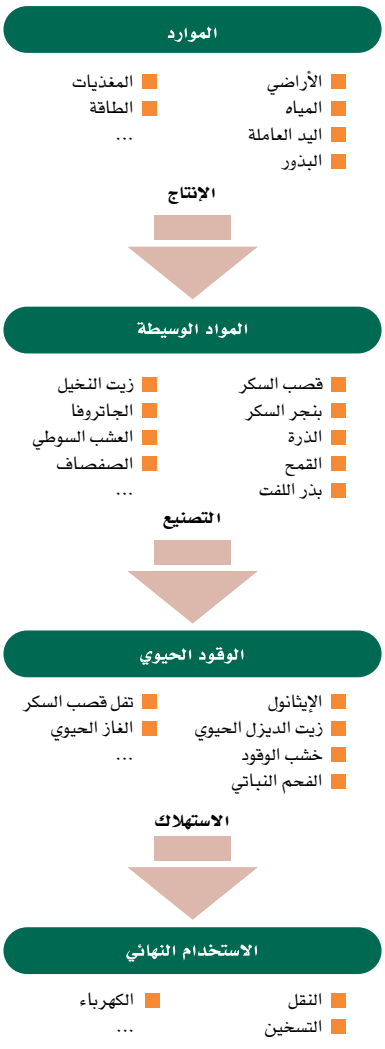
ثانيا: الوقود الحيوي والزراعة – عرض عام فني

ما زالت الكتلة الحيوية التقليدية، بما في ذلك خشب الوقود والفحم النباتي وروث الماشية، توفر مصادر هامة للطاقة في كثير من أنحاء العالم. والطاقة الحيوية هي مصدر الطاقة المهيمن بالنسبة لمعظم سكان العالم الذين يعيشون في حالة فقر مدقع، ويستخدمون هذه الطاقة أساساً في الطهي. وتتيح الآن تكنولوجيات التحويل الأكثر تقدماً وكفاءةً استخراج الوقود الحيوي – على شكل صلب أو سائل أو غازي – من مواد مثل الخشب والمحاصيل الزراعية والمخلفات. ويقدم هذا الفصل عرضاً عاما للوقود الحيوي. ما هو، وما هي إمكاناته، وما هي انعكاساته على الزراعة؟ إلا أن التركيز الرئيسي ينصب على الوقود الحيوي السائل الذي يُستخدم في النقل، والذي يبرز الآن نتيجة لحدوث زيادة سريعة في استخدامه.

الشكل ٤
الوقود الحيوي - من المواد الوسيطة إلى الاستخدام النهائي



المصدر: منظمة الأغذية والزراعة.

أنواع الوقود الحيوي

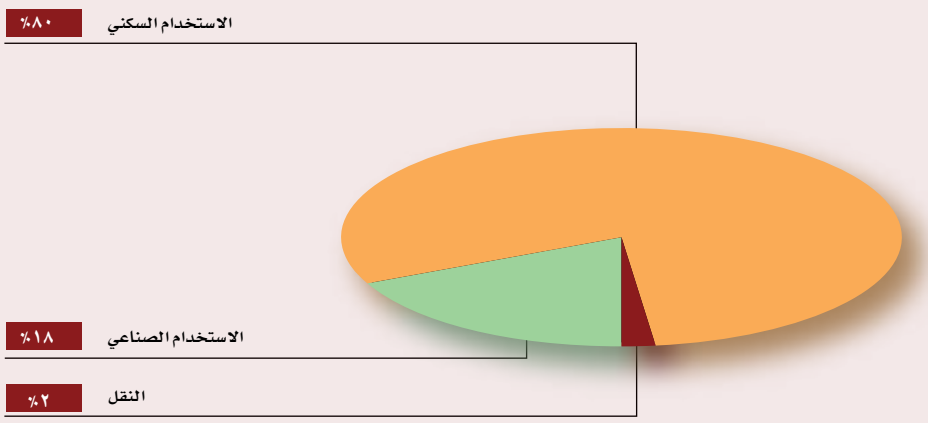
الوقود الحيوي هو ناقل للطاقة، يخزن الطاقة المشتقة من الكتلة الحيوية[٢]. ويمكن استخدام طائفة واسعة من مصادر الكتلة الحيوية لإنتاج الطاقة الحيوية بأشكال شتى. فعلى سبيل المثال، يمكن استخدام مخلفات تصنيع الأغذية والألياف والأخشاب من القطاع الصناعي؛ ومحاصيل الطاقة، والمحاصيل قصيرة الدورة الزراعية، والمخلفات الزراعية من القطاع الزراعي؛ والمخلفات من قطاع الغابات، في توليد الكهرباء، والطاقة الحرارية، والطاقة الحرارية والقوة المحركة مجتمعتين، وأشكال أخرى من الطاقة الحيوية. ويمكن أن يُشار إلى الوقود الحيوي باسم طاقة متجددة، لأنه شكل من أشكال الطاقة الشمسية المحوَّلة.

ويمكن تصنيف الوقود الحيوي حسب المصدر والنوع. فهو قد يكون مشتقاً من منتجات الغابات أو المنتجات الزراعية أو منتجات مصايد الأسماك أو مخلفات المدن، وكذلك من الصناعة الزراعية والصناعة الغذائية والمنتجات الثانوية للخدمات الغذائية ومخلفات تلك الخدمات. وقد يكون الوقود الحيوي صلباً، مثل خشب الوقود والفحم النباتي والكريات الخشبية؛ أو سائلاً، مثل الإيثانول، وزيت الديزل الحيوي، وزيوت الحل الحراري؛ أو غازياً، مثل الغاز الحيوي.

ويوجد أيضاً تمييز أساسي بين الوقود الحيوي الأوّلي (غير المصنّع) والوقود الحيوي الثانوي (المصنّع):

(٢) للإطلاع على استعراض للمصطلحات المتعلقة بالوقود الحيوي، انظر منظمة الأغذية والزراعة (٢٠٠٤أ).

الشكل ٥
استخدامات الكتلة الحيوية في أغراض الطاقة



المصدر: الوكالة الدولية للطاقة، ٢٠٠٧.

- **الوقود الحيوي الأوّلي**، مثل خشب الوقود والرقائق والكريات الخشبية، هو الوقود الذي تُستخدم فيه أساساً المادة العضوية بشكلها الطبيعي (أي كما حُصدت). وهذا الوقود يُحرق مباشرة، للإمداد عادة بالاحتياجات الخاصة بإنتاج وقود الطهي والتدفئة أو الكهرباء، التي تحتاج إليها التطبيقات الصناعية صغيرة وكبيرة النطاق.
- **الوقود الحيوي الثانوي**، وهو وقود على شكل صلب (مثل الفحم النباتي) أو على شكل سائل (مثل الإيثانول وزيت الديزل الحيوي والنفط الحيوي)، أو على شكل غازي (مثل الغاز الحيوي، والغاز التركيبي، والهيدروجين)، ومن الممكن استخدامه في طائفة أوسع من التطبيقات، من بينها النقل والعمليات الصناعية ذات درجات الحرارة العالية.

الوقود الحيوي السائل الذي يُستخدم في النقل[٣]

على الرغم من محدودية حجم الوقود الحيوي السائل بوجه عام (انظر الشكل ٥)، فإن أقوى نمو حدث في السنوات الأخيرة كان ذلك الذي شهده استخدام الوقود الحيوي السائل في قطاع النقل، الذي أُنتج في معظمه باستخدام سلع أساسية زراعية وغذائية كمواد وسيطة. وأهم أشكاله هو الإيثانول وزيت الديزل الحيوي.

الإيثانول

من الممكن استخدام أي مادة وسيطة تحتوي على كميات كبيرة من السكر، أو استخدام مواد يمكن تحويلها إلى سكر مثل النشا أو السيلولوز، لإنتاج الإيثانول. والإيثانول المتوافر حاليا في سوق الوقود الحيوي إما يقوم على السكر أو على النشا. والمحاصيل السكرية الشائع استخدامها كمادة وسيطة هي قصب السكر، وبنجر السكر، وبدرجة أقل الذرة الرفيعة الحلوة. أما المواد الوسيطة النشوية الشائعة فتشمل الذرة والقمح والكسافا. واستخدام الكتلة الحيوية التي تحتوي على سكريات يمكن تخميرها مباشرة بحيث تصبح إيثانول، هو أبسط طريقة لإنتاج الإيثانول. وفي البرازيل وغيرها من البلدان الاستوائية، التي تنتج حالياً الإيثانول، يُعتبر قصب السكر هو المادة الوسيطة التي تُستخدم على أوسع نطاق. وفي بلدان منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، يُنتج معظم الإيثانول من العنصر النشوي للحبوب الغذائية (وإن كان بنجر السكر يُستخدم أيضاً)، الذي يمكن تحويله بسهولة معقولة إلى سكر. بيد أن هذه المنتجات النشوية لا تمثّل سوى نسبة مئوية ضئيلة من الكتلة النباتية الكلية. فمعظم الكتلة النباتية مكونة من السيلولوز والنصف سيلولوز والخشبين؛ ومن الممكن تحويل الاثنين الأولين إلى كحول بعد تحويلهما أولاً إلى سكر، ولكن العملية أصعب مما هي في حالة النشا. ولا يوجد تقريباً

(٣) يستند هذا القسم إلى الشراكة العالمية للطاقة الحيوية (٢٠٠٧ ، الصفحات ٢-١٠) والوكالة الدولية للطاقة (٢٠٠٤).

الإطار ١
الأنواع الأخرى من الكتلة الحيوية التي تُستخدم في توليد الطاقة الحرارية والكهرباء وفي النقل

الكتلة الحيوية التي تُستخدم في توليد الطاقة الحرارية والكهرباء

تُستخدم طائفة متنوعة من موارد الكتلة الحيوية في توليد الكهرباء والطاقة الحرارية من خلال الحرق. وتشمل المصادر أشكالاً شتى من المخلفات، مثل مخلفات الصناعات الزراعية، ومخلفات ما بعد الحصاد التي تُترك في الحقول، وروث الماشية، والمخلفات الخشبية من الغابات والصناعة، ومخلفات الصناعات الغذائية والورقية، والمخلفات الصلبة للمدن، ومخلفات المجاري، والغاز الحيوي المنبعث من هضم النفايات الزراعية وغيرها من النفايات العضوية. كما تُستخدم أيضاً محاصيل مخصصة للطاقة، مثل النباتات المعمّرة قصيرة الدورة الزراعية (الأوكالبتوس والحور والصفصاف) والأعشاب (الميسكانتوس والعشب السوطي).

ومن الممكن استخدام عمليات عديدة لتوليد الكهرباء. ويُنتج معظم الكهرباء المستمدة من الكتلة الحيوية باستخدام عملية دورة البخار: وفيها تُحرق الكتلة الحيوية في غلاية لتوليد بخار ضغط عالٍ يتدفق فوق سلسلة من الأتراس الإيروديناميكية مما يسبب تدوير توربين، يدير استجابة لذلك مولداً كهربائياً موصولاً به لإنتاج الكهرباء. والأشكال المضغوطة من الكتلة الحيوية، مثل الكريات والقوالب الخشبية يمكن استخدامها أيضاً في الحرق، ويمكن أيضاً حرق الكتلة الحيوية مع الفحم في غلاية منشأة تقليدية لتوليد الكهرباء من أجل إنتاج البخار والكهرباء. والطريقة الأخيرة هي حالياً الأكثر كفاءة بالنسبة لتكلفة إدماج التكنولوجيا المتجددة في الإنتاج التقليدي للكهرباء، وذلك لأن قدراً كبيراً من البنية الأساسية الموجودة حالياً لمنشآت الكهرباء يمكن استخدامه بدون إدخال تعديلات كبيرة عليه.

استخدام الغاز الحيوي في إنتاج الطاقة الحرارية والكهرباء وفي النقل

الهضم اللاهوائي

يمكن خلق غاز حيوي عن طريق الهضم اللاهوائي للمخلفات الغذائية أو الحيوانية بواسطة بكتيريا في بيئة تفتقر إلى الأكسيجين. ويحتوي الغاز الحيوي الذي ينتج عن ذلك على كمية كبيرة من الميثان إلى جانب ثاني أكسيد الكربون، يمكن استخدامها في أغراض توليد الطاقة الحرارية أو الكهرباء في محرك معدّل يعمل بالاحتراق الداخلي. ويمكن أن يحقق تحويل المخلفات الحيوانية وروث الماشية إلى ميثان/غاز حيوي فوائد بيئية وصحية كبيرة. فالميثان هو أحد غازات الاحتباس الحراري التي تنطوي على إمكانية التسبب في احترار الكرة الأرضية بقوة تفوق بما يتراوح من ٢٢ إلى ٢٤ مرة قدرة ثاني أكسيد الكربون على ذلك. وعن طريق حجز الميثان واستخدامه، يمكن تجنب تأثيراته كغاز مسبب للاحتباس الحراري. وعلاوة على ذلك، فإن الطاقة الحرارية التي تتولد أثناء عملية الهضم الحيوي تقتل المُمرضات الموجودة في روث الماشية، كما توفر المادة، التي تتخلف في نهاية هذه العملية، سماداً قيِّماً.

التغوز (التحول إلى غاز)

يمكن، من خلال عملية التغويز، تحويل الكتلة الحيوية الصلبة إلى غاز وقودي أو غاز حيوي. وتقوم أجهزة تغويز الكتلة الحيوية بتسخين الكتلة الحيوية في بيئة تتسم بانخفاض نسبة الأكسجين فيها وارتفاع درجة حرارتها، حيث تُحلل تلك الكتلة لتُطلق غازاً تركيبياً غنياً بالطاقة وقابلاً للاشتعال، أي ما يُسمى "syngas". ويمكن حرق هذا الغاز في غلاية تقليدية، أو استخدامه بدلاً من الغاز الطبيعي في توربين غازي لكي يُدير المولّدات الكهربائية. ويمكن ترشيح الغاز الحيوي الذي يتشكّل من خلال عملية التغويز من أجل إزالة المركبات الكيميائية غير المرغوبة، ويمكن استخدامه في نظم لتوليد الكهرباء "مختلطة الدورة" تتسم بالكفاءة، وتجمع ما بين توربينات بخارية وتوربينات غازية لتوليد الكهرباء.

استخدام الغاز الحيوي في النقل

إن الغاز الحيوي غير المُعالج لا يصلح كوقود للنقل وذلك بسبب انخفاض محتواه من الميثان (ما يتراوح من ٦٠ إلى ٧٠ في المائة)، وارتفاع نسبة تركيز الملوثات فيه. ولكن من الممكن معالجته لإزالة ثاني أكسيد الكربون والمياه والكبريتات الهيدروجينية المسببة للتآكل، ولتحسين محتواه من الميثان (حيث تصل النسبة إلى أكثر من ٩٥ في المائة). وتكون للغاز الحيوي المُعالج، عند ضغطه، خواص مماثلة لخواص الغاز الطبيعي المضغوط، مما يجعله صالحاً للاستخدام في النقل.

المصدر: استناداً إلى الشراكة العالمية للطاقة الحيوية، ٢٠٠٧.

الآن أي إنتاج تجاري للإيثانول من الكتلة الحيوية السيلولوزية، ولكن يستمر قدر كبير من البحوث في هذا المجال (انظر القسم الخاص بالجيل الثاني من الوقود الحيوي على الصفحتين ١٨ و١٩).

ومن الممكن مزج الإيثانول بالبترول أو حرقه بشكله النقي في محركات إشعال بالشرر، معدّلة تعديلاً طفيفاً. ويحتوي لتر الإيثانول على ٦٦ في المائة تقريباً من الطاقة التي يوفرها لتر من البترول، ولكن مستواه الأوكتيني أعلى، وعندما يُخلط بالبترول لأغراض النقل فإنه يحسّن أداء البترول. وهو يحسّن أيضاً حرق الوقود في المركبات، مما يؤدي إلى انخفاض انبعاث أحادي أكسيد الكربون، والمواد الهيدروكربونية غير المحترقة، والمواد المسرطنة. إلا أن حرق الإيثانول يتسبب أيضاً في ارتفاع درجة التفاعل مع النتروجين في الغلاف الجوي، مما قد يُسفر عن حدوث زيادة هامشية في غازات أكسيد النيتروجين. ولا يحتوي الإيثانول، مقارنة بالبترول، إلا على قدر نذير من الكبريت. ولذا فإن مزج الإيثانول مع البترول يساعد على التقليل من المحتوى الكبريتي للوقود، مما يؤدي إلى انخفاض انبعاثات أكسيد الكبريت، وهو مكوِّن من مكونات الأمطار الحمضية ومادة مسرطنة.

زيت الديزل الحيوي

يتم إنتاج زيت الديزل الحيوي بمزج الزيت النباتي أو الدهون الحيوانية بكحول وبعامل مساعد من خلال عملية كيميائية تُعرف باسم الأسترة المتعدية. ومن الممكن استخراج الزيت من أجل إنتاج زيت الديزل الحيوي من أي محصول تقريباً من محاصيل البذور الزيتية؛ والمصادر الأكثر شيوعا هي بذر اللفت في أوروبا وفول الصويا في البرازيل والولايات المتحدة الأمريكية. وفي البلدان الاستوائية وشبه الاستوائية، يُنتج زيت الديزل الحيوي من النخيل وجوز الهند والجاتروفا. وتُستخدم أيضاً كميات صغيرة من الدهون الحيوانية، المستخلصة من عمليات التصنيع السمكي والحيواني، في إنتاج زيت الديزل الحيوي. وتُسفر عملية الإنتاج عادة عن منتجات ثانوية إضافية، مثل "كعكة" الفول المسحوق (وهو علف حيواني)، والغليسيرين. وبالنظر إلى أن زيت الديزل الحيوي يمكن أن يقوم إنتاجه على طائفة واسعة من الزيوت، فالوقود الذي ينتج عن ذلك يمكن أن يحتوي على طائفة متنوعة من الخصائص الفيزيائية، مثل اللزوجة والقابلية للاحتراق، تفوق خصائص الإيثانول.

ومن الممكن مزج زيت الديزل الحيوي بوقود الديزل التقليدي، أو حرقه بشكله النقي في محركات إشعال بالضغط. ومحتواه من الطاقة يمثل نسبة تتراوح من ٨٨ إلى ٩٥ في المائة من محتوى زيت الديزل من الطاقة، ولكنه يؤدي إلى تحسين تشحيمية زيت الديزل ويرفع قيمة السيتين، وهو ما يجعل اقتصاد الوقود الخاص بكلا النوعين متماثلا بوجه عام. ويساعد ارتفاع محتوى زيت الديزل الحيوي من الأكسجين في إتمام حرق الوقود، مما يقلل من انبعاثات ملوثات جسيمات الهواء، وأحادي أكسيد الكربون، والمواد الهيدروكربونية. وكما هو الحال بالنسبة للإيثانول، لا يحتوي زيت الديزل أيضاً سوى على كمية لا تُذكر من الكبريت، مما يقلل من انبعاثات أحادي الكبريت من المركبات.

الزيت النباتي المباشر

إن الزيت النباتي المباشر[٤] هو وقود يمكن استخدامه في محركات الديزل، ويمكن إنتاجه من طائفة متنوعة من المصادر، من بينها محاصيل البذور الزيتية مثل بذر اللفت، وزهرة عباد الشمس، وفول الصويا، والنخيل. ومن الممكن أيضاً استخدام زيت الطهي بعد استعماله في المطاعم، واستخدام الدهون الحيوانية المستخلصة من صناعات تجهيز اللحوم، كوقود لمركبات الديزل.

المواد الوسيطة للوقود الحيوي

توجد مصادر إمداد كثيرة بالكتلة الحيوية لأغراض الطاقة، وهي متناثرة عبر مناطق جغرافية كبيرة ومتباينة. وحتى الآن تعتبر المنتجات الثانوية، أو المنتجات المشتركة لإنتاج الأغذية والعلف والألياف، مصدر معظم الطاقة المشتقة من الكتلة الحيوية المستخدمة كوقود. وعلى سبيل المثال، تُستخدم المنتجات الثانوية الرئيسية للصناعات الحرجية في إنتاج خشب الوقود والفحم النباتي، ويشكّل السائل الأسود (وهو منتج ثانوي لمطاحن اللباب) مصدراً رئيسياً للوقود المستخدم لتوليد الكهرباء الحيوية في بلدان مثل البرازيل وكندا وفنلندا والسويد والولايات المتحدة الأمريكية. ويتم الحصول على قدر كبير من الطاقة الحرارية والقوة المحركة من الكتلة الحيوية الخشبية المستعادة و/أو المعاد تدويرها، كما تُستعاد كميات متزايدة من الطاقة من الكتلة الحيوية المستمدة من أراضي المحاصيل (القش وعيدان القطن)، وأراضي الغابات (الرقائق والكريات الخشبية). وفي البلدان المنتجة للسكر والبن، يُستخدم تفل قصب السكر وقشور البن في الحرق المباشر وفي إنتاج الطاقة الحرارية والبخار.

ولكن فيما يتعلق بالطاقة الحيوية، كان مجال النمو الكبير الذي شهدته السنوات الأخيرة هو إنتاج الوقود الحيوي السائل لأغراض النقل، باستخدام المحاصيل الزراعية كمواد وسيطة. وقد اتخذ معظمه شكل إيثانول، قائم إما على محاصيل سكرية أو

(٤) يُشار إليها أيضاً باسم الزيوت النباتية النقية.

الشكل ٦
تحويل المواد الوسيطة الزراعية إلى وقود حيوي سائل

المصدر: منظمة الأغذية والزراعة.

محاصيل نشوية، أو زيت الديزل الحيوي القائم على المحاصيل الزيتية.

وكما هو مبيّن في الشكل ٦، يمكن استخدام طائفة متنوعة من المحاصيل المختلفة كمواد وسيطة لإنتاج الإيثانول وزيت الديزل الحيوي. ولكن معظم الإنتاج العالمي للإيثانول مشتق من قصب السكر أو الذرة؛ ففي البرازيل يُنتج معظم الإيثانول من قصب السكر، ويُنتج في الولايات المتحدة من الذرة. ومن بين المحاصيل الهامة الأخرى الكسافا والأرز وبنجر السكر والقمح. أما فيما يتعلق بزيت الديزل الحيوي فإن المواد الوسيطة الأكثر شيوعا هي بذر اللفت في الاتحاد الأوروبي، وفول الصويا في الولايات المتحدة الأمريكية والبرازيل، والنخيل وجوز الهند والخروع في البلدان الاستوائية وشبه الاستوائية، مع زيادة الاهتمام بالجاتروفا.

الوقود الحيوي والزراعة

إن توسّع ونمو أسواق الطاقة حالياً، نتيجة للسياسات الجديدة التي سُنّت بشأن الطاقة والبيئة أثناء العقد المنصرم في معظم البلدان المتقدمة وفي عديد من البلدان النامية، يعيدان تشكيل دور الزراعة. وأهم دلالات ذلك هو تزايد دور القطاع كمورِّد للمواد الوسيطة من أجل إنتاج الوقود الحيوي السائل الذي يُستخدم في النقل – وهو الإيثانول وزيت الديزل الحيوي. وتمثّل الطاقة الحيوية الحديثة مصدراً جديداً للطلب على منتجات المزارعين، ومن ثم فهي تنطوي على وعد بإدرار دخل وتوليد فرص للعمل. وهي تولّد في الوقت ذاته منافسة متزايدة على الموارد الطبيعية، لاسيما الأراضي والمياه، وبخاصة على المدى القصير، وإن كانت الزيادات في الغلة قد تخفف

من هذه المنافسة على المدى الأطول. ويصبح التنافس على الأراضي قضية هامة لاسيما عندما يُعاد توجيه مسار المحاصيل الزراعية (ومنها مثلاً الذرة ونخيل الزيت وفول الصويا)، التي تُزرع حالياً من أجل الغذاء والعلف، نحو إنتاج الوقود الحيوي، أو عندما يجري تحويل الأراضي الزراعية الموجهة إلى إنتاج الأغذية صوب إنتاج الوقود الحيوي.

وفي الوقت الراهن يتم إنتاج نحو ٨٥ في المائة من الإنتاج العالمي للوقود الحيوي السائل في شكل إيثانول (الجدول ١). ويُنتج أكبر بلدين منتجين للإيثانول، وهما البرازيل والولايات المتحدة الأمريكية، ما يقرب من ٩٠ في المائة من الإنتاج الكلي، أما النسبة الباقية فتنتج معظمها كندا والصين والاتحاد الأوروبي (فرنسا وألمانيا أساساً) والهند. ويتركز إنتاج زيت الديزل الحيوي أساساً في الاتحاد الأوروبي (حيث يُنتج نحو ٦٠ في المائة من الإجمالي)، مع مساهمة أصغر كثيراً من الولايات المتحدة الأمريكية. وفي البرازيل، يشكل إنتاج زيت الديزل الحيوي ظاهرة أحدث عهداً ولا يزال حجم الإنتاج محدوداً. ومن بين البلدان الهامة الأخرى المنتجة لزيت الديزل الحيوي الصين والهند وإندونيسيا وماليزيا.

وتتباين المحاصيل المختلفة تبايناً واسعاً من حيث كمية الوقود الحيوي المنتجة مقابل كل هكتار، تبعاً للمواد الوسيطة والبلدان ونظم الإنتاج على حد سواء، كما يتبين من الجدول ٢. وترجع هذه التباينات إلى كل من الاختلافات في غلات المحاصيل للهكتار الواحد عبر البلدان والمحاصيل، وإلى الاختلافات في كفاءة التحويل عبر المحاصيل. وهذا معناه اختلاف الاحتياجات من الأراضي من أجل زيادة إنتاج الوقود الحيوي تبعاً للمحصول وللموقع. وإنتاج الإيثانول من قصب السكر وبنجر السكر هو الذي يتسم بأعلى كمية مُنتجة حالياً، مع تصدّر الإنتاج القائم على قصب السكر في البرازيل من حيث ناتج الوقود الحيوي مقابل كل هكتار، تليها الهند مع عدم وجود فارق كبير بينهما. أما ناتج الهكتار في حالة الذرة فهو أقل نوعاً ما، ولكن مع وجود اختلافات ملحوظة بين الكميات المُنتجة مثلاً في الصين وفي الولايات المتحدة الأمريكية . والبيانات الواردة في الجدول ٢ لا تشير سوى إلى الكميات المنتجة تقنياً. وقد تبدى تكلفة إنتاج الوقود الحيوي، القائم على محاصيل مختلفة في بلدان مختلفة، أنماطاً شديدة الاختلاف أيضاً. وترد مناقشة مستفيضة لذلك في الفصل ٣.

دورة عمر الوقود الحيوي: موازين الطاقة وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري

أثار عاملان مهمان من العوامل الرئيسية التي دفعت إلى وضع سياسات تشجّع تنمية الوقود الحيوي، القلق بشأن أمن الطاقة والرغبة في الحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. فتماماً مثلما تختلف الكمية التي تنتجها المحاصيل المختلفة من الوقود الحيوي مقابل كل هكتار، توجد أيضاً تباينات واسعة من حيث موازين الطاقة وخفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري عبر المواد الوسيطة والمواقع والتكنولوجيات.

ومساهمة الوقود الحيوي في إمدادات الطاقة تتوقف على محتوى الوقود الحيوي من الطاقة، وكذلك على الطاقة التي توجّه إلى إنتاجه. وهذه الطاقة الأخيرة

الجدول ١

إنتاج الوقود الحيوي بحسب البلد، ٢٠٠٧

البلد/ مجموعات البلدان	الإيثانول		زيت الديزل الحيوي		المجموع	
	(بملايين اللترات)	(بملايين الأطنان من معادل النفط)	(بملايين اللترات)	(بملايين الأطنان من معادل النفط)	(بملايين اللترات)	(بملايين الأطنان من معادل النفط)
البرازيل	١٩ ٠٠٠	١٠,٤٤	٢٢٧	٠,١٧	١٩ ٢٢٧	١٠,٦٠
كندا	١ ٠٠٠	٠,٥٥	٩٧	٠,٠٧	١ ٠٩٧	٠,٦٢
الصين	١ ٨٤٠	١,٠١	١١٤	٠,٠٨	١ ٩٥٤	١,٠٩
الهند	٤٠٠	٠,٢٢	٤٥	٠,٠٣	٤٤٥	٠,٢٥
إندونيسيا	٠	٠,٠٠	٤٠٩	٠,٣٠	٤٠٩	٠,٣٠
ماليزيا	٠	٠,٠٠	٣٣٠	٠,٢٤	٣٣٠	٠,٢٤
الولايات المتحدة الأمريكية	٢٦ ٥٠٠	١٤,٥٥	١ ٦٨٨	١,٢٥	٢٨ ١٨٨	١٥,٨٠
الاتحاد الأوروبي	٢ ٢٥٣	١,٢٤	٦ ١٠٩	٤,٥٢	٨ ٣٦١	٥,٧٦
بلدان أخرى	١ ٠١٧	٠,٥٦	١ ١٨٦	٠,٨٨	٢ ٢٠٣	١,٤٤
العالم	**٥٢ ٠٠٩**	**٢٨,٥٧**	**١٠ ٢٠٤**	**٧,٥٦**	**٦٢ ٢١٣**	**٣٦,١٢**

ملاحظة: تم تقريب البيانات المعروضة.

المصدر: استناداً إلى F. O. Licht، ٢٠٠٧، والبيانات مستمدة من قاعدة بيانات AgLink-Cosimo لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي – منظمة الأغذية والزراعة.

الجدول ٢

إنتاج الوقود الحيوي لمختلف المواد الوسيطة والبلدان

المحصول	التقديرات العالمية والقطرية	الوقود الحيوي	إنتاج المحصول	كفاءة التحويل	إنتاج الوقود الحيوي
			(طن/ هكتار)	(لترات/ طن)	(لترات/ طن)
بنجر السكر	العالمية	الإيثانول	٤٦,٠	١١٠	٥٠٦٠
قصب السكر	العالمية	الإيثانول	٦٥,٠	٧٠	٤٥٥٠
الكسافا	العالمية	الإيثانول	١٢,٠	١٨٠	٢٠٧٠
الذرة	العالمية	الإيثانول	٤,٩	٤٠٠	١٩٦٠
الأرزّ	العالمية	الإيثانول	٤,٢	٤٣٠	١٨٠٦
القمح	العالمية	الإيثانول	٢,٨	٣٤٠	٩٥٢
الذرة الرفيعة	العالمية	الإيثانول	١,٣	٣٨٠	٤٩٤
قصب السكر	البرازيل	الإيثانول	٧٣,٥	٧٤,٥	٥٤٧٦
قصب السكر	الهند	الإيثانول	٦٠,٧	٧٤,٥	٤٥٢٢
نخيل الزيت	ماليزيا	زيت الديزل الحيوي	٢٠,٦	٢٣٠	٤٧٣٦
نخيل الزيت	إندونيسيا	زيت الديزل الحيوي	١٧,٨	٢٣٠	٤٠٩٢
الذرة	الولايات المتحدة الأمريكية	الإيثانول	٩,٤	٣٩٩	٣٧٥١
الذرة	الصين	الإيثانول	٥,٠	٣٩٩	١٩٩٥
الكسافا	البرازيل	الإيثانول	١٣,٦	١٣٧	١٨٦٣
الكسافا	نيجيريا	الإيثانول	١٠,٨	١٣٧	١٤٨٠
فول الصويا	الولايات المتحدة الأمريكية	زيت الديزل الحيوي	٢,٧	٢٠٥	٥٥٢
فول الصويا	البرازيل	زيت الديزل الحيوي	٢,٤	٢٠٥	٤٩١

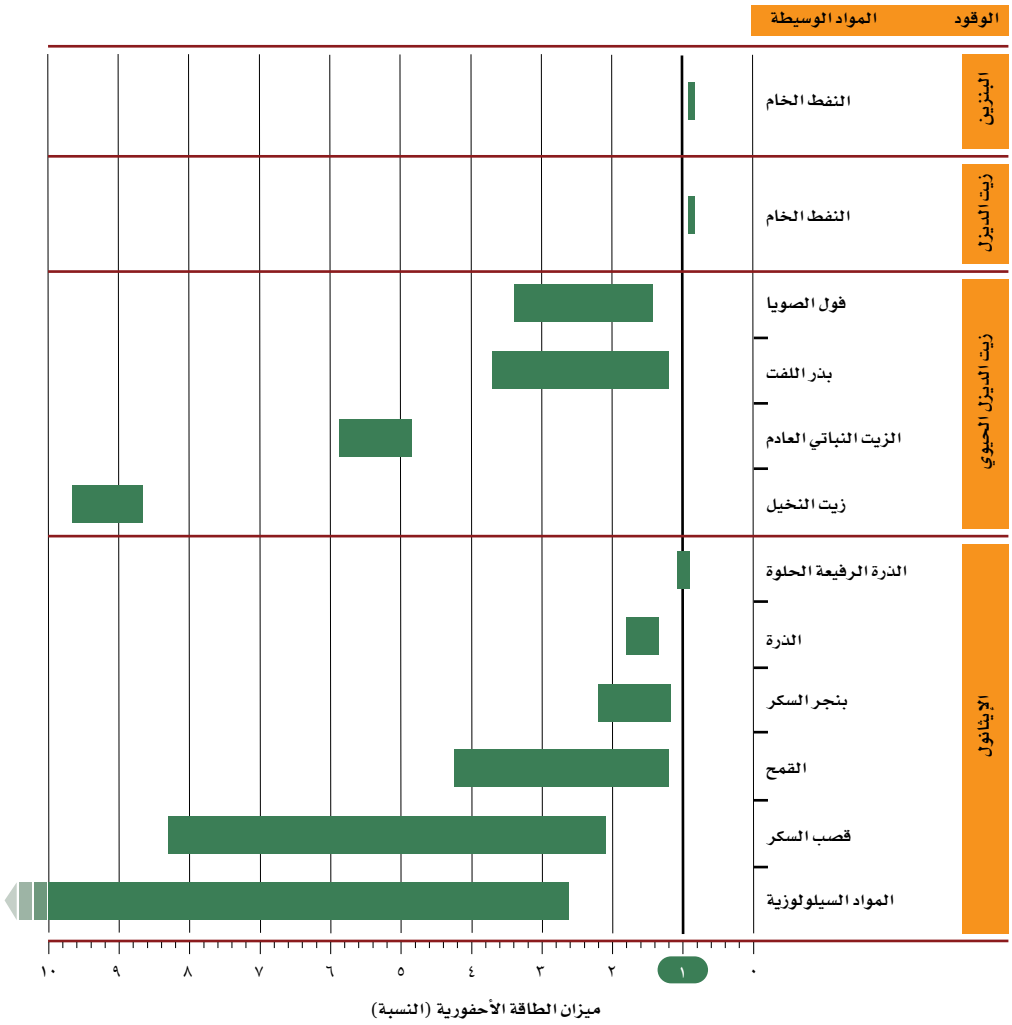
المصادر: Rajagopal وآخرون، ٢٠٠٧، بالنسبة للبيانات العالمية؛ و Naylor وآخرون، ٢٠٠٧، بالنسبة للبيانات القطرية.

تشمل الطاقة اللازمة لزراعة وحصاد المادة الوسيطة، وتصنيع المادة الوسيطة لتحويلها إلى وقود حيوي، ونقل المادة الوسيطة والوقود الحيوي الناتج في مختلف مراحل إنتاجه وتوزيعه. ويعبّر ميزان الطاقة الأحفورية عن معدل الطاقة التي يحتوي عليها الوقود الحيوي بالنسبة إلى الطاقة الأحفورية المستخدمة في إنتاجه. فميزان الطاقة الأحفورية البالغ ١,٠ يعني أن إنتاج لتر من الوقود الحيوي يحتاج إلى قدر من الطاقة يعادل قدر الطاقة التي يحتوي عليها؛ وبعبارة أخرى، إن الوقود الحيوي لا يحقق مكسباً صافياً أو خسارة صافية من حيث الطاقة. أما ميزان طاقة الوقود الأحفوري البالغ ٢,٠ فهو يعني أن لتر الوقود الحيوي يحتوي على ضعف كمية الطاقة التي يحتاج إليها في إنتاجه. وتنشأ مشكلة في تقدير ميزان الطاقة تقديراً دقيقاً وهي صعوبة التحديد الواضح لحدود النظام لأغراض التحليل.

ويلخص الشكل ٧ نتائج دراسات عديدة بشأن موازين الطاقة الأحفورية فيما يتعلق بأنواع مختلفة من الوقود، على النحو الذي أفاد به معهد مراقبة العالم (Worldwatch Institute) (٢٠٠٦). ويكشف الرقم عن تباينات واسعة في موازين الطاقة الأحفورية المقدّرة عبر المواد الوسيطة وأنواع الوقود، وفي بعض الأحيان فيما يتعلق بمزيج المادة الوسيطة/الوقود، تبعاً لعوامل مثل إنتاجية المواد الوسيطة، والممارسات الزراعية، وتكنولوجيات الحفظ.

والبترول وزيت الديزل التقليديان تتراوح موازين الطاقة الأحفورية الخاصة بهما من نحو ٠,٨ إلى ٠,٩، وذلك لأن قدرا من الطاقة يُستهلك في تكرير النفط الخام ليصبح وقوداً صالحاً للاستعمال وفي نقله إلى الأسواق. وإذا كان للوقود الحيوي ميزان طاقة أحفورية يتجاوز هذين الرقمين، فإنه يُسهم في الحد من الاعتماد على الوقود الأحفوري. ويبدو أن أنواع الوقود الحيوي تساهم جميعها مساهمة إيجابية في هذا الصدد، وإن يكن بدرجات واسعة التباين. فموازين الطاقة الأحفورية المقدرة لزيت الديزل الحيوي تتراوح من نحو ١ إلى ٤ في حالة المواد الوسيطة المشتقة من زهرة عباد

الشكل ٧
النطاق المقدر لموازين الطاقة الأحفورية الخاصة بأنواع مختارة من الوقود



ملاحظة: النسب الخاصة بالوقود الحيوي السيلولوزي هي نسب نظرية. المصادر: استناداً إلى معهد Worldwatch، ٢٠٠٦، الجدول ١٠-١؛ Rajagopal وZilberman، ٢٠٠٧.

الشمس وبذر اللفت وفول الصويا. أما الموازين المقدّرة لزيت النخيل فهي أعلى من ذلك، فتصل الى نحو ٩، بالنظر إلى ضرورة عصر بذور زيتية أخرى لكي يتسنى استخلاص الزيت، وهذه خطوة تصنيعية إضافية تحتاج إلى طاقة. وفي حالة الإيثانول القائم على المحاصيل الزراعية، تتراوح الموازين المقدرة من أقل من ٢ في حالة الذرة إلى ما يتراوح من نحو ٢ إلى ٨ في حالة قصب السكر. وميزان الطاقة الأحفورية للإيثانول القائم على قصب السكر، على النحو المتبع في البرازيل، لا يتوقف فحسب على إنتاجية المواد الوسيطة، بل وأيضاً على تصنيعه باستخدام مخلفات الكتلة الحيوية من قصب السكر (تفل قصب السكر) كمدخل طاقة. أما نطاق موازين الطاقة الأحفورية المقدّرة للمواد السيلولوزية الوسيطة فهو أوسع حتى من ذلك، مما يعكس الشكوك المتعلقة بهذه التكنولوجيا وتنوع المواد الوسيطة ونظم الإنتاج الممكنة.

كذلك، قد يختلف التأثير الصافي لأنواع الوقود الحيوي على انبعاثات غازات الاحتباس الحراري اختلافاً واسعاً. فأنواع الوقود الحيوي تُنتج من الكتلة الحيوية؛ ومن ثم ينبغي، نظرياً، أن تكون محايدة كربونياً، وذلك لأن حرقها لا يعيد إلى الغلاف الجوي سوى الكربون الذي يمتصه النبات أثناء نموه من الغلاف الجوي – على الاختلاف من أنواع الوقود الأحفوري، التي تُطلق الكربون الذي كان مخزوناً ملايين السنين تحت سطح الأرض. ومع ذلك فإن تقدير التأثير الصافي للوقود الحيوي على انبعاثات غازات الاحتباس الحراري يقتضي

تحليل الانبعاثات على امتداد دورة عمر ذلك الوقود: زرع المحصول وحصاده؛ وتصنيع المواد الوسيطة لتحويلها إلى وقود حيوي؛ ونقل المواد الوسيطة والوقود النهائي؛ وتخزين الوقود الحيوي وتوزيعه وبيعه بالتجزئة – بما في ذلك تأثيرات تزويد مركبة بالوقود والانبعاثات التي تنجم عن حرقه. وعلاوة على ذلك، من اللازم النظر في أي منتجات مساعدة ممكنة يمكن أن تقلل من الانبعاثات. ومن الواضح، لهذا السبب، أن موازين الطاقة الأحفورية هي مُحدد واحد فقط من محددات عديدة لتأثير الوقود الحيوي المتمثل في صدور انبعاثات عنه. ومن بين العوامل حاسمة الأهمية المتعلقة بعملية الإنتاج الزراعي التسميد، واستخدام مبيدات الآفات، وتكنولوجيا الري، ومعالجة التربة. ويمكن أن يترتب أثر كبير على التغييرات في استخدام الأراضي المرتبطة بالتوسع في إنتاج الوقود الحيوي. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يؤدي تحويل أراضي الغابات إلى إنتاج محاصيل الوقود الحيوي، أو إحلال المواد الوسيطة للوقود الحيوي محل المحاصيل الزراعية، التي تنقل إلى أماكن أخرى، إلى إطلاق كميات كبيرة من الكربون قد يستغرق التخلص منها سنوات عديدة، وذلك من خلال خفض الانبعاثات عن طريق الاستعاضة بالوقود الحيوي عن الوقود الأحفوري. ويورد الفصل ٥ مزيداً من المناقشة للعلاقة بين الوقود الحيوي وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري، ويستعرض الدليل على أن تأثير الوقود الحيوي على تغير المناخ قد يتباين وقد لا يكون بالضرورة إيجابياً، أو قد لا يكون إيجابياً بنفس القدر الذي كان مفترضاً أصلاً في كثير من الأحيان.

الجيل الثاني من الوقود الحيوي السائل[٥]

إن الإنتاج الحالي للوقود الحيوي السائل، القائم على المحاصيل السكرية والنشوية (في حالة الإيثانول) ومحاصيل البذور الزيتية (في حالة زيت الديزل الحيوي)، يُشار إليه عموماً بأنه الجيل الأول من الوقود الحيوي. وقد يتيح الجيل الثاني من التكنولوجيات، التي هي قيد الاستحداث حالياً، استخدام الكتلة الحيوية السيلولوزية الخشبية. والكتلة الحيوية السيلولوزية تقاوم التحلل أكثر من مقاومة النشا والسكر والزيوت. وصعوبة تحويلها إلى وقود سائل تجعل تكنولوجيا التحويل أعلى تكلفة، وإن كانت تكلفة المواد الوسيطة السيلولوزية نفسها أقل من تكلفة الجيل الأول الحالي من المواد الوسيطة. وينطوي تحويل السيلولوز إلى إيثانول على خطوتين: أولا تحلل المكونات السيلولوزية والنصف سيلولوزية الخاصة بالكتلة الحيوية إلى سكريات، وتخمَّر بعد ذلك من أجل الحصول على الإيثانول. والخطوة الأولى صعبة تقنياً، وإن كانت البحوث مستمرة بشأن استحداث طرق لإجراء هذه العملية تتسم بالكفاءة وبفعالية التكلفة. وعدم امتلاك مقومات البقاء تجارياً قد حال حتى الآن دون حدوث إنتاج كبير من الجيل الثاني للوقود الحيوي القائم على السيليلوز.

وبالنظر إلى أن الكتلة الحيوية السيلولوزية هي أكثر المواد البيولوجية توافراً على سطح الأرض، فإن الاستحداث الناجح لجيل ثانٍ من الوقود الحيوي القائم على السيلولوز، الذي يملك مقومات البقاء تجارياً، يمكن أن يؤدي إلى حدوث زيادة كبيرة في حجم وتنوع المواد الوسيطة التي يمكن استخدامها في الإنتاج. والمخلفات السيلولوزية، ومن بينها مخلفات الزراعة (القش والعيدان والأوراق) والغابات، والمخلفات التي تنجم عن عمليات التصنيع (قشور الجوزيات، وتفل قصب السكر، ونشارة الخشب)، والأجزاء العضوية من نفايات المدن، يمكن أن تكون جميعها مصادر محتملة. ولكن من المهم أيضاً النظر في الدور حاسم الأهمية الذي يلعبه تحلل الكتلة الحيوية في الحفاظ على خصوبة التربة ونسيجها؛ وقد تكون لعمليات السحب المفرط لأغراض استخدام الطاقة الحيوية تأثيرات سلبية.

ومحاصيل الطاقة السيلولوزية المكرسة لهذا الغرض تبشر بالخير كمصدر للمواد الوسيطة للجيل الثاني من التكنولوجيات. ومن بين المحاصيل المحتملة المحاصيل الخشبية قصيرة الدورة الزراعية، مثل الصفصاف والحور الهجين والأوكالبتوس، أو الأنواع العشبية مثل الميسكانتوس والعشب السوطي وعشب الكناريا القصبية. وتنطوي هذه المحاصيل على مزايا كبيرة بالمقارنة بمحاصيل الجيل الأول من حيث الاستدامة البيئية. فمقارنة بالمحاصيل النشوية وبمحاصيل البذور الزيتية التقليدية، يمكن أن تنتج هذه المحاصيل كتلة حيوية أكبر مقابل كل هكتار من الأرض، وذلك لتوافر المحصول بأكمله كمادة وسيطة للتحويل إلى وقود. وعلاوة على ذلك، يمكن أيضاً أن تنمو بعض النباتات المعمّرة التي تنمو بسرعة، مثل المحاصيل الخشبية قصيرة الدورة الزراعية والأعشاب الطويلة، على تربة فقيرة ومتدهورة، لا يكون فيها إنتاج المحاصيل الغذائية مثالياً بسبب التعرية أو بسبب معوقات أخرى. وكلا هذين العاملين قد يؤديان إلى الحد من التنافس على الأرض مع إنتاج الغذاء والعلف. أما على الجانب السلبي، فإن عدة من هذه الأنواع تُعتبر غازية، أو يحتمل أن تكون غازية، وقد تكون لها تأثيرات سلبية على موارد المياه، والتنوع البيولوجي، والزراعة.

ويمكن أيضاً أن يتيح الجيل الثاني من المواد الوسيطة والوقود الحيوي مزايا من حيث الحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. فأغلبية الدراسات

(٥) يستند هذا القسم إلى الشراكة العالمية للطاقة الحيوية (٢٠٠٧)، والوكالة الدولية للطاقة (٢٠٠٤)، وJanssen وRutz (٢٠٠٧).

تتوقع أن تؤدي أنواع الوقود المتقدمة المستقبلية، المشتقة من المحاصيل المعمّرة ومن المخلفات الخشبية والزراعية، إلى حدوث انخفاض هائل في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري طيلة دورة العمر، بالمقارنة بالوقود النفطي والجيل الأول من الوقود الحيوي. وهذا ينبع من ارتفاع إنتاج الطاقة مقابل كل هكتار، وينبع أيضاً من اختلاف اختيار الوقود الذي يُستخدم في عملية التحويل. ففي عملية إنتاج الإيثانول الحالية، يكون مصدر الإمداد كله، تقريباً، بالطاقة المستخدمة في عملية التصنيع هو الوقود الأحفوري (باستثناء الإيثانول القائم على قصب السكر في البرازيل، حيث يوفّر تفل قصب السكر معظم الطاقة المستخدمة في عملية التحويل). أما في حالة الجيل الثاني من الوقود الحيوي، يمكن أن توفر مخلفات النباتات (الخشبية أساساً) الطاقة اللازمة لعملية التصنيع.

ولئن كان من الصعب تحلُّل الكتلة الحيوية السيلولوزية من أجل تحويلها إلى وقود سائل، فإنها أقوى أيضاً بالنسبة للمناولة، مما يساعد على الحد من تكاليف مناولتها والحفاظ على جودتها بالمقارنة بالمحاصيل الغذائية. كما أن تخزينها أيسر أيضاً، لاسيما بالمقارنة بالمحاصيل القائمة على السكر، وذلك لأنها تقاوم التدهور. ومن الناحية الأخرى، كثيراً ما تكون الكتلة الحيوية السيلولوزية ضخمة الحجم وتتطلب بنية أساسية جيدة للنقل من أجل توريدها إلى منشآت التصنيع بعد الحصاد.

وما زال من اللازم التغلب على تحديات تكنولوجية كبيرة لجعل إنتاج الإيثانول من المواد الوسيطة السيلولوزية الخشبية قادراً على المنافسة تجارياً. فليس من المؤكد، حتى الآن، ما إذا كان تحويل الكتلة الحيوية السيلولوزية إلى وقود متقدم قادراً على المساهمة بنسبة كبيرة في أنواع الوقود السائلة الموجودة في العالم. ويوجد حالياً عدد من الوحدات التجريبية والإرشادية التي إما تعمل، أو قيد الإنشاء، في مختلف أنحاء العالم. وستتوقف سرعة التوسّع في مسارات التحويل الكيميائي الحيوي والكيميائي الحراري على تطور ونجاح المشاريع التجريبية الجارية حالياً، ووجود تمويل مستدام للبحوث، وكذلك أسعار النفط العالمية، واستثمارات القطاع الخاص.

وإيجازاً، يمثل الجيل الثاني من الوقود الحيوي، القائم على المواد الوسيطة السيلولوزية الخشبية، صورة مختلفة تماماً من حيث انعكاساته على الزراعة وعلى الأمن الغذائي. ومن الممكن استخدام طائفة أوسع كثيراً من المواد الوسيطة، باستثناء المحاصيل الزراعية المستخدمة حالياً في تكنولوجيات الجيل الأول، مع تحقيق إنتاجية أعلى من حيث الطاقة مقابل كل هكتار. وستختلف أيضاً تأثيراتها على أسواق السلع الأساسية، وتغير استخدام الأراضي، والبيئة، وكذلك تأثيرها على تكنولوجيات الإنتاج والتحويل مستقبلاً (انظر الإطار ٢).

إمكانات الطاقة الحيوية

ما هي إمكانات إنتاج الطاقة الحيوية؟ ينبغي مناقشة الإمكانات التقنية والاقتصادية للطاقة الحيوية في سياق تزايد الصدمات والضغوط على قطاع الزراعة العالمي، وتزايد الطلب على الأغذية والمنتجات الزراعية نتيجة لاستمرار نمو السكان والدخل على نطاق العالم. وما يكون من الممكن تقنياً إنتاجه قد لا يكون ممكناً اقتصادياً أو قد لا يكون مستداماً بيئياً. ويناقش هذا القسم بمزيد من التفصيل الإمكانات التقنية والاقتصادية للطاقة الحيوية.

ولما كانت الطاقة الحيوية مشتقة من الكتلة الحيوية، فإن إمكانات الطاقة الحيوية العالمية محدودة في نهاية المطاف بفعل الكمية الإجمالية من الطاقة التي تنتج بواسطة التمثيل الضوئي على مستوى العالم. فالنباتات تجمع طاقة إجمالية تعادل نحو ٧٥ ٠٠٠ مليون طن من معادل النفط (١٥٠ ٣ إكساجول) كل سنة (Kapur، ٢٠٠٤)، أي ما يعادل الطلب العالمي الحالي على الطاقة ست أو سبع مرات. إلا أن هذا يشمل كميات هائلة من الكتلة الحيوية التي لا يمكن حصدها. ومن الناحية الفيزيائية البحتة، تمثّل الكتلة الحيوية طريقة سيئة نسبياً لحصد الطاقة الشمسية، لاسيما بالمقارنة بالألواح الشمسية متزايدة الكفاءة (منظمة الأغذية والزراعة، ٢٠٠٦أ).

ولقد قام عدد من الدراسات بقياس حجم الكتلة الحيوية التي يمكن أن تساهم تقنياً في إمدادات الطاقة العالمية. وتختلف تقديراتها اختلافاً واسعاً تبعاً لاختلاف النطاقات والفرضيات والمنهجيات، مما يُبرز ارتفاع درجة الشكوك المحيطة بالمساهمة التي يمكن أن تقدمها الطاقة الحيوية في إمدادات الطاقة العالمية مستقبلاً. وقد قدّرت آخر دراسة كبرى للطاقة الحيوية أجرتها الوكالة الدولية للطاقة، استناداً إلى دراسات قائمة، نطاق إمدادات الطاقة الحيوية المحتملة في عام ٢٠٥٠، الذي يتراوح من كمية منخفضة تبلغ ١ ٠٠٠ مليون طن من معادل النفط إلى كمية تمثل حداً أقصى قدره ٢٠٠ ٢٦ مليون طن من معادل النفط (الوكالة الدولية للطاقة، ٢٠٠٦، الصفحات ٤١٢–٤١٦). وقد كان الرقم الأخير يستند إلى افتراض حدوث تقدم تكنولوجي سريع جداً، بيد أن الوكالة الدولية للطاقة تشير إلى أن التقدير الأكثر واقعية، المستند إلى حدوث تحسن أبطأ في الإنتاجية، سيتراوح من ٦ ٠٠٠ إلى ١٢ ٠٠٠ مليون طن من معادل النفط. وتُفيد الوكالة بأن تقديراً متوسطاً قدره ٩ ٥٠٠ مليون طن من معادل النفط من شأنه أن يتطلب تخصيص نحو خُمس الأراضي الزراعية في العالم لإنتاج الكتلة الحيوية.

الإطار ٢
تطبيقات التكنولوجيا الحيوية لإنتاج الوقود الحيوي

يمكن تطبيق تكنولوجيات حيوية كثيرة موجودة حالياً لتحسين إنتاج الطاقة الحيوية، مثلاً في استحداث مواد وسيطة أفضل وتحسين كفاءة تحويل الكتلة الحيوية إلى وقود حيوي.

استخدام التكنولوجيات الحيوية لإنتاج وقود حيوي ينتمي إلى الجيل الأول

إن أنواع النباتات التي تُستخدم حالياً في إنتاج الوقود الحيوي، الذي ينتمي إلى الجيل الأول، قد اختيرت لما تتميز به من خواص زراعية ذات أهمية لإنتاج الأغذية و/أو العلف لا بسبب خصائص تُحبّذ استخدامها كمواد وسيطة لإنتاج الوقود الحيوي. ويمكن أن تساعد التكنولوجيا الحيوية على تعجيل عملية اختيار الأنواع الأنسب لإنتاج الوقود الحيوي، مع زيادة الكتلة الحيوية مقابل كل هكتار، وزيادة المحتوى من الزيوت (محاصيل زيت الديزل الحيوي)، أو السكريات القابلة للتخمّر (محاصيل الإيثانول)، أو تحسين خصائص التصنيع التي تيسّر تحويلها إلى وقود حيوي. ومن المرجح أن الجينوميّات، أي دراسة جميع المواد الوراثية للكائن الحي (أي الجينوم الخاص به)، تلعب دوراً متزايد الأهمية. وثمة متتاليات جينومية لعدة مواد وسيطة من الجيل الأول، مثل الذرة والذرة الرفيعة وفول الصويا، هي الآن قيد الإعداد أو نُشرت بالفعل. وباستثناء الجينوميات، تشمل التكنولوجيات الحيوية الأخرى، التي يمكن تطبيقها، الانتخاب بمعاونة واسم والتحوير الوراثي.

وتخمّر السكريات أساسي لإنتاج الإيثانول من الكتلة الحيوية. إلا أن الكائن الحي الدقيق الذي يشيع استخدامه في التخمّر الصناعي، وهو خميرة Saccharomyces cerevisiae، لا يمكن أن يؤدي مباشرة إلى تخمّر مادة نشوية، مثل نشا الذرة. إذ يجب أولاً أن تتحلل الكتلة الحيوية (أي أن تتحلل مائياً) بحيث تصبح سكريات قابلة للتخمّر، وذلك باستخدام إنزيمات تسمّى الأميلازات. وتُنتج كثرة من الإنزيمات المتاحة تجارياً الآن، ومن بينها الأميلازات، باستخدام كائنات حية دقيقة محوّرة وراثيا. وتتواصل البحوث بشأن استحداث سلالات من الخميرة الوراثية تتسم بالكفاءة، ويمكن أن تُنتج هي نفسها الأميلازات، حيث يتسنى الجمع ما بين التحلل المائي والتخمر.

تطبيق التكنولوجيات الحيوية لإنتاج وقود حيوي ينتمي إلى الجيل الثاني

تتكون أساسا الكتلة الحيوية السيلولوزية الخشبية من السيلولوز الخشبي متعدد السكريدات (الذي يتكون من سكريات الهكسوز)، والنصف سيلولوز (الذي يحتوي على مزيج من سكريات الهكسوز والبنتوز). ومقارنة بإنتاج الإيثانول من الجيل الأول من المواد الوسيطة، يتسم استخدام الكتلة الحيوية السيلولوزية الخشبية بأنه أكثر تعقيداً، لأن السكريدات المتعددة أكثر استقراراً، ولأن سكريات البنتوز لا يسهل تخمّرها بواسطة البكتريا Saccharomyces cerevisiae. فمن أجل تحويل الكتلة الحيوية السيلولوزية الخشبية إلى وقود حيوي يجب أولاً أن تحدث عملية تحوّل مائي للسكريدات المتعددة، أي يجب أولاً أن تتحلل، بحيث تصبح سكريات بسيطة، وذلك إما باستخدام الحمض أو الإنزيمات. ويجري استخدام نُهُج عديدة قائمة على التكنولوجيا الحيوية للتغلب على هذه المشاكل، من بينها استحداث سلالات من بكتريا Saccharomyces cerevisiae التي يمكن أن تؤدي إلى تخمّر سكريات البنتوز، واستخدام أنواع بديلة من البكتريا تؤدي بشكل طبيعي إلى تخمّر سكريات البنتوز، واستحداث إنزيمات تكون قادرة على أن تحلل السيلولوز والنصف سيلولوز إلى سكريات بسيطة.

وباستثناء المنتجات الزراعية والحرجية وغيرها من المنتجات الثانوية، من المرجح أن يكون المصدر الرئيسي للكتلة الحيوية السيلولوزية الخشبية، التي تُستخدم في إنتاج الجيل الثاني من الوقود الحيوي، مستمداً من "مواد وسيطة مكرّسة لهذا الغرض من الكتلة الحيوية"، مثل أنواع معينة من الأعشاب وأشجار الغابات المعمّرة. ويجري استكشاف الجينوميات وتكنولوجيا التحوير الوراثي وغيرهما من التكنولوجيات الحيوية لاستخدامها كأدوات لإنتاج نباتات ذات خصائص ضرورية لإنتاج جيل ثانٍ من الوقود الحيوي، مثل النباتات التي تنتج كمية أقل من الخشبين (وهو مركّب لا يمكن أن يتخمر بحيث يصبح وقوداً حيوياً سائلاً)، وتُنتج هي نفسها إنزيمات تساعد على تحلل السيلولوز و/أو الخشبين، أو التي تُنتج كمية أكبر من الكتلة الحيوية السيلولوزية أو الكلية.

المصادر: استناداً إلى منظمة الأغذية والزراعة، ٢٠٠٧أ، وThe Royal Society، ٢٠٠٨.

والأهم من امتلاك مقومات البقاء التقني البحت، هو مسألة مقدار إمكانات الطاقة الحيوية المتاحة تقنياً التي ستكون لديها مقومات البقاء اقتصادياً. فالإمكانات الاقتصادية على المدى الطويل تعتمد أساساً على الفرضيات المتعلقة بأسعار الطاقة الأحفورية، وتطوير المواد الوسيطة الزراعية والابتكارات التكنولوجية مستقبلاً في مجالات حصدها وتحويلها، واستخدام الوقود الحيوي. وهذه الجوانب تُناقش بمزيد من التفصيل في الفصل ٣.

والطريقة المختلفة للنظر إلى إمكانات إنتاج الوقود الحيوي هي النظر في الاحتياجات النسبية من حيث استخدام الأراضي. وتتوقع الوكالة الدولية للطاقة في "السيناريو المرجعي" لسنة ٢٠٣٠، الذي تضمنّه تقريرها المعنون "توقعات الطاقة في العالم ٢٠٠٦"، حدوث زيادة في حصة الأرض الصالحة للزراعة في العالم المخصصة لزراعة الكتلة الحيوية اللازمة لإنتاج الوقود الحيوي السائل من ١ في المائة في سنة ٢٠٠٤ إلى ٢,٥ في المائة في سنة ٢٠٣٠. وحسب "سيناريو السياسات البديلة" الذي وضعته الوكالة، تزيد الحصة في سنة ٢٠٣٠ بحيث تبلغ ٣,٨ في المائة. وفي كلتا الحالتين، تستند التوقعات إلى افتراض أن الوقود الحيوي السائل سيُنتج باستخدام محاصيل تقليدية. وإذا تم تسويق الجيل الثاني من الوقود الحيوي السائل تجارياً على نطاق واسع قبل سنة ٢٠٣٠، تتوقع الوكالة أن تزيد الحصة العالمية للوقود الحيوي في قطاع النقل إلى ١٠ في المائة، بدلاً من النسبة المتوقعة في السيناريو المرجعي البالغة ٣ في المائة، وبدلاً من النسبة المتوقعة في سيناريو السياسات البديلة وهي ٥ في المائة. أما الاحتياجات من حيث استخدام الأراضي فمن شأنها أن ترتفع ارتفاعاً طفيفاً فقط، حيث تصل إلى ٤,٢ في المائة من الأراضي الصالحة للزراعة، وذلك يرجع إلى ارتفاع الكمية المنتجة من الطاقة مقابل كل هكتار، وإلى استخدام الكتلة الحيوية للمخلفات في إنتاج الوقود. ومع ذلك، فإن هذا يبيّن أن الاستعاضة كبيرة النطاق الافتراضية بالوقود الحيوي السائل عن البنزين القائم على الوقود الأحفوري، في إطار سيناريو جيل ثانٍ، ستقتضي هي نفسها تحويل قدر كبير من الأراضي لهذه الأغراض. أنظر أيضاً الفصل ٤ للإطلاع على مزيد من المناقشة، التي تشمل الآثار الإقليمية.

وإمكانية أن تحل تكنولوجيات الوقود الحيوي الموجودة حالياً محل الوقود الأحفوري تبيّنها أيضاً عملية حساب افتراضي أجراها Rajagopal وآخرون (٢٠٠٧). فهم يذكرون تقديرات افتراضية للإنتاج العالمي للإيثانول من محاصيل الحبوب الغذائية والمحاصيل السكرية الرئيسية، استناداً إلى المتوسط العالمي للغلات وإلى كفاءات التحويل التي يُبلغ عنها عموماً. ويرد في الجدول ٣ تلخيص لنتائج تقديراتهم. وتمثل المحاصيل المبيّنة ٤٢ في المائة من مجموع أراضي المحاصيل الموجودة حالياً. وتحويل إنتاج المحاصيل بأكمله إلى إيثانول من شأنه أن يغطي ٥٧ في المائة من الاستهلاك الكلي للبنزين. ووفقاً لافتراض أكثر واقعية، وهو تحويل ٢٥ في المائة من كل محصول من هذه المحاصيل إلى إنتاج الإيثانول، يمكن الاستعاضة بالإيثانول عن ١٤ في المائة فقط من استهلاك البنزين.

وتُبرز شتى العمليات الحسابية الافتراضية أن الوقود الحيوي لا يمكن، على ضوء احتياجاته الكبيرة

الجدول ٣

الإمكانات الافتراضية لإنتاج الإيثانول من المحاصيل الرئيسية من الحبوب السكر

المحصول	المساحة العالمية	الإنتاج العالمي	إنتاج الوقود الحيوي	الحد الأقصى من الإيثانول	المعادل من البترول	الامدادات كنسبة من الاستخدام العالمي للبترول في ٢٠٠٣[1]
	(بملايين الهكتارات)	(بملايين الأطنان)	(باللترات للهكتار)	(بمليارات اللترات)	(بمليارات اللترات)	(النسبة المئوية)
القمح	٢١٥	٦٠٢	٩٥٢	٢٠٥	١٣٧	١٢
الأرز	١٥٠	٦٣٠	١٨٠٦	٢٧١	١٨٢	١٦
الذرة	١٤٥	٧١١	١٩٦٠	٢٨٤	١٩٠	١٧
الذرة الرفيعة	٤٥	٥٩	٤٩٤	٢٢	١٥	١
قصب السكر	٢٠	١٣٠٠	٤٥٥٠	٩١	٦١	٦
الكسافا	١٩	٢١٩	٢٠٧٠	٣٩	٢٦	٢
بنجر السكر	٥,٤	٢٤٨	٥٠٦٠	٢٧	١٨	٢
المجموع	**٥٩٩**	...	...	**٩٤٠**	**٦٣٠**	**٥٧**

ملاحظة: ... = لا تنطبق. وتم تقريب البيانات المعروضة.
(١) الاستخدام العالمي للبترول في عام ٢٠٠٣= ١١٠٠ مليار لتر (Kim و Dale، ٢٠٠٤).
المصدر: Rajagopal وآخرون، ٢٠٠٧.

من حيث الأراضي، سوى توقّع أن يفضي إلى إزاحة محدودة للغاية للوقود الأحفوري. ومع ذلك، فإن مساهمة الوقود الحيوي في إمدادات الطاقة الإجمالية، حتى ولو كانت متواضعة جدا، قد يكون لها أثر قوي على الزراعة وعلى الأسواق الزراعية.

رسائل الفصل الأساسية

- تمثل الطاقة الحيوية زهاء ١٠ في المائة من إمدادات الطاقة الإجمالية في العالم. وتشكّل الكتلة الحيوية التقليدية غير المصنّعة معظم هذه النسبة، ولكن الطاقة الحيوية التجارية تكتسب مزيداً من الأهمية.
- يستأثر الوقود الحيوي السائل لأغراض النقل بمعظم الاهتمام، وقد شهد توسعاً سريعاً في إنتاجه. بيد أن دوره كمياً هو دور هامشي فقط: فهو يمثّل ١ في المائة من الاستهلاك الكلي لوقود النقل، ويمثل ما يتراوح من ٠,٢ إلى ٠,٣ في المائة من الاستهلاك الكلي للطاقة على نطاق العالم.
- الوقود الحيوي السائل الرئيسي هو الإيثانول وزيت الديزل الحيوي. وكلاهما يمكن إنتاجه من طائفة واسعة من المواد الوسيطة المختلفة. وأهم المنتجين هم البرازيل والولايات المتحدة الأمريكية في حالة الإيثانول، والاتحاد الأوروبي في حالة زيت الديزل الحيوي.
- تعتمد التكنولوجيات الموجودة حالياً بشأن الوقود الحيوي السائل على سلع زراعية كمواد وسيطة. ويقوم الإيثانول على المحاصيل السكرية أو النشوية، ويعتبر قصب السكر في البرازيل والذرة في الولايات المتحدة الأمريكية أهم محصولين من حيث الحجم. ويُنتج زيت الديزل الحيوي باستخدام مجموعة مختلفة من المحاصيل الزيتية المختلفة.
- إنتاج الوقود الحيوي على نطاق كبير ينطوي على احتياجات كبيرة من الأراضي لإنتاج المواد الوسيطة. ولذا يمكن توقّع أن يحل الوقود الحيوي السائل محل الوقود الأحفوري في قطاع النقل بدرجة محدودة جداً فحسب.
- حتى إذا كان الوقود الحيوي السائل يوفّر حصة صغيرة فحسب من احتياجات الطاقة في العالم، فإنه ينطوي على إمكانية أن يكون له تأثير كبير على الزراعة والأسواق الزراعية العالمية، بسبب حجم المواد الوسيطة ومساحات الأراضي النسبية اللازمة لإنتاجه.
- تتباين مساهمة أنواع الوقود الحيوي المختلفة تباينا واسعا في الحد من استهلاك الوقود الأحفوري، إذا أُخذت في الاعتبار أيضاً الطاقة الأحفورية التي تُستخدم كمُدخل في إنتاج تلك الأنواع. ويتوقف ميزان الطاقة الأحفورية الخاص بأي وقود حيوي على عدة عوامل، مثل خصائص المواد الوسيطة، وموقع الإنتاج، والممارسات الزراعية، ومصدر الطاقة المستخدمة في عملية التحويل. ويختلف أيضاً أداء الأنواع المختلفة من الوقود الحيوي اختلافاً شديداً من حيث مساهمة كل منها في الحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.
- سيستخدم الجيل الثاني من الوقود الحيوي، الذي يجري استحداثه حالياً، مواد وسيطة سيلولوزية خشبية، مثل الأخشاب والأعشاب الطويلة ومخلفات الغابات والمحاصيل. وهذا من شأنه أن يؤدي إلى زيادة الإمكانات الكمية لتوليد الوقود الحيوي مقابل كل هكتار من الأراضي، وقد يحسّن أيضاً الطاقة الأحفورية وموازين الوقود الحيوي من حيث غازات الاحتباس الحراري. ولكن ليس من المعروف متى ستدخل هذه التكنولوجيات طور الإنتاج على نطاق تجاري كبير.