منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول
أوابـك

إعادة تدوير النفايات البلاستيكية: فرص استثمارية وحلول بيئية

الكويت - يونيو / حزيران 2020

جميع حقوق الطبع محفوظة، ولا يجوز إعادة النشر أو الاقتباس دون إذن خطي مسبق من المنظمة، 2020.

منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)

ص.ب 20501 الصفاة الكويت 13066

هاتف: 24959000 (965+) - فاكسميلي: 24959755 (965+)

P.O Box 20501, Safat- Kuwait, 13066

Tel.: (+965) 24959000 - Fax.: (+965) 24959755

Website : www.oapecorg.org

Email : oapec@oapecorg.org

منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

أوابـك

إعادة تدوير النفايات البلاستيكية: فرص استثمارية وحلول بيئية

إعداد

الدكتور/ ياسر محمد بغدادي

خبير صناعات نفطية

مراجعة

الدكتور/ سمير القرعيش

مدير إدارة الشؤون الفنية

الأمين العام

علي سبت بن سبت

الكويت: يونيو / حزيران 2020

مقدمة

يزداد انتاج العالم من البلاستيك بشكل مطرد منذ عقود، لتلبية الطلب المتنامي على المنتجات والسلع البلاستيكية المستخدمة في شتى مناحي الحياة العصرية. ومع التطور المستمر لاستنباط أنوع جديدة من المنتجات البلاستيكية، خاصة المستخدمة في أغراض التعبئة والتغليف ذات الاستخدام الواحد، والمنتجات الأخرى قصيرة الأجل، تتراكم كميات ضخمة عن تلك المنتجات كنفايات يصعب التخلص منها وتتسبب في أضرار بالغة للبيئة والإنسان. يرجع الضرر الناتج عن النفايات البلاستيكية إلى مكوناتها الأساسية من المواد البوليمرية، والإضافات، والمُحسنات المصنعة من مواد كيميائية لتحسين خواصها المختلفة، والتي لا تتحلل بسهولة بفعل العوامل الطبيعية.

ظهرت عدة طرق حديثة للتخلص والاستفادة من النفايات البلاستيكية كإعادة التدوير، وإنتاج الطاقة، وابتكار بدائل لبعض المنتجات البلاستيكية مثل البلاستيك القابل للتحلل بيولوجياً، وذلك للحد من الاعتماد بشكل واضح على الطرق التقليدية المعروفة للتخلص من النفايات البلاستيكية كالحرق، والطمر أو التخلص منها بإلقائها في المسطحات المائية، مسببةً أضرار بيئية واجتماعية جسيمة.

أصبحت مواضيع حماية البيئة والحد من التلوث من الأمور الهامة والملحة التي تسعى كثير من دول العالم لإيجاد الحلول الناجعة لها، وخلصت التجارب العالمية إلى أهمية وضع إستراتيجيات تتضمن أهداف واضحة ومحددة لأليات التخلص الآمن من النفايات، وسن التشريعات والقوانين المنظمة لتشجيع المستثمرين في مجال إعادة التدوير، وإنتاج الطاقة منها، وتوعية المجتمع للقيام بدورة في المساهمة في الحد من مخاطرها.

فنجد أن دول الاتحاد الأوروبي وضعت هدفاً للوصول إلى إعادة تدوير نحو 50% من النفايات البلاستيكية الناتجة من قطاع التعبئة والتغليف بحلول عام 2025، ثم إلى 55% في عام 2030، مقارنة بنسبة 35% عام 2010، و23% فقط عام 2001. كما تبنت تنفيذ مفهوم منظومة الاقتصاد التدويري للوصول إلى خفض نسب ردم النفايات البلاستيكية إلى الصفر، هذا وقد نجحت في تحقيق هذا الهدف

مبكراً كل من التشيك، وإسبانيا، وهولندا، وألمانيا، بينما تقترب كل من السويد، وفنلندا، والنرويج من تحقيقه.

توفر عمليات إعادة تدوير النفايات البلاستيكية فرص استثمارية عديدة، فتقام عليها عدد من المشروعات الصغيرة أو المتوسطة، أو الكبيرة سواءً للمؤسسات أو للأفراد، وتعد من الاستثمارات الآمنة، حيث يزداد الطلب على منتجاتها يوما بعد يوم، وتدخل في معظم مناحي الحياة الحديثة، وكافة القطاعات الصناعية والزراعية.

توفر الدراسة بيانات تحليلية لكميات وأنواع البلاستيك التي أُنتجت على مدار السنوات السابقة، وأنواع وكميات الإضافات المستخدمة في إنتاج البلاستيك. حيث تناولت الدراسة تحديد وتصنيف المواد البلاستيكية، وخواصها، واستخداماتها. كما تضمنت تصنيف المخلفات البلاستيكية، وأثارها على الإنسان والبيئة، والطرق الحديثة للتخلص الآمن منها، وخاصة بعد انتهاء دورة حياة البلاستيك، واختتمت الدراسة ببعض الاستنتاجات والتوصيات.

تأمل الأمانة العامة من خلال هذه الدراسة تسليط الضوء على أهمية التخلص الآمن من النفايات البلاستيكية بطرق وتقنيات تمثل حلولاً بيئية واقتصادية، وأن يجد فيها المختصون المعلومات التي من الممكن أن تساعدهم على تحسين استراتيجيات إدارة التخلص الآمن من نفايات البلاستيك من أجل الحفاظ على الصحة العامة، وتحسين البيئة.

والله الموفق ،،،،،،

الأمين العام

علي سبت بن سبت

قائمـة المحتويات

الموضـــــوع	رقم الصفحة
مقدمة	5
قائمة المحتويات	7
قائمة الأشكال	10
قائمة الجداول	12
ملخص تنفيذي	13
الفصل الأول: المواد البلاستيكية، تصنيفها وخواصها وطرق تصنيعها	**27**
1. تمهيد	29
1.1 تركيب البلاستيك " البوليمرات"	29
2.1. خلفية تاريخية	31
3.1. تصنيع البلاستيك " البوليمرات "	33
1.3.1. البلمرة بالإضافة	34
2.3.1. البلمرة بالتكثيف	36
4.1. أنواع البلاستيك	37
1.4.1. تصنيف البلاستيك	39
5.1. الإضافات	42
6.1. طرق تصنيع وتشكيل البلاستيك	49
1.6.1. طريقة القولبة" التشكيل" بالحقن	49
2.6.1. طريقة التشكيل بالبثق	51
1.2.6.1. طريقة التشكيل بالتغطية بالبثق	54
2.2.6.1. طريقة التشكيل بالبثق البلاستيكي المشترك "الاسهامي"	55
3.6.1. طريقة التّشكيل بالنفخ	57
4.6.1. طريقة التشكيل "القولبة" بالدوران	58
5.6.1. طرق تشكيل أخرى	61
7.1. خواص البلاستيك	62
1.7.1. الخواص الميكانيكية للبلاستيك	62
1.1.7.1. قوة الشد	63
2.1.7.1. الإجهاد أو التوتر	63
3.1.7.1. الخواص الانزلاقية	64
4.1.7.1. استرخاء الجهد	64
5.1.7.1. قوة التصادم	64
2.7.1. الخواص الميكانيكية الديناميكية	65
3.7.1. خواص ميكانيكية أخرى	67

قائمة المحتويات

الموضـــــوع	رقم الصفحة
8.1. تحليل البلاستيك	67
1.8.1 التحليل الحراري	67
2.8.1. التحليل الوزني الحراري	68
3.8.1. التحليل الطيفي	68
الفصل الثاني: النفايات البلاستيكية والمخاطر البيئية	69
2. تمهيد	71
1.2. الإنتاج العالمي من البلاستيك	71
2.2 استخدامات البلاستيك	74
3.2. النفايات البلاستيكية الشائعة	**76**
4.2. النفايات البلاستيكية والبيئة البحرية	78
1.4.2. التلوث البيئي للمسطحات المائية	80
5.2. سوء إدارة النفايات البلاستيكية	87
الفصل الثالث: مفهوم الاقتصاد الدائري وتدوير النفايات البلاستيكية	91
3. تمهيد	93
1.3. مفهوم الاقتصاد الدائري	94
2.3. إدارة النفايات البلاستيكية	96
3.3. طرق التخلص من النفايات البلاستيكية	96
1.3.3 مكبات النفايات	99
2.3.3. ترميد النفايات/ الحرق	100
3.3.3. تحويل النفايات إلى غاز البلازما (التغويز البلازمي)	100
4.3.3. إعادة تدوير البلاستيك	100
1.4.3.3 الطريقة الأولية لإعادة التدوير	101
2.4.3.3. الطريقة الثانوية لإعادة التدوير	101
3.4.3.3. الطريقة الثلاثية لإعادة التدوير	102
4.4.3.3. الطريقة الرباعية لإعادة التدوير	102
4.3. العمليات التي تسبق إعادة التدوير	103
1.4.3. تجميع البلاستيك	104
2.4.3. عملية الفرز	104
1.2.4.3. الفرز اليدوي	105
2.2.4.3. الفرز الآلي	106
3.4.3. الغسيل أو التنظيف	109
3.4.4. الطحن / التفتيت	110

قائمـة المحتويات

الموضـــــوع	رقم الصفحة
5.3. الفرص الاستثمارية لمشروعات إعادة تدوير النفايات البلاستيكية	111
1.5.3. راتنجات رقائق التغليف البلاستيكي	111
1.1.5.3. تقنيات إعادة تدوير نفايات رقائق التغليف بالبلاستيك	116
2.5.3. راتنجات القوارير البلاستيكية المستهلكة	116
1.2.5.3. تقنيات إعادة تدوير نفايات القوارير البلاستيكية	118
3.5.3. راتنجات الألياف الاصطناعية	119
1.3.5.3. تقنيات إعادة تدوير نفايات الألياف الاصطناعية	120
4.5.3. راتنجات البولي فينيل كلوريد	121
1.4.5.3. تقنيات إعادة تدوير نفايات البولي فينيل كلوريد	122
5.5.3. تحويل نفايات البلاستيك إلى كيماويات	124
6.3. المبادرات العلمية لمعالجة مشكلة النفايات البلاستيكية	125
1.6.3. مبادرة تركيب سياج عائم لجمع النفايات البلاستيكية الدقيقة	125
2.6.3. استخدام صبغ أحمر نيلي	127
3.6.3 إنزيم تحويل النفايات البلاستيكية	129
الفصل الرابع: أمثلة عملية في مناطق العالم	131
4. تمهيد	133
1.4 سياسات وتشريعات مكافحة التلوث بالنفايات البلاستيكية	133
2.4. الإتحاد الأوروبي	138
الاستنتاجات والتوصيات	149
المراجع	154
Abstract	160

قائمة الأشكال

الشكل	رقم الصفحة
الشكل (1): مخطط طريقة بلمرة مونيمر الإيثيلين في الحالة الغازية لإنتاج البولي إيثيلين	34
الشكل (2): مخطط طريقة البلمرة بالإضافة للبوليمرات في الحالة المستحلبة	35
الشكل (3): مخطط إنتاج البولي إيثيلين تيرفيثالات بطريقة البلمرة بالتكثيف	37
الشكل (4): الشفرات "الرموز" الموجودة على المنتجات البلاستيكية، ومدى أمان أو خطورة كل نوع	41
الشكل (5): مخطط مبسط لطريقة القولبة بالحقن	51
الشكل (6): رسم تخطيطي مبسط لطريقة البثق	52
الشكل (7): بعض المنتجات البلاستيكية المصنعة بطريقة البثق	53
الشكل (8): رسم تخطيطي مبسط لعملية التغطية بالبثق	54
الشكل (9): وحدة التغطية بالبثق	55
الشكل (10): مخطط عملية البثق البلاستيكي المشترك	56
الشكل (11): مخطط مبسط لطريقة تشكيل البلاستيك بالنفخ	57
الشكل (12): مخطط مبسط لعملية التشكيل بالدوران	59
الشكل (13) ماكينة إنتاج البلاستيك بالتشكيل بالدوران	59
الشكل (14) تنوع منتجات التشكيل بالدوران	60
الشكل (15): بعض منتجات التشكيل الحراري	61
الشكل (16): التطور العالمي لإنتاج البلاستيك (1950-2017)	72
الشكل (17): توزع نسب الإنتاج العالمي من البلاستيك في المناطق الرئيسية من العالم عام 2017	73
الشكل (18): توزع نسب استهلاك أنواع البلاستيك الأساسية في القطاعات الرئيسية	74
الشكل (19): كميات النفايات البلاستيكية الناتجة عن الاستخدامات في القطاعات الرئيسية من الصناعة في الفترة (1950-2015)	77
الشكل (20): أنواع وكميات النفايات البلاستيكية الأساسية الناتجة من القطاعات الرئيسية في الفترة (1950-2015)	78
الشكل (21): العوالق البلاستيكية الدقيقة في مياه البحار والمحيطات	79
الشكل (22) صورة تحت المجهر لجزيئات بلاستيك من البولى بروبيلين والمستخدم في تصنيع عبوات أحد أنواع المنظفات	80
الشكل (23): وضع تلوث البحار والمحيطات الحالي والتوقعات عام 2050	81
الشكل (24): دوامات "حلقات " النفايات البلاستيكية في المحيطات	82
الشكل (25): تكون رقعة النفايات الضخمة في المحيط الهادئ	83
الشكل (26): شكل رقعة نفايات المحيط الهادئ العظمى	83
الشكل (27): تأثير النفايات البلاستيكية على حياة السلاحف البحرية	85
الشكل (28): تأثير النفايات البلاستيكية على حيوان الفقمة.	86
الشكل (29): مخطط لمفهوم الاقتصاد الدائري	94

قائمـة الأشـكال

	الشـــــكل	رقم الصفحة
الشكل (30):	صور بعض الطرق التقليدية السائدة للتخلص من النفايات البلاستيكية حتى عام 1980	97
الشكل (31):	نسب طرق المعالجة للنفايات البلاستيكية لعام 2015	98
الشكل (32):	مخطط الأسلوب الأفضل للتخلص من النفايات البلاستيكية	99
الشكل (33):	مخطط عمليات إعادة تدوير البلاستيك	103
الشكل (34):	عمليات الفرز اليدوي للنفايات البلاستيكية	106
الشكل (35):	مخطط فصل النفايات البلاستيكية اعتمادا على الكثافة	107
الشكل (36):	أحد خطوط الفرز الآلي للنفايات البلاستيكية وأماكن التخزين بعد تصنيفها	108
الشكل (37):	مرحلة غسيل النفايات البلاستيكية	109
الشكل (38):	نماذج لبعض أشكال النفايات البلاستيكية بعد مرحلة الطحن	110
الشكل (39):	نسب الطلب العالمي على الراتنجات المستخدمة في إنتاج التغليف والتعبئة البلاستيكية	114
الشكل (40):	نسب الطلب على الراتنجات المستخدمة في إنتاج التغليف والتعبئة البلاستيكية في دول منطقة الشرق الأوسط	114
الشكل (41):	معدلات الاستهلاك العالمية من الراتنجات المستخدمة في إنتاج القوارير البلاستيكية لعام 2017.	117
الشكل (42):	معدلات استهلاك الراتنجات المستخدمة في إنتاج القوارير البلاستيكية لعام 2017 في منطقة الشرق الأوسط	117
الشكل (43):	مخطط عملية فصل ألياف السجاد باستخدام أجهزة الطرد المركزي	121
الشكل (44):	مخطط تقنية "سولفاي" لإعادة تدوير نفايات البلاستيك من البولي فينيل كلوريد	123
الشكل (45):	مخطط تقنية تحويل نفايات البولي إيثيلين تيرفيثالات إلى كيماويات أولية	124
الشكل (46):	نموذج تجريبي لحاجز عائم في بحر الشمال لالتقاط وإزالة التلوث بالنفايات البلاستيكية من المحيطات	126
الشكل (47):	تصور للسياج النهائي الذي سيتم وضعه في منتصف دوامة المحيط الهادئ	127
الشكل (48):	صبغ بعض أنواع النفايات البلاستيكية الدقيقة بالصبغ الأحمر النيلي	128
الشكل (49)	ألية عمل إنزيم التحلل في تحويل القوارير البلاستيكية إلى موادها الأولية	129
الشكل (50):	مخطط حركة تجارة النفايات البلاستيكية بين أكبر مصدري ومستوردي النفايات البلاستيكية حول العالم	136
الشكل (51):	عدد من الحاويات المليئة بالنفايات البلاستيكية المعدة للتصدير	137
الشكل (52):	نسب استخدام أنواع البلاستيك المختلفة في القطاعات الرئيسية في دول الإتحاد الأوروبي	138
الشكل (53):	كميات ونسب نفايات البلاستيكية وطرق معالجتها في دول الإتحاد الأوروبي خلال الفترة 2006-2018	140
الشكل (54):	معدلات إعادة التدوير واسترجاع الطاقة و دفن النفايات في دول الإتحاد الأوروبي في عام 2018	141
الشكل (55):	مقارنة كميات ونسب النفايات البلاستيكية من قطاع التعبئة في دول الاتحاد الأوروبي وطرق معالجتها خلال الفترة 2006-2018 في دول الإتحاد الأوروبي	143
الشكل (56)	معدلات إعادة تدوير نفايات قطاع التعبئة والتغليف بالبلاستيك في جميع دول الإتحاد الأوروبي	144
الشكل (57)	معدلات إعادة التدوير لنفايات منتجات التعبئة والتغليف بالبلاستيك لكل دولة في الإتحاد الأوروبي لعام 2018	145

قائمة الجداول

	الجدول	رقم الصفحة
الجدول (1):	الأنواع الأكثر شيوعاً، واستخداما من البلاستيك الحراري، والبلاستيك المتصلد بالحرارة	38
الجدول (2):	قائمة ببعض أنواع الإضافات المستخدمة لتحسين خواص البلاستيك	46
الجدول (3):	توزع نسب استخدامات البوليمرات الأساسية في القطاعات الرئيسية	75
الجدول (4):	قائمة بتصنيف أعلى 20 دولة من حيث سوء إدارة النفايات البلاستيكية على المسطحات المائية	89

ملخص تنفيذي

تعد النفايات البلاستيكية سواء المنزلية أو الصناعية مصدر قلق بيئي على مستوى دول العالم النامية، والناشئة، والمتقدمة، خاصة وأن التلوث بهذه النفايات أصبح يهدد الحياة البرية، والبحرية، والإنسان، والكائنات الحية، وتعد المواد والنفايات البلاستيكية مواد غير قابلة للتحلل و لا يمكن التخلص منها خلال فترة زمنية بسيطة عند التعرض لأشعة الشمس، أو الأشعة فوق البنفسجية، أو ذوبانها في المياه، أو التحلل بفعل الأنزيمات أو البكتيريا، أو التآكل بفعل الرياح، وتقدر فترة بقاء المواد والنفايات البلاستيكية في الطبيعة مئات أو آلاف السنين.

من ناحية أخرى، لا تتوفر في كثير من الدول الآليات الكافية لمنظومة فصل، وجمع النفايات البلاستيكية، إعادة تدويرها، أو التخلص منها بطرق أمنه، ونتيجة لذلك يزداد انتشار النفايات البلاستيكية في الحيز الحضري والبيئة المحيطة، ومن هنا فإن مسألة إدارة النفايات البلاستيكية أصبحت ملحة وعاجلة، كما تحظى عملية إدارة النفايات البلاستيكية باهتمام كبير في الدول المتقدمة، لما لها من دور رئيسي في المحافظة على البيئة، كما أنها تعد من المصادر الهامة في تعزيز الاقتصاد القومي للدول.

تأتي هذه الدراسة لتسليط الضوء على أهمية مفهوم إدارة النفايات البلاستيكية من خلال استخدام طرق إعادة التدوير المناسبة لكل نوع من أنواع تلك النفايات، لما فيها من حلول بيئية وفرص استثمارية، وجاءت الدراسة في أربعة فصول كما يلي:

استهلت الدراسة في **الفصل الأول** بالتعريف بالبلاستيك أو البوليمرات، أوما يعرف أيضاً باللدائن، وهي عبارة عن مـــواد صناعية تصنع من مصادر بترولية، أو غازية، أو حيوية، يمكن تشكيلها في صور مختلفة. كما ساعد التقدم التقني في إنتاج، وتطوير أنواع متعددة من البلاستيك ليكون صلبًا مثل الفولاذ، أو هشا مثل القطن، أو شفاف، أو عديم اللون، أو بألوان متعددة، ويمكن تشكيله بأشكال مختلفة لا حصر لها، لذا فقد دخلت المنتجات البلاستيكية في كافة مناحي حياتنا المعاصـــرة، وتســـتخدم في أغراض التعبئة، والتغليف، كما أنها مكون رئيســـي في تصـــنيع الأدوات المنزلية، والصـــناعية، والطبية، والزراعية، والمنســـوجات، وصناعة السيارات، والطائرات، كما أسهمت أيضاً في إنتاج الطاقات المتجددة، حيث يستخدم البلاستيك في إنتاج الخلايا الضوئية أحد أهم مكونات وحدات إنتاج الطاقة الشمسية، وفي إنتاج زعانف توربينات إنتاج الطاقة من الرياح.

كما اسـتعرض **الفصـل الأول** خلفية تاريخية عن تطور صـناعة البلاسـتيك، حيث يرجع تاريخ اكتشـــاف اللدائن (البوليمرات) إلى عام 1833 عندما قام العالم "**تشـــارلز جودبير**" بعمليات تقســـية المطاط الطبيعي بالكبريت، تبعته التطورات التي أجراها العالم "**جون ويزلي هيات**" في عام 1868 في الولايات المتحدة الأمريكية على مادة السليويد "Celluloid"، والتي تم إنتاجها على النطاق التجاري. هذا وقد بدأت الدراسـة المنهجية لعلوم البوليمرات منذ حوالي قرن من الزمان، وتحديداً عام 1919، مع العمل الرائد للعالم "**هيرمان ســـتودنجر**" Herman Staudinger"، والذي أعطى تعريفًا جديدًا للبوليمرات لأول مرة مفاده، أن مركبات الكتلة الجزيئية العالية "high molecular mass compounds " تتكون من جزيئات طويلة ترتبط مع بعضـها البعض بروابط تسـاهمية. كما سـاهم اكتشـاف العالم "**كاروثرز نايلون**" بشكل كبير في توضـيح طبيعة وطريقة تصـنيع البوليمرات، وأسـهم بحثه الأسـاسـي (الذي تم من خلاله

اكتشـاف النايلون) في تصـنيف طرق تصـنيع البوليمرات سـواء بطريقة البلمرة بالإضـافة "Addition Polymerization"، أو البلمرة بـالتكثيف "Condensation Polymerization"، ومازال هذا التصنيف مستخدماً حتى الآن.

شـهدت المواد البلاسـتيكية التقليدية، تطوراً كبيراً بعد اكتشـاف وتطوير العوامل الحفازة ، حيث أصـبح من الممكن التحكم في خواص البوليمرات، من خلال القدرة على ترتيب التركيب الجزيئي للبوليمرات نتج عنه إمكانية تصـميم وإنتاج بوليمرات لأغراض محددة، كما أصـبح من الممكن في السـنوات الأخيرة تطوير وتصـميم إنتاج بوليمرات جديدة، ذات خواص معينة ومحددة مسبقاً ، تشبه البوليمرات التقليدية مع تحسين خواصـها وإكسـابها خصـائص فريدة لا مثيل لها، مثل البلاستيك الصـلب، والألياف، والمطاط الصـناعي، والرغاوى "Foams"،وكان ذلك نتيجة لفهم أفضـل للعلاقات بين تركيب "Structure" البوليمر وخواصـه، وأيضـاً نتيجة إدخال تقنيات بلمرة حديثة، وتوافر مونيمرات جديدة منخفضة التكلفة.

تناول الفصـل الأول أيضـاً التعريف بالأنواع المختلفة للبلاسـتيك، سـواء البلاسـتيك الحراري، أو البلاسـتيك المتصـلد بالحرارة. وكذلك تصـنيفات البلاسـتيك المختلفة باسـتخدام الرموز الخاصـة بكل نوع حتى يسـهل التأكد من نوع البلاسـتيك المسـتخدم من حيث ملائمته لتحقيق الغرض منه، ومسـاعدة القائمين على عمليات إعادة تدوير البلاسـتيك على سـهولة توصـيفه، وفرزه من خليط النفايات البلاسـتيكية، وإعادة تصـنيعه بشـكل سـليم، والتخلص من الأنواع المختلفة الأخرى، بصـورة صـحيحة دون إلحاق ضـرر بالأفراد أو بالبيئة. وكذلك تم

التعريف بأهم إضـافات البلاسـتيك التي تضـاف أثناء عمليات التشـكيل، والتصـنيع لتحسـين خواصه النهائية، وتقليـــل التكلفـــة.

كما تم تسليط الضوء على عمليات إنتاج وتصنيع المنتجات البلاستيكية، والمعروفة بعملية القولبة أو تشـكيل الراتنجات في صـورة منتج نهائي يصـلح للاسـتعمال والاسـتهلاك اليومي، وشـملت أهم طرق التصـنيع والإنتاج مثل طريقة التشـكيل بالحقن "Injection"، والتشـكيل بالبثق"Extrusion"، بالإضـافة إلى طرق التشـكيل بالبثق البلاسـتيكي المشـترك "الاسـهامي" Co-extrusion-، والتي تتضـــمن بثق مادتين أو أكثر من خلال قالب واحد بحيث يتم دمج المواد أو لحامها في بنية واحدة، وطريقة التشكيل بالنفخ "Blow molding"، وطريقة التشكيل بالدوران "Rotational molding"، بالإضافة إلى طرق تصنيع أخرى.

كما تطرق **الباب الأول** أيضـــاً إلى التعريف بأهم خواص البلاسـتيك، سـواء الخواص الكيميائية، والفيزيائية حتى يمكن الاختيار الأمثل لنوعية البلاسـتيك طبقا للاسـتخدام النهائي المطلوب ، لذلك يجب معرفة العلاقة بين خواص البلاســتيك وتأثير هذه الخواص على الطريقة المسـتخدمة في تشـكيلها، وسـبب اختيار نوعية معينة من البلاسـتيك لإنتاج منتج ذو خواص مميزة تتناسب مع استخداماته النهائية، وهي مفتاح لفهم صناعة البلاستيك، كما يلزم التعرف على ثلاثة عوامل أســاســية، وهي الخواص المميزة للبلاســتيك ، وكيف أن هذه الخواص تحدد طريقه تصـنيعه (حقن- بثق- نفخ ... الخ)، ومدى ملاءمة هذه الخواص للمنتج المطلوب.

من جانب أخر تناولت الدراسة في **الفصل الثاني** كميات الإنتاج العالمي من البلاستيك؛ حيث زاد الإنتاج العالمي للبلاستيك بوتيرة متسارعة خاصة في العقود الثلاثة الأخيرة، من نحو 100 مليون طن عام 1989 ليبلغ حوالي 348 مليون طن عام 2017. تشير بعض التقديرات العالمية على أنه تم إنتاج نحو 8.3 مليار طن من منتجات البلاستيك المختلفة منذ بداية الإنتاج في عام 1950 حتى الأن، نتج عنها ما يقرب من حوالي 6.3 مليار طن من النفايات البلاستيكية. كما أن إنتاج البتروكيماويات يستهلك نحو 14 % من إجمالي استهلاك العالم من النفط، ونحو 8 % من إجمالي الاستهلاك العالمي من الغاز، ينتج عنها حوالي 400 مليون طن من الغازات والانبعاثات الملوثة للبيئة.

تناول **الفصل الثاني** أيضاً التعريف بالنفايات البلاستيكية، واستعرض أهم أنواع النفايات الشائعة، حيث تعد نفايات البولي إيثيلين عالي، ومنخفض الكثافة، "HDPE وLDPE"، والبولي بروبيلين "PP"، الأكثر انتاجاً نظراً لاستخدام منتجاتها على نطاق واسع في قطاعات التعبئة والتغليف، وتمثل نسبتها نحو 50 % من إجمالي النفايات البلاستيكية المنتجة.

كما تم أيضا تعريف **النفايات البلاستيكية الدقيقة**، في البيئة البحرية بأنها لا تقتصر فقط تلك الصور المتعارف عليها والخاصة بالقمامة الشاطئية والقطع البلاستيكية الكبيرة العائمة على المسطحات المائية، ولكن تعد "الجزيئات الدقيقة للغاية" هي الأخطر، حيث يتعذر اكتشافها بالعين المجردة. ويُستخدم مصطلح التلوث "بالنفايات البلاستيكية الدقيقة" للتعبير عن التلوث الناتج عن انتشار القطع الدقيقة للنفايات البلاستيكية الأصغر حجما من 5 مم في البيئات البحرية.

يمثل سوء إدارة النفايات "Mismanagement" والتخلُّص العشوائي منها التحدي الأكبر الذي يواجه أنظمة إدارة النفايات، فالبلاستيك له قدرة على التسلل إلى النظم البيئية الساحلية، كما تشكل النفايات البلاستيكية تهديدات كبيرة للبيئة بسبب مقاومتها للمعالجات الضوئية والحرارية والبيولوجية وبمجرد التخلص منها على الأرض تجد طريقها إلى المسطحات المائية. كما تؤثر النفايات البلاستيكية بدرجة كبيرة على الكائنات البحرية. وتشير بعض التقديرات العالمية إلى احتواء المحيطات على أكثر من 150 مليون طن من النفايات البلاستيكية، ويتسرب إليها كل عام ما لا يقل عن 8 مليون طن، تقدر تكلفتها الاقتصادية العالمية بحوالي 13 مليار دولار أمريكي سنوياً، كضرر بيئي للنظم الإيكولوجية البحرية، يشمل ذلك الخسائر المالية التي تتكبدها مصائد الأسماك، والسياحة، والوقت المستنفذ لتنظيف الشواطئ.

تناول الفصل **الثالث** من الدراسة التعريف بالاقتصاد الدائري "Circular Economy"، أو ما يطلق عليه "الاقتصاد التدويري"، هو مصطلح عام يعني منظومة الاقتصاد الصناعي الذي لا ينتج عنه نفايات نهائية إلا بحدود ضيقة جدا، وبالتالي لا يسبب تلوثا للبيئة الأمر الذي يؤدي إلى استخدام أكثر فاعلية وكفاءة للمواد، وبما يقود إلى تحقيق التنمية المستدامة. ويتميز بأنه منذ بداية تصميمة يأخذ في الاعتبار تدوير كافة المدخلات، والمنتجات، وإعادة استخدام المنتجات بجودة عالية، وتكون السلع المنتجة في إطاره قابلة للإصلاح، والتجديد منذ تصميمها بما يضمن الاستفادة منها عدة مرات، كما يتميز بأنه يضع حسابات العائد الاقتصادي بجانب الفوائد البيئية.

كما تمت الإشـارة في هذا الفصـل إلى طرق التخلص من النفايات البلاسـتيكية، تتمثل في طريقتين هما إعادة تدوير النفايات البلاستيكية القابلة للتدوير، وانتاج أو "استرداد" الطاقة من النفايات البلاستيكية غير القابلة للتدوير. ويعتبر إعادة تدوير النفايات البلاستيكية من أهم طرق التخلص منها شريطة أن ألا تكون تلك المواد ملوثة أو تكون قد استعملت من قبل لتعبئة المواد أو الكيماويات الخطرة، أو المعادن الثقيلة. وقد كانت نسب عمليات إعادة تدوير، وحرق نفايات البلاستيك منخفضـة للغاية قبل عام 1980، ويمكن تجاهلها، فقد كان يتم التخلص منها بالكامل بطرق الدفن المباشـر دون معالجة، أو إلقائها في المسـطحات المائية "البحار والمحيطات"، ثم بدأت عمليات الحرق أو الترميد"Incineration" بعد عام 1980، بينما بدأت عمليات إعادة التدوير "Recycling" في عام 1990.

كما أشـارت الدراسـة إلى أن أفضـل أسـاليب وطرق التخلص من النفايات البلاسـتيكية هو التقليـل "Reduce"، يليـه إعـادة الاسـتخـدام "Ruse"، ثم إعـادة التـدوير "Recycle"، فطرق اسـتخلاص وإنتاج "اسـترداد" الطاقة باسـتخدام تقنية التغويز، أو تقنية البلازما. حيث أن تقنية التغويز تعتمد على تحويل المادة من الحالة السـائلة أو الصـلبة إلى الحالة الغازية، أما تقنية البلازما فهي حالة المادة الرابعة، بعد الحالة الصلبة والسائلة والغازية، وقد انتشرت هذه التقنيات في بدايات القرن الواحد والعشـرين، وتعد شـكل أخر من أشـكال إدارة النفايات، وأخيراً تأتي طرق التخلص من النفايات البلاسـتيكية بطرق الدفن أو الكمر. كما أوضـحت الدراسـة أن الفكرة وراء إعادة التدوير هي التقليل من اسـتهلاك الطاقة، والحفاظ على الموارد الطبيعية لاسـتخدامها في المستقبل، وزيادة القيمة المضـافة للنفايات البلاستيكية والحد من حجم مكبات النفايات، والحد من تلوث الهواء والمياه، والحد من انبعاثات الغازات الملوثة للبيئة.

تضـمن **الفصـل الثالث** أيضـاً شـرح لأهم العمليات التي تسـبق عمليات إعادة تدوير البلاستيك، وتشمل عمليات متعددة ومتنوعة الغرض منها تجهيز المواد البلاستيكية المراد إعادة تدويرها، وتشمل منظومة التجميع، وعمليات الفصل والفرز، والغسيل، والطحن أو التفتيت.

تعتبر مصـطلحات إعادة تدوير البلاسـتيك معقدة، ومربكة في بعض الأحيان بسـبب المجموعة المتنوعة من طرق وتقنيات إعادة التدوير، كما يوجد عدد من سـيناريوهات إعادة التدوير"Recycling Models"، من أهمها: **الطريقة الأولية** لإعادة التدوير ويطلق عليها أيضـاً التدوير الميكانيكي، والتي تهدف إلى إعادة نفايات البلاسـتيك إلى نفس خواص وجودة الخامة الأساسية، ويتم إعادة تشغيلها لنفس الغرض الأساسي. بينما يتم في **الطريقة الثانوية** لإعادة التدوير"Secondary Recycling Model" إعادة استخدام البلاستيك ذو الجودة الأقل من الخامة الأساسية لاستخدامات تتناسب مع خواصه الجديدة والتي قد تنتج من خليط من أنواع البلاستيك المتوافقة.

أما **الطريقة الثلاثية** لإعادة التدوير "Tertiary Recycling Model"، فهي طريقة كيميائية لإعادة تدوير النفايات البلاسـتيكية، وتحويلها إلى مكوناتها الأولية من المواد الكيميائية، أو إنتاج الوقود باسـتخدام تقنية التحلل الحراري للتحلل المائي "pyrolysis of hydrolysis". وتعد هذه الطريقة مناسبة لمعالجة جميع أنواع النفايات البلاستيكية بما في ذلك النفايات البلاستيكية عديدة الطبقات "Multi layers"، والتي لا تكون الطرق الأخرى مناسبة لإعادة تدويرها.

بينما يتم في **الطريقة الرباعية** "Quaternary Recycling Model"، استخدام النفايات البلاستيكية لاسترداد ونتاج الطاقة عن طريق حرقها للاستفادة من الطاقة الحرارية المختزنة فيها، وتعد هذه الطريقة الأكثر انتشارا واستخداما حيث أن طرق الحرق لا تتطلب أجهزة ومعدات معقدة لإعادة تدوير البلاستيك كما في الطرق الثلاثة الأخرى.

إن عمليات إعادة تدوير النفايات البلاستيكية توفر فرص استثمارية عديدة، ويمكن أن تتأسس على مخرجات ونواتج عمليات إعادة تدوير البلاستيك آلاف المشروعات الصغيرة والمتوسطة سواءً للمؤسسات أو للأفراد، وتعد من الاستثمارات الآمنة، حيث يزداد الطلب على منتجاتها يوما بعد يوم، وتدخل في معظم مناحي الحياة الحديثة، وكافة القطاعات الصناعية والزراعية، مثل الملابس، والحقائب، والأواني المنزلية، وخراطيم المياه، والأنابيب، والأدوات الصحية، وهياكل وتوصيلات الثلاجات والغسالات وأجهزة الكمبيوتر، وكاميرات التصوير، وأجهزة الراديو والتلفزيون... إلخ. وتناسب كل المستويات الاقتصادية؛ سواء صغر أم كبر حجم الاستثمارات.

لذا فقد استعرض الفصل الثالث أيضاً تقنيات إعادة التدوير لأهم النفايات البلاستيكية الشائعة، وشملت تقنيات إعادة تدوير **راتنجات رقائق التغليف البلاستيكي**، والتي قد تشمل مواد مضافة مساعدة لعمليات الطباعة، أو الطلاء، أو الحشوات "المواد المالئة". كما تم استعراض تقنيات إعادة تدوير **القوارير البلاستيكية**، حيث تعد راتنجات البولي إيثيلين تيرفيثالات، والبولي إيثيلين عالي الكثافة أكثر الراتنجات المستخدمة في إنتاج القوارير البلاستيكية المستهلكة، وخاصة المستخدمة في تعبئة المياه، والمشروبات، وتمثل أكثر من 95 % من القوارير التي يتم

إعادة تدويرها، والنسبة المتبقية تصنع من البولي بروبيلين، ونسبة أقل من كل من البولي فينيل كلوريد، والبولي إيثيلين منخفض الكثافة.

يقدر الطلب على راتنجات البولي إيثيلين تيرفيثالات المستخدم في إنتاج القوارير البلاستيكية بنحو 24 مليون طن سنوياً، وذلك وفق إحصاءات 2017، وتتميز هذه النوعية من الراتنجات بانخفاض استهلاك الطاقة في عملية تصنيعها، وبإمكانية إعادة تدويرها، وهو ما جعلها من المواد الأولية المفضلة في إنتاج القوارير البلاستيكية، حيث أن عبوات البولي إيثيلين تير فيثالات أكثر من 50 % من البلاستيك المعاد تدويره في بعض الدول، بينما تمثل منتجات البولي إيثيلين عالي الكثافة المعاد تدويره نسبة ضئيلة، مقارنة بالبولي إيثيلين تيرفيثالات.

تطرق هذا الفصل أيضاً إلى التعريف بالأنواع الرئيسية من **الألياف الاصطناعية** المعاد تدويرها من البولي ستيرين، والبولي بروبيلين، حيث يقدر حجم السوق العالمي من الألياف الاصطناعية الجديدة بنحو 80 مليون طن سنوياً وفق إحصاءات عام 2017، ويمثل البولي إيثيلين تير فيثالات نحو 70 % منها، والمستخدمة بشكل رئيسي في إنتاج الملابس والسجاد، وتمثل ألياف البولي بروبيلين نحو 25 %، بينما يمثل النايلون حوالي 5 % من حجم سوق الالياف الاصطناعية الجديدة.

على الرغم من أن أسواق ألياف البولي بروبيلين أكبر من أسواق ألياف النايلون، إلا أن ألياف سجاد النايلون هي الأكثر انتشارا في عمليات إعادة تدوير الألياف، نظرا لانخفاض كلفة جمعها،

وإعادة تدويرها، خاصة عندما تكون هناك كميات كبيرة منها نسبياً، وذلك نظراً لتجانسها، كما أن أسعار راتنجات النايلون المعاد تدويرها أكثر ربحية في الأسواق، مقارنة بألياف البولي بروبيلين، والبولي إستر المعاد تدويرها.

بينت الدراسة أن معظم منتجات **البولي فينيل كلوريد** يتم دفنها في المكبات، بالإضافة إلى عمليات الحرق والتي تعد أحد خيارات التخلص منها، إلا هناك العديد من الاعتبارات والمحاذير البيئية، نتيجة تصاعد الدايوكسينات "dioxins"، وهي أحد أهم مسببات المشكلات الجينية. وللتغلب على تلك الاعتبارات البيئية، فإنه يتم استخدام تقنيات حديثة، تشمل عمليات إعادة التدوير الميكانيكي، والتي يتم فيها طحن النفايات البلاستيكية، وتحويلها إلى مسحوق بالإضافة إلى طرق التدوير الكيميائية للفصل الكيميائي بما يسمح بإزالة ومعالجة " إعادة استصلاح" الكلور، والسموم الأخرى.

تم أيضاً استعراض **تقنية تحويل البلاستيك إلى كيماويات**، وأن هذه التقنية متاحة لأنواع محددة من البوليمرات للإنتاج على المستوى التجاري، حيث يتم فيها تكسير النفايات "تحويلها" إلى منتجات أولية، أو وسيطة لإنتاج راتنجات جديدة، تستخدم على سبيل المثال في إنتاج قوارير البولي إيثيلين تيرفيثالات.

كما بينت الدراسة أن هناك العديد من الجهود والمحاولات، والابتكارات العلمية التي تهدف إلى تحسين الوضع البيئي الناتج عن النفايات البلاستيكية، ولكن لم يظهر تأثيرها بشكل جيد بعد،

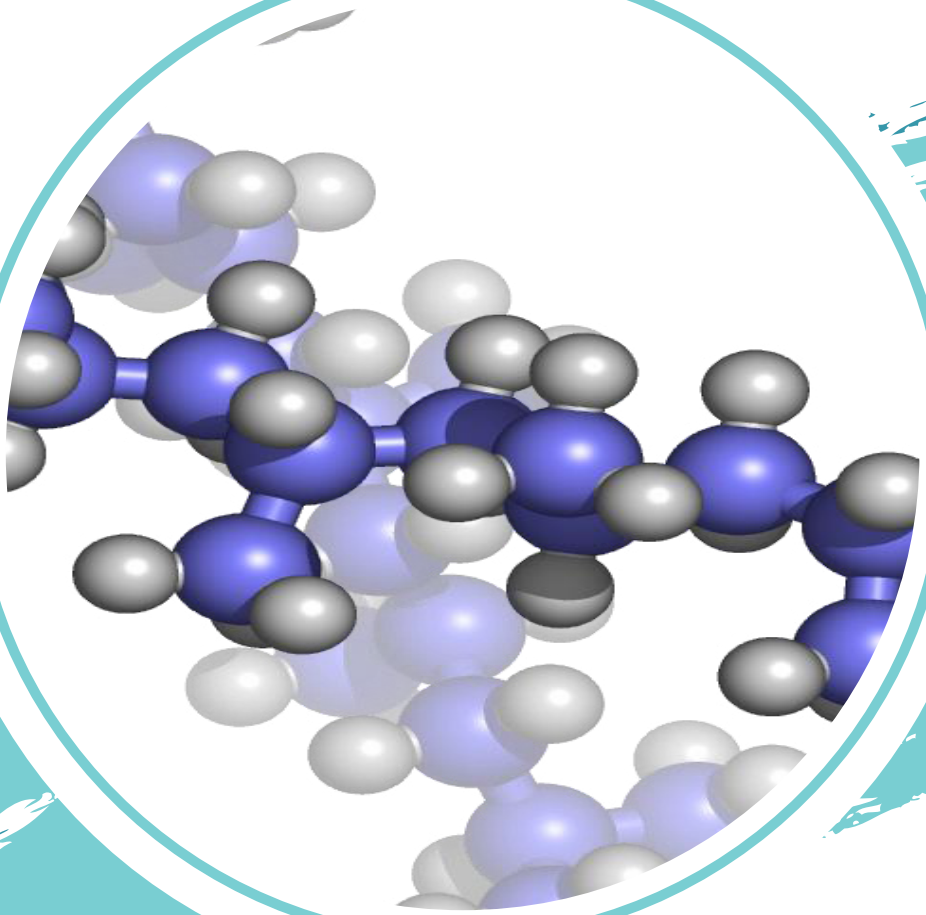
بينما تفتقر بعض السياسات والتشريعات في هذا الشأن إلى وضع المعايير المناسبة، والتنسيق الملائم لسلسلة ومنظومة التدوير، وخطط الجمع، وأنظمة الفرز، وعمليات إعادة التدوير، وزيادة القيمة المضافة لنفايات البلاستيك. ويبقى الأمل معقودًا على الباحثين لإيجاد حلول ومبادرات مبتكرة لطرق وتقنيات إعادة تدوير البلاستيك، أو إنتاج بكتيريا لها القدرة على تحويل البلاستيك إلى مكوناته الاولية، أو إنتاج البلاستيك الحيوي القابل للتحلل، وغيرها من الابتكارات والأبحاث الطموحة التي تهدف إلى الحد من النفايات البلاستيكية المنتشرة بكثافة والتي تحتاج إلى سنوات طويلة لتتحلل.

شملت تلك المبادرات **سياج عائم لجمع النفايات البلاستيكية الدقيقة**، حيث ابتكر فريق من المهندسين في هولندا نظام جديد لمحاولة تنظيف المحيطات من النفايات البلاستيكية، تعتمد الفكرة المبتكرة في تركيب سياج عائم لجمع القطع النفايات البلاستيكية المختلفة من قوارير وأكياس بلاستيكية، وشبكات صيد وغيرها من النفايات الأخرى الموجودة في المحيطات بأعداد كبيرة. كما تمكن فريق من العلماء من ابتكار طريقة جديدة لاكتشاف النفايات البلاستيكية الدقيقة التي تتراوح أحجامها ما بين 20 مايكرومتر إلى 1 مم في البحار والمحيطات، تعتمد على استخدام صبغ يسمى **الصبغ أحمر نيلي** "Dye Nile Red". ومن جانب أخر تمكنت مجموعة من علماء الأحياء الدقيقة في عام 2016 من اكتشاف طريقة جديدة لتطوير عمل **إنزيم** تفرزه أحد أنواع البكتيريا له القدرة على تكسير نفايات البولي إيثلين تير فيثالات المستخدم في إنتاج قوارير المياه البلاستيكية المستهلكة ذات الاستخدام الواحد ،وتحويلها إلى مكوناته الأولية من المواد الكيماوية، على نحو يتيح إمكانية استخدام هذه المكونات في إنتاج قوارير بلاستيكية جديدة لتتمكن تلك البكتيريا في النهاية من التخلص من تلك النوعية من النفايات خلال 96 ساعة، بدلًا من عدة مئات من السنوات لتتحلل في الطبيعة.

وأخيراً يختلف تعامل الدول مع مفهوم النفايات البلاستيكة حسب رؤية كل دولة حيث تراها بعض الدول عبئاً بيئياً، وآخرى على استعداد لدفع سعر منافس مقابل إستيراد تلك النفايات من مختلف دول العالم وإعادة تدويرها. لذا فقد تناول **الفصل الرابع** استعراض لتجارب بعض الدول في إدارة النفايات البلاستيكية وإعادة تدويرها، والتدابير اللازمة التي أقرتها للوقاية منها، والتي تهدف إما للحد من كمية النفايات الناتجة من القطاعات المختلفة، أو لتقليل الآثار البيئية الضارة. وتتضمن تدابير الحد من النفايات التي تتبعها عدد من دول العالم وخاصة دول الاتحاد الأوروبي، مبادرات لإعداد تصميمات أفضل للمنتجات البلاستيكية بهدف زيادة عدد مرات إعادة التدوير وخفض نسب المواد الضارة في المنتجات البلاستيكية، وزيادة المتانة أو الصلابة، وإنتاج منتجات لها القدرة على التحلل، وغيرها من التدابير الأخرى. لذا فمن المهم أن ننظر إلى الإجراءات التي تتخذها أو تخطط لها الدول لمنع النفايات البلاستيكية، وتحديد المجالات التي تتطلب زيادة الجهود. واختتمت الدراسة بالاستنتاجات والتوصيات.

الفصل الأول

المواد البلاستيكية، تصنيفها وخواصها وطرق تصنيعها



الفصل الأول

المواد البلاستيكية، تصنيفها وخواصها وطرق تصنيعها

1. تمهيد

البلاســتيك أو البوليمرات، أو ما يعرف أيضاً باللدائن، عبارة عن مــواد صناعية تصنع من مصادر بترولية، أو غازية، أو حيوية، يمكن تشكيلها في صور مختلفة. وقد دخلت المنتجات البلاستيكية في شتى مناحي حياتنا المعاصرة، حيث تستخدم المنتجات البلاستيكية في أغراض التعبئة، والتغليف، كما أنها مكون رئيســي في تصــنيع الأدوات المنزلية، والصــناعية، والطبية، والزراعية، والمنسوجات، وصناعة السيارات، والطائرات، كما أسهمت أيضاً في إنتاج الطاقات المتجددة، حيث يســتخدم البلاســتيك في إنتاج الخلايا الضــوئية أحد أهم مكونات وحدات إنتاج الطاقة الشمسية، وفي إنتاج زعانف توربينات إنتاج الطاقة من الرياح.

كما ســاعد التقدم التقني في إنتاج، وتطوير أنواع متعددة من البلاســتيك ليكون صــلبًا مثل الفولاذ، أو هشًّــا مثل القطن، أو شــفاف، أو عديم اللون مثل البلورة، أو بألوان متعددة. كما يُمكن أن يكون البلاستيك مطاطيًا أو صلبًا، ويمكن تشكيله بأشكال مختلفة لا حصر لها.

على الرغم من مميزات، وفوائد البلاستيك فإن من أهم وأكبر مشاكله هي أن معظم أنواع البلاستيك يحتاج إلى وقت طويل جداً للتحلل، وأصبحت آليات التخلص من النفايات البلاستيكية مشكلة تسبب قلقًا بيئيًا، واقتصاديا رئيسيًا.

1.1. تركيب البلاستيك " البوليمرات"

البلاســتيك مصــطلح قديم كان يســتخدم في القرن الســابع عشــر قبل اختراع مادة البلاســتيك، وهو مشتق من الكلمة اليونانية بلاستيكوس "Plastikos" التي كانت تستخدم لوصف المواد التي

لها خاصـية القولبة، أو القدرة على القولبة، والتشـكل بالحرارة على هيئة قوالب " Molded or Fit for Molding"، وتستخدم حالياً كلمة البلاستيك لوصف البوليمرات أو اللدائن [1،2].

اللدائن، والبلاستيك، والبوليمرات ثلاث مصطلحات أو تعريفات لعائلة من المواد المتشابهة في مظهرها العام، ولكنها تختلف اختلافاً كبيراً من حيث تركيبها ومكوناتها، نجد أن مصـطلح لدينة وجمعها "اللدائن" هو تسمية عربية لعائلة المواد التي تتكون من جزيئات صغيرة وكبيرة، وتتميز الأنواع الشائعة الاستعمال منها بقابلية التشكيل بالتسخين، أو بالضغط أو كليهما، وتتميز بليونتها وقابليتها للانضـغاط، والثني، والسـحب، لذا فإن هذه الخواص هي التي أعطتها اسـم اللدائن.

أما البلاسـتيك فهو تسـمية إنجليزية لنفس العائلة من المواد، التي تتميز بأنها إذا انضـغطت بقوة أو سـحبت بقوة تتغير أشـكالها بسـهولة أكثر من المعادن، ولعل هذه الخاصـية هي التي أكسبتها أسم "البلاستيك"، وهو الترجمة لكلمة"Plastic"، وهو يعني تغيير شكل المادة إذا أثرت عليها قوة كبيرة نسبياً.

أما البوليمر فهوه الاسـم العلمي لنفس العائلة من المواد، وهو يعني المواد التي تتكون من عديد من كبير من الأجزاء الصـغيرة، والتي تعرف بالمنيمر "Monomer". يوجد نوعان أسـاسـيان من اللدائن، وهما اللدائن الطبيعية "البوليمرات الطبيعية" مثل المطاط الطبيعي والصـمغ الطبيعي. أما النوع الثاني وهو الأكثر اسـتخداماً وهو اللدائن المصـنعة والتي يطلق عليها تجاوزاً مصطلح اللدائن المخلقة الاصطناعية "Synthetic Polymers" [3].

2.1. خلفية تاريخية

يرجع تاريخ اكتشـــاف اللدائن (البوليمرات) إلى عام 1833 عندما قام العالم " **تشـــارلز جودبير**" بعمليات تقســـية المطاط الطبيعي بالكبريت، تبعته التطورات التي أجرها العالم "**جون ويزلي هيات**" في عام 1868 في الولايات المتحدة الأمريكية على مادة السليوليد "Celluloid"، والتي أنتجت على النطاق التجاري، بهدف اســـتبدال العاج المســـتخدم في تصـــنيع كرات لعبة البلياردو بها ، إلا أن هذه المادة لم يمكن صبها في قوالب لتشكيلها بالشكل المطلوب، واقتصر الحصول عليها في شكل رقائق استخدمت في صناعة الهيكل الداخلي لنوافذ السيارات، وأفلام الرسوم المتحركة .

تم اكتشاف مادة "البكالايت" عندما أنتج العالم "**ليو هندريك بايكلاند** "، أول منتج بلاستيكي بمزج الفينول مع الفورمالدهيد، والحصـــول على بلاســـتيك الفينول – فورمالدهيد(الفينوليات) "Phenolics"، وهي من المواد البلاســـتيكية صـــعبة الاشـــتعال، واعتبرت الاكتشـــاف الحقيقي للبلاستيك وكان ذلك في عام 1907 [4]. أصـبحت هذه المادة من اللدائن الرئيسـية لصـنع مواد ومنتجات ذات مقاومة عالية للحرارة. وسرعان ما تبع ذلك إنتاج وتطوير الألياف الاصطناعية، والحرير الصناعي، في عام 1911 [5].

هذا وقد بدأت الدراســـة المنهجية لعلوم البوليمرات منذ حوالي قرن من الزمان، وتحديداً عام 1919، مع قيام العالم "**هيرمان ستودنجر**"Herman Staudinger"، بإعادة تعريف البوليمرات، بأنها مركبات الكتلة الجزيئية العالية تتكون من جزيئات طويلة ترتبط مع بعضها البعض بروابط تساهمية [5،6].

شـهدت عشـرينيات القرن الماضـي تطوراً بطيئاً، في حين تسـارع هذا التطور في الثلاثينات والاربعينيات بعد معرفة مفهوم الصـــيغة البنائية للبوليمرات، وكان ذلك بعد أن وضـــع

"**ستودنجر**" نظريته الأولى في علم البوليمرات، والتي أوضحت بأن البوليمرات تتكون من جزيئات ضخمة، وأطلق مصطلح "جزئ كبير"- Macromolecule- لوصفها [4]. كما ساهم بشكل كبير اكتشاف العالم "**كاروثرز نايلون**" في توضيح طبيعة وطريقة تصنيع البوليمرات سواء بطريقة البلمرة بالإضافة "Addition Polymerization"، أو بالتكثيف " Condensation Polymerization"، ومازال هذا التصنيف مستخدماً حتى الان.

تطور علم البلاستيك تطورات سريعة ومتلاحقة حين أُبتكرت تقنيات جديدة مكنت من فهم طبيعة البوليمرات بشكل أفضل، مما ساهم في إنتاج مواد بلاستيكية ذات خواص محسنة، ومتنوعة. كما شهدت الفترة من 1925 إلى 1950 نمو هائل في أعداد المنتجات البلاستيكية والتي نجح إنتاجها على النطاق التجاري، حيث تم إنتاج راتنجات الاكريليك، والبولي ستيرين المستخدم في إنتاج لعب الاطفال، ومواد التعبئة، والأدوات المنزلية، وأنتجت أيضاً راتنجات الميلامين لإنتاج الأطباق البلاستيكية، وإنتاج الأصباغ.

تم اكتشاف وإنتاج البولي إيثيلين خلال فترة الحرب العالمية الثانية، والذي يعد من أهم المواد البلاستيكية في العالم، وتم استخدامه خلال تلك الفترة في تطبيقات المعدات، والأجهزة الحربية خاصة كمادة عازلة لكابلات الرادار، كما تم تطوير وإنتاج راتنجات البولي إسترات الحرارية، والتي تستخدم حالياً في بناء القوارب العسكرية.

شهدت المواد البلاستيكية تطوراً كبيراً، كما تم تطوير منتجات جديدة بعد اكتشاف وتطوير العوامل الحفازة من قبل كل من "**كارل زيغلر**"، و"**جوليو ناتا**"، مما ساهم في القدرة على ترتيب التركيب الجزيئي للبوليمرات نتج عنه تصميم وإنتاج بوليمرات متخصصة.

شهدت فترة الخمسينيات من القرن الماضي أيضًا تطور وإنتاج مجموعة من المنتجات البلاستيكية والمعروفة باسم البلاستيك الحراري الهندسي " Engineering Thermoplastics"

مثل "الأسـيتال"، و "البولي كربونات"، بالإضـافة إلى النايلون، والفينوكسـي، والبولي أميد، والبولي (أكسيد الفينيلين)، والبولي سلفون.

بينما شـهدت فترة ستينيات وسبعينيات القرن الماضـي إدخال، وإنتاج مواد بلاستيكية جديدة مثل لدائن البولي إستر الحرارية، والمستخدمة في إنتاج المكونات الخارجية للسيارات، وقطع الغيار، والقوارير، وإنتاج راتنجات النتريل "Nitrile Resins "، وإنتاج البلاسـتيك الحراري "High Temperature Plastic" لتلبية متطلبات المنتجات البلاسـتيكية التي تتطلب القدرة على العمل بشـكل مسـتمر في درجات حرارة عالية، مثل كبريتيد البولي فينيل، وسـلفون بولي إيثر، والتي صممت في البداية لتلبية متطلبات صناعات الطيران.

في السـنوات الأخيرة تم تطوير وتصـميم بوليمرات جديدة، ذات خواص معينة ومحددة مسبقاً تشبه البوليمرات التقليدية مع تحسين خواصها وإكسابها خواص مميزة، مثل البلاستيك الصـلب، والألياف، والمطاط الصـناعي، والرغاوى "Foams"، وكان ذلك نتيجة لفهم أفضـل للعلاقات بين تركيب "Structure" البوليمر وخواصـه، وتوافر مونيمرات جديدة منخفضـة التكلفة وأيضاً نتيجة إدخال تقنيات بلمرة حديثة.

3.1. تصنيع البلاستيك "البوليمرات "

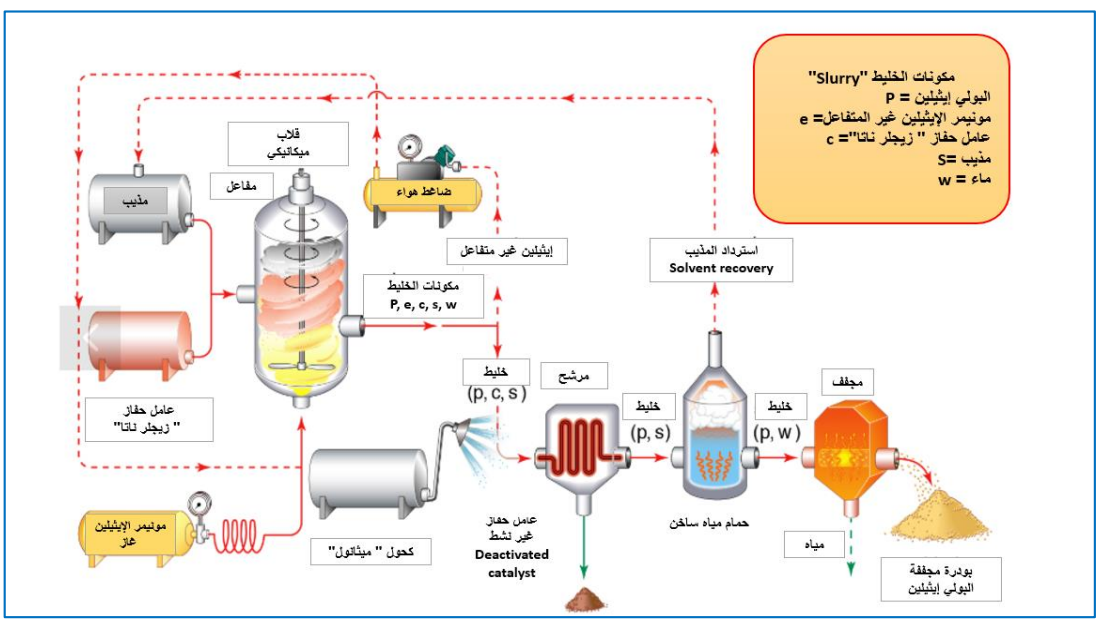
تتم عملية البلمرة أو تصنيع البلاستيك خلال ثلاث خطوات أساسية وهي: خطوة بدء التفاعل "Initiation"، وخطوة التكاثر أو النمو "Propagation "، ويتم فيها تكون السلسلة البوليميرية النامية، وبدء تكاثر السـلسـلة البوليمرية، ثم تأتي الخطوة الثالثة وهي خطوة الإنهاء "Termination"، ويتم فيها اكتمال بناء البوليمر وإنهاء تفاعل البلمرة. هناك عدة طرق رئيسية

للبلمرة، وأهمها طريقة البلمرة بالإضـــافة "Addition Polymerization"، وطريقة البلمرة بالتكثيف "Condensation Polymerization".

1.3.1. البلمرة بالإضافة

يتم فيها إضافة المونيمرات سواءً على شكل محلول، أو مستحلب "Emulsion"، أو بخار واحد تلو الأخر، ويكون البوليمر الناتج له نفس الوحدات "Units" المتكررة مثل المونيمر تماماً. ومن أمثلة هذه الطريقة، إنتاج البولي إيثيلين، والبولي ســتيرين، والبولي أكريلونيتريل، والبولي ميثيل ميثإكريلات، والبولي كلوريد فينيل. يبين الشكل (1) مخطط طريقة بلمرة مونيمر الإيثيلين في الحالة الغازية لإنتاج البولي إيثيلين.

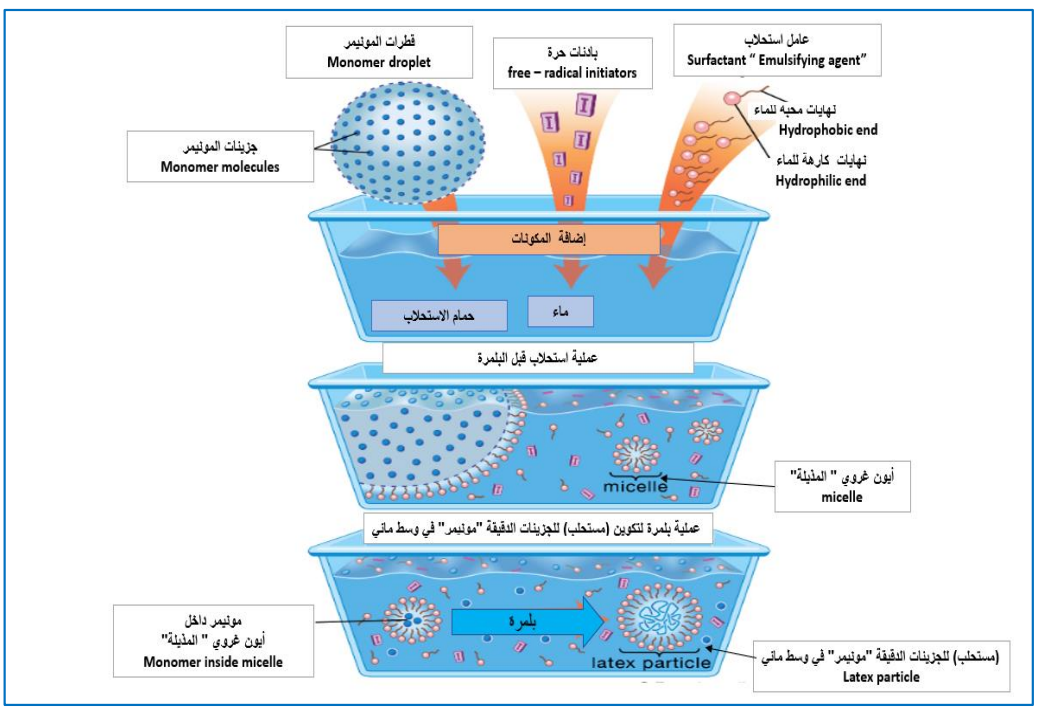
الشكل (1): مخطط طريقة بلمرة مونيمر الإيثيلين في الحالة الغازية لإنتاج البولي إيثيلين



المصدر: https://www.britannica.com/science/polymerization/media/468745/17972

أما في حالة إضـــافة المونيمرات على شـــكل مســـتحلبات، يتكون فيها مزيج البلمرة المسـتحلبة من الوسـط الانتشـاري كالماء، وعامل اسـتحلاب "Emulsifying Agent"، وتكون عادة على شـــكل جســـيمات غروية صـــابونية مختلفة الأحجام، تكون نهايتها المحبة للماء "Hydrophilic"، إلى الخارج، والنهايات الكارهة للماء "Hydrophobic" إلى الداخل، ويضـــم المزيج أيضـــاً البادئ "Initiator"، والمونمر والذي يكون جزءاً منه ذائباً في المسـتحلب، وجزء أخر منتشر على شكل قطرات ومستقرة فيه، يبين الشكل (2) مخطط طريقة البلمرة بالإضـافة للبوليمرات في الحالة المستحلبة.

الشكل (2): مخطط طريقة البلمرة بالإضافة للبوليمرات في الحالة المستحلبة



المصدر: https://www.britannica.com/science/polymerization/media/468745/17972

2.3.1. البلمرة بالتكثيف Condensation

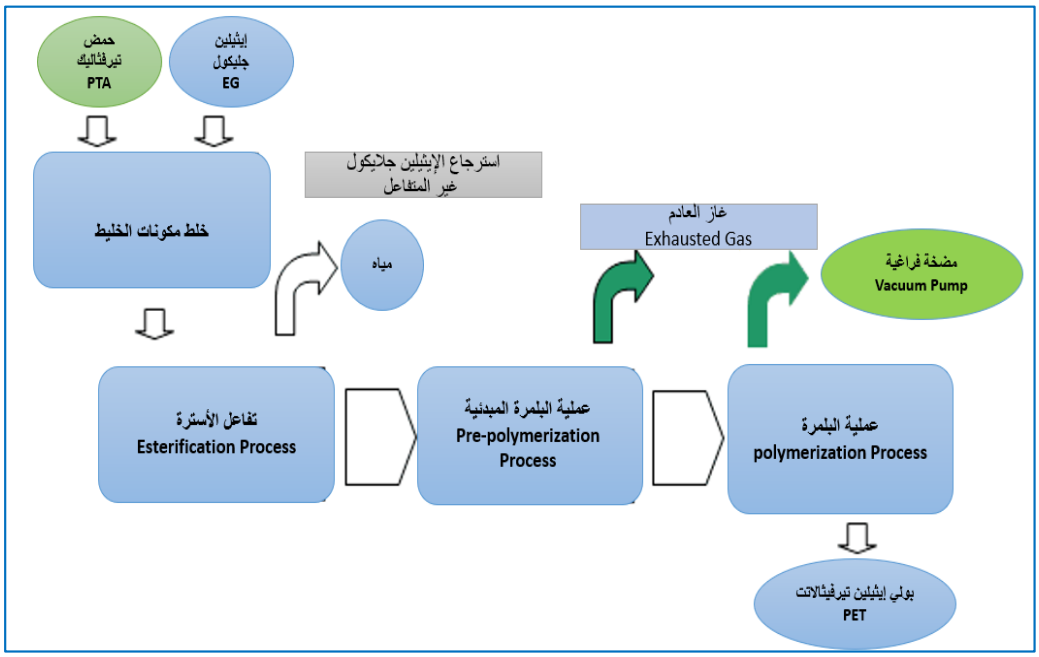
يتكون في طريقة البلمرة بالتكثيف بوليمر خطي إذا كان المونيمر يحتوي على مجموعتين فعالتين، بينما يتكون البوليمر المتشابك إذا كان المونيمر يحتوي على عدة مجاميع فعالة. وينتج في البلمرة بالتكثيف نواتج ثانوية "by products"، ويتم تكثيفها لذا اشتقت منه تسمية الطريقة "بالتكثيف".

تتميز بوليمرات التكثيف عادة بوجود مجاميع رابطة لربط الوحدات المتكررة مع بعضها كمجموعة الاستر "$-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-$" في البولي إسترات، والاميد "NHCO" في البولي اميدات، وتعتبر هذه السمة الأساسية في تمييز البوليمرات التكثيفية عن بوليمرات الاضافة. من أمثلة طريقة البلمرة بالتكثيف، إنتاج البولي إيثيلين تيرفيثالات، بتفاعل حمض التيرفيثاليك مع الإيثيلين جليكول طبقاً للمعادلة التالية:

Terephthalic acid — Ethylene glycol — Poly (ethylene terephthalate)

وكذلك إنتاج البولي إستر الناتج من تكثيف أنهيدريد حمض الفيثاليك "حمض كربوكسيلي ثنائي"، مع الجليسيرول " كحول ثلاثي". يبين الشكل (3) مخطط إنتاج البولي إيثيلين تيرفيثالات بطريقة البلمرة بالتكثيف.

الشكل (3): مخطط إنتاج البولي إيثيلين تيرفيثالات بطريقة البلمرة بالتكثيف



المصدر: http://www.hitachi.com/businesses/infrastructure/product_site/ip/process/pet.html

4.1. أنواع البلاستيك

يدخل البلاستيك في مجموعة واسعة من المنتجات وقد حل محل مواد أخرى كثيرة، مثل الخشب، والمعادن، والزجاج. يوجد حوالي 700 نوع من اللدائن الحرارية فقط "Thermoplastic"، مجمعة في أكثر من 18 عائلة من البوليمرات، ومن أكثر البوليمرات شيوعاً البولي إيثيلين (PE)، والبولي بروبيلين (PP)، والبولي فينيل كلوريد (PVC)، والبولي إيثيلين تيرفيثالات (PET)، والبولي ستيرين الممتد (EPS) [8]. يمثل البلاستيك الحراري نحو 91 % من إجمالي إنتاج البلاستيك عالمياً [24]، يضم الجدول (1) الأنواع الأكثر شيوعاً، واستخداما من البلاستيك الحراري، والبلاستيك المتصلد بالحرارة.

الجدول (1): الأنواع الأكثر شيوعاً، واستخداما من البلاستيك الحراري، والبلاستيك المتصلد بالحرارة

البلاستيك الحراري "Thermo Plastic"	البلاستيك المتصلد بالحرارة "Thermoset"
*البولي إيثيلين "PE". *البولي بروبيلين "PP". *البولي فينيل كلوريد "PVC". *البولي إيثيلين تيرفيثالايت "PET". *البولي ستيرين "PS". *البولي ستيرين الممتد"EPS". *أكريلونيتريل - بيوتادايين- ستيرين "ABS". *إستيرين -أكريلونيتريل "SAN". *البولي أميد "PA". *البولي كربونات "PC" *البولي ميثيل ميثاإكريلات "PMMA". *المطاط الحراري "Thermoplastic Elastomers"- (TPS). *بولي اريل سلفون "PSU". *الفلورو أميد. *البولي إيثر إيثر كيتون "PEEK" *البولي أوكسي ميثيلين "POM". *البولي بيوتيلين تير فيثالايت "PBT"، إلخ....	* البولي يورثان. "Poly urethane". * البولي إيستر غير المشبع. "Unsaturated polyester." *راتنجات الإيبوكسي. "Epoxy resins". *راتنجات الميلامين. "Melamine resin" *الفينيل إستر. "Vinyl ester" *السيليكون. "Silicone". *الفينيل -فورمالدهيد. "Phenol-formaldehyde". *اليوريا - فورمالدهيد. "Urea-formaldehyde". *الراتنجات الفينولية. "Phenolic resins". *راتجات الأكريلك. "Acrylic resins"، إلخ...

المصدر: Association of plastic manufacturing, Plastics – the Facts 2018

1.4.1. تصنيف البلاستيك

تصـــنع الكثير من منتجات البلاســـتيك مثل قوارير المياه وعبوات حفظ الطعام، من أنواع مختلفة من البلاستيك، ولذلك قامت جمعية صناعة البلاستيك "**SPI**"، بتأسيس نظام لتصنيف البلاستيك، حتى يسهل التأكد من نوع البلاستيك المستخدم من حيث ملائمته لتحقيق الغرض منه، ومساعدة القائمين على عمليات إعادة تدوير البلاستيك على فرزه بسهولة من خليط النفايات البلاستيكية، وإعادة تصنيعه بشكل سليم، والتخلص من الأنواع الأخرى المختلفة بصورة صحيحة دون إلحاق ضرر بالأفراد أو بالبيئة. لذلك فإن لكل نوع بلاستيك رمز "رقم "، أو ما يطلق عليه كود تعريفي" Plastic Identification Number- **PIN** "، وهي عبارة عن أرقام من 1 إلى 7 داخل مثلث التدوير وتمثل الأنواع المختلفة للبلاستيك [21].

الرمز (1) يميز هذا الرقم منتجات مادة البولي إيثيلين تيرفيثالات"PET"، التي تستخدم في تصنيع قوارير المياه، والمشروبات الغازية، والعصائر، ويتم التخلص منها ولا يُعاد تعبئتها مرة أخرى، نظراً لمقدرة هذه العبوات على امتصاص جزء من المواد المعبأة بها، كما يمكن أن تنمو البكتريا فيها، لذا تستخدم هذه المنتجات لمرة واحدة فقط.

الرمز (2) يميز هذا الرقم منتجات مادة البولي إيثيلين عالي الكثافة "HDPE "، والتي تتميز بالصـــلابة، والقوة والقدرة على تحمل، ومقاومة نفاذية الرطوبة والغاز، مثل إنتاج الأكياس البلاستيكية، وعبوات الحليب، والعصائر، والمنظفات ومنتجات العناية الشخصية.

الرمز (3) يميز هذا الرقم منتجات الـــــبولي فينيل كلوريد "PVC "، والتي تتميز منتجاته بالوضوح، والقوة، والقدرة على التحمل، وتستخدم في إنتاج عبوات الزيوت، وإنتاج المواسير البلاستيكية في قطاع البناء والتشييد.

الرمز (4) يميز هذا الرقم منتجات البولي إيثيلين منخفض الكثافة "LDPE"، والتي تتميز بالقوة، والقدرة على التحمل، والمرونة، وسهولة الغلق، وحجز الرطوبة وهي منتجات آمنة صالحة وأمنة للأطعمة في درجة الحرارة العادية. تستخدم في صناعة الأكياس البلاستيكية، والأكياس البلاستيكية المستخدمة في تغليف المخبوزات، وأغطية العبوات.

الرمز (5) يميز هذا الرقم منتجات البولي بروبيلين "PP"، والتي تتميز بالقوة، وتحمل ومقاومة درجات الحرارة والمواد الكيماوية والدهون والزيوت، وهي متعددة الاستعمالات، وقابلة لإعادة الاستخدام، ولها القدرة على حجز الرطوبة. تدخل في صناعة أكواب الزبادي، وعبوات اللبن، وتصنيع الأكواب والصحون، وتستعمل في أفران الميكروويف.

الرمز (6) يميز هذا الرقم منتجات البولي ستيرين"PS"، والتي تتميز بالشفافية، وسهولة التشكيل. تدخل في إنتاج حاويات البيض وصنع الأغطية التي تستخدم لمرة واحدة، والصحون والصواني، والسكاكين، والأكواب البلاستيكية، والفوم "الرغاوى" المستخدم في صناعة أكواب الشاي والقهوة.

الرمز (7) هو الأخطر على الإطلاق، لأنه يرمز لعدة مواد منها "البولي كربونات" التي تحتوي على البيسفينول أيه "bisphenol-A (BPA)" التي تؤدى إلى خلل بعض الهرمونات في الجسم وتسبب العديد من المشكلات، وخاصة على الأطفال لأنه كان يصنع منه بعض ألعاب وأدوات الأطفال، وأيضا العديد من المنتجات كالنظارات وحافظات الهواتف [21]. يبين الشكل (4) الشفرات "الرموز" الموجودة على المنتجات البلاستيكية، ومدى أمان أو خطورة كل نوع.

شكل (4): الشفرات "الرموز" الموجودة على المنتجات البلاستيكية، ومدى أمان أو خطورة كل نوع

5.1. الإضافات

هناك الآلاف من الإضافات التي يمكن إضافتها إلى المواد البلاستيكية، الأغلبية منها لا تؤثر على البيئة، أو صحة الإنسان، حيث إنها إما أنها لا تهاجر" تنتقل" بسهولة من البوليمر المحتوي عليها، أو أن ليس لها خواص سُمية. إلا أن هناك عدد ه " بيسفينول-إيه" (BPA)، ومثبطات اللهب من مشتقات البروم، والفيثاليت، وإضافات المثبمن الإضافات موضع جدل بسبب الاضرار الصحية التي قد تسببها، مثل ثنائي الفينول-أيتات "Stabilizers" المصنعة من الكادميوم / الباريوم، والرصاص، حيث من الممكن أن تهاجر" تنتقل" بعض مكونات هذه الإضافات إلى سطح البوليمر فتسبب تلوث للأغذية أو الأدوية، مما يستلزم الحرص في اختيار المناسب منها.

أدت الأبحاث العلمية الحديثة إلى حظر بعض الإضافات في بعض التطبيقات الغذائية والدوائية، وغالبا ما يتم التعامل بحرص مع الإضافات البلاستيكية، وتشترط إدارة الغذاء والدواء الأمريكية "FDA" توفر مواصفات معينة في الإضافات المستخدمة في التطبيقات الغذائية والدوائية على وجه الخصوص، وإجراء اختبارات كيماوية وحيوية عليها للتأكد من سلامتها لصحة الإنسان [16].

تضاف مجموعة واسعة من الإضافات إلى البلاستيك المنصهر أثناء عمليات التشكيل والتصنيع لتسهيل عمليات التصنيع، وتقليل التكلفة، وتشمل على سبيل المثال المزلقات "Lubricants"، مثل ستيرات الزنك "Zinc Stearate" المستخدم في صناعة منتجات البولي إيثيلين ، كما تضاف المثبتات "Stabilizers" سواءً كانت مركبات عضوية معدنية، أو أملاح أحماض دهنية، أو أكاسيد غير عضوية "Inorganic Oxides" لإعاقة أو منع حدوث تحلل للبوليمرات نتيجة تعرضها للحرارة أو للضوء أثناء تخزينها، ولزيادة فترات استخدام البلاستيك.

بينما تستخدم الملدنات "Plasticizers" مثل الفينيل "Vinyles"، والأكريلك، أو السيليلوز "Cellulosic" لجعل البوليمرات مرنة ولينة، ولخفض درجة انصهارها، ودرجة حرارة التزجيج أو ما يطلق عليها أيضاً درجة الانتقال الزجاجي "Tg" وهي درجة الحرارة التي يتحول عندها البوليمر إلى الحالة الزجاجية "تحول من سائل لزج إلى مادة صلبة وقوية أو زجاجية - دون أن يحدث له تبلور" [20].

تستخدم حوالي 90 ٪ من جميع الملدنات المنتجة عالميا في صنع منتجات مرنة من البولي فينيل كلوريد "PVC" [18]. يذكر أنه تم تصنيع البولي فينيل كلوريد لأول مرة في القرن التاسع عشر، ولكن بسبب قلة قابليته للتشغيل والتشكيل في عدم وجود الملدنات، ومثبتات الحرارة لم يتم تسويقه أو استخدامه بكثرة في ذلك الوقت. حتى بدأ العالم الألماني **فريتز كلات** "Fritz Klatte" في وقت مبكر من القرن العشرين، في مزج هذا البوليمر القاس والهش مع إسترات وزيوت كمنعمات "Softeners" حتى تمكن من إنتاج البولي فينيل كلوريد المرن تجارياً، وهكذا ولدت فكرة استخدام الملدنات كمكونات رئيسية للتركيبات البلاستيكية، والسماح بسهولة تشغيله وتشكيلة واستخدامه في عديد من التطبيقات المختلفة والمتنوعة.

بحلول عام 1943 زاد بشكل كبير الطلب على منتجات الملدنات، وهناك بالفعل أكثر من 150 نوع من الملدنات المستخدمة مع المواد البلاستيكية [18]. سرعان ما أصبحت إسترات حمض الفيثاليك أهم فئة من الملدنات، بسبب كفاءتها وانخفاض تكلفة إنتاجها، وأصبح مركب داي (2- إيثيل هيكسيل) فيثالات "DEHP " من الملدنات الأكثر استخدامًا على نطاق واسع، وساهم في نجاح تصنيع منتجات من البولي فينيل كلوريد مناسبة للاستخدامات الطبية. [18].

تضاف أيضاً بعض الإضافات المضادة للأكسدة "Antioxidants" والتي تسهم في إعاقة حدوث عمليات الأكسدة، كما تضاف أحياناً إلى البلاستيك مواد مضادة لتكوين الشحنات السالبة على أسطحه فيما يعرف بالكهرباء الساكنة. وقد تضاف بعض الإضافات أو عوامل الانزلاق "Slip Agents" في صناعة بعض اللدائن مثل البولي إيثيلين، والبولي بروبيلين بهدف تقليل معامل الاحتكاك "Coefficient of Friction". تضاف أيضاً إضافات التلوين والأصباغ، وإضافات السطوع البصري واللون "Optical Brightness and Colour "، وإضافات منع التغبش "Anti-fogging" [14] لإكسابها اللون والمظهر المرغوب.

من أهم العوامل المؤثرة على خصائص خليط البلاستيك هو درجة التجانس بين مكونات الخليط، توجد طرق مختلف لإحداث هذا التجانس [15]، وتستخدم أنواع عديدة من إضافات التجانس "Compatibilizer" تعمل على زيادة نسب التجانس فيما بينها، وذلك لزيادة الترابط والانتشار بين أطوار البوليمرات وبعضها، وتقلل من التوتر السطحي بين أطوار البوليمر وتزيد من قوى التلاصق بينهم فيظهر وكأنهم طور واحد.

إضافة بعض المواد أو الإضافات من الممكن أن يساعد على تجانس نوعين مختلفين من البوليمرات عند خلطهما سوياً، ومع ذلك، فإن بعض الإضافات الأخرى قد تغير بشكل كبير من خصائص البلاستيك المعاد تدويره (مثل إضافات مقاومة حساسية درجة الحرارة، والأكسدة، والهشاشة "Brittleness" مقارنة مع البلاستيك البكر "Virgin Material". في بعض الحالات، يمكن التغلب على ذلك من خلال بعض خطوات التنقية، والترشيح، والغسل بالمذيبات، أو باستخدام مثبتات، ومع ذلك فإن هذه العمليات تضيف تكلفة إضافية إلى التكلفة الإنتاجية وبالتالي تقلل من القدرة التنافسية للمواد البلاستيكية المعاد تدويرها، مقارنةً بالبلاستيك الجديد [16].

يتنوع محتوى الإضـافات في منتجات البلاسـتيك المختلفة بشـكل كبير، من أقل من 1 ٪ في قوارير البولي إيثيلين تيرفيثالات "PET"، وتصـل إلى ما بين 50-60 ٪ في منتجات البولي فينيـل كلوريـد "PVC" [16]. غـالبًـا مـا يجـب تحقيق توازن بين الخواص التقنيـة المطلوب تحسـينها، والتكلفة الاقتصـادية، حيث أن تكلفة بعض الإضـافات قد تكون أغلى بكثير من تكلفة إنتـاج البوليمرات الرئيسـيـة. ومع ذلك، فإن البعض الآخر غير مكلف، مثل المواد المـالئـة " الحشوات" غير العضوية مثل الحجر الجيري أو مسحوق بودرة "التلك" [16]. غالبية الإضافات لا تتغير أو تسـتهلك أو تتحلل أثناء عمليات إعادة التدوير بالطرق الميكانيكية، لأنها مقاومة لدرجات الحرارة المستخدمة، إن وجود هذه النوعية من الإضـافات لا يؤثر سلباً على خصـائص البلاسـتيك المعاد تدويره. يبين الجدول (2) قائمة ببعض أنواع الإضـافات المسـتخدمة لتحسـين خواص البلاستيك.

الجدول (2) قائمة ببعض أنواع الإضافات المستخدمة لتحسين خواص البلاستيك

الإضافة	نسبة الاستخدام % بالوزن	المواد المستخدمة
• المثبتات "Stabilizers" مضادات الأكسدة، مثبتات الأشعة فوق البنفسجية، ومثبتات الحرارة " Heat Stabilizers".	• 0.05 -4%. • تعتمد النسبة المستخدمة على التركيب الكيميائي للإضافة، والبوليمر. • مضادات الأكسدة الفينولية تستخدم بكميات منخفضة، أما والفوسفيت "Phosphites" فيستخدم بنسب أعلى. • وتستخدم أقل النسب في منتجات البولي إيثيلين عالي، ومنخفض الكثافة الخطي (LLDPE، HDPE)، • وتستخدم نسب أعلى في منتجات البولي ستيرين بأنواعه "HIPS&GIPS". • تستخدم مركبات الكادميوم، والزنك، والرصاص، والقصدير، والباريوم في منتجات البولى فينيل كلوريد. وتعد مركبات الرصاص الأكثر كفاءة من غيرها، وتستخدم في كميات أقل.	• بيسفينول إيه.(BPA) • مركبات الكادميوم. • مركبات الرصاص. • مركبات النونيل فينول. • مركبات الأوكتيل فينول. • 1،3،5- تريس (اوكسيران-2-يميثيل) -1،3،5- تراي إزينان-2،4،6- ترايون. "1,3,5-Tris(oxiran-2-ylmethyl) - 1,3,5-triazinane-2,4,6-trione" • نونيل فينول (أملاح الباريوم والكالسيوم).
• الملدنات "Plasticizers"	• تتراوح نسب استخدامها في منتجات البولي فينيل كلوريد المرنة "Flexible" ما بين 20- 60 %. *تستهلك منتجات البولي فينيل كلوريد حوالي 80-90 % من إجمالي استهلاك الملدنات.	• مواد بارافينية مكلورة قصيرة، ومتوسطة السلسلة ." Chlorinated Paraffins SCCP-MCCP " • دي ايزو بوتيل فيثالات "DIHP". • البنزيل بيوتيل الفيثالات (BBP). • مكرر (2-إيثيل هكسيل) فيثالات (DEHP). • مكرر (2 - ميثوكسي إيثيل) فيثالات (DMEP). • دي بوتيل فيثالات (DBP). • دي سوبوتيل فيثالات (DiBP). • تريس (2 - كلورو إيثيل) فوسفات (TCEP).

تابع الجدول (2) قائمة ببعض أنواع الإضافات المستخدمة لتحسين خواص البلاستيك

الإضافة	نسبة الاستخدام % بالوزن	المواد المستخدمة
• مثبطات اللهب "Flame retardants"	• تستخدم في منتجات البولي فينيل كلوريد اللينة "Soft"، والعوازل، والتغليف بنسب 5-30 %. • مشتقات البروم تستخدم بنسب 12-18%. • يوجد منها ثلاث مجموعات " عضوية غير فعالة" nonreactive"، وفعالة، وغير عضوية.	• مواد بارافينيه مكلورة قصيرة، ومتوسطة السلسلة ." Chlorinated Paraffins SCCP-MCCP " • حمض البوريك. • مثبطات اللهب من مشتقات البروم "Brominated flame retardants". • تريس (2 - كلورو إيثيل) فوسفات (TCEP). • حمض البوريك.
• المواد المالئة، أو الحشوات "Filers"	• تستخدم بنسب تصل إلى 50 %. • تستخدم كربونات الكالسيوم في الأرضيات البلاستيكية بنسب عالية جداً (50٪)، وتصل نسبتها في مكونات الأنابيب من 0-30 ٪ أو أكثر.. • تستخدم الألياف الزجاجية، وبودرة التلك في منتجات البولي بروبيلين " PP " في تطبيقات صناعة السيارات، وعادة ما تكون في حدود 20-40 ٪. • تستخدم أيضاً الألياف الزجاجية أيضًا في البوليمرات الهندسية (مثل PA أو PBT) في تقوية وتعزيز المنتجات، وتتراوح نسبتها ما بين 5-70%.	• كربونات الكالسيوم. • بودرة التلك، الطين "الطَفله" Clay. • أكسيد الزنك. • مسحوق معدني. • مسحوق الخشب. • الأسبستوس. • كبريتات الباريوم. • التراب الدياتومي أو الدياتوميت " silicious earth ".
الملونات غير العضوية Inorganic " " Pigments	• تستخدم بنسب تتروح ما بين 0.01 - 10 %	• مركبا ت كبريتيد الزنك، أكسيد الزنك، أكسيد الحديد. • مركبات الكادميوم – المنغنيز. • مركبات ثاني أكسيد التيتانيوم. • مركبات الكادميوم. • مركبات الكروم. • مركبات الماغنسيوم. • مركبات الرصاص.

تابع الجدول (2) قائمة ببعض أنواع الإضافات المستخدمة لتحسين خواص البلاستيك

الإضافة	نسبة الاستخدام % بالوزن	المواد المستخدمة
الملونات العضوية "Organic Pigments"	تستخدم بنسبة 0.01-2.5 %	• مركبات كوبالت ثنائي الأسيتات " غير قابلة للذوبان".
ملونات الأزو الذائبة Soluble Azo-colorants	• تستخدم في المنتجات البلاستيكية ذات الشفافية عالية، مقاومة محدودة للحرارة والضوء • تستخدم لإعطاء خواص لونية مشرقة.	• مركبات الأزو.
معززات، مقويات " Reinforcements"	• تستخدم بنسب 15-30 %	• الألياف الزجاجية. • ألياف الكربون. • ألياف الأراميد.
عوامل التشكيل بالنفخ "Blowing Agent"	• يعتمد نسبة استخدامها على كثافة الرغوة، وإنتاج الغاز المحتمل للعامل.	• آزو دي كاربوناميد "Azodicarbonamide"، • بنزين دي سلفونيل هيدرازيد (BSH)، • البنتان، • ثاني أكسيد الكربون.
عوامل الزلق/ الانزلاق " Slip agents"	• 0.1 -3 %. • تعتمد النسبة المستخدمة على التركيب الكيميائي لعامل الزلق، ونوع البوليمر البلاستيكي.	• إضافات الانزلاق تقلل من الاحتكاك وتتيح سهولة التعامل مع البوليمر. • يعد استخدام إضافات الانزلاق في البلاستيك مطلبًا عمليًا لكل من المنتج والمستهلك النهائي. • يمكن أن يؤدي الاحتكاك العالي إلى صعوبات في لف لفات الرقائق، وإنتاج الأكياس، وعمليات التغليف.
عوامل المعالجة "Curing Agents"	• 0.1 -2%. • البير وكسيدات المحفزات، • المعجلات.	• 4،4'- داي امينو ثنائي فينيل ميثان (MDA)، 4,4'-Diaminodiphenylmethane " (MDA);" • 2،2'-داي كلورو -4،4'- ميثيلين داي أنيلين (MOCA)، "2,2'-dichloro-4,4'-methylenedianiline (MOCA); • الفورمالدهيد - منتجات التفاعل مع الأنيلين. • الهيدرازين.

المصدر: Improving Markets for Recycled Plastics: Trends, Prospects and Policy Responses, OECD Publishing, Paris,2018.

6.1. طرق تصنيع وتشكيل البلاستيك

يصـــنع منتج البلاســـتيك النهائي من خلال مرحلتين، أولهما إنتاج الراتنجات من موادها الأولية من المشـــتقات البترولية " نافثا أو غاز"، أو من المصـــادر الحيوية، وتقوم الشـــركات العـالميـة الكبرى بـاســـتثمـارات ضـــخمـة طويلـة الأجل، وتعتمـد في عملهـا على مصـــانع البتروكيماويات، حيث تتوفر بها معامل تطوير وأبحاث حديثة، ومتخصـــصـــين لإنتاج أنواع مختلفة من الراتنجات في أشـــكال قياســـية "Standard" كالمســـاحيق، والحبيبات، والســـوائل، والعجائن. أما المرحلة الثانية من صـــناعة البلاســـتيك فهي إنتاج المنتج النهائي، بطرق تشـــكيل "قولبة" مختلفة، القولبة أو التشـــكيل "Molding"، هي تقنية عامة يمكن اســـتخدامها مع المواد البلاســـتيكية من اللدائن الحرارية، أو المتصـــلدة حرارياً تصـــنيع منتج نهائي يصـــلح للاســـتعمال والاستهلاك اليومي.

يتميز البلاســـتيك بأنه يمكن أن يتحول إلى مادة لينة وربما ســـائلة عند درجات حرارة منخفضـــة نسـبياً قد تصـــل إلى 150-200 °م. وهذه الخاصـــية تســـاعد على تشـــكيلة قبل احتراقه، ويمكن اســـتخدام قوالب مختلفة التصـــاميم لإنتاج ألواح، أو مواد رغوية، أو منتجات مجوفة، أو صـــلبة، وبمختلف الأحجام والمقاســـات حســـب الاســـتخدام النهائي المطلوب للمنتج [6]، ومن أهم طرق التشكيل والتصنيع للبلاستيك ما يلي:

1.6.1. طريقة القولبة" التشكيل" بالحقن "Injection molding"

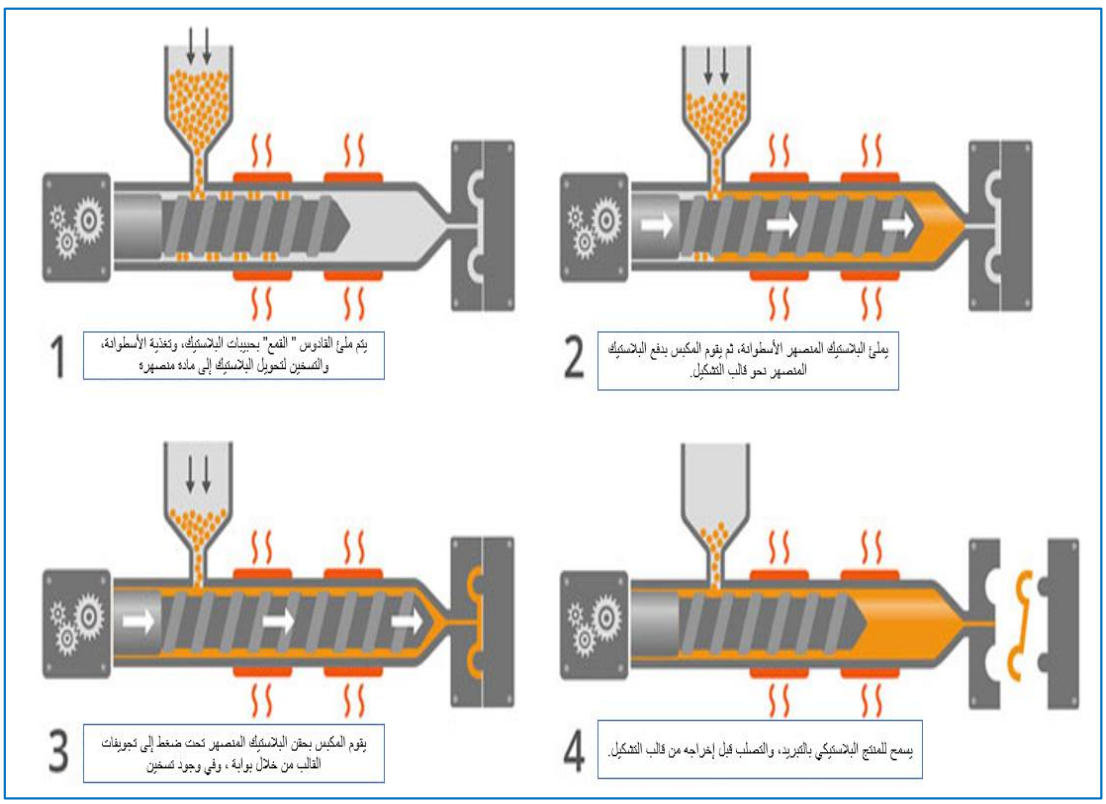
تعد طرقتي التشـــكيل بالحقن، والبثق"Extrusion" من أكثر الطرق المســـتخدمة على نطاق واســـع لتصـــنيع البلاستيك الحراري [6]. وتعتبر طريقة التشكيل بالحقن من الطرق الاقتصـــادية، وتصـــلح لإنتاج منتجات بلاســـتيكية صـــغيرة أو كبيرة الحجم، هذا ويتم إضـــافة مجموعة متنوعة

من الإضـــافات، والمحســـنات أثناء عمليات التشـــكيل أو التصـــنيع لتحســـين الخواص النهائية للمنتجات، حسب الاستخدام المناسب لها.

طريقة التشـكيل بالحقن "Injection molding" ليسـت طريقة جديدة، فقد تم إصـدار براءة اختراع لها في عام 1872، لآلة تشـكيل بالحقن لنترات السـيليلوز الملدنة بالكافور، السـليوليد "Camphor-plasticized cellulose nitrate, celluloid". يتم في طريقة الحقن تحويل حبيبات البلاسـتيك الحراري إلى مادة منصـهرة، ثم يتم حقنها إلى قالب التشـكيل حيث تتصـلب بداخلة [14]. تعد طريقة المكبس "الكباس" ذو المرحلة الواحدة "Single-stage Plunger Method" من أقدم الطرق المســتخدمة في القولبة بالحقن، حيث يســحب المكبس"Plunger" إلى الوراء، مما يؤدي ذلك إلى سقوط المادة البلاستيكية من القادوس "Hopper" إلى داخل الغرفة "Chamber"، ثم يدفع الكباس مرة أخرى إلى الأمام، مما يعمل على مرور المادة من خلال الأســطوانة الساخنة، حيث تنصـهر وتحدث لها عملية تليين، ثم تحقن تحت تأثير الضـغط داخل فراغ قالب التشكيل.

بينما في طريقة المكبس ذو المرحلتين، وهي الأكثر اســتخداماً، وانتشــارا في الوقت الراهن، ففيها تُلدن المادة في أســطوانة واحدة، ثم ينقل جزء من هذه المادة المتلدنة باســتخدام مكبس أو لولب إلى غرفة الحقن "Shot Chamber"، والتي منها يقوم مكبس أخر بحقنها إلى الفراغ الموجود في قالب التشكيل [9،6]. يبين الشكل (5) مخطط مبسط لطريقة القولبة بالحقن.

الشكل (5) مخطط مبسط لطريقة القولبة بالحقن



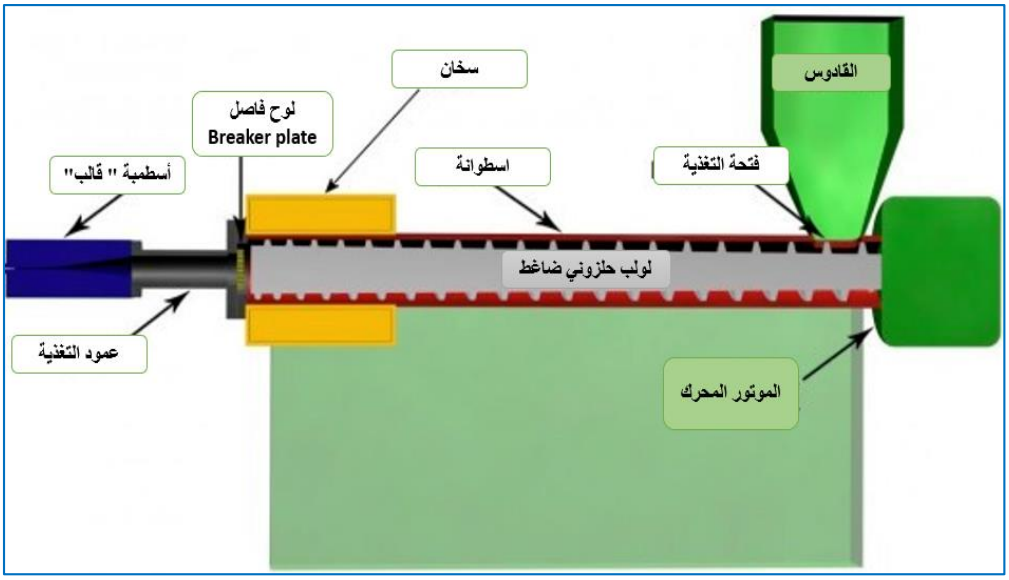
المصدر: http://www.injectionmoldingplastic.com/china.html

2.6.1. طريقة التشكيل بالبثق "Extrusion"

تستخدم طريقة التشكيل بالبثق في إنتاج منتجات هيكلية كالأنابيب، والقضبان، والأقواس، والخراطيم، بالإضافة إلى إنتاج الرقائق " الأغشية"، سواء كانت أحادية أو متعددة الطبقات، كما تستخدم في عمل إنتاج طبقات حماية وعزل حول الأسلاك والكابلات الكهربائية، أو كطبقة لتغطية الورق، والملابس أو أي سطح اخر. وتستخدم في الغالب لإنتاج منتجات البلاستيك

الحراري "الثرموبلاستيك"، مثل راتنجات الفينيل، والبولي ستيرين، والبولي إيثيلين، والبولي بروبيلين، والنايلون، ويختلف حجم المنتج باختلاف طول وسمك اللولب الدوار والذي يتراوح ما بين 20 سم في الماكينات الكبيرة الى 2 سم في الماكينات الصغيرة. يتم عادة ألواح البلاستيك المسطحة ذات سماكة 6 سم بطريقة البثق، ويطلق اسم الشرائط البلاستيكية على منتجات البثق ذات سمك اقل من 0.25 سم، يبين الشكل (6) رسم تخطيطي مبسط لطريقة البثق.

شكل (6): رسم تخطيطي مبسط لطريقة البثق



المصدر: http://3dprintingforbeginners.com/how-to-make-diy-filament-for-your-3d-printer

تتم تغذية المادة البلاستيكية على شكل حبيبات، أو مسحوق من خلال القادوس "Hopper"، الذي يقع خلف الأسطوانة، ثم تدخل بعد ذلك المادة البلاستيكية إلى الغرفة الساخنة، وذلك باستخدام لولب حلزوني ضاغط "Spiral Screw"، وتكون المادة في هذه الغرفة عبارة عن كتلة

لزجة سميكة، ويتم بعد ذلك ضغطها على حالتها من خلال قالب التشكيل، ثم تبرد المادة بالهواء أو بالماء، أو بالتماس مع سطح مبرد مباشرة بعد خروجها من قالب التشكيل.

لا تصلح اللدائن المتصلبة حرارياً للتشكيل بهذه الطريقة، لأنها تتصلب بسرعة، لذا فإنه يتم اسـتخدام المدك "Ram" بدلاً من اللولب في إخراج المادة المتلدنة من القالب. يبين الشـكل (7) بعض المنتجات البلاستيكية المصنعة بطريقة البثق [9،6].

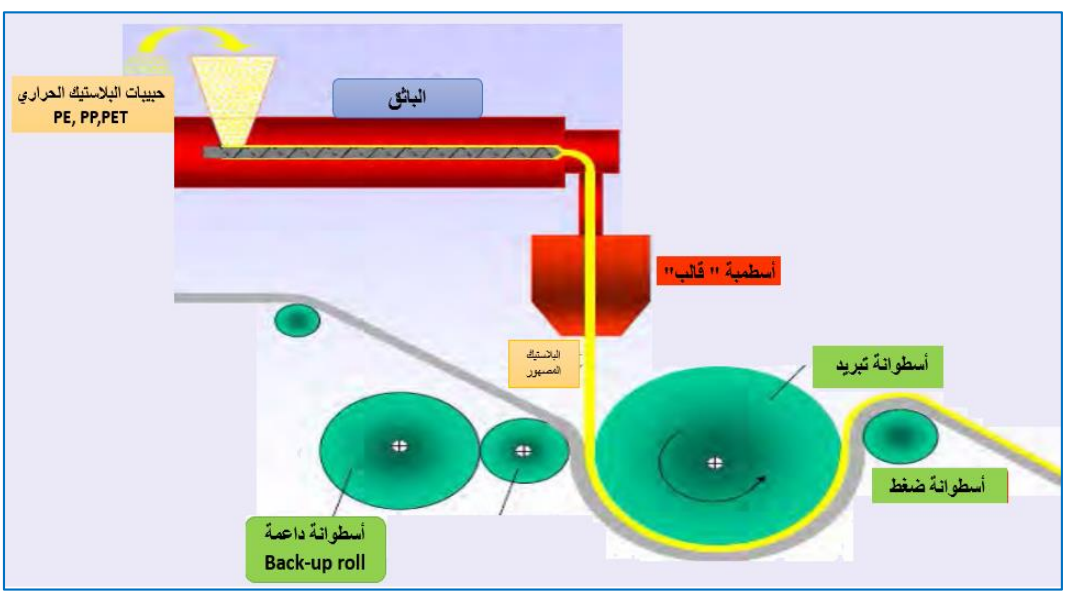
الشكل (7): بعض المنتجات البلاستيكية المصنعة بطريقة البثق

المصدر: "https://www.sukoptfe.com/ptfe-plastic-extrusion-products-sale

1.2.6.1. طريقة التشكيل بالتغطية بالبثق "Extrusion Coating"

تستخدم طريقة التشكيل بالتغطية بالبثق في تغطية المواد المختلفة بغشاء بلاستيكي، وذلك بضغط شرائط البلاستيك المنبثقة الساخنة من الماكينة مع المادة المطلوب تغطيتها بين بكرتين ضاغطتين بحيث تكون مادة البلاستيك أسفل المادة الأخرى. ولا تحتاج هذه العملية إلى إضافة مواد لاصقة حيث يكون الضغط الواقع على شريط البلاستيك الساخن كافيا لالتصاقه بالمادة المطلوب لصقه عليها، وهي طريقة تستخدم بصورة واسعة لإنتاج مجموعة كبيرة ومتنوعة من الرقائق" الشرائح" البلاستيكية متعددة الطبقات مثل البولي إيثيلين (PE)، والبولي بروبيلين (PP)، والبولي إيثيلين تيرفيثالات (PET) [9،6]. يبين الشكل (8) رسم تخطيطي مبسط لعملية التغطية بالبثق، بينما يوضح الشكل (9) وحدة التغطية بالبثق.

شكل (8): رسم تخطيطي مبسط لعملية التغطية بالبثق



المصدر: https://www.brigl-bergmeister.com/fileadmin/files/Dokumente

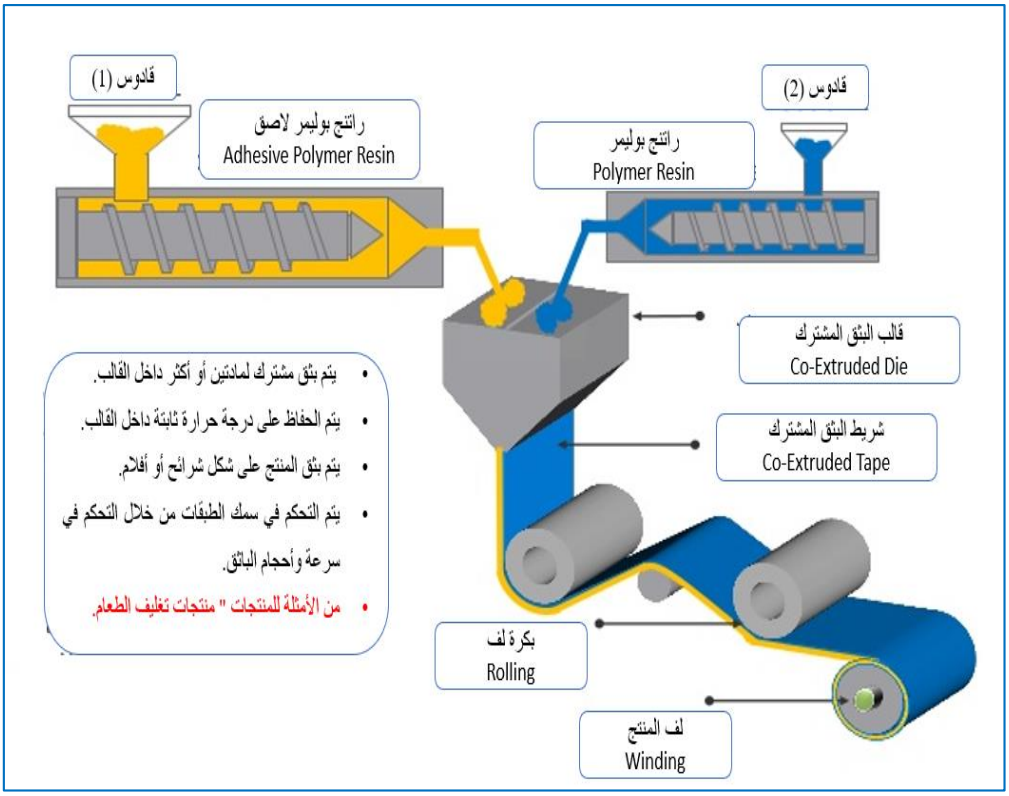
شكل (9): وحدة التغطية بالبثق

المصدر: SML Maschinengesellschaft mbH,2018

2.2.6.1. طريقة التشكيل بالبثق البلاستيكي المشترك "الاسهامي" Plastic Co-extrusion

تتضمن عملية التشكيل بالبثق البلاستيكي المشترك /الاسهامي، بثق مادتين أو أكثر من خلال قالب واحد بحيث يتم دمج المواد أو لحامها في بنية واحدة قبل التبريد، من مميزات استخدام طريقة البثق المشترك أن كل مادة مستخدمة في عملية البثق تحافظ على خواصها المميزة المرغوبة (مثل الصلابة، أو النفاذية)، يمكن الحصول على لفائف "شرائط" بلاستيكية متعددة الطبقات (كل طبقة تختلف في مادتها عن الأخرى) مثل لفائف الأطعمة المانعة للرطوبة، أو شفاطات المشروبات ذات اللونين، كما يمكن تغطية الأسلاك المعدنية، والكابلات بمادة بلاستيكية عازلة للكهرباء، ومقاومة للتآكل وعوامل الجو [10،11]. يبين الشكل (10) مخطط عملية البثق البلاستيكي المشترك.

شكل (10): مخطط عملية البثق البلاستيكي المشترك



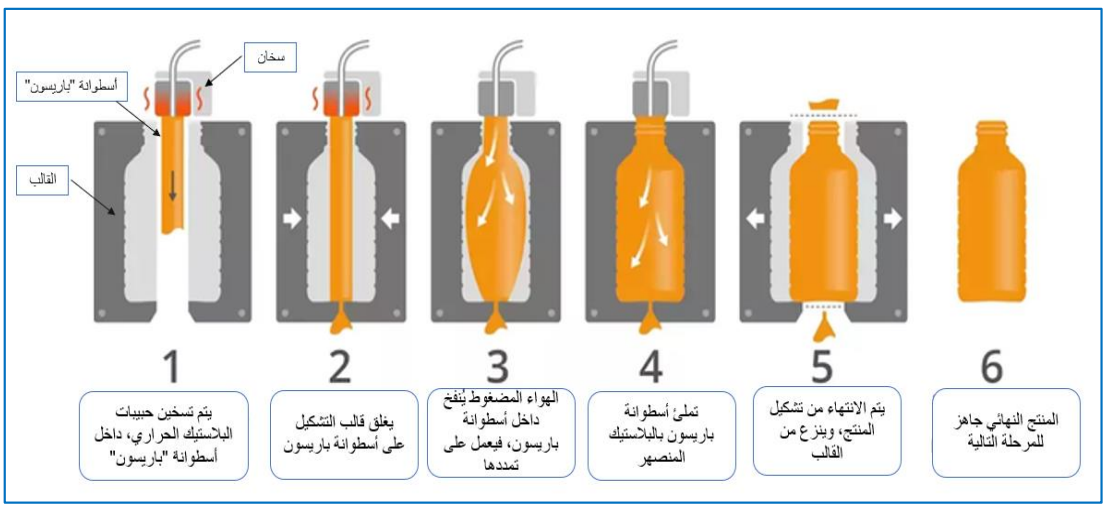
المصدر: https://www.plasticextrusiontech.net/resources/coextrusion-innovation/

3.6.1. طريقة التّشكيل بالنفخ "Blow Molding"

تعتبر طريقة التشـــكيل بالنفخ "Blow molding" واحدة من الطرق الرئيســـية لتصـــنيع البلاستيك، وقد استخدم هذا الأسلوب أساسا بغرض تصنيع القوارير الأسطوانية البسيطة، وتطورت عمليات النفخ مع التقدم التقني السريع، وأيضـاً مع تصـميم ماكينات ذات مواصـفات متميزة لينتج منها منتجات ذات اشـــكال مختلفة، كما يمكن إنتاج نوعيات ذات أشـــكال معقدة، ويمكن حالياً إنتاج أي جســـم مفرغ تقريبا باســـتخدام تقنية النفخ مثل مقاعد، وظهور كراســـي السيارات، أو مساند الرأس والأذرع [14].

تستخدم قوالب النفخ في إنتاج المنتجات البلاستيكية من البلاستيك الحراري، والتي تتميز جدرانها بالسمك الرقيق (كالقوارير مثلا). يستخدم الألومنيوم في صناعة القوالب المستخدمة في عمليات النفخ بدلا من سبيكة النحاس والبريليوم التي كانت تستخدم في السابق. يبين الشكل (11) مخطط مبسط لطريقة تشكيل البلاستيك بالنفخ.

الشكل (11): مخطط مبسط لطريقة تشكيل البلاستيك بالنفخ



المصدر: https://www.quora.com/How-are-bottles-made

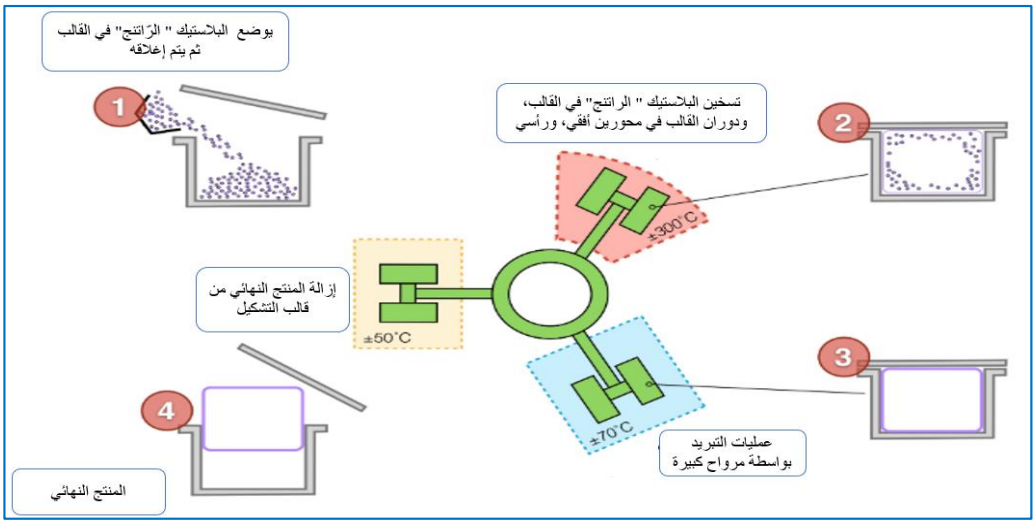
تتميز هذه الطريقة بأنها تعطي سطحا أملسا متجانسا، وكذلك يكون شكل العنق مضبوطا مما يعطي الفرصة لتصنيع الحاويات ذات الاشكال غير التقليدية. تكون تكلفة ماكينات النفخ مع الحقن أعلى من تكلفة ماكينات النفخ التقليدية (مع البثق)، وذلك لوجود قالبين فيها [6]. الفرق الرئيسي بين طريقتي الحقن بالنفخ، والبثق هو الطريقة التي يتم بها تصنيع الأنبوب المجوف الرخو والذي يطلق علية مصطلح باريسون "Parison"، أو المُشَكل"Preform". تتم عملية التّشكيل بالنفخ، جنباً إلى جنب مع طريقة التشكيل بالبثق، أو القولبة بالحقن، وتُستخدَم لتصنيع القوارير البلاستيكيّة.

4.6.1. طريقة التشكيل بالدوران "Rotational molding"

طريقة التشكيل بالدوران هي طريقة تصنيع البلاستيك في درجات حرارة مرتفعة، وضغط منخفض، وتتكون عملية التشكيل الدوراني من أربع مراحل. حيث يوضع الراتنج في القالب ثم يتم إغلاقه، وتتم عملية التسخين، وأثناء عمليه التسخين، يدور القالب حول محورين أفقي ورأسي حتى ينصهر البلاستيك ويتم توزيع الرّاتنج على جوانب القالب، ثم يُترك ليبرد بالهواء بواسطة مراوح هواء كبيرة عبر جدران القالب حتى يتصلب المنتج ببطء ويتخذ الشّكل المطلوب، ثم يتم إزالته من القالب ويصبح هناك منتج بلاستيكي نهائي.

يتم تدوير القالب بسرعات مختلفة لتجنب تراكم البلاستيك المنصهر، كذلك من المهم التحكم في الوقت اللازم لصهر البلاستيك، داخل القالب، نظراً لأنه إذا تم تسخينه لفترة طويلة، فسوف يتحلل وسيؤثر على خواصه الميكانيكية. أما إذا تم التسخين لفترة قصيرة، فمن الممكن ألا يذوب البلاستيك بشكل كاف مما ينتج عنه فقاعات داخل مصهور البلاستيك [12]. يبين الشكل (12) مخطط مبسط لعملية التشكيل بالدوران [13]. بينما يبين الشكل (13) ماكينة إنتاج البلاستيك بالتشكيل بالدوران.

الشكل (12): مخطط مبسط لعملية التشكيل بالدوران



المصدر: http://www.pentasmoulding.com/production/rotational-molding/

الشكل (13) ماكينة إنتاج البلاستيك بالتشكيل بالدوران

المصدر: http://www.qenos.com/internet/home.nsf/(LUImages)/TG6Roto/$File/TG6Roto.pdf

تُستخدم هذه التُقنية لتصنيع منتجات بلاستيكية مجوفة، مثل صهاريج التخزين، وصناديق وحاويات النفايات، وأقماع الطرق، وكرات القدم، والخوذات، وقوارب التجديف، وألعاب الأطفال، وغيرها من المنتجات النهائية التي تجمع في خواصها المرونة والصلابة، الشكل (14) تنوع منتجات التشكيل بالدوران [12].

الشكل (14): تنوع منتجات التشكيل بالدوران

المصدر: https://www.lyondellbasell.com/globalassets/documents/polymers-technical-literature/a-guide-to-rotational-molding.

5.6.1. طرق تشكيل أخرى

واهمها طريقة التشكيل الحراري "Thermoforming" وهي طريقة سهلة لإنتاج منتجات مختلفة، وهي الطريقة الوحيدة لإنتاج منتجات مشابهه لتلك التي تنتج بالحقن ولكن انتاجها أسهل وأرخص، والخامة هنا عبارة عن ألواح "Sheets" من البلاستيك يتم تسخينها، وبطريقة التفريغ الهوائي فينكمش لوح البلاستيك على " قالب التشكيل" متخذاً نفس تشكيل القالب، كما في شكل (15).

الشكل (15): بعض منتجات التشكيل الحراري

من طرق التشكيل أيضا استخدام طريقة "الحقن مع النفخ" لإنتاج بعض المنتجات المجوفة مثل القوارير، ومنها أيضا طريقة تشكيل البلاستيك باستخدام "السحب مع النفخ" والمستخدم في انتاج جراكن البلاستيك.

7.1. خواص البلاستيك

تتميز المواد البلاستيكية عن غيرها من المواد الأخرى باجتماع عدد من الخواص في المادة البلاستيكية الواحدة بينما المواد الأخرى يتمتع كل منها بخاصية منفردة مميزة وهذا هو السبب في الانتشار الكبير لاستخدامات المنتجات البلاستيكية، فمن الممكن أن تجتمع صفات القوة، والمرونة، والصلابة، وخفة الوزن، والشفافية في مادة بلاستيكية واحدة مما يجعلها صالحة لعدة استخدامات مختلفة، بالإضافة إلى الخواص خاصية العزل للسخونة والبرودة والكهرباء، ومقاومة التآكل، وتنوع الألوان وسهولة التشغيل، ورخص التكاليف للمنتجات النهائية.

من المهم الإلمام بالخواص الكيميائية والفيزيائية للبلاستيك لاختيار النوع المناسب لإنتاج المنتج النهائي حسب الاستخدام المطلوب، وذلك بمعرفة العلاقة بين خواص البلاستيك وتأثير هذه الخواص على الطريقة المستخدمة في تصنيعه سواء كانت طرق حقن، أو بثق أو نفخ [20-21].

1.7.1. الخواص الميكانيكية للبلاستيك

تنافس المواد البوليمرية (البلاستيك) المواد البنائية الأخرى "Structural Materials"، وتعتمد على خواصها الميكانيكية من حيث القوة، والمتانة، والاستطالة، والمرونة، لذا فإن الخواص الميكانيكية من أهم الخواص من الناحية التطبيقية، وذلك حتى يمكن التعرف على آلية تغير هذه الصفات لتتلاءم مع التطبيقات والاستخدامات المحددة لها، واختيار الاستخدام المناسب لكل نوع من أنواع البلاستيك المختلفة.

تتأثر هذه الخواص وتعتمد على عوامل مختلفة تتعلق بالتركيب البنائي للبلاستيك، مثل الوزن الجزيئي، التشابك والتفرع "Crosslinking & Branching"، نوع وآلية طريقة البلمرة، الملدنات، والإضافات المستخدمة. كما تتأثر بعدد من العوامل الكيميائية المتعلقة بالتركيب الكيميائي مثل الاستقطاب، وشكل ونوع السلاسل، وتركيب البوليمر سواءً كان أليفاتياً، أو

أروماتياً. هناك عوامل أخرى بيئية "Environmental Factors"مثل درجة الحرارة، وزمن الإجهاد وسرعة الإجهاد "Rate of stressing"، وسعة الإجهاد "Stress amplitude"، والضغط، ونوع التشوه "Deformation"، والانسياب أو ما يطلق علية القص"Shear"، والشد "Tensile"، والانضغاط "Compression"، والالتواء "Bending". لذا فإن دراسة الخواص الميكانيكية للبوليمرات معقدة جداً نظراً لتعدد المتغيرات، والعوامل المؤثرة على الخاصية الواحدة، ومن أهم الخواص الميكانيكية ما يلي [4]:

1.1.7.1. قوة الشد "Tensile Strength"

قوة الشد هي القوة اللازمة لقطع عينة البلاستيك بسرعة شد "سحب" ثابتة " Stretching Rate"، ومنها يمكن تصنيف البلاستيك بأنها ضعيفة أو لينة، أو بلاستيك هش "Brittle"، أو بلاستيك صلد وقوي، أو بلاستيك مرن وقوي، أو بلاستيك صلد ومتين جداً [20].

2.1.7.1. الإجهاد أو التوتر"Stress- strain"

تعتبر خاصية الإجهاد أو التوتر من الخواص الهامة للبلاستيك، والتي تسهم في التعرف على المتانة، والمرونة، وأقصى جهد يمكن أن يتحمله، وأقصي استطالة، ويمكن بواسطة هذه الخاصية تصنيف البوليمرات إلى هشة "Brittle"، أو قابلة للسحب "Ductile"، أو مرنة "Elastic Polymers". تتأثر خواص الإجهاد والتوتر بعدة عوامل مثل درجة الحرارة، معدل الشد "Rate of Strain"، والضغط، كما تتأثر بوجود الملدنات حيث تقل قوى الشد والاستطالة "Elongation" بزيادة نسبة الملدنات. أما المواد المالئة فوجودها يعمل على تقليل الاستطالة، وزيادة الشد، ويعتمد ذلك على نوع ونسبة المواد المالئة [4].

3.1.7.1. الخواص الانزلاقية "Creep Properties"

تعتبر الخواص الانزلاقية من الخواص الهامة من الناحية التطبيقية، وهي تعبر عن مقدار التغير، أو التشـــوه، أو التوتر النـاتج عن إجهـاد ثـابـت بمرور الوقت. يمكن قيـاس الخواص الانزلاقيـة للبلاســتيـك إمـا تحـت تـأثير التوتر / الإجهـاد "Tension"، او الانضـــغـاط "Compression"، أو الانسياب / القص "Shear"، أو الانثناء / الطي "Flexure"، أو الالتواء / اللي "Torsion"، حيث يتم قياس التغير في الطول تحت تأثير إجهاد ثابت. تكمن أهمية تحديد الخواص الميكانيكية في قياس التغير في الخواص الميكانيكية كدالة للزمن، لأن الزمن ودرجة الحرارة من العوامل الرئيسية المهمة التي تؤثر على الخواص الميكانيكية [4].

4.1.7.1. استرخاء الجهد "Stress Relaxation"

خاصية استرخاء الجهد هي خاصية عكس خاصية الانزلاق، ويقصد بها تغيير الجهد اللازم للحفاظ على التوتر أو الاستطالة الثابتة مع مرور الزمن. يعتمد استرخاء الجهد على عدة عوامل أهمها درجة الحرارة، حيث أن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى انخفاض معامل الاســترخاء، وخاصة عند وصول درجة الحرارة إلى درجة حرارة التزجيج "Tg" للبلاستيك، ويقصد بمعامل الاسـترخاء "Relaxation Modulus" النسـبة بين الجهد والاسـتطالة. يعتمد معامل الاسـترخاء اعتمادا كبيراً على الوزن الجزيئي للبوليمر، وخاصـــة عندما تكون درجة الحرارة فوق درجة التزجيج [4]. يزداد معامل الاسـترخاء بزيادة الوزن الجزيئي، بينما يقل مع زيادة درجة التشـابك "Crosslinking" [4].

5.1.7.1. قوة التصادم "Impact Strength"

تعتبر خاصية قوة التصادم مقياس لقوة البلاستيك على مقاومة الانكسار تحت تأثير الإجهاد، وفي السرعات العالية. فمن الطبيعي أن المنتجات البلاستيكية لا تنكسر عند ارتطامها بالأرض،

أو ارتطامها مع بعض، أو الأجسـام الأخرى. لذا فإن مقياس قوة التصـادم والتي يعبر عنها " بطاقة الكسر"، هي مقدار الطاقة اللازم لكسر البلاستيك تحت ظروف قياسية محددة من درجة الحرارة والرطوبة، وغيرها. عادة قوة التصـادم للبلاسـتيك القابل للسـحب "Ductile" أعلى من قوة التصادم للبلاستيك الهش "Brittle".

تتأثر قوة التصـادم بوجود المواد المالئة " الحشـوات" وخاصـة الألياف "Fibers" التي تعمل على زيادة قوة التصـادم وخاصـة للبلاسـتيك الهش مثل راتنجات الفينوبلاسـت " Phenoplast Resin"، حيث تعمل المواد المالئة على توزيع الإجهاد على حجم أكبر من البوليمر، وتقلل من احتمالية تركيز الإجهاد، وأيضـاً تمنع نمو وتكوين الشـقوق الصـغيرة "Cracks" الناتجة عن التصـادمات. بينما المواد المالئة غير الألياف مثل كربونات الكالسـيوم مع البولي سـتيرين مثلا تقلل من قوة التصـادم، حيث أنه في مثل هذه الحالات تعمل المواد المالئة على تركيز الإجهاد بدلاً من توزيعه [4].

2.7.1. الخواص الميكانيكية الديناميكية "Dynamic Mechanical Properties"

تبين الخواص الميكانيكية الديناميكية في ظروف معينة قياسـات اسـتجابة "رد الفعل" لتشـوه البوليمرات لبعض أنواع الجهد المتذبذب "Periodical Stress"، حيث يتغير تشوه البوليمر الناتج عن القوى المؤثرة عليه مع الزمن. يمكن قياس معامل المرونة "Elastic Modulus"، والتضـاؤل الميكانيكي "Mechanical Damping" في آن واحد. يقصـد بالتضـاؤل الميكانيكي مقدار الطاقة المنتشـرة على هيئة حرارة خلال تشـوه العينة أثناء إجراء الاختبار. أما معامل المرونة فقد يمكن التعبير عنه بمعامل القص "Shear Modulus"، أو معامل يونج "Youngs Modulus" حسـب الطريقة المستخدمة [4].

المواد المرنة "Elastic Materials" هي تلك المواد التي ليس لها تضاؤل ميكانيكي، أي أنه عند تسليط إجهاد عليها فإن طاقة الإجهاد تخزن دون أي استنفاذ، حيث تعود هذه الطاقة المخزنة بشكل آخر عند زوال المؤثر أو الجهد، ومن أمثلة هذه المواد الخيط المطاطي الذي تختزن فيه الطاقة عند السحب، وعند زوال قوة السحب عنها ترجع إلى ابعادها الأولية ، وعلى العكس من ذلك المواد التي تستهلك جميع الطاقات الواقعة عليها وتحولها إلى حرارة مثل السوائل اللزجة، وأما البوليمرات فهي تحتل مرتبة وسط بين النوعين، لذا يطلق عليها المواد المرنة اللزجة "Visco-elastic" [4].

تعد الخواص الميكانيكية الديناميكية "Dynamic Mechanical Properties" من أهم الخواص التي تحدد الاختيار المناسب للبوليمرات في مختلف التطبيقات، حيث أنها تعبر عن تغير خواص البوليمرات مع درجة الحرارة.

تستخدم المواد ذات التضاؤل الميكانيكي العالي في التطبيقات التي تستلزم خفض الأصوات، وتقليل الضوضاء، ومنع الترددات، مثل تغطية أرضيات المسارح، والسينمات، والمستشفيات [4].

تستخدم الخواص الميكانيكية الديناميكية أيضاً كوسيلة لتحديد نسب المواد المالئة، أو الملدنات، وتستخدم أيضاً لتتبع بعض التفاعلات المصاحبة لعمليات البلمرة، مثل تفاعلات التقسية، أو التشابك، أو التحلل "Degradation".

تتأثر الخواص الميكانيكية الديناميكية بعدد من العوامل مثل **درجة الحرارة**، حيث تعمل زيادة درجة الحرارة على خفض معامل المرونة. **درجة التشابك** لها تأثير كبير وخاصة عندما تكون درجة الحرارة أعلى من درجة التزجيج، حيث أن التضاؤل الميكانيكي يقل بزيادة درجة التشابك.

تؤثر **درجة البلورة** "Degree of Crystallinity" أيضاً على الخواص الميكانيكية الديناميكية، حيث أن معامل المرونة يزداد بزيادة درجة التبلور [4].

3.7.1. خواص ميكانيكية أخرى

هناك عدد أخر من الخواص الميكانيكية تختص بنوع معين من الاستخدامات، مثل اللمعانية "Glossy "، وقياس درجة حرارة التشوه "Distortion Temperature"، وقياس الصلابة "Hardness"، ومقاومة الخدش "Scratch Resistance"، ومقاومة الاحتكاك " Friction Resistance"، وبعض الخواص الأخرى بالبوليمر المنصهر مثل معامل السيولة " Melt Index"، ومقاومة البوليمرات للتشقق تحت تأثير الإجهاد "Stress Cracking Resistance" [4].

8.1. تحليل البلاستيك

يقصد بالتحليل كافة الاختبارات اللازمة لتحديد خواص البوليمرات وتشمل التحليل الكيميائي النوعي "Qualitative Analysis"، والتحليل الحراري "Thermal Analysis" مثل الثبات الحراري " Thermal Stability"، والمثبتات الضوئية "Photo Stabilizers"، ومضادات الأكسدة " Antioxidants"، والتحليل الوزني الحراري "Thermo-gravimetric"، والاختبارات الطيفية [20].

1.8.1 التحليل الحراري "Thermal Analysis"

يرمز للتحاليل الحرارية للبوليمرات بالرمز "TA"، وهي طرق لقياس خواص المواد بتغيير درجة حرارتها، وتعد من اهم الطرق لمعرفة وتحديد الخواص الحرارية للبوليمرات ومدى وملاءمتها للاستخدامات النهائية، هناك أربعة طرق معروفة ومعتمدة في قياس الخواص الحرارية للمركبات البوليمرية وهي: طرق التحليل الوزني الحراري " Thermogravimetric Analysis (TGA)"، وطرق المسح الضوئي التفاضلي " Differential Scanning Calorimetry (DSC)"، وطرق التحليل الحراري التفاضلي "Differential Thermal Analysis (DTA) "، وطرق التحليل الحراري الميكانيكي "Thermo mechanical Analysis (TMA)" [18،19].

2.8.1. التحليل الوزني الحراري

تضـــم طرق قياس التغير في وزن البوليمر عند تغير درجة الحرارة، أو عند درجة حرارة ثابتة لفترات زمنية مختلفة، وتتمثل أهمية هذه الاختبارات في تحديد مدى الثبات الحراري للبوليمر، وتحديد درجة الحرارة التي يتفكك عندها. كما تســتخدم هذه الطرق في تعيين مدى فاعلية بعض المثبتات الحرارية التي تضـــاف لزيادة الثبات الحراري للبوليمر، كما يمكن قياس ســرعة تحلل البوليمر، وحســاب طاقة التنشــيط "Activation Energy" اللازمة لعملية التحلل (20،4).

3.8.1. التحليل الطيفي

يســتخدم التحليل الطيفي "Spectroscopic Analysis" في تعيين التركيب الكيميائي للمركبات العضـــوية، وغير العضـــوية، ومنها البوليمرات والكوبليمرات. حيث يمكن تحديد ومعرفة طبيعة الســلاســل البوليمرية، وتحديد خطوات البلمرة المختلفة، كما يمكن معرفة درجة التفرع " Branching" في السلاسل، والترتيب الفراغي للسلاسل، وغيرها (20،4).

تشـــمل طرق التحليل الطيفي كل من: طرق أطياف الأشـــعة تحت الحمراء " Infra-Red Spectra"، وطرق الأطياف فوق البنفســـجية Ultraviolet Spectra"، وطرق أطياف الرنين المغناطيسي "Nuclear Magnetic Resonance (NMR)".

الفصل الثاني

النفايات البلاستيكية والمخاطر البيئية

الفصل الثاني

النفايات البلاستيكية والمخاطر البيئية

2. تمهيد

لا تقتصر النفايات البلاستيكية في البيئة البحرية على تلك الصور المتعارف عليها والخاصة بالقمامة الشاطئية والقطع البلاستيكية الكبيرة العائمة على المسطحات المائية فقط، ولكن تعد "الجزيئات الدقيقة للغاية" هي الأخطر، حيث يتعذر اكتشافها بالعين المجردة. ويُستخدم مصطلح التلوث "بالنفايات البلاستيكية الدقيقة" في الأدبيات العلمية للتعبير عن التلوث الناتج عن انتشار الجزيئات الدقيقة للنفايات البلاستيكية الأصغر حجما من 5 مم في البيئات البحرية، وتحتوي نفايات البلاستيك في الغالب على خليط من المواد الكيميائية، والإضافات التي قد تثير بعض المخاطر المحتملة، ويعمل تراكمها على الإضرار بالإنسان، والحياة البرية، والأراضي، والمسطحات المائية، والحيوانات البحرية.

1.2. الإنتاج العالمي من البلاستيك

زاد الإنتاج العالمي للبلاستيك بوتيرة متسارعة وخاصة في العقود الثلاثة الأخيرة، حيث قفز من نحو 100 مليون طن عام 1989 ليبلغ حوالي 348 مليون طن عام 2017، [1،16]. يبين الشكل (16) تطور الإنتاج العالمي من البلاستيك خلال الفترة (1950-2017) [7].

الشكل (16): التطور العالمي لإنتاج البلاستيك (1950-2017)

المصدر: The Statistics Porta, PlasticsEurope (PEMRG) / Conversio Market & Strategy GmbHI

*اجمالي الإنتاج "يشمل المواد البلاستيكية (اللدائن الحرارية، والبولي يوريثان، والمواد اللاصقة، والطلاء، ومانعات التسرب، وألياف البولي بروبيلين).

*لا يشمل الإنتاج كل من ألياف البولي إستر، وألياف البولي أكريلات"PA"، وألياف البولي أكريلك."

تعتبر دول منطقة أسـيا أكبر منتج للبلاسـتيك في العالم عام 2017، ومثل إنتاجها حوالي50.1 % من إجمالي الإنتاج العالمي، بطاقة إنتاجية بلغت نحو 174 مليون طن سـنوياً "يمثل إنتاج الصين 29.4 %، اليابان 3.9 % فيما يبلغ إنتاج باقي دول منطقة أسيا 16.8 %"، وتأتي دول منطقة أوروبا كثاني أكبر منتج للبلاسـتيك بطاقة بلغت نحو 65 مليون طن سـنوياً، وتمثل 18.5 % من إجمالي الإنتاج العالمي، ثم تأتي في المرتبة الثالثة دول منطقة التجارة الحرة لأمريكا الشمالية "NAFTA" بنسبة بلغت نحو 17.7% ، ثم دول منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا بنسـبة 7.1 %، فدول أمريكا اللاتينية بنسـبة 4 %، وأخيرا تأتي دول منطقة كومنولث

الدول المستقلة "CIS" بنسبة 2.6 % من إجمالي الإنتاج العالمي. يبين الشكل (17) توزع نسب الإنتاج العالمي من البلاستيك في المناطق الرئيسية من العالم عام 2017 [16،1].

شكل (17): توزع نسب الإنتاج العالمي من البلاستيك في المناطق الرئيسية من العالم عام 2017

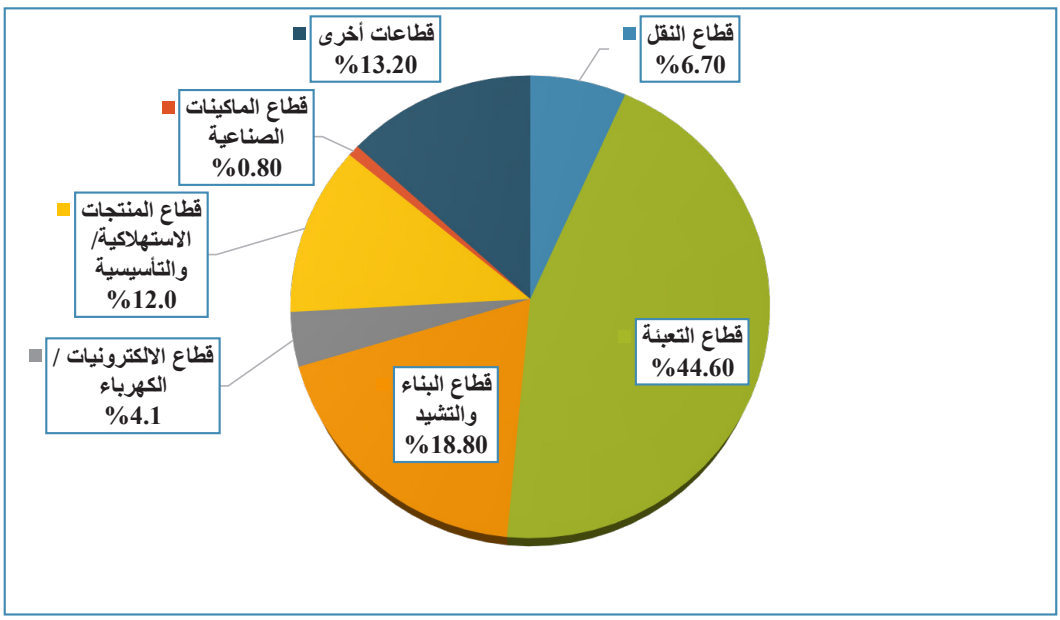
المصدر: PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) / Conversio Market & Strategy GmbH,2018

استهلك قطاع البتروكيماويات في عام 2019 نحو 14 % من إجمالي الاستهلاك العالمي من النفط، ونحو 8 % من إجمالي استهلاك الغاز، ينتج عنها حوالي 400 مليون طن من الغازات والانبعاثات الملوثة للبيئة [31،23،22].

2.2 استخدامات البلاستيك

سمحت الخواص المتميزة للبلاستيك باستخدامه في مختلف التطبيقات، والقطاعات كقطاع التعبئة، والنقل، والمعدات الكهربائية والإلكترونية، والمنسوجات، والبناء، وقطاعات أخرى. ويعد قطاع التعبئة أكثر القطاعات استهلاكاً للأنواع المختلفة من البلاستيك نظراً لمميزاته، وسهولة التشكيل في أشكال مختلفة ولاسيما في مجال المواد الغذائية، والمشروبات، فضلاً عن خفة الوزن، مما يسهم في سهولة النقل، والمناولة. يبين الشكل (18) توزع نسب استهلاك أنواع البلاستيك الأساسية في القطاعات الرئيسية ويبين الجدول (3) توزع نسب استخدامات أنواع البلاستيك الأساسية في القطاعات الرئيسية.

شكل (18): توزع نسب استهلاك أنواع البلاستيك الأساسية في القطاعات الرئيسية



المصدر: Geyer, Jambeck and Law (2017)، *Production, use, and fate of all plastics ever made*

الجدول (3): توزع نسب استخدامات أنواع البلاستيك الأساسية في القطاعات الرئيسية

قطاع السوق	بولي إيثيلين منخفض/ وخطي منخفض الكثافة	بولي إيثيلين عالي الكثافة	بولي بروبيلين	بولي ستيرين	بولي فينيل كلوريد	بولي إيثيلين تيرفيثالات	بولي يورثان	أخرى	إجمالي % البلاستيك المستخدم	إجمالي الإنتاج مليون طن
النقل	%0.10	%0.80	%2.50	%0.00	%0.30	%0.00	%1.60	%1.40	**%6.70**	23.9
التعبئة	**%13.50**	**%9.30**	**%8.20**	**%2.30**	**%0.90**	**%10.10**	**%0.20**	**%0.10**	**%44.60**	**155.2**
البناء والتشييد	**%1.10**	**%3.30**	**%1.20**	**%2.20**	**%8.10**	**%0.00**	**%2.40**	**%0.50**	**%18.80**	**65.4**
الإلكترونيات والكهرباء	%0.50	%0.20	%0.90	%0.60	%0.40	%0.00	%0.50	%1.00	**%4.10**	14.3
المنتجات الاستهلاكية والتأسيسية	%2.90	%1.70	%3.80	%1.80	%0.60	%0.00	%1.00	%0.20	**%12.00**	41.7
الماكينات الصناعية	%0.20	%0.10	%0.20	%0.00	%0.00	%0.00	%0.30	%0.00	**%0.80**	2.7
أخرى	%1.70	%0.90	%4.20	%0.70	%1.50	%0.00	%2.20	%1.70	**%12.90**	44.80
الإجمالي	%20	%16.30	%21	%7.60	%11.80	%10.20	%8.20	%4.90	%100	**348.0**

المصدر: Geyer, Jambeck and Law (2017)، *Production, use, and fate of all plastics ever made*

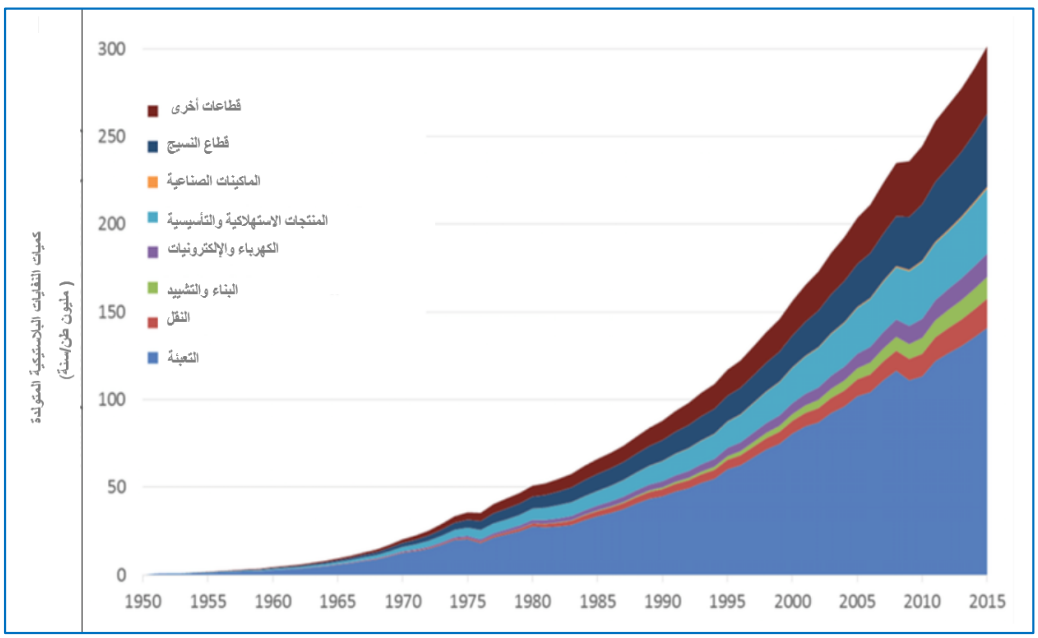
يوضح الشكل (18)، وجدول (3) أن قطاع التعبئة يمثل أعلى القطاعات استهلاكاً للبلاستيك بأنواعه الرئيسية المختلفة بكميات بلغت حوالي 155.2 مليون طن سنوياً، وهو ما يعادل نحو 44.6 % من إجمالي استهلاك القطاعات الرئيسية الأخرى، يليه قطاع البناء والتشييد بكميات بلغت حوالي 65.4 مليون طن سنوياً، وبنسبة بلغت حوالي 18.8%.

على الرغم من الدور الهام الذي يقوم به البلاستيك في تنمية الاقتصاد العالمي، وزيادة مستويات إنتاجية الموارد "على سبيل المثال، يمكن للتعبئة والتغليف البلاستيكي أن تقلل من هدر الطعام عن طريق إطالة عمر التخزين، وخفض استهلاك الوقود المستخدم في النقل نظراً لخفض أوزان العبوات" [25] ، إلا أن أحد أهم سلبيات استخدامات البلاستيك أنه لا يتم استغلاله الاستغلال الأمثل، ومعظمه يستخدم لمره واحدة فقط ، ويُفقد حوالي 95 % من البلاستيك ذو الاستخدامات قصيرة الأجل " عادة 6 أشهر أو أقل" [28]، وهو ما يعني خسارة ما قيمته 80-120 مليار دولار سنوياً من الاقتصاد العالمي [25]. بالإضافة إلى التكلفة المرتبطة بانبعاثات الغازات الملوثة للبيئة الناتجة عن إنتاج البلاستيك، والتي يقدرها بشكل متحفظ برنامج الأمم المتحدة للبيئة "UNEP" بنحو 40 مليار دولار أمريكي سنويًا، تمثل هذه التكلفة بما يتجاوز ربح صناعة التعبئة والتغليف في المستقبل، ومن المتوقع أن تزداد هذه القيمة مع النمو القوي لحجم الإنتاج العالمي.

3.2. النفايات البلاستيكية الشائعة

تشير بعض التقديرات العالمية إلى أنه تم إنتاج نحو 8.3 مليار طن من منتجات البلاستيك المختلفة منذ بداية الإنتاج في خمسينيات القرن الماضي حتى الأن، نتج عنها ما يقرب من حوالي 6.3 مليار طن من النفايات البلاستيكية [30،31]. فيما أنتج العالم كميات من النفايات البلاستيكية، والإضافات بلغت حوالي 300 مليون طن في عام 2015 فقط، يبين الشكل (19) كميات النفايات البلاستيكية الأساسية الناتجة عن الاستخدامات في القطاعات الرئيسية في الفترة (1950-2015).

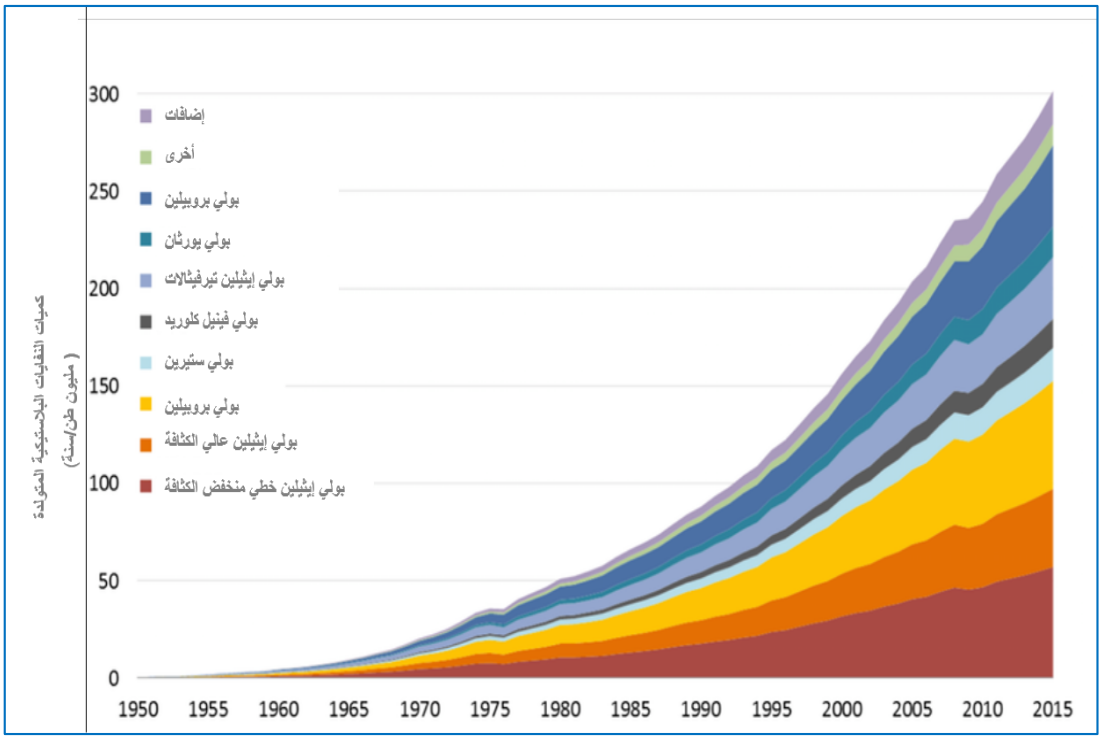
الشكل (19): كميات النفايات البلاستيكية الأساسية الناتجة عن الاستخدامات في القطاعات الرئيسية في الفترة (1950-2015)



المصدر: Plastic, Production, use, and fate of all plastics ever made, SCIENCE ADVANCES | RESEARCH ARTICLE, Copyright © 2017

تعد نفايات البولي إيثيلين عالي، ومنخفض الكثافة، "HDPE وLDPE"، والبولي بروبيلين "PP"، الأكثر انتاجاً نظراً لاستخدامها على نطاق واسع في عدد من القطاعات، وخاصة قطاع التعبئة والتغليف، وتمثل نسبتها نحو 50 % من إجمالي النفايات البلاستيكية المنتجة، لأنه غالبا ما يتم التخلص منها بعد وقت قصير، ومعظمها يستخدم لمره واحدة "Single Use"، يبين الشكل (20) أنواع وكميات النفايات البلاستيكية الأساسية الناتجة من القطاعات الصناعية في الفترة (1950-2015).

الشكل (20): أنواع وكميات النفايات البلاستيكية الأساسية الناتجة من القطاعات الرئيسية في الفترة (1950-2015)



المصدر: Plastic, Production, use, and fate of all plastics ever made, SCIENCE ADVANCES | RESEARCH ARTICLE, Copyright © 2017.

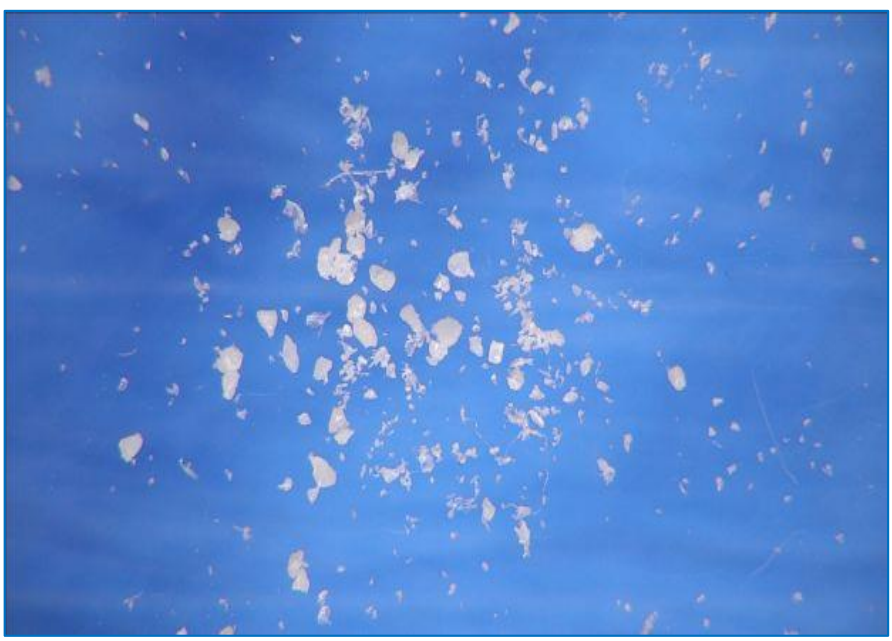
4.2. النفايات البلاستيكية والبيئة البحرية

لا تقتصر النفايات البلاستيكية في البيئة البحرية على تلك الصور المتعارف عليها والخاصة بالقمامة الشاطئية والقطع البلاستيكية الكبيرة العائمة على المسطحات المائية، ولكن تعد "الجزيئات الدقيقة للغاية"، والتي تتواجد على شكل عوالق في مياه البحار والمحيطات هي

الأخطر، حيث يتعذر اكتشـــافها بالعين المجردة، كما أنه لا يمكن تمييزها بســـهولة عن العوالق الأخرى الموجودة بمياه البحار والمحيطات بشكل طبيعي [36].

يُستخدم مصطلح التلوث "بالنفايات البلاستيكية الدقيقة" في الأدبيات العلمية وفق دورية "ساينس" Science، لوصف التلوث الناجم عن انتشار الأجزاء البلاستيكية الدقيقة في البيئات البحرية الأصـــغر من 5 مم [36]، يبين الشـكل (21) العوالق البلاســتيكية الدقيقة في مياه البحار والمحيطات [37].

الشكل (21): العوالق البلاستيكية الدقيقة في مياه البحار والمحيطات

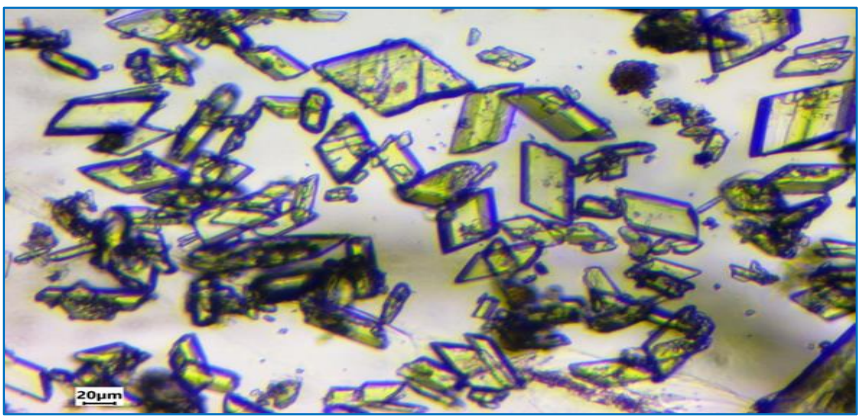


المصدر: https://www.irishtimes.com/news/science/a-lot-to-digest-are-nanoplastics-bad-for-human-health-

هناك مصدران رئيسيان للنفايات الدقيقة، المصدر الأول هو قطع البلاستيك كبيرة الحجم، التي تم تفتيتها أو كسرها إلى أجزاء صغيرة ودقيقة، بينما المصدر الثاني ينتج عن الحبيبات الدقيقة

الموجودة ضمن بعض أنواع مستحضرات التجميل، والمنتجات الدوائية، وعبوات المنظفات، والألياف المستخدمة في صناعة الملابس، يبين الشكل (22) صورة تحت المجهر لجزيئات بلاستيك من البولى بروبيلين والمستخدم في تصنيع عبوات أحد أنواع المنظفات [36].

الشكل (22): صورة تحت المجهر لجزيئات بلاستيك من البولى بروبيلين والمستخدم في تصنيع عبوات أحد أنواع المنظفات



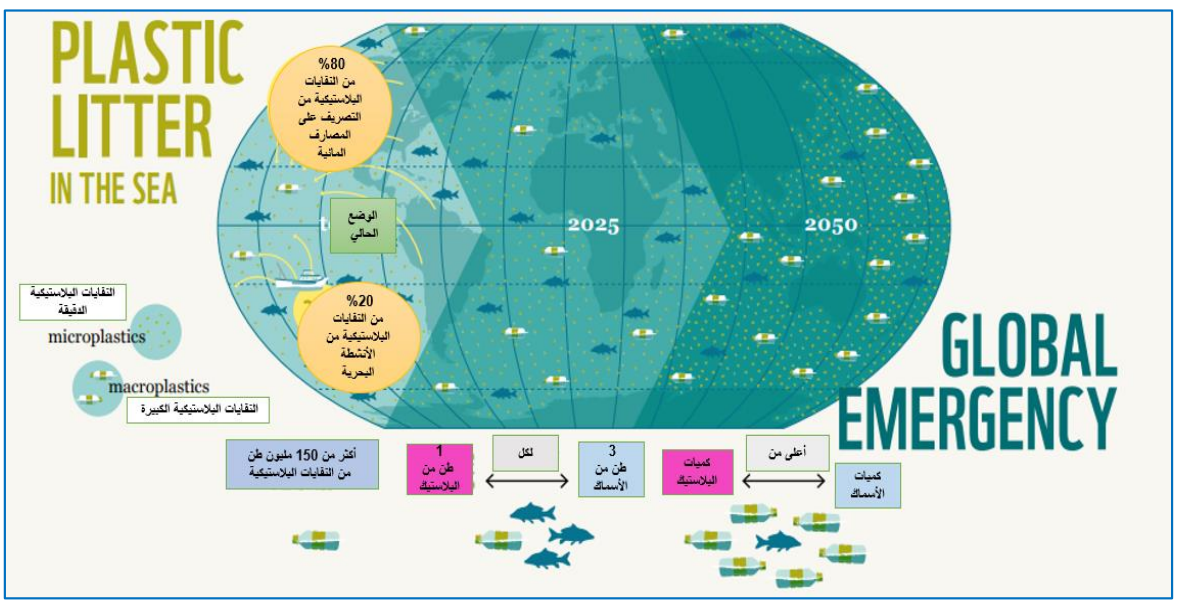
المصدر:- https://www.scientificamerican.com/arabic/articles/news/the-first-assessment-of-micro-plastic-waste-in-egyptian-marine-environment/

1.4.2. التلوث البيئي للمسطحات المائية

تشـــير بعض التقديرات إلى وجود أكثر من 150 مليون طن من النفايات البلاســـتيكية في المحيطات، ويتسـرب إليها كل عام ما لا يقل عن 8 مليون طن [34،35]، تقدر تكلفتها الاقتصـادية العالمية بحوالي 13 مليار دولار أمريكي سنوياً، كضرر بيئي للنظم الإيكولوجية البحرية، يشمل ذلك الخسائر المالية التي تتكبدها مصائد الأسماك، والسياحة، والوقت المستنفذ لتنظيف الشواطئ [35].

تمثل العبوات، والأكياس البلاســـتيكية أغلب تلك النفايات، وتعادل كمياتها إلقاء محتويات شـــاحنة لجمع القمامة في المحيط كل دقيقة، مما يعني أن المحيط يحتوي على حوالي طن من نفايات البلاســـتيك لكل 3 طن من الأســـماك، وإذا لم تتخذ الإجراءات اللازمة فمن المتوقع أنه بحلول عام 2050 ستكون كميات النفايات البلاستيكية الملقاة في المحيطات تعادل أربع شاحنات في الدقيقة وهي كميات ستكون أكبر من كميات الأسماك الموجودة [35]. يبين الشكل (23) وضع تلوث البحار والمحيطات الحالي والتوقعات عام 2050.

الشكل (23): وضع تلوث البحار والمحيطات الحالي والتوقعات عام 2050



مصدر: https://wwf.fi/mediabank/11094.pdf

تراكمت النفايات البلاستيكية ،والكيميائية وغيرها من النفايات في المحيطات، مكونة خمس تلافيف **gyres** - حلقات لولبية ضـــخمة- " وهي دورات مائية تجتذب كميات هائلة من النفايات

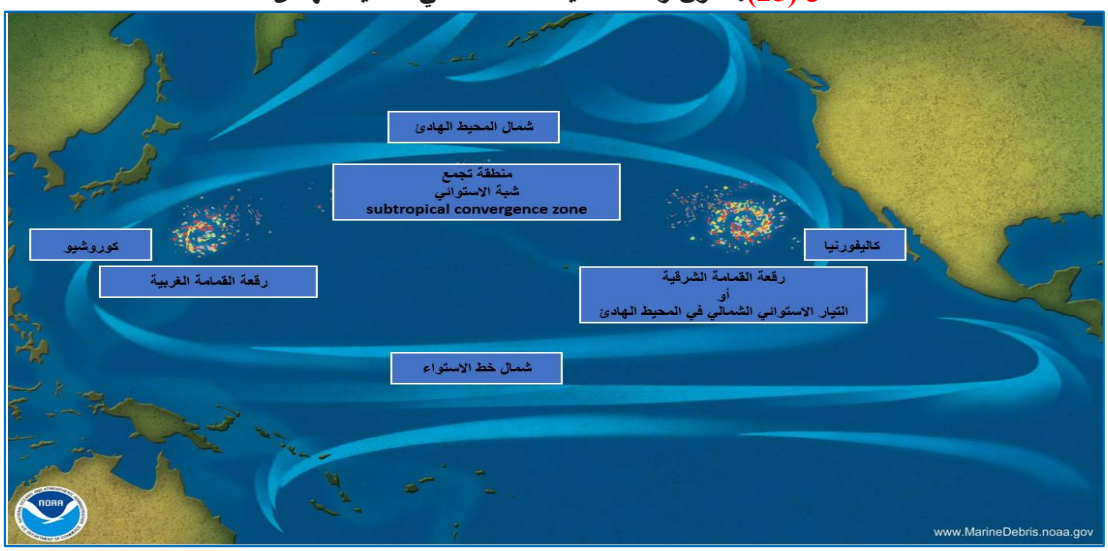
في تياراتها" ، اثنتان في المحيط الهادئ، واثنتان في المحيط الأطلســـي، وواحدة في المحيط الهندي بسبب تصادم التيارات المائية. يبين الشكل (24) دوامات " حلقات" النفايات البلاستيكية في المحيطات.

شكل (24): دوامات "حلقات " النفايات البلاستيكية في المحيطات

المصدر: https://drnm.me/ocean-pollution-infographic/83-best-plastic-waste-images-on-pinterest-2/

تكونت رقعة النفايات في المحيط الهادئ "Great Pacific Ocean Garbage Patch"، بسبب ارتطام تيارات المياه الدافئة القادمة من جنوب المحيط الهادئ بتيارات المياه الباردة القادمة من الشمال، حيث تجمعت النفايات في منطقة الالتقاء، وتعد رقعة النفايات الأضخم في المحيطات، وتسود معظم المساحة بين اليابان وكاليفورنيا، وعلى بعد بضع مئات الكيلومترات من جزر هاواي في الجزء العلوي من هذه الحلقة. كما تبين الأشكال (25،26).

الشكل (25): تكون رقعة النفايات الضخمة في المحيط الهادئ



الشكل (26): شكل رقعة نفايات المحيط الهادئ العظمى

المصدر: https://eradicateplastic.com/10-interesting-facts-about-the-great-pacific-garbage-patch/

وصف رقعة النفايات الضخمة في المحيط الهادئ بأنها "جزيرة نفايات"، هو وصف غير دقيق، حيث أنه إذا كانت هذه النفايات عبارة عن كتلة كبيرة واحدة على هيئة جزيرة لكان من

السهل التخلص منها، ولكن في واقع الأمر تتكون هذه الرقعة من بلايين من الجزيئات الدقيقة من النفايات البلاستيكية ، والتي قد تكون محتجبة تحت سطح المياه، أو تنشر على مدى مساحات شاسعة، ويتفاوت تقدير مساحة "رقعة النفايات الضخمة في المحيط الهادئ" من مليون الى 15 مليون كم^2، وهو ما يمثل نحو 8 %من مساحة المحيط الهادئ، وتشير بعض التقديرات أنها تحتوي على أكثر من 100 مليون طن من النفايات البلاستيكية. ويستغرق وصول النفايات البلاستيكية إلى هذه المنطقة عدة سنوات، ويتوقف ذلك على المكان الذي تأتي منه، فقد تستغرق 6 سنوات إذا كان مصدرها سواحل أمريكا الشمالية، أو عام إذا كان مصدرها سواحل اليابان، ودول منطقة أسيا [35].

يشير تقرير أصدره" الصندوق العالمي للطبيعة "World Wide Fund For Nature " في عام 2018، إلى أن البحر المتوسط، الذي يشكل حوضًا مائيًا شبه مغلق أصبح سادس منطقة بحرية من حيث أعلى نسب النفايات البلاستيكية، وتبلغ حوالي 7% من مجموع نفايات البلاستيك في المسطحات المائية في العالم [35]، ويصل تركيزها إلى نحو 1.25 مليون قطعة لكل كم^2 تقريبًا، وهو ما يمثل نحو 4 أضعاف تركيزها في "رقعة النفايات العظمى" الموجودة في شمال المحيط الهادئ [30]. نتج ذلك عن تخلص خمس دول من معظم نفاياتها البلاستيكية في البحر المتوسط، وهي بالترتيب تركيا (144 طنًّا/ يوميًّا)، وإسبانيا (126)، وإيطاليا (90)، ثم مصر (77)، تليها فرنسا (66)[35]، كما أن حوالي 75 % من شواطئ بريطانيا ملوثة بنفايات بلاستيكية قاتلة. يؤثر تلوث شواطئ البحر المتوسط سلباً على قطاع السياحة في دول الإتحاد الأوروبي، مما يسبب خسائر اقتصادية سنوية تقدر بحوالي 62 مليون يورو [35].

حذرت الهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية في عام 2016 من احتمالات تلوث أنسجة الكائنات البحرية بنفايات البلاستيك، حيث تتأثر بدرجة كبيرة الكائنات البحرية بسبب تلك النفايات، نظراً

للعثور على آثار لبعض المواد المسرطنة في بقايا تحلل نفايات البلاستيك في المحيطات بفعل الأشعة فوق البنفسجية الصادرة من الشمس ونتيجة تفاعلها مع الوسط المالح لمياه المحيط. وجد أن الطيور البحرية يمكن أن تخطئ فرائسها، وتأكل البلاستيك بدلاً منها بسبب الطحالب والبكتيريا التي تتواجد في النفايات البلاستيكية، وما ينتج عنها من رائحة الكبريت القوية التي تعمل على تعطيل حاسة الشم لديها. كما تعمل رائحة البلاستيك أيضًا إلى تضليل الأسماك والتي تجذبها رائحة البلاستيك الصغيرة التي تشبه الرائحة "الكريل" - وهو من القشريات الشبيهة بالروبيان- التي تأكلها. وفي الوقت نفسه، تختار السلاحف البحرية، وقنديل البحر فرائسها عن طريق البصر، حيث تبدو الأكياس البلاستيكية والبالونات جميعها كطعام. [35]، يبين شكل (27) تأثير النفايات البلاستيكية على حياة السلاحف البحرية.

شكل (27): تأثير النفايات البلاستيكية على حياة السلاحف البحرية

المصدر: https://www.ecology.com/2011/09/10/pacific-ocean-plastic-waste-dump/

بينما قد تتعرض الفقمة للموت عندما تتغذى على المخلفات البلاستيكية، نظراً لحساسية جهازها الهضمي، إذ من الممكن أن تُصاب بالعدوى بعد فترة بسيطة، بالإضافة إلى أن كثيراً

من تلك الحيوانات قد تشتبك بها بقايا الأكياس البلاستيكية مما يعمل على إعاقة حركتها، ويجعلها فريسة سهلة للحيوانات والطيور الضارية [35]، يبين الشكل (28) تأثير النفايات البلاستيكية على حياة الفقمة.

شكل (28): تأثير النفايات البلاستيكية على حيوان الفقمة

المصدر: https://www.ecology.com/2011/09/10/pacific-ocean-plastic-waste-dump/

قد تبتلع الثدييات نفايات بلاستيكية عن طريق الخطأ معتقدة أنها تستهلك مصدراً محتملاً للغذاء. ونظراً للحجم الهائل لبعض أفواه الحيتان، فقد تبتلع حطام البلاستيك إلى جانب الأسماك، وقد أظهرت عدد من الفحوصات لبعض الحيتان بعد الوفاة وجود كميات كبيرة من النفايات البلاستيكية في جهازها الهضمي، وأشارت بعض الدراسات إلى أن حوالي 22 % من هذه الحيوانات معرضة لخطر فقدان حياتهم نتيجة التلوث بالبلاستيك [58].

5.2 سوءإدارة النفايات البلاستيكية "Mismanagement"

يمثل سوء إدارة النفايات، والتخلص العشوائي منها التحدي الأكبر الذي يواجه أنظمة إدارة النفايات، فالبلاستيك له قدرة على التسلل إلى النظم البيئية الساحلية. وتشكل النفايات البلاستيكية تهديدات كبيرة بسبب مقاومتها للمعالجات الضوئية، والحرارية، والبيولوجية، وبمجرد التخلص منها على الأرض تتسرب إلى المسطحات المائية [36].

كان ظهور أول دليل على وجود نفايات بلاستيكية في المحيطات في عام 1970، لكنه استغرق وقت طويل حتى أوائل عام 2000، لإجراء مزيد من الأبحاث والدراسات حتى تم التأكد من وجود كميات كبيرة من النفايات البلاستيكية الدقيقة العالقة، أو ما يطلق عليها البلاستيك المجهري". وتم تصنيفها بعد ذلك وفقًا للأصل، والشكل "خرز، أو حبيبات، أو فتات، أو رقائق، أو ألياف"، أو حسب اللون، والحجم. يستخدم وصف الحجم للتمييز بين أحجام قطع نفايات البلاستيك المختلفة، حيث يطلق وصف البلاستيك النانوي على قطع نفايات البلاستيك ذات الحجم الأقل من 1 ميكرون، ويوصف بالبلاستيك الدقيق عندما تكون حجم القطع منه أقل من 5 مم، أما نفايات البلاستيك التي يكون حجم القطع منها اقل من 2.5 سم فيطلق عليها اسم البلاستيك المتوسط، أو يطلق اسم نفايات ماكرو بلاستيك عندما يكون حجم القطع منها أقل من 1 متر"، أو نفايات ميجا بلاستيك والتي يكون حجم القطع منها أكبر من 1م [57].

بتحليل مستويات تركيزات النفايات البلاستيكية في المحيطات والبحار وجد أن نصف كميات النفايات البلاستيكية الملوثة، للمسطحات المائية تأتي من أربع دول رئيسية وهي الصين، والفلبين، وإندونيسيا، وفيتنام، بينما يأتي النصف الآخر إلى حد كبير من الدول النامية الأخرى في آسيا، وأفريقيا، وأمريكا اللاتينية. يوجد 12 دولة في آسيا، و5 دول في أفريقيا من بين أكبر 20 دولة مصنفه من حيث سوء إدارة النفايات البلاستيكية [27]. تسببت كمية النفايات البلاستيكية

المنتجة في الصين، والتي يتم التخلص منها في مياه المحيطات، في احتلالها المرتبة الأولى من بين 192 بلد في ترتيب الدول على مؤشر البيئة السنوى الذي تصدرة منظمة الصحة العالمية من حيث سوء إدارة النفايات البلاستيكية على المسطحات المائية، وصنفت الولايات المتحدة الأمريكية في المرتبة العشرين، وجاءت ثلاث دول عربية من بين قائمة العشرين، وشملت مصر في المرتبة السابعة، والجزائر في المرتبة الثالثة عشر، ثم المغرب في المرتبة الثامنة عشر. يبين الجدول (4) قائمة بتصنيف أعلى 20 دولة من حيث سوء إدارة النفايات البلاستيكية على المسطحات المائية.

جدول (4): قائمة بتصنيف أعلى 20 دولة من حيث سوء إدارة النفايات البلاستيكية على المسطحات المائية

الترتيب	الدولة	كميات النفايات البلاستيكية (مليون طن /سنة) (Waste Generation Waste%)	% عدم حسن الإدارة للنفايات البلاستيكية (Mismanaged Waste%)	كميات النفايات البلاستيكية الملوثة للمسطحات المائية " المحيط" (Marine Debris) (مليون طن/سنه)
1	الصين	8.82	27.7	3.53-1.32
2	أندونيسيا	3.22	10.1	1.29-0.48
3	الفلبين	1.88	5.9	0.75-0.28
4	فيتنام	1.83	5.8	0.73-0.28
5	سيريلانكا	1.59	5.0	0.64-0.24
6	تايلاند	1.03	3.2	0.41-0.15
7	**مصر**	**0.97**	**3.0**	**0.39-0.15**
8	ماليزيا	0.94	2.9	0.37-0.14
9	نيجيريا	0.85	2.7	0.34-0.13
10	بنجلاديش	0.79	2.5	0.31-0.12
11	جنوب أفريقيا	0.63	2.0	0.25-0.9
12	الهند	0.60	1.9	0.24-0.09
13	**الجزائر**	**0.52**	**1.6**	**0.21-0.08**
14	تركيا	0.49	1.5	0.19-0.07
15	باكستان	0.48	1.5	0.19-0.07
16	البرازيل	0.47	1.5	0.19-0.07
17	بورما	0.46	1.4	0.19-0.07
18	**المغرب**	**0.31**	**1.0**	**0.12-0.05**
19	كوريا الجنوبية	0.30	1.0	0.12-0.05
20	الولايات المتحدة الامريكية	0.28	0.9	0.11-0.04

المصدر: (Jambeck, J. R., et al. "Plastic Waste Inputs from Land into the Ocean." Science, vol. 347, no. 6223, 13 Feb. 2015, pp. 768–771., doi:10.1126/science.1260352).

الفصل الثالث

مفهوم الاقتصاد الدائري وتدوير النفايات البلاستيكية

الفصل الثالث

مفهوم الاقتصاد الدائري وتدوير النفايات البلاستيكية

3. تمهيد

الاقتصـاد الدائري "Circular Economy"، أوما يطلق عليه "الاقتصـاد التدويري"، هو مصـطلح عام يعني منظومة الاقتصـاد الصـناعي الذي لا ينتج عنه نفايات نهائية إلا بحدود ضـيقة جدا، وبالتالي لا يسـبب تلوثا للبيئة الأمر الذي يؤدي إلى اسـتخدام أكثر فاعلية وكفاءة للمواد، وبما يقود إلى تحقيق التنمية المستدامة. ويتميز بأنه منذ بداية تصميمه يأخذ في الاعتبار تدوير كافة المدخلات، والمنتجات، وإعادة اسـتخدام المنتجات بجودة عالية، وتكون المنتجات المنتجة في إطاره قابلة للإصـلاح، والتجديد منذ تصـميمها بما يضـمن الاسـتفادة منها عدة مرات، كما يتميز بأنه يضع حسابات الربح الاقتصادي بجانب الفوائد البيئية.

تتمثل طرق التخلص من النفايات البلاسـتيكية في طريقتين وهما طرق تدوير النفايات البلاسـتيكية القابلة للتدوير، وطرق اسـترداد وانتاج الطاقة من النفايات البلاسـتيكية غير القابلة للتدوير والمنتهية فترات حياتها. يعتبر إعادة تدوير النفايات البلاسـتيكية من أنجح وأهم طرق المعالجة بشـرط أن ألا تكون تلك النفايات ملوثة، أو تكون قد اسـتعملت من قبل في تعبئة المواد أو الكيماويات الخطرة، أو المعادن الثقيلة كما ينصـح بعدم اسـتعمال منتجاتها في تعبئة المواد الغذائية والمشروبات.

بينما تسـتخدم طرق اسـترداد وإنتاج الطاقة من النفايات البلاسـتيكية، حيث تأتي النفايات البلاسـتيكية في المرتبة الثالثة بعد الغاز الطبيعي والبترول الخام من حيث المحتوى الحراري للطاقة، وتسـتخدم تقنيات التحلل الحراري الحفاز لإنتاج الطاقة منها، خاصـة في محطات توليد الطاقة، والصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة.

ومن جانب اخر يسعى الباحثون إلى إيجاد بدائل مناسبة عن البلاستيك التقليدي، مما أدى مثلا إلى ابتكار وإنتاج البلاستيك الحيوي القابل للتحلل بيولوجيا، وغيرها من الحلول والمبادرات المبتكرة.

1.3. مفهوم الاقتصاد الدائري

يعود الفضل في تطبيق قاعدة الاقتصاد الدائري أو ما يعرف ايضاً بالاقتصاد التدويري، والمتعلقة بإعادة استخدام المنتجات إلى المهندس السويسري "والتر ستاهيل"- Walter R. Stahel - والذي ابتكر قاعدة "من المهد إلى المهد"- Cradle to Cradle عام 1976، والذي سلط الأضواء على إمكانية تجديد الاستفادة من المنتجات عبر تدويرها وإعادة إخراجها في أشكال واستعمالات جديدة لخدمة الاقتصاد والبيئة. يبين الشكل (29) مخطط لمفهوم الاقتصاد الدائري.

الشكل (29): مخطط لمفهوم الاقتصاد الدائري

تشير العديد من الدراسات إلى أن الاقتصاد الدائري سيحدث ثورة في مجال استغلال الموارد الضخمة من النفايات التي لا يخلو منها مجتمع من المجتمعات، وسيجعل منها واحدة من أهم القطاعات ذات القيمة المضافة للكثير من الاقتصادات الوطنية، وخاصة أنها القطاع الإنتاجي الوحيد الذي توجد وفرة في مدخلاته وبتكلفة منخفضة، فقد أشار تقرير صادر عن "منتدى الاقتصادي العالمي" و"مؤسسة إلين مكارثر" عام 2015 إلى أن الاقتصاد الدائري سيوفر على العالم حوالي تريليون دولار بحلول عام 2025، وسيوفر مائة ألف وظيفة جديدة خلال خمس سنوات. كما تستطيع أوروبا أن تقلل انبعاثات الكربون بنسبة 83٪ بحلول عام 2050 مقارنة بمستويات عام 2012. في حين أن دراسات برنامج الأمم المتحدة الإنمائي ذكر أن استراتيجيات الاقتصاد الدائري يمكن أن تساعد الدول النامية على تحقيق التخفيف من آثار تغير المناخ، مع تطوير الصناعات المحلية أيضًا، مما يقلل الاعتماد على المنتجات المستوردة، وبما يسهم في المساعدة على الحد من الفقر [57].

نشرت المفوضية الأوروبية (European Commission-EC) إستراتيجية أوروبا للبلاستيك في الاقتصاد الدائري في عام 2018، الذي يتطلب من جميع الدول الأعضاء إعادة استخدام وإعادة تدوير 50 ٪ من جميع العبوات البلاستيكية بحلول عام 2025، ونحو 55% بحلول عام 2030 [54]. كما اهتمت المؤسسات الصناعية الكبرى في العالم بتطبيقات الاقتصاد الدائري ولا سيما في مجال تحويل النفايات إلى طاقة، حيث يوجد في الوقت الحاضر نحو "700" مصنع حول العالم تعمل في هذا الميدان.

بادرت أيضاً العديد من الشركات الأخرى إلى استخدام النفايات في صناعات أخرى جديدة، مثل استخدام زيوت الطعام المستعملة في إنتاج الوقود، والزيوت للسيارات. فيما استخدمت شركات أخرى منتجات النفايات الصناعية مثل خراطيم المياه والمظلات، وإعادة تدويرها في شكل أحزمة، وحقائب، ومحافظ. كما تقوم شركات أخرى بإعادة تدوير فضلات الورق والأخشاب

في تصـــنيع الورق المقوى والكرتون. فيما تقوم المئات من الشـــركات الصـــينية بإعادة تصـــنيع فضلات الأقمشة، والجلود في صناعة الملابس. كما تقوم بعض الشركات بإعادة صهر وتصنيع الزجاج، والبلاستيك لصناعة الأواني، والعلب الزجاجية والبلاستيكية وغيرها من المنتجات.

2.3. إدارة النفايات البلاستيكية

بعد مرور أكثر من 40 عامًا على إطلاق أول مبادرة لإعادة تدوير النفايات البلاســـتيكية، يتم حالياً جمع حوالي 30٪ فقط من العبوات البلاستيكية بغرض إعادة تدويرها. وعند أخذ قيم الفقد الإضـــافية في عمليات التجميع، الفرز، وعمليات إعادة المعالجة في الاعتبار، نجد أن القيمة الحقيقية والتي يتم اســـتخدامها وإعادة تدويرها قد تصـــل إلى نحو 20٪، ليتم في الغالب إنتاج منتجات بلاستيكية منخفضة الجودة والقيمة، كما لا يمكن إعادة تدويرها مره ثانية بعد الاستخدام [25].

بشكل عام فإن معدل إعادة تدوير النفايات البلاستيكية منخفض، وخاصة نفايات البلاستيك ذات الاســـتخدام الواحد الناتجة من قطاعات التعبئة والتغليف، وهو أقل بكثير من معدلات إعادة التدوير العالمية للورق والتي تصـل إلى حوالي 58 ٪، أو لمنتجات الحديد التي تصـل إلى حوالي 70-90%.

3.3. طرق التخلص من النفايات البلاستيكية

كانت عمليات إعادة تدوير، وحرق البلاستيك ضئيلة للغاية قبل عام 1980، ويمكن تجاهلها، حيث كان يتم التخلص منها مباشـرة بطرق الدفن دون معالجة، أو إلقائها في المسـطحات المائية " البحار والمحيطات". ثم بدأت عمليات الحرق أو الترميد"Incineration" بعد عام 1980، بينما

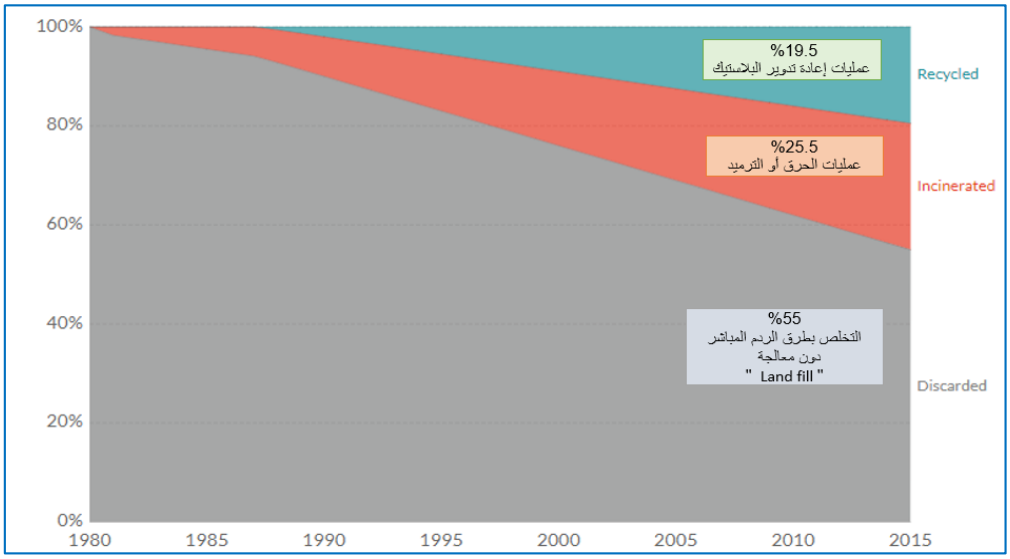
بدأت عمليات إعادة التدوير "Recycling" في عام 1990. يبين الشكل (30) صور بعض الطرق التقليدية السائدة للتخلص من النفايات البلاستيكية حتى عام 1980.

شكل (30): صور بعض الطرق التقليدية السائدة للتخلص من النفايات البلاستيكية حتى عام 1980

المصدر: https://dailynews.co.tz/news/2019-03-225c9494bfe0dbb.aspx

ارتفعت معدلات إعادة التدوير بنحو 0.7 % في المتوسط سنويا خلال الفترة 1980-2015، وبلغت النسب العالمية للتخلص من نفايات البلاستيك في عام 2015، بطرق للدفن المباشر دون معالجة إلى حوالي 55%، وبلغت نحو 25 % لعمليات الحرق والترميد، فيما بلغت نحو 20% لعمليات إعادة التدوير، كما يبين الشكل (31) [29].

الشكل (31): نسب طرق المعالجة للنفايات البلاستيكية في عام 2015



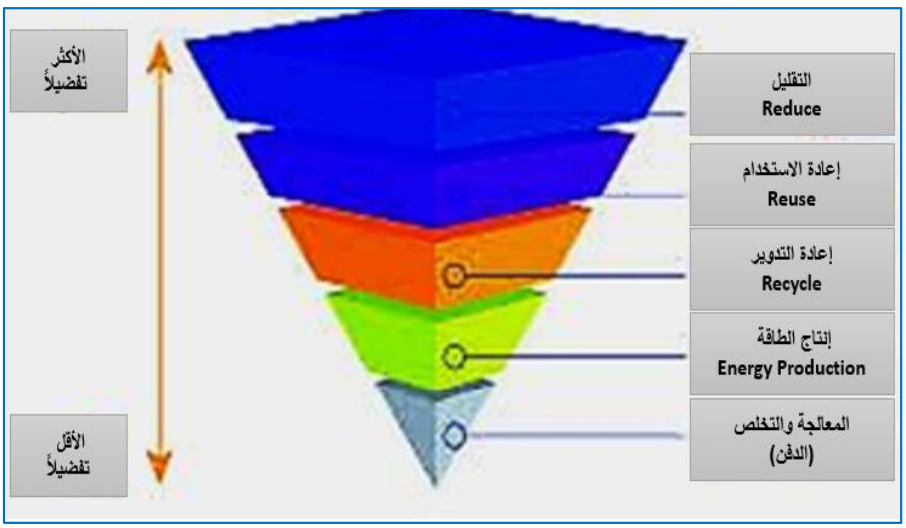
المصدر: Plastic Pollution, https://ourworldindata.org/plastic-pollution

باستقراء الاتجاهات التاريخية من الرسم البياني السابق حتى عام 2050 فإنه من المتوقع أن ترتفع معدلات الحرق إلى 50 %، وتصل نسبة إعادة التدوير إلى 44 %، بينما ستنخفض نسب الدفن المباشر أو ما يطلق علية النفايات المهملة "Straight to Landfill or Discarded" إلى نحو 6% [27].

تعتبر عمليات الحد من النفايات البلاستيكية أحد أسهل الطرق لإدارة النفايات البلاستيكية، ويمكن أن يتم الحد من النفايات من خلال إعادة تدويرها، وتجنب استخدام المنتجات غير القابلة لإعادة الاستخدام مرة أخرى مثل أكياس البلاستيك، وإعادة استخدام الأشياء المستعملة، وشراء الأدوات ذات التصاميم البسيطة.

ويعتبر التقليل "Reduce" هو أفضـل أسـاليب وطرق التخلص من النفايات البلاسـتيكية، يليه إعادة الاسـتخدام "Reuse"، ثم إعادة التدوير "Recycle"، فطرق اسـتخلاص وإنتاج الطاقة، وأخيرا المعالجة والتخلص، كما يبين الشكل (32).

الشكل (32): مخطط الأسلوب الأفضل للتخلص من النفايات البلاستيكية



المصدر: النفايات البلاستيكية وآثارها على البيئة والانسان والطرق الحديثة للاستفادة والتخلص منها

1.3.3. مكبات النفايات

يعتبر دفن النفايات في المكبات في الأرض هو الأسـلوب الأكثر اسـتخداماً للتخلص من النفايات، وعلى الرغم من أن هذه الطريقة هي أكثر الطرق شيوعاً للتخلص من النفايات، إلّا أنها بالتأكيد ليسـت الطريقة الوحيدة. وقد بدأ يقل اسـتخدام هذه الطريقة، لعدم وجود مسـاحات من الأراضـي اللازمة فضـلاً عن زيادة انبعاثات الغازات الضـارة، مما يسـبب العديد من المشـاكل الصحية والبيئية.

2.3.3. ترميد النفايات/ الحرق Incineration

يعتبر ترميد النفايات أو حرقها أحد طرق التخلص من النفايات الصلبة، ويتم فيها حرق النفايات في درجات حرارة مرتفعة لتحويلها إلى بقايا، ومنتجات غازية. من أهم مميزات هذا النوع من أساليب التخلص من النفايات هو تقليل حجم النفايات ما بين 20 -30% من حجمها الأصلي، مما يقلل المساحة المطلوبة لدفنها في الأرض، كما يقل الضغط على مكبات النفايات. تعرف هذه العملية أيضاً باسم "المعالجة الحرارية"، حيث يتم تحويل مواد النفايات الصلبة من خلال الاحتراق إلى حرارة، وغاز، وبخار، ورماد.

3.3.3. تحويل النفايات إلى غاز البلازما (التغويز البلازمي)

يعتبر تحويل النفايات البلاستيكية إلى غاز البلازما شكل آخر من أشكال إدارة النفايات البلاستيكية، وتعد البلازما فهي حالة المادة الرابعة، بعد الحالة الصلبة والسائلة والغازية، وانتشرت هذه التقنية في بدايات هذا القرن [47]، بينما تعتمد تقنية التغويز على تحويل المادة من الحالة السائلة أو الصلبة إلى الحالة الغازية.

يتم استخدام مفاعلات خاصة لرفع درجة الحرارة لأعلى من 2000 ° ف، لكسر الروابط الكيميائية بين العناصر وتحويل كل النفايات البلاستيكية، بما فيها الخطرة بيئياً، إلى غاز اصطناعي "syngas"، والذي يمكن استخدامه في إنتاج الطاقة الكهربائية، أو إنتاج الميثانول اللازم للصناعات البتروكيماوية، أو لإنتاج الوقود السائل مثل وقود الطائرات والديزل [47].

4.3.3. إعادة تدوير البلاستيك

تعتبر عملية إعادة التدوير هي العنصر الثالث في الهرم التسلسلي لمعالجة النفايات، والذي يضم تقليل النفايات، وإعادة استخدامها وإعادة تدويرها، والفكرة وراء إعادة التدوير هي التقليل من استهلاك الطاقة، والحد من حجم مكبات النفايات، والحد من تلوث الهواء والمياه، والحد من

انبعاثات الغازات الملوثة للبيئة، والحفاظ على الموارد الطبيعية لاستخدامها في المستقبل، وزيادة القيمة المضافة للنفايات البلاستيكية. هذا وتعتبر مصطلحات إعادة تدوير البلاستيك معقدة وأحيانًا مربكة بسبب المجموعة الواسعة من طرق إعادة التدوير، ويوجد عدد من سيناريوهات إعادة التدوير "Recycling Models"، من أهمها:

1.4.3.3. الطريقة الأولية لإعادة التدوير "Primary Recycling Model"

يتم في الطريقة الأولية لإعادة التدوير، أوما يطلق عليها أيضاً طرق إعادة التدوير الميكانيكي، إعادة نفايات البلاستيك إلى نفس خواص وجودة الخامة الأساسية، ويتم إعادة تشغيلها لنفس الغرض الأساسي. وهو يتطلب أن تكون النفايات البلاستيكية المراد إعادة تدويرها على درجة كبيرة من النقاوة، وأن تكون خالية تماماً من الشوائب والمُعلقات المكتسبة أثناء تداولها أو استخدامها، لذا فإن هذه الطريقة تتطلب جهد أكثر وتكلفة أكبر [48،53].

2.4.3.3. الطريقة الثانوية لإعادة التدوير "Secondary Recycling Model"

يتم في الطريقة الثانوية لإعادة التدوير إعادة استخدام البلاستيك ذو الجودة الأقل من الأصل لاستخدامات تتناسب مع خواصه الجديدة والتي تنتج من خلط عدد من الأنواع المتوافقة من البلاستيك [48،53]. عادةً ما يستخدم البلاستيك المعاد تدويره لأغراض يكون فيها بديلاً لخامات أخرى مثل الخشب، والحديد وذلك بسبب انخفاض الخواص الميكانيكية فيه. تعد الأباريق، والأطباق البلاستيكية، والأمشاط البلاستيكية بعض نماذج لمنتجات لهذه الطريقة [51].

3.4.3.3. الطريقة الثلاثية لإعادة التدوير "Tertiary Recycling Model"

الطريقة الثلاثية لإعادة تدوير النفايات البلاستيكية هي عبارة عن طريقة كيميائية باستخدام التحلل الحراري للتحلل المائي "pyrolysis of hydrolysis"، يتم خلالها تحويل النفايات البلاستيكية إلى مكوناتها الكيميائية الأولية، والتي يمكن أن يعاد استخدامها مرة أخرى في إنتاج منتجات نهائية بنفس المواصفات، مثل إنتاج القوارير البلاستيكية المستهلكة ذات الاستخدام الواحد من البولي إيثيلين تير فيثالات، أو لإنتاج الوقود [48،53]. وتعتبر هذه الطريقة هي الطريقة الوحيدة المستدامة والمناسبة لمعالجة جميع أنواع النفايات البلاستيكية بما في ذلك النفايات البلاستيكية متعددة الطبقات والتي لا تكون الطرق الأخرى مناسبة لإعادة تدويرها [52].

أصبحت هذه الطريقة شائعة الاستخدام حديثاً، بعد أن أصبح من السهل التعرف على مكونات النفايات البلاستيكية، وبعد أن أصبحت تكنولوجيات التحويل متاحة على نطاق التطبيق التجاري، وذات جدوى اقتصادية، وبيئية مرتفعة [50،51].

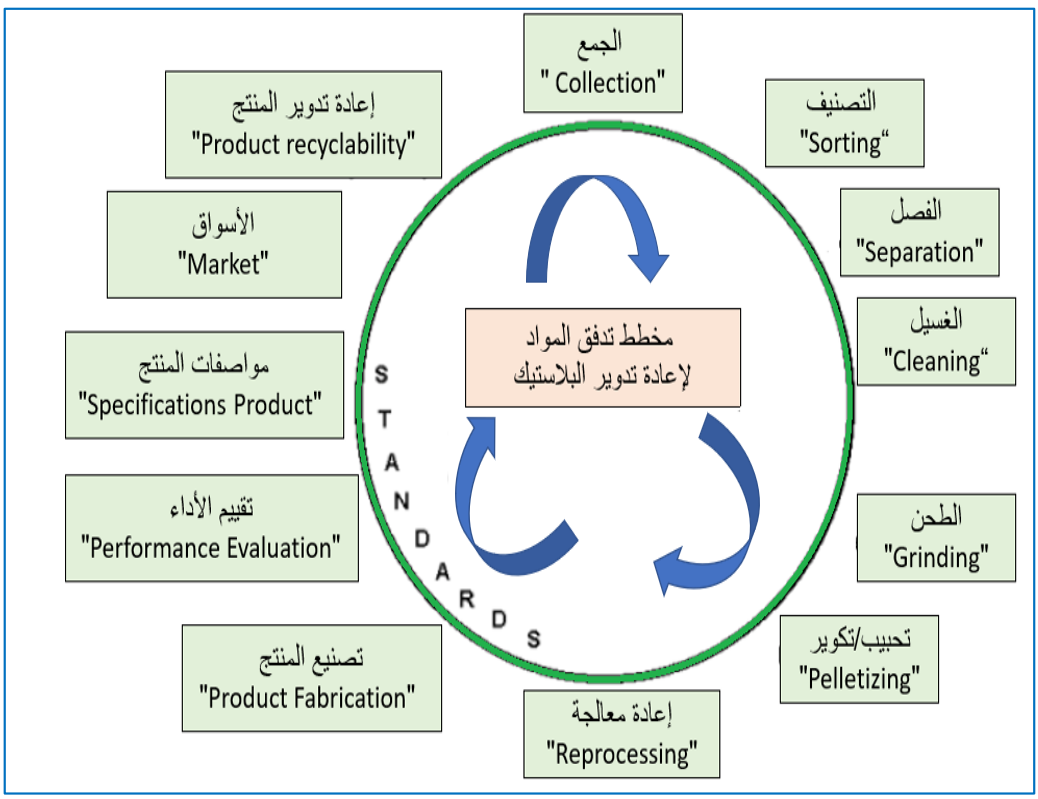
4.4.3.3. الطريقة الرباعية لإعادة التدوير "Quaternary Recycling Model"

وفيها يتم إعادة استخدام النفايات البلاستيكية لإنتاج الطاقة بحرقها للاستفادة من الطاقة الحرارية المختزنة فيها، وتعد هذه الطريقة الأكثر انتشارا واستخداما حيث أن طرق الحرق لا تتطلب أجهزة ومعدات معقدة لإعادة تدوير البلاستيك كما في الطرق الثلاثة الأخرى [48،53]. وإنما يتم حرق النفايات البلاستيكية في محارق خاصة، وتكمن المشكلة في هذه العملية في إنتاج نسب مرتفعة من الملوثات بما في ذلك انبعاث المواد الكيميائية الضارة مثل الديوكسين والفيوران. كما أنه يحظر حرق البلاستيك في معظم الدول المتقدمة [50،51].

4.3. العمليات التي تسبق إعادة التدوير

تسـبق عمليات إعادة تدوير البلاسـتيك عادة عمليات متعددة ومتنوعة الغرض منها دائماً تجهيز، وتحضـير المواد البلاسـتيكية المراد إعادة اسـتخدامها، ويوضـح الشـكل (33) مخطط عمليات إعادة تدوير البلاستيك.

الشكل (33): مخطط عمليات إعادة تدوير البلاستيك



المصدر: Recycled-Plastic Lumber Standards From Waste Plastics to Markets for Plastic Lumber Bridges:

من أهم تلك العمليات ما يلي:

1.4.3. تجميع البلاستيك "Collection"

عملية التجميع هي عملية جمع المواد البلاستيكية المراد إعادة استخدامها من النفايات والعوادم، وتزيد مرحلة التجميع مرحلة أساسية تهدف إلى توفير المادة الخام لإعادة الاستخدام وتبنى عليها مراحل عمليات إعادة التدوير.

تعتبر عملية التجميع من المراحل الصعبة، والمكلفة خصوصاً في الدول والمدن التي لم تضع بعد برامج إدارة النفايات البلاستيكية، وخاصة توافر تحديد محطات أو نقاط تجميع محددة، أو اتباع استراتيجية الفصل من المنبع عبر توعية المستهلكين.

تتم معالجة كل نوع من أنواع البلاستيك بطرق مختلفة ومنفصلة تبعاً لأهداف إعادة التدوير والاستخدامات النهائية للمنتجات، وعادة ما تكون مرحلة التجميع لكافة أنواع البلاستيك دون فرز، ولذلك يتم التجميع لكل أنواع البلاستيك المتاحة بينما تتم عملية الفرز في مرحلة لاحقة، وبواسطة المستخدمين المعنيين بعمليات إعادة التدوير والتصنيع.

2.4.3. عملية الفرز "Sorting"

عملية الفرز هي عملية فصل، وتقسيم، وتصنيف نفايات البلاستيك والتي تم تجميعها بغرض إعادة تدويرها كل على حدة. تأتى أهمية هذه المرحلة في أن الأنواع المختلفة من البلاستيك يصعب إعادة تدويرها معاً، نظراً لأن كل نوع من أنواع البلاستيك له خواص مختلفة سواء كانت خواص حرارية، أو ميكانيكية، أو كيميائية والتي تستلزم معها طرق معالجة تختلف من نوع لأخر. فمثلاً يمكن أن يتسبب وجود نسب ضئيلة جداً من نفايات منتجات البولي فينيل كلوريد إلى تدمير كافة كميات نفايات البلاستيك لمنتجات البولي إيثيلين تيرفيثالات بالكامل أثناء

عمليات المعالجة الحرارية في حالة وجود خليط منهما. وتتم عملية الفرز بطريقتين، إما بطرق يدوية، أو بطرق آلية ولكل منهما مميزاته وعيوبه.

1.2.4.3. الفرز اليدوي

تصلح عمليات الفرز اليدوي للنفايات البلاستيكية التي لم يتغير شكلها بعد استخدامها، والتي لم تتشوه، أو تتقطع حتى تتم عملية الفرز بتحديد كل نوع دون مجهود. وتعتمد عمليات الفرز اليدوي على استعمال الأكواد والشفرات المميزة لكل نوع من أنواع البلاستيك، وتعد من العمليات كثيفة العمالة، وتحتاج إلى وقت طويل ومجهود كبير، وهي طريقة سهلة وبسيطة. يعتمد الفرز فيها على التعريف والتمييز البصري لكل من الشكل، واللون، والمظهر، والعلامة التجارية، لذا فمن الضروري للعاملين بها التعرف والإلمام التام بمختلف أنواع البلاستيك. إلا أن هناك احتمال للأخطاء البشرية خلال عمليات الفرز اليدوي، حتى مع استخدام نظام الأكواد والشفرات، كما أنه قد يصعب التمييز بين أنواع البلاستيك المختلفة، بسبب حالة النفايات عند وصولها إلى مناطق الفصل، وما يمكن أن يحدث لها من تكسير، أو طمس للأكواد، وتعتبر عملية الفرز اليدوي هي الأقدم والمفضلة لوحدات إعادة التدوير ذات الطاقات الإنتاجية الصغيرة [46]. يبين الشكل (34) عمليات الفرز اليدوي للنفايات البلاستيكية.

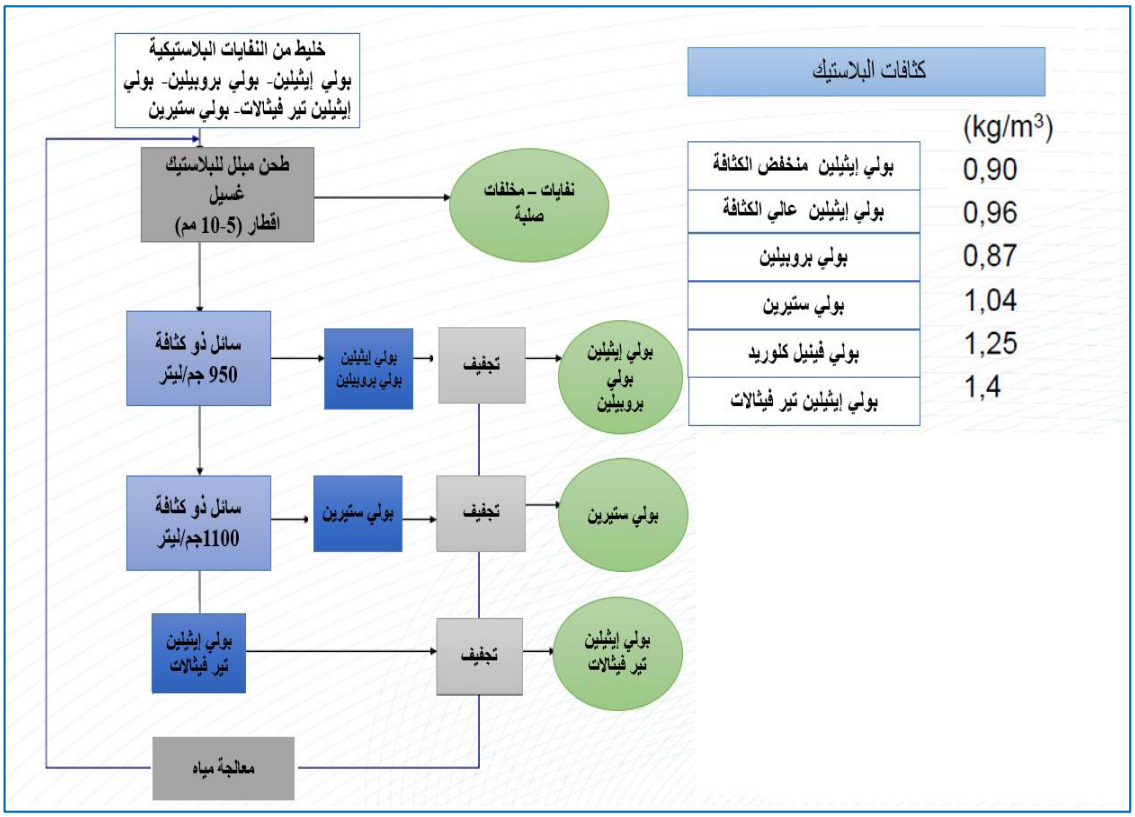
الشكل (34): عمليات الفرز اليدوي للنفايات البلاستيكية

2.2.4.3. الفرز الآلي

تصلح عمليات الفرز الآلي للنفايات البلاستيكية التي يصعب فرزها يدوياً، أو للنفايات ذات الكميات الكبيرة، أو التي مطموسة المعالم، أو المقطعة، وتتميز عمليات الفرز الآلي بالسرعة والدقة التامة. وتعتمد عمليات الفرز الآلي على الخواص المختلفة للنفايات البلاستيكية، وتتم عملية الفرز آلياً دون التدخل البشري في تحديد، أو فصل أنواع النفايات المختلفة.

تعد عمليات الفرز الآلي التي تعتمد على الكثافة من أشهر أنواع الفرز الآلي المستخدمة، حيث يتميز كل نوع من أنواع البلاستيك بكثافة تختلف عن كثافات باقي الأنواع البلاستيكية الأخرى، فمثلا يمكن فرز وفصل نفايات منتجات البولي إيثيلين تيرفيثالات عن نفايات منتجات البولي فينيل كلوريد حسب الكثافة، حيث أن النوع الأول يطفو على السطح، بينما يغوص النوع الثاني في قاع صهريج الفصل، والذي يعرف بصهريج الطفو "Floatation Tank". هذا وتصلح عمليات الفرز الآلي لفرز نوعين فقط من النفايات البلاستيكية. يبين الشكل (35) مخطط فصل النفايات البلاستيكية اعتمادا على الكثافة.

الشكل (35) مخطط فصل النفايات البلاستيكية اعتمادا على الكثافة



المصدر: Plastic Soup: Technological Limits and the Recycling Economy

كما يمكن الاعتماد على الخواص الضوئية "Optical"، أو على النفاذية "Transmission"، في عمليات الفرز الآلي للأنواع المختلفة من النفايات البلاستيكية حسب التركيب الكيميائي للبلاستيك بشكل دقيق. وتستخدم أجهزة خاصة لتحليل نوع البلاستيك مثل أجهزة الأشعة تحت الحمراء (FT-NIR)، وكذلك تستخدم أنظمة كاميرات للتعرف الضوئي على الألوان لسهولة فرز النفايات البلاستيكية آلياً، مثل فرز وفصل قوارير البولي إيثيلين تير فيثالات "PET" الشفافة عن النفايات ذات اللون الأزرق الفاتح، أو الأزرق الداكن، أو الأخضر وغيرها

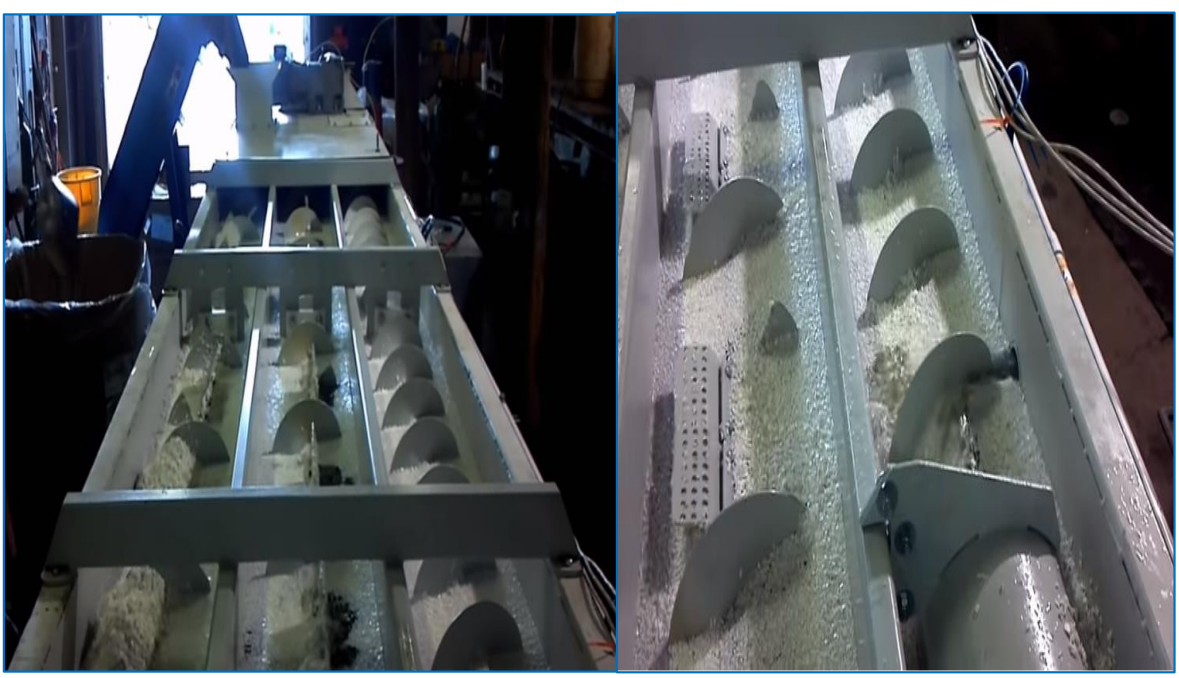
[48]. يبين الشـــكل (36) أحد خطوط الفرز الآلي للنفايات البلاســـتيكية، وأماكن التخزين بعد تصنيفها.

الشكل (36): أحد خطوط الفرز الآلي للنفايات البلاستيكية وأماكن التخزين بعد تصنيفها

3.4.3. الغسيل أو التنظيف "Washing/ Cleaning"

تأتي مرحلة الغسيل، أو التنظيف بعد مرحلة الفرز، وهي مرحلة تجهيز ضرورية للنفايات البلاســـتيكية، للتخلص من الملوثات التي يمكن أن تكون قد اكتســـبتها النفايات أثناء اســـتخدام البلاســـتيك، أو من النفايات الأخرى في أماكن تجمعها. تهدف هذه المرحلة إلى تخليص النفايات البلاســـتيكية من كافة الملوثات التي قد ينتج عنها أية تفاعلات جانبية غير متوقعة أثناء عمليات إعادة التدوير بطرق المعالجة الحرارية. ويتم تحديد عدد مراحل عمليات الغســـيل، وانواعها حســـب نوع نفايات البلاســـتيك، ونوع الملوثات المتوقعة، وطريقة إعادة المعالجة المســـتخدمة، والاستخدام النهائي المحتمل للمنتج الجديد، يبين الشكل (37) مرحلة غسيل نفايات البلاستيك.

الشكل (37): مرحلة غسيل النفايات البلاستيكية



4.4.3. الطحن/ التفتيت "Regrinding/Crushing"

عمليات الطحن أو التفتيت هي تجهيز النفايات البلاستيكية الى قطع، أو أجزاء صغيرة لضمان زيادة أسطح النفايات المعرضة للمعالجة، والذي لا تتيحه مساحات أسطح القطع الكبيرة، وتستخدم طواحين خاصة لهذا الغرض، وتكون في الغالب مناسبة لأكثر من نوع من أنواع البلاستيك، وتنتج الطواحين قطع بلاستيكية ذات أحجام مختلفة طبقاً لمتطلبات طريق المعالجة المختلفة. يعتمد تحديد مدى الحاجة إلى مرحلة الطحن على نوع الطريقة المستخدمة لإعادة التدوير، حيث أنه ليس من الضروري طحن أو تفتيت النفايات البلاستيكية إلا إذا كان سيتم استخدام طرق معالجة حرارية أو كيميائية. يبين الشكل (38) نماذج لبعض أشكال النفايات البلاستيكية بعد مرحلة الطحن.

الشكل (38): نماذج لبعض اشكال النفايات البلاستيكية بعد مرحلة الطحن

5.3 الفرص الاستثمارية لمشروعات إعادة تدوير النفايات البلاستيكية

توفر عمليات إعادة تدوير النفايات البلاستيكية فرص استثمارية عديدة، وتناسب كل المستويات الاقتصادية؛ سواء صغر أم كبر حجم الاستثمارات، ويمكن أن تتأسس على مخرجات ونواتج عمليات إعادة تدوير البلاستيك آلاف المشروعات الصغيرة أو المتوسطة أو الكبيرة سواءً للأفراد أو للمؤسسات، وتعد من الاستثمارات الآمنة، حيث يزداد نمو الطلب على منتجاتها، وتدخل في معظم مناحي الحياة الحديثة، وكافة القطاعات الصناعية والزراعية.

وتعتمد عمليات إعادة التدوير اعتماد كلياً على اختيار نوع النفايات البلاستيكية المناسبة، وطرق أو تقنيات إعادة التدوير والتي تتنوع بشكل كبير، ومن أهم أنواع النفايات البلاستيكية من حيث توافر كمياتها لتأسيس صناعات متنوعة عليها راتنجات رقائق التغليف بالبلاستيك، والقوارير البلاستيكية المستهلكة ذات الاستخدام الواحد، والألياف الصناعية، والبولي فينيل كلوريد.

1.5.3. راتنجات رقائق التغليف البلاستيكي

تعرف رقائق "الغشاء" البلاستيك، بأنها البلاستيك ذو السماكة الأقل من 10 مم، أو المنتجات البلاستيكية التي تحتوي مكوناتها على نسبة لا تقل عن 85 % "بالوزن" من البلاستيك، مضاف إليها 15 % من المواد المرتبطة " مشاركة"، والتي قد تشمل مواد مضافة مساعدة لعمليات الطباعة، أو الطلاء، أو الحشوات "المواد المالئة".

يطلق على المواد المستخدمة في عمليات التغليف والتعبئة مصطلح "مواد التغليف المرن"، وهي كثيرة ومتنوعة، ويتم تصنيف وتعريف مواد التعبئة والتغليف حسب الاستخدامات الأساسية لعمليات التعبئة، والتي تشمل ثلاث استخدامات أساسية وهي:

1) مواد التغليف الأساسي، أو منتجات تغليف المبيعات، وتشمل على سبيل المثال عبوات أكياس تغليف الخضروات المجمدة، أو الأكياس البلاستيكية التي يشتريها المستهلك لتعبئة مشترياته.

2) مواد التغليف الثانوي أو الشامل، وتشمل مواد تغليف مجموعة من المنتجات البلاستيكية كتغليف مجموعة من قوارير المياه البلاستيكية مع بعضها البعض في عبوات جامعة.

3) مواد التغليف الثلاثي، وتشمل العبوات البلاستيكية المستخدمة لتغليف وتجميع طرود منتجات التغليف الأولي و / أو الثانوي معا لغرض النقل.

عادةً ما تنتج منتجات التغليف الأساسي المرن من طبقة بلاستيكية واحدة، ومن نوع واحد فقط من الراتنجات، كما يمكن أن تكون متعددة الطبقات حيث ان لكل طبقة منها أداء معين في المنتج النهائي، وليس من الضروري أن تحتوي منتجات التغليف المرن متعددة الطبقات على كل هذه الطبقات، والتي قد تشمل:

• طبقة الطباعة "Print layer"، وهي الطبقة المستخدمة لطباعة بعض المعلومات، والرسومات عن المنتجات، وبما يضمن التصاق الأحبار على غلاف منتج التغليف البلاستيكي.

• طبقة الربط "Tie layer"، وهي الطبقة التي تربط بين طبقتين غير متوافقتين ببعضهما البعض، وتتضمن منتجات التغليف التي تصنع بطرق التشكيل بالبثق البلاستيكي المشترك /الاسهامي "Plastic Co-extrusion"، حيث يتم في هذه الطريقة بثق " دمج" مادتين أو أكثر من خلال قالب واحد في بنية واحدة.

• طبقة الحاجز"Barrier layer"، وهي الطبقة التي تمثل حاجزًا للأكسجين، أو الرطوبة، أو الرائحة، أو الضوء بهدف إطالة عمر تخزين، وتقليل احتمالات تلف المنتجات.

• الطبقة الهيكلية "Structural layer" – وهي طبقة توفر سماكة، أو صلابة، أو قوة لمنتجات التغليف المرن، أثناء عمليات تعبئة وإغلاق أكياس المنتجات بواسطة المعدات عالية السرعة.

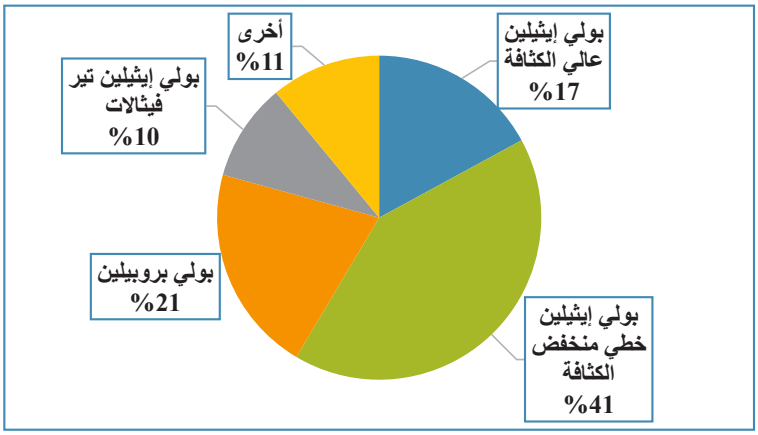
• طبقة واقية "Protective layer" - وهي طبقة تقاوم الثقوب.

• طبقة مانعة للتسرب "Sealant layer"، وهي الطبقة المانعة للتسرب، والتي يحدث لها لحام ذاتي بالحرارة باستخدام آلات عالية السرعات.

يمثل البلاستيك متعدد الطبقات، تحدياً لعمليات إعادة التدوير، نظراً لأن الطبقات المختلفة الداخلة في إنتاجه لا تنفصل بسهولة، وفي كثير من الأحوال لا تتوافق مع بعضها البعض عند إعادة تدويرها [56].

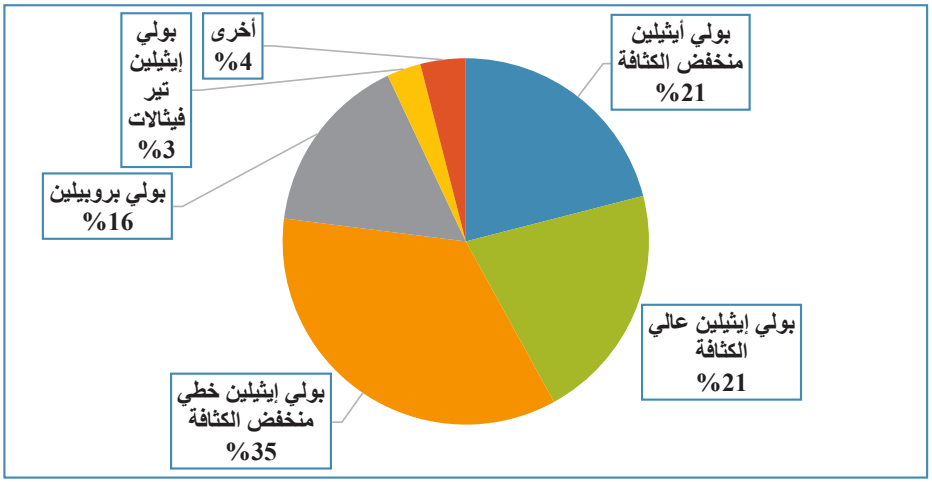
تعد راتنجات البولي إيثيلين بدرجاته المختلفة "منخفض الكثافة، ومنخفض الكثافة الخطي، وعالي الكثافة"، والبولي بروبيلين، والبولي إيثيلين تير فيثالات هي الأكثر استخداما في إنتاج رقائق التغليف البلاستيكي، بالإضافة إلى البولي فينيل كلوريد والراتنجات الأخرى. تشير بعض التقديرات إلى أنه تم إنتاج ما يقرب من 70 مليون طن من رقائق التغليف المختلفة على مستوى العالم في عام 2017. يبين الشكل (39) نسب الطلب العالمي على الراتنجات المستخدمة في التغليف والتعبئة البلاستيكية. بينما يبين الشكل (40) نسب الطلب لدول منطقة الشرق الأوسط على الراتنجات المستخدمة في التغليف والتعبئة البلاستيكية.

الشكل (39): نسب الطلب العالمي على الراتنجات المستخدمة في التغليف والتعبئة البلاستيكية



المصدر: Circular Economy and Plastics, Gulf Petrochemicals & Chemicals Association (GPCA),2017.

الشكل (40) نسب الطلب على الراتنجات المستخدمة في التغليف والتعبئة البلاستيكية في دول منطقة الشرق الأوسط



المصدر: Circular Economy and Plastics, Gulf Petrochemicals & Chemicals Association (GPCA),2017.

تعد دول منطقة الشـــرق الأوســـط مُنتج رئيســـي لنوعيات جديدة من رقائق التغليف ذات مواصفات خاصة، يستخدم في إنتاجها طرق خاصة لمعالجة أسطح طبقاتها المختلفة، من أجل تعزيز التصـــاق حبر الطباعة والدهانات بها مثل: رقائق البولي بروبيلين ثنائية المحور الموجه "بوب"-(BOPP)-، والبولي إيثيلين تير فيثالات ثنائية المحور الموجه "BOPET". كما ترتفع في دول منطقة الشـــرق الأوســـط معدلات الطلب على إنتاج رقائق، وشـــرائح التغليف والتعبئة البلاســـتيكية للمواد الغذائية، وخاصـــة العبوات، والرقائق ذات الســـمك الرقيق لتحل محل مواد التغليف التقليدية. بينما يزداد معدل استهلاك مواد التعبئة ذات الاستخدام الواحد، والمصنعة من البولي إيثيلين عالي الكثافة في الأســـواق العالمية. بمجرد الانتهاء من اســـتخدام تلك النوعية من الأكياس البلاستيكية في عمليات التعبئة، فإنها تجد تدفن في المكبات الخاصة بذلك [56].

إلا أن معدلات اســـتهلاك أكياس البلاســـتيك من البولي إيثيلين عالي الكثافة انخفض على مستوى العالم، وخاصة بعد أن أقرت المفوضة الأوروبية مشروع قانون يقيد استخدام الأكياس البلاستيكية والمستخدمة في المحال التجارية بغرض تعبئة المنتجات ذات السمك الأقل من 50 ميكرون، مما قلل من استخدامها في المملكة المتحدة بنسبه بلغت حوالي 80 % [56].

تعتبر معدلات إعادة التدوير لرقائق التغليف البلاستيكي منخفضة مقارنةً بمعدلات إعادة تدوير نفايات القوارير البلاســـتيكية المنتجة من البولي إيثيلين تير فيثالات "PET"، وذلك نظراً لصعوبة عمليات جمعها، وفرزها، وأيضـاً بسبب إنتاج نوعيات جديدة من رقائق التغليف ثنائية المحور الموجه. عادة ما تســـتخدم هذه النوعية من البلاســـتيك المعاد تدويره في إنتاج منتجات بلاستيكية صلبة، مثل الأرضيات، والسياج، وإطارات النوافذ، كما تعد طرق الحرق هي الأكثر استخداماً للتخلص من هذا النوع من النفايات البلاستيكية. بينما عمليات إعادة التدوير الميكانيكية لا تصـــلح إلا لنفايات بلاســـتيكية ذات النقاوة العالية، وأن تكون من نوع واحد أو خليط متوافق ومتجانس [55].

1.1.5.3. تقنيات إعادة تدوير نفايات رقائق التغليف بالبلاستيك

تأتي كميات نفايات رقائق التغليف بالبلاستيك "الأكياس البلاستيكية" في المرتبة الثانية بعد نفايات البولي إيثيلين تير فيثالات المستخدم في إنتاج القوارير البلاستيكية المستهلكة، وتعد من أهم مصادر المواد الخام الأولية اللازمة لعمليات إعادة التدوير بسبب كمياتها الكبيرة المتاحة، والتي يسهل تمييزها من بين الأنواع المختلفة من النفايات البلاستيكية اثناء عمليات الفرز والتجميع.

تشمل مراحل عمليات إعادة تدوير أكياس البلاستيك، نقل النفايات البلاستيكية عبر حزام ناقل "Electric conveyor "، للتخلص من الملوثات البلاستيكية ذات الاحجام الكبيرة، ثم تأتي مرحلة الغسيل لإزالة المواد غير المعدنية. يلي ذلك وضع النفايات البلاستيكية على حزام ناقل أخر مثبت علية أجهزة مغناطيس لجذب المواد المعدنية والتخلص منها، ثم تأتي مرحلة التقطيع. تتم عمليات الغسيل مرة أخرى لضمان خلو النفايات البلاستيكية من اية ملوثات قد يؤثر وجودها على جودة عمليات إعادة التدوير، وعلى مواصفات المنتج النهائي. ثم تتم عملية التجفيف إذا لزم الأمر لتجنب تكون فقاعات هوائية في حبيبات البلاستيك المنتجة. وأخيراً تأتي مرحلة التصنيع والتشكيل بطرق البثق "Extrusion" لإنتاج منتجات نهائية جديدة [56].

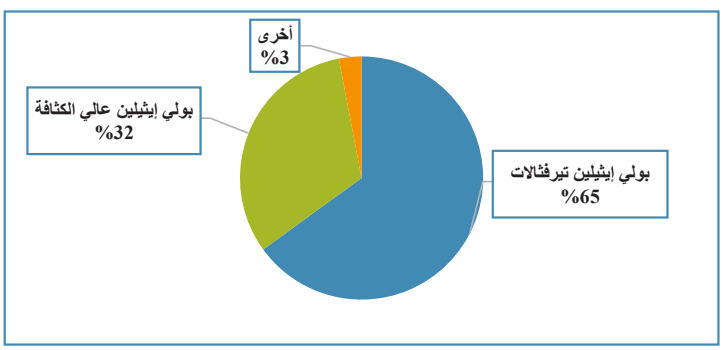
2.5.3. راتنجات القوارير البلاستيكية المستهلكة

يقدر الطلب العالمي على راتنجات البولي إيثيلين تيرفيثالات المستخدم في إنتاج القوارير البلاستيكية بنحو 24 مليون طن سنوياً، وفق إحصاءات 2017، وتتميز هذه النوعية من الراتنجات بانخفاض استهلاكها من الطاقة في تصنيعها، وبإمكانية إعادة تدويرها مما عزز من مكانتها في كونها المادة المفضلة لإنتاج القوارير البلاستيكية، وحلت محل العبوات المصنعة من البولي فينيل كلوريد، والبولي سيترين، فضلاً عن المميزات الصحية التي توفرها وخاصة في

مجال عبوات المياه والمشروبات [56]. يوضح الشكل (41) معدلات الاستهلاك العالمية من أنواع الراتنجات المستخدمة في إنتاج القوارير البلاستيكية لعام 2017. بينما يوضح الشكل (42) معدلات استهلاك أنواع الراتنجات المستخدمة في إنتاج القوارير البلاستيكية في دول منطقة الشرق الأوسط في عام 2017.

الشكل (41) معدلات الاستهلاك العالمية

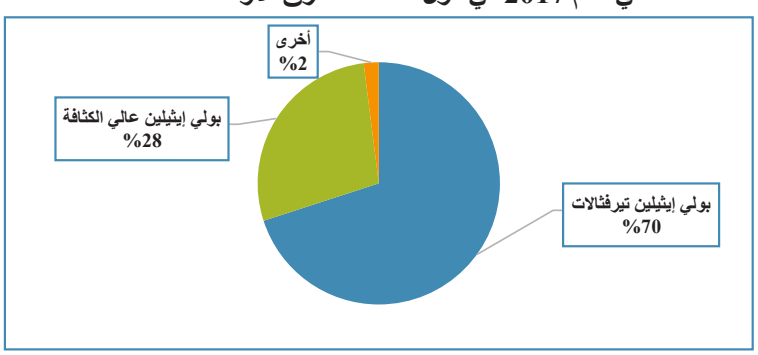
من أنواع الراتنجات المستخدمة في إنتاج القوارير البلاستيكية لعام 2017.



المصدر: Circular Economy and Plastics, Gulf Petrochemicals & Chemicals Association (GPCA),2017.

الشكل (42): معدلات استهلاك الراتنجات المستخدمة في إنتاج القوارير البلاستيكية

في عام 2017 في دول منطقة الشرق الأوسط



المصدر: Circular Economy and Plastics, Gulf Petrochemicals & Chemicals Association (GPCA),2017.

تعد راتنجات البولي إيثيلين تيرفيثالات، والبولي إيثيلين عالي الكثافة أكثر الراتنجات المستخدمة في إنتاج القوارير البلاستيكية المستهلكة، وخاصة المستخدمة في تعبئة المياه، والمشروبات، وتمثل نفاياتها أكثر من 95 % من إجمالي نفايات القوارير المعاد تدويرها، والنسبة المتبقية تأتي من نفايات البولي بروبيلين، ونسبة أقل من كل من البولي فينيل كلوريد، والبولي إيثيلين منخفض الكثافة (56).

تمثل كميات نفايات عبوات البولي إيثيلين تير فيثالات أكثر من 50 % من إجمالي كميات البلاستيك المعاد تدويره والمستخدمة كمواد أولية لعمليات التصنيع بطرق التشكيل بالنفخ "Blow moulding" في بعض الدول ، بينما تمثل منتجات البولي إيثيلين عالي الكثافة المعاد تدويره نسبة ضئيلة على مستوى العالم، نظراً لصعوبة التخلص من الملوثات المتطايرة بها، مقارنة بسهولة إزالة تلك الملوثات من نفايات البولي إيثيلين تير فيثالات، وفي معظم الأحيان لا يمكن إعادة استخدام نفايات البولي إيثيلين عالي الكثافة المعاد تدويرها في إنتاج عبوات تعبئة وتغليف الأطعمة، أو المنتجات الصيدلانية.

1.2.5.3. تقنيات إعادة تدوير نفايات القوارير البلاستيكية

تعتبر معدلات إعادة تدوير نفايات البولي إيثيلين تير فيثالات المستخدم في إنتاج القوارير البلاستيكية والمستخدمة في تعبئة المشروبات، أعلى من معدلات إعادة تدوير نفايات البولي إيثيلين تير فيثالات المستخدمة في صناعات الألياف مثل السجاد والمنسوجات.

تعتمد عمليات إعادة تدوير نفايات قوارير البولي إيثيلين تيرفيثالات المستهلكة على مستوى التصنيع التجاري "Commercial"، على استخدام طرق الفصل الطبيعي " الفيزيائي"، لفصل البلاستيك عن المكونات الأخرى مثل الملصقات، والأغطية، والأوراق. وتشمل مراحل إعادة

التـدوير نفس المراحـل المعتـادة من حيـث الفرز، والتجميع، والطحن لتحويلهـا إلى رقـائق "Flakes"، ثم مرحلة الغسيل، والتجفيف.

تستخدم رقائق البولي إيثيلين تيرفيثالات كمادة تغذية لعمليات التصنيع والتشكيل في صناعة منتجات الالياف النهائية باسـتخدام طرق التشـكيل بالباثق "Extruder"، ولا تسـتخدم في إنتاج عبوات الأغذية إلا بعد إجراء مزيد من عمليات التنظيف الفائقة، سـواءً بالطرق الميكانيكية أو الفيزيائية، وأيضـاً باسـتخدام طرق تدوير كيميائية، حيث أن هذه الطرق هي الطرق الكفيلة لضـمان وزيادة تنظيف الرقائق، والتخلص من الملوثات المتطايرة بما يتلاءم مع الاشـتراطات الطبية والغذائية للمنتجات [56].

3.5.3. راتنجات الألياف الاصطناعية

يقدر حجم السوق العالمي من الألياف الاصطناعية الجديدة بنحو 80 مليون طن سنوياً وفق إحصـاءات عـام 2017، هـذا وتمثـل أليـاف البولي إيثيلين تير فيثـالات نحو 70 % منهـا، والمسـتخدمة بشـكل رئيسـي في إنتاج الملابس والسـجاد، بينما تمثل ألياف البولي بروبيلين نحو 25 %. يعتبر إنتاج السـجاد هو الاسـتخدام الرئيسـي لألياف البولي بروبيلين في منطقة الشـرق الأوسط، وتعد تركيا أكبر أسواق البولي بروبيلين فيها، ثم تأتي إيران بعدها. بينما يمثل النايلون حوالي 5 % من حجم سوق الألياف الاصطناعية الجديدة.

تعتبر معدلات إعادة تدوير الألياف الاصـطناعية أقل من معدلات التدوير لكل من الرقائق، والقوارير البلاسـتيكية، كما تعتبر طرق إعادة التدوير الميكانيكية غير مناسـبة للألياف المسـتخدمة في نسـيج الأقمشـة، نظراً لاحتواء الاقمشـة على بعض المواد الكيميائية، أو بعض البوليمرات الأخرى المخلوطة معها، لذا فإن إعادة تدوير هذا الخليط من البولي إسـتر والنايلون بالطرق الميكانيكية غير مجدي اقتصـاديا، ولهذا تسـتخدم فقط طرق إعادة التدوير الكيميائية،

وهي طرق تستلزم استثمارات أعلى من الطرق الميكانيكية، بينما تمثل عمليات الجمع والفرز أحد العوائق لإعادة تدوير الألياف الاصطناعية.

على الرغم من أن سوق ألياف سجاد البولي بروبيلين أكبر من سوق ألياف سجاد النايلون، إلا أن ألياف سجاد النايلون هي الأكثر شيوعا في عمليات إعادة تدوير الألياف، نظرا لانخفاض كلفة جمعها، وإعادة تدويرها، خاصة عندما تكون هناك كميات كبيرة منها نسبياً، وذلك نظراً لتجانسها، كما أن أسعار راتنجات النايلون المعاد تدويرها أكثر ربحية في الأسواق، مقارنةً بألياف البولي بروبيلين، والبولي إستر المعاد تدويرها [56].

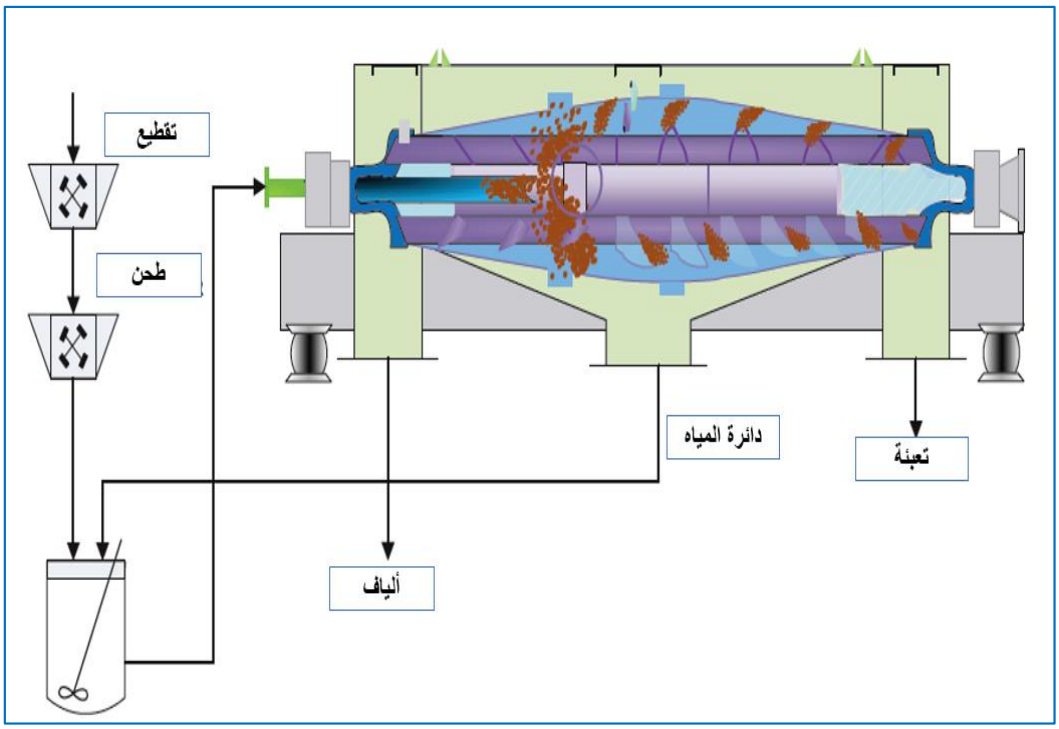
1.3.5.3. تقنيات إعادة تدوير نفايات الألياف الاصطناعية

يتكون السجاد من طبقتين، الطبقة الأولى أو العلوية للسجاد "الواجهة"، والتي غالباً ما تكون مكونة من ألياف البولي بروبيلين، أو البولي إستر، أو من الألياف الطبيعية كالصوف، وترتبط بالطبقة السفلية "الداعمة"، والتي قد تكون أيضاً من البولي بروبيلين، أو من الألياف الطبيعية من نبات الجوت، بالإضافة إلى المواد الرغوية الاصطناعية الأخرى.

من المفترض أن تكون خطوات إعادة التدوير للألياف الاصطناعية المستخدمة في إنتاج السجاد هي نفسها المستخدمة للألياف المنسوجات "الملابس". حيث يتم كشط أو فصل ألياف الطبقة العلوية عن الطبقة السفلية الداعمة، أو تمزيق السجادة بأكملها، وسحقها "طحنها"، ثم فصل مكونات السجادة العلوية عن المكونات السفلية على مرحلتين بتقنيات وطرق الفصل التي تعتمد على اختلاف كثافة. بعد فصل ألياف الطبقة العلوية عن الطبقة الداعمة السفلية في المرحلة الأولى باستخدام أجهزة الطرد المركزي، يتم في المرحلة الثانية فصل مكونات ألياف الطبقة العلوية مثل: ألياف البولي بروبيلين عن ألياف النايلون. ويمكن استخدام تقنيات مساعدة أخرى لاستعادة ألياف النايلون، وتشمل طرق إزالة البلمرة "depolymerization"، وطرق

الإذابة "dissolution". يبين الشكل (43) مخطط عملية فصل ألياف السجاد باستخدام أجهزة الطرد المركزي.

الشكل (43): مخطط عملية فصل ألياف السجاد باستخدام أجهزة الطرد المركزي



المصدر: Circular Economy and Plastics, Gulf Petrochemicals & Chemicals Association (GPCA),2017.

4.5.3. راتنجات البولي فينيل كلوريد

بلغ الطلب العالمي على البولي فينيل كلوريد حوالي 45 مليون طن في عام 2017، يعد قطاع البناء والتشييد هو المحرك الأساسي لمنتجات البولي فينيل كلوريد، ولكن نظراً للمتطلبات البيئية الصارمة فقد تم استبدال بعض منتجاته في عدد من القطاعات، بمنتجات مصنعة من البولي

إيثيلين، كما أن هناك بعض التشريعات في عدد من الدول ضد استخدام البولي فينيل كلوريد، خاصة في إنتاج مستلزمات وألعاب الأطفال وإنتاج منتجات التغليف والتعبئة في قطاع المواد الغذائية، مما أثر سلباً على نسب استهلاكه.

يتم دفن معظم منتجات البولي فينيل كلوريد في المكبات، بالإضافة إلى عمليات الحرق والتي تعد أحد الخيارات للتخلص منها، إلا ان التخلص من البولي فينيل كلوريد عن طريق الحرق له العديد من الاعتبارات والمحاذير البيئية، نتيجة تصاعد الدايوكسينات "dioxins"، وهي أحد أهم مسببات مشكلات التشوهات الجينية.

وللتغلب على تلك الاعتبارات البيئية الناتجة عن حرق نفايات البولي فينيل كلوريد، فإنه يتم استخدام تقنيات حديثة، تشمل عمليات إعادة التدوير الميكانيكي والتي يتم فيها طحن النفايات البلاستيكية، وتحويلها إلى مسحوق، بالإضافة إلى طرق إعادة التدوير الكيميائي بما يسمح بإزالة وإعادة تشكيل "معالجة" الكلور والسموم الأخرى.

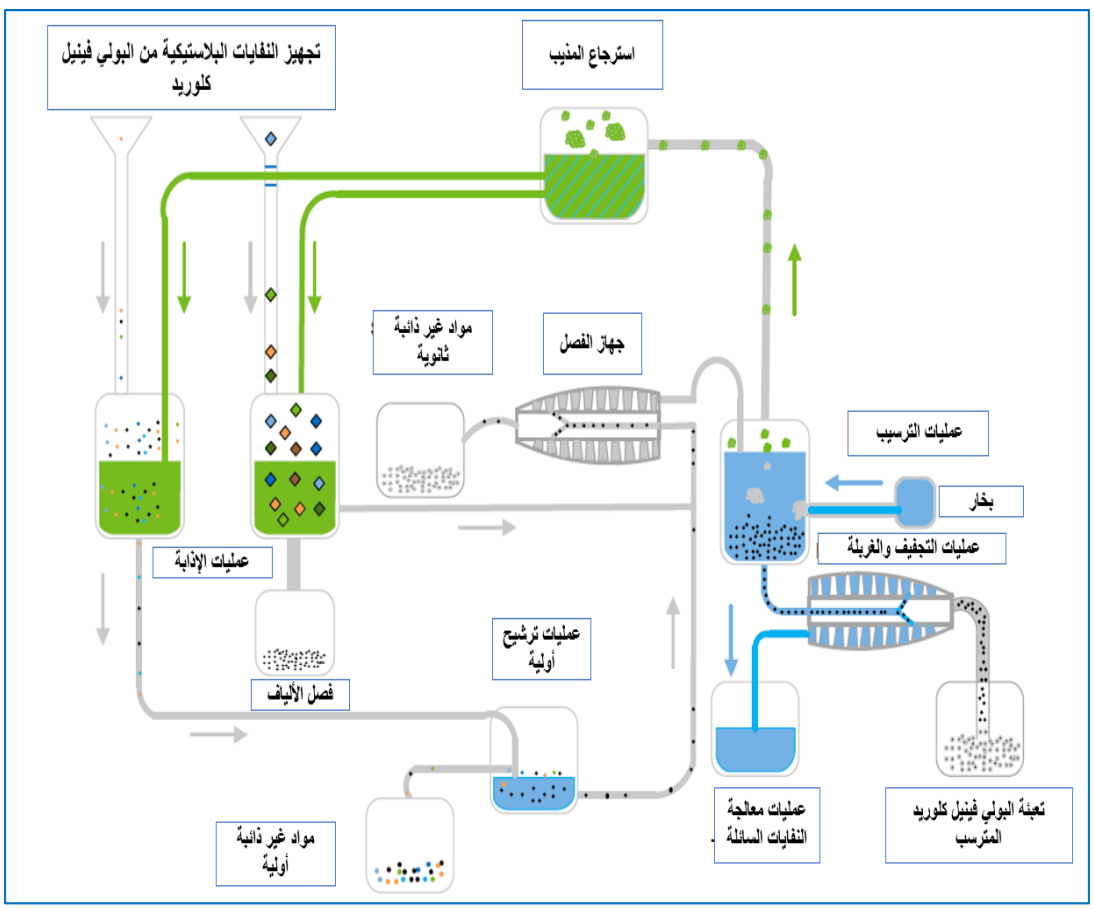
1.4.5.3. تقنيات إعادة تدوير نفايات البولي فينيل كلوريد

تعتبر طرق إعادة التدوير الميكانيكي التقليدية والتي تضمن مراحل الفرز، والطحن، والغسيل لإزالة الأوساخ والملوثات، وإزالة الحديد، والصلب، بالإضافة إلى إزالة الملوثات غير المعدنية. هي أحد الطرق المناسبة لإعادة تدوير نفايات منتجات البولي فينيل كلوريد، وتسمح هذه الطرق بالحصول على حبيبات من البولي فينيل كلوريد المعاد تدويره تصلح لإنتاج منتجات تغطية الأرضيات، والأسطح، وإنتاج الأنابيب، وإطارات النوافذ.

تعد تقنية سولفاي "Solvay" أحد التقنيات الميكانيكية غير التقليدية لإعادة تدوير النفايات البلاستيكية للبولي فينيل كلوريد المحتوية على ملوثات ومعادن ثقيلة، وتتضمن عمليات معالجة

مسبقة مثل التنظيف، يتبعها خطوة إذابة البولي فينيل كلوريد في مذيب. ثم يُقلب الخليط، ويترك حتى يستقر"Settle"، حيث تترسب المعادن الثقيلة الموجودة في الخليط قبل عمليات الطرد المركزي. يبين الشكل (44) مخطط تقنية سولفاي لإعادة تدوير نفايات البلاستيك من البولي فينيل كلوريد.

الشكل (44): مخطط تقنية "سولفاي" لإعادة تدوير نفايات البلاستيك من البولي فينيل كلوريد



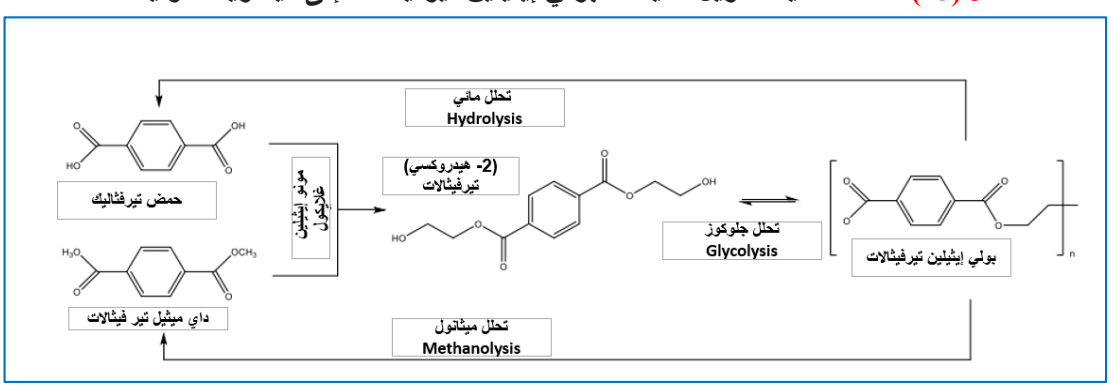
المصدر: Circular Economy and Plastics, Gulf Petrochemicals & Chemicals Association (GPCA),2017.

5.5.3. تحويل نفايات البلاستيك إلى كيماويات

تتوفر تقنيات على مستوى التصنيع التجاري لتحويل أنواع محددة من نفايات البلاستيك إلى كيماويات، يتم في هذه التقنية تكسير البوليمرات وتحويلها إلى منتجاتها الأولية، أو الوسيطة لتستخدم لإنتاج نفس نوعية الراتنجات مرة أخرى، على سبيل المثال إنتاج منتجات البولي إيثيلين تيرفيثالات.

تزداد أهمية عمليات إعادة التدوير الكيميائية " الثلاثية" لألياف البولي إستر، خاصة البولي إيثيلين تيرفيثالات المستخدم في إنتاج القوارير، والحاويات البلاستيكية، كطريقة مناسبة لإعادة تدوير هذه النوعية من النفايات البلاستيكية، حيث توفر هذه الطرق فرصة لإنتاج منتجات ذات قيمة مضافة من حيث إنتاج منتجات خاصة " متخصصة" يمكن استخدامها في قطاعات ذات اتصال مباشر بصناعات الأغذية والصناعات الدوائية، ولم تعد هذه التقنية تحتاج إلى إصدار خطاب عدم ممانعة "NOL" من إدارة الغذاء والدواء "FDA" يؤكد قدرة عملية إعادة التدوير المستخدمة في إنتاج مواد معاد تدويرها تتلاءم وتتوافق لإنتاج منتجات ذات اتصال مباشر بالأغذية والدواء. يبين الشكل (45) مخطط تقنية تحويل نفايات البولي إيثيلين تيرفيثالات إلى كيماويات أولية [54].

الشكل (45) مخطط تقنية تحويل نفايات البولي إيثيلين تيرفيثالات إلى كيماويات أولية



6.3. المبادرات العلمية لحل مشكلة النفايات البلاستيكية

هناك العديد من الجهود والمحاولات والابتكارات والأبحاث والمبادرات العلمية التي تهدف إلى معالجة وتحسين الوضع البيئي الناتج عن التلوث بالنفايات البلاستيكية، ولكن لم يظهر تأثيرها بشكل ملحوظ بعد. ويظل الأمل معقودًا على العلماء والباحثين لإيجاد حلول وطرق مبتكرة لتقنيات إعادة تدوير نفايات البلاستيك، أو إنتاج بكتريا خاصة لها القدرة على إفراز إنزيم لتحويل البلاستيك إلى مكوناته الأولية، أو إنتاج نوعيات جديدة من البلاستيك الحيوي القابل للتحلل، وغيرها من الطرق والحلول والأبحاث التي تهدف إلى إيجاد حل ناجع للقضاء على كتل النفايات البلاستيكية الضخمة الموجودة بكثافة وتحتاج لسنوات طويلة لتتحلل. وقد يكون الحل البديهي هو القضاء على المشكلة من جذورها، بخفض الاستهلاك من الأكياس ذات الاستخدام الواحد والحاويات والقوارير البلاستيكية، لكن بعض الدول استعانت بالتكنولوجيا والتفكير المبدع للبحث عن حلول لمشكلات تراكم النفايات البلاستيكية [26].

1.6.3. مبادرة تركيب سياج عائم لجمع النفايات البلاستيكية الدقيقة

ابتكر فريق من المهندسين الهولنديين نظام جديد لمحاولة تنظيف المحيطات من النفايات البلاستيكية الموجودة بكميات كبيرة وتتزايد كمياتها سنوياً بشكل كبير. تعتمد الفكرة على تركيب وتثبيت نموذج تجريبي طوله 100 متر في بحر الشمال، بهدف إجراء سلسلة من الاختبارات لتحديد مدى صلاحيته في الظروف المناخية المختلفة على مدار عام كامل، ولرصد كيفية مقاومة السياج التجريبي لتيارات المحيط العنيفة وقوى الرياح الشديدة. تم تثبيت النموذج التجريبي بحيث يتمكن الباحثون من محاكاة كمية الحطام في المحيط الهادئ، سيتم ربط السياج بمنظومة من الأسلاك على شكل حرف "V"، وبهذه الطريقة سوف تتركز النفايات التي تحملها تيارات المحيط في وسط السياج مما يسهل من عملية جمع نفايات البلاستيك.

يتكون النموذج من سلسلة من العوامات المطاطية المستطيلة مثل السياج التقليدي المستخدم لتنظيف المسطحات المائية من بقع الزيت المنسكب، بالإضافة إلى شبكة تمتد إلى مسافة حوالي مترين تحت سطح الماء لجمع قطع النفايات البلاستيكية المختلفة من قوارير وأكياس بلاستيكية،

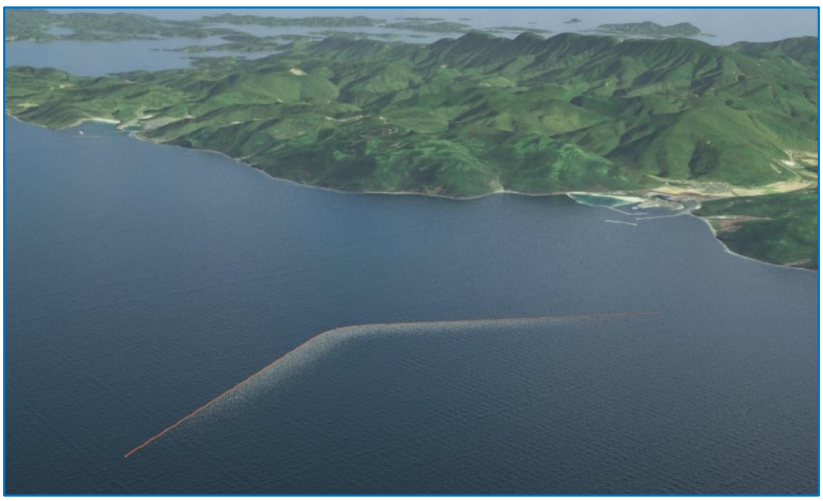
وشـبكات صـيد وغيرها من النفايات الأخرى عندما تمر المياه من خلالها [38]. ليتم بعدها بناء نموذج نهائي كامل من السياج يتحمل الظروف القاسية. يبين الشكل (46) نموذج تجريبي لحاجز عائم في بحر الشمال لالتقاط وإزالة التلوث بالنفايات البلاستيكية من المحيطات [38].

بعد نجاح النموذج التجريبي سـيتم تثبيت سـياج كامل بطول 100كيلومتر في المحيط الهادئ، لجمع حوالي 68 مليون طن من النفايات البلاستيكية العائمة. يبين الشكل (47) تصور للسياج النهائي الذي سيتم وضعه في منتصف دوامة المحيط الهادئ.

الشكل (46): نموذج تجريبي لحاجز عائم في بحر الشمال لالتقاط وإزالة التلوث بالنفايات البلاستيكية من المحيطات

المصدر: https://www.scientificamerican.com/article/a-huge-floating-screen-will-sift-plastic-out-of-the-ocean/

الشكل (47): تصور للسياج النهائي الذي سيتم وضعه في منتصف دوامة المحيط الهادئ



المصدر: https://www.scientificamerican.com/article/a-huge-floating-screen-will-sift-plastic-out-of-the-ocean/

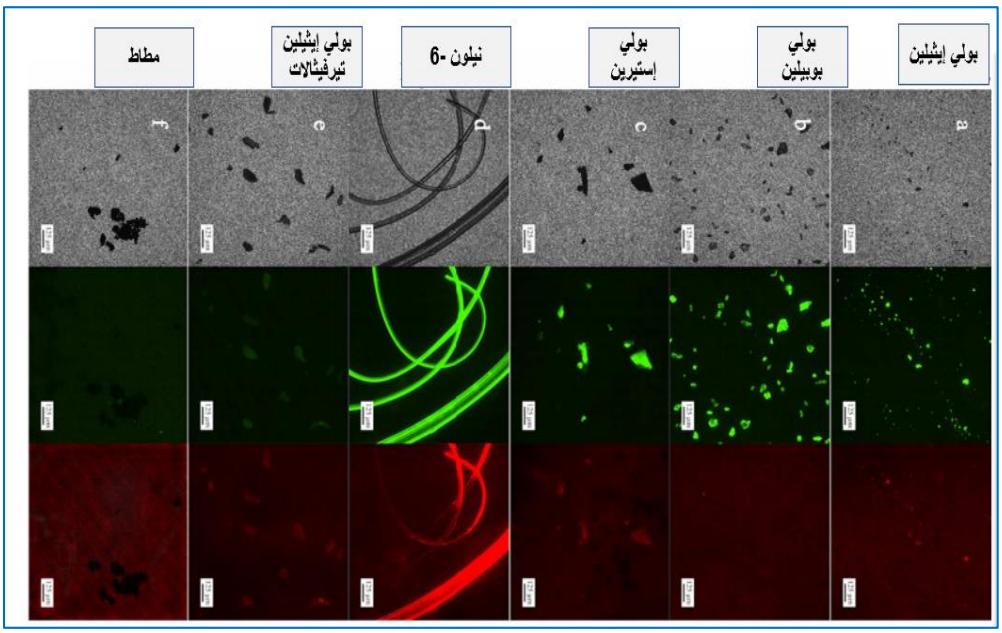
2.6.3. استخدام صبغ أحمر نيلي

تتواجد النفايات والقطع البلاستيكية ذات الاحجام الكبيرة على الشواطئ، بينما تتواجد النفايات البلاستيكية متناهية الصغر على أسطح مياه البحار والمحيطات، أو تحتجب تحت تلك المياه، وبالتالي يصعب تحديد أماكن وجودها أو رؤيتها بالعين المجردة بسبب عدم وجود طرق كافية لتمييزها أو تحديد كمياتها، لذا فإن اكتشافها وتحديد كمياتها صعب للغاية.

ابتكر فريق من العلماء طريقة جديدة للكشف عن النفايات البلاستيكية الدقيقة التي يتراوح حجم جزيئاتها ما بين 20 ميكروميتر إلى 1 مم بالبحار والمحيطات ، تعتمد هذه الطريقة على استخدام صبغ يسمي صبغ أحمر نيلي "Dye Nile Red" ، وهذا الصبغ ومحب للدهون، ويمكن أن ينجذب للمواد الكارهة للمياه مثل النفايات البلاستيكية الدقيقة ،ويصبغها لتصبح مضيئةً بلون أخضر يسهل تمييزها عند فحصها بالمجهر الفسفوري، وأثبتت الطريقة الجديدة فاعليتها في الكشف عن النفايات البلاستيكية على اختلاف أنواعها مثل البولي إيثيلين والبولي بروبيلين

والبولي ستيرين والنايلون [39،40] . الطريقة الجديدة تسهل في كشف أماكن تواجد النفايات البلاستيكية الدقيقة في البيئة المائية، وبالتالي يمكن تحديد الحجم الحقيقي للمشكلة ومواجهتها في أماكن تواجدها في المحيطات والبحار [40]. يبين الشكل (48) صبغ بعض أنواع النفايات البلاستيكية الدقيقة بالصبغ الأحمر النيلي.

الشكل (48) صبغ بعض أنواع النفايات البلاستيكية الدقيقة بالصبغ الأحمر النيلي

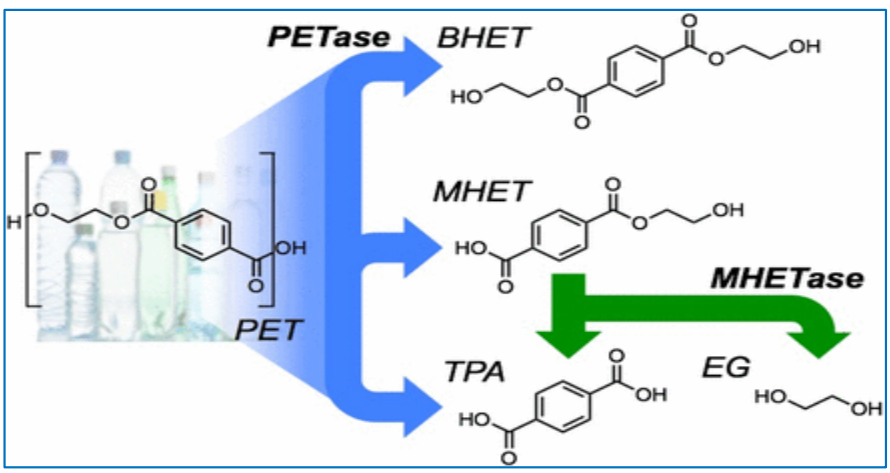


المصدر: Lost, but found with Nile red; a novel method to detect and quantify small microplastics (20 µm–1 mm) in environmental samples

3.6.3. إنزيمات تحويل النفايات البلاستيكية

تمكنت مجموعة من العلماء في إحدى منشـــآت إعادة تدوير القوارير البلاســـتيكية في اليابان في عام 2016 من تحديد نوع من البكتيريا تحمل الاسم العلمي "إديونيللا ساكاينسيس" (Ideonella Sakaiensis) تفرز إنزيم له القدرة على تكســـير جزيئات البولي إيثيلين تيرفيثالات إلى وحداته الأولية، على نحوٍ يتيح إعادة استخدامها مرة أخرى في صناعة القوارير البلاستيكية، الأمر الذي يمكن معه إعادة تدوير كافة القوارير البلاســتيكية إلى قوارير بلاســتيكية مرة أخرى وبذلك تتحول عملية إعادة تدويرها إلى دائرة مغلقة، تسـهم في الحد من إنتاج قوارير جديدة [39]. يبين الشكل (49) ألية عمل إنزيم التحلل في تحويل القوارير البلاستيكية إلى موادها الأولية.

الشكل (49): ألية عمل إنزيم التحلل في تحويل القوارير البلاستيكية إلى موادها الأولية



المصدر: https://www.scientificamerican.com/arabic/articles/news/mutanat-enzyme-eats-plastic-bottles/

وعلى الرغم من أن هذا الإنزيم المعدل الجديد يعد أحد الطرق العلمية الحديثة المكتشفة، ويمثل حلاً أخر للحد من نفايات البولي إيثيلين تير فيثالات المستخدم في إنتاج القوارير، إلا أنه يلزم المزيد من الأبحاث العلمية لإيجاد طرق ذات جدوى اقتصادية لإنتاج، وضمتن استمرارية الإنتاج لهذا الإنزيم على المستوى التجاري، مع الأخذ في الاعتبار عمليات النقل والتخزين، لضمان استمرارية عمليات الإنتاج وتحويل نفايات البولي إيثيلين تير فيثالات إلى مواده الأولية وإعادة أنتاج القوارير البلاستكية مرة اخرى [39].

أمثلة عملية
في مناطق العالم

الفصل الرابع

أمثلة عملية في مناطق العالم

4. تمهيد

تهدف تدابير الوقاية من النفايات البلاستيكية إما للحد من كمية النفايات الناتجة عن الاستخدامات المختلفة، أو لتقليل الآثار البيئية من إدارة المخلفات، ومن مبادرات الحد من النفايات التي يتبعها عدد من دول العالم وخاصة دول الاتحاد الأوروبي، إعداد تصميمات أفضل للمنتجات البلاستيكية بهدف زيادة عدد مرات إعادة التدوير وخفض نسب المواد الضارة في المنتجات البلاستيكية، وزيادة المتانة أو الصلابة "Durability"، وإنتاج منتجات لها القدرة على التحلل، وغيرها من التدابير اللازمة. لذلك فمن المهم أن ننظر إلى الإجراءات التي تتخذها أو تخطط لها الدول للحد من أو منع النفايات البلاستيكية، وتحديد المجالات التي تتطلب زيادة الجهود [44].

يختلف تعامل الدول مع مفهوم النفايات البلاستيكية حسب رؤية كل دولة حيث تراها بعض الدول عبئاً بيئياً، وأخرى على استعداد لدفع سعر منافس مقابل استيراد تلك النفايات من مختلف دول العالم وإعادة تدويرها. هذا ونجد بعض المبادرات في بعض الدول العربية للحد من استهلاك المواد البلاستيكية وخاصة المنتجات ذات الاستخدام الواحد إلا انها لاتزال أقل من المطلوب تحقيقه، مقارنة مع الكميات الكبيرة من النفايات البلاستيكية والتي يتم التخلص منها بشكل عشوائي مسببة أضرار بيئية جسيمة. خاصة وأن معظم الدول العربية تعاني من عدم وجود سياسات واضحة ومحددة فيما يتعلق بمنظومة الجمع والتصنيف والفرز للنفايات البلاستيكية، وهي أهم المراحل اللازمة لتحقيق الإدارة الأمنة للنفايات البلاستيكية.

1.4. سياسات وتشريعات مكافحة التلوث بالنفايات البلاستيكية

على الرغم من أن هناك لوائح في عديد من الدول بشأن المواد والنفايات البلاستيكية، فإن تطبيق هذه اللوائح يظل ضعيفاً، هذا وتشير تقارير عالمية إلى أن التغييرات البسيطة في سياسة استخدام البلاستيك، من شأنها إحداث فارق كبير لصالح البيئة.

بدأت عدد من الدول حول العالم باتخاذ إجراءات قانونية وتنفيذية للحد من المخلفات البلاستيكية. فقد صوت الاتحاد الأوروبي في أكتوبر من عام 2018 على قرار غير ملزم لحظر البلاستيك المُستخدَم لمرة واحدة بشكل نهائي بحلول العام 2021، ويبقى القانون بحاجة إلى إقرار الدول الأعضاء والموافقة عليه، ووضعت هدفاً استراتيجيا للوصول إلى إعادة تدوير نحو 50% من النفايات بحلول عام 2020، ليصل إلى 55 % بحلول عام 2030 [35]. هذا وقد أدت الجهود الدولية للحد من التلوّث البلاستيكي إلى تبني حوالي 180 حكومة في شهر مايو 2019 بجنيف، مجموعة من القرارات التي تهدف إلى حماية صحة الإنسان والبيئة من الآثار الضارة للمواد الكيميائية والنفايات الخطرة، وتم التوصل إلى قرارات بشأن النفايات البلاستيكية باعتبارها مشكلة بيئية كبرى ذات أهمية عالمية، ووصولها إلى مستويات وبائية.

واتفقت الحكومات بتعديل اتفاقية بازل لإدراج النفايات البلاستيكية في إطار ملزم قانوناً، مما سيجعل تجارة النفايات البلاستيكية العالمية أكثر شفافية وأفضل تنظيمًا، مع ضمان إدارتها بطرق أكثر أمانًا لصحة الإنسان والبيئة. بينما لم توقع الولايات المتحدة الأمريكية على تعديل اتفاقية بازل مما يجعلها ضمن قلة من الدول غير الموقعة على الاتفاقية البيئية [43].

اتخذت الصين إجراءات لحماية حدودها من دخول النفايات البلاستيكية في مطلع عام 2018، بمنع وارداتها من النفايات البلاستيكية من الخارج، مما أحدث ربكة وفوضى وصدمة في أسواق النفايات العالمية [45]، إذ تعتبر الصين أكبر مستورد للنفايات على مستوى دول العالم.

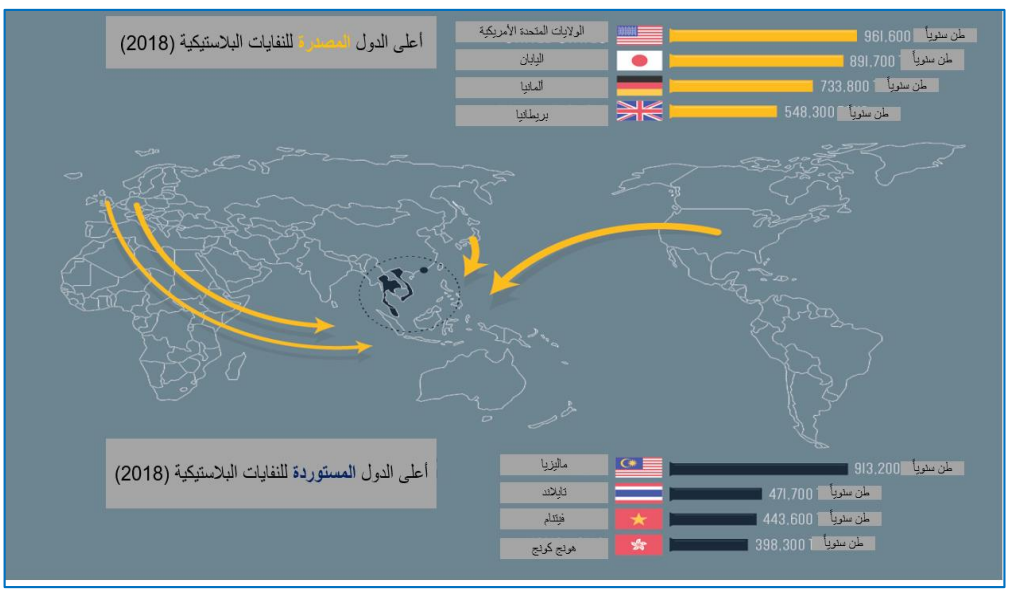
كانت الصين مستعدة لدفع سعر منافس مقابل إستيراد النفايات البلاستيكية من مختلف دول العالم خلال السنوات الخمس والعشرين الماضية، حيث أن اقتصادها الصناعي بحاجة إلى مواد أولية من هذا النوع، وبلغ حجم وارداتها من النفايات البلاستيكية في الفترة من 1992 - 2018 نحو 106 مليون طن، وهو ما يمثل حوالي 45 % من إجمالي نفايات العالم البلاستيكية، وقدرت قيمتها بنحو 58 مليار دولار ، ثم أصبح لدى الصين طموح له دوافع بيئية، تتعلق أولاً بالتلوث، وثانياً تغيير سمة أن المنتجات الصينية ذات جودة منخفضة، مما دفع الحكومة إلى إيقاف استيراد النفايات البلاستيكية [41].

هذا وقد عملت الدول الصناعية الكبرى وفي مقدمتها الولايات المتحدة الأمريكية، على البحث عن دول أخرى للتخلص من نفاياتها، أو إعادة تدويرها بالخارج، حيث قامت الولايات المتحدة خلال الثلاثة عقود الأخيرة بتصدير حوالي 10 مليون طن من النفايات إلى الصين نظراً لانخفاض تكلفة تصديرها عن تكلفة إعادة تدويرها داخل الولايات المتحدة [42]. كما واجهت بريطانيا أيضاً مشكلة تراكم النفايات البلاستيكية داخل مصانع إعادة التدوير في مختلف أنحاء البلاد، حيث كانت تقوم بتصدير حزالي 0.5 مليون طن من النفايات البلاستيكية إلى الصين لإعادة تدويرها، مما دفعها إلى التخلص من هذه الكميات بحرقها [41].

حاولت اليابان أيضاً التغلب على مشكلة تكدس كميات كبيرة من النفايات البلاستيكية والتي كانت تقوم اليابان بتصديرها إلى الخارج وتقدر بحوالي 1.5 مليون طن سنوياً، وتمثل واردات الصين منها حوالي 50 %. لذا لجأت اليابان وبعض الدول المتقدمة إلى تصدير نفاياتها

البلاســـتيكية إلى دول أخرى مثل تايلاند، وماليزيا، وفيتنام، وهونج كونج. وتحولت ماليزيا إلى الوجهة الرئيسية البديلة لتصدير النفايات البلاستيكية.. حيث بلغت واردات ماليزيا من النفايات البلاســتيكية خلال الســتة أشــهر الأولى من عام 2018، ما يوازي إجمالي ما اســتوردته خلال عامي 2016 و2017. وتعد الولايات المتحدة، وبريطانيا، واليابان، وألمانيا، من كبار مصدري نفايات البلاستيك إلى ماليزيا، كما قامت بعض الشركات الصينية بإنشاء عدد من مصانع إعادة تدوير للنفايات البلاســتيكية لها في الدول البديلة المجاورة للاســتفادة من مثل هذه المشــروعات [42،41]. يبين الشـــكل (50) مخطط حركة تجارة النفايات البلاســـتيكية بين أكبر مصـــدري ومستوردي النفايات البلاستيكية حول العالم.

الشكل (50) مخطط حركة تجارة النفايات البلاستيكية بين أكبر مصدري ومستوردي النفايات البلاستيكية حول العالم



المصدر: https://www.visualcapitalist.com/mapping-the-flow-of-the-worlds-plastic-waste/

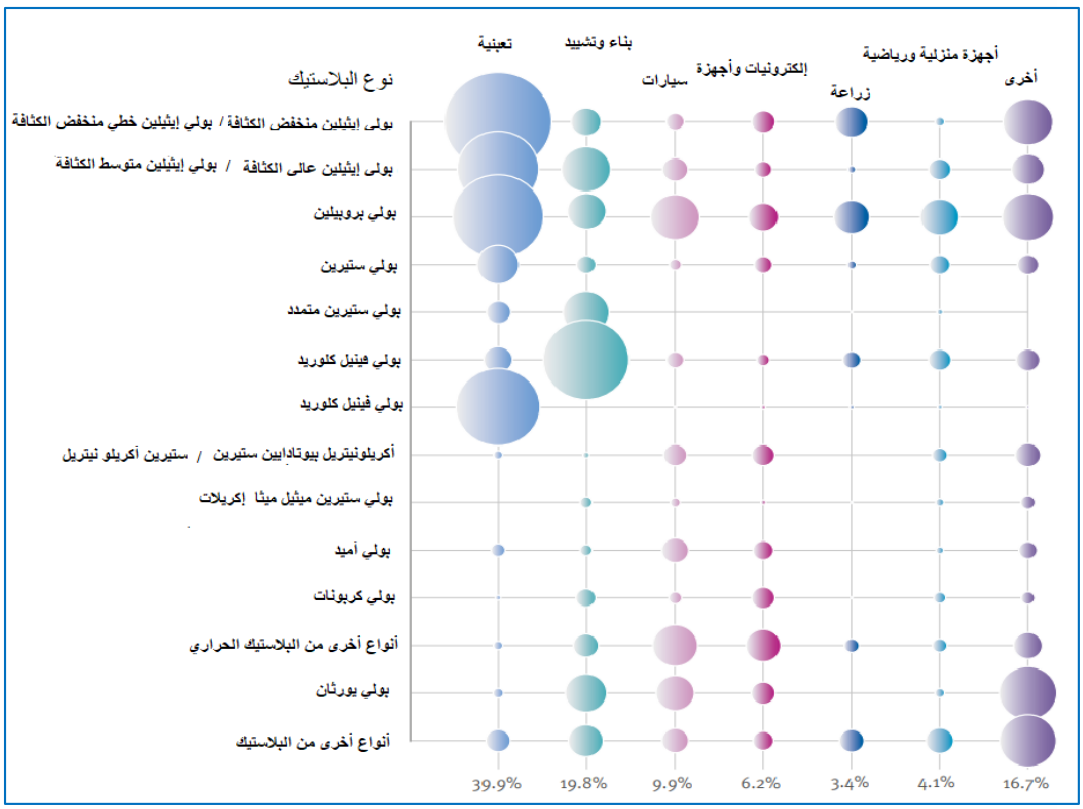
زادت كميات النفايات البلاستيكية التي استوردتها ماليزيا في عام 2018 بنسبة حوالي ثلاثة اضعاف عن الكميات التي استوردتها في عام 2017، إذ بلغت حوالي 7 مليون طن، إلا أنها فوجئت بأن تلك النفايات لا تصلح لإعادة تدويرها بشكل مناسب، وهو ما جعلها تواجه نفس المشاكل البيئية والصناعية التي واجهت الصين من قبل. مما أدى إلى قيام ماليزيا برفض كميات كبيرة من النفايات البلاستيكية الواردة من أسبانيا وأعادتها مرة أخرى، كما رفضت استقبال، وإعادة حوالي 3 مليون طن من النفايات البلاستيكية إلى كل من بريطانيا، والولايات المتحدة، واليابان، والصين، وكندا، وأستراليا، وهولندا، وألمانيا، والسعودية، وسنغافورة، والنرويج، وفرنسا. يبين الشكل (51) عدد من الحاويات المليئة بالنفايات البلاستيكية المعدة للتصدير.

الشكل (51) عدد من الحاويات المليئة بالنفايات البلاستيكية المعدة للتصدير

2.4. الاتحاد الأوروبي

بلغت كميات الطلب على البلاســتيك بأنواعه المختلفة في دول الاتحاد الأوروبي نحو51.2 مليون طن في عام 2018، يبين الشــكل (52) نســب اســتخدام أنواع البلاســتيك المختلفة في القطاعات الرئيسية في دول الإتحاد الأوروبي.

الشكل (52): نسب استخدام أنواع البلاستيك المختلفة في القطاعات الرئيسية في دول الاتحاد الأوروبي



المصدر: Plastics – the Facts 2019, An analysis of European plastics production, demand and waste data

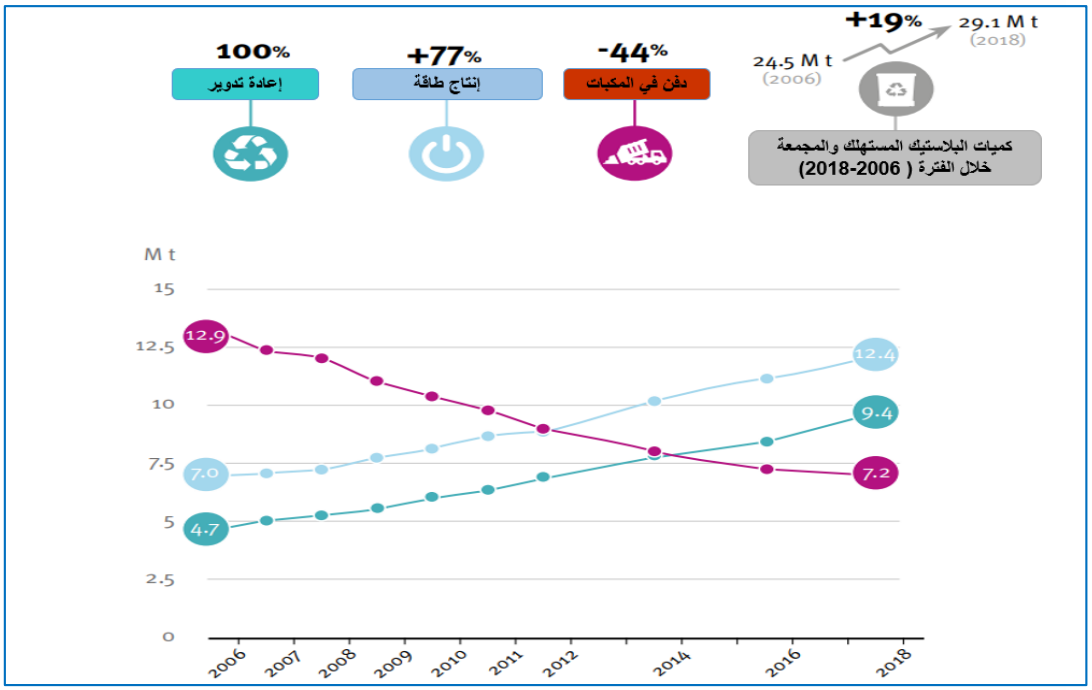
كميات النفايات البلاستيكية المجمعة ليست بالضرورة تمثل كميات البلاستيك المنتجة خلال العام حيث أن بعض المنتجات البلاستيكية لها فترة حياة أقل من عام، وبعضها أكثر من 15 عام، وفي بعض الأحيان قد تصل إلى 50 عام.

ارتفعت كميات البلاستيك المجمعة في دول الاتحاد الأوروبي بنسبة 19 % في الفترة من 2006- 2018، إذ ارتفعت من حوالي 24.5 مليون طن إلى نحو 29.1 مليون طن. وعلى الرغم من ذلك بلغت نسبة النفايات التي تم أرسالها إلى المكبات حوالي 25 % من إجمالي النفايات البلاستيكية المجمعة خلال عام 2018.

زادت نسبة إعادة تدوير نفايات البلاستيك خلال الفترة من 2006 – 2018 إلى كثر من 100 %، حيث بلغت 9.4 مليون طن في عام 2016 ، مقارنةً بنحو 4.7 مليون طن في عام 2006، بينما ارتفعت نسبة إنتاج الطاقة من البلاستيك بحوالي 77 %، حيث بلغت كميات البلاستيك المستخدمة حوالي 12.4 مليون طن بدلا من 7 مليون طن، وعلى الجانب الأخر انخفضت نسبة التخلص من البلاستيك في المكبات بنسبة 44 %، حيث انخفضت إلى 7.2 مليون طن بدلاً من 12.9 مليون طن، يبين الشكل (53) كميات ونسب نفايات البلاستيك وطرق معالجتها في دول الاتحاد الأوروبي خلال الفترة 2006 -2018.

الشكل (53): كميات ونسب نفايات البلاستيك وطرق معالجتها

في دول الاتحاد الأوروبي خلال الفترة 2006-2018

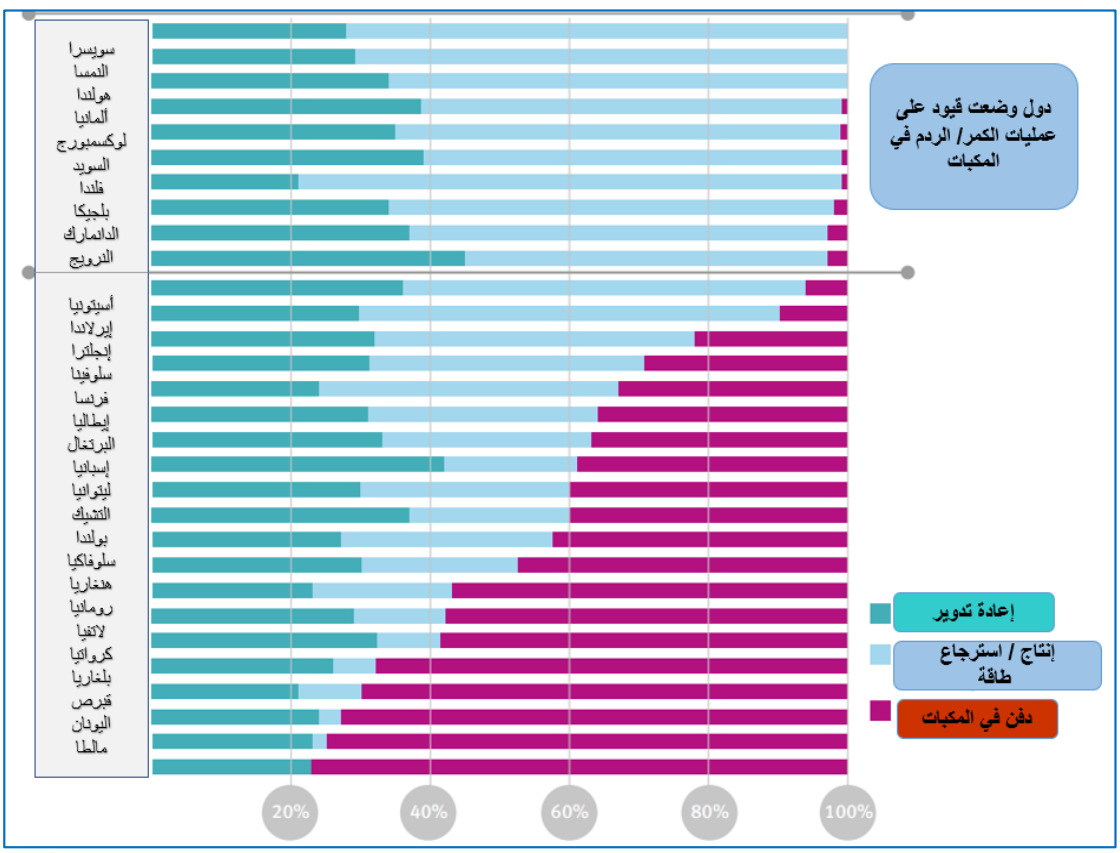


المصدر: Plastics – the Facts 2019, An analysis of European plastics production, demand and waste data

بلغت نسبة إعادة تدوير نفايات البلاستيك بمختلف أنواعها في عام 2018 حوالي 32.5 %، وبلغت نسب إنتاج " استرداد" الطاقة منها حوالي 42.6%، بينما بلغت نسبة الدفن في المكبات حوالي 24.7 %. هذا وقد تم إعادة تدوير حوالي 81 % من النفايات البلاستيكية داخل دول الاتحاد الأوروبي، بينما بلغت نسبة النفايات البلاستيكية المصدرة بغرض إعادة التدوير خارج دول الاتحاد الأوروبي حوالي 19 %، مما ساهم في خفض نسب تصدير النفايات البلاستيكية إلى الخارج بنسبة 39 % عن عام 2006.

وضعت دول الإتحاد الأوروبي أهداف استراتيجية نحو خفض نسب دفن النفايات البلاستيكية إلى الصـفر، لتحقيق أهداف منظومة الاقتصـاد الدائري، وحققت كل من سـويسـرا، والنمسـا، وألمانيا هذا الهدف. يبين الشكل (54) معدلات إعادة التدوير، واسترجاع الطاقة، والدفن في دول الاتحاد الأوروبي في عام 2018.

الشكل (54) معدلات إعادة التدوير، واسترجاع الطاقة، ودفن النفايات في دول الاتحاد الأوروبي في عام 2018



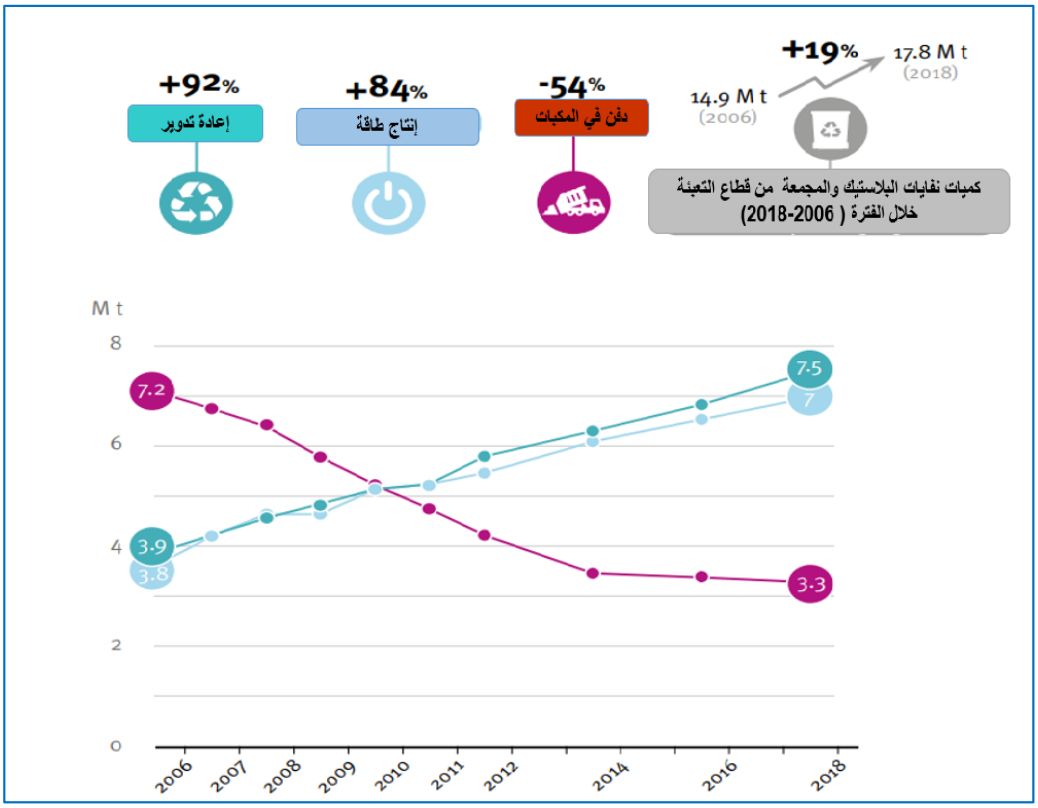
المصدر: Plastics – the Facts 2019, An analysis of European plastics production, demand and waste data

أما فيما يخص قطاع التعبئة والتغليف والذي يمثل أعلى القطاعات استهلاكاً للأنواع المختلفة من البلاستيك داخل دول الاتحاد الأوروبي، فقد بلغت كميات النفايات البلاستيكية المجمعة عنه حوالي 17.8 مليون طن سنوياً في عام 2018، مقارنةً بحوالي 14.9 مليون طن سنوياً في عام 2009، وبزيادة بلغت نسبتها حوالي 19 %. مما ساهم في نجاح دول الاتحاد الأوروبي في رفع كميات النفايات البلاستيكية المعاد تدويرها من حوالي 3.9 مليون طن عام 2006 إلى حوالي 7.5 مليون طن عام 2018، وبزيادة بلغت حوالي 92 %، ومثلت هذه الكميات حوالي 42.2 % من إجمالي كميات نفايات البلاستيك المجمعة خلال عام 2018.

كما نجحت دول الاتحاد الأوروبي في زيادة كميات النفايات البلاستيكية المستخدمة لإنتاج واسترداد الطاقة من 3.8 مليون طن سنوياً في عام 2006 إلى حوالي 7 مليون طن سنوياً في عام 2018، وبزيادة بلغت نسبتها حوالي 84 %، ومثلت هذه الكميات المستخدمة في إنتاج الطاقة حوالي 39.3 % من إجمالي النفايات البلاستيكية المجمعة خلال نفس العام.

في حين نجحت تلك الدول أيضاً في خفض كميات النفايات البلاستيكية التي تم معالجتها والتخلص منها بطرق للدفن او الدفن في المكبات من حوالي 7.2 مليون طن سنوياً في عام 2006 إلى حوالي 3.3 مليون طن سنوياً في عام 2018، وبخفض بلغت نسبته حوالي 54%، ومثلت الكميات التي تم التخلص منها بطرق الدفن حوالي 18.5 % من إجمالي النفايات البلاستيكية المجمعة داخل دول الاتحاد الأوروبي لعام 2018. يبين الشكل (55) مقارنة كميات ونسب النفايات البلاستكية من قطاع التعبئة في دول الإتحاد الأوروبي وطرق معالجتها خلال الفترة 2006-2018.

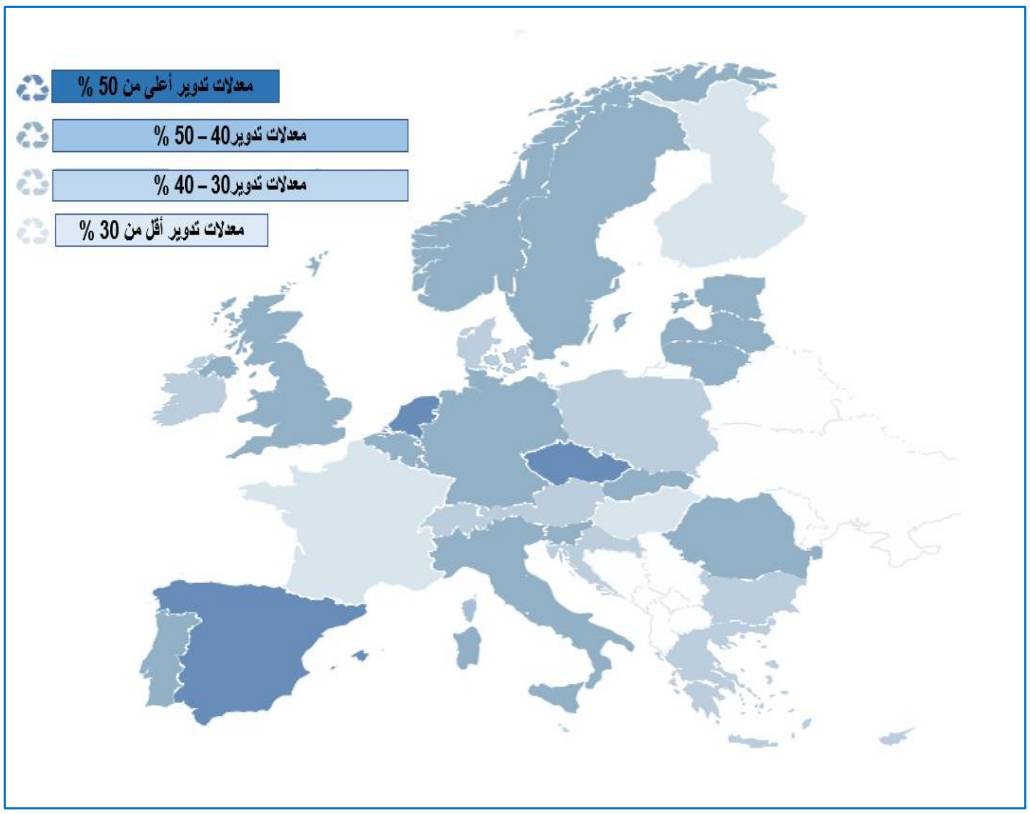
الشكل (55): مقارنة كميات ونسب النفايات البلاستكية من قطاع التعبئة في دول الإتحاد الأوروبي وطرق معالجتها خلال الفترة 2006-2018



المصدر: Plastics – the Facts 2019, An analysis of European plastics production, demand and waste data

بلغت معدلات إعادة تدوير النفايات البلاستيكية الناتجة عن قطاع التعبئة في أكثر من نصف دول الإتحاد الأوروبي حوالي 40 %، فيما حققت كل من التشيك، وإسبانيا، وهولندا نسبة أعلى من 50 %. يبين الشكل (56) معدلات إعادة تدوير نفايات قطاع التعبئة والتغليف بالبلاستيك في دول الإتحاد الأوروبي.

الشكل (56): معدلات إعادة تدوير نفايات قطاع التعبئة والتغليف بالبلاستيك في دول الإتحاد الأوروبي



المصدر: Plastics – the Facts 2019, An analysis of European plastics production, demand and waste data

تتباين معدلات إعادة تدوير منتجات التعبئة والتغليف البلاستيكية في أوروبا وتتراوح ما بين 26% إلى 52 % من اجمالي تلك النفايات، ويعزى هذا التباين في معدلات التدوير إلى منظومة التجميع المتاحة، والبنية التحتية المتوفرة بكل دولة، بالإضافة على سلوك المستهلكين.

إلا أن متوسط معدلات تدوير نفايات التعبئة والتغليف البلاستيكية في دول الإتحاد الأوروبي يبلغ نحو 42 %. يبين الشـــكل (57) معدلات إعادة التدوير لنفايات منتجات التعبئة والتغليف بالبلاستيك لكل دولة في الإتحاد الأوروبي لعام 2018.

الشكل (57): معدلات إعادة التدوير لنفايات منتجات التعبئة والتغليف بالبلاستيك لكل دولة في الإتحاد الأوروبي لعام 2018

المصدر: Plastics – the Facts 2019, An analysis of European plastics production, demand and waste data

تعد تجربة أيرلندا من أنجح التجارب على مستوى دول الاتحاد الاوروبي في تشريع وإقرار سياسات ناجعة لإعادة تدوير النفايات البلاستيكية، حيث كانت معدلات إعادة تدوير النفايات البلاستيكية وخاصة عبوات التعبئة والتغليف في عام 1997 أقل من 10 %، ثم ارتفعت إلى حوالي 36 % في عام 2018، حيث تم إعادة تدوير نحو 100 ألف طن من إجمالي نحو 276 ألف طن من النفايات. لتحقيق استراتيجية المفوضية الأوروبية الجديدة لإعادة التدوير، سيتعين زيادة كميات النفايات البلاستيكية المعاد تدويرها إلى نحو 176 ألف طن سنوياً [54].

أما في ألمانيا فقد دفع النقص في طاقة المكبات في بداية الثمانينات من القرن الماضي، خاصة مع تنامي عدد السكان وتناقص الموارد إلى قيام الدولة بزيادة الوعي السكاني بضرورة إتباع سياسة فصل النفايات من المنبع، والتعريف بثقافة وأهمية إعادة التدوير، والعمل على إدارة مواردها من النفايات كمصدر من مصادر إنتاج الطاقة، خاصة مع اعتمادها على استراتيجيات مفهوم منظومة "الاقتصاد الدائري"، واعتباره أحد أهم أولويات السياسة البيئة.

وتطورت إدارة النفايات في ألمانيا بحيث أصبحت قطاع اقتصادي كبير وقوي، يهدف إلى الحفاظ على الموارد من خلال عمليات إعادة التدوير وعمليات استرداد الطاقة. وتشير الإحصاءات الحديثة إلى أن حوالي 14 % من نفايات البلاستيك تستخدم في إنتاج الطاقة، وقد تم توسيع طاقة مشروعات إعادة التدوير في ألمانيا وأصبحت الأن تقنيات الفرز والمعالجة وإعادة التدوير الحديثة قائمة وراسخة، ويعمل بهذا القطاع أكثر من 270 ألف شخص في حوالي 15 ألف منشأة لإدارة النفايات، ويبلغ حجم مبيعاتها السنوية حوالي 70 مليار يورو.

بينما تستهلك فرنسا ما بين 2 - 4 مليون طن سنوياً من البلاستيك وتقوم بإعادة تدوير 22% فقط من إجمالي النفايات البلاستيكية المجمعة بمختلف أنواعها، وجرى تسجيلها في عام 2018 في سجل الدول الأسوأ من بين دول الاتحاد الأوروبي من حيث الاستفادة من نفاياتها

البلاستيكية، وبلغت نسبة إعادة تدوير نفايات منتجات التعبئة والتغليف حوالي 25 % فقط، لذا فقد وضعت فرنسا خارطة طريق جديدة للاستفادة من البلاستيك المعاد تدويره بنسبة 100% بحلول عام 2025[35].

تستهلك إيطاليا حوالي 2.1 مليون طن بلاستيك سنويًّا وهي أكبر مستهلك للبلاستيك بعد ألمانيا، وتستهدف جمع وفصل نحو 26% من النفايات البلاستيكية سنوياً. أما إسبانيا فتستهلك 3.84 مليون طن بلاستيك سنويًّا، ويتم إعادة تدوير حوالي 38% منها، ولديها قانون بشأن نفايات التعبئة والتغليف تماشياً مع القواعد المتبعة في الاتحاد الأوروبي [35]. أما اليونان فتستهلك حوالي 0.6 مليون طن سنوياً من البلاستيك وتعيد تدوير حوالي 20% فقط منه، وتستهدف رفع تلك النسبة إلى 65% بنهاية عام 2020، هذا وتمتلئ 80% من شواطئ اليونان بالنفايات البلاستيكية [35].

تهدف كرواتيا إلى إنشاء نظام لإدارة النفايات البحرية بحلول عام 2022، حيث تعد قطع البلاستيك من نفايات البولي سترين الصغيرة من أكثر الملوثات الموجودة بكثرة في البحار، تليها الأغطية البلاستيكية، وأغطية قوارير المشروبات البلاستيكية، لذا فقد سنت كرواتيا استراتيجية الإدارة البحرية والساحلية ، وتهدف إلى تحسين إدارة النفايات البلاستيكية الناتجة عن أنشطة الغوص، وشباك ، وتضمنت ضرورة قيام الشركات بتصميم إنتاج مواد تغليف يمكن إعادة استخدامها و / أو إعادة تدويرها وفقًا لأفضل التقنيات المتاحة لتقليل التأثير البيئي. ومن جانب أخر تم استخدام 55 ألف طن من العبوات البلاستيكية وأعيد تدوير حوالي 50 % منها [35].

أما من خارج دول الاتحاد الأوروبي فنجد أن تركيا تستهلك حوالي 1.24 مليون طن من البلاستيك سنويًّا، يتم تدوير حوالي 40٪ من النفايات البلاستيكية بها، وتستهدف ترشيد

استهلاك الأشخاص من الأكياس البلاستيكية لتصبح بمعدل 40 كيس في العام للشخص الواحد بحلول عام 2025، بدلاً من 95 كيس للشخص الواحد حالياً [35].

كما كانت مدينة "فانكوفر" في كندا، هي الأولى في حظر شفاطات الشرب البلاستيكية، وحظر توزيع أكواب الشاي والحاويات البلاستيكية. وفي "كوستاريكا"، سيتم حظر استخدام المنتجات البلاستيكية ذات الاستعمال الواحد بحلول عام 2021، والتي تشمل شفاطات المشروبات، والقوارير، وأدوات الموائد، والأكواب، والأكياس البلاستيكية.

كما أدى حظر استخدام الأكياس البلاستيكية في أكبر سلسلتين من المتاجر في "أستراليا" منتصف عام 2017، إلى انخفاض الاستهلاك الإجمالي للبلاد من الأكياس البلاستيكية بنسبة 80%.

لم يقتصر الحظر على الدول المتقدمة، إذ فرضت "الهند" عام 2017، حظرًا على استخدام البلاستيك المُستخدَم لمرة واحدة في العاصمة "نيودلهي"، وتلتزم بالإلغاء التدريجي لاستخدام البلاستيك الذي يستعمل مرة واحدة وصولاً إلى الإلغاء الكامل بحلول عام 2022. قامت "الهند" أيضاً في بداية عام 2019 بحظر استيراد النفايات البلاستيكية لتقليص الفجوة بين إنتاج النفايات البلاستيكية والطاقة الاستيعابية لمشروعات إعادة التدوير فيها، حيث تنتج الهند يومياً حوالي 26 ألف طن من النفايات البلاستيكية.

وأصدرت "كينيا" عام 2017، أحد أكثر القوانين صرامة في العالم، بحظر استخدام أكياس البلاستيك، لتصل عقوبة انتهاك القانون إلى 38 ألف دولار وسجن يصل إلى أربعة أعوام. ويشمل الحظر استخدام أو استيراد أو تصنيع الأكياس البلاستيكية.

الاستنتاجات والتوصيات

ساهمت الخصائص المتميزة للبلاستيك في استخدامه في العديد من التطبيقات الصناعية، ودخلت المنتجات البلاستيكية في شتى مناحي حياتنا المعاصرة. إلا أن هذا الانتشار أدى إلى تراكم أكثر من 150 مليون طن من النفايات البلاستيكية في المحيطات، ويضاف إليها كل عام ما لا يقل عن 8 مليون طن، تقدر تكلفتها الاقتصادية العالمية بحوالي 13 مليار دولار أمريكي سنوياً، كضرر بيئي لنظم الحياة البحرية.

تناولت الدراسة مشكلة تراكم النفايات البلاستيكية وطرق التخلص منها، وأثرها على الإنسان، والكائنات الحية، والحياة البرية والبحرية، **وتوصلت إلى الاستنتاجات التالية:**

- لا تقتصر النفايات البلاستيكية في البيئة البحرية فقط على تلك الصور المتعارف عليها والخاصة بالقمامة الشاطئية والقطع البلاستيكية الكبيرة العائمة على المسطحات المائية، ولكن تعد أيضاً "الجزيئات الدقيقة للغاية" والتي تتواجد على شكل عوالق هي الأخطر، حيث يتعذر اكتشافها بالعين المجردة.
- يمثل سوء إدارة النفايات والتخلُّص "العشوائي" منها التحدي الأكبر الذي يواجه أنظمة إدارة النفايات، فالبلاستيك له قدرة على التسلل إلى النظم البيئية الساحلية.
- يعد قطاع التعبئة أكثر القطاعات استهلاكاً للأنواع المختلفة من البلاستيك نظراً لمميزات خفة الوزن، وسهولة التشكيل في أشكال مختلفة ولاسيما في مجال المواد الغذائية، والمشروبات، مما يسهم في سهولة النقل، والمناولة.
- يختلف تعامل الدول مع مفهوم النفايات البلاستيكة حسب رؤية كل دولة حيث تراها بعض الدول عبئاً بيئياً، وآخرى على استعداد لدفع سعر منافس مقابل إستيراد تلك النفايات من مختلف دول العالم وإعادة تدويرها.

- تحظى عملية إدارة وإعادة تدوير النفايات البلاستيكية باهتمام كبير في الدول المتقدمة، لما لها من دور رئيسي في المحافظة على البيئة، كما أنها تعد من العوائد الاقتصادية المهمة.
- تحظى عملية إدارة وإعادة تدوير النفايات البلاستيكية باهتمام كبير في الدول المتقدمة، لما لها من دور رئيسي في المحافظة على البيئة، كما أنها تعد من العوائد الاقتصادية المهمة.
- لا تتوفر في كثير من الدول الآليات الكافية لمنظومة جمع المواد البلاستيكية، والتخلص منها، أو إعادة تدويرها، ونتيجة لذلك يزداد انتشار النفايات البلاستيكية في الحيز الحضري والبيئة المحيطة، ومن هنا فإن مسألة إدارة النفايات البلاستيكية أصبحت ملحة وعاجلة.
- حرصت عدد من دول العالم على دراسة هذه المشكلة، والبحث عن حلول بيئية واقتصادية لها، وأصبحت مواضيع حماية البيئة والحدّ من التلوث من الأمور الهامة والملحة التي تسعى كثير من الدول لإيجاد الحلول الناجعة لها.
- تعتبر عمليات الحد من النفايات البلاستيكية أحد أسهل الطرق لإدارة النفايات البلاستيكية، ويمكن الحد من النفايات من خلال إعادة تدويرها، وتجنب استخدام المنتجات غير القابلة للاستخدام مثل أكياس البلاستيك، وإعادة استخدام الأشياء المستعملة.
- أفضل أساليب وطرق التخلص من النفايات البلاستيكية هو التقليل "Reduce"، يليه إعادة الاستخدام "Ruse"، ثم إعادة التدوير "Recycle"، فطرق استخلاص وإنتاج الطاقة.
- تهدف طرق إعادة التدوير المختلفة إلى التقليل من استهلاك الطاقة، والحفاظ على الموارد الطبيعية لاستخدامها في المستقبل، وزيادة القيمة المضافة للنفايات البلاستيكية، والحد من حجم مكبات النفايات، والحد من تلوث الهواء والمياه، والحد من انبعاثات الغازات الملوثة للبيئة.

- تأتي النفايات البلاســتيكية في المرتبة الثالثة بعد الغاز الطبيعي والبترول الخام من حيث المحتوى الحراري للطاقة، وتســتخدم تقنيات التحلل الحراري الحفاز لإنتاج الطاقة من النفايات البلاستيكية خاصة في محطات توليد الطاقة، والصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة.
- توفر عمليات إعادة تدوير النفايات البلاستيكية فرصاً استثمارية عديدة، حيث يمكن أن تقام عليها عدد من المشروعات الصغيرة أو المتوسطة، أو الكبيرة سواءً للمؤسسات أو للأفراد، وتعد من الاستثمارات الآمنة.
- يتميز الاقتصاد الدائري أو ما يمكن أن يطلق عليه "الاقتصاد التدويري" أنه يضع حسابات العائد الاقتصادي بجانب العوائد البيئية من خلال ترشيد استخدام الموارد الطبيعية وبالتالي التقليل من نسب التلوث.
- هناك العديد من الجهود والمحاولات، والابتكارات العلمية التي تهدف إلى تحسين الوضع البيئي الناتج عن النفايات البلاستيكية، ولكن لم يظهر تأثيرها بشكل جيد بعد.

كما توصلت الدراسة إلى التوصيات التالية:

- ضرورة إقرار التشريعات والقوانين، ووضع أهداف خاصة للتعامل، والتخلص الآمن من النفايات البلاستيكية، وتشجيع المستثمرين في مجال إعادة التدوير، وانتاج الطاقة منها، والتوعية المجتمعية للمساهمة في الحد من مخاطرها.
- الاستفادة من الخبرات والمبادرات السابقة في مجال الحد من النفايات التي تتبعها عدد من دول العالم وخاصة دول الاتحاد الأوروبي، لإعداد تصميمات أفضل للمنتجات البلاستيكية بهدف زيادة عدد مرات الاســتخدام وإعادة التدوير، وخفض نســب المواد الضــارة في المنتجات البلاستيكية، وزيادة المتانة أو الصلابة، وإنتاج منتجات لها القدرة على التحلل، وغيرها من التدابير القابلة للتنفيذ.
- ضرورة تشجيع التجارب والخبرات السابقة في سياسة استخدام البلاستيك، والتي من شأنها إحداث فارق كبير لصالح البيئة.

- الاهتمام بالإجراءات التي تتخذها أو تخطط لها الدول للحد من أو منع النفايات البلاستيكية، وتحديد المجالات التي تتطلب زيادة الجهود.
- توجيه أنشـــطة البحث العلمي لإيجاد حلول إبداعية، وطرق وتقنيات مبتكرة لإعادة تدوير البلاســـتيك، وإنتاج اليرقات آكلة البلاســـتيك، وإنتاج البلاســـتيك الحيوي القابل للتحلل، وغيرها من الابتكارات والأبحاث الطموحة التي تهدف للحد من اســـتخدام البلاســـتيك المنتشـــر بكثافة في مكبات النفايات، والغابات، والصـــحاري، والمحيطات التي تســـتغرق سنوات طويلة لتتحلل.

قائمة المصطلحات الفنية

المصطلح	التعريف
• اللدائن، والبلاستيك، والبوليمرات "Plastic"	• اللدائن، والبلاستيك، والبوليمرات ثلاث مصطلحات أو تعريفات لعائلة من المواد المتشابهة في مظهرها العام، ولكنها تختلف من حيث تركيبها ومكوناتها. • مصطلح لدينة هو تسمية للمواد التي تتكون من جزيئات صغيرة وكبيرة، وتتميز بالقابلية للتشكيل بالتسخين، أو بالضغط أو كليهما، وتتميز بليونتها وقابليتها للانضغاط، والثني، والسحب. • أما البلاستيك فهو الترجمة لكلمة "Plastic"، وهي تسمية إنجليزية. • بينما البوليمرات "Polymers" تعني المواد التي تتكون من عدد من كبير من وحدات بنائية صغيرة تعرف بالمونومر "Monomer"
• المونومر "Monomer"	• عبارة عن جزيء" أو وحدة بنائية" من أي فئة من المركبات، معظمها عضوي، يمكن أن يتفاعل مع جزيئات أخرى لتكوين جزيئات كبيرة جدًا، أو بوليمرات.
• الراتنج "Resin "	• مواد مكونة من مواد عضوية غير متطايرة، أو شبه صلبة والتي تتكون من مخاليط غير متبلورة من أحماض كربوكسيلية ويتم الحصول عليها مباشرة عن طريق تحضيرها ببلمرة الجزيئات البسيطة. • مادة سميكة ولزجة تنتج من خلال عمليات كيميائية للاستخدام في الصناعة.
• البلاستيك الحراري "Thermoplastic"	• هو البلاستيك الذي يلين بالحرارة ويمكن صهره واعادة تشكيله، وهذا النوع هو الأكثر استعمال وشيوعا.
• البلاستيك المتصلد بالحرارة "Thermoset"	• يتحول هذا النوع من البلاستيك بعد تشكيله إلى مواد متصلدة غير منصهرة ولا يمكن إعادة تليينه أو تشكيله عند إعادة التسخين.

المراجع

1. Plastics – the Facts 2018, An analysis of European plastics production, demand and waste data, PlasticsEurope (the Association of Plastics Manufacturers in Europe),2018.
2. Plastics and the Environment, Assessing the Impact of the Complete Ban on Plastic Carry Bag, Toxics Link, Website: http://www.toxicslink.org,2014.
3. البلاستيك وتلوث البيئة، د. عصام الدين نوفل، سلسلة نشرات ثقافية تعني بقضايا البيئة، تصدرها جمعية حماية البيئة- الكويت، فبراير 1986.
4. Polymer Science Technology, Robert O. Ebewele, CRC Press, 2000.
5. Introduction to Polymer Science and Chemistry, Chanda M., CRC Press, Taylor and Francis Group, FL, USA, 2006.
6. Polymer Chemistry, Sixth edition, Charles E. Carraher, Florida Atlantic University,2000.
7. The Statistics Portal ,"Statistics and Studies from more than 22,500 Sources", https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/
8. Mapping the plastics system and its sustainability challenges,2018. http://lup.lub.lu.se/search/ws/files/40307312/Mappning_the_plastics_system_and_its_sustainability_challenges.pdf.
9. اللدائن والمواد المركبة، د. عبد اللطيف رشاد السمرائي، 2010.
10. Plastic coextrusion technologies, https://www.plasticextrusiontech.net/resources/coextrusion-innovation/.
11. Advanced High Strength Natural Fiber Composites in Construction,2017, Pages 235-255.

https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/coextrusion.

12. Lecture 4.7: Rotational Molding and Blow Molding. https://nptel.ac.in/courses/112107085/module4/lecture7/lecture7.pdf.
13. http://www.pentasmoulding.com/production/rotational-molding/.
14. Plastics Fabrication and Recycling, CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business,2007.
15. Introduction to Plastics Recycling, Smithers Rapra Technology Limited Second Edition Published 2007,
16. Improving Markets for Recycled Plastics, Trends, Prospects and Policy Responses, OECD (2018), Improving Markets for Recycled Plastics: Trends, Prospects and Policy Responses, OECD Publishing, Paris.
17. How Green is Your Plasticizer و Department of Chemical Engineering, McGill University, 3610 University St, Montréal, QC H3A 0C5, Canada; roya.jamarani@mail.mcgill.ca (R.J.); hanno.erythropel@yale.edu (H.C.E.); Received: 5 July 2018; Accepted: 25 July 2018; Published: 28 July 2018.
18. Thermal Analysis of Polymers Fundamentals and Applications, y John Wiley & Sons, Inc.,2009.
19. Analysis of Plastics, Rapra Technology Limited), Martin J. Forrest,2002.
20. كيمياء البوليمرات، د. عمر عبد الله الهزازي
21. البلاستيك، أنواعه وتأثيره على صحة الإنسان، د. أسعد رحمان سعيد الحلفي، كلية الزراعة- جامعة البصرة.
22. Plastics Europe (2016), “Plastics – the Facts 2017: An analysis of European plastics production, demand and waste data”, https://www.plasticseurope.org/application/files (accessed on March 2018).

23. UNEP (2016), Global Waste Management Outlook, http://web.unep.org/ourplanet/september-2015/unep-publications/global-waste-management-outlook// (accessed on 27 March 2018).
24. Global Thermosetting Plastics Market – Segmented by Type, Industry and Geography–Trends and Forecasts, (accessed on 26 March 2018).

https://www.prnewswire.com/newsreleases/global-thermosetting-plastics-market---segmented-by-type-industry-andgeography---trends-and-forecasts-2015-2020---reportlinker-review-300145372.html.
25. The New Plastic Economy, Rethinking the Future of Plastic, ELLEN MACARTHUR FOUNDATION.2014.
26. Plastic Pollution Primer and Action Toolkit, End Plastic Pollution, Earth Day 2018.
27. No Such Place As "Away": Plastic Pollution in the Oceans, Why We Should Care, and What to Do About It, The InterAction Council held its 35th Annual Plenary Meeting in Beijing, P.R. China, from 28 to 30 September 2018.
28. Plastic Pollution (Our World in Data), https://ourworldindata.org/plastic-pollution.
29. www.worldbank.org/what-a-waste.
30. https://www.seeker.com/earth/conservation/these-ten-rivers-are-responsible-for-90-percent-of-the-plastic-in-the-oceans.
31. Fact Sheet: End Plastic Pollution, Earth Day 2018.
32. Plastic, Production, use, and fate of all plastics ever made, science advances | research article, copyright 2017

33. https://eradicateplastic.com/10-interesting-facts-about-the-great-pacific-garbage-patch/.
34. https://ocean.si.edu/planet-ocean/tides-currents/ocean-trash-plaguing-our-sea.
35. Out of The Plastic Trap, Saving the Mediterranean From Plastic Pollution https://wwf.fi/mediabank/11094.pdf
36. https://science.sciencemag.org/content/304/5672/838.
37. https://www.scientificamerican.com/arabic/articles/news/new-technique-to-get-ride-of-small-microplastics/.
38. https://www.scientificamerican.com/arabic/articles/news/a-huge-floating-screen-will-sift-plastic-out-of-the-ocean/.
39. Characterization and engineering of a plastic-degrading aromatic polyesterase, Proceedings of the National Academy of Sciences https://www.pnas.org/content/115/19/E4350#F2
40. https://www.scientificamerican.com/arabic/articles/news/new-technique-to-get-ride-of-small-microplastics.
41. Lost, but found with Nile red; a novel method to detect and quantify small microplastics (20 µm–1 mm) in environmental samples, SUPPORTING INFORMATION, Gabriel Erni-Cassola1,2018.
42. https://www.unenvironment.org/ar/news-and-stories/alqst/hzr-astyrad-alnfayat-fy-alsyn-ykshf-n-mshklat-aadt-altdwyr-alalmyt-lknh-ywfr.
43. https://www.unenvironment.org/ar/news-and-stories/alnshrat-alshfyt/twafq-alhkwmat-ly-alqrarat-altarykhyt-lhmayt-alnas-walkwkb-mn.

44. Preventing Plastic Waste in Europe, EEA Report No 02/2019, European Environment Agency, 2019.

45. Discarded Communities on The Frontlines of The Global Plastic Crisis, Gaia, April, 2019.

46. Sorting of plastic waste for effective recycling, Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research, editorial@ijaser.com, ISSN 2277 – 9442, Vol. 4, Issue 4, 2015.

47. https://www.plasticstoday.com/packaging/plasma-gasification-solution-plastics-and-all-waste/181263217161321.

48. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873020/.

49. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873020/#RSTB20080311C16.

50. Recycling Plastics, Waste Policy, Matthew Kirchoffner, May 7th, 2005.

51. http://www.plasticwastedisposal.com/plastic-waste-management-plastic-recycling-methods-options/.

52. Plastics Fabrication and Recycling, Clemson University, Clemson, South Carolina.

53. Plastic Packaging Recycling Strategy 2018-2030, September 2018.

54. Circular Economy and Plastics, Gulf Petrochemicals & Chemicals Association (GPCA),2017.

55. The Closed Loop Foundation ,Film Recycling Investment Report, Prepared By: Rse Usa,2019.

56.A Circular Economy for Plastics, Insights from Research and Innovation to Inform Policy and Funding Decisions, European Commission,2019.

57. Plastics and the circular economy, Scientific And Technical Advisory Panel, June 2018.

58.The Effect of Plastic Pollution on Marine Life, The Pegasus Foundation ,2019. https://www.pegasusfoundation.org/the-effect-of-plastic-pollution-on-marine-life/

Plastic Waste Recycling,

Investment Opportunities and Environmental Solutions

Abstract

It would be hard to imagine a modern society today without plastics. Plastics have found a myriad of uses in fields as diverse as household appliances, packaging, construction, medicine, electronics, automotive and aerospace components. It is widely recognized that plastics have a crucial role to play in delivering a more sustainable future.

However, challenges relating to littering and end-of-life options for certain types of plastics waste - especially packaging waste- must be addressed if the material is to achieve its fullest potential in a circular and resource efficient economy.

There is a global focus on plastics for obvious reasons: while the global recycling rate for papers is estimated at 58%, and aluminum at 69%, only 14% of all plastic packaging materials produced worldwide is collected for recycling, and 10% is actually recycled. As a result, large amounts of plastic are flowing into our natural environment, particularly our oceans, and the global economy is losing $80-120 billion (USD) of resources each year.

New processes have emerged, i.e., advanced mechanical recycling of plastic waste as virgin or second grade plastic feedstock, and thermal treatments to recycle the waste as virgin monomer, as synthetic fuel gas, or as heat source (incineration with energy recovery). These processes avoid land filling, where the non-biodegradable plastics remain a lasting environmental burden.

The study is divided into four chapters, and provides analytical data not only for the amount of plastics produced over the past years, but also for their composition, types of additives and their quantities used in the production of plastics.

The study also dealt with the identification and classification of the types of polymers "plastic materials", their properties and uses. It also included the classification of plastic waste, its effects on humans and the environment, and modern methods for safe disposal, especially after the end of the plastic life cycle, on the other hand, the study includes a review of the experiences of some countries in plastic waste recycling , finally the study concluded with some conclusions.

منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

أوابـك