جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة التصميم الميكانيكي

دراسة السبل التقانية لإعادة تدوير مخلفات المواد البلاستيكية

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الصناعية

إعداد

م. ملاك غريب الموصلي

المشرف المشارك
د.م. محمد سمير البرزاوي
مدرس في قسم التصميم الميكانيكي

المشرف العلمي
أ.د.م. نزيه أبو صالح
أستاذ في قسم التصميم الميكانيكي

العام الدراسي
2012 – 2011

فهرس المحتويات Index

ملخص البحث I

أهمية البحث II

منهجية البحث III

الدراسة المرجعية III

بعض الأمثلة والإحصائيات عن إعادة التدوير VIII

الفصل الأول

1

المخلفات وإدارتها وطرق التخلص منه

1.1 مقدمة عامة 2

2.1 أنواع المخلفات الصلبة 2

1.2.1 المخلفات الصلبة الخطرة 3

2.2.1 المخلفات الصلبة غير الخطرة 3

3.1 المخلفات الصلبة البلدية (النفاية) 3

4.1 الأخطار الصحية للمخلفات 5

5.1 الآثار البيئية للمخلفات الصلبة 5

1.5.1 تلوث الهواء 5

2.5.1 تلوث المياه 6

3.5.1 تلوث التربة 7

6.1 أضرار اجتماعية ونفسية 7

7.1. إدارة المخلفات الصلبة 8
1.7.1 المحطة الوسيطة 8
2.7.1 فرز المخلفات الصلبة 9
3.7.1 المجتمعات الصناعية المتوافقة بيئياً والتلوث الصفري 11
8.1 طرق التخلص من النفايات 13
1.8.1 الطرق البيولوجية لمعالجة النفاية 14
1.1.8.1 المعالجة بالتخمر الهوائي (طريقة الطمر) 14
أ – عملية طمر طبيعي 14
ب –عملية الطمر بتيارات هواء طبيعي 15
ت –عملية الطمر بطريقة الهواء القسري 15
2.1.8.1 المعالجة بالتخمر اللاهوائي (البيوغاز) 15
3.1.8.1 طريقة الطمر بالديدان 16
2.8.1 الطرق الحرارية لمعالجة النفاية 16
1.2.8.1 المعالجة بالتسخين بمعزل عن الهواء 17
2.2.8.1 التغويز (التحويل إلى غاز) 18
3.2.8.1 المعالجة بالترميد (الحرق الآمن) 18
3.8.1 الطرق الميكانيكية لمعالجة النفاية 20
1.3.8.1 إعادة تدوير الورق 21
2.3.8.1 إعادة تدوير القماش 21
3.3.8.1 إعادة تدوير العظام (المخلفات العظمية) 22
4.3.8.1 إعادة تدوير المخلفات المعدنية 22
5.3.8.1 إعادة تدوير المخلفات الزجاجية 22

الفصل الثاني

24

المخلفات البلاستيكية وإعادة تدويرها

1.2 مقدمة عامة عن المواد البلاستيكية 25

1.1.2 البلاستيك الحراري 27

2.1.2 البلاستيك المتصلب حرارياً 27

3.1.2 إضافات المواد البلاستيكية 33

2.2. مقدمة عن التدوير والمواد القابلة للتدوير 41

1.2.2 موجبات ومبررات إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية 41

2.2.2 حقائق عن إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية 44

3.2.2 تمييز المواد البلاستيكية 45

3.2. طرق إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية 53

1.3.2 إعادة التدوير الأولية (إعادة الطحن) 53

2.3.2 إعادة التدوير الميكانيكية (إعادة التدوير الثانوية) 54

4.2. العمليات الرئيسية لإعادة تدوير المخلفات البلاستيكية 56

1.4.2 نظام النقل ونظام الالتقاط 56

2.4.2 التقطيع الجاف للمواد البلاستيكية 57

3.4.2 نظام الغسيل والفصل بالطفو والتجفيف 57

4.4.2 التقطيع الجاف والبثق وإعادة تشكيل الحبيبات 59

5.4.2 إزالة الملوثات والغازات خلال عملية التحبيب 60

5.2. مراحل إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية 61

1.5.2 الغسيل المسبق للنفايات البلاستيكية 61

2.5.2 فصل النفايات البلاستيكية 63

1.2.5.2 الفصل الجاف 64
2.2.5.2 الفصل الرطب 67
3.5.2 الفرز الآلي (الأوتوماتيكي) للمواد البلاستيكية لإعادة تدويرها 72
1.3.5.2 أساليب الفرز المرئي 73
a. قياس الطيف 73
b. الأشعة السينية 77
c. الفرز بمساعدة الليزر 78
d. أنظمة العلام 79
2.3.5.2 أساليب الفرز المكروي 80
a. أنظمة الغطس – الطفو 80
b. الطفو الرغوي 82
c. الانحلال الانتقائي والتطاير العكسي الفجائي 83
4.5.2 موجبات فرز المواد البلاستيكية 86
5.5.2 أمثلة عن أجهزة لفرز المواد البلاستيكية تعتمد على بعض أساليب الفصل المشروحة سابقاً 89
1.5.5.2 جهاز الفصل بالهواء 89
2.5.5.2 جهاز الفصل بالتكهرب بالاحتكاك 90
3.5.5.2 جهاز فصل يدمج بين أسلوب الفصل بالغطس – الطفو والطفو الرغوي 91
4.5.5.2 المبادئ الأساسية لاختيار الطريقة لفصل المواد البلاستيكية 93
6.5.2 تقطيع النفايات البلاستيكية 95
1.6.5.2 أسلوب القطع 96

2.6.5.2 أسلوب القص 100
3.6.5.2 أسلوب الصدم 101
4.6.5.2 أسلوب الصدم والضغط 102
7.5.2 غسل النفايات البلاستيكية 103
8.5.2 شطف الرقاقات البلاستيكية 104
9.5.2 تجفيف الرقاقات البلاستيكية 106
10.5.2 تحبيب النفايات البلاستيكية 108
11.5.2 تلوين الحبيبات المعاد تدويرها 112
12.5.2 حالة البلاستيك المتصلب حرارياً 112

الفصل الثالث

113

إعادة التدوير الكيميائية والحرارية للمخلفات البلاستيكية

1.3 التحويل إلى مونوميرات 114
2.3 الفرن الانفجاري 115
3.3 فرن فحم الكوك 116
4.3 التحويل إلى غاز (التغويز) 117
5.3 التحويل إلى سائل 118
6.3 استرجاع الطاقة 119
7.3 المواد البلاستيكية القابلة للتحلل 119

الفصل الرابع

120

التجارب المخبرية

1.4 المواد المستخدمة 121

2.4. مراحل العمل 122

1.2.4 إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية بالطريقة الميكانيكية 122

2.2.4 تصنيع (تشكيل) عينات الاختبار 127

3.4 اختبار الشد 130

4.4 اختبار الصدم – صدم شاربي 151

5.4 اختبار القساوة – قساوة شور 155

6.4 اختبار الكثافة 159

7.4 المناقشة العامة للنتائج 161

8.4 المعادلات الرياضية الناظمة لمنحنيات النتائج المخبرية 164

نتائج البحث 170

التوصيات 173

المراجع العلمية 175

ملخص البحث باللغة الانكليزية 183

قائمة الأشكال *List of Figures*

الشكل	الصفحة
الشكل (د–1) مخطط لقوة الصدم الشدي لخلائط LDPE/PS (50/50) وLDPE/HIPS (50/50) وHDPE/PS (50/50) وHDPE/HIPS (50/50) تم خلطها عند درجة حرارة 190°C وسرعة 30 r.p.m. لمدة 20 دقيقة مع المجانسات	V
الشكل (د–2) مخطط لقوة الصدم الشدي لخلائط LDPE/HDPE/PP/PS (54/18/18/10) وLDPE/HDPE/PP/HIPS (54/18/18/10) تم خلطها عند درجة حرارة 190°C وسرعة 60 r.p.m. لمدة 10 دقائق مع المجانسات	V
الشكل (1–1) تلوث نهر بردى	6
الشكل (1–2) تلوث التربة بالأكياس البلاستيكية	7
الشكل(1–3) النفايات في أحد الأحياء	7
الشكل (1–4) كبس عبوات المياه الغازية المعدنية	9
الشكل (1–5) حاوية خاصة بالنفايات الطبية على اليمين وآلية رص للنفايات الطبية على اليسار ..	10
الشكل (1–6) حاويات خاصة لمخلفات الورق والمعادن والبلاستيك	11
الشكل (1–7) الأجزاء الرئيسية لوحدة الترميد	19
الشكل (1–8) مخطط إعادة تدوير مختلف المخلفات الصلبة المنزلية	20
الشكل (1–9) نسب المخلفات التي تم تدويرها في عامي 1992 و1995 في ألمانيا	23
الشكل (2–1) ترتيب السلاسل الجزيئية بين البلاستيك الحراري والبلاستيك المتصلب حرارياً	28
الشكل (2–2) كمية النفايات البلدية في سورية لعام 2010	39
الشكل (2–3) مجالات استخدام المواد البلاستيكية في سورية 2010	39
الشكل (2–4) إحصائيات للمخلفات البلاستيكية لعام 2006	40
الشكل (2–5) الزمن الذي تستغرقه مختلف المنتجات والمواد في التحلل	43
الشكل (2–6) اختبارات مختلفة لتمييز نوع المادة البلاستيكية من 1 إلى 6	51
الشكل (2–7) مراحل عملية إعادة التدوير الميكانيكية كما تم وصفها من قبل [Aznar, 2006] ...	55
الشكل (2–8) مراحل عملية إعادة التدوير الميكانيكية كما تم وصفها من قبل [Goodship, 2007]..	55
الشكل (2–9) يبيّن خط فتح البالات وفحصها	56
الشكل (2–10) يبين آلة تقطيع ذات فتحات واسعة للتقطيع الأولي للقطع البلاستيكية الكبيرة	56

الشكل (2–11) يبيّن آلة تقطيع لتحويل البلاستيك إلى قطع بحجم 15–50 مم 57
الشكل (2–12) يبين فصل المواد البلاستيكية المختلفة بالطفو 58
الشكل (2–13) يبين الحبيبات التي يتم إنتاجها عن طريق آلة البثق 59
الشكل (2–14) مخطط لآلة بثق ذات فتحة تنفيس 60
الشكل (2–15)غربال اسطواني دوار 62
الشكل (2–16) على اليمين تدفق عكسي للهواء وعلى اليسار تدفق للهواء بشكل متعامد 64
الشكل (2–17) مبدأ عمل جهاز الفصل المتعرج 65
الشكل (2–18) الفصل باستخدام حوض الغطس – الطفو 67
الشكل (2–19) الفصل بالإعصارات الحلزونية 68
الشكل (2–20) آلة فصل اللصاقات الورقية والجزيئات الخفيفة من رقاقات PET بواسطة الهواء.. 68
الشكل (2–21) الفرز السلبي 69
الشكل (2–22) الفرز الإيجابي 70
الشكل (2–23) أمثلة عن الأطياف الناتجة عن امتصاص الأشعة (أطياف الامتصاص) لمختلف البوليميرات: PET الأخضر، PVC، HDPE الأحمر على الترتيب 74
الشكل (2–24) مبدأ عمل الفصل بالأشعة تحت الحمراء القريبة 76
الشكل (2–25) يبين الحزم الست عشرة للأشعة تحت الحمراء 76
الشكل (2–26) نظام VinylCycle 78
الشكل (2–27) المخطط المقترح لفرز المواد البلاستيكية لإعادة التدوير بالضغط المرتفع 81
الشكل (2–28) رسم تخطيطي مبسط لمبدأ الفصل بالطفو الرغوي 83
الشكل (2–29) مثال عن عملية الانحلال الانتقائي لمذيبات متعددة 85
الشكل (2–30) خلط كل من البوليميرات القابلة للمزج والغير قابلة للمزج 86
الشكل (2–31) امتزاج جيد (ج) امتزاج مقبول (د) وامتزاج سيئ (هـ) 87
الشكل (2–32) التصميم التخطيطي لمنضدة الهواء المخبرية 89
الشكل (2–33) يوضح الرسم التخطيطي مبدأ الفصل بالهواء 90
الشكل (2–34) التصميم التخطيطي لجهاز الفصل بالتكهرب بالاحتكاك 91
الشكل (2–35) التصميم التخطيطي لجهاز الفصل الذي يجمع بين الفصل بالغطس – الطفو والطفو الرغوي 92
الشكل (2–36) التصميم التخطيطي لمنظر نهاية برميل الفصل 93
الشكل(2–37) مخطط لاختيار الطريقة لفصل المواد البلاستيكية: ρa و ρb ترمز إلى كثافات المكونات 94

الشكل (2–38) مبدأ القطع 96
الشكل (2–39) القطاعة ذات عمود الدوران الأفقي 97
الشكل (2–40) آلات تقطيع ذات: شبكة مغلقة (على اليمين) أوشبكة مفتوحة (على اليسار) 97
الشكل (2–41) تصاميم مختلفة لشفرات آلة التقطيع ذات عمود الدوران الواحد 98
الشكل (2–42) المحبب 98
الشكل (2–43) آلة البلورة 99
الشكل (2–44) ماكينة البلورة من الداخل – الشفرات الدوارة والسكاكين الثابتة على جسم الآلة ... 99
الشكل (2–45) مبدأ القص 100
الشكل (2–46) على اليمين سكاكين التقطيع لآلة ذات عمودي دوران وعلى اليسار لآلة ذات أربعة أعمدة دوران 101
الشكل (2–47) يوضح الشكل الشفرات المزودة بخطافات (مناسبة لقوارير PET) 101
الشكل (2–48) مبدأ الصدم 101
الشكل (2–49) مبدأ الصدم والضغط 102
الشكل (2–50) أداة التقطيع المستخدمة في تقطيع EPS 102
الشكل (2–51) آلة غسيل يتيح هذا التصميم للوصول إلى هدفين في آن واحد: خلق احتكاك لخدش سطوح الرقاقات وتوليد ماء ساخن من الاحتكاك نفسه 104
الشكل (2–52) خط غسيل يُستخدم في غسيل الأفلام الزراعية أو قوارير PET للمياه المعدنية حيث تقوم بمهمتين: الغسيل وفصل المواد الغير مرغوب بها كحوض طفو 104
الشكل (2–53) آلة شطف أفقية 105
الشكل (2–54) مجفف يعمل بالطرد المركزي (a) ومجفف يعمل بالهواء الساخن (b) 107
الشكل (2–55) يبين مصفاة مكبسية لتنقية المصهور 108
الشكل (2–56) مبدأ البثق 109
الشكل (2–57) آلة البثق لإعادة تدوير المواد البلاستيكية 110
الشكل (2–58) وحدة التبريد (حوض ماء) 110
الشكل (2–59) جهاز التقطيع لتحويل المواد إلى حبيبات 110
الشكل (2–60) محبب للمواد البلاستيكية 111
الشكل (2–61) محبب مع اسطوانة تحبيب 111
الشكل (2–62) آلة بثق مع سكين تقطيع في نهايتها 112
الشكل (3–1) مخطط يبين أسلوب إعادة تدوير البلاستيك بالتحويل إلى مونوميرات 114

الشكل (3–2) مخطط يبين أسلوب إعادة تدوير الكيميائية في الفرن الانفجاري 115
الشكل (3–3) مخطط يبين أسلوب إعادة تدوير الكيميائية في فرن فحم الكوك 116
الشكل (3–4) مخطط يبين أسلوب إعادة تدوير البلاستيك بالتحويل إلى غاز 117
الشكل (3–5) مخطط يبين أسلوب إعادة تدوير البلاستيك بالتحويل إلى سائل 118
الشكل (3–6) مخطط يبين استرجاع الطاقة من المخلفات البلاستيكية 119
الشكل (4–1) مخطط يبين توزع مواد البلاستيك الحراري في النفايات المنزلية 121
الشكل (4-2) الحبيبات النقية للمواد المختبرة 100%P 122
الشكل (4-3) آلة تقطيع ذات محور دوران واحد متعدد الشفرات 123
الشكل (4-4) رقاقات المخلفات البلاستيكية بعد عملية التقطيع 123
الشكل (4-5) مرحلة غسيل الرقاقات 124
الشكل (4-6) منظومة تصريف مياه الغسيل والشطف لمعالجتها 124
الشكل (4-7) آلة التجفيف بالطرد المركزي 125
الشكل (4-8) آلة البثق 126
الشكل (4-9) الحبيبات البلاستيكية المعاد تدويرها 126
الشكل (4-10) الحبيبات البلاستيكية المعاد تدويرها ميكانيكياً 126
الشكل (4-11) آلة القولبة بالحقن لتشكيل عينات الاختبار ضمن قوالب معيارية 127
الشكل (4-12) تشكيل عينات الاختبار على آلة القولبة بالحقن 127
الشكل(4-13) درجة حرارة تشكيل الحبيبات (هنا 230°C لتشكيل PP) وحرارة التبريد 128
الشكل (4-14) العينات المقولبة على آلة الحقن 129
الشكل (4-15) تثبيت عينة الشد بين مقبضي آلة الشد 130
الشكل(5-16) إجراء اختبار الشد 130
الشكل (4-17) مخطط يبين خصائص الشد لمادة HDPE 133
الشكل (4-18) مخطط إجهاد الشد لمادة HDPE 134
الشكل (4-19) مخطط الاستطالة النسبية لمادة HDPE 134
الشكل (4-20) مخطط معامل المرونة لمادة HDPE 135
الشكل (4-21) مخطط يبين خصائص الشد لمادة LDPE 138
الشكل (4-22) مخطط إجهاد الشد لمادة LDPE 139
الشكل (4-23) مخطط الاستطالة النسبية لمادة LDPE 139
الشكل (4-24) مخطط معامل المرونة لمادة LDPE 140

الشكل (4-25) مخطط يبين خصائص الشد لمادة PP 143
الشكل (4-26) مخطط إجهاد الشد لمادة PP 144
الشكل (4-27) مخطط الاستطالة النسبية لمادة PP 144
الشكل (4-28) مخطط معامل المرونة لمادة PP 145
الشكل (4-29) مخطط يبين خصائص الشد لمادة PET 148
الشكل (4-30) مخطط إجهاد الشد لمادة PET 149
الشكل (4-31) مخطط الاستطالة النسبية لمادة PET 149
الشكل (4-32) مخطط معامل المرونة لمادة PET 150
الشكل (4-33) اختبار الصدم على جهاز صدم شاربي 152
الشكل (4-34) مخطط قوة صدم شاربي لمادة HDPE 153
الشكل (4-35) مخطط قوة صدم شاربي لمادة LDPE 153
الشكل (4-36) مخطط قوة صدم شاربي لمادة PP 154
الشكل (4-37) مخطط قوة صدم شاربي لمادة PET 154
الشكل (4-38) اختبار قساوة شور D 155
الشكل (4-39) قراءة نتائج اختبار القساوة بعد 3 ثوانٍ من انغراس الرأس 156
الشكل (4-40) مخطط قساوة شور لمادة HDPE 157
الشكل (4-41) مخطط قساوة شور لمادة LDPE 157
الشكل (4-42) مخطط قساوة شور لمادة PP 158
الشكل (4-43) مخطط قساوة شور لمادة PET 158
الشكل (4-44) إجراء اختبار الكثافة على مواد البولي أوليفينات 159
الشكل (4-45) إجراء اختبار الكثافة على مادة PET 160
الشكل (4-46) منحنيات إجهاد الشد المعالجة رياضياً للمواد الأربعة 165
الشكل (4-47) منحنيات الاستطالة النسبية المعالجة رياضياً للمواد الأربعة 166
الشكل (4-48) منحنيات معامل المرونة المعالجة رياضياً للمواد الأربعة 167
الشكل (4-49) منحنيات قوة صدم شاربي المعالجة رياضياً للمواد الأربعة 168
الشكل (4-50) منحنيات قساوة شور D المعالجة رياضياً للمواد الأربعة 169

فائمة الجداول *List of Tables*

الجدول	الصفحة
الجدول (د–1) الخصائص الميكانيكية لخليط LDPE/PP عند القولبة على آلة بثق بلولب واحد ..	III
الجدول (د–2) الخصائص الميكانيكية لخليط LDPE/PP عند القولبة على آلة بثق بلولبين	13
الجدول (د–3) الخصائص الميكانيكية (شد، انعطاف، صدم) لعينات من الخليط PET/PC	VI
الجدول (د–4) خصائص الشد والانعطاف للخليط البلاستيكي الخشبي وفق دراسة الباحثين	VII
الجدول (د–5) مقارنة بين الإنتاج باستخدام المواد البلاستيكية النقية والإنتاج باستخدام المواد المعاد تدويرها	VII
الجدول (1–1) كمية المخلفات في سورية حسب نوعها ومصدرها	2
الجدول (1–2) خصائص المخلفات الصلبة البلدية (كثافة، رطوبة، محتوي حراري)	4
الجدول (1–3) العوامل المثلى لطريقة الطمر	14
الجدول (1–4) الطاقة الحرارية للعديد من المخلفات الصلبة	17
الجدول (2–1) أمثلة عن بوليميرات مصنعة بآليتين مختلفتين من البلمرة	25
الجدول (2–2) الصيغ الكيميائية لبعض البوليميرات	27
الجدول (2–3) مزايا المواد البلاستيكية	28
الجدول (2–4) الخصائص الأساسية لبعض المواد البلاستيكية الحرارية والمتصلبة حرارياً	32 - 29
الجدول (2–5) بعض الإضافات الأكثر استخداماً للمواد البلاستيكية	33
الجدول (2–6) الإضافات للمواد البلاستيكية المستخدمة في تعبئة وتغليف المواد الغذائية والتطبيقات الصيدلانية والطبية	34
الجدول (2–7) إحصائيات لكمية المخلفات البلدية في سورية عام 2004	35
الجدول (2–8) إحصائيات لكمية المخلفات البلدية في سورية عام 2006	36
الجدول (2–9) إحصائيات لكمية المخلفات البلدية في سورية عام 2008	37
الجدول (2–10) إحصائيات لكمية المخلفات البلدية في سورية عام 2010	38
الجدول (2–11) رموز المواد البلاستيكية القابلة للتدوير المعتمدة من (SPI) وخصائصها والمنتجات المصنعة منها كمواد أولية أو معاد تدويرها	50 - 46
الجدول (2–12) يبين أسلوب تمييز المواد البلاستيكية الشائعة (حرارية أو متصلبة حرارياً) بواسطة الاحتراق	52

الجدول (2–13) طرق إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية 53
الجدول (2–14) مجالات كثافات بعض البوليميرات الأكثر شيوعاً 80
الجدول (2–15) إمكانية مزج أنواع مختلفة من البوليميرات 88
الجدول (2–16) خصائص استقطاب بعض المواد البلاستيكية وزاوية اتصالها مع الماء 92
الجدول (4-1) أنواع المنتجات التي تم إعادة تدويرها للبحث 121
الجدول (4-2) نتائج اختبار الشد لمادة HDPE 131- 132
الجدول (4-3) نتائج اختبار الشد لمادة LDPE 136- 137
الجدول (4–4) نتائج اختبار الشد لمادة PP 141- 142
الجدول (4-5) نتائج اختبار الشد لمادة PET 146- 147
الجدول (4-6) نتائج اختبار صدم شاربي للمواد المدروسة 152
الجدول (4-7) نتائج اختبار القساوة للمواد المدروسة 156
الجدول (4-8) نتائج اختبار الكثافة للمواد المدروسة 160
الجدول (4-9) مجالات قيم إجهاد الشد للمواد البلاستيكية المنتجة صناعياً من المواد المدروسة 163

Glossary المصطلحات

P	Pure granules	المواد النقية
R	Recycled granules	المواد المعاد تدويرها
LDPE	Low Density Polyethylene	بولي إثيلين منخفض الكثافة
LLDPE	Linear Low Density Polyethylene	بولي إثيلين منخفض الكثافة خطي
HDPE	High Density Polyethylene	بولي إثيلين عالي الكثافة
PP	Polypropylene	بولي بروبيلين
PS	Polystyrene	بولي ستيرين
EPS	Expanded Polystyrene	بولي ستيرين مُمدد
PVC	Polyvinyl chloride	بولي فينيل كلوريد
PA	Polyamide	بولي أميد (نايلون)
PC	Polycarbonate	بولي كربونات
PET	Polyethylene Terephthalate	بولي إثيلين ترفثلات
PUR	Polyurethane	بولي يوريثان
ABS	Acrylonitrile– butadiene–styrene	أكريلونتريل بوتادين ستيرين
POM	Polyacetal	بولي أسيتال
MF	Melamine	الميلامين
PF	Phenol	الفينول
UF	Urea Formaldehyde	يوريا فورم ألدهيد
EP	Epoxy	الإيبوكسي
EG	Ethylene Glycol	غليكول الإثيلين
DMT	Dimethyl Terephthalate	ترفثلات ثنائي الميثيل
PTA	Purified terephthalic Acid	حمض ترفثاليك النقي

ملخص البحث:

وفقاً لإحصائيات وزارة الدولة لشؤون البيئة بلغت كمية النفايات البلاستيكية في سورية لعام 2010 حوالي 637272 طن حيث تمثل هذه النفايات نسبة 11.71% وزناً و47% حجماً من مجمل النفايات الصلبة ، وبما أن استعمال البلاستيك في الآلات والالكترونيات والتعبئة والتغليف ..الخ في انتشار واتساع؛ فإن النتيجة هي ارتفاع كمية النفايات البلاستيكية. بما أن المواد البلاستيكية لا تتحلل وبالتالي لا جدوى من طمرها، كما أن رمي مخلفاتها أو إحراقها يترتب عليه آثار بيئية خطيرة، لذا أصبح من المِلحّ الاستفادة من المخلفات البلاستيكية وإيجاد أفضل الطرق للتخلص منها وإعادة تدويرها ما أمكن بحيث ينتج عن ذلك توفير في الطاقة والحد من استنفاذ المصادر وحماية للبيئة والإنسان وتأمين المواد الأولية وفرص العمل.

إن إعادة التدوير الميكانيكية أو إعادة التدوير بالتحويل إلى المواد الأولية أصبح حلاً للمشكلة في الكثير من دول العالم المتقدمة، إلا أن إعادة التدوير الميكانيكية أكثر فعالية لأنها تستهلك طاقة أقل وتأثيراتها البيئية ضئيلة جداً وأقل من تلك الناتجة عن إعادة التدوير بالتحويل إلى المواد الأولية، كما تُعتبر إعادة التدوير الميكانيكية خيار مرضٍ بشرط الحصول عن طريق تقنيات الفرز على منتج عالي الجودة.

لقد تم في هذا البحث عرض الأساليب التقانية لإعادة تدوير المخلفات البلاستيكية بأشكالها الميكانيكية والحرارية والكيميائية والبحث في إعادة التدوير الميكانيكية على وجه الخصوص، كما تركّز الجزء العملي على دراسة الخصائص الميكانيكية للحبيبات البلاستيكية المعاد تدويرها ومعرفة نسبة الخلط ذات الخصائص الميكانيكية الأفضل أي تحديد النسبة المثلى من المواد المعاد تدويرها والتي يمكن إضافتها للمواد النقية بحيث تتناسب مع الهدف من استخدامها والبحث في إمكانية الحصول على منتجات بلاستيكية مكونة بالكامل من حبيبات معاد تدويرها، وتبيان أهمية إعادة التدوير في التخلص من المخلفات البلاستيكية المتزايدة في المجتمع العصري.

أهمية البحث:

لقد ازداد استهلاك العالم السنوي للمواد البلاستيكية من حوالي 5 مليون طن في الخمسينات من القرن الماضي إلى 100 مليون طن تقريباً في الوقت الراهن وتعود أسباب الازدياد الكبير في استخدام المواد البلاستيكية إلى مزاياها المتعددة وخصائصها المميزة.

تصبح المواد البلاستيكية مخلفات بعد استعمالها كسلع مما يشكل عبئاً على المجتمعات البشرية المستهلكة لسلع هذه المواد، كما أنها تشكل خطورة متزايدة نظراً لصعوبة التخلص منها، فهي غير قابلة للانضغاط وتبدي مقاومة عالية لعوامل التحلل الطبيعي من هواء وشمس ورطوبة ومطر، إضافةً إلى عدم قدرة الكائنات الحية الدقيقة أو الأنزيمات على تحليلها.

كما أن المخلفات البلاستيكية في تزايد كبير في سورية حيث ازدادت مخلفات المواد البلاستيكية من 244,985 طن عام 2004 حتى بلغت 637,272 طن عام 2010 أي بزيادة قدرها 50% تقريباً، وهذه المخلفات مصيرها مكبات النفاية حيث يتم حرقها في الخلاء مما يؤدي إلى انبعاث الغازات السامة والديوكسينات، أو دفن الكمية الباقية منها بشكل غير آمن أي بقاؤها في التربة مئات السنوات لتتحلل، وبالتالي تلوث الهواء والماء والتربة وأضرار صحية جسيمة على الإنسان وعدم الاستفادة من هذه المخلفات كمصدر للمواد الأولية، كما تتم في سورية عملية إعادة تدوير بسيطة ضمن ورش صغيرة وغير مرخصة من قبل الدولة تستلم موادها الأولية التي تتمثل بالمخلفات البلاستيكية من النباشين الذين يجمعون المواد من مصادرها سواء من مكبات النفاية أو من الطرقات في شوارع المدن والقرى، وتقوم هذه الورش بإعادة التدوير بعيداً عن أسسها الصحيحة من فرز أو غسيل جيد للمواد على سبيل المثال، وبالتالي الحصول على منتج ذي خصائص ميكانيكية سيئة.

انطلاقاً مما تقدم فقد تم في هذا البحث التركيز على الخطوات الرئيسية لإعادة التدوير الميكانيكية للمخلفات البلاستيكية كطريقة رائدة في التخلص من هذه المخلفات والحد من الآثار البيئية الخطيرة لها وزيادة الفعالية الاقتصادية، كما تم دراسة الخصائص الميكانيكية لنسب خلط مختلفة من المواد المعاد تدويرها والمواد النقية بهدف التوصل إلى إمكانية الاستفادة من مخلفات المواد البلاستيكية وتوظيفها في مختلف الصناعات الهندسية والتطبيقية، واثبات فعالية عملية التدوير في الحصول على حبيبات معاد تدويرها ذات خصائص ميكانيكية جيدة مقارنة بالمواد النقية، بحيث يصبح هذا البحث كدليل لمعرفة نسبة الخلط الأفضل حسب التطبيق المطلوب من المنتج.

منهجية البحث:

تمت الدراسة العملية في البحث وفق منهج تجريبي موضوعي استقصائي وذلك بإجراء اختبارات الشد والصدم والقساوة لإحدى عشر نسبة خلط بدءاً من 100% مواد نقية حتى 100% مواد معاد تدويرها واختبار الكثافة لكل من الحبيبات النقية والحبيبات المعاد تدويرها وذلك على أربع مواد بلاستيك حراري هي البولي إثيلين عالي الكثافة والبولي إثيلين منخفض الكثافة والبولي بروبيلين والبولي إثيلين ترفثلات.

الفصل الأول

المخلفات وإدارتها وطرق التخلص منها

-مقدمة عامة

- إدارة المخلفات الصلبة

- طرق التخلص من النفايات

1.1 مقدمة عامة:

يمكن تعريف المخلفات الصلبة على أنها المواد الصلبة أو شبه الصلبة التي تتخلف عن الأنشطة الإنسانية اليومية العادية وغيرها من الأنشطة ويتم التخلص منها عند مصدر تولدها كمخلفات ليست ذات قيمة تستحق الاحتفاظ بها وإن كان من الممكن أن يكون لها قيمة في موقع آخر أو ظروف أخرى بما يوفر الأوضاع المواتية لعمليات إعادة الاستخدام أو التدوير [الحجار، 2004]. يوضح الجدول (1-1) الكميات التقديرية للمخلفات في سورية حسب نوعها ومصدرها لعام 2010.

الجدول (1-1) كمية المخلفات في سورية حسب نوعها ومصدرها لعام 2010 [وزارة الدولة لشؤون البيئة وشركة تريفالور، 2011]

نوع المخلفات	الكمية التقديرية بالسنة
البلدية *	5 443 179.3 طن
الزراعية	7 925 103 طن
الطبية	4 816 طن
الحمأة	1 115 093 طن 12 418 900 م٣
أنقاض	138 252.4 طن

*** تشمل المخلفات البلدية: 70% مخلفات منزلية و20% مخلفات تجارية و10% مخلفات صناعية وحرفية غير خطيرة.**

2.1 أنواع المخلفات الصلبة:

يمكن تقسيم المخلفات الصلبة تبعاً لدرجة خطورتها إلى مخلفات صلبة خطرة ومخلفات صلبة غير خطرة، أو تبعاً لمصدر تولدها إلى مخلفات صلبة بلدية (النفاية) ومخلفات عمليات الهدم والبناء ومخلفات زراعية ومخلفات مسالخ ومخلفات صناعية ومخلفات عمليات معالجة الصرف الصحي والصناعي ومخلفات المستشفيات ومخلفات تطهير المجاري المائية والمصارف [الحجار، 2004].

1.2.1 المخلفات الصلبة الخطرة:

هي تلك المخلفات التي تحتوي على عناصر أو مركبات تؤثر تأثيراً مزمناً خطيراً على صحة الإنسان والبيئة. ويعرف قانون البيئة المخلفات الخطرة "النفايات الخطرة هي مخلفات الأنشطة والعمليات المختلفة أو رمادها المحتفظة بخواص المواد الخطرة التي ليس لها استخدامات تالية أصلية أو بديلة مثل النفايات الطبية والناتجة عن الأنشطة العلاجية والنفايات الناتجة عن تصنيع أي من المستحضرات الصيدلية والأدوية أو المذيبات العضوية أو الأحبار والأصباغ والدهانات".

2.2.1 المخلفات الصلبة غير الخطرة:

هي تلك المخلفات التي لا تحتوي على مواد أو مكونات لها صفات المواد الخطرة لعدم احتوائها على مواد سامة أو مواد قابلة للانفجار أو للاشتعال أو مسببات للعدوى والأمراض وغيرها من الصفات الخطرة.

وتختلف المخلفات الخطرة وغير الخطرة الناتجة من المنازل عن الناتجة من المستشفيات وعن الناتجة من المصانع ولكل طبيعته.

3.1 المخلفات الصلبة البلدية (النفاية):

تتضمن المخلفات الصلبة البلدية "النفاية" فضلات المساكن (وهي الجزء الأكبر وتمثل حوالي 62% من النفايات البلدية) [وزارة الدولة لشؤون البيئة وشركة تريفالور، 2011] والمنشآت التجارية (كالمحال والأسواق التجارية) والمؤسسات الخدمية (كالمدارس ومعاهد التعليم والمرافق والمستشفيات والمنشآت الإدارية) والشوارع، والحدائق، والأسواق والفنادق ..الخ، كما يمكن أن تشمل أيضاً على مخلفات بعض المصانع الصغيرة والمخيمات، والمعسكرات. وتشمل المخلفات الصلبة البلدية (النفاية) مخلفات المطابخ من المنازل والفنادق والمطاعم والمستشفيات والمأكولات التالفة وتحتوي على مواد عضوية بنسب عالية وهي قابلة للتحلل، وكذلك الأتربة والأوراق والأقمشة وقطع الخشب والزجاج والبلاستيك بأنواعه والمعادن والكاوتشوك.... إلخ. وتعتبر مخلفات الشوارع والتي تشمل: مخلفات قطع أو تقليم الأشجار بالطرقات والشوارع والميادين أو قص الحشائش بالحدائق العامة أو السماد المستخدم في هذه الحدائق والأتربة المتساقطة ضمن هذا البند من المخلفات.

وتحتوي المخلفات الصلبة البلدية في سورية على نسبة مرتفعة من المواد العضوية تصل إلى أكثر من 60%، ويوضح الجدول (1-2) خصائص هذه المخلفات، وتقدر كمية المخلفات الصلبة البلدية في سورية بحوالي 5 ~ 5.5 مليون طن بين عامي 2008 و2010 [وزارة الدولة لشؤون البيئة وشركة تريفالور، 2011].

الجدول (1-2) خصائص المخلفات الصلبة البلدية (كثافة، رطوبة، محتوي حراري)

خصائص المخلفات الصلبة البلدية	الكمية التقديرية لعام 2010
الكثافة النسبية	0.25 – 0.3 طن/ م٣
نسبة الرطوبة	30 – 40 %
المحتوى الحراري	1500 – 2000 كيلو كالوري / كغ

وتصل معدلات تجميع النفايات بصفة عامة من 40% إلى 70% والمعدلات العالية في المناطق ذات المستوى الاجتماعي العالي والمعدلات المنخفضة في المناطق ذات المستوى الاجتماعي المنخفض والمناطق القروية. وهناك بعض المشاريع الريادية في بعض المدن والمحافظات للارتقاء بعملية إدارة المخلفات الصلبة والتشجيع على عملية إعادة تدويرها (سيتم تعريفها لاحقاً).

إن بعض من المخلفات الصناعية والزراعية ومخلفات الهدم والبناء قد يجد طريقه إلى المخلفات البلدية ويختلط بها كما هو الحال في الوضع الراهن، ولذلك فمن الضروري التعامل معها أو إيجاد وسائل ونظم فرعية مستقلة تضمن التعامل معها والتصرف فيها [الحجار، 2004].

تتراوح كمية النفايات الصلبة في سورية بين 0.5 ــ 0.85 كغ / يوم لكل فرد حسب المستوى المعيشي ومكان المعيشة، وتختلف كمية ونوعية المخلفات الصلبة في المناطق المختلفة والجامعات والأماكن السياحية فتزداد كميات الورق في الجامعات نظراً للاستخدامات الكثيرة للورق، وتزداد كميات البلاستيك في الأماكن السياحية نظراً لاستخدامات المياه المعدنية.... إلخ. كما تختلف كمية ونوعية المخلفات الصلبة من محافظة إلى أخرى ومن دولة إلى أخرى.

4.1 الأخطار الصحية للمخلفات:

تحتوي المخلفات على نفايات تحتاج إلى رعاية خاصة في أماكن تولدها بالمنازل أو الطرقات حتى لا تعم أخطارها الصحية على الأفراد والمجتمع والعاملين في هذا المجال على حد سواء وعلى سبيل المثال فالنفاية تتكون من بقايا أطعمة قابلة للتعفن والتحلل وانبعاث الروائح الكريهة وأوراق قابلة للاشتعال ومواد قابلة للانفجار إذا تعرضت لدرجات حرارة مرتفعة وكسور الزجاج وشفرات الحلاقة وعلب الصفيح أو قطع المعادن ذات الأطراف المدببة أو الجوانب الحادة التي تتسبب في الجروح أو المخلفات الأخرى التي تحتوي على إفرازات الإنسان المحملة بمسببات الأمراض وبويضات الطفيليات أو الأتربة التي تجد جزيئاتها المتطايرة طريقها إلى الرئتين.

أما نفاية الشوارع والطرقات المتناثرة في كل مكان أو المتولدة في الأسواق والمتراكمة على الأراضي وفي صناديق النفاية أو حولها أو المتجمعة في المقالب أو مناور المنازل أو داخل مجموعات الوحدات السكنية فهي بمثابة كارثة يجب التعامل معها بحرص شديد لتجنب الآثار التي قد تنجم عنها مثل تكاثر الذباب والناموس وانتشار الحشرات والقوارض مما يسبب انتقال الأمراض وخاصة التهاب الكبد الوبائي والسلمونيلا (salmonellosis) والتيفوئيد (enteric fever) والأمراض الجلدية.... إلخ.

5.1 الآثار البيئية للمخلفات الصلبة:

هناك العديد من الآثار البيئية للمخلفات الصلبة مثل التلوث البصري الذي يؤدي إلى أمراض نفسية، وتلوث المياه والتربة، والتلوث الهوائي.

1.5.1 تلوث الهواء:

1. انبعاث الملوثات الهوائية مثل الأمونيا وكبريتيد الهيدروجين وانتشار الروائح الكريهة نتيجة لتخمير وتحلل المواد العضوية خاصة عند توفر الرطوبة المناسبة في النفاية وهي روائح لا يمكن التخلص منها إلا بإزالة النفايات نفسها.
2. يؤدي الاحتراق الذاتي أو إشعال الحرائق في أكوام النفايات الملقاة في الطرق أو المقالب المؤقتة أو النهائية إلى انتشار أدخنة كثيفة والعديد من الانبعاثات الغازية التي تمنع الرؤيا وتتسبب في حوادث الطرق بالإضافة إلى تأثير الأدخنة والانبعاثات على صحة الإنسان.
3. تطاير النفايات الكيميائية أو مسببات الأمراض التي تسبب التهابات العين وأمراض الجهاز التنفسي والربو.

4. تحتوي المخلفات الصلبة أحياناً على مواد كيماوية وغير متجانسة يؤدي اختلاطها إلى تفاعلات كيماوية وانبعاث غازات وأبخرة خانقة ومسرطنة خاصة أن عملية الحريق تتم للمخلفات العضوية وغير العضوية والبلاستيكية....إلخ [الخطيب وخير الله، 2000].

2.5.1 تلوث المياه:

1. نتيجة إلقاء المخلفات الصلبة المحملة بالمواد العضوية القابلة للتحلل أو الأوعية الفارغة التي تحتوي على بقايا مبيدات أو مواد كيماوية سامة أو خطرة أو إلقاء المخلفات الصناعية أو نفايات المستشفيات الملوثة بمسببات الأمراض وغيرها على جوانب المجاري المائية العذبة والأنهار والمصارف والبحيرات.



الشكل (1-1) تلوث نهر بردى [nesasy.org, 2010]

2. انجراف المخلفات الصلبة إلى المجاري المائية عند هطول الأمطار أو عند ذوبان الثلج.
3. تسرب بعض المكونات الكيميائية والبيولوجية خلال مسام التربة إلى المياه الجوفية أو المياه السطحية.
4. تلوث المياه الجوفية نتيجة لسقوط الأمطار أو عند ذوبان الثلوج على سطح النفايات في المقالب والمدافن وتسريبها إلى باطن الأرض ووصولها إلى المياه السطحية والجوفية. ويسبب تلوث المياه إلى انتشار الأمراض الفيروسية مثل الالتهاب الكبدي الوبائي ــ النزلات المعوية ــ شلل الأطفال ــ والأمراض البكتيرية مثل الكوليرا والتيفوئيد والباراتيفود والدوسنتاريا والأمراض الطفيلية مثل البلهارسيا والدوسنتاريا الأميبية.

حيث تُعتبر الرشاحة (Letchate) من المقالب المكشوفة أو المدافن غير المعزولة (نظراً لوجود نسبة رطوبة عالية في المخلفات الصلبة) أكبر تلوث يؤثر على المياه السطحية والجوفية وخاصة أن المخلفات الصلبة عادة ما تكون مختلطة بمخلفات صناعية ومخلفات خطرة ومعادن ثقيلة.

3.5.1 تلوث التربة:

تنتقل ملوثات المخلفات الصلبة عبر التربة إلى المياه السطحية والجوفية فتسبب تلوثها وكذلك تكثر البكتيريا والفيروسات والمخلفات في المقالب العمومية وتسبب تلوثاً للتربة فتصبح غير صالحة للزراعة [الخطيب وخير الله، 2000].



الشكل (1-2) تلوث التربة بالأكياس البلاستيكية [thawra.alwehda.gov.sy, 2010]

6.1 أضرار اجتماعية ونفسية:

إلقاء المخلفات على جوانب الطريق وفي الأراضي الفضاء يشوه جمال الطبيعة مما يؤثر على النواحي النفسية للإنسان وتسبب عادات اجتماعية سيئة مثل التذمر والتشوش الفكري، ويصبح الإنسان غير قادر على العطاء والإنتاج بعكس جمال الطبيعة الذي يسبب الارتياح النفسي والصحي وزيادة الإنتاجية [الحجار، 2004].



الشكل(1-3) النفايات في أحد الأحياء [news.syriarose.com, 2010]

7.1 إدارة المخلفات الصلبة

تعتبر إدارة المخلفات الصلبة إحدى المشاكل الرئيسية في العصر الحالي وخاصة في المدن الكبيرة ذات الكثافة السكانية المرتفعة. وتزداد مشكلة المخلفات الصلبة مع زيادة عدد السكان والتقدم الحضاري والصناعي؛ لذلك يجب أن تتطرق دراسات إدارة المخلفات الصلبة ليس فقط للنواحي البيئية والفنية ولكن أيضاً للنواحي الاجتماعية والمالية والاقتصادية، ويجب عمل دراسة فنية واقتصادية وبيئية واجتماعية متكاملة للتمكن من تحديد أمثل الطرق للاستفادة والتخلص من المخلفات الصلبة. ويختلف نظام إدارة المخلفات الصلبة من محافظة إلى محافظة ومن مدينة لأخرى. وتعتمد إدارة المخلفات الصلبة على مبدأ المحطات الوسيطة لجمع وفرز المخلفات الصلبة وإعادة تدويرها للاستفادة منها.

إن الإدارة السليمة للمخلفات الصلبة تتطلب التعامل معها بمنظور المنظومة المتكاملة متعددة الجوانب والمكونات ومترابطة الحلقات، حيث تعتمد كل حلقة منها على سابقتها، وتمثل في نفس الوقت الأساس الذي يقوم عليه ما بعدها، وفي كافة الأحوال فمن الضروري في كل مرحلة استخدام وسائل مناسبة وملائمة للظروف السائدة والموارد المتاحة والمحددات القائمة. يعني ذلك تبني أفضل الخيارات التي تستوفي المعايير الفنية والسلامة البيئية والتوافق الاجتماعي وأقل التكاليف الممكنة وأعلى استرجاع ممكن للموارد والالتزام بالتشريعات واللوائح مع اتسامها بالمرونة والقدرة على التجاوب مع المتغيرات المستقبلية [الحجار، 2004].

1.7.1 المحطة الوسيطة Transfer station :

يمكن عمل محطة وسيطة في بعض المناطق النائية أو القرى أو المجتمعات السكانية المعزولة أو المناطق السياحية حيث تقل كميات المخلفات الصلبة ويصعب إقامة صناعة عليها. والهدف من المحطة الوسيطة هو فرز وتجميع المخلفات الصلبة استعداداً لبيعها أو نقلها إلى المراكز الرئيسية لتجميع المخلفات وإعادة تدويرها وتصنيعها. وتتكون المحطة الوسيطة من سير لفرز النفاية يصل طوله إلى 12 متراً وعرضه 1 متر حيث يتم عليه فرز النفاية يدوياً وتجميعها ثم يتم بعد ذلك كبس بعض المخلفات الصلبة التي تم فرزها فمثلاً يتم كبس المعادن وتشكيل بالات لنقلها إلى المسابك وكذلك كبس الورق لنقله إلى مصانع الورق وكبس البلاستيك لنقله إلى مصانع البلاستيك... إلخ. والهدف من الكبس هو تقليل الحجم لسهولة نقله وتداوله.



الشكل (1-4) كبس عبوات المياه الغازية المعدنية [americanrecycler.com, 2009]

وهناك نوع آخر من المحطات الوسيطة تسمى بمحطات التجميع أو محطات الترحيل والتي توجد ليس فقط في المناطق القروية والمعزولة ولكن أيضاً في المدن حيث تساعد على عملية تجميع المخلفات من المساكن المجاورة في حاويات مخصصة لذلك استعداداً لترحيلها إلى مناطق الفرز وإعادة التدوير. وتنتشر هذه المحطات في دول شرق آسيا حيث تعمل على تقليل زمن عملية ترحيل النفاية من خلال تقليل المسافات المقطوعة لترحيلها [الحجار، 2004].

2.7.1 فرز المخلفات الصلبة:

وذلك لفصل المخلفات المفيدة والتي يمكن إعادة استخدامها أو إعادة تدويرها وكذلك فصل المخلفات غير الخطرة عن المخلفات الخطرة التي لا ينصح بإعادة استخدامها أو تدويرها. كما أنه من الضروري فصل المخلفات الخطرة عن المخلفات غير الخطرة في المستشفيات حيث إن لكل منها طريقة لعلاجها. ويتم فرز النفاية في كثير من مناطق تجميع النفايات عن طريق الفرز اليدوي البدائي والذي يساعد على نشر التهاب الكبد الوبائي والعديد من الأمراض الأخرى؛ لذلك يفضل السير الميكانيكي لفرز المخلفات الصلبة [الحجار، 2004].

المشكلة الرئيسية في إعادة تدوير النفايات البلدية والصلبة بشكل عام هي اختلافها وتنوعها. فكيس النفايات البلاستيكي الأسود قد يحوي شتى أنواع المواد والأشياء وهذه يمكن فرزها في مكبّات إعادة التدوير الحديثة، لكن ذلك يتطلب وقتاً ومعدات آلية ومالاً.

إنّ فرز النفايات في مصادرها – بوضعها في أوعية منفصلة للزجاج والبلاستيك والفلزات المعدنية والورق وغيرها – هو أوفر وأكثر كفاءة وفعالية.

يمكن فرز النفايات بثلاث وسائل رئيسية:

* الجلب، حيث يجلب الناس المواد إلى مواقع متخصصة كمستوعبات القوارير الزجاجية أو المواد البلاستيكية وصناديق الورق.

* التجميع الرصيفي، حيث تُلقى النفايات المنزلية مفرزة في مستوعبات خاصة على أرصفة الشوارع وتقوم بجمعها السلطات البلدية أو الهيئات المتخصصة.

* الطرح المركزي، حيث تفرز النفايات المختلطة في مركز إعادة التدوير فمثلاً يمكن استخلاص المواد أو القطع الحديدية أو الفولاذية، كخردة مسابك، من النفايات المختلطة باستخدام مغناطيس كهربائي قوي [الخطيب وخير الله، 2000].

وهناك العديد من التجارب التي تمت ببعض أحياء مدينة دمشق وذلك بوضع المخلفات الطبية في حاويات خاصة والمخلفات الأخرى كالورق والمعادن والبلاستيك... إلخ في حاويات أخرى.



الشكل (1-5) حاوية خاصة بالنفايات الطبية على اليمين وآلية رص للنفايات الطبية على اليسار [وزارة الدولة لشؤون البيئة وشركة تريفالور، 2011]

ويبين الشكل (1-6) حاويات خاصة لمخلفات الورق والمعادن والبلاستيك حسب اللون وتُساعد هذه الطريقة على عملية فصل النفاية عند مناطق الفرز وزيادة جودة المخلفات الصلبة والتي سوف تستخدم كمواد خام للصناعات.




الشكل (1-6) حاويات خاصة لمخلفات الورق والمعادن والبلاستيك [وزارة الدولة لشؤون البيئة وشركة تريفالور، 2011]

3.7.1 المجتمعات الصناعية المتوافقة بيئياً Eco – Industrial parks والتلوث الصفري Zero Pollution:

التلوث الصفري Zero Pollution: يعرف التلوث الصفري بأنه التلوث الناتج من الأعمال الصناعية أو الخدمية أو الأنشطة المختلفة في حدود المسموح بها طبقاً للقوانين والتشريعات البيئية المحلية.

قام البروفسور نيلسون ناميرو في جامعة ميامي بولاية فلوريدا الأمريكية عام 1995 بالبحث في إمكانية إنشاء مجتمع صناعي جديد متوافق بيئياً وذلك باستخدام مخلفات المصانع في صناعات أخرى تعتمد على هذه المخلفات ويتم ذلك في مرحلة التخطيط للمجتمعات الصناعية واختيار الصناعات لتتلاءم مخلفاتها لإقامة صناعات عليها، وقام الدكتور صلاح الحجار عام 2003 بعمل منظومة جديدة لإدارة المخلفات لا تعتمد على المدافن الصحية ولكنها تؤدي إلى التلوث الصفري باستخدام القاعدة الذهبية 7R Golden Rule والتي تعتمد على:

1. القوانين والتشريعات Regulation.
2. تقليل المخلفات عند المنبع Reducing.
3. إعادة استخدام المخلفات Reusing.
4. إعادة تدوير المخلفات Recycling.
5. استرجاع المواد الخام من المخلفات Recovery عن طريق المعالجة الجزئية.
6. إعادة التفكير Rethinking في المتبقي من المخلفات في النهاية (مخلفات المخلفات) وكيفية الاستفادة منها
7. ابتكار Renovation تكنولوجيا جديدة قادرة على الاستفادة من المخلفات المتبقية.

هذه الطريقة تؤدي إلى تحويل المجتمعات الصناعية القائمة إلى مجتمعات صناعية متوافقة بيئياً ذات تلوث صفري وذلك بمحاولة تقليل المخلفات أو الاستفادة منها بصفة عامة.

وتعتبر القوانين والتشريعات الأساس الذي يعتمد عليه كل من المستثمر والفرد والدولة للتوافق البيئي ولولا القوانين والتشريعات لدمرت البيئة.

يمكن تقليل المخلفات عند المنبع بتغيير المواد الخام واختيار مواد خام أفضل أو تغيير نمط التغليف أو تغيير العمليات الصناعية حتى نستطيع تقليل الماء والطاقة والمواد الخام في بعض الأحيان.

إن التخفيض من المنبع هو الخيار الأول في أية قائمة لاستراتيجيات إدارة النفايات وأسباب ذلك واضحة: فهو الخيار الوحيد الذي يغني عن الحاجة إلى التخلص منها وعن استخراج وتصنيع المواد البكر بل وحتى عن تخفيض الطاقة والتلوث من إعادة التدوير إلا أنه كثيراً ما يستبعد على زعم أنه غير واقعي [الخطيب وخير الله، 2000].

أما إعادة استخدام المخلفات فهي إعادة استخدامها كما هي بدون تغيير في الخواص أو إدخال المخلفات في عمليات صناعية داخل المنشأة. كثيرة هي الأشياء التي يتم إعادة استخدام الشيء نفسه منها مرة ثانية وربما مرة بعد مرة. وقد يستدعي ذلك ترميم الشيء من حين لآخر، كما هي الحال بالنسبة إلى الملابس أو الألعاب المستعملة، التي يمكن أن تدوم طويلاً [الحجار، 2004].

إنّ مبدأ إعادة الاستخدام ليس جديداً فهو مألوف ومطبّق منذ أقدم العصور في مجالات الملابس والألعاب وأدوات المائدة والخزفيات والتراثيات التي يحتفظ الناس بها من جيل إلى جيل. وهناك دكاكين متخصصة ببيع الأشياء المستعملة والتحف القديمة – ما كانت تروج تجارتها لولا ميل الناس لأسباب مختلفة إلى إعادة الاستخدام. كذلك يعتمد بعض الناس، في كسب رزقهم على مكبات النفايات الضخمة في بعض المدن فيقومون بفرز النفايات والتنقيب فيها عما يمكن بيعه أو إعادة استخدامه [يونج، 1994].

أما إعادة التدوير فتعني إدخال المخلفات في عمليات صناعية مع بعض الإضافات لإنتاج منتجات أخرى [الحجار، 2004].

تُعرف إعادة التدوير: ببساطة بأنه استرجاع وتحويل المواد المبددة إلى سلع جديدة [يونج، 1994].

تنطوي عملية إعادة التدوير على معالجة المواد لاستخدامها كمواد أولية في صناعة أخرى وقد ينتهي بها المطاف منتجات مثيلة الأصل، كصناديق الكرتون المعاد تدويرها إلى صناديق كرتون جديدة، أو قد تكون المنتجات مختلفة جداً، كخردة الحديد والفولاذ من العلب والسيارات التي تُصهر ويُعاد سبكها أعمدة سقالات أو قضباناً للخرسانات المسلحة وقوارير PET التي يعاد تدويرها إلى ألياف نسيجية للملابس [الخطيب وخير الله، 2000].

ثم يأتي بعد ذلك استرجاع المواد الخام من المخلفات عن طريق المعالجة الفيزيائية كما يحدث في بعض مصانع الزيوت والصابون لمعالجة المخلفات السائلة الناتجة، حيث تزداد نسبة الدهون التي يمكن فصلها عن المياه بواسطة وحدات الفصل بالجاذبية Gravity oil separator ووحدات التعويم بالهواء Dissolved air floatation، وإعادة استخدام المياه في بعض العمليات التي تحتاج مياه أقل نقاءً، وإعادة تدوير الدهون المجمعة على السطح لصناعة صابون غسيل أقل جودة أو إقامة صناعة جديدة تعتمد على ابتكار تكنولوجيا جديدة تساعد على استخدام المخلفات الناتجة بكفاءة عالية وإذا تبقى مخلفات بعد ذلك فيجب إعادة التفكير فيها لمحاولة ابتكار تكنولوجيا تتلاءم وهذه المخلفات لإنتاج بعض المنتجات اللازمة للمجتمع [الحجار، 2004].

ليست إعادة تدوير المواد أو إعادة استخدامها مقتصرة على المفهوم المادي فالنفايات القابلة للانحلال حيوياً كالقش والورق والروث وبقايا الأطعمة يمكن تدمينها (أو تعضينها) تجارياً في ((هاضمات)) ضخمة لإنتاج غازات كالميثان وهذه الغازات يمكن استخدامها وقوداً لتدفئة المنازل، ولتزويد المعامل والعمليات الصناعية بالطاقة الحرارية اللازمة أو لتشغيل محطات توليد القدرة الكهربائية فتوفّر بذلك الوقود الأحفورية أما الرماد والدُّمان المتبقيان فيعاد تدويرهما كسماد للأراضي الزراعية [الخطيب وخير الله، 2000].

8.1 طرق التخلص من النفايات:

إن النفايات الصلبة وخصوصاً البلدية منها هي المشكلة الأكبر لأنها تُمثل النسبة الأعظم من النفايات ولكونها تتشكل من أكثر من مصدر كما سبق ذكره، كما أنها تحتوي على أكثر من نوع من المواد التي من ضمنها المواد البلاستيكية (مجال دراستنا).

يمكن التخلص من هذه المخلفات بعد فرزها وتصنيفها لإمكانية استغلال المفيد منها بإعادة تدويره وإنتاج منتجات جديدة وإيجاد فرص عمل لصناعات صغيرة وبالتالي التخلص من جزء كبير من المخلفات بطرق إيجابية وتحقيق عائد اقتصادي.

1.8.1 الطرق البيولوجية لمعالجة النفاية:

يختلف التعامل مع المخلفات العضوية من الريف إلى المدينة حيث تستخدم القرى المواد العضوية كغذاء للطيور والحيوانات وهي أفضل الطرق لإعادة استخدام المخلفات العضوية. أما في المدن فيتم تجميعها وإنتاج مادة مخصبة للأرض وهو ما يطلق عليه السماد العضوي.

1.1.8.1 المعالجة بالتخمر الهوائي (طريقة الطمر)

Composting: Aerobic Fermentation

تعتبر طريقة الطمر من أقدم تقانات المعالجة المطبقة على نطاق تجاري كبير وهي عبارة عن عملية تخمر هوائي للفضلات العضوية بفعل البكتيريا الهوائية بغرض تحويلها إلى مواد ذات قيمة سمادية عالية، تشبه في مظهرها السماد الطبيعي المتحلل جيداً مع خلوها من الروائح الكريهة وبذور الحشائش التي تسبب العديد من المشاكل للأراضي الزراعية، وارتفاع قيمة السماد حيث المحتوى النتروجيني والعضوي العالي، ويفضل استخدامه في الأراضي المستصلحة بدلاً من السماد الطبيعي نظراً لخلوه من مسببات الأمراض.

الجدول (1–3) العوامل المثلى لطريقة الطمر

نسبة الكربون للنتروجين	1:20 – 1:35
حجم الجزيئات الصلبة	10 مم للنظام الطبيعي بالتقليب والتهوية القسرية
	50 مم لسحب الهواء الطبيعي بنظام المواسير
نسبة الرطوبة	50 – 60 %
درجة الحرارة	55 – 60° م

تنقسم عملية الطمر إلى ثلاث طرق رئيسية:

أ – عملية طمر طبيعي Natural composting:

يتم فيها عمل كومة من المخلفات العضوية وتركها مع مداومة ترطيبها وتقليبها بصفة مستمرة وتختلف فترات التقليب والترطيب من موسم الصيف إلى موسم الشتاء حيث يتم مرتين إلى ثلاث مرات أسبوعياً خلال فترة الصيف ومرة كل أسبوع خلال فترة الشتاء.

ب – عملية الطمر بتيارات هواء طبيعي Passive Composting:

تشبه الطريقة السابقة (الطمر الطبيعي) مع وضع مواسير بلاستيك بقطر 4 بوصة بصفين من الفتحات قطرها 10 مم ومسافة 30 سم بين الفتحات، وتوضع المواسير على مسافات 30 ــ 45 سم بطول الكومة. وتساعد هذه المواسير على عملية التهوية بدلاً من التقليب المستمر مما يساعد في تهوية قلب الكومة ورفع درجة حرارتها بيولوجيا والقضاء على الطفيليات والميكروبات المرضية التي قد تكون مصاحبة للمخلفات العضوية، بالإضافة إلى التخلص من بذور الحشائش. تتميز هذه الطريقة عن السابقة بعدم الحاجة إلى عمالة لتقليب الكومة بصفة منتظمة حيث تقوم المواسير ذات الفتحات بإضافة الهواء للكومة.

ت – عملية الطمر بطريقة الهواء القسري Forced Aeration:

وهي كسابقتها (تيارات الهواء الطبيعي) ولكن يتم توصيل المواسير البلاستيكية بمراوح هوائية تساعد على إمرار هواء داخل قلب الكومة مع تحديد حجم الهواء وسرعته داخل الكومة. من سيئاتها أنه إذا زادت السرعة عن حد معين فإن ذلك سوف يسبب نقص درجة الحرارة وعدم إتمام عملية الطمر، بالإضافة إلى تكاليف الاستثمار والتشغيل العالية [الحجار، 2004].

2.1.8.1 المعالجة بالتخمر اللاهوائي (البيوغاز) Anaerobic Fermentation:

وتعتمد هذه التكنولوجيا على تخمير المواد العضوية بفعل البكتيريا اللاهوائية. ولقد تطورت كفاءة وحدات البيوغاز في السنوات العشرين الماضية بدرجة كبيرة فبلغت عدد وحداتها في الصين مما يزيد على 7 مليون وحدة، وفي الهند حوالي 120 ألف وحدة، وفي كوريا الجنوبية حوالي 50 ألف وحدة، بالإضافة إلى العديد من الوحدات الضخمة في الدول المتقدمة التي تقوم بمعالجة الحمأة الناتجة عن الصرف الصحي. ففي باريس تقوم محطة مجاري باريس بمعالجة الحمأة لإنتاج بيوغار كافٍ لتوليد الكهرباء لتشغيل محطة الصرف الصحي والباقي يباع لشبكة الكهرباء وتصل سعتها 133 ألف متر مكعب وفي مصر تقوم محطة الجب الأصفر بالقاهرة بمعالجة الحمأة لإنتاج بيوغاز وتصل سعتها إلى مليون متر مكعب.

وتعتبر تكنولوجيا البيوغاز من التكنولوجيات الاقتصادية إذا أخذ في الاعتبار الطاقة الناتجة (البيوغاز) والسماد العضوي المتبقي من عملية التحلل، فضلاً عن الآثار البيئية الإيجابية حيث تتم إبادة قدر كبير من الطفيليات والميكروبات المرضية أثناء عملية التخمر اللاهوائي ويولد 1 م٣ من غاز البيوغاز حوالي 1.25 كيلو وات ساعي وهي كافية لتشغيل محرك 1 حصان لمدة ساعتين.

3.1.8.1 طريقة الطمر بالديدان Vermi Composting:

تقوم الديدان بدور هام في تحويل المخلفات العضوية إلى سماد عضوي بجودة عالية جداً وتقوم هذه الديدان تحت الظروف الملائمة والحرارة والتهوية بالتغذية على المادة العضوية وهضمها وبناء أجسامها وتكاثرها، أما مخلفاتها فتعتبر سماداً عضوياً جيداً حيث تعتبر الدودة مصنع سماد قائم بذاته حيث تقوم بتحويل المخلفات العضوية إلى سماد عضوي وهي عملية غير ملوثة للبيئة واقتصادية وغير مستهلكة للطاقة.

وهناك العديد من الدراسات لدراسة سلوكيات وتكاثر الديدان وكذلك تحليل السماد الناتج فوجد أن سماد الديدان ذو كفاءة عالية وخال من بذور الحشائش ومفتت وخفيف الوزن، ويمكن استخدامه بدلاً من التربة الصناعية المستخدمة في المشاتل ونباتات الزينة. [الحجار، 2004]

التحويل إلى سماد خيار فعال لنفايات الساحات والفضلات الغذائية ولكنه لا يصلح لكل النفايات فالمواد البلاستيكية لا تتحلل بنفس الكيفية التي تتحلل بها المواد البيولوجية. والأسوأ من ذلك، أنها إذا تحللت يمكنها أن تطلق موادً سامة مما يجعل السماد غير مناسب – وغير قابل للتسويق – لكثير من الاستعمالات الزراعية.

2.8.1 الطرق الحرارية لمعالجة النفاية:

ويمكن معالجة المخلفات بالطرق الحرارية والتي تنقسم إلى الآتي:

- المعالجة بالتسخين بمعزل عن الهواء pyrolysis.
- المعالجة بالتغويز (التحويل إلى غاز) Gasification.
- المعالجة بالترميد (الحرق الآمن) Incineration.

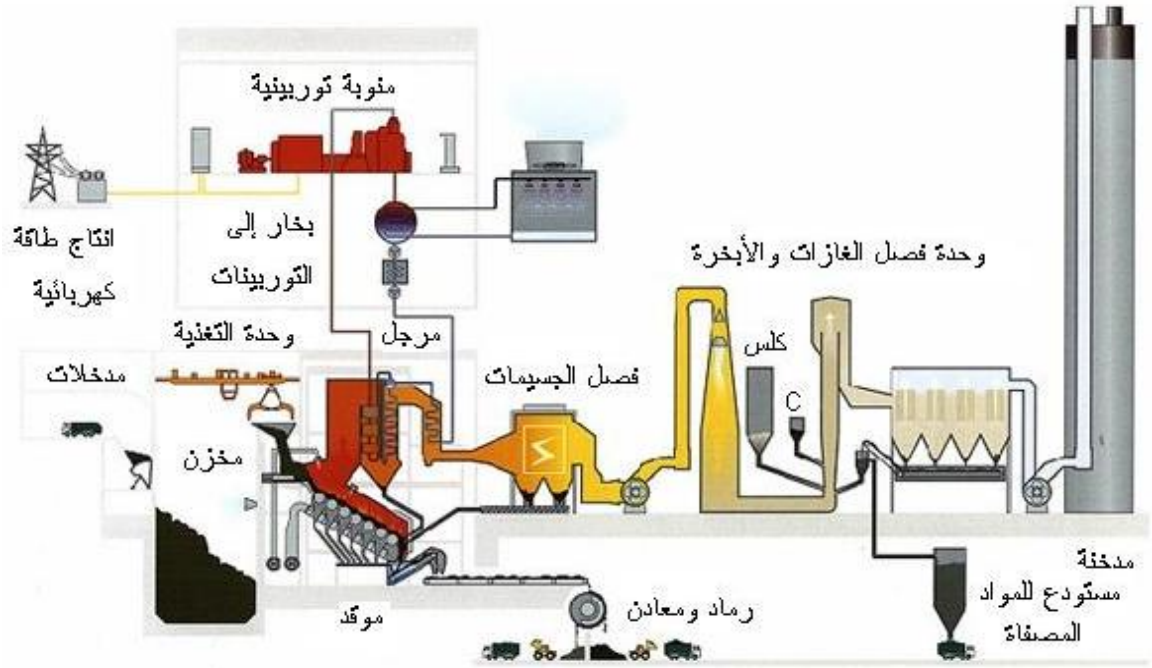
الجدول (1–4) الطاقة الحرارية للعديد من المخلفات الصلبة [Ylä-Mella, 2002] و [الحجار، 2004] و[Mastellone, 1999]

المادة	القيمة الحرارية [MJ \ kg]
الورق	17
خليط المخلفات البلاستيكية الصلبة البلدية	31.8 ~ 33.4
المطاط	26.1
الجلد	18.5
النسيج	18.7
الخشب	15
أوراق الشجر والحشائش	6.3
بقايا الطعام	5.5

1.2.8.1 المعالجة بالتسخين بمعزل عن الهواء Pyrolysis:

2.2.8.1 التغويز (التحويل إلى غاز) Gasification:

3.2.8.1 المعالجة بالترميد (الحرق الآمن) Incineration:

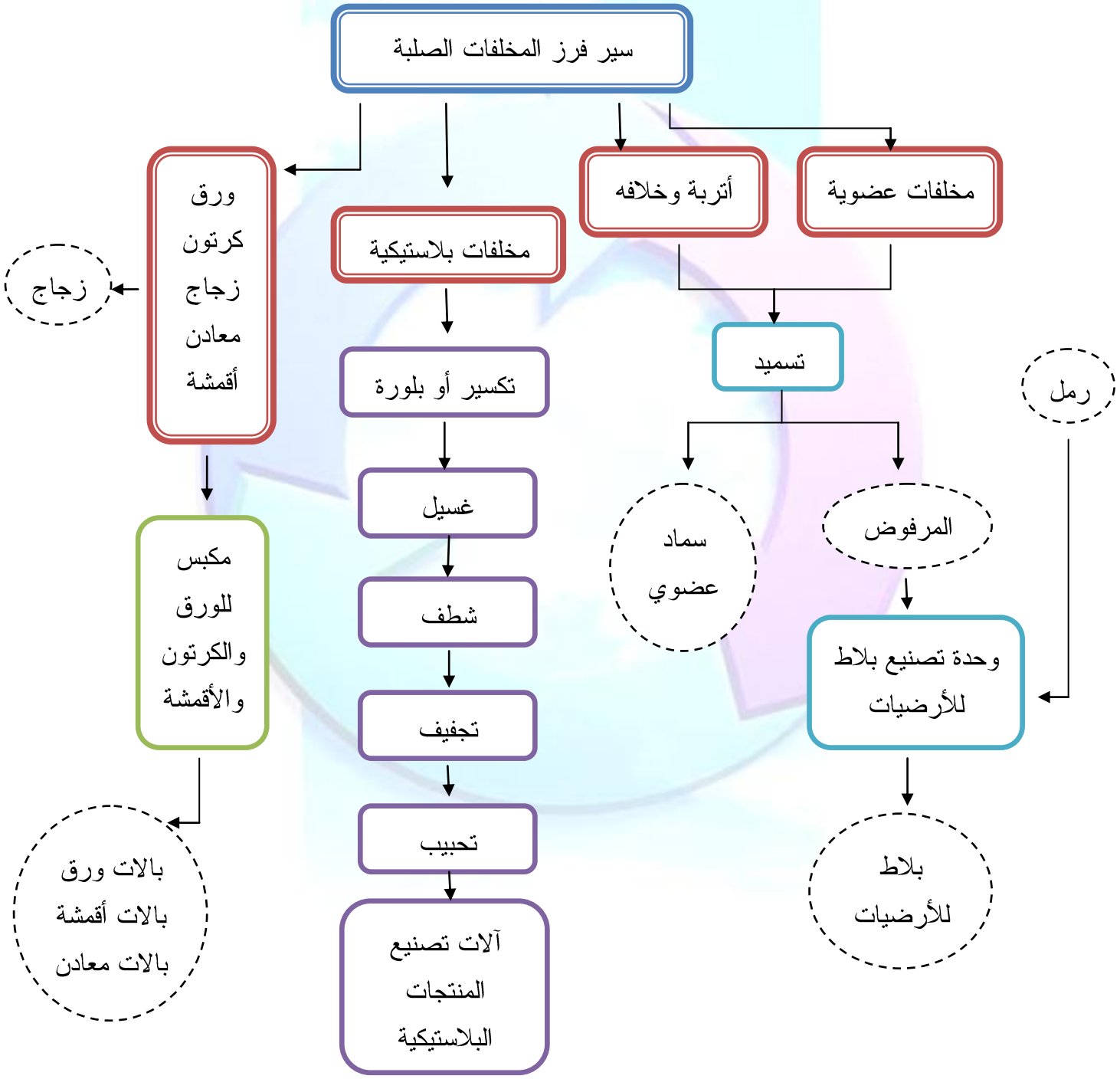


الشكل (1–7) الأجزاء الرئيسية لوحدة الترميد [wtert.eu, 2010]

تتكون وحدة الترميد من فرن ووحدة تغذية للمخلفات ونظام للتخلص من الرماد الناتج عن الحرق كما هو موضح بالشكل (1–7) ويمكن الاستفادة من الطاقة الناتجة عن حرق المخلفات بوضع مرجل لإنتاج البخار ومحاولة استخدامه في توربينات بخارية لتوليد الطاقة، وأهم جزء في وحدة الترميد هو نظام التحكم في ملوثات الهواء حتى تخرج الانبعاثات الغازية من المدخنة طبقاً للحدود المسموح بها ويعتمد تصميم نظام التحكم في الملوثات على نوعية المخلفات التي يتم حرقها [الحجار، 2004].

3.8.1 الطرق الميكانيكية لمعالجة النفاية:

تعتبر تكنولوجيا إعادة التدوير من أهم الطرق الميكانيكية لمعالجة النفاية التي يمكن أن تؤدي إلى الاستفادة الكاملة من المخلفات الصلبة وإقامة صناعات عديدة وتشغيل أيدي عاملة.



الشكل (1-8) مخطط إعادة تدوير مختلف المخلفات الصلبة المنزلية [الحجار، 2004]

ومن النفايات التي يعاد تدويرها:

ــ الورق، العظام، مخلفات القماش، المخلفات المعدنية، المخلفات الزجاجية، البلاستيك.

1.3.8.1 إعادة تدوير الورق:

تعتبر عملية إعادة تدوير الورق عملية اقتصادية من الدرجة الأولى؛ وذلك لأنه طبقاً لوكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة الأمريكية سوف توفر كميات هائلة من المياه والطاقة حيث أن إنتاج 1 طن ورق من 100% مخلفات ورقية سوف يوفر 4100 كيلو وات ساعي من الطاقة الكهربائية و28 متراً مكعباً من المياه، بالإضافة إلى الخامات الأولية التي تستخدم في صناعة لب الورق إما أشجار أو مواد سليلوزية ناتجة من المخلفات الزراعية.

ويتكون خط تحويل المخلفات الورقية في الصناعات الصغيرة من ماكينة تقطيع الورق Shredder لزيادة المساحة السطحية ثم تحويلها إلى عجينة ورق من خلال عجانة الورق Beater والذي يتم من خلالها تحويل قطع الورق إلى لب (عجينة) الورق وتوضع بعد ذلك عجينة الورق في أحواض كبيرة لخلطها بنسبة مياه تصل إلى 95% تبعاً للسماكة المطلوبة للورق لتحويلها إلى نماذج ورقية بواسطة بروفيلات خشبية تبعاً للأبعاد المطلوبة ومن ثم يتم بعد ذلك فرد الورق على طاولة ملفوفة ويمكن تجفيف الورق إما باستخدام الهواء العادي أو باستخدام هواء ساخن بواسطة مجفف كهربائي حسب نوعية الإنتاج المطلوبة.

2.3.8.1 إعادة تدوير القماش:

تمثل مخلفات القماش نسبة قليلة من المخلفات الصلبة التي يمكن الاستفادة منها في صناعة السجاد أو بعض المفروشات ذات التصميمات الخاصة التي تعتمد على فضلات القماش ونوعياتها وألوانها، كما يمكن إنتاج قطن منخفض الجودة عن طريق استخدام ماكينات تتكون من أسطوانتين تدوران باتجاهين متعاكسين ومزودتين بمسامير لفك الأنسجة الطولية من الأنسجة العرضية من القماش لإنتاج هذا النوع من القطن. ولكن توجد بعض الاحتياطات الواجب اتخاذها في مخلفات القماش حتى يصبح بالإمكان إعادة تدويره بطريقة سليمة بيئية وهي تنظيف مخلفات القماش لإزالة أي ملوثات وخاصة الملوثات العضوية التي قد توجد بالمخلفات ويمكن كذلك كبس القماش في بالات لتجميعها ونقلها إلى أماكن تصنيعها بواسطة مكابس هيدروليكية.

3.3.8.1 إعادة تدوير العظام (المخلفات العظمية):

هناك العديد من المنتجات التي يمكن أن تنتج من مخلفات العظام مثل الغراء الذي يستخدم في الصناعات الخشبية وكذلك الفحم الحيواني الذي يستخدم في صناعة تكرير السكر، وبودرة الكالسيوم التي تستخدم كإضافات لأعلاف الحيوانات، وكذلك المواد الدهنية وخاصة الموجودة داخل العظام وفي النخاع وتستخدم في مستحضرات التجميل.

ويمكن الاستفادة من العظام عن طريق تكسيرها بكسارات إلى قطع صغيرة ثم توضع في خزانات بخار تحت ضغط ودرجة حرارة عالية ثم تمر على فاصل يعمل بالطرد المركزي ليفصل المواد الدهنية عن العظام وبعد ذلك يتم تبريد العظام وطحنها لإنتاج بودرة الكالسيوم، وهناك بعض الصناعات الحرفية التي تعتمد على العظام وقرون الحيوانات لصنع بعض المنتجات كالتماثيل.

4.3.8.1 إعادة تدوير المخلفات المعدنية:

المخلفات المعدنية الموجودة بالنفاية هي الصفيح والألمنيوم ويمكن تجميعها وإعادة صهرها في مسابك الحديد ومسابك الألمنيوم وكذلك يمكن كبسها في مكابس هيدروليكية لتقليل حجمها بشكل بالات ثم تجميعها وبيعها للمصانع، يصلح المكبس الهيدروليكي ليس فقط لكبس الحديد والألمنيوم ولكن أيضاً للبلاستيك والورق والقماش وذلك لعمل بالات لتقليل حجم المخلفات استعداداً لنقلها للمصانع.

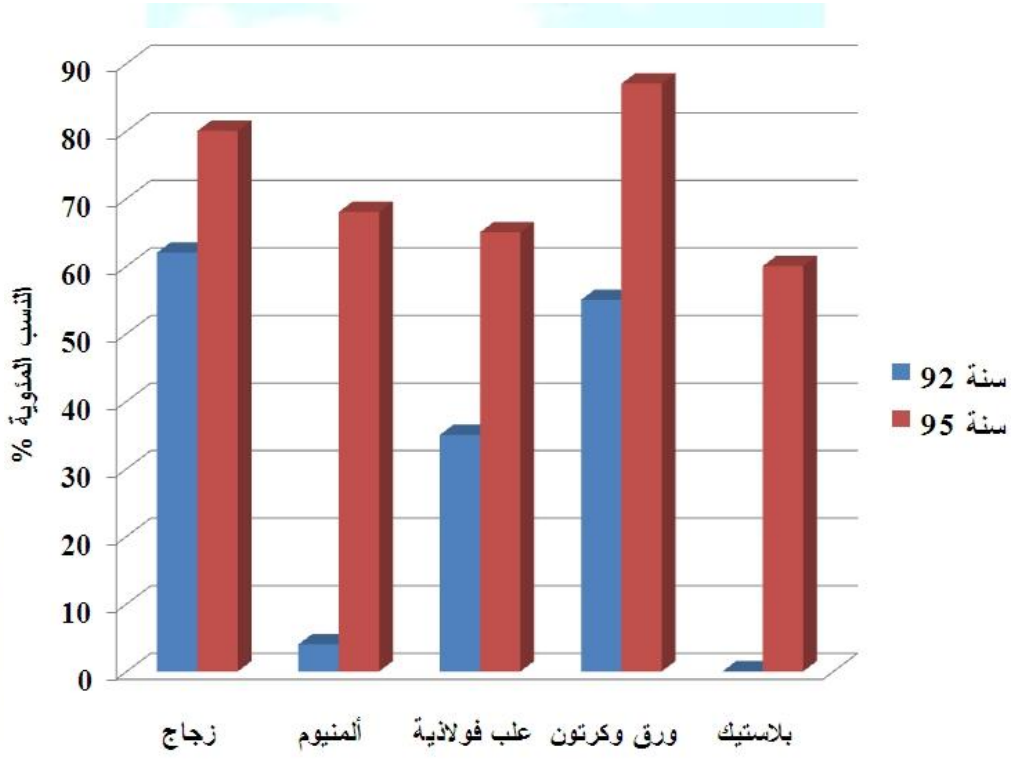
5.3.8.1 إعادة تدوير المخلفات الزجاجية:

يصنع الزجاج من نوع معين من الرمال حيث تصهر الرمال عند درجات حرارة تصل إلى 1600 درجة مئوية فيعتبر الزجاج من الصناعات المستهلكة للطاقة، بإعادة تدوير الزجاج يمكن توفير قدر كبير جداً من الطاقة وكذلك من المواد الخام التي تستخدم في صناعة الزجاج.

ويتم تجميع الزجاج وبيعه إلى مصانع الزجاج ويقدر سعره حسب القدرة على فرزه وفصل الزجاج تبعاً للون، فالزجاج الأبيض عالي السعر عن الزجاج الأخضر أو البني [الحجار، 2004].

في عام 1995 كانت ألمانيا في طليعة البلدان الأوروبية التي أعادت تدوير أكبر كمية من النفايات المنزلية وقد حققت ذلك النجاح بسرعة نسبية كما هو مبيّن في المخطط في الشكل(1-9)، لقد

تطلب هذا الإنجاز كثيراً من الوقت والمال والدعاية ووضع الخطط لإعادة التدوير، لكنه برهن عملياً أنّ ذلك أمر يمكن تحقيقه.



الشكل (1–9) نسب المخلفات التي تم تدويرها في عامي 1992 و1995 في ألمانيا [الخطيب وخير الله، 2000].

الفصل الثاني

المخلفات البلاستيكية

وإعادة تدويرها

- مقدمة عن المواد البلاستيكية
- مقدمة عن التدوير والمواد القابلة للتدوير
- العمليات الرئيسية لإعادة التدوير
- طرق إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية
- مراحل إعادة التدوير بالطريقة الميكانيكية

1.2 مقدمة عامة عن المواد البلاستيكية:

تُصنّف المواد البلاستيكية وفق أسس مختلفة منها:

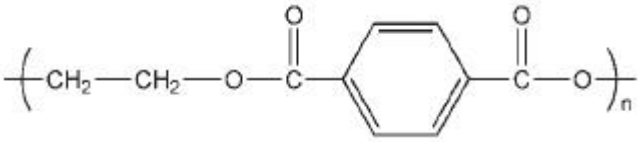
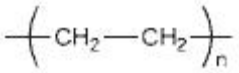
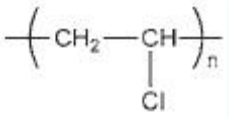
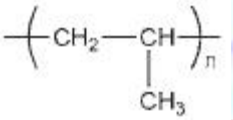
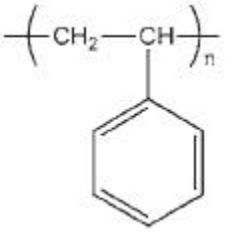
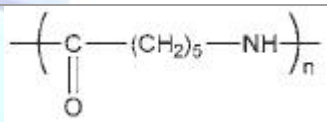
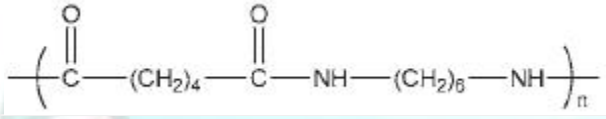
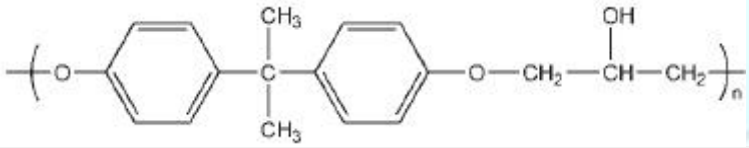
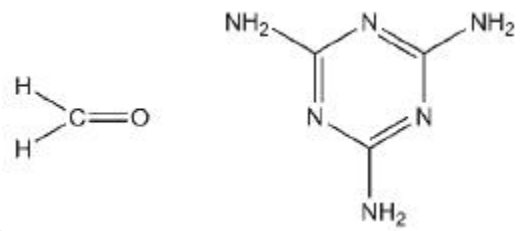
1. حسب مصدر البوليمير: البوليميرات الطبيعية، البوليميرات الصناعية أو تركيب وسطي بين الاثنين.
2. حسب الطبيعة الكيميائية للبوليمير: البوليميرات العضوية، البوليميرات الغير عضوية.
3. حسب تجانس البوليميرات: البوليميرات المتجانسة، البوليميرات الغير متجانسة.
4. حسب شكل بناء جزيئات البوليمير: البوليميرات الخطية (البلاستيك الحراري)، البوليميرات ثلاثية الأبعاد (البلاستيك المتصلب حرارياً)، البوليميرات المرنة مطاطياً.
5. حسب نموذج عملية البلمرة: بوليميرات غير مشبعة ناتجة عن البلمرة بالإضافة، بوليميرات ناتجة عن البلمرة بالتكثيف، بوليميرات ناتجة عن البلمرة بالتجميع [جاويش،2007].

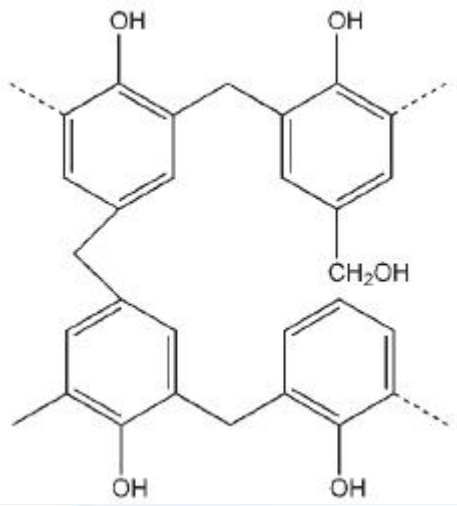
الجدول (2-1) أمثلة عن بوليميرات مصنعة بآليتين مختلفتين من البلمرة [Goodship, 2007]

أمثلة عن بوليميرات مصنعة بآليتين مختلفتين من البلمرة	
بوليميرات من مونوميرات غير مشبعة	**بوليميرات مصنعة بالتكثيف**
بولي إثيلين (PE)	نايلون 66 (Polyhexamethylene adipamide)
بولي بروبلين (PP)	بولي إثيلين ترفثلات (PET)
بولي ستيرين (PS)	بولي يوريثان (PU)
آلية التفاعل: تحطيم الرابطة الثنائية	آلية التفاعل: ضم مجموعة نهايات تفاعلية، طرد الماء

يمكن أن يتفاوت محتوى البوليمير ضمن المادة البلاستيكية إجمالاً من نسبة أقل من 20% إلى 100% تقريباً، وتدعى المواد البلاستيكية التي تتكون بكاملها فعلياً من البوليميرات بـــ "الدرجات الأساسية". كما أن نسبة ونوع المواد المضافة الأخرى تعتمد على التطبيق المطلوب من المادة البلاستيكية، يوجد في الولايات المتحدة الأمريكية أكثر من 18,000 درجة مختلفة من المواد البوليميرية المتوفرة [Goodship, 2007].

الجدول (2–2) الصيغ الكيميائية لبعض البوليميرات [Goodship, 2007] و[La Mantia, 2002]

البوليمير	الصيغة
بولي إثيلين ترفثلات	
بولي إثيلين	
بولي فينيل كلوريد	
بولي بروبيلين	
بولي ستيرين	
بولي أميد 6	
بولي اميد 66	
ريزين الإيبوكسي	
ريزين الميلامين فورم ألدهيد	

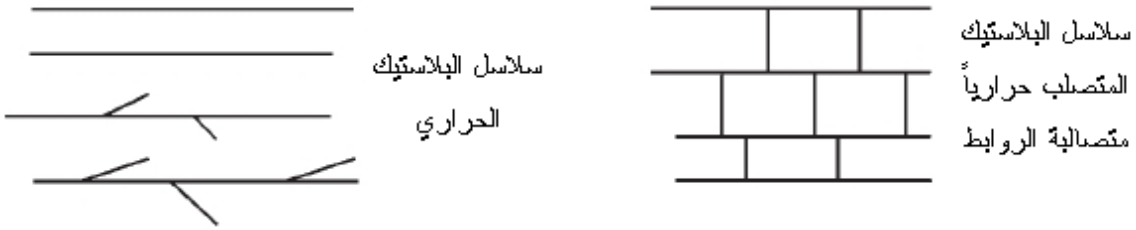
ريزين الفينوليك	
البولي استر الغير مشبع	يتشكل ريزين البولي استر الغير مشبع نتيجة تفاعل حمض متعدد الوظائف مع غول متعدد الوظائف – حيث تحتوي مجموعة المونوميرات على روابط مزدوجة – وبالتالي يكون البوليمير الناتج غير مشبع.
البولي يوريثان	يتشكل البولي يوريثان من تفاعل الأيزوسيانات المزدوج مع البولي إتير أو البولي استر والذي يُشكل سلسلة اليوريثان.

1.1.2 البلاستيك الحراري

كما هو معروف تنصهر هذه المواد وتصبح سائلة عند تسخينها وتتصلب عند التبريد، وعند إعادة التسخين فإنها تنصهر وتستعيد قدرتها على التدفق، وهذا يعني بأنه يمكن إعادة معالجة هذه المواد أي يمكن إعادة تدويرها بإعادة صهرها مرة ثانية. وبالتالي هذا النوع من البلاستيك هو محور دراستنا.

2.1.2 البلاستيك المتصلب حرارياً

تعالج مواد البلاستيك المتصلب حرارياً بالصهر وبأسلوب مشابه للبلاستيك الحراري، ولكن حالما تتشكل وتبرد لا يمكن إعادة معالجتها حيث لابد أن تتحلل (إلى عناصرها الأساسية) قبل أن تتمكن من الانصهار، لذلك لا يمكن إعادة معالجتها بالطريقة نفسها كالبلاستيك الحراري، وهذا يعود إلى أن مواد البلاستيك المتصلب حرارياً مترابطة بشكل متصالب (بروابط حلقية متصالبة) الأمر الذي يجعل المادة قاسية وسريعة الانكسار. ويبين الشكل (2–1) الاختلافات في ترتيب الجزيئات بين البلاستيك الحراري والبلاستيك المتصلب حرارياً [Goodship, 2007].



الشكل (2–1) ترتيب السلاسل الجزيئية بين البلاستيك الحراري والبلاستيك المتصلب حرارياً

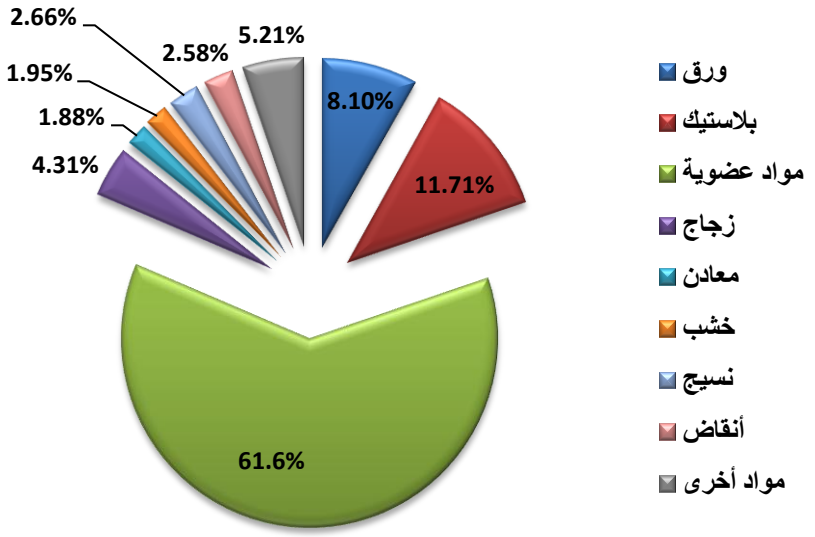
لقد ازداد استهلاك العالم السنوي للمواد البلاستيكية من حوالي 5 مليون طن في الخمسينات إلى 100 مليون طن تقريباً اليوم [plasticsresource.com, 2010] وتعود أسباب الازدياد الكبير في استخدام المواد البلاستيكية إلى مزاياها المتعددة وخصائصها الجيدة، الجدول (2–3) والجدول (2–4).

الجدول (2–3) مزايا المواد البلاستيكية [جاويش، 2007] و[plasticsresource.com, 2010]

مزايا المواد البلاستيكية
1. تعددية الاستعمال والقدرة الكبيرة على تلبية احتياجات تقنية دقيقة جداً.
2. خفة الوزن (وزن نوعي منخفض).
3. سهولة التصنيع .
4. قليلة الهدر أثناء التصنيع.
5. تجمع بين خصائص متعددة (مرن، خفيف، قاسي، شفاف في وقت واحد).
6. مقاومة للمواد الكيميائية.
7. مقاومة للصدأ والتآكل.
8. مقاومة الاحتراق (حسب النوع).
9. عزل حراري.
10. عزل كهربائي .
11. مجال تلوينها واسع.
12. إنتاجها غير مكلف نسبياً.
13. يمكن تحسين خواصها باستخدام الإضافات.
14. يمكن إعادة تصنيع مواد البلاستيك الحراري.
15. أغلب المواد البلاستيكية غير ضارة فيزيولوجياً.
16. القدرة على التحكم بالتركيب الجزيئي وبالتالي بالخواص حسب الحاجة.

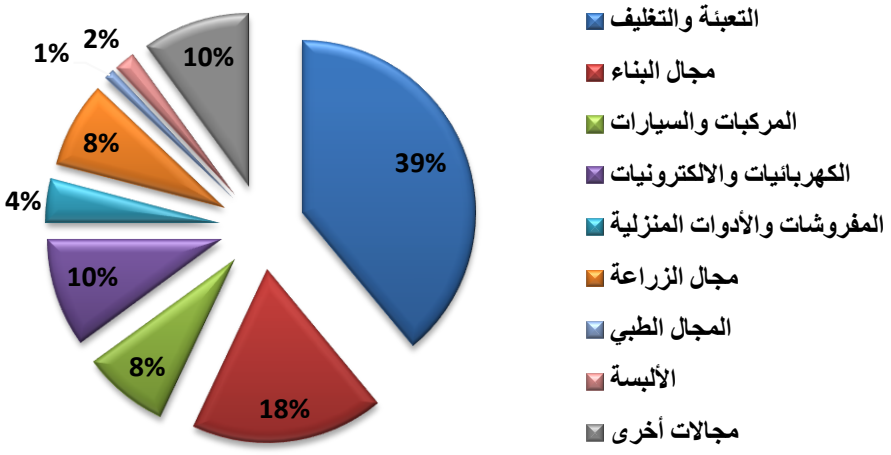
الجدول (2–4) الخصائص الأساسية لبعض المواد البلاستيكية الحرارية والمتصلبة حرارياً

يبين الشكل (2-2) كمية النفايات البلدية في سورية لعام 2010، حيث يمثل وزن المخلفات البلاستيكية النسبة الأكبر بعد المخلفات العضوية.



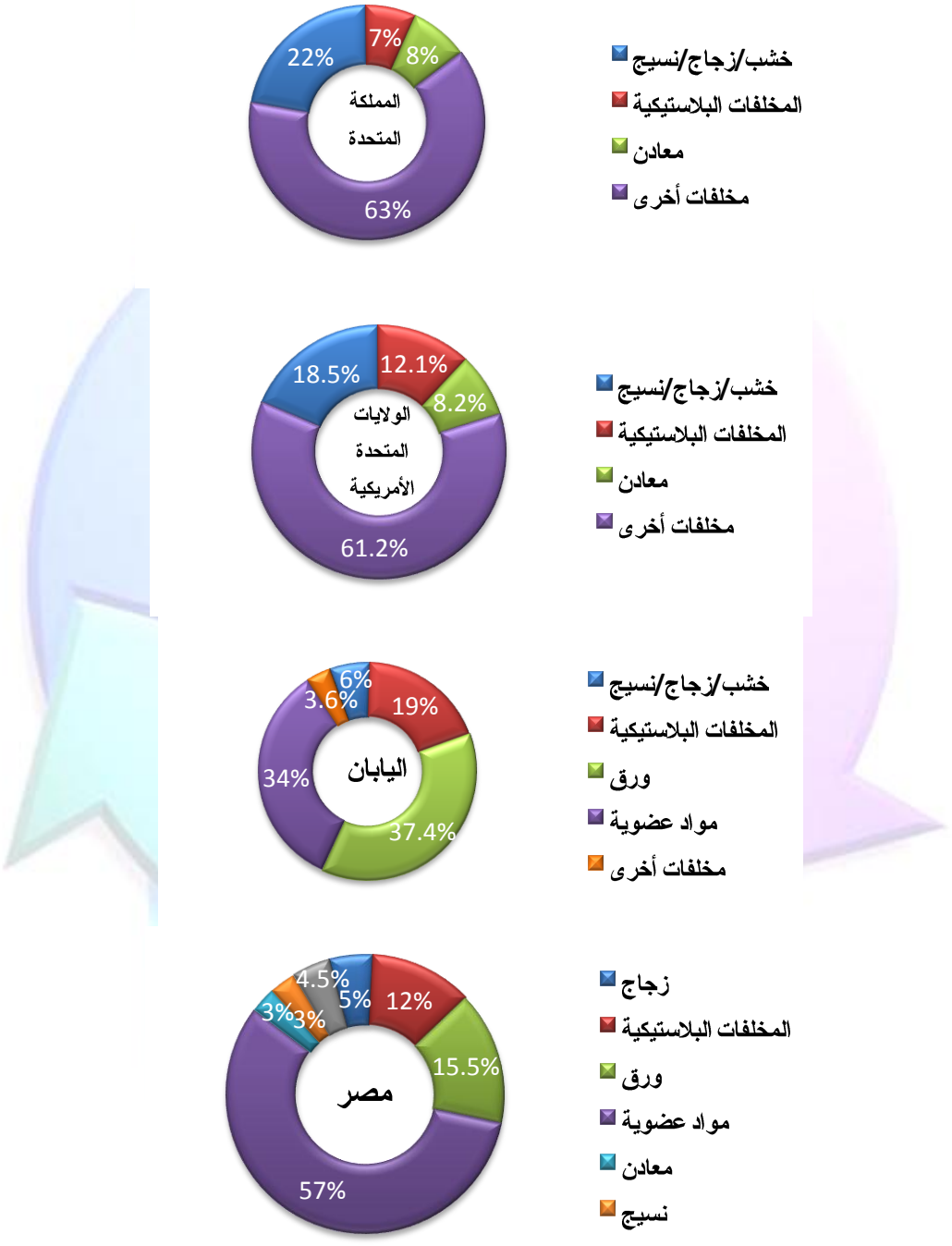
الشكل (2-2) كمية النفايات البلدية في سورية لعام 2010 [وزارة الدولة لشؤون البيئة وشركة تريفالور، 2011 و[المكتب المركزي للإحصاء، 2011]

نلاحظ من الجداول الإحصائية السابقة أن كمية النفايات البلاستيكية بين عامي 2004 إلى 2010 تتراوح بين 11.61% و11.71% حيث أن المجتمع السوري يستهلك المواد البلاستيكية لأغراض متعددة كما يبين الشكل (2-3)، وهذه المواد الاستهلاكية مصيرها أن تؤول إلى نفاية وبخاصة المواد البلاستيكية المستخدمة في التعبئة والتغليف (الواسعة الاستخدام في سورية).



الشكل (2-3) مجالات استخدام المواد البلاستيكية في سورية 2010 [وزارة الدولة لشؤون البيئة وشركة تريفالور، 2011] و [المكتب المركزي للإحصاء، 2011]

فيما يلي احصائيات للمخلفات البلاستيكية لعام 2006 في المملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية [USEPA, 2008] و[DEFRA, 2007] ومصر [الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، 2010] واليابان [Ministry of the Environment, 2007]:



الشكل (2-4) إحصائيات للمخلفات البلاستيكية لعام 2006

2.2 مقدمة عن التدوير والمواد القابلة للتدوير:

1.2.2 موجبات ومبررات إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية

1. يتطلّب إنتاج البلاستيك كميات كبيرة من الموارد والوقود الخام والتي يتم استخدامهما كمواد أولية ولتأمين الطاقة لعملية التصنيع، حيث أن 8% من الإنتاج السنوي العالمي للنفط يستخدم في إنتاج المواد البلاستيكية، 4% منها يستخدم لإنتاج المادة الخام و4% من إنتاج النفط يستخدم أثناء تصنيع هذه المواد [Scheirs & Kaminsky, 2006].

2. تتطلّب صناعة البلاستيك موارد أخرى مثل مساحات لا بأس بها من الأرض وكميات كبيرة من الماء كما أنها تسبب انبعاث الغازات السامة، حيث يتفاوت التأثير البيئي العام تبعاً لنوع البلاستيك وطريقة الإنتاج المستخدمة، كما يستلزم إنتاج المواد البلاستيكية استعمال المواد الإضافية التي ذُكرت سابقاً وهي مواد كيميائية ضارة ومؤذية حيث أن العديد من هذه المواد لا يتم تقدير مخاطرها البيئية، مثال على هذه المواد يمكن ذكر استر الفثالات والتي يتم استخدامها في صناعة مادة PVC كمادة إضافية (ملدن وملين) يجعل المادة قابلة للثني والتشكيل، تصنع منها بعض ألعاب الأطفال. كما ثبت أن هذا الملدن يؤثر في معدل الهرمونات فيزيد نسبة تكوين وإفراز هرمون الايستروجين والذي يسبب تزايد أنواع الأورام الخبيثة [جاويش، 2007] و[Scheirs & Kaminsky, 2006].

3. لا يمكن حرق المخلفات البلاستيكية إذ إن لحرق هذه المخلفات آثاراً مدمرة على الإنسان والنبات والمناخ حيث يسبب تلوث الهواء بالمواد الكربونية شديدة الضرر والمنبعثة من تلك الحرائق، والتي تؤثر في طبقة الأوزون.

مثال على ذلك حرق عبوات الـ (PVC) يسبب تصاعد أبخرة الفوسجين وحمض الهيدروكلوريد المسببة للتسمم وكذلك مركب الديوكسين Dioxin المسرطن [جاويش، 2007].

4. لا يمكن طمر المخلفات البلاستيكية فهي غير قابلة للتحلل داخل التربة حيث تبقى موجودة مسببة تلوث التربة حيث تمنع الهواء والماء من الوصول إلى مستويات جذور النباتات لتزويدها بهذين العنصرين الأساسيين لحياتها، كما أن طمر المواد البلاستيكية يسبب تحرير المواد السامة الداخلة في تركيبها و تسربها إلى المياه الجوفية.

2.2.2 حقائق عن إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية:

- طن واحد من البلاستيك يكافئ 20,000 قارورة بلاستيكية سعة الواحدة منها ليترين أو 120,000 كيس بلاستيكي وإعادة تدوير قارورة واحدة تستطيع توفير طاقة قادرة على تشغيل مصباح كهربائي استطاعة (60 watt) لمدة (6) ساعات [جاويش، 2007] و[Plastics recycling information sheet, 2010].

- كل 5 عبوات من PET معاد تدويرها تكفي لصنع قميص من البولي استر [لجنة البيئة، 2004].

- إعادة تدوير 25 قارورة بلاستيكية سعة الواحدة منها ليترين تكفي لصنع رداء من الصوف [Plastics recycling information sheet, 2010].

- تُصنّع شركة فورد 85% من وزن آلياتها من مواد معاد تدويرها حيث وفرت فورد في 2009 6 مليون دولار لاستخدامها مواد معاد تدويرها ومنعت بذلك من دفن 13~14 مليون كيلوغرام من المخلفات البلاستيكية في المطامر [ford.co.nz, 2011].

- خلال حملة "لنجعل أمريكا جميلة" عام 2008 قام المتطوعين باسترداد وإعادة تدوير 189,000,000 قارورة من PET والملقاة على جوانب الطرق العامة والحدائق.

- في عام 2006 قامت اليابان بإعادة تدوير 94.8% من مخلفاتها البلاستيكية بمختلف أنواعها [Ministry of the Environment, 2007].

إن إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية حماية للبيئة والإنسان كما أنه بالتدوير يتحقق ما يلي:

- الحد من استنفاذ المصادر وتحقيق التنمية المستدامة.
- التوفير في الطاقة حيث أنه بالرغم من أن إعادة التدوير تستهلك الطاقة إلا أنها أقل من تلك المستهلكة عند التصنيع باستخدام المواد الصافية الأولية وهناك الكثير من الدراسات أثبتت صحة ذلك [ERM, 2006].
- تأمين المواد الأولية وبالتالي توفير المواد الخام الصافية.
- حماية الهواء من الملوثات وحماية الهواء تعني حماية المياه.
- تقليل المساحات اللازمة للتخلص من النفايات واستغلال هذه المساحات لأغراض زراعية.
- تأمين فرص عمل [لجنة البيئة، 2004].

كما ذكر سابقاً أنه من غير الممكن إعادة معالجة البلاستيك المتصلب حرارياً بأسلوب مماثل لما يتم مع البلاستيك الحراري لأن النوع الأول لا يمكن أن ينصهر ثانيةً، وبالتالي لابد من فصل مواد البلاستيك المتصلب حرارياً عن البلاستيك الحراري (محور الدراسة)، لذا سنتناول سبل إعادة تدوير مخلفات البلاستيك الحراري.

3.2.2 تمييز المواد البلاستيكية:

– إن تمييز المواد البلاستيكية ليس بالأمر السهل. حيث أن وجود الإضافات والحشوات والأصبغة والملدنات يغير من طبيعة البلاستيك الأساسي، حيث أن البلاستيك الذي يطفو وهو نقي قد يغـــوص عندما يُملأ بإضافات. أساليب التمييز الرئيسية هي كالتالي:

1. الرقم: الطريقة الأسهل لتمييز مادة بلاستيكية هي بالبحث عن الرقم ضمن مثلث إعـــادة التدوير إذا كانت المادة البلاستيكية عبارة عن وعاء أو مستوعب. عادةً يكـــون الـــرقم موجود على قاعدة القارورة أو داخل الغطاء أو مكتوب على لصاقة ورقية.

لقد وضعت جمعية صناعة البلاستيك المحدودة (SPI) في عام 1988 نظام ترميز لتحديد الريزينات (رموز مرقمة قياسية) لمساعدة المستهلكين في تحديد الأنواع الرئيسية للمواد البلاستيكية القابلة لإعادة التدوير وبإلحاح من معيدي تدوير البلاستيك في مختلف البلاد [American plastics council, 2010]، ويبين الجدول (2–11) هذه المواد ورموزها وخصائصها والمنتجات المصنعة منها كمواد أولية ومواد معاد تدويرها.

2. الطفو: إذا طفت المادة البلاستيكية فمن المحتمل أن تكون بولي إثيلين أو بولي بروبلين (مثال على ذلك: أغطية القوارير) أو بولي بوتيلين أي كافة أعضاء عائلة البولي أوليفينات. هذا يسهّل عملية فصل القوارير المقولبة بالنفخ والأغطية المقولبة بالحقن. عندما يتم تقطيع المواد البلاستيكية إلى حبيبات، فإن حبيبات البولي بروبلين الطافية تطفو بينما حبيبات قوارير PET و PVC تغوص. كما أن المطاط البوتيلي وبولميرات الميثيل بينتين تطفو أيضاً [Pringle & Barker, 2004].
3. المظهر والقوام: القوارير الشفافة إما PET أو PVC، أما القوارير غير الصافية والنصف شفافة مثل قوارير الحليب فتكون من HDPE، أما قوارير الشامبو الملونة تماماً وقوارير المنظفات فتكون عادةً HDPE. أغطية جميع القوارير المذكورة آنفاً تكون عادةً بولي بروبلين. البولي ستيرين – عند عدم تشكيله بالقولبة بالنفخ– له ملمس صلب (معدني) ويصدر صوتاً خفيفاً عند نقره بظفر الأصبع في حين أن البولي ستيرين الممدد EPS مصنوع بالقولبة بالنفخ يكون له الملمس الناعم والدافئ لأكواب القهوة من البولي ستيرين، أما البولي بروبيلين والنايلون لها ملمس قاسي ودهني وزلق [Pringle & Barker, 2004].
4. اختبارات الحرارة: إن كانت المادة البلاستيكية تسخن ببطء بتأثير اللهب ومن ثم تذوب وتلتوي (تنثني) فعلى الأرجح أنها بلاستيك حراري ولكن إن بقيت صلبة ومن ثم بدأت تحترق احتراقاً طفيفاً (تتفحم) فغالباً ما يكون بلاستيك متصلب حرارياً، الجدول (2-12) [Pringle & Barker, 2004].

3.2 طرق إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية:

هناك ثلاثة أشكال لإعادة تدوير المخلفات البلاستيكية كما يبين الجدول (2-13):

1.3.2 إعادة التدوير الأولية (إعادة الطحن)

كما تعرف أيضاً بإعادة تصنيع النفاية الناتجة عن الإنتاج وتتم عملية إعادة التدوير هذه بإعادة تكسير أو طحن المواد البلاستيكية التالفة في المعامل أثناء عمليات التصنيع ويتم إضافة المواد المطحونة مع المواد الأولية (كلا المادتين لهما نفس النوع والخصائص) وبالتالي تشكيل الخليط بوسيلة التشكيل المستخدمة [Al-Salem, 2009] (والمواد التالفة ناتجة عن بدء التشغيل أو أي عطل أثناء العملية الإنتاجية أي الهدر في الإنتاج على سبيل المثال الجزرة الناتجة عن عملية الحقن)[Goodship, 2007]، [Lundquist, 2000].

2.3.2 إعادة التدوير الميكانيكية (إعادة التدوير الثانوية: التدوير إلى حبيبات بلاستيكية صالحة للتشكيل من جديد)

أهم مراحل عملية إعادة التدوير الميكانيكية للمخلفات البلاستيكية:

1 - الفرز الجيد للمخلفات البلاستيكية كل حسب نوعه. رغم أن بعض الدراسات والتجارب أثبتت أن خلط أنواع البلاستيك بعضها ببعض قد يحسّن من خواصها.

2 - غسيل المخلفات البلاستيكية غالباً بمادة الصودا الكاوية أو الصابون السائل مع الماء الساخن حيث يجب أن تكون المخلفات خالية من الزيوت والدهون والأوساخ وما شابه ذلك.

3 - تكسير أو طحن المخلفات البلاستيكية ضمن آلات مصممة لذلك تحتوي على شفرات تقوم بطحن هذه المواد وخاصةً إذا كانت من النوع الصلب Hard Plastic. يتم التحكم بحجم الحبيبات الناتجة من طريق شبك ذي فتحات محددة الأبعاد لا تسمح للحبيبات المطحونة بالمرور إلا إذا كانت بالحجم المطلوب، أما إذا كانت المخلفات البلاستيكية من النوع الطري Thin Film Plastic (مثل الأكياس)، فتستخدم قطاعة تقوم بتقطيع المواد إلى قطع صغيرة حسب الحجم المطلوب.

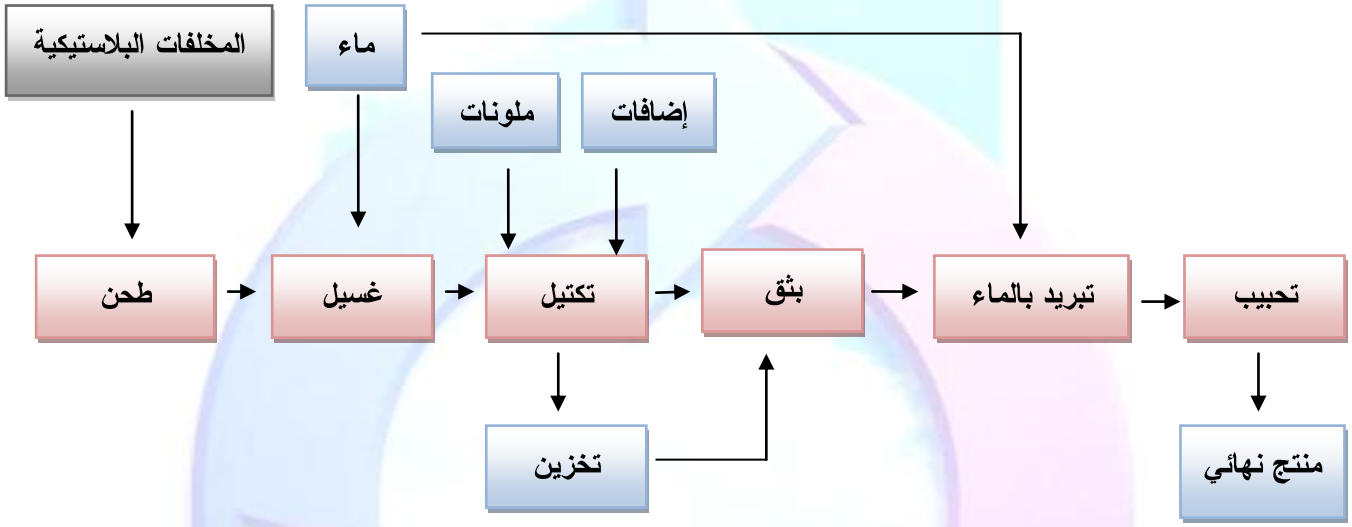
4 - غسيل حبيبات المخلفات الناتجة مرة ثانية وهذا سينعكس على نوعية منتجات إعادة التصنيع، ويستغنى عن هذه المرحلة عند استخدام المخلفات الناتجة عن المصانع مباشرةً، وفي كل الأحوال يجب تجفيف الحبيبات الناتجة.

5 - مرحلة تكثيف أجزاء البلاستيك الدقيقة مع القطع الأخرى بشكل كتل متماسكة (حبيبات) لتصبح مادة خام قابلة لإعادة التصنيع.

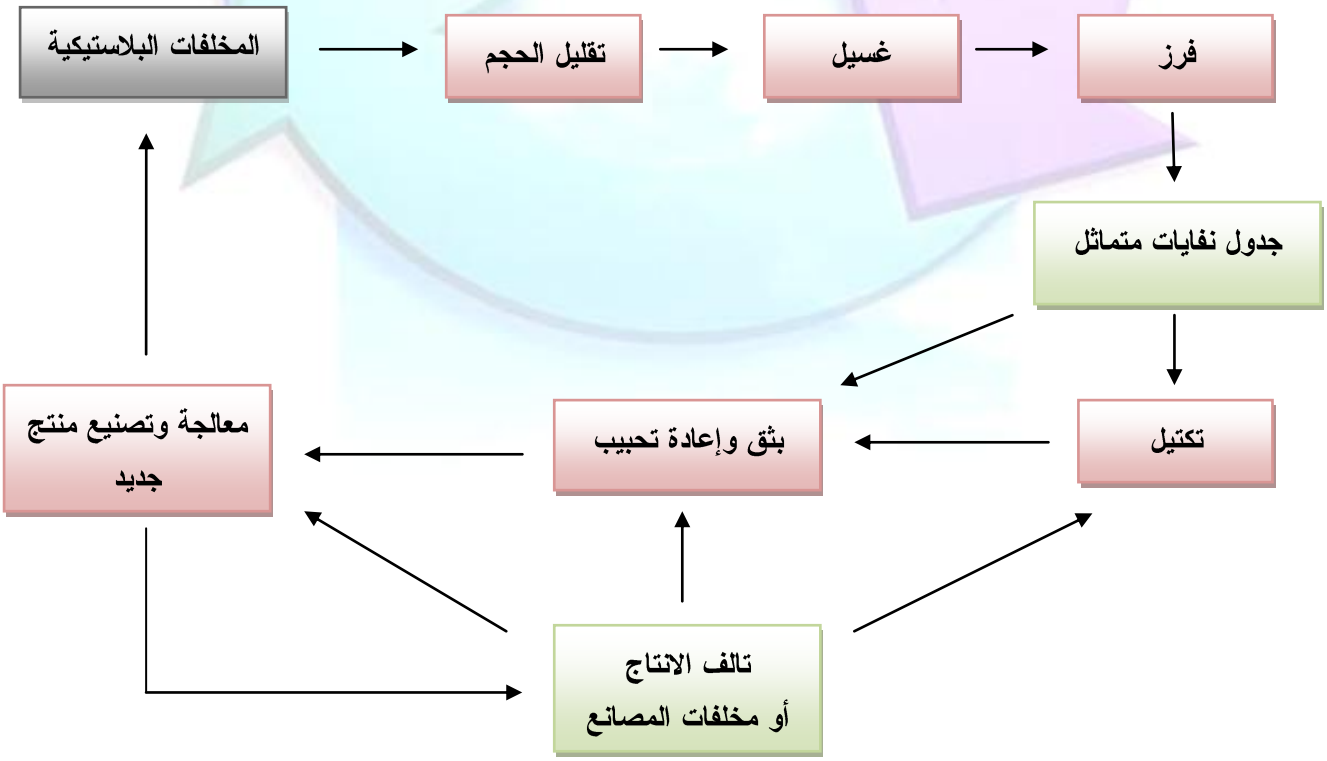
6 - مرحلة تجفيف الحبيبات النهائية بشكل جيد بواسطة مجفف حراري لتقليل الرطوبة قبل تعبئتها بأكياس أو نقلها إلى آلات الإنتاج مباشرةً. وهنا لابد من الإشارة إلى أن هذه المواد

الناتجة يمكن أن تستخدم مباشرةً في التصنيع أو بإضافة بعض المواد الإضافية كالملدنات والمثبتات والملونات فيما إذا كان ذلك ضرورياً حيث تحسن هذه الإضافات من خواصها.

7 - مرحلة التصنيع أو التشكيل: يشكل البلاستيك الناتج من إعادة التدوير بطرق مختلفة حسب المنتج المطلوب الحقن والنفخ والبثق (الخراطيم، الأنابيب، كابلات الكهرباء....) [جاويش، 2007].



الشكل (2-7) مراحل عملية إعادة التدوير الميكانيكية كما تم وصفها من قبل [Aznar, 2006]



الشكل (2-8) مراحل عملية إعادة التدوير الميكانيكية كما تم وصفها من قبل [Goodship, 2007]

الفصل الثالث

إعادة التدوير الكيميائية والحرارية للمخلفات البلاستيكية

1.3 التحويل إلى مونوميرات:

2.3 الفرن الانفجاري:

3.3 فرن فحم الكوك:

4.3 التحويل إلى غاز (التغويز):

5.3 التحويل إلى سائل:

6.3 استرجاع الطاقة: [Plastic waste management institute, 2004]

7.3 المواد البلاستيكية القابلة للتحلل: biodegradable plastic

اتجهت البحوث العلمية والدراسات في العالم إلى إنتاج مواد وعبوات سهل التخلص منها (بعد الاستعمال) عن طريق التحلل البيولوجي، سواء باستخدام الكائنات الحية الدقيقة أو عن طريق الأنزيمات، أو بتضمين Iscorporation المواد البلاستيكية (الرقائق) بمواد عضوية كالنشاء والسيليلوز لكي تساعد على عمليات التحلل البيولوجي وعلى فناء هذه المخلفات.

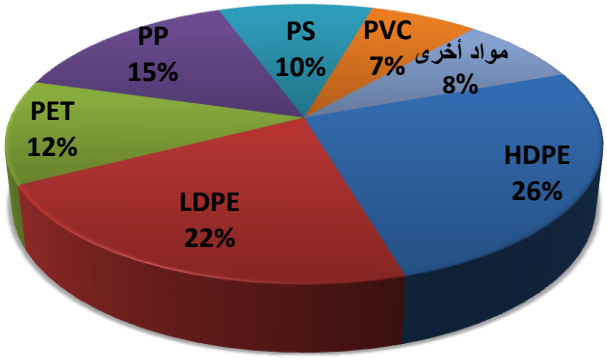
وأهم المواد البلاستيكية القابلة للتحلل والتي تتمتع بخواص ميكانيكية جيدة: VIOPOL، ICI، BIOPO/TM، PCL، PLA. لهذه المواد خواص جيدة من حيث الشفافية، قوة الشد، الاستطالة وسهولة التخلص منها كمخلفات بعد الاستخدام [جاويش، 2007].

الفصل الرابع

التجارب المخبرية

1.4 المواد المستخدمة:

يبين المخطط في الشكل (4-1) توزع مواد البلاستيك الحراري في النفايات المنزلية في الجمهورية العربية السورية [وزارة الدولة لشؤون البيئة وشركة تريفالور، 2011]:



الشكل (4-1) مخطط يبين توزع مواد البلاستيك الحراري في النفايات المنزلية

نجد من المخطط المبين في الشكل (4-1) أن المخلفات من مواد HDPE وLDPE وPP وPET تُشكل 75% وزناً من النفايات المنزلية لذا تم اختيار هذه المواد الأربعة لدراسة تأثير إعادة التدوير على خصائصها الفيزيائية وذلك بالطريقة الميكانيكية.

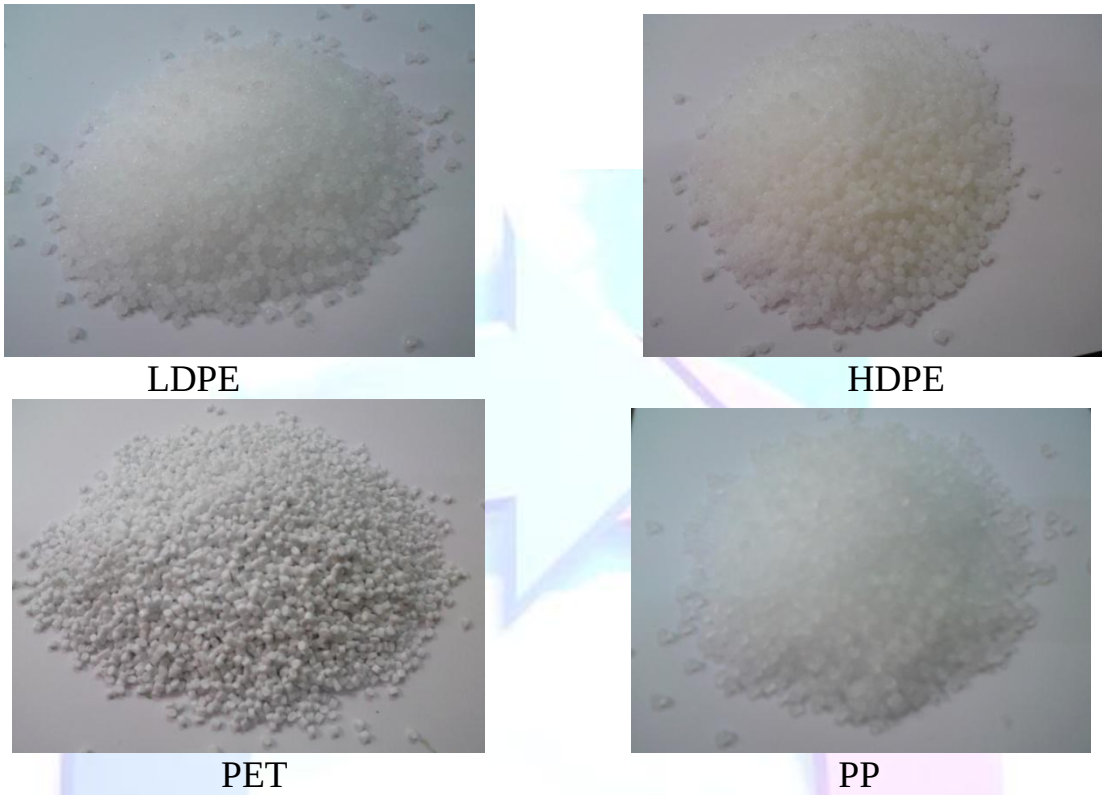
تم تجميع كميات من نفايات هذه المواد وفق المنتجات في الجدول التالي:

الجدول (4-1) أنواع المنتجات التي تم إعادة تدويرها للبحث

نوع المادة	نوع النفاية
HDPE	قوارير مواد التنظيف والشامبو وقوارير الحليب
LDPE	أغطية القوارير والأوعية والقليل من القوارير القابلة للعصر
PP	الأوعية والمستوعبات المستخدمة لحفظ الأطعمة
PET	قوارير المياه المعدنية وقوارير العصائر

تم إجراء الاختبارات على المواد الأربع المذكورة آنفاً وذلك باختبار كل مادة بدءاً من العينة المكونة من 100% مادة نقية حتى العينة الحاوية على 100% مادة معاد تدويرها وذلك بفارق 10% من عينة لأخرى أي إجراء الاختبارات على 11 نسبة خلط من كل مادة.

المواد النقية 100%:



الشكل (4-2) الحبيبات النقية للمواد المختبرة P100%

2.4 مراحل العمل:

1.2.4 إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية بالطريقة الميكانيكية:

أُجريت إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية في أحد المعامل التابعة للقطاع الخاص وذلك بالطريقة الميكانيكية بسبب بساطتها واستهلاكها كمية ضئيلة من الطاقة مقارنةً مع الأساليب الأخرى لإعادة التدوير ولأنها الأفضل بيئياً [Dodbiba, 2006]، حيث تمت إعادة التدوير وفق المراحل التالية:

1. مرحلة فرز يدوي للمواد تبعاً للنوع، حيث تم التمييز بين المواد الأربع إما بالرقم ضمن المثلث أو وفق المظهر والقوام.
2. تقطيع أو طحن المواد إلى أجزاء صغيرة في آلة تقطيع ذات محور دوران واحد متعدد الشفرات، حيث تم تقطيع مادة PET في آلة تقطيع رطبة باستخدام الماء لأن مادة PET تُسبب اهتراء سريع للشفرات الفولاذية. ومواصفات آلة التقطيع كالتالي:
   - عدد شفرات الجزء الدوار: 15×5 ، وعدد الشفرات الغير متحركة: 6.
   - طول الجزء الدوار: 1250 mm.
   - عدد دورات الجزء الدوار: 300 r.p.m.
   - استطاعة المحرك الرئيسي: 75 Kw.

- إنتاجية آلة التقطيع: 2 t/h.
- الوزن: 7500 kg، والطول: 4800 mm، والعرض: 1915 mm، والارتفاع: 4895 mm.

وتم الحصول بعد عملية التقطيع على رقاقات من المواد تتراوح أبعادها (6~12 mm).



الشكل (4-4) رقاقات المخلفات البلاستيكية بعد عملية التقطيع

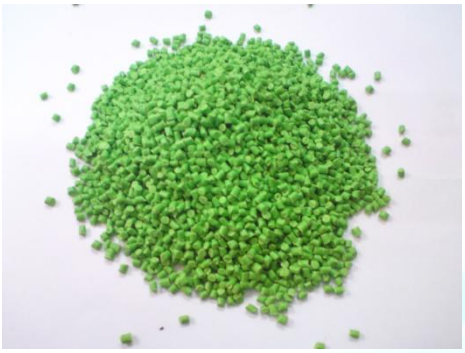
3. مرحلة غسيل الرقاقات في آلة الغسيل الأفقية باستخدام الماء البارد والصودا الكاوية حيث يتم بخ الماء بضغط عالٍ جداً الأمر الذي يزيد من فعالية مرحلة الغسيل وبالتالي التخلص من أية ملوثات من على سطح الرقاقات البلاستيكية، كما أن آلة الغسيل المستخدمة (حوض الغطس – الطفو) تعمل على فصل أية شوائب كالمعادن أو الزجاج والتي تغوص في أسفل الحوض. مواصفات آلة الغسيل:
   - طول الجزء الدوار: 1150 mm.
   - قطر الجزء الدوار: 500 mm.
   - المحرك الرئيسي: 112 kw.
   - مضخة الماء: 0.75 kw.
   - الوزن: 2200 kg.

في الشركة نظام لمعالجة مياه الغسيل لإعادة استخدامها من جديد حيث يستهلك النظام بأكمله حوالي $60\ m^3$ من الماء لكل 2 طن من المخلفات البلاستيكية الداخلة للخط.

4. مرحلة الشطف والتجفيف في آلة قد تكون أفقية أو شاقولية، في الشركة تم شطف وتجفيف الرقاقات في آلة أفقية حيث تدور المواد مع الماء ضمن غربال مثقب بثقوب (2 mm) بسرعة دوران عالية جداً (2500 r.p.m.) وبفعل الاحتكاك بين الرقاقات والقفص الدوار تحدث عملية غسيل أيضاً بالإضافة إلى عملية الشطف وفصل الماء عن الرقاقات بالتجفيف بالطرد المركزي، حيث أن التجفيف بالطرد المركزي أكثر فعالية من التجفيف بواسطة الهواء الساخن، لأنه يزيل المواد الكيميائية والأوساخ المذابة بالماء والذي لا يكون ممكناً خلال التجفيف بالهواء الساخن، حيث تبقى عادةً بعض الملوثات على سطح الرقاقات بعد زوال الماء، بالإضافة إلى أن التجفيف بالطرد المركزي أقل كلفة.
   - طول الجزء الدوار: 2050 mm.
   - قطر الجزء الدوار: 450 mm.
   - المحرك الرئيسي: 37 kw.
   - مضخة الماء 0.75 kw.
   - الوزن: 2500 kg، والطول: 2500 mm ، والعرض: 1600 mm، والارتفاع: 2050 mm.

5. مرحلة التحبيب وهي المرحلة النهائية من مراحل إعادة التدوير ضمن آلة بثق تحوي فتحة تنفيس واحدة وأربع مصافي مكبسية دائرية الشكل، وتتم عملية التحبيب إما بواسطة محبب صغير أو باستخدام سكين تقطيع والتبريد باستخدام الهواء.

الحبيبات المعاد تدويرها 100%R:



LDPE



HDPE



PET



PP

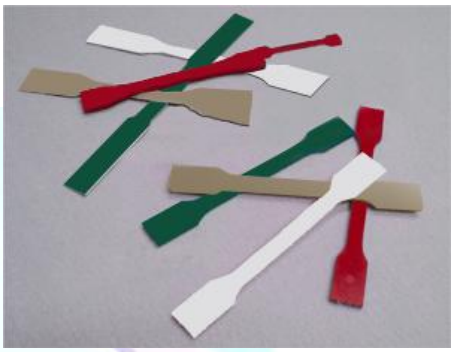
الشكل (4-10) الحبيبات البلاستيكية المعاد تدويرها ميكانيكياً

2.2.4 تصنيع (تشكيل) عينات الاختبار:

تم تشكيل عينات للاختبار على آلة قولبة بالحقن المصممة وفق المعايير العالمية ISO 294 والموجودة في مركز الاختبارات والأبحاث الصناعية التابع لوزارة الصناعة، حيث تم تشكيل ثلاثة أشكال للعينات تبعاً لنوع الاختبار المراد إجراؤه (عينات لاختبار الشد، الصدم، القساوة) ضمن قوالب جاهزة ومصممة وفق المعايير العالمية أيضاً.

وُضعت المعلومات عن آلة القولبة بالحقن ومرحلة تشكيل عينات الاختبار على هذه الآلة ضمن التقرير الخاص كما يلي:

عينات الاختبار:



(أ) عينات الشد



(ب) عينات الصدم



(ج) عينات القساوة

الشكل (4-14) العينات المقولبة على آلة الحقن

3.4 اختبار الشد:

تم إجراء اختبار الشد على العينات للمواد الأربع في مخبر مقاومة المواد – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق. وأُدرجت شروط الاختبار وفق التقرير التالي:

خطوات التجربة:

1. قياس عرض وسماكة عينة الاختبار حيث عرض العينة 4±0.2 وسماكتها 10±0.5.
2. تثبيت العينة بين مقبضي الآلة، وتحديد سرعة الاختبار ومن ثم تشغيل الآلة.
3. قراءة النتائج عند تحطم العينة.



الشكل (4-15) تثبيت عينة الشد بين مقبضي آلة الشد



الشكل(5-16) إجراء اختبار الشد

أُدرجت نتائج اختبارات الشد لمادة HDPE ضمن الجدول (4-2) للإحدى عشر نسبة خلط كما يلي:

4.4 اختبار الصدم – صدم شاربي:

تم إجراء اختبار الصدم على العينات للمواد الأربع في مخبر ضمن مصنع للمواد البلاستيكية تابع للقطاع الخاص– ريف دمشق. وأُدرجت شروط الاختبار وفق التقرير التالي:

خطوات التجربة:

1. قياس عرض وسماكة عينة الصدم من المنتصف.
2. رفع البندول وتثبيته، وضبط مؤشر مقياس الصدم عند نقطة الصفر.
3. وضع عينة الاختبار على مساند الجهاز بحيث يتم الصدم من منتصف العينة.
4. تحرير البندول بعناية وبالتالي تحطيم العينة.
5. قراءة النتائج من المقياس وهي عبارة عن طاقة الصدم التي امتصتها عينة الاختبار بالجول.
6. حساب قوة صدم شاربي من العلاقة:

حيث A: طاقة الصدم بالجول.

x،y: سماكة وعرض عينة الصدم بالمليمتر.



الشكل (4-33) اختبار الصدم على جهاز صدم شاربي

5.4 اختبار القساوة – قساوة شور:

تم إجراء اختبار القساوة على العينات للمواد الأربع في مخبر المواد البلاستيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق. وأُدرجت شروط الاختبار وفق التقرير التالي:

خطوات التجربة:

1. وضع عينة الاختبار في مكانها ضمن الجهاز.
2. تشغيل الجهاز وأخذ القراءات بعد ثلاث ثوانٍ من انغراس الرأس في العينة.



الشكل (4-38) اختبار قساوة شور D

6.4 اختبار الكثافة:

تم إجراء اختبار الكثافة على العينات للمواد الأربع في مخبر المواد البلاستيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق. وأُدرجت شروط الاختبار وفق التقرير التالي:

خطوات التجربة:

1. وضع عينة الاختبار في الجهاز وقياس وزنها في الهواء.
2. ومن ثمّ وضع العينة في الماء تحت الشبكة (ذات تقعر نحو الأسفل) بعناية مع الانتباه إلى عدم تشكل فقاعات حول العينة وقياس وزنها في الماء.
3. قراءة الكثافة بالغرام لكل سنتيمتر مكعب.



الشكل (4-44) إجراء اختبار الكثافة على مواد البولي أوليفينات

4. أما من أجل مادة PET حيث أن كثافتها أكبر من كثافة الماء وبالتالي فإنها تغوص في الماء، لذا تم استخدام شبكة ذات تقعر نحو الأعلى.



الشكل (4-45) إجراء اختبار الكثافة على مادة PET

نتائج البحث

1. لم يتم ملاحظة حدوث انهيار في المواصفات الميكانيكية للعينات المأخوذة من نسب خلط مختلفة وبالتالي إمكانية استخدام المواد المعاد تدويرها في التطبيقات المختلفة مما يدل على أهمية استثمار مخلفات المواد البلاستيكية وضرورة إعادة تدويرها وتوظيفها في الصناعة.

2. نلاحظ أن خصائص الشد للمادة المخلوطة 90%P/10%R أفضل من خصائص المواد الصافية.

3. نلاحظ تحسناً ملحوظاً لإجهاد الشد لمواد البولي إثيلين عند خلط نسبة أكبر من المواد المعاد تدويرها حيث أن قيم إجهاد الشد عند النسب من 30%P/70%R حتى 100%R لمادة HDPE و قيم إجهاد الشد عند النسب من 40%P/60%R حتى 100%R لمادة LDPE ضمن مجال قيم الإجهاد للمواد البلاستيكية المنتجة صناعياً من كلا المادتين حسب الجدول (4-9)، وبالتالي يمكن تصنيع منتجات ذات خصائص ميكانيكية جيدة مكونة من 100%R من كلا مادتي البولي إثيلين عالي ومنخفض الكثافة.

4. نلاحظ أن النسبة العظمى للمواد المعاد تدويرها والتي يمكن إضافتها للمواد النقية هي 30% كحد أقصى لمادة PET، 50% لمادة PP.

5. نلاحظ انخفاض في استطالة المواد المخلوطة بازدياد نسبة المواد المعاد تدويرها لمواد HDPE وPP وPET وتشتت في استطالة مادة LDPE حيث لم يتم إيجاد سبب لهذا التشتت حالياً.

6. ملاحظة ارتفاع معامل المرونة لمادة HDPE يقابله استقرار معامل المرونة إلى حدٍ ما للمواد الأخرى.

7. نلاحظ ازدياد مقاومة صدم شاربي للمواد المدروسة بزيادة نسبة المواد المعاد تدويرها في الخليط.

8. بشكل عام نلاحظ عدم تأثر قساوة المواد المدروسة بالخلط الحاصل حيث تتراوح قيم القساوة للمواد الأربع عند نسب الخلط المختلفة (0.4 shore D ~ 0.1 + 26).

9. نلاحظ انخفاض في كثافة المواد المعاد تدويرها إلا أنها ضمن مجال الكثافة لكل مادة من المواد وفقاً للجدول (2-12).

10. نلاحظ وبالاعتماد على نتائج التجارب المنجزة في البحث أنه يمكن الحصول على النسبة المثلى والتي يمكن استخدامها للمواد المعاد تدويرها حسب التطبيق المراد للمنتج، على سبيل المثال في حالة استخدام المنتج البلاستيكي في التطبيقات ذات الحمولات الديناميكية فيمكن زيادة نسبة المواد المعاد تدويرها في الخليط البلاستيكي وبالتالي تحسين مقاومة الصدم للمنتج.

11. مما تقدم ومن وجهة نظر اقتصادية (على الرغم أننا لسنا بصدد حساب التكاليف) نجد أن إمكانية استخدام الحبيبات البلاستيكية المعاد تدويرها كمادة أولية في مختلف الصناعات (حيث أنها تمتلك خصائص ميكانيكية جيدة)، له دور هام في تخفيض التكلفة الإنتاجية للمنتجات عند خلطها مع المواد الصافية أو عند إنتاج منتجات مكونة بالكامل من حبيبات معاد تدويرها الأمر الذي يؤدي إلى زيادة الفاعلية الاقتصادية.

التوصيات

نظراً لأهمية الموضوع من الناحية العلمية والعملية وذلك للحد من كمية المخلفات البلاستيكية المتزايدة نوصي بما يلي:

1. ترميز المنتجات البلاستيكية الوطنية وفق الترميز الذي اعتمدته جمعية صناعة البلاستيك المحدودة (SPI) عام 1988 في الولايات المتحدة الأمريكية.

2. متابعة البحث والتركيز على نسب الخلط التي أعطت نتائج جيدة للمواد الأربع للتطبيقات المختلفة.

3. استخدام آلية خلط ميكانيكية بسرعات صغيرة نسبياً ودرجات حرارة عالية لفترة محددة بهدف تحسين عملية الخلط وبالتالي تجانس أكبر للمواد المخلوطة.

4. استخدام آلة بثق بلولبين لتحسين خلط المواد وزيادة تجانسها، والبحث في إمكانية تحسين خصائص المواد المدروسة عند استخدام الآلة المذكورة.

5. إمكانية البحث في تحسين خصائص المواد المعاد تدويرها بخلط مواد مختلفة كمزج مواد البولي أوليفينات مع بعضها أو بإضافة المجانسات أو مثبتات حرارية.

6. العمل على سن قوانين وتشريعات للبدء بعملية إعادة تدوير النفايات بشكل عام والمخلفات البلاستيكية بشكل خاص، وذلك بدءاً بإنشاء المحطات الوسيطة لتسهيل عملية الفرز والنقل.

المراجع العلمية

المراجع العربية:

1. الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء (2010)، www.capmas.gov.eg 30-9-2010، مصر.
2. الخطيب، أ. وخير الله، ي. (2000) *النفايات – إعادة تدويرها واستخدامها*، مكتبة لبنان ناشرون، بيروت – لبنان.
3. المكتب المركزي للإحصاء (2011)، www.cbssyr.org 30 – 10- 2011، سورية.
4. جاويش، م. (2007) *هندسة البلاستيك*، منشورات جامعة دمشق، سورية.
5. لجنة البيئة في فرع الهلال الأحمر العربي السوري (2004)، *التخلص السليم من البلاستيك*، ندوة البلاستيك التعامل معه والتخلص منه، يوم البيئة العالمي 5 حزيران 2004، حمص، سورية.
6. منظمة الصحة العالمية (1988) *المخلفات الصلبة في البلدان النامية*، المكتب الاقليمي لشرق البحر المتوسط، الإسكندرية – مصر.
7. وزارة الدولة لشؤون البيئة وشركة تريفالور الفرنسية، *المخطط التوجيهي العام لإدارة النفايات في الجمهورية العربية السورية*، حزيران 2011.
8. يونج، جون إ. (1994) *الاستفادة من النفايات*، ترجمة شويكار زكي.

المراجع الأجنبية:

9. Al-Salem, S.M. (2009), *Establishing an integrated databank for plastic manufacturers and converters in Kuwait*, Waste Management 29 (1), 479– 484.
10. Ashley, S. (1995) *New Technology for Recycling Plastics*, Mechanical Engineering, vl17 n6, June, 39.
11. Ylä-Mella, J. (2002) *Recycling of Plastics from the Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)*, University of Oulu, Department of Process and Environmental Engineering, Finland.
12. Zweifel, H. (2001) *Plastics Additives Handbook*, Fifth Edition, Carl Hanser Verlag, Munich, Germany.

المراجع الالكترونية:

13. www.americanrecycler.com 2009, American Recycler; Magazine on recycling of all wastes, No2, USA.

14. www.lg-machine.com Jiangsu Lianguan Science &Technology Development Co., Ltd, 19.7.2010

15. American plastics council, *Plastic Packaging Resins*, www.plastics.org 26.7.2010

16. www.nesasy.org 20.9.2010

17. www.thawra.alwehda.gov.sy 20.9.2010

18. www.news.syriarose.com 20.9.2010

19. www.wtert.eu 23. 9.2010, (waste – to – energy and technology council).

20. www.plasticsresource.com 24.9.2010, Information on plastics & the environment.

21. www.indianplasticportal.com 27.9.2010

22. www.sabic.com 27.9.2010

23. Plastics recycling information sheet (2010), www.waste online.com 1.10.2010, UK.

24. www.ford.co.nz 11.11.2011

25. http://earth911.com/recycling/plastic/plastic-bottle-recycling-facts 11.11.2011

Abstract

According to the statistics of the Ministry of State for Environmental Affairs the recorded plastic wastes in Syria for 2010 was about 637272 tons, representing 11.71% in weight of the total solid waste and 47% in volume. As the use of plastics in machinery, electronics, packaging industries, etc. is spreading, the result is a rising amount of plastic wastes.

Plastics are un-degradable and thus cannot be landfilled. What is more, the disposal of plastic waste and the burning thereof lead to serious environmental impacts. It is crucial, then, to make use of such wastes, find the best methods to dispose of them, and recycle them to the most possible extent and in the most efficient ways that save energy, diminish the overuse of resources, protect the environment and the human being, as well as provide raw materials and job opportunities.

Mechanical or feedstock recycling is becoming a reasonable solution to the problem in many developed countries. Of the two methods, mechanical recycling is especially effective because it uses less energy and has a smaller environmental impact than feedstock recycling. Nevertheless, the mechanical recycling is a favorable alternative provided that via separation technologies high-grade product can be achieved.

The research examines the technological methods to recycle plastic wastes in all forms – mechanical, thermal, and chemical – specifically mechanical recycling. The experimental part focused on testing the mechanical characteristics of recycled plastic granules and identifying the mixture that has the best mechanical properties, i.e. determining the most desirable amount of recycled substances to be added to virgin plastic. In experiments, the possibility of manufacturing products made up completely of recycled plastic granules, and the importance of recycling in disposing of plastic wastes, which increase with the rise of our contemporary world, were also investigated.

Damascus University

Faculty of Mechanical & Electrical Engineering

Mechanical Design Engineering Department

Study of the Technological Processes for Recycling Plastic Waste

A Study for a Master of Science in Industrial Engineering

By

Eng. Malak G. Mousli

Supervised by

Academic supervisor

PhD. Nazeeh Abo Saleh

Assistant supervisor

PhD. M. Samir Al-Brzawi

Academic Year
2011 – 2012