



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Polifenilen Sülfid (PPS) Lifleri

Ece KALAYCI*, Osman Ozan AVİNÇ, Arzu YAVAŞ

Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, TÜRKİYE

** Sorumlu yazarın e-posta adresi: ecadak@gmail.com*

ÖZET

Yüksek performanslı lifler arasında önemli liflerden biri olan polifenilen sülfid (PPS) lifleri, kimyasallara dayanımı ve termal kararlılığı ile yüksek performanslı lif pazarının önemli liflerinden biridir. PPS lifleri çeşitli formlarda teknik tekstillerin birçok alanında kullanılmaktadır. Her ne kadar koruyucu teknik tekstiller ve taşımacılık teknik tekstilleri PPS liflerinin önemli kullanımlarının başında gelse de, PPS liflerinin en yaygın kullanımı endüstriyel teknik tekstillerindedir. PPS lifleri bugün ticari olarak dünyanın birçok yerinde üretilmektedir. Bu liflerin sahip olduğu iyi performans özellikleri sayesinde gelecekte üretiminin ve kullanımının daha da yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Bu derlemede polifenilen sülfid (PPS) liflerinin yapısı, özellikleri ve kullanım alanları gibi konulara yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Polifenilen sülfid lifi, PPS, Yüksek performanslı lif, Isıya dayanıklı lif, Kimyasallara dayanıklı lif*

Polyphenylene Sulphide (PPS) Fibers

ABSTRACT

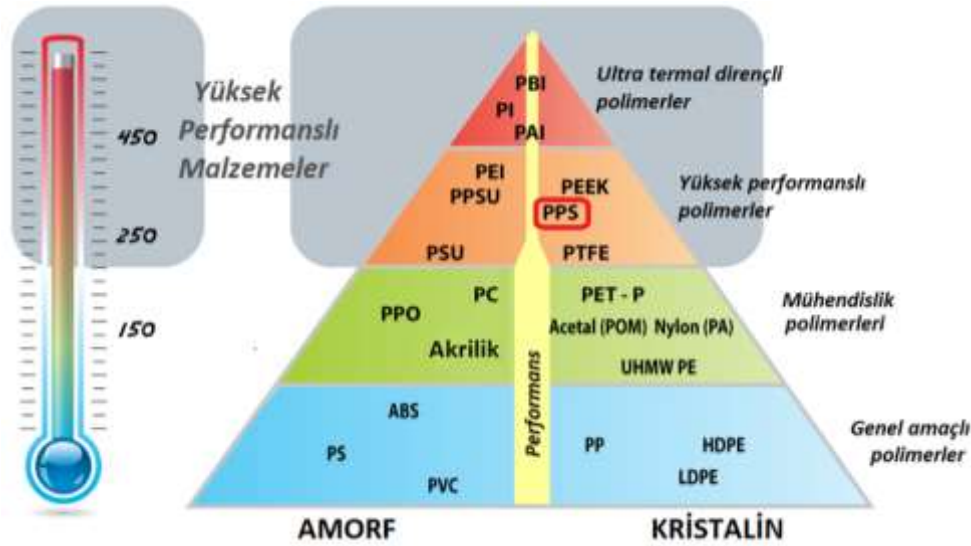
Polyphenylene sulphide (PPS) fiber, one of the most important fibers amongst high performance fibers, exhibit good chemical resistance and thermal stability. PPS fibers can be used in various forms in many technical textile fields. Although PPS fibers find important end-use applications in Protective technical textiles and Transportation textiles areas, the most common end-usage examples of PPS fibers can be found in Industrial technical textile area. Today PPS fibers are commercially produced in many different places of the World. It is believed that the production and usage of these fibers will become widespread in the future due to their good performance properties. In this review, detailed information regarding the structure, properties and end-use applications of polyphenylene sulphide (PPS) fibers is given. n this study.

Keywords: *Polyphenylene sulphide fiber, PPS, High performance fiber, Thermally resistant fiber, Chemically resistant fiber*

I. GİRİŞ

BİLİM ve teknolojinin hayatımızın vazgeçilmez haline geldiği son yıllarda insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılamak her geçen gün daha da zorlu hale gelmektedir. Fakat bilim ve teknolojideki değişim de o kadar hızlı yaşanmaktadır ki, bilim değil insanoğlu bu değişime ayak uydurmakta zorluk çekmektedir. Yenilikler arttıkça bizlerin hayal gücünü zorlayan ihtimaller ortaya çıkmakta, daha dün imkânsız olarak gördüğümüz şeyler bugün hayatımızın bir parçası haline gelebilmektedir.

Yüksek performanslı polimerler de bu değişimin en büyük örneklerindedir. Malzeme bilimi her geçen gün yeni bir polimerin geliştirilmesi ile genişlemekte, bu genişleme sonucunda da üretilebilecek ürün yelpazesi her geçen gün daha da artmaktadır. Genellikle, ısıya, kimyasal maddelere, darbeye, alevle karşı dayanıklı ve dirençli olan polimerler grubu olarak bilinen yüksek performanslı polimer sınıfı, yeniliklerin en sık yaşandığı polimer gruplarından biridir. Genel amaçlı polimerler, mühendislik polimerleri, yüksek performanslı polimerler ve ultra termal dirençli polimerler olarak 4 farklı başlık altında incelenen polimerlerin performans özellikleri arttıkça üretim miktarı ve maliyeti de giderek artmaktadır (Şekil 1) [1]. Yüksek performanslı polimerlerin 2013 rakamlarına göre yıllık toplam üretiminin 500 bin tonu geçtiği, market hacminin ise 7 milyar dolara ulaştığı kaydedilmiştir [2]. 2018’de ise bu rakamların 20 milyar dolara ulaşabileceği tahmin edilmektedir [2].



Şekil 1. Polimerlerin sınıflandırılması [1]

Polifenilen sülfid (PPS) polimeri de yüksek performanslı polimerler sınıfına ait polimer türlerinden biridir. Molekül yapısı içerisinde kükürt bağlarına sahip aromatik halkalar içeren PPS polimeri organik termoplastik bir polimerdir [3]. PPS polimeri aynı zamanda yarı kristalin bir yapıya sahiptir [3-7]. Kimyasallara dayanıklılığı ve termal özellikleri ile bilinen bu polimerin geniş bir kullanım alanı mevcuttur [5,8]. PPS polimerinin döküm malzemesi olarak [8-10] kullanımının yanı sıra kompozit yapılarda termoplastik matris (reçine) [4,9,11-22], film [14,20,21,23,24], lif ya da kumaş (dokuma, örme, dokusuz yüzey) [20,21,24-31] olarak farklı formlarda kullanımına rastlamak mümkündür.

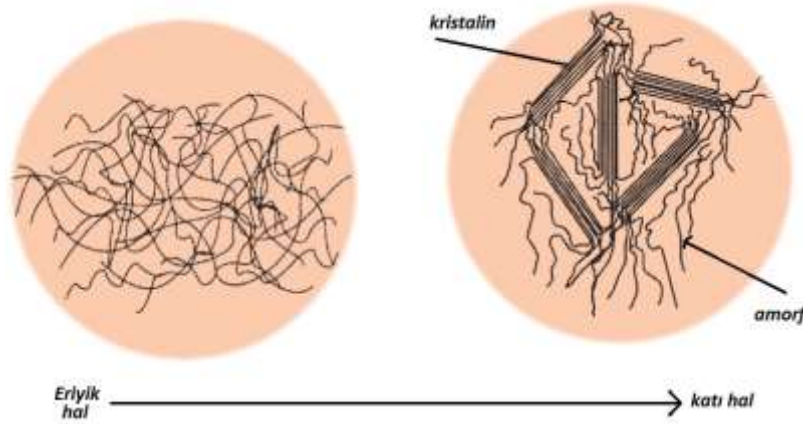
1973’te geliştirilen PPS polimerinden lif üretimi ilk olarak 1980’lerin başında Phillips Fibers Corporation tarafından gerçekleştirilmiştir [5,32,33]. Polifenilen sülfid (PPS) ya da ‘sulfar’ olarak bilinen bu liflerin ticari üretimi ‘Ryton®’ adı altında yapılmıştır [9,28]. Polifenilen sülfid polimeri

bugün en yaygın üretilen yüksek performanslı termoplastik polimerlerden biri olarak bilinir [34,35]. Amerika Birleşik Devletlerindeki yıllık üretimi 20 milyon pound'tan (yaklaşık 9 bin ton) fazla olan PPS polimerinin önde gelen üreticilerinin başında Solvay (Ryton®) ve Celanese Corporation (Fortron®) PPS şirketleri gelmektedir.

Polifenilen sülfid (PPS) liflerinin üretiminde bugün birçok farklı şirket ve ticari marka karşımıza çıkmaktadır. Toyobo (Japonya) tarafından üretilen Procon_{TM}; Toray (Japonya) tarafından üretilen Torcon_{TM}, EMS-Griltech (İsviçre) tarafından üretilen Nexylene® başta olmak üzere; Jiangsu Ruitai Science and Technology Co. Ltd. (Çin) gibi daha birçok şirket tarafından PPS lifleri üretimine rastlamak mümkündür [27,34,36,37]. Diğer PPS lif üreticileri ise; Amoco Fiber, Inspec Fibres ve Fiber Innovation Technology Inc. Of Tennessee, USA şeklindedir [27].

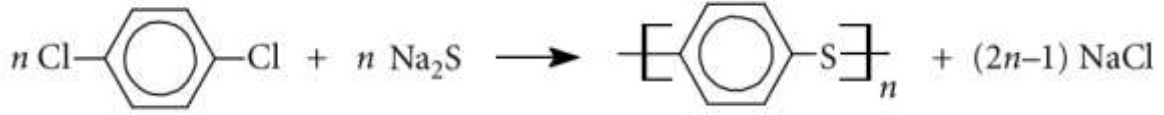
II. POLİFENİLEN SÜLFİD (PPS) POLİMERİ

Termoplastik bir polimer olan Polifenilen sülfid (PPS) polimeri dengeli yüksek performans özelliklerine sahip önemli polimerlerden biridir [10,38-40]. İlk olarak Philips Chemical Company tarafından 'Ryton' adı altında üretilen polifenilen sülfid (PPS) polimeri yarı-kristalin aromatik bir polimerdir [6,10,22,34] (Şekil 2). Isıya ve kimyasallara karşı dayanıklılığı yüksek olan bu polimer sodyum sülfid (Na₂S) ile p-diklorbenzen'in ısı altında gerçekleşen polikondenzasyon reaksiyonu sonucunda elde edilmektedir [4,5,10,28,41-43] (Şekil 3). Reaksiyon 1-metil-2-pirolidinon (NMP) [42,44] ya da poli(tiyol-1,4-fenilen) [4] içerisinde genellikle 250-280 °C sıcaklıkta ve 1,1 MPa basınçta (160 psi) gerçekleştirilmektedir [42,44].



Şekil 2. Yarı kristalin bir polimer olan polifenilen sülfid (PPS) polimerinin eriyik haldeki ve katı haldeki yapısı [40]

PPS polimerinin yapısı kükürt atomu ile bağlı benzen halkasından oluşmaktadır [38]. Polimeri oluşturan monomerin içerdiği kükürt atomu ve benzen halkalarının simetrik dizilimi sayesinde yüksek kristalizasyon derecesine izin vermektedir. Kükürt bağları içeren benzen halkaları sayesinde termal bozunmaya karşı dirençli bir yapıya sahip bu polimer aynı zamanda doğasından gelen bir yanmazlığa, termal stabiliteye ve kimyasallara karşı dayanıklı bir yapıya sahiptir [10].



Şekil 3. Polifenilen sülfid (PPS) polimerinin polimerizasyon reaksiyonu [4,9,44]

Oldukça kristalin bir polimer olan Polifenilen sülfid (PPS) polimeri sahip olduğu iyi özellikler sayesinde, yüksek performanslı termoplastik polimerler arasında öne çıkan önemli polimerlerden biri haline gelmiştir [6,38,44-46]. Isıya karşı gösterdikleri dayanımın yanında, klorlu hidrokarbonlar, bazı aminler ve halojen içeren gruplar dışında neredeyse tüm kimyasallara karşı da dayanıklıdırlar [5,10,38,42,44,47]. Ayrıca mükemmel bir boyut stabilitesine sahip PPS polimerinin nem absorpsiyonu düşük, dielektrik özellikleri iyidir [10,35,38-40]. Bunun yanında PPS polimerinin sürtünme katsayısı ve darbe dayanımı da pek yüksek değildir [10,35,48]. Yanmaz [5,38,42] ve kendi kendini söndürebilir [40,45] olarak kabul edilen PPS polimeri, sadece çok az miktarlarda çözücü absorbe edebildiğinden boyanması zordur [5,38]. Polifenilen sülfid (PPS) polimeri yüksek sıcaklıklarda bile minimum sünme yaşamaktadır ve bu polimerin istenilen kalıba üflenmesi kolay olduğundan uzun, ince ve kompleks yapıların üretiminde kolaylıkla kullanılabilir [40].

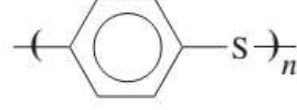
Erime noktası yaklaşık 285-290 °C [6,39,42,44,45,49] olan PPS polimeri 200 °C'e kadar olan sıcaklıklarda sahip olduğu özelliklerinde herhangi bir kayıp gözlemlenmezken, uzun süreli uygulamalarda maksimum kullanım sıcaklığı 218-240 °C arasında değişmektedir [40]. Bu polimer ortalama 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda hiçbir çözücü içerisinde çözünmemektedir [6,10]. Fakat yüksek sıcaklıklarda organik çözücüler içerisinde çözünebilir [39].

PPS polimeri reçine, film, lif ya da kompozit yapılar olmak üzere farklı formlarda geniş bir kullanıma sahiptir [7,13-15,23,24,50]. Özellikle kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak (PPS reçine ya da PPS lifli kumaş [4,7,11,13,15,25]) yaygın kullanılan bu materyal aynı zamanda güçlendirici olarak da kullanılabilir [12,19,51,52]. Bununla birlikte PPS matrisli kompozitlerde de karbon lifleri [4,11,18,19,50,52], cam lifleri [13,14,25,53], poliimid (PI-P84) lifleri [54], polieter eter keton (PEEK) lifleri [23], grafit lifleri [53], aramid lifleri [52] gibi yüksek performanslı lifler de güçlendirici olarak kullanım bulabilmektedir [4,9,11,52]. Polifenilen sülfidin kimyasallara ve ısıya dayanıklılığının yanı sıra sahip olduğu elektrik yalıtım direnci sayesinde metal yüzeyler üzerine koruyucu tabaka olarak kaplanabilmektedirler [9,10,30,42,45,55].

III. POLİFENİLEN SÜLFİD (PPS) LİFLERİ ve ÖZELLİKLERİ

Polifenilen sülfid (PPS) lifleri, lif yapısında iki benzen halkası arasında minimum %85 oranında kükürt bağları (-S-) bulduran uzun zincirli sentetik bir lif olarak tanımlanmaktadır [5,28,31] (Şekil 4). PPS liflerinin makromolekülleri arasında Van der Waals bağlarının (iki atom arasındaki mesafe 0,2-0,3 nm'den yakın olduğunda oluşur [56]) ve özellikle lifin kristalin bölgesindeki birbirine yakın makromolekül zincirlerinde bir zincirdeki sülfür ile diğer zincirdeki karbon atomu arasında dipol dipol etkileşimlerin oluşabileceği düşünülmektedir. Eriyikten lif çekim yöntemi ile üretilen PPS lifleri [32,57-60] kimyasallara karşı iyi bir dayanıma sahiptir ve aynı zamanda yüksek sıcaklıklara karşı dayanımları ile bilinmektedirler [12,29,36,37,46,57,58,61,62]. Fakat yarı-kristalin termoplastik bir lif olan PPS liflerinin camsı geçiş sıcaklığının 93 °C olması 100 °C'nin üzerindeki basınçlı ortamlarda kullanımını sınırlamaktadır [35,36,58,61]. Lif üretimi sırasında uygulanan germe-çekme işlemlerinin

lif özellikleri üzerinde etkisi bulunduğu kaydedilmiştir. Germe-çekme işleminin sıcaklığı ve oranı arttıkça polifenilen sülfid (PPS) liflerinin molekül ağırlığının, çapraz bağların, tokluğun, kopma mukavemeti ve erime noktasının yükseldiği, kopma anındaki uzama miktarının ise azaldığı belirtilmektedir [43,59].



Şekil 4. Polifenilen sülfid (PPS) liflerinin kimyasal yapısı [32,58]

Polifenilen sülfid (PPS) lifleri mekanik özellikleri bakımından poliester ve naylon lifleri ile benzerlikler göstermektedir [47,57,61]. Naylon liflerinden çok az oranda daha zayıf olan PPS liflerinin nem geri kazanımı oldukça düşüktür [57]. Rijit, termoplastik bir lif türü olan PPS lifleri, altın renginde elde edilir [32]. Ayrıca mükemmel bir boyut stabilitesine sahip PPS liflerinin nem absorpsiyonu düşük (%0,05 25 °C’de %50 bağıl nem ortamında) [63], dielektrik özellikleri iyidir [35,62].

A. MUKAVEMET ÖZELLİKLERİ

Yoğunluğu 1,37 g/cm³ olan polifenilen sülfid (PPS) liflerinin mukavemet özellikleri ortalama değerlere sahiptir [41]. PPS liflerinin başlangıç modülü; stapel liflerin 2,7-3,7 N/tex iken monofilament PPS liflerin 4,1-5,0 N/tex’dir. Kopma mukavemeti ise stapel liflerin 0,27-0,47 N/tex iken, monofilamentlerin 0,27-0,37 N/tex’dir. PPS stapel lifler ile monofilamentlerin kopma anındaki uzama değerlerinde farklılık gözlemlenmektedir [32]. PPS stapel liflerin kopma anındaki uzaması %25-35 arasında değişirken, monofilamentlerin %12-16 arasındadır [32]. PPS liflerinin bazı yüksek performanslı lifler ile mukavemet özelliklerinin kıyaslanması Tablo 1’de gösterilmektedir. PPS liflerinin özellikleri hem yaş hem kuru şartlar altında birçok teknik tekstil uygulaması için uygun niteliktedir [32].

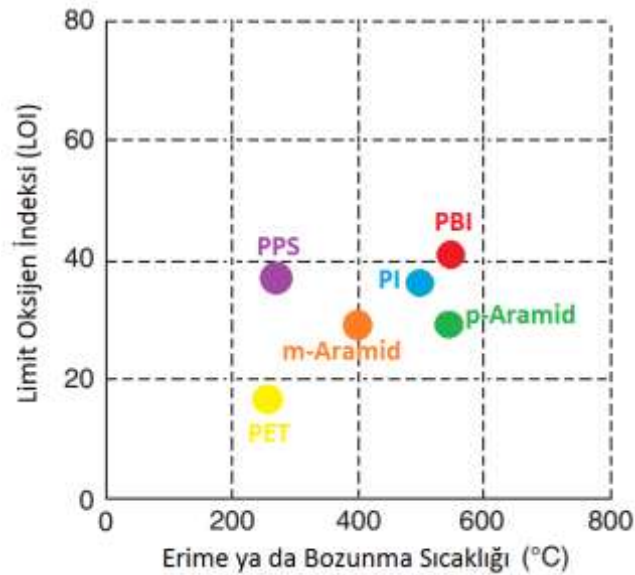
Tablo 1. Bazı yüksek performanslı liflerin mukavemet özelliklerinin karşılaştırılması [41,64-67]

Lif Cinsi		Yoğunluk (g/cm ³)	Kopma anındaki uzama (%)	Kopma Mukavemeti (N/tex)	Başlangıç Modülü (GPa)
Poliviniliden (PVDC)	klorür	1,60	15-30	0,20	-
Polifenilen sülfid [36,41,64,65,68]	(PPS)	1,37-1,38	25-49	0,27-0,47	3,63-4,84
Poliamidimid (PAI- Kermel)	(PAI- Kermel)	1,34	8-20	0,25-0,59	-
Poliimid (PI-P84)		1,41	33-38	0,35-0,38	
m-aramid		1,44	15-30	0,48	36
p-aramid		1,45	1-4	2,05	127
Polibenzimidazol (PBI)		1,3-1,43	28-30	0,28	56
Yüksek Performanslı Polietilen (HPPE)		0,97	2,9	3,29	171
Polibenzobisoksazol		1,54-1,56	1-3,5	3,71	280

(PBO)						
Polieter	eter	keton	1,3	30	0,6	5-6,2
Politetrafloretillen (PTFE-Teflon)			2,2	35	0,18	0,3
Yüksek mukavemetli (HS) Karbon			1,78	1,6	2,1	240
Yüksek modüllü (HM) Karbon			1,85	0,7	1,32	400

B. TERMAL ÖZELLİKLERİ

Isıya karşı dayanımı oldukça iyi olan PPS liflerinin camlaşma sıcaklığı 85-93 °C [27,32,45,57,64,69] arasında erime noktası ise 280-334 °C [12,27,36,48] arasında değişen sıcaklıklarda gerçekleşmektedir [32,57,64,69] (Şekil 5). Isıl iletkenliği (ısı iletim katsayısı) 120 [5] olan PPS liflerinin yanması için gerekli olan limit oksijen değeri ise (LOI) 34-35'tir (Bazı çalışmalarda %39-41 LOI değerlerine erişilmiştir [12,32]) [32,36,69]. Bu lifler her ne kadar yanmaz olarak kabul edilse ve kendi kendini söndürme yeteneğine sahip olsa da [27,28] çok yüksek sıcaklıklarda zarar görmeye başlamaktadır.



Şekil 5. Bazı yüksek performanslı liflerin erime sıcaklığı-bozunma (decomposition) sıcaklığı ve LOI değerleri [69] * PPS: polifenilen sülfid, PET: polietilen teraftalat, m-aramid: meta aramid, PI: poliimid, PBI: polibenzimidazol, p-aramid: para aramid

Polifenilen sülfid (PPS) lifleri 230°C'e kadar olan sıcaklıklara kısa süreli işlemler olmak şartı ile dayanabilmektedirler [32]. Ancak genellikle maksimum kullanım sıcaklığı 190-200 °C olarak belirtilmektedir [33]. PPS liflerinin yüksek sıcaklıklarda yapısında yaşanan değişimleri gözlemlemek amacıyla yapılan deneysel çalışmalara göre, 204°C'de 2000 saat sonunda korunan mukavemetin %90 olduğu, 5000 saat ve 8000 saat sonunda sırasıyla korunan mukavemetlerin %70 ve %60 olduğu belirtilmektedir. Ayrıca, kısa (stapel) PPS liflerinin kaynar su ile muamelesi sonucunda yaşanan büzülme miktarının %0-5 arasında olduğu belirtilmektedir [32].

PPS liflerinin 150 °C'e kadar olan sıcaklıklarda 7 gün süre ile işlem görmesi mukavemetinde herhangi bir kayba neden olmamaktadır. Sıcaklığın 200 °C olduğu hava ortamında 28 gün sonra mukavemetini

%90 oranında korumayı başaran PPS liflerinin, sıcaklık 250 °C'e yükseldiğinde mukavemetinin tamamen kaybettiği, sıcaklık 300 °C'ye yükseldiğinde ise tamamen eridiği belirtilmiştir [32].

PPS lifleri termal özellikleri açısından güç tutuşurluk özelliğine sahip PBI ya da Novoloid lifleri ile kıyaslandığında, PBI ve Novoloid liflerinin mükemmel ısı dayanımlarının yanında oldukça yüksek bir nem geri kazanım özelliğinin olduğu gözlenir. PPS liflerinin ise nem geri kazanımı %0,6 (bazı kaynaklarda %4 [27]) oldukça düşüktür. Bu sebeple PBI lifli ürünlerin PPS lifli ürünlere nazaran daha üstün bir konfor sergilediği kaydedilmiştir [27,32,37,66]. Bu sebeple PBI ve Novoloid gibi materyaller aleve ve ısıya dayanıklı ürün üretimine daha uygun olarak kabul edilebilirler. Ancak kimyasallara karşı dayanım söz konusu olduğunda PPS lifleri diğerlerinin dayanabileceğinin çok üstündeki zorlu ortamlarda başarıyla kullanılabilirler [37,70].

C. KİMYASAL DAYANIMI

PPS lifleri yüksek performanslı lifler arasında kimyasallara karşı iyi bir dayanım sergileyebilen nadir lif türlerinden biridir [36]. Bu liflerin kimyasal dayanımı Tablo 2' de gösterilmektedir. Oksitleyici olmayan asitlere karşı dayanımı mükemmel olan PPS lifleri polimer zincirlerinde bulunan kükürt atomlarından dolayı oksitleyici maddelere karşı hassastırlar [29,32]. Organik asitlere, biyolojik maddelere, mineral asitlerine, alkalilere ve organik çözücülere karşı mükemmel bir dayanım gösteren PPS liflerinin hassasiyeti sadece oksitleyici maddelere (HCl, H₂SO₄, HNO₃, vb.) karşıdır [24,27-29,36,37]. 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda kimyasalların çok büyük bir çoğunluğuna karşı dayanıklıdır [27,31,52]. Bu sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda PPS liflerini çözebilecek herhangi bir çözücü bulunmamaktadır [27]. Kimyasal maddelere 24 saatten uzun sürelerde maruz kalan PPS liflerinin, aromatik yapılı yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı ile bilinen poliaramid ve polibenzimidazol (PBI) liflerinden çok daha dayanıklı bir yapı sergilediği belirtilmektedir [32].

Tablo 2. Bir hafta süre boyunca çeşitli kimyasallar ile belirtilen sıcaklıklarda işlem gören PPS liflerinin korunan mukavemetleri [32]

Kimyasal	Sıcaklık	Korunan Mukavemet
	(°C)	(%)
Sülfürik asit (%48)	93	100
Hidroklorik asit (%10)	93	100
Asetik asit	93	100
Formik asit	93	100
Fosforik asit (yüksek konsantrasyonlu)	93	95
Sodyum hidroksit (%30)	93	100
Nitrik asit (%10)	93	75
Nitrik asit (yüksek konsantrasyonlu)	93	0
Kromik asit (%50)	93	0-10
Sodyum hipoklorit (%5)	93	20
Sülfürik asit (yüksek konsantrasyonlu)	93	10
Bromin	93	0
Toluen	93	75-90

D. DİĞER ÖZELLİKLER

Polifenilen sülfid (PPS) liflerinin Gama ve nötron radyasyonuna karşı mükemmel bir direnci mevcuttur [27]. Elektriksel yalıtım özellikleri iyi [24,28] olan bu liflerin aşınma dayanımlarının pek de iyi olmadığı gözlemlenmektedir [32].

IV. POLİFENİLEN SÜLFİD (PPS) LİFLERİNİN KULLANIM ALANLARI

Polifenilen sülfid (PPS) polimeri genellikle yüksek performanslı termoplastik polimerler olarak bilinen bir polimer çeşididir [5]. PPS polimeri kalıpla biçimlendirilebilir [5,9,10,71]. Lif olarak çekilip farklı tekstil formlarında kullanılabilirdiği gibi, reçine ya da film gibi formlarda karşımıza çıkabilmekte, bu formlar da kompozit yapılarda kullanılabilir [9,14,23,71,72]. Teknik tekstillerin birçok alanında kullanımına rastladığımız polifenilen sülfid polimeri özellikle lif formunda yüksek performanslı lif endüstrisinin ve teknik tekstillerin önemli ham maddelerinden biri haline gelmiştir. Genel olarak teknik performansları ve fonksiyonel özellikleri için üretilen tekstil malzemeleri ve ürünleri olarak tanımlanabilen teknik tekstiller kullanım alanlarına göre farklı isimler altında sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma, insan hayatı için tehlike oluşturan durum ve ortamlardan koruma amaçlı kullanılan tekstiller ‘koruyucu teknik tekstiller’; filtrasyon, temizleme gibi sanayii tipi uygulamalarda kullanılan tekstiller ‘endüstriyel teknik tekstiller’; hijyenik ve tıbbi ürünlerde kullanılan tekstiller ‘tıbbi teknik tekstiller’; otomobil, gemi, tren, uçak ve uzay aracı gibi taşıtlarda kullanılan tekstiller ‘taşımacılık teknik tekstilleri’; spor ve serbest zaman malzemelerinde kullanılan tekstiller ‘spor teknik tekstilleri’; bina ve inşaatlarda kullanılan tekstiller ‘bina ve inşaat teknik tekstilleri’; tarım, ziraat ve su ürünlerin yetiştiriciliğinde kullanılan tekstiller ‘tarım teknik tekstilleri’; toprak altı uygulamalarda kullanılan tekstiller ‘jeotekstiller’; giysi ve ayakkabılarda kullanılan tekstiller ‘giyim teknik tekstilleri’; mobilya ve dolgu malzemelerinde kullanılan tekstiller ‘ev teknik tekstilleri’; çevreyi koruma amacına sahip tekstiller ‘çevre ve ekolojiyi koruma teknik tekstilleri’; ambalaj malzemelerinde kullanılan tekstiller ‘paketleme teknik tekstilleri’ olarak gerçekleştirilmektedir [73,74]. Polifenilen sülfid (PPS) lifleri de, teknik tekstillerin taşımacılık tekstilleri, endüstriyel tekstiller ve koruyucu tekstiller alanlarında geniş bir kullanıma sahiptir.

A. TAŞIMACILIK TEKNİK TEKSTİLLERİ

PPS lifleri mukavemet, ısı dayanım, kimyasal dayanım ve maliyet açısından oldukça verimli bir denge göstermektedir. Özellikle otomotiv sektöründe kaput altı uygulamalarda her geçen gün kullanımı daha da yaygınlaşan PPS lifleri, sadece otomobillerde değil aynı zamanda hava taşıtlarında da hem taşıt içerisi ekipmanlarında hem de gövdesinde bulunan panellerde kullanılabilirler. [25,38,44,53,64,75-77]. Şekil 6’da PPS lifleri içeren çeşitli yapıların taşımacılık teknik tekstillerinde kullanımına örnekler verilmiştir. Şekil 6-a,b,c hava ve kara araçlarının dış katmanlarında bulunan kompozit yapıları göstermektedir. Şekil 6-e’de verilen resimde sarı ile işaretli bölgeler A380 yeni nesil yolcu uçağında PPS lifli kompozit yapılar içeren kısımları temsil etmektedir [78]. PPS lifleri ayrıca askeri uçakların gövdelerini buz parçalarından koruyan cam lifleri ile güçlendirilmiş kompozit yapılarda da kullanılmaktadır (Şekil 6-d) [79].



Şekil 6. PPS lifleri içeren çeşitli yapıların taşımacılık teknik tekstillerinde kullanımları [76-79]

B. ENDÜSTRİYEL TEKNİK TEKSTİLLER

PPS liflerinin en yaygın kullanım alanlarından biri de endüstriyel teknik tekstillerdir [37]. Bu lifler; iyi boyut stabilitesi, ısıl dayanımı, yanmayan yapıda olması, kimyasallara dayanıklılığı ve elektriksel özellikleri sayesinde başta endüstriyel teknik tekstiller olmak üzere birçok alanda kullanıma uygun bir materyal haline gelmiştir [24,28,64,80]. PPS liflerinin en yaygın endüstriyel kullanımının başında filtreler gelmektedir [27,28,35-37,81-85]. Filtreler içerisinde dokusuz yüzey, keçe, membran yapı, örme ya da dokuma kumaş olarak farklı formlarda bulunabilen PPS lifleri, organik maddeleri, asitleri, bazları, aşındırıcı kimyasalları ve sıcak su-havayı filtrelemekte kullanılabilirler [21,24,27-29,31-33,35-37,71,80,81,83,85-91]. Ayrıca bu malzemelerin üretiminde dikiş ipliği olarak da kullanılabilirler [32,35]. PPS liflerinin filtre uygulamalarında bu lifler genellikle tek başlarına kullanılsa da çeşitli lifler [pamuk [92], PTFE [33], PSA (polisülfonamid) [93], paslanmaz çelik lifleri [94] ile birlikte karışım halinde kullanımlarına rastlamak da mümkündür [92].

PPS lifli filtrelerin genel kullanım alanlarının başında: kömür kazanlarının filtreleri (torba filtreleri ve sıvı-gaz filtreleri) [35,64,83-87,95,96], endüstriyel kimyasallar için kullanılan torba filtreler [62,85], toz filtreleri [84], çimento fırınlarının filtreleri [71] ve kojenerasyon tesislerinin (enerjiyi hem elektrik hem de ısı formunda aynı sistemde beraberce üreten tesis) filtreleri [71] gelmektedir. PPS liflerinin sahip olduğu üstün performans özellikleri sayesinde bu liflerin filtrelerde kullanımı her geçen gün daha da yaygınlaşmaktadır. Ancak bu filtrelerde kullanım sıcaklığı maksimum 200 °C olmak zorundadır [84]. Aksi halde PPS lifleri zarar görmeye başlayacağından performansını yerine getiremeyecektir. Ancak 200 °C' e kadar olan yaş ya da kuru her türlü ortamda filtre olarak kullanılabilme potansiyeline sahiptirler. Özellikle kömür kazanlarında kullanılan gaz filtreleri için uygunluğu birçok çalışma tarafından kanıtlanmıştır [28,35,84]. Örneğin, iğneleme (Needle-punched) yöntemi ile elde edilmiş PPS lifli kumaşlardan üretilen filtreler sadece daha verimli filtreleme

kapasitesi değil ayrıca daha iyi bir aşınma dayanımı da sergilemektedir [27,32,37,82]. Bu filtrelerin ömrünün 3 yıla kadar uzadığı kaydedilmektedir.

PPS lifli dokusuz yüzey kumaşlardan üretilen filtre kumaşların bazı dezavantajları mevcuttur [21,62]. Örneğin melt-blown tekniği ile üretilmiş bir PPS lifli dokusuz yüzey kumaşın yapısında ince PPS lifleri vardır. Liflerin inceliği filtreleme kapasitesini arttırsa da liflerin mukavemeti daha düşük olduğundan ısıya karşı daha hassas hale gelmektedirler ve liflerin ısı ile büzülmesinde ciddi bir artış gözlemlenmektedir [21,62]. Bu sebeple PPS lifli dokusuz yüzey filtrelerin ısıya karşı boyut stabilitesini geliştirmeye yönelik bazı çalışmalar mevcuttur. Örneğin PPS lifli dokusuz yüzey kumaşın üretimi PPS lifli yüzeylerden oluşan çok katmanlı bir yapı olarak gerçekleştirilerek ısıya dayanıklı filtreler elde edilebilmektedir [62].

PPS liflerinin endüstriyel teknik tekstillerindeki diğer kullanım alanları; kâğıt endüstrisinde mukavva üretiminde kullanılan taşıyıcı materyaller (Çünkü taşıyıcı bantların, mukavva üretim basamaklarında kullanılan yapıştırıcılara ve kurutma işlemlerine dayanıklı olabilmesi şarttır.) [97], tekstil malzemelerin üretim işlemleri sırasında kullanılan kurutucu malzemeler (kurutucu içerisinde tekstil malzemesinin transferini sağlayan PPS lifli kumaş taşıyıcı bantlar olarak) [90,98], batarya ayraçları [21,62,99], elektriksel yalıtım malzemeleri [21,24,71], özel uygulama alanlarında kullanılan membran yapılar [30,71], suyun elektrolizinde kullanılan delikli seperatörlerde PPS lifli kumaşlar [99], hidrolize dayanıklı oluklu kumaşlar [97], ses yalıtımı sağlayan malzemeler [100], borular [30], contalar [30,71], konveyör kayışları [40], valfler [30,71] ve ambalaj malzemeleri [30,97,101] olarak sayılabilmektedir [5,9,24,26,28,32,38,44] (Şekil 7).



Şekil 7. PPS liflerinin bazı kullanım örnekleri; (a) cam lifleri ile güçlendirilmiş PPS lifli plakalar ve borular [96], (b-d-e) endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılan filtreler ve borular [102], (c) elektriksel yalıtım sağlayan kablo kaplamaları [103]

C. KORUYUCU TEKNİK TEKSTİLLER

Polifenilen sülfid (PPS) liflerinin kimyasallara ve ısıya karşı gösterdiği kararlı yapısı ve kendi kendini söndürebilir özellikte olması sayesinde koruyucu teknik tekstiller için büyük bir hammadde potansiyeline sahiptir. Kimyasallardan, ısıdan ve alevden koruyucu giysilerde kullanılabilen bu liflerin aynı zamanda çeşitli askeri uygulamaları da bulunmaktadır [28,35,36,46,53,104-106] (Şekil 8).

Koruyucu teknik tekstillerin üretiminde PPS lifleri hem örme, dokuma ve dokusuz yüzey gibi tekstil formlarında hem de kompozit yapılar olarak kullanılabilir. Ayrıca PPS lifli kompozit yapıların bazı askeri silahlar (patriot füzesi gibi) içerisinde kullanılabildiği kaydedilmiştir [107].

Polifenilen sülfid liflerinin nem absorpsiyonunun düşük olması bu liflerden üretilen ürünlerin hem konforunu etkilemekte hem de renklendirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu da PPS liflerinin koruyucu giysilerde kullanımının sınırlanmasına neden olmaktadır [35]. Ancak yapılan bazı çalışmalar ile bu liflerin boyanabilirliğinin geliştirilmesi sağlanarak bu sorun giderilmeye çalışılmıştır [35].



Şekil 8. Alevden, ısıdan ve kimyasallardan koruyucu giysiler [71,108]

V. POLİFENİLEN SÜLFİD (PPS) LİFLERİNE UYGULANAN TERBİYE İŞLEMLERİ

PPS lifleri de kompozit malzemelerde kullanılan birçok yüksek performanslı lif gibi yüzey hidrofiliğinin artırılması amacıyla yüzey modifikasyonlarına maruz bırakılmaktadır. PPS lifleri üzerine uygulanan yüzey modifikasyonlarının başında plazma işlemleri [35,109,110], kimyasal modifikasyon [20] gibi işlemler gelmektedir. Bu işlemler ile liflerinin yüzey modifikasyonu gerçekleştirilmekte ve yüzeyde oluşan alternatif gruplar sayesinde hidrofiliğin artırılması sağlanmaktadır [35]. Aynı şekilde PPS lifli kumaş yüzeyler üzerine uygulanan sülfonlama ve kuaternizasyon işlemleri de PPS lifli yüzeyin hidrofiliğini iyileştirmektedir [46,90]. Ayrıca yapılan bir başka çalışmada PPS liflerinin benzofenon, 2-(2'-hidroksi-fenil) benzotriazol ve türevleri ile işleme tabi tutulduğunda PPS liflerinin ışığa karşı dayanımı ve boyanabilirliğinde bir artış yaşandığı gözlemlenmiştir [35].

PPS liflerinin boyanabilirliğini arttırmak için uygulanabilecek bir diğer yöntem ise PPS liflerinin hassas olduğu oksitleyici maddeler yardımı ile lif yüzeyinin modifiye edilmesidir [111]. Kükürt içeren asitler ile 1 saatten 17 saate kadar işlem gören PPS lifli kumaşların boyanabilirliğinin süre ile doğru orantılı olarak arttığı kaydedilmiştir [111]. PPS liflerinin boyanmasında yaşanan zorluklardan dolayı bu liflerin pamuk, yün, polyester, naylon, akrilik gibi karışımlarına rastlamak mümkündür. Bu sayede

daha ekonomik ürünler elde edilmekte hem de renklendirilmesi daha kolay hale gelebilmektedir [46]. Ancak bu da yine karışımın miktarı ile orantılıdır. PPS miktarı arttıkça PPS liflerinin yüzey modifikasyon işlemlerine tabi tutulması gerekmektedir [46].

Her ne kadar PPS liflerinin suyu sevmeyen özelliği ve makromolekül zincirlerinin sıkı yapıda olması, boya molekülleri ile bağ kurulmasını zorlaştırırsa da [35,46,112] son yıllarda PPS lifli yüzeylerin boyanabilirliği üzerine yapılan araştırmalara göre, bu lifler carrier yardımı ile dispers, anyonik ve katyonik boyarmaddeler ile boyanabildiği kaydedilmiştir. Haslık değerleri ve renk koyuluğu açısından memnun edici sonuçların elde edildiği bu çalışmalarda, aynı zamanda boyanmış kumaşların mukavemetinde ve LOI değerlerinde gözlemlenen düşüşün çok az miktarlarda olduğu belirtilmektedir [35,112,113].

VI. SONUÇ

Polifenilen sülfid lifleri üstün kimyasal ve termal dayanıklılığı, iyi tekstil performans özellikleri sayesinde teknik tekstiller endüstrisinde öne çıkan lif türlerinden biri haline gelmiştir. Özellikle kimyasallara karşı oldukça dirençli olması bu lifin kimyasallardan koruyucu giysilerde ve filtrelerde yaygın şekilde kullanılmasına neden olmaktadır. Elyaf, iplik, kumaş ya da kompozit gibi birçok farklı formda karşımıza çıkabilen PPS lifleri sadece koruyucu teknik tekstiller ve endüstriyel teknik tekstillerde değil aynı zamanda taşımacılık teknik tekstillerinde artan bir kullanıma sahiptir. PPS liflerinin nem çekme özelliklerinin zayıf olması bu lifin renklendirmesini zorlaştırırsa da, bu liflerin ıslanabilirliğinin, boyanabilirliğin artırılması için uygulanan bazı ön terbiye ve yüzey modifikasyon işlemlerine rastlamak mümkündür. Bu sayede liflerin bağ kurabilme kabiliyeti geliştirilmekte, hem kompozit malzemelerde kullanımı kolaylaştırılmakta hem de çeşitli boyarmaddeler ile gerçekleştirilen boyamaları iyileştirilmektedir. Halen birçok araştırmaya konu olan PPS lifleri, bugünün ve yarının yüksek performanslı, potansiyeli yüksek lif türlerinin başında gelmektedir. Kullanım alanlarına her geçen gün yeni bir alan eklenen bu liflerin bilinirliği, Türk tekstil sektörü gibi teknik tekstillere önem veren endüstriler için oldukça önemlidir. Bu sebeple, bu derleme çalışmasında Polifenilen sülfid (PPS) polimeri ve liflerinin yapısı, özellikleri ve kullanım alanları gibi başlıklara yer verilmiş, başta PPS lifleri olmak üzere yüksek performanslı liflere karşı farkındalık yaratmak hedeflenmiştir.

VII. KAYNAKLAR

- [1] W.A.H.P. Plastics <http://ain-plastics.com/what-are-high-performance-plastics/>, (September 2015)
- [2] *High Performance Polymers Industry to Grow at 7% Annually and Reach \$10 Billion by 2018 According to New Principia Report*, <http://www.businesswire.com/news/home/20141006005852/en/High-Performance-Polymers-Industry-Grow-7-Annually#.VemRuRGeDGd>, (Eylül 2015)
- [3] R. Chang, H. Mori, W. Yang *Polyphenylene Sulfide (Pps) Market Study*, SRI consulting, California. (2010).
- [4] P. Morgan, *Carbon Fibers and Their Composites*, CRC press, (2005).
- [5] *Poly(P-Phenylene Sulfide)*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Poly\(p-phenylene_sulfide\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Poly(p-phenylene_sulfide)) (Ağustos 2015)
- [6] N.G. McCrum, C. Buckley, C.B. Bucknall, *Principles of Polymer Engineering*, Oxford University Press, (1997).
- [7] C.A. Harper, *Modern Plastics Handbook: Handbook*, McGraw-Hill Professional, (2000).

- [8] S.K. Mukhopadhyay, *High Performance Synthetic Fibers for Composites*, National Academies Press, (1992).
- [9] M. Chanda, S.K. Roy, *Plastics Fundamentals, Properties, and Testing*, CRC Press, (2010).
- [10] R.O. Ebewe, *Polymer Science and Technology*, CRC press, (2000).
- [11] M. Miraftab, *Fatigue Failure of Textile Fibres*, Elsevier, (2009).
- [12] G. Pohl, *Textiles, Polymers and Composites for Buildings*, Elsevier, (2010).
- [13] K. Friedrich, S. Fakirov, Z. Zhang, *Polymer Composites: From Nano-to Macro-Scale*, Springer Science & Business Media, (2005).
- [14] Y. Mai, Z. Yu, *Polymer Nanocomposites*, Woodhead publishing, (2006).
- [15] L.A. Utracki, C.A. Wilkie, *Polymer Blends Handbook*, Springer Reference, (2014).
- [16] Q. Wei, *Surface Modification of Textiles*, Elsevier, (2009).
- [17] G.P. Desio, L. Rebenfeld *Journal of Applied Polymer Science* 44 (11) (1992) 1989-2001.
- [18] C.C.M. Ma, S.W. Yur *Polymer Engineering & Science* 31 (1) (1991) 34-39.
- [19] H. Xu, Z. Feng, J. Chen, H. Zhou *Materials Science and Engineering: A* 416 (1-2) (2006) 66-73.
- [20] Y. Yakake, R. Hane, Y. Nakano, *Polyphenylene Sulfide Composite Fiber and Nonwoven Fabric*, (2015).
- [21] Y. Nakano, Y. Yakake, M. Ito, *Polyphenylene Sulfide Fiber and Nonwoven Fabric*, (2012).
- [22] H.W. Hill Jr *Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development* 18 (4) (1979) 252-253.
- [23] A. Mortensen, *Concise Encyclopedia of Composite Materials*, Elsevier, (2006).
- [24] M. Ikeda, T. Shima, *Extra Fine Fibers; Heat, Fire and Chemical Resistance*, (1990).
- [25] R.W. Buckley, *Polymer Enhancement of Technical Textiles*, Rapra Technology Limited, (2003).
- [26] W. Albrecht, H. Fuchs, W. Kittelmann, *Nonwoven Fabrics: Raw Materials, Manufacture, Applications, Characteristics, Testing Processes*, John Wiley & Sons, (2006).
- [27] I.M. Hutten, *Handbook of Nonwoven Filter Media*, Elsevier, (2007).
- [28] B.C. Goswami, R.D. Anandjiwala, D. Hall, *Textile Sizing*, CRC Press, (2004).
- [29] W. Tanthapanichakoon, M. Hata, K.-h. Nitta, M. Furuuchi, Y. Otani *Polymer Degradation and Stability* 91 (11) (2006) 2614-2621.
- [30] P. Lauzon, *Non-Woven Polyphenylene Sulfide Fabric Saturated with a Mixture of Bisphenol a Liquid Epoxy and a Cycloaliphatic Amine Curing Agent*, (2001).
- [31] K. Kawakami, K. Aihara, T. Miyoshi, *Fabric from Impregnated Polyphenylene Sulfide Fibers*, (2003).
- [32] J.W. Hearle, *High-Performance Fibres*, CRC Press, (2001).
- [33] P. Eskelinen, *Retrofitting an Electrostatic Precipitator into a Hybrid Electrostatic Precipitator by Installing a Pulse-Jet Fabric Filter: Review of Available Technologies for Retrofitting Electrostatic Precipitator with Fabric Filter*, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, Helsinki, (2015).
- [34] A. Kelly, *Concise Encyclopedia of Composite Materials*, Elsevier, (2012).
- [35] Y.H. Mao, Y. Guan, Q.K. Zheng, Q.S. Liu, X.N. Feng, X.X. Wang *Coloration Technology* 129 (1) (2013) 39-48.
- [36] C. Lawrence, *High Performance Textiles and Their Applications*, Elsevier, (2014).
- [37] N. Pan, Sun, G., *Functional Textiles for Improved Performance, Protection and Health*, Woodhead Publishing Limited, (2011).
- [38] S. Ebnesajjad, P.R. Khaladkar, *Fluoropolymer Applications in the Chemical Processing Industries: The Definitive User's Guide and Databook*, William Andrew, (2004).
- [39] L.W. McKeen, *Fluorinated Coatings and Finishes Handbook: The Definitive User's Guide*, William Andrew, (2006).
- [40] Fortron® Polyphenylene Sulphide (Pps), <https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCUQFjABahUKewiFvK6ntzIAhXHvBoKHfgjCos&url=http%3A%2F%2Fwww.celanese.com%2F-%2Fmedia%2FEngineered%2520Materials%2FFiles%2FProduct%2520Technical%2520Guides%2FFPS->

- 013_FortronPPSProcDesGuideTG_AM_0613.pdf&usg=AFQjCNF0skS2cGolELZ12bLDpiu0RfifkA&sig2=V4QKy_61ucGxVcbB8aYNwg&bvm=bv.105841590,d.d2s, (Eylül 2015)
- [41] J.W. Hearle, W.E. Morton, *Physical Properties of Textile Fibres*, CRC Press, (2008).
- [42] D. Braun, H. Cherdron, H. Ritter, D. Braun, H. Cherdron, *Polymer Synthesis: Theory and Practice: Fundamentals, Methods, Experiments*, Springer, (2005).
- [43] S. Mishra, *A Text Book of Fibre Science and Technology*, New Age International, (2000).
- [44] G.G. Odian, G. Odian, *Principles of Polymerization*, Wiley-Interscience, (2004).
- [45] A. Van der Vegt, *From Polymers to Plastics*, Delf University Press, (2006).
- [46] S. Pervin, A.A. Prabu, K.J. Kim *Fibers and Polymers* 15 (6) (2014) 1168-1174.
- [47] R. Shishoo *International Journal of Clothing Science and Technology* 14 (3/4) (2002) 201-215.
- [48] P. Sun, R.-j. Sun *Shanghai Textile Science & Technology* 4 (2008) 025.
- [49] A.C. Long, *Composites Forming Technologies*, Woodhead Publishing Limited, (2007).
- [50] B. Vieille, J. Aucher, L. Taleb *Advances in Polymer Technology* 30 (2) (2011) 80-95.
- [51] T. Hongu, M. Takigami, G. Phillips, *New Millennium Fibers*, Woodhead Publishing Limited, (2005).
- [52] J. Kenny, A. Maffezzoli *Polymer Engineering & Science* 31 (8) (1991) 607-614.
- [53] A.R. Horrocks, D. Price, *Advances in Fire Retardant Materials*, Elsevier, (2008).
- [54] D. Das, B. Pourdeyhimi, *Composite Nonwoven Materials: Structure, Properties and Applications*, Elsevier, (2014).
- [55] D.G. Brady, R.P. Williams, H.W. Hill Jr, *Chemical Treatment of Poly (Arylene Sulfide)-Containing Articles*, (1981).
- [56] E.P.G. Gohl, L.D. Vilensky, *Textile Science*, Longman cheshire, (1983).
- [57] S.J. Eichhorn, Hearle, J.W.S., Jaffe, M., Kikutani, T., *Handbook of Textile Fibre Structure*, Woodhead Publishing Limited, (2009).
- [58] R.A. Scott, *Textiles for Protection*, CRC Press, (2005).
- [59] W.L.L.J.C. Lingling, R.Y.L. Bo *China Synthetic Fiber Industry* 5 (2007).
- [60] P. Gulgunje, G. Bhat, J. Spruiell *Journal of Applied Polymer Science* 122 (5) (2011) 3110-3121.
- [61] R. Shishoo, *Textiles in Sport*, Woodhead Publishing Limited, (2005).
- [62] T. Shimizu, M. Maeda, *Heat-Resistant Nonwoven Fabric*, (2014).
- [63] *Polyphenylene Sulphide*, <http://www.kik.nl/en/pps>, (Aralık 2015)
- [64] H. Mera, T. Takata *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*(1989).
- [65] R. Chapman, *Smart Textiles for Protection*, Elsevier, (2012).
- [66] E. Kalaycı, O. Avinç, A. Yavaş *Tekstil ve Mühendis* 21 (96) (2014) 51-67.
- [67] E. Kalaycı, O.O. Avinç, A. Yavaş *Tekstil ve Mühendis* 22 (98) (2015) 62-83.
- [68] S.X. Wu, C. Walker, K. Ward, *Fabric for Toothed Power Transmission Belt and Belt*, (2010).
- [69] M.M. Houcks, *Identification of Textile Fibers*, Woodhead Publishing Limited, (2009).
- [70] J.R. Robertson, C. Roux, K. Wiggins, *Forensic Examination of Fibres*, Taylor & Francis, (2002).
- [71] *High Performance Yarns - Protective*, http://www.pharryarns.com/protective_yarns.htm, (Eylül 2015)
- [72] J. Spruiell *A Review of the Measurement and Development of Crystallinity and Its Relation to Properties in Neat Poly (Phenylene Sulfide) and Its Fiber Reinforced Composites*, ORNL. (2005).
- [73] *Teknik Tekstiller Üzerine Genel Ve Güncel Bilgiler* http://www.itkib.org.tr/ihracat/DisTicaretBilgileri/raporlar/dosyalar/teknik_tekstiller.pdf, (Aralık 2015)
- [74] D. Mecit, S. Ilgaz, D. Duran, D. Başal, T. Gülümser, I. Tarakçıoğlu *Tekstil ve Konfeksiyon* 17 (3) (2007) 154-161.
- [75] W.D. Callister, D.G. Rethwisch, *Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach*, John Wiley & Sons, (2012).
- [76] *Specialty Polymers*, <http://www.solvay.com/en/markets-and-products/chemical-categories/specialty-polymers/index.html>, (Eylül 2015)

- [77] *Pps Role Shapes up in Thermoforming*, <http://www.ptonline.com/articles/pps-role-shapes-up-in-thermoforming>, (Eylül 2015)
- [78] *Plastic Composites Replace Aluminum on the Wings*, <http://www.plasticmachining.com/magazine/news/Fortron.html>, (Eylül 2015)
- [79] L.M. Sherman *Close-up on Technology*, <http://www.ptonline.com/articles/materials-news-atk-2013>, (Eylül 2015)
- [80] H. Yamamoto, M. Nakahara, *Heat-Resistant Fabric and Method for Production Thereof*, (2001).
- [81] A.R. Horrocks, S.C. Anand, *Handbook of Technical Textiles*, Woodhead Publishing Limited, (2000).
- [82] L. Wu, Q. Ke *Nonwovens* 4 (2009).
- [83] W. Tanthapanichakoon, M. Furuuchi, K.-H. Nitta, M. Hata, Y. Otani *Advanced Powder Technology* 18 (3) (2007) 349-354.
- [84] T. Tomura, T. Murakami, *Filter Material Containing a Polycyanoaryl Ether*, (2000).
- [85] R.C. Linton, *Advances in Fabric Selection for Dust Collection Equipment in Wte Plants*, **16th Annual North American Waste-to-Energy Conference**, 81-84.
- [86] W. Tanthapanichakoon, M. Furuuchi, K.-h. Nitta, M. Hata, S. Endoh, Y. Otani *Polymer Degradation and Stability* 91 (8) (2006) 1637-1644.
- [87] S. Derenne, P. Sartorelli, J. Bustard, R. Stewart, S. Sjostrom, P. Johnson, M. McMillian, F. Sudhoff, R. Chang *Fuel Processing Technology* 90 (11) (2009) 1400-1405.
- [88] X. Yue, L. Jingxian, *Mechanism of Degradation of Pps Medium*, **Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC) Wuhan1-4**.
- [89] T. Golesworthy, R. Pragnell *Filtration & separation* 27 (6) (1990) 426-429.
- [90] S. Pervin, A.A. Prabu, K.J. Kim, Y.T. Lee *Macromolecular Research* 23 (1) (2015) 86-93.
- [91] S. Aslan, S. Kaplan *Tekstil ve Mühendis* 17 (79) (2010).
- [92] Y. Avny, D. Leonov, A. Zilkha *Israel Journal of Chemistry* 11 (1) (1973) 53-61.
- [93] Q. Yin, J. Huang, G. Zhang, C. Yu *Journal of Textile Research* 7 (2013) 007.
- [94] Z. Wei, L. Junmei, C. Zhenhong, W. Sainan *Cotton Textile Technology* 12 (2013) 001.
- [95] W. Cai, X. Luo, L. Hong, J. Zhang, Z. Zheng *China Environmental Protection Industry* 1 (2010) 016.
- [96] *Polyphenylene Sulfide Pps Ryton® or Fortron®*, <http://chemplastinc.com.au/pps.php>, (Eylül 2015)
- [97] W.J. Harwood, G. Ross, *Hydrolysis Resistant Woven Corrugator Fabric*, (2010).
- [98] T. Fry, *Textile Dryer Fabric*, (1996).
- [99] L. Giuffre, G. Modica, A. Pagani, G. Imarisio, *Porous Separatory Member Entirely Made of Polyphenylene Sulfide for the Electrolysis of Water*, (1990).
- [100] F. Qiu-ling *Shanghai Textile Science & Technology* 10 (2012) 024.
- [101] M. Fujiwara, T. Ueda *Expanded Graphite Knitting Yarn and a Gland Packing*, Google Patents. (2003).
- [102] *Polyphenylene Sulfide Staple Fiber*, http://csjqhx.en.alibaba.com/product/2023213731-222164159/polyphenylene_sulfide_staple_fiber.html, (Eylül 2015)
- [103] *Pps Expandable Sleaving for Automotive Protective Sleeve Pps-025*, <http://news.directindustry.com/press/shenzhen-jdd-tech-co-ltd/automotive-pipes-aluminum-heat-reflect-fiberglass-sleaving-afr-16-66141-416469.html>, (Eylül 2015)
- [104] W. Harwood, G. Ross, *Heat-and Corrosion-Resistant Fabric*, US7896034, (2011).
- [105] Z. Kangzhen, C. Xuwei, L. Yuling, L. Xuejing, D. Weiping *Technical Textiles* 2 (2011) 005.
- [106] G. Li, T. Liu, Y. Chen, Y. Zhang *Synthetic Technology and Application* 3 (20) (2005) 33-36.
- [107] *Lockheed Martin Patriot Advanced Capability (Pac3) Uses 5 Long Glass Fiber Reinforced Nylon Parts and 1 Polyphenylene Sulfide (Pps) Components*, <http://raminc-cisco.com/>, (Eylül 2015)
- [108] *Other Versarpps Products*, <http://www.directindustry.com/prod/versarpps/product-32937-915189.html>, (Ekim 2015)
- [109] J. Xuemei, Y. Jianzhong *Technical Textiles* 9 (2007) 37-40.
- [110] J.Z. Yang, M. Zhao *Advanced Materials Research* 557-559 (2012) 1668-1671.
- [111] J.P. Blackwell, D.O. Tieszen, *Basic Dyeing of Poly (Arylene Sulfide) Resins*, (1980).

- [112] G. Du, Q. Zheng, Q. Song, F. Yang, Y. Zhong *Dyeing & Finishing* 129 (1) (2012) 003.
[113] Z. Pu, Y. Luo, J. Wu, M. Shi *Dyeing & Finishing* 3 (2010) 005.