



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)

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



Poli (trimetilen Tereftalat) Lifleri Bölüm 1: Üretimi, Özellikleri, Kullanım Alanları, Çevresel Etkisi

Poly(trimethylene Terephthalate) Fibres Part 1: Production, Properties, End-use Applications, Enviromental Impact

Fatma Filiz YILDIRIM, Osman Ozan AVİNÇ, Arzu YAVAŞ
Pamukkale Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Denizli

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 01 Ekim 2012 (01 Oct 2012)

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

Fatma Filiz YILDIRIM, Osman Ozan AVİNÇ, Arzu YAVAŞ (2012): Poli (trimetilen Tereftalat) Lifleri Bölüm 1: Üretimi, Özellikleri, Kullanım Alanları, Çevresel Etkisi, Tekstil ve Mühendis, 19: 87, 43-54

For online version of the article: <http://dx.doi.org/10.7216/130075992012198706>

POLİ (TRİMETİLEN TEREFTALAT) LİFLERİ

BÖLÜM 1: Üretimi, Özellikleri, Kullanım Alanları, Çevresel Etkisi

Fatma Filiz YILDIRIM,
Osman Ozan AVİNÇ*,
Arzu YAVAŞ

Pamukkale Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Denizli

Gönderilme Tarihi / Received: 13.06.2012

Kabul Tarihi / Accepted: 14.09.2012

ÖZET: Poli(trimetilen tereftalat) (PTT), dikkat çekici özelliklere sahip olup aromatik poliester sınıfına ait bir materyaldir. PTT, sahip olduğu üstün özellikler sayesinde tekstil endüstrisinde ilgi görmektedir. PTT materyali ilk üretildiği yıllarda yüksek hammadde maliyetleri yüzünden fazla ilgi görmemiş ancak hammadde maliyetlerinin düşürülmesi ile PTT materyalinin sahip olduğu üstün özellikler tekrar gündeme gelmiştir. PTT materyali düşük sıcaklıklarda boyanabilme ve yüksek elastikiyet gibi özelliklere sahiptir. Bu özellikleri sayesinde tekstil endüstrisinde öncelikle halı üretiminde ve diğer birçok tekstil uygulamasında kullanılmaya başlanmıştır. Dünya'da PTT materyali artan bir hızla tekstil endüstrisinde kullanılmaya devam edilmektedir, Türkiye'de de PTT materyali kullanılarak kumaş üretimi yapılmakla birlikte henüz çok yaygınlaşmamıştır. PTT lifleri hakkındaki bu derleme iki bölüme ayrılmıştır. Birinci bölümde; PTT materyalinin üretimi, özellikleri ve kullanım alanları ikinci bölümde ise PTT liflerine uygulanan terbiye işlemleri hakkında bilgi verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Politrimetilen tereftalat lifleri, elastiki geri dönme, yumuşaklık, poliester lifleri

POLY(TRIMETHYLENE TEREPHTHALATE) FIBRES

PART 1: Production, Properties, End-Use Applications, Environmental Impact

ABSTRACT: Poly(trimethylene terephthalate) (PTT) is an aromatic polyester which has remarkable properties. Due to its superior properties, PTT becomes popular in textile industry. In the first years of PTT production, PTT material could not capture expected attention due to its high raw material costs. However, after the reduction on raw material costs, PTT production has increased due to its superior material properties. PTT can be dyed easily at low temperatures and it has high elasticity properties. Due to its notable features, PTT primarily began to be used in carpet production, and also in many other textile applications. Our review of poly(trimethylene terephthalate) (PTT) fibre is divided into two parts. Part I of this review gives information about fibres production, properties, performance, environmental impact, and end-use applications. The aim of Part II is to review the wet processing (pretreatment, dyeing, clearing, subsequent finishing treatments, etc.) of the PTT fibre and these effects on the fibre. These review was accomplished through a broad literature survey, including recent research and development in the area.

Keywords: Polytrimethylene terephthalate fibres, elastic recovery, soft hand, polyester fibres

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: oavinc@pau.edu.tr

DOI: 10.7216/130075992012198706, www.tekstilvemuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi poliester lifi tekstil sektöründe en çok üretilen ve tüketilen liflerden biridir. 2010 yılında global poliestere şapnel elyaf üretimi 13,3 milyon ton ve poliester filament iplik üretimi 22 milyon ton olarak belirlenmiştir [1]. Poliester liflerinin iyi performans özellikleri, üretim teknolojilerindeki mükemmellik, ekonomik olmaları gibi dikkat çekici özellikleri, bu lif grubunun giysi, tıp, spor ve çeşitli endüstriyel alanlarda en önemli materyallerden biri olmasını sağlamaktadır. Yüksek performans endeksli fiziksel ve kimyasal modifiye poliester liflerinin yüksek üretim miktarları, rekabet güçleri ve önemli özellikleri tanınmış standart liflerden iyidir [2]. Bu poliester liflerinden biri de Poli (trimetilen tereftalat)'tır. PTT lif ve filamentlerinin geliştirilmesindeki en önemli etken, bu liflerin elastiki geri dönme özelliklerinin iyi olması, yumuşak olmaları ve kolay boyanabilmeleridir [3]. PTT'nin yüksek boyanabilirlik ve yüksek elastikiyet gibi olumlu özellikleri life olan ilgiyi arttırmaktadır [4].

PTT, dimetil tereftalat (DMT) veya saflaştırılmış tereftalik asit (PTA) ile 1,3-propan diol (PDO)'nun polikondenzasyon reaksiyonu ile üretilmektedir [5]. PTT'nin poliester sınıflandırması içerisindeki yeri tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Poliesterlerin sınıflandırılması [5]

Poliesterlerin Sınıflandırılması			
Termoplastik poliesterler	Lineer aromatik poliesterler	ftalatlar	*PTT
			*Poli(etilen tereftalat) (PET)
			*Polibütillen tereftalat (PBT)
		naftalatlar	Poli(etilen isophthalate) (PEI)
			Poli(etilen naftalat) (PEN)
			Politrimetilen naftalat (PTN)
	Elastomerler		
	Sıvı kristalli poliesterler (LCP)		
	Mühendislik plastikleri		
	Alifatik poliesterler		
Polihidroksil alkanolatlar			
Doymamış poliesterler			
* DMT veya PTA'dan türetildiği için bu grupta yer almaktadır.			

PTT, Poli(propilen tereftalat) (PPT) olarak da bilinmektedir [5]. Shell, PTT terimini kullanmayı tercih etmektedir fakat DuPont ve bazı eski ticari literatür kaynakları PPT terimini kullanmıştır [6]. PTT kısaltması PPT'den daha popülerdir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. PTT aynı zamanda 3GT olarak da bilinmektedir [5].

PTT, ilk olarak 1941 yılında sentezlenmiş ve patenti bu tarihlerde alınmıştır fakat PDO'nun çok pahalı olması nedeniyle ticari olarak üretilmemiştir [7]. PDO üretimi 1960'larda durmuştur. PDO üretiminde alternatif olarak etilen oksit (EO) hidroformülasyonunun geliştirilmesi sonucu 1990'larda PDO'nun daha ekonomik olarak üretilmesi sağlanmıştır [7]. Dupont firması 2007 yılında mısır nişastası kullanılarak üretilen biyokimyasal PDO'yu tanıtmıştır [5]. PDO üretiminin ucuzlaması ile PTT lifi üretimi yeniden gündeme gelmiştir.

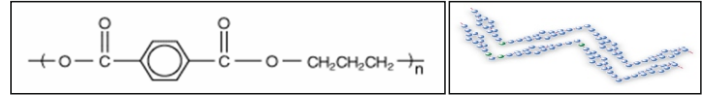
Shell Chemical Company ve Dupont, PTT liflerini ticari olarak sırasıyla 'Corterra' ve 'Sorona' olarak tanıtmıştır [5].

Shell'in Corterra ismiyle ticarileştirdiği PTT poliester lifi ve ipliği son zamanlarda dikkate değer bir yükselişe sahiptir. Dünya üretimi yaklaşık 50 000 tondur [4]. Uygulama alanları, halılar, dokusuz yüzeyler ve diğer tekstillerdir. PTT, yüksek elastikiyeti ile spor ve gündelik giysileri daha konforlu hale getirerek değer kazanmaktadır [4]. PTT lifleri tekstil teknolojisinde, Spandex, Poliamid (PA), Poliester (PES) ve Poliakrinitril (PAN) gibi liflerle karışım halinde de kullanılabilir [4].

2. POLİTRİMETİLEN TEREFTALATIN GENEL YAPISI VE SENTEZLENMESİ

2.1. Politrimeitlen Tereftalatın Genel Yapısı

PTT, DMT veya PTA ile PDO'nun polikondenzasyon reaksiyonları sonucu üretilmektedir [5]. PTT'nin birim molekül ağırlığı 206'dır [3]. PTT'nin kimyasal formülü ve yapısal görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.



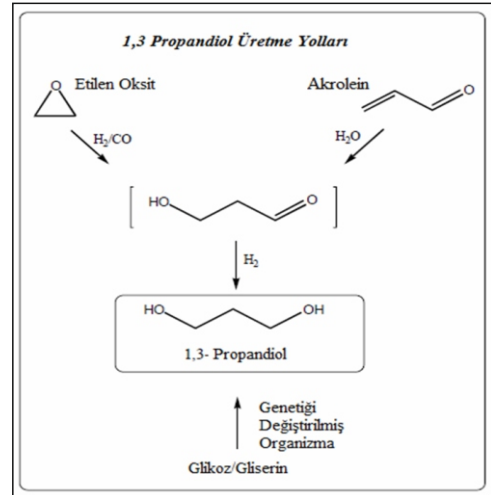
Şekil 1. PTT'nin kimyasal formülü [8] ve yapısal görüntüsü [9]

2.2. Politrimeitlen Tereftalatın Sentezlenmesi

PDO üretimi, PTT imalatında anahtardır. İşlemin ekonomikliği ve PTT polimerinin kalitesi büyük oranda PDO'nun saflığına bağlıdır. Sonuç olarak PTT'nin daha hızlı sanayileşebilmesi için iki ana faktör bulunmaktadır, etkili proses teknolojisi ile polimer üretimi ve PDO'nun fiyatı [10].

2.2.1. 1,3-Propan Diolün Sentezlenmesi

PDO üretmek için biri biyokimyasal (fermentasyon), ikisi sentetik olmak üzere üç ana yöntem kullanılmaktadır [6]. PDO üretme yöntemleri şematik olarak Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. PDO üretme yolları [11]

Günümüzde, Dupont PDO'yu iki yöntemle üretmektedir. Birinci yöntemde PDO Degussa teknolojisi kullanılarak ve akroleinin hidrasyonu ile üretilmektedir. İkinci yöntemde ise PDO mısır tabanlı glikoz kullanılarak ve biyosentez (fermentasyon) ile üretilmektedir. Shell ise PDO'yu EO'nun hidroformillenmesi ile üretmektedir [12].

2.2.2. Politrimetilen Tereftalat Polimerinin Sentezlenmesi

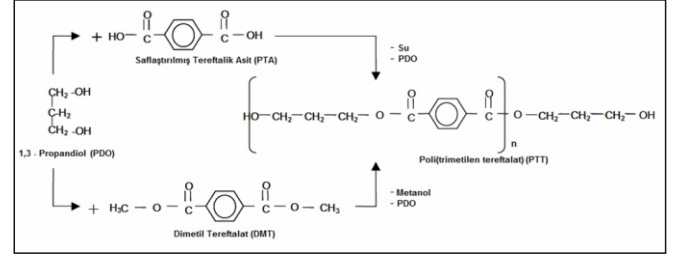
Polimer sentezinin ilk adımında, DMT veya PTA ile PDO'dan tekrar eden birim sayısı $n=1-6$ arasında olacak biçimde oligomerler oluşturulmaktadır [3]. Bu reaksiyon adımı katalizör gerektirmektedir. En yaygın kullanılan katalizörler titanyum tetrabutilat (TBT) gibi titanyum alkosilatlardır. İkinci reaksiyon adımı boyunca, daha önce oluşturulan oligomerler, tekrar eden birim sayısı $n=60-100$ olan polimerler yaratmak için polikondenzasyon işlemine tabi tutulmaktadır. İlk adımda kullanılan katalizör polikondenzasyon işlemine de hızlandırmaktadır [3].

Kullanılan katalizörler ile ilgili yapılmış bir çalışmada Jia ve arkadaşları [13], kalay-asetilasetonatin (SAA) katalizör olarak PTT polimerinin sentezinde kullanımını incelemiştir. PTT'nin sentezinde SAA, tüm esterifikasyon ve polikondenzasyon reaksiyonlarında TBT ve kalaylı oktoatdan (SOC) daha yüksek etkinlik göstermektedir [13].

İki reaksiyon adımında da (oligomer oluşturma ve polikondenzasyon reaksiyonları) istenmeyen yan ürünler oluşmaktadır [3]. Bu yan ürünler, akrolein ($CH_2=CH-CHO$), alilalkol ($CH_2=CH-CH_2-OH$) ve dipropilglikol ($HO-(CH_2)_3-O-(CH_2)_3-OH$)'dur. Akrolein ve alilalkol toksik maddelerdir ve bu maddelerin hızla azaltılması gerekmektedir. Polimer sentezi boyunca üretim ekipmanlarında işlem sıcaklığını mümkün olduğunca düşük tutarak bu maddelerin azaltılması sağlanabilmektedir. Ayrıca akrolein ve alilalkoller, polimer sentezi sırasında işlem süresinin kısaltılması, stabilizatör olarak fosfor bileşikleri ve fenollerin eklenmesi ve uygun katalizör seçimi ile de azaltılabilmektedir [3].

Poliesterlerin polimerizasyonu ile ilgili yapılmış bir çalışmada da Pang ve arkadaşları [14], polimerizasyon sonrasında polimerlerin yüksek moleküler ağırlıklı lineer zincirler ile birlikte az miktarda küçük halkalı moleküller de içerdiklerini gözlemlemiştir. Bu halkalı oligomerler daha sonra polimerlere uygulanacak lif çekimi ve boyama gibi prosesler sırasında problemler yaratmaktadır [14].

PTT polimeri iki şekilde sentezlenebilmektedir. İlk DMT ve PDO'un transesterifikasyon yolu, ikincisi ise PTA ve PDO'nun esterifikasyon yoludur [3] (Şekil 3). Shell, PTA ile daha ucuz direkt esterifikasyon sağlandığı için bu yolu kullanmayı tercih etmektedir [6]

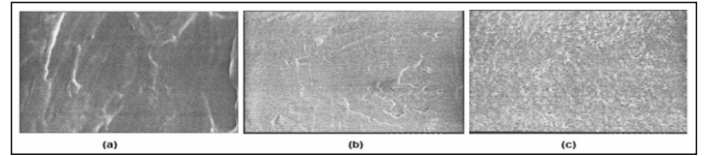


Şekil 3. PTT'nin sentezlenmesinde PDO ile PTA veya DMT kondenzasyon yolları [15]

2.2.3. Geri Dönüşüm

PTT ürünlerin kullanımının artması sonucu PTT atık materyal miktarı da oldukça artmıştır. Son yıllarda atık materyaller kullanılarak yeni ürünlerin elde edilebilmesi için atık polimerlerin kimyasal geri dönüşümü önemli hale gelmiştir [16].

Bu konu ile ilgili yapılmış bir çalışmada Kim ve arkadaşları [16], PET üzerindeki alkali depolimerizasyon çalışmalarını esas alarak PTT depolimerizasyon oranlarına, sıcaklığın ve reaksiyon ortamının etkilerini incelemiştir. Sonuçlar PTT atıklarının kullanılabilir ürünlere başarılı bir biçimde dönüştürülebileceğini doğrulamaktadır. Depolimerizasyon reaksiyonu sonrasında PTT nicel olarak disodyum tereftalat (DST) ve PDO'e dönüştürülebilmektedir. Yine yüksek kaliteli TPA depolimerizasyon sonucu elde edilebilmektedir. Elde edilen maddeler yeni PTT polimerlerinin üretilmesinde hammadde olarak kullanılabilirlerdir. PTT çipslerinde alkali depolimerizasyonun etkisi Şekil 4'de gösterilmiştir [16].



Şekil 4. PTT çipslerinin görüntüsü: (a) işlem görmemiş, (b) alkali ile 15 dakika 160 °C'de işlem görmüş ve (c) alkali ile 60 dak 160 °C'de işlem görmüş [16]

2.3. Politrimetilen Tereftalattan Lif Çekimi

PTT polimeri, iyi erime dayanımına sahiptir [5]. Genellikle PTT polimerinden lif eldesinde eriyikten lif çekimi yöntemi kullanılmaktadır. Poliester liflerinin eriyikten lif çekimi yöntemine göre oluşturulması esnasında lifin dış bölgelerinin lifin iç kısımlarına nazaran çok daha hızlı soğumasından dolayı lif kabuk-öz morfolojisinde farklılıklar oluşabilmektedir. Lifin enine kesitindeki bu farklı morfolojinin, poliesterin boyama karakteristiklerini ve poliester lifinin alkali hidrolizini etkileyeceği tahmin edilmektedir [17].

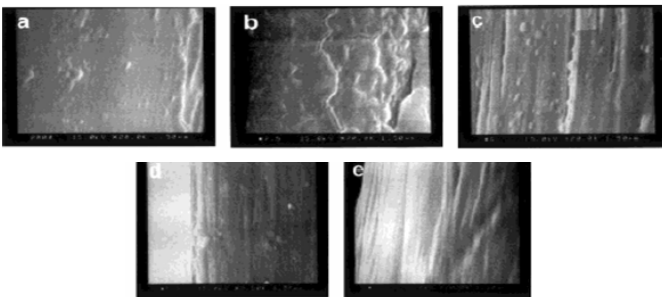
Eriyikten lif çekimi yönteminde PTT, PET gibi hidroliz ile bozunmaya karşı hassas bir özellik sergilemektedir ve PTT ekstrüsyondan sonra kuru işlem gerektirmektedir. Kuru

işlemede uygulanan kurutma sıcaklığı 150 °C'yi geçmemelidir aksi takdirde oksidatif yıkım meydana gelmektedir. Eriyikten lif çekiminde PTT çipslerinin, PET'den farklı olarak, kurutmadan önce kristalleşmesine gerek yoktur [3].

PET'in eriyikten lif çekimi yönteminin PTT'ye uyarlanması, lif çekimi ve sarılması esnasında erime sıcaklığı, camlaşma sıcaklığı ve yapısal elastikiyet gibi özelliklerin mutlaka hesaba katılması gerekmektedir [3]. PTT'nin sahip olduğu düşük erime sıcaklığı nedeniyle (PET'den yaklaşık 30 °C düşük), lif hattındaki filamentin soğutulma işlemine kadar çok kısa bir süre bulunmaktadır. Bu yüzden PTT'nin kurutma parametreleri, PET'in parametrelerinden farklıdır. PTT'nin PET'den önemli bir diğer farkı da çok daha hızlı soğuk kristalleşme sağlayan düşük camlaşma sıcaklığıdır [3]. Başlangıçta amorf lifler camlaşma sıcaklığının üstünde bir sıcaklıkta ısıtıldıklarında kristalize olmaktadır. Bu etki "soğuk kristalizasyon" olarak adlandırılmaktadır [18]. Soğuk kristalizasyon, katılaştırma ve soğutma işlemleri sırasında lif morfolojisini önemli ölçüde geliştirmektedir.

PTT'nin eriyikten lif çekimi koşulları PA 6'nın lif çekim koşulları ile daha fazla karşılaştırılabilir. Eriyikten lif çekimi yönteminde yüksek hızlarda germe-çekme ve sarma işlemleri ile elastik filamentlerin işlenmesi, elastik olmayan filamentlerin işlenmesinden çok daha zordur. Son 5 yılda, PTT'nin daha hızlı lif çekimi koşullarında işlem görmesi ile ilgili birçok patent alınmıştır [3].

Lyo ve arkadaşları [19], eriyikten çekilmiş PTT liflerini ve bu liflerin yapı ve özelliklerini çeşitli lif çekim şartlarını göz önüne alarak incelemiştir. Tüm örneklerde, kristal boyutları lif çekim işlem hızları ve germe-çekme oranlarıyla paralel olarak artmaktadır. Germe-çekme oranının ve lif çekim işlem hızlarının artması ile PTT liflerinin fiziksel özellikleri önemli ölçüde gelişmektedir [19]. PTT liflerinin yüzey morfolojisine germe-çekme oranının etkisi Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Germe-çekme oranlarının (a) 1; (b) 3; (c) 6; (d) 8; (e) 10; PTT lifinin yüzey morfolojisi üzerindeki etkisi [19]

Wu ve arkadaşları [20], PTT'yi 500-8000 m/dak arasındaki lif çekim işlemi hızlarında eriyikten lif çekimi yöntemi ile çekerek çeşitli lif örnekleri hazırlamıştır. PTT liflerinin fiziksel özelliklerine ve yapılarına lif çekme hızlarının

etkisi incelenmiştir. 5000 m/dak ve üzerindeki lif çekim işlemi hızlarında lifin camlaşma sıcaklığı (T_g) 53 °C'de sabit kalmaktadır. Lif çekim hattı boyunca yüksek lif çekim hızının neden olduğu yüksek stres, lifin molekül oryantasyonunda, kristalleşme derecesinde ve fiziksel özelliklerinde kademeli olarak artış meydana getirmektedir. Oryantasyon ve kristalleşmenin artması ile de PTT lifi istenilen fiziksel özelliklere ulaşmaktadır [20].

Grebowicz ve arkadaşları [18], PTT'yi 500-5000 m/dak arasındaki lif çekim işlemi hızlarında eriyikten lif çekimi yöntemi ile çekerek lif örnekleri hazırlamıştır. Yukarıda bahsedilmiş çalışmalara benzer biçimde, artan lif çekim işlemi hızları ile lifin molekül oryantasyonu ve kristalleşmesi artmaktadır. Ayrıca PTT'nin sahip olduğu kırılma indisi değeri de lif çekim hızları arttıkça artmaktadır [18].

Tekstil sektöründe eriyikten lif çekimi işlemi ile üretilen lifler şapnel (kesikli) veya filament (kesiksiz) olarak birçok uygulamada kullanılabilir. Şapnel lif ve hacimli sürekli filament (BCF) halı üretiminde de kullanılan iki tip sentetik liftir [21]. BCF'nin halı üretiminde kullanımı gittikçe artmaktadır. Şapnel elyaf üretimi ile karşılaştırıldığında BCF üretimi birçok farklı tipteki ipliği kolayca üretme esnekliğine sahip olduğu için yeni kurulan makineler BCF üretimine yönelik olmaktadır. BCF'ye hacim kazandırma, tekstürizasyon işlemi ile sağlanmaktadır. Bu işlem ile elde edilen halının yürüme performansını ve estetiğini etkileyen hacim, life örtücülük ve basılma sonrası eski forma geri dönme özelliği yanında hoş bir tutum sağlamaktadır [21]. Bu konu hakkında yapılmış bir çalışmada Chuah [21], PTT, BCF'nin hacmini geliştirmek için ön-ısı işlem ve yüksek sıcaklıkta tekstürizasyon işlemi kombinasyonunu kullanarak havalı-tekstürizasyon işlemi PTT'ye uygulamıştır. Isıl işlem sıcaklığının artması ile PTT BCF'nin hacmi maksimuma ulaşmaktadır [21].

2.3.1 Politrimetilen Tereftalat Polimer Karışımları

Polimer karışımları hazırlamak, tamamen yeni bileşikler sentezlenmek yerine istenen özelliklerde yeni polimerik materyallerin üretilmesi için cazip bir alternatiftir [22]. Sentetik lif ve plastik endüstrilerinde polikarışım uygulamaları önemli gelişmelerdir. Polikarışımlar oluşturulurken polimerler karışır veya karışmaz olma üzere iki tip davranış sergilemektedir. Termal, mekanik ve reolojik özellikler polikarışımların karışabilirlik durumlarını etkilemektedir [23]. Örneğin, her ikisi de kristalleşebilen polimerlerin ikili karışımlarının genellikle karıştırılmaz olduğu düşünülmektedir. Eğer polimerler, polar veya moleküller arası etkileşimi çok benzer kimyasal yapılar gösteriyor ise bu polimerler ile kısmi karışımlar gerçekleştirilebilmektedir. Poliester-poliester karışımlarının eriyikten lif çekimi sırasında karışabilirliğini ve uyumunu geliştirmek için esterdeğiştirme reaksiyonları uygulanmaktadır [22]. Lif ve kumaş dokusu üretilirken ayrı birimlerde çekilmiş iki poli-

merin bir lif oluşturmak amacıyla birlikte işlendiği durumlarda oluşan lifleri adlandırmak için genellikle bikomponent terimi kullanılmaktadır. Bikomponent lifler, iç-içe bikomponent düzeninde veya yan-yana bikomponent düzeninde oluşturulabilmektedir. Bikomponent lifler dokusuz tekstil yüzeyi endüstrisinde meltblown ve spunbond üretim süreçleri için en çok tercih edilen liflerdir [24]. Dokusuz tekstil yüzeyi üretiminde sıklıkla kullanılan bikomponent lifler başka tekstil uygulamalarında da tercih edilmektedir. Safapour ve arkadaşları [25], üç farklı lif çekim yöntemi kullanarak farklı PTT oranlarında PET/PTT karışımları üretmiş ve bu karışımların özellik ve yapılarını incelemiştir. Tüm karışımların camlaşma sıcaklıkları polimer kompozisyonlarından etkilenmekte ve hazırlanma metoduna bağlı olarak kristalleşme özellikleri değişmektedir [25].

Yapılmış diğer bir çalışmada Han ve arkadaşları [26], lifin fiziksel özelliklerinde ve yapısal gelişiminde lif çekim şartlarının etkisini incelemek için yan-yana bikomponent PTT/PET liflerini çekmiştir. Liflere germe-çekme oranının ve ısı-ışıl işlem sıcaklıklarının etkisi araştırılmıştır [26]. Yan-yana bikomponent PET liflerinin genellikle mekanik uzamalı iplikler üretmek için kullanıldığı bilinmektedir. PTT/PET yan-yana bikomponent lifler, PTT'nin sahip olduğu üstün elastiki özellikler sayesinde, elastiki geri dönmesi iyi olan ipliklerin üretiminde kullanılmaktadır [26].

Diğer bir çalışmada Shu ve Hsiao [23], PTT ve MIPP (metolase izotaktik propilen) polimerlerini kullanarak eriyikten lif çekimi yöntemi ile çeşitli oranlarda PTT/MIPP bikomponent lifleri hazırlamıştır. Çalışmada polimerler kullanılarak çeşitli oranlarda hazırlanmış bikomponent kısmen yönlendirilmiş iplik (POY) filamentleri yanında ayrıca tek PTT POY ve tek MIPP POY filamentleri de oluşturulmuştur. Daha sonra bu filamentler tamamen çekilmiş iplik (FDY) filamentleri oluşturmak için işlenmiştir. Deneysel sonuçlar PTT ve MIPP'nin karıştırılmaz bir sistem oluşturduğunu göstermektedir. Bu arada, PTT mikro lifi başarıyla üretilmiştir [23].

Başka bir çalışmada Chang ve arkadaşları [27], PTT'nin polimerizasyonu sırasında montmorillonite (C12PPH-MMT) ilave ederek organik olarak değiştirilmiş bir PTT nanokompoziti hazırlamıştır. PTT nanokompoziti eriyikten lif çekimi yöntemi ile farklı germe-çekme oranlarında monofilamentler oluşturmak için kullanılmıştır. Oluşan PTT hibrid liflerin mekanik özellikleri büyük ölçüde eriyikten lif çekimi sırasında uygulanan germe-çekme oranları ile bağlantılı bulunmuştur [27].

Marcincin ve arkadaşları [28] ise, polipropilen (PP) ile poliester karışım liflerinin faz yapısını incelemek için eriyikten lif çekimi yöntemi ile çeşitli oranlarda PP/PES karışım lifleri üretmiştir. PP ile PET ve PTT'nin değişik polimer karışımları (PP/PTT, PP/PET, PP/PTT/PET) incelen-

miştir. PP/PES karışımlarında var olan PTT veya PET polimerleri lifin yapısal ve mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Ayrıca PP/PES karışım liflerinde PTT polimerinin varlığı kopma mukavemetini artırmaktadır [28].

Başka bir çalışmada Zou ve arkadaşları [29], eriyikten lif çekimi yöntemini kullanarak çeşitli oranlarda politrimetilen-ko-bütülen tereftalat (PTBT) kopolimer filamentleri hazırlamıştır. PTBT filamentlerinin sahip olduğu elastiki geri dönme ve boyanabilirlik özellikleri saf PET ve PBT filamentlerinden üstün, saf PTT'den daha kötü değerler sergilemektedir. PTBT filamentlerinde PTT içeriğinin artması ile elastiki geri dönme ve boyanabilirlik özellikleri iyileşmektedir. PBT'nin makromoleküler zincirine eklenen PTT birimleri filamentin özelliklerini geliştirmektedir. PTT birimleri zincir düzenini bozarken kristal boyutunda azalmalara sebep olmaktadır. Bu sayede, yumuşak tutum ve yüksek uzama özelliği kazanan PTBT filamentleri oda sıcaklığında kolaylıkla boyanabilir hale gelmektedir [29].

Diğer bir çalışmada Zou ve arkadaşları [30], üretilmiş Polietilen-ko-trimetilen Tereftalat (PETT) kopolimerlerinin termal, reolojik ve boyanma özelliklerini incelemiştir. PETT kopolimerlerinin termal davranışlarının kopolimerlerin içeriğindeki bileşenlerin kompozisyonuna bağlı olduğu tespit edilmiştir. PETT kopolimer filamentlerinin sahip olduğu elastiki geri dönme ve boyanabilirlik özellikleri PET ve PTT filamentlerinin özellikleri arasında orta bir değere sahiptir. PETT kopolimer filamentinde PTT içeriğinin artması ile elastiki geri dönme ve boyanabilirlik özellikleri gelişmektedir. Bu durum makromoleküler zincirlerin içine PTT birimlerinin eklenmesi ile PET filamentinin özelliklerinin geliştirildiği anlamına gelmektedir. Yumuşak tutum ve yüksek esnekliğe sahip PETT kopolimer filamentleri PET'in mekanik özelliklerini ve PTT'nin elastikiyet ve boyanabilirlik avantajlarını bir arada toplamaktadır. PETT filamentleri yüksek esneklikleri ve yumuşak tutumları sayesinde giysilerde kullanılmak için oldukça uygundur [30].

2.4. Politrimeitilen Tereftalattan Üretilen Kumaşlar

PTT liflerinden dokuma, örme veya dokusuz tekstil yüzeyi formunda çeşitli kumaşlar üretilebilmektedir. PTT liflerinin sahip olduğu üstün elastikiyet ve atmosferik koşullarda kolay boyanabilme özellikleri, liften üretilen kumaş formlarına da yansımaktadır. Kumaşlarda kullanılan elastik lifler, giysinin vücut hareketlerine karşı gösterdiği dirençten kaynaklanan rahatsızlığı azaltarak kumaşların germe ve elastiki geri dönme kapasitelerini geliştirmektedir [31].

Lou ve arkadaşları [31], kumaşın doku tipinin, PTT/PET oranının, atkı yoğunluğunun ve iplik bükümünün, PET çözümlü ipliğinden ve PTT/PET karışımli atkı filamentlerinden üretilen dokuma kumaşların sahip olduğu elastikiyet

özelliklerine etkilerini araştırmıştır. PTT/PET bikomponent filamentli elastikiyet sağlamak için dokuma kumaşa atkı ipliği olarak dahil edilmiştir. Sonuçlar, PTT/PET bikomponent filamentli ile üretilmiş dimi ve saten dokuma kumaşların aynı filament ile üretilmiş düz dokuma kumaşlardan çok daha yüksek elastikiyet potansiyeli sunduğunu göstermektedir. Atkı ipliklerindeki PTT/PET içeriğinin, % 66,7'yi geçmemesi koşuluyla artması, kumaş elastikiyetinin artmasına yol açmıştır. Atkı bükümünün artması ile artan atkı yoğunluğu sonucu kumaş elastikiyeti belirgin ölçüde düşmekte ve kumaş elastikiyeti olumsuz biçimde etkilenmektedir [31].

Birçok tekstil uygulamasında ve halıda naylon ve poliester liflerinin sunduğu üstün özellikleri PTT lifi de sunmaktadır. Aynı zamanda PTT lifi spunbond tekstil yüzeylerinin üretimi için de benzersiz özellikler sergilemektedir [8]. Brown ve arkadaşları [8], PTT' den, Hills Inc-Ason teknoloji hattını kullanarak ve Reifenhauer (Tandec)-spunbond hattını kullanarak Spunbond tekstil yüzeyleri üretmiştir [8]. Spunbond tekstil yüzeyi üretim hattında polimer direkt olarak filamentlere dönüştürülmekte ve sonra dokusuz tekstil yüzeyi oluşturulmaktadır [32]. Hills prosesinde işlenmiş liflerden elde edilmiş spunbond tekstil yüzeyi yüksek işlem hızları yüzünden yüksek kristalli liflerden oluşmaktadır. Reifenhauer hattında daha düşük proses hızları ile işlenmiş liflerden elde edilmiş spunbond tekstil yüzeyi ise daha amorf liflerden oluşmaktadır. Bu olgu, farklı üretim hatlarında işlenmiş tekstil yüzeylerinin farklı fiziksel özellikler sergileyeceğini göstermektedir. PTT'den üretilen kumaşlar hızlıca dispers boyarmaddelerle boyanabilmekte ve kolayca baskı işlemi gerçekleştirilebilmektedir [8].

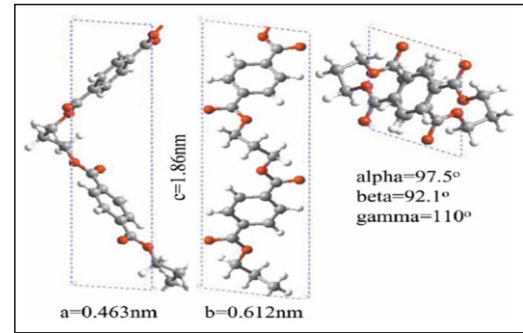
Meltblowing süreci de termoplastik polimerlerden direkt olarak mikrofiber dokusuz tekstil yüzeyleri oluşturmak için kullanılan tek-adımlı bir süreçtir. Bu süreç, filtrasyon uygulamalarında, termal yalıtkan olarak, pil ayırıcı olarak ve yağ emici uygulamalarda mikrofiber yapıları dokusuz tekstil yüzeylerinin üretilebilmesini sağlayan önemli bir endüstriyel teknik haline gelmiştir [24].

Zhang ve arkadaşları [24], PTT esaslı tek ve bikomponent liflerden oluşan meltblown dokusuz tekstil yüzeylerini, TANDEC Reicofil Bi-Component Meltblown hattını kullanarak üretmiştir. Çok iyi meltblown işlenebilirliğine sahip PTT ve bikomponent PTT/PP liflerinden üretilen tekstil yüzeyleri iyi kumaş kalitesi sergilemektedir. Bikomponent PTT/PP liflerinden üretilmiş tekstil yüzeyleri iyi ısıl çekme dayanımlarına sahiptir [24].

3. POLİTRİMETİLEN TEREFTALATIN KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

PTT ilginç bir kristal yapıya sahiptir. Tekrar eden kristal sistemi üç eksenli olan PTT'nin iki polimer zinciri c-ekseni boyunca gauche-gauche konformasyonunda kıvrımlı glikol

birimleri ile birlikte uzanmaktadır yani zincirler ac ve bc düzlemlerinde sık zigzaglar şeklinde görünmektedir [6]. Zigzag yapı, polimer zincirlerine sıkı sarılmış heliksel bir form sağlamaktadır. Bu form sayesinde zincirlerin uzama sırasında helozonik yaylar gibi davrandıkları düşünülmektedir [6]. PTT sahip olduğu bu zigzag molekül yapısı sayesinde kolayca bükülebilmekte böylece PTT'nin gerilime ve dış güçlerin tahribatına dayanma yeteneği yükselmektedir [33]. İç elastikiyet PTT'nin sahip olduğu benzersiz moleküller yapıyla direkt olarak bağlantılıdır. Bilim adamları, PTT liflerinin yüksek elastikiyet ve iyi elastiki geri dönme yeteneklerinin, kristal yapılarındaki spiral şekilden kaynaklandığını keşfetmiştir [3]. PTT kristaline ait birim hücre yapısı Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Kristal birim hücrede PTT'nin atomik pozisyonu [34]

PTT'nin sahip olduğu erime ve camlaşma sıcaklıkları ile ilgili olarak literatürde çeşitli değerler bulunmaktadır. PTT'nin erime sıcaklığı (T_m) literatürde 207 °C - 238 °C arasında; 207-232 °C [34], 226 - 229 °C [35] ve 215 °C [20], 225 °C [15], 228 °C [5], 230 °C [24], 237 °C [7], 238 °C [28] olarak yer almaktadır.

PTT'nin camlaşma sıcaklığının (T_g) ise literatürde 37 °C ile 75 °C aralığında; 45 °C [5], 55 °C [28], 58 °C [31, 34], 46 °C [24], 50-60 °C [35], 45-75 °C [15], 37-42 °C [34], 45-65 °C [36] ve 37-45 °C aralıklarında [7] olduğu bildirilmektedir.

Tablo 2'de PTT ve diğer bazı liflerin önemli fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması yer almaktadır.

Tablo 2. PTT ve diğer bazı liflerin fiziksel özellikleri [37]

Fiziksel Özellikler	PTT	PET	PBT	Naylon 6	Naylon 6,6
Erime Sıcaklığı (°C)	225	265	228	230	265
Camlaşma Sıcaklığı (°C)	45-75	80	25	50	50-90
Yoğunluk (g/cm ³)	1,35	1,40	1,34	1,14	1,14

PTT polimerinden üretilen lifler diğer lifler gibi lifin boyanma özelliklerini önemli ölçüde etkileyen kristalin ve amorf bölgeler içermektedir [38]. Genellikle düzenli yapıya sahip olan birçok yarı-kristal polimer, kristalin ve amorf bölgeleri içeren geleneksel iki-fazlı model gibi bir modelle kolayca tanımlanamamaktadır. Bu durumda, 'rijit amorf faz' (RAP) olarak adlandırılan kristalin ve amorf katmanlar arasındaki interfaz, üçüncü bir faz olarak yarı-kristal polimerlerin yapısında önemli kabul edilmeye başlanmaktadır.

Yapılmış araştırmalarda çeşitli polimerlerin ek ara bileşen olarak RAP'a sahip oldukları bulunmuştur. Bu olgu, zayıf zincir esneklikleri yüzünden nispeten rijit polimerlerin kolayca RAP formu alabileceği anlamına gelmektedir [38]. Hong ve arkadaşları [38], PTT'nin sahip olduğu yapı ile ilgili olarak çeşitli kristalleşme şartlarında PTT'nin yapısal oluşumunu tanımlayabilmek için, kristalin, mobil amorf ve RAP içeren üç fazlı bir model kullanmıştır. PTT'nin sahip olduğu RAP'ın, artan kristalleşme sıcaklığı (T_c) ile arttığı bildirilmiştir. Camlaşma davranışı da polimerin sahip olduğu RAP formasyonundan önemli ölçüde etkilenmektedir. İnterfaz kalınlığı ve rijit amorf bölümlerin artması ile camlaşma sıcaklığı da artmaktadır [38].

PTT'nin sahip olduğu kristalizasyon oranı, polimer cipslerinin yüksek derecede kristalli yapıya sahip olmasını sağlayarak polimerlerin klasik poliestere çözücülerinde kolay kolay çözümlenmelerini engellemektedir [6]. Bununla birlikte, PTT-oda sıcaklığında hekzafloroizopropanal gibi güçlü çözücüler ile işlem gördüğünde kolayca çözülebilmektedir [5]. Yani, PTT lifi alkalilere karşı dirençli fakat asitlere karşı dirençsizdir. Saf ve karışım PTT liflerden oluşmuş kumaşların kullanımında bu noktaya dikkat edilmelidir [33]. Ayrıca, kahve, hardal, kırmızı asit boya ve diğer lekelerle karşı dayanıklılığa sahip PTT düşük elektriklenme özelliği sergilemektedir [5].

PTT ve PET liflerinin optik özellikleri birbirine benzemektedir [7]. Poliesterlerin sahip olduğu yüksek kırılma indisi değerleri yüzünden canlı ve parlak renkler elde etmek her zaman mümkün olmamaktadır [39]. Örneğin PET lifinin kırılma indisi 1,54'dür [40]. PTT liflerinin sahip olduğu kırılma indisi ile ilgili olarak literatürde çeşitli değerler bulunmaktadır. PTT'nin-kırılma indisi literatürde; 1,515 [18] ve 1,638 (nano PTT lifinin) [41] olarak verilmiştir.

PTT'nin sahip olduğu ve onu tekstil uygulamaları için mükemmel bir materyal yapan, uzamadan sonra iyi geri dönme özelliği naylonun özelliği ile benzerdir. Diğer poliesterlerle kıyaslandığında PTT uzama sonrası daha iyi elastiki geri dönme özelliği sergilemektedir [5]. DuPont'un tekstüre işlemi görmemiş PTT ipliği hakkında verdiği bilgiye göre, ipliğe uygulanan %120'ye kadar uzamadan sonra iplik %100 geri dönme değeri sergilemektedir [6]. Bu özellik PET lifinden çok daha iyi ve Naylon 6,6 lifinden de 2-3 kat daha iyidir. Unutulmamalıdır ki esneklik, tekstil ve halı lifleri için değerli bir özelliktir [6].

Açık moleküler yapısı sayesinde PTT kaynama sıcaklığında (100 °C) ve atmosferik basınç altında carriere gerek duyulmadan kolaylıkla boyanabilmektedir. PTT ve naylon seçilmiş boyarmaddelerle boyandıklarında karşılaştırılabilir renk haslığı değerleri sağlamaktadır [7]. Ayrıca, basınçlı boyama şartları altında boyanan PTT, daha fazla renk tonunun kullanılabilmesini mümkün kılarak tasarımcıların

daha fazla renk seçeneğine sahip olmasına fırsat vermektedir [7].

PTT lifine ait yukarıda değinilen fiziksel ve kimyasal özelliklerin nihai ürüne potansiyel etkisi Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. PTT polimer özelliklerinin nihai ürüne etkisi [42]

Polimer Özellikleri	Son Kullanımdaki Potansiyel Etkileri
PTT'nin Fiziksel Konformasyonu	
Sarmal Yapı \Rightarrow Düşük Modül	<ul style="list-style-type: none"> Elastiki Geri Dönme Yumuşaklık Dökümlülük Esneklik
Düşük Tg	<ul style="list-style-type: none"> Kolay ısıtma işlemi Kolay boyanabilirlik
PTT'nin Kimyasal Konformasyonu	
Reaktif Alan İçermemesi (PA gibi)	Asit tabanlı maddelere karşı lekelenme dayanımı
Yapısı ve Esnek Molekül	Statik yük birikimini en aza indirmek
Düşük Su Absorbsiyonu	Kolay kuruma

4. POLİTİRİMETİLEN TEREFTALATIN KULLANIM ALANLARI

PTT lifleri halılar, giyime-hazır streç giysiler, aktif giyim, iç giyim, iç astarı ve otomotiv döşemelikleri, dokusuz tekstil yüzeyleri için lif üretimi ve şemsiye kumaş üretimi gibi birçok tekstil uygulamasında kullanılmaktadır [5].

Ticari bir PTT lifi olan Corterra PTT liflerinin, sağladıkları rahatlık hissi, doğal lekelenme dayanımı, iyi aşınma performansı, antistatik özellikler ve en önemlisi kolay bakım özellikleri sayesinde halı üretiminde tercih edildiği belirtilmektedir [43]. Corterra PTT polimerinden üretilen lif ve iplikler günlük giysiler, mayolar, aktif giyim ve iç giyim, ev döşemeleri, perdelikler, çarşaf ve yastık kılıfları, duvar kaplamaları (Şekil 7) ve döşemeleri, dokusuz tekstil yüzeyleri ve otomobil döşemeleri gibi birçok tekstil uygulamasında kullanılmaktadır [44]. Corterra PTT kullanım alanlarının geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar sürmektedir.



Şekil 7. Corterra PTT'den üretilen ürünler [10, 43]

Ticari bir diğer PTT lifi olan Sorona PTT liflerinden üretilmiş kumaşlar, giysilerde tüketicilere bakımı kolay, uzun süre güzel görünen ve rahatça giyilebilen gündelik eşofman özgürlüğü sağlamaktadır. Böylece PTT kumaşların aktif giyimde, iş giysilerinde ve diğer hazır giyim uygulamalarında rahatlıkla kullanılabilmesi belirtilmektedir (şekil 8) [45]. Sorona PTT liflerinden üretilmiş kumaşların sıcak tutan çoraplar, polar ceketler ve değişik ceket türleri gibi

dış giyim uygulamalarında da kullanıldığı belirtilmektedir. Rahat bol bayan sabahlıkları, saten yumuşaklığında gecelikler veya yumuşak kaşkorseler PTT kumaşlarının iç giyim uygulamalarına örnektir [45].



Şekil 8. Sorona PTT lifleri kullanılarak üretilmiş bazı ürünlere ait resimler [45]

Tekstil dışında PTT, suni deri, fermuar kopçası, raketler, müzik enstrüman telleri, peynir ambalajları, kanca ve halka bağlantıları, manyetik kayıt diskleri, elektrik konnektörleri ve elastik şeffaf film üretiminde kullanılmaktadır [5].

5. TİCARİ POLİTİRİMETİLEN TEREFTALAT LİFLERİ

5.1. Corterra Politirimetilen Tereftalat Lifi

Royal Dutch ve Shell firmaları ortak ürettikleri PTT polimerini “Corterra” markası adı altında piyasaya sürmüştür [43]. Corterra PTT polimerinden üretilen Corterra PTT liflerinin özellikleri aşağıda anlatılmaktadır.

5.1.1. Corterra Lifinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Corterra PTT lifleri ile üretilmiş kumaşlar, kolay bakım ve esneklik yanında doğal lekelenme dayanımı, ürünün uzun süreli olarak giyilebilmesi için kalıcı dayanıklılık, dikkat çekici yumuşaklık, güzel akışkan dökümlülük ve zengin, canlı renkler gibi önemli fiziksel özellikler sergilemektedir [44]. Diğer liflerle kolaylıkla karıştırılabilen Corterra PTT lifleri düşük sıcaklıklarda kolayca boyanabilmektedir [44]. Corterra PTT liflerinin fiziksel özelliklerinin diğer liflerle ile karşılaştırılmış değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Corterra liflerinin fiziksel özelliklerinin diğer polimerler ile karşılaştırılması [43]

Fiziksel Özellikler	PTT	PET	Naylon 6	Naylon 6,6	PBT	
Erime Sıcaklığı (°C)	228	258	220	265	225	
Camlaşma Sıcaklığı(°C)	45-65	80	40-87	50-90	25	
Yoğunluk (g/cm ³)	1,33	1,40	1,13	1,14	1,34	
Su absorpsiyonu	24 saat (%)	0,03	0,09	1,9	2,8	-
	14 gün (%)	0,15	0,49	9,5	8,9	0,20

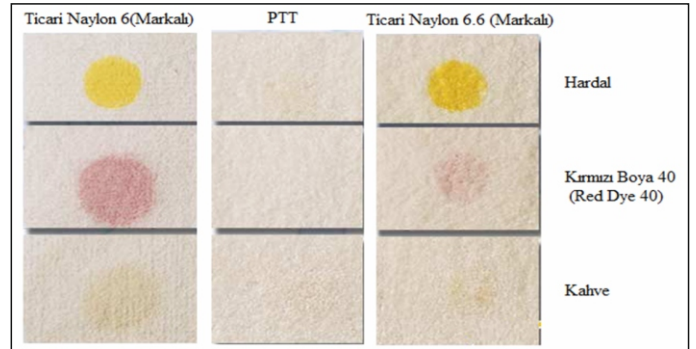
Corterra PTT lifinin erime sıcaklığı PET ve Naylon 6,6 liflerinin erime sıcaklıklarından düşük PBT ve Naylon 6 liflerinin erime sıcaklıkları ile çok yakın değerler sergilemektedir. PTT lifinin yoğunluğu PET lifininin yoğunluğundan az fakat PBT lifininin yoğunluğu ile çok yakın değerlere sahiptir. PTT lifi en düşük su absorpsiyonuna sahiptir.

PTT lifleri tekstil uygulamalarında kullanılan diğer birçok life göre çok daha iyi elastiki geri dönme özelliği ve lekelenme ile aşınmaya karşı yüksek dayanım özellikleri göstermektedir (Tablo 5).

Tablo 5. PTT tekstil lif özelliklerinin diğer lifler ile karşılaştırılması [43]

Lif Özellikleri	PTT	PET	Naylon	Akrilik	Spandex
Yumuşaklık	Çok iyi	Zayıf	Çok iyi	İyi	-
Elastiki Geri Dönme	İyi	Zayıf	Ortalama	Zayıf	Çok iyi
Aşınma Dayanımı	Çok iyi	İyi	Çok iyi	Zayıf	Kötü
Hacimlilik	İyi	Zayıf	Ortalama	İyi	-
Lekelenme Dayanımı	Çok iyi	Çok iyi	Zayıf	Ortalama	Kötü
Işık Hashğı	İyi	İyi	Zayıf	Çok iyi	Kötü
Yıkama Hashğı	Çok iyi	Çok iyi	Zayıf	Ortalama	Kötü

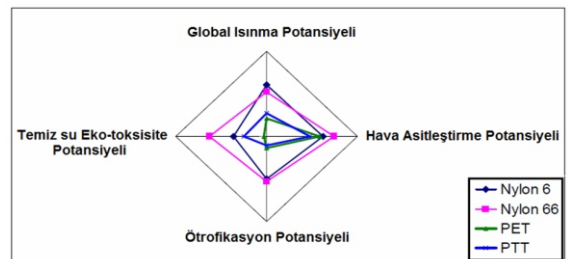
PTT lifi birçok kimyasal maddeye karşı çok iyi dayanım göstermektedir. Corterra PTT liflerine uygulanan ve liflerin lekelenmeye karşı sahip oldukları dayanımı gösteren lekelenme testi sonuçları da Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Lekeleme işlemi uygulanmış ham ürünler [43]

5.1.2. Corterra Lifi Üretiminin Çevresel Etkisi

Corterra PTT Polimerinin çevresel izleri hakkında çeşitli araştırmalar yapılmıştır. PTT üretiminin çevresel izleri Şekil 10'da verilmiştir. Bu araştırmalar PTT'yi üretmek için, naylonu üretmek için kullanılan çok daha düşük enerji harcandığını göstermektedir [42]. Ölçülen değerler doğrultusunda PTT üretimi sırasında Naylon 6 ve Naylon 6,6 üretiminden çok daha düşük global ısınma, havayı asitleştirme, ötrofikasyon (çeşitli durgun sularda çözünmüş organik artıkların yol açtığı, oksijen yetmezliği ile gelişen bitki üremesinin durması ve aşırı yosun üremesi durumu) ve eko-toksiklik potansiyeli bulunmaktadır. PTT üretim süreçlerinin Naylon 6 ve Naylon 6,6'nın üretim süreçlerinden daha çevreci olduğu belirtilmektedir [42].



Şekil 10. PTT üretiminde çevresel iz [42]

5.2. Sorona Politirimetilen Tereftalat Lifi

DuPont ürettiği PTT polimerini “Sorona” markası adı altında piyasaya sürmüştür. DuPont firması herhangi bir lif üretimi gerçekleştirmeden anlaşmalı olduğu ortaklarına lif üretiminde gerekli olan teknolojiyi ve polimeri satmak-

tadır [46]. Sorona PTT polimerinden üretilen Sorona PTT liflerinin özellikleri aşağıda anlatılmaktadır.

5.2.1. Sorona Lifinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Sorona PTT (Sorona 3GT) liflerine ait önemli fiziksel ve kimyasal özelliklerden bazıları camlaşma sıcaklığı (T_g),

erime sıcaklığı (T_m), yoğunluk, elastiki geri dönme ve kırılma indisi olarak sayılabilmektedir. Sorona PTT liflerinin bu önemli özelliklerinin diğer liflerle karşılaştırılması Tablo 6'da verilmiştir.

Sorona PTT liflerine ait diğer bazı önemli özellikler ve bu özelliklere ait açıklamalar aşağıda verilmiştir.

Tablo 6. Sorona PTT liflerinin önemli bazı özelliklerinin diğer liflerle karşılaştırılması [40]

Lif Özellikleri	Sentetik lifler				Doğal bazlı eriyikten çekilebilir lifler			Doğal lifler		
	Naylon 6	Naylon 6,6	PET	Akrilik	Sorona 3GT	Rayon	PLA	Pamuk	İpek	Yün
Yoğunluk	1,14	1,14	1,39	1,18	1,33	1,52	1,25	1,52	1,34	1,31
T_g (°C)	40-60	40-55	70-80	-	45-55	-	55-60	-	-	-
T_m (°C)	220	265	260	320	228	-	130-175	-	-	-
Elastiki geri dönme (% uzamada)	89	89	65	50	100	32	93	52	52	69
Nem geri kazanımı (%)	4,1	4,0	0,2-0,4	1,0-2,0	0,2-0,3	11	0,4-0,6	7,5	10	14-18
Kırılma indisi	1,52	1,54	1,54	1,50	1,57	1,52	1,35-1,45	1,53	1,54	1,54

5.2.1.1. Yumuşaklık

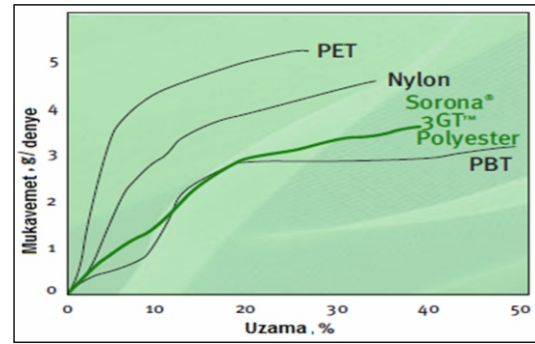
Mukavemet-uzama eğrileri incelendiğinde (Şekil 11), Sorona PTT liflerini (Sorona 3GT™ Poliester) eğmek-bükmek için çok daha az efor gerektiği ve lifler ile üretilmiş ipliklerin aynı denyedeki poliester ve naylon ipliklerden çok daha yumuşak bir özellik gösterdiği görülmektedir [47].

5.2.1.2. Elastiki Geri Dönme (Naylondan 2-3 kat iyi)

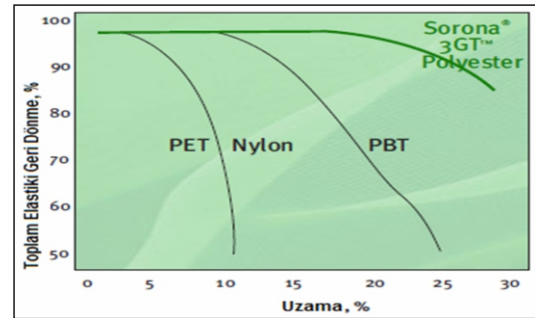
Sorona PTT lifinden (Sorona 3GT™ Poliester) üretilmiş ve tekstüre işlemi uygulanmamış ipliklerin yaklaşık %120 uzamada %100 elastiki geri dönme sağladığı belirtilmektedir (Şekil 12). Sorona PTT polimerinden üretilmiş lifler daha yüksek uzama seviyelerinde bile ilk formlarına geri dönebilmektedir. Sorona PTT lifinden üretilmiş tekstüre iplikler, %145 uzamada %100 elastiki geri dönme sağlamaktadır [47].

5.2.1.3. Carrier Kullanmadan Kaynama Noktasında Kolay Boyanabilme

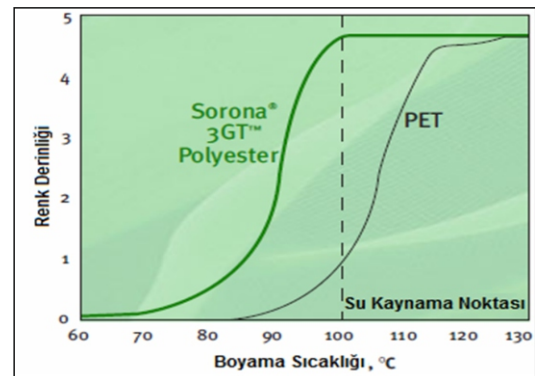
Sorona PTT lifleri, basınç veya kimyasal carrier kullanılmadan poliesterden daha düşük sıcaklıklarda uygun dispers boyarmaddeler ile kolaylıkla boyanabilmektedir [47]. Sorona PTT lifinin (Sorona 3GT™ Poliester) molekül yapısı sayesinde yaklaşık 70 °C'de boyarmaddeler life alınmaya başlanmaktadır (Şekil 13). İyi yıkama haslığı ve renk derinliği özellikleri kaynama noktasında kazanılabilmektedir. Boyamadan önce Sorona PTT lifleri başka liflerle harmanlanarak karışık renk desenine sahip örme ve dokuma kumaşlar elde edilebilmektedir. Sorona PTT lifleri karışım kumaşlarda final ürüne kendi benzersiz faydalarını aktarabilmektedir [47].



Şekil 11. Mukavemet-uzama eğrileri [40, 47]



Şekil 12. Toplam elastiki geri dönme eğrileri [40, 47]



Şekil 13. Kolay boyanabilme eğrisi [47]

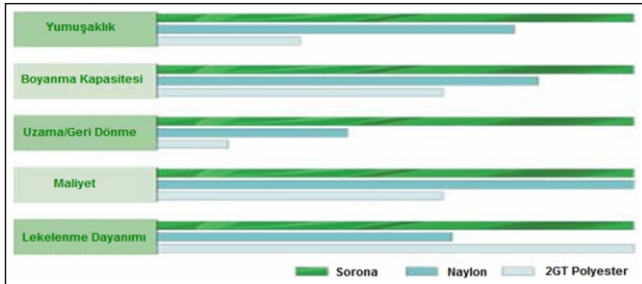
5.2.1.4. Naylon ile Benzer Elastikiyet

Sorona PTT polimerinin kristalin moleküler yapısı sayesinde lif kendi orijinal hafızasını (bellek etkisi) ve hacmini korumakta ve kumaş son derece kolay giyilebilmektedir [47].

5.2.1.5. Isıl İşlem Kabiliyeti

Sorona PTT lifinden üretilmiş bakımı kolay kumaşlar yüksek ısı işlem kabiliyetine sahiptir [47]. Sorona PTT liflerinin uzama sonrası elastiki geri dönme kapasitesinin azalması için ısı işlem prosesinin doğru biçimde tamamlanması gerekmektedir. Sorona PTT lifleri ile üretilmiş kumaşlara diğer bazı poliester lifleri ile üretilmiş kumaşlardan çok daha düşük sıcaklıklarda ısı işlem uygulanabilmektedir. Bu durum üreticilere düşük sıcaklıklarda ısı işlem uygulanabilen Spandex lifleri ile Sorona PTT liflerini karıştırarak, elastikiyeti yüksek (yüksek uzamalı) giysi üretme açısından yeni seçenekler sunmaktadır [47].

Sorona PTT liflerinin yukarıda değinilen bazı özelliklerinin, Naylon ve 2GT Poliester (PET) liflerinin özellikleri ile karşılaştırılması Şekil 14'te verilmiştir. PTT lifleri diğer iki lifle karşılaştırıldığında oldukça iyi yumuşaklığa, boyanma kapasitesine, elastiki geri dönmeye, leke dayanımına fakat yüksek bir maliyete sahiptir.



Şekil 14. Sorona'nın diğer liflerle karşılaştırılması [46]

5.2.2. Sorona Lifinin Üretimine Çevresel Etkisi

Sorona PTT lifinin, lif performansına ek olarak birçok çevresel fayda da sağladığı belirtilmektedir. Petrokimyasallar yerine yenilenebilir kaynaklı maddelerin birleşiminden üretilen Sorona PTT polimeri petrole olan bağımlılığı azaltmaya yardımcı olmaktadır [48]. Ayrıca Sorona PTT üretimi özellikle CO₂ gibi sera gazlarının emisyonları ile ilgili faydalar sağlayarak global ısınmanın artmamasına da katkıda bulunmaktadır [48].

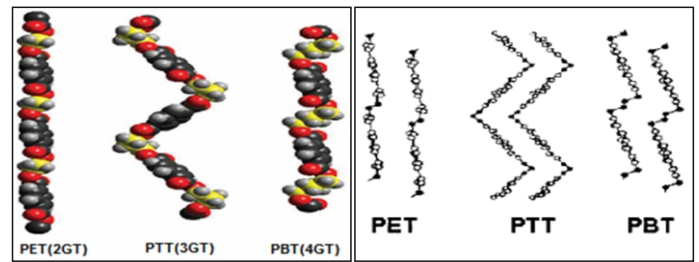
6. POLİETİLEN TEREFALAT, POLİTRİMETİLEN TEREFALAT VE POLİBÜTİLEN TEREFALAT LİFLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

PET, PTT ve PBT aromatik poliesterler sınıfına ait kimyasal yapıları ve fiziksel özellikleri birbirinden farklı üç polimerdir. Her bir tereftalat birimi arasında üç adet metilen birimi bulunan PTT'den farklı olarak PBT dört adet ve PET iki adet metilen birimi içermektedir. Bu birimler PTT'nin

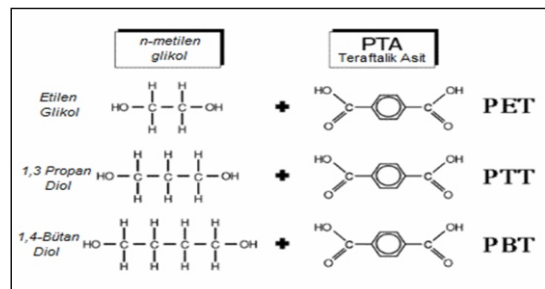
fiziksel ve kimyasal yapısını etkilemektedir [5, 7]. Bu üç poliesterin elastiki geri dönme özellikleri karşılaştırıldığında PET > PBT > PET gibi bir sıralama ortaya çıkmaktadır [5]. PET'in sahip olduğu büyük molekül zinciri gerilimli bir yapı sunmakta ve küçük bir gerilim moleküle tamamen yayılmaktadır. Bu nedenle PET'in uzamadan sonra elastiki geri dönme özelliği kötüdür [33].

Üç poliesterin özelliklerinin karşılaştırılması ile ilgili yapılmış bir çalışmada Chen ve arkadaşları [49], PTT, PET ve PBT filamentlerinin anlık elastiki geri dönme özelliklerini karşılaştırmalı olarak analiz etmiştir. PTT filamentinin başlangıç modülü ve mukavemet değerleri PBT ve PET filamentlerinden daha düşüktür [49]. Eğilme rijitliğinin ve bükülebilirlik özelliklerinin başlangıç modülünden etkilendiği bilinmektedir. PTT filamentlerinden üretilen kumaşlar, PET filamentlerinden üretilen kumaşlardan çok daha iyi bükülebilirlik özelliği sergilemektedir. Ayrıca PTT filamentleri yüksek elastikiyete ve iyi elastiki geri dönme oranına sahiptir [33]. PTT filamentlerinin yüksek uzamalarda bile ani elastiki geri dönme değerleri, PET ve PBT filamentlerinin değerlerinden önemli ölçüde yüksektir [49]. Ayrıca PTT filamentlerinin kopma uzaması değeri, PBT ve PET filamentlerinin kopma uzaması değerlerinden daha yüksektir. Bu durum PTT filamentinin PET ve PBT filamentlerinden daha yumuşak bir tutuma sahip olmasını sağlamaktadır [49].

Kristalizasyon oranları bakımından üç poliester incelendiğinde PTT, PET'den daha yüksek ve PBT'den daha düşük kristalizasyon oranına sahiptir [5]. PTT, PBT ve PET'in sahip olduğu yapısal görüntüleri Şekil 15'te verilmiştir. Ayrıca, PTT, PET ve PBT'yi oluşturan hammaddeler Şekil 16'da karşılaştırılmalı olarak yer almaktadır.



Şekil 15. PTT, PET ve PBT'nin birim hücrelerinin yapısal görünüşü [50, 19]



Şekil 16. PTT, PET ve PBT'yi oluşturan hammaddeler [44]

8. SONUÇ

PTT, sahip olduğu üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde tekstil endüstrisinde giderek önem kazanmaktadır. Yumuşaklığı, yüksek elastik özellikleri, atmosferik koşullarda kolay boyanabileme özellikleri, çözücülere ve lekelenmeye karşı yüksek dayanım özellikleri PTT lifini diğer poliester ve kimyasal liflerden ayrıcalıklı kılmaktadır. Günümüzde polimerin hammadde maliyetlerinin düşmesiyle PTT'nin üretim hızı artmıştır. PTT materyali ayrıca diğer endüstri dallarında da kullanım avantajları sağlamaktadır. Üretim aşamalarında çevresel olarak sağladığı avantajlar da önemlidir. Boyanmalarında ve kullanımlarında çeşitli zorluklar bulunan poliester ve diğer liflere alternatif olan PTT'nin kullanım alanlarının gün geçtikçe daha da artacağı düşünülmektedir. Ülkemizde de PTT lifi yeni tanınmaya başlayan bir liftir ve lif hakkında Türkçe olarak çok az kaynak bulunmaktadır. Bu derleme çalışması ile lifin üretimi, özellikleri, kullanım alanları ve çevresel etkisi hakkında bulunan Türkçe literatür sıkıntısının giderilmesine katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. http://www.asiapacificfibers.com/msg_pres_dir.html, Kasım 2011
2. Perepelkin K.E., (2001), “Poly(ethylene Terephthalate) and Polyester Fibres – 60 th Anniversary of The First Patent-Poliester Fibres abroad in the third millenium” Fibre Chemistry, Vol 33, No.5, doi:10.1023/A:1013983922779
3. Thiele U. K. (2002), “A new polyester for textile applications”, Polyester Technology Published in: Textile Technology International, page 37-41
4. Aizenshtein E.M., (2009), “Polyester Fibres Continue To Dominate On The World Textile Raw Materials Balance Sheef”, Fibre Chemistry, Vol.41, No. 1, doi:10.1007/s10692-009- 9119-9
5. Deopuno B.L, Alogirusamy R, Joshi M. and Gupto B., (2008), “Polyester and Polyamides”, CRC Press; 1 edition, Cambridge, UK /Santhana Gopala Krishnan P. and Kulkarni S.T., “1. Polyester Resins”
6. McIntyre J.E, (2004), “Synthetic Fibres: Nylon, Polyester, Acrylic, Polyoeñin”, Woodhead Publishing, Cambridge, UK / East A. J. “3. Polyester Fibres”
7. Houck M. M., Menold R. E. II, Huff R. A., (2001), “PTT new Type of Polyester Fibre”, Problems of Forensic Sciences, vol. XLVI, 217-221, FBI Laboratory, Washington, USA
8. Brown H. S., Casey P. K., Donahue J. M., “Poly(Trimethylene Terephthalate) Polymer for Fibers”, <http://www.technica.net/NF/NF1/eppt.htm>, Mart 2011
9. <http://www.technica.net/NF/NF1/efibreptt.htm>, Şubat 2011
10. Parthiban M. and Vellingiri K., “PTT - An innovative polymer with versatile application”, The Indian Textile Journal, <http://www.indiantextilejournal.com/articles/FAdetails.asp?id=1240>, Mart 2011
11. <http://www.chemsystems.com/reports/search/docs/abstracts/97s4-abs.pdf>, Haziran 2011
12. Process Economics Program Report 227 Published: Dec-1999 http://www.sriconsulting.com/PEP/Private/Reports/Phase_97/RP227/, Kasım 2011
13. Jia S. Y., Ren Y. R., Liu L. M., Zhang D., Zeng Y., Wang G. Y., (2007), “Stannous-acetylacetonate: A new catalyst for poly(trimethylene terephthalate) synthesis”, Chinese Chemical Letters 18, 827–830, doi:10.1016/j.ccllet.2007.05.019
14. Pang K., Kotek R., Tonelli A., (2006), “Review of conventional and novel polymerization processes for polyesters”, Prog. Polym. Sci. 31, 1009–1037, doi:10.1016/j.progpolymsci.2006.08.008
15. Shen L., Haufe J., Patel M. K., (2009), “Product overview and market projection of emerging bio- based plastics”, PRO-BIP 2009, Final Report
16. Kim J.H., Lee J.J., Yoon J.Y., Lyoo W.S., Kotek R., (2001), “Alkaline Depolymerization of Poly(trimethylene terephthalate)”, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 82, 99–107
17. Kotek R., Jung D.-W., Kim J.H., Smith B., Guzman P., Schmidt B., (2004), “Surface Hydrolysis of Filaments Based on Poly(trimethylene terephthalate) Spun at High Spinning Speeds”, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 92, 1724–1730.
18. Brown H., Chuah H., Olvera J.M., Wasiak A., Sajkiewicz P., Ziabicki A., Grebowicz J.S., (2001), “Deformation of undrawn PTT fibres”, Polymer 42, 7153–7160
19. Lyoo W. S., Lee H. S., Ji B. C., Han S. S., Koo K., Kim S. S., Kim J. H., Lee J.-S., Son T. W., Yoon W. S., (2001), “Effect of Zone Drawing on the Structure and Properties of Melt-Spun Poly(trimethylene terephthalate) Fiber”, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 81, 3471–3480
20. Wu G., Li H., Wu Y., Cuculo J. A., (2002), “Structure and property studies of poly(trimethylene terephthalate) high-speed melt spun fibers”, Polymer 43, 4915–4922
21. Chuah. H. H., (2004), “Effect of Process Variables on Bulk Development of Air-Textured Poly(trimethylene terephthalate) Bulk Continuous Filaments”, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 92, 1011–1017
22. Castellano M., Turturro A., Valenti B., Avagliano A., Costa G., (2006), “Reactive Blending of Aromatic Polyesters: Thermal Behaviour of Co-precipitated Mixtures PTT/PET”, Macromol. Chem. And Phys., 207, 242–251, DOI: 10.1002/macp.200500276
23. Shu Y-C, Hsiao K-J, (2006), “Preparation and physical properties of poly(trimethylene terephthalate)/metallocene isotactic polypropylene conjugated fibers”, European Polymer Journal 42, 2773–2780, doi:10.1016/j.eurpolymj.2006.05.003
24. Zhang D., Sun C., Beard J., Brown H., Carson I., Hwo C, (2002), “Development and Characterization of Poly(trimethylene terephthalate)-Based Bicomponent Meltblown Nonwovens”, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 83, 1280–1287, DOI 10.1002/app.2295
25. Safapour S., Seyed-Esfahani M., Auriemma F., Ballesteros O. R., Vollaro P., Girolamo R., Rosa C., Khosroshahi A., (2010), “Reactive blending as a tool for obtaining poly(ethylene terephthalate)-based engineering materials with tailored properties”, Polymer 51, 4340–4350, doi:10.1016/j.polymer.2010.07.011
26. Han T. H., Lyoo S. S., Jeon W. S., Yong H., (2011), “Molecular structures and physical properties of heat-drawn conjugate fibers”, Polymer Engineering and Science Publisher: Society of Plastics Engineers, Inc, Feb, Source Vol 51, 232–236
27. Chang J-H, Kim S. J., Im S., (2004), “Poly(trimethylene terephthalate) nanocomposite fibers by in situ intercalation polymerization: thermo-mechanical properties and morphology (I)”, Polymer 45, 5171–5181
28. Marcinic in A, Hricova M, Aneja A, Andrejkova A, Kořmendyova E, (2006), “Polypropylene/Poly (Trimethylene Terephthalate)-Blend Fibers”, Journal of

- Macromolecular Science, Part B: Physics, 45: 945–956, DOI: 10.1080/00222340600796223
29. Zou H., Yi C., Wang L., Xu W., (2009), “*Mechanical and dyeability studies of poly (trimethylene-co-butylene terephthalate) copolymer filaments*”, Materials Letters 63, 1580–1582, doi:10.1016/j.matlet.2009.04.011
30. Zou H., Wang L., Yi C., Liu H., Xu W., (2010), “*Thermal, Rheological, Mechanical, and Dyeing Property Studies of Poly(ethylene-co-trimethylene terephthalate) Copolymer Filaments*”, POLYM. ENG. SCI., 50:1689–1695, DOI 10.1002/pen.21635
31. Luo J., Wang F. M., Li D. and Xu B., (2010), “*Elasticity of woven fabrics made of polytri-methylene terephthalate/ polyethylene terephthalate bicomponent filaments*”, Textile Research Journal 81(8) 865–870, DOI: 10.1177/0040517510391700
32. http://www.reicofil.com/en/vliesanlagen/p0035_prozess.asp, Kasım 2011
33. Zheng Y, Li J, Li R, (2009) “*Study on the Tensile Performance of PTT Fiber*”, Modern applied science Vol 3, No.1, 135-138
34. Wang B., Li C. Y., Hanzlicek J., Cheng S.Z.D., Geil P. H., Grebowicz J., Ho R., (2001), “*PTT crystal structure and morphology in different length scales*”, Polymer 42, 7171-7180
35. Parthiban M. and Vellingiri K., “*PTT - An innovative polymer and its versatile application in Textiles*”, <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/11/1013/ptt-an-innovative-polymer1.asp>, Mart 2011
36. Klanc̆nik M., (2006), “*Dyeability of new polyesters*”, Color. Technol., 122, 334–337, doi: 10.1111/j.1478-4408.2006.00048.x
37. Hwo C., Forschner T., Lowtan R., Gwyn D., Criste B., (1998), “*Poly(trimethylene phthalates or naphthalate) and Copolymers: New Opportunities in Film and Packaging Applications*”, Presented at the Future-Pak® 98 Conference, November 10-12, Chicago
38. Hong P-D, Chuang W-T, Yeh W-J, Lin T-L, (2002), “*Effect of rigid amorphous phase on glass transition behavior of poly(trimethylene terephthalate)*”, Polymer 43, 6879–6886
39. Lee M. S., Lee M., Wakida T., Saito M., Yamashiro T., Nishi K., Inoue G, Ishida S., (2007), “*Ozone-Gas Treatment of Cationic Dyeable Poliester and Poly(butylene terephthalate) Fibers*”, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 104, 2423–2429, DOI 10.1002/app.25978
40. Kurian J. V., (2005), “*A New Polymer Platform for the Future - Sorona from Corn Derived 1,3 Propanediol*”, Journal of Polymers and the Environment, Vol. 13, No. 2, 159-167, DOI: 10.1007/s10924-005-2947-7
41. Xing X., Wang Y., and Li B., (2008), “*Nanofiber drawing and nanodevice assembly in poly(trimethylene terephthalate)*”, Vol. 16, No. 14/ OPTICS EXPRESS 10815- 10822
42. Elliot G. and Cisneros L., (2005), “*A life cycle assessment of corterra polymer*”, Presented by Ramji Ramachandran May 12, http://www.carpetrecovery.org/pdf/annual_conference/2005_conference_pdfs/LCA_Study_Shell.pdf, Mart 2011
43. “*PTT Fibres Bring Exciting New Properties to Diverse Textile Application*”, http://ww2.thrc-crhit.org/images/ftex2k3/ftex2003_technical1-en.pdf, Şubat 2011
44. <http://www.swicofil.com/ptt.html>, Mart 2011
45. Du Pont™ Sorona® polymer, The start of Smart©2004, Sorona_brochure_04.pdf, Şubat 2011, <http://www.dupont.com/sorona/news/InternationalFiberJournal.pdf>, Şubat 2011
46. Norberg K., “*DuPont Revs Up Global Marketing Push For Sorona 'Smart' Polymer*”, International Fiber Journal,
47. www.engpolymer.co.kr/sorona/product/07_tech_info_insert.pdf, Şubat 2011
48. http://www2.dupont.com/Sorona_Consumer/en_US/Commercial_Carpet/Commercial_Carpet/Natural_Choice.html, Şubat 2011
49. Chen K., Tang X., (2004), “*Instantaneous Elastic Recovery of Poly(trimethylene terephthalate) Filament*”, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 91, 1967–1975
50. <http://www.eis.uva.es/~biopolimeros/pedro/WebSite/Contenidos/Bibliografiacompleta/Acr60.tmp.pdf>, Mart 2011