

3

إدارة النفايات المنزلية وطرق التخلص منها



obeikandi.com

تشكل 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 تمهيداً 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 شريكاً 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



النفائات البلدية (Landfills). تشكل النفائات المنزلية حوالي ٦٥٪ من النفائات البلدية الصلبة (MSW) ^{٢٣}، وهذا يجعل الحديث عن ضرورة إدارتها بطرق فاعلة أمراً مهماً جداً. ولنأخذ مثلاً على أحد مكونات النفائات 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 النفائات المنزلية: كعمليات الفرز من المصدر، وإعادة التدوير للمواد القابلة لذلك: كالورق والبلاستيك، وكذلك إنتاج السماد العضوي والطاقة. وللتوضيح فإن هذه الطرق لإدارة النفائات 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 النفائات المنزلية في المملكة العربية السعودية في نهاية هذا الفصل.

إدارة النفائات المنزلية

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

للنفايات المنزلية يعد مطلباً أساساً 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 أمراً مهماً جداً 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 التواءات الثلاث، التي ذكرت في مقدمة هذا الكتاب للتقليل من تكوين النفايات. فمثلاً 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 مطلباً ضرورياً 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 النفائيات المنتجة يومياً. وأخيراً يجب التنويه إلى أن وعي المجتمع وحده بأهمية إعادة التدوير للنفائيات لا يعد كافياً إذ لا بد من وجود محفزات تدفع أفراد المجتمع إلى المشاركة الفاعلة في عملية إعادة تدوير النفائيات 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 للنفائيات ونقط التجميع أمام المنازل وداخل الأحياء السكنية

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



الشكل رقم (١-٣) 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 والألومنيوم والبلاستيك وتصنيع الأسمدة الطبيعية من النفايات العضوية: كمتبقيات الأطعمة ومخلفات الحديقة المنزلية، وأخيراً دفن المتبقي من النفايات في المدافن البلدية أو حرقها في محارق مهيأة لإنتاج الطاقة. يبين الشكل ٢-٣ مخططاً مثاليّاً لعملية إدارة النفايات



النفايات المنزلية

بين إعادة التدوير والأضرار الصحية والبيئية



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 مطلباً مهماً جداً للتسهيل على الجهات العاملة في إدارة ومعالجة النفايات المنزلية. إن فصل النفايات من المصدر وتصنيفها بحسب نوعها يقلل تكلفة معالجتها، ويجعل ذلك مجدياً 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 مخضبات التربة والسماذ. 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.
 (١) مراكز إعادة التدوير، (ب) التدوير الرصيفي.



طرق التخلص من النفائات ومعالجتها

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

المصدر، أي بواسطة الحاويات المخصصة لكل نوع من النفايات أمام المنازل أو في المجمعات السكنية، 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 تفريغ 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 خلاله النفايات بسلسلة من السيور المتحركة المزودة بغربال لفصل النفايات بحسب الحجم، حيث تسقط النفايات صغيرة الحجم من فتحات الغربال وتبقى النفايات الأخرى الكبيرة، التي غالباً ما تكون قابلة لإعادة التدوير كالبلستيك وغيره. يمكن فصل المواد التي تبقى على السيور المتحركة: إما يدوياً بواسطة العمال وهذا مكلف أو آلياً باستخدام تقنيات مختلفة. الفرز اليدوي هو أكثر دقة لكنه غير مجدي اقتصادياً. أما الفرز الآلي فيتم باستخدام السيور المغناطيسية، لفصل المواد ذات النشاط المغناطيسي كالحديد والفولاذ، وكذلك يمكن استخدام تقنية التيار العكسي (Eddy current)، وذلك لفصل منتجات الألمنيوم كعلب المشروبات الغازية. كما يمكن فصل بعض مكونات النفايات بحسب أوزانها أو خواصها الضوئية، وهو المتبع عند فصل المواد البلاستيكية بتقنية الأشعة فوق البنفسجية.



وفيما يلي أهم الطرق المتبعة لمعالجة النفائيات المنزلية والتخلص منها.

أ. الدفن والحرق المفتوح (العشوائي)

في ظل غياب التشريعات الملزمة لمعالجة النفائيات المنزلية يمكن أن يتم دفنها في مدافن النفائيات 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 النفائيات المنزلية أن تتسلل إلى جوف الأرض، وتلحق الضرر بالماء والتربة، فإن فيه هدرًا اقتصاديًا لا مبرر له. إن مدفن النفائيات 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 النفائيات. يحدث تحلل النفائيات عند تعرض مكوناتها العضوية للهواء، وهذه العملية يطلق عليها مسمى التحلل الهوائي أو الأكسوجيني (Aerobic)، كما يحدث أيضًا تحلل للنفائيات 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 تغلغت في

جوف الأرض. كذلك ينتج عن عملية التحلل الغير هوائي للنفايات العضوية غازات ضارة بالبيئة كغازات الاحتباس الحراري، مثل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والميثان (CH_4).

من المألوف أن يرى المرء منا في بعض المناطق النائية وفي المتزهات البرية وغيرها أكواماً من النفايات، تتصاعد منها الأدخنة نتيجة لحرق تلك النفايات (شكل ٣-٤)، بل إن البعض وخاصة من الشباب عند قيامهم برحلة برية يقومون بحرق ما يجتمع لديهم من نفايات ظناً منهم أن هذه هي الطريقة المثلى للتخلص من النفايات بدلاً عن رميها في الصحراء (شكل ٣-٥). إن الأخطار المترتبة نتيجة الحرق المفتوح أو العشوائي للنفايات في أماكن غير مهيأة كثيرة، ومنها أن غازات خطيرة مثل غازات الداىوكسين(*) وغيرها يمكن أن تتحرر مما يسبب تلوثاً للهواء الجوي، وكذلك فإن ما يتخلف نتيجة الحرق من رماد قد يحتوي على مواد سامة ضارة بالبيئة وخاصة للتربة والنبات والماء. ناهيك عن أن النفايات المنزلية ربما تحتوي على نفايات طبية تحتاج إلى معارح خاصة لمعالجتها.

(*) الداىوكسين هو عبارة عن مجموعة من المركبات الهيدروكربونية العطرية الهالوجينية (PHAHs). ومن أشهر هذه المركبات CDDs و CDFs و PCBs.



النفايات المنزلية

بين إعادة التدوير والأضرار الصحية والبيئية



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



الشكل رقم (٣-٥) حرق النفايات في الصحراء (البر)١١.

ب. استرجاع وإعادة تدوير النفايات

يمكن أن يتم الاستفادة من معظم مكونات النفايات المنزلية، وذلك عن طريق تحويل النفايات العضوية: كمتبقيات الأغذية ومخلفات الحدائق المنزلية إلى مواد مفيدة كالأسمدة الطبيعية. كذلك يمكن إعادة تدوير نفايات البلاستيك والورق والمعدن والزجاج. وأخيراً، يمكن إنتاج الغاز حيوي (ميثان) عن طريق بناء مفاعلات التخمر داخل مدفن النفايات البلدية، وإنتاج الطاقة عن طريق حرق المتبقي من النفايات أو جمع النفايات قبل الفصل والمعالجة وذلك من خلال محارق مخصصة لذلك. وفيما يلي نستعرض أهم تلك الطرق.



• إنتاج مخضبات التربة والأسمدة من النفائات العضوية

«كومبوست Composting» هي عملية تحويل النفائات العضوية بقايا الطعام والنبات، عن طريق تحللها بفعل الكائنات الدقيقة إلى مركبات عضوية صغيرة. يمكن استخدام نواتج هذه العملية كمخضبات للتربة وبدائل للسماد الكيماوي المستخدم في زراعة الحديقة المنزلية. إن هذه الطريقة، «كومبوست»، من شأنها أن تحقق فوائد عديدة، منها التقليل من كمية النفائات 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 منزلياً 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 النفائات 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 وغريلة 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.



النفايات المنزلية

بين إعادة التدوير والحد من الأضرار الصحية والبيئية



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



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

يمكن أيضاً عمل الكومبوست باستخدام ديدان الأرض الحمراء، وتسمى هذه الطريقة «Vermicomposting»، حيث تقوم تلك الديدان (شكل ٣-٨) بالتغذي على النفايات العضوية بما يعادل وزنها بشكل يومي، وتقوم بتحويلها على شكل فضلات كمادة مفيدة جداً لتغذية النباتات.



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: كمنشارة 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: كمنشارة 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



من العوامل المهمة مستوى الرطوبة ودرجة التهوية فيها، ونسبة الخلط الجيدة للنفايات البنية إلى الخضراء وأخيراً درجة الحرارة المناسبة بين ٣٠-٦٠°م حيث إن الجو البارد لا يساعد على تحلل النفايات العضوية إلى كومبوست.

• إعادة التدوير

إعادة التدوير تعني أن يتم استرجاع بعض أنواع النفايات كالورق والزجاج والمعادن والبلاستيك وتهيئتها عبر عمليات صناعية، ليتم إعادة استعمالها كمواد خام لتصنيع منتجات جديدة. وعلى الرغم من أن العمليات الصناعية التي تمر بها عملية إعادة تدوير النفايات من فصل وتنقية وصهر وغيرها، قد يؤدي إلى بعض الضرر بالبيئة علاوة على التكلفة الاقتصادية المتوقعة، إلا أن فيه -أي إعادة التدوير- منافع جمة، منها حفظ الموارد الطبيعية والطاقة من نفط وغاز ومعادن، وتقليل كمية النفايات البلدية التي يتم دفنها وما له من تبعات بيئية: كتلوث الهواء بالغازات، وتلوث المياه الجوفية وغيرها. إن خيار التدوير يعتمد على إستراتيجيات الدول، ففي البلدان التي تفتقر إلى مصادر رخيصة للطاقة كالبترول ربما يكون في حرق النفايات ككتلة واحدة، لإنتاج الطاقة خياراً إستراتيجياً، لأن فصل المواد القابلة لإعادة التدوير كالبلاستيك ربما يقلل من القيمة الحرارية التي 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 مسبقاً. لكن مع الزيادة المطردة في إنتاج الورق بمختلف أشكاله فإن خيار إعادة التدوير للأغراض نفسها مثل طباعة الصحف والمجلات يبقى إستراتيجياً لحفظ الموارد الطبيعية المتمثلة أساساً 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 سلباً على إمكانية إعادة تدويره، فالورق خلافاً 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 الغريلة، من الشوائب التي قد تؤثر على جودة الورق، مثل بقايا المواد البلاستيكية والغراء وغيرها من الشوائب. بعد ذلك



النفايات المنزلية

بين إعادة التدوير والأضرار الصحية والبيئية

يتم تنظيف عجينة الورق بطريقة الإعصار الحلزوني «السايلون»، وذلك للتخلص من المواد العالقة كمشابك «دبايس» 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 مخططاً 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	<ul style="list-style-type: none"> يجب فصل الورق عن النفايات المنزلية الأخرى: كبقايا الطعام والبلاستيك وعلب الألمنيوم. 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 تخزينه.
تهيئة عجينة الورق وتنقيتها بالغربلة	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> هنا يتم فصل الشوائب التي لم يتم إزالتها في مرحلة الغربلة مثل مشابك الورق.
إزالة الحبر	<ul style="list-style-type: none"> 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.



النفايات المنزلية

بين إعادة التدوير والأضرار الصحية والبيئية

<ul style="list-style-type: none">• يتم ضرب خليط عجينة الورق وتقليبه لفصل ألياف السليولوز المنتخبة عن بعضها، وهي تعد الخامات الرئيسية 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.	<p>التكرير والتبييض</p>
<ul style="list-style-type: none">• 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 ثقب لتجفيف الورق من الماء.• عندما تتحرك عجينة الورق المرشوشة على السير المتحرك ينزل الماء عبر ثقب 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 أيضاً 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 لمعانا ونعومة لبعض التطبيقات المهمة في الطباعة.• أخيراً يتم تجميع الورق على هيئة لفات (رولات) ضخمة قد يصل وزن اللفة الواحدة حوالي ٢٠ طن وعرضها ما يقارب ٤ أمتار.	<p>عمل لفات (رولات) الورق المعاد تدويره</p>



الشكل رقم (٣-١) مراحل إعادة تدوير الورق.

• المعادن

يمكن القول بشكل عام: إن المنتجات المصنوعة من المعادن التقليدية كالحديد والنحاس وغيرها يمكن إعادة تدويرها، وذلك بالصهر وإعادة التشكيل على هيئة منتجات مختلفة. تعد عبث المشروبات الغازية (شكل ٣-١١) المصنوعة من معدن الألمنيوم أهم النفايات المنزلية المعدنية. كذلك يمكن أن تنتج من المنزل نفايات معدنية أخرى كمعلبات الأطعمة المختلفة (شكل 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. ونظراً لارتفاع سعر خام الألمنيوم فإن استرجاعه من تلك النفايات يعد مطلباً إستراتيجياً. أيضاً 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 أيضاً 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.



النفايات المنزلية

بين إعادة التدوير والاضرار الصحية والبيئية



الشكل رقم (٣-١٣) آلة إعادة التدوير RVM

أما طريقة إعادة تصنيع معدن الألمنيوم من العلب الفارغة فإنها تتلخص فيما يلي:
كبس العلب الفارغة وربطها على هيئة حزم كبيرة 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 650°م. ويتم إضافة خليط من الملح والمواد الأخرى لإزالة الأكاسيد إن وجدت.
- في هذه الأثناء يتم فحص الألمنيوم المصهور للتأكد من جودته كيميائياً.
- يصب الألمنيوم المصهور في قوالب وينتج على هيئة سبائك متوازية المستطيلات، تتراوح أوزانها من 10 كجم الى 20 طن.
- تترك هذه السبائك تبرد لتتصلب، ثم يتم تنعيم السطوح العلوية والسفلية لتلك السبائك وتسمى هذه العملية بالسلك (Scalping).



- يتم ضغط السبائك بين إسطوانتين ضخمتين، وهو ما يطلق عليه عملية «الدرفلة»، حتى يتم إنتاج لفات أورقائق ألمنيوم بسمك يبلغ حوالي ٢٥, ١ سم، أما الطول فيمكن أن يتراوح من ٣٠٠-٣٠٠٠ م (شكل ٣-١٥). ويقدر عدد العلب اللازمة لعمل تلك اللفة الضخمة من الألمنيوم بأكثر من مليون علبة مشروبات غازية مسترجعة.
- يتم استخدام هذه اللفائف الضخمة من 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 وزيت 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 مألئة 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 كثنائي 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). أيضاً 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.



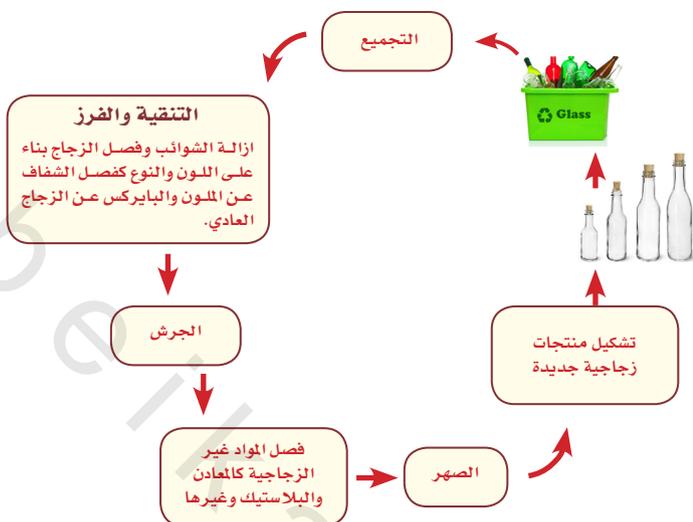
الشكل رقم (٣-١٦) منتجات زجاجية بألوان مختلفة.

يتم جرش الزجاج لتصغير حجمه ليسهل التعامل معه ومعالجته، ثم تزال الشوائب بعد الجرش مثل الأغشية 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 كالبوارير.

ويوضح الشكل ٣-١٧ مخططاً 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 بدءاً من مواد التعبئة والتغليف للمواد الغذائية، ومروراً 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



أنواع المواد البلاستيكية وتوفر المادة الخام، لتصنيع تلك المواد ورخصها، لدى الدول المنتجة للبترول ومشتقاته. هذا بالإضافة إلى تميز تلك المواد بخصائص منافسة للمواد التقليدية، مثل جودة الخصائص الميكانيكية والكيميائية وغيرها، مع خفة الوزن وقابليتها للتصنيع، على هيئة أشكال متعددة عند درجات حرارة منخفضة نسبيًا، لتخدم مختلف التطبيقات. وتعد صناعة المواد البلاستيكية من أكبر القطاعات الصناعية حجمًا على المستوى العالمي، ففي الولايات المتحدة الأمريكية يعمل أكثر من ٣, ١ مليون شخص في تلك الصناعة، بينما تبلغ المبيعات السنوية حوالي ٣٤٥ بليون دولار في السنة. وفي أوروبا توظف صناعة المواد البلاستيكية بما في ذلك صناعة المعدات اللازمة، لتصنيع المواد البلاستيكية أكثر من ١, ٥ مليون شخص، ويبلغ حجم الدخل السنوي حوالي ٢٧٥ ألف مليون يورو.

تستحوذ بعض مصانع البلاستيك في المملكة العربية السعودية على حوالي ٦٠٪ من مبيعات شركة سابك من المواد البولييمرية^{٢٨}، وهي المواد الخام لتصنيع مختلف المنتجات البلاستيكية، وهذا يؤكد قوة الطلب لرفع الإنتاج، لتغطية الطلب المتزايد من قبل مصانع البلاستيك داخل المملكة.

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

عن الاستهلاك المطرد لتلك المواد في مختلف مناحي الحياة
العصرية. والجواب يكمن فيما يلي:

- إن معظم المواد البلاستيكية المستخدمة في مختلف التطبيقات لها عمر استخدام قصير جداً، لهذا فإنها تصير إلى مواد مهملة (Disposable) ومن ثم فإنها تسهم وبشكل كبير في زيادة كمية النفايات.
- إن المواد البلاستيكية تتصف بقلّة كثافتها النوعية، لذا فإن أوزان قليلة جداً من تلك المواد يكفي لصنع أحجام كبيرة نسبياً، فمثلاً يمكن صنع عبوة مياه بلاستيكية بحجم ٥ لتر، وذلك باستخدام حوالي ١٠٠ غرام فقط من مادة عديد الايثيلين الترفثالاتي PET المستخدمة في صناعات عبوات المياه الشفافة، وهذا له أثر سلبي على المساحات المخصصة لدفن النفايات.
- تعرف المواد البلاستيكية بصعوبة تحللها مقارنة بالمواد التقليدية كالخشب، 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 هدراً اقتصادياً لا مبرر له.



إن مشكلة النفايات البلاستيكية أصبحت تؤرق الكثير من دول العالم، فبينما كانت نسبة النفايات البلاستيكية في الولايات المتحدة الأمريكية 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 ١٩٩٣ م، 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 ٢٨٧ 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 الأخيرة 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

السنة، وبفرض أن ٦٠٪ مما يتم إنتاجه يستخدم لتصنيع علب المياه، فإنه يمكن تحويل ذلك إلى أكثر من ٤٠٠ مليون عبوة سعة ٥ لتر أو ٣٠٠٠ مليون عبوة سعة ٠,٣٣ لتر.

إن الاستهلاك الكبير لهذه المواد، أي مواد التعبئة والتغليف البلاستيكية، يسهم بدرجة عالية في زيادة كمية النفايات اليومية، حيث إن هذه المواد لها عمر استخدام قصير جداً، ومن ثم يكون مصيرها إلى مرمى النفايات، فحاويات المياه البلاستيكية قد لا يفصل بين تصنيعها ورميها مع النفايات سوى بضعة أيام. بالرجوع إلى الجدول ١-١ يتبين أهم المواد التي تستخدم في تعبئة الغذاء، وتعد المواد البلاستيكية المصنعة من مادتي PET و HDPE الأكثر استخداماً، حيث تشكل نسبة أكثر من ٩٤٪ من مجموع النفايات البلاستيكية، حسب التقديرات العالمية والمحلية^{١٤}. ويعتقد أن هذا النوع من النفايات البلاستيكية هو الذي يشكل السواد الأعظم من النفايات البلاستيكية البلدية نظراً لأن تلك المواد ترمى بشكل يومي في ظل غياب التشريعات الخاصة بالاستفادة من النفايات وإعادة تدويرها، وخاصة النفايات الاقتصادية: كالمواد البلاستيكية لأغراض التعبئة والتغليف. وقد استغل بعض ضعاف النفوس مثل العمالة الوافدة هذه الثغرة، وقاموا بعمل مصانع غير مرخصة لمزاولة مهنة إعادة التدوير للنفايات بطريقة غير سليمة من شأنها أن تضر باقتصاد البلد والصحة العامة، حيث يمكن أخذ المواد البلاستيكية المستخدمة وصهرها، ومن ثم خلطها مع



المواد البلاستيكية الخام لإنتاج مواد رخيصة الثمن ورتديئة، من حيث الجودة، وربما ضارة بصحة المجتمع لو وجدت طريقها إلى تطبيقات حفظ وتعبئة الغذاء.

إن الإدارة الفاعلة للنفايات البلاستيكية المنزلية والتجارية من خلال تطبيق آليات لجمع وفرز تلك المواد من المصدر، وذلك عبر إقامة مراكز إعادة التدوير في الأحياء والمجمعات التجارية والمرافق العامة بمشاركة القطاع الخاص، ربما يسهم في تقليل تكلفة إدارة النفايات البلدية الصلبة، حيث من المعلوم أن مرحلة جمع النفايات تستحوذ على أكثر من ٥٠٪ من إجمالي التكلفة. هذا علاوة على التقليل من الكميات الكبيرة من تلك المواد، التي يتم دفنها، وتتطلب مساحات شاسعة نظراً لحجمها، وأيضاً الخطر المحتمل من جراء تسرب للمواد المضافة للبلاستيك، التي معظمها قد يسبب أضراراً لمكونات البيئة كالتربة والمياه الجوفية.

عندما يتم 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

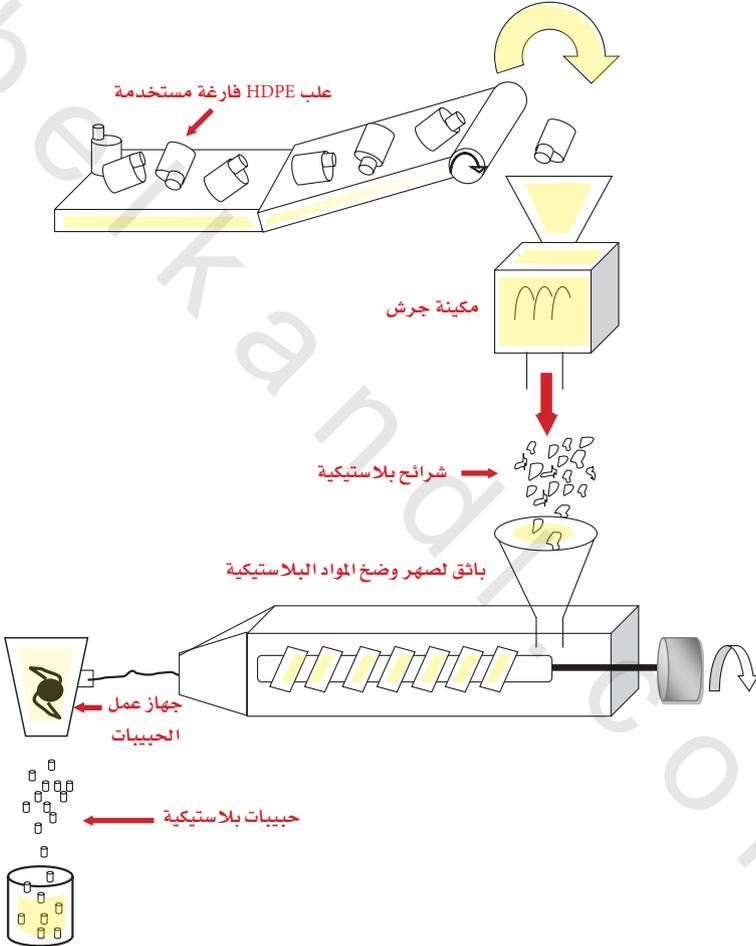
يقصد بإعادة التدوير الفيزيائي أو الميكانيكي للنفايات البلاستيكية أن يتم إعادة صهرها، ثم تشكيلها مرة أخرى لمنتجات مختلفة. وبهذه الطريقة لا يحدث للمادة البلاستيكية تغير كيميائي أو استهلاك للمادة من أجل إنتاج الطاقة. تبدأ عملية إعادة التدوير الفيزيائي للنفايات البلاستيكية بتهيئة تلك النفايات، التي تتعدد أشكالها على هيئة علب وحاويات وغيرها، حيث يتم فصل كل منتج بحسب نوعه، استناداً على رمز المادة الموجود على أسفل العبوة 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 تمهيداً 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



النفايات المنزلية

بين إعادة التدوير والأضرار الصحية والبيئية

أكياس لتشكيل المادة الخام لتصنيع منتجات بلاستيكية متنوعة. يبين الشكل ٣-١٨ مخططاً 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 إعادة التدوير الفيزيائي للنفايات البلاستيكية لا يتم إحداث أي تغيير كيميائي للمادة البلاستيكية، حيث يتم تحويل النفايات البلاستيكية من منتجات كبيرة ومختلفة الأحجام، مثل اللعب والحاويات إلى حبيبات منتظمة الشكل، يمكن استخدامها مرة أخرى كمادة خام لتصنيع منتجات متنوعة دون الحاجة إلى استخدام خامات بلاستيكية جديدة. أما طريقة إعادة التدوير الكيميائي، فإن المادة البلاستيكية يتم تفكيكها بفعل الحرارة المرتفعة جداً وبوجود المواد المحفزة إلى المواد الأولية، التي صنعت منها المادة البلاستيكية أو ما يسمى بالمونوميرات (*). يمكن بهذه الطريقة أن يتم تحويل النفايات البلاستيكية إلى منتجات مفيدة: كالوقود، وزيت التشحيم، ومادة الكربون (Carbon black).

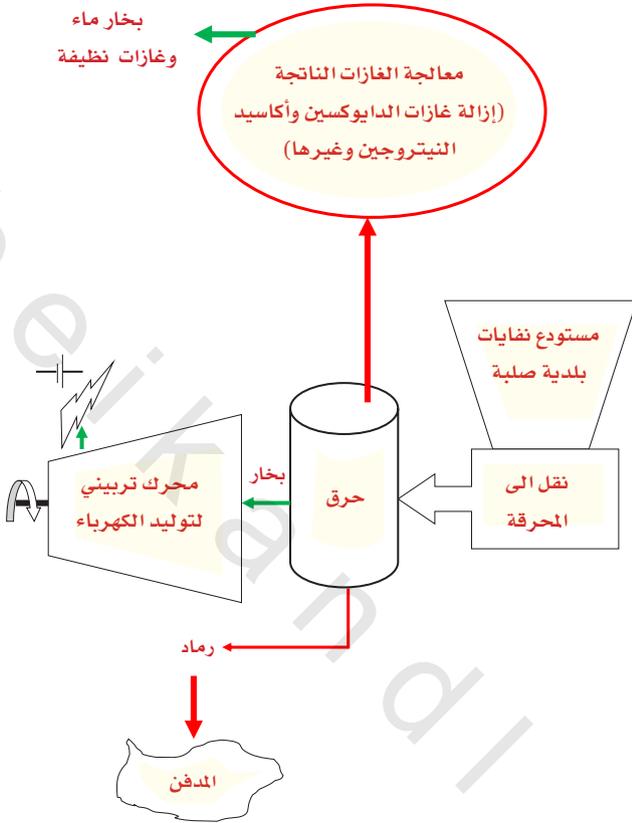
إعادة التدوير لإنتاج الطاقة (Waste to energy)

هذه الطريقة شبيهة إلى حد ما بطريقة إعادة التدوير الكيميائي، إلا أنه لا يتم استرجاع النفايات البلاستيكية على هيئة مواد أولية كالزيت وغيرها وإنما تترك تلك النفايات البلاستيكية لتحترق تماماً 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 مجدياً اقتصادياً إذا ما قورن بطريقة الدفن، فإنه يوجد أيضاً بعض التبعات لمثل هذه العملية، ومنها احتمال انبعاث بعض الغازات السامة ولو بنسب ضئيلة جداً 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 والزرنيق، وكذلك الأمطار الحمضية. ويبين الشكل ٣-١٩ مخططاً 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



النفايات المنزلية

بين إعادة التدوير والأضرار الصحية والبيئية

توليد بعض الغازات المسؤولة 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 التخمر 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 نظراً 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 ٨, ١ كغم. لا بد 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. وحديثاً 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 دولياً. 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 أيضاً قواعد وإجراءات مزاوله نشاط إدارة النفايات البلدية الصلبة، التي تشكل النفايات المنزلية جزءاً مهماً منها. كما نصت إحدى مواد هذا النظام على منع من لا يملك تصريحاً 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 واقعاً، 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 اقتصادياً، حيث لا بد من تفعيل المشاركة بين القطاع الحكومي ممثلاً 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 ممثلاً 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 نظراً لعدم تطبيق سياسة فصل النفايات البلاستيكية من المصدر.

