeld W. Meereboer, Review of recent advances in the biodegradability of Polyhydroxyalkanoate (PHA) bioplastics and their composites,2020.

68. Dr. Janet Nelson, Renewable Chemicals Present Major Opportunity to Commercialize Industrial Biotechnology, Biotechnology Journal article ,2010.

69. Giulia Fredi, Recycling of bioplastic waste: A review, Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, Volume 4, Issue 3, July 2021, Pages 159-177.

70. Jin, F.L.; Hu, R.R.; Park, S.J. Improvement of thermal behaviors of biodegradable poly (lactic acid) polymer: A review. Compos. Part B Eng. 2019, 164, 287–296.

71. Joseph P. Greene, Sustainable Plastics Environmental Assessments of Biobased, Biodegradable, and Recycled Plastics, 2014 .

72. Chukwuma S. Ezeonu, etal, Can “White Biotechnology” Help Create a Green Chemicals Industry? The Environmental and Energy Study Institute (EESI),2009.

البحـــث الثاني

الآفاق المستقبلية لأسواق النفط العالمية
ما بعد جائحة فيروس كروونا

ماجد عامر *

* باحث اقتصادي اول - الإدارة الاقتصادية - أوابك - الكويت

الجزء الأول

تداعيات جائحة فيروس كورونا على أسواق النفط العالمية

يقدم هذا الجزء استعراضاً عاماً للتطورات في أسواق النفط العالمية خلال النصف الثاني عام 2021، والفترة المنقضية من عام 2022، من خلال ابراز حجم التعافي الذي شهدته تلك الأسواق من تداعيات جائحة كورونا، لاسيما الطلب العالمي على النفط وامداداته وأسعاره ونشاط الاستثمار في الصناعة.

أولاً: التطورات في الطلب العالمي على النفط

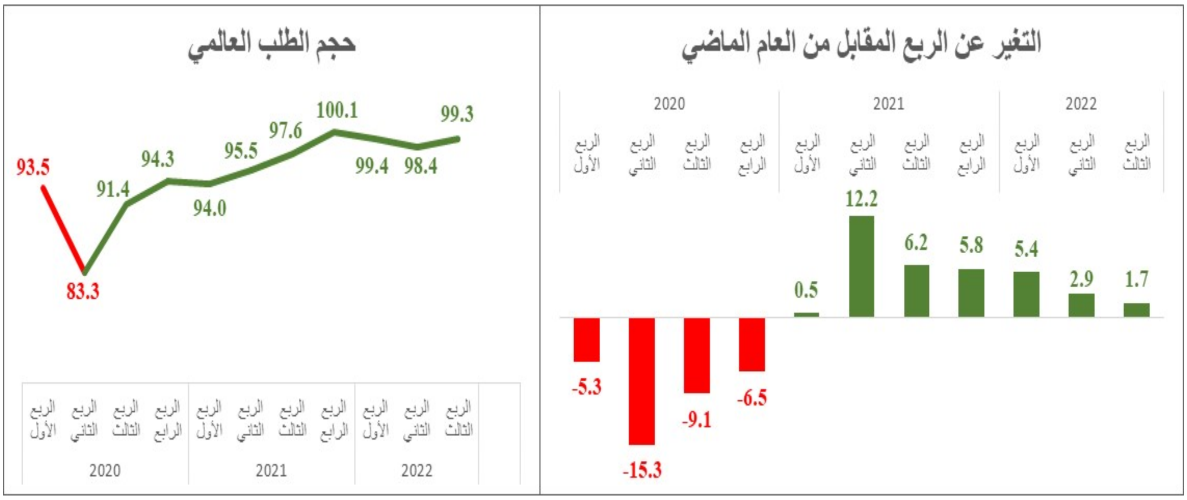
عقب التراجع الحاد والقياسي في الطلب العالمي على النفط في عام 2020 بسبب جائحة فيروس كورونا المستجد، شهد عام 2021، لا سيما النصف الثاني منه، تعافياً ملحوظاً في الطلب، بالتزامن مع إلغاء/تخفيف القيود على حركة التنقل والسفر المرتبطة بالجائحة. فقد ارتفع الطلب العالمي على النفط من حوالي 94.3 مليون ب/ي خلال الربع الرابع من عام 2020 ليصل إلى حوالي 97.6 مليون ب/ي خلال الربع الثالث من عام 2021 مسجلاً بذلك ارتفاعاً ملحوظاً بأكثر من 3 مليون ب/ي خلال تلك الفترة.

ومع الانتعاش المطرد في الطلب في منطقة آسيا والمحيط الهادئ والاقتصادات الآسيوية الرئيسية بما في ذلك الهند والصين، تزامناً مع التعافي الاقتصادي ورفع المزيد من القيود المرتبطة بجائحة فيروس كورونا المستجد، واصل الطلب العالمي على النفط انتعاشه في الربع الرابع من عام 2021، ليصل إلى 100.1 مليون ب/ي، مرتفعاً بحوالي 2.5 مليون ب/ي مقارنة بالربع السابق، ليبلغ إجمالي حجم التعافي الذي شهدته أسواق النفط منذ الربع الثالث من عام 2020 هو ارتفاع الطلب على النفط بنحو 16.8 مليون ب/ي.

وخلال الربع الأول من عام 2022، انخفض الطلب العالمي على النفط إلى حوالي 99.4 مليون ب/ي، مسجلاً بذلك تراجع بلغ نحو 0.7 مليون ب/ي مقارنة بالربع السابق، ويعزى ذلك إلى انخفاض طلب الدول الأوروبية والصين والولايات المتحدة الأمريكية، في ظل ضعف النمو الاقتصادي والتوترات الجيوسياسية في شرق أوروبا وموجة جديدة من الإصابات بفيروس كورونا في الصين. بينما كان لإنهاء عمليات الإغلاق ورفع القيود المفروضة على حركة

التنقل في الهند وباقي الدول الآَسيوية النامية ودول الشرق الأوسط وأفريقيا، دوراً في الحد من الانخفاض في الطلب. وواصل الطلب انخفاضه خلال الربع الثاني من عام 2022 ليصل إلى حوالي 98.4 مليون ب/ي، على خلفية تراجع الطلب في كل من دول آَسيا/المحيط الهادئ (لا سيما اليابان وكوريا الجنوبية) وروسيا والهند ودول الشرق الأوسط وأفريقيا، في حين كان لتعافي الطلب في كل من الصين وباقي الدول الآَسيوية ودول أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية، دوراً في الحد من انخفاض الطلب العالمي. يأتي ذلك قبل أن يتعافى خلال الربع الثالث من عام 2022، ليرتفع إلى حوالي 99.3 مليون ب/ي، بدعم من زيادة الطلب في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (لا سيما الدول الأوروبية التي تسعى لضمان أمن الطاقة في ظل الأزمة الروسية الأوكرانية)، ودول منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا، والصين، في حين كان لتراجع الطلب على النفط في الهند، وباقي الدول الآَسيوية، ودول أوراسيا (باستثناء روسيا)، دوراً في الحد من ارتفاع الطلب العالمي، ***كما هو موضح بالشكل (1) والجدول (1).***

الشكل (1)
الطلب العالمي على النفط خلال الفترة (2020 – 2022)
(مليون برميل/اليوم)



المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

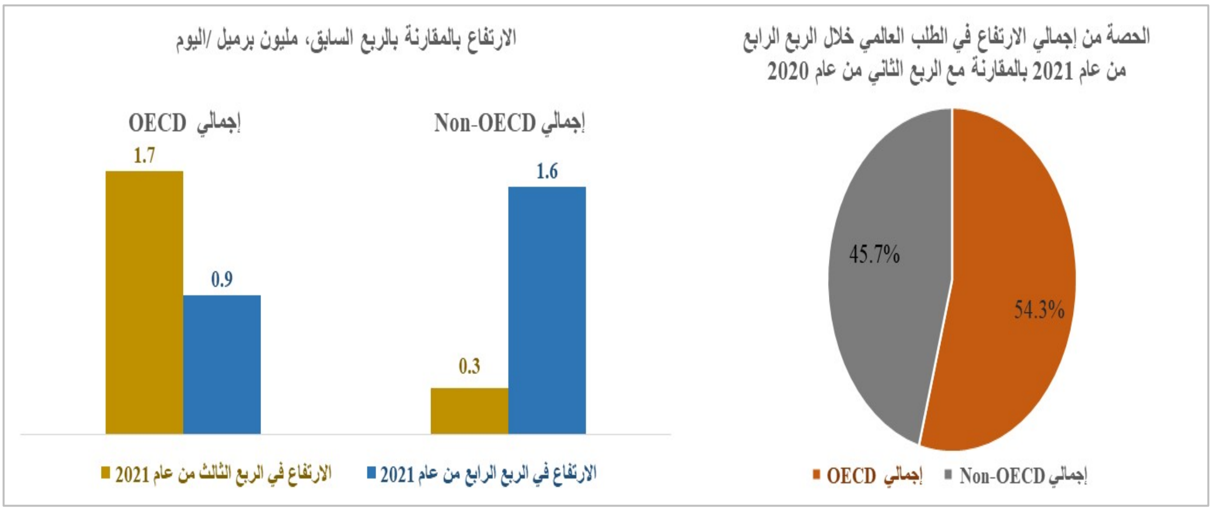
الجدول (1)
الطلب العالمي على النفط خلال الفترة (2020 – 2022)
(مليون برميل/اليوم)

	الربع الأول	الربع الثاني	الربع الثالث	الربع الرابع
2020	93.5	83.3	91.4	94.3
2021	94.0	95.5	97.6	100.1
2022	99.4	98.4	99.3	*101.3

* بيان تقديري لمنظمة أوبك – نوفمبر 2022.
المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

وعلى مستوى المجموعات الدولية الرئيسية، كانت مجموعة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD هي المصدر الرئيسي للارتفاع الذي شهده الطلب العالمي على النفط خلال النصف الثاني من عام 2021 بالمقارنة مع مستوياته في الربع الثاني من عام 2020، حيث ارتفع طلب هذه المجموعة بنحو 9.1 مليون ب/ي مشكلا بذلك 54.3% من إجمالي الارتفاع في الطلب العالمي على النفط خلال الربع الرابع من عام 2021 بالمقارنة مع مستوياته في الربع الثاني من عام 2020 والمقدر بنحو 16.8 مليون ب/ي. وفي المقابل، ارتفع طلب الاقتصادات النامية والمتحولة بنحو 7.7 مليون ب/ي خلال الربع الرابع من عام 2021 بالمقارنة مع مستوياته في الربع الثاني من عام 2020، مشكلا بذلك نحو 45.7% من إجمالي الارتفاع في الطلب العالمي على النفط خلال هذه الفترة. ويعزى ذلك بشكل رئيسي إلى التفاوت في الحصول على أدوات مكافحة جائحة فيروس كورونا كاللقاحات، فبينما وصلت نسبة السكان الحاصلين على جرعات تلقيح كاملة إلى 70% في الدول مرتفعة الدخل، ولم تتجاوز هذه النسبة 4% فقط في الدول منخفضة الدخل، وفقاً لتقديرات صندوق النقد الدولي، ***كما هو موضح بالشكل (2) والجدول (2).***

الشكل (2)
الارتفاع في طلب المجموعات الدولية الرئيسية على النفط خلال النصف الثاني من عام 2021



المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

الجدول (2)
الطلب العالمي على النفط خلال الفترة (الربع الثاني 2020 – الربع الرابع 2021)
(مليون برميل/اليوم)

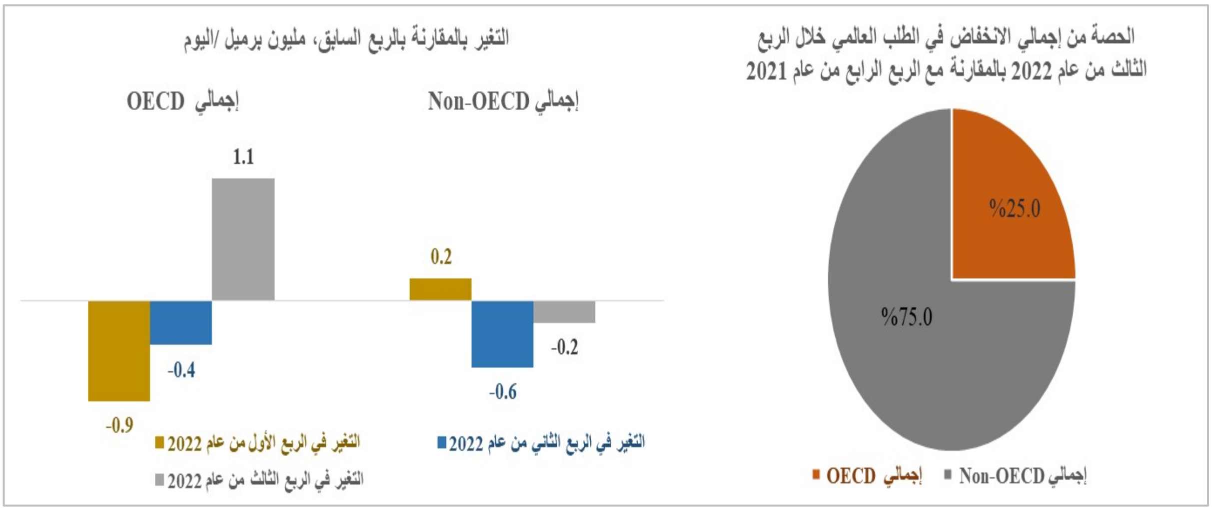
	الربع الثاني 2020	الربع الثالث 2021	الربع الرابع 2021
إجمالي OECD	37.6	45.8	46.7
إجمالي Non-OECD	45.7	51.8	53.4
إجمالي الطلب العالمي	**83.3**	**97.6**	**100.1**

المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

ومع بدء الأزمة الروسية الأوكرانية في شهر فبراير 2022، تغير هذا الاتجاه خلال الربع الأول من عام 2022، حيث انخفض طلب مجموعة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية على النفط بنحو 0.9 مليون ب/ي بالمقارنة مع مستوياته في الربع السابق، بينما ارتفع الطلب في الاقتصادات النامية والمتحولة بنحو 200 ألف ب/ي. وتراجع طلب كلا المجموعتين خلال الربع الثاني بحوالي 0.4 مليون ب/ي و0.6 مليون ب/ي على التوالي. يأتي ذلك قبل أن يتعافى طلب مجموعة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية خلال الربع الثالث من عام 2022، مسجلاً ارتفاعا بنحو 1.1 مليون ب/ي. بينما استمر التراجع في طلب الاقتصادات النامية والمتحولة، وإن كان بوتيرة أقل بلغت نحو 200 ألف ب/ي.

وبذلك تكون الاقتصادات النامية والمتحولة هي المصدر الرئيسي لإجمالي التراجع الذي شهده الطلب العالمي على النفط خلال الفترة المنقضية من عام 2022 بالمقارنة بمستوياته في نهاية عام 2021، حيث بلغت حصة هذه المجموعة نحو 75% من إجمالي الانخفاض في الطلب العالمي على النفط خلال الربع الثالث من عام 2022 بالمقارنة مع مستوياته في الربع الرابع من عام 2021 والمقدر بنحو 0.8 مليون ب/ي، بينما بلغت حصة مجموعة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية نحو 25% من إجمالي الانخفاض في الطلب العالمي على النفط خلال نفس الفترة، ***كما هو موضح بالشكل (3) والجدول (3)***.

الشكل (3)
التغير في طلب المجموعات الدولية الرئيسية على النفط خلال الفترة المنقضية من عام 2022



المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

الجدول (3)
الطلب العالمي على النفط خلال الفترة المنقضية من عام 2022
(مليون برميل/اليوم)

	الربع الأول 2022	الربع الثاني 2022	الربع الثالث 2022
إجمالي OECD	45.8	45.4	46.5
إجمالي Non-OECD	53.6	53.0	52.8
إجمالي الطلب العالمي	**99.4**	**98.4**	**99.3**

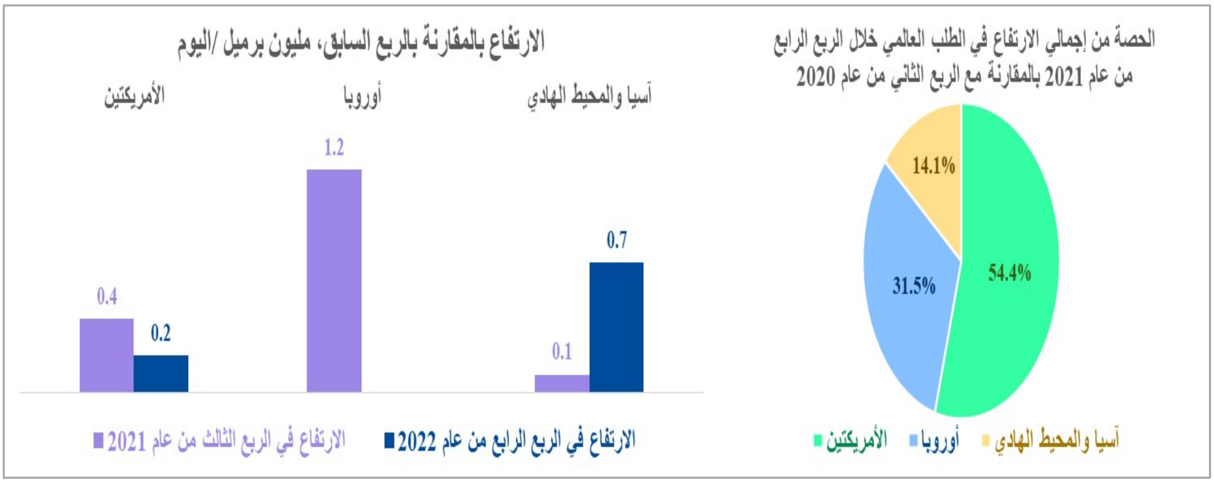
المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

وبالنسبة لمجموعة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD، كانت دول الأمريكيتين المصدر الرئيسي للارتفاع الذي شهده طلب المجموعة على النفط خلال النصف الثاني من عام 2021 بالمقارنة مع مستوياته في الربع الثاني من عام 2020، حيث ارتفع طلب دول الأمريكيتين على النفط خلال الربع الرابع من عام 2021 بالمقارنة مع مستوياته في الربع الثاني من عام 2020 بنحو 5 مليون ب/ي، لتشكل حصة دول الأمريكيتين نحو 54.4% من إجمالي الارتفاع في طلب مجموعة الدول الأعضاء في OECD على النفط خلال ذات الفترة والمقدر بنحو 9.2 مليون ب/ي، ويعزى ذلك بشكل رئيسي إلى التعافي القوي في الطلب على النفط في الولايات المتحدة الأمريكية.

كما ارتفع طلب دول أوروبا على النفط خلال نفس الفترة بنحو 2.9 مليون ب/ي، لتشكل حصتها نحو 31.5% من إجمالي الارتفاع في طلب مجموعة الدول الأعضاء في OECD على النفط. يأتي ذلك بدعم من الانتعاش المضطرد في استهلاك وقود النقل، في ظل زيادة أنشطة السفر الإقليمية تماشياً مع إزالة القيود المرتبطة بجائحة فيروس كورونا.

وارتفع طلب دول آسيا والمحيط الهادئ الأعضاء في OECD على النفط خلال الربع الرابع من عام 2021 بالمقارنة مع مستوياته في الربع الثاني من عام 2020 بنحو 1.3 مليون ب/ي، لتشكل حصتها نحو 14.1% من إجمالي الارتفاع في طلب مجموعة الدول الأعضاء في OECD على النفط، حيث ساهم تسارع وتيرة حملات التطعيمات ضد فيروس كورونا في زيادة الطلب على الغازولين والديزل في جميع دول المنطقة، وكذلك ارتفاع الطلب على الوقود الصناعي في ظل تحسن الصادرات، ***كما هو موضح بالشكل (4) والجدول (4)***.

الشكل (4)
التغير في طلب مجموعة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية على النفط خلال النصف الثاني من عام 2021



المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

الجدول (4)
طلب مجموعة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية على النفط خلال الفترة (الربع الثاني 2020 – الربع الرابع 2021)
(مليون برميل/اليوم)

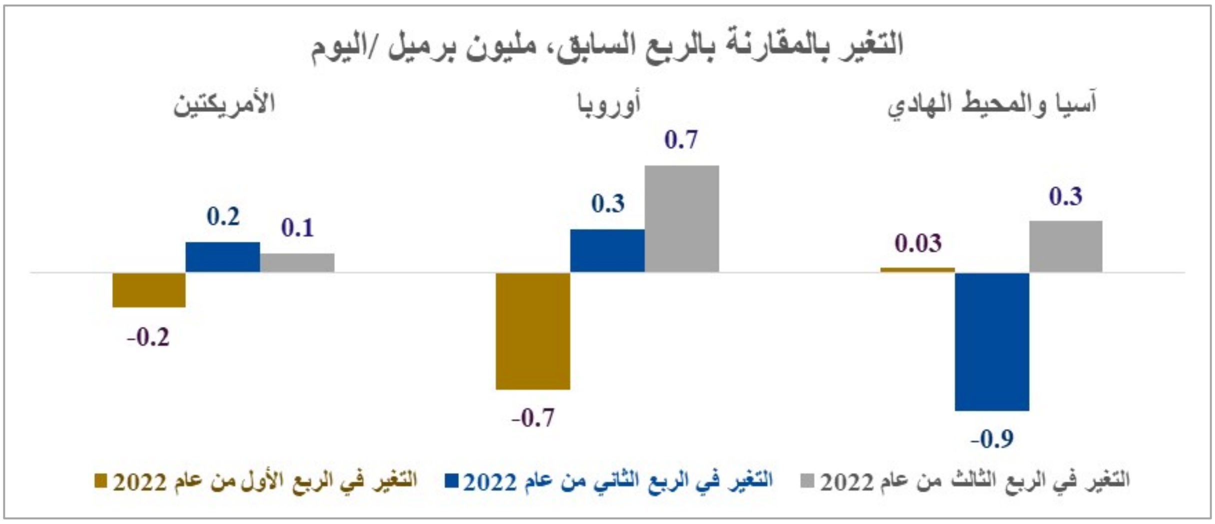
	الربع الثاني 2020	الربع الثالث 2021	الربع الرابع 2021
الأمريكيتين	20.0	24.8	25.0
أوروبا	11.0	13.9	13.9
آسيا والمحيط الهادي	6.5	7.1	7.8
إجمالي OECD	**37.6**	**45.8**	**46.7**

المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

وخلال الفترة المنقضية من عام 2022، تباطئ نمو طلب دول الأمريكتين على النفط، حيث انخفض في الربع الأول متأثراً بتراجع الطلب على النفط في الولايات المتحدة الأمريكية للمرة الأولى منذ عام 2020 في ظل إلغاء الرحلات الجوية ونقص العاملين في قطاع الطيران المرتبط بتدابير احتواء فيروس كورونا، وتباطؤ الأنشطة الاقتصادية الرئيسية. وارتفع طلب دول الأمريكيتين بشكل نسبي خلال الربعين الثاني والثالث بدعم من زيادة الطلب المحلي الأمريكي على الغازولين والديزل ووقود الطائرات خلال موسم القيادة الصيفي. وانخفض طلب **دول أوروبا** على النفط بشكل ملحوظ في الربع الأول من عام 2022 في ظل تصاعد التطورات الجيوسياسية في شرق أوروبا التي كان لها أثر سلبي على النمو الاقتصادي في الدول الأوروبية، قبل أن يرتفع الطلب خلال الربع الثاني بدعم من التخفيف التدريجي لقيود السفر في مختلف الدول الأوروبية الذي كان له

دور في تعافي حركة السفر الدولي، وواصل طلب دول أوروبا ارتفاعه خلال الربع الثالث وبشكل ملحوظ على خلفية تركيز دول أوروبا على تحقيق أمن الطاقة في ظل الأزمة الروسية الأوكرانية، مع اقتراب موسم الشتاء. أما فيما يخص الطلب على النفط في دول آسيا والمحيط الهادئ فقد ارتفع بشكل طفيف في الربع الأول من عام 2022 وسط زيادة الطلب على كل من الوقود والمنتجات النفطية (لا سيما النافتا وغاز البترول المسال). يأتي ذلك قبل أن ينخفض الطلب في الربع الثاني بأكبر وتيرة مسجلة منذ بدء جائحة كورونا، متأثراً بتباطؤ النمو الاقتصادي ومن ثم ضعف الطلب على المنتجات البترولية، وسط استمرار قيود الطوارئ المرتبطة بفيروس كورونا، مما حد من الإنفاق الاستهلاكي والتصنيع وأثر سلباً على حركة التنقل. وعاود الطلب ارتفاعه في الربع الثالث بدعم من زيادة الطلب على المواد الأولية المستخدمة في صناعة البتروكيماويات، والتحسن الملحوظ في حركة التنقل والسفر الجوي، ***كما هو موضح بالشكل (5) والجدول (5)***.

الشكل (5)
التغير في طلب مجموعة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية على النفط خلال الفترة المنقضية من عام 2022



المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

الجدول (5)
طلب مجموعة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية على النفط خلال الفترة المنقضية من عام 2022
(مليون برميل/اليوم)

	الربع الأول 2022	الربع الثاني 2022	الربع الثالث 2022
الأمريكتين	24.8	25.0	25.1
أوروبا	13.2	13.4	14.1
آسيا والمحيط الهادي	7.9	7.0	7.3
إجمالي OECD	**45.8**	**45.4**	**46.5**

المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

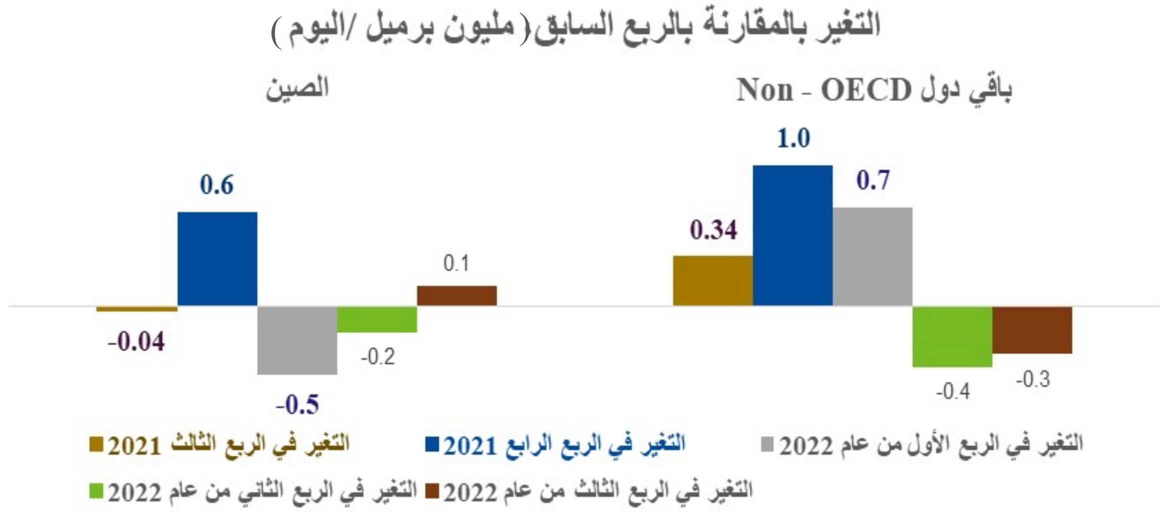
وبالنسبة لمجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، ارتفع الطلب الصيني على النفط خلال النصف الثاني من عام 2021، حيث تراجع الطلب في الصين بشكل طفيف خلال الربع الثالث من عام 2021 متأثراً بشكل رئيسي بالفيضانات الشديدة، وتدابير مواجهة فيروس كورونا، وأزمة الطاقة الناجمة عن نقص الإمدادات من الغاز والفحم والارتفاع الحاد في أسعارهما. وارتفع الطلب بشكل ملحوظ في الربع الرابع، وبالتحديد في شهري أكتوبر ونوفمبر من عام 2021، بدعم من الطلب القوي على المواد الأولية المستخدمة في قطاع البتروكيماويات، وارتفاع الطلب على الوقود مع تزايد حركة التنقل، وتسارع وتيرة نمو نشاط المصانع.

في حين كان للإجراءات الحكومية الصارمة في إطار سياسة Zero – Covid، التي بدأت في ديسمبر 2021 وشملت فرض قيود إغلاق في بعض المدن، دوراً في انخفاض الطلب الصيني على النفط في الربع الأول من عام 2022، حيث تراجع الطلب على الوقود الصناعي وأنواع وقود النقل الرئيسية، مما دفع مصافي تكرير النفط لخفض معدلات تشغيلها، وتباطأت وتيرة هذا الانخفاض في الربع الثاني. قبل أن يشهد الطلب الصيني ارتفاعاً نسبياً في الربع الثالث، في ظل توسع قيود سياسة Zero – Covid الذي كان له دور في تباطؤ النشاط الاقتصادي، وانخفاض حركة التنقل وما يرتبط بذلك من تراجع في الطلب على الوقود، وضعف الطلب في مصافي التكرير تماشياً مع القيود الحكومية المفروضة على صادرات الوقود، وانخفاض الواردات التي شهد متوسطها خلال الفترة (يناير – سبتمبر 2022) أول انخفاض له على أساس سنوي منذ عام 2014 على الأقل.

وفي المقابل، ارتفع طلب باقي الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية على النفط بشكل متواصل خلال الفترة (الربع الثالث 2021 – الربع الأول 2022)، بدعم رئيسي من تعافي الطلب في الهند ودول أمريكا اللاتينية، وسط تخفيف/إلغاء القيود المرتبطة بفيروس كورونا، مما أدى إلى التحسن في مؤشرات الاقتصاد الكلي، وزيادة الطلب على الغازولين والديزل تزامناً مع انتعاش قطاع الزراعة، ودعمت عمليات النقل في الرحلات الداخلية التحسن في الطلب على وقود الطائرات. وانخفض طلب باقي الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية خلال الربع الثاني والربع الثالث من عام 2022، متأثراً بالأمطار الموسمية الغزيرة في الهند التي أثرت على النشاط الاقتصادي، وتسببت في تباطؤ حركة التنقل،

فضلاً عن الانخفاض الملحوظ في طلب دول أوراسيا تزامناً مع الأزمة الروسية الأوكرانية المتصاعدة، ***كما هو موضح بالشكل (6) والجدول (6)***.

الشكل (6)
التغير في طلب مجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية على النفط خلال الفترة (الربع الثالث 2021 – الربع الثالث 2022)



المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

الجدول (6)
طلب مجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية على النفط خلال الفترة (الربع الثالث 2021 – الربع الثالث 2022)
(مليون برميل/اليوم)

	الربع الرابع 2019	الربع الأول 2020	الربع الثاني 2020
الصين	13.5	11.3	13.2
باقي دول Non-OECD	39.0	36.7	32.5
إجمالي Non-OECD	52.5	48.0	45.7

المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أكتوبر 2022 & يونيو 2021، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

ثانياً: التطورات في الامدادات النفطية العالمية

تحول الفائض الكبير في الإمدادات بأسواق النفط العالمية المحقق خلال النصف الأول من عام 2020 نتيجة جائحة فيروس كورونا وما يرتبط بها من تراجع في الطلب العالمي، إلى عجز في الإمدادات خلال الفترة (الربع الثالث 2020 – الربع الأول 2022). حيث كان لاتفاق خفض الإنتاج القياسي بين دول أوبك+ وبعض الدول الرئيسية الأخرى المنتجة للنفط (بما في ذلك الولايات المتحدة الأمريكية)، إلى جانب الاضطرابات في إنتاج دولة ليبيا، دوراً في

انخفاض إمدادات النفط العالمية إلى نحو 90.4 مليون ب/ي خلال الربع الثالث من عام 2020 الذي شهد بدء تعافي الطلب. وارتفعت الإمدادات في الربع الرابع من عام 2020 بدعم رئيسي من تقليص دول أوبك+ لتخفيضات إتفاق خفض الإنتاج والزيادة المضطردة في إمدادات النفط من دولة ليبيا، لتصل إلى نحو 92.3 مليون ب/ي، غير أن الطلب العالمي شهد ارتفاعاً بوتيرة أكبر من الارتفاع في الإمدادات.

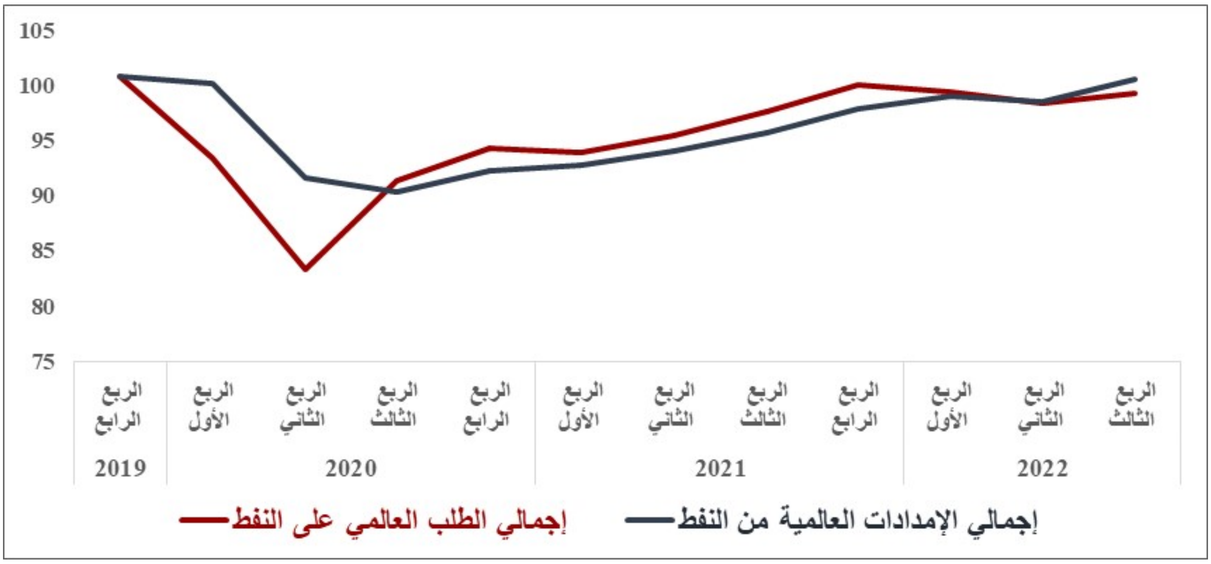
وخلال عام 2021، شهدت إمدادات النفط العالمية نمو فصلي متصاعد في مستوياتها تراوح ما بين 0.5 مليون ب/ي في الربع الأول و2.1 مليون ب/ي في الربع الرابع، بدعم رئيسي من قرارات دول أوبك+ بشأن تقليص تخفيضات خفض الإنتاج "أي زيادة الإنتاج"، وتعافي إنتاج النفط في الولايات المتحدة الأمريكية، لتصل إجمالي الإمدادات العالمية إلى حوالي 97.9 مليون ب/ي في الربع الرابع من عام 2022 الذي شهد ارتفاع الطلب إلى أعلى مستوى له منذ الربع الرابع من عام 2019، ومن ثم سجل عجز الإمدادات في أسواق النفط العالمية أعلى مستوى له خلال فترة الدراسة بلغ نحو 2.2 مليون ب/ي.

واصلت إمدادات النفط العالمية ارتفاعها في الربع الأول من عام 2022، على خلفية حفاظ دول أوبك+ على آلية زيادة الإنتاج الشهرية، لتصل إلى نحو 99.1 مليون ب/ي، وكان لانخفاض الطلب على النفط خلال نفس الفترة دوراً في تقلص عجز الإمدادات إلى 0.3 مليون ب/ي فقط. واقتربت أسواق النفط العالمية بشكل كبير من حالة التوازن خلال الربع الثاني من عام 2022، حيث انخفضت إمدادات النفط العالمية إلى نحو 98.5 مليون ب/ي متأثرة بانخفاض إنتاج روسيا تزامناً مع التوترات الجيوسياسية في شرق أوروبا، وتراجع الإمدادات من بحر الشمال بسبب بعض عمليات صيانة الحقول. كما انخفض الطلب إلى نحو 98.4 مليون ب/ي، ومن ثم تحقق فائض طفيف في الإمدادات بلغ نحو 100 ألف ب/ي فقط.

وفي الربع الثالث من عام 2022، ارتفع فائض الإمدادات النفطية إلى نحو 1.3 مليون ب/ي، ويعزى ذلك بشكل رئيسي إلى الارتفاع الملحوظ في الإمدادات لتصل إلى نحو 100.6 مليون ب/ي وهو أعلى مستوى لها منذ الربع الرابع من عام 2019، في ظل زيادة الإنتاج من دول الأمريكيتين (لا سيما الولايات المتحدة الأمريكية)، وقرارات دول أوبك+ بزيادة إنتاجها الشهري، فضلاً عن ارتفاع الإمدادات من أمريكا الجنوبية وأوروبا. يأتي ذلك في الوقت الذي ارتفع فيه الطلب العالمي على النفط أيضاً، ولكن بوتيرة أقل من الارتفاع المحقق في الإمدادات، ***كما يبين الشكل (7) والجدول (7)***.

البحث الثاني

الشكل (7)
الطلب العالمي والإمدادات العالمية من النفط
خلال الفترة (الربع الرابع 2019 – الربع الثالث 2022)
(مليون برميل/اليوم)



المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

الجدول (7)
الطلب العالمي والإمدادات العالمية من النفط
خلال الفترة (الربع الرابع 2019 – الربع الثالث 2022)
(مليون برميل/اليوم)

	2019	2020				2021				2022		
	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3
الطلب	100.8	93.5	83.3	91.4	94.3	94.0	95.5	97.6	100.1	99.4	98.4	99.3
الامدادات	100.8	100.2	91.7	90.4	92.3	92.8	94.1	95.8	97.9	99.1	98.5	100.6
فائض / عجز	**0.0**	**6.7**	**8.4**	**-1.0**	**-2.0**	**-1.2**	**-1.4**	**-1.8**	**-2.2**	**-0.3**	**0.1**	**1.3**

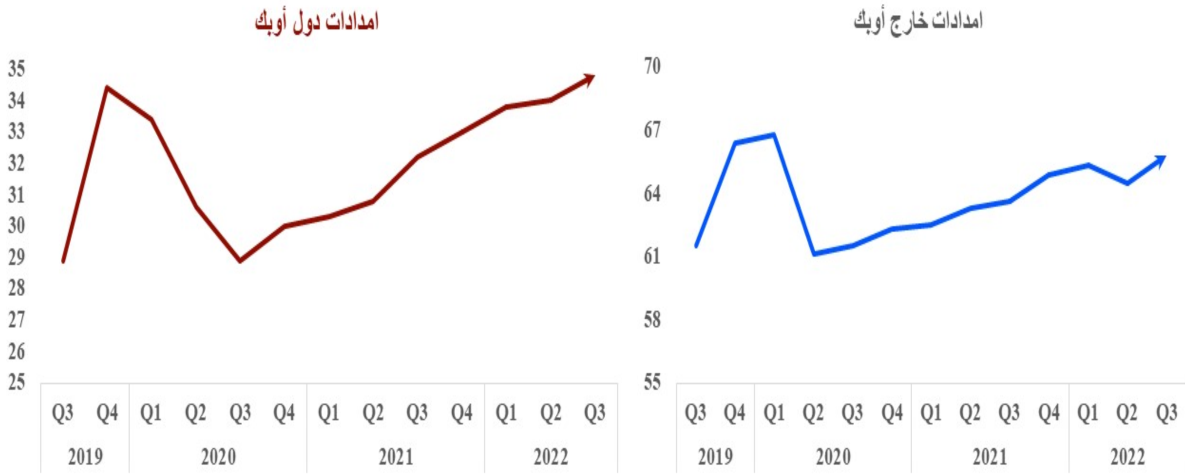
المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

وعلى مستوى المجموعات، شهدت امدادات دول أوبك نمواً متواصلاً في مستوياتها خلال الفترة (الربع الرابع 2020 – الربع الثالث 2022)، انعكاساً لقرارات دول أوبك+ (تضم دول أوبك باستثناء دولة ليبيا وإيران وفنزويلا) بشأن تعديل آلية انتاجها الشهري بالزيادة وبمستويات مختلفة، لترتفع من نحو 28.9 مليون ب/ي في الربع الثالث من عام 2020 إلى نحو 34.8 مليون ب/ي في الربع الثالث من عام 2022، وهو أعلى مستوى لها منذ الربع الثاني 2019، أي بزيادة بلغت 5.9 مليون ب/ي، مقارنة بإجمالي انخفاض بلغ نحو 5.5 مليون

ب/ي خلال الفترة (الربع الأول – الربع الثالث 2020) والذي جاء تزامناً مع اتفاق دول أوبك+ مع بعض الدول الرئيسية المنتجة للنفط بشأن خفض قياسي للإنتاج.

وبالمقابل، شهدت الامدادات النفطية من دول خارج أوبك ارتفاعاً متواصلاً في مستوياتها خلال الفترة (الربع الثالث من عام 2020 – الربع الأول من عام 2022) بدعم رئيسي من تعافي إنتاج النفط الأمريكي، رغم بطئ هذا التعافي، في ظل التزام عدد كبير من الشركات المنتجة بالانضباط الرأسمالي وتخفيض الديون وسداد مستحقات المساهمين مع تحول تركيزها نحو الاحتفاظ بغطاء على الإنتاج، بدلاً من دعم الاستثمار في عمليات حفر جديدة، فضلاً عن ارتفاع إنتاج دول أوبك+ غير الأعضاء في منظمة أوبك (من ضمنها روسيا) تماشياً مع قرارات آلية الزيادة الشهرية في الإنتاج المتفق عليها خلال هذه الفترة. حيث ارتفعت الامدادات النفطية من دول خارج أوبك من نحو 61.1 مليون ب/ي إلى 65.3 مليون ب/ي في الربع الأول من عام 2022، أي بزيادة بلغت 4.2 مليون ب/ي، مقارنة بانخفاض بلغ نحو 5.7 مليون ب/ي في الربع الثاني 2020. يأتي ذلك قبل أن تنخفض الإمدادات في الربع الثاني من عام 2022، للمرة الأولى في عامين، لتصل إلى نحو 64.5 مليون ب/ي، متأثرة بانخفاض الإمدادات النفطية من روسيا وأوروبا في ظل تصاعد التوترات الجيوسياسية في شرق أوروبا. وعادوت ارتفاعها في الربع الثالث بدعم من ارتفاع الإمدادات من دول الأمريكيتين (لا سيما الولايات المتحدة الأمريكية) وأوروبا، وارتفاع انتاج دول أوبك+ غير الأعضاء في منظمة أوبك تماشياً مع آلية زيادة الإنتاج الشهرية، لتصل إلى نحو 65.8 مليون ب/ي، ويوضح ***الشكل (8) والجدول (8)*** الامدادات العالمية من النفط من داخل أوبك وخارجها خلال الفترة من الربع الثالث 2019 إلى الربع الثالث 2022.

الشكل (8)
الامدادات النفطية من داخل أوبك وخارجها
خلال الفترة (الربع الثالث 2019 – الربع الثالث 2022)
(مليون برميل/اليوم)



المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

الجدول (8)
الامدادات النفطية من داخل أوبك وخارجها*
خلال الفترة (الربع الثالث 2019 – الربع الثالث 2022)
(مليون برميل/اليوم)

2022			2021				2020				2019		
Q3	Q2	Q1	Q4	Q3	Q2	Q1	Q4	Q3	Q2	Q1	Q4	Q3	
34.8	34.0	33.8	33.0	32.2	30.8	30.3	30.0	28.9	30.6	33.4	34.4	28.9	أوبك
65.8	64.5	65.3	64.9	63.6	63.3	62.5	62.3	61.5	61.1	66.8	66.4	61.5	خارج أوبك

المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).
*تشمل النفط الخام وسوائل الغاز الطبيعي والمتكثفات.

ثالثاً: التطورات في أسعار النفط الخام العالمية

انخفضت أسعار النفط العالمية فى عام 2020 متأثرة بالتراجع الحاد في الطلب الذي تسببت فيه جائحة كورونا. حيث تراجع متوسط أسعار سلة خامات أوبك إلى 41.5 دولار/ برميل وهو أدنى مستوى له مُنذ عام 2016، كما تراجعت أسعار العقود الآَجلة لخام غرب تكساس الأمريكي إلى ما دون الصفر (37.63 –) خلال شهر أبريل 2020، في سابقة تاريخية هي الأولى على الإطلاق منذ بدء عمليات البيع المستقبلية للنفط عام 1983، فقد كانت تكاليف إمتلاك العقود أعلى تكلفة على البائعين.

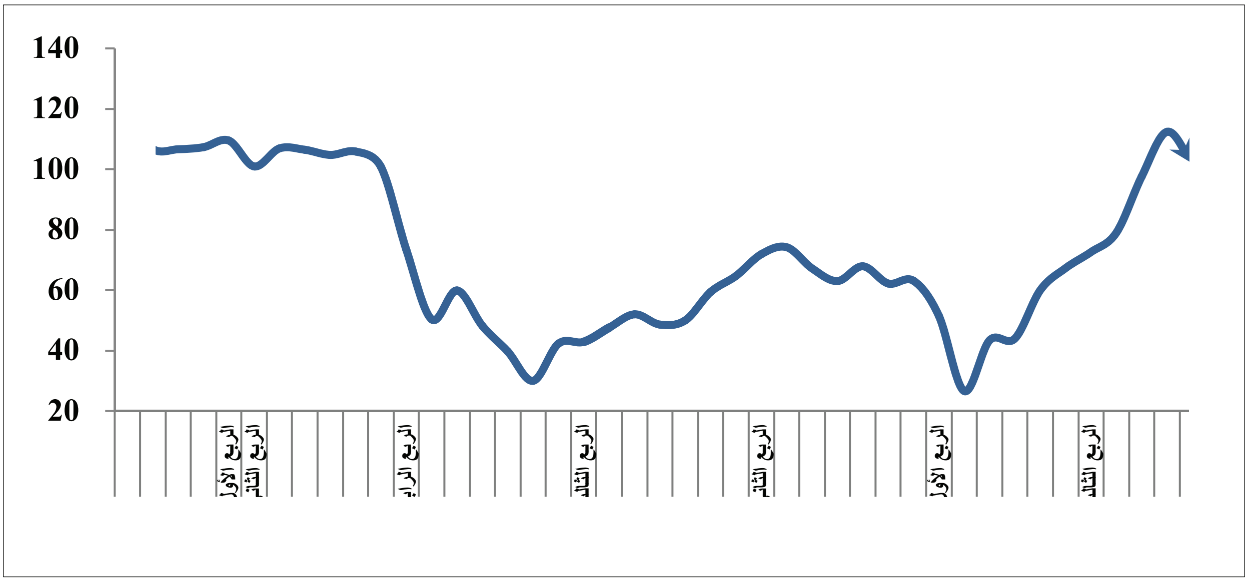
ومع بدء تعافي أداء الاقتصادات من تداعيات الجائحة، عاودت أسعار النفط العالمية ارتفاعها خلال عام 2021، بدعم رئيسي من التعافي الملحوظ في الطلب، والتطورات الإيجابية في أساسيات سوق النفط الفورية وأسواق العقود الآجلة. حيث ارتفع المتوسط السنوي لأسعار سلة خامات أوبك إلى 69.9 دولار/ برميل، وهو أعلى مستوى له مُنذ عام 2014.

وواصلت أسعار النفط العالمية ارتفاعها خلال النصف الأول من عام 2022، تزامناً مع تصاعد التوترات الجيوسياسية في شرق أوروبا وما يرتبط بها من اتساع نطاق الضغوط السعرية – لا سيما في الاقتصادات الرئيسية التي سجلت أعلى معدلات تضخم منذ 40 عام. حيث ارتفع متوسط أسعار سلة خامات أوبك خلال الربع الأول إلى 97.6 دولار/برميل وهو أعلى مستوى له منذ الربع الثالث من عام 2014، واقتربت الأسعار الآَجلة لعقود خام برنت وعقود خام غرب تكساس الأمريكي من أعلى مستوياتها المسجلة في شهر يوليو 2008. وفي الربع الثاني، ارتفع متوسط أسعار سلة خامات أوبك إلى 112.4 دولار/برميل وهو أعلى مستوى له منذ الربع الأول من عام 2012، وسجلت أسعار النفط الخام الآَجلة أطول سلسلة مكاسب شهرية لها منذ عام 2011. يأتي ذلك قبل أن يتسبب تباطؤ أداء الاقتصاد العالمي بشكل ملحوظ يفوق التوقعات خلال الربع الثالث من عام 2022، مع تنامي حالة عدم اليقين حيال آَفاق الاقتصاد العالمي وتزايد عمليات البيع في أسواق العقود الآجلة، في انخفاض متوسط أسعار سلة خامات أوبك إلى 101.9 دولار/برميل، وهو أول انخفاض فصلي له منذ الربع الثاني من عام 2020، ***كما يوضح الشكل (9)***.

الشكل (9)

المتوسط الربع السنوي لأسعار سلة خامات أوبك خلال الفترة (2012 – 2022)

(دولار/برميل)



المصدر: التقرير الشهري لأسواق النفط، أعداد مختلفة، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك).

الجزء الثاني

الآفاق المستقبلية لأسواق النفط العالمية ما بعد جائحة فيروس كورونا

تعتمد الرؤية المستقبلية لأسواق النفط العالمية ما بعد جائحة كورونا على عاملين رئيسيين، يتمثل **أولهما** في المسار المحتمل للجائحة التي اجتاحت العالم مطلع عام 2020، وأبعادها المحتملة على الاقتصاد العالمي بشكل عام وأسواق النفط بشكل خاص. بينما يتمثل **العامل الثاني**، في مدى استمرار ونجاح التعاون الدولي بين المنتجين الرئيسيين في أسواق النفط العالمية (لا سيما تحالف دول أوبك+).

وفيما يتعلق بالمسار المحتمل لجائحة فيروس كورونا، لا تزال هناك مخاوف حيال إمكانية ظهور متحورات جديدة من هذا الفيروس، قد يكون لها انعكاسات سلبية على الاقتصاد العالمي وأسواق النفط بشكل خاص. ويمكن ملاحظة تلك المخاوف في الصين – أكبر مستورد عالمي للنفط وثاني أكبر مستهلك له – التي وضعت مجموعة من القيود والإجراءات الصارمة بهذا الشأن، وهو ما كان له دور رئيسي في تباطؤ نمو الطلب الصيني على النفط خلال الفترة المنقضية من عام 2022. حيث انخفضت حركة التنقل ونشاط شركات الطيران وما يرتبط بذلك من تراجع في الطلب على الغازولين ووقود الطائرات، وانخفض الطلب على الديزل في ظل التوقفات المتكررة في عمليات التصنيع وانقطاعات سلاسل الإمدادات، وضعف طلب مصافي التكرير التي تراجعت معدلات تشغيلها في شهر يوليو 2022 إلى أدنى مستوى لها منذ شهر مارس 2020. كما سجل متوسط واردات النفط الصينية خلال الفترة من يناير 2022 إلى سبتمبر 2022 أول انخفاض سنوي له خلال هذه الفترة منذ عام 2014 على الأقل.

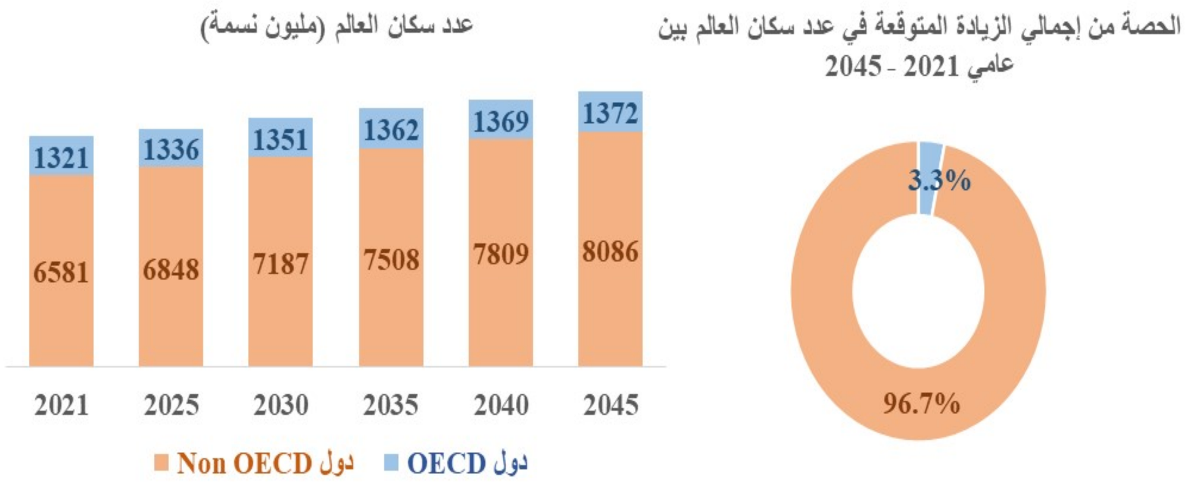
هذا وتتباين سيناريوهات التوقعات المستقبلية للطلب العالمي على النفط وامداداته في الأسواق بين المؤسسات والشركات الدولية الرئيسية المعنية بدراسة أسواق الطاقة العالمية واستشراف آفاقها المستقبلية. وفيما يلي لمحة عن فرضيات هذه السيناريوهات المتعلقة بالعوامل الأساسية التي تعتبر من أهم العوامل الكامنة وراء التباين في الطلب العالمي على النفط وتوقعاته، مع استعراض التوقعات المستقبلية لتوازن أسواق النفط العالمية.

أولاً: الفرضيات الأساسية لسيناريوهات التوقعات الرئيسية المختلفة للمنظمات الدولية والشركات العالمية:

1. منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)

فيما يخص النمو السكاني، يفترض سيناريو الإشارة لمنظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك) نمو إجمالي عدد سكان العالم بنحو 0.8% سنوياً خلال الفترة (2021 – 2045)، ليبلغ نحو 9457 مليون نسمة بحلول عام 2045، بحيث ينمو إجمالي عدد سكان الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD بنحو 0.2% سنوياً، ليبلغ نحو 1372 مليون نسمة بحلول عام 2045، بينما ينمو إجمالي عدد سكان الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية Non-OECD بنحو 0.9%، ليبلغ حوالي 8086 مليون نسمة بحلول عام 2045، وبذلك تكون حصة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية نحو 96.7% من إجمالي الزيادة المتوقعة في عدد سكان العالم بين عامي 2021 و 2045 المقدرة بنحو 1555 مليون نسمة، بينما لا تتعدى حصة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية نسبة 3.3%، ***كما يبين الشكل (10) والجدول (9)***.

الشكل (10)
فرضيات النمو السكاني العالمي وفقاً لسيناريو الإشارة بمنظمة أوبك
(مليون نسمة)



المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

الجدول (9)
فرضيات النمو السكاني العالمي وفقاً لسيناريو الإشارة بمنظمة أوبك
(مليون نسمة)

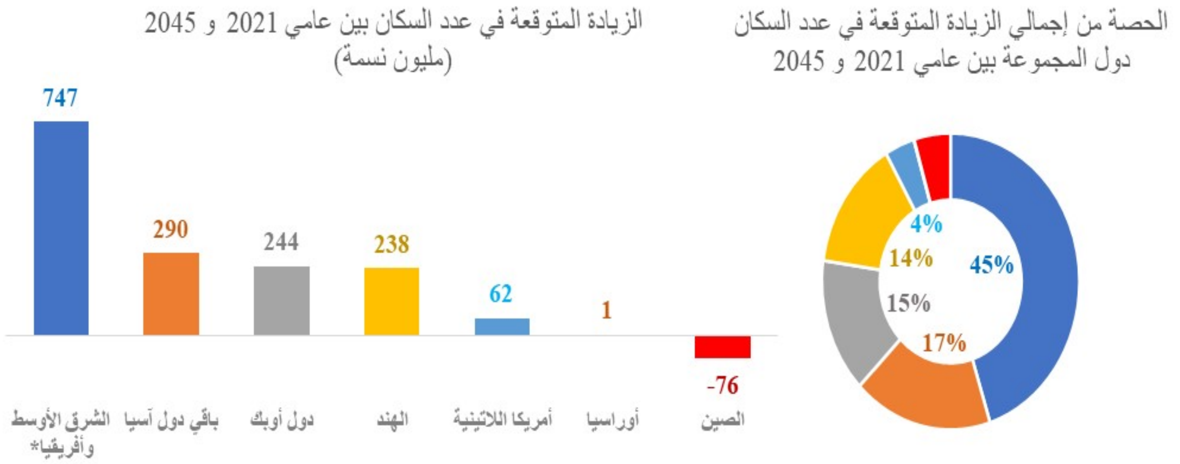
	2021	2025	2030	2035	2040	2045	معدل النمو (2021 – 2045)
دول OECD	1321	1336	1351	1362	1369	1372	%0.2
دول Non-OECD	6581	6848	7187	7508	7809	8086	%0.9
إجمالي العالم	**7902**	**8184**	**8538**	**8870**	**9179**	**9457**	**%0.8**

المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

كما يفترض السيناريو أعلاه أن يأتي 49.7% من الزيادة المتوقعة في إجمالي عدد سكان مجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية بين عامي 2021 و2045 المقدرة بحوالي 1.5 مليار نسمة من مجموعة دول الشرق الأوسط وأفريقيا من غير الأعضاء في منظمة أوبك، حيث يتوقع أن يرتفع إجمالي عدد سكان دول هذه المجموعة بنحو 747 مليون نسمة بين عامي 2021 و2045.

وبالمقابل، يفترض سيناريو الإشارة تراجع عدد سكان الصين بنحو 76 مليون نسمة بين عامي 2021 و2045، بينما يفترض استقرار عدد سكان مجموعة دول أوروآسيا عند نفس مستوياته تقريباً خلال هذه الفترة. ويتوقع أن يرتفع عدد سكان الهند بنحو 238 مليون نسمة بين عامي 2021 و2045، لتساهم الهند بنحو 15.8% من الزيادة المتوقعة في إجمالي عدد سكان مجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية خلال هذه الفترة. ومن المتوقع أن يرتفع عدد سكان مجموعة الدول الأعضاء في منظمة أوبك بنحو 244 مليون نسمة بين عامي 2021 و2045، لتساهم المجموعة بنحو 16.2% من الزيادة المتوقعة في إجمالي عدد سكان مجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية خلال هذه الفترة، ***كما هو موضح في الشكل (11) والجدول (10)***.

الشكل (11)
فرضيات النمو السكاني بمجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية وفقاً لسيناريو الإشارة بمنظمة أوبك (مليون نسمة)



المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

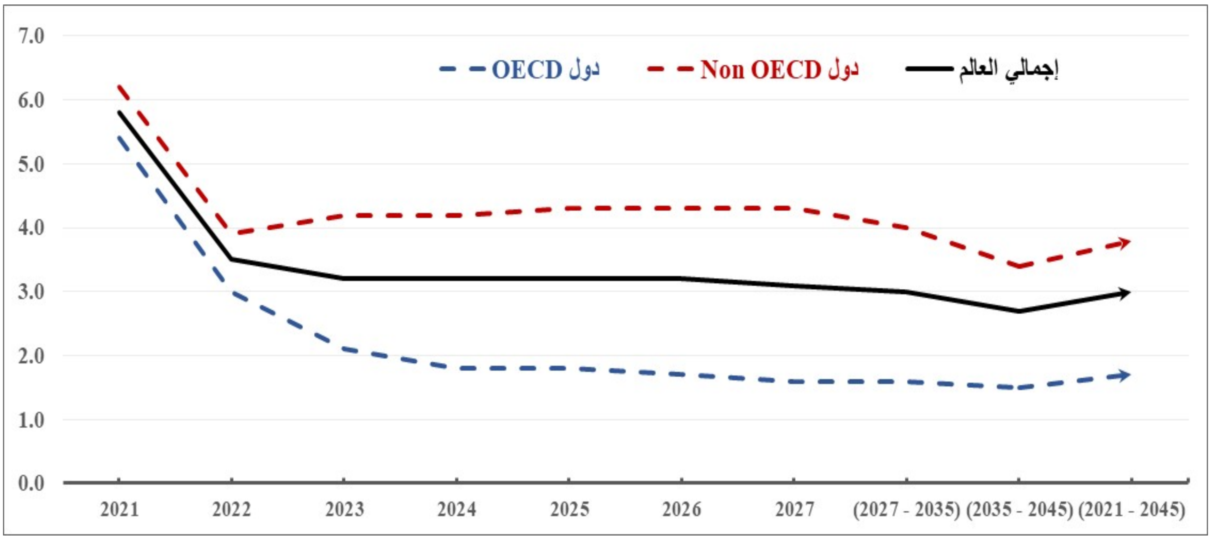
الجدول (10)
فرضيات النمو السكاني بمجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية وفقاً لسيناريو الإشارة بمنظمة أوبك (مليون نسمة)

	2021	2025	2030	2035	2040	2045
أمريكا اللاتينية	474	493	509	523	534	542
دول أوبك	501	554	609	664	720	778
الشرق الأوسط وأفريقيا*	1118	1259	1406	1559	1718	1881
الهند	1380	1445	1504	1554	1593	1621
الصين	1439	1458	1464	1461	1449	1429
باقي دول آسيا	1218	1289	1352	1408	1456	1496
أوراسيا	344	346	346	345	344	343

المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.
*لا تشمل الدول الأعضاء في أوبك.

وبالنسبة للنمو الاقتصادي، يفترض سيناريو الإشارة لمنظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك) نمو الناتج العالمي الحقيقي بنحو 3.0% خلال الفترة (2021 – 2045)، بحيث ينمو الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الحقيقية لمجموعة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية بنحو 1.7%، بينما ينمو الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الحقيقية لمجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية بنحو 3.8% خلال الفترة (2021 – 2045)، ***كما هو موضح في الشكل (12) والجدول (11).***

الشكل (12)
فرضيات النمو الاقتصادي العالمي وفقاً لسيناريو الإشارة بمنظمة أوبك، (%)



المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

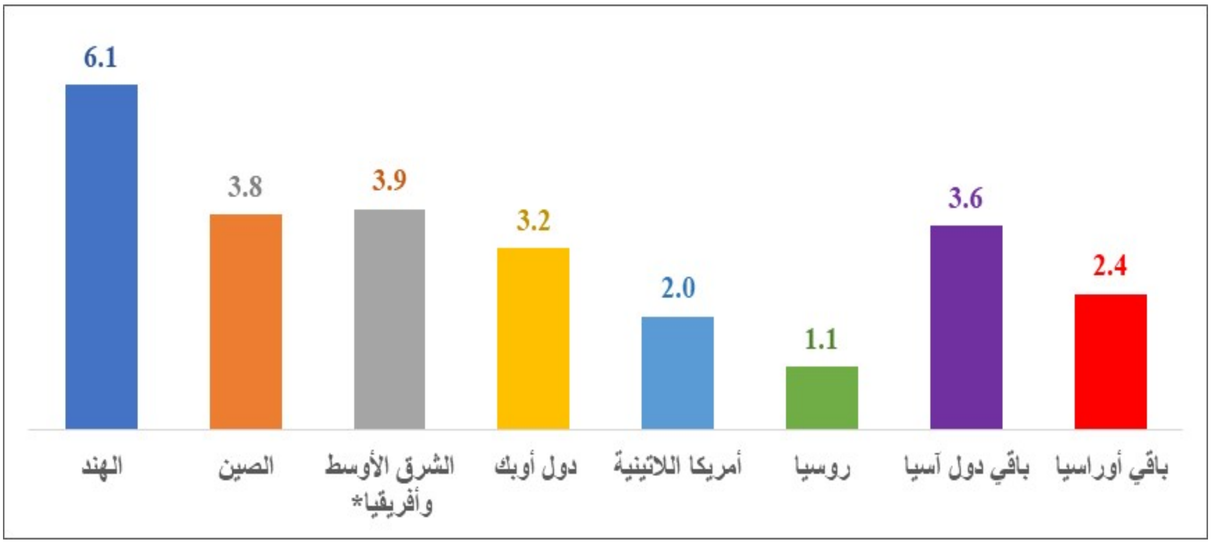
الجدول (11)
فرضيات النمو الاقتصادي العالمي وفقاً لسيناريو الإشارة بمنظمة أوبك، (%)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	(2035 - 2027)	(2045 - 2035)	(2045 - 2021)
دول OECD	5.4	3.0	2.1	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.7
دول Non-OECD	6.2	3.9	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.0	3.4	3.8
إجمالي العالم	**5.8**	**3.5**	**3.2**	**3.2**	**3.2**	**3.2**	**3.1**	**3.0**	**2.7**	**3.0**

المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

ويفترض السيناريو المشار إليه أعلاه، أن تحقق الهند أعلى معدلات النمو المتوقعة في الناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الحقيقية داخل مجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية خلال الفترة (2021 – 2045) بمعدل متوقع بنحو 6.1%، تليها مجموعة دول الشرق الأوسط وأفريقيا من غير الأعضاء في منظمة أوبك التي يتوقع أن ينمو إجمالي ناتجها المحلي بالأسعار الحقيقية بنحو 3.9% خلال هذه الفترة. ومن المتوقع أن تحقق الصين معدل نمو يبلغ نحو 3.8% ومجموعة الدول الأعضاء في منظمة أوبك معدل نمو يبلغ نحو 3.2% خلال الفترة (2020 – 2045)، ***كما هو موضح في الشكل (13) والجدول (12)***.

الشكل (13)
فرضيات النمو الاقتصادي بمجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية وفقاً لسيناريو الإشارة بمنظمة أوبك خلال الفترة (2021 – 2045)، (%)



المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

الجدول (12)
فرضيات النمو الاقتصادي بمجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية وفقاً لسيناريو الإشارة بمنظمة أوبك خلال الفترة (2021 – 2045)، (%)

	2027 - 2021	2035 - 2027	2045 - 2035	2045 - 2021
أمريكا اللاتينية	2.7	2.4	1.9	2.3
دول أوبك	2.7	3.1	3.2	3.0
الشرق الأوسط وأفريقيا*	3.2	3.9	4.4	3.9
الهند	6.9	6.3	5.5	6.2
الصين	6.1	4.0	2.8	4.0
باقي دول آسيا	4.6	4.0	3.0	3.7
روسيا	2.0	1.6	1.3	1.6
باقي أوراسيا	2.9	2.5	2.0	2.4

المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.
* لا تشمل الدول الأعضاء في أوبك.

2. وكالة الطاقة الدولية (IEA)

أعدت وكالة الطاقة الدولية توقعاتها لمستقبل الطاقة في تقريرها المعنون "آفاق الطاقة العالمية" الصادر في عام 2022، بناء على ثلاثة سيناريوهات أساسية وهي على النحو التالي:

أ. سيناريو السياسات المعلنة (The Stated Policies Scenario - STEPS)

يوفر هذا السيناريو معياراً أكثر تحفظاً للمستقبل، لأنه لا يعتبر تحقيق حكومات العالم لجميع الأهداف المعلنة أمراً مفروغاً منه، ولكنه يأخذ نظرة أكثر تفصيلاً على ما تم وضعه بالفعل للوصول إلى هذه الأهداف. على هذا النحو، فهذا السيناريو يستند إلى مراجعة تفصيلية لكل قطاع على حدة للسياسات والتدابير القائمة بالفعل أو قيد التطوير في مجموعة متنوعة من المجالات. ويقيّم سيناريو السياسات المعلنة القيود التنظيمية والسوقية والبنية التحتية والمالية ذات الصلة، مع إلقاء نظرة على الاتجاه المتوقع لنظام الطاقة في غياب مبادرات سياسية جديدة محددة. ولم يتم تصميم هذا السيناريو لتحقيق نتيجة معينة، كما هو الحال في سيناريو التعهدات المعلنة. ويفترض عدم تحقيق صافي الانبعاثات الصفرية، أن يبلغ الارتفاع في متوسط درجات الحرارة حوالي 2.5 درجة مئوية في عام 2100 (مع احتمال 50%).

ب. سيناريو التعهدات المعلنة (Announced Pledges Scenario - APS)

يفترض هذا السيناريو أن تفي حكومات العالم بكافة الالتزامات المتعلقة بالمناخ التي أعلنت عنها، بما في ذلك أهداف الانبعاثات الصفرية الصافية طويلة المدى والتعهدات في المساهمات المحددة وطنياً، وكذلك الالتزامات في المجالات ذات الصلة مثل الوصول إلى الطاقة، بغض النظر عما إذا كانت تلك الالتزامات مدعومة بسياسات محددة لضمان تنفيذها أم لا. يعتمد سيناريو التعهدات المعلنة على التحليل الذي صدر خلال مؤتمر COP26، والذي أظهر أن التنفيذ المشترك لجميع تعهدات الانبعاثات الصفرية الصافية والتعهد العالمي بشأن الميثان سيؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة بنحو 1.8 درجة مئوية في عام 2100 (مع احتمال 50%).

ج. سيناريو صافي الانبعاثات الصفرية بحلول عام 2050

(Net Zero Emissions by 2050 Scenario - NZE)

يحدد هذا السيناريو طريقاً إلى تثبيت متوسط درجات الحرارة العالمية عند 1.5 درجة مئوية فوق مستويات ما قبل العصر الصناعي. وتم تحديثه بالكامل لهذا النظرة المستقبلية. ويفترض أن يتطلب تحقيق هدف صافي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية بحلول عام

البحث الثاني

2050، يتطلب جهوداً أقوى مما كانت عليه في عام 2021، دون الاعتماد على خفض الانبعاثات من خارج قطاع الطاقة. كما يفترض أن تصل الاقتصادات المتقدمة إلى صافي انبعاثات صفرية قبل الاقتصادات النامية. ويأخذ السيناريو في الاعتبار أهداف التنمية المستدامة للأمم المتحدة ذات الصلة بالطاقة، وتحقيق الوصول الشامل إلى الطاقة بحلول عام 2030، وتأمين تحسينات كبيرة في جودة الهواء.

هذا وتشير وكالة الطاقة الدولية إلى الفجوة في النتائج بين سيناريو السياسات المعلنة وسيناريو التعهدات المعلنة على أنها "فجوة التنفيذ"، أي الفجوة التي يجب سدها لتحقيق الالتزامات بالكامل. كما تشير إلى الفجوة بين سيناريو التعهدات المعلنة وسيناريو صافي الانبعاثات الصفرية بحلول عام 2050 على أنها "فجوة الطموح" لأنها تعكس تلك التعهدات التي تم التعهد بها حتى الآن بشكل جماعي، ولكنها ليست طموحة بما يكفي لتحقيق هدف استقرار متوسط درجات الحرارة العالمية عند 1.5 درجة مئوية.

3. شركة بريتش بتروليوم (BP)

أعدت شركة بريتش بتروليوم توقعاتها لمستقبل الطاقة حتى عام 2050، بناء على ثلاثة سيناريوهات رئيسية وهي، **أولاً:** السيناريو المتسارع (Accelerated Scenario)، **ثانياً:** سيناريو صافي الانبعاثات الصفرية (Net Zero Scenario)، **ثالثاً:** سيناريو الزخم الجديد (New Momentum Scenario). تأخذ السيناريوهات الثلاثة في الاعتبار انبعاثات الكربون من إنتاج الطاقة واستخدامها، ومعظم العمليات الصناعية غير المتعلقة بالطاقة، واحتراق الغاز بالإضافة إلى انبعاثات الميثان من إنتاج الوقود الأحفوري ونقله وتوزيعه.

يستكشف السيناريو المتسارع وسيناريو صافي الانبعاثات الصفرية، كيف يمكن أن تتغير العناصر المختلفة لنظام الطاقة من أجل تحقيق خفض كبير في انبعاثات الكربون، وهي مشروطة بافتراض وجود تشديد كبير في سياسات المناخ. كما يفترض سيناريو صافي الانبعاثات الصفرية أن الانخفاض في الانبعاثات يساعده تحول في السلوك والتفضيلات المجتمعية التي تدعم زيادة كفاءة الطاقة واعتماد مصادر الطاقة منخفضة الكربون.

في حين تم تصميم سيناريو الزخم الجديد للتركيز على المسار الواسع الذي يتقدم فيه نظام الطاقة العالمي حالياً، وهو يضع ثقل على كل من الزيادة الملحوظة في الطموح العالمي لإزالة الكربون التي شوهدت في الأعوام الأخيرة، واحتمال تحقيق تلك الأهداف والطموحات، وكذلك على طريقة وسرعة التقدم المحرز في الماضي القريب.

هذا وتجدُر الإشارة إلى أنه تم إعداد هذه السيناريوهات الثلاثة قبل حدوث الأزمة الروسية الأوكرانية، ومن ثم فأنها لا تتضمن أي تحليل للتداعيات المحتملة لهذه الأزمة على النمو الاقتصادي وأسواق الطاقة العالمية.

ثانياً: التوقعات المستقبلية للطلب العالمي على النفط وفق السيناريوهات المختلفة

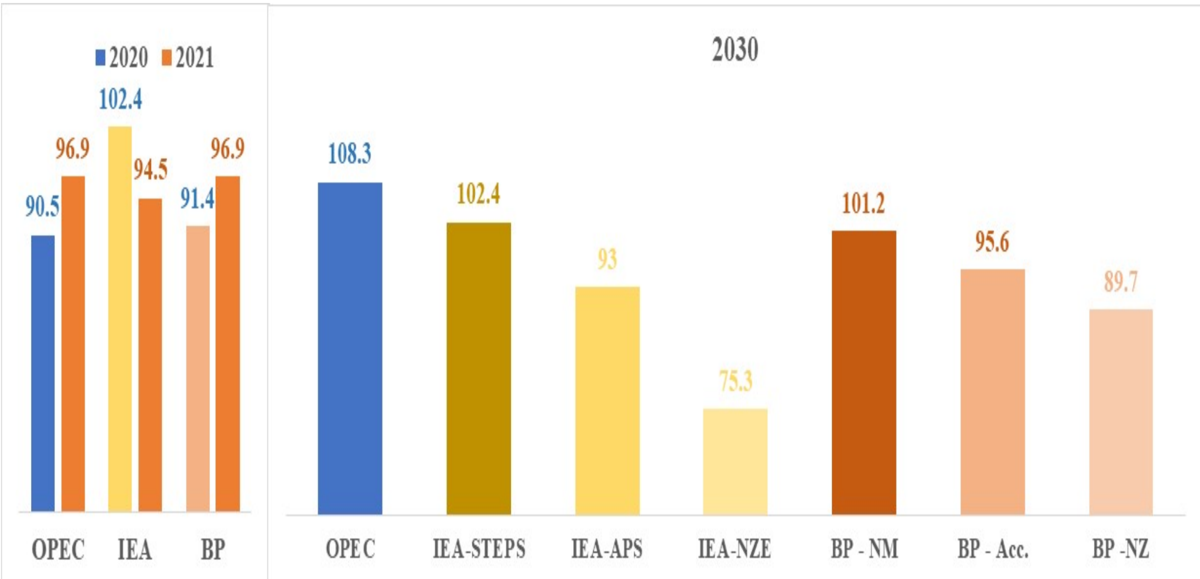
1. التوقعات على المدى المتوسط (2019 – 2030)

تتباين توقعات منظمة أوبك ووكالة الطاقة الدولية مع شركة بريتش بتروليوم "Bp" في تقدير حجم الطلب العالمي على النفط وتوقعاته خلال عام 2030 بحسب الفرضيات الأساسية لسيناريوهات الآفاق المستقبلية. فسيناريو الإشارة لمنظمة الدول المصدرة للبترول أوبك يتوقع أن يشهد إجمالي الطلب العالمي على النفط نمواً بمعدل 1.2% سنوياً خلال الفترة (2021 – 2030) ليصل إلى 108.3 مليون ب/ي خلال عام 2030، بينما تتوقع وكالة الطاقة الدولية أن يشهد إجمالي الطلب العالمي نمواً بمعدل 0.9% خلال الفترة (2021 – 2030) ليبلغ نحو 102.4 مليون ب/ي خلال عام 2030 بحسب سيناريو السياسات المعلنة.

ومن الملاحظ أن توقعات وكالة الطاقة الدولية أقل تفاؤل بشأن مستقبل الطلب على النفط تسير بنظرة يقودها التمادي في التفاؤل بشأن أثر السياسات على مستقبل الطلب على النفط فحسب سيناريو التعهدات المعلنة من المتوقع أن يشهد إجمالي الطلب العالمي على النفط انكماشاً بمعدل 0.2% خلال الفترة (2021 – 2030) ليتراجع إلى نحو 93 مليون ب/ي خلال عام 2030، بينما يطلق سيناريو صافي الانبعاثات الصفرية العنان لتوقعاته بانكماش أكبر حدة في إجمالي الطلب العالمي على النفط أي بمعدل 2.5% خلال الفترة (2021 – 2030) لينكمش الطلب ويصل إلى 75.3 مليون ب/ي خلال عام 2030.

وفي المقابل يتوقع سيناريو الزخم الجديد لشركة بريتش بتروليوم بأن يرتفع الطلب العالمي على النفط بمعدل 0.5% سنوياً خلال الفترة (2021 – 2030) ليصل إلى حوالي 101.2 مليون ب/ي خلال عام 2030. بينما تشير التوقعات الأقل تفاؤل لشركة بريتش بتروليوم بشأن مستقبل الطلب على النفط بوتيرة أخف حدة من توقعات وكالة الطاقة الدولية، فيتوقع السيناريو المتسارع أن يشهد إجمالي الطلب العالمي على النفط انكماشاً بمعدل 0.1% خلال الفترة (2021 – 2030) ليتراجع لمستوى 95.6 مليون ب/ي خلال عام 2030، بينما يتوقع سيناريو صافي الانبعاثات الصفرية انكماشاً في إجمالي الطلب العالمي على النفط بمعدل 0.9% خلال الفترة (2021 – 2030) ليصل إلى نحو 89.7 مليون ب/ي خلال عام 2030، ***كما هو موضح في الشكل (14)***.

الشكل (14)
التوقعات المستقبلية للطلب العالمي على النفط لعام 2030
(مليون برميل/اليوم)



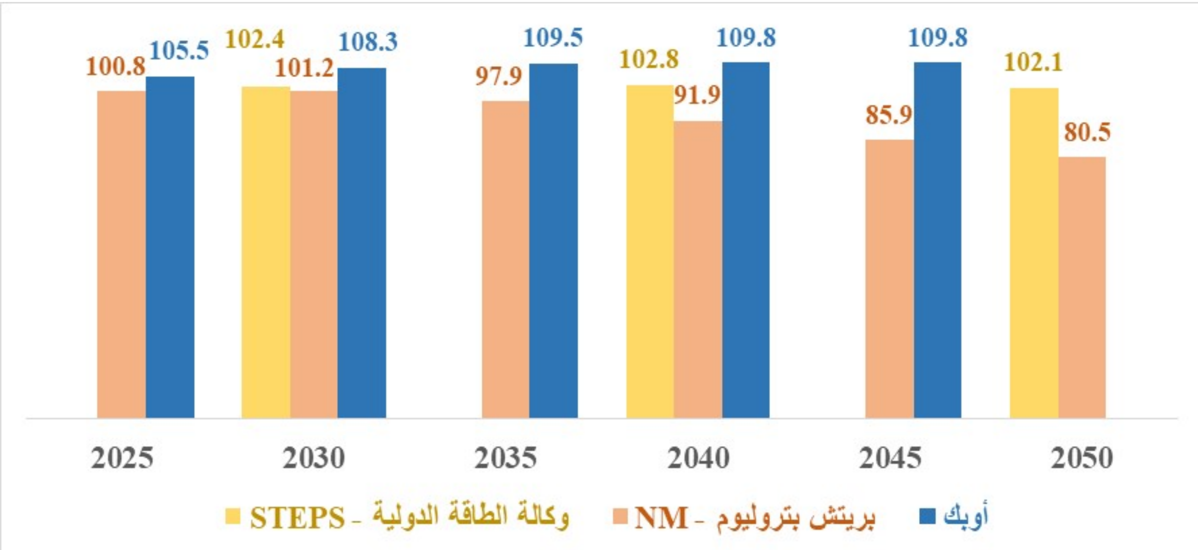
المصادر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.
تقرير آفاق الطاقة العالمية، وكالة الطاقة الدولية (IEA)، 2022.
تقرير آفاق الطاقة، بريتش بتروليوم (BP)، 2022.

2. التوقعات على المدى البعيد (2025 – 2050)

وبمقارنة التوقعات المستقبلية للطلب العالمي على النفط حسب السيناريوهات أو البدائل المرجعية لمنظمة أوبك من جهة، ووكالة الطاقة الدولية وشركة بريتش بتروليوم "Bp" من جهة أخرى خلال الفترة الممتدة حتى عام 2040، نلاحظ أن توقعات الطلب العالمي على النفط

أخذت اتجاهاً تصاعدياً في توقعات منظمة أوبك ووكالة الطاقة الدولية وإن كان بوتيرة أعلى بالنسبة لتوقعات أوبك، بينما أخذت توقعات شركة بريتش بتروليوم اتجاهاً تنازلياً لتنخفض توقعاتها لإجمالي الطلب على النفط إلى نحو 91.9 مليون ب/ي خلال عام 2040، في مقابل 102.8 مليون ب/ي حسب توقعات وكالة الطاقة الدولية و نحو 109.8 مليون ب/ي حسب توقعات منظمة أوبك. هذا ويتوقع انخفاض الطلب على النفط إلى نحو 102.1 مليون ب/ي و80.5 مليون ب/ي خلال عام 2050، وفقاً لتوقعات وكالة الطاقة الدولية وشركة بريتش بتروليوم على الترتيب. بينما تشير توقعات منظمة أوبك إلى استقرار الطلب على النفط عند 109.8 مليون ب/ي خلال عام 2045، ***كما هو موضح في الشكل (15)***.

الشكل (15)
التوقعات المستقبلية للطلب العالمي على النفط حسب السيناريوهات المرجعية لمنظمات الطاقة الدولية خلال الفترة (2025 – 2050)
(مليون برميل/اليوم)



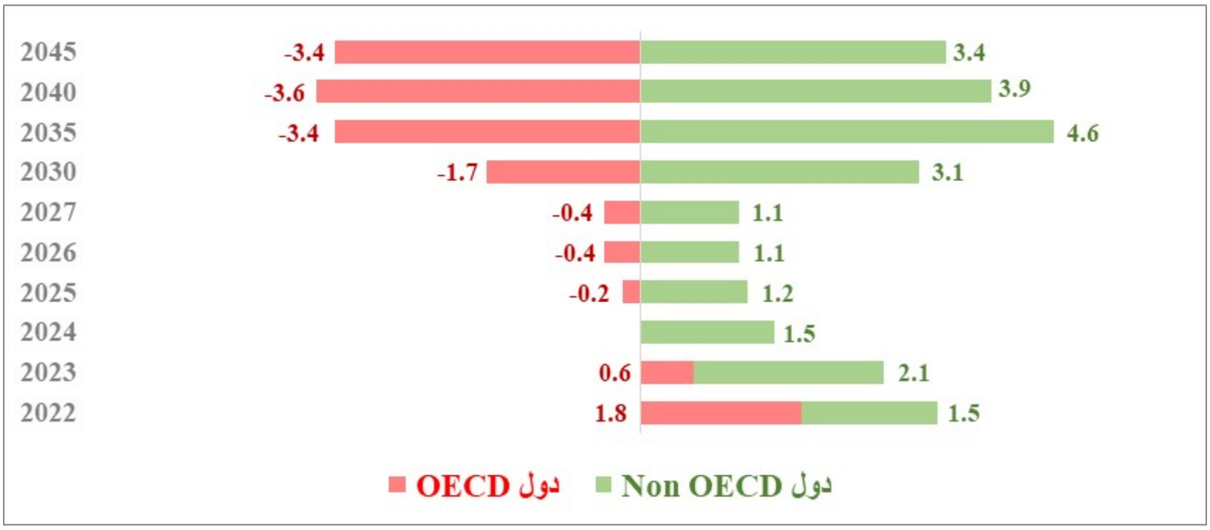
المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.
تقرير آفاق الطاقة العالمية، وكالة الطاقة الدولية (IEA)، 2022.
تقرير آفاق الطاقة، بريتش بتروليوم (BP)، 2022.

3. التوزيع الجغرافي للطلب العالمي على النفط

وعلى صعيد التوزيع الجغرافي للطلب العالمي على النفط، يتوقع أن تستحوذ دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية على حصة 44.5% من إجمالي الطلب العالمي على النفط في عام 2025، ويتوقع أن تنخفض هذه الحصة إلى 31.1% في عام 2045. وفي المقابل، يتوقع استحواذ دول خارج منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية على حصة

55.5% من إجمالي الطلب العالمي على النفط في عام 2025، ويتوقع ارتفاعها إلى 68.9% في عام 2045، ***كما هو موضح في الشكل (16) والجدول (13).***

الشكل (16)
حجم التغير المتوقع في الطلب العالمي على النفط
(مليون برميل/اليوم)



المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

الجدول (13)
التوقعات المستقبلية للطلب العالمي على النفط حسب المجموعات الدولية الرئيسية حتى عام 2045
(مليون برميل/اليوم)

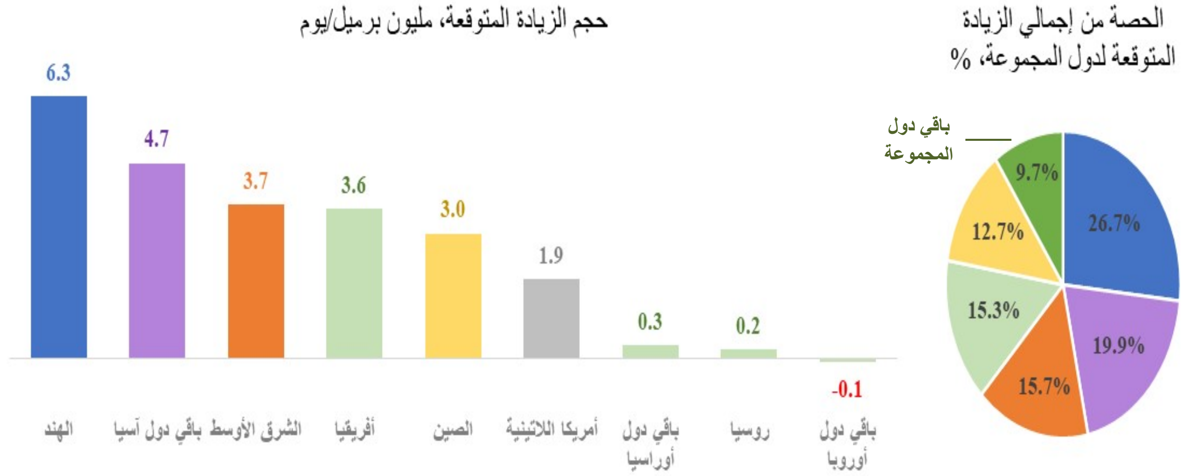
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2030	2035	2040	2045
دول OECD	44.8	46.6	47.2	47.2	47.0	46.6	46.2	44.5	41.1	37.5	34.1
دول -Non OECD	52.2	53.7	55.8	57.3	58.5	59.6	60.7	63.8	68.4	72.3	75.7
إجمالي العالم	**96.9**	**100.3**	**103.0**	**104.4**	**105.5**	**106.3**	**106.9**	**108.3**	**109.5**	**109.8**	**109.8**

المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

وضمن مجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية Non-OECD، يتوقع أن تكون الهند المصدر الأول ومحرك النمو في طلب المجموعة ومن ثم الطلب العالمي على النفط خلال كامل الفترة الممتدة حتى عام 2045، لتزيح بذلك الصين عن هذا الدور الذي لعبته خلال العقدين الماضيين. فمن المتوقع أن يقفز الطلب الهندي على النفط بنحو 6.3 مليون ب/ي ليرتفع من 4.8 مليون ب/ي عام 2021 إلى 11.1 مليون ب/ي عام 2045، مساهماً بذلك بنحو 26.7% من إجمالي الزيادة في طلب مجموعة الدول خارج منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية خلال هذه الفترة والمقدر بحوالي 23.6 مليون ب/ي.

ويتوقع أن تحتل الصين المرتبة الثانية بين الدول الرئيسية المسؤولة عن النمو في الطلب العالمي على النفط وذلك بزيادة تقدر بنحو 3 مليون ب/ي ليرتفع الطلب الصيني على النفط من نحو 14.9 مليون ب/ي عام 2021 إلى 17.9 مليون ب/ي عام 2045، ليساهم بنحو 12.7% من إجمالي الزيادة في طلب مجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية خلال هذه الفترة. ومن المتوقع أن تساهم منطقة الشرق الأوسط بنحو 15.7% من إجمالي الزيادة في طلب مجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية خلال الفترة (2021 – 2045) ليرتفع إجمالي طلب المجموعة على النفط من 7.8 مليون ب/ي عام 2021 إلى حوالي 11.5 مليون ب/ي عام 2045، ***كما هو موضح في الشكل (17) والجدول (14).***

الشكل (17)
التوقعات المستقبلية للزيادة في طلب مجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية ما بين عامي 2021 و2045



المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

الجدول (14)
التوقعات المستقبلية للطلب على النفط بمجموعة الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية حتى عام 2045
(مليون برميل/اليوم)

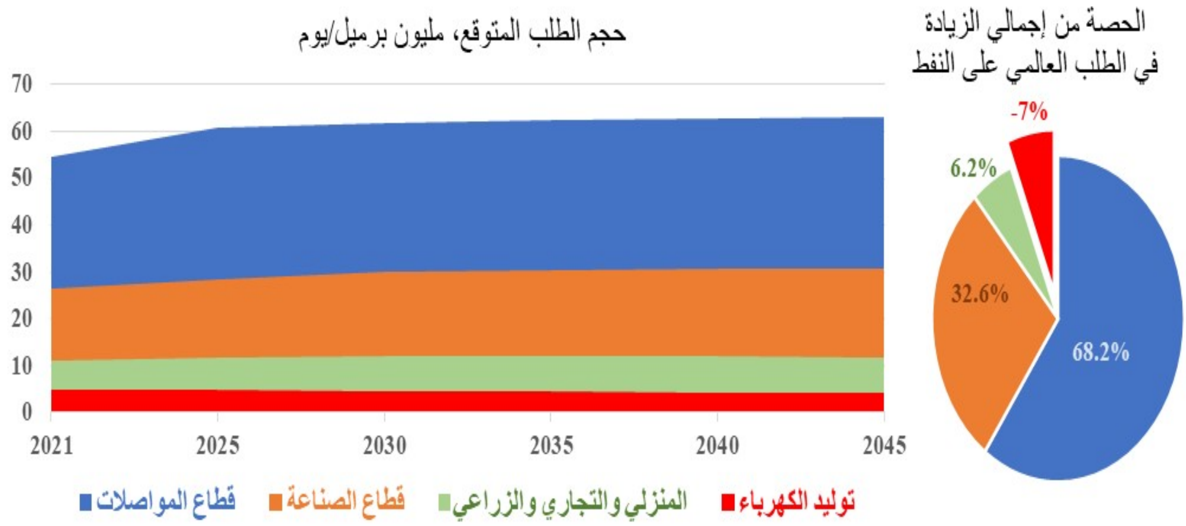
	أمريكا اللاتينية	أفريقيا	الشرق الأوسط	الهند	الصين	باقي دول آسيا	روسيا	باقي أوراسيا	باقي دول أوروبا
2021	6.2	4.2	7.8	4.8	14.9	8.6	3.6	1.2	0.8
2045	8.1	7.8	11.5	11.1	17.9	13.3	3.8	1.5	0.7

المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

4. الطلب العالمي على النفط وفقاً للقطاعات الرئيسية

وعلى مستوى القطاعات الرئيسية المستهلكة، يتوقع أن يواصل قطاع النقل والمواصلات العالمي هيمنته كمصدر أساسي وأول للطلب على النفط حتى عام 2045، حيث يتوقع أن يساهم هذا القطاع بنحو 68.2% من الزيادة المتوقعة في إجمالي الطلب العالمي على النفط خلال الفترة (2021 – 2045) والمتوقعة بنحو 12.9 مليون ب/ي، بحيث يرتفع بنحو 8.8 مليون ب/ي خلال هذه الفترة، أي من 54.5 مليون ب/ي عام 2021 إلى حوالي 63.2 مليون ب/ي عام 2045. ويحتل قطاع الصناعة المرتبة الثانية، حيث يتوقع أن يرتفع بنحو 4.2 مليون ب/ي خلال هذه الفترة أي من 26.6 مليون ب/ي عام 2021 إلى حوالي 30.8 مليون ب/ي عام 2045. وفي المقابل، يتوقع أن يتراجع الطلب العالمي على النفط من القطاعات الأخرى بنحو 100 ألف ب/ي خلال الفترة (2021 – 2045) لينخفض من 15.9 مليون ب/ي عام 2021 إلى حوالي 15.8 مليون ب/ي عام 2045، ***كما هو موضح في الشكل (18) والجدول (15)***.

الشكل (18)
التوقعات المستقبلية للطلب العالمي على النفط حسب القطاعات الرئيسية حتى عام 2045



المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

الجدول (15)
التوقعات المستقبلية للطلب العالمي على النفط حسب القطاعات الرئيسية حتى عام 2045
(مليون برميل/اليوم)

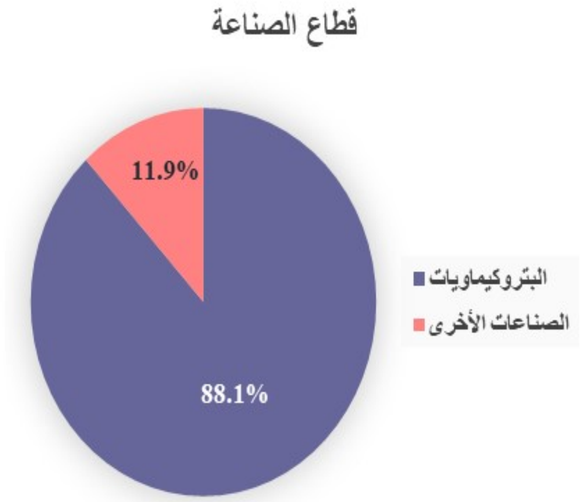
	2021	2025	2030	2035	2040	2045
قطاع المواصلات	54.5	60.8	61.8	62.4	62.9	63.2
قطاع الصناعة	26.6	28.4	29.9	30.5	30.6	30.8
المنزلي والتجاري والزراعي	11.0	11.6	12.1	12.2	12.1	11.8
توليد الكهرباء	4.9	4.7	4.5	4.4	4.2	4.1

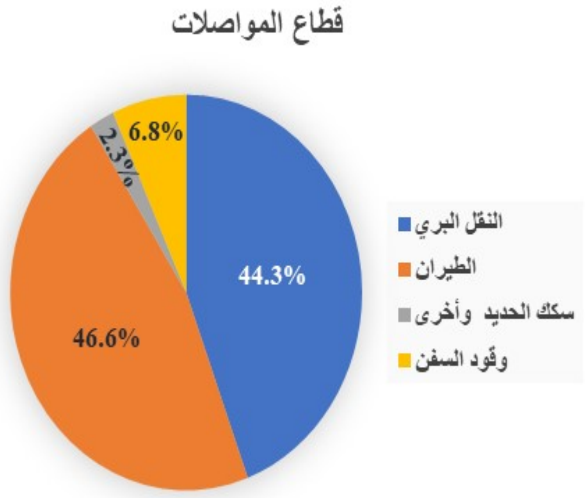
المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

وبالنسبة لقطاع النقل والمواصلات، يتوقع أن يكون قطاع النقل الجوي المصدر الأول للنمو في الطلب على النفط من هذا القطاع مساهماً بنحو 46.6% من إجمالي الزيادة المتوقعة في الطلب العالمي على النفط من قطاع المواصلات خلال الفترة (2021 – 2045) والمتوقعة بنحو 8.8 مليون ب/ي. إذ من المتوقع أن يرتفع بنحو 4.1 مليون ب/ي خلال هذه الفترة من 5.4 مليون ب/ي عام 2021 إلى حوالي 9.5 مليون ب/ي عام 2045، يليه قطاع النقل البري الذي يتوقع أن يساهم بنحو 44.3% من إجمالي الزيادة المتوقعة في إجمالي الطلب العالمي على النفط من قطاع النقل والمواصلات، مرتفعاً بأكثر من 3.8 مليون ب/ي خلال الفترة (2021 – 2045) من 43.2 مليون ب/ي عام 2021 إلى حوالي 47 مليون ب/ي عام 2045.

وبالمقابل، يتوقع أن يكون قطاع البتروكيماويات المحرك الأساسي والرئيسي للنمو في الطلب العالمي على النفط من قطاع الصناعة، مساهماً بنحو 88.1% من إجمالي الزيادة المتوقعة في الطلب العالمي على النفط من قطاع الصناعة خلال الفترة (2021 – 2045) والمتوقعة بنحو 4.2 مليون ب/ي. فمن المتوقع أن يرتفع بنحو 3.7 مليون ب/ي خلال هذه الفترة من 13.8 مليون ب/ي عام 2021 إلى حوالي 17.5 مليون ب/ي عام 2045، ***كما هو موضح في الشكل (19) والجدول (16)***.

الشكل (19)
المصادر الرئيسية للنمو في الطلب على النفط من قطاع المواصلات وقطاع الصناعة، (%)





المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

الجدول (16)
التوقعات المستقبلية للطلب العالمي على النفط من قطاع المواصلات وقطاع الصناعة حتى عام 2045
(مليون برميل/اليوم)

	2021	2025	2030	2035	2040	2045
النقل البري	43.2	47.2	47.3	47.2	47.2	47.0
الطيران	5.4	7.2	7.8	8.4	8.9	9.5
سكك الحديد وأخرى	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.1
وقود السفن	4.0	4.4	4.6	4.7	4.7	4.7
قطاع المواصلات	**54.5**	**60.8**	**61.8**	**62.4**	**62.9**	**63.2**
البتروكيماويات	13.8	15.3	16.3	16.7	17.2	17.5
الصناعات الأخرى	12.8	13.1	13.6	13.8	13.4	13.3
قطاع الصناعة	**26.6**	**28.4**	**29.9**	**30.5**	**30.6**	**30.8**

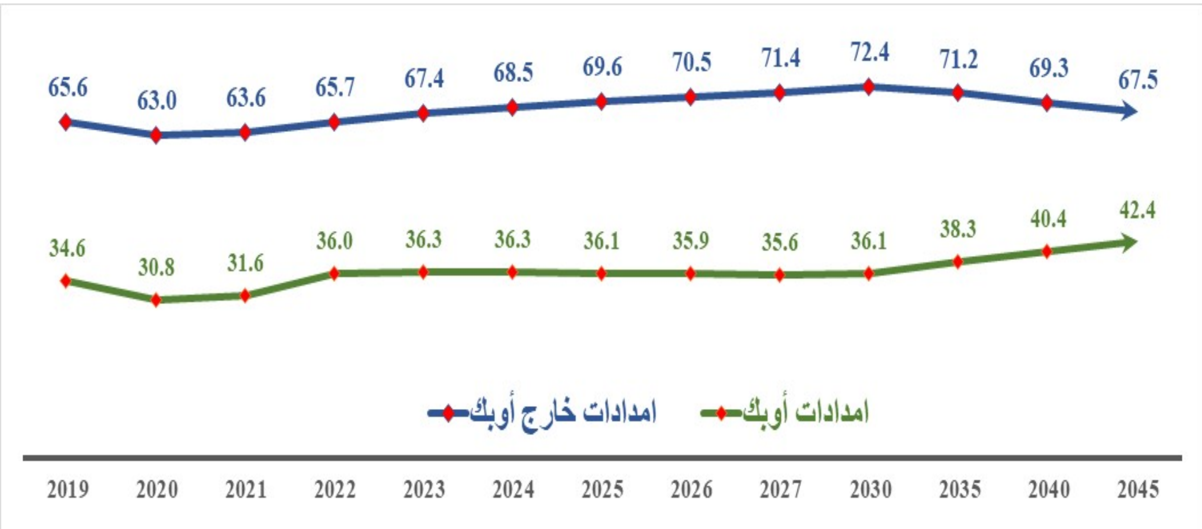
المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

ثالثاً: التوقعات المستقبلية للتوازن بين الطلب والإمدادات من النفط

يتوقع تقرير آفاق النفط العالمي الصادر عن منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك) أن ترتفع مستويات الامدادات النفطية من خارج أوبك إلى مستويات ما قبل جائحة فيروس كورونا مع نهاية عام 2022 لتبلغ نحو 65.7 مليون ب/ي، وأن تواصل ارتفاعها خلال السنوات اللاحقة حتى تبلغ امدادات خارج أوبك ذروتها بحلول عام 2030 عندما تصل إلى مستوى يبلغ نحو 72.4 مليون ب/ي، ثم تبدأ في التراجع التدريجي حتى تعود لمستويات عام 2023 تقريباً مرة أخرى بحلول عام 2045 عندما تتراجع وتصل إلى نحو 67.5 مليون ب/ي.

وبالمقابل يتوقع ارتفاع مستويات الامدادات النفطية من مجموعة دول أوبك إلى مستويات ما قبل الجائحة مع نهاية عام 2022 ببلوغها 36 مليون ب/ي، ويتوقع وأن تواصل ارتفاعها حتى عام 2024 عندما تصل إلى مستوى 36.3 مليون ب/ي، قبل أن تنخفض بشكل تدريجي خلال الفترة حتى عام 2027، ثم تبدأ صعوداً متسارعاً بالتزامن مع بدئ الانخفاض التدريجي للإمدادات النفطية من خارج أوبك، ليصل إجمالي الامدادات النفطية من مجموعة دول أوبك إلى 42.4 مليون ب/ي بحلول عام 2045، ***كما هو موضح في الشكل (20)***.

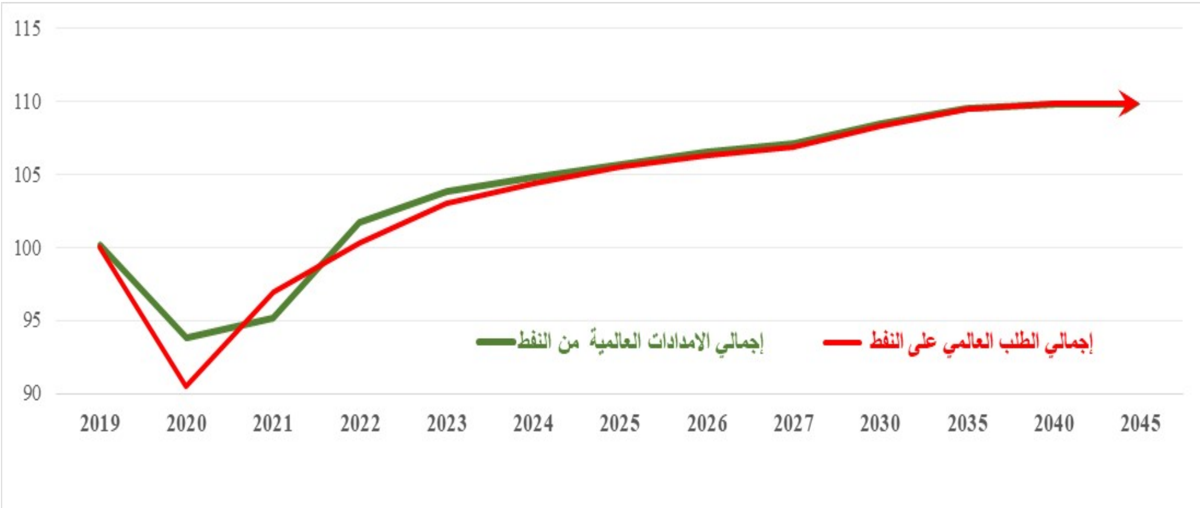
الشكل (20)
التوقعات المستقبلية للإمدادات العالمية من النفط حتى عام 2045
(مليون برميل/اليوم)



المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

وبذلك يتوقع أن تشهد أسواق النفط توازناً تجاري فيه الإمدادات المسار التصاعدي للطلب اعتباراً من عام 2025 وحتى كامل الفترة إلى عام 2045، ***كما هو موضح في الشكل (21) والجدول (17).***

الشكل (21)
التوقعات المستقبلية للتوازن في أسواق النفط العالمية حتى عام 2045
(مليون برميل/اليوم)



المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

الجدول (17)
التوقعات المستقبلية للتوازن في أسواق النفط العالمية حتى عام 2045
(مليون برميل/اليوم)

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2030	2035	2040	2045
إجمالي الامدادات العالمية من النفط	100.2	93.8	95.2	101.7	103.8	104.8	105.7	106.5	107.1	108.4	109.5	109.8	109.8
إجمالي الطلب العالمي على النفط	100.0	90.5	96.9	100.3	103.0	104.4	105.5	106.3	106.9	108.3	109.5	109.8	109.8

المصدر: تقرير آفاق النفط العالمية، منظمة الدول المصدرة للبترول (أوبك)، 2022.

الخلاصة والاستنتاجات

أولاً: الخلاصة

1. الوضع الحالي

- ✓ شهدت أسواق النفط العالمية تعافياً ملحوظاً من تداعيات جائحة فيروس كورونا التي اجتاحت العالم قبل نحو ثلاثة أعوام، وكان لحملات التطعيمات العالمية وتسارع وتيرتها دوراً رئيسياً في إلغاء القيود وإجراءات الإغلاق المرتبطة بالجائحة، ومن ثم استئناف النشاط الاقتصادي الذي تضرر بشكل حاد وغير مسبوق من تلك الجائحة.
- ✓ مجموعة الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية هي المصدر الرئيسي للارتفاع الذي شهده الطلب العالمي على النفط خلال النصف الثاني من عام 2021، بالمقارنة مع مستوياته في الربع الثاني من عام 2020. بينما كانت الاقتصادات النامية والمتحولة هي المصدر الرئيسي لإجمالي التراجع الذي شهده الطلب العالمي على النفط خلال الفترة المنقضية من عام 2022 بالمقارنة بمستوياته في نهاية عام 2021.
- ✓ تسببت القيود والإجراءات الصارمة المرتبطة بسياسة "Zero – Covid" في الصين – أكبر مستورد عالمي للنفط وثاني أكبر مستهلك له – في ضعف نمو الطلب الصيني على النفط خلال الفترة المنقضية من عام 2022.
- ✓ تحول الفائض الكبير في الإمدادات بأسواق النفط العالمية المحقق خلال النصف الأول من عام 2020 نتيجة جائحة فيروس كورونا وما يرتبط بها من تراجع في الطلب، إلى عجز في الإمدادات خلال الفترة (الربع الثالث 2020 – الربع الأول 2022). واقتربت أسواق النفط العالمية بدرجة كبيرة من الوصول إلى حالة التوازن خلال الربع الثاني من عام 2022، قبل أن يرتفع فائض الإمدادات النفطية خلال الربع الثالث من عام 2022.
- ✓ تسبب تنامي حالة عدم اليقين المحيطة بآفاق الاقتصاد العالمي وتزايد عمليات البيع في أسواق النفط الآجلة، في انخفاض أسعار النفط العالمية في الربع الثالث من عام 2022، وهو أول انخفاض فصلي لها منذ الربع الثاني من عام 2020.

2.الآفاق المستقبلية

تتباين سيناريوهات التوقعات المستقبلية للطلب العالمي على النفط وامداداته في الأسواق بين المؤسسات والشركات الدولية الرئيسية المعنية بدراسة أسواق الطاقة العالمية واستشراف آفاقها المستقبلية.

- ✓ بمقارنة التوقعات المستقبلية للطلب العالمي على النفط حسب السيناريوهات المرجعية لمنظمة أوبك من جهة، ووكالة الطاقة الدولية وشركة بريتش بتروليوم "Bp" من جهة أخرى خلال الفترة الممتدة حتى عام 2040، يلاحظ أن توقعات الطلب العالمي على النفط أخذت اتجاهاً تصاعدياً في توقعات منظمة أوبك ووكالة الطاقة الدولية وإن كان بوتيرة أعلى بالنسبة لتوقعات منظمة أوبك، بينما أخذت توقعات شركة بريتش بتروليوم اتجاهاً تنازلياً.
- ✓ من المتوقع انخفاض حصة دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية من إجمالي الطلب العالمي على النفط على المدى البعيد، أي بحلول عام 2045. وفي المقابل، يتوقع ارتفاع حصة دول خارج منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية. هذا ويتوقع أن تكون الهند المصدر الأول ومحرك النمو في طلب الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية ومن ثم الطلب العالمي على النفط خلال كامل الفترة الممتدة حتى عام 2045، لتزيح بذلك الصين عن هذا الدور الذي لعبته خلال العقدين الماضيين.
- ✓ من المتوقع أن يواصل قطاع النقل والمواصلات هيمنته كمصدر أساسي وأول للطلب على النفط حتى عام 2045، حيث يتوقع أن يساهم بأكثر من 68% من الزيادة المتوقعة في إجمالي الطلب العالمي على النفط خلال الفترة (2021 – 2045)، يليه قطاع الصناعة. بينما يتوقع أن يتراجع الطلب العالمي على النفط من قطاع توليد الكهرباء خلال نفس الفترة (2021 – 2045).
- ✓ بالنسبة لقطاع المواصلات، يتوقع أن يكون قطاع النقل الجوي المصدر الأول للنمو في الطلب العالمي على النفط من قطاع المواصلات، يليه قطاع النقل البري. بالمقابل، يتوقع أن يكون قطاع البتروكيماويات المحرك الأساسي والرئيسي للنمو في الطلب العالمي على النفط من قطاع الصناعة، مساهما بنحو 88% من إجمالي الزيادة المتوقعة في الطلب العالمي على النفط من هذا القطاع.

- ✓ من المتوقع أن تعود مستويات الامدادات النفطية من خارج أوبك إلى مستويات ما قبل الجائحة مع نهاية عام 2022، قبل أن تبدأ في التراجع التدريجي حتى تعود لمستويات عام 2023 تقريباً مرة أخرى بحلول عام 2045. وفي المقابل، يتوقع عودة الامدادات النفطية من مجموعة دول أوبك إلى مستويات ما قبل الجائحة مع نهاية عام 2022، وأن تواصل ارتفاعها حتى عام 2024، قبل أن تنخفض بشكل تدريجي خلال الفترة حتى عام 2027، ثم تبدأ صعوداً متسارعاً بالتزامن مع بدأ الانخفاض التدريجي للإمدادات النفطية من خارج أوبك. وبذلك يتوقع أن تشهد أسواق النفط توازناً تجاري فيه الإمدادات المسار التصاعدي للطلب اعتباراً من عام 2025 وحتى كامل الفترة إلى عام 2045.
- ✓ لا تزال الآفاق المستقبلية لأسواق النفط العالمية محاطة بقدر كبير من الضبابية وعدم اليقين، ولا يزال التوازن في أسواق النفط رهيناً بتفاعل جملة من العوامل المتشابكة، لارتباط التوازن بقدرة الاقتصادات العالمية على التعايش مع احتمال ظهور متحور جديد من فيروس كورونا، والتداعيات الناشئة عن التوترات الجيوسياسية المتصاعدة في شرق أوروبا.

ثانياً: الاستنتاجات

1. *لقد أظهر التعافي المتزامن في الطلب على النفط من قبل الاقتصادات العالمية عقب تخفيف وإلغاء القيود المرتبطة بجائحة فيروس كورونا، مدى أهمية ضمان أمن الإمدادات من الطاقة. فقد تسببت الجائحة في تراجع حجم الاستثمارات في صناعة النفط العالمية، لا سيما في قطاع الاستكشاف والإنتاج، مما أدى إلى تدني معدلات النمو في الاحتياطيات العالمية بالمقارنة مع مستويات ما قبل الجائحة، وضعف طاقة التكرير العالمية، مما نتج عنه عدم توافر الإمدادات الكافية لتلبية الطلب في أسواق النفط الفورية. كما ارتفعت حدة التوترات الجيوسياسية في شرق أوروبا وقد صاحب ذلك تزايد المخاوف بشأن أمن الإمدادات، تزامناً مع فرض حظر على واردات النفط الروسي من قبل الدول الأوروبية وبعض الدول الأخرى مثل الولايات المتحدة الامريكية.*

2. *إن التطورات سالفة الذكر، تتطلب من الدول الأعضاء في منظمة أوابك تعزيز قدرتها الإنتاجية كونها مصدر رئيسي لإمدادات النفط العالمية، وتأمين حصتها السوقية في كل من أسواق دول*

شرق آسيا التي يتوقع استمرار نمو احتياجاتها المستقبلية من النفط، والأسواق الأوروبية التي تبحث عن مصادر واردات أخرى بديلة عن واردات النفط الروسي. كما أن استمرار التنسيق والتعاون بين دولنا الأعضاء والدول الأخرى المنتجة والمصدرة للنفط، خاصة في إطار تحالف أوبك+، يعد أمر ضروري لتحقيق التوازن والاستقرار في أسواق النفط، خاصة في أوقات الأزمات العالمية، وهو ما سينعكس إيجاباً على العائدات النفطية للدول الأعضاء – المحرك الرئيسي لاقتصاداتها الوطنية.

مراجع الدراسة

1. International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook 2022.
2. Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC), World Oil Outlook 2022.
3. Organization of Petroleum Exporting Countries (OPEC), Annual Statistical Bulletin, various issues.
4. Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC), Monthly Report, various issues.
5. British Petroleum (Bp), Energy Outlook 2022.

the repercussions of the Corona virus pandemic on the global oil market, while the second part deals with the future prospects for the global oil market after Covid-19 pandemic.

One of the most important conclusions of this study is that global oil market has witnessed a remarkable recovery from the repercussions of Covid-19 pandemic, but the market future prospects are still surrounded by a great deal of uncertainty and blur, oil market balance is still dependent on the interaction of a number of interlocking factors, as this balance is linked to global economy ability to coexist with the possibility of the emergence of a new variant of the Corona virus, as well as The repercussions arising from the escalating geopolitical tensions in Eastern Europe.

The study also concluded that the global oil demand recovery following the easing and abolition of the Covid-19 restrictions showed the importance of ensuring the energy supply security, which requires OAPEC member countries to enhance their production capacity as a major source of global oil supply, and to secure their market share. Continued coordination and cooperation between OAPEC member countries and other oil producing and exporting countries, within the framework of the OPEC+ alliance, is essential to achieving balance and stability in oil markets, especially in times of global crises.

Abstract

Future prospects for oil market post Covid-19 pandemic

Majed Amer *

the global oil market was subjected to a unique shock during 2020, and especially during the first half of it, due to the Corona virus pandemic and its implications on all aspects of economic and social activities, as governments around the world imposed strict restrictions on mobility, and world trade declined. Oil market began to recover from pandemic during 2021, with major support from acceleration vaccination campaigns. However, the pace of the recovery was remarkably variance, in light of the repeated imposition of Covid-19 restrictions in some countries around the world, against the emergence of new variants of the virus. During 2022, global oil market recovery continued, but it went through remarkable fluctuations caused by several factors, the most important of which was the Russian-Ukrainian crisis, which raised concerns about energy security. in addition to the slowdown in global economy performance, the sharp rise in inflation rates, and the Disruptions in supply chains.

The study mainly aims to follow Covid-19 pandemic repercussions developments on global oil market, especially since there are some countries that are still imposing strict restrictions to limit the spread of the Corona virus, such as China the largest global oil importer and the 2nd largest consumer, which adheres to the zero - Covid policy. And In case of the world are unable to live with this matter, global oil markets may be exposed to an indeterminate strength new shock.

The study includes two parts, the first part of the study was devoted to reviewing

* Economic Expert, Director of the Economic Department, OAPEC, Kuwait.

Abstract

The Role of Renewable Biomaterials and Biofuels in the Bio-Plastic Production

Yasser Mohammed Zaki Boghdadi *

Biomass is a very versatile energy resource, while it can be converted to biofuel, it can also be used as alternative renewable resources to fossil fuels in the production of bio products , such as plastics, fertilizers, industrial chemicals, and many other products.

These "bioproducts" can be produced alongside biofuels at an integrated biorefinery. This strategy offers more efficient, cost-effective, and integrated approach to the utilization of biomass resources in Arab countries.

The emergence of lignocellulosic biorefineries (LBRs) over the past decades has shown tremendous potential for the development of sustainable renewable resources. It can help in meeting energy needs and protecting the environmental.

Around the year, availability of lignocellulosic biomass (LCB) with affordable price is a major factor in the development of biorefineries. It consists primarily of sugar polymers (cellulose and hemicellulose) and lignin, which can be used to produce second-generation (2G) biofuels such as bioethanol, biohydrogen, biobutanol, and renewable chemicals like lactic acid, and succinic acid. However, biochemicals and even biofuels have not achieved the desired commercial goals due to a lack of feasibility and a lack of innovative techniques for bioprocessing or genetic engineering. Inappropriate feedstock logistics and lack of accurate life-cycle analyses of processes / products were also major drawbacks in developing commercially viable technologies from lignocellulosic biomass, LCB.

In this study, recent technological advancement in lignocellulosic biorefineries, the current bio-renewable commercialization situation, and the intrinsic role of biorefinery in producing bio-plastic have been elucidated.

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

Contents

Articles

Oil and Arab Cooperation is an Arab journal aiming at spreading petroleum and energy knowledge while following up the latest scientific developments in the petroleum industry

- Articles should not exceed 40 pages (including text, tables, and figures) excluding the list of references. The full text of the article should be sent electronically as a Word document.
- Figures, maps, and pictures should be sent in a separate additional file in JPEG format.
- “Times New Roman” should be used with font size 12. Line spacing should be 1.5. Text alignment should be “justified”.
- 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.

Volume 48 - 2022 - Issue 183

OIL AND ARAB COOPERATION

Volume 48 - 2022 - Issue 183

Prices

Annual Subscription (4 issues including postage)

Arab Countries:
Individuals: KD 8 or US $25
Institutions: KD 12 or US$45

Other Countries:
Individuals: US$ 30
Institutions: US$ 50

All Correspondences should be directed to:
Editor-in-Chief of Oil and Arab Cooperation Journal

OIL AND ARAB COOPERATION

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

ORGANIZATION OF ARAB PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES
OAPEC

OIL & ARAB COOPERATION

Volume 48 - 2022 - Issue 183

Articles

- **The Role of Renewable Biomaterials and Biofuels in the Bio-Plastic Production**

  Yasser Mohammed Zaki Boghdadi *

- **Future prospects for oil market post Covid-19 pandemic**

  Majed Amer