

## الوقود الحيوي: الإنتاج والتطبيقات

### BIOFUELS: PRODUCTION AND APPLICATIONS

أليكساندري روجي وفريدريك مونوت

Alexandre Rojey and Frédéric Monot

#### (١٢, ١) تجدد الاهتمام في الوقود الحيوي A Renewed Interest in Biofuels

يُتوقع الوقود الحيوي حالياً من تجدد الاهتمام في جميع أنحاء العالم. وهو يعدُّ خياراً واعداً للحد من اعتماد الدول المستهلكة للطاقة على واردات النفط. ويمكن في الوقت نفسه أن يساعد على كبح انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ويقدم بذلك إجابة للتحدي المتمثل في تغير المناخ العالمي.

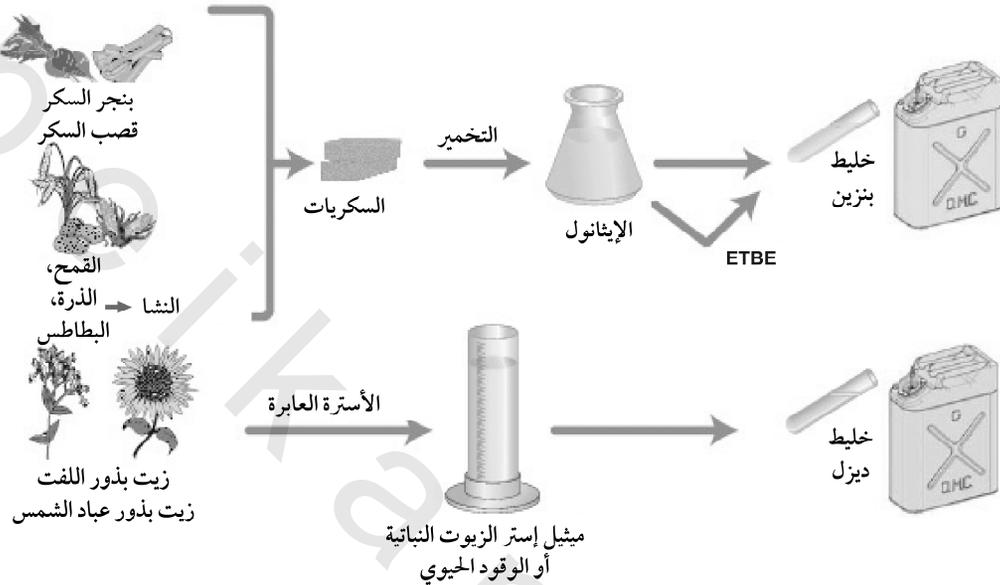
وكان الدافع أيضاً لتطوير الوقود الحيوي هو التجربة الإيجابية لاستخدامه الواسع في البرازيل، والولايات المتحدة، وإلى حدٍ أقل في أوروبا. ويجعل ارتفاع أسعار النفط الخام أيضاً الوقود الحيوي أكثر قدرة على المنافسة. لذلك، يتم وضع أهداف تنمية طموحة في معظم البلدان الصناعية. وتخطط الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي لتحقيق إنتاج للوقود الحيوي من مستوى هامشي حوالي ١٪ من وقود المحركات إلى إختراق هام في سوق وقود المحركات، فوق ١٠٪.

والسؤال الذي يطرح نفسه هو معرفة مدى توفر موارد الكتلة الحيوية الكافية وعمّا إذا كانت التقنية مستعدة لمثل هذا التقدم. وعلاوةً على ذلك، هل من الممكن ضمان استدامة مستويات الإنتاج هذه؟ هذه هي الأسئلة الرئيسة التي أخذت في الاعتبار في هذا الفصل.

#### (١٢, ٢) مسارات التحويل الحالية Present Conversion Pathways

يستخدم في الوقت الحاضر نوعين رئيسيين من الوقود الحيوي: الإيثانول، في محركات الإشعال بالشرارة وإسترات ميثيل الزيوت النباتية (VOME) في محركات الديزل. يتم صنع الإيثانول حالياً من نوعين من

المحاصيل (الشكل رقم ١, ١٢): النباتات المنتجة للسكر (قصب السكر، وبنجر السكر) والنباتات النشوية المنتجة للنشا (القمح والذرة). يتم الحصول على الجلوكوز من تحليل النشا في وجود الإنزيمات (الأميليز والأميلو جلو كوسيديز).



الشكل رقم (١, ١٢). مسارات التحويل الحالية.

ويتم إنتاج الإيثانول من السكر عن طريق التخمير. ويمكن استخدامه بصورة نقية، أو مخلوطاً مع وقود السيارات، أو في شكل الأثير له، ETBE المنتج من التفاعل مع أيزوبيوتان المصفاة أو البتروكيمياويات. وعلى الرغم من أنه يمكن مزج الإيثانول مع البنزين عند تركيزات منخفضة، بين ٥ و ١٠٪، ويستخدم في محرك دون تعديلات كبرى، إلا أنه يمكن أن تنشأ بعض الصعوبات؛ نتيجة لضغط بخاره العالي نسبياً والميل إلى عدم الامتزاج في وجود الماء. لذلك يتم في أوروبا استخدام الإيثانول أساساً على صورة ETBE من أجل تجنب هذه العيوب.

ويمكن أيضاً أن يستخدم الإيثانول في تركيزات عالية (عادةً ٨٥٪، في بنزين E85) في المحركات المعدلة خصيصاً. ويمكن حتى استخدام كل من E85 والبنزين القياسي أو مزيج من هذين النوعين من الوقود في أي نسبة، في المركبات ثنائية الوقود (FFV). يتم في مثل هذه المركبة ضبط المحرك تلقائياً وفقاً لتكوين الوقود المستخدم. والإيثانول هو الوقود الحيوي الأكثر استخداماً في الوقت الحاضر. وبلغ الإنتاج العالمي من الإيثانول كوقود للسيارات ٢٧ مليون طن (مكافئ لـ ١٨ مليون طن من البترول) في عام ٢٠٠٥م، أي تقريباً ضعف المستوى في عام ٢٠٠٠م. ويتركز الإنتاج في البرازيل والولايات المتحدة. في عام ٢٠٠٥م، أنتجت أوروبا حوالي ٧٥٠٠٠٠

طن من الإيثانول كوقود للسيارات واستوردت ٢٠٠٠٠٠٠ طن لتغطية الاستهلاك. ويتم الجزء الأكبر من الإنتاج في أسبانيا، والسويد، وألمانيا، وفرنسا [١].

في أوروبا؛ بسبب ارتفاع حصة محركات الديزل، فإنه يتم تفضيل وقود الديزل الحيوي المنتج بواسطة الأسترة الناقلة للزيوت النباتية، ولا يزال إجمالي إنتاج وقود الديزل الحيوي في جميع أنحاء العالم منخفضاً بالمقارنة مع الإيثانول، والبالغ نحو ٤ ملايين طن مكافئ للبترو في عام ٢٠٠٥م. ويتم إنتاج ما يقرب من ٩٠٪ في أوروبا. بلغ الوقود الحيوي السائل في دول الاتحاد الأوروبي الـ ٢٥ ما يقرب من ٢٠٤٠ كيلوطن مكافئ في عام ٢٠٠٤م أو حوالي ٧,٠٪ من السوق. ووقود الديزل الحيوي من بذور اللفت هو الغالب، مع إنتاج ما يقرب من ٢ مليون طن في عام ٢٠٠٤م، لا سيما في ألمانيا وفرنسا وإيطاليا.

ويتم حالياً إنتاج أنواع أخرى من وقود النقل في أحجام سوق منخفضة، على سبيل المثال الغاز الحيوي في السويد أو الزيت النباتي النقي في ألمانيا.

على الرغم من أن مستويات الإنتاج مهمة بالفعل، لا يزال الوقود الحيوي يمثل حصة صغيرة، أعلى قليلاً من ١٪ من إجمالي الطاقة المستهلكة للنقل البري. وإذا كان من المتوقع أن يساهم الوقود الحيوي بصورة أكبر، فيجب أن يتحرك من مكان مادة مضافة (نسبة ضئيلة) إلى جزء مزج كبير من استهلاك وقود النقل البري (أكثر من ١٠٪). ومن الناحية الاقتصادية وبسبب الزيادات الأخيرة في أسعار النفط، بدأ الوقود الحيوي يصبح أكثر قدرة على المنافسة، ولكن لا يزال بحاجة إلى الدعم الشعبي كما هو موضح في الجدول رقم (١، ١٢). والإيثانول المنتج من قصب السكر في البرازيل هو الوقود الحيوي الأكثر قدرة على المنافسة، بتكلفة قريبة جداً من البنزين. وإذا زاد سعر النفط مستقبلاً كما هو متوقع عموماً، فقد يصبح الوقود الحيوي قادراً على المنافسة بصورة مباشرة على أساس اقتصادي بحت.

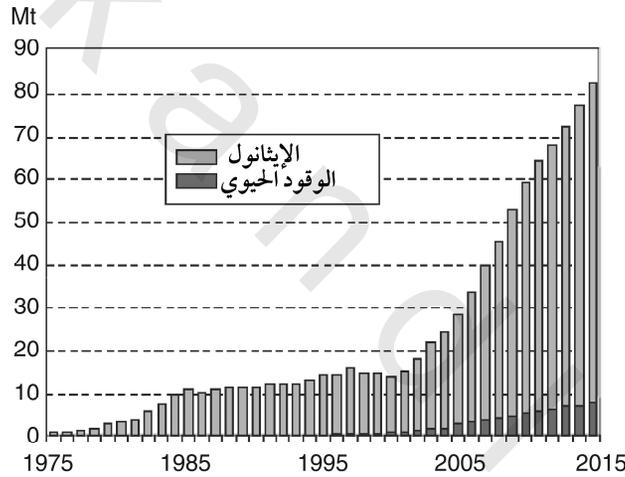
الجدول رقم (١، ١٢). تكلفة إنتاج الوقود الحيوي مقارنةً بوقود الجازولين والديزل المشتق من البترول.

الديزل ٦٠ دولار أمريكي/ برميل	الجازولين ٦٠ دولار أمريكي/ برميل	VOME أوروبا	الإيثانول الولايات المتحدة الأمريكية	الإيثانول البرازيل	الإيثانول أوروبا	
٠,٣٦	٠,٣٢	٠,٦٥-٠,٣٥	٠,٣	٠,٢	٠,٦-٠,٤	يورو/ لتر
١٠	٩	٢٠-١٠,٥	١٤	١٠	٢٩-١٩	يورو/ جالون

VOME ميثيل الأستر للزيوت النباتية.

من بيانات IFP/IEA ديسمبر ٢٠٠٦م [١].

ومن المتوقع أن تحدث زيادة سريعة في إنتاج الوقود الحيوي في السنوات المقبلة كما هو مبين في الشكل رقم (١٢، ٢). والهدف في الولايات المتحدة هو الوصول إلى حصة ٤٪ بحلول عام ٢٠١٠م و ٢٠٪ بحلول عام ٢٠٣٠م. وقد حدد الاتحاد الأوروبي هدفاً أولياً بحوالي ٧٥، ٥٪ لحصة الوقود الحيوي بحلول عام ٢٠١٠م. ومن المتوقع أن تزيد حصة الوقود الحيوي في المستقبل، كما ينعكس في رؤية المجلس الاستشاري لبحوث الوقود الحيوي (Biofrac)، الذي يستهدف معدل استبدال ٢٥٪ بحلول عام ٢٠٣٠م [٢]. ومن أجل دعم مثل هذا التطور، قرر الاتحاد الأوروبي تنفيذ إستراتيجية إقليمية طموحة مصممة لتشجيع المتواصل لتنمية وإنتاج الوقود الحيوي. ويذكر قرار المجلس المتخذ في ٨-٩ مارس، ٢٠٠٧م فيما يتعلق بالإستراتيجية طويلة المدى لتطوير مصادر الطاقة المتجددة (RES) في الاتحاد الأوروبي، أن من بين الأهداف الـ ٢٠٪ المتفق عليها من لـ RES بحلول عام ٢٠٢٠م، ينبغي أن تستمد ١٠٪ من الوقود الحيوي.



الشكل رقم (١٢، ٢). اتجاهات إنتاج الوقود الحيوي في العالم. من إف أو لايت، كريستوف بيرج، الوقود الحيوي العالمي، إشبيلية، ٢٠٠٦م [٢].

### (١٢، ٣) إنتاج وقود الديزل الحيوي من الزيوت والدهون النباتية

#### Biodiesel Production from Vegetable Oils and Fats

#### (١٢، ٣، ١) عمليات الأسترة Esterification Processes

يتم إنتاج وقود الديزل الحيوي في الوقت الحاضر من محاصيل البذور الزيتية (بذور اللفت، وعباد الشمس، وفول الصويا)، التي يتم تحويلها إلى إسترات الميثيل (إسترات ميثيل الأحماض الدهنية أو FAME). وقد أخذ الاستخدام المباشر للزيوت النباتية كوقود ديزل حيوي في الاعتبار في الماضي وأحياناً لا يزال حالياً. ومع ذلك، فإن فخصائص الزيوت النباتية غير مناسبة تماماً لمثل هذا الاستخدام المباشر، كونها ثقيلة للغاية،

ولزجة جداً وغير مستقرة بما فيه الكفاية. وعندما تستخدم في محركات الاحتراق الداخلي فهي تؤدي إلى ترسيبات، وإلى ضعف الأداء وربما أيضاً الأعطال الميكانيكية [٣].

وتكون الزيوت النباتية في الغالب إسترات ثلاثية الأسيل للجلسرين (الدهون الثلاثية). عن طريق التفاعل مع الميثانول خلال أسترة ناقلة، ويتم تحويلها إلى أسترات ميثيل وجلسرين. وأسترات الميثيل لها الخصائص المطلوبة للاستخدام في محركات الديزل.

من المتوقع أن تستخدم عمليات وقود الديزل الحيوي في المستقبل مجموعة واسعة من مواد النفط الأولية المتجددة. وسوف يكتسب زيت النخيل والمواد الأولية غير الغذائية عالية العائد المتجددة التي لم تستكشف بشكل جيد حتى الآن، مثل الجاتروفا، والأنواع المختلفة من الطحالب، وكذلك المزيد من مجاري النفايات الصناعية التي تحتوي على الدهون الثلاثية حصصاً في السوق.

في الوقت الحاضر، تعتمد التقنية الأكثر استخداماً لإنتاج وقود الديزل الحيوي على التحفيز المتجانس. وتستخدم محفزات مختلفة: قاعدية (على سبيل المثال، الهيدروكسيدات، والأمينات) أو الحمضية (مثل المعادن، والسلفونيك، والزيولايت، والراتنجات)، وألكولات التيتانيوم، أو أكاسيد المعادن، ويمكن أن تكون العمليات دفعة واحدة أو مستمرة. والعمليات المستمرة هي الأنسب لمحطات العمليات ذات السعة الكبيرة، أكثر من ١٠٠٠٠٠ طن في السنة.

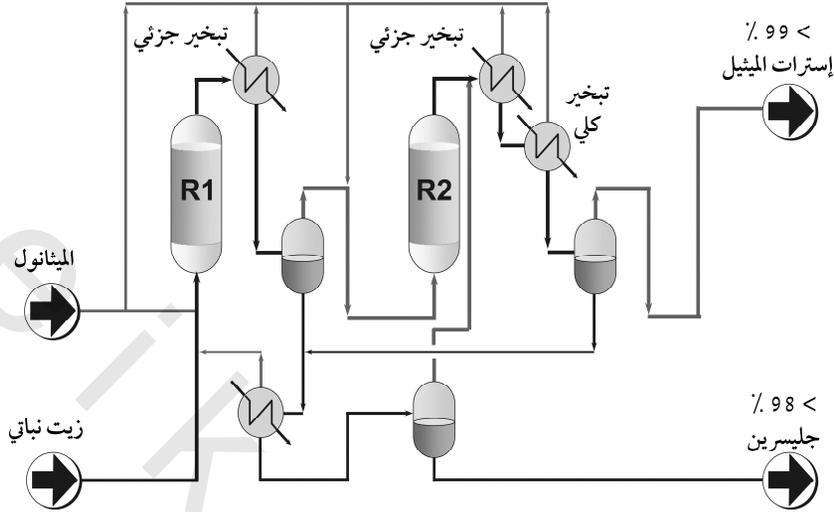
يتم إدخال الزيوت النباتية، والميثانول بتركيز زائد، والمحول المحفز في المفاعلات بتسلسل عند ضغط منخفض (>٣ بار) وعند درجة حرارة معتدلة (٤٥-٩٠ درجة مئوية). وتراوح درجة نقاء الجلسرين المنتج ثانوياً بين ٨٠-٩٠٪. وهذا يعني أنه يتطلب المزيد من التنقية لمعظم التطبيقات في الصناعة الكيميائية.

وقد تم تطوير تقنية جديدة تدعى عملية Esterfip-H، والتي تستخدم محفز غير متجانس من ألومينات الزنك بواسطة IFP [٣]، ويجري تسويقها بواسطة شركة أكسنس. وتحقق هذه العملية التي تعمل على أساس مستمر عائداً عالياً وجلسرين عالي النقاوة، مما يجعلها مناسبة للكثير من التطبيقات في الصناعة الكيميائية. ويظهر مخطط سير العملية في الشكل رقم (٣، ١٢). وتعمل اثنتان من المنشآت الصناعية، واحدة في فرنسا وواحدة في السويد، وستة آخرين تحت الإنشاء، مع قدرة تراكمية ٣، ١ مليون طن سنوياً.

وهناك تطورات جديدة جارية لإنتاج إسترات الإيثيل (إسترات إيثيل الأحماض الدهنية أو FAEE) باستخدام عملية أسترة ناقلة في وجود الإيثانول بدلاً من الميثانول. والميزة هي أنه يمكن إنتاج الـ FAEE ن الكتلة الحيوية فقط، في حين أنه في عملية الـ FAME، يتم إنتاج الميثانول عادةً من الغاز الطبيعي.

ويكون تحويل الزيوت النباتية إلى FAEE أكثر صعوبة من التحويل إلى FAME. ويكون صعباً على وجه الخصوص في حالة العملية التي تستخدم عامل محفز متجانس؛ لأنه في وجود المحفز والجلسرين يميل التفاعل

العكسي إلى الحدوث أثناء عملية التقطير. ويجعل هذا استخدام المحفزات غير المتجانسة يبدو واعدًا. وهذه التقنية قيد التطوير ولكن ليست بعد متاحة تجاريًا.



الشكل رقم (٣, ١٢). عملية التحفيز غير المتجانسة لإنتاج أسترات ميثيل الأحماض الدهنية.

### (٢, ٣, ١٢) خصائص إسترات الزيوت النباتية Properties of Vegetable Oil Esters

يقارن الجدول رقم (٢, ١٢) بين الخصائص الرئيسية لوقود الديزل القياسي المستمد من النفط، وزيت نباتي نقي، والـ FAME المنتج من زيت بذور اللفت. ويدل هذا على أن الـ FAME له خصائص مشابهة لتلك التي لزيت الغاز، من حيث الوزن النوعي، واللزوجة، ومعامل السيتان، وليس هذا هو الوضع في حالة زيت بذور اللفت. ويجب أن تتوافق أسترات الزيوت النباتية التي تستخدم كوقود حيوي مع بعض الخصائص. ويتم تعريفها في الاتحاد الأوروبي بالمبدأ CEN 14 214، ولكن كل بلد له خصائصه الخاصة التي تحدد مجموعة من الصفات (الوزن النوعي، واللزوجة)، والحد الأقصى لمستوى الشوائب، والثبات تجاه الأكسدة. ويمكن استخدام المنتجات التي تمثل لهذه الخصائص فقط بأمان في محركات الاحتراق الداخلي.

الجدول رقم (٢, ١٢). الخصائص الرئيسية لزيت الغاز، زيت بذور اللفت، وميثيل إستر الأحماض الدهنية (FAME).

الخصائص	زيت الغاز	زيت بذور اللفت	FAME
الوزن النوعي (كجم/م <sup>٣</sup> )	٨٦٠-٨٢٠	٩٢٠	٨٨٥-٨٨٠
اللزوجة عند ٤٠° (مم <sup>٢</sup> /ث)	٤,٥-٢	٣٠,٢	٤,٥
معامل السيتان	٤٩<	٣٥	٥٠
درجة الوميض (د°)	١٠٠≤	تتحلل أعلى من ٣٢٠°	١٨٠-١٧٠

تختلف خصائص أسترات الزيوت النباتية وفقاً للزيت النباتي المستخدم. تحتوي الإسترات المشتقة من زيوت فول الصويا وعباد الشمس على مستويات عالية نسبياً من الجزيئات غير المشبعة (التي تتميز بمؤشر يود عالي)، وفي الاتحاد الأوروبي يجب أن يتم خلطها مع إسترات ميثيل زيت بذور اللفت. والإسترات المشتقة من زيت النخيل لها نقطة سكب عالية ولا يمكن استخدامها بشكل مباشر في السوق الأوروبية. ويمكن تحسين هذه الخصائص عن طريق البلورة والترشيح.

### (٣, ٣, ١٢) عمليات الهدرجة Hydrogenation Processes

تتم الطريقة الأخرى لتحويل الدهون الثلاثية الموجودة في الزيوت النباتية من خلال الهدرجة. وتجعل معالجة الهدرجة الحفزية للزيوت النباتية عند ٣٠٠ درجة مئوية من الممكن الحصول على خليط من إن-بارافينات، والبروبان، والماء. ويمكن القضاء على جميع المكونات غير المشبعة وعليه يمكن الحصول على وقود ديزل حيوي عالي الجودة من مجموعة واسعة من المواد الخام، بما في ذلك الدهون الحيوانية. ولا يتم إنتاج الجلسرين، مما يعني أنه لا توجد حاجة لمنفذ خاص للجلسرين كمنتج ثانوي، ولكن تكون قيمة البروبان منخفضة نسبياً.

وتتطلب هذه العملية الهيدروجين (حوالي ٦, ٣٪ من وزن المواد الأولية، في حالة زيت بذور اللفت)، مما يعني أن ذلك هو الأنسب للوحدات التي تعمل المصافي. وعليه، فمن الممكن دراسة إما عملية تشغيل ثانوية لتحويل مخاليط من المنتجات المشتقة من النفط والكتلة الحيوية أو وحدات مخصصة لتحويل منتجات الكتلة الحيوية.

وقد حدثت تطورات واسعة النطاق بواسطة شركة فورتشوم ونستي للنفط في فنلندا. وحيث إن جودة المنتجات التي تم تحقيقها هي مشابهة جداً لتلك التي يتم الحصول عليها في عملية فيشر-ترويش، فقد أطلق على العملية التي طورها نستي للنفط NextBtL، وذلك كمرجع لعملية BtL الموضحة لاحقاً في هذا الفصل. ومع ذلك تختلف عملية التحويل الأساسية تماماً [٨].

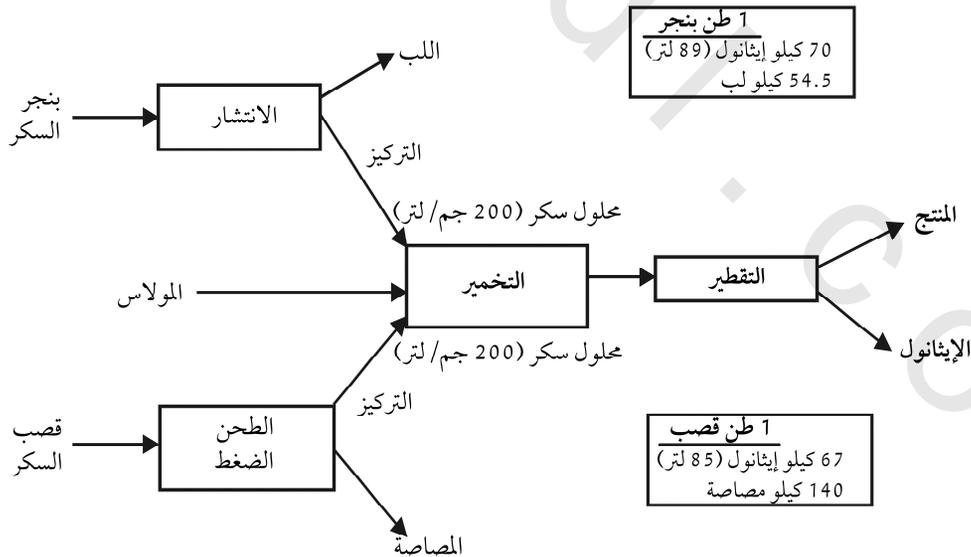
ولا ينتج هذا المسار فقط وقود ديزل ذو جودة عالية جداً، ولكن يسمح أيضاً ببعض المرونة في اختيار المواد الأولية (النخيل، وزيت فول الصويا، وحتى الدهون الحيوانية). ويزيد استهلاك الهيدروجين من تكلفة الإنتاج، وبالتالي فإن التقنية تكون هي الأنسب لتحويل الزيوت والدهون المشبعة، مثل زيوت النخيل وجوز الهند، وكذلك الدهون الحيوانية. ويتم حالياً تشييد عدة مصانع في أوروبا بهدف إنتاج حوالي ٢٠٠٠٠٠٠ طن من الوقود الحيوي سنوياً.

**Ethanol and ETBE Production (ETBE) وال (١٢, ٤) إنتاج الإيثانول****Ethanol Production from Sugar and Starch النشا والإيثانول من السكر (١٢, ٤, ١)**

تكون الخطوة الأولى عند البدء من نباتات السكر أو النباتات النشوية هي استخلاص السكر (الشكل رقم ١٢, ٤). في حالة قصب السكر، يتم ذلك عن طريق الطحن والضغط من أجل فصل محلول السكر من قفل قصب السكر، والذي هو جزء الحصاد اللجنوسليولوزي من النبات. ويمكن استخدام قفل قصب السكر كوقود، مما يساعد على تحسين ميزان الطاقة والكربون. وفي حالة بنجر السكر، يتم استخلاص السكر بالماء الساخن من خلال عملية الانتشار. ويستخدم اللب المفصول لتغذية الحيوانات في حين يمكن إرسال السكر المستخلص، السكروز، مباشرة إلى خطوة التخمير.

ويجب تحليل النشا المفصول من الحبوب من أجل الحصول على الجلوكوز. وكان ذلك يتم في الماضي في وجود حامض الهيدروكلوريك، لكن في الوقت الحاضر يتم ذلك في وجود الإنزيمات، مما يزيد من عائد الجلوكوز ويحسن الاقتصاديات (وخاصة في عملية الطحن الجاف). وخلال خطوة أولية، تتم إسالة معلق النشا عند ١٠٥ درجة مئوية في وجود الألفا-أميليز. ويتم إنتاج الجلوكوز خلال الخطوة الثانية عند ٦٠ درجة مئوية ودرجة حموضة حوالي ٥ باستخدام إنزيم ثاني، الجلوكوأميليز.

بعد التركيز، يتم إرسال محلول السكر إلى قسم التخمير. والتفاعل الستويكيومتري الأساسي هو التالي:



الشكل رقم (٤, ١٢). إنتاج الإيثانول من نباتات السكر.

كان تحويل السكريات إلى الإيثانول يتم عن طريق التخمير من سنواتٍ عديدة. ويمكن استخدام كائنات حية دقيقة كثيرة، الخمائر والبكتيريا. وتعد الخمائر من جنس السكرومييسيس (خاصةً سكارومييسيس سيرفيسي) هي الأكثر مناسبةً لتحقيق عائد مرتفع. فهي متينة ومستقرة جداً في الظروف الصناعية غير المعقمة. ومن بين البكتيريا، يتم تكييف الزيموموناس موبيليس بصورة جيدة، ولكنها تظهر أيضاً بعض العيوب، مثل الحاجة إلى استخدام ظروف معقمة للتخمير وصعوبة فصلها؛ وذلك بسبب صغر حجمها.

ويتم الآن إجراء خطوة التخمير في كثيرٍ من الأحيان بطريقة مستمرة، في سلسلة من مفاعلات التقليل. ويمكن استرداد الخمائر من خلال خطوة ترشيح أو طرد مركزي، وإعادة تدويرها على الأقل جزئياً، على الرغم من أن الخمائر الجافة أو المعلقات المركزة تكون بديلاً ذا اهتمام متزايد.

يكون تركيز الإيثانول عند الخروج من السلسلة بشكل عام أعلى من ١٠٪ حجم/حجم. ويمكن أن تصل عائدات التحويل إلى نحو ٩٢٪ من العائد النظري. وتكون عملية التخمير طاردة للحرارة وتنتج ١,٢ مول جول/كجم من الإيثانول الناتج.

#### (٢, ٤, ١٢) إنتاج الـ (ETBE) ETBE Production

في أوروبا، يتم استخدام الإيثانول على نطاقٍ واسع في شكل مشتقات، إثير البيوتيل رباعي الإيثيل (ETBE). يتم إنتاج الـ ETBE عن طريق تفاعل الأيزوبيوتين مع الإيثانول ويستخدم لتجنب بعض السليبات التي سبق ذكرها فيما يتعلق باستخدام الإيثانول في تجمّع البنزين.

يكون التفاعل عكسياً وطارداً للحرارة. ويتم إجراؤه عند درجة حرارة منخفضة نسبياً (أقل من ١٠٠ درجة مئوية)، في وجود راتنج تبادل أيوني مثل راتنج بوليسترين السلفونيك المتشابك حمضياً، ووجود فائض من الإيثانول من أجل تحسين عائد التحويل.

عند مغادرة منطقة التفاعل، يتم فصل الـ ETBE عن طريق التقطير. ويتم استرداد الـ ETBE في الجزء السفلي من العمود. وفي الجزء العلوي من العمود يتم فصل الإيثانول جنباً إلى جنبٍ مع الهيدروكربونات الخفيفة الذي يشكل معها مخلوطات أزيوتروبية (Azeotropes).

ويمكن تحسين هذا التصميم باستخدام عمود تحفيز. يتم وضع المحفز في المقطع العلوي من عمود التقطير من أجل زيادة عائد التحويل. وتتوفر تقنيات مختلفة من شركات CdTech، UOP، وIFP/أكسنس.

**Properties of Ethanol and ETBE (ETBE) والخصائص الإيثانول وال (١٢, ٤, ٣)**

يلخص الجدول رقم (٣, ١٢) الخصائص الرئيسية للإيثانول وال ETBE. الإيثانول له رقم اوكتان كبير نسبياً وكثافة قريبة من كثافة البنزين. وكما سبق ذكره، تتمثل العيوب الرئيسية في امتزاجه العالي مع المياه الذي يمكن أن يؤدي إلى فصل المراحل، وحرارة التبخر الكامنة العالية التي يمكن أن تجعل بدء المحرك أكثر صعوبة في فصل الشتاء. وتكون خصائص الـ ETBE أقرب لتلك التي تكون للبنزين القياسي، ويمكن إدراجها بسهولة في تجمع البنزين.

الجدول رقم (٣, ١٢). الصفات الرئيسية للإيثانول، وإثير البيوتيل رباعي الإيثيل (ETBE).

الخصائص (المقياس)	ETBE	الإيثانول	
١٠٢,٥	١٠٢	٤٦,٠٧	الكثافة (جم/مول)
٧٦٠-٧٣٥	٧٥٠	٧٩٤	الكتلة الحجمية (كجم/م <sup>٣</sup> )
٢٨٩	٣٢١	٨٥٤	حرارة التبخر الكامنة (كيلوجول/كجم)
١٩٠-٣٠	٧٢,٨	٧٨,٤	درجة الغليان (درجة مئوية)
٤٢٦٩٠	٣٥٨٨٠	٢٦٨٠٥	قيمة التسخين الصغرى (كيلوجول/كجم)
٩٥	١١٧	١١١	RON
٨٥	١٠١	٩٢	MON

RON، رقم أوكتان البحث؛ MON، رقم أوكتان الماتور.

**The Need for New Developments الجديدة للحاجة للتطورات (١٢, ٥)**

تشير الزيادة الكبيرة المخططة لتغلغل الوقود الحيوي بعض القضايا الصعبة. القضية الأولى هي توافر الأرض اللازمة لإنتاج الكتلة الحيوية المطلوبة والمنافسة مع الطعام. في الاتحاد الأوروبي، يقتضي الوصول إلى هدف الـ ٥,٧٥٪ لعام ٢٠١٠م إلى إنتاج ١٦,٦ مليون طن من الوقود الحيوي (مكافئ لـ ٥,٦ مليون طن من الإيثانول و ١١ مليون طن من الديزل الحيوي). وسوف يتطلب تحقيق هذا المخرج حوالي ٨٢ مليون طن من الكتلة الحيوية ومساحة أرض ١٣,٨ مليون هكتار تقريباً. ويجب مقارنة ذلك مع مساحة الأرض الصالحة للزراعة، والتي تبلغ ١١٥ مليون هكتار، يترك منها ٨,٣ مليون هكتار أرضاً بور. تبين هذه الأرقام أنه بالفعل في عام ٢٠١٠م لن تكون مساحة الأراضي البور كبيرة بما يكفي لإنتاج الكميات اللازمة من الوقود الحيوي وأنه سوف ينشأ تنافس مع تطبيقات المواد الغذائية إذا تم إنتاج كميات الوقود الحيوي هذه في أوروبا. وبالنظر أبعد من ذلك، فسوف يتطلب إحلال ١٠٪ من البنزين والديزل المنتج في الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة استخدام حوالي ٤٠٪ من الأراضي

الصالحة للزراعة في هذه المناطق [٥]. وإذا تجاوز تغلغل الوقود الحيوي ١٠٪، فإنه من الواضح أنه لا بد من البحث عن مصادر جديدة للكتلة الحيوية.

ويصبح الوضع مختلفاً جداً إذا كان من الممكن استخدام الكتلة الحيوية اللجنوسليلولوزية لإنتاج الوقود الحيوي. في مثل هذه الحالة، يصبح الكثير من الكتلة الحيوية متوفراً. وتمت مناقشة هذه القضية في القسم (٦، ١٢). والقضية الثانية هي استدامة العمليات التي يتم النظر فيها. يجب أخذ المعايير المختلفة للاستدامة في الاعتبار. المعيار الأول هو ميزان ثاني أكسيد الكربون بناءً على أساس دورة الحياة، من إنتاج الكتلة الحيوية إلى الاستخدام النهائي للوقود الحيوي في محركات الاحتراق الداخلي. إذا تم استخدام الوقود الحفري لتزويد الطاقة لعملية التحويل، فإن المكاسب الإجمالية قد تكون صغيرة أو حتى سلبية في بعض الحالات. ولذلك يكون التقييم الصحيح للمكاسب الإجمالية في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون مهماً جداً. ويجب أيضاً إدراج مساهمة غازات الاحتباس الحراري الأخرى، مثل بروتوكسيد النيتروجين ( $N_2O$ )؛ نتيجة استخدام أسمدة النترات، في الميزان.

ويجب أيضاً أن تؤخذ قضايا مهمة أخرى في الاعتبار، وخاصةً فيما يتعلق بإنتاج الكتلة الحيوية. فمن المهم أن لا يؤدي إنتاج الكتلة الحيوية إلى الإزالة الضخمة للغابات أو فقدان مغذيات التربة. وقد نوّقت مسألة الاستدامة هذه في القسم (٩، ١٢).

هذا يعني أن هناك حاجة لعمليات جديدة لتطوير عمليات الجيل الثاني، والتي يمكن أن تستخدم الكتلة الحيوية اللجنوسليلولوزية كمادة أولية وتساعد على تحسين استدامة خيار الوقود الحيوي.

### (٦، ١٢) مصادر الكتلة الحيوية اللجنوسليلولوزية Lignocellulosic Biomass Resources

يجعل تحويل الكتلة الحيوية اللجنوسليلولوزية من الممكن حشد كميات كبيرة من القش والخشب التي لا تستغل حالياً في الحصول على الطاقة. في أوروبا، يمكن استخدام ٣، ٤١ مليون طن من قش الحبوب وقش البذور الزيتية وكذلك ١٦٤ مليون طن من الخشب لإنتاج حوالي ٣٣ مليون طن مكافئ من الوقود الحيوي سنوياً. ويكون مجموع كمية مخلفات المحاصيل (بما في ذلك الحبوب، والبذور الزيتية، وبنجر السكر، والبطاطس) حوالي ٤٩٠ طن في أوروبا (٢٥ دولة) و٥ مليار طن في جميع أنحاء العالم.

تمثل نفايات خشب الغابات حجماً كبيراً يوازي تقريباً كمية الخشب التي يتم استغلالها. فهي تصل إلى نحو ٣، ٢ مليار طن من المادة الجافة في جميع أنحاء العالم، أي ١ جيجا طن من المكافئ النفطي (٤٣، ٠ طن مكافئ/طن مادة جافة).

وتكون كمية الكتلة الحيوية اللجنوسليلولوزية التي يمكن أن تكون متاحة لذلك كبيرة. ولا يتنافس إنتاج الوقود الحيوي في هذه الحالة مع التطبيقات الغذائية. ويمثل جمع الكتلة الحيوية وتنظيم الخدمات اللوجستية المناسبة الصعوبة الرئيسية. قد يكون هناك أيضاً منافسة مع غيرها من التطبيقات: الاستخدام المباشر للكتلة الحيوية في المراحل للإنتاج المباشر للطاقة، والتطبيقات في صناعة الورق واللبن، واستخدامها لإنتاج المواد والكيماويات. على الرغم من أنها تحتاج إلى مزيدٍ من الأراضي، فإن المحاصيل قصيرة التناوب (الميسكانثاس، والأجمات قصيرة التناوب،... إلخ) تقدم إمكانية جيدة. وعلاوةً على ذلك، فإنه يبدو من الممكن استخدام الأراضي غير المناسبة تماماً للأغراض الزراعية. ويمكن خفض كميات المياه، والأسمدة، ومنتجات مكافحة الآفات، ومن ثم فإنه يمكن مثل إنتاج الكتلة الحيوية هذا أن يصبح جذاباً في المستقبل. وتظل إمكانيتها المحتملة في المستقبل صعبة التقييم.

#### (١٢,٧) إنتاج الإيثانول من الكتلة الحيوية اللجنوسليلولوزية

##### Production of Ethanol from Lignocellulosic Biomass

#### (١٢,٧, ١) مخطط التحويل العام Overall Conversion Scheme

تتألف الكتلة الحيوية اللجنوسليلولوزية من ثلاثة بوليمرات: السليلوز، والهيميسليلوز، واللجنين. والسليلوز هو بوليمر خطي متجانس من وحدات دي-جلوكوبيرانوز. وكما هو الحال في النشا، فإن الجلوكوز هو العنصر التركيبي الأساسي. ويمكن استرجاع الجلوكوز بالتحليل المائي، ولكن يكون إجراء التحليل المائي أكثر صعوبة منه في حالة النشا لأن الروابط تكون أكثر استقراراً [٩]. وعلاوةً على ذلك؛ نظراً لتكوين الروابط الهيدروجينية بين السلاسل المتوازية، تشكل جزيئات السليلوز تركيباً صلباً في الليفيات، والتي يكون من الصعب كسرها. وهذا هو القيد الرئيس في عملية التحويل. وتحتوي الهيميسليلوزات أحياناً على محتويات بتتوز كبيرة، والتي لا يمكن استخدامها مباشرةً بواسطة سلالات السكرومييسيس التقليدية لإنتاج الإيثانول. ولا يمكن تحويل اللجنين إلى الإيثانول.

تعتمد نسبة هذه الأجزاء الثلاثة الموجودة على النبات المستخدم، كما هو مبين في الجدول رقم (٤, ١٢). تمتاز هذه الأجزاء الثلاثة في تركيب واحد، مما يحد من وصول الإنزيمات إلى السليلوز. ولذلك فمن الضروري أولاً أن يتم كسر المصفوفة المكونة من هذه البوليمرات الثلاثة من خلال خطوة معالجة مسبقة. خلال هذه المعالجة يكون من الضروري تجنب تحليل السكريات حرارياً إلى مركبات قد تكون سامة للخمائر المستخدمة في التخمر أو قد تمارس تأثيراً تثبيطياً على الإنزيمات.

بعد خطوة المعالجة المسبقة، يتم تحويل السليلوز إلى جلوكوز في وجود الإنزيمات. ويخضع الإيثانول المنتج من الجلوكوز عن طريق التخمر إلى التقطير والتنقية النهائية.

الجدول رقم (٤, ١٢). تركيب الكتلة الحيوية اللجنوسيلولوزية.

الكتلة الحيوية	اللجنين (%)	السليولوز (%)	الهيميسيلولوز (%)
الخشب اللين	٣٠-٢٧	٤٢-٣٥	٣٠-٢٠
الخشب الصلب	٢٥-٢٠	٥٠-٤٠	٢٥-٢٠
قش القمح	٢٠-١٥	٤٣-٣٠	٢٧-٢٠

### (٢, ٧, ١٢) المعالجة المسبقة للكتلة الحيوية Biomass Pretreatment

تهدف خطوة المعالجة المسبقة إلى جعل السليولوز في متناول الإنزيمات. وفي حالات معينة، فإنها تفصل جزء السليولوز من جزء الهيميسيلولوز، والذي يمكن استخلاصه في الطور السائل. تستخدم حالياً عمليتين رئيسيتين للمعالجة المسبقة:

- في حالة التحليل الحمضي المسبق، يتم معالجة الكتلة الحيوية في وجود محلول حمضي مخفف (يحتوي على ٣، ٠-٢٪ من حمض الكبريتيك أو الهيدروكلوريك)، في درجة حرارة معتدلة حوالي ١٥-٢٠ دقيقة. تتحلل الهيميسيلولوزات تقريباً تماماً. ويتم أيضاً تحويل جزء صغير من اللجنين. ويجري التحقق من العمليات التي تشمل خطوة ثانية تعمل في درجات حرارة أعلى (٢٤٠ درجة مئوية) ومدة أقصر (٢-٣ دقائق) من أجل تحسين نوعية الفصل.

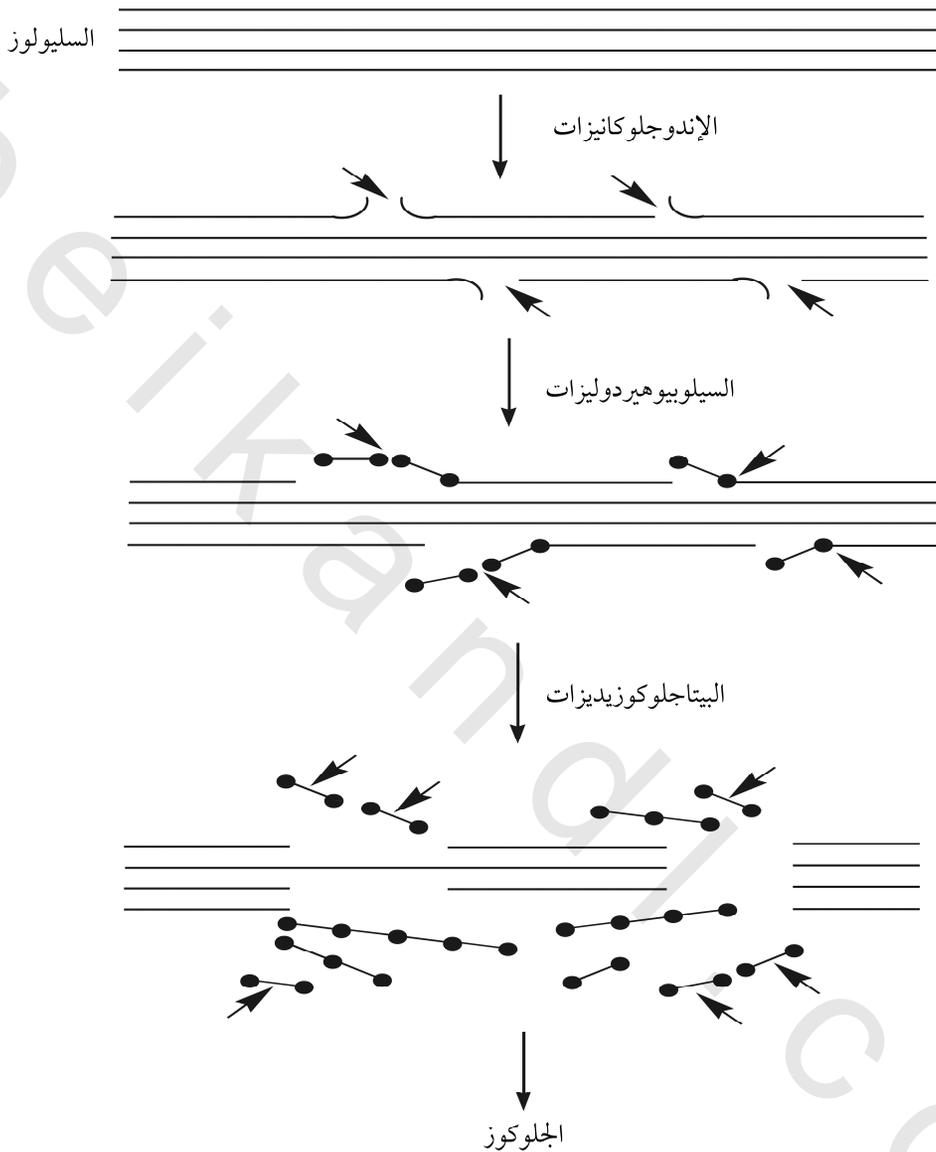
- يتمثل انفجار البخار في تعريض المادة إلى ضغط عالٍ (١٥-٢٣ بار) ودرجة حرارة عالية (١٨٠-٢٤٠ درجة مئوية) في وجود البخار لفترة قصيرة ومن ثم توسيع البخار فجأة، من أجل كسر تركيب المصفوفة اللجنوسيلولوزية. ويحدث تحليل جزئي للهيميسيلولوزات (خاصةً في الظروف معتدلة الحمضية) وانصهار لللجنين خلال مرحلة التسخين عالية الحرارة. وتحدث إعادة تكثيف لللجنين خلال مرحلة التوسيع السريعة. وتحدد فترة الوقت القصيرة من كمية منتجات التحليل.

### (٣, ٧, ١٢) التحليل الإنزيمي Enzymatic Hydrolysis

يعد التحليل الإنزيمي للسليولوز مجال التنمية الرئيس في الوقت الحاضر. وهناك حاجة إلى ثلاث أنواع من الإنزيمات لتحقيق التحليل الكامل للسليولوز إلى جلوكوز (الشكل رقم ٥, ١٢):

- تفصل الإندوجلوكانيزات سلاسل السليولوز بطريقة عشوائية.
- تحرر السيلوبايوز هيدروليزات ثنائيات الجلوكوز على طرفي سلسلة السليولوز.
- تنتج البيتا-جلوكوسيديزات الجلوكوز من السلاسل الأوليغومرية القصيرة.

ويتم إنتاج السليوليزات عادةً بواسطة الفطريات من نوع الترايكوديرما. وتعد هذه حالياً منطقة نشطة جداً في البحوث.



الشكل رقم (٥, ١٢). عمل الإنزيمات السليولوزية على ألياف السليولوز الدقيقة.

#### (٤, ٧, ١٢) تخمير الجلوكوز والبتوزات Fermentation of Glucose and Pentoses

يمكن تحويل الجلوكوز الذي تم الحصول عليه بواسطة التحليل المائي إلى إيثانول عن طريق نفس نوع العملية المستخدمة في حالة الجلوكوز الذي تم الحصول عليه من النشا. وتنشأ الاختلافات الرئيسة من انخفاض

تركيز الجلوكوز الأولي ووجود بعض الملوثات (مثل الفورفورال، وهيدروكسي ميثيل الفورفورال وحمض الخليك) القادمة من خطوة المعالجة المسبقة، والتي قد يكون لها تأثير مبط.

عند تحويل الجلوكوز إلى إيثانول، يتم استخدام السليولوز فقط، وهو ما يمثل في معظم الحالات أقل من ٥٠٪ من المواد الخام الأولية، كما هو مبين في الجدول رقم (٤, ١٢).

ولذلك تجرى الأبحاث على تطوير عمليات قادرة على تحويل البتوزات التي تم الحصول عليها من الهيميسليولوزات إلى إيثانول. وقد تم تعديل الخماثر وراثياً من أجل إدراج الجينات المناسبة. وكانت الإنتاجية التي تم الحصول عليها منخفضة للغاية للتطبيقات على المستوى الكبير ولكن تشير التطورات الحديثة جداً إلى أن الاستخدامات الصناعية يمكن أن تحدث لاحقاً. وأجريت محاولات أخرى على التعديل الوراثي للبكتيريا، ولكن لا توجد حتى الآن تطبيقات صناعية متاحة [٧].

وقد عرفت عملية الأستون-البيوتانول-الإيثانول (ABE) لسنواتٍ عديدة ولكن كانت الإنتاجية والعائدات أقل من عمليات إنتاج الإيثانول. ومع ذلك، فإن البيوتانول الحيوي له مزايا كوقود حيوي مقارنةً بالإيثانول: خليط بخار أقل، وذوبان أقل في الماء، وحرارة احتراق حجمية أعلى. ولذلك فيمكن إدراجه في تجمع البنزين بسهولة أكبر من الإيثانول. وقد شكلت مؤخراً شركة BP ودوبونت مشروعاً جديداً لتطوير تصنيع وتسويق البيوتانول الحيوي [٨].

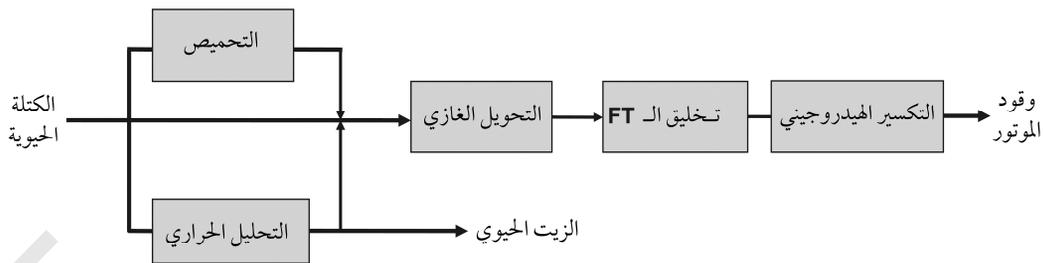
### (٨, ١٢) إنتاج الوقود الحيوي من خلال المسار الكيميائي الحراري

#### Production of Biofuels Through the Thermochemical Pathway

#### (١, ٨, ١٢) الوضع الحالي Present Status

يتميز المسار الكيميائي الحراري باستخدام تحويلات عالية الحرارة (٥٠٠-١٥٠٠ درجة مئوية)، مثل الانحلال الحراري أو التحويل للغاز. ويمكن تطبيقه في أي مواد أولية لجنوسليولوزية. ويتم إنتاج الغاز الاصطناعي المكون بواسطة خليط من أكسيد الكربون والهدرجة في وجود الأوكسجين. ويمكن بعد ذلك تحويل الغاز الصناعي إلى الوقود السائل باستخدام عملية فيشر-تروبش التي تنتج الشموع، تليها مرحلة التكسير الهيدروجيني لتحويل الشموع إلى وقود للسيارات كما هو مبين في الشكل رقم (٦, ١٢).

وغالباً ما تسمى هذه العملية لإنتاج الوقود الاصطناعي من الكتلة الحيوية عملية BtL (الكتلة الحيوية-إلى-السوائل) تشبهاً بالعملية المستخدمة لإنتاج الوقود الاصطناعي من الغاز الطبيعي (الغاز-إلى-السوائل، GtL) أو من الفحم (الفحم-إلى-السوائل، CtL).



الشكل رقم (٦, ١٢). المسار الكيميائي الحراري لإنتاج الوقود السائل من الكتلة الحيوية.

يمكن استخدام الانحلال الحراري و/أو التحميص للمعالجة المسبقة للكتلة الحيوية قبل التحويل للغاز، وذلك لتحويل الكتلة الحيوية إلى مرحلة متجانسة يمكن حقنها بسهولة إلى جهاز التغويز. ومن الممكن أيضاً تحويل الكتلة الحيوية محلياً، وذلك لجعل نقل المنتج إلى جهاز التغويز أسهل.

ويمكن استخدام الانحلال الحراري السريع لإنتاج سريع زيت حيوي. ولا يمكن أن يستخدم مثل هذا الزيت الحيوي مباشرةً حيث إنه يحتوي على الكثير من المنتجات غير المرغوبة في الوقود الحيوي (على سبيل المثال، الفينولات، والسكريات، والكحولات، والأحماض العضوية، والمركبات العطرية).

ويتم إجراء البحوث لإيجاد وسيلة لتحويل مثل هذه "الزيوت الحيوية" إلى وقود للسيارات بواسطة الهدرجة. في الوقت الحاضر، لم تثبت حتى الآن إمكانية استخدام مسار التحويل "المباشر" هذا؛ نظراً لكمية الهيدروجين الكبيرة المطلوبة ولطبيعة المنتجات.

#### (٢, ٨, ١٢) الانحلال الحراري والتحميص Pyrolysis and Torrefaction

يستخدم الانحلال الحراري الحرارة لتحليل الكتلة الحيوية إلى ثلاث مراحل: الصلبة (الفحم)، والسائلة (الزيت الحيوي)، والغاز (غالباً ثاني أكسيد الكربون، وأول أكسيد الكربون، والهيدروجين والميثان). وتتوقف نسبة المراحل الثلاث التي يتم الحصول عليها بذلك على درجة الحرارة ومدة البقاء (أو سرعة التسخين). ويوضح الجدول رقم (٥, ١٢) العائدات النموذجية التي تم الحصول عليها لسرعات التسخين المختلفة.

الجدول رقم (٥, ١٢). مقارنة بين ظروف التحليل الحراري المختلفة.

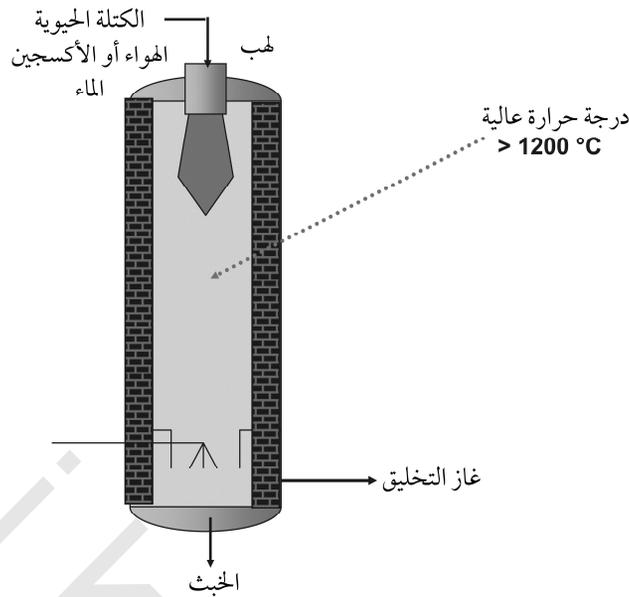
عائد الطاقة	عائد الإنتاجية الأساسي	درجة الحرارة	سرعة التسخين	
٪٦٠	فحم (>٣٥٪)	٥٥٠٠	>٥٥٠/دقيقة	الانحلال الحراري البطيء
٪٧٥	زيت حيوي (٥٠-٨٠٪)	٥٥٠٠	<١٠٠٠/ثانية	الانحلال الحراري السريع
٪٩٠	غاز (<٧٠٪)	<٨٠٠	<١٠٠٠/ثانية	التحويل للغاز حرارياً

ويعطي الانحلال الحراري البطيء، والذي هو أفضل عملية معروفة، مادة صلبة (الفحم). والانحلال الحراري السريع هو حالياً الخيار المفضل لمسار BtL. وهو يشمل الحفاظ على درجة حرارة ٥٠٠° لبضع ثوان. يمكن نقل الزيت الحيوي و/أو خليط السائل-الصلب الذي يتم الحصول عليه من الانحلال الحراري السريع بسهولة وحقنه في جهاز التغويز. ويمكن استخدام الغاز الذي يتم إنتاجه لتوفير الطاقة اللازمة للانحلال الحراري. وقد تم تطوير تقنيات مختلفة على نطاق تجريبي باستخدام الوسادة المتخلخلة (Dynamotive)، والوسادة المنتشرة (Ensyn)، والخروط الدوار (جامعة تفتي، BtG)، والسيكلون (TNO)، واللولب المزدوج (FZK)، أو مفاعل الجر. ويتم إجراء التحميص في ظروف خطوة التجفيف النهائي. يتم زيادة درجة الحرارة تدريجياً لتصل إلى الصعيد النهائي بين ٢٤٠ و ٣٠٠ درجة مئوية. يتراوح وقت البقاء ما بين بضع دقائق وساعة، وفقاً لدرجة الحرارة. وحيث إنها تتم في درجات حرارة أقل بكثير من تلك المستخدمة في الانحلال الحراري، فإن العملية تكون أقل كثافة للطاقة بكثير. ويقلل التحميص من المتانة الميكانيكية للكتلة الحيوية اللجنوسيلولوزية. ونتيجةً لذلك يصبح طحنها أسهل بكثير وعليه فمن الممكن الحصول على مادة صلبة مقسمة بدقة متناهية، ومناسبة لبعض تقنيات التحويل للغاز.

### (٣، ٨، ١٢) إنتاج وقود السيارات الاصطناعي من الكتلة الحيوية

#### Production of Synthesis Motor Fuels from Biomass

تعرض الكتلة الحيوية في درجات الحرارة العالية أولاً لعملية التحلل. ثم يتم أكسدها في وجود الأوكسجين أو الماء وتشكل خليط من أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكربون، والهيدروجين. وتكون درجات الحرارة العالية بين ١٢٠٠ و ١٣٠٠° مطلوبة للقضاء على القطران أو المركبات الحمضية من الغاز الاصطناعي الذي تم الحصول عليه. يعني هذا أن هناك حاجة لوجود الأوكسجين، من أجل الوصول إلى درجات الحرارة العالية. ويبدو أن أجهزة التغويز مجرورة التدفق هي الأفضل تكييفاً للتطبيقات كبيرة المدى. وقد تم تطوير أول جهاز تغويز مجرور التدفق لتحويل الفحم إلى غاز بواسطة شركة كوبرس منذ ما يقرب من ٥٠ عاماً. تم إدخال الفحم إلى جهاز التغويز مع الأوكسجين من خلال أزواج من الشعلات المتقابلة في أسفل جهاز التغويز ويتم إنتاج الغاز الاصطناعي في الأعلى. وتم استنباط عملية شركة شيل لتحويل الفحم إلى غاز وعملية شركة برينفلو من هذا المفهوم الأولي. وهما تعلمان عند ضغط عالٍ (٣٠-٤٠ بار) وبكفاءة عالية [٩]. وقد تم تطوير مفاعل مجرور سفلي التدفق في ألمانيا بداية من قبل نويل وبعد ذلك شركة فيوتشر المحدودة للطاقة. وهذا المفهوم موضح في الشكل رقم (٧، ١٢). بعد السقي بالماء، يتم استرجاع الغاز الاصطناعي والرماد في الجزء السفلي من المفاعل. ويتم الحصول على الرماد في صورة سائلة (الخبث).



الشكل رقم (٧, ١٢). المفاعل المجرور سفلي التدفق.

يمكن استخدام مثل هذا المفاعل مباشرة لتحويل الكتلة الحيوية إلى غاز طالما يمكن تشغيله في ظروف غير خبثية داخل المفاعل. يمكن للخبث ورماد الكتلة الحيوية المنصهرة أن تذيب الطبقة المقاومة للصهر. ولذلك يجب أن تكون المواد الأولية منخفضة المحتوى من الرماد. ويمكن تلبية هذا الشرط باستخدام الزيت الحيوي، ولكنه يكون أكثر صعوبة في وجود الفحم [٩].

كذلك يجب أن يعامل الغاز الاصطناعي قبل إرساله إلى قسم تخليق فيشر-ترويش. ويجب أن تتم إزالة الجزيئات الصلبة بواسطة الترشيح. وتتم إزالة الملوثات الحمضية مثل حمض الهيدروكلوريك، وحمض الهيدروفلوريك، والسيانيد، وكبريتيد الهيدروجين، وكبريتيد الكربونيل بواسطة الغسل بالمذيبات. وتتحقق خطوة التنقية النهائية باستخدام المراحل الصلبة التفاعلية.

يوجب أيضاً تعديل نسبة الهيدروجين-إلى-الكربون في الغاز الاصطناعي المرسل إلى قسم فيشر-ترويش. ويمكن استخدام خطوة تحول انتقالية والتي يتفاعل أكسيد الكربون خلالها مع الماء لهذا الغرض.

تم تطوير تخليق فيشر-ترويش على نطاقٍ صناعي أثناء الحرب العالمية الثانية. وتم استعماله بعد ذلك على نطاقٍ واسع من قبل شركة ساسول في جنوب أفريقيا لإنتاج وقود السيارات من الفحم؛ نتيجة للحصار المفروض على جنوب أفريقيا في ذلك الوقت. وقد تم تطوير تقنيات مختلفة (شيل، وستات أويل، وساسول، وإكسون،

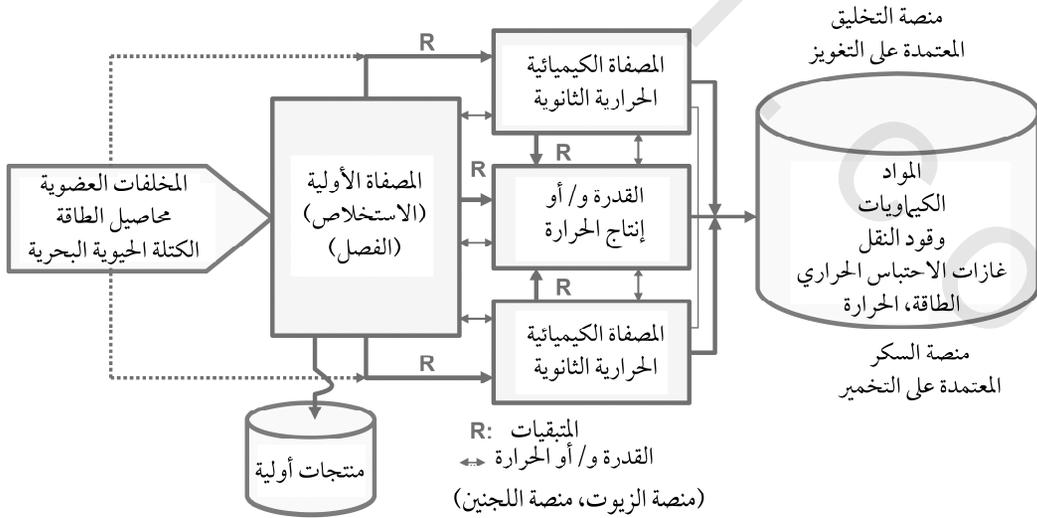
تتطلب عملية تخليق فيشر-ترويش حافزاً. يستخدم نوعان من المحفزات: تعتمد على الحديد أو الكوبالت. وتستخدم معظم العمليات الحديثة التحفيز بالكوبالت، والذي يفضل تكوين الهيدروكربونات طويلة السلسلة (الشموع). وبعد ذلك تكون هناك حاجة لخطوة تكسير هيدروجيني خفيفة للحصول على وقود السيارات، ووقود الديزل، والكيروسين.

ويكون وقود الديزل المنتج من خلال هذه العملية من نوعية عالية جداً. وهو لا يحتوي على الكبريت أو النتروجين أو المواد العطرية، وله رقم سيتان عالي (حوالي ٧٠).

### (٩, ١٢) المصافي الحيوية Biorefineries

إن نمو سوق الوقود الحيوي يجب أن يؤدي في المستقبل إلى تطوير نظم إنتاج أكثر تعقيداً وأكثر تكاملاً. وسوف تكون مثل هذه "المصافي الحيوية" قادرة على إنتاج مجموعة واسعة من الوقود والمنتجات الثانوية من مواد أولية مختلفة، في حين يتم حالياً إنتاج وقود حيوي واحد في وحدة قائمة بذاتها من مادة أولية واحدة (عادةً FAME من زيت بذور اللفت).

في مثل هذه المصافي الحيوية سوف يكون من الممكن النظر في دمج العمليات الكيميائية الحرارية والعمليات الحيوية الكيميائية كما هو مبين في الشكل رقم (٨, ١٢). وسيكون أيضاً من الممكن دمج تحول الكتلة الحيوية في مصفاة للنفط ومعالجة النفط والكتلة الحيوية معاً، أو الجمع بين إنتاج الوقود الحيوي مع تحولات الكتلة الحيوية الأخرى، مثل مصانع السكر أو مصانع اللب والورق.



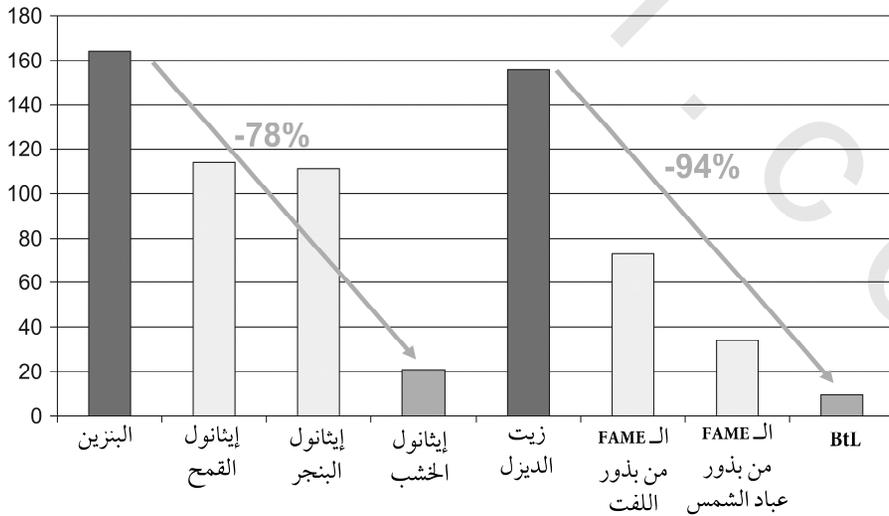
الشكل رقم (٨, ١٢). مصفاة حيوية تدمج العمليات الحيوية الكيميائية والكيميائية الحرارية. من تقرير رؤية المجلس الإستشاري

لبحوث الوقود الحيوي [٢].

وبعض المصافي الحيوية البسيطة نسبياً موجودة بالفعل (على سبيل المثال، مصانع السكر/الإيثانول، ومصانع طحن بذور الزيت/الأسترة الناقلة، ومصانع اللب والورق، ووحدة وقود الديزل الحيوي المدججة في مصفاة النفط)، ولكن يبقى الكثير من البدائل التي لا يزال يتعين اكتشافها. إن تعدد توليد الطاقة، والهيدروجين، والوقود الحيوي هي أيضاً إمكانيات جذابة في حالة التحول الكيميائي الحراري للكتلة الحيوية من خلال إنتاج الغاز الاصطناعي.

#### (١٠, ١٢) الوقود الحيوي والاستدامة Biofuels and Sustainability

تعد الاستدامة قضية حاسمة، حيث يجري مناقشة كلاً من المزايا والعيوب المحتملة للبيئة غالباً. والشواغل الرئيسية التي أعرب عنها هي المنافسة مع تطبيقات المواد الغذائية والأثر السلبي المحتمل على البيئة. بكل وضوح، يمكن أن يتحقق معدل انتشار كبير للوقود الحيوي فقط إذا أمكن إنتاج الوقود الحيوي بطريقة مستدامة. إن تطوير عمليات التحويل من الكتلة الحيوية اللجنوسليولوزية مهم جداً؛ لأنه يجعل من الممكن تجنب المنافسة مع التطبيقات الغذائية. كما أنه أيضاً يجعل من الممكن تحسين توازن ثاني أكسيد الكربون على أساس البئر-إلى-العجلة، كما هو موضح في الشكل رقم (٩, ١٢) [١٠]. ويمكن الاطلاع على المعلومات الأساسية حول هذا الموضوع أيضاً في مكان آخر [١١-١٤]. وسوف يصبح الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية لكل وحدة طاقة ممكناً من ٧٥٪ إلى أكثر من ٩٠٪ وذلك من خلال إنتاج الوقود الحيوي من الكتلة الحيوية اللجنوسليولوزية [١٥, ١٦].



الشكل رقم (٩, ١٢). انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لكل وحدة طاقة لمختلف أنواع الوقود الحيوي. من JRC/EUCAR/CONCAWE. ٢٠٠٦م [١٠].

بالإضافة إلى ذلك، يجب أن تؤخذ معايير أخرى أيضاً في الاعتبار. يجب إنتاج الكتلة الحيوية بطريقة مستدامة، لتجنب حدوث أضرار دائمة للتربة، أو أي تحول قد يكون له أثر سلبي على البيئة، مثل إزالة الغابات. وتشمل القضايا المهمة الأخرى استهلاك المياه والمنافسة المحتملة للموارد المائية، واستخدام الأسمدة، وتقنيات مكافحة الآفات التي قد تضر البيئة. ولذلك، سيكون من المهم في المستقبل إدخال نظام شهادة، وإنفاذ الامتثال لمعايير الاستدامة من هذا القبيل.

### Conclusion (١١, ١٢) الاستنتاج

يمثل الوقود الحيوي، خلال الفترة الانتقالية الحالية، خياراً جذاباً للحد من اعتماد الدول المستهلكة للطاقة على واردات النفط ولتحسين توازن ثاني أكسيد الكربون على حدٍ سواء. وتتطلب الزيادة الكبيرة في إنتاج الوقود الحيوي تطوير عمليات تحويل مبتكرة لتحويل الكتلة الحيوية للجنوسيلولوزية. ويمكن أن تساعد مثل هذه العمليات أيضاً على زيادة المزايا البيئية للوقود الحيوي، ولكن ستكون هناك حاجة للتأييد الشعبي لتطوير هذه المسارات الجديدة حيث إن التحديات المهمة التقنية والاقتصادية لا تزال قائمة. من أجل السيطرة على التأثير على البيئة، فإنه سوف يكون من الضروري تطوير أساليب تقييم دقيقة لمعايير الاستدامة وخلق أطر تنظيمية مناسبة لتنفيذ تطبيقها.

### المراجع References

- International Energy Agency (2006) *World Energy Outlook*, International Energy Agency, Paris. [١]
- European Commission (2006) *Biofuels in the European Union—A vision for 2030 and beyond*, EUR 22066, Directorate-General for Research, Sustainable Energy Systems. [٢]
- Ballerini, D., et al. (2006) *Les Biocarburants—État des lieux, perspectives et enjeux du développement*, Technip, Paris. [٣]
- Stephane, H. (2007) *New biofuel technologies*, Panorama IFP. [٤]
- Fulton, L., Howes, T., and Hardy, J. (2004) *Biofuels for Transport—An International Perspective*, International Energy Agency, Paris. [٥]
- Mansfield, S.D., Mooney, C., and Saddler, J.N. (1999) Substrate and enzyme characteristics that limit cellulose hydrolysis. *Biotechnol. Prog.*, **15**, 804-816. [٦]
- Jeffries, T.W. (2006) Engineering yeasts for xylose metabolism. *Curr. Opin. Biotechnol.*, **17**, 320-326. [٧]
- Cascone, R. (2007) Biofuels: what is beyond ethanol and biodiesel? *Hydrocarbon Processing*, **86**, 95-110. [٨]
- Knoef, H.A.M. (2005) *Handbook Biomass Gasification*, BTG Biomass Technology Group BV, Enschede. [٩]
- EUCAR, JRC, and CONCAWE (2004) *Well to Wheel Analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*. [١٠]
- Quirin, M., et al. (2004) *CO<sub>2</sub> Mitigation through Biofuels in the Transport Sector. Main report executed by IFEU-Institut für Energie-und Umweltforschung Heidelberg GmbH*. [١١]

- Views Project (2005) Environmental and economic performance of biofuels, Volume I-Main report. [١٢]
- Views Project (2005) Environmental and economic performance of biofuels, Vol. II-Appendices. [١٣]
- CONCAWE (2002) Energy and greenhouse gas balance for Europe-an update, CONCAWE report no. 2/02, April, 2002. [١٤]
- Lin, Y. and Tanaka, S. (2006) Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **69**, 627-642. [١٥]
- Lynd, L.R., Weimer, P.J., Van Zyl, W.H., and Pretorius, I.S. (2002) Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, **66**, 506-577. [١٦]