



<http://dx.doi.org/10.17776/cumuscij.308456>

Polieter Eter Keton (Peek) Lifleri

Ece KALAYCI, Ozan AVINÇ*, Arzu YAVAŞ

Pamukkale Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

Received: 10.02.2015; Accepted: 17.02.2017

Özet. Polieter eter keton (PEEK) lifleri, kimyasallara, ısıya ve alev dayanıklılık özellikleri ile yüksek performanslı lifler arasında öne çıkmaktadır. Aşınma ve sürtünme dayanımının yanı sıra biyouyumluluğu ve zararlı maddeler içermeyen yapısı sayesinde başlıca medikal tekstillerde, taşımacılık tekstillerinde ve endüstriyel tekstillerde geniş bir kullanıma sahiptir. Bu çalışmada PEEK liflerinin yapısı, özellikleri ve kullanım uygulamaları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polieter eter keton lifi, yüksek performanslı lif, ısıya dayanıklı lif, kimyasallara dayanıklı lif, biyouyumlu lif

Polyether Ether Ketone (Peek) Fibers

Abstract. Polyether ether ketone (PEEK) fibers become prominent amongst high performance fibers with their chemical, heat and flame resistance properties. These fibers have a wide range of usage mainly in transportation textiles, industrial textiles, medical textiles due to not only their wear and abrasion resistances but also their biocompatibility and nonhazardous structure. In this study, structure, properties and end-use applications of PEEK fibers are examined.

Keywords: Polyether ether ketone fiber, high performance fiber, thermally resistant fiber, chemically resistant fiber, biocompatible fiber

1. GİRİŞ

Polieter eter keton (PEEK) polimeri, yarı kristalin termoplastik polimer sınıfının öne çıkan polimerlerinden biridir [1-7]. Mükemmel fiziksel özelliklere sahip bu organik polimer üzerine yapılan araştırmalar 1960'lı yıllara dayanmaktadır. Ancak bu polimer ilk olarak 1970'lerin sonlarında 1980'lerin başında 'ICI Advanced Materials' tarafından üretilmiştir ve yine aynı şirket tarafından 'Victrex PEEK' adı altında ticarileştirilmiştir [1,3,6-9]. PEEK polimeri başlarda enjeksiyon kalıplama işleminde ve kompozit yapılarda güçlendirici olarak kullanılsa da, ICI ve Leeds Üniversitesi tarafından yapılan araştırmalar bu polimerin oldukça yüksek performans özelliklerine sahip olduğunu ve daha çok yüksek performans özelliklerinin arandığı teknik ürünlerin üretiminde kullanıma uygun olduğunu göstermiştir [1,10-13]. Bugün lif, film, reçine, kumaş, kablo, membran ve kompozit olmak üzere çeşitli formlarda bulunabilmektedir [6,7,9,11,12,14].

1980'li yıllarda bu polimerin yüksek potansiyelinin fark edilmesi ile birlikte, diğer üreticiler de bu polimere rakip özelliklere sahip polimer geliştirme çalışmaları başlatmıştır. Bu çalışmalar arasından BASF tarafından geliştirilen PEKEKK, DuPont tarafından geliştirilen PEKK ve Hoechst tarafından geliştirilen PEEKK öne çıksa da PEEK bu lifler arasından sıyrılarak uygulama alanını 1990'lı yıllarda daha da zenginleştirmeyi başarmıştır [1] (Tablo 1). PEEK polimeri 1993'te resmi olarak ICI Advanced Materials'dan ayrılan Victrex LTD. şirketi tarafından üretilmeye başlanmıştır [1].

* Corresponding author. Email address: ekalayci@pau.edu.tr

Tablo 1. PEEK polimerine rakip olarak üretilen çeşitli PEK polimerlerinin Camlaşma Noktası (T_g) ve Erime Noktası (T_m) [1, 3, 5, 9, 15-18].

Polimer	Üretici Firma	T _g (C°)	T _m (C°)
PEEK	Victrax LTD	143-145	334-343
PEEKK	Hoechst	150	365
PEKEKK	BASF	170	381
PEKK	DuPont	165	391

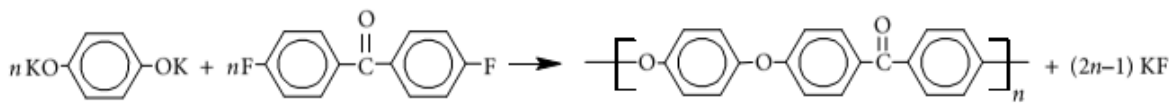
Bugün PEEK polimerinin üretiminde ve kullanımında rol alan birçok şirket bulunmaktadır. Bu şirketlerden; Victrax Plc. (İngiltere), Zyx Ltd (İngiltere), Solvay Speciality Polymers (ABD), Panjin Zhongrun High Performance Polymers (Çin) ve Jida Evonik High Performance Polymers (Çin) ilk akla gelen isimlerdir [19]. Geleceği parlak polimerlerden biri olarak görülen PEEK polimerinin kullanım alanlarının her geçen gün daha da çoğalması, bu polimerin ve bu polimerden üretilen liflerin pazardaki yerini arttırmaktadır [19].

Polieter eter keton (PEEK) polimerinden lif üretimi ise eriyikten lif çekim tekniği kullanılarak gerçekleştirilmektedir [20,21]. Polietereter keton (PEEK) lifleri adı verilen bu lifler barındırdıkları üstün performans özellikleri sayesinde neredeyse tüm teknik tekstillerde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir [1,2,20,22]. Her geçen gün uluslararası ölçekte bu lifin bilinirliği artmakta ve bünyesinde barındırdığı üstün özellikler PEEK polimerinin ve PEEK liflerinin kullanım alanını genişletmektedir. PEEK lifleri her ne kadar pahalı (kilogramı yaklaşık 90\$) bir lif olsa da, 2018 yılında PEEK pazarının 381 milyon dolara ulaşması beklenmektedir [3,19]. Bu derleme çalışmasında, yüksek performanslı lifler arasında öne çıkan PEEK polimerinin ve PEEK liflerinin özelliklerine, kullanım alanlarına ve teknik tekstiller endüstrisi için önemine dikkat çekmek ve bu liflerin bilinirliğinin artırılmasını sağlamak hedeflenmiştir.

2. PEEK POLİMERİ ve ÖZELLİKLERİ

Kimyasal olarak tekrar eden bir keton ve iki eter grubundan oluşan polieter eter keton (PEEK) polimeri sadece karbon, hidrojen ve oksijen atomları bulunduran yapısı sayesinde tam aromatik, yüksek karalılıkta, lineer bir yapıya sahiptir [1,2,11,23-25] (Şekil 1). Solgun amber renkte organik bir polimer olan PEEK, mükemmel fiziksel özellikleri ile yarı kristalin, termoplastik bir polimer olarak bilinmektedir [3,4,15,16,24,25] (Tablo 2). Bu polimerden üretilen film yapılarında film ne kadar ince ise o kadar transparan renktedir. Filmin kalınlığı arttıkça renk matlaşmakta ve amber renk fark edilmektedir [25].

Polieter eter keton polimeri ticari olarak polieterifikasyon reaksiyonu ile üretilmektedir [10]. PEEK polimerinin sentezi sırasında sentezin yöntemi ve gerçekleştirildiği şartlar büyük önem taşımaktadır. Literatürde PEEK polimerinin polikondenzasyon reaksiyonunda iki farklı yapı taşının kullanımına rastlanmaktadır. Bunlardan biri 4,4'-diklorobenzofenon [5,24], diğeri ise 4,4'-diflorobenzofenon [24,26]'dur. Temel olarak 4,4'-diflorobenzofenon'un kullanıldığı PEEK üretiminde, 4,4'-diflorobenzofenon hidrokinon anyonları ile reaksiyona girerek kondenzasyon işlemini gerçekleştirmektedir [5]. 4,4'-diflorobenzofenon, hidrokinonun anyonları ile *N*-cyclohexyl-2-pyrrolidone gibi yüksek kaynama noktasına sahip organik çözümler içerisinde reaksiyona girmektedir [5].

**Şekil 1.** PEEK polimerinin polikondenzasyon reaksiyonu ve kimyasal yapısı [1,5,10,14,27].

Polieter Eter Keton (Peek) Lifleri

PEEK polimeri, sıra dışı fiziksel özelliklere sahip olmasının yanında bu fiziksel özellikleri ekstrem şartlar altında dahi sergileyebilmektedir [5,12,16,28]. Isıya ve kimyasallara karşı oldukça iyi bir dayanıma sahip bu polimer, oldukça iyi alev ve termal dayanımı ile de bilinmektedir [9-12,15,24,26,29,30]. Ayrıca mükemmel bir biyoyumluluğa sahip bu polimer özellikle medikal uygulamalarda (dental, ortopedik, vb.) geniş bir kullanıma sahiptir [10,11,29,31]. Bu geniş kullanım alanını biyoyumluluğunun yanı sıra üstün kimyasal ve fiziksel kararlılığına dolaylı olarak da yaşlanma karşıtı bir malzeme oluşuna borçludur. PEEK polimeri aynı zamanda rijit, tok ve sürtünme-aşınma dayanımı yüksek bir malzemedir [9,11,12,25]. Bu sayede sterilizasyon ve radyasyona karşı da direnç gösterebilmektedir [10,11,30,31]. PEEK polimeri termoplastik kompozit uygulamaları için oldukça önemli bir matris malzemesidir [7,21,29,30,32-36].

Tablo 2. PEEK polimerinin özellikleri [1,15,16,25,37,38].

Özgül ağırlık	1,26-1,32 g/cm ³
Başlangıç modülü	3,6 GPa
Kopma mukavemeti	90-100 MPa
Kopma anındaki uzaması	% 50
Nem geri kazanımı	% 0,1
Dielektrik kuvveti	190 kV/cm
Özdirenç	5.10 ¹⁶ ohm.cm
Isı sığası	134 kJ/kgC°
Isıl iletkenliği	0,25 W/m/C°
Isıl genleşme katsayısı	72-85 10 ⁻⁶ (C°) ⁻¹

3. PEEK LİF ÇEKİMİ ve LİF ÖZELLİKLERİ

PEEK lifleri genellikle eriyikten lif çekim yöntemi kullanılarak üretilmektedir [20,22]. Doğasından gelen soluk altın (amber) rengine sahip bu lifler yaklaşık %50 oranında kristalin yapıdadır [1,2,15]. Termoplastik lifler olarak kabul edilen PEEK lifleri, hem kimyasalların çok büyük bir çoğunluğuna hem de yüksek sıcaklıklara karşı oldukça dayanıklıdır [7,15,22,39]. PEEK liflerinin özelliklerini özetlemek gerekirse [3,7,20,24];

- Kimyasallara karşı oldukça yüksek bir dayanıma sahiptir.
- Termal Özellikleri oldukça iyidir (-60C° ile 260C° sıcaklıkları arasında özelliklerinde herhangi bir kayıp gözlenmeden kullanılabilirler.).
- Yanma sırasında alev ve duman üretimi düşüktür, aynı zamanda zehirli gaz üretimi de oldukça az seviyededir.
- İyi sürtünme ve aşınma dayanımına sahiptir
- Sürtünme katsayısı düşüktür, mükemmel sürtünme özellikleri gösterir.
- Biyoyumludur (biyolojik işlevlere zehirli veya zararlı etkisi yoktur.).
- Çoklu otoklav (basınçlı kap) sterilizasyonlarına ve radyasyona karşı dayanıklıdır.
- Halojen içermez

3.1. Mukavemet Özellikleri

PEEK lifleri tekstil endüstrisinde kullanılan çok sayıda lif çeşidi arasından sahip olduğu üstün özellikler sayesinde öne çıkmaktadır (Tablo 3). Uzun bir çalışma ömrüne sahip bu lifler sıradışı zor şartlarda dahi sahip olduğu iyi fiziksel özellikleri koruyabilmektedir [2,15]. Poliester ve Naylon gibi konvansiyonel tekstil liflerine benzer mekanik özellikler taşıyan PEEK lifleri bu sayede örme, dokuma gibi tekstil

formlarında kolaylıkla kullanılabilir [2]. Yoğunluğu $1,3 \text{ g/cm}^3$ [35,40] olan PEEK liflerinin başlangıç modülü 5-6,2 GPa [35,40] arasında değişmektedir.

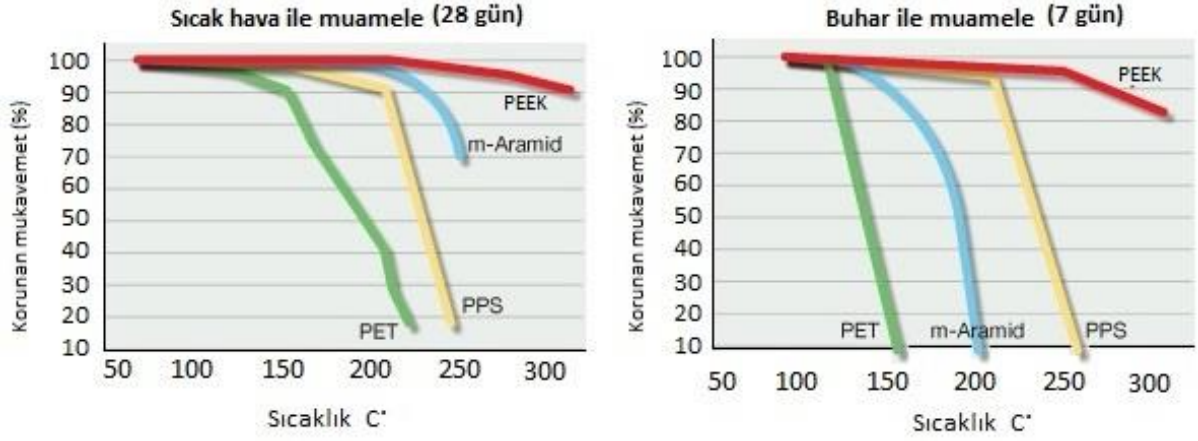
Tablo 3. PEEK lifleri ile bazı liflerin özelliklerinin karşılaştırılması [15,25,35,40,41].

Lif Cinsi	Yoğunluk (g/cm^3)	Kopma anındaki uzama (%)	Kopma Mukavemeti (N/tex)	Başlangıç Modülü (GPa)
İpek	1,25	23	0,34	11
Yün	1,30	22	0,12	3,5
Pamuk	1,54	7	0,35	12
Keten	1,48	1,6	0,57	30
Viskon	1,52	20	0,23	7,3
Polipropilen	0,91	20	0,65	1,52
Poliamid	1,14	20	80	6
Polietilen tereftalat (PET)	1,38	13	80	3,4-21
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 (PBO)	1,54-1,56	1-3,5	3,71	280
Polieter eter keton (PEEK)	1,3	30	0,6	5-6,2
Politetrafloretillen (PTFE)	2,2	35	0,18	0,3
Çelik	7,86	1,1	0,96	200
Yüksek mukavemetli (HS) Karbon	1,78	1,6	2,1	240
Yüksek modüllü (HM) Karbon	1,85	0,7	1,32	400

3.2 Termal özellikleri

Üstün mukavemet özelliklerine sahip PEEK liflerinin termal özellikleri de oldukça iyidir. Hem yüksek sıcaklıklarda hem de düşük sıcaklıklarda rahatlıkla kullanılabilen bu liflerin erime sıcaklığı $334-345^\circ\text{C}$ iken camlaşma sıcaklığı $143-145^\circ\text{C}$ olarak bilinmektedir [2,8,18,27,42]. PEEK liflerinin ısıl bozunma sıcaklığı bazı kaynaklarda 350°C 'den yüksek [35] olarak genellenirken, bazı kaynaklarda 500°C olarak belirtilmektedir. Fakat bu liflerin uygulama sıcaklıkları işlem sürelerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Örneğin devamlılığı olan uzun süreli uygulamalarda 260°C 'e kadar olan sıcaklıklarda sorunsuz şekilde kullanılabilen PEEK lifleri, işlem süresi kısa olmak şartı ile 300°C sıcaklığa kadar ortamlarda kullanılabilirler (Şekil 2) [1,14,15,20,42]. Bu lifler yüksek sıcaklıklara olduğu kadar düşük sıcaklıklara da dayanıklıdır. -60°C 'e varan sıcaklıklarda yapısında her hangi bir gevrekleşme yaşanmadan yapısını ve özelliklerini koruyabilmektedir [1].

Polieter Eter Keton (Peek) Lifleri



Şekil 2. 28 gün boyunca hava ortamında yüksek sıcaklığa maruz bırakılan PEEK ve çeşitli liflerin mukavemetlerinin karşılaştırılması; 7 gün boyunca basınçlı su buharına maruz bırakılan PEEK ve çeşitli liflerin karşılaştırılması [1].

Literatürde PEEK liflerinin termal özelliklerini inceleyen ve bu liflerin termal özelliklerini diğer ısıya ve aleve dayanıklı lifler ile kıyaslayan birçok çalışma mevcuttur. Örneğin, Şekil 2' de PEEK, m-aramid, PPS (polifenilsülfon), PET liflerinin 7 gün boyunca buhara maruz bırakıldığında ve 28 gün boyunca sıcak hava ile muamele edildiğinde mukavemet değerlerindeki değişim gösterilmektedir. Bu iki grafikten (Şekil 2) de görüleceği gibi PEEK lifleri 300C°' e kadar sıcaklıklarda hem kuru hava ortamında hem de buharlı hava ortamında oksidasyona ve hidrolize dayanıklılık göstererek iyi bir performans sergileyebilmektedir [1,15].

PEEK liflerinin termal özelliklerinin araştırıldığı bir diğer çalışmada da Polieterimid (PEI) lifleri ile PEEK lifleri karşılaştırılmaktadır. Bu çalışmada her iki lif türü de 30 dakika boyunca 180C°' den 240 C°'e kadar farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulmuş ve liflerin ısıl büzülme oranları % olarak karşılaştırılmıştır. 180C°'de PEI lifleri PEEK liflerinden daha az bir büzüşme yaşarken sıcaklık artışı ile PEI liflerinin yaşadığı büzüşme yüzdesi PEEK liflerine göre daha hızlı artmakta, 240C°' de PEI lifleri %80 oranında büzüşürken PEEK liflerinde sadece %15-18 oranında büzüşme gerçekleşmektedir [42].

Bir malzemenin güç tutuşurluğunun seviyelerini belirlemek için farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden en yaygın kullanılanı malzemenin yanması için gerekli oksijen miktarını belirleyen LOI testidir. Bu test yönteminde LOI değeri 25'in üzerinde olan malzemeler güç tutuşur olarak nitelendirilir. PEEK liflerinin yanması için gerekli limit oksijen miktarı (LOI) %35'dir [8,35] ve bu lifler aynı zamanda kendi kendini söndürebilme yeteneğine sahiptir [43]. Ayrıca duman (duman yoğunluğu: 2,06) ve zehirli gaz üretimi çok az seviyede olan PEEK lifleri iyi güç tutuşurluk özellikleri sergilemektedir [1,44].

Materyallerin termal dayanımlarının değerlendirildiği bir diğer test yöntemi de Konik kalorimetre testidir. Bu testte daha çok liflerin aleve karşı gösterdikleri dayanım değerlendirilmektedir. Belirli oranlarda ısı akışına maruz bırakılan liflerin ısı yayılım hızları, tutuşma süreleri gibi özellikleri belirlenerek aleve karşı gösterdikleri davranışlar incelenmektedir. PEEK lifli kumaşlara 75 kW/m²'lik ısı akışı verilerek konik kalorimetre testi uygulandığında, ısı yayılım hızının 183 kW/m² olduğu kaydedilmektedir ki bu liflerin güç tutuşur bir lif türü olduğunun sağlaması niteliğindedir [44].

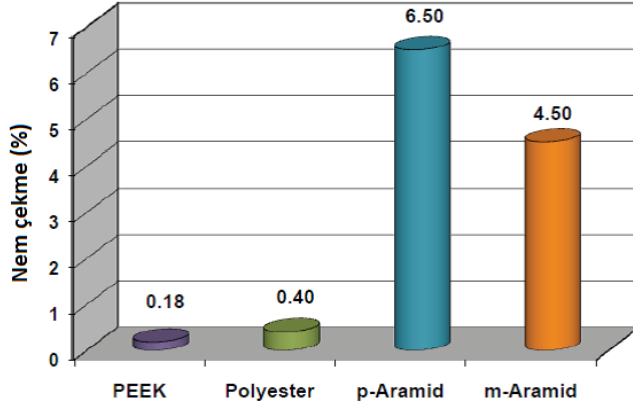
PEEK lifleri üstün termal özelliklerini; kimyasallara, yüksek sıcaklıklara, aleve karşı dayanıklı diğer yüksek performanslı PBI (Polibenzimidazol), PI (Poliimid), PPS (Polifenilsülfon) liflerinde de olduğu

gibi aromatik yapının sonucu oluşan yüksek kararlılığa sahip yapıya borçludur [35]. Bu liflerin maliyetlerinin yüksek olması termal dayanıklılık hedeflenen kumaşlarda daha ucuz olan aramid lifleri ile karışım halinde kullanılmalarına neden olmaktadır [35].

Farklı tekstil formlarında geniş bir kullanıma sahip PEEK polimeri birçok uygulamada termoplastik reçine olarak da kullanılabilir [6,35,37]. Genellikle kimyasal dayanım, yüksek ısı dayanımı, düşük duman çıkışı, yanmaya dayanım gibi özelliklerin arandığı uygulamalarda tercih edilen termoplastik reçine formu yaygın bir kullanıma sahip olduğundan, bu yapının kullanılabilir sıcaklığı büyük önem taşımaktadır [7,45,46]. Erime sıcaklığı 350-390C° arasında değişen PEEK termoplastik reçine formunun maksimum işlem sıcaklığı yaklaşık 250C° civarındadır [47,48]. PEEK reçine yapılar rüzgâr türbinlerinin kanatlarında, batarya (pil) kılıflarında, güç tutuşur tekstillerde, robotik ve otonom sistemlerde bulunan kompozit yapılarda kullanılmaktadır [49]. Ayrıca bu yapıların mühimmat (cephane) koruyucu kılıflarında ve depolama konteynirlerinde kullanılmalarına da rastlamak mümkündür [49].

3.3. Kimyasallara karşı dayanımı

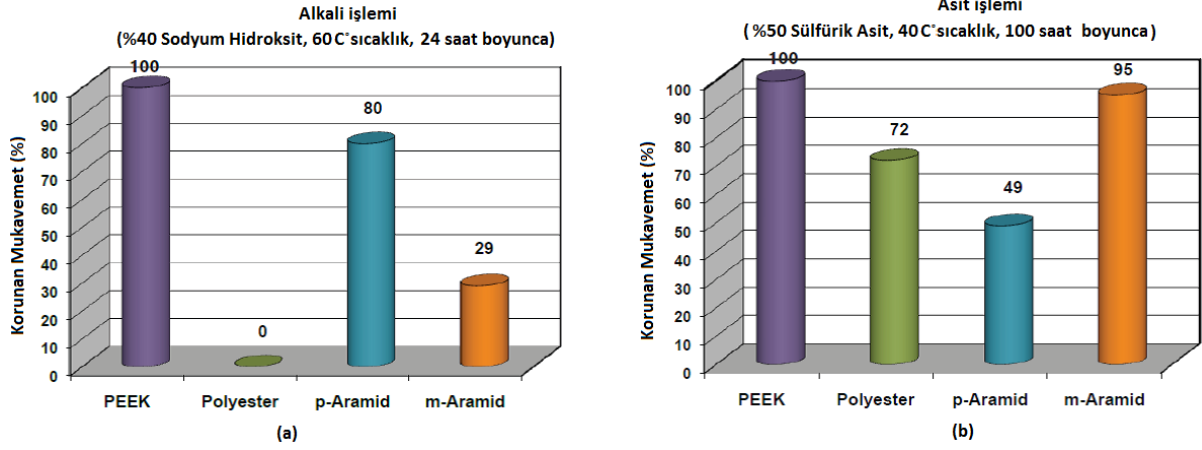
Teknik tekstiller pazarında yüksek performans özelliklerine sahip birçok lif türü bulunmaktadır. Ancak PEEK lifleri sahip olduğu yüksek performans özelliklerini yüksek sıcaklıkların yanında aşındırıcı kimyasalların bulunduğu ortamlarda da sürdürmeyi başardığından diğer yüksek performans lifleri arasından sıyrılmaktadır [40,43]. Kimyasal maddelerin birçoğuna karşı oldukça yüksek dayanım sergileyen PEEK lifleri sadece bazı yüksek konsantrasyonlu asitlerden (sülfürik asit, nitrik asit gibi) etkilenmektedir [6,20,24]. Nem çekme özelliğinin diğer yüksek performanslı lifler ile kıyaslandığında daha az olduğu gözlemlenen PEEK liflerinin 20C° de % 65 bağıl nem ortamında nem çekmesinin %0,18'lerde olduğu bilinmektedir (Şekil 3) [35].



Şekil 3. Çeşitli liflerin nem çekme yüzdelerinin karşılaştırılması (%65 bağıl nem ve 20C° sıcaklık ortamında) [15].

Çeşitli kimyasal maddeler kullanılarak yapılan uygulamalar sonrası PEEK lifleri ile poliester ve bazı aramid liflerinin korudukları mukavemet değerleri incelenmiştir. Şekil 4-a'da %40 sodyum hidroksit ile 60C° de bir gün boyunca gerçekleştirilen işlem sonucunda PEEK, m-aramid, p-aramid ve poliester liflerinin korudukları mukavemet değerleri verilmiştir. Bu değerlendirmelere göre şekilden de görüldüğü gibi PEEK liflerinin mukavemetlerinde herhangi bir kayıp yaşanmazken, p-aramid lifleri yaklaşık %20'lik bir mukavemet kaybı yaşamakta, m-aramid lifleri mukavemetlerinin sadece %29'unu koruyabilmekte, poliester lifleri ise mukavemetlerini tamamen kaybetmektedir [15].

Polieter Eter Keton (Peek) Lifleri



Şekil 4. PEEK, poliester, p-aramid ve m-aramid liflerinin alkali/asit ile muamalesi sonucunda korunan mukavemetlerinin kıyaslanması [15]

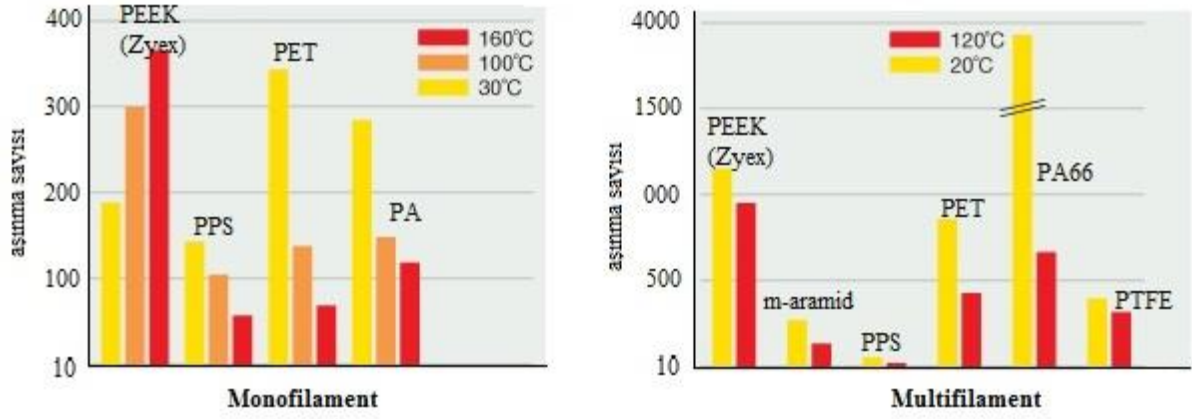
PEEK liflerinin asitlere karşı da oldukça dayanıklı olduğu belirtilmektedir. Şekil 4-b' de %50'lik sülfürik asit ile 40C° de 100 saat boyunca işlem gören PEEK, m-aramid, p-aramid ve poliester liflerinin korunan mukavemet yüzdeleri verilmektedir. Bazlara karşı dayanıklı olan p-aramid liflerinin asit ile işlemleri sonrasında mukavemetinin %49'unu koruyabildiği gözlenirken, PEEK liflerinin hem asidik hem bazik ortamlarda mukavemet özelliklerinde kayıp yaşamadığı kaydedilmiştir. PEEK liflerinin çeşitli kimyasallara karşı gösterdiği dayanma kabiliyeti ve diğer yüksek performans özellikli lifler ile karşılaştırılması Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Çeşitli yüksek performanslı liflerin kimyasallara karşı davranışlarının kıyaslanması [25].

	Polieter eter keton (PEEK)	Polimid (PI)	Polieterimid (PEI)	Polifenilsülfon (PPS)	Polietersülfon (PES)	Poliamidimid (PAI)
Konsantrasyonu yüksek asitler	Zayıf	İyi	-	Orta	Orta	İyi
Seyreltik asitler	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi
Alkoller	İyi	İyi	-	İyi	İyi	İyi
Alkaliler	İyi	Zayıf	Orta	İyi	İyi	Zayıf
Aromatik Hidrokarbonlar	İyi	İyi	İyi	İyi	Orta	İyi
Gresler ve yağlar	İyi	İyi	-	İyi	İyi	İyi
Halojenler	İyi	İyi	-	Orta	İyi	İyi
Ketonlar	İyi	İyi	-	İyi	Zayıf	İyi

3.4. Aşınma dayanımı

Aşınma dayanımı oldukça iyi olan bu polimerin sürtünme katsayısı düşüktür (Şekil 5) [1]. Tok bir polimer olan PEEK polimeri özellikle yüksek sıcaklıklarda ve kısmen yüksek yüzey hızlarında iyi aşınma direncine sahiptir [1]. Mükemmel dinamik geri dönüş (toparlanma) özelliği ve esnek yorulma performansına sahip PEEK polimeri özellikle kendi camlaşma sıcaklığı (Tg 143C°) altındaki sıcaklıklarda düşük sünme ve düşük büzülme özellikleri sergilemektedir [1].



Şekil 5. PEEK ve bazı liflerin aşınma dayanımlarının karşılaştırılması [1,50].

3.5. Elektrik Özellikleri

PEEK lifleri elektrik iletkenliğine sahip liflerdir. Bu özellikleri sayesinde elektrik elektronik endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Sadece kablolarda değil aynı zamanda, elektrik iletkenliğin istendiği kompozit yapılarda ve yakıt hücrelerinde iletkenlik saplayan membran yapılarda da elektriksel özellikleri sayesinde kullanılabilirler. Tablo 5' de PEEK liflerinin ve bazı yüksek performanslı liflerin elektriksel özellikleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 5. Çeşitli yüksek performanslı liflerin elektriksel özelliklerinin karşılaştırılması [25].

	Polieter eter keton (PEEK)	Polimid (PI)	Polieterimid (PEI)	Polifenilensülfid (PPS)	Polietersülfon (PES)	Poliamidimid (PAI)
Dielektrik sabiti (@1Mhz)	3,2-3,3	3,4	3,1	3,8-4,2	3,7	5,4
Dielektrik Kuvveti (kV.mm ⁻¹)	19	22	30	18	16	23
Güç Kaybı katsayısı (@1MHz)	0,003	0,00018	0,0013 @1kHz	0,0013-0,004	0,003	0,042
Hacimsel Özdirenç (ohm.cm)	10 ¹⁵ -10 ¹⁶	10 ¹⁸	7. 10 ¹⁵	10 ¹⁶	10 ¹⁷	-

3.6. Işınlara karşı dayanımı

Yüksek performanslı lifler için ışınlar dayanım büyük önem taşımaktadır. Bir lifin performans özellikleri ne kadar yüksek olursa olsun ışınlar karşı dayanımı düşük olduğunda bu yüksek performans özelliklerinde kayıplar yaşanacak ve ürünün ömrünü olumsuz etkileyecektir. PEEK lifleri UV, alfa, beta ve gamma ışınlarına karşı dayanıklıdır [51]. Bu sayede bu ışınlar maruz kalınan alanlarda rahatlıkla kullanılabilirler [51]. Özellikle medikal ürünlerin sterilizasyonunda bu ışınlar sık kullanıldığından bu liflerin dayanıklılığı ve biyouyumluluğu PEEK lifli ürünleri medikal tekstiler için ideal bir malzeme haline getirmektedir. Tablo 6'da PEEK lifleri ve çeşitli yüksek performanslı liflerin farklı ışınlar karşı dayanımı gösterilmektedir [25].

Polieter Eter Keton (Peek) Lifleri

Tablo 6. Çeşitli yüksek performanslı liflerin ışınlarla karşı dayanımı [25,51].

	Polieter eter keton (PEEK)	Poliimid (PI)	Polieterimid (PEI)	Polietersülfon (PES)	Poliamidimid (PAI)
Radyasyon direnci (alfa)	İyi	İyi	-	İyi	İyi
Radyasyon direnci (beta)	-	İyi	-	-	İyi
Radyasyon direnci (gama)	-	İyi	-	-	İyi
Kırılma indisi	-	1,66	-	1,65	-
UV ışınlarına gösterilen direnç	Orta	İyi	İyi	Orta	İyi

3.7. Diğer özellikleri

PEEK lifleri sıra dışı bir saflığa sahiptir. Üretimi sırasında stabilizasyon için ilave kimyasallara ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu sayede EEC (European Economic Commission) ve FDA (Food and Drug Administration) tarafından medikal ve yiyecekler ile temas haline kullanılmasına izin verilmiştir. Ayrıca düşük yüzey enerjisi sayesinde kendi kendini temizleme yeteneğine sahip PEEK lifleri kullanımı sırasında kirlenmeyi de minimuma indirmektedir [1,43].

Elektronik aletlerde sık kullanılan bir malzeme olan PEEK aynı zamanda RoHS yönetmeliklerine de uygundur. RoHS yönetmelikleri yeni nesil elektrik-elektronik aletlerde kurşun, kadmiyum, polibromlu bifenil (PBB), civa, heksavalent krom bileşikler, polibromlu difenileter (PBDE) gibi belirli maddelerin kullanımı sınırlamakta ya da yasaklamaktadır. PEEK yapısında bu tür tehlikeli maddeler içermediğinden elektrik-elektronik aletlerde rahatlıkla kullanılabilir [52].

PEEK liflerinin yapısında halojen gibi ilave kimyasalların olmaması bu liflerin geri dönüşümü için oldukça önemlidir [15]. PEEK lifleri bu sayede belirli şartlar altında bünyesinde barındırdığı önemli fiziksel özelliklerinden çok az bir kayıpla geri kazandırılabilir ve geri dönüştürülebilir [1,43].

4. KULLANIM ALANLARI

Polieter eter keton (PEEK) lifleri iyi fiziksel özellikleri ve dayanıklılığı ile günümüzde birçok endüstri dalının vazgeçilmez hammaddesi haline gelmiştir. Her geçen gün bilinirliğinin artması bu lifin zaten yaygın olan kullanım alanlarına bir yenisini daha eklemektedir. Monofilament, multifilament ya da stapel lifler olarak çeşitli formlarda ve yapılarda karşımıza çıkabilen PEEK lifleri; örme, dokuma, dokusuz yüzey gibi temel tekstil formlarının [15] yanı sıra üç boyutlu örme/dokuma kumaşlarda [53], kompozit yapılarda [15,22,23,42,54-59] ve membran yapılarda da kullanılabilir [52].

Neredeyse teknik tekstillerin tüm alanlarında kullanıma sahip PEEK lifleri, yarının gelecek vaat eden yüksek performanslı liflerinden biridir. Karbon lifleri [4,12,38,59], PBI lifleri [60], cam lifleri [58,61,62] gibi çeşitli lifler de karışım halinde de kullanılabilen bu lifler, ayrıca içi boş lifler olarak da üretilebilir [42,55,57,60]. PEEK polimeri ve PEEK lifleri yakıt hücrelerinde kullanılan membran yapılar ya da içi boş lifli yapıların kullanıldığı filtreler gibi yeni nesil kullanım alanlarının yanı sıra koruyucu teknik tekstiller, taşımacılık teknik tekstilleri, endüstriyel teknik tekstiller gibi daha birçok alanda geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir [8,50,60,63].

4.1 Koruyucu teknik tekstiller

PEEK liflerinin kimyasallar ile kolay kolay tepkimeye girmemesi ve yüksek sıcaklık ortamlarında kullanılabilirliği bu lifleri koruyucu teknik tekstiller için iyi bir aday haline getirmektedir. Özellikle alevden koruma sağlayan giysilerin üretiminde tercih edilen bir yüksek performanslı lif türüdür [64,65]. Sadece hammadde olarak değil aynı zamanda koruyucu teknik tekstil malzemelerinin üretiminde

kullanılan dikiş ipliği gibi yardımcı malzemeler olarak da bu liflerin kullanımına rastlamak mümkündür [1].

4.2. Spor ve serbest zaman teknik tekstilleri

PEEK liflerinin kullanıldığı diğer bir alan ise spor ve serbest zaman teknik tekstilleridir. Spor malzemelerinde ve müzik aletlerinde kullanım örnekleri bulunan PEEK lifleri, özellikle kullanım sırasındaki yüksek geri dönme özelliği sayesinde tenis, squash ve racquet ball (squash a benzeyen fakat daha büyük bir top ile oynanan spor) gibi sporlarda kullanılan raket tellerinde monofilament olarak tercih edilebilmektedir [22]. Raket telleri pazarında kullanımı artmaya devam eden PEEK lifleri ayrıca gitar, keman gibi birçok telli müzik aletlerinde de kullanılabilir. Sıra dışı ses niteliği (tonal kalitesi) ile telli müzik enstrümanlarında geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir (Şekil 6).



Şekil 6. PEEK sicimli raketler, PEEK polimerinden üretilen keman ve yaylı enstrümanlarda kullanılan PEEK teller [50,66] [67]

4.3. Taşımacılık teknik tekstilleri

Hava, kara, deniz taşıma araçlarında ve uzay sanayinde kullanılan teknik tekstillerinin genel adı olarak bilinen taşımacılık teknik tekstillerinin üretiminde ve yardımcı elemanlarında kullanılan teknik tekstil liflerinden biri de PEEK lifleridir [49,64]. Bu lifler taşımacılık teknik tekstillerinde hava, kara ve deniz taşıtlarında çeşitli tekstil formlarında karşımıza çıkmaktadır [5].

PEEK lifleri ısı kararlılığı sayesinde uçaklardaki, uzay araçlarındaki ve motorlu taşıtlardaki motor parçaları ve bu parçalar ile ilgili olan elektrik kabloları için ideal bir malzemedir [9,10,13,16,17,50]. Ayrıca, üstün mekanik özellikleri, aşırı sıcak ortamlarda kullanılabilirliği ve ağırlık tasarrufu sağlaması PEEK lifli malzemeleri uzay-havacılık uygulamaları için önemli bir hammadde haline getirmiştir [3,11,13,15,37,50].

Uçaklarda genellikle kullanılan paslanmaz çelik, titanyum, alüminyum gibi metaller yerine PEEK liflerinin kullanılması %70'e varan oranda daha hafif malzemelerin üretilmesini sağlamaktadır. Ayrıca bu liflerin yorulma ömürleri ve özgül mukavemetleri alüminyum ile kıyaslandığında PEEK liflerinin

Polieter Eter Keton (Peek) Lifleri

100 kat daha uzun bir yorulma ömrünün olduğu ayrıca %20'e varan oranlarda daha yüksek özgül mukavemete ve sertliğe sahip olduğu gözlemlenmektedir [61]. Uzun menzilli uçuş yapan bir uçağın ağırlığından 45 kg azaltmak, yakıt tüketiminde yıllık yaklaşık \$10,000 kar edilmesini sağlamaktadır. Bu rakamın sadece bir uçak ve 45 kg için olduğu düşünülürse, PEEK liflerinin uçak, helikopter, uzay gemisi gibi hava taşıtlarında kullanımının önemi ortaya çıkmaktadır [16,50,61]. Bunun yanında kimyasallara karşı dayanım da havacılık sektörü için önemli bir kriter olarak kabul edildiğinden PEEK liflerinin kullanıldığı yapılar (gövde [9,28,62], yakıt filtresi [9,17,61], kablolar [50], uydu parçaları [28], motorda bazı kısımlar [9,13,17], vb.) bu sektör için oldukça önemlidir [47].

PEEK polimeri lif, iplik, kumaş (dokuma, örme, dokusuz yüzey), reçine ve kompozit gibi çeşitli yapılarda başta Boeing ve Airbus gibi önde gelen uçak üreticileri olmak üzere birçok gemi ve otomobil üreticisi şirket tarafından da tercih edilen bir malzeme haline gelmiştir [5,11,49,61].

PEEK liflerinin taşımacılık teknik tekstillerinde en yaygın kullanılan formu kompozit yapılardır. PEEK lifleri bu kompozit yapılarda tek başına kullanılabildiği gibi bazı yüksek performans özelliklerine sahip lifler (başta karbon lifleri [33,36,68,69] olmak üzere PTFE lifleri [68,69], Polifenilsülfon (PPS) lifleri [68], grafit lifleri [34], cam lifleri [34,62]) ile birlikte de kullanılabilmektedir [38,42]. Ayrıca, çoğunlukla kütle boyama yöntemi ile renklendirilmiş monofilamentlerden elde edilen PEEK şerit bantlarının uzay, havacılık, otomotiv ve endüstriyel uygulamalarındaki kullanımları da her geçen gün artmaktadır [5].

4.4. Endüstriyel teknik tekstiller

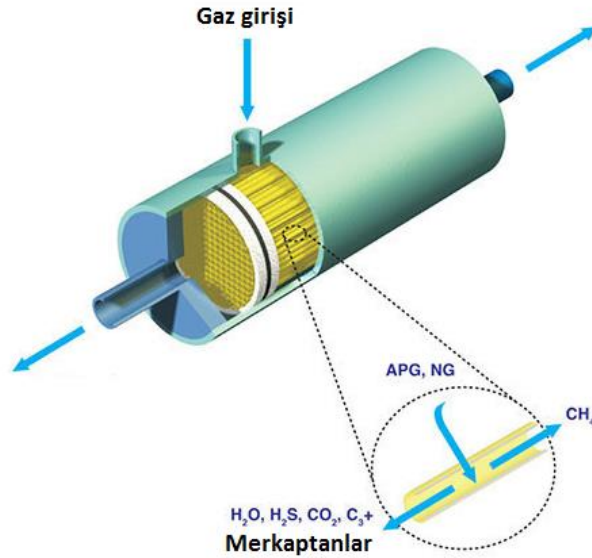
PEEK liflerinin sahip olduğu yüksek performans özellikleri bu liflerin endüstriyel teknik tekstillerde kullanımını da oldukça pozitif yönde etkilemektedir [21]. Bu sebeple endüstriyel alanlarda geniş bir yelpazede kullanıma sahiptir. Kablolar, filtreler, yakıt hücreleri, fırçalar, konveyör kayışları ve contalar PEEK malzemesinin kullanıldığı başlıca alanlardır.

PEEK polimerinin ve PEEK liflerinin elektrik iletkenliğinin iyi olması ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması elektrik kabloları başta olmak üzere elektrik-elektronik endüstrisinde birçok alanda bu liflerin kullanımına ortam sağlamaktadır [9,14,15,17,24]. PEEK liflerinin RoHs'e uyumlu olması PEEK lifli kabloların kullanım potansiyelini artırırken, bu lifler Yüksek derecede gamma ışınlarının bulunduğu nükleer tesislerde robotik cihazların kablolarında dahi kullanılabilmektedir. PEEK lifleri sadece kablo olarak değil aynı zamanda elektrik iletkenliğinin istendiği çeşitli kompozit yapılarda da karşımıza çıkabilmektedir [17,70,71].

PEEK liflerinin bir diğer yaygın taşıma teknik tekstil kullanım alanı ise konveyör kayışlarıdır [50,64]. Konveyör bantları (kayışları), ürünleri akan bir sistem üzerinde taşımak amacıyla kullanılır. Ancak endüstriyel üretim alanlarının çeşitliliği göz önüne alındığında, bu bantların bazen oldukça zorlu ortam şartlarından etkilenmemesi gerekmektedir. PEEK liflerinin sahip olduğu özellikler bu uygulama için bu lifi ön plana çıkartmaktadır. Mesela dokusuz yüzey kumaş üretiminde 300C°'nin üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleştirilen birçok işlem basamağı olabilmekte ve hattın akış hızı dakikada 300 m'yi bulabilmektedir. Bu üretimin gerçekleşebilmesi için ortam şartlarına dayanıklı bir konveyör bantın kullanılması şarttır. Ayrıca makaralar ve silindirlerle aktarımın sağlandığı bazı ortamlarda sıcaklık ve kimyasallara karşı dayanımın yanında sürtünmeye ve aşınmaya karşı dayanım da önem taşımaktadır. PEEK liflerinden üretilen konveyör bantları bu ortamlarda diğer yüksek performanslı lifli ya da çelik konveyör bantları ile kıyaslandığında, düşük sürtünme katsayısı ve uzun kullanım ömrü sayesinde daha uygun bir maliyete sahiptir. PEEK monofilamentlerinden üretilen konveyör bantların kullanıldığı başlıca alanlar; tekstil endüstrisi [50] (dokusuz yüzey kumaş üretimi, baskı ve boya işlemleri, ısıl işlemler), kâğıt endüstrisi, gıda endüstrisi (besinlerin kurutulması) olarak sıralanabilmektedir [15].

Düşük ağırlıklı kompozit malzemeler için oldukça ideal bir materyal olan PEEK lifleri çeşitli yöntemler ile kompozit yapılar içerisinde kullanılmaktadır [22]. Yüksek performanslı PEEK lifler ile güçlendirilmiş termoplastik kompozitlerin geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır [16,61]. Örneğin, PEEK liflerinden elde edilmiş ince bir kumaş sentetik kauçuk contaların güçlendirilmesinde kullanılabilir [9]. PEEK lifleri, iyi esnek yorulma dayanımları, kimyasallara ve yüksek sıcaklıklara karşı gösterdikleri kararlı yapıları sayesinde bu lifleri ihtiva eden malzemenin daha uzun ömürlü olmasını sağlamaktadırlar. Bununla birlikte, ağır kimyasalların bulunduğu ortamlarda kullanılacak borularda güçlendirme amaçlı kullanılabilen PEEK lifleri [15] aynı zamanda enjeksiyon kalıplarının ve püskürtme haddelerinin sıcak-temizlenmesinde kullanılan endüstriyel fırçalarda da kullanılabilir [50].

PEEK polimerinin ve PEEK polimerinden elde edilen lif başta olmak üzere çeşitli tekstil formlarının en geniş kullanım alanlarından biri de filtrelerdir. PEEK polimerinin öne çıkan performans özellikleri sayesinde oldukça zorlu ortamlarda (yüksek sıcaklık, ağır kimyasallar, vs.) kullanılan filtreler üretilebilmektedir. PEEK lifli filtrelerin yapısında, PEEK lifleri dokuma, dokusuz yüzey gibi kumaş formlarında da kullanılabilir gibi içi boş PEEK liflerinden üretilen membran yapılar şeklinde de bulunabilir. PEEK lifli filtreler genellikle kimyasal madde tozlarının suyunun uzaklaştırılmasında, sıcak gazların bulunduğu ortamlarda [50,64] (Şekil 7), yüksek basınçlı alanlarda [50,64] ya da baskı filtrelerinde kullanılabilir [8,50].

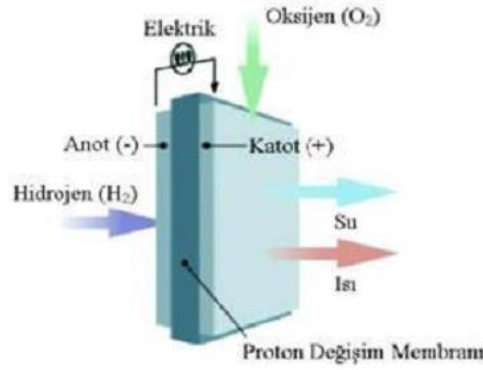


Şekil 7. İçin boş PEEK lifli membran yapılarının kullanıldığı gaz filtreleri [63].

PEEK liflerinin son yıllardaki bir diğer kullanım alanı da yakıt hücreleridir. Yeni nesil çevre dostu enerji üretim mekanizması olan yakıt hücreleri, yakıt enerjisini elektrokimyasal reaksiyon ile doğrudan elektrik enerjisine dönüştürme esasına dayanmaktadır. Bu yeni enerji üretim yöntemi bir cep telefonunun ihtiyacı karşılayacak kadar az ya da koskoca bir şehrin ihtiyacı kadar çok güç üretebilecek bir kapasiteye sahiptir [60,72] (Şekil). Sıradışı bir enerji üretim potansiyeline sahip bu mekanizmada kullanılan materyaller de yöntemin kendisi gibi üstün performans özelliklerine sahiptir. PEEK polimerinin popüler kullanım alanlarından biri yakıt hücreleridir. Tek başına ya da bazı yüksek performanslı polimerler ile karışım halinde kullanımları da bulunan PEEK polimerinin yakıt

Polieter Eter Keton (Peek) Lifleri

hücrelerinde proton değişim membranlar olarak kullanılabilirliğini araştıran çok sayıda çalışma mevcuttur [73,74].



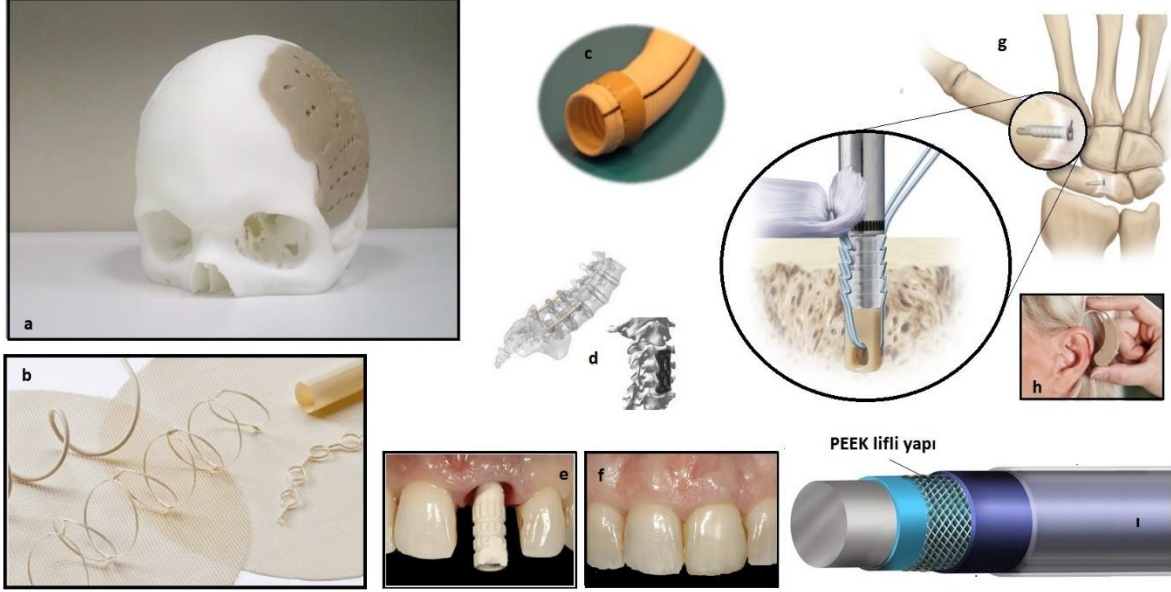
Şekil 8. Yakıt Hücresi [60,75].

4.5. Medikal teknik tekstiller

PEEK polimeri ve PEEK liflerinin bir diğer yaygın kullanım alanı da medikal teknik tekstillerdir [76] (Şekil). Biyouyumluluğu oldukça iyi olan ve artarda yapılan basınçlı kap sterilizasyonlarına karşı dayanıklı olan PEEK polimerinin ve bu polimerden üretilen PEEK liflerinin vücut içerisinde kullanılan çeşitli implantlar ve ameliyat aletleri gibi teknik tekstillerde kullanımına sıklıkla rastlanmaktadır [8,77]. Bu lifler aynı zamanda beta ve x ışınlarına karşı da dayanıklı olduğundan medikal teknik tekstiller için ideal bir hammadde haline gelmiştir [15].

Genellikle omurilik tedavisinde kullanılan implantlarda [78], güçlendirme uygulamalarında [79], ameliyatlarda kullanılan bezlerde/ipliklerde [80], kafa kemiklerinin dikişe benzer ek yerleri ve kemik bağ dokularında kullanılan bağlarda [81], sonda borularında [82] ve pinömatik cihazlarda kullanılan PEEK lifleri, bunlara ek olarak diş implantlarında da yaygın bir kullanıma sahiptir [43,83]. Ortopedik implantlarda karbon lifleri ile güçlendirilmiş PEEK kompozitler de kullanılabilir [62,76]. Bazı çalışmalarda da PEEK liflerinin mükemmel biyouyumluluğundan faydalanmak amacı ile karbon lifli malzemelerin üzerine PEEK lifli yapıların kılıf şeklinde kaplanarak kullanılabilirliği belirtilmektedir [29]. PEEK kaplamanın herhangi bir nedenle bozunması ve karbon liflerinin yüzeyde belirmesi halinde bu liflerin biyouyumluluğu olmadığından dokuyu hemen etkileyecektir [29].

PEEK, Osseo-integrasyon kapasitesi (canlı kemik ile yüklenmiş implant arasındaki yapısal ve işlevsel bağlantı [84]) sayesinde diş implantlarında kullanım için oldukça elverişli bir materyaldir [83]. Yerleştirilmesi kolay olan PEEK implantları ani yüklemeler altında oldukça iyi bir performans sergilemektedir. Estetik alanda kullanımı hem hekim hem de hasta için oldukça önemli avantajlara sahiptir [24]. Diş implantları arasında oldukça yaygın kullanılan bir başka materyal olan titanyum ile gerilim dağılımları karşılaştırıldığında iki malzemenin de bir biri üzerinde herhangi bir üstünlüğünün olmadığı gözlemlenmektedir. Ancak ulaşılabilir boyutların sınırlı olması ve azaltılmış radyo-opasitesi (oluşumların ve dokuların radyasyonu emme kapasitesi) kaygı yaratabilmektedir [83]. PEEK implantların genellikle birlikte kullanıldığı dokular kemik dokulardır ve kemik dokular vücut içerisinde en radyo-opak doku türleridir. Kemik dokuların radyolojik yöntemler ile görüntülenmesi oldukça kolay iken radyo-opaklığı az olan materyallerin görüntülenebilmesi için kontrast madde kullanımı zorunlu hale gelmektedir [85].



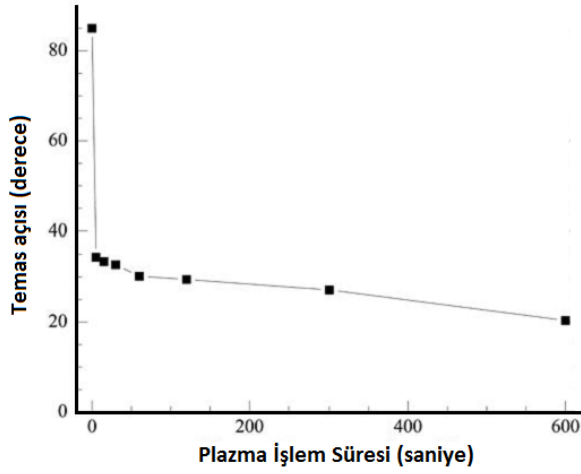
Şekil 9. a) Vücut içerisinde kemik yerine kullanılan PEEK implantlar [81], b) Çözümlü örme tekniği ile üretilmiş PEEK lifli ameliyat malzemeleri [80,86], c) PEEK lifli kan damarları [87], d) Omurların tedavisinde kullanılan PEEK implantlar [88,89], e-f) Diş implantları [90], g) Kas ve kemik dokuları sabitleyiciler [79], h) PEEK işitme cihazları [91], i) PEEK lifli sonda boruları [82].

5. PEEK LİFLERİNE UYGULANAN TERBİYE İŞLEMLERİ

Yüksek mukavemet özelliklerine ve üstün termal özelliklere sahip yüksek performanslı lifler genellikle kendi doğalarından gelen orijinal renkleri ile kullanılmaktadırlar. Çünkü çoğunlukla bu liflerin kimyasal yapısı boyarmadde molekülleri ile lif arasında bağ kurulmasına uygun değildir. Bu sebeple yüksek performanslı liflerde renklendirme işlemi lif çekimi öncesinde polimer çözeltisine pigment boyarmaddelerin ilavesi ile gerçekleştirilir. Yüksek termal özelliklere ve mukavemete sahip yüksek performanslı liflerden biri olan PEEK liflerinde de genellikle renklendirme işlemi, kütle boyama yöntemi ile organik ve inorganik pigmentler kullanılarak kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir [24]. PEEK liflerinin de aralarında bulunduğu aramid, PEN lifleri gibi ısı direnci yüksek sentetik liflerin boyanabilmesine yönelik bazı araştırmalar mevcuttur [92]. Bu araştırmalara göre, PEEK lifleri yüksek basınç ortamlarında çalışmaya uygun kapalı sistem boyama makinalarında 150C° ve daha yüksek sıcaklıklarda dispers boyarmaddeler ile boyanabilmektedirler [92].

PEEK lifleri sadece doğasından gelen tokluk, işlenebilirlik ve tekrar kullanılabilirlik gibi termoplastik özelliklere değil aynı zamanda iyi bir termal dayanıma, nem dayanımına ve çözümlere karşı düşük bir hassasiyete sahiptir. Ancak erime noktası yüksek olan bu liflerin ıslanabilirliği sınırlıdır [57]. Özellikle kompozit yapıların üretilmesi sırasında liflerin ıslanabilirliği büyük önem taşıdığından ya farklı lifler (Karbon lifleri [4,12,57], vb.) ile birlikte kullanılmakta ya da liflerin ıslanabilirliğini arttırmaya yönelik bazı ön işlemler (plazma modifikasyonu [57]) uygulanmaktadır. Her iki yöntemin kullanıldığı uygulamalara rastlamak da mümkündür [57]. Bu yöntemler sadece PEEK liflerinin ıslanabilirliğini değil aynı zamanda aşınma direncini geliştirmek için de uygulanabilmektedir. Mesela kompozit malzemelerde PEEK liflerinin Karbon lifleri ile birlikte kullanılması, kompozit yapının aşınma direncini ve darbe dayanımını arttırmaktadır [10,59]. Şekil 10'da N₂/O₂ plazma uygulanmış PEEK lifli yapının su damlası temas açısı değerleri verilmiştir. Plazma işlem süresi ile temas açısı arasındaki değişim

gösterilmektedir. 20 saniyelik işlem sonrasında PEEK lifli yüzeyin hidrofil bir karakter sergilediği gözlemlenmektedir [93,94].



Şekil 10. N₂/O₂ plazma uygulanmış PEEK lifli kompozit yapının su damlası temas açısı [93,94].

6. SONUÇ

Tekstil endüstrisi dünya ekonomisinin önde gelen kaynaklarından biridir. Sadece konvansiyonel tekstil üretimi ile değil son yılların yükselen değeri olan teknik tekstiller üretimi ile de dünya ekonomisine büyük katkılar sağlamaktadır. Aynı zamanda her geçen yıl yeni üretilen üstün performans özelliklerine sahip lifler ve bu liflerin özelliklerinden ilham alınarak geliştirilen yeni kullanım alanları sayesinde sadece tekstil değil birçok endüstriye de değer kazandırmaktadır. Hal böyle iken ülkemiz de başta olmak üzere birçok konvansiyonel tekstil üreticisi, her geçen gün daralan kâr payı ve artan rekabet ile üretimin sağlandığı konvansiyonel üretim yerine, katma değeri yüksek ürünler olan teknik tekstilleri üretmeyi tercih etmektedir. Bu noktada da araştırma ve geliştirme çalışmaları büyük önem kazanmaktadır. Teknik tekstillerin üretiminde kullanılan materyallerin genellikle üstün performans özelliklerine sahip hammaddeler olması maliyeti de arttırmaktadır. Bu sebeple hedeflenen ürün özelliklerine, en uygun maliyetle ulaşmak önemli bir parametre haline gelmektedir. Tüm bunların gerçekleştirilebilmesi için de teknik tekstillerde kullanılacak hammaddelerin özelliklerinin, üretim yöntemlerinin, kullanım alanlarının bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada yüksek performanslı lif pazarının öne çıkan lif tür türlerinden biri olan PEEK lifleri kapsamlı şekilde incelenmiştir. Sadece tekstil lifi olarak değil film, reçine, monofilament gibi farklı formlarda karşımıza çıkan PEEK polimeri, üstün performans özelliklerine sahiptir. Bu sayede, hem teknik tekstillerde hem de birçok farklı endüstri alanında geniş bir kullanım bulmaktadır. Kimyasallara, ısıya ve alev karşı dayanıklılığının yanı sıra biyoyumlu bir materyal olması, yapısında zararlı maddelerin bulunmaması, aşınmaya, sürtünmeye ve radyasyona karşı gösterdiği direnç sayesinde bugün teknik tekstiller endüstrisinin en yaygın kullanılan liflerinden biri haline gelmiştir ve gelecekteki kullanımını da bugünden garantilemektedir. Bu derleme çalışmasında hedeflenen; üstün performans özelliklerine sahip bu PEEK liflerinin yapısının, özelliklerinin ve kullanım alanlarının bilinirliğinin artırılması, yüksek performanslı liflerin teknik tekstillerdeki önemi konusunda bilinç kazandırmak ve Türkçe literatüre katkı sağlamaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Hearle, J.W. High-performance fibres, CRC Press, Cambridge,2001.
- [2] Eichhorn, S.J., Hearle, J.W.S., Jaffe, M., Kikutani, T. Handbook of textile fibre structure volume 2, Woodhead Publishing Limited, Cambridge,2009.
- [3] Ram, A. Fundamentals of polymer engineering, Springer Science & Business Media,2013.
- [4] Sperling, L.H. Introduction to physical polymer science, John Wiley & Sons,2005.
- [5] Nicholson, J.W. The chemistry of polymers, Royal Society of Chemistry, Cambridge,2012.
- [6] Lawrence, C. High performance textiles and their applications, Elsevier,2014.
- [7] Shekar, R.I., Kotresh T., Rao P., Kumar K. Properties of high modulus peek yarns for aerospace applications, Journal of Applied Polymer Science, 112, (4),2009, 2497-2510.
- [8] Bourbigot, S., Flambard X. Heat resistance and flammability of high performance fibres: A review, Fire and Materials, 26, (4-5),2002, 155-168.
- [9] Carraher Jr, C.E. Carraher's polymer chemistry, CRC Press,2013.
- [10] Meyers, R.A. Encyclopedia of physical science and technology, Academic Press, Orlando,1987.
- [11] Ebnesajjad, S., Khaladkar P.R. Fluoropolymer applications in the chemical processing industries: The definitive user's guide and databook, William Andrew,2004.
- [12] Crawford, R., Crawford R.J. Plastics engineering, Butterworth-Heinemann,1998.
- [13] Carraher Jr, C.E. Introduction to polymer chemistry, CRC press,2012.
- [14] Chanda, M., Roy S.K. Plastics fundamentals, properties, and testing, CRC Press, Florida,2010.
- [15] Performance fibers,
<http://www.performancefibers.com/PDFs/Europe/PF%20PEEK%20White%20Paper,%20Feb%202011.pdf>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [16] Van der Vegt, A. From polymers to plastics, Delf University Press, Delft,2006.
- [17] Seymour, R.B., Carraher C.E. Polymer chemistry, Marcel Dekker,1981.
- [18] Odian, G.G., Odian G. Principles of polymerization, Wiley-Interscience, New York,2004.
- [19] Polyether ether ketone (peek) market - global trends & forecasts to 2018,
<http://www.prnewswire.com/news-releases/polyether-ether-ketone-peek-market---global-trends--forecasts-to-2018-243930651.html>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [20] Scott, R.A. Textiles for protection, CRC Press, Cambridge,2005.
- [21] Glossary, C.T. Celanese acetate volume 10016, New York,2001, 63.
- [22] Gupta, V., Kothari V. Manufactured fibre technology, Chapman and Hall, London,1997.
- [23] Mukhopadhyay, S.K. High performance synthetic fibers for composites, National Academies Press, Washington, D.C.,1992.
- [24] Mikitaev, A.K., Ligidov M.K., Zaikov G.E. Polymers, polymer blends, polymer composites and filled polymers: Synthesis, properties and applications, Nova Publishers,2006.
- [25] McKeen, L.W. Fluorinated coatings and finishes handbook: The definitive user's guide, William Andrew,2006.
- [26] Richard A. Pethrick, Zaikov G.E., Pielichowski J. Monomers, oligomers, polymers, composites and nanocomposites research: Synthesis, properties and applications, Nova Science Publishers, Inc. , New York,2009.
- [27] Houcks, M.M. Identification of textile fibers, Woodhead Publishing Limited, Oxford,2009.
- [28] Mazumdar, S. Composites manufacturing: Materials, product, and process engineering, CRC press,2001.
- [29] Mortensen, A. Concise encyclopedia of composite materials, Elsevier, Amsterdam,2006.
- [30] Kelly, A., Zweben C.H. Comprehensive composite materials, Elsevier,2000.
- [31] Gao, S., Gao S., Xu B., Yu H. Effects of different ph-values on the nanomechanical surface properties of peek and cfr-peek compared to dental resin-based materials, Materials, 8, (8),2015, 4751-4767.
- [32] Crompton, T.R. Polymer reference book, iSmithers Rapra Publishing, Shropshire,2006.
- [33] Buckley, R.W. Polymer enhancement of technical textiles, Rapra Technology Limited,2003.
- [34] Messler, R.W. Joining of materials and structures: From pragmatic process to enabling technology, Elsevier Butterworth-Heinemann, Burlington, MA,2004.
- [35] Pohl, G. Textiles, polymers and composites for buildings, Elsevier,2010.

- [36] Alagirusamy, R., Das A. Technical textile yarns, Woodhead Publishing Limited, Cambridge,2010.
- [37] Callister, W.D., Rethwisch D.G. Fundamentals of materials science and engineering: An integrated approach, John Wiley & Sons,2012.
- [38] Mark, J.E. Physical properties of polymers handbook, Springer, New York,2007.
- [39] Stylios, G.K. International journal of clothing science and technology, IJCST, 136.
- [40] Shishoo, R. Textiles in sport, Woodhead Publishing Limited, Cambridge,2005.
- [41] Hearle, J.W., Morton W.E. Physical properties of textile fibres, CRC Press, Cambridge,2008.
- [42] Mera, H., Takata T. High-performance fibers, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry,1989.
- [43] High performance peek (polyetheretherketone) yarn and fibers, <http://www.swicofil.com/zyex.html>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [44] LI, M., ZHANG T. Flame-retardant properties of peek fabric, Journal of Textile Research, 1,2010, 019.
- [45] Miraftab, M. Fatigue failure of textile fibres, Elsevier,2009.
- [46] Morgan, P. Carbon fibers and their composites, CRC press,2005.
- [47] Eker, A.A. Plastik matrisli kompozitler, http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/imalattakompozit/Plastik_Matrisli_Kompozitler.pdf, Retrieved: Ağustos 2015.
- [48] Zor, M. Kompozit malzemelerle ilgili genel bilgiler, http://kisi.deu.edu.tr/~mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel_bilgiler.pdf, Retrieved: ağustos 2015.
- [49] Parry, D. Nrl licenses new polymer resin for commercial applications, <http://www.nrl.navy.mil/media/news-releases/2015/nrl-licenses-new-polymer-resin-for-commercial-applications#sthash.4z0xQRmM.dpuf>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [50] Zyex fibre endurance, <http://www.zyex.com/fibreendurance.html>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [51] Mattila, H.R. Intelligent textiles and clothing, Woodhead Publishing Limited, Cambridge,2006.
- [52] Rohs compliance faq, <http://www.rohscompliancedefinition.com/rohs-compliance-faq.html>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [53] Hu, J. 3-d fibrous assemblies: Properties, applications and modelling of three-dimensional textile structures, Elsevier,2008.
- [54] Hongu, T., Takigami M., Phillips G. New millennium fibers, Woodhead Publishing Limited, Cambridge,2005.
- [55] Ramakrishna, S., Fujihara K., Teo W.-E., Lim T.-C., Ma Z. An introduction to electrospinning and nanofibers, World Scientific Publishing Company, Singapore,2005.
- [56] Pastore, C., Kiekens P. Surface characteristics of fibers and textiles, CRC Press,2000.
- [57] Jang, J., Kim H. Improvement of carbon fiber/peek hybrid fabric composites using plasma treatment, Polymer composites, 18, (1),1997, 125-132.
- [58] Voss, H., Friedrich K. On the wear behaviour of short-fibre-reinforced peek composites, Wear, 116, (1),1987, 1-18.
- [59] Hanchi, J., Eiss Jr N.S. Dry sliding friction and wear of short carbon-fiber-reinforced polyetheretherketone (peek) at elevated temperatures, Wear, 203–204,1997, 380-386.
- [60] Kalaycı, E., Avinç O., Yavaş A. Polibenzimidazol (pbi) lifleri, Tekstil ve Mühendis, 21, (96),2014, 51-67.
- [61] Composites march to the beat of revolutionary concepts in approach to design, <https://essaycomposites.wordpress.com/category/aerospace/>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [62] Biron, M. Thermosets and composites: Technical information for plastics users, Elsevier Advanced Technology, Oxford,2003.
- [63] Custom gas treating systems, <http://ugs.solutions/products/custom-gas-treating-systems/>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [64] Mecit, D., Ilgaz S., Duran D., Başal D., Gülümser T., Tarakçıoğlu I. Teknik tekstiller ve kullanım alanları (bölüm 2), Tekstil ve Konfeksiyon, 17, (3),2007, 154-161.
- [65] Aydın, Ö., Günaydın G.K. Elektromanyetik kalkanlama amaçlı koruyucu tekstiller, Akdeniz Sanat Dergisi, 4, (7),2014.

- [66] Solid concepts adds high temperature peek to laser sintering materials portfolio, <http://www.medicalplasticsnews.com/technology/solid-concepts-adds-high-temperature-peek-to-laser-sintering/>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [67] The definitive guide to tennis racquets, <http://therevelationist.hubpages.com/hub/The-Definitive-Guide-to-Tennis-Racquets>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [68] Friedrich, K., Fakirov S., Zhang Z. Polymer composites: From nano-to macro-scale, Springer Science & Business Media,2005.
- [69] Majumdar, A. Soft computing in textile engineering, Elsevier,2010.
- [70] Hufenbach, W., Modler N., Winkler A. Sensitivity analysis for the manufacturing of thermoplastic e-preforms for active textile reinforced thermoplastic composites, *Procedia Materials Science*, 2,2013, 1-9.
- [71] Cranston, R.W., Kyrtzis I.L., Nichols L.V., O'shea M.S., Peeters G., Van Der Werff L.C. Composite sensor fibres and applications therefor, Google Patents, 2012.
- [72] Vielstich, W., Lamm A., Gasteiger H.A. Handbook of fuel cells, John Wiley & Sons, New York,2010.
- [73] Mittal, V. High performance polymers and engineering plastics, John Wiley & Sons, New Jersey,2011.
- [74] KICKELBICK, G. Hybrid materials: Synthesis, characterization, and applications, John Wiley & Sons,2007.
- [75] Hidrojen yakıt pili teknolojileri, <http://scelik.tr.gg>, Retrieved: Ağustos 2014
- [76] Bartels, V. Handbook of medical textiles, Elsevier,2011.
- [77] Jockisch, K., Brown S., Bauer T., Merritt K. Biological response to chopped-carbon-fiber-reinforced peek, *Journal of biomedical materials research*, 26, (2),1992, 133-146.
- [78] Chan, F.W., Coleman J.C., Murrell B., Nockels R.P., Taylor B.A., Lanman T.H., Ochoa J.A. Biomechanical assessment of a peek rod system for semi-rigid fixation of lumbar fusion constructs.
- [79] Knotless suture anchors, <http://www.arthrex.com/hand-wrist/knotless-suture-anchors>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [80] Schmieding, J.W., Schanville T.L. Suture with filaments formed of polyether-ketone variant, Google Patents, 2012.
- [81] Fda approves first ever additively manufactured long term plastic implant, <http://www.medicalplasticsnews.com/medical-devices/FDA-Approves-First-Ever-Additively-Manufactured-Long-Term-Plastic-Implant/>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [82] Catheter componentry, <http://www.zeusinc.com/industries/medical>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [83] Marya, K., Dua J., Chawla S., Sonoo P.R., Aggarwal A., Singh V. Polyetheretherketone (peek) dental implants: A case for immediate loading, *International Journal of Oral Implantology and Clinical Research*, 2, (2),2011, 97-103.
- [84] Çayır, F., Osseointegrasyon, Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş ve Çene Hastalıkları Cerrahisi Anabilim Dalı, Ege Üniversitesi, İzmir, 2011.
- [85] Radyoopasite, <http://www.saglikkitabi.org/radyoopasite>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [86] Andersson, C. Soft power: How biomedical textiles are driving innovation in orthopaedics, <http://www.emdt.co.uk/article/soft-power-how-biomedical-textiles-are-driving-innovation-orthopaedics>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [87] Peek improves performance of anastomotic device, <http://www.emdt.co.uk/article/anastomotic-device>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [88] Kurtz, S.M. Implantable peek polymers: A decade of progress in spine http://www.odtmag.com/contents/view_features/2010-02-11/implantable-peek-polymers--a-decade-of-progre, Retrieved: Ağustos 2015.
- [89] Carbon fibre-reinforced peek for cervical plate implant, http://www.composites.ugent.be/home_made_composites/composites_in_daily_life.html, Retrieved: Ağustos 2015.
- [90] Chu, S.J., Salama M.A., Salama H., Garber D., Saito H., Sarnachiaro G., Tarnow D. The dual-zone therapeutic concept of managing immediate implant placement and provisional restoration in anterior extraction sockets, *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ: 1995)*, 33, (7),2011, 524-532, 534.

Polieter Eter Keton (Peek) Lifleri

- [91] Peek for medical devices, <http://medical.vestakeep.com/product/medical/en/applications/Pages/PEEK%20for%20Medical%20Devices.aspx>, Retrieved: Ağustos 2015.
- [92] Kobayashi, S., Okamoto T. Method of dyeing a high heat-resistant synthetic fiber material, Google Patents, 1995.
- [93] Ha, S.-W., Kirch M., Birchler F., Eckert K.-L., Mayer J., Wintermantel E., Sittig C., Pfund-Klingenfuss I., Textor M., Spencer N. Surface activation of polyetheretherketone (peek) and formation of calcium phosphate coatings by precipitation, *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 8, (11),1997, 683-690.
- [94] Using plasma treatment for surface activation, <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=10904>, Retrieved: Ağustos 2015.