

## الفصل الخامس

### طاقة الكتلة الإحيائية

مقدمة	1-5
طاقة الكتلة الإحيائية "الماضي والمستقبل"	2-5
استخدام الخشب كوقود	3-5
الكتلة الإحيائية كوقود	4-5
استخلاص الطاقة	5-5
الحرق المباشر	6-5
عملية إنتاج الوقود الغازي	7-5
الانحلال الحراري	8-5
الوقود الصناعي	9-5
الهاضم الهوائي - الغاز الحيوي - غاز الطمر الصحي	10-5
التخمير	11-5
المخلفات الزراعية - مخلفات الخشب - نفايات المحاصيل - النفايات الحيوانية	12-5

يطلق مصطلح الكتلة الإحيائية (البيوماس) على النفايات العضوية ، وهي مخلفات الإنسان ، والحيوان ، والنبات . وقد تكون صلبة كالقمامة ومخلفات الحيوانات ومخلفات الأشجار ، كما قد تكون سائلة كمياه المجاري ومخلفات بعض الصناعات .

ويعتبر استغلال الكتلة الإحيائية ضرورة حتمية وذلك لكونها ملوثة للبيئة ويجب التخلص منها حفاظاً على الصحة العامة ، ويمكن تحويلها إلى طاقة أو تدوير بعض منها لاستخدامها مرة أخرى . وبالإضافة إلى ما ورد أعلاه يمكن الاستفادة من المخلفات العضوية قبل معالجتها النهائية . وإن من أهم الصناعات أو المواد التحويلية التي تنتج عند معالجة ما تبقى من الكتل الحيوية هو السماد العضوي (Fertilizer) الذي يعتبر عنصراً هاماً للتربة والنبات إذ يحتوي على الفسفور ، والنيتروجين ، والبوتاسيوم، وهي عناصر غذائية ضرورية للنبات .

لقد استعملت هذه المخلفات في إنتاج الغاز الحيوي الذي يحتوي على الميثان والبروبان اللذين يمكن استخدامهما في أغراض الإنارة والطبخ والتدفئة . وقد تم أيضاً الاستفادة من بعض المخلفات الزراعية التي تحتوي على نسبة عالية من الزيوت إذ تم تحويلها إلى زيت يشبه زيت الديزل ويمكن استخدامه مباشرة في مكائن الاحتراق الداخلي بكفاءة عالية دون الحاجة إلى إحداث أي تغيير أو تعديل في هذه المحركات .

كما يمكن أيضاً الاستفادة من بعض المنتجات النباتية بتحويلها إلى كحول إذ تتخمر بعض المواد النشوية أو السكرية الموجودة بهذه النباتات أو المخلفات ، وبطريقة خاصة يتم تحويلها إلى كحول اثيلي أو يمكن معالجة هذه المخلفات بطريقة أخرى بحيث تعطي خليطاً من غازي الهيدروجين وأول أكسيد الكربون ، ويمكن تحويل هذا الخليط إلى كحول آخر يسمّى الكحول المثيلي .

ولقد نشأت فكرة استخدام الكحول كوقود في محركات السيارات في السبعينات في كل من البرازيل والولايات المتحدة الأمريكية ، وتم استعمال خليط من الغازولين والكحول الاثيلي النقي كوقود لإدارة محركات السيارات ، وبلغت نسبة الكحول في هذا الخليط نحو 22% . وقد أطلق على هذا الخليط اسم "الغازوهول" (Gasohol) ، وهي كلمة

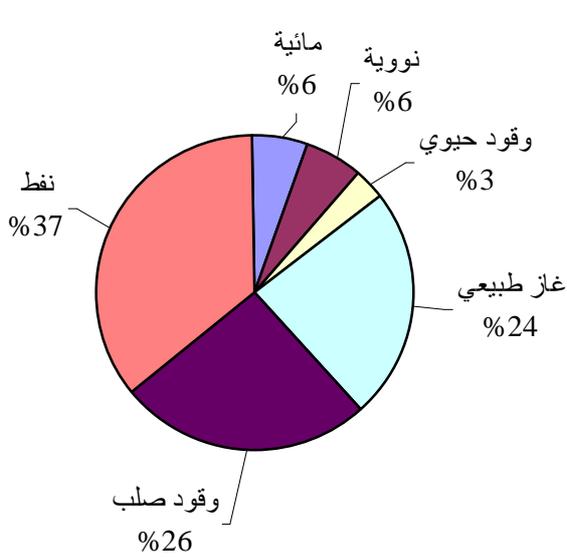
مشتقة من "غازولين" و "كحول" (Gasohol) . وعلى الرغم من ارتفاع سعر الكحول كثيراً مقارنة بسعر الغازولين بما قد يتجاوز الثلاثة أضعاف ، فإن له بعض الميزات الأخرى التي تؤهله للاستخدام في مكائن الاحتراق الداخلي . وإحدى هذه الميزات هي أن الرقم الاوكتيني للكحول أعلى من الرقم الاوكتيني للغازولين ، وهذه الخاصية تعوض النقص في قيمته الحرارية التي لا تزيد على ثلثي القيمة الحرارية للغازولين .

## 2-5 طاقة الكتلة الإخائية "الماضي والمستقبل"

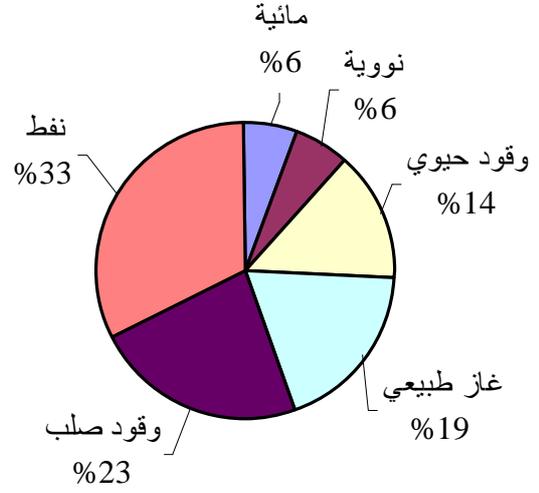
إلى حدّ القرن السابع عشر كان الوقود الحيوي (Biofuels) – إضافة إلى الشمس - هو المصدر الرئيسي للطاقة الحرارية والإنارة . والوقود الحيوي هو أية مادة صلبة أو سائلة أو غازية متكونة من موادّ عضوية تكون إما مباشرة من نبات أو بصورة غير مباشرة من المخلفات الصناعية أو الزراعية أو المنزلية .

ومن أهم تقنيات الوقود الحيوي إنتاج فحم الحطب (Charcoal) . وقد استمر استخدام هذا المصدر حتى تم تعويضه بالفحم الحجري في بداية النهضة الصناعية . وعلى الرغم من تعويض الخشب بأنواع أخرى من الوقود في الوقت الحاضر فإن الخشب يبقى الوقود الرئيسي لثلاثة أرباع سكان العالم ، وهم سكان القرى والأرياف في الدول النامية . وهناك دول مثل الحبشة والنيبال تستهلكا معظم طاقتها من الكتلة الحيوية . كما أن نسبة استهلاك مصادر الكتلة الحيوية الحالي في كل من كينيا والهند والبرازيل هي 75% و 50% و 25% على الترتيب . ويقدر استهلاك الكتلة الحيوية لكل شخص في الدول النامية بما بين نصف طن و طنين في العام من الخشب . ولمجموع الأربعة مليارات شخص في الدول النامية فإن الاستهلاك سيكون 3 جيغا طن من الكتلة الحيوية في السنة . ومع افتراض أن محتوى الطاقة هو 15 جيغا جول في الطن الواحد (1 جيغا جول =  $10^9$  جول) من الخشب فهذا يعني استنزاف طاقة سنوية تتراوح من 45 إلى 50 أكسا جول ( $10^{12}$  = EJ) . وحتى في الدول المتقدمة فإن الاستهلاك محدود وكميته حوالي 1\3 طن في السنة لكل شخص وهذه تكون نسبة استهلاك مقدارها 3% من الطاقة الكلية المستهلكة . وفي دول مثل النمسا والسويد وسويسرا وأمريكا ستكون نسبة استخدام الخشب كوقود في ازدياد . وإن مجموع طاقة الكتلة الحيوية المستهلكة في الدول المتقدمة تعادل 8 أكساجول . وبناء على ذلك فإن الاستهلاك العالمي يربو على 55 أكساجول أو ما يعادل 14% من الاستهلاك العالمي الكلي للطاقة . ويبين الشكل (5-1)

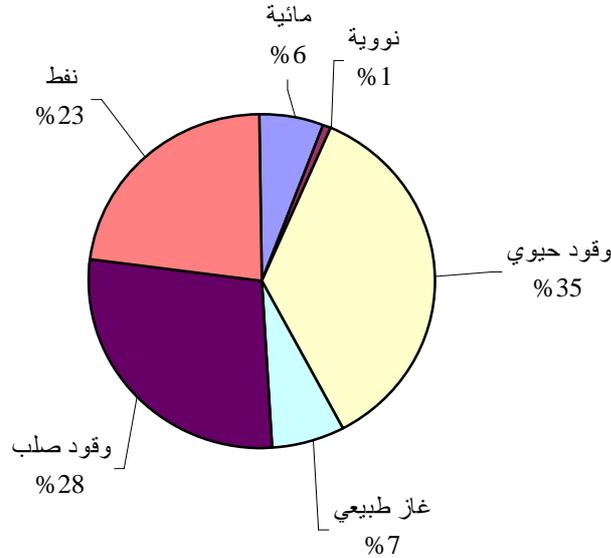
توزيع نسب استهلاك الطاقة الحيوية إلى مجموع استهلاك الطاقة العالمي وفي الدول المتقدمة والدول النامية .



شكل(1b-5): الدول الصناعية: الطاقة الكلية: 210 GJ/Y – طاقة الفرد: 250 EJ/Y



شكل(1a-5): الاستهلاك العالمي: الطاقة الكلية: 80GJ/Y – طاقة الفرد: 400 EJ/Y



شكل(1c-5): الدول النامية: الطاقة الكلية: 36GJ/Y – طاقة الفرد: 140 EJ/Y

شكل (1-5): توزيع نسب استهلاك الطاقة الحيوية إلى مجموع استهلاك الطاقة العالمي والدول المتقدمة والدول النامية

إن استخدام الخشب لإنتاج الطاقة ليس أمراً جديداً . فقد استخدم منذ آلاف السنين في التدفئة وطهو الطعام والإنارة، ولكن قلَّ استخدامه بعد شيوع استخدام الفحم في القرن التاسع عشر، وقلَّ استخدام الفحم بعد استخدام النفط في بداية القرن العشرين .

ويتكون الخشب من نوعين من المركبات هما السليلوز واللجنين . والليلوز عبارة عن مادة كربوهيدراتية تتكون من جزيئات كبيرة تتكرر فيها وحدات السكر ، وقد تصل هذه الوحدات في جزئي السليلوز إلى 3000 وحدة أو أكثر . أما اللجنين فيكون نحو 25% من وزن الخشب ، وهو يكون نسيجاً ضاماً يتخلل ألياف السليلوز ويربطها معاً .

لقد استخدم الخشب في كثير من الأغراض الأخرى . فقد استخدم في إنتاج الفحم النباتي المستعمل في اختزال الخامات عند تحضير بعض الفلزات ، كما استخدم الرماد الناتج من حرقه في تحضير بعض المحاليل القلوية وفي تحضير كربونات البوتاسيوم أيضاً .

لقد عرف الناس فائدة تقطير الخشب بعزله عن الهواء في نهاية القرن السابع عشر وحصلوا من هذه العملية ، إلى جانب الفحم النباتي ، على بعض الأبخرة التي تم تكثيفها بعد ذلك إلى سائل عرف باسم السائل الحمضي وإلى سائل آخر كثيف أطلق عليه اسم قطران الخشب .

وقام الكيميائي الألماني غلوبر (Glauber) عام 1658 بفصل حامض الخليك من هذا السائل الحمضي ، كما قام الكيميائي البريطاني بويل (Boyle) عام 1661 بفصل سائل طيار من السائل الحمضي أطلق عليه اسم روح الخشب (Spirit of Wood) وهو الذي أطلق عليه اسم الكحول المثيلي .

وتمكن الكيميائيون في النصف الثاني من القرن التاسع عشر من فصل الأستون من السائل الحمضي ، كما قاموا بفصل كثير من المركبات العضوية الأخرى من سائل القطران مثل بعض الأحماض الدهنية وغير المشبعة ، وبعض المركبات الأروماتية (العطرية) مثل الزايلين والكيومين والفينولات وهي جميعها مواد قابلة للاشتعال وتعطي قدراً من الحرارة عند احتراقها ، كما أن لكثير منها فوائد أخرى متعددة .

كان الاستعمال الرئيسي الشائع للخشب ، بالإضافة إلى كونه مصدراً للطاقة الحرارية، يهدف إلى الحصول على بعض هذه المركبات الناتجة من تقطيره بمعزل عن الهواء لاستخدامها في تحضير بعض العقاقير والأصبغ وغيرها من المواد النافعة . وإن استخدام الخشب كمصدر للطاقة لا يعني قطع الأشجار وتدمير الغابات ، إذ يمكن الاستفادة من الثروة الخشبية للغابات واستغلالها بطريقة منظمة وذلك بزراعة أنواع من الأشجار تتميز بسرعة نموها في مزارع خاصة وصفوف متقاربة للاستفادة من مساحة الأرض على أكمل وجه ، ثم تقطع هذه الأشجار بعد عدة سنوات عند اكتمال نموها وتترك جذورها وبراعمها سليمة لتنتج أشجاراً جديدة توفر مزيداً من الخشب لاستخدامه في دورة أخرى ، وهكذا .

وتوجد طرق عديدة لإنتاج الطاقة من الخشب منها الطريقة الحرارية ، وهي تتمثل في إحراق الخشب بطريقة مباشرة واستخدام الحرارة الناتجة أو تتضمن تسخين الخشب وتقطيره بمعزل عن الهواء واستخدام ما ينتج من غازات وأبخرة كمصدر للحرارة . والقيمة الحرارية للخشب عالية فهي تبلغ نحو 19800 كيلوجول لكل كيلوغرام من الخشب الجاف الخالي من الرطوبة ، وهي تقل إلى حد ما عن القيمة الحرارية للفحم التي تبلغ 28000 كيلوجول لكل كيلوغرام من الفحم . ونظراً إلى احتواء الخشب عادة على قدر متغير من الرطوبة فإن القيمة الحرارية لأنواع الخشب العادية تقل عن ذلك بنسب مختلفة تتوقف على كمية الرطوبة الموجودة فيها . وهناك طريقة كيميائية أخرى لاستخدام الخشب في إنتاج الطاقة، تتمثل في تعريض رقائق الخشب أو نشارته إلى بعض المواد الكيميائية تحت ضغط مرتفع وفي درجة حرارة عالية، وتعطي هذه الطريقة زيوتاً تقبل الاشتعال ويمكن استعمالها وقوداً سائلاً . وقد أقيم مصنع تجريبي لهذا الغرض في الولايات المتحدة استخدمت فيه هذه الطريقة لتحويل الخشب إلى زيت قابل للاشتعال ، وتبين من هذه التجارب أن كل 405 كيلوغرامات من رقائق الخشب تعطي برميلاً واحداً من الزيت ، وهي نسبة لا بأس بها .

ويمكن أيضاً تحويل الخشب إلى غاز وذلك لأنه يحتوي على قدر صغير من الرماد لا يزيد على 2% من وزنه ، كما أنه يحتوي على قدر ضئيل من الكبريت لا يزيد على 0.1% وبذلك لن تحتوي الغازات الناتجة منه إلا على قدر ضئيل جداً من مركبات الكبريت الضارة . كذلك فإن الخشب غير متغير التركيب أي إنه يتكون دائماً من نسب

ثابتة من كل من الكربون والهيدروجين والأوكسجين وبذلك يكون تركيب الغازات الناتجة منه ثابتة أيضاً إلى حد كبير .

#### 4-5 الكتلة الأحيائية كوقود

توجد بعض المواد القابلة للاحتراق كالخشب والورق والقش والفحم والنفط والغاز الطبيعي ، ومواد أخرى غير قابلة للاشتعال كالرمل والملح والماء . فلماذا ؟ ما الذي يجعل مادة كالنفط مثلاً تحترق ومادة أخرى لا تحترق ؟ قبل البحث عن جواب يجب معرفة بعض الحقائق عن الاحتراق وهي :

- تحتاج عملية الاحتراق إلى هواء أو أوكسجين على وجه التحديد
- الوقود بعد الاحتراق يختفي أو يتغير بشكل كبير
- تنتج حرارة من الاحتراق

وعلى هذا الأساس فإن الوقود هو مادة تتفاعل مع الأوكسجين وتتغير كيميائياً وتحرر طاقة. ولدينا معلومات كافية عن مركبات منتجات الوقود الرئيسية ، ولهذا يمكن أن نسخر المكونات الناتجة من الاحتراق . فمثلاً غاز الميثان هو وقود حيوي ، وهو كذلك المركب الرئيسي للغاز الطبيعي ، ويتكون من الكربون والهيدروجين (CH<sub>4</sub>) . وكل جزيئة تحتوي على ذرة كربون واحدة وأربع ذرات هيدروجين . وعند احتراقه مع غاز الأوكسجين (الذي يتكون من ذرتين من الأوكسجين (O<sub>2</sub>)) فإنه يحرر طاقة وفق المعادلة التالية :



إن ترتيب ذرات الكربون C والهيدروجين H والأوكسجين O ، هو نوع من عملية التدرج في الطاقة . إن طاقة ثاني أكسيد الكربون والماء هي أقل بكثير من طاقة الوقود الأصلي (الميثان) والأوكسجين ، والفرق بين كميتي هاتين الطاقتين يتحرر على شكل حرارة . وتتماسك الجزيئات بشكل رئيسي نتيجة للقوى الكهربائية ، وعليه يمكن القول إن الاحتراق هو عملية تتحول فيها الطاقة الكهربائية المخزونة إلى حرارة .

وبالرغم من أن الاحتراق الذي ذكرناه سابقاً يمثل حرق غاز الميثان إلا أنه يعبر عن كل الملامح الناتجة عن حرق أي غاز . فأى مركب يحتوي على الكربون والهيدروجين يتفاعل مع الأوكسجين الموجود في الهواء لينتج ثاني أكسيد الكربون والماء (يكون الماء

الناتج على شكل بخار ماء) فإذا علمنا الكتل النسبية للمكونات يمكن أن نحسب كمية ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء الناتجة من حرق كمية معينة من الوقود .

### مثال:

إذا كان معدل ما يستخدم في مكان ما 60 جيجا جول في السنة لأغراض التدفئة وتسخين الماء ، وإذا كان الغاز المستعمل لهذا الغرض هو غاز الميثان وكفاءة منظومة الاحتراق تعادل 60% . فما هي كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعثة من الموقع في السنة ؟

### الحل:

غاز الميثان (CH<sub>4</sub>) يتكون من الكربون والهيدروجين وكتلة ذرة كل منهما هي 12 و 1 على التوالي ، وكتلة ذرة غاز الأوكسجين هي 16 .



وعليه يمكن أن نرى أنه بحرق 16 طناً من الميثان ينتج 44 طناً من غاز ثاني أكسيد الكربون. والمحتوى الحراري للغاز الطبيعي هو 55 جيجا جول بالطن ، وعليه فإن حرق 16 طناً من الغاز الطبيعي يحرر 880 جيجا جول من الحرارة ، وينتج 44 طناً من غاز ثاني أكسيد الكربون . لذلك فإننا نحصل على طن واحد من غاز ثاني أكسيد الكربون لكل 20 جيجا جول من الحرارة . وعندما تكون كفاءة المنظومة 60% فإن المنظومة تحتاج إلى وقود ينتج 100 جيجا جول لينتج 60 جيجا جول من الحرارة المفيدة ، لهذا فإن المكان يقوم بابتعاث 5 أطنان من ثاني أكسيد الكربون سنوياً .

إن النفط والفحم هما المصدران الآخران من مصادر الوقود ، ولكنهما أعقد من غاز الميثان وطريقة احتراقهما مشابهة لطريقة احتراقه . فالحرارة المتحررة من طن واحد من الوقود أقل ، ولكن نسبة ذرات الكربون إلى الهيدروجين تكون أكثر ، ولهذا فإنهما يبعثان كمية أكبر من ثاني أكسيد الكربون بالنسبة لوحدة الحرارة المتحررة كما هو موضح بالجدول (1-5) . وهذان النوعان من الوقود تكونا نتيجة للتغيرات الجيولوجية عبر مئات الملايين من السنين على النباتات والحيوانات ، وهما متكونان من هيدروكربونات وبشكل رئيسي من كربون وهيدروجين .

الجدول (1-5) نسب الكربون والهيدروجين والأوكسجين في الوقود

الوقود	نسب الذرات			النسبة المئوية بالوزن			كمية ثاني أوكسيد الكربون المنبعثة بالنسبة لكل جيجا جول
	C	H	O	C	H	O	
الفحم	1	1	0.1	85%	6%	9%	120 كغ
النفط	1	2	0	85%	15%	0	75 كغ
الميثان	1	4	0	75%	25%	0	50 كغ
الخشب	1	1.5	0.7	49%	6%	45%	77 كغ

معظم الوقود الأحيائي ينتج من مصادر الكتلة الأحيائية التي تحتوي على أوكسجين . وإن جزيئات المواد البيولوجية أكبر وأكثر تعقيداً من غاز الميثان ، ولكن يمكن تمثيل احتراقها بطريقة بسيطة . لناخذ مثلاً الهيدوكربونات ، فنسبة مكوناتها هي جزيئات من الهيدروجين وجزيئ من الأوكسجين لكل جزيئة كربون ، لذلك فإن عملية الحرق ستكون كالتالي :



يبين الجدول (2-5) كمية الطاقة التي تحتوي عليها مصادر مختلفة للطاقة

الجدول (2-5) معدل محتوى الطاقة لأنواع مختلفة من الوقود البيولوجي

الوقود	محتوى الطاقة	
	جيجا جول لكل طن	جيجا جول لكل مترمكعب
الخشب (20% رطوبة)	15	10
الورق (صحف محلية)	17	9
المخلفات الحيوانية (روث)	16	4
القش	14	1.4
قصب السكر	14	10
مخلفات المجاري	9	1.5
النفط	42	34
الفحم	28	50
الغاز الطبيعي	55	0.04

5-5 استخلاص الطاقة (Extracting The Energy)

حتى يكون الوقود الأحيائي منافساً للوقود التقليدي ، فإنه يجب أن يكون مقارباً لسعره ، بالإضافة إلى ضرورة وفرته وسهولة نقله . وإن المصادر التقليدية كالنفط والغاز لها

قيمة عالية وذلك لإمكانية تخزينها بتكلفة قليلة ، وهي متوفرة عند الحاجة إليها . وهذه المصادر ، بالإضافة إلى الطاقة الكهربائية ، تعتبر من أنواع الطاقة التي تتميز بسهولة نقلها من مكان إلى آخر .

وتتوفر مصادر الكتلة الحيوية بأشكال مختلفة مثل الخشب ، والمخلفات الحيوانية ، ونشارة الخشب ، والقش ، والورق القديم ، والمخلفات المنزلية ، ومخلفات المجاري . ومعظم هذه المصادر تتحلل بسرعة ، وقسم منها له قابلية خزن جيدة . ولكون معظم هذه المصادر ذات كثافة وقليلة الطاقة فإن نقلها من مكان إلى آخر بعيد نسبياً يكون مكلفاً .

إن طرق استخلاص الطاقة حسب تعقيد عملية الاستخلاص هي كالتالي :

- أ - الحرق المباشر كوقود الأفران أو إنتاج الفحم من الأشجار والأخشاب .
- ب - الحرق بعد إجراء عمليات فيزيائية بسيطة تتضمن الفصل أو التكسير أو الضغط أو التجفيف .
- ج - العمليات الحرارية الكيميائية لتحسين كفاءة الوقود الأحيائي . وهذه العمليات تتضمن الانحلال الحراري والتسييل أو تحويلها إلى غاز .
- د - العمليات البيولوجية ، وهي عمليات طبيعية مثل التخمر الهوائي والتخمير بمعزل عن الهواء وذلك بتأمين ظروف مناسبة لتتيح إنتاج وقود غازي أو وقود سائل .

النتائج الأولى من بعض هذه الطرق هو الحرارة . وتستخدم هذه الحرارة عادة في العمليات الكيميائية أو التدفئة أو لتوليد بخار لغرض تدوير التوربينات الكهربائية . أما النتائج الأخرى من بعض الطرق المشار إليها أعلاه فهو وقود صلب أو سائل أو غازي مثل الفحم النباتي وغيره .

## 6-5 الحرق المباشر (Direct Combustion)

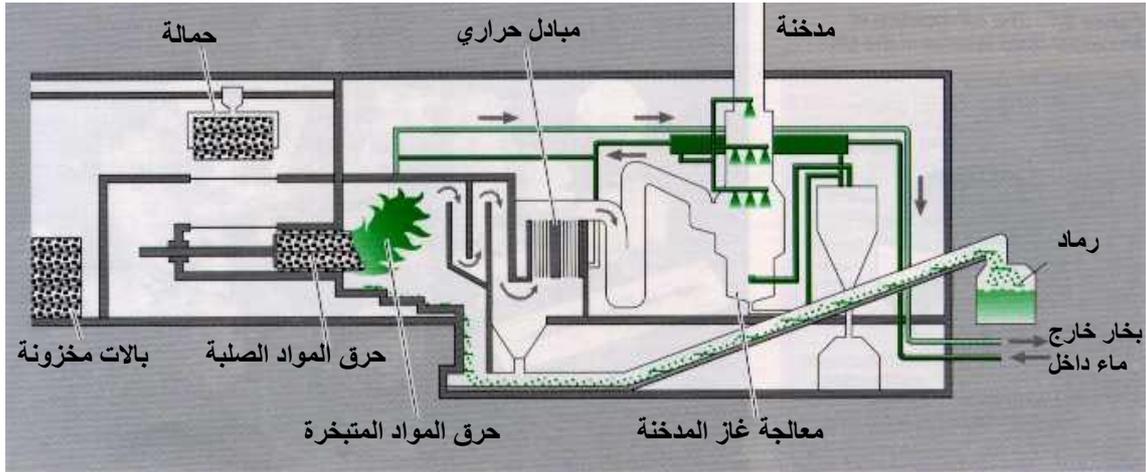
إن تبخير كمية من الماء موضوعة في قدر هي عملية بسيطة ، لكنها ، لسوء الحظ عملية غير كفأة إطلاقاً . ويبين الجدول (5-2) أن محتوى الطاقة في كل متر مكعب من الخشب المجفف بواسطة الهواء يساوي 10 جيغا جول (GJ) أو ما يعادل عشرة ملايين كيلو جول . ورفع درجة حرارة لتر من الماء بمقدار درجة مئوية واحدة يتطلب طاقة مقدارها 4.2KJ . إن تبخير لتر واحد من الماء يتطلب من الطاقة ما يعادل 400KJ أي

ما يعادل 40 سنتمتراً مكعباً من الخشب أو قطعة صغيرة منه . ولكننا في التطبيق العملي نحتاج إلى كمية خشب أكثر بخمسين مرة من الكمية المذكورة أعلاه لتبخير هذه الكمية من الماء ، وذلك لأن كفاءة التحويل لا تزيد على 2% بسبب الضياع في الطاقة . ولتصميم فرن خاص كُفء يستهلك القليل من الوقود فإن ذلك يتطلب فهماً لعمليات احتراق الوقود الصلب .

إن عملية الاحتراق تتكون من مرحلتين ، وذلك لأن أي وقود صلب يحتوي على مركبين قابلين للاحتراق . وعند ارتفاع درجة الحرارة تتطاير المادة وتحرر على شكل خليط من بخار القطران والزيت . واحتراق هذا الخليط يكون لهباً يمكن رؤيته حول الخشب أو الفحم . أما الجزء الصلب المتبقي فإنه يتكون من خشب محروق يتركب من كربون ويحترق لينتج ثاني أكسيد الكربون وبعض البقايا كالكش (الرماد) .

ومن خصائص الوقود الأحيائي أن ثلاثة أرباع طاقته أو أكثر تكون على شكل مادة متطايرة (يختلف الفحم عن هذا ، إذ أن طاقة المادة المتطايرة فيه أقل من نصف الكمية). ولهذا فإنه من المهم عند تصميم أي فرن التأكد من أن هذه الغازات المتطايرة تحترق ، ولا تخرج من المدخنة دون احتراق . وللحصول على احتراق كامل يجب أن يصل الهواء إلى الخشب ، ويتم ذلك بتقسيمه إلى أجزاء صغيرة ، ويجب أيضاً السيطرة على الهواء عند استخدام كمية قليلة من الأوكسجين ، إذ أن الاحتراق عندما يكون كاملاً يولد أول أكسيد الكربون ، الذي هو غاز سام . أما عند استخدام كمية كبيرة من الهواء فستكون هنالك خسائر وضياح في الطاقة لأن قسماً من الحرارة سيتبدد مع الغازات الخارجة .

والأنظمة الحديثة لمحارق الوقود الأحيائي تختلف باختلاف الوقود الأحيائي نفسه . وتتراوح المحارق من أفران صغيرة مصممة لترشيد الاستهلاك في دول العالم الثالث ، إلى مراحل بخارية كبيرة ذات سعة حرارية تقدر بالميجاواتات . ويوضح الشكل (5-2) منظومة احتراق كبيرة السعة .



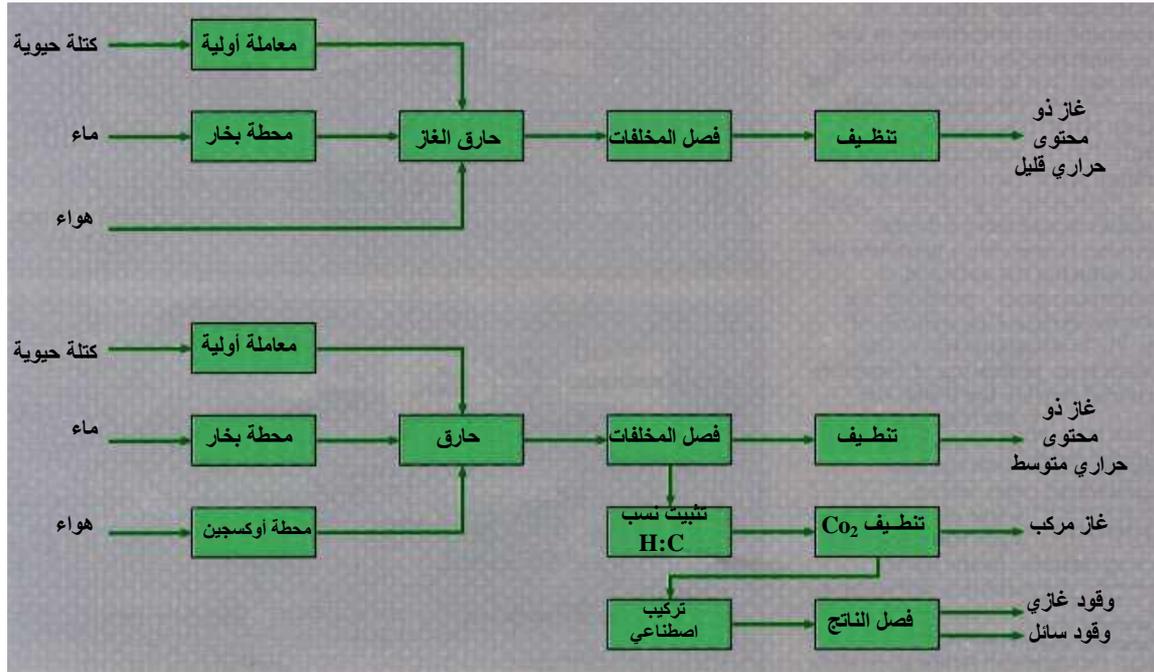
شكل (2-5): منظومة احتراق كبيرة الحجم

إن الحرق المباشر هو إحدى الطرق المستخدمة لاستخلاص الطاقة من النفايات المنزلية التي ليست هي الوقود المثالي ، إذ تتكون من مواد مختلفة ورطوبة عالية تصل إلى 20% أو أكثر أحياناً ، وكثافة طاقتها قليلة لدرجة أن المتر المكعب منها يحتوي على طاقة تعادل 30% من طاقة الفحم الحجري لنفس الحجم . ونقل هذا النوع من الوقود مكلف أيضاً ، وحرقة يتطلب منظومة خاصة به .

إن تطوير أنظمة الحرق المباشر يحظى بعناية في مختلف دول العالم ، وخاصة الدول الأوروبية . وأفضل طريقة مستخدمة الآن تدعى تجميع وقود القمامة المفيدة (Densified Refuse-derived, fuel) ، وتتضمن فصل الجزء القابل للاحتراق من القمامة وبعدها يتم سحقها وكبسها وتجفيفها لإنتاج وقود صلب يحتوي على كثافة طاقة تعادل حوالي 60% من طاقة الوقود .

#### 7-5 عملية إنتاج الوقود الغازي (Gasification)

يتضمن إنتاج الوقود الغازي عدة عمليات يتم فيها تعرض الوقود الصلب إلى بخار حار وهواء أو أوكسجين لإنتاج وقود غازي . ويوضح الشكل (3-5) مثل هذه العملية . وتوجد عدة أنواع من هذه المنظومات وبدرجة حرارة تشغيل تتراوح من عدة مئات من الدرجات المئوية إلى ألف درجة مئوية ، وضغوط تتراوح من ضغط جوي واحد إلى غاية 30 ضغط جوي . والغاز الناتج هو خليط مكوناته الرئيسية أول أكسيد الكربون ، والهيدروجين، والميثان بالإضافة إلى وجود ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين وبنسب تعتمد على ظروف العملية وفيما إذا استخدم فيها الهواء أو الأوكسجين .



شكل (5-3): عمليات إنتاج الوقود الغازي

و عملية إنتاج الوقود الغازي ليست جديدة . فعملية تحويل الفحم الحجري إلى وقود غازي كانت مستخدمة بصورة واسعة لعدة عقود قبل إبدالها بالغاز الطبيعي . وهناك أسباب عديدة لعودة الاهتمام بهذا الموضوع الآن ، منها أن الوقود المنتج أكثر نظافة من حرق القمامة أو مواد الكتلة الحيوية الأخرى . كذلك يمكن خلال هذه العملية فصل المواد الكيميائية الملوثة للبيئة والمواد الأخرى التي تسبب الدخان عند احتراق الوقود ، بالإضافة إلى أن الغاز هو وقود متعدد الاستخدام ، وأحد الاستخدامات هو الحرق المباشر . ويمكن كذلك استخدام الغاز في محركات الاحتراق الداخلي أو توربينات الغاز . وأخيراً فإن عملية إنتاج الوقود تحت ظروف مناسبة يمكن أن تنتج الغاز المركب الخليط من أول أكسيد الكربون والهيدروجين والذي يمكن استخدامه كبديل لإنتاج أي من الهيدروكربونات .

#### 8-5 الانحلال الحراري (Pyrolysis)

إن عملية الانحلال الحراري هي أسهل وأقدم طريقة تستخدم وقوداً معيناً لإنتاج وقود يفوقه جودة . والطريقة التقليدية تتضمن تسخين المادة الأصلية دون وجود الهواء وتحت درجة حرارة تتراوح من  $300^{\circ}\text{C}$  إلى  $500^{\circ}\text{C}$  حتى يتم طرد المادة المتطايرة .

وستكون بقية المادة فحماً نباتياً وهو وقود له ضعف كثافة طاقة (وات/م<sup>2</sup>) من المادة الأصلية ، ويحترق في درجات حرارة عالية .

وكان إنتاج الفحم النباتي ، خلال عدّة قرون ، يتمّ في كافة أنحاء العالم من الانحلال الحراري للخشب . واعتماداً على نسبة الرطوبة وكفاءة عملية الانحلال فإنه يتم استخدام من 4 إلى 10 أطنان من الخشب للحصول على طن من الفحم النباتي .

وعند استخدام التقنيات المتقدمة يتم جمع المواد المتطايرة ، وفي حالة اختيار درجة حرارة مناسبة تتم السيطرة على المكونات . وإن الوقود السائل يشبه النفط ، لكنه ملوث بحوامض ينبغي التخلص منها قبل الاستعمال .

إن الانحلال الحراري لمواد نباتية ، كالخشب في درجات تتراوح بين 800 و 900 درجة مئوية يترك نسبة قليلة تقدر بحوالي 10% من المادة كفحم صلب وحوالي 60% كغاز غني بالهيدروجين وأول أكسيد الكربون . وهذه تعطي قوة لعملية الانحلال وتجعلها منافسة لطرق إنتاج الغاز ، لكن يجب أن يتم تطوير هذه العملية لإنتاج وقود على النطاق التجاري .

وتعتبر عملية الانحلال الحراري التقليدية مرغوبة تكنولوجياً . ودرجات الحرارة القليلة نسبياً تعني أن هناك قليلاً من الملوثات التي تنبعث عند الاحتراق الكامل ، وهذا يعطي هذه العملية مزايا إيجابية بيئية عند تعاملها مع فضلات معينة . وتجري الآن محاولات عديدة للتعامل مع الفضلات البلاستيكية وإطارات السيارات القديمة ، لكنها لا تزال قيد التطوير .

#### 9-5 الوقود الصناعي (Artificial Fuel)

عند استخدام الأوكسجين ، بدل الهواء ، في تحويل الوقود إلى غاز فإن الناتج سيكون الهيدروجين (H<sub>2</sub>) و أول أكسيد الكربون (CO) وثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) . والإمكانية المثيرة هنا هي عند فصل ثاني أكسيد الكربون عن الخليط ليكون المتبقي غازاً يدعى "الغاز الصناعي" . وعند تفاعل مكونات هذا الغاز يمكن إنتاج غاز الميثان النقي (CH<sub>4</sub>) كالتالي :



ومن الممكن أيضاً إنتاج الميثانول (CH<sub>3</sub> OH) ، وهو هيدروكربون سائل ذو كفاءة طاقة مقدارها 23 جيجا جول للطن الواحد . وإنتاج الميثانول بهذه الطريقة يتطلب سلسلة من عمليات كيميائية معقدة بدرجات حرارة وضغط عاليين ومعدات عالية الكلفة . وقد يخطر تساؤل هو : لماذا يتم الاهتمام بهذا المنتج بهذه الطريقة ؟ والجواب هو أن الميثانول وقود سائل ممتاز كبديل للغازولين . ففي الوقت الحاضر يعتبر إنتاج الميثانول باستخدام الغاز الصناعي من الكتلة الحيوية غير مقبول من الناحية التجارية لكن التكنولوجيا اللازمة له موجودة ، وقد طورت لاستخدام الفحم الحجري في بعض الدول الصناعية الغنية بالفحم في الأوقات التي يكون فيها تزويد النفط مهدداً بالخطر .

#### 10-5 الهاضم اللاهوائي (Anirobic Digester)

وهذه العملية تتم أيضاً بدون وجود الهواء . وفيها يتم التحليل هنا بواسطة البكتريا بدلاً من درجات الحرارة العالية التي تستخدم في طريقة الانحلال الحراري . وهذه العملية تحدث في أية مادة بيولوجية وتحت ظروف حارة ورطبة وبدون وجود الهواء ، وتتم بشكل طبيعي عند تحلل الفضلات النباتية في قعر الحوض فتنج غاز الميثان (Methane Gas) الذي يصعد إلى السطح ويجمع من هنالك . والتخمر اللاهوائي (Anirrobic Fermentation) يحدث أيضاً باستخدام المخلفات الحيوانية والبشرية وباستخدام طريقتين: إحداهما طريقة الغاز الحيوي (Biogas) الذي يتولد من تركيز الفضلات البشرية والحيوانية ، والأخرى طريقة غاز الردم أو الطمر الصحي (Landfill gas) الذي يتولد في مواقع طمر النفايات . وفي كلتا الحالتين يكون الغاز المتكون عبارة عن خليط من غاز الميثان وأول أكسيد الكربون .

إن التفاصيل الكيميائية لإنتاج الغاز الأحيائي وغاز الطمر الصحي معقدة ، لكن يبدو أن خلط مستعمرات من البكتريا يفكك المادة العضوية إلى سكر ومن ثم إلى حوامض تتحلل وتتحول إلى غاز .

#### 1-10-5 الغاز الأحيائي (Bio Gas)

تدفع الفضلات والقش ، وهي المواد المستخدمة في هذه العملية ، إلى الهاضم (Digester) الذي يحتوي على 95% من حجمه ماء . ويتراوح حجم الهواضم من متر

مكعب واحد (كالهاضم المنزلي) إلى عشرة أضعاف هذا الحجم (كالهاضم الريفي) كما في الشكل (4-5) ، وقد يصل حجم الهاضم إلى 2000 متر مكعب كما في حالة المنظومات التجارية . وتكون تغذية المواد إلى الهاضم إما مستمرة أو على شكل دفعات. وتستغرق عملية التخمير من عشرة أيام إلى عدة أسابيع . وتولد عملية الهضم حرارة ، ولكن عند نصب هذه المنظومات في المناطق الباردة فمن المطلوب إضافة حرارة لأن الحرارة المثالية المطلوبة لتوليد الغاز الحيوي هي أكثر من  $35^{\circ}\text{C}$  .

والهاضم الذي يعمل بصورة جيدة ينتج من 200 إلى 400 متر مكعب من الغاز الذي يحتوي على نسبة من 50% إلى 75% من الميثان لكل طن جاف من المادة المستخدمة أو ما يعادل 11 جيجا جول (GJ) من الطاقة المفيدة . وتعتبر عملية إنتاج الغاز بهذه الطريقة مفيدة حتى في الحالات التي تكون فيها كفاءة التحويل قليلة وذلك نظراً إلى أن الإنتاج هو غاز نظيف والنتاج العرضي الذي تكوّن من العملية سيكون سماداً مفيداً .

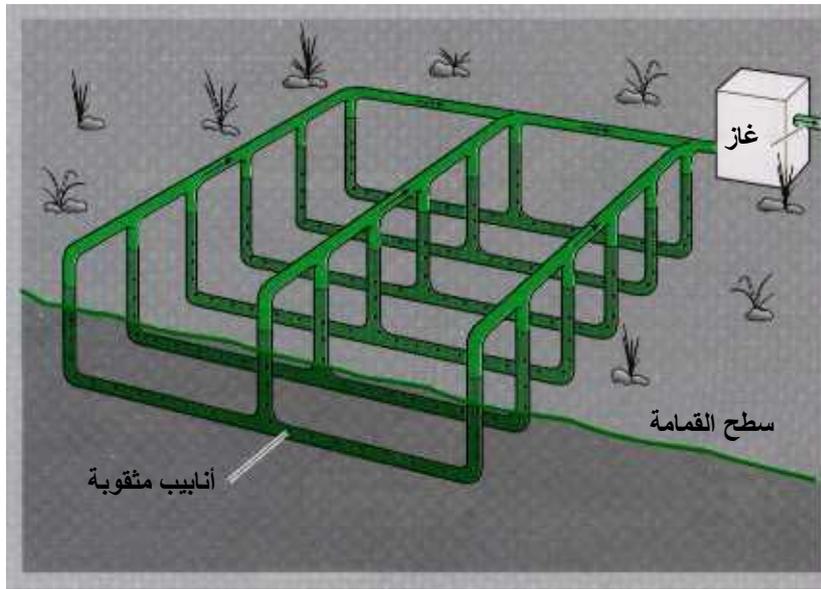


شكل (4-5): هاضم ريفي

#### 2-10-5 غاز الطمر الصحي (Bypass Product)

إن جزءاً كبيراً من مواد القمامة هي مواد بيولوجية يتم رميها غالباً في مناطق طمر منعزلة . وهذه القمامة (Vertices) تكون مناسبة للتخمر اللاهوائي ، وينبعث منها غاز الميثان . وعملية التخمير في هذه المواقع تكون أبطأ ، وربما تستغرق أعواماً بدلاً من أسابيع ، وذلك لعدم توفر ظروف مناسبة كالحرارة والرطوبة . والنتاج النهائي هو غاز خليط من غازي الميثان وثاني أكسيد الكربون . ويتراوح إنتاج هذه الهاضمات نظرياً

من حوالي 150 إلى 300 متر مكعب من الغاز مقابل طن من الفضلات ، وتكون نسبة غاز الميثان فيها متراوحة من 50% إلى 60% ، وبهذا يتم الحصول على طاقة تعادل من 5 إلى 6 جيغا جول لكل طن من القمامة . وعند التطبيقات العملية يكون الإنتاج أقل بكثير من هذه الكمية . وإذا ما توفرت بعض الظروف الطبيعية كتغطية المساحة بعد ملئها بالطين أو مواد مشابهة فإنه يمكن جمع الغاز المتكون بواسطة أنابيب مثقوبة ومدفونة مع الفضلات على عمق حوالي 20 متر ومربوطة من نهايتها بأنبوب يصل إلى خزان كما في الشكل (5-5) . وفي الغالب يتم نصب شبكة الأنابيب في الموقع قبل طمرها بالنفايات .



شكل (5-5): استخلاص الغاز من الطمر الصحي

## 11-5 التخمر (Fermentation)

عرفنا كيف يتم إنتاج الكحول (الميثانول) من الكتلة الحيوية عبر سلسلة معقدة من العمليات الكيميائية وذلك عند حديثنا عن استخدام الغاز الصناعي . وتوجد عدة طرق يمكن استخدامها لإنتاج الكحول من الكتلة الحيوية كما يعرفها تجار الخمور ومنتجوها .

إن التخمر عملية بيولوجية لاهوائية يتم فيها تحويل السكر إلى كحول بفعل كائنات حية صغيرة كالموجودة في الخميرة . والكحول الناتج هو إيثانول ( $C_2H_5OH$ ) بدلاً من الميثانول ، ولكن يمكن استخدامه في مكائن الاحتراق الداخلي إما مباشرة في مكائن مناسبة محسنة على شكل خليط من الغاز وهول الذي يتكون من غازولين يحتوي على 20% من الإيثانول .

و قيمة أي مادة صالحة من مواد الكتلة الحيوية تعتمد على كمية ما تحتوي عليه من السكر. وأفضل مصدر للإيثانول هو قصب السكر أو الدبس . والمواد الأخرى التي تحتوي على النشويات ، مثل البطاطا والذرة والحبوب الأخرى ، ينبغي تحويل النشا فيها إلى سكر. وحتى الخشب يمكن أن يكون مادة صالحة لكن الكربوهيدرات والسليولوز التي يحتوي عليها مقاومة للتحويل إلى سكر بواسطة الحوامض والأنزيمات .

والسائل الناتج من التخمير يحتوي على 10% من الإيثانول الذي يجب أن يقطر قبل استخدامه كوقود . والمحتوى الطاقوي في المنتج النهائي حوالي 30 GJ/ton أو 24 GJ/m<sup>3</sup>. والعملية الكاملة تحتاج إلى كمية كبيرة من الحرارة التي تجهز عادة من مخلفات النباتات . والجدول (3-5) يبين كميات الإيثانول التي يمكن إنتاجها من طن من المواد الأولية أو لكل هكتار من الأرض لمنتجات مختلفة . والطاقة اللازمة لعملية التخمير يمكن تعويض خسارتها بسبب سهولة خزن الوقود السائل ونقله ورخص عملية التخمير بهذه التقنية .

جدول (3-5) : كميات الإيثانول الممكن إنتاجها من بعض المواد الزراعية

المادة الأولية	لتر لكل طن	لتر لكل هكتار
قصب السكر	70	400-12000
الذرة	360	250-2000
جذور المنيهوت	180	500-4000
بطاطا حلوة	120	1000-4500
خشب	160	160-4000

## 12-5 المخلفات الزراعية

توفر مخلفات المحاصيل والحيوانات ، في عدّة دول كميات كبيرة من الطاقة ، ويأتي ترتيبها مباشرة بعد الخشب الذي يعتبر المصدر الرئيسي من مصادر الكتلة الحيوية المستخدمة لإنتاج الطاقة . وقد بلغ مقدار استغلال فضلات القش والمحاصيل في الهند عام 1985 : 110 ميغا طن ، بينما كانت كمية الخشب المستغلة 133 ميغا طن . أما في الصين فإن وزن المخلفات النباتية كان أكبر بمرتين ونصف من كمية الخشب المستخدم.

## 5-11-1 مخلفات الخشب

توفر عمليات تقليم الأشجار وقطع الأغصان اليابسة كميات كبيرة من مخلفات الغابات، وبَدَل أن تهمل هذه المخلفات حتى في الدول التي تستورد الطاقة فإنه يمكن جمعها وتجفيفها واستخدامها وقوداً في المناطق القروية .

ويمكن لمناطق الدول النامية ، التي تستخدم الفحم النباتي كوقود ، أن تنتج هذا الفحم على عين المكان دون حاجة إلى دفع مصاريف نقل . ولقد تم تطوير معدات ميكانيكية في أوروبا وأمريكا خلال السنوات الماضية لإنتاج قطع صغيرة من الخشب يمكن حملها وتجفيفها بسهولة .

إن استخدام مخلفات الغابات لإنتاج بخار للتدفئة أو توليد الطاقة ما فتى يتنامى في بعض دول العالم . وتنتج بعض شركات توليد الطاقة الأمريكية عدة جيغاواط من الطاقة الكهربائية من محطات تستخدم مصادر الكتلة الحيوية ، ومعظم هذه المحطات أنشئت خلال السنوات العشر الأخيرة . فالنمسا تنتج 1250 ميغاواط من مخلفات الغابات لغرض التدفئة المنزلية ومنظومات التدفئة ، ومعظم منظومات التدفئة سعتها 1-2 ميغاواط ، مع قسم قليل من وحدات أكبر (15 MW) . أما بريطانيا فإنها تنتج حوالي 2.3 ميغا طن من مخلفات الغابات تمثل حوالي 40 بيتا جول من الطاقة ، وهذه تلبي حاجة السوق التجاري المقدرة بحوالي 0.2 ميغا طن سنوياً . وتشير التقديرات أنه يمكن استخدام 25% من المجموع لتغذية عدة محطات ذات سعة كلية مقدارها 50 ميغاواط . إن بقايا قطع الأخشاب من غبار القطع والقطع الزائدة الناتجة عن تلك العمليات تصلح لأن تكون وقوداً جيداً . أما شركات صناعة الأثاث البريطانية فقد قدرت أنه بإمكانها استخدام 35000 طن من المخلفات في العام الواحد ، وهو ما يعادل ثلث إنتاجها . أما في السويد فإن طاقة الكتلة الحيوية تمثل 15% من طاقتها الرئيسية .

## 5-11-2 نفايات المحاصيل

في كل عام يتم إنتاج 14 مليون طن من القش في بريطانيا معظمه فائض عن الحاجة، ويتم حرقه في الحقول . وقد انخفض حالياً استخدام هذه المادة (القش) لأغراض التدفئة وذلك لرخص أسعار النفط ، ومع ذلك فإن 200 000 طن من القش يستخدم سنوياً لأغراض التدفئة ومن المحتمل أن يرتفع الاستهلاك إلى 800 000 طن في نهاية القرن

العشرين . أما في الدنمارك فقد تم نصب 54 منظومة تدفئة في مناطق قروية في السنوات العشر الماضية ومعظمها بسعة تتراوح بين 3 و5 ميغاواط . وتقدر بعض بقايا المحاصيل الأخرى بحوالي 1.6 مليون طن وترمى في بريطانيا كل عام ، وهي محاصيل جديدة تتراوح نسبة الرطوبة فيها من 60% إلى 80% . وهذه المحاصيل هي من البطاطا وقصب السكر وجذور الشوندر ، إضافة إلى 5 ملايين طن من بقايا المشاتل والحدائق . وهذه النفايات الرطبة يمكن أن تكون ملائمة لعمليات التخمر أكثر من حرقها كوقود .

### 3-11-5 النفايات الحيوانية

إن المشاكل البيئية التي تسببها مخلفات الحيوانات من حيث الرائحة وتلوث المياه قد شجعت بعض الفلاحين على بناء هواضم (Digesters) في مزارعهم . ويمكن استخدام الغاز المنتج من هذه الهواضم في أغراض التدفئة أو الطبخ أو توليد الطاقة أحياناً . أما بقايا الأبقار والدجاج والخنازير فهي من النفايات المعروفة حالياً . ففي أوروبا ، وخاصة في الدنمارك وهولندا والمملكة المتحدة ، ينتج سنوياً 7 ملايين طن من بقايا هذه الحيوانات وبمحتوى طاقة قدرها 110 بيتاجول (10<sup>15</sup> جول) . وبالرغم من أن قسماً قليلاً من هذه المصادر مفيد اقتصادياً من ناحية محتوى الطاقة إلا أنه يمكن توليد الغاز الحيوي كناتج مفيد من الهاضمات اللاهوائية .

لقد تم بناء منظومات صغيرة ، تقدر بعشرات الملايين ، تستخدم الفضلات البشرية والحيوانية لإنتاج الطاقة وبصورة واسعة في كل من الهند والصين حيث استخدمت أنواع مختلفة من المنظومات ذات كلفة رخيصة .

وفي بعض دول العالم الثالث تكون كلفة إنشاء هاضم أكثر من الإمكانية المادية للمزارعين الصغار ، ولهذا يجب أن يتم تأسيس جمعيات تقوم بإنشاء مثل هذه المنظومات أو أن تساعد الدولة على إنشائها .

## أسئلة تقويمية

1. ما المقصود بطاقة الكتلة الحيوية ؟
2. كيف يتم استخلاص الطاقة الكهربائية أو الطاقة الحرارية من طاقة الكتلة الحيوية ؟
3. كيف يتم إنتاج الوقود الغازي من الوقود الصلب كالفحم الحجري مثلاً ؟
4. ما هي عملية الانحلال الحراري ؟
5. ما هو الغاز الحيوي ؟ وكيف يتم إنتاجه من مصادر الكتلة الحيوية ؟
6. كيف يتم إنتاج الميثانول والإيثانول ؟ وما هي مجالات استخداماتهما ؟
7. ما هي الفوائد والتأثيرات البيئية الناتجة عن استخدام مصادر الكتلة الحيوية ؟