# خامسا: التأثيرات البيئية للوقود الحيوي

على الرغم من أن إنتاج الوقود الحيوي ما زال صغير الحجم مقارنة بالطلب الكلي على الطاقة، فإنه كبير بالنسبة إلى المستويات الحالية للإنتاج الزراعي. ويجب الإقرار بالانعكاسات البيئية والاجتماعية المحتملة لنموه المتواصل. فعلى سبيل المثال، يمثّل خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري أحد الأهداف الصريحة لبعض التدابير المتعلقة بالسياسات والتي ترمي إلى دعم إنتاج الوقود الحيوي. والتأثيرات السلبية غير المقصودة على الأراضي والمياه والتنوع البيولوجي هي من بين الآثار الجانبية للإنتاج الزراعي بوجه عام، ولكنها مدعاة للقلق على وجه الخصوص في حالة الوقود الحيوي. ومدى هذه التأثيرات يتوقف على كيفية إنتاج وتصنيع المواد الوسيطة للوقود الحيوي، ونطاق الإنتاج، وبوجه خاص، على كيفية تأثيرها من حيث التغير في استخدام الأراضي، وتكثيف استخدامها، والتجارة الدولية. ويستعرض هذا الفصل الانعكاسات البيئية للوقود الحيوي؛ أما الانعكاسات الاجتماعية فستُبحث في الفصل التالي.

## هل سيساعد الوقود الحيوي على التخفيف من تغير المناخ؟[١٠]

حتى عهد قريب، كان كثيرون من واضعي السياسات يفترضون أن إحلال وقود مستخرج من الكتلة الحيوية محل الوقود الأحفوري، من شأنه أن تكون له تأثيرات كبيرة وإيجابية من حيث تغير المناخ، وذلك بتوليد مستويات أقل من غازات الاحتباس الحراري التي تساهم في الاحترار العالمي. فمحاصيل الطاقة الحيوية يمكن أن تقلل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري عن طريق إزالة ثاني أكسيد الكربون مباشرة من الهواء أثناء نموها وتخزينه في الكتلة الحيوية للمحاصيل وتربتها. وعلاوة على الوقود الحيوي، تولّد كثرة من هذه المحاصيل منتجات مصاحبة، مثل البروتين الذي يُستخدم كعلف للحيوان، مما يوفّر الطاقة التي كانت ستُستخدم في صنع العلف بوسائل أخرى.

ولكن على الرغم من هذه المنافع المحتملة، كشفت دراسات علمية أن الأنواع المختلفة من الوقود الحيوي تتباين تبايناً واسعاً من حيث موازين غازات الاحتباس الحراري الخاصة بها، عند مقارنتها بالبنزين. فتبعاً للطرائق المستخدمة في إنتاج المواد الوسيطة وتصنيع الوقود، قد تولّد بعض المحاصيل كميات من غازات الإحتباس الحراري تفوق مما يتولد عن الوقود الأحفوري. فعلى سبيل المثال، ينبعث من الأسمدة النتروجينية أكسيد النتروز، وهو غاز من غازات الاحتباس الحراري تتجاوز قدرته على التسبب في الاحترار العالمي قدرة ثاني أكسيد الكربون على ذلك بما يعادل ٣٠٠ مرة تقريباً. وعلاوة على ذلك، تنبعث غازات الاحتباس الحراري في مراحل أخرى من إنتاج محاصيل الطاقة الحيوية وإنتاج الوقود الحيوي: في إنتاج الأسمدة، وفي استخدام مبيدات الآفات والوقود في الزراعة، وأثناء التصنيع الكيميائي، والنقل والتوزيع، حتى مرحلة الاستخدام النهائي.

ويمكن أن تنبعث أيضاً غازات الاحتباس الحراري بفعل حدوث تغيرات مباشرة، أو غير مباشرة، في استخدام الأراضي نتيجة لتزايد إنتاج الوقود الحيوي، مثلاً عندما ينبعث الكربون المخزون في الغابات أو الأراضي العشبية من التربة أثناء تحويل التربة إلى إنتاج المحاصيل. فعلى سبيل المثال، بينما قد يحقق إنتاج الذرة من أجل تصنيع الايثانول انخفاضات في غازات الاحتباس الحراري تبلغ نحو ١,٨ طن من ثاني أكسيد الكربون لكل هكتار سنوياً، ويحقق العشب السوطي، وهو محصول ممكن من محاصيل الجيل الثاني، انخفاضات في تلك الانبعاثات تبلغ ٨,٦ طن لكل هكتار سنوياً، فإن تحويل الأراضي العشبية لإنتاج هذه المحاصيل يمكن أن تنبعث عنه ٣٠٠ طن لكل هكتار، ويمكن أن ينبعث عن تحويل أراضي الغابات ما يتراوح من ٦٠٠ إلى ١ ٠٠٠ طن لكل هكتار (Fargione وآخرون، ٢٠٠٨؛ وThe Royal Society، ٢٠٠٨؛ وSearchinger، ٢٠٠٨).

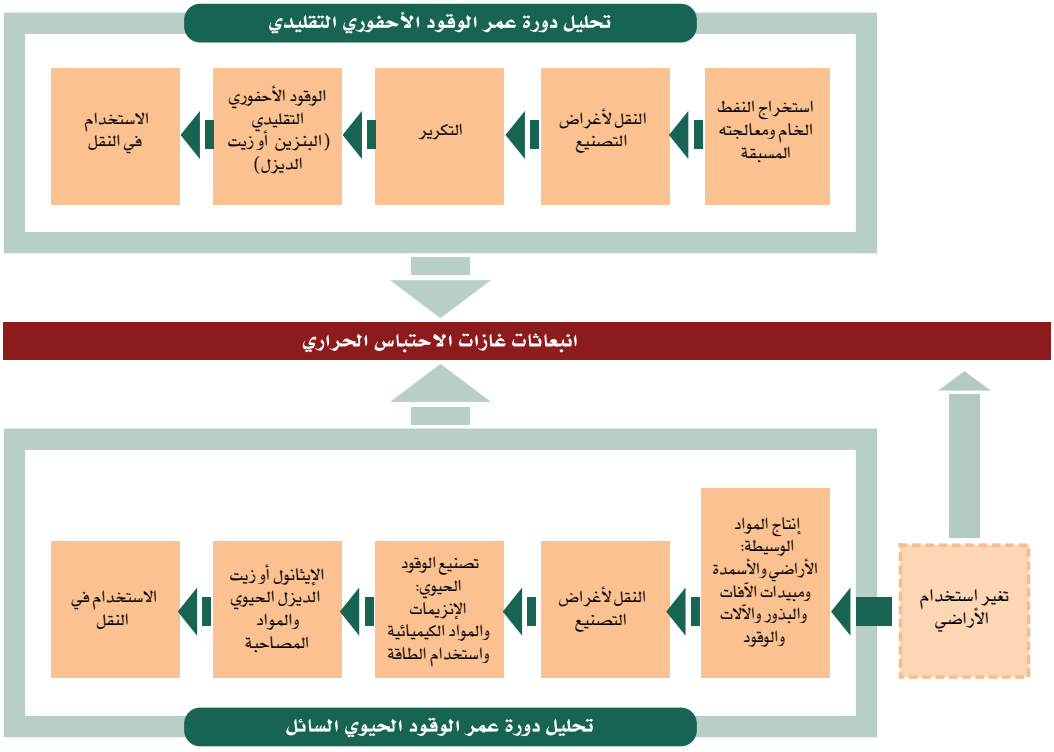
وتحليل دورة العمر هو الأداة التحليلية التي تُستخدم لحساب موازين غازات الاحتباس الحراري. وميزان غازات الاحتباس الحراري هو نتاج إجراء مقارنة بين جميع انبعاثات غازات الاحتباس الحراري طيلة مراحل إنتاج واستخدام الوقود الحيوي وجميع غازات الاحتباس الحراري التي تنبعث أثناء إنتاج واستخدام كمية الطاقة المكافئة من الوقود الأحفوري. وهذه الطريقة الراسخة، ولكن المعقدة، تحلل منهجياً كل عنصر من عناصر سلسلة القيمة لتقدير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري (الشكل ٢٢).

(١٠) يستند التحليل في هذا القسم جزئياً إلى منظمة الأغذية والزراعة (٢٠٠٨د).

ونقطة الانطلاق لتقدير ميزان غازات الاحتباس الحراري هي مجموعة حدود محددة جيداً لنظام وقود حيوي محدد، يُقارن بنظام مرجعي "تقليدي" مناسب، هو البنزين في معظم الحالات. وتتولد أيضاً عن العديد من المواد الوسيطة للوقود الحيوي منتجات مصاحبة، مثل علف الحيوانات. وهذه المنتجات تُعتبر مصدر انبعاثات "يجب تجنبها" لغازات الاحتباس الحراري، وتقدّر بمقارنتها بمنتجات مماثلة قائمة بذاتها، أو تقدّر بالتخصيص (تقدّر مثلاً بمحتوى الطاقة أو سعر السوق). وتختلف موازين غازات الاحتباس الحراري اختلافاً واسعاً فيما بين المحاصيل والمواقع، تبعاً لطرق إنتاج المواد الوسيطة، وتكنولوجيات التحويل، والاستخدام. فمدخلات مثل السماد النتروجيني ونوع توليد الكهرباء (مثلاً من الفحم أو النفط أو الطاقة النووية)، اللذين يُستخدمان لتحويل المواد الوسيطة إلى وقود حيوي، قد تُسفر عن مستويات واسعة التباين من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وتختلف أيضاً من منطقة إلى أخرى.

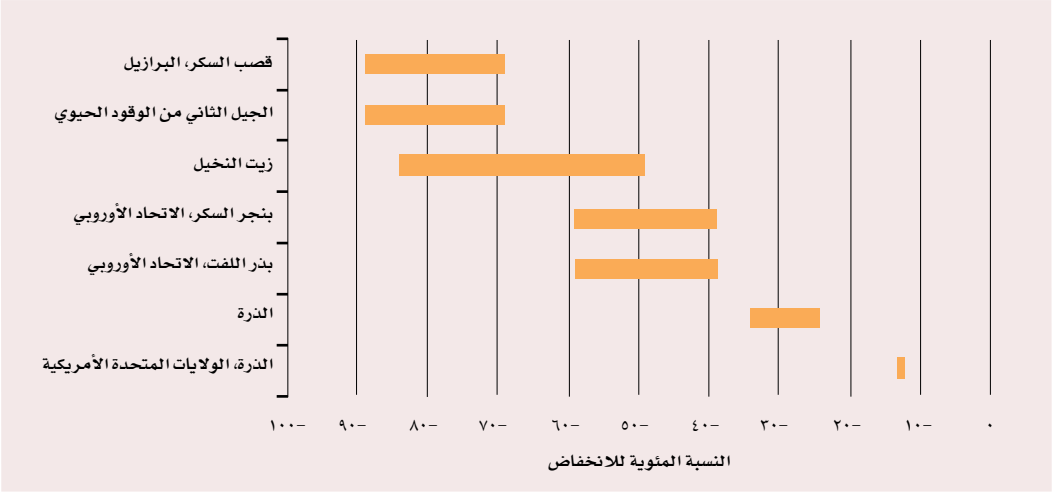
وقد أجريت غالبية تحليلات دورة عمر الوقود الحيوي، حتى الآن، فيما يتعلق بالحبوب الغذائية والبذور الزيتية في الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة الأمريكية، وفيما يتعلق بإنتاج الإيثانول من قصب السكر في البرازيل. وقد تناول عدد محدود من الدراسات الزيوت النباتية؛ وإنتاج زيت الديزل الحيوي من زيت النخيل، والكسافا، والجاتروفا؛ وإنتاج الميثان الحيوي من الغاز الحيوي. وبالنظر إلى اتساع نطاق الوقود الحيوي ومواده الوسيطة وتكنولوجيات إنتاجه وتحويله، فإننا نتوقع نطاقاً واسعاً أيضاً من النتائج، من حيث انخفاض الانبعاثات، وهذه هي الحالة في الواقع فعلاً. فقد وجدت غالبية الدراسات أن إنتاج الجيل الأول من الوقود الحيوي من المواد الوسيطة الحالية يسفر عن انخفاضات في الانبعاثات تتراوح نسبتها من ٢٠ إلى ٦٠ في المائة مقارنة بالوقود الأحفوري، بشرط استخدام أكفأ النظم واستبعاد انبعاثات الكربون الناجمة عن التغير في استخدام الأراضي. ويبين الشكل ٢٣ النطاقات المقدّرة لانخفاض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بالنسبة لمجموعة من المحاصيل والمواقع، مع استبعاد تأثير التغير في استخدام الأراضي. ويتضح في حالة البرازيل، التي لديها خبرة طويلة في مجال إنتاج الإيثانول من قصب السكر، حدوث انخفاضات

الشكل ٢٢
**تحليل دورة عمر موازين غازات الاحتباس الحراري**




المصدر: منظمة الأغذية والزراعة.

الشكل ٢٣
**الانخفاضات في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من أنواع وقود حيوي مختارة مقارنة بالوقود الأحفوري**




ملاحظة: لا يشمل تأثيرات تغيُّر استخدام الأراضي. المصادر: الوكالة الدولية للطاقة، ٢٠٠٦ ومنظمة الأغذية والزراعة، ٢٠٠٨د.

كبيرة. والجيل الثاني من الوقود الحيوي ينطوي عادة، رغم أنه ما زال عديم الأهمية على المستوى التجاري، على انخفاض الانبعاثات بنسبة تتراوح بين ٧٠ و٩٠ في المائة، مقارنة بزيت الديزل والبنزين الأحفوريين، وأيضاً مع استبعاد انبعاثات الكربون المرتبطة بالتغير في استخدام الأراضي.

ولقد وجدت دراسات عديدة، أجريت مؤخراً، أن أكثر الاختلافات في النتائج وضوحاً ترجع إلى اختيار طرق التخصيص التي تُختار فيما يتعلق بالمنتجات المصاحبة، والافتراضات المتعلقة بانبعاثات أكسيد النتروز، وتغيرات انبعاثات الكربون المرتبطة باستخدام الأراضي. ويُستخدم في الوقت الحاضر عدد من الطرق المختلفة لإجراء تحليل لدورة العمر، وكما ذُكر آنفاً لا يتناول بعض هذه التحليلات الموضوع المعقد المتمثل في التغير في استخدام الأراضي. ويلزم أن تكون البارامترات المقيسة ونوعية البيانات المستخدمة في عملية التقدير ممتثلة للمعايير المحددة. ويجري بذل جهود في إطار الشراكة العالمية للطاقة الحيوية، ضمن أطر أخرى، لوضع منهجية منسقة لتقدير موازين غازات الاحتباس الحراري. وثمة حاجة ماثلة إلى التنسيق في تقدير الآثار البيئية والاجتماعية واسعة النطاقَ لمحاصيل الطاقة الحيوية، ضماناً لاتسام النتائج بالشفافية والاتساق عبر طائفة واسعة من النُظم.

وتكتسب البيانات المتعلقة بالانبعاثات الناجمة عن التغير في استخدام الأراضي أهمية حاسمة عند تقدير موازين غازات الاحتباس الحراري، إذا كان الهدف هو أن تكون الصورة كاملة ودقيقة. وهذه الانبعاثات تحدث مبكراً في دورة إنتاج الوقود الحيوي وقد تتطلب، إذا كانت كبيرة بدرجة كافية، سنوات عديدة قبل أن تعوّض عنها وفورات في الانبعاثات تتحقق في مراحل تالية من الإنتاج والاستخدام. وعندما يشمل التحليل التغيرات في استخدام الأراضي قد تكون انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، فيما يتعلق ببعض المواد الوسيطة المستخدمة في إنتاج الوقود الحيوي ونظم الإنتاج، أعلى من انبعاثات الوقود الأحفوري. وقد قدَّر Fargione وآخرون (٢٠٠٨) أن تحويل الغابات المطيرة أو أراضي الخث أو السافانا أو الأراضي العشبية لإنتاج الإيثانول وزيت الديزل الحيوي في البرازيل أو إندونيسيا أو ماليزيا أو الولايات المتحدة الأمريكية، يؤدي إلى زيادة كمية انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بما يعادل ١٧ مرة على الأقل الكمية التي يوفرها سنويا إحلال الوقود الحيوي محل الوقود الأحفوري. وهم يجدون أن هذا "الدين الكربوني" سيستغرق سداده ٤٨ عاماً في حالة إعادة أراضي برنامج احتياطي الصون لإنتاج إيثانول الذرة في الولايات المتحدة الأمريكية، وأكثر من ٣٠٠ سنة في حالة تحويل غابات الأمازون المطيرة لإنتاج زيت الديزل الحيوي من فول الصويا، وأكثر من ٤٠٠ سنة في حالة تحويل الغابات المطيرة الخثية الاستوائية لإنتاج زيت الديزل الحيوي من زيت النخيل في إندونيسيا أو ماليزيا.

وقدَّر Righelato وSpracklen (٢٠٠٧) الانبعاثات الكربونية المتجنبة بواسطة المواد الوسيطة المختلفة اللازمة لإنتاج الإيثانول وزيت الديزل الحيوي، التي تُزرع في أراضي المحاصيل الموجودة (أي قصب السكر والذرة والقمح وبنجر السكر من أجل إنتاج الإيثانول، وبذر اللفت والكتلة الحيوية الخشبية لإنتاج زيت الديزل). وقد وجدا أن مزيدا من الكربون سيُعزل، في كل حالة، على مدى ٣٠ عاماً بتحويل أراضي المحاصيل

### الإطار ٩
### الشراكة العالمية للطاقة الحيوية

إن الشراكة العالمية للطاقة الحيوية، التي أُطلقت في الدورة الرابعة عشرة للجنة الأمم المتحدة للتنمية المستدامة في مايو/أيار ٢٠٠٦، هي مبادرة دولية أُقيمت من أجل تنفيذ الالتزامات التي تعهدت بها بلدان مجموعة الثمانية + ٥[(١)] في خطة عمل غلين إيغلز في سنة ٢٠٠٥. وهي تشجع إجراء حوار عالمي رفيع المستوى على صعيد السياسات بشأن الطاقة الحيوية؛ وتدعم وضع سياسات قطرية وإقليمية للطاقة الحيوية، وتدعم تنمية أسواق تلك الطاقة؛ وتؤيد استخدامات الكتلة الحيوية المتسمة بالكفاءة والاستدامة؛ وتقيم أنشطة مشروعات في مجال الطاقة الحيوية؛ وتشجع تبادل المعلومات والمهارات والتكنولوجيا على الصعيد الثنائي وعلى الصعيد متعدد الأطراف؛ وتيسّر إدماج الطاقة الحيوية ضمن أسواق الطاقة بواسطة معالجة حواجز محددة في سلسلة الإمدادات.

والشراكة ترأسها إيطاليا، ومنظمة الأغذية والزراعة شريك وتستضيف أمانة الشراكة. وتتعاون الشراكة مع منبر منظمة الأغذية والزراعة الدولي للطاقة الحيوية، والمنتدى الدولي للوقود الحيوي، والشراكة الدولية للاقتصاد الهيدروجيني، وبرنامج البحر المتوسط للطاقة المتجددة، والشراكة الخاصة بوصول الميثان إلى الأسواق، وشبكة سياسات الطاقة المتجددة للقرن الحادي والعشرين، وشراكة الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة، ومبادرة الوقود الحيوي الخاصة بمؤتمر الأمم المتحدة للتجارة والتنمية، والاتفاقات التنفيذية بشأن الطاقة الحيوية والمهام ذات الصلة الخاصة بالوكالة الدولية للطاقة، بين جهات أخرى. وعلاوة على ذلك، قامت الشراكة بتشكيل فريق مهام للعمل على تحقيق مواءمة منهجيات التحليل الخاص بدورة العمر، وإعداد إطار منهجي لهذا الغرض. وهذه المبادرات توفّر جميعها سبلاً هامة لمساعدة كل من البلدان النامية والبلدان المتقدمة في إقامة أطر تنظيمية قطرية للطاقة الحيوية.

(١) تتكون مجموعة الثمانية + ٥ من بلدان مجموعة الثمانية (وهي كندا وفرنسا وألمانيا وإيطاليا واليابان والاتحاد الروسي والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية) زائدا الاقتصاديات الناشئة الرئيسية الخمسة (وهي البرازيل والصين والهند والمكسيك وجنوب أفريقيا)

إلى غابة. وهما يقولان إنه إذا كان الهدف من سياسات دعم الوقود الحيوي هو التخفيف من الاحترار العالمي، فإن كفاءة الوقود وصون الغابات وترميمها ستكون بدائل أكثر فعالية.

ومن بين الخيارات للحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، التي تجري مناقشتها حالياً، يُعتبر الوقود الحيوي بديلاً هاما، ولكن تحسين كفاءة الطاقة والاقتصاد في استهلاكها، وزيادة عزل الكربون من خلال إعادة التحريج أو إحداث تغيرات في الممارسات الزراعية، أو استخدام أشكال أخرى من الطاقة المتجددة، يمكن أن تكون كلها أكثر فعالية بالنسبة للتكلفة في حالات كثيرة. فعلى سبيل المثال، في الولايات المتحدة الأمريكية، قد يؤدي تحسين متوسط كفاءة وقود المركبات بميل واحد لكل غالون إلى خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بنفس القدر الذي يتحقق بفعل كل الإنتاج الحالي للإيثانول من الذرة في الولايات المتحدة (Tollefson، ٢٠٠٨). وقدّر Doornbosch وSteenblik (٢٠٠٧) أن خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري عن طريق الوقود الحيوي تبلغ تكلفته أكثر من ٥٠٠ دولار أمريكي من الإعانات، لكل طن من ثاني أكسيد الكربون في الولايات المتحدة الأمريكية (الإيثانول القائم على الذرة)، وقد تصل تكلفته إلى ٥٢٠ ٤ دولاراً أمريكياً في الاتحاد الأوروبي (إنتاج الإيثانول من بنجر السكر ومن الذرة)، وهي تكلفة أعلى كثيراً من السعر السوقي لعمليات التعويض المكافئة لثاني أكسيد الكربون. ويفيد Enkvist وNaucler وRosander (٢٠٠٧) بأن التدابير المباشرة نسبياً للحد من استهلاك الطاقة، مثل تحسين عزل المباني الجديدة أو زيادة كفاءة نظم التدفئة وتكييف الهواء، تبلغ تكاليفها، من حيث الحد من ثاني أكسيد الكربون، ما يقل عن ٤٠ يورو لكل طن.

وتتطور بسرعة (أسبوعيا تقريباً) الأبعاد العلمية والمتعلقة بالسياسات لتنمية قطاع الطاقة الحيوية تنمية مستدامة. ومن الجوهري وجود فهم شامل للمسائل ذات الصلة، ومن بينها التغير في استخدام الأراضي، والتقدير السليم لموازين غازات الاحتباس الحراري، من أجل ضمان أن يكون لمحاصيل الطاقة الحيوية تأثير إيجابي ومستدام على الجهود الرامية إلى حماية المناخ. وقد أدى تعقُّد العوامل المتعلقة بتغير استخدام الأراضي إلى إغفال ذلك التغيُّر من معظم تحليلات دورة العمر الخاصة بالطاقة الحيوية، ولكنه يظل بمثابة معلومات أساسية يلزم أن تأخذها الحكومات بعين الاعتبار عند صياغة السياسة القطرية المتعلقة بالطاقة بالحيوية.

وعلاوة على تأثيرات إنتاج المواد الوسيطة على انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، يمكن أيضاً

أن تكون لعمليات تصنيع وتوزيع الوقود الحيوي آثار بيئية أخرى. وكما هو الحال في القطاع الهيدروكربوني، قد يؤثر تصنيع المواد الوسيطة للوقود الحيوي على نوعية الهواء الموضعي، بسبب إنبعاثات أحادي أكسيد الكربون والجسيمات وأكسيد النتروجين والكبريتات والمركبات العضوية المتطايرة من العمليات الصناعية (Dufey، ٢٠٠٦). ولكن بقدر ما يمكن أن يحل الوقود الحيوي محل الكتلة الحيوية التقليدية، مثل خشب الوقود والفحم النباتي، فإنه ينطوي أيضاً على إمكانية إحداث تحسينات هائلة في صحة الإنسان، لاسيما صحة المرأة والطفل، من خلال خفض الأمراض والوفيات التنفسية الناجمة عن تلوث الهواء الداخلي.

وفي بعض الحالات تقتضي اللوائح القطرية من المستوردين أن يقدموا شهادات تدل على تطبيق نظم الزراعة المستدامة للأرض الزراعية، وإجراءات حماية الموائل الطبيعية، وأن الوقود الحيوي يحقق مستوى يمثّل الحدّ الأدنى من وفورات ثاني أكسيد الكربون. وقد اقترحت بعض البلدان والمنظمات الإقليمية (ومنها مثلاً الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة الأمريكية) أن تكون الموازين الصافية لغازات الاحتباس الحراري المنبعثة من الوقود الحيوي أقل مما ينبعث من البنزين بنسبة تتراوح من ٣٥ إلى ٤٠ في المائة. ومن المهم تحليل هذه المسائل بعناية من جانب جميع الجهات المعنية، لاسيما مصدّري محاصيل أو وقود الطاقة الحيوية، كأساس لاتخاذ القرارات الاستثمارية والإنتاجية وضمان تسويق منتجاتهم.

## التغيُّر في استخدام الأراضي وتكثيفه

لقد سلط القسم السابق الضوء على تأثير التغير في استخدام الأراضي على موازين غازات الاحتباس الحراري الناجمة عن إنتاج الوقود الحيوي. وعند تقدير تأثير الانبعاثات المحتملة الناجمة عن تزايد إنتاج الوقود الحيوي، يلزم وجود فهم واضح لمدى تحقيق زيادة الإنتاج من خلال تحسين إنتاجية الأراضي، أو من خلال التوسع في المساحة المزروعة؛ وفي الحالة الأخيرة، تتسم بالأهمية أيضاً فئة الأراضي. وتساهم أيضاً تقنيات الإنتاج الزراعي في تحديد موازين غازات الاحتباس الحراري. وكلا العاملين سيحددان أيضاً الآثار البيئية الأخرى المتعلقة بالتربة والمياه والتنوع البيولوجي.

وخلال العقود الخمسة الماضية تحقق معظم الزيادة (نحو ٨٠ في المائة) في الإنتاج العالمي من السلع الأساسية الزراعية عن طريق زيادات الغلة، بينما كان التوسع في المساحة المزروعة بالمحاصيل وزيادة وتيرة الزراعة هما المسؤولان عن النسبة المتبقية (منظمة الأغذية والزراعة، ٢٠٠٣؛ وHazell وWood، ٢٠٠٨). ومعدل نمو الطلب على الوقود الحيوي خلال

### الإطار ١٠
### الوقود الحيوي واتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ

على الرغم من عدم وجود اتفاقات دولية تتناول الطاقة الحيوية تحديداً، فإن اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ توجّه الدول الأعضاء إلى "أخذ الاعتبارات المتعلقة بتغير المناخ في الحسبان، إلى الحد الممكن، في سياساتها وتدابيرها الاجتماعية والاقتصادية والبيئية ذات الصلة، واستخدام الوسائل المناسبة ... بهدف التقليل إلى أدنى حد من التأثيرات السلبية على الاقتصاد، وعلى الصحة العامة، وعلى نوعية بيئة المشاريع أو التدابير التي تضطلع بها للتخفيف من تغير المناخ أو للتكيف معه" (اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، ١٩٩٢، المادة ٤). ويوفر بروتوكول كيوتو، الذي ينتهي أجله في عام ٢٠١٢، إطاراً قوياً وحديثاً للتشجيع على استخدام تكنولوجيات نظيفة مثل تلك التي تُستخدم فيما يتعلق بمصادر الطاقة المتجددة.

وقد صُممت آلية التنمية النظيفة، باعتبارها إحدى آليات المرونة في إطار بروتوكول كيوتو، لمساعدة الأطراف غير المدرجة في المرفق ١ على تحقيق التنمية المستدامة وعلى المساهمة في تحقيق الهدف النهائي للاتفاقية، ولمساعدة الأطراف المدرجة في المرفق ١ على الامتثال لالتزاماتها الخاصة بالتحديد الكمي للانبعاثات وبخفض الانبعاثات. ومنذ بداية آلية التنمية النظيفة في عام ٢٠٠٥، سيطرت مشاريع صناعة الطاقة على جميع أنواع المشاريع التي سُجلت في إطار تلك الآلية، ومن بينها المشاريع المتعلقة بالطاقة الحيوية. وفي ميدان الطاقة الحيوية، تتوافر منهجيات عديدة للمشاريع التي تستخدم الكتلة الحيوية لتوليد الطاقة، وإن كان لا يوجد سوى عدد محدود من المنهجيات المُعتَمَدة فيما يتعلق بالوقود الحيوي. وتتوافر بالفعل منهجية خاصة بالوقود الحيوي تقوم على الزيت العادم، وثمة منهجية لإنتاج الوقود الحيوي من الكتلة الحيوية المزروعة قيد الاستحداث.

المصدر: منظمة الأغذية والزراعة، استناداً إلى مساهمة من أمانة اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ.

السنوات القليلة الماضية يفوق بمراحل معدلات النمو التاريخية في الطلب على السلع الأساسية الزراعية وفي غلات المحاصيل. وهذا يشير إلى أن التغير في استخدام الأراضي – وما يرتبط به من آثار بيئية – قد يصبح قضية بالغة الأهمية لكل من تكنولوجيات الجيل الأول وتكنولوجيات الجيل الثاني. وعلى المدى القصير، قد يُلبَّى هذا الطلب أساساً من خلال زيادة مساحة الأراضي المزروعة بمحاصيل الوقود الحيوي، بينما قد يسيطر على المديين المتوسط والطويل استحداث أنواع محسَّنة من محاصيل الوقود الحيوي، وإدخال تغييرات في الممارسات الزراعية، واستخدام تكنولوجيات جديدة (من قبيل التحويل السيلولوزي). وسيكون تحقيق زيادات كبيرة في الغلات وتطوير التكنولوجيا أمراً هاماً لتحقيق الإنتاج المستدام للمواد الوسيطة للوقود الحيوي، من أجل التقليل إلى أدنى حد من التغير السريع في استخدام الأراضي في مناطق تُزرع فعلا، وتحويل الأراضي التي لا تستخدم حالياً في إنتاج المحاصيل، مثل الأراضي العشبية أو أراضي الغابات.

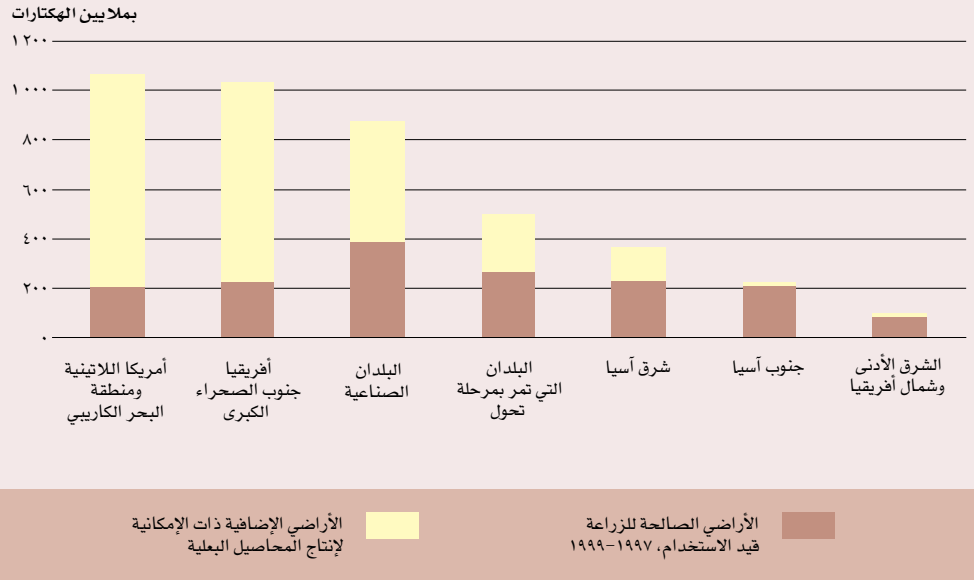
## زيادة المساحة

تشكل حالياً الأراضي العشبية أو الغابات نحو ٨,٣ مليار هكتار، وتشكّل أراضي المحاصيل ١,٦ مليار هكتار من المساحة السطحية الكلية للأراضي في العالم التي تبلغ ١٣,٥ مليار هكتار (Fischer، ٢٠٠٨). وثمة ملياران إضافيان من الهكتارات يُعتبران صالحين لإنتاج المحاصيل البعلية، كما يتضح من الشكل ٢٤، وإن كان هذا الرقم ينبغي معاملته بحذر كبير. ويوفّر قدر كبير من أراضي الغابات أو الأراضي الرطبة أو الأراضي التي تُستخدم في أغراض أخرى، خدمات بيئية قيِّمة، من بينها عزل الكربون، وترشيح المياه، وصون التنوع البيولوجي؛ ومن ثم فإن زيادة إنتاج المحاصيل في هذه المناطق ستُلحق الضرر بالبيئة.

وبعد استبعاد أراضي الغابات، والأراضي المحمية، والأراضي اللازمة لتلبية الطلب المتزايد على المحاصيل الغذائية والثروة الحيوانية، تتراوح تقديرات مساحة الأراضي التي يمكن أن تتوافر من أجل التوسع في إنتاج المحاصيل من ٢٥٠ إلى ٨٠٠ مليون هكتار، يوجد معظمها في أمريكا اللاتينية الاستوائية أو في أفريقيا (Fischer، ٢٠٠٨).

ومن الممكن استخدام بعض هذه الأراضي مباشرة في إنتاج المواد الوسيطة للوقود الحيوي، ولكن زيادة إنتاج الوقود الحيوي على أراضي المحاصيل الموجودة قد تؤدي أيضاً إلى التوسع في إنتاج محاصيل لا تتعلق بالوقود الحيوي في أماكن أخرى. فعلى سبيل المثال، أدت زيادة إنتاج الذرة من أجل صنع الإيثانول في وسط الولايات المتحدة الأمريكية إلى إحلال فول الصويا على بعض أراضي المحاصيل الموجودة، مما قد يؤدي بدوره إلى زيادة إنتاج فول الصويا وتحويل الأراضي العشبية أو أراضي الغابات في أماكن أخرى. ومن ثم فإن كلا من التغيرات المباشرة وغير المباشرة

الشكل ٢٤
**إمكانات التوسع في أراضي المحاصيل**




المصدر: منظمة الأغذية والزراعة، ٢٠٠٣.

في استخدام الأراضي التي تنجم عن التوسع في إنتاج الوقود الحيوي يلزم النظر فيها من أجل التوصل إلى فهم كامل للآثار البيئية المحتملة.

ويقدّر أن ١٤ مليون هكتار كانت تُستخدم في عام ٢٠٠٤ لإنتاج أنواع الوقود الحيوي ومنتجاتها الثانوية، وكانت هذه الأراضي تمثل نحو ١ في المائة من الأراضي الزراعية العالمية (الوكالة الدولية للطاقة، ٢٠٠٦، صفحة ٤١٣)[١١] ويُزرع الآن قصب السكر في ٥,٦ مليون هكتار في البرازيل، وتُستخدم نسبة قدرها ٥٤ في المائة من محصوله (تمثل نحو ٣ ملايين هكتار) لإنتاج الإيثانول (Naylor وآخرون، ٢٠٠٧). وقد حصد مزارعو الولايات المتحدة ٣٠ مليون هكتار من الذرة في عام ٢٠٠٤، استُخدمت نسبة منها قدرها ١١ في المائة (تمثل نحو ٣,٣ مليون هكتار) في إنتاج الإيثانول (Searchinger وآخرون، ٢٠٠٨). وفي عام ٢٠٠٧، زادت المساحة المزروعة بالذرة في الولايات المتحدة الأمريكية بنسبة قدرها ١٩ في المائة (Naylor وآخرون، ٢٠٠٧؛ وانظر أيضاً Westcott، ٢٠٠٧، صفحة ٨). وبينما انخفضت المساحة المزروعة بفول الصويا في الولايات المتحدة بنسبة قدرها ١٥ في المائة، من المتوقع أن تزيد المساحة المزروعة بفول الصويا في البرازيل بنسبة تتراوح بين ٦ و٧ في المائة، بحيث تبلغ ٤٣ مليون هكتار (منظمة الأغذية والزراعة، ٢٠٠٧ج).

وكما هو مذكور في الفصل ٤، تتوقع الوكالة الدولية للطاقة أن تزيد مساحة الأراضي التي تُستخدم في إنتاج الوقود الحيوي ومنتجاته الثانوية بمقدار يتراوح من ثلاثة أمثال إلى أربعة أمثال على الصعيد العالمي، تبعا للسياسات المتبعة خلال العقود القليلة المقبلة، وأن تزيد بوتيرة أسرع حتى من ذلك في أوروبا وأمريكا الشمالية. وتشير توقعات منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي – منظمة الأغذية والزراعة (٢٠٠٨) إلى أن هذه الأراضي ستتيسر نتيجة التحوّل العالمي صوب إنتاج الحبوب الغذائية خلال العقد المقبل. أما الأراضي الإضافية اللازمة فستتيسر من أراض تُزرع بمحاصيل غير الحبوب في استراليا وكندا والولايات المتحدة الأمريكية؛ ومن الأراضي المنحاة جانباً في الاتحاد الأوروبي أو في إطار برنامج الولايات المتحدة الاحتياطي للصون؛ ومن الأراضي الجديدة غير المزروعة حالياً، لاسيما في أمريكا اللاتينية. وبعض الأراضي التي ربما لا تكون قد زُرعت بطريقة مربحة قد تصبح مربحة مع ارتفاع أسعار السلع الأساسية، ومن المتوقع أن تتغير المساحة الملائمة اقتصادياً مع تزايد الطلب على الوقود الحيوي وعلى مواده الوسيطة (Nelson وRobertson، ٢٠٠٨). فعلى سبيل المثال، سُحبت مساحة قدرها ٢٣ مليون هكتار من أراضي إنتاج المحاصيل (الحبوب الغذائية أساساً) في بلدان مثل كازاخستان والاتحاد الروسي وأوكرانيا، في أعقاب تفكك اتحاد الجمهوريات الاشتراكية السوفييتية السابق؛ ومن بين هذه الأراضي يُقدَّر أن مساحة قدرها ١٣ مليون هكتار يمكن إعادتها إلى الإنتاج بدون تكلفة بيئية كبيرة إذا ظلت أسعار الحبوب الغذائية وهوامش الربح مرتفعة، وإذا توافرت الاستثمارات اللازمة لتطوير البنية الأساسية الخاصة بالمناولة والتخزين والنقل (منظمة الأغذية والزراعة، ٢٠٠٨هـ).

ومن المتوقع أن تتضاعف تقريباً المساحة المزروعة بقصب السكر في البرازيل بحيث تبلغ ١٠ ملايين هكتار خلال العقد المقبل؛ وقد يؤدي هذا، إلى جانب التوسع في المساحة البرازيلية المزروعة بفول الصويا، إلى إزاحة مراعي الثروة الحيوانية ومحاصيل أخرى، مما يؤدي بطريقة غير مباشرة إلى زيادة الضغط على الأراضي غير المزروعة (Naylor وآخرون، ٢٠٠٧). أما الصين فهي "ملتزمة بمنع العودة إلى إنتاج المحاصيل المصفوفة" في الأراضي المندرجة ضمن برنامجها الذي يحمل اسم "حبوب غذائية من أجل الخضرة"، ولكن هذا يمكن أن يؤدي إلى زيادة الضغط على الموارد في بلدان أخرى، مثل كمبوديا وجمهورية لاو الديمقراطية الشعبية (Naylor وآخرون، ٢٠٠٧).

والأهمية المحتملة للتغير غير المباشر في استخدام الأراضي بفعل الوقود الحيوي يصوره تحليل أجراه مؤخراً Searchinger وآخرون (٢٠٠٨). فهم يتوقعون إمكانية أن تزيد المساحة المزروعة بالذرة المخصصة لإنتاج الإيثانول في الولايات المتحدة الأمريكية إلى ١٢,٨ مليون هكتار أو أكثر من ذلك بحلول عام ٢٠١٦، تبعاً للسياسات المتبعة وأحوال السوق. ومن شأن ما يرتبط بذلك من تخفيضات في المساحة المخصصة لفول الصويا والقمح وغيرهما من المحاصيل، أن يؤدي إلى رفع الأسعار وإلى زيادة الإنتاج في بلدان أخرى. وقد يُفضي ذلك إلى زراعة أراض إضافية تقدّر بما يبلغ ١٠,٨ مليون هكتار على نطاق العالم، بما في ذلك توسعات في أراضي المحاصيل قدرها ٢,٨ مليون هكتار في البرازيل (معظمها لزراعة فول الصويا) و٢,٢ مليون هكتار في الصين والهند (معظمها لزراعة الذرة والقمح). وإذا اتبّع التوسع المتوقع في أراضي المحاصيل الأنماط التي لوحظت في تسعينيات القرن العشرين، فأنه سيتأتى أساساً من أراضي الغابات في أوروبا وأمريكا اللاتينية وجنوب شرق آسيا وأفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، ومن الأراضي العشبية في أماكن أخرى في المقام الأول. ومن الأهمية بمكان في هذا السيناريو افتراض أن الزيادات في الأسعار لن تؤدي إلى تسارع نمو الغلات، في الأجل القصير على الأقل.

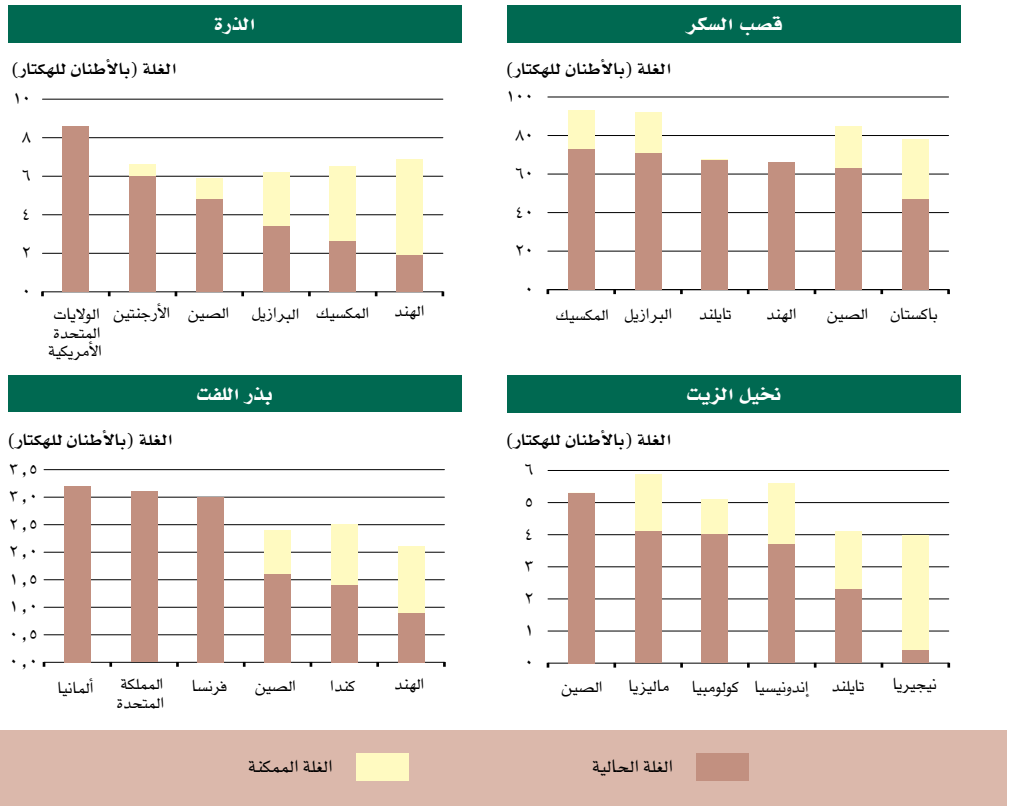
(١١) لا يمكن تمييز معظم المواد الوسيطة للوقود الحيوي من الجيل الأول (ومنها مثلا الذرة وقصب السكر وبذر اللفت وزيت النخيل) حسب الاستخدام النهائي في مرحلة إنتاج المحاصيل، ومن ثم تُستقرأ المساحة المزروعة بالمواد الوسيطة للوقود الحيوي من بيانات إنتاج الوقود الحيوي.

وتُبرز أيضاً دراسات أخرى التغيرات المحتملة غير المباشرة في استخدام الأراضي، التي تنجم عن سياسات الوقود الحيوي (Birur وHertel وTyner، ٢٠٠٧). ومن شأن الوفاء بالتكليفات والأهداف الحالية المتعلقة بالوقود الحيوي في الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة الأمريكية أن يؤدي إلى زيادة كبيرة في الحصة التي تُخصص للوقود الحيوي من الإنتاج المحلي للمواد الوسيطة مع التقليل من صادرات السلع الأساسية وزيادة الطلب على الواردات. وسوف يؤدي ذلك إلى توسيع مساحة الأراضي المخصصة لإنتاج الحبوب الخشنة في كندا والولايات المتحدة الأمريكية بنسبة تتراوح من ١١ إلى ١٢ في المائة بحلول عام ٢٠١٠، وفي المساحة المخصصة للبذور الزيتية في البرازيل وكندا والاتحاد الأوروبي بنسبة تتراوح من ١٢ إلى ٢١ في المائة. ويقدّر أن أسعار الأراضي البرازيلية ستتضاعف نتيجة لزيادة الطلب على الحبوب الغذائية والبذور الزيتية وقصب السكر، مما يشير إلى أن التكليفات المتعلقة بالوقود الحيوي في الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة يمكن أن تفرض ضغطاً كبيراً على النظم الإيكولوجية في مناطق أخرى من العالم، مثل غابة الأمازون المطيرة. ويتنبأ أيضاً Banse وآخرون (٢٠٠٨) بحدوث زيادات كبيرة في الاستخدام الزراعي للأراضي، لاسيما في أفريقيا وأمريكا اللاتينية، نتيجة لتنفيذ سياسات المزج الإلزامي للوقود الحيوي في كندا والاتحاد الأوروبي واليابان وجنوب أفريقيا والولايات المتحدة الأمريكية.

## تكثيف استخدام الأراضي

بينما من المرجح أن يلعب التوسع في إنتاج المواد الوسيطة للوقود الحيوي دوراً هاماً في تلبية الطلب المتزايد على الوقود الحيوي خلال السنوات القليلة المقبلة، سيتعين أن يكون تكثيف استخدام الأراضي من خلال التكنولوجيات والممارسات الإدارية المحسّنة مكمّلاً لهذا الخيار، لاسيما إذا كان المراد إدامة الإنتاج على المدى الطويل. ولقد كانت زيادة غلات المحاصيل تاريخياً أهم في آسيا ذات الكثافة السكانية مما هي في أفريقيا جنوب الصحراء وأمريكا اللاتينية، وأهم في حالة الأرز والقمح مما هي في حالة الذرة. وقد لعب

الشكل ٢٥
**إمكانات زيادة غلة محاصيل مواد وسيطة مختارة للوقود الحيوي**




ملاحظة: في بعض البلدان تتجاوز الغلات الحالية الغلات الممكنة وذلك نتيجة للري، وزراعة محاصيل متعددة، واستخدام المدخلات، وممارسات الإنتاج المطبقة المختلفة.

المصدر: منظمة الأغذية والزراعة.

الاستثمار العام والخاص واسع النطاق، في البحوث المتعلقة بتحسين المواد الوراثية والمدخلات واستخدام المياه والممارسات الزراعية، دوراً بالغ الأهمية في تحقيق زيادات الغلات هذه (Hazelll وWood، ٢٠٠٨؛ وCassman وآخرون، ٢٠٠٥).

وعلى الرغم من الزيادات الكبيرة التي حدثت في غلات المحاصيل على الصعيد العالمي وفي معظم المناطق، تخلّفت الغلات في أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى. وما زالت الغلات الفعلية أقل من إمكاناتها في معظم المناطق – كما هو مبيَّن في الشكل ٢٥ – مما يشير إلى استمرار وجود مجال كبير لزيادة الإنتاج في الأراضي الزراعية الموجودة. وقد وثّق Evenson وGollin (٢٠٠٣) حدوث تخلّف كبير في استخدام أنواع حديثة من المحاصيل عالية الغلة، لاسيما في أفريقيا. ولم تُساير أفريقيا أيضاً استخدام تكنولوجيات أخرى تحسّن الغلة، مثل الإدارة المتكاملة للمغذيات والآفات، والري، وأساليب الحرث التي تصون التربة.

ومثلما تؤدي زيادة الطلب على الوقود الحيوي إلى تغيرات مباشرة وغير مباشرة في استخدام الأراضي، فإنها من الممكن أيضاً أن تؤدي إلى تغيرات في الغلات، بطريقة مباشرة في إنتاج المواد الوسيطة للوقود الحيوي، وبطريقة غير مباشرة في إنتاج محاصيل أخرى، بشرط توظيف الاستثمارات الملائمة لتحسين البنية الأساسية، والتكنولوجيا، والوصول إلى المعلومات والمعرفة والأسواق. وقد بدأ عدد من الدراسات التحليلية في تقدير التغيرات في استخدام الأراضي التي يُتوقع حدوثها من جراء زيادة الطلب على الوقود الحيوي، ولكن الأدلة المستمدة من التجربة العملية ما زالت قليلة حتى الآن، وهي أدلة يلزم الاستناد إليها في وضع تكهنات بشأن الكيفية التي ستتأثر بها الغلات – إما بطريقة مباشرة أو غير مباشرة – أو بشأن مدى سرعة تأثرها. وفي أحد الأمثلة يعتقد خبراء الإيثانول في البرازيل أن من الممكن، حتى بدون تحسينات وراثية خاصة بقصب السكر، أن تزيد الغلات في حدود نسبة قدرها ٢٠ في المائة على مدى السنوات العشر المقبلة، عن طريق الإدارة المحسّنة في سلسلة الإنتاج فحسب (Squizato، ٢٠٠٨).

وتتطلب بعض المحاصيل، التي تُستخدم حالياً كمادة وسيطة في إنتاج الوقود الحيوي السائل، أرضاً زراعية عالية الجودة ومدخلات كبيرة، من حيث الأسمدة ومبيدات الآفات والمياه، لكي تولّد غلات قابلة للصمود اقتصاديا. ودرجة التنافس على الموارد بين محاصيل الطاقة وإنتاج الأغذية والعلف ستتوقف على جملة عوامل من بينها التقدم المحرز في غلات المحاصيل، وكفاءة علف الحيوانات، وتكنولوجيات تحويل الوقود الحيوي. وفي حالة تكنولوجيات الجيل الثاني، القائمة على مواد وسيطة سيلولوزية خشبية، يمكن الحد من هذا التنافس عن طريق الغلات الأعلى التي يمكن أن تتحقق باستخدام هذه التكنولوجيات الحديثة.

## كيف سيؤثر إنتاج الوقود الحيوي على المياه والتربة والتنوع البيولوجي؟

إن تكثيف نظم الإنتاج الزراعي الخاصة بالمواد الوسيطة للوقود الحيوي، وتحويل الأراضي الزراعية الموجودة حالياً والجديدة، ستكون لهما تأثيرات بيئية تتجاوز تأثيراتهما على انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. وطبيعة ومدى هذه التأثيرات يتوقفان على عوامل، مثل نطاق الإنتاج، ونوع المادة الوسيطة، وممارسات الزراعة وإدارة الأراضي، والموقع، وطرق التصنيع بعد الإنتاج. ولا تزال الأدلة محدودة بشأن التأثيرات المرتبطة تحديداً بتكثيف إنتاج الوقود الحيوي، وإن كانت غالبية المشاكل مماثلة لتلك المرتبطة أصلاً بالإنتاج الزراعي، وهي استنفاد المياه وتلوثها، وتدهور التربة، واستنفاد المغذيات، وفقدان التنوع البيولوجي البري والزراعي.

### التأثيرات على موارد المياه

قد يثبت أن ندرة المياه، وليس ندرة الأراضي، هي العامل الرئيسي الذي يحد من إنتاج المواد الوسيطة للوقود الحيوي في سياقات كثيرة. إذ تُستخدم نسبة تبلغ نحو ٧٠ في المائة من المياه العذبة التي تُستخدم على نطاق العالم في الأغراض الزراعية (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture، ٢٠٠٧). وتتزايد شحة الموارد المائية من أجل الزراعة في كثير من البلدان، نتيجة لتزايد المنافسة مع الاستخدامات المنزلية أو الصناعية. وعلاوة على ذلك، ستفرض التأثيرات المتوقعة لتغيّر المناخ من حيث انخفاض هطول الأمطار وسرعة جريان المياه (السيح) في بعض المناطق المنتجة الأساسية (ومن بينها الشرق الأدنى وشمال أفريقيا وجنوب آسيا) مزيداً من الضغط على الموارد الشحيحة أصلاً.

والوقود الحيوي يمثّل حالياً نحو ١٠٠ كيلومتر مكعب (أي ١ في المائة) من جميع المياه التي تَرشَح من المحاصيل على نطاق العالم، ويمثل نحو ٤٤ كيلومتراً مكعباً (أي ٢ في المائة) من جميع مسحوبات مياه الري (de Fraiture وGiordano وYongsong، ٢٠٠٧). واحتياجات كثير من المحاصيل، التي تُستخدم حالياً في إنتاج الوقود الحيوي – مثل قصب السكر ونخيل الزيت والذرة – من المياه مرتفعة نسبياً على مستوى الغلات التجارية (انظر الجدول ١٠) ولذا فهي أنسب للمناطق الاستوائية التي تهطل فيها الأمطار

بشدة، إلا إذا كان من الممكن ريُّها. (الإنتاج البعلي للمواد الوسيطة للوقود الحيوي كبير في البرازيل، حيث تخضع نسبة قدرها ٧٦ في المائة من إنتاج قصب السكر للأحوال البعلية، وفي الولايات المتحدة الأمريكية، حيث نجد أن نسبة قدرها ٧٠ في المائة من إنتاج الذرة بعلية). وحتى النباتات المعمّرة، مثل الجاتروفا والبونغاميا، التي يمكن زرعها في مناطق شبه قاحلة على أراضٍ حدية أو متدهورة، قد تحتاج إلى بعض الري أثناء فصول الصيف الحارة والجافة. وعلاوة على ذلك، قد يستخدم تصنيع المواد الوسيطة، بحيث تصبح وقودا حيويا، كميات كبيرة من المياه، أساساً لغسل النباتات والبذور وللتبريد البخري. ومع ذلك فإن الإنتاج المروي للمواد الوسيطة الأساسية للوقود الحيوي هو الذي سيكون له أكبر تأثير على موازين موارد المياه المحلية. وتعمل بالفعل مناطق كثيرة منتجة للسكر بواسطة الري في الجنوب الأفريقي وشرق أفريقيا وشمال شرق البرازيل قرب الحدود الهيدرولوجية لأحواضها النهرية المترابطة. ومن أمثلة ذلك أحواض نهر أواش وليمبوبو ومابوتو والنيل وساو فرانسيسكو.

وبينما قد تبدو إمكانية زيادة المناطق المروية إمكانية كبيرة في بعض المناطق على أساس موارد المياه والأراضي، فإن النطاق الفعلي لزيادة إنتاج الوقود الحيوي، في ظل الري في أراضٍ مروية قائمة أو جديدة، تحد منه الاحتياجات من حيث البنية الأساسية لضمان إمدادات المياه، ونظم حيازة الأراضي التي قد لا تكون مطابقة لنظم الإنتاج التجاري. كذلك، قد يُقيّد الزراعة ارتفاع التكاليف الحدية وتخزين المياه (فقد تم بالفعل الاستيلاء على المواقع الأوفر اقتصادياً) وحيازة الأراضي. ويبيّن الشكل ٢٦ أن إمكانات النمو في منطقة الشرق الأدنى وشمال أفريقيا شارفت حدودها. وبينما لا تزال هناك وفرة من موارد المياه في جنوب وشرق وجنوب شرق آسيا، لا يتوافر إلا قدر ضئيل جداً من الأراضي من أجل زراعة مروية إضافية. وتقتصر أكبر إمكانات التوسع على أمريكا اللاتينية وأفريقيا جنوب الصحراء الكبرى. ولكن من المتوقع في المنطقة الأخيرة ألا تزيد المستويات المنخفضة الحالية لمسحوبات مياه الري إلا زيادة بطيئة فحسب.

وإنتاج مزيد من محاصيل الوقود الحيوي سيؤثر على نوعية المياه وكذلك على كميتها. فتحويل المراعي أو أراضي الغابات إلى حقول ذرة، مثلاً، قد يؤدي إلى تفاقم مشاكل، مثل تعرية التربة، والترسُّب، وسيح المغذيات (النتروجين والفوسفور) بإفراط إلى المياه السطحية، وتسربها إلى المياه الجوفية نتيجة لزيادة استخدام الأسمدة. فوجود النتروجين بإفراط في نهر المسيسبي هو سبب رئيسي لوجود "المنطقة الميّتة" العطشى إلى الأكسيجين في خليج المكسيك، حيث لا يمكن أن تبقى على قيد الحياة أشكال كثيرة من الحياة البحرية. ويقول Runge وSenauer (٢٠٠٧) إن الزيادات الكبيرة في استخدام الأسمدة النتروجينية وفي السيح ستؤدي إلى تفاقم هذه المشاكل مع إحلال محاصيل الذرة بصفة مستمرة من أجل إنتاج الإيثانول في الولايات المتحدة الأمريكية محل تناوب دورات زراعة الذرة – فول الصويا.

ويؤدي إنتاج زيت الديزل الحيوي والإيثانول إلى تلوث مياه الصرف تلوثاً عضوياً قد يؤدي، إذا انبعثت تلك المياه دون أن تُعالج، إلى زيادة تأجين الأجسام المائية السطحية. بيد أن التكنولوجيات الموجودة حالياً لمعالجة مياه الصرف يمكن أن تتعامل بفعالية مع الملوثات والمخلفات العضوية. فنظم التخمّر يمكن أن تحد من حاجة مياه الصرف إلى أكسيجين بيولوجي بأكثر من ٩٠ في المائة، حيث يمكن إعادة استخدام المياه في أغراض التصنيع، ويمكن استخلاص الميثان في نظام المعالجة واستخدامه في توليد الكهرباء. وفيما يتعلق بمراحل التوزيع والتخزين في تلك الدورة، فإن إمكانية التأثيرات السلبية على التربة والمياه من جراء عمليات التسرّب والجريان تقل مقارنة باحتمالات حدوث ذلك في حالة الوقود الأحفوري.

**الجدول ١٠**

**الاحتياجات من المياه لمحاصيل الوقود الحيوي**

| المحصول | انتاج الوقود الذي يمكن الحصول عليه في السنة | الانتاج من الطاقة | معادل معدلات البخر | معدلات البخر المحتملة للمحصول | معدلات البخر للمحاصيل البعلية | الاحتياجات من المياه للمحاصيل المروية | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (لترات/ هكتار) | (جيغا جول/ هكتار) | (لترات/ لتر وقود) | (ملليمتر/ هكتار) | (ملليمتر/ هكتار) | (ملليمتر/ هكتار)[1] | (لترات/ لتر وقود) |
| قصب السكر | ٦٠٠٠ | ١٢٠ | ٢٠٠٠ | ١٤٠٠ | ١٠٠٠ | ٨٠٠ | ١٣٣٣ |
| الذرة | ٣٥٠٠ | ٧٠ | ١٣٥٧ | ٥٥٠ | ٤٠٠ | ٣٠٠ | ٨٥٧ |
| نخيل الزيت | ٥٥٠٠ | ١٩٣ | ٢٣٦٤ | ١٥٠٠ | ١٣٠٠ | ٠ | ٠ |
| بذور اللفت | ١٢٠٠ | ٤٢ | ٣٣٣٣ | ٥٠٠ | ٤٠٠ | ٠ | ٠ |

(١) بافتراض نسبة ٥٠ في المائة لكفاءة الري.
**المصدر:** منظمة الأغذية والزراعة.

وفي البرازيل، حيث يُزرع قصب السكر من أجل إنتاج الإيثانول بطريقة بعلية أساساً، لا يشكّل توافر المياه عائقا، ولكن تلوث المياه المرتبط باستخدام الأسمدة والمواد الكيماوية الزراعية، وتعرية التربة، وغسل قصب السكر، والخطوات الأخرى في عملية إنتاج الإيثانول، هي بواعث قلق رئيسية (Moreira، ٢٠٠٧). ويُستخدم معظم مياه الصرف الخاصة بالطحن في ري وتسميد مزارع قصب السكر، مما يؤدي إلى الحد من الاحتياجات المائية وكذلك الحد من مخاطر التأجين.

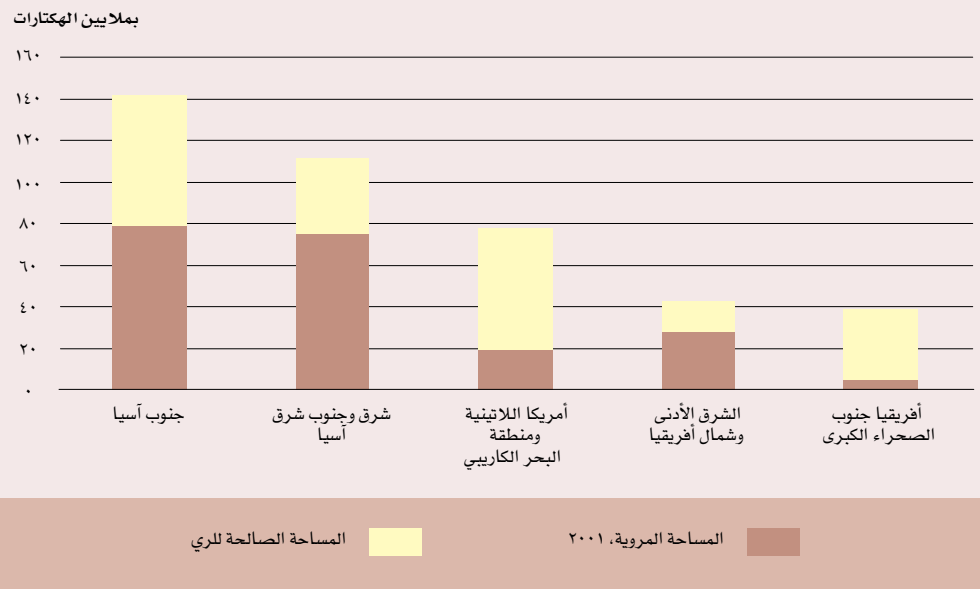
ومن الممكن أن تتسرب مبيدات الآفات وغيرها من المواد الكيماوية إلى الأجسام المائية، حيث تؤثر تأثيراً سلبياً على نوعية المياه. ويوجد اختلاف ملحوظ في احتياجات الذرة وفول الصويا وغيرهما من المواد الوسيطة للوقود الحيوي، من حيث الأسمدة ومبيدات الآفات. ومن بين المواد الوسيطة الرئيسية، تخضع الذرة لأعلى معدلات استخدام للأسمدة وكذلك مبيدات الآفات لكل هكتار. وحسب كل وحدة من الطاقة التي يجري الحصول عليها، يقدّر أن الوقود الحيوي المشتق من فول الصويا وغيره من أشكال الكتلة الحيوية منخفضة المدخلات وبالغة التنوع، الموجودة في المروج، لا يحتاج إلا إلى نسبة ضئيلة من النتروجين والفوسفور ومبيدات الآفات التي تحتاج إليها الذرة، ويقابل ذلك انخفاض التأثيرات على نوعية المياه (Hill وآخرون، ٢٠٠٦؛ وTilman وHill وLehman، ٢٠٠٦).

## التأثيرات على موارد التربة

إن كلاً من التغير في استخدام الأراضي وتكثيف الإنتاج الزراعي في الأراضي الزراعية الموجودة يمكن أن تكون له تأثيرات سلبية كبيرة على التربة، ولكن هذه التأثيرات – كما هو الحال فيما يتعلق بأي محصول – تتوقف توقفاً شديداً على تقنيات الزراعة. فالممارسات الزراعية غير المناسبة يمكن أن تحد من المادة العضوية الموجودة في التربة وأن تؤدي إلى تزايد تعرية التربة بإزالة غطاء التربة الدائم. وإزالة مخلفات النباتات يمكن أن تحد من محتويات التربة من المغذيات وأن تؤدي إلى زيادة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري عن طريق فواقد كربون التربة.

ومن الناحية الأخرى، يمكن أن تؤدي عمليات الحرث التي تصون التربة، وعمليات تناوب المحاصيل، والممارسات الإدارية المحسّنة الأخرى، في ظل الظروف الصحيحة، إلى الحد من التأثيرات السلبية، أو حتى إلى تحسين الجودة البيئية اقتراناً بزيادة إنتاج المواد الوسيطة للوقود الحيوي. فزراعة نباتات معمّرة مثل النخيل، والأيكات ذات الدورة الزراعية القصيرة، أو قصب السكر أو العشب السوطي، بدلاً من المحاصيل السنوية، يمكن أن تؤدي إلى تحسين نوعية التربة بزيادة غطاء التربة ومستويات الكربون العضوي فيها. ومع عدم الحرث وقلة استخدام الأسمدة ومبيدات الآفات، يمكن تحقيق تأثيرات إيجابية على التنوع البيولوجي.

الشكل ٢٦
**إمكانات توسّع المساحة المروية**




المصدر: منظمة الأغذية والزراعة.

وتتباين المواد الوسيطة المختلفة من حيث تأثيراتها على التربة، وحاجتها إلى المغذيات، ومدى ما تحتاج إليه من تحضير للأرض. وتشير الوكالة الدولية للطاقة (٢٠٠٦، صفحة ٣٩٣) إلى أن تأثير قصب السكر على التربة يكون أقل عموماً من تأثير بذر اللفت والذرة وغيرهما من الحبوب الغذائية. فقصب السكر يحافظ على نوعية التربة بإعادة تدوير المغذيات من مخلفات طحن السكر وتقطيره، ولكن استخدام مزيد من تفل قصب السكر كمُدخل طاقة لإنتاج الإيثانول من شأنه أن يقلل من عملية إعادة التدوير. وتحتاج نظم الإنتاج واسعة النطاق إلى إعادة استخدام المخلفات من أجل إعادة تدوير المغذيات والحفاظ على خصوبة التربة؛ ولا يتسنى عادة سوى حصد نسبة تتراوح من ٢٥ إلى ٣٣ في المائة من مخلفات المحاصيل المتوافرة من الأعشاب أو الذرة حصداً مستداماً (Doornbosch وSteenblik، ٢٠٠٧، صفحة ١٥، استشهاداً بـ Wilhelm وآخرين، ٢٠٠٧). وعن طريق إيجاد سوق للمخلفات الزراعية، يمكن أن تؤدي زيادة الطلب على الطاقة، إذا لم تخضع لإدارة سليمة، إلى تحويل مسار المخلفات صوب إنتاج الوقود الحيوي، وإلحاق تأثيرات يمكن أن تكون ضارة بنوعية التربة، لاسيما بالمادة العضوية في التربة (Fresco، ٢٠٠٧).

وقد وجد Hill وآخرون (٢٠٠٦) أن إنتاج فول الصويا من أجل صنع زيت الديزل الحيوي في الولايات المتحدة الأمريكية يتطلب قدراً من الأسمدة ومبيدات الآفات لكل وحدة تُنتج من الطاقة أقل مما تتطلبه الذرة. ولكنهم يقولون إن فول الصويا والذرة، وكليهما، كمادتين وسيطتين، يتطلبان مستويات عالية من المدخلات ونوعية أفضل من الأراضي مقارنة بالجيل الثاني من المواد الوسيطة، مثل العشب السوطي، أو النباتات الخشبية، أو الأخلاط المتنوعة من أعشاب المروج والأعشاب العلفية عريضة الأوراق (انظر أيضاً Tilman وHill وLehman، ٢٠٠٦). وتحتاج المحاصيل السيلولوزية الخشبية المعمّرة، مثل الأوكاليبتوس أو الصفصاف أو الحور أو الأعشاب، إلى إدارة أقل كثافة وإلى مدخلات أقل من الطاقة الأحفورية، ويمكن أيضاً أن تُزرع في أرض رديئة، وقد تؤدي أيضا إلى زيادة الكربون في التربة وزيادة جودتها بمرور الوقت (الوكالة الدولية للطاقة، ٢٠٠٦).

## التأثيرات على التنوع البيولوجي

إن إنتاج الوقود الحيوي يمكن أن يؤثر على التنوع البيولوجي البري والزراعي ببعض الأشكال الإيجابية، مثلا من خلال ترميم الأراضي المتدهورة، ولكن كثرة من تأثيراته ستكون سلبية، مثلاً عندما تتحول الأراضي الطبيعية إلى مزارع لمحاصيل الطاقة أو عندما تُستنزف الأراضي الخثية (اتفاقية التنوع البيولوجي، ٢٠٠٨). والتنوع البيولوجي البري مهدد، بوجه عام، بفقدان الموئل عندما يحدث توسُّع في المساحة التي تُستخدم في إنتاج المحاصيل، بينما يكون التنوع البيولوجي الزراعي ضعيفاً في حالة زرع محاصيل أحادية على نطاق كبير، تعتمد على مجموعة محدودة من المواد الوراثية، ويمكن أيضاً أن يؤدي إلى انخفاض استخدام الأنواع التقليدية.

والمسار الأول لفقدان التنوع البيولوجي هو فقدان الموئل، يليه تحويل الأراضي إلى إنتاج المحاصيل، مثلاً من الغابات أو الأراضي العشبية. وكما تشير اتفاقية التنوع البيولوجي (٢٠٠٨) ثمة محاصيل حالية كثيرة، من محاصيل الوقود الحيوي، مناسبة للمناطق الاستوائية. وهذا يؤدي إلى زيادة الحوافز الاقتصادية في البلدان التي توجد لديها إمكانية إنتاج الوقود الحيوي، مما يدفعها إلى تحويل النظم الإيكولوجية الطبيعية إلى مزارع للمواد الوسيطة (منها مثلاً نخيل الزيت)، مما يؤدي إلى فقدان التنوع البيولوجي البري في هذه المناطق. وبينما لا تحتاج مزارع نخيل الزيت إلى قدر كبير من الأسمدة أو مبيدات الآفات، حتى في أنواع التربة الرديئة، فإن حدوث توسّع فيها قد يؤدي إلى فقدان الغابات المطيرة. ومع أن فقدان الموائل الطبيعية من خلال تحويل الأراضي إلى إنتاج المواد الوسيطة للوقود الحيوي قد أُبلغ عنه في بعض البلدان (Curran وآخرون، ٢٠٠٤؛ وSoyka وPalmer وEngel، ٢٠٠٧)، فمازال هناك افتقار إلى ما يلزم من بيانات وتحليل لتقدير مدى ذلك الفقدان وعواقبه. وقد بحث Nelson وRobertson (٢٠٠٨) كيف يمكن أن يؤدي ارتفاع أسعار السلع الأساسية، نتيجة لزيادة الطلب على الوقود الحيوي، إلى حدوث تغير في استخدام الأراضي وإلى تكثيف ذلك الاستخدام في البرازيل، ووجدا أن التوسع الزراعي الذي يقف وراءه ارتفاع الأسعار يمكن أن يعرّض للخطر مناطق غنية بتنوع أنواع الطيور.

أما المسار الرئيسي الثاني فهو فقدان التنوع البيولوجي الزراعي، بفعل التكثيف في أراضي المحاصيل، على شكل وحدة وراثية منفردة للمحاصيل. فغالبية مزارع المواد الوسيطة للوقود الحيوي تقوم على أنواع منفردة. وتوجد أيضاً شواغل بشأن انخفاض مستويات التنوع الوراثي في الأعشاب التي تُستخدم كمواد وسيطة، مثل قصب السكر (The Royal Society، ٢٠٠٨)، مما يؤدي إلى زيادة تعرّض هذه المحاصيل لآفات وأمراض جديدة. وفي مقابل ذلك، يصدق العكس على محصول مثل الجاتروفا، الذي يتميز بدرجة عالية للغاية من التنوع الوراثي، معظمها غير محسَّن، مما يؤدي إلى وجود نطاق واسع من الخصائص الوراثية التي تقوّض قيمته التجارية (مؤسسة الأمم المتحدة/ منظمة الأغذية والزراعة/ الصندوق الدولي للتنمية الزراعية، ٢٠٠٨).

وفيما يتعلق بالجيل الثاني من المواد الوسيطة، تصنّف بعض الأنواع، التي يجري الترويج لها، على أنها أنواع غازية، مما يثير بواعث قلق جديدة بشأن كيفية

إدارتها وتجنّب العواقب غير المقصودة. وعلاوة على ذلك، فإن كثرة من الإنزيمات اللازمة لتحويلها تتعرض لعملية تحوير وراثي لزيادة كفاءتها، ومن اللازم إدارتها بعناية في إطار عمليات إنتاج صناعية مغلقة (الصندوق المشترك للسلع الأساسية، ٢٠٠٧).

وقد لوحظت تأثيرات إيجابية على التنوع البيولوجي في المناطق المتدهورة أو الحدية، حيث أُدخلت أنواع مختلطة معمّرة جديدة لإعادة عمل النظم الإيكولوجية ولزيادة التنوع البيولوجي (إتفاقية التنوع البيولوجي، ٢٠٠٨). ويتضح من البيانات التجريبية المستمدة من قطع أراض اختبارية موجودة فوق تربة متدهورة ومهجورة (Tilman وHill وLehman، ٢٠٠٦) أن الأخلاط قليلة المدخلات وشديدة التنوع من النباتات المعمرة المتوطنة في الأراضي العشبية – التي توفر نطاقاً من خدمات النظم الإيكولوجية، من بينها موئل الحياة البرية، وترشيح المياه، وعزل الكربون – تحقق أيضاً زيادات عالية من حيث الطاقة الصافية (مقيسة بالطاقة التي تنبعث عند الحرق)، ومزيداً من انخفاضات انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، ودرجة أقل من التلوث الكيميائي الزراعي، مقارنة بإيثانول الذرة أو بزيت ديزل فول الصويا، وأن الأداء يزيد مع تزايد عدد الأنواع. ووجد مؤلفو هذه الدراسة أيضاً أن العشب السوطي يمكن أيضاً أن تكون إنتاجيته عالية عندما يُزرع في تربة خصبة، لاسيما عند استخدام الأسمدة ومبيدات الآفات، ولكن أداءه، عندما يُزرع في تربة سيئة، لا يضاهي أداء النباتات المعمرة المتوطنة المتنوعة.

## هل يمكن إنتاج الوقود الحيوي في أراضٍ حدية؟

كثيراً ما تتسم الأراضي الحدية أو المتدهورة بالافتقار إلى المياه – مما يقيِّد كلاً من نمو النبات وتوافر المغذيات – وبانخفاض خصوبة التربة وارتفاع درجات حرارتها. ومن بين المشاكل الشائعة في هذه المناطق تدهور الغطاء النباتي، والتعرية بفعل المياه والرياح، والتملّح، وانضغاط التربة وتكوُّن قشرة عليها، واستنفاد المغذيات الموجودة في التربة. وقد يحدث أيضاً في بعض المواقع تلوث وتحمُّض وقلونة وتشبع بالمياه.

وقد تتيح محاصيل الوقود الحيوي التي يمكن أن تتحمل الظروف البيئية، التي قد تفشل فيها المحاصيل الغذائية، فرصة لاستخدام الأراضي، التي تحقق حالياً منافع اقتصادية قليلة، استخداماً منتجاً. فمحاصيل مثل الكسافا والكافور والذرة الرفيعة الحلوة والجاتروفا والبونغاميا هي محاصيل يمكن ترشيحها في هذا المضمار، وكذلك محاصيل الأشجار التي تتحمل الجفاف، مثل الأوكاليبتوس. ولكن من المهم ملاحظة أن الأراضي الحدية كثيراً ما توفر خدمات كفافية لفقراء الريف، من بينها أنشطة زراعية كثيرة تؤديها النساء. وسواء كان الفقراء سيستفيدون أو سيعانون من إدخال إنتاج الوقود الحيوي على أراضٍ حدية، هو مسألة تتوقف بدرجة حاسمة على طبيعة وأمن حقوقهم في الأراضي.

وليس من غير المعتاد سماع ادعاءات بوجود قطع كبيرة من الأراضي الحدية يمكن تخصيصها لإنتاج الوقود الحيوي، مما يقلل من التعارض مع المحاصيل الغذائية ويتيح مصدراً جديداً للدخل بالنسبة للمزارعين الفقراء. ومع أن هذه الأراضي من شأنها أن تكون أقل إنتاجية وعرضة لمخاطر عالية، فإن استخدامها لإقامة مزارع للطاقة الحيوية يمكن أن تكون له منافع ثانوية، مثل إعادة تكوين الغطاء الخضري المتدهور، وعزل الكربون، وتقديم خدمات بيئية محلية. ولكن في معظم البلدان لا يوجد سوى توثيق ضئيل لمدى ملاءمة هذه الأراضي للإنتاج المستدام للوقود الحيوي.

وزراعة أي محصول على أراضٍ حدية، مع استخدام مستويات منخفضة من المدخلات من المياه والمغذيات، سيُسفر عن غلات أقل. والجاتروفا والذرة الرفيعة الحلوة اللذان يتحملان الجفاف ليسا استثناءً من ذلك. فلإنتاج مستويات مقبولة تجارياً من الغلات، يجب عدم إجهاد أنواع النباتات والأشجار بما يتجاوز حدوداً معينة؛ فهذه النباتات ستستفيد في حقيقة الأمر من مستويات معتدلة من المدخلات الإضافية. ومن ثم، بينما قد تتيح المحاصيل المحسّنة إمكانات على المدى الطويل، يظل من اللازم وجود ما يكفي من المغذيات والمياه والإدارة لضمان غلات مجدية اقتصادياً، مما يعني أنه يتعين، حتى على المحاصيل الصلبة التي تُزرع على أراضٍ حدية، أن تتنافس إلى حد ما مع المحاصيل الغذائية على موارد مثل المغذيات والمياه.

وتؤكد دراسات عديدة أن قيمة غلات المحاصيل عالية القيمة الاقتصادية، التي تتحقق من الأراضي الزراعية الجيدة، تفوق عادة أية تكاليف إضافية. ومن ثم من المحتمل أن يؤدي استمرار الطلب على الوقود الحيوي إلى تكثيف الضغط على الأراضي الجيدة التي يمكن أن تحقق مردودات عالية (Azar وLarson، ٢٠٠٠).

## ضمان الإنتاج المستدام بيئياً للوقود الحيوي

### الممارسات الجيدة

ترمي الممارسات الجيدة إلى الاستفادة من المعرفة المتوافرة من أجل تطبيق أبعاد الاستدامة على إنتاج المواد الوسيطة للوقود الحيوي وحصدها وتصنيعها في المزارع. وهذا الهدف ينطبق على إدارة الموارد الطبيعية مثل الأراضي والتربة والمياه والتنوع

**الإطار ١١**
**الجاتروفا - هل هو محصول "معجزة"؟**

إن الجاتروفا – حب الملوك (Jatropha curcas) يتصدر الكثير من عناوين الصحف ونشرات الأنباء كمحصول من محاصيل الطاقة. وهذا النبات يتحمل الجفاف، وتصلح زراعته في الأراضي الحدّية، ولا يحتاج سوى إلى هطول الأمطار بدرجة معتدلة تتراوح من ٣٠٠ إلى ١ ٠٠٠ ملليمتر في السنة، ومن السهل تثبيته، ويمكن أن يساعد على استصلاح الأراضي التي تعاني من التعرية، وينمو بسرعة. وهذه الخصائص تجذب بلداناً نامية كثيرة يساورها القلق بشأن غطاء الأشجار وخصوبة التربة، وتبحث عن محصول للطاقة يقلل إلى أدنى حد من التنافس مع المحاصيل الغذائية. وفي الوقت نفسه، تُنتج هذه الشجرة الصغيرة بذوراً، بعد فترة تتراوح من عامين إلى خمسة أعوام، تحتوي على زيت بنسبة قدرها ٣٠ في المائة حسب وزن الحبّة، ويجري بالفعل استخدام هذا الزيت في صنع صابون وشمع ومواد تجميل، وله خصائص طبية مماثلة لخصائص زيت الكافور، كما أنه مفيد أيضاً في الطهي وفي وتوليد الكهرباء.

والجاتروفا، وموطنه هو أمريكا الشمالية وأمريكا الوسطى، توجد منه ثلاثة أنواع هي: الجاتروفا النيكاراغوية، والجاتروفا المكسيكية (التي تتميز بكون بذورها أقل، أو عديمة السميّة)، وجاتروفا الرأس الأخضر. وقد أصبحت الجاتروفا الثالثة بين هذه الأنواع مستقرة في الرأس الأخضر، وانتشرت من هناك إلى أجزاء من أفريقيا وآسيا. وكانت تُزرع في الرأس الأخضر على نطاق كبير لأغراض التصدير إلى البرتغال، من أجل استخراج الزيت وصنع الصابون. وبلغت صادرات الجاتروفا ذروتها في عام ١٩١٠، إذ وصلت إلى ما يتجاوز ٦٠٠ ٥ طن (Heller، ١٩٩٦).

ولقد ساعدت الخصائص الإيجابية الكثيرة التي يتميز بها نبات الجاتروفا على إقامة مشاريع عديدة من أجل إنتاج الزيت و/أو زيت الديزل الحيوي على نطاق كبير، وكذلك من أجل تحقيق التنمية الريفية على نطاق صغير. ويتدافع المستثمرون الدوليون والقطريون على إقامة مساحات كبيرة لزراعة الجاتروفا في بليز والبرازيل والصين ومصر وإثيوبيا وغامبيا وهندوراس والهند وإندونيسيا وموزامبيق وميانمار والفلبين والسنغال وجمهورية تنزانيا المتحدة. وأكبر مشروع في هذا الصدد هو مشروع "المهمة الوطنية" التابع للحكومة الهندية والمتمثل في زراعة الجاتروفا على ٠٠٠ ٤٠٠ هكتار في غضون الفترة من عام ٢٠٠٣ إلى عام ٢٠٠٧ (Gonsalves، ٢٠٠٦). ويتمثل الهدف، بحلول عامي ٢٠١١ – ٢٠١٢، في الاستعاضة عن نسبة قدرها ٢٠ في المائة من استهلاك زيت الديزل بزيت ديزل حيوي مُنتج من محصول نبات الجاتروفا، الذي يُزرع على نحو ١٠ ملايين هكتار من الأرض البور، مما يولّد عمالة على مدار السنة لخمسة ملايين شخص (Gonsalves، ٢٠٠٦؛ وFrancis وEdinger وBecker، ٢٠٠٥). وقد يكون الهدف الأصلي طموحاً، لأن Euler وGorriz (٢٠٠٤) يذكران أن من المحتمل أن نسبة ضئيلة فقط من مساحة ٠٠٠ ٤٠٠ هكتار، التي كانت الحكومة الهندية قد خصصتها لزراعة الجاتروفا، هي التي تجري زراعتها فعلاً.

وينمو النبات أيضاً على نطاق واسع في أفريقيا، في الأغلب على صورة حواجز تفصل بين الحيازات

البيولوجي، مثلما ينطبق على تحليل دورة العمر، الذي يُستخدم لتقدير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، وتحديد ما إذا كان وقود حيوي مُحدد أنسب، من حيث عدم التسبب في تغيير المناخ، مقارنة بوقود أحفوري. وعملياً، نجد أن حماية التربة والمياه والمحاصيل، وإدارة الطاقة والمياه، وإدارة المغذيات والمواد الكيماوية الزراعية، وصون التنوع البيولوجي والأراضي الطبيعية، وعمليات الحصاد والتصنيع والتوزيع، هي كلها مجالات تندرج ضمن المجالات التي يلزم فيها إتباع ممارسات جيدة لتحقيق تنمية الطاقة الحيوية تنمية مستدامة.

والزراعة التي تصون التربة هي ممارسة ترمي إلى تحقيق الزراعة المستدامة والمربحة للمزارعين وسكان الريف، باستخدام الحد الأدنى من تحريك التربة، وغطاء التربة العضوي الدائم، وتناوب محاصيل متنوعة. وفي سياق التركيز الحالي على تخزين الكربون، وعلى التكنولوجيات التي تحد من كثافة الطاقة، تبدو تلك الزراعة مناسبة على وجه الخصوص. وهذا النهج يثبت أيضاً أنه يستجيب للحالات التي تكون فيها اليد العاملة شحيحة، وتكون فيها ثمة حاجة إلى صون رطوبة التربة وخصوبتها. فالتدخلات من قبيل حرث التربة الآلي تقل إلى حد أدنى، وتستخدم المدخلات، مثل المواد الكيماوية الزراعية والمغذيات ذات الأصل المعدني أو العضوي، استخداماً أمثل وبكميات لا تؤدي إلى عرقلة العمليات البيولوجية. وقد تبيّن أن الزراعة التي تصون التربة فعالة من خلال مجموعة متنوعة من المناطق الإيكولوجية – الزراعية والنظم الزراعية.

في المدن والقرى. ففي مالي يمكن العثور على آلاف الكيلومترات من شجيرات الجاتروفا؛ وهي تحمي الحدائق من الحيوانات ويمكن أيضاً أن تساعد على الحد مما تسببه الرياح والمياه من التعرية. وتُستخدم بالفعل بذور الجاتروفا في صنع الصابون وفي الأغراض الطبية، وتقوم حالياً أيضاً منظمة غير حكومية بالترويج لزيت الجاتروفا كوقود لمنصات متعددة الوظائف، ولمحرك بطيء السرعة يعمل بزيت الديزل ويحتوي على نافث ذاتي، ولمولد كهربائي، ولشاحن بطاريات صغيرة، ولمطحنة (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، ٢٠٠٤). وتعد المشروعات التجريبية للترويج لزيت الجاتروفا كأحد مصادر الطاقة لمشاريع كهربة ريفية صغيرة النطاق في جمهورية تنزانيا المتحدة وفي بلدان أفريقية أخرى.

وعلى الرغم من الاستثمارات والمشاريع الكبيرة التي يجري الاضطلاع بها في كثير من البلدان، لا تتوافر بيانات علمية موثوقة عن زراعة الجاتروفا. فثمة توثيق ضئيل للمعلومات التي تتناول العلاقة بين الغلات والمتغيرات، مثل التربة والمناخ وإدارة المحاصيل والمادة الوراثية للمحاصيل، وهي المعلومات التي يجب أن تستند إليها القرارات الاستثمارية. ويتضح مما هو موجود من أدلة أن نطاق الغلات واسع وأنه لا يمكن ربطه ببارامترات ذات صلة، مثل خصوبة التربة وتوافر المياه (Jongschaap وآخرون، ٢٠٠٧). وقد باءت بالفشل تجربة مزارع الجاتروفا في تسعينيات القرن العشرين، مثل تجربة "Proyecto Tempate" في نيكاراغوا، التي استمرت من عام ١٩٩١ حتى عام ١٩٩٩ (Euler وGorriz، ٢٠٠٤).

بل ويبدو في حقيقة الأمر أن كثرة مما يُنسب إلى النبات من خصائص إيجابية لا يستند إلى خبرات ناضجة مستمدة من المشروعات. ويقول Jongschaap وآخرون (٢٠٠٧) إن زراعة الجاتروفا على نطاق متواضع يمكن أن تساعد على صيانة التربة والمياه، واستصلاح التربة، والحد من تعريتها، ويمكن استخدامها كأسوار خضراء، وفي إنتاج خشب وقود، وكسماد أخضر، ووقود إضاءة، وفي صناعة الصابون المحلي، كما يمكن استخدام الجاتروفا كمبيدات حشرية وفي التطبيقات الطبية. إلا أنهم يخلصون إلى أن الخصائص التي تُنسب إلى هذا النبات من حيث ارتفاع غلاته من الزيوت مع قلة احتياجاته من حيث المغذيات (خصوبة التربة)، وقلة استخدامه للمياه، وقلة مدخلاته من حيث اليد العاملة، وعدم منافسته للإنتاج الغذائي، وقدرته على تحمّل الآفات والأمراض، هي كلها أمور لا تدعمها أدلة علمية. وتتمثل أهم الثغرات في نقص السلالات المحسنة والبذور، كما أن الجاتروفا لم يستأنس بعد كمحصول يمكن التعويل على أدائه.

ويبدو أن هناك أساساً متيناً للمخاوف من أن التدافع على زراعة الجاتروفا، استناداً إلى توقعات غير واقعية، لن يفضي إلى خسائر مالية فحسب بل سيقوّض أيضاً الثقة في أوساط المجتمعات المحلية، وهذه فكرة تتكرر في بلدان أفريقية كثيرة. فإنشاء مزارع للجاتروفا قابلة للاستدامة، يقتضي إزالة عدم اليقين من عمليات الإنتاج والتسويق. ومن ثم يلزم إجراء مزيد من البحوث بشأن المادة الوراثية المناسبة وبشأن الغلات في ظل الظروف المختلفة، كما يلزم إقامة أسواق لتشجيع تنمية هذا المحصول تنمية مستدامة.

والممارسات الزراعية الجيدة، المقرونة بممارسات حراجية جيدة، يمكن أن تؤدي إلى انخفاض كبير في التكاليف البيئية المرتبطة بالترويج الممكن للتكثيف المستدام عند حدود الغابات. ويمكن أيضاً النظر في إتباع نُهج تقوم على تحقيق التكامل بين الزراعة والحراجة والرعي والثروة الحيوانية، عندما تشكل محاصيل الطاقة الحيوية جزءاً من المزيج.

## المواصفات ومعايير الاستدامة والامتثال

مع أن الآثار البيئية المتعددة والمتباينة لتنمية الطاقة الحيوية لا تختلف اختلافاً جوهرياً عن آثار الأشكال الأخرى من الزراعة، يبقى التساؤل عن أفضل طريقة يمكن بها تقدير تلك الآثار وتجسيدها في الأنشطة الحقلية. وتوفر التقنيات الموجودة لتقدير الآثار البيئية، والتقديرات البيئية الاستراتيجية، نقطة انطلاق جيدة لتحليل العوامل الفيزيائية البيولوجية. وتوجد أيضاً ذخيرة من المعرفة التقنية المستمدة من التطوير الزراعي خلال السنوات الستين الماضية. ومن بين المساهمات الجديدة في المعارف المستمدة من سياق الطاقة الحيوية، إطار تحليلي للطاقة الحيوية والأمن الغذائي وإطار تحليلي لتأثير الطاقة الحيوية (منظمة الأغذية والزراعة، سيصدر لاحقا (أ) و(ب))؛ والعمل بشأن الآثار البيئية الإجمالية، ومن بينها تحمّض التربة، واستخدام الأسمدة بإفراط، وفقدان التنوع البيولوجي، وتلوث الهواء، وسميّة مبيدات الآفات (Zah وآخرون، ٢٠٠٧)؛ والعمل بشأن معايير الاستدامة الاجتماعية والبيئية، بما يشمل وضع حدود لإزالة الغابات، والتنافس مع إنتاج الأغذية، والآثار

السلبية على التنوع البيولوجي، وتعرية التربة، ورشح المغذيات (Faaij، ٢٠٠٧).

ويتسم قطاع الوقود الحيوي بطائفة واسعة من أصحاب المصلحة ذوي المصالح المتباينة. وهذا، مع سرعة تطور القطاع، قد أدى إلى تكاثر مبادرات ترمي إلى ضمان التنمية المستدامة للطاقة الحيوية. وتهتم مجموعات كثيرة من القطاعين الخاص والعام بوضع مبادئ ومعايير وشروط، إلى جانب آليات الامتثال لتقدير أداء القطاع وتوجيه تنميته. ويدخل في هذا الإطار فريقا المهام التابعان للشراكة العالمية للطاقة الحيوية والمعنيان بالمنهجيات المتعلقة بغازات الاحتباس الحراري وبالاستدامة، واجتماع المائدة المستديرة بشأن الوقود الحيوي المستدام، إلى جانب جهود أخرى كثيرة عامة وخاصة لا تستهدف الربح. ويشير هذا التنوع إلى ضرورة وجود عملية تنسيق للنُهج المختلفة، لاسيما على ضوء تكليفات السياسات وأهدافها التي تحفز على زيادة إنتاج الوقود الحيوي.

ويوضع معظم المعايير الآن في البلدان الصناعية، وهي ترمي إلى ضمان إنتاج الوقود الحيوي وتوزيعه واستخدامه بطريقة مستدامة بيئيا، قبل الاتجار به في الأسواق الدولية. فالمفوضية الأوروبية، مثلاً، اقترحت بالفعل معايير ترى أنها متوافقة مع قواعد منظمة التجارة العالمية (بيان شخصي، E. Deurwaarder، المفوضية الأوروبية، ٢٠٠٨). ولكن لم يُختبر حتى الآن أي من هذه المعايير، لاسيما في ظل نظم الدعم الحكومية، مثل الإعانات، أو عند تخصيص المعايير من أجل المعاملة التفاضلية في إطار اتفاقات التجارة الدولية (Doornbosch وSteenblik، ٢٠٠٧؛ ومؤتمر الأمم المتحدة للتجارة والتنمية، ٢٠٠٨).

ومصطلح "مقاييس" يعني وجود نظم صارمة لقياس بارامترات على ضوء معايير محددة، حيث يحول عدم الامتثال دون قيام بلد بتصدير منتجاته. وتوجد بالفعل نظم من هذا القبيل متفق عليها دولياً بشأن طائفة من المواضيع المتعلقة بسلامة الأغذية وبالصحة البشرية والمسائل الكيميائية.

فهل تطور قطاع الوقود الحيوي بدرجة كافية لإنشاء نظام من هذا القبيل؟ وهل المخاطر كبيرة بحيث يشكّل عدم وجود ذلك النظام خطورة كبيرة على صحة الإنسان أو البيئة؟ وهل ينبغي معاملة الوقود الحيوي معاملة أكثر تشدداً من معاملة السلع الأساسية الزراعية الأخرى؟

فمن ناحية، بالنظر إلى أن غالبية الآثار البيئية للوقود الحيوي لا يمكن تمييزها عن الآثار البيئية لزيادة الإنتاج الزراعي بوجه عام، يمكن القول بأن من الواجب تطبيق مقاييس متكافئة بوجه عام. وعلاوة على ذلك، فإن تقييد تغيير استخدام الأراضي يمكن أن يُلغي فرصاً أمام البلدان النامية للاستفادة من زيادة الطلب على السلع الأساسية الزراعية. ومن الناحية الأخرى، توجد حجج قوية تبرر وجوب أن يتعلم المنتجون الزراعيون وواضعو السياسات من الأخطاء السابقة، وأن يتجنبوا الآثار البيئية السلبية التي صاحبت عمليات تحويل الأراضي الزراعية وتكثيفها في الماضي.

وإيجاد حلول لهذه المعضلة سيتطلب إجراء حوار وتفاوض يتسمان بالجدية فيما بين البلدان إذا كان المراد تحقيق الأهداف المجتمعة لنمو الإنتاجية الزراعية وتحقيق الاستدامة البيئية. وقد يتسنى إيجاد نقطة انطلاق بتحديد أفضل الممارسات للإنتاج المستدام للوقود الحيوي، مما يمكن أن يساعد أيضاً على إحداث تحوّل في الممارسات الزراعية الخاصة بالمحاصيل غير المتعلقة بالوقود الحيوي. وفي الوقت المناسب، واقتراناً ببذل جهود لبناء القدرات لدى البلدان التي تحتاج إلى ذلك، يمكن تحديد مقاييس أكثر صرامة ونظم لإصدار الشهادات تتسم بمزيد من الصرامة أيضاً.

ومن الخيارات التي يمكن استكشافها، تقديم مدفوعات مقابل الخدمات البيئية المقترنة بإنتاج الوقود الحيوي. وقد نوقشت مسألة تقديم مدفوعات مقابل الخدمات البيئية بالتفصيل في طبعة عام ٢٠٠٧ من حالة الأغذية والزراعة. فمن شأن هذه الآلية أن تعوّض المزارعين عن تقديم خدمات بيئية محددة، باستخدام أساليب إنتاج قادرة على الاستدامة بيئيا. ويمكن أن ترتبط المدفوعات بالامتثال للمقاييس ولنظم إصدار الشهادات المتفق عليها على المستوى الدولي. ويمكن أن تشكل نظم تقديم مدفوعات مقابل الخدمات البيئية، رغم صعوبة وتعقّد تنفيذها، أداة إضافية لضمان إنتاج الوقود الحيوي بطريقة مستدامة.

## رسائل الفصل الأساسية

- الوقود الحيوي هو عنصر واحد فقط من طائفة من البدائل التي تؤدي إلى خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. وتبعاً لأهداف السياسات، قد يثبت أن هناك خيارات أخرى أكثر فعالية بالنسبة إلى التكلفة، من بينها الأشكال المختلفة للطاقة المتجددة، وزيادة كفاءة الطاقة والاقتصاد في استهلاكها، وخفض الانبعاثات الناجمة عن إزالة الغابات وتدهور الأراضي.
- على الرغم من أن تأثيرات زيادة إنتاج الوقود الحيوي على انبعاثات غازات الاحتباس الحراري والأرض والمياه والتنوع البيولوجي، تتباين

تبايناً واسعاً عبر البلدان وأنواع الوقود الحيوي والمواد والوسيطة وممارسات الإنتاج، ثمة حاجة قوية وفورية إلى إتباع نُهج منسّقة في تحليل دورة العمر، وموازين غازات الاحتباس الحراري، ومعايير الاستدامة.

- موازين غازات الاحتباس الحراري ليست إيجابية فيما يتعلق بجميع المواد الوسيطة. وللأغراض المتعلقة بتغيُّر المناخ، ينبغي توجيه الاستثمار نحو المحاصيل التي تتسم بأعلى موازين غازات الاحتباس الحراري إيجابية مع أقل تكاليف بيئية واجتماعية.
- يمكن أن تنشأ آثار بيئية في جميع مراحل إنتاج وتصنيع المواد الوسيطة للوقود الحيوي، ولكن العمليات المتعلقة بالتغيُّر في استخدام الأراضي وتكثيفه تكون هي المسيطرة عادة. وعلى مدى العقد المقبل من المرجح أن تؤدي سرعة نمو الطلب على الوقود الحيوي، بدافع من السياسات، إلى تسريع تحويل الأراضي غير الزراعية إلى إنتاج المحاصيل. وهذا سيحدث مباشرة من أجل إنتاج المواد الوسيطة للوقود الحيوي، أو سيحدث بطريقة غير مباشرة من أجل إنتاج محاصيل أخرى استبعدت من الأراضي الزراعية الموجودة.
- ستكون زيادات الغلة واستخدام المدخلات بعناية عنصرين أساسيين للتخفيف من ضغط محاصيل الأغذية ومحاصيل الطاقة، على حد سواء، على استخدام الأراضي. وسيلزم إجراء بحوث مكرّسة، وتوفير الاستثمارات لتطوير التكنولوجيا، وإقامة مؤسسات وبنية أساسية معززة.
- تتباين الآثار البيئية تبايناً واسعاً عبر المواد الوسيطة وممارسات الإنتاج والمواقع، وتتوقف بدرجة حاسمة على الكيفية التي يدار بها التغير في استخدام الأراضي. فالاستعاضة عن المحاصيل السنوية بمواد وسيطة معمّرة (مثل نخيل الزيت أو الجاتروفا أو الأعشاب المعمّرة) يمكن أن تحسّن موازين الكربون في التربة، ولكن تحويل الغابات الاستوائية، من أجل إنتاج محاصيل من أي نوع، يمكن أن يتسبب في انبعاث كميات من غازات الاحتباس الحراري تفوق بكثير الوفورات السنوية المحتملة التي يمكن أن تتحقق من الوقود الحيوي.
- يشكل عدم توافر موارد المياه، بسبب عوامل تقنية ومؤسسية، قيودا كمية على إنتاج المواد الوسيطة للوقود الحيوي في البلدان التي كانت ستصبح لديها، لولا ذلك، ميزة نسبية في إنتاجها.
- قد لا تكون النُهج التنظيمية بشأن المقاييس وإصدار الشهادات هي أول، أو أفضل، خيار لضمان المشاركة واسعة النطاق والعادلة في إنتاج الوقود الحيوي. فالنظم التي تجمع ما بين أفضل الممارسات وبناء القدرات قد تحقق نتائج أفضل على المدى القصير وتوفر المرونة اللازمة للتكيف مع الظروف المتغيرة. وقد يمثّل أيضاً تقديم مدفوعات مقابل الخدمات البيئية أداة لتشجيع الامتثال لأساليب الإنتاج المستدامة.
- ينبغي معاملة المواد الوسيطة للوقود الحيوي والمحاصيل الغذائية والزراعية الأخرى معاملة متماثلة. فالشواغل البيئية المتعلقة بإنتاج المواد الوسيطة للوقود الحيوي، هي نفس الشواغل المتعلقة بتأثيرات زيادة الإنتاج الزراعي بوجه عام؛ ولذا ينبغي تطبيق التدابير التي ترمي إلى ضمان الاستدامة على جميع المحاصيل بطريقة متسقة.
- يمكن أن تُقلل الممارسات الزراعية الجيدة، مثل الزراعة التي تصون التربة، من الآثار الكربونية ومن الآثار البيئية السلبية لإنتاج الوقود الحيوي، تماماً مثلماً يمكن أن تحققه تلك الممارسات بالنسبة للإنتاج الزراعي واسع النطاق بوجه عام. ويمكن أن تنوّع محاصيل المواد الوسيطة المعمرة، مثل الأعشاب أو الأشجار، نظم الإنتاج وأن تساعد على تحسين الأراضي الحدية أو المتدهورة.
- يجب أن تصبح السياسة الحكومية المحلية أكثر وعياً بالعواقب الدولية لتنمية قطاع الوقود الحيوي. ويمكن أن يساعد الحوار الدولي، الذي يجري في الغالب عن طريق الآليات القائمة، على صياغة أهداف واقعية يمكن تحقيقها بشأن الوقود الحيوي.