الفصل العاشر:

اللدائن و البيئة

Plastics & Environment

10-1 مقدمة

يبلغ الإنتاج السنوي العالمي للبوليمرات (اللدائن) قرابة 100 مليون طن. ويتم استخدام 8% من الإنتاج الكلي للبترول في صناعة اللدائن (كمواد خام وكمصدر للطاقة). تمتلك غالبية المنتجات اللدائنية دورة حياة قصيرة (أقل من سنة)، لذلك فان النفايات اللدائنية تؤلف قسم كبير نسبياً من وزن النفايات الكلية فتبلغ حوالي 10% (26% كنسبة حجمية), تبلغ النفايات السنوية للدائن في الولايات المتحدة الأمريكية حوالي 15 مليون طن، وفي بريطانيا حوالي 3 مليون طناً.

عندما استعملت اللدائن كمادة للتغليف والتعبئة بشكل كبير بواسطة المستهلكين، تولدت المزيد من المخلفات اللدائنية، شكل(10-1). ونظراً لكون أغلبية المواد اللدائنية غير قابلة للتحلل بسرعة، فقد ساهمت هذه المخلفات بطريقة ملموسة في تلويث البيئة.

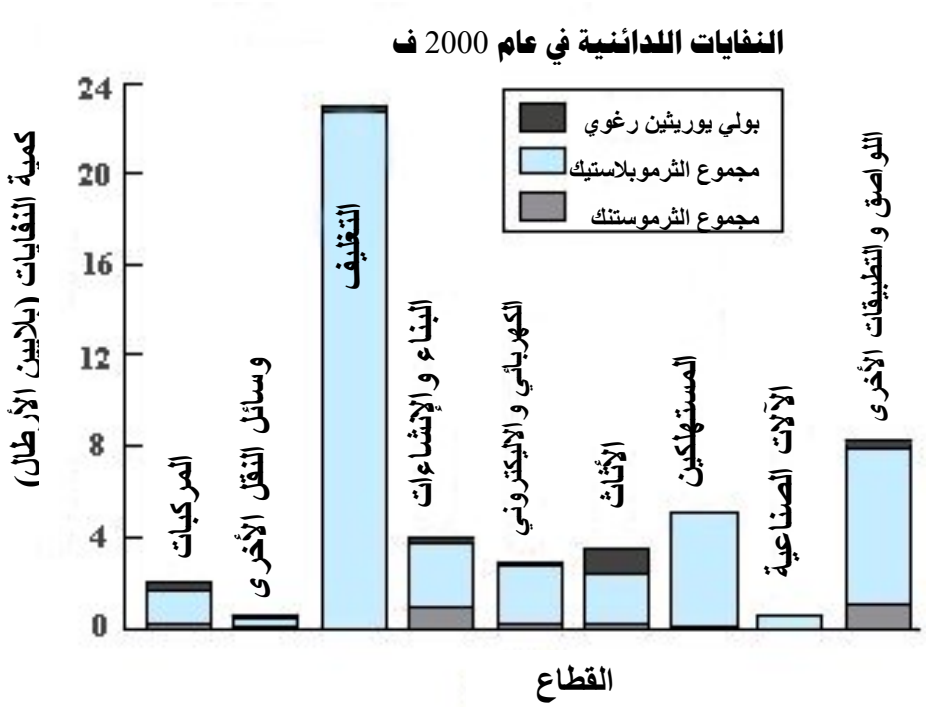
لذلك انبثقت فكرة إعادة تصنيع اللدائن باعتبارها أحدى الطرائق للتصدي لمشكلة المخلفات اللدائنية. فنشأت الصناعات التي تنتج أو تستعمل كميات كبيرة من اللدائن عن طريق إعادة استعمال مخلفاتها. وهذه الصناعات غالباً ما تقوم بتنظيف وفصل أنواع اللدائن المختلفة قبل عملية إعادة الاستخدام. حيث تقوم هذه المصانع

عادةً بإعادة استعمال اللدائن الحرارية (الثرموبلاستيك) وذلك بإعادة صهره وتشكيله في صورة منتجات جديدة. أما اللدائن المتصلبة حرارياً (الثرموستنك) فيتم طحنها على شكل مساحيق ناعمة أو يتم تمزيقها ببعض الأحيان وتستعمل المساحيق كمالئات وتستعمل القطع الصغيرة كعوازل في منتجات كالأغطية وأكياس النوم.

لقد تنبهت بعض البلدان في عام 1980 ف، الى ان إعادة الاستعمال ستساعد المستهلكين بالتخلص من مخلفات اللدائن، حيث طالبت هذه البلدان من المواطنين بفصل عناصر معينة من اللدائن كالبولي يستير، عن مخلفات المواد الأخرى وبذلك سيمكن إعادة استعماله مثل مخلفات الصناعات الأخرى.

هنالك بعض البلدان الأخرى التي لم تفصل اللدائن بل عوضاً عن ذلك قامت بحرق خليط النفايات التي تجمعها البلديات. وتمت الاستفادة من الطاقة الحرارية الناتجة عن طريق تحوليها الى طاقة كهربائية. إلا أن هذه العملية تتطلب مواقد معقدة لإزالة الغازات الحمضية الناتجة عن حرق الفينيل.

وهنالك طريقة أخرى للتخلص من الفضلات اللدائن وذلك عن طريق تصميم أنواع من اللدائن التي يمكن ان تتحلل بالطبيعة وبمرور الزمن. ففي السبعينات من القرن العشرين، أكتشف علماء الكيمياء نوعاً من اللدائن القابلة للتحلل البيولوجي بحيث يمكن تحلله بواسطة الكائنات الدقيقة. حيث ان هذه المنتجات المصنوعة من هذه اللدائن ستفصل جزيئات النشويات أو السليلوز من سلاسل البوليمر، ومن ثم ستنقضُّ هذه الكائنات الدقيقة على النشويات وتستنفذها فتتبدد هذه المنتجات. كما توصل بعض العلماء الى نوع من اللدائن الذي يمكن تفككه عند تعريضه الى الضوء لفترة طويلة نتيجة للتحلل الضوئي. والعنصر الفعال في هذه اللدائن هو وجود مادة كيميائية يمكن ان تتفكك بفعل التعرض لأشعة الشمس.



شكل(10–1) كميات النفايات اللدائنية في عام 2000 ف.

في منتصف الثمانينات بدأ المُصنعون في استعمال اللدائن القابلة للتحلل في صناعة أكياس القمامة وأوعية على شكل مواد رغوية ومنتجات أخرى يسهل التخلص منها. ولكنهم واجهوا نقداً حاداً من قبل جمعيات حماية البيئة فضلاً عن بعض القائمين على صناعة اللدائن. ويسوق هؤلاء النقاد الحجة في عدم إمكانية التخلص من بقايا المكونات اللدائنية القابلة للتحلل مهما تحكمنا في الظروف، لذلك فان هذه البقايا سوف لن تتحلل بدفنها في باطن الأرض. ولقد أشاروا إلى ان المواد المضافة للدائن لتمكنها من التحلل ستجعل هذه اللدائن غير قابلة لإعادة الاستعمال.

نستنتج من ذلك بأن هنالك مشكلتين رئيسيتين في التعامل مع النفايات اللدائنية:

- المواد الخام المستخدمة لإنتاجِ اللدائن (النَفط الخامّ) هي مواد غيرُ قابلة للتجديد؛

- معظم المواد اللدائنية هي غير قابلة للتحلـــل الحيـــوي (Bio-Degradable). فالأرض ممتلئة بالنفايات اللدائنية وسوف لن تتحلل هـــذه المـــواد لمئـــات السنين.

2-10 الحوافز لمعالجة النفايات اللدائنية

من أهم الحوافز التي تدفعنا للاهتمام بمعالجة المخلفات اللدائنية هي:

1. ان تكلفة المواد الخام للدائن المُدوّرة (Recycled Plastics) هي أقل مـــن المواد الخام الأصلية (الغير مدورة)؛
2. كلفة عمال التدوير هي أقل من كلفة الإنتاج الأولي؛
3. يمكن الاستفادة من اللدائن كمصدر للطاقة؛
4. القوانين والتشريعات الحكومية لسياسة تدوير المخلفات.

3-10 أنواع مخلفات الراتنجات اللدائنية

(Types of Plastic Resins Waste)

تُقسم جميع اللدائن المُدوّرة الى سبعة مجاميع وذلك بحسب نوع راتنج اللدائن:

بولي أثيلين تيريفثاليت Polyethylene Terephthalate (PET or PETE)
ويستخدم في صناعة قناني المشروبات الخفيفة، صواني وجبةِ الطعام الجاهزة للفرنِ ، قناني صلصةِ السلطة.

بولي أثيلين عالي الكثافة High Density Polyethylene (HDPE)
ويستخدم في صناعة قناني الحليب والعصير، لعب الأطفال، أكياس البقالين.

بولي فينيل كلورايد (بي في سي) Polyvinyl Chloride (PVC)

حافظات الطعام الشفافة، قناني المياه المعدنية وحاويات الشامبو، صواني الغذاء.

بولي أثيلين منخفض الكثافة Low Density Polyethylene (LDPE)

ويستخدم في صناعة أكياس البقالين، بطانه الصناديق، صناديق الخبز، أكياس الغذاء المجمد.

بولي بروبلين Polypropylene (PP)

ويستخدم في صناعة صواني المايكروويف ، حاويات الصلصات ، أنابيب السمن الصناعي النباتي (المارجرين) ، حاويات اللبن والقناني الطبية.

بولي ستيرين Polystyrene (PS)

ويستخدم في صناعة حافظات الأقراص المدمـــــجة، الصواني الرغوية التي تستعمل للحوم والأسماك، أكواب القهوة، صناديق الساندويتشات والهمبرجر، وصواني الكافيتيريا.

أنواع اللدائن الأخرى

أن هذه العلامات الموجودة الآن على بعض المنتجات اللدائنية ستسهل من عملية فرز الأنواع المختلفة للدائن والتي ستسهل من عملية أعادة تدويرها.

4-10 **تجميع المخلفات اللدائنية** (Collection of Plastic Waste)

ان أهم مصادر اللدائن المُدوّرة هي:

- المخلفات الصناعية؛
- المخلفات الزراعية (الحاويات، الأنابيب ، الصفائح)؛
- مخلفات الفنادق والمطاعم والأسواق؛
- نفايات البلدية (النفايات اللدائنية المبعثرة المجمعة من الشوارع، المتنزهات، السواحل)؛
- النفايات المنزلية (أنواع المخلفات المجمعة من قبل البلدية من المنازل).

فمن أجل أجراء عملية التدوير يجب أن تُغسل المخلفات اللدائنية وتفرز بحسب ترميز النظام (Coding System).

5-10 **طرائق معالجة المخلفات اللدائنية**

على الرغم من ان هذه المواد تدخل تحت صنف المركّبات العضوية إلا أن التخلص منها بالطرائق التقليدية سيسبب مشاكل لا حصر لها.

تنقسم اللدائن الى أنواع عديدة ويمكن اختصارها الى نوعين رئيسين هما اللدائن التي تكون على شكل مواد صلبة (Hard Plastic) و التي تكون على شكل أفلام رقيقة (Thin Film Plastic). ويتم غسل اللدائن قبل إعادة التدوير بمادة الصودا الكاوية المضاف إليها الماء الساخن. وبعد ذلك يتم تكسير اللدائن الصلبة وإعادة استخدامه في صنع مشابك الغسيل، والشماعات، وخراطيم الكهرباء اللدائنية، ولا ينصح باستخدام مخلفات اللدائن في إنتاج منتجات تتفاعل مع المواد الغذائية. أما الأفلام الرقيقة من اللدائن فيتم إعادة بلورتها في آلات البلوّرة.

ان المفهوم الحديث لمعالجة النفايات بشكل عام يتضمن مجموعة من البدائل أهمها:

10-5-1 **تقليص الحجم** (Size Reduction)

ان المقصود بتقليص الحجم هو تقليل المواد الخام المستعملة، وبالتالي تقليل المخلفات، ويتم ذلك عن طريق:

1. أما باستخدام مواد خام أقل.
2. أو باستخدام مواد خام تنتج مخلفات أقل.
3. أو عن طريق الحد من المواد المستخدمة في عمليات التعبئة والتغليف، مثل: اللدائن والورق والمعادن، وهذا ما يستدعي وعياً بيئياً من كل من المستثمر والمنتج؛ فمثلاً في الولايات المتحدة الأمريكية التزم الكثير من منتجي الصابون السائل بزيادة تركيزه؛ حتى يتم تعبئته بعبوات أصغر، أو إنتاج معجون أسنان بدون عبوته الكرتونية الخارجية، وهذا ما يطلق عليه بتقليل الفضلات (Waste Minimization).

10-5-2 **التدوير** (Recycling)

تعتبر طريقة التدوير(Recycling) للمخلفات اللدائنية من أهم الطرائق المستخدمة للتخلص منها بشرط ان لا تكون هذه المواد ملوثة أو كانت قد استعملت من قبل في تعبئة السموم والمواد الكيماوية الخطرة أو المعادن الثقيلة. كما ينصح بعدم استعمال نواتج عملية إعادة التصنيع في تعبئة المواد الغذائية والمشروبات. كما تعتبر عملية تجميعها في مخازن خاصة بعد عملية التقليص من حجمها وإعادة تصنيعها من أنجح الطرائق للتخلص منها.

التدوير هي عملية إعادة تصنيع واستخدام المخلفات، سواءً كانت منزلية أم صناعية أم زراعية، وذلك لتقليل تأثير هذه المخلفات وتراكمها على البيئة. وتتم هذه العملية عن طريق تصنيف وفصل المخلفات على أساس المواد الخام الموجودة بها

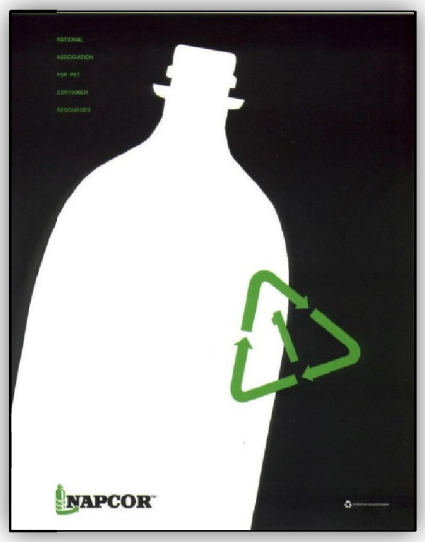
ثم إعادة تصنيع كل مادة على حدة بعد غسلها. ويتم غسل اللدائن بمادة الصودا الكاوية أو بالصابون السائل المركز مضافاً إليهما الماء الساخن، حيث تتطلب إعادة التدوير ان تكون المادة اللدائنية خالية من الدهون والزيوت والشوائب.

لقد بدأت فكرة إعادة التدوير أثناء الحرب العالمية الأولى والثانية، حيث كانت الدول تعاني من النقص الشديد في بعض المواد الأساسية كالمطاط ، مما دفعها الى تجميع تلك المواد من المخلفات لغرض إعادة استخدامها. وبعد سنوات أصبحت عملية التدوير من أهم أساليب الإدارة المتبعة في التخلص من النفايات؛ وذلك للفوائد العديدة لهذه العملية.

فلسنوات عديدة كانت إعادة التدوير المباشر عن طريق منتجي مواد المخلفات (الخردة) هي الشكل الأساسي لإعادة التدوير، ولكن مع بداية التسعينيات بدأ التركيز على إعادة التدوير الغير مباشر أي تصنيع مواد المخلفات لإنتاج منتجات أخرى تعتمد على نفس المادة الخام مثل: إعادة تدوير الزجاج والورق واللدائن والألمنيوم وغيرها من المواد التي يتم الآن أعادة تدويرها. لقد وجد رجال الصناعة انه إذا تم اخذ برامج إعادة التدوير بمأخذ الجد، فانه من الممكن ان تساعد في تخفيض تكلفة المواد الخام وتكلفة التشغيل، كما يمكن ان تُحسِن من صورتهم كمهتمين دائمين بالتلوث البيئي.

وفيما يلي بعض الحلول لتسهيل عملية إعادة التدوير وتتضمن:

1. تنظيم عملية فرز النفايات والقمامة في الأحياء السكنية، والمناطق الصناعية والأسواق، وتخصيص أماكن فيها للمواد اللدائنية.
2. وضع علامة للدلالة على إمكانية تدوير المنتج، شكل(10-2).
3. تصنيف أنواع البوليمرات بوضع رقم خاص يدل على نوع البوليمر المستخدم في صناعة المنتج، وذلك بوضع الرقم داخل علامة إعادة التدوير وسيساعد ذلك على فرزها وتسهيل التعامل معها في المصانع المتخصصة بالتدوير أو إعادة التصنيع، شكل(10-3).



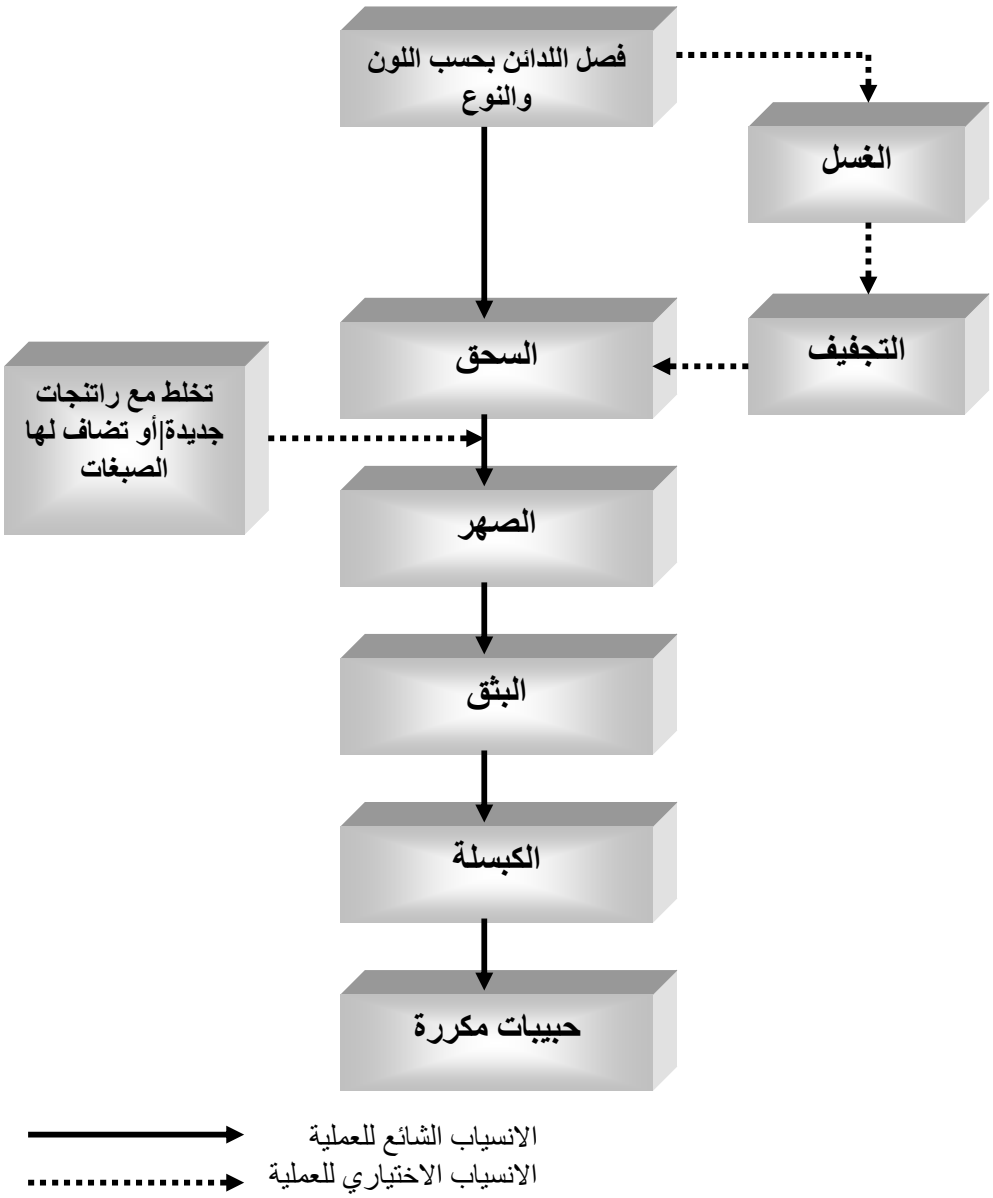
شكل(10-2) منتج فيه علامة تدل على إمكانية تدويره.

وتساهم طريقة إعادة التدوير، شكل(10-3) في المحافظة على البيئة والتقليل من التلوث من خلال دورها في الآتي:

1. المحافظة على موارد المواد والطاقة.
2. تقليل الاستهلاك من خلال إطالة عمر المنتج.
3. تقليل الاستهلاك من خلال رفع الكفاءة للعمليات الإنتاجية.
4. توفير الطاقة من خلال التقليل من العمليات الإنتاجية.
5. حماية الأراضي المستخدمة كمكبات لرمي القمامة من خلال التقليل من المخلفات.
6. حماية البيئة من المواد الضارة والسامة الناتجة عن الصناعات الإستخراجية والتحويلية.

10-5-3 **إعادة الاستخدام** (Reuse)

إعادة الاستخدام يعني مثلاً إعادة استخدام القناني البلاستيكية للمياه المعدنية ومياه الشرب مثلاً بعد تعقيمها، وإعادة مليء الجالونات بعد استخدامها. ان هذا الأسلوب



شكل(10-3) مراحل التدوير.

سيؤدي الى تقليل حجم المخلفات إلا انه يستدعي وعيّاً بيئياً لدى عامة النـــاس فـــي كيفية التخلص من مخلفاتهم، والقيام بعملية فرز بسيطة لكـــل المخلفـــات اللدائنيـــة والورقية والزجاجية والمعدنية قبل التخلص منها، فنجد في كل من اليابان والولايات المتحدة الأمريكية صناديق قمامة ملونة في كل منطقة وشارع؛ بحيـــث تخصـــص الصناديق الخضراء لإلقاء المخلفات الورقية، والصناديق الزرقاء للمخلفات اللدائنية والزجاجية والمعدنية والصناديق السوداء لمخلفات الأطعمة أو مـــا يطلـــق عليهـــا بالمخلفات الحيوية.

4-5-10 **اللدائن المتحللة** (Degradable Plastics)

ان المخلفات اللدائنية هي مواد من الصعب التخلص منها بالطبيعة بسبب عـــدم تحللها ولأنها مواد مصممة لتبقى طويلاً. من المحتمل ان تصمم اللـــدائن بطريقـــة بحيث تحتوي على صنف من المونوميرات التي يمكن ان تُهاجَم كيميائياً، حيوياً، أو بفعل كيميائي ضوئي(Photochemical Action) بحيث يحدث هذا التحلل خلال فترة زمنية محددة. أن مثل هذه البوليمرات يمكن ان تُصنّع كيميائياً {كما هو الحال مع حامض البولي لاتيك (Polylatic Acid) } أو عن طريق العمليات البكتيريـــة أو الزراعـــية { كما هو الحال مع البولي ألكـــــونايتس (Polyalkonates) }. على الرغم من أن مثل هذه العمليات تكون مكلفة إلا ان هـــذه الكلفـــة ســـتنخفض بالتأكيد مع زيادة حجم الإنتاج. أحدى الحالات الناجحة في هذا المجال هو إدخـــال مجموعة الكاربونيل (Carbonyl Group) في البولي أثيلين وذلك عن طريق خلط أول أوكسيد الكربون مع الأثيلين خلال عملية التحضير. ان هـــذه المجـــاميع مـــن الكاربونيل ستؤدي إلى تكسر السلاسل عند امتصاصها للأشعة الفوق بنفسجية. حيث ستتكسر هذه اللدائن إلى قطع صغيرة يمكن حينها ان تخضع للهجوم البكتيري. أن

هذه الطريقة كانت ناجحة، على سبيل المثال في الترويج لاختفاء حلقات علب المشروبات، والتي غالباً ما تكون ضارة بالحياة البرية.

ان مشكلة تحلل اللدائن هي ربما غير مرغوباً فيها في مواقع دفن النفايات وذلك نتيجة لتكون الترشيح (Leachants) الذي ربما سيلوث إمدادات المياه.

ان اللدائن المتحللة ربما تستخدم بشكل محدود في تخفيض النفايات وإنتاج أنواع اللدائن بوفرة إلا إن تحللها سيؤدي إلى خسارة معظم محتويات الطاقة للدائن التي قد تستعاد كطريقة للحصول على الطاقة من هذه النفايات.

10-5-5 حرقها وتحويلها إلى طاقة

وهي أحدى طرائق التخلص من النفايات اللدائنية والتي لها نتائج ايجابية على البيئة حيث يتم حرقها واستعادة الطاقة لتوليد القدرة أو الحرارة. تحتوي اللدائن على الكثير من الطاقة الكامنة النفطية، والذي يعتبر المصدر الرئيسي لخاماتها. وبمعنى أخر إنها عملية استعادة لهذه الطاقة عن طريق حرق هذه اللدائن. لقد أعترض الناس والمهتمون بالبيئة على هذا الإجراء وبالتالي قد أدى ذلك الى وضع بعض القيود التشريعية عليها. وقد نشأ جزءً من هذا الاعتراض بسبب صورة الأفران القديمة التي كانت تلوث الهواء بالأدخنة والرماد السام. على أية حال فانه من الممكن إنشاء أفران ذات تقنيات عالية تكون مصممة للعمل في درجات حرارية ملائمة وبالتجهيز الجوي الكافي فان هذه المشاكل سيمكن تقليلها إلى أدنى المستويات. أما المواد السامة الباقية في الأدخنة فقد يمكن إزالتها بالتنظيف، وقد أظهرت الدراسات بأنه لا توجد مشاكل لتلوث الهواء. ان الرماد السام لمعظم الأجزاء لا ينشأ عن اللدائن المغذاة للفرن بل من المواد الأخرى التي تخلط مع اللدائن بالإضافة إلى الحشوات والمحتويات المُحَفِزة والصبغات والتي غالباً ما تستخدم في اللدائن. أن التصميم الصحيح للدائن وفصل الخامات يمكن ان يقلل مثل

هذه المشاكل. علاوة على ذلك فإذا لم تحرق بل تم وضعها في مواقع دفن النفايات، فان التلوث الناتج عن ذلك ربما سيدخل على البيئة بطريقة لا يمكن السيطرة عليها. ان عملية الحرق ستخفض من الحجم بحيث سنتمكن من احتواء الرماد في ظروف مسيطر عليها بطريقة أفضل. بالإضافة إلى إمكانية جعل الرماد غير ذائباً وتحويله الى مواد شبيهة بالأسمنت يُصعب ذوبانها.

ان وسائل تحويل النفايات إلى طاقة على نحو مقبول بيئياً في الوقت الحاضر هي ليست مربحة عندما يكون التمويل قصير المدى. على أية حال فإنها في المدى البعيد تعتبر من الطرائق المفضلة بيئياً وستقلل الحاجة إلى الوسائل البديلة للتخلص من النفايات اللدائنية.

10-5-6 **الردم**

وتعتبر هذه الطريقة هي الأكثر أماناً في التعامل مع المخلفات اللدائنية وذلك عن طريق ردمها في التربة بعيداً عن المناطق العمرانية. إلا ان لهذه الطريقة مساوئها فهي تقلل من خصوبة التربة لأن معظم هذه النفايات لا تتحلل بالبكتيريا والفطريات الموجودة بالتربة.

10-5-7 **التدوير الكيماوي** (Chemical Recycling)

التدوير الكيماوي هي عملية تتم فيها تكسير البوليمر الى جزيئاته الأصلية (المونومير). يطلق على هذه العملية فَض البلمرة (Depolymerization). يمكن ربما استخدام المونوميرات كمواد خام لتصنيع بوليمر جديد. هذه الطريقة هي أكثر كلفة من طرائق التدوير الميكانيكية.

هنالك طرائق مختلفة للتدوير الكيماوي:

- الانحلال الحراري (Pyrolysis) وهو تحلل كيماوي للبوليمر ويحرض بالحرارة وبغياب الأوكسجين.

حيث يمكن تحويل البولي أثيلين تيريفثاليت (PET) الى ديمثيل تيريفثاليت وغليكول الأثيلين، والذي يستخدم كإضافات الى المواد الخام الأصلية في إنتاج الـــ(PET).

- الهدرجة (Hydrogenation) وهو تفاعل كيماوي مع الهيدروجين.
- التغزيز (عمل الغاز) (Gasification) وهي طريقة تحول البوليمرات الى خليط من أول أوكسيد الكربون (CO) وهيدروجين.

أسئلة الفصل

1. ما هو دور إعادة التدوير في المحافظة على البيئة؟ وضح ذلك مع إعطاء بعض الأمثلة؟
2. هنالك طرائق كثيرة يمكن بواسطتها معالجة النفايات اللدائنية. أيهما باعتقادك ستكون الأفضل ولماذا؟
3. ما هي المحاذير التي يجب أخذها بنظر الاعتبار عند استخدام طريقة إعادة الاستخدام بالنسبة للدائن؟
4. ما هي الأضرار التي يمكن ان تسببها اللدائن على البيئة؟ وكيف نستطيع الحد منها؟
5. ما هي الأسباب التي قد تؤدي الى انخفاض جودة اللدائن المدورة؟ وكيف يمكن تجنبها؟
6. تعتبر طريقة الحرق والحصول على الطاقة من مخلفات اللدائن أحدى الطرائق التي يعترض عليها الناس المهتمون بالبيئة. كيف نقنعهم بجدوى هذه العملية؟
7. طريقة ردم المخلفات اللدائنية هي إحدى الطرائق الجيدة إلا أن لها عيوبها؟ كيف يمكن معالجة هذه العيوب؟
8. لماذا ساهمت المخلفات اللدائنية بطريقة ملموسة في تلويث البيئة؟
9. أكتشف علماء الكيمياء نوعاً من اللدائن القابلة للتحلل البيولوجي، بين كيف يمكن لهذا النوع من اللدائن في معالجة مشكلة التلوث البيئي؟
10. ما هي المشكلتين الرئيسيتين في التعامل مع النفايات اللدائنية؟
11. أذكر أهم الحوافز التي تدفعنا للاهتمام بمعالجة المخلفات اللدائنية؟
12. ما هي أهم مصادر اللدائن المُدوّرة؟

13. صف طرائق معالجة المخلفات اللدائنية التالية:

أ- التدوير

ب- إعادة الاستخدام

ج- التدوير الكيماوي

د- حرقها وتحويلها إلى طاقة

ه- الردم

و- اللدائن المتحللة