

3. إنتاج الطاقة البيولوجية

هناك عمليات كثيرة يمكن اللجوء إليها في إنتاج الطاقة البيولوجية، ابتداءً من حرق أعواد الشجر والفروع للطهي والتدفئة، إلى تغويز شظايا الخشب لإنتاج وقود يُستخدم في النقل. ويمكن المقارنة بين هذه النظم من حيث كفاءة إنتاج الطاقة، وتكاليف إنشائها، وانبعاثات الكربون، وكثافة اليد العاملة أو أي مجموعة من التكاليف والمنافع. واختيار النظام الملائم يعتمد بدرجة كبيرة على الهياكل والأسواق القائمة أكثر مما يعتمد على تقييم عمليات الإنتاج بمفردها.

وفي الفترة الأخيرة دار نقاش كبير عن المنافع المفترضة في الطاقة البيولوجية من حيث انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. ولكن يلاحظ أن الطاقة البيولوجية لا تكون متجددة ومستدامة إلا بتوافر عدة شروط (Perley, 2008). وللمحافظة على توازن ثاني أكسيد الكربون يجب ألا يكون حصد الكتلة البيولوجية أكبر من الزيادة الراجعة للنمو ويجب أن يؤخذ في الحسبان انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أثناء الإنتاج والنقل والتجهيز. كما ينبغي أن تؤخذ في الاعتبار كفاءة تحويل المنتجات، وكذلك استخداماتها النهائية، من أجل تجنب فشل السياسات.

وتعتمد مدى ملاءمة نظم إنتاج الطاقة البيولوجية من النواحي الاقتصادية والبيئية والاجتماعية اعتماداً كبيراً على الظروف الوطنية والمحلية. وعند تخطيط استراتيجية للطاقة البيولوجية يجب عمل تحليل لمختلف الخيارات وتأثيراتها الواسعة حتى يمكن التأكد من بلوغ أهداف السياسة الموضوعية.

الوقود الخشبي الجامد

إذا كان استخدام الأخشاب للطهي والتدفئة قديماً قدم البشرية فإن كفاءة هذا المصدر من مصادر الطاقة تختلف بحسب نظم الإنتاج. فالحرائق في الهواء لا تحول إلا نحو 5 في المائة من الطاقة الكامنة في الأخشاب. أما الأفران التقليدية التي تستخدم الخشب فهي ترفع هذه الكفاءة إلى نحو 36 في المائة في حين أن النظم التي تستخدم الفحم النباتي ترفعها إلى نحو 44 و80 في المائة بحسب تصميم الفرن وأسلوب إنتاج الفحم النباتي. وأما فرن الكريات الخشبية الحديث فهو يرفع الكفاءة إلى نحو 80 في المائة في الاستخدامات المنزلية (Mabee and Roy, 2001; Karlsson and Gustavsson, 2003).

وهناك تكنولوجيات متعددة تستخدم أو يجري إعدادها لاستخدامها في إنتاج الطاقة البيولوجية على نطاق صناعي. ومن هذه النظم والتكنولوجيات المراحل التي تسترجع الحرارة، والنظم التي تجمع بين الحرارة والطاقة (CHP) من أجل إنتاج كل من الحرارة والطاقة الكهربائية، ونظم التغويز المتقدمة لاستعادة الطاقة.

ومراحل التوربينات البخارية التي تعمل أساساً بالقلف يمكن أن تضاف إلى مناشر الأخشاب بدلاً من آلات الحرق ذات الخلايا أو غيرها من الأجهزة التي تتخلص من الفضلات. ويمكن توليد بخار من حرارة المراحل لاستخدامه في توليد الكهرباء بواسطة توربينات أو استخدامه في تلبية متطلبات عمليات أخرى. وتستخدم مراحل الاستعادة بطريقة مماثلة في مصانع اللب والورق من أجل إعادة تدوير السائل الأسود واستعادة كيميائيات معالجة اللب، وإنتاج بخار لتحريك عملية

إنتاج اللب. وفي العادة تكون كفاءة المراحل التي تحرك التربينات البخارية نحو 40 في المائة (Karlsson and Gustavsson, 2003). وبسبب انخفاض أسعار الوقود الأحفوري في الماضي لم تكن هناك حوافز كافية لتركيب طاقة لتوليد الكهرباء في مناشر الأخشاب.

وفي مرافق إنتاج الحرارة والطاقة المشتركة (CHP) يُستخدم البخار الناتج لتزويد عمليات صناعية أخرى أو لدعم شبكات تسخين محلية في المرافق السكنية أو في المؤسسات والصناعات. واستعادة الحرارة والطاقة من هذه العملية يمكن أن يرفع الكفاءة بدرجة كبيرة. وعند استخدام أحدث التكنولوجيات وإدخال نظام استعادة الغاز وتدويره يمكن أن تصل الكفاءة إلى ما بين 70 و80 في المائة (Karlsson and Gustavsson, 2003).

وتكون كفاءة الكربون في نظم CHP التي تستخدم الأخشاب كفاءة عالية بصفة عامة بالمقارنة مع مصادر الطاقة غير المتجددة ومع معظم أنواع الوقود الأحفوري الأخرى. وقد وجد Jungmeier و Spitzer (2006) أن إنتاج الحرارة من مصنع مشترك للطاقة بالطريقة الدائرية يعمل بشظايا خشبية لا ينتج إلا 60 غرام من مواد ثاني أكسيد الكربون مقابل كل كيلوات من الطاقة ينتجها المصنع. وأما المصنع المماثل الذي يستخدم الغاز الطبيعي فهو ينتج نحو 427 غراماً.

وقد تبين أن التكنولوجيات الجديدة التي تستخدم التغويز أكفأ بكثير في استعادة الطاقة وتوليد الكهرباء من الاحتراق التقليدي في مراحل إنتاج الطاقة. وفي وسع الدورة المشتركة المتكاملة للتغويز أن ترفع الكفاءة إلى نحو 47 في المائة بل أن ترفعها نظرياً إلى 70 أو 80 في المائة باستخدام النظم المشتركة. ولكن لا تزال هناك عقبات تقنية كبيرة يجب التغلب عليها.

وقد اقترح اتباع تكنولوجيا التغويز لتوفير الطاقة على نطاق صغير في القرى وفي الصناعات الصغيرة. وتعتبر المصانع الصغيرة مناسبة تكنولوجياً لأنها أرخص، ولسهولة الحصول على قطع الغيار، وإمكان إجراء التصليحات في الموقع (Knoef, 2000). وفي كمبوديا وجد Abe *et al.* (2007) أن تغويز الكتلة الحيوية يوفر طاقة أرخص من مولدات الديزل ولكن توجد دائماً عقبات في التأكد من توافر العرض وفي التغلب على عوائق نمو الأخشاب. كما تبين أن ربحية المصانع الصغيرة النطاق التي أنشئت كشركات تجارية كانت ربحية هامشية وتعتمد اعتماداً كبيراً على أسعار الطاقة وعلى تكاليف المدخلات من الكتلة البيولوجية (Knoef, 2000). وقد وصل Wu *et al.* (2002) إلى استنتاجات مماثلة من العمل الذي أجري في الصين والذي يدل على أن المصانع متوسطة الحجم قد تكون أمثل إذا كانت الاعتبارات المالية هي التي لها الأهمية.

وقد أصبحت أفران الكريات الخشبية، التي تستخدم أحدث التكنولوجيات في صون الطاقة واستعادتها، خياراً تكنولوجياً جذاباً. ويأتي إنتاج الكريات الخشبية من البقايا الخشبية (مثل نشارة الأخشاب والقشور) لا من جذوع بأكملها وعلى ذلك تُعتبر جزءاً متكاملًا من تصنيع المنتجات الحرجية. فيجب تخفيف الخامات ثم تجزئتها بالآلات إلى الحجم المطلوب وتجميعها في كريات تحت الضغط. وتعتبر الأفران صغيرة النطاق الحديثة التي تستخدم هذه الكريات أكفأ وسيلة لإنتاج الطاقة البيولوجية على نطاق صغير.

الوقود البيولوجي السائل

أي أنواع الوقود السائل والغازي المستخرج من الكتلة الحيوية. وتشتق أنواع الوقود من «الجيل الأول» من المحاصيل الحقلية ومن بينها السكر والإيثانول البيولوجي المستخرج من النشا

والديزل البيولوجي المستخرج من البذور الزيتية. وأما الأنواع «من الجيل الثاني» فهي تستخرج من محاصيل زراعية غير غذائية ومن منتجات حرجية، وتستفيد من العناصر الخشبية في المادة النباتية.

ومن زمن قريب، وبسبب ارتفاع أسعار النفط، زاد الاهتمام بهذه الأنواع من الوقود البيولوجي السائل. ونظراً لانخفاض أسعار هذه الأنواع وتقدم عملية إنتاجها أصبحت هذه الأنواع المستمدة من المحاصيل الزراعية تحظى بأكثر اهتمام. والمتوقع في الأجل المتوسط أن يؤدي التقدم التكنولوجي إلى زيادة تنافسية أنواع الجيل الثاني. وفي الوقت الحاضر ينظر كثير من الحكومات إلى الوقود البيولوجي على أنه وسيلة لتقليل الاعتماد على النفط المستورد وتقليل انبعاثات غاز الدفيئة. فمثلاً تشمل مبادرة وزارة الطاقة في الولايات المتحدة المسماة Biofuels Initiative goals جعل تكاليف الإيثانول المستخرج من مادة سيلولوزية تكاليف تنافسية مع الكازولين عام 2012، والاستعاضة عن 30 في المائة من استهلاك الكازولين الحالي بوقود بيولوجي عام 2030 (UNECE/FAO, 2007).

الوقود البيولوجي السائل من الجيل الأول

تصنع هذه الأنواع من مجموعة من المحاصيل تكون نوعية في موقعها الجغرافي. ففي المناطق المعتدلة يُستخدم اللفت والذرة وغيرها من الحبوب كمادة أولية لإنتاج الوقود البيولوجي، وأما في الأقاليم الاستوائية فيستخدم قصب السكر وزيت النخيل وكذلك الصويا والكسافا بدرجة أقل. وقصب السكر ليس محصولاً منتشراً في بلدان منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية إلا في أستراليا والولايات المتحدة. وأما الشمندر السكري فهو ينمو في كثير من بلدان تلك المنظمة، والإنتاج مخصص أساساً للأغذية ولكن يتغير ذلك في المستقبل.

وقد تقدمت تكنولوجيا إنتاج الإيثانول من السكر والنشا في السنوات الأخيرة. وحققت البرازيل والولايات المتحدة تقدماً ظاهراً في هذه التكنولوجيا إذ ركزت البرازيل على تحويل السكر والولايات المتحدة على تحليل النشا بالماء وتخميره. ولدى عدد من بلدان آسيا والمحيط الهادي نظم متقدمة لإنتاج قصب السكر، وخصوصاً الفلبين والهند وباكستان وتايلند، وهي نظم آخذة في التوسع. ومن مزايا استخدام قصب السكر أن القش، وهو المادة الخشبية في أعواد القصب، يمكن استخدامه في توليد طاقة لإنتاج الإيثانول البيولوجي وبذلك ترتفع الكفاءة الشاملة في الكربون والطاقة.

وينتشر إنتاج محاصيل البذور الزيتية في العالم كله أكثر من انتشار قصب السكر. وتستخدم هذه البذور في إنتاج ديزل بيولوجي بعملية تسمى توزيع الجزيئات التبادلي. ولكن إنتاج محاصيل بذور زيتية يتطلب تربة جيدة وظروف نمو مثالية. ومعنى هذا ضيق فرص زيادة الإنتاج مما قد يؤدي إلى تحويل أراضي الغابات الصالحة للزراعة إلى إنتاج البذور الزيتية.

وكانت أوروبا هي المسيطرة على صناعة الديزل البيولوجي حتى الآن، إذ تنتج نحو 90 في المائة من الإنتاج العالمي باستخدام زيت اللفت كمادة أولية. أما زيت النخيل فأكثر منتجه الآن هما ماليزيا وإندونيسيا. ففي عام 2006 كان المقدّر أن ماليزيا لديها 3.6 مليون هكتار مزروعة بنخيل الزيت وفي إندونيسيا كان هناك 4.1 مليون هكتار (FAO, 2007c). ولكن تقديرات المساحة المزروعة الآن بنخيل الزيت تختلف اختلافاً كبيراً، وتقترح بعض المصادر أرقاماً أكبر بكثير من تلك التي جمعتها منظمة الأغذية والزراعة (Butler, 2007a).

ولتنمية إنتاج الوقود البيولوجي وصناعة زيت النخيل أهمية كبيرة في آسيا نظراً للزيادة الكبيرة المتوقعة في الطلب على الطاقة في هذا الإقليم. وهناك نزاعات على الأراضي التي تحوّل إلى زراعة نخيل الزيت ويُقال إن التوسع في زراعة هذه الأشجار في ماليزيا وإندونيسيا كان يجري في الغالب على حساب مساحات الغابات التي تُقطع خصيصاً لهذا الغرض وعلى حساب الغابات المطيرة أو المستنقعات التي تحبس الكربون. وفي جنوب شرق آسيا تقع نسبة 27 في المائة من استزاعات نخيل الزيت في أراضي البيت بعد تجفيفها (Hooijer et al., 2006). وتساهم الانبعاثات التي تنشأ عن ذلك مساهمة كبيرة في غازات الدفيئة في العالم بأكمله.

ومن وقت قريب بدأ استكشاف استخدام نباتات بذور زيتية أخرى مثل *Jatropha* spp كمادة أولية لإنتاج الديزل البيولوجي. وهذا النبات يضم أكثر من مائة نوع تشمل الجنبات والأشجار، ومنشؤه في جزر الكاريبي ولكنه يوجد الآن في جميع أنحاء الغابات الاستوائية. وبذور هذا النبات تنتج زيتاً يزداد استخدامه في إنتاج الديزل البيولوجي وخصوصاً في الفلبين والهند. وهذا النبات قوي الاحتمال وينمو جيداً في الأراضي الهامشية كما يمكن استخدامه في إصلاح الأراضي المتدهورة. وهذه الخصائص توحى بأن إنتاجه، إذا كان إنتاجاً سليماً، يمكن أن يتوسع دون أن يتنافس مباشرة مع أراضي الغابات الطبيعية أو مع الأراضي الزراعية ذات القيمة العالية المستخدمة في إنتاج الأغذية.

الوقود البيولوجي السائل من الجيل الثاني

هناك تكنولوجيات يجري تطويرها والمتوقع منها أن تنتج هذه الأنواع من الوقود بصورة اقتصادية وقابلة للمنافسة وتستخدم في النقل وذلك بالاعتماد على مادة أولية سيلولوزية تشمل البقايا الزراعية والأخشاب. والمتوقع أن تكون هذه التكنولوجيا لإنتاج وقود بيولوجي سائل بتحويل السيلولوز قادرة على المنافسة التجارية وأن تكون متوفرة خلال عشر سنوات إلى خمسة عشر سنة (Worldwatch Institute, 2007). وهناك بالفعل الآن إنتاج على مستوى البيان العملي (انظر www.iogen.ca) والإيثانول البيولوجي هو الوقود البيولوجي السائل الذي يقترَب من مرحلة التسويق. وتستثمر حكومة الولايات المتحدة في الوقت الحاضر في معامِل لتكرير السيلولوز بيولوجياً (US Department of Energy, 2008).

والمفترض أن تكون أرخص مادة أولية لإنتاج هذه الأنواع السائلة هي المخلفات الزراعية. فقش قصب السكر ومخلفات إنتاج الحبوب، ومنها الذرة والقمح والشعير والأرز والشوفان، هي كلها مواد أولية يمكن أن تستخدم في توليد الإيثانول البيولوجي. ولكن النسبة التي ستتوافر من مجموع المخلفات وتكون متاحة لتوليد الطاقة هي نسبة 15 في المائة فقط بعد حساب ما يلزم لصون التربة، ولأعلاف الحيوانات وحساب عوامل أخرى مثل التباين بين موسم وآخر (Bowyer and Stockmann, 2001). وكلما زاد إنتاج الطاقة البيولوجية قد تصبح المخلفات الزراعية مادة أولية مهمة لإنتاج الوقود البيولوجي وربما يتزايد توافرها بفضل اتباع ممارسات سليمة في إدارتها.

وأما مخلفات صناعة المنتجات الحرجية والأخشاب من عمليات الاستزراع فهي مصدر محتمل آخر للحصول على مادة أولية لإنتاج الوقود البيولوجي بالطرق التجارية. وفي الوقت الحاضر لا توجد إلا نسبة صغيرة من هذا الوقود تعتمد على المنتجات الحرجية، ولكن تطوير عملية لإنتاج

وقود بيولوجي سائل من المواد الخشبية وبأسعار اقتصادية يمكن أن يؤدي إلى التوسع في استخدام الكتلة البيولوجية الحرجية في قطاع النقل.

وهناك نوعان من التكنولوجيا الأساسية يجري تطويرهما لتحويل الأخشاب إلى وقود وكيميائيات سائلة: عمليات التحويل الكيميائي البيولوجي والتحويل الكيميائي الحراري (التغويز أو الانحلال الحراري). ففي عمليات التحويل البيوكيميائي تُعالج الأخشاب باستخدام أنزيمات لإطلاق السيلولوز النصفى والسيلولوز على شكل سكر. ويمكن تحويل هذا السكر فيما بعد إلى إيثانول أو غيره من المنتجات. أما المادة الخشبية المتبقية فيمكن تحويلها أيضاً إلى منتجات أخرى أو تستخدم للحصول على حرارة وطاقة لتشغيل المصنع، أو يمكن أن تباع.

وفي عمليات التغويز تخضع الأخشاب والقلف لحرارة في وجود أدنى قدر من الأكسجين وذلك لإنتاج مزيج من أول أكسيد الكربون والهيدروجين الذي يطلق عليه بعد تنظيفه اسم الغاز التخليقي. وهذا الغاز يمكن تحويله بعد ذلك إلى وقود سائل يُستخدم في النقل. وأما الانحلال الحراري فهو عملية معالجة الأخشاب بدرجات حرارة أقل في وجود أقل قدر ممكن من الأكسجين لتحويل هذه الأخشاب إلى فحم نباتي وإلى غازات غير قابلة للتكثف وإلى زيوت الانحلال الحراري. وهذه الزيوت يمكن أن تستخدم مباشرة كوقود أو يُعاد تكريرها لاستخراج وقود ومواد كيميائية.

وفي الوقت الحاضر تحتاج تكنولوجيا التحويل البيوكيميائية إلى شظايا خشبية نظيفة (أي بدون قلف) وهي نفس المواد التي تستخدمها مصانع لب الورق. وأما التحويل الكيميائي الحراري فيمكن أن يستخدم مزيجاً من الأخشاب والقلف.

ومن الاحتمالات المهمة إقامة المصافي البيولوجية التي يتوقع منها أن تنتج لا الحرارة والطاقة فحسب بل أيضاً إنتاج وقود للنقل ومنتجات صناعية. ويمكن القول بأن مصانع اللب الورق الحديثة، التي تكون في بعض الحالات منتجة صافية للحرارة والطاقة، نموذج للمصافي البيولوجية. والفكرة هي أن تلك المصانع ستتحول من مستهلكة كبيرة للطاقة ومنتجة لللب والورق فقط إلى أن تصبح منتجة لللب والورق إلى جانب الحرارة والكهرباء ووقود النقل وكيميائيات متخصصة. وهناك إمكانية لتكثيف أنواع المنتجات بحسب أوضاع السوق مما يعني تعظيم الربح من نفس الكمية من الأخشاب (UNECE/FAO, 2007).

ومن المحتمل أن تكون عمليات الجيل الثاني أربح عند إدماجها في مرافق التصنيع الموجودة، مثل مصانع الورق، أي تلك المرافق التي تُنتج كتلة بيولوجية رخيصة من المخلفات أو تستطيع الحصول عليها (Global Insight, 2007). ومن المحتمل أن يكون إنتاج الإيثانول من المادة الخشبية محدوداً في غير الولايات المتحدة وأوروبا والبرازيل وذلك بسبب ضآلة حجم الأسواق المتوقعة وبسبب توافر الواردات.

وفي الوقت الحاضر تعتبر الولايات المتحدة أكثر البلدان تقدماً من حيث تحويل المادة الخشبية. وهناك تأييد في الولايات المتحدة لتطوير المصافي البيولوجية الحرارية المتكاملة التي تضاف إلى مصانع لب الورق القائمة وتنتج طاقة بيولوجية متجددة ومنتجات بيولوجية من مواد حرجية وزراعية (UNECE/FAO, 2007). وتتركز الجهود الحالية في ثلاثة مجالات:

- إيجاد عمليات تحقق مردودية التكاليف بفصل مكونات مختارة واستخلاصها من الأخشاب قبل إنتاج اللب بحيث يمكن استخدامها في إنتاج وقود سائل وكيميائيات؛

- استخدام تكنولوجيا التغويز في تحويل الكتلة البيولوجية، التي تشمل المخلفات الحرجية والزراعية والسائل الأسود، إلى غاز تخليقي يحول فيما بعد إلى وقود سائل، وإلى طاقة وكيميائيات وغيرها من المواد عالية القيمة؛
- تعزيز إنتاجية الغابات بما في ذلك التوسع في استزراع الكتلة البيولوجية سريعة النمو التي تخصص لإنتاج مواد أولية لاستخدامها في الطاقة البيولوجية وفي المنتجات البيولوجية بطريقة اقتصادية.

وهناك أمل كبير في تطوير تكنولوجيا إنتاج الوقود السائل من المواد الخشبية باستخدام الأخشاب في إنتاج الطاقة. وإذا كان الأمر ما زال يحتاج إلى تكنولوجيا متقدمة فإن ذلك يعني وجود قيود على مدى توافر أنظمة عالمية لتحويل الأخشاب وغيرها من المواد الأولية إلى وقود سائل. ويحذر معهد السياسة الزراعية والتجارية *Institute for Agriculture and Trade Policy* من أن تكون سياسة براءات الاختراع وتكاليف إتاوات براءات الاختراع ورسوم الترخيص عائقاً أمام اختيار الوقود السائل (IATP, 2007). وبالإضافة إلى القضايا التكنولوجية والاقتصادية لا بد من فهم سياسة براءات الاختراع على إنتاج الكتلة البيولوجية والوقود البيولوجي حتى يمكن فهم مدى قدرة تكنولوجيا الوقود البيولوجي على المساهمة في التنمية المستدامة.

وتواجه البلدان والشركات التي تنظر في إنتاج وقود سائل من الجيل الثاني من الكتلة مستقبلاً غير مؤكد، وإن كان يبدو أنه يحمل احتمالات الكسب. فتطوير تكنولوجيا لإنتاج الوقود السائل من الأخشاب بطريقة تنافسية سيتطلب وقتاً واستثمارات كبيرة في البحوث. كما يتطلب الأمر استثمارات كبيرة في المرافق واسعة النطاق، وخصوصاً للتغويز. ويلاحظ أن ارتفاع أسعار النفط في أوائل الثمانينات أدى إلى نشوء عدد من مصانع التغويز لإنتاج الميثانول من الأخشاب وخصوصاً في بعض البلدان الأوروبية. ولكن هذه الحركة هدأت بعد ذلك بسبب انخفاض أسعار النفط (Faaij, 2003). وهناك أخطار كبيرة في الاستثمار في الوقود البيولوجي السائل من الجيل الثاني ولهذا فرما تعتمد أكثر البلدان النامية إلى استكشاف خيارات أخرى بصورة كاملة قبل الشروع في هذه المغامرة.