



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)

<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>



PET Şişe Atıklarının Tekstil Endüstrisinde Değerlendirilmesi ve Sürdürülebilirliğe Katkısı

Usage of PET Bottle Wastes in Textile Industry and Contribution to Sustainability

Abdurrahman TELLİ¹, Nilgün ÖZDİL², Osman BABAARSLAN¹

¹Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, ADANA

²Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İZMİR

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 27 Haziran 2012 (27 June 2012)

Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):

Abdurrahman TELLİ, Nilgün ÖZDİL, Osman BABAARSLAN (2012): PET Şişe Atıklarının Tekstil Endüstrisinde Değerlendirilmesi ve Sürdürülebilirliğe Katkısı, Tekstil ve Mühendis, 19: 86, 49-55.

For online version of the article: <http://dx.doi.org/10.7216/130075992012198607>

Derleme Makale / Review Article

PET ŞİŞE ATIKLARININ TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE KATKISI

¹Abdurrahman TELLİ*

²Nilgün ÖZDİL

¹Osman BABAARSLAN

¹Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, ADANA

²Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, İZMİR

Gönderilme Tarihi / Received: 23.05.2012

Kabul Tarihi / Accepted: 18.06.2012

ÖZET: Plastiklerin geri dönüşüm teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, fiyat ve ekolojik avantajlar nedeniyle tekstil endüstrisi için yeni bir hammadde kaynağının oluşmasını sağlamıştır. Günümüzde tekstil sektöründe en fazla tüketilen polimer olan Polietilentereftalat (PET) polimeri; çoğunlukla su, meşrubat vb. sıvı gıdaların piyasaya sürülmesi amacıyla kullanılan PET ambalajlardan geri dönüşüm tesislerinde PET talaşları olarak geri kazanılabilmektedir. PET talaşlarının eriyikten lif çekim yöntemi ile kullanılabilir life dönüşmesi de mümkündür. Bu çalışmada PET talaşlarının tekstil sektöründe kullanımı açıklanarak, Türkiye'deki PET talaş ve bu talaşlardan lif üreten işletmelerimizin durumu hakkında bilgi verilmektedir. Ayrıca Türkiye'de kurulu işletmeleri, bu alanda sahip oldukları teknolojik düzey bakımından, yurtdışındaki emsalleriyle karşılaştırma imkanı da olmuştur. Bu bağlamda, geleceğe yönelik bu alanda yapılması gereken yenilikler ve izlenmesi gereken stratejiler üzerine tavsiyelerde bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir üretim, PET şişe, geri dönüşüm, r-PET lifi

USAGE OF PET BOTTLE WASTES IN TEXTILE INDUSTRY AND CONTRIBUTION TO SUSTAINABILITY

ABSTRACT: Developments in plastics recycling enabled a new raw material for textile industry which creates economical and ecological advantages. Polyethyleneterephthalate (PET), which is the most consumed polymer in textiles recently, is recycled into PET flakes from bottles which have been used for water; oil, drinks etc. packaging. It is possible to spin fibers from melted PET flakes. In this study, usage of PET flakes in textile industry was explained. Based on this explanation, some information about the conditions of Turkish plants which produces PET flakes and fibers from these flakes were given. Moreover, Turkish recycle plants of PET fiber are compared with similar foreign plants in terms of technological background. In this context, some advices are given about developments which have to be accomplished and strategies in this field that should be followed.

Key words: Sustainable production, PET bottle, recycling, r-PET fiber

**Sorumlu Yazar/Corresponding Author: atelli@cu.edu.tr*

DOI: 10.7216/130075992012198607, www.tekstilvemuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

Ülkemizde katı atıkların ağırlıkça %30'unu, hacimce %50'sini ambalaj atıkları oluşturmaktadır. Ambalaj atıklarının geri dönüşümü 1991, 2004, 2007 ve en son 24 Ağustos 2011 tarihlerinde resmi gazetede yayınlanan "Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği" sonrasında ivme kazanmaya başlamıştır. Ambalaj atıklarını geri kazanmak isteyen gerçek ve tüzel kişiler ilgili bakanlıktan lisans almak zorundadırlar. Bu sayede ambalaj atıklarını toplayan, ayıran ve geri dönüştüren tesislerin belirli bir disiplin altında çalışmaları sağlanmaktadır. Ülkemizde 2008 yılında piyasaya sürülen plastik ambalaj miktarı yaklaşık 500 bin ton, geri kazanılan miktar ise 200 bin ton olarak gerçekleşmiştir. Bu şekilde gerçekleşen geri kazanım oranları %40'lara ulaşmıştır [1, 2]. Ancak bahsedilen oranların daha da artması geri kazanılan atıkların uygun şekilde değerlendirilmesi ve kullanım alanlarının artmasıyla mümkün olacaktır.

Plastiklerin geri dönüşüm teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, fiyat ve ekolojik avantajlar nedeniyle, tekstil endüstrisi için yeni bir hammadde kaynağının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu hammadde kaynağı Amerika Plastik Konseyi çalışmaları sonucunda geri dönüşüm için en uygun malzeme olan PET şişelerden elde edilen PET polimerlerdir. Çünkü yaşamsal döngü analizleri incelendiğinde plastikler içerisinde en yüksek tüketime sahip PET esaslı malzemelerin %30'unu oluşturan PET şişeler; daha az miktarda kompozit olarak kullanılmakta, daha kolay geri dönüştürülebilmekte, bu nedenle özelliğini daha az kaybetmekte ve dönüşümden sonra kendine daha fazla kullanım alanı bulabilmektedir [3]. PET şişelerin toplanma oranı her geçen gün artmaktadır. Avrupa'da 2009 yılında PET şişe toplanma oranı % 40'lara ulaşmıştır [4]. Ayrıca PET şişeler yenilenemez enerji kaynağı petrolden elde edildiği ve doğada biyolojik olarak da bozunmadığı için müşteri kullanımı sonrası atıklarının geri dönüştürülmesi büyük önem arz etmektedir [5].

Atıklar çeşitli kimyasal ve teknolojik çalışmalarla birbirinden ayrılabilir fakat bunun en ekonomik şekilde çevreye zarar vermeden yapılması gerekmektedir. Örneğin tekstil sektöründe üretilen kumaşlar çeşitli lif kompozisyonlarında, farklı ipliklerle bile dokunmuş olsa çeşitli kimyasal yöntemlerle lifler yeniden birbirinden ayrılabilir. Ama bu tarz bir geri dönüşümün verimliliği, ekonomikliği ve getireceği çevresel yükü açıklanamamaktadır. Bu tür malzemeleri çeşitli mekanik dönüşüm metotlarıyla çorap endüstrisi, halı tabanı imalatı gibi ikincil ürünler alanında kullanmaktan başka bir yol görünmemektedir. Geri dönüşüm lifler diğer liflere nazaran çevreye daha az zarar verir, daha az enerji kullanır, daha az kaynağı tüketir ve eğer boyanmayacaklarsa daha az kimyasal tüketirler. Tüm tekstil materyalleri geri dönüştürülebilir ve düşük kaliteli nihai ürünlerde özellikle de takviye amaçlı

ürünlerde kullanılabilirler. Ancak geri dönüşüm sektöründeki inovasyon eksikliği bu materyallerin kullanımını sınırlamaktadır. Çok uzun yıllardan beri aynı teknolojiler kullanılarak işlem yapılmaktadır. Tarak makineleri ve açıcılar/garnetler yardımıyla kumaşlar parçalanarak geri dönüşüm lifler elde edilmektedir. Ancak bu işlem lif boylarının kısalmasına ve özelliklerinin kötüleşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle geri dönüşüm liflerden yalnızca düşük kaliteli iplikler elde edilmektedir [6]. Daha uzun lif eldesi için bu konu ile ilgili yeniliklere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tür bir yeniliği plastik geri dönüşüm sektörü tekstil sektörüne kazandırmıştır. Tekstil sektöründe en fazla tüketilen polimer olan Polietilentereftalat (PET) polimeri; çoğunlukla su, meşrubat, sıvı yağ vb. sıvı gıdaların piyasaya sürülmesi amacıyla kullanılan PET ambalajlardan geri dönüşüm tesislerinde PET talaşlarına (çapak, flake) dönüştürülebilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1: Mavi, beyaz, yeşil PET talaşları [7]

Bahsedilen PET talaşlarından maddesel/kütlesel ya da kimyasal yöntemlerle lif elde edilebilmektedir. PET talaşları kimyasal işlem adımlarıyla moleküler seviyeye kadar ayrılabilir ve daha sonra yeniden polimerize edilebilmektedir. Kimyasal işlem adımı, yukarıda bahsedilen mekanik işlemlere nazaran daha maliyetli olabilirken lif kalitesindeki artış hayli önemli olmakta ve kullanılabilir bir lif kalitesine ulaşılabilir. PET talaşları da en çok lif üretiminde kullanılmıştır. Oran olarak ise toplam PET esaslı lif üretiminin %8'ini karşılamıştır [8].

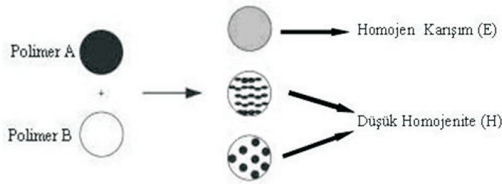
Yaptığımız piyasa araştırması sonuçlarına göre ülkemizde 2012 yılı itibariyle 28 adet lisanslı PET talaşı üreticisi firma, 3 adet PET şişe dönüşüm makine üreticisi, ayrıca PET dönüştürücülerini bir araya toplayan bir dernek (POLİETDER) mevcuttur. Lisanslı firmaların yıllık PET talaş üretimi yaklaşık 192 bin ton civarında gerçekleşmektedir. Ancak firmalarımız yurtdışındaki emsalleriyle karşılaştırıldıklarında teknolojik olarak bazı eksikliklerinin ve darboğazlarının olduğu görülmüştür. Mevcut sorunların

çözümü için önemli teknolojik yenilenmelere ihtiyaçları olduğu görülmektedir.

Optimum kalitede PET talaşı üretimi için, PET atıkların ayrılması önemli ve kritik bir basamaktır. Şekil 2 'de görüleceği üzere farklı polimerlerin karışımında homojen olmayan dağılımlarla karşılaşmaktadır. Ayrıca plastiklerin her biri farklı erime noktaları ve farklı termal parçalanma sıcaklıklarına sahip olması nedeniyle atık PET'in diğer maddelerle kontaminasyonun artması; ileriki işlem basamakları sırasında bozunmasına neden olmaktadır [9]. Toplanan atıkların ayrılmasında temel amaç; geri kazanılan malzemenin mümkün olabilen en ileri düzeydeki saflıkta ve değişmeyen özelliklerde elde edilmesidir [10].

Polimer	PS	PA	PC	PVC	PP	LDPE	HDPE	PET
Polistiren	E							
Poliamid	H	E						
Polikarbonat	H	H	E					
Polivinilklorür	H	H	H	E				
Polipropilen	H	H	H	H	E			
Düşük yoğunluklu polietilen	H	H	H	H	H	E		
Yüksek yoğunluklu polietilen	H	H	H	H	H	H	E	
Polietilenteftalat	H	H	H	H	H	H	H	E

A ve B polimer karışımlarının dağılım seviyelerindeki değişim

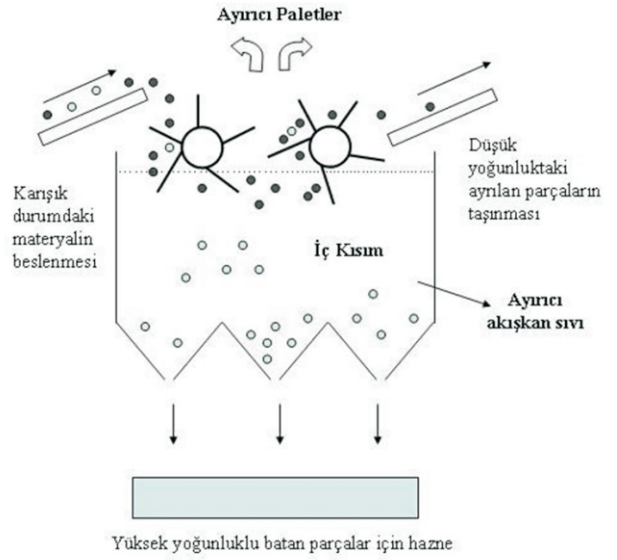


Şekil 2. Plastiklerin birbirleriyle karışımında aralarındaki homojenite [10]

Ülkemizdeki PET talaş üreticilerinin makine parkı gözden geçirildiğinde; plastiklerin birbirinden ayrılması noktasında genellikle elle ayırma, yoğunluk farkına göre ayırma yöntemleri tercih edilmektedir [9]. Şekil 3'de elle ayırma yöntemine ait bir görüntü ve Şekil 4'de ise yoğunluk farkına göre ayırma yönteminin prensibi verilmektedir.

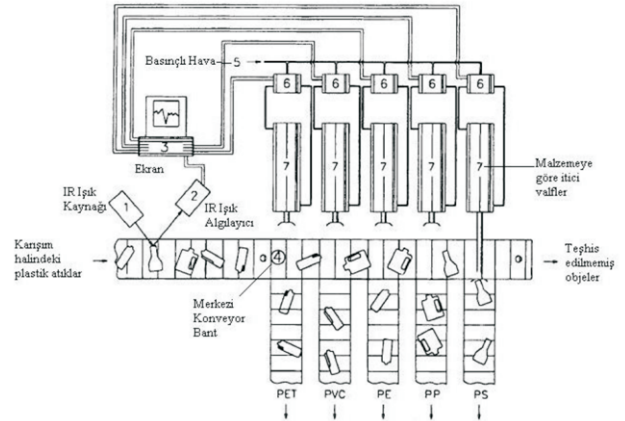


Şekil 3. PET şişe geri dönüşüm tesisinden bir görüntü [11]



Şekil 4. Yüzdürme-batırma banyosu şematize görüntüsü [10]

Ancak bahsedilen ayırma yöntemleri dışında başka birçok yöntem bulunmakta ve konu üzerindeki araştırmalar sürmektedir. Özellikle yurtdışında IR ayırma, optik ayırma, X-ray floresan yöntemi, yakın infrared spektroskopisi, hidro-siklonlar ve elektrostatik yüklerin kullanıldığı çeşitli ayırma yöntemlerinin kullanıldığı bilinmektedir. Şekil 5'de IR ayırma yöntemine ait şema verilmektedir.



Şekil 5. Plastik atıkların ayrılmasında IR ayırma yöntemi [12]

Plastik atıkların bu şekilde ayrılması ile elde edilen PET malzemelerin boya içeriği, metal içeriği, polivinilklorür içeriği, poliolefin içeriği gibi değerleri belirli ppm (Tablo 1) sınırlarının altına çekilebilmektedir.

Tablo 1. PET talaşın işlem görebilmesi için minimum gereksinimleri [13]

Özellik	Değer
Su içeriği	<0,02 wt.%
PET talaş boyutu	0,4 mm <D< 8 mm
Boya içeriği	<10 ppm
Metal içeriği	<3 ppm
Polivinilklorür içeriği	<50 ppm
Poliolefin içeriği	<10 ppm

Belirtilen ayırma yöntemlerinin teknik/teknolojik boyutlarının araştırılması, ülkemiz için en verimli ve ekonomik olanların/olabileceklerin ortaya konulması gerekmektedir. Ancak ülkemizde kurulu PET talaş üreticileri çalışmalarını geri kazanılan materyalin düşük kaliteli ürünlerde kullanılacağı mantığı üzerine kurdukları için, makine parklarını belirtilen sistemler dâhilinde genişletmeye ihtiyaç duymaktadırlar.

2. PET TALAŞLARININ TEKSTİL SEKTÖRÜNDE KULLANIMI

Çevresel bakış açısında, atık yönetimi için kapalı döngü (closed-loop) ve açık döngü (open-loop) yaklaşımları kullanılmaktadır. Kapalı döngü müşteri kullanımı sonrası ürünün yine aynı ürün üretiminde kullanılmasıdır. Bu yaklaşımda atık PET şişeden elde edilen PET talaşları yine PET şişe üretiminde kullanılmalıdır. Açık döngü ise geri dönüşüm malzemenin farklı kullanım alanlarında da kullanılacağı anlamını taşımaktadır. Örneğin atık PET şişeden elde edilen PET talaşlarının lif üretiminde, otomotiv veya inşaat sektörlerinde kullanılmasıdır. Ancak çevresel açıdan atık ürünün tekrar aynı ürün eldesinde kullanılması esastır. Atık PET şişe, eğer tekrar PET şişe üretiminde kullanılıyorsa çevresel açıdan daha değerlidir. Çünkü bu şekilde malzeme birincil hammadde vasfı kazanarak, daha uzun bir yaşamsal döngü yakalamaktadır. Fakat yapılan çalışmalar sağlık ve teknolojik gereksinimler atık PET şişelerin yeniden PET şişe olarak kullanılmayacağını göstermektedir. Mancini ve ark. çalışmalarında, mekanik dönüşüm aşamalarından sonra elde edilen PET talaşlarına bir kimyasal yıkama işlemi uygulamışlardır [14]. Bunun sonucunda malzemenin saflık değerlerinin arttığı ama şişe üretimi için yeterli saflık elde edilemediğini belirtmişlerdir. Geri dönüşüm polimerde oluşacak kontaminasyon oranı çoğu zaman gıda ile temas eden ürünlerde beklenen miktarın üzerinde çıkmaktadır ve bu durum sağlık açısından tehlikelidir. Boya içeriği, sararma indeksi, metal içeriği, PVC ve poliolenin içeriği gibi değerlerin belirli ppm sınırlarının altında olması beklenmektedir [13]. PET şişelerin geri dönüşümünde en önemli engelleyici husus ise yapısal viskozitedir. PET şişe üretimi için ideal viskozite değeri ise 1 dl/g seviyesindedir. Ancak PET şişelerin geri dönüşümü sırasında her bir işlem kademesinde viskozite değerleri azalmaktadır ve bu değer çöpün durumuna göre 0,9 dl/g ve altına düşebilmektedir.

Bu nedenle atık PET şişeleri kapalı bir döngü ile tekrar PET şişe üretmek yerine açık döngü ile daha farklı alanlarda kullanmak daha uygun olacaktır. Bu farklı alanların en başında ise tekstil ve lif sektörü gelmektedir. Çünkü dünyada üretilen PET polimerin %60'ı poliester filament ve stapel lif üretiminde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, yukarıda bahsedilen sınırlamalar PET çapakların lif üretiminde kullanılmasına engel teşkil etmemektedir. Tekstil sektöründe lif çekimi sırasında oluşacak viskozite azalması 0,4-0,5 dl/g seviyelerine kadar ihmal edilebilmek-

tedir. Ayrıca geri kazanılmış PET polimerden üretilecek lifler, hazır giyim ürünü gibi nihai ürünlerde kullanılan klasik PET polimerin ikamesi bir rol üstlendiği takdirde kapalı döngü yaklaşımına dâhil olarak çevreye daha fazla katkı sağlamaktadır [15].

Tekstil sektöründe kullanımına karar verilen PET şişelerden elde edilen PET talaşlarına kimyasal ve maddesel/kütlesel olmak üzere iki tür dönüşüm uygulanır. Ayrıca ham PET liflerinin üretimi sırasında %5-10 kadar oluşacak atıktan da (kullanılmayacak kadar düşük kaliteli lif ve iplikler dahil) bu iki dönüşüm çerçevesinde üretimde yararlanılabilmektedir [16].

2.1 Kimyasal Dönüşüm

Geri kazanımda malzemenin değerini kaybetmemesi, atığın direkt olarak kimyasal dönüşümle geri kazanılarak yeniden polimerizasyonuyla mümkün olmaktadır. PET atıkların kimyasal olarak dönüşümünde 5 farklı yöntemle karşılaşılmıştır. Bu yöntemler PET'in oligomerlerine kadar ayrıldığı glikoliz yöntemi ve PET'in monomerlerine kadar ayrıldığı aminoliz, amonoliz, metanoliz ve hidroliz yöntemleridir. Glikoliz yönteminde PET ürün glikoliz parçalanması işlemiyle depolimerize edilerek oligomerlerine, bi-hidroksil etilen tereftalat (BHET)'a kadar ayrılır. Metanoliz işlemi ise PET ürünü, monomerlerine DMT (dimetiltereftalat) ve EG (etilenglikol)'e kadar depolimerize eder. Amonaliz yönteminde tereftalikasidin (TFA) diaminleri elde edilirken, aminoliz yönteminde EG (etilenglikol)'de elde edilmektedir. Hidroliz yönteminde ise depolimerizasyon sonucu TFA (tereftalikasit) ve EG (etilenglikol) elde edilmektedir [12, 17]. Bu yöntemlerin ticari olarak kullanımları maliyet dezavantajları nedeniyle sınırlıdır. Yapılan incelemelerde ülkemizde kimyasal geri kazanım üzerine kurulu işletme ile karşılaşılmamıştır.

Belirtilen yöntemlerle monomerlerine ayrılmış PET polimerin özellikleri ham (işlenmemiş) PET'e yakın özellikler göstereceği, oligomerlerine ayrıldığı zaman ise boyanabilirlik özelliği haricinde özellikleri benzer olarak nitelendirilebileceği belirtilmektedir [18].

2.2 Maddesel/Kütlesel Dönüşüm

Geri kazanma, geri kazanılan ürün polimerin ilk kullanıldığı andaki orijinal özelliklerini gösterebiliyorsa değerlidir ve bu da ekonomik olarak gereklidir. Geri kazanma yoluyla elde edilmiş ve bazı sınırlamalara sahip ürünlerin teknolojileri "dawn cycling" olarak gösterilir. Maddesel dönüşüm genellikle dawn cycling grubuna girmektedir [16, 19]. Burada elde edilen ürünün özellikleri çoğu zaman orijinal materyalden biraz daha kötüdür. Maddesel dönüşüm ikiye ayrılmaktadır. Mekanik (flake to fibre) ve yarı mekanik (flake to pellet).

Maddesel dönüşüm PET talaşlarının eriyikten lif çekim yöntemi kullanılarak life dönüşümüdür. Mekanik yöntemde

PET talaşlarından doğrudan lif elde edilirken, yarı mekanik metotta PET talaşları tekrar ince kıyım işlemine tabi tutulduktan sonra çips haline dönüştürülüp lif çekilir. Mekanik metotta %99'luk(1,01 kg flake- 1kg lif) bir malzeme verimi varken yarı-mekanik metotta %94 (1,07 kg flake-1kg jips)verimle çalışılmaktadır. Ayrıca maddesel dönüşümle lif eldesinde %60'a varan enerji tasarrufları gerçekleşmektedir [9, 18, 20]. Maddesel dönüşümle geri kazanılmış polyester lifi r-PET olarak ifade edilmektedir.

Hem enerji maliyetlerinin hem de hammadde maliyetlerinin düşmesiyle geri dönüşüm lif üretimi, önemli bir ekonomik avantaja sahip üretim şekli haline gelmiştir. Ayrıca r-PET lifleri daha az gömülü enerji barındırması ve daha az karbon salınımıyla (karbon ayak izi) çevreye daha az zarar vermektedir (Tablo 2, Tablo 3).

Tablo 2. Çeşitli liflerin gömülü enerji değerleri [19, 21]

Lif Çeşidi	Enerji Kullanımı (MJ/kg)
Kenevir (Organik)	2
Keten	10
Kenevir (Konvansiyonel)	12
Organik Pamuk (Hindistan)	12
Organik Pamuk (ABD)	14
Pamuk (Konvansiyonel)	55
Yün	63
r-PET	66
Viskon	100
Polipropilen	115
Poliester	125
Akrilik	175
Naylon	250

Gömülü enerji; herhangi bir lifin oluşumunda, lifin son halini almaya kadar üretimi için kullanılan su, elektrik, yakıt, insan gücü vb. tüm etmenleri kapsayan ortalama bir değerdir. Ürünün ve ürünün oluşumundaki süreçlerin oluştuğu çevresel yükü ifade etmektedir.

Tablo 3: 1 ton iplik eğirme için kg karbon salınım miktarları [19, 21]

Lif Çeşidi	Lifin Yetiştirilmesi (kg/ton)	Lif Üretimi (kg/ton)	Toplam (kg/ton)
Poliester ABD	0,0	9,52	9,52
Pamuk ABD	4,2	1,70	5,89
r-PET	--	5,19	5,19
Kenevir	1,9	2,15	4,10
Organik Pamuk (Hindistan)	2,0	1,80	3,75
Organik Pamuk (ABD)	0,9	1,45	2,35

Geri dönüşüm lifin çevreye etkilerinin tespiti konusunda, Shen ve ark. çalışmalarında açık döngü metodunu kullanarak PET şişenin lif haline dönüşümünün yaşamsal döngü analizini yapmışlardır. Yaşamsal döngü analizi (LCA), bir ürünün elde edilmesinden, tekrar geri kazanılmasına kadar olan süreçte tüm çevresel boyutları hesaplama sistemidir. Dört geri dönüşüm metodu maddesel (mekanik, yarı mekanik) ve kimyasal (glikoliz, metanoliz) kullanmışlardır. Bu dönüşüm yöntemlerini dokuz farklı çevre etki faktörüne göre kıyaslamışlardır. Bahsedilen faktörler yenilemeyen enerji kullanımı, küresel ısınma tehlikesi, abiyotik etki, asidifikasyon, ötrofikasyon, insandaki toksisite birikimi,

sudaki toksisite, topraktaki toksisite ve fotokimyasal oksidasyon oluşumudur. Bu faktörler çalışmanın birincil amacı olan dönüşüm liflerin işlenmemiş (ham) PET'e göre çevreye etkilerinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Dokuz faktörün en az sekizinde mekanik dönüşüm PET lifleri en düşük çevresel etkiyi göstermiştir. Kimyasal dönüşümlerde ise ham PET'e kıyasla 9 faktörün en az altısında daha düşük çevresel zarar tespit edilmiştir. Mekanik dönüşüm sonucu elde edilen liflerin kimyasal dönüşüm sonucu elde edilen liflere kıyasla daha az çevresel etki gösterdiğini, fakat kimyasal dönüşüm liflerin daha fazla uygulama alanı bulabileceğinin göz ardı edilmemesi gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışmanın ikincil amacını ise yaşamsal döngü analizi sonuçlarının diğer liflerle (pamuk, viskoz, polipropilen ve polilaktasit) karşılaştırılması oluşturmaktadır. Burada da dönüşüm liflerin lehine sonuçlar alınmıştır [18]. Fakat en basit haliyle maddesel dönüşümde eritme sırasında termik yüklemelerle molekül ağırlığı değişmekte ve bu nedenle liflerin kopma dayanımları, esnemeleri ve boyanma özellikleri değişebilmektedir [16].

Mekanik ve yarı mekanik dönüşüm sonrası polimerin kalitesi doğrudan çöpün saflığıyla ve önceki temizleme işlemlerinin verimliliğiyle ilişkilidir. Çünkü geri dönüşüm malzemenin nasıl bir geçmişe sahip olduğu hakkında pek fazla bilgiye sahip olunamamaktadır. Örneğin önceden kaç kere işlem gördü, kaç derecede termal parçalanmaya maruz kaldı, evsel atık mı dış çöp mü, dışarıda ne kadar sıcaklığa ve hava etkisine maruz kaldı gibi çoğaltabileceğimiz birçok soru cevapsız kalmaktadır. PET şişenin karakteristiği maruz kaldığı termal, mekanik, oksidatif ve fotokimyasal duruma göre değişiklik göstermektedir. Şayet kaynağında ayrı toplanabilir veya uygun ayırma yöntemleriyle dikkatlice işlemlerden geçerse normal elyaf kalitesine ulaşabileceği açıktır [10].

2.3 Türkiye'de geri dönüşüm PET (r-PET) lif üretimi

Yaptığımız piyasa araştırması sonuçlarına göre ülkemizde PET talaşlarından lif üretiminin giderek artmakta olduğunu göstermektedir. 2012 yılı itibariyle Uşak, Bursa, Adana, Gaziantep, Tekirdağ ve Afyonkarahisar'da sekiz adet lif üreticisinin faaliyette olduğu tespit edilmiştir. Bu firmalar 2011 yılında yaklaşık 73 bin ton lif üretimi gerçekleştirmiştir. İşletmeler genellikle 3-25 denye lif inceliği ve 25-102 mm lif uzunluğu aralığında stapel lif üretimi gerçekleştirmektedir. Yalnızca 3 firmanın iplik üretimi için uygun lif inceliğinde (1,3 dtex) çalıştığı görülmüştür. Genellikle ekru, beyaz ve siyah renk tonlarında üretimleri mevcuttur. r-PET elyaf müşterileri özellikle izolasyon, yastık dolgu malzemesi, takviye malzemesi, çorap, battaniye ve halı sektörü gibi alanlarda faaliyet göstermektedir.

3. TEKSTİL SEKTÖRÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Tekstil üretiminin düşük maliyetli üretim yapan ülkelere kayması çevresel zararı giderek artırmaktadır. Ayrıca düşük maliyetli üretim, kumaş ve hazır giyim ürünlerinin

kalitesini düşürmekte ve malzemelerin yaşamsal ömrünü de azaltmaktadır. Modadaki çok hızlı hareketlenmeler, sezon sayılarının artması ve tüketicilerin talepleri nedeniyle kaliteli ürünlerin dahi modası geçtiğinde kullanım ömrü son bulmaktadır. Örneğin İngiltere, en hızlı tüketimin gerçekleştiği ülkelerden birisidir. Kişi başına düşen milli geliri 40.000 TL dolaylarında olmasına ve bu nedenle daha yüksek kaliteli ürünler kullanılmasına rağmen, 2005-2010 yılları arasında ortalama olarak 2 milyon ton tekstil ve hazır giyim tüketimi gerçekleşmiştir. Bu rakamları tek başına nüfus artışına bağlamak mümkün değildir [22]. Başka bir örnek olarak da ABD gösterilebilir. ABD'de 2009 yılında kişi başına tüketilen giyim ve ev tekstili miktarı 30kg olarak gerçekleşmiştir. Bu değer yıllık 9 milyon tonluk bir tüketimi ifade etmekte ve bu değer 2019 yılında yaklaşık 13 milyon tona çıkması beklenmektedir. Ancak bu değer sadece %15'i geri kazanılmaktadır. 1999-2009 yılları arasında %40'luk bir tüketim artışı gerçekleşirken, geri dönüşümde artış oranı %2 seviyelerinde kalmıştır [23]. Procter-Gamble tarafından 1999-2009 yıllarını kapsayan bir çalışmada tüketicilerin ürünlerden yararlanma oranının %50 oranında düştüğü ifade edilmektedir. Günümüzde tüketimi ihtiyaçlardan ziyade psikolojik ve sosyo-kültürel etkilerin sürüklediği bilinmektedir. Geçmiş yıllarda yüksek kaliteli ürün uzun süre kullanımla eş anlamlı iken, bugün bu durum anlamını kaybetmiştir. Düşük kaliteli ürünler onarıma gerek duyulmadan alternatif düşük ücretli bir ürünle ikame edilmektedir. Günümüzde çevresel ve sosyal etkiler tekstil üretimini önemli derecede etkilemektedir. Bir ürünün çevreye duyarlı olup olmadığı hem üretici hem de tüketiciler için kullanılan malzemenin sürdürülebilirliği ile ilişkilidir. İnsanlar kendilerini rahat hissederek daha fazla tüketmek için geri dönüşüm ürünleri daha pahalıya almaya razı bir konuma gelmişlerdir [24].

Bu noktada r-PET liflerinin çevresel olması, aynı zamanda diğer çevresel lif üretimlerindeki gibi (örneğin organik pamuk) ekstra maliyet yükü getirmediği için ucuz olması, tekstil ve hazır giyim sektöründe katma değer yaratacak uygulamalara zemin hazırlamaktadır. Verimli bir temizleme işlemiyle lif kalitesinin de öngörülebilecek bir kalite seviyesine ulaşması mümkündür. Bu tür işletme yapıları yurtdışında görülmeye başlanmıştır [24, 25, 26, 27, 28]. Birçok önemli firma tıpkı organik pamuk da olduğu gibi, ürünlerinde belli oranlarda r-PET lif kullanma taahhüdünü kullanımına ilişkin de vermeye başlamışlardır [29].

Yapılan çalışmalar maddesel dönüşümle elde edilen r-PET liflerinin giyim sektöründe kullanılabileceği yönündedir. Telli&Özdil ve Telli çalışmalarında r-PET liflerini pamuk ve PET lifleriyle karıştırarak ring iplik eğirme sisteminde 9 farklı ipliğin döküntü özelliklerini karşılaştırmışlardır [8, 15]. İplik üretim safhalarında sorunla karşılaşmadıklarını belirtmişlerdir. Karışımlarda r-PET oranının arttıkça iplik döküntüsünün arttığını ancak bu durumun diğer iplik ve

kumaş özelliklerini olumsuz yönde etkileyecek boyutlara ulaşmadığını belirtmişlerdir. Babaarslan&Telli, çalışmalarında kimyasal yapı bakımından r-PET ile uyum sağlayabileceği düşünülen poliamid (PA), polipropilen (PP) ve polietilen (PE) polimerlerin eriyikten lif çekim tesisinde bi-komponent filamentler üretilerek r-PET lif kalitesinin geliştirilebileceğini belirtmişlerdir [30]. Santos&Pezzin çalışmalarında ise polipropilen bir matris yapının içerisinde %3, %5 ve %7 oranlarında r-PET polimer ilave ederek elde edilen lifin özelliklerini incelemişlerdir [31]. Çalışma sonuçlarına göre r-PET oranı arttıkça malzemenin akışkanlığının azaldığı ve mukavemetinin arttığını kaydetmişlerdir. PP ve r-PET malzemelerin uyumluluğunu yüzey pürüzlülüğü testi sonrası alınan SEM görüntüleri kullanarak karşılaştırarak, polimerler arasında önemli düzeyde uyum olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca çalışmada tek vidalı ekstruder kullandıklarını, iki vidalı ekstruder ve maleic anhidrid gibi uyumlaştırıcı kimyasallarla daha verimli sonuçlar elde edileceği tavsiyelerinde bulunmuşlardır.

Dünya r-PET lif üreticileri üzerine yaptığımız piyasa araştırması sonuçlarına göre, dünyadaki r-PET lif üreticilerinde görülen diğer bir önemli özellik de ürünlerinin sertifikalandırılmasına gösterdikleri özendir. Ulaşılan firmaların büyük çoğunluğunda, insan ekolojisi açısından kullanıcıya zararlı etki bulunup bulunmadığı konusunda teknik kriterleri dört sınıf altında gruplandırılan Öko-Tex Standart 100'e sahip üretim yaptıkları görülmüştür. Ülkemizde ise 8 adet r-PET lif üreticisinin dört tanesinin bu sertifikayı bünyesinde barındırdığına ulaşılmıştır. Bahsedilen dört firmaya ait raporlar gözden geçirildiğinde, dokuz teknik ölçütün incelendiği raporda ürettikleri r-PET liflerinin bebek giysileri için dahi uygun sayılan 1. sınıfa dâhil oldukları görülmüştür. Bu sonuçlar ülkemizde üretilen r-PET liflerinin ten/vücut ile temasta sorun yaratmadığını göstermektedir.

Yaptığımız piyasa araştırmasında dikkat çekici diğer bir nokta, ürünlerinde r-PET kullanan yurtdışındaki işletmelerin, ürünlerinin tamamında veya bir kısmında geri dönüşüm (recycle) ürün kullandıklarını belirtilen sertifikalara da sahip olmalarıdır. Örneğin çoğu işletmenin ISO çevre standartlarıyla uyumlu "SCS Recycled Content Certification" ve "Global Recycle Standard" sertifikalarına sahip olduğuna ulaşılmıştır. Bu şekilde geri dönüşüm materyal içeren ekolojik karakterli ürün piyasada bir adım öne geçerek katma değer yaratmaktadır. Ülkemizde ise bu tür bir sertifikasyona sahip olarak faaliyet gösteren firmalara ulaşılamamıştır. Ülkemizdeki bu eksikliğin ana sebebi, r-PET lifinin hazır giyim sektöründe kullanmaya yönelik bir hammadde olarak düşünülmemesinin getirdiği bir sonuç olarak yorumlanmaktadır. Ayrıca ülkemizde PET talaş üreticilerinin temizleme işlemlerinde yeni teknoloji yatırımlarına sıcak bakmadıkları da gözlemlenmiştir. Bu teknolojik alt yapı ve bilgi eksikliğinin, daha ince lif ve kaliteli üretime geçişi zorlaştırdığı görülmüştür.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Ülkemizde PET şişe atıklarının değerlendirilmesinde önemli yatırımlar olduğu tespit edilmiştir. Bu atıklardan elde edilen PET talaşlarının büyük çoğunluğunun lif sektöründe kullanıldığı görülmüştür. PET talaşlarından lif üretimi alanında sekiz firmanın faaliyet gösterdiği ve bu firmaların daha ziyade düşük kaliteli ürünler için hammadde sağladığı tespit edilmiştir. Bu durum, PET talaş üreticilerimizin atıkların ayrılmasında kullandıkları teknolojik alt yapı eksikliği ve lif üreticilerimizin r-PET elyafın hazır giyimde kullanılmayacağı şeklindeki ön yargıdan kaynaklanmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar bazı işletmelerimizin mevcut durumda ürettikleri liflerin hazır giyimde de kullanılabilirliğini ve geliştirilebileceğini göstermiştir. Yapılan görüşmelerde PET şişeden lif üreticilerinin çevreye çok büyük katkılar sağlamalarına rağmen devlet teşviki alamadıkları konusunda şikâyetleri de olmuştur. Yapılan araştırmalar mevcut üretim sistemlerinde temizleme verimliliğinin artırılması, lif özelliklerinin geliştirilmesi ve kaliteli ürünlerde düşük oranlarda r-PET kullanımı ile yurtdışı pazarlarda hem farklılık hem de katma değer oluşturacağını göstermektedir. Bahsedilen strateji değişikliklerine ilişkin projelere verilecek destekler, atıklardan elde edilen malzemelerin kullanım alanlarını ve miktarlarını genişleterek çevresel ve ekonomik bakımdan fayda sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Çevre ve Orman Bakanlığı. *Atık Yönetimi Eylem Planı*, <http://www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/EylemPlan/atikeylemplan.pdf> (SET: 23.05.12)
2. Resmî Gazete. *Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği*, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/08/20110824-6.htm> (SET: 23.05.12)
3. Sevcen, F. ve Vaizoglu, S., (2007), *Pet ve Geri Dönüşümü*, TSK Koruyucu Hekim Bülteni, 6(4):307-312
4. Napcor: National Association for Pet Container Resources. *Comprehensive Information about the PET package*, http://www.napcor.com/pdf/v4-11_NAPCOR_PET_Interactive.pdf (SET: 23.05.12)
5. Chen, H. And Burns, L., (2006), *Enviromental Analysis of Textile Products*, Clothing and Textile Research Journal, 24-3: 248-261
6. Fletcher, K., (2008), *Sustainable Fashion and Textiles*, Eartscan Publishing, 239p
7. *Espet Sanayi. Pet Nedir?*, <http://www.espetflake.com/urunler.html> (SET: 23.05.12)
8. Telli A. and Özdil N., (2011), *Lint Generation of the Yarns Produced Recycled PET Fibers*, International Congress of Innovative Textiles- ICONTEX, 20-22 October 2011, 32-35
9. Anabal, F.Y., (2007), *Pet atıkların endüstride değerlendirilmesi*, Çevre Bilimleri Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 108s
10. Goodship V., (2007), *Introduction to Plastic Recycling*, Smithers Rapra Technology Limited, 174p
11. Chang Woen Company. *Pet Bottle Recycling Machine Video*, <http://www.changwoen.com.tw/PET-Recycling-Machine-Profile.html> (SET: 23.05.12)
12. Aguado, J. and Serrano, D., (1999), *Feedstock Recycling of Plastic Wastes*, RSC Clean Technology Monographs, 192p
13. Awaja, F. and Pavel, D., 2005, *Recycling of Pet*, European Polymer Journal, 41:1453-1477
14. Mancini, S.D., Schwartzman, J.A.S., Nogueira, A.R., Kagohara, D.A. and Zanin, M., (2009), *Additional Steps in Mechanical Recycling of Pet*, *Journal of Cleaner Production*, 18:92-100
15. Telli A., (2011), *Pet Şişe Geri Dönüşüm PES İle Klasik PES Liflerinden Üretilen İplik ve Kumaş Özelliklerinin Karşılaştırılması Üzerine Bir Çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova-İzmir.
16. Öktem, T., (1998), *Polyester Atıkların Değerlendirilmesi*, *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 6:396-400
17. Al-Salem, S.M., Lettieri, P. and Baeyens J., (2009), *Recycling of Recovery Routes of Plastic Solid Waste*, *Waste Management*, 29:2625-2643
18. Shen, L., Worrell, E. and Patel, M., (2010), *Open-Loop Recycling: A LCA Case Study of Pet Bottle-to-Fibre Recycling*, *Resources Conservation and Recycling Journal*, 55:34-52
19. Anne, P. *Why is recycled polyester considered a sustainable textile?*, <http://oecotextiles.wordpress.com/2009/07/14/why-is-recycled-polyester-considered-a-sustainable-textile/> (SET: 23.05.12)
20. Mannhart, M., (1998), *Pet Şişelerden Filament İplik*, *Melliand Türkiye Sayısı*, 3:166-169
21. Stockholm Environment Institute. *Ecological Footprint and Water Analysis of Cotton, Hemp and Polyester*, <http://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/Future/cotton%20hemp%20polyester%20study%20sei%20and%20bioregional%20and%20wwf%20wales.pdf> (SET: 23.05.12)
22. Niinimäki, K. and Hassi, L., (2011), *Emerging design strategies in sustainable production and consumption of textiles and clothing*, *Journal of Cleaner Production*, 19: 1876-1873
23. Textile World. *Council For Textile Recycling Promotes Apparel Recycling*, http://www.textileworld.com/Articles/2012/January/Council_For_Textile_Recycling_Promotes_Apparel_Recycling.html (SET: 23.05.12)
24. Foss Manufacturing. *Ecospun is now Eco-fi*, http://www.fossmfg.com/bu_ecospun.cfm (SET: 23.05.12)
25. EcoCircle. *Ecocircle Partner and Members*, http://www.ecocircle.jp/en/for_kigyuu.html (SET: 23.05.12)
26. Poole Company. *Recycled Fibers: Ecosure*, http://www.poolecompany.com/recycled_fibers_ecosure (SET: 23.05.12)
27. Wellman. *Wellman Sustainability*, <http://www.wellman-intl.com/sustainability.aspx> (SET: 23.05.12)
28. Repeve. *A Unique Recycled Fiber*, <http://www.repeve.com/WhatIsRepeve/AUniqueRecycledProduct.aspx> (SET: 23.05.12)
29. Repeve Products. *Repeve Makes These Brands Better*, <http://www.repeve.com/FindRepeve/PopUp.aspx> (SET: 23.05.12)
30. Babaarslan, O., ve Telli, A., (2012), *PET Şişeden Geri Dönüşüm Elyaf (r-PET) Özelliklerinin Geliştirilmesi*, UTİB Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe Uluslararası IV. AR-GE Proje Pazarı, 02-03 Şubat 2012, 469-470
31. Santos, P. and Pezzin, H.S., (2003), *Mechanical Properties of Polypropylene Reinforced with Recycled-pet Fibers*, *Journal of Materials Technology*, 143-144: 517-520