٣

إدارة النفايات المنزلية وطرق التخلص منها

مدخل

تتشكل النفايات داخل أي منزل بصورة يومية ولعله من المألوف أن يرى المرء عند المساء أو في وقت متأخر من الليل حاويات النفايات، وقد وضعت خارج المنزل تمهيدًا لأخذها من قبل عمال النظافة، التي تجوب بهم شاحنة جمع النفايات الشوارع، لتفريغ حمولة تلك الحاويات فيها، لتأخذ طريقها إلى مصير ربما يكون مجهولاً للكثير منا. هل تساءل المرء منا قبل أن يخرج حاوية النفايات ويضعها عند عتبة المنزل عن مقدار مساهمته في تلويث البيئة والصحة العامة. إن موضوع إدارة النفايات المنزلية والتخلص السليم منها هو ليس مهمة مقتصرة على الجهات المختصة، بل إن المجتمع يعد شريكًا فاعلاً في ذلك إذا التزم بمبادئ التنمية المستدامة، لاسيما تلك التي تعنى بالتقليل من النفايات كلما أمكن. على الرغم من أن معظم مكونات النفايات المنزلية قصيرة الأجل، حوالي ٧٠ ٪، هو عبارة عن مواد عضوية على شكل بقايا الطعام ومنتجات ورقية، إلا أن ذلك يتطلب توفر إدارة فاعلة تقوم على التصنيف والفرز من المصدر، ألا وهو المنزل بغرض إعادة الاستعمال أو الاسترجاع على هيئة منتجات مختلفة: كالأسمدة ومخصبات التربة من متبقيات الأطعمة والنفايات العضوية أو إعادة التدوير لبعض المواد: كالورق والبلاستيك والحرق في محارق متطورة (Incinerators) لإنتاج الطاقة وكخطوة أخيرة الطمر في أماكن مهيأة أو ما يعرف بمدافن

النفايات البلدية (Landfills). تشكل النفايات المنزلية حوالي ٦٥٪ من النفايات البلدية الصلبة (MSW)[٢٣]، وهذا يجعل الحديث عن ضرورة إدارتها بطرق فاعلة أمرًا مهمًّا جدًّا. ولنأخذ مثلًا على أحد مكونات النفايات المنزلية، ألا وهو المواد البلاستيكية، حيث إن نسبة ما يتم رميه من تلك المواد يزداد بشكل مطرد على مر السنين الماضية، ومن المتوقع أن يزداد بشكل أكبر في المستقبل، نتيجة للتنوع الهائل في إنتاج البلاستيك لمختلف التطبيقات، ومن أهمها تعبئة وتغليف الأطعمة والمشروبات. في هذا الفصل من الكتاب سوف يتم تناول الطرق المستخدمة في إدارة النفايات المنزلية: كعمليات الفرز من المصدر، وإعادة التدوير للمواد القابلة لذلك: كالورق والبلاستيك، وكذلك إنتاج السماد العضوي والطاقة. وللتوضيح فإن هذه الطرق لإدارة النفايات المنزلية كفرزها عند المنازل من خلال حاويات مختلفة اللون والشكل، ربما لا يراها المرء مطبقة في البلدان النامية: كمعظم الدول العربية، وسيتم الحديث عن وضع إدارة النفايات المنزلية في المملكة العربية السعودية في نهاية هذا الفصل.

إدارة النفايات المنزلية

إن التخلص السليم والاستفادة القصوى من النفايات المنزلية يتطلب تضافر الجهود من قبل أطراف عدة: كالمجتمع وأمانات المدن والمستثمرون في مجال إعادة تدوير النفايات. وقبل ذلك فإن وجود التشريعات الحكومية التي تلزم بضرورة الإدارة السليمة والفاعلة

للنفايات المنزلية يعد مطلبًا أساسًا للتعامل الصحي والبيئي والاقتصادي مع تلك النفايات. وفيما يلي نتطرق إلى دور المجتمع في إدارة النفايات المنزلية، وكذلك الطرق المتبعة لفرز وتصنيف النفايات المنزلية.

• دور المجتمع

للمجتمع دور فاعل في إدارة النفايات بشكل حضاري. إن وعي أفراد المجتمع بكافة شرائحه بمشكلة النفايات يعد أمرًا مهمًّا جدًّا للحد من هذه المشكلة، حيث إن منشأ النفايات هو الاستهلاك في المنازل والمحلات التجارية وغيرها من الأنشطة البشرية. إن التقليل من كمية النفايات المنزلية اليومية يتحكم فيه العديد من العوامل التربوية والاقتصادية والثقافية. بإمكان المرء في المنزل أن يطبق إستراتيجية التاءات الثلاث، التي ذكرت في مقدمة هذا الكتاب للتقليل من تكوين النفايات. فمثلًا يمكن إعادة استخدام أكياس التسوق لأغراض مختلفة، بدل رميها مع النفايات. وضع النفايات في الحاوية المخصصة بحسب نوع النفاية، وذلك في البلدان التي تطبق فصل النفايات من مصدرها يعد مطلبًا ضروريًّا لا يتأتى إلا بتعاون أفراد المجتمع قاطني الدور السكنية مع وجود تشريعات حكومية تضمن تحقيق ذلك. ولعله من الملاحظ أن مستوى رفاهية المجتمع يؤدي إلى زيادة مطردة وغير مرشدة في استهلاك المنتجات

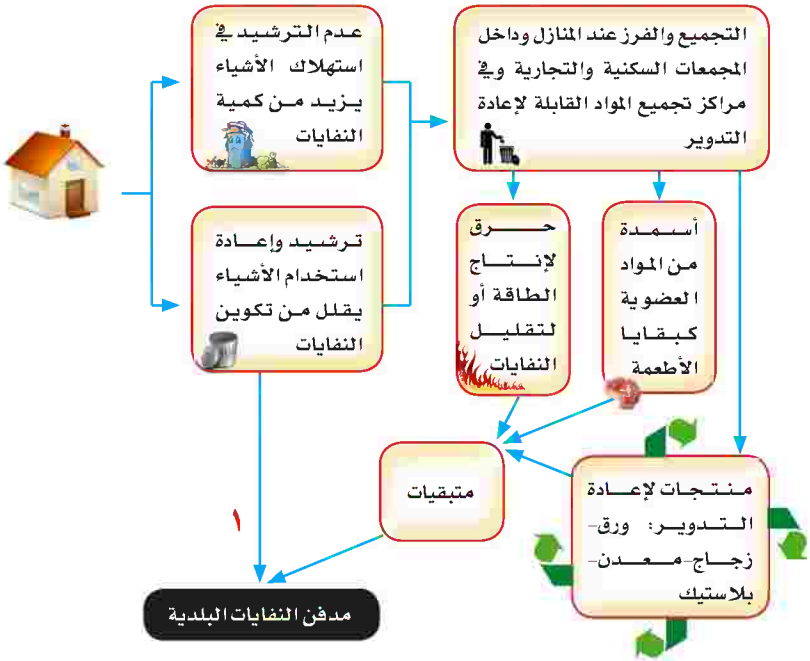
بمختلف أنواعها وهذا بدوره يزيد من كمية النفايات المنتجة يوميًّا. وأخيرًا يجب التنويه إلى أن وعي المجتمع وحده بأهمية إعادة التدوير للنفايات لا يعد كافيًا إذ لابد من وجود محفزات تدفع أفراد المجتمع إلى المشاركة الفاعلة في عملية إعادة تدوير النفايات المنزلية. فمثلاً وكما هو معمول به في الدول المتقدمة تقوم مراكز إعادة التدوير بدفع قيمة رمزية مقابل ما يتم جلبه للمركز من مواد قابلة لإعادة التدوير: كعلب المشروبات والطعام ومخلفات الورق والزجاج وغيرها.

• الفرز المنزلي للنفايات ونقط التجميع أمام المنازل وداخل الأحياء السكنية

إن الإدارة الفاعلة للنفايات تتطلب أن يتم فرز وتصنيف النفايات من مصدر تكوينها مثل المنازل وغيرها. ولعل من يسافر إلى بعض البلدان المتطورة صناعيًّا كالأوروبية مثلاً يلحظ وجود حاويات مختلفة الشكل واللون عند المنازل يتم فيها وضع النفايات بحسب نوعها (شكل ٣-١). هذا التصرف بلا ريب هو حضاري بامتياز، لأنه يعزز مفهوم التنمية المستدامة التي تهدف إليه التنمية الحقيقة بكافة أشكالها الصحية والبيئية والاقتصادية.

الشكل رقم (٣-١) فرز النفايات المنزلية حسب نوعها أمام المنازل وداخل المجمعات السكنية.

إن المفترض أن يتم تقليل إنتاج النفايات كلما أمكن بممارسات متعددة، مثل إعادة استخدام المنتجات كالأكياس البلاستيكية وغيرها. لكن في نهاية الأمر لابد من تكون نفايات داخل المنزل، وعندها يجب أن تدار تلك النفايات بطرق سليمة تضمن الحفاظ على الصحة العامة والبيئة والموارد الاقتصادية. تتلخص هذه الطرق بإعادة تدوير المواد القابلة لذلك: كالورق والزجاج والألمنيوم والبلاستيك وتصنيع الأسمدة الطبيعية من النفايات العضوية: كمتبقيات الأطعمة ومخلفات الحديقة المنزلية، وأخيرًا دفن المتبقي من النفايات في المدافن البلدية أو حرقها في محارق مهيأة لإنتاج الطاقة. يبين الشكل ٣-٢ مخططًا مثاليًّا لعملية إدارة النفايات



الشكل رقم (٣-٢) مخطط إدارة النفايات المنزلية.

المنزلية. لكن وقبل الحديث عن طرق التخلص من النفايات المنزلية يجب التأكيد على أهمية الفرز المنزلي للنفايات حيث إن تعاون أفراد المجتمع في ذلك يعد مطلبًا مهمًّا جدًّا للتسهيل على الجهات العاملة في إدارة ومعالجة النفايات المنزلية. إن فصل النفايات من المصدر وتصنيفها بحسب نوعها يقلل تكلفة معالجتها، ويجعل ذلك مجديًا من الناحية الاقتصادية. إن إدارة النفايات المنزلية كما هو موضح في الشكل ٣-٢ قد تسلك عدة مسارات بحسب البلد. ففي

البلدان التي تسن تشريعات حكومية لمعالجة وإعادة تدوير النفايات كالأوروبية، فإنه يتم فرز وتجميع النفايات عند المصدر أو ما يسمى بإعادة التدوير الرصيفي (Curbside) أو في مراكز إعادة التدوير (Drop-off Centers)، كما هو موضح في الشكل ٣-٣، ويستفاد من النفايات العضوية لعمل مخصبات التربة والسماد. أما في حال البلدان التي لا يوجد بها تشريعات وقوانين صارمة لإعادة تدوير النفايات، فإن مسار إدارة تلك النفايات يسلك الاتجاه الموضح بالسهم رقم ١ كما هو مبين في الشكل ٣-٢، حيث يتم تجميع النفايات في شاحنة بدون فصل، وتؤخذ إلى مدفن النفايات البلدية، وربما يتم فصل بعض النفايات عند المدفن.

الشكل رقم (٣-٣) طرق جمع النفايات المنزلية وتصنيفها.
(أ) مراكز إعادة التدوير، (ب) التدوير الرصيفي.

طرق التخلص من النفايات ومعالجتها

يمكن التخلص من النفايات المنزلية بطرق متعددة، تعتمد على مدى توفر أنظمة وتشريعات تضبط سلامة الطريقة المتبعة لمعالجة النفايات، وضمان عدم التسبب في أي ضرر قد يلحق بالصحة والبيئة. فبينما يمكن أخذ النفايات المنزلية مباشرة إلى المدفن أو حرقها في أماكن مفتوحة وغير مخصصة لدفن النفايات، وذلك في البلدان التي لا يوجد فيها تشريعات ملزمة لمعالجة النفايات المنزلية، نجد أنه في المقابل تخضع تلك النفايات لخطط مدروسة تضمن المعالجة السليمة لها، بحيث يتم الاستفادة منها عبر تحويلها إلى منتجات مفيدة كالأسمدة وإعادة تدوير ما يمكن تدويره كالورق والزجاج. إن مرحلتي جمع ونقل النفايات بشكل عام تشكلان أهم المراحل في عملية المعالجة والإدارة السليمة لتلك النفايات، حيث تقدر تكلفة هاتين المرحلتين بحوالي ٨٠ ٪ من مجموع التكلفة الكلية. لهذا فإن تصميم وأمثلية هاتين المرحلتين ربما يسهم بشكل كبير في الحد من تكلفة إدارة ومعالجة النفايات المنزلية. فعلى سبيل المثال يمكن اختيار أقصر الطرق لتسلكها شاحنات جمع النفايات، وكذلك التفكير في حلول بديلة للنقل أكثر كفاءة وأوفر اقتصاديًّا، وطرق مبتكرة لتوزيع حاويات فرز النفايات بحسب نوعها، وغير ذلك. بعد الجمع والنقل وفي حالة أن النفايات لا يتم فرزها وتصنيفها من

المصـدر، أي بواسطـة الحاويات المخصصة لكل نـوع من النفايات أمـام المنازل أو في المجمعات السكنيـة، فإن الجهات العاملة في فرز النفايات تقوم بعمل ذلك من خلال أماكن مخصصة لذلك على هيئة مستودعات، بها بعض التجهيزات للمساعدة في الفرز والتهيئة. عند تفريـغ حمولة النفايات المنزلية المختلطة على الأرض يتم فرز المواد كبيرة الحجم، التي يسهل فصلها كالكراتين الورقية. بعد ذلك تقوم عربة رافعة أو جرافة بنقل النفايات وتغذيتها عبر قادوس كبير تمر من خلالـه النفايات بسلسلة مـن السيور المتحركة المـزودة بغربال لفصـل النفايـات بحسب الحجم، حيـث تسقط النفايـات صغيرة الحجـم من فتحات الغربال وتبقى النفايـات الأخرى الكبيرة، التي غالبًا ما تكون قابلة لإعادة التدوير كالبلاستيك وغيره. يمكن فصل المـواد التي تبقى على السيـور المتحركة: إما يدويًّـا بواسطة العمال وهذا مكلف أو آليًّا باستخدام تقنيات مختلفة. الفرز اليدوي هو أكثر دقـة لكنه غير مجـدي اقتصاديًّا. أما الفـرز الآلي فيتم باستخدام السيـور المغناطيسيـة، لفصـل المـواد ذات النشـاط المغناطيسـي كالحديد والفـولاذ، وكذلك يمكـن استخدام تقنية التيـار العكسي (Eddy current)، وذلـك لفصل منتجات الالمنيوم كعلب المشروبات الغازية. كمـا يمكن فصل بعض مكونات النفايات بحسب أوزانها أو خواصهـا الضوئية، وهو المتبع عند فصـل المواد البلاستيكية بتقنية الأشعة فوق البنفسجية.

وفيما يلي أهم الطرق المتبعة لمعالجة النفايات المنزلية والتخلص منها.

أ. الدفن والحرق المفتوح (العشوائي)

في ظل غياب التشريعات الملزمة لمعالجة النفايات المنزلية يمكن أن يتم دفنها في مدافن النفايات البلدية، بدون أن يتم فصل مكوناتها واسترجاع ما يمكن الاستفادة منه، ومعالجة المواد الخطرة: كمتبقيات الأدوية والمبيدات والكيماويات المنزلية بوجه عام. وهذا بلا ريب علاوة على أن فيه مخالفة لأسس التنمية المستدامة، التي تهدف إلى حفظ الموارد والبيئة قدر الاستطاعة، حيث يمكن للمواد الخطرة في النفايات المنزلية أن تتسلل إلى جوف الأرض، وتلحق الضرر بالماء والتربة، فإن فيه هدرًا اقتصاديًّا لا مبرر له. إن مدفن النفايات البلدية لابد أن يتم تصميمه بشكل محكم بحيث يضمن التقليل قدر المستطاع من احتمالية تلويث البيئة سواء التربة أو الماء أو الهواء بمكونات أو نواتج تحلل النفايات. يحدث تحلل النفايات عند تعرض مكوناتها العضوية للهواء، وهذه العملية يطلق عليها مسمى التحلل الهوائي أو الأكسوجيني (Aerobic)، كما يحدث أيضًا تحلل للنفايات عند دفنها بدون توفر الهواء (Anaerobic)، بحيث تنتج عصارة أو مواد مرتشحة (Leachate)، وهي عبارة عن سوائل عضوية مركزة يمكن أن تتسبب بتلوث المياه الجوفية إذا تغلغلت في

جـوف الأرض. كذلك ينتج عن عمليـة التحلل الغير هوائي للنفايات العضوية غـازات ضارة بالبيئـة كغازات الاحتباس الحراري، مثل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والميثان (CH_4).

مـن المألـوف أن يرى المرء منـا في بعض المناطـق النائية وفي المتنزهـات البريـة وغيرهـا أكوامًا مـن النفايـات، تتصاعد منها الأدخنـة نتيجـة لحرق تلك النفايـات (شكل ٣-٤)، بـل إن البعض وخاصـة مـن الشباب عنـد قيامهم برحلـة برية يقومـون بحرق ما يجتمـع لديهـم من نفايـات ظنًّا منهـم أن هذه هـي الطريقة المثلى للتخلص من النفايات بدلًا عن رميهـا في الصحراء (شكل ٣-٥). إن الأخطـار المترتبـة نتيجة الحرق المفتـوح أو العشوائـي للنفايات في أماكـن غـير مهيأة كثيرة، ومنهـا أن غازات خطـرة مثل غازات الدايوكسـين(*) وغيرهـا يمكـن أن تتحرر ممـا يسبب تلوثًـا للهواء الجـوي، وكذلك فإن مـا يتخلف نتيجة الحرق مـن رماد قد يحتوي علـى مواد سامة ضارة بالبيئة وخاصة للتربة والنبات والماء. ناهيك عـن أن النفايات المنزلية ربما تحتوي علـى نفايات طبية تحتاج إلى محارق خاصة لمعالجتها.

(*) الدايوكسـين هـو عبـارة عن مجموعـة مـن المركبـات الهيدروكربونية العطريـة الهالوجينيـة (PHAHs). ومـن أشهـر هـذه المركبـات CDDs وCDFs و PCBs.

الشكل رقم (٣-٤) الحرق المفتوح (العشوائي) للنفايات البلدية .

الشكل رقم (٣-٥) حرق النفايات في الصحراء (البر)[٢٦].

ب. استرجاع وإعادة تدوير النفايات

يمكـن أن يتم الاستفادة من معظم مكونات النفايات المنزلية، وذلـك عن طريـق تحويـل النفايات العضويـة: كمتبقيـات الأغذية ومخلفـات الحدائق المنزليـة إلى مواد مفيـدة كالأسمدة الطبيعية. كذلـك يمكـن إعـادة تدويـر نفايـات البلاستيـك والـورق والمعدن والزجـاج. وأخيرًا، يمكن إنتاج الغاز حيوي (ميثان) عن طريق بناء مفاعـلات التخمير داخل مدفـن النفايات البلديـة، وإنتاج الطاقة عـن طريق حرق المتبقي مـن النفايات أو جمع النفايات قبل الفصل والمعالجـة وذلـك من خـلال محـارق مخصصة لذلـك. وفيما يلي نستعرض أهم تلك الطرق.

• إنتاج مخصبات التربة والأسمدة من النفايات العضوية

«كومبوست Composting» هي عملية تحويل النفايات العضوية كبقايا الطعام والنبات، عن طريق تحللها بفعل الكائنات الدقيقة إلى مركبات عضوية صغيرة. يمكن استخدام نواتج هذه العملية كمخصبات للتربة وبدائل للسماد الكيماوي المستخدم في زراعة الحديقة المنزلية. إن هذه الطريقة، «كومبوست»، من شأنها أن تحقق فوائد عديدة، منها التقليل من كمية النفايات المنزلية، التي يتم دفنها الذي بدوره يقلل من انبعاث غازات الاحتباس الحراري، ومن أهمها غاز الميثان، وكذلك توفير مواد طبيعية كبديل للأسمدة الكيماوية لتخصيب التربة الزراعية في المنزل. يمكن تحضير الكومبوست منزليًّا في الفناء الى جوار الحديقة المنزلية، وذلك باستخدام حاوية خشبية أو غيرها (الشكل ٣-٦) حيث يوضع في تلك الحاوية مخلفات الحديقة من أوراق النبات المتساقطة وغيرها، وكذلك بقايا الطعام كقشور الفاكهة والخضراوات وغيرها. توضع تلك الحاوية في مكان مظلل وجاف، ويتم تقليب محتوى الحاوية بين وقت وآخر، لتهوية المحتوى من أجل أن تقوم الكائنات الدقيقة بتفكيك تلك المواد، وكذلك لتقليل زمن التحضير الذي قد يستغرق من ستة أشهر حتى أكثر من السنة. إن النفايات المستخدمة لعمل

الكومبوست تصنف بالنفايات الخضراء والبنية اللون. النفايات البنية تعد مصدرًا لعنصر الكربون، وتتألف من مواد عدة منها مخلفات ورق الكتابة والكرتون وأوراق النباتات والأغصان الجافة ونشارة الخشب وغيرها، أما النفايات الخضراء فإنها تعد مصدرًا للنيتروجين، وتتكون من مواد عدة منها أجزاء النبات الخضراء مثل العشب والأوراق بعد عملية التقليم والجز، وكذلك بقايا الطعام كمتبقيات الخبز وقشور الفاكهة والبيض ومخلفات القهوة والشاي، كما يمكن إضافة ما يتبقى من اللحوم والعظام، لكن هذه المواد تبطئ من عملية الكومبوست. أما المواد غير العضوية أو غير القابلة للتحلل الحيوي كالزجاج والبلاستيك والقصدير، فإنه يتجنب إضافتها لحاوية عمل الكومبوست. يفضل أن تكون نسبة النفايات البنية إلى الخضراء ثلاثة إلى واحد (١:٣) وتوضع على شكل طبقات بحيث تكون الطبقة العلوية عبارة عن نفايات خضراء مكونة من العشب والأوراق الخضراء. عند إضافة نفايات للحاوية يتم تحريك المحتوى وعزقه لغرض التهوية إلا في حالة أن الحاوية مجهزة بذراع تحريك وغربلة خارجي أو فتحات للتهوية كما هو موضح في الشكل ٣-٧ وعندما تكتمل عملية الكومبوست يتحول اللون إلى البني الداكن وعندها يكون جاهز للخلط مع تربة حديقة المنزل.

الشكل رقم (٣-٦) عمل الكومبوست في حاوية خشبية.

الشكل رقم (٣-٧) حاوية كومبوست بلاستيكية بفتحات تهوية وذراع للتحريك.

يمكن أيضًا عمل الكومبوست باستخدام ديدان الأرض الحمراء، وتسمى هذه الطريقة «Virmicomposting»، حيث تقوم تلك الديدان (شكل ٣-٨) بالتغذي على النفايات العضوية بما يعادل وزنها بشكل يومي، وتقوم بتحويلها على شكل فضلات كمواد مفيدة جدًّا لتغذية النبات.

الشكل رقم (٣-٨) عمل الكومبوست باستخدام ديدان الأرض الحمراء.

قد تظهر بعض العوائق والأخطاء عند إجراء عملية الكمبوست، ومنها الرائحة الكريهة الشبيهة برائحة البيض الفاسد، وهذا يرجع إلى قلة التهوية أو زيادة الرطوبة التي يجب أن تتراوح من ٤٠-٦٠ ٪ [٢٣]، وعندها يمكن إضافة مواد ماصة للرطوبة: كنشارة الخشب وأوراق الأشجار الجافة مع التقليب لتهوية الخليط. كذلك يمكن أن تصدر رائحة النشادر من الحاوية، وهذا يرجع إلى زيادة في كمية النفايات الخضراء، التي تزيد من كمية النيتروجين، وهنا يجب إضافة نفايات بنية غنية بالكربون: كنشارة الخشب. وكملخص لما سبق فإنه ينبغي موازنة عدة عوامل لتحضير كومبوست جيد. تلك العوامل هي الحجم المناسب للحاوية ومقاس الخليط، فكلما قل حجم مكونات الخليط ومقاسه، وكان على هيئة شرائح صغيرة أو مسحوق كلما كان أفضل لعملية الكمبوست. كذلك

مـن العوامل المهمـة مستوى الرطوبـة ودرجة التهوية فيهـا، ونسبة الخلط الجيدة للنفايات البنية إلى الخضراء وأخيرًا درجة الحرارة المناسبـة بين ٣٠-٦٠°م حيـث إن الجو البـارد لا يساعد على تحلل النفايات العضوية إلى كومبوست.

• إعادة التدوير

إعـادة التدويـر تعني أن يتـم استرجاع بعض أنـواع النفايات كالـورق والزجـاج والمعـادن والبلاستيـك وتهيئتهـا عـبر عمليـات صناعيـة، ليتـم إعـادة استعمالهـا كمواد خـام لتصنيـع منتجات جديدة. وعلى الرغم من أن العمليات الصناعية التي تمر بها عملية إعـادة تدوير النفايـات من فصل وتنقية وصهـر وغيرها، قد يؤدي إلى بعض الضرر بالبيئة علاوة على التكلفـة الاقتصادية المتوقعة، إلا أن فيـه -أي إعـادة التدويـر- منافـع جمة، منها حفـظ الموارد الطبيعيـة والطاقـة من نفط وغـاز ومعادن، وتقليل كميـة النفايات البلديـة التـي يتـم دفنها ومـا له مـن تبعات بيئيـة: كتلـوث الهواء بالغازات، وتلوث المياه الجوفية وغيرها. إن خيار التدوير يعتمد على إستراتيجيـات الدول، ففي البلدان التي تفتقر إلى مصادر رخيصة للطاقـة كالبترول ربما يكون في حـرق النفايات ككتلة واحدة، لإنتاج الطاقـة خيارًا إستراتيجيًّا، لأن فصل المـواد القابلة لإعادة التدوير كالبلاستيـك ربمـا يقلل من القيمـة الحرارية التـي تنتج عن حرق النفايات، وهذا بدوره يقلل من الطاقة المنتجة. وفيما يلي نستعرض أهم المواد القابلة لإعادة التدوير.

• الورق ومنتجاته

يشكل الورق ومنتجاته المختلفة كورق الطباعة والصحف والمجلات و«المناديل» و«الكرتون» وغيرها نسبة كبيرة من مجمل النفايات المنزلية. يمكن الاستفادة من مخلفات الورق كالصحف والمجلات كمواد عازلة، وكذلك من ضمن مكونات عمل الكمبوست كما أشرنا إلى ذلك مسبقًا. لكن مع الزيادة المطردة في إنتاج الورق بمختلف أشكاله فإن خيار إعادة التدوير للأغراض نفسها مثل طباعة الصحف والمجلات يبقى إستراتيجيًّا لحفظ الموارد الطبيعية المتمثلة أساسًا في مصدر الورق وهو الأشجار. إن المشكلة تكمن في أنه عند إلقاء الورق مع النفايات المنزلية بمختلف أشكالها، وخاصة النفايات الرطبة: كبقايا الطعام فإن هذا يؤثر سلبًا على إمكانية اعادة تدويره، فالورق خلافًا للمواد الأخرى القابلة لإعادة التدوير كالبلاستيك والزجاج والمعادن يمتص الرطوبة بدرجة عالية، ولهذا يجب أن تلقى مخلفات الورق في حاويات مخصصة بحيث لا تختلط مع النفايات المنزلية الأخرى. تمر عملية إعادة تدوير الورق بعدة مراحل تبدأ بالفرز، ثم التجميع والنقل. بعد نقل الورق إلى المصنع المخصص لإعادة التدوير يوضع في مخازن خاصة داخل المصنع، ليشكل المواد الخام اللازمة، لتصنيع الورق بمختلف أنواعه (شكل ٣-٩). تبدأ مرحلة إعادة تصنيع الورق بشكل فعلي من خلال إعداد عجينة الورق (The pulp) وتهيئتها وذلك بتنقيتها، بطريقة الغربلة، من الشوائب التي قد تؤثر على جودة الورق، مثل بقايا المواد البلاستيكية والغراء وغيرها من الشوائب. بعد ذلك

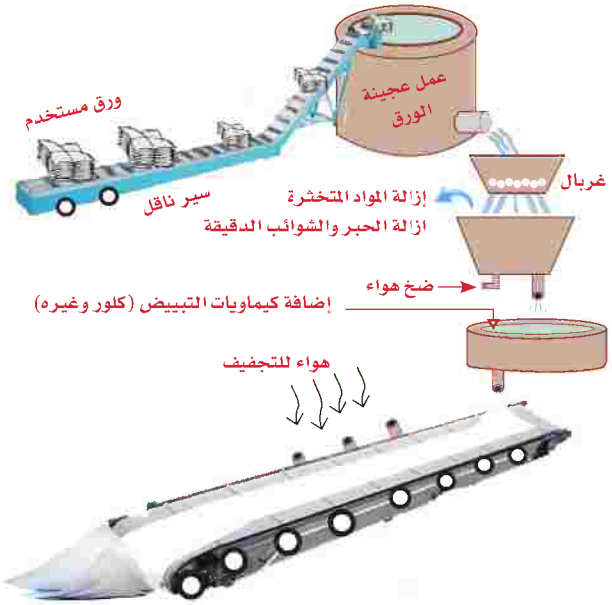
يتم تنظيف عجينة الورق بطريقة الإعصار الحلزوني «السايكلون»، وذلك للتخلص من المواد العالقة كمشابك «دبابيس» الورق والشوائب الخفيفة الأخرى. بعد عملية التنظيف تخضع العجينة لمرحلة إزالة الأحبار والمواد اللاصقة بطريقة التعويم (Flotation). بعد ذلك وقبل تصنيع الورق بشكل نهائي تمر العجينة بمرحلة التكرير والتبييض. يلخص الجدول ٣-١ مراحل إعادة تصنيع الورق، كما يبين الشكل ٣-١٠ مخططًا لعملية إعادة تدوير الورق. ولعل سائل أن يسأل عن مصير الشوائب التي ربما تنتج من خلال المعالجات المختلفة للورق المعاد تدويره كالأحبار. قد تنتج عن عملية التعويم مواد عديدة مثل الأحبار والمواد اللاصقة وألياف الورق غير الجيدة، ومثل هذه المواد يمكن الاستفادة منها عن طريق حرقها لإنتاج طاقة أو استخدامها في عملية إعداد الكومبوست أو السماد العضوي، وربما يمكن إعادة تدوير الحبر إذا كان في ذلك جدوى اقتصادية.

الشكل رقم (٣-٩) حزمات من الورق والكرتون المستخدم المعد لإعادة التدوير.

الجدول ٣-١ مراحل إعادة تدوير الورق.

العملية	وصف وملاحظات
الفرز والتجميع والنقل	• يجب فصل الورق عن النفايات المنزلية الأخرى: كبقايا الطعام والبلاستيك وعلب الالمنيوم. • يمكن أخذ الورق إلى مراكز إعادة التدوير إن وجدت أو وضعه أمام المنزل، ليتم أخذه من قبل العاملين في صناعة إعادة تدوير الورق. • يتم تجميع الورق وكبسه على هيئة حزم كبيرة ليسهل خزنه.
تهيئة عجينة الورق وتنقيتها بالغربلة	• ينقل الورق بواسطة سيور إلى خزان يحتوي على الماء، بحيث يتم تقطيعه إلى أجزاء صغيرة على شكل ألياف سليولوزية بفعل الحرارة وبعض الكيماويات المضافة، وهذا يؤدي إلى تكون عجينة الورق. • يتم ضغط العجينة من خلال غربال بحيث يتم إزالة بعض الشوائب كقطع البلاستيك والغراء.
التنظيف	• هنا يتم فصل الشوائب التي لم يتم إزالتها في مرحلة الغربلة مثل مشابك الورق.
إزالة الحبر	• تمر عملية إزالة الحبر والمواد اللاصقة بمرحلتين، حيث في المرحلة الأولى يتم إضافة الماء لعجينة الورق لإزالة جسيمات الحبر الصغيرة، أما الجسيمات الكبيرة من الحبر فيتم إزالتها بضخ هواء من خلال العجينة المغمورة بالماء وهذه الطريقة تسمى التعويم. • في أثناء مرحلة التعويم يتم إضافة مواد كيميائية شبيهة «بالصابون» تسمى «سرفاكتانت»، وذلك بغرض فك ارتباط الجسيمات الكبيرة من الحبر والمواد اللاصقة عن عجينة الورق، وجعلها تلتصق بفقاعات الهواء، ومن ثم فصلها عن طريق كشط الرغوة المتكونة على سطح الحاوية المخصصة لإجراء عملية التعويم.

التكرير والتبييض	• يتم ضرب خليط عجينة الورق وتقليبه لفصل ألياف السليولوز المنتفخة عن بعضها، وهي تعد الخامة الرئيسة لتصنيع الورق. • يتم إزالة أي مصبغات من الألياف بواسطة إضافة كيماويات خاصة بذلك. • يتم إضافة بعض الكيماويات المبيضة مثل فوق أكسيد الهيدروجين أو ثاني أكسيد الكلورين إذا كان الهدف تصنيع ورق أبيض وفي حالة إنتاج الورق البني، فإنه لا يتم استخدام أي مواد مبيضة.
عمل لفات (رولات) الورق المعاد تدويره	• يمكن استخدام عجينة الورق المهيئة بعد مرحلة التكرير لتصنيع ورق جديد، كما يمكن كذلك خلط العجينة مع ألياف جديدة لم يسبق استخدامها لجعل الورق المنتج أكثر صلابة ونعومة. • يتم خلط العجينة مع الماء والكيماويات ثم يتم ضخها بالرش على سير متحرك ذي ثقوب لتجفيف الورق من الماء. • عندما تتحرك عجينة الورق المرشوشة على السير المتحرك ينزل الماء عبر ثقوب السير مما يؤدي بألياف العجينة أن تتجمع وتلتصق ببعضها. • بعد ذلك يتم تمرير ألياف الورق الملتصقة على أنابيب درفلة تقوم بعصر ما تبقى من محتوى مائي داخل ألياف الورق ثم تمر أيضًا على مجموعة أخرى من أنابيب الدرفلة المعدنية الساخنة، وذلك لتجفيف الورق بشكل تام. • خلال مرحلة التجفيف بأنابيب الدرفلة الساخنة يمكن إضافة محسنات الورق أو الطلاء لجعل الورق أكثر لمعانًا ونعومة لبعض التطبيقات المهمة في الطباعة. • أخيرًا يتم تجميع الورق على هيئة لفات (رولات) ضخمة قد يصل وزن اللفة الواحدة حوالي ٢٠ طن وعرضها ما يقارب ٤ أمتار.



الشكل رقم (٣-١٠) مراحل إعادة تدوير الورق.

• المعادن

يمكـن القول بشكل عـام: إن المنتجات المصنوعـة من المعادن التقليدية كالحديد والنحاس وغيرها يمكن إعادة تدويرها، وذلك بالصهـر وإعـادة التشكيـل على هيئـة منتجات مختلفـة. تعد علب المشروبات الغازية (شكل ٣-١١) المصنوعة من معدن الألمنيوم أهم النفايـات المنزلية المعدنية. كذلك يمكـن أن تنتج من المنزل نفايات معدنيـة أخـرى كمعلبـات الأطعمة المختلفـة (شـكل ٣-١٢) ومواد

التغليف المصنوعة من معدن القصدير، هذا بالإضافة إلى النفايات الإلكترونية المنزلية، التي يستغنى عنها كأجهزة الحاسب والألعاب الإلكترونية وغيرها، التي ربما تحتوي على معادن ثمينة كالذهب. وتمثل نفايات علب المشروبات الغازية المصنوعة من الألمنيوم الجزء الأكبر من النفايات المعدنية المنزلية، وذلك بحكم الاستهلاك اليومي. ونظرًا لارتفاع سعر خام الألمنيوم فإن استرجاعه من تلك النفايات يعد مطلبًا إستراتيجيًّا. أيضًا وكما هو الحال مع إعادة تدوير الورق، فإن إعادة تصنيع المعادن بشكل عام وتصنيع علب الألمنيوم الجديدة عن طريق إعادة تدوير العلب الفارغة يؤدي إلى حفظ الموارد الطبيعية والطاقة التي يتطلبها تصنيع صفائح ألمنيوم من خاماته الطبيعية. يوجد العديد من الطرق التي يمكن بواسطتها جمع علب الألمنيوم المستخدمة؛ حيث يمكن فرض رسم استرجاع أو تأمين يتم استرداده عند تسليم العلب فارغة بعد الاستخدام في الأماكن المخصصة لذلك. ويعاب على هذه الطريقة أن تكلفتها ربما تفوق تكلفة إعادة التدوير لتلك العلب.

الشكل رقم (٣-١١) علب معدنية لتعبئة المشروبات الغازية.

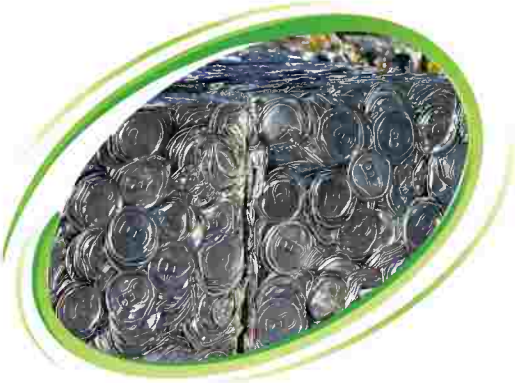
الشكل رقم (٣-١٢) علب معدنية لتعبئة مختلف الأطعمة.

الطريقة الأخرى تكون بشراء العلب المسترجعة من خلال مراكز إعادة التدوير التي تقوم بجمع وفرز النفايات المنزلية القابلة لإعادة التدوير. وفي هذه الحالات يكون الدفع مقابل وزن أو كمية العلب الفارغة. كما يمكن أيضًا إعادة العلب الفارغة من خلال آلة مخصصة لذلك، تسمى (RVM) كما في الشكل ٣-١٣ حيث يحصل المرء عند إدخال العلبة في الآلة على تعويض رمزي مادي أو عيني مثل بطاقة شحن للهاتف المتحرك. وهذه الآلة ليست خاصة بالعلب المعدنية بحسب، بل إنها تستقبل المواد الأخرى كالعلب الزجاجية والبلاستيكية.

الشكل رقم (٣-١٣) آلة إعادة التدوير RVM .

أمـا طريقة إعادة تصنيع معـدن الألمنيوم من العلب الفارغة فإنها تتلخص فيما يلي:

كبـس العلـب الفارغة وربطهـا على هيئـة حزم كبـيرة قابلة للتخزين (شكل ٣-١٤).



الشكل رقم (٣-١٤) علب الألمنيوم بعد كبسها وتجميعها على هيئة حزم كبيرة.

- التأكد من محتوى الرطوبة لتلك المواد، ثم جرشها وتقطيعها على هيئة شرائح صغيرة، ليسهل معالجتها داخل الأفران المهيأة لذلك.
- يتم إدخال تلك المواد إلى فرن ليتم إزالة الأصباغ والرطوبة.
- بعد خروج المواد من فرن إزالة الأصباغ تمر عبر غربال، ليتم فصل الشوائب والأوساخ.
- بعد ذلك يتم إدخال المواد إلى فرن الصهر بحيث تنصهر فيه شرائح علب الألمنيوم عند درجة حرارة تبلغ حوالي ٦٥٠°م. ويتم إضافة خليط من الملح والمواد الأخرى لإزالة الأكاسيد إن وجدت.
- في هذه الأثناء يتم فحص الألمنيوم المصهور للتأكد من جودته كيميائيًّا.
- يصب الألمنيوم المصهور في قوالب وينتج على هيئة سبائك متوازية المستطيلات، تتراوح أوزانها من ١٠ كجم الى ٢٠ طن.
- تترك هذه السبائك تبرد لتتصلب، ثم يتم تنعيم السطوح العلوية والسفلية لتلك السبائك وتسمى هذه العملية بالسلخ (Scalping).

- يتـم ضغط السبائك بـين إسطوانتين ضخمتـين، وهو ما يطلق عليه عملية «الدرفلة»، حتى يتم إنتاج لفات أو رقائق ألمنيـوم بسمك يبلغ حـوالي ١,٢٥ سم، أما الطول فيمكن أن يتراوح مـن ٣٠٠-٣٠٠٠ م (شكل ٣-١٥). ويقدر عدد العلب اللازمة لعمل تلك اللفة الضخمة من الألمنيوم بأكثر من مليون علبة مشروبات غازية مسترجعة.
- يتـم استخدام هذه اللفائف الضخمة مـن الألمنيوم المعاد تدويره لتصنيع علب جديدة.

الشكل رقم (٣-١٥) لفات الألمنيوم بعد عملية الدرفلة.

• الزجاج

تستخدم منتجات الزجاج في المنزل لأغراض مختلفة مثل الأثاث والأجهزة الإلكترونية وغيرها. وعلى الرغم من أن معظم المنتجات الغذائية في عصرنا الحالي أصبحت تعبأ في علب وقوارير بلاستيكية، إلا أنه لا زال الزجاج يستخدم في مجال تعبئة الغذاء مثل المشروبات الغازية وزيوت الأكل كزيت الزيتون وغيرها. يمكن أن يعاد تصنيع المنتجات الزجاجية المستغنى عنها على هيئة قوارير وحاويات جديدة، كما يمكن أن يستفاد من مخلفات الزجاج بعد جرشها كمواد عازلة على هيئة ألياف زجاجية أو يتم استخدامه لأغراض رصف الطرق كمادة مالئة للإسفلت. وكما هو الحال بالنسبة لإعادة تدوير المواد الأخرى غير الزجاج كالورق والألمنيوم، فإن تصنيع المنتجات الزجاجية من الزجاج المسترجع يؤدي إلى حفظ الموارد الطبيعية والطاقة، ويحد من انبعاث الغازات الضارة بالبيئة كثاني أكسيد الكربون، الذي ينتج من جراء تصنيع الزجاج من خاماته الطبيعية. أما طريقة إعادة تدوير الزجاج فإنها تتلخص فيما يلي:

- بعد عملية التجميع والنقل يتم إزالة الشوائب وفصل الزجاج بناءً على اللون، حيث يفصل الشفاف عن الألوان الأخرى مثل البني والأخضر (الشكل ٣-١٦). أيضًا فإن بعض أنواع الزجاج الخاصة والمعالجة مثل البايركس يجب فصلها عن منتجات الزجاج التقليدية لعدم التوافق بينهما، مما يتسبب في مشكلات فنية في أثناء تنفيذ عملية الصهر في الأفران المخصصة لذلك.

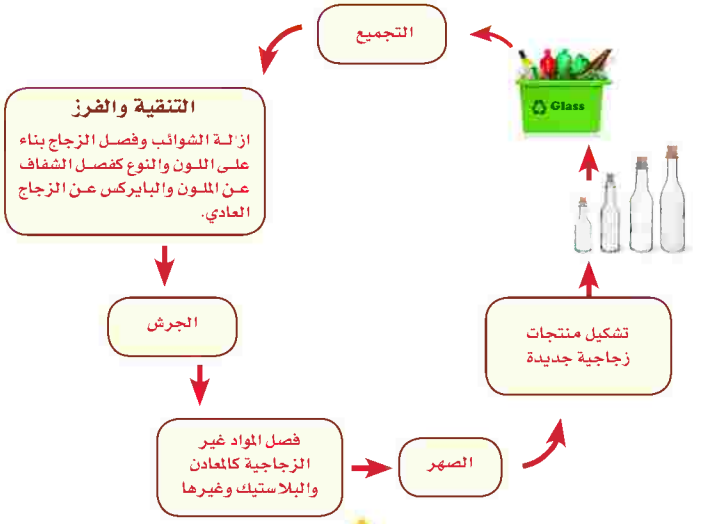
الشكل رقم (٣-١٦) منتجات زجاجية بألوان مختلفة.

يتم جرش الزجاج لتصغير حجمه ليسهل التعامل معه ومعالجته، ثم تزال الشوائب بعد الجرش مثل الأغطية والملصقات. كذلك يمكن استخدام المغناطيس لفصل أي شوائب حديدية.

يتم إدخال الزجاج المجروش إلى فرن الصهر عند درجة حرارة تبلغ حوالي ١٠٠٠°م.

بعد انصهار الزجاج يتم إعادة تصنيعه، وذلك بقولبته على هيئة منتجات مختلفة كالقوارير.

ويوضح الشكل ٣-١٧ مخططًا لعملية إعادة تدوير الزجاج.



الشكل رقم (٣-١٧) مراحل إعادة تدوير الزجاج.

• البلاستيك

خلال العقدين الماضيين، أدى التطور المذهل في عمليات تصنيع مواد الخام للمنتجات البلاستيكية والمعدات التي تستخدم لتشكيلها إلى اكتساح ملحوظ لتلك المواد في مختلف التطبيقات، وذلك بدءًا من مواد التعبئة والتغليف للمواد الغذائية، ومرورًا بمعظم التطبيقات المهمة كمواد البناء والتشييد والنقل والأثاث والمواد الإلكترونية والدهانات وغيرها. وأصبحنا نرى أن المواد البلاستيكية أضحت البديل الفاعل للمواد التقليدية: كالخشب والمعدن وغيرها. ويرجع ذلك إلى عدة أسباب منها: تعدد

أنـواع المـواد البلاستيكية وتوفر المـادة الخام، لتصنيـع تلك المواد ورخصها، لـدى الدول المنتجة للبـترول ومشتقاته. هـذا بالإضافة إلـى تميز تلـك المواد بخصائـص منافسـة للمـواد التقليدية، مثل جـودة الخصائص الميكانيكية والكيميائيـة وغيرها، مع خفة الوزن وقابليتهـا للتصنيـع، على هيئة أشكال متعـددة عند درجات حرارة منخفضـة نسبيًّا، لتخدم مختلـف التطبيقات. وتعـد صناعة المواد البلاستيكيـة مـن أكبر القطاعـات الصناعية حجمًـا على المستوى العالمي، ففي الولايات المتحـدة الأمريكية يعمل أكثر من ١,٣ مليون شخص في تلك الصناعة، بينمـا تبلغ المبيعات السنوية حوالي ٣٤٥ بليون دولار في السنـة. وفي أوروبا توظف صناعة المواد البلاستيكية بمـا في ذلك صناعة المعـدات اللازمة، لتصنيع المـواد البلاستيكية أكـثر من ١,٥ مليـون شخص، ويبلغ حجم الدخـل السنوي حوالي ٢٧٥ ألف مليون يورو.

تستحوذ بعض مصانع البلاستيك في المملكة العربية السعودية علـى حوالي ٦٠ ٪ من مبيعات شركة سابك من المواد البوليمرية[٢٨]، وهي المواد الخام لتصنيع مختلف المنتجات البلاستيكية، وهذا يؤكد قوة الطلـب لرفع الإنتـاج، لتغطية الطلب المتزايد مـن قبل مصانع البلاستيك داخل المملكة.

على الرغم من أهمية صناعة المواد البلاستيكية، ومساهمتها الفاعلـة في دعم الاقتصاد العالمي، لعلنا نسأل عن الأضرار الناتجة

عـن الاستهـلاك المطـرد لتلـك المـواد في مختلـف مناحـي الحياة العصرية. والجواب يكمن فيما يلي:

- إن معظـم المـواد البلاستيكيـة المستخدمـة في مختلـف التطبيقـات لها عمر استخـدام قصير جـدًّا، لهذا فإنها تصـير إلى مـواد مهملـة (Disposable) ومن ثـم فإنها تسهم وبشكل كبير في زيادة كمية النفايات.

- إن المـواد البلاستيكية تتصف بقلـة كثافتها النوعية، لذا فـإن أوزان قليلة جدًّا من تلك المـواد يكفي لصنع أحجام كبـيرة نسبيًّـا، فمثلًا يمكن صنـع عبوة ميـاه بلاستيكية بحجم ٥ لـتر، وذلك باستخدام حـوالي ١٠٠ غرام فقط من مـادة عديد الايثلين الترفثالاتـي PET المستخدمة في صناعات عبـوات المياه الشفافة، وهذا لـه أثر سلبي على المساحات المخصصة لدفن النفايات.

- تعرف المواد البلاستيكية بصعوبة تحللها مقارنة بالمواد التقليدية كالحديد، وهذا يتطلب زيادة في أعداد مدافن النفايات.

- قد يسهم تحلل بعض المواد التي تضاف لتحسين خصائص المواد البلاستيكية عند ردمها إلى إلحاق الضرر بالنظام البيئي.

- إن دفن تلك المواد وعدم الاستفادة منها عبر برامج إعادة تدوير النفايات يعد هدرًا اقتصاديًّا لا مبرر له.

إن مشكلة النفايات البلاستيكية أصبحت تؤرق الكثير من دول العالم، فبينما كانت نسبة النفايات البلاستيكية في الولايات المتحدة الامريكية ١ ٪ من مجموع النفايات البلدية الصلبة في عام ١٩٦٠ م، قفزت هذه النسبة إلى حوالي ١٢ ضعف ما كانت عليه في عام ١٩٦٠ م بحسب تقديرات وكالة حماية البيئة الأمريكية EPA. وبينما بلغ ما تم إعادة تدويره من المواد البلاستيكية حوالي ٣,٥٪ في عام ١٩٩٣م، تفوق نسبة إعادة التدوير للمواد البلاستيكية ٣٠٪ بحسب إحصاءات EPA. وتشير إحصاءات ١٩٩٧ م إلى وجود ٧٤٠٠ نقطة لجمع النفايات البلاستيكية (Curb side)، و١٢٠٠٠ مركز لتجميع تلك المواد (Drop-off centers). في المملكة المتحدة، ازدادت معدلات إعادة تدوير مواد التعبئة والتغليف البلاستيكية من ٨ ٪ في عام ١٩٩٨ م إلى أكثر من ٢٠ ٪ في السنوات القليلة الماضية [٢٩]. ويوجد في المملكة المتحدة أكثر من ألفي موقع لتجميع ما يقارب ٣٨٧ طن متري من النفايات البلاستيكية في الشهر [٣٠].

من أهم المنتجات البلاستيكية التي نتعامل معها بشكل يومي في المنزل، هي علب وحاويات اللبن والحليب ومشتقاته، وحاويات العصير والمياه الغازية، والأطباق والأكواب البلاستيكية، ذات الاستخدام لمرة واحدة. علاوة على ذلك يلاحظ في الآونة الاخيرة اعتماد الناس وبشكل كبير على استخدام المياه المعبأة في المنازل أو في أثناء التنزه في المناطق الصحراوية. وتجدر الإشارة إلى أن منتجات شركة سابك من مادة PET تفوق ٧٣ ألف طن متري في

السنـة، وبفرض أن ٦٠ ٪ مما يتـم إنتاجه يستخـدم لتصنيع علب الميـاه، فإنه يمكن تحويـل ذلك إلى أكثر مـن ٤٠٠ مليون عبوة سعة ٥ لتر أو ٣٠٠٠ مليون عبوة سعة ٠,٣٣ لتر.

إن الاستهـلاك الكبير لهذه المواد، أي مـواد التعبئة والتغليف البلاستيكية، يسهم بدرجـة عالية في زيادة كمية النفايات اليومية، حيـث إن هذه المواد لهـا عمر استخدام قصير جـدًّا، ومن ثم يكون مصيرهـا إلى مرمى النفايـات، فحاويات الميـاه البلاستيكية قد لا يفصل بين تصنيعها ورميها مع النفايات سوى بضعة أيام. بالرجوع إلـى الجـدول ١-١ يتبين أهم المواد التي تستخـدم في تعبئة الغذاء، وتعد المـواد االبلاستيكية المصنعة من مادتي PET و HDPE الأكثر استخدامًـا، حيـث تشكل نسبة أكثر مـن ٩٤ ٪ من مجموع النفايات البلاستيكية، حسب التقديـرات العالمية والمحلية[١٤]. ويعتقد أن هذا النـوع من النفايـات البلاستيكية هو الـذي يشكل السـواد الأعظم مـن النفايـات البلاستيكيـة البلديـة نظـرًا لأن تلـك المـواد ترمى بشـكل يومـي في ظـل غيـاب التشريعـات الخاصة بالاستفـادة من النفايات وإعـادة تدويرها، وخاصة النفايـات الاقتصادية: كالمواد البلاستيكيـة لأغراض التعبئة والتغليف. وقـد استغل بعض ضعاف النفوس مثل العمالـة الوافدة هذه الثغرة، وقاموا بعمل مصانع غير مرخصـة لمزاولة مهنة إعادة التدويـر للنفايات بطريقة غير سليمة مـن شأنهـا أن تضر باقتصاد البلـد والصحة العامـة، حيث يمكن أخـذ المواد البلاستيكيـة المستخدمة وصهرها، ومـن ثم خلطها مع

المـواد البلاستيكية الخام لإنتـاج مواد رخيصة الثمـن ورديئة، من حيـث الجودة، وربما ضـارة بصحة المجتمع لو وجـدت طريقها إلى تطبيقات حفظ وتعبئة الغذاء.

إن الإدارة الفاعلـة للنفايات البلاستيكيـة المنزلية والتجارية مـن خلال تطبيـق آليات لجمع وفرز تلك المواد مـن المصدر، وذلك عـبر إقامـة مراكز إعادة التدويـر في الأحياء والمجمعـات التجارية والمرافـق العامـة بمشاركـة القطاع الخاص، ربما يسهـم في تقليل تكلفـة إدارة النفايـات البلدية الصلبة، حيث مـن المعلوم أن مرحلة جمـع النفايات تستحوذ علـى أكثر من ٥٠ ٪ مـن إجمالي التكلفة. هـذا علاوة على التقليـل من الكميات الكبيرة من تلـك المواد، التي يتـم دفنها، وتتطلب مساحات شاسعة نظـرًا لكبر أحجامها، وأيضًا الخطـر المحتمل من جراء تسرب للمـواد المضافة للبلاستيك، التي معظمها قد يسبب أضرارًا لمكونات البيئة كالتربة والمياه الجوفية.

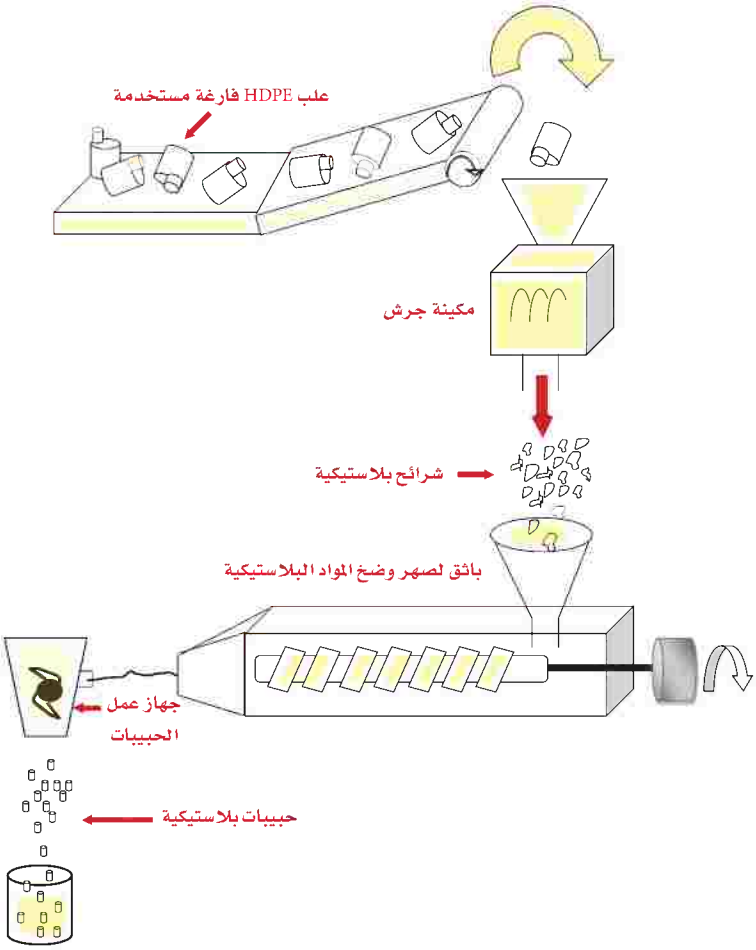
عندما يتـم فصل النفايات البلاستيكية عن النفايات المنزلية الأخرى، ويتم نقلها إلى الأماكن المهيأة لإعادة التدوير، فإنها يمكن أن تخضع لإحدى الطرق التالية:

- إعادة التدوير الفيزيائي أو الميكانيكي.
- إعادة التدوير الكيميائي.
- إعادة التدوير لإنتاج الطاقة (Waste to energy).

إعادة التدوير الفيزيائي

يقصد بإعادة التدوير الفيزيائي أو الميكانيكي للنفايات البلاستيكية أن يتم إعادة صهرها، ثم تشكيلها مرة أخرى لمنتجات مختلفة. وبهذه الطريقة لا يحدث للمادة البلاستيكية تغير كيميائي أو استهلاك للمادة من أجل إنتاج الطاقة. تبدأ عملية إعادة التدوير الفيزيائي للنفايات البلاستيكية بتهيئة تلك النفايات، التي تتعدد أشكالها على هيئة علب وحاويات وغيرها، حيث يتم فصل كل منتج بحسب نوعه، استنادًا على رمز المادة الموجود على أسفل العلبة أو المنتج. وكمثال لنفترض أننا بصدد إعادة تدوير حاويات اللبن والمياه المصنوعة من مادة عديد الايثلين مرتفع الكثافة (HDPE)، وهو يحمل الرقم ٢ بداخل مثلث. الخطوة الأولى تكون بالتأكد من عدم وجود شوائب في خط الإنتاج مثل الورق والغبار، وبعد ذلك يتم غسل الحاويات بالماء لإزالة ما يعلق بها من مواد غذائية وغيرها، ثم تجفف بالهواء تمهيدًا لتصغير أحجامها باستخدام ماكينات الجرش والتقطيع. بعد ذلك تخرج المواد بعد دخولها لمكينة الجرش على هيئة شرائح صغيرة في حدود ٤-٦ ملم، ويمكن الاكتفاء بهذه المرحلة وتعبئة تلك المواد في أكياس ضخمة مخصصة لذلك، ومن ثم بيعها للمستفيدين أو تصديرها كمواد خام. كما يمكن المضي في معالجة شرائح البلاستيك المنتجة في خطوات لاحقة، يتم فيها صهر تلك الشرائح وضخها كمصهور على شكل ضفائر من خلال فتحة دائرية يتراوح قطرها من ٣-٥ ملم، ليتم بعد ذلك تقطيعها على هيئة حبيبات أسطوانية. بعد ذلك تعبأ هذه الحبيبات في

أكياس لتشكل المادة الخام لتصنيع منتجات بلاستيكية متنوعة. يبين الشكل ٣-١٨ مخططًا يوضح هذه العمليات التي تم ذكرها لإعادة التدوير الفيزيائي لمنتجات مادة HDPE.



الشكل رقم (٣-١٨) إعادة تدوير فيزيائي لنفايات HDPE.

إعادة التدوير الكيميائي

في طريقة إعـادة التدوير الفيزيائي للنفايـات البلاستيكية لا يتـم إحداث أي تغيير كيميائي للمادة البلاستيكية، حيث يتم تحويل النفايـات البلاستيكية من منتجات كبـيرة ومختلفة الأحجام، مثل العلب والحاويـات إلى حبيبات منتظمة الشـكل، يمكن استخدامها مـرة أخرى كمـادة خام لتصنيع منتجات متنوعـة دون الحاجة إلى استخـدام خامـات بلاستيكية جديـدة. أما طريقة إعـادة التدوير الكيميائـي، فـإن المـادة البلاستيكية يتـم تفكيكها بفعـل الحرارة المرتفعـة جدًّا وبوجود المواد المحفزة إلـى المواد الأولية، التي صنعت منهـا المادة البلاستيكيـة أو ما يسمى بالمونومـيرات(*). يمكن بهذه الطريقـة أن يتم تحويل النفايـات البلاستيكية إلى منتجات مفيدة: كالوقود، وزيوت التشحيم، ومادة الكربون (Carbon black).

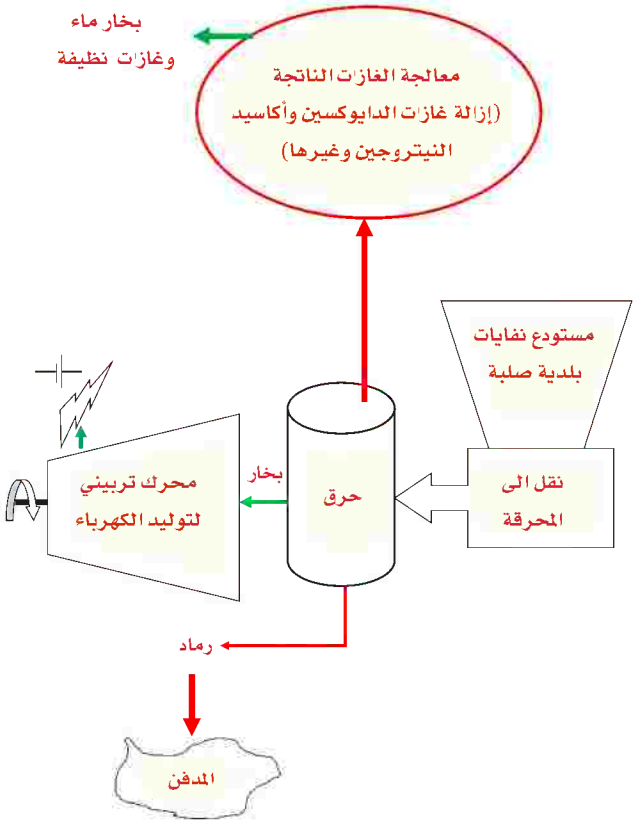
إعادة التدوير لإنتاج الطاقة (Waste to energy)

هـذه الطريقـة شبيهـة إلى حد مـا بطريقـة إعـادة التدوير الكيميائي، إلا أنه لا يتـم استرجاع النفايات البلاستيكية على هيئة مـواد أولية كالزيوت وغيرها وإنما تترك تلك النفايات البلاستيكية لتحترق تمامًا لإنتاج غازات وأبخرة، يتم استغلالها لتوليد الطاقة.

(*) المونومير هو وحدة بناء البوليمر أو المادة البلاستيكية، فمثلاً عديد الستايرين يكون المونومير له هو مركب الستايرين.

ج. المحارق الخاصة بالنفايات لإنتاج الطاقة

إن الهدف الأساس من استخدام المحارق المثالية المخصصة لمعالجة النفايات (Incinerators) هو التقليل من كمية وحجم النفايات التي تدفن بشكل يومي، وكذلك التخلص من أي مكونات قد تضر بالبيئة والصحة العامة، وذلك عن طريق الحرق الكامل. وهناك أغراض أخرى تتحقق بإجراء عملية الحرق المثالي للنفايات، مثل إنتاج الطاقة، وذلك عن طريق إنتاج البخار لتوليد الكهرباء. إن نواتج الحرق هي بالضرورة غازات ورماد، وهنا ينبغي ملاحظة أنه إضافة إلى أن طريقة معالجة النفايات باستخدام المحارق المثالية لا يعد مجديًا اقتصاديًّا إذا ما قورن بطريقة الدفن، فإنه يوجد أيضًا بعض التبعات لمثل هذه العملية، ومنها احتمال انبعاث بعض الغازات السامة ولو بنسب ضئيلة جدًّا في أثناء إجراء عملية الحرق، وكذلك فإن الرماد الناتج قد يحتوي على مواد ضارة، مثل المعادن الثقيلة كالرصاص وغيره. وهنا ينبغي التفريق بين هذه الطريقة وطريقة الحرق المفتوح العشوائي، الذي لا يتم في محارق مهيأة لمثل هذه العمليات. إن المحرقة المثالية للنفايات لإنتاج الطاقة ينبغي أن تحقق جملة من الشروط، ومنها التخلص التام من النواتج الجانبية الضارة، التي قد تنبعث نتيجة عملية الحرق، ومنها غازات أكاسيد النيتروجين والدايوكسين والزئبق، وكذلك الأمطار الحمضية. ويبين الشكل ٣-١٩ مخططًا للعمليات التي تتم في محرقة مثالية.



الشكل رقم (٣-١٩) حرق النفايات لتوليد الطاقة.

د. إنتاج الغاز الحيوي من مدافن النفايات

كما أشرنا عند الحديث في أوائل أجزاء هذا الباب عن دفن النفايات في المدافن البلدية، وفي ظل عدم توفر الهواء أو محدوديته تحت الأرض، فإنه يحدث تخمر للنفايات العضوية يكون من نتائجه

توليد بعض الغازات المسئولة عن ظاهرة الاحتباس الحراري: كغاز الميثان. حيث يمكن في هذه الحالة عمل مصائد لهذا الغاز، واستغلاله بشكل إيجابي بوصفه مصدرًا من مصادر الطاقة والوقود. كما يمكن بناء مفاعلات التخمير لإنتاج الغاز الحيوي كالميثان من خلال تغذية تلك المفاعلات بالنفايات العضوية: كالورق ومتبقيات الطعام وغيرها (شكل ٣-٢٠).

الشكل رقم (٣-٢٠) إنتاج الغاز الحيوي من النفايات البلدية [٣١].

إدارة النفايات المنزلية في المملكة العربية السعودية

لا توجد إحصاءات دقيقة عن كمية النفايات المنزلية وتصنيفها في المملكة العربية السعودية، وذلك نظرًا لعدم وجود تشريعات مفعلة تلزم بإعادة تدوير النفايات والحد من التخلص منها في مدافن النفايات البلدية على غرار ما هو معمول به في بعض الدول المتقدمة. يقدر معدل إنتاج الفرد اليومي من النفايات في المملكة العربية السعودية بأكثر من ١,٨ كغم. لابد من الإشارة هنا أن النظام الأساسي للحكم في المملكة العربية السعودية ينص في إحدى مواده على الاهتمام بحفظ البيئة من التلوث. وهذا يعزز أهمية وجود تشريعات تلزم بتطبيق برامج إعادة تدوير النفايات كوسيلة للحد من تلوث البيئة. هناك العديد من الأنظمة والخطط السعودية المتعلقة بحفظ البيئة ومنها النظام العام للبيئة والإستراتيجية الوطنية للصحة والبيئة والخطة التنفيذية لحماية البيئة بمدينة الرياض. وقد نصت الإستراتيجية الوطنية للصحة والبيئة على تشجيع ودعم برامج إعادة تدوير النفايات الصلبة. وحديثًا وافق مجلس الوزراء في السعودية على نظام إدارة النفايات البلدية الصلبة(*) (ملحق ب). وهذا النظام ينص على ضرورة فصل النفايات البلدية وجمعها ونقلها وفرزها ومعالجتها بالطرق

(*) يمكن الاطلاع على هذا النظام من خلال الموقع الإلكتروني لوزارة الشؤون البلدية والقروية.

السليمة المتبعة دوليًّا. ومن المتوقع أن يفعل هذا النظام من خلال إصدار لوائحه التنفيذية. وسينبثق عن هذا النظام بحسب مادته الرابعة إستراتيجية وطنية لإدارة النفايات البلدية الصلبة كإطار لعمل مؤسسي وفني. وقد حدد النظام أيضًا قواعد وإجراءات مزاولة نشاط إدارة النفايات البلدية الصلبة، التي تشكل النفايات المنزلية جزءًا مهمًّا منها. كما نصت إحدى مواد هذا النظام على منع من لا يملك تصريحًا أن يقوم بجمع وتخزين أو الاستحواذ على النفايات البلدية الصلبة بغرض الاستفادة منها، أو إعادة تدويرها. كما نص النظام على بعض العقوبات لمن يرتكب مخالفات تعرقل سير إدارة النفايات البلدية الصلبة، مثل نبش حاويات النفايات والحرق العشوائي للنفايات لغير المرخص لهم. وحتى يرى المرء هذا النظام واقعًا، فإن النفايات المنزلية في المملكة العربية السعودية لا تزال تدار بالطرق التقليدية، حيث يتم رمي جميع النفايات بمختلف أنواعها في حاوية واحدة أمام المنازل وداخل الأحياء السكنية، ثم يتم نقلها إلى مدافن البلدية. ويوجد بعض الجهود المبعثرة هنا وهناك للإدارة السليمة للنفايات المنزلية وإعادة تدويرها مثل تدوير النفايات في أرامكو السعودية وبعض الأسواق التجارية التي وضعت حاويات لفصل النفايات.

وفي الآونة الأخيرة تم السماح بمنح تصاريح للقطاع الخاص لممارسة عمليات إعادة التدوير للنفايات، ففي مدينة جدة يتم فرز النفايات البلاستيكية، ولكن ذلك يجري عند المدفن، وهو بلا شك

غير حضاري وغير مجدي اقتصاديًّا، حيث لا بد من تفعيل المشاركة بين القطاع الحكومي ممثلًا في أمانات المدن والقطاع الخاص من خلال مصانع المواد البلاستيكية، وذلك بإنشاء مراكز لتجميع وفرز النفايات البلاستيكية قبل أن تختلط بالنفايات الأخرى في الأحياء والمجمعات السكنية. وقد قامت مدينة الملك عبدالعزيز بتنفيذ مشروع بحثي حول إعادة تدوير النفايات البلاستيكية المنزلية، كما هو موضح في الملحق ج.

وقد أدى رخص ثمن المواد الخام لتصنيع تلك المواد بكميات هائلة، وعدم احتسابها من ضمن تكلفة المنتج الغذائي، وغياب الأنظمة التي تلزم بعدم رميها مع المخلفات العامة، أدى ذلك إلى عدم الاكتراث بها من قبل المستهلكين، ورميها في حاوية النفايات وفي الطرقات والشوارع والمتنزهات وغيرها. إن المسؤولية مشتركة بين القطاع الحكومي ممثلًا بأمانات المدن التي تتعامل مباشرة مع النفايات الصلبة، وتقوم بإدارتها والقطاع الخاص من خلال مصانع المواد البلاستيكية. ولكن في ظل عدم وجود تشريعات تجبر القطاع الخاص على المشاركة لن يكون هناك جدوى من خلال منح التصاريح فقط، فالحالة الراهنة لإدارة النفايات البلدية الصلبة غير مشجعة لمشاركة القطاع الخاص من ناحية اقتصادية نظرًا لعدم تطبيق سياسة فصل النفايات البلاستيكية من المصدر.