



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİESTER ÖRME KUMAŞIN GÜÇ TUTUŞURLUK
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

KONCA ÇELEBİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2009



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİESTER ÖRME KUMAŞIN GÜÇ TUTUŞURLUK
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

KONCA ÇELEBİ

Doç. Dr. Dilek Toprakkaya Kut
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2009

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİESTER ÖRME KUMAŞIN GÜÇ TUTUŞURLUK DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ

KONCA ÇELEBİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

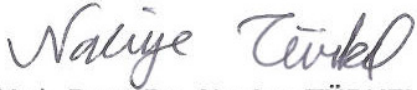
Bu tez 02/09/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/ ~~oy~~
~~çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.



Doç.Dr. Dilek KUT
(Danışman)



Yrd. Doç. Dr. Yasemin KAVUŞTURAN



Yrd. Doç. Dr. Naciye TÜRKEL

ÖZET

Sanayileşme ile birlikte insanların güvenliği önemli bir konu haline gelmiştir. Endüstriyel tekstil sanayinin gelişmekte olan bölümü lifler, kumaşlar ve koruyucu giysilerde yeni gelişmeleri kapsamaktadır. Güç tutuşur tekstil üretim teknolojisi; çevre dostu ve toksik olmayan aynı zamanda tekstillerin konfor özelliğini tamamlayıcı güç tutuşurluk sistemlerinin üretilmesi şeklinde olmaktadır.

Bu çalışmada; % 100 poliester yuvarlak örme kumaşlarda güç tutuşurluk davranışının polimerizasyon adımıda fosfor içeren komonomer ile polimere dolayısıyla ipliğe ve fosfor türevi bileşik ile apre işlemleriyle kumaşa kazandırılması arasındaki etkenlik farkı, boyanma davranışı farklılığı incelenmiş ve plazma uygulamasıyla akrilik asit monomeri kullanılarak yapılan hidrofilleştirme işleminin güç tutuşur kumaşların boyanma özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla eriyikten (polimerden) katkılı güç tutuşur poliester ipliklerle ve katkısız (güç tutuşur olmayan) poliester ipliklerle yuvarlak örme kumaşlar üretilmiştir. Katkısız ipliklerle örülen kumaşa apre işlemleriyle güç tutuşurluk özelliği kazandırılmıştır. Apre işlemi görmüş ve eriyikten katkılı ipliklerden oluşan güç tutuşur kumaşlara LF (Low frequency, düşük frekans) plazma yöntemi ile hidrofilleştirme işlemi yapılarak boyanma davranışları karşılaştırılmıştır.

Kumaşların güç tutuşurluk davranışları, Fransız NF P 92 503-507 ve IMO (International Maritime Organization) FTP Code Part 7 test standartlarına göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçlarına göre, polimerden katkılı güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaşların güç tutuşurluk özelliklerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Kumaşların plazma destekli hidrofilleştirme işlemi öncesinde ve sonrasındaki boyanma davranışlarının karşılaştırılması için spektrofotometrede renk ölçümleri yapılmıştır.

Güç tutuşur poliester kumaşların yüzey karakterizasyonları için FT-IR (fourier transform infrared) analizleri yapılmıştır. Ayrıca kumaşların stereomikroskop görüntüleri çekilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Poliester, güç tutuşurluk, fosfor, plazma uygulaması, akrilik asit, hidrofilleştirme, Fransız NP F 92 503-507 test standardı, IMO FTP Code Part 7 test standardı.

ABSTRACT

Together with the industrialization, the safety of human turned into an important subject. The developing field of textile industry includes new developments in fibers, fabrics and protective clothes. Flame retardant textiles manufacture technology produces environmentalist, non-toxic and comfort implementing flame retardant systems.

In this study; flame retardancy properties of 100 % polyester circular knitting fabrics were investigated. Two different ways were used to make the polyester fabrics flame retardant:

1. Flame retardancy property was given to the polymer (so to the yarn) during polymerization using phosphor comonomer.
2. Flame retardancy property was given to the fabric through finishing process using phosphor derivatives.

The effectiveness and dyeabilities of fabrics of two different methods were investigated. Also LF (low frequency) plasma-aided hydrophilic finishing was executed with acrylic acid monomer in order to see the effects of it on flame retardant polyester fabrics.

Flame retardancy behaviour of fabrics were tested according to French NF P 92 503-507 testing standard and IMO (International Maritime Organization) FTP Code Part 7 testing standard. Color measurements of fabrics were executed with spectrophotometer before and after plasma-aided hydrophilic finishing in order to compare the dyeability improvements of flame retardant fabrics through hydrophilic finishing. Surface characterization of flame retardant polyester fabrics was executed through FT-IR (fourier transform infrared) spectroscopy and stereomicroscope pictures of fabrics were taken.

Keywords: Polyester, flame retardancy, phosphor, plasma application, acrylic acid, hydrophilic finishing, French NF P 92 503-507 testing standard, IMO FTP Code Part 7 testing standard.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAY SAYFASI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
GİRİŞ	1
1.KAYNAK ÖZETLERİ	4
1.1. Literatür Araştırması	4
1.2. Poliester	8
1.2.1. Poliester hakkında kısa tarihçe	10
1.2.2. Poliester elyaf üretimi	10
1.2.2.1. Poliesterin temel özellikleri	11
1.2.3. Poliester için hammaddeler	14
1.2.3.1. Teraftalik asit üretimi	14
1.2.3.2. Etilen glikol üretimi	17
1.2.4. Poliester üretiminin kimyasal yönü	18
1.2.4.1. Esterleşme	18
1.2.4.2. Polikondensasyon	19
1.2.5. Poliester üretim prosesleri ve tesisleri	21
1.2.5.1. Kesikli poliester üretim prosesi	21
1.2.5.2. Sürekli polikondensasyon	21
1.2.5.3. Katı hal polikondensasyonu	22
1.3. Güç Tutuşurluk	22
1.3.1. Yanma mekanizması	23
1.3.1.1. Polimerlerin yanması	24
1.3.1.2. Polimerlerin yanmayı önleme mekanizması	26

1.3.2. Yanma önleyiciler	27
1.3.2.1. Fosfor bazlı yanma önleyiciler	27
1.3.2.2. Silikon bazlı yanma önleyiciler	29
1.3.2.3. Bor bazlı yanma önleyiciler	30
1.3.2.4. Azot bazlı yanma önleyiciler	31
1.3.2.5. Karışık elementler	32
1.3.2.6. Alev geciktirici lifler	33
1.3.2.7. Güç tutuşur poliestere lifleri	35
1.3.3. Güç tutuşurluk bitim işlemi	35
1.3.4. Güç tutuşurluk özelliğinin test edilmesinde kullanılan yöntemler	36
1.4. Plazma Teknolojisi	38
1.4.1. Plazmanın tanımı	38
1.4.2. Plazma teknolojisinin kullanım alanları	39
1.4.3. Plazma teknolojisinin sınıflandırılması	39
1.4.4. Plazma yüzey etkileşimi	42
1.4.5. Plazma türleri	42
1.4.5.1. Glow deşarj (Isı boşalımı)	43
1.4.5.2. Dielektrik deşarj	43
1.4.5.3. Korona deşarj (Işık boşalımı)	44
1.4.6. Plazma işlemine etki eden parametreler	45
1.4.6.1. Cihaz parametreleri	45
1.4.6.2. İşlem parametreleri	46
1.4.7. Plazma işlemi sonucunda elde edilen yüzey modifikasyonları	49
1.4.8. Plazma uygulamalarının etkisinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler	49
2. MATERYAL VE YÖNTEM	50
2.1. Materyal	50
2.2. Yöntem	50
2.2.1. Örme kumaşlara uygulanan testler	54
2.2.1.1. Fransız NF P 92 503-507 test standardına göre güç tutuşurluk testi	54
2.2.1.2. IMO FTP Code Part 7 test standardına göre güç tutuşurluk testi	56
2.2.1.3. Emicilik testi	56

2.2.2. Renk ölçümleri	57
2.2.3. FT-IR analizleri	58
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI	59
3.1. Güç Tutuşurluk Test Sonuçları	59
3.1.1. Fransız NF P 92 503-507 test standardı	59
3.1.2. IMO FTP Code Part 7 test standardı	59
3.2. Emicilik Testi Sonuçları	61
3.3. Renk Ölçüm Sonuçları	62
3.4. FT-IR Analizi Sonuçları	68
3.5. Stereomikroskop Görüntüleri	70
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	72
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	83
TEŞEKKÜR	84

KISALTMALAR DİZİNİ

AB	—	Avrupa Birliği
AC	—	Alternatif akım
AFM	—	Atomik kuvvet mikroskobu (Atomik force microscope)
BISFA	—	Uluslar arası Sentetik Lif Standardizasyon BÜrosu
DBD	—	Dielektrik bariyer deşarj
DC	—	Doğru akım
DGT	—	Diglikol teraftalat
DMT	—	Dimetil teraftalat
EG	—	Etilen glikol
ESCA	—	Kimyasal analiz için elektron mikroskobu (Electron spectroscopy for chemical analysis)
FT-IR	—	FT-IR spektroskopi (Fourier transform infrared)
I.V.	—	Intrinsik viskozite
LOI	—	Sınırlayıcı oksijen indeksi (Limited oxygen index)
MEG	—	Monoetilen glikol
MW	—	Mikrodalga frekansı
NSF	—	Kesintisiz polimer filtresi (Non-stop polymer filter)
PBT	—	Polibütillen teraftalat
PEN	—	Polietilen naftalat
PES	—	Poliester
PET	—	Polietilen teraftalat
POY	—	Kısmen oryante olmuş iplik (partly oriented yarn)
PTA	—	Saf teraftalik asit
PTT	—	Politrimetilen teraftalat
PU	—	Poliüretan
RF	—	Radyo frekansı
SEM	—	Taramalı elektron mikroskobu (Scanning electron microscope)
SSP	—	Katı hal polikondensasyonu (Solid state polycondensation)

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Bazı lifler için mukavemet değerleri	11
Çizelge 1.2. Poliester elyafın önemli fiziksel özellikleri	13
Çizelge 1.3. Poliester elyafın kimyasal dayanımı	14
Çizelge 1.4. Bazı güç tutuşurluk maddeleri ve kullanıldıkları lifler	33
Çizelge 1.5. Bazı tekstil liflerinin termal özellikleri	34
Çizelge 1.6. Güç tutuşurluk test standartları	36
Çizelge 1.7. Bağlanma enerjileri	41
Çizelge 1.8. Plazma işlemine etki eden parametreler	48
Çizelge 2.1. Deney numunelerinin sınıflandırılması	51
Çizelge 2.2. Fransız test standardına göre numunelerin sınıflandırılması	55
Çizelge 3.1. Güç tutuşurluk testi sonuçları	59
Çizelge 3.2. IMO testi sonuçları	60
Çizelge 3.3. Beş yıkama sonrası IMO testi sonuçları	61
Çizelge 3.4. Emicilik testi sonuçları	62
Çizelge 3.5. Plazma işlemi öncesi ve sonrası kumaş numunelerine ait renk ölçüm farkları	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Yıllara göre Dünyadaki poliester elyaf arzı ve tüketimi	9
Şekil 1.2. p-ksilenin oluşturulması	15
Şekil 1.3 PTA ve DMT'nin oluşumu	15
Şekil 1.4. DMT üretimi için reaksiyon şemaları	16
Şekil 1.5. Etilen glikol eldesi	17
Şekil 1.6. Esterleşme reaksiyonu	18
Şekil 1.7. Polikondensasyon reaksiyonu	19
Şekil 1.8. Polikondensasyon reaksiyonu sırasında yan reaksiyonla oluşan ürünler	20
Şekil 1.9. Sıcaklık artışı ile maddenin hal değişimi	38
Şekil 1.10.Argon gazının glow deşarj altında gerçekleşen plazma hali	43
Şekil 1.11.Dielektrik bariyer deşarj (DBD)	44
Şekil 2.1. Deney numunelerine uygulanan boyama proses şartları	52
Şekil 2.2. Pico LF (Diener Electronic) plazma aplikasyon cihazı	53
Şekil 2.3. Plazma aplikasyonu yöntemi: Akrilik asit monomeri ile hidrofilleştirme işlemi	54
Şekil 3.1. Plazma işlemi öncesi poliester kumaşların reflektans eğrileri	63
Şekil 3.2. Işık dalga boyuna göre renk spektrumu	64
Şekil 3.3. Plazma işlemi öncesi poliester kumaşların renk ölçümleri	64
Şekil 3.4. Plazma işlemi öncesi ve sonrası poliester kumaşların karşılaştırmalı reflektans eğrileri	65
Şekil 3.5. Plazma işlemi öncesi ve sonrası poliester kumaşların karşılaştırmalı K/S değerleri	67
Şekil 3.6. Güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaşın FT-IR analizi	69
Şekil 3.7. Güç tutuşur apre yapılmış poliester kumaşın FT-IR analizi	70

Şekil 3.8. Standart poliester kumaşın plazma işlemi öncesi ve sonrası stereomikroskop görüntüleri (21,0x büyütme) 71

Şekil 3.9. Güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaşın plazma işlemi öncesi ve sonrası stereomikroskop görüntüleri (54,2x büyütme) 71

GİRİŞ

Günlük hayatımızda kullandığımız araç gereçler, giysiler, ulaşım araçlarının üretiminde kullanılan malzemeler, yaşadığımız ortamdaki eşyalar, günlük hayatımıza bir şekilde giren başta tekstil ürünleri olmak üzere çeşitli malzemeler uygun şartlar altında yanmaya eğilimlidir.

Günlük yaşamda; otomotiv, uzay ve havacılık alanlarında meydana gelen kazalar ile ev kazaları sonucunda çıkan yangınların sebep olduğu can ve mal kayıpları, sözü edilen malzemelerin kullanımında yeni kriterlerin ve yaptırımların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Konulan kurallar ve sınırlamalar ise, günlük hayata giren tekstil ürünlerinden modern ulaşım araçlarında kullanılan plastik malzemelere kadar, doğal veya sentetik malzemelerin yanmaya dayanıklı hale getirilmesi amacıyla yoğun bilimsel ve teknolojik araştırmalar yapılmasına yol açmıştır.

Yanmazlık ve güç tutuşurluk özelliğinin gerekli olduğu büyük pazarların en önemli üçü; inşaat, elektrik/elektronik elemanları ve nakliye ile ilgili endüstrilerdir. Alev geciktirici malzemelerin ev için kullanılması konusundaki gelişmeler, tüketicilerin güvenlik konusunda bilinçlenmesi ve çevresel yayınlar sayesinde olmuştur. Sürekli değişen düzenlemeler, standartlar ve test metotlarına karşılık yeni yanmazlık sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir [Kısakürek 2003].

Güç tutuşma özelliğine sahip ürünlerin kullanımının ya da diğer bir deyişle kullanılan ürünlere güç tutuşurluk sağlanması gerektiğinin farkına varılmasının yaklaşık 400 yıllık bir geçmişe sahip olduğu görülmektedir. Şöyle ki; Paris tiyatrolarında güç tutuştuğu ifade edilen kanvaslar (1638 yılı) ve Oxford'da raporlanan "Tutuşmayan Giysi" (1684 yılı) bu konuda kaydedilmiş olan en eski örnekler olarak karşımıza çıkmaktadır [Raether ve ark. 1988]. Günümüzde ise sadece tiyatrolarda kullanılan perdeler ya da giysiler değil, neredeyse her ürün için güç tutuşurluk özelliğinin kazandırılması gerektiği ve bu yönde yoğun Ar-Ge çalışmalarının yapılmakta olduğu görülmektedir.

Tekstil ürünleri insan yaşamındaki gereksinimler arasında yiyeceklerden sonra ikinci sırada yer alan, en yakınımızda, en çok bulunan ve büyük çoğunluğu organik yapıda olan ihtiyaç maddeleridir. Organik esaslı bu maddeler genelde iyi derecede yanıcı özelliklere sahiptirler. Bir yangın anında bu ürünlerin gösterdikleri yanma davranışları, yanma sırasında açığa çıkan gazların yapısı, insan yaşamını yakından ilgilendiren hususlardır. Güç tutuşurluk işleminde asıl amaç bir yangın tehlikesinde, öncelikle can ve mal güvenliğinin korunmasıdır. Bunun yanında birçok alanda güç tutuşur tekstil ürünlerinin kullanımı söz konusudur. Örneğin askeriyenin her alanında kullanılan tekstil ürünleri; her türlü perdelik ve döşemelik kumaşlar, yer döşemeleri, halılar; itfaiyeci, pilot, yüksek fırın işçilerinin giysileri; tüm taşıt araçlarının ve topluma açık sinema, tiyatro, müze, hastane, huzur evi ve okullardaki tekstil ürünlerinin güç tutuşur olmalarında büyük fayda vardır [Çoban 1999].

Son yıllarda tekstil sanayi hem ekonomik, hem de teknolojik yönden hızla gelişmeye başlamıştır. Doğal hammadde olan ipek, yün, pamuk vb. insanların her gün artan ihtiyaçlarını ve taleplerini karşılayamamaktadır. Bu sebepten dolayı daha ucuz maliyetli olan suni ve sentetik hammaddeler kullanılmaya başlanmıştır. Tekstil sanayi büyüklük yönünden gıda sanayinden sonra ikinci sırayı almaktadır. Kimyasal elyaf çeşitli kullanım alanlarına ve özelliklerine sahip olduğundan çok yaygın olarak üretilmektedir [Kurbanlı 1998].

Günlük yaşantıda nerede olursak olalım (ev, okul, işyeri veya ulaşım araçları) çevremizde bulunan eşya veya makinelerden can ve mal güvenliği açısından beklenen en önemli özellik herhangi bir nedenle alev maruz kalındığında tutuşmama özelliği göstermeleridir. Gelişen teknoloji ve sanayileşmenin artması, nüfusun giderek çoğalmasına paralel olarak toplu yerleşim bölgelerin fazlalaşması, yangın riskinin ve buna bağlı olarak yangının maddi ve manevi zararlarının artmasına neden olmaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde ve diğer gelişmiş ülkelerde meydana gelen yangın sayısı, ülkemizde meydana gelen yangın sayısına oranla fazladır. Örnek olarak İstanbul'da yılda 15.000 civarı yangın meydana gelirken Avrupa'nın önemli şehirlerinde bu sayı 50.000 civarındadır. Ancak buna rağmen ortaya çıkan maddi ve manevi zarar ülkemize göre çok azdır. Bunun en önemli sebebi yangını önleyici ve yayılmasını engelleyici tedbirlerin alınmış olması, bireylerin yangın konusunda daha bilinçli olmalarıdır. [http://www.izoder.org.tr/yanginyalitimi/genel/YANGIN%20YALITIMI_GIRIS.pdf, 2009].

Bu nedenle yangın güvenliği, pek çok farklı disiplin ve endüstri kollarında son yıllarda artan bir önem arz etmektedir. Alev maruz kalınması durumunda kullanılmak üzere duman ve ısı dedektörleri, su püskürtme sistemleri ve daha başka erken uyarı sistemleri geliştirilmektedir. Fakat tüm sistemler, bu ortamlarda bulunan malzemelerin güç tutuşurluk kazandırılmış malzemeler olması ile daha verimli hale gelebileceklerdir.

Bu çalışmada; % 100 poliester yuvarlak örme kumaşlarda güç tutuşurluk davranışının polimerizasyon adımında fosfor içeren komonomer ile polimere dolayısıyla ipliğe ve fosfor türevi bileşik ile apre işleminde kumaşa kazandırılması arasındaki etkenlik farkı, boyanma davranışı farklılığı incelenmiş ve plazma aplikasyonu ile akrilik asit monomeri kullanılarak yapılan hidrofilleştirme işleminin güç tutuşur kumaşların boyanma özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla eriyikten (polimerden) katkılı güç tutuşur poliester ipliklerle ve katkısız (güç tutuşur olmayan) poliester ipliklerle yuvarlak örme kumaşlar yaptırılmıştır. Katkısız ipliklerle örülen kumaşa apre işleminde güç tutuşurluk özelliği kazandırılmıştır. Apre işlemi görmüş ve eriyikten katkılı ipliklerden oluşan güç tutuşur kumaşlara LF (Low frequency, düşük frekans) plazma yöntemi ile hidrofilleştirme işlemi yapılarak boyanma davranışları karşılaştırılmıştır.

Kumaşların güç tutuşurluk davranışları, Fransız NF P 92 503-507 ve IMO (International Maritime Organization) FTP Code Part 7 test standartlarına göre test edilmiştir. Elde edilen test sonuçlarına göre, polimerden katkılı güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaşların güç tutuşurluk özelliklerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Kumaşların plazma destekli hidrofilleştirme işlemi öncesinde ve sonrasındaki boyanma davranışlarının karşılaştırılması için spektrofotometrede renk ölçümleri yapılmıştır.

Güç tutuşur poliester kumaşların yüzey karakterizasyonları için FT-IR (fourier transform infrared) analizleri yapılmıştır. Ayrıca kumaşların stereomikroskop görüntüleri çekilmiştir.

1. KAYNAK ÖZETLERİ

1.1. Literatür Araştırması

Yapılan araştırma ve incelemeler sonucu dünya pazarı açısından güç tutuşurluk özelliğinin tekstil malzemeleri için aranan başlıca özelliklerden biri olmaya başladığı, bu alanda oldukça fazla çalışmanın yapıldığı görülmüştür.

D. Gopalakrishnan [2009] koruyucu tekstillerle ilgili bir makalesinde, koruyucu tekstiller pazarının yenilikçi ürünlere açık olduğundan bahsetmiştir. Makalede, pazarın oldukça kırılgan ve karışık olduğundan bahsedilmiş ve gelişimin uzun zaman aldığı ve pahalıya mal olduğu üzerinde durulmuştur. D. Gopalakrishnan, ayrıca sağlık ve güvenlik sektörünün oldukça önemli olduğu günümüzde yenilikleri yakalamanın ve en iyi ürünü üretmenin oldukça önem kazandığını vurgulamıştır.

S. M. Mostashari ve **S. Z. Mostashari** [2008] amonyum klorürün % 100 poliester kumaşlar üzerindeki güç tutuşurluk etkisini incelemiştir. Uygun konsantrasyondaki amonyum klorür çözeltisiyle muamele edilip kurutulan kumaşlar dikey alev yayılma testinden önce kondisyonlanmıştır. Güç tutuşurluk özelliğinin kazandırılması amacıyla 100 gram kumaş için 20,21-21,87 g susuz amonyum klorürün gerekli olduğu tespit edilmiştir. Bitim işlemi görmüş kumaşlardaki tuz miktarının tespitinde ise Mohr analitik test metodu kullanılmıştır.

Son yıllarda ticari güç tutuşur poliester liflerinin büyük çoğunluğunun fosfor komonomeri kullanılarak üretildiğini belirten **Seung-Cheol Yang** ve **Jae Pil Kim** [2008] yaptıkları çalışmada bu liflerin fiziksel özelliklerini, boyanabilirliklerini ve güç tutuşurluk özelliklerini incelemişler ve liflerin fiziksel özelliklerinin tekstil uygulamaları için uygun olduğunu görmüşlerdir. Ancak boya adsorbsiyon oranının, fosfor komonomeri ana zincirde olduğu zaman, oldukça yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bu camsı geçiş sıcaklığı ile analiz edilebilen yüksek zincir hareketliliğinden kaynaklanmaktadır. Ana zincirinde fosfor içeren poliester liflerde, daha düşük sıcaklıkta boya adsorbsiyonu başlamakta ve bu lifler daha kısa sürede doygunluk sınırına ulaşmaktadır. Ayrıca asit ve alkali çözeltilere yüksek sıcaklıklarda dayanımları da boya adsorbsiyonu ile aynı eğilime sahip olmaktadır. Boyarmadde ve kimyasalların polimer zinciri içine migrasyonu zincir hareketliliği ile iyi bir

korelasyon içinde olmaktadır. **Seung-Cheol Yang** ve **Jae Pil Kim** de fosfor komonomeri ana zincirde bulunan poliester liflerin, fosfor komonomeri yan dallarda bulunan poliester liflerden daha iyi güç tutuşur özelliklere sahip olduğunu, bunun yan dallarda bulunan fosforun polifosforik aside hızlı degradasyonu nedeniyle olabileceğini belirtmişlerdir.

Guang-Chuan Zhang ve **Xian-Mi Liu** [2007], güç tutuşur poliester cipslerinden iplik çekilmesi üzerine bir çalışma yapmışlar ve modifiye edilmiş cipslerin çekilebilirliklerinin iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Çekim ve tekstüre parametrelerinin ayarlanması ile yüksek kalitede tekstüre ipliklerin elde edilebildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca yaptıkları çalışma ile elde ettikleri poliester ipliklerin LOI (limit oksijen indeksi) değerinin % 34 olduğunu, mekanik özelliklerinin ve boyanma davranışlarının iyi olduğunu görmüşlerdir.

D. Saihi ve ark. [2006] ise yaptıkları çalışmada, poliüretan ve fosfat kombinasyonunda fosfatın migrasyonu nedeniyle kalıcı olmayan güç tutuşurluk etkisini mikrokapsül yöntemiyle kalıcı hale getirmeyi başarmışlardır.

T.M. Kotresh ve ark. [2006], kumaş gramajı 350 ile 550 g/m² arasında değişen ticari güç tutuşur poliester perde kumaşlarının yanma davranışlarını kone kalorimetre kullanarak incelemişlerdir. Kumaşların metrekaare ağırlıklarının ısı salınım oranında meydana gelen piklere, ısı salınım oranına, duman salınımına ve diğer parametrelere etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Kapalı alanlarda kullanılacak kumaşlar için yanma sırasındaki oksijen tüketiminin belirtilmesinin önemli olduğunu da vurgulamışlardır.

Sergei V. Levchik ve **Edward D. Weil** [2006], fosfor bazlı güç tutuşurluk kimyasallarındaki son gelişmeleri anlatan bir çalışma hazırlamışlardır. Bu çalışmada halojen içermeyen güç tutuşurluk kimyasallarının giderek önem kazandığını ve bunların içinde de fosfor bazlı olanların; termal kararlılıklarının daha iyi olması, daha etkin olmaları ve buharlaşmalarının daha düşük olması nedeniyle daha geniş kullanım alanı bulduklarını belirtmişlerdir. Ayrıca pentabromodifenil eterin Avrupada yasaklanmasıyla birlikte poliüretan endüstrisinin daha çevreci olan fosfor içeren kimyasalları tercih etmeye başladığını da vurgulamışlardır.

Huriser Balcı'ya ait yüksek lisans tez çalışmasında [2006] akıllı lif ve kumaş teknolojilerinden bahsedilmiş, kendiliğinden güç tutuşur lifler ve güç tutuşurluk apre

işlemleri hakkında bilgi verilmiştir. Tekstil materyallerine güç tutuşurluk özelliğinin kazandırılması için yapılan kimyasal modifikasyon işleminin, üretimin çeşitli aşamalarında uygulanabilmekte olduğundan, hem fosfor içeren hem de brom içeren güç tutuşurluk maddelerinin ise poliester üzerinde etkili olduğundan sözü edilmektedir. Çalışma şekilleri ve özellikleri farklı çok çeşitli güç tutuşur apre malzemelerinin mevcut olduğunu, uygulanmalarda önemli olanın elyaf cinsi, elyaf kompozisyonu ve oranları, tekstil materyalinin kullanım alanları ve tekstil materyaline uygulanacak test metodları ve güç tutuşur apre uygulama metodları olduğu belirtilmiştir.

Stephane Girauda ve ark. [2005] çalışmasında ise polieter poliüretan ve poliester poliüretanla mikrokapsüllenmiş diamonyum hidrojen fosfat ile tekstil ürünleri için güç tutuşur poliüre kaplaması yapılmıştır. Güç tutuşurluk etkisinin kalıcı olması için güç tutuşurluk maddesi kapsüllenmiştir. Poliester- poliüretan ile kapsüllenmiş kaplamaların güç tutuşurluk testleri sırasında daha az duman ve CO oluşturduğu tespit edilmiştir.

Gülay Özcan ve ark. [2002] ise yumuşatıcıların örme kumaşların güç tutuşurluk özelliği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, ağartma ve boyama sonrası kumaşların tutumunu, dikiş kolaylığını ve esnekliğini arttırmak üzere kullanılan yumuşatıcıların örme kumaşın yanma davranışını nasıl etkilediğini incelemek amacıyla amfoterik, katyonik ve nanyonik karakterli silikon ve yumuşatıcıların her biri beş değişik konsantrasyonda pamuklu süprem kumaşlara uygulanmış ve yanma davranışları BS 5438 dikey yanma testine göre değerlendirilmiştir. Genel olarak yumuşatıcı kullanımının kumaş yanıcılığını önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür.

Tekstil materyallerine fonksiyonel özellikler kazandırmaya yönelik yeni sayılabilecek teknolojik gelişmelerden biri olan plazma aplikasyonu yöntemini ile ilgili olarak da çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Tekstil endüstrisinde, filtrasyondan kompozitlere doku mühendisliğinden elektronik tekstillere kadar çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılan PET (polietilen teraftalat) liflerinin yüzey özellikleri kullanıldıkları bu alanlarda önem teşkil etmektedir. **Qufu Wei** ve ark. [2007] farklı yöntemlerle yüzey özellikleri modifiye edilebilen PET liflerinin, oksijen plazma ile işlemi sonucunda ıslanabilirliklerindeki iyileşmeyi incelemişler, dinamik ıslanabilme kabiliyetini de AFM

(atomik kuvvet mikroskobu) ve XPS (X-ray fotoelektron spektroskopisi) ile karakterize etmişlerdir. AFM ile plazma işleminin lif yüzeyini düzgünlüştürdüğünü (pürüzlü hale getirdiğini), ve XPS ile de yüzeyde oluşan fonksiyonel grupları tespit etmişlerdir.

Shen Li ve **Dai Jinjin** [2007], yaptıkları çalışmada ipekli ve pamuklu kumaşlara farklı deneysel şartlar altında hegzaflopropan (C_3F_6) atmosferinde plazma uygulaması yapmışlardır. İşlem görmüş kumaşların X ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ile flor atomlarının % 50'sinin kumaşların yüzeyine yerleştiği ve yüzeylerde $-CF$, $-CF_2$, $-CF_3$ gruplarının oluştuğu görülmüştür. Su ile yıkama ve alkol ekstraksiyonu sonucu yüzeyden florinin bir kısmının uzaklaştığı ancak hidrofobik özelliklerin hala çok iyi olduğu tespit edilmiştir. İşlem görmüş kumaşların su buharı geçirgenlikleri, yırtılma mukavemetleri ölçülmüş ve hidrofobik özellikleri incelenmiştir.

M.J. Tsafack ve **J. Levalois-Grützmaier** [2007] yaptıkları bir çalışmada çok fonksiyonlu yüzeyler elde etmek için soğuk plazma tekniğini kullanarak pamuklu kumaşlara su iticilik ve güç tutuşurluk özelliklerini bir arada kazandırmışlardır. Bunun için akrilat fosfat ve fosfonat türevi güç tutuşurluk monomerleri ile argon plazma graft polimerizasyonu ve 1,1,2,2 tetrahidroperflorodeksilakrilat (AC_8) monomeri ile CF_4 ve argon plazma graft polimerizasyonu yöntemini uygulamışlardır. Güç tutuşurluk özelliğinin test edilmesi için LOI değerleri ve su iticilik özelliğinin test edilmesi için de Schmerber basıncı ($P_{sch.}$) ölçülmüş ve çıkan sonuçlar fosfor bazlı güç tutuşurluk monomerlerinin su iticilik işlemiyle uyumlu olduğunu göstermiştir.

Mokbul M. Hossain ve ark. [2006] ise yaptıkları çalışmada poliester kumaşların plazma aktivasyonu sonucu ıslanabilirlik değerindeki iyileşmeyi ve kumaşlarda meydana gelen aşınma etkilerini incelemiştir. Plazma yöntemi ile hidrofilleştirmenin ve yapılan işlemin stabil olmasının tekstil materyalinin yapısına ve konstrüksiyonuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Hidrofilleştirme işlemi Ar/O_2 ve He/O_2 gaz karışımları ile düşük basınçta uygulamışlar, işlem sonrasında su ile kapilar yükselme testi yaparak kumaşların temas açılarını ölçmüşlerdir. Plazma işlemi görmüş poliester kumaşların ıslanabilirliğinin belirgin ölçüde arttığını ve bunun yüzeyde oluşan polar gruplar sayesinde olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca gevşek yapılı kumaşların ıslanabilirliğinde sıkı yapılı kumaşlara nazaran daha iyi bir gelişme olduğunu tespit etmişlerdir.

R. Morent ve ark. da [2006] tekstil materyallerinin termal olmayan plazmalarla işlem görmesi üzerine bir literatür derlemesi hazırlamışlardır. Tekstil yüzeylerinin modifikasyonunda termal olmayan plazmaların oldukça fazla potansiyel kullanım alanının olması, uygulamanın sınıflandırılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle plazma işleminin ıslanabilirlik, adhezyon ve yüzey modifikasyonu üzerine etkileri ve sonuçları hakkında bir derleme yapmışlardır.

M.J. Tsafack ve **J. Levalois-Grützmacher** [2006] ise yaptıkları başka bir çalışmada alçak basınç plazma tekniği ile poliakrilonitril kumaşlara güç tutuşurluk özelliğinin kazandırılması üzerinde araştırma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada fosfor içeren 4 akrilat monomerini (diethylfosfat, diethyl-2-fosfat, diethylfosfonat, dimethylfosfonat) kullanarak argon plazma ile graft polimerizasyonunu kumaşlara uygulamışlardır. Kumaş yüzeyinde meydana gelen değişiklikleri de IR spektroskopisi ve SEM ile değerlendirmişlerdir. Güç tutuşurluk özelliğini ise termogravimetrik analiz ve LOI ölçümleri ile değerlendirmişlerdir. Ayrıca kumaşlardaki kaplamaların yıkama dayanımlarını da tespit etmişlerdir.

Dr. M. Kabayev ve **Dr. G. Kazakeviciute** [2005], Litvanya Tekstil Enstitüsünde yayınladıkları bir bildiri; düşük sıcaklıkta uygulanan plazma sistemlerinden ve bunların tekstil materyallerine etkilerinden söz etmişlerdir. Tekstil yüzeylerinin fonksiyonelleştirilmesi amacıyla kullanılan plazma kaplama yöntemlerini kısaca tanıtmış, tekstil proseslerinde UV radyasyonun kullanılabilirliğine değinmişlerdir.

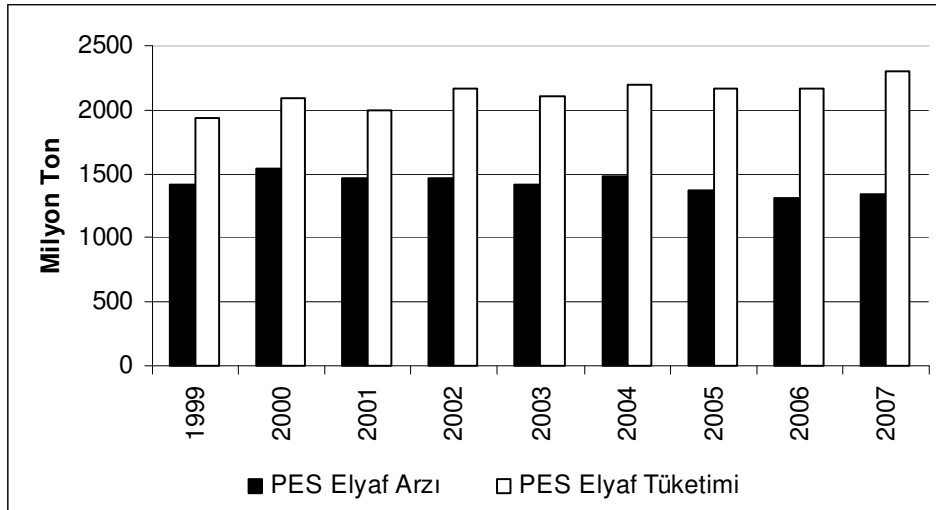
Jo Verschuren ve ark. [2003] ise; plazma-tekstil etkileşimini belirleyen ve plazma teknolojisinin ticari uygulamasını engelleyen tekstil materyallerinin spesifik özelliklerini incelemişler ve bunları şu başlıklar altında toplamışlardır: geniş bir spesifik yüzey alanı, üç boyutlu gözenekli yapı ve lif yüzeyindeki safsızlıklar.

1.2. Poliester

Poliester günümüzde sentetik elyaf sektöründe en fazla 'çok yönlülük' gösteren bir iplik türüdür ve gerek tekstil gerekse diğer endüstriyel alanlarda geniş çapta kullanılmaktadır. Hammadde olarak petrol türevi olan PTA (Saf Teraftalik Asit), MEG (Mono Etilen Glikol) ve yardımcı madde olarak antimon triasetat (katalizör) ile titanyum dioksit (matlaştırıcı) kullanılarak üretilmektedir. BISFA

(Uluslararası Sentetik Lif Standardizasyon Bürosu) üyesi olan Batı Avrupa sentetik lif üreticileri tarafından alınan ortak bir karara göre poliester, kısaca PES olarak anılmaktadır [Yakartepe 1998]. Poliester üniversal elyaftır, hemen her amaçla kullanılabilir, pamuk, yün ve viskonla karıştırılarak değişik modifikasyonlar elde edilerek değişik özellikler kazandırılıp kullanılabilir. Poliester iplikler giyim, dekorasyon kumaşları, battaniyeler, özel dikiş iplikleri, kürk imitasyonları gibi çok çeşitli alanlarda kullanıldığı gibi teknik tekstil alanında koruyucu kumaşlar, tenteler, brandalar, filtre, keçe, yelken bezi üretimi gibi alanlarda da kullanılmaktadır.

Dünyadaki sentetik elyaf pazarının 2007 yılı verilerine göre büyüdüğü gözlemlenmektedir [http://www.cirfs.org, 2008]. **Şekil 1.1.**'de 1999-2007 yılları arasında dünya poliester elyaf arzı ve tüketimini gösteren grafik görülmektedir.



Şekil 1.1. Yıllara göre Dünyadaki poliester elyaf arzı ve tüketimi
KAYNAK: http://www.cirfs.org, 2008

Poliester elyaf üretimi özellikle son yıllarda artmış olup üretimde verimliliğin artması ve daha ekonomik hammaddeye yönelmesi, üretim maliyetinin düşmesine ve PES'in uygun fiyatlarla satılmasına olanak sağlamış bulunmaktadır [http://www.cirfs.org, 2008].

Türkiye'de 2007 yılında sektörel bazda poliester iplik kullanımına bakıldığında; giyim ve ev tekstili başı çekmektedir. Endüstriyel kullanım alanlarında ise poliester iplik kullanımının önümüzdeki yıllarda artacağı öngörülmektedir.

1.2.1. Poliester hakkında kısa tarihçe

1950'li yıllarda endüstriyel ölçekte kimyasal elyafların - daha spesifik olarak polietilen tereftalik (PET)- üretimini İngiltere'de ICI, Amerika'da DuPont başlatmıştır. Kısa bir süre sonra, mükemmel boyut kararlılığına sahip, yüksek mukavemetli filmler data yüklemek amacıyla üretilmiştir. Başlangıçta, elyaf ve film sınıfı PET üretiminde kullanabilmek için elde edilebilen tek hammadde tereftalik asitin dimetil esteri olan DMT (dimetil tereftalat) idi. 1950'lerden 60'lı yıllara kadar DMT'nin etilen glikol (EG) ile transesterleşmesi, çoğu zaman diskontinü iki reaktörlü tesislerde, PET üretimi için tek kullanılan önemli bir yöntem idi.

PTA'nın, 60'lı yılların sonunda Amerikan Amoco ve İngiltere ICI firmaları tarafından endüstriyel ölçekte saflaştırılmış üretimi gerçekleştirildi. Bu proses PET üretiminde PTA ve EG'nin esterleşmesi için daha kolay ve ekonomik yollar açtı.

1970'li yılların başında bir Alman mühendislik firması ilk kontinü esterleşme prosesini uluslararası elyaf endüstrisine sunmuştur. Aynı zamanda PET elyaf ve ipliklerinin kontinü direkt üretimi gerçekleştirilmiştir. POY (kısmen oryante olmuş iplik) iplik üretim hızı eski günlerdeki 600 m/dak.'dan bugün 6000 m/dak.'ya çıkmıştır. Polikondenzasyon ünitelerinin kapasitesi 60 t/gün'den bugün 600 t/gün'e çıkmıştır. Hatta tek hatta 1000 ton/gün'den bahsedilmektedir. 1970'lerde en son önemli gelişme PET şişe imal prosesinin geliştirilmesi olmuştur. Bu sahadaki en büyük itici güç Amerika'daki Pepsi Cola ve Coca Cola olmuştur.

O zamandan beri, alkolsüz içecekler pazarında PET şişe kullanımı önemli oranda artmıştır. Günümüzde elyafların, ipliklerin, filmlerin ve şişelerin yanında çok değişik türden endüstriyel ürünler PET'den imal edilmektedir.

1.2.2. Poliester elyaf üretimi

Poliester, petrol sanayiinin bir türevi olan polietilen tereftalattan, eriyikten lif çekme işlemi ile üretilir. Üretiminde kullanılan basit kimyasal maddelerin (genellikle polihidrik alkoller ve polikarboksilik asitler), ester bağları ile birbirlerine bağlandığı bir kondensasyon polimeridir. Üç boyutlu poliesterler reçine oluşturan, lineer poliesterler ise elyaf oluşturan poliesterlerdir. Elyaf polimeri, ağırlıkça en az % 85

oranında aromatik karboksilik asit esterinden meydana gelmektedir. Poliesterin yapısal olarak en belirgin özelliği, molekül zincirinde ester gruplarının bulunmasıdır.

Esterler; bir asitle bir alkolün meydana getirdiği bileşiklerdir. Poliesterde temel madde olarak; etilen glikol ve tereftalik asit kullanılır. Tereftalik asit etilen glikol ile reaksiyona girerek diglikoltereftalat meydana getirir. Daha sonra diglikoltereftalat yüksek sıcaklık ve vakumda, polietilentereftalat polikondenzatını meydana getirir. Elde edilen polikondenzat reçine formundadır ve 260 °C'de erir. Bu şekildeki madde, elyaf çekimi için uygun hale gelmiştir. Erimiş hale getirilen elyaf hammaddesi, yani polimer, hava ile temas etmeden düzelerle pompalanır ve elyaf çekimi gerçekleştirilir. Düzeden çıkan filament haldeki elyaf sertleştirilir, gerdirilerek büküm verilir ve bobinlere sarılır. İsteğe bağlı olarak filament elyaf istenilen boylarda kesilerek, kesikli (stapel) hale getirilebilir.

1.2.2.1. Poliesterin temel özellikleri

Poliester ipliğin tipik özellikleri şunlardır:

- **Yüksek Mukavemet:** Poliester yüksek mukavemet özelliği göstermektedir.

Çizelge 1.1.'de g/denye olarak bazı elyafların mukavemet değerleri görülmektedir.

Çizelge 1.1 Bazı lifler için mukavemet değerleri

Elyaf Türü	Mukavemet Değeri (g/denye)
PES	5,1
PA 6	4,6
PA 6.6	5,5
RAYON	2,0
YÜN	1,5
VİSKON	2,1
PAMUK	3,6
AKRİLİK	3,9

KAYNAK: KORTEKS İplik fabrikası eğitim notları. Bursa 2007, s.12.

- **Mükemmel Yaylanma (Rezilyans) Özelliği:** Elyafta rezilyans (yaylanma); tekstil madde ve mamüllerin giyim, kullanma ya da yıkama sırasında katlama sıkıştırma ve bükülmeden sonra eski haline dönebilme kabiliyetidir. Bilindiği üzere rezilyanslık özelliği en fazla halıda aranmaktadır.
- **Gün Işığına Karşı Yüksek Dayanım:** Cam ve akrilik elyafından sonra gün ışığına karşı en dayanıklı elyaftır.
- Yüksek buruşmazlık özelliği
- Sulu kirlere karşı absorbansının olmaması
- Temizleme kolaylığı olması
- Düşük rutubet emme özelliği
- Çabuk kuruma özelliği
- Kimyasallara karşı dirençli olması
- Güve dayanımı olması
- Küflenme dayanımı olması
- Anti alerjik olması
- İyi boyut stabilitesi
- İyi renk haslığı
- Sürtünme haslığı
- Uzun ömürlü olması
- Yumuşak tutumlu olması

Çizelge 1.2.'de poliesterin bazı önemli fiziksel özellikleri ve **çizelge 1.3.**'de bazı kimyasal özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 1.2. Poliester elyafın önemli fiziksel özellikleri

KRİTERLER	POLİESTER ELYAFININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ
Mikroskopik görünüş	Boyuna kesiti pürüzsüz ve yeknesak, çubuğa benzeyen bir görünüme sahiptir. Enine kesiti çoğunlukla yuvarlaktır. Düzeye formuna göre değişik kesitleri de vardır.
Uzunluk	İlk üretildiklerinde sonsuz filament halindedirler. Daha sonra kesikli olarak istenilen boylarda kesilebilirler. Pamuk tipinde 3-5 cm, yün tipinde 6-15 cm.
İncelik	Sentetik elyafta incelik üretim sırasında istenilen şekilde olur.
Yoğunluk	Dakron 1,38 g/cm ³ , Kodel 1,22 g/cm ³ , Vikron 1,37 g/cm ³ . Bu değerlerin hepsi ortalama olarak pamuktan ve rayondan düşük, poliamid ve akrilikten yüksektir.
Renk	Üretimde beyaz renklidir. İstenirse, elyaf çekme çözeltisine pigment renklendiriciler ilave edilerek renkli elyaf elde edilir.
Parlaklık	Üretimde parlaktır. İstenirse, lif çekme eriyiğine matlaştırıcı maddeler ilave edilerek veya daha sonra çeşitli işlemlerle matlaştırılabilir.
Mukavemet (kuru)	İyi ve mükemmel derecede mukavemete sahiptir. Üretim şekline, monomerlerine ve germe miktarına göre mukavemeti 4,5-8 g/denye arasında değişir.
Mukavemet (yaş)	Kuru mukavemet ve yaş mukavemet arasında pek fark yoktur.
Uzama elastikiyeti	Orta veya iyi derecededir. Esneme yetenekleri normal filament elyafta % 15-30, stapel elyafta % 30-50 arasındadır.
Rezilyans (yaylanma)	Mükemmeldir. Buruşmadan iyi bir şekilde eski haline döner.
Nem alma	Çok düşüktür. % 0,4 civarındadır. Tamamen hidrofob olarak nitelenebilir.
Isı dayanımı	Yumuşama ve yapışma sıcaklığı 230 °C'dir. Fikse edilme durumunda son derece iyi stabiliteleri vardır. Erime noktaları 260 °C'dir.
Alev alma	Yavaş yavaş yanar. Serbest ve açık iken damlama olur.
Statik elektriklenme	Nem emiciliğinin düşük olması sebebiyle statik elektriklenme problemi vardır.
Pilling (boncuklanma)	Tekstil elyafları içerisinde en yüksek derecede pilling poliesterde görülür.

KAYNAK: Yakartepe Z. ve Yakartepe M., Genel Tekstil Ansiklopedisi 1998, Cilt 3.

Çizelge 1.3. Poliester elyafının kimyasal dayanımı

ETKENLER	POLİESTER ELYAFININ KİMYASAL DAYANIMI
Su	Son derece hidrofob bir elyaftır. % 100 bağıl nemde bile % 1 su alabilir. Normal koşullarda % 0,4 higroskopik neme sahiptir.
Asitler	Asitlere karşı yüksek bir dayanım gösterir. Anorganik asitlerin % 30'u aşan konsantrasyonlarında yüksek sıcaklıkta parçalanır. Zayıf ve orta kuvvetli asitlere karşı dayanıklıdır.
Bazlar	Ester bağlarına rağmen, bazlara karşı beklenenden fazla dayanım gösterir. Ancak, yoğun anorganik bazlarla muamelede poliester dıştan itibaren parçalanmaya başlar.
Yükseltgen maddeler	Yüksek bir dayanıma sahiptir.
İndirgen maddeler	Yüksek bir dayanıma sahiptir.
Organik çözümler	Büyük çoğunluğuna dayanıklıdır. Kuru temizlemede kullanılan benzen, trikloretilen, karbontetraklorür, perkloretilen gibi çözümlerde zarar görmez. O-diklorbenzen, dimetilteraftalat gibi bazı çözümlerde belirli koşullarda tamamen çözünürler. Organik çözümlerin şişirici etkisi poliesterin boyanmasını kolaylaştırır.
Sıcaklık	200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda zarar görür.
Işık	Işık ve atmosfer koşullarına yüksek dayanım gösterir.

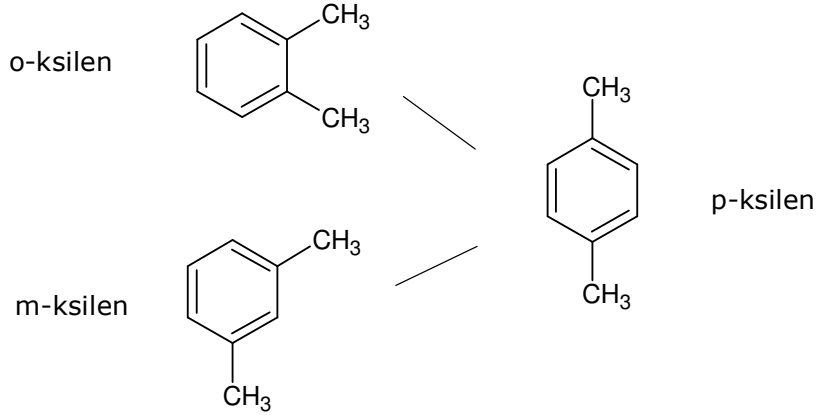
KAYNAK: Yakartepe Z. ve Yakartepe M., Genel Tekstil Ansiklopedisi 1998, Cilt 3.

1.2.3. Poliester için hammaddeler

1.2.3.1. Teraftalik asit üretimi

Poliester için en önemli hammaddeler dimetil teraftalat, teraftalik asit ve etilen glikoldür. Bunlar nafta ve doğal gazdan üretilmektedir.

Para-ksilen: Teraftalik asit ve dimetil teraftalatın temeli p-ksilendir. Naftada p-ksilen verimini arttırmak için o-ksilen ve m-ksilen sıcaklık altında ve katalizör ile izomerleştirilebilir:



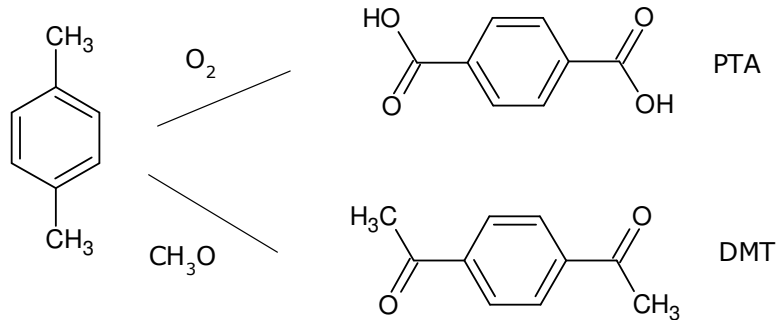
Şekil 1.2. p-ksilenin oluşturulması

KAYNAK: KORTEKS İplik fabrikası eğitim notları. Bursa 2007.

Diğer bir yol ise alifatik ham petrol fraksiyonlarını ve doğal gazı aromatize etmektir.

Cyclar Prosesi

İlk olarak Suudi Arabistan'da gerçekleştirilen en son teknik Cyclar Prosesi'dir. i-bütan, n-bütan, propan gibi doğal gazın komponentleri, aromatik bileşikler oluşturmada kullanılır. Buna ilaveten ağırlıkça % 5 hidrojen, % 95'e kadar aromatik bileşikler (% 43 toluen, % 27 benzen, % 22 ksilen, % 3 yüksek aromatikler) oluşturulur. Bütan içeriği arttıkça ksilen miktarı artar. p-ksilen PTA' ya veya onun dimetil esteri DMT'ye oksitlenir:



Şekil 1.3. PTA ve DMT'nin oluşumu

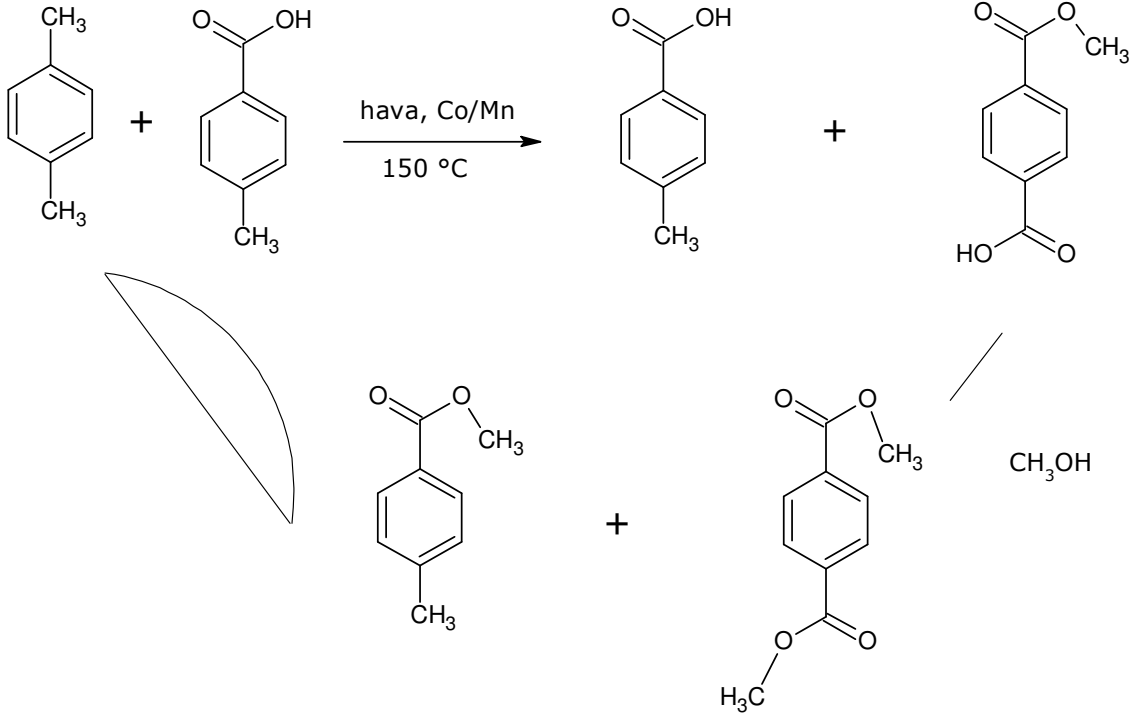
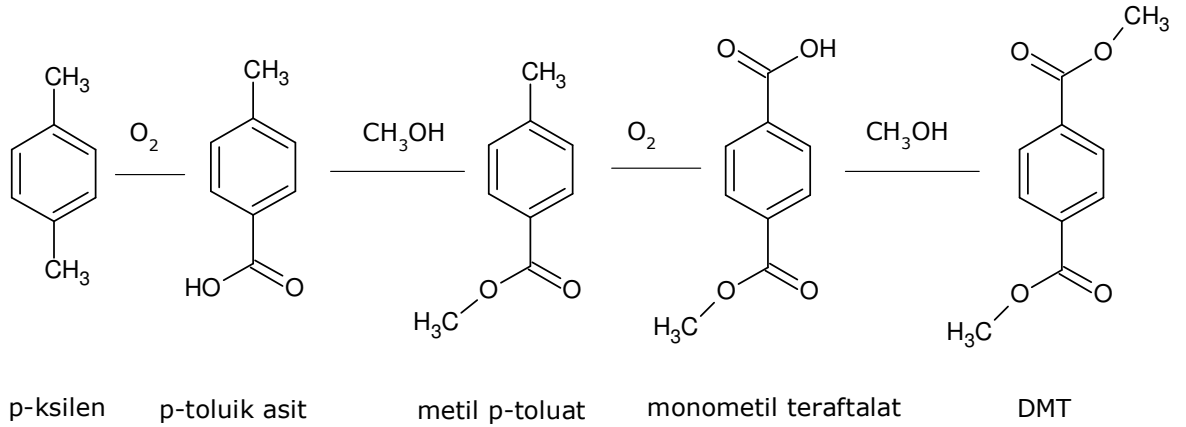
KAYNAK: KORTEKS İplik fabrikası eğitim notları. Bursa 2007.

Mümkün olan yüksek saflıkta üretilebilen ilk ham madde DMT'dir. (**Şekil 1.3.**) p-ksilen'in ikinci CH₃ grubu bu proses şartları altında oksitlenemez ancak birinci COOH grubu esterleştirilirse oksitlenebilir.

Konu ile ilgili iki proses geliştirilmiştir. Bu prosesler aşağıda verilmiştir.

1. Witten Prosesi

Bu proseste (Imhausen veya Katzschnmann Prosesi), sıvı fazda oksitlenme iki aşamada gerçekleştirilir. Pratikte, iki tür bileşik daima birlikte işlem görür (**Şekil 1.4**). Reaksiyon karışımını ayırmak için vakum distilasyonu kullanılır. DMT, kristalizasyon yolu ile temizlenir, metanol veya daha yüksek ayırma için p-ksilen çözücü olarak kullanılır.



Şekil 1.4. DMT üretimi için reaksiyon şemaları

KAYNAK: KORTEKS İplik fabrikası eğitim notları. Bursa 2007.

2. Tek aşamalı proses

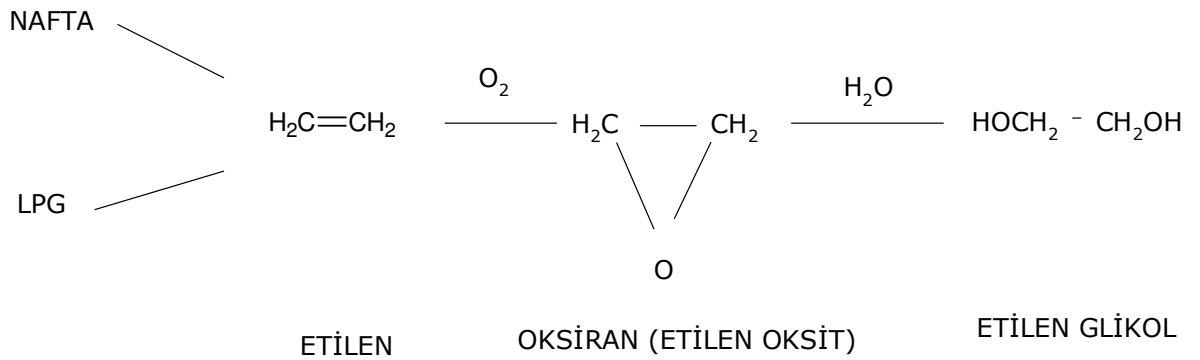
Tek aşamalı proseste (DuPont, BASF) p-ksilen oksidasyonu ve esterleşmesi beraberce meydana gelir.

Ancak 1950'lerin sonlarında ilk kez elyaf üretilebilecek kalitede, % 99,99 saflıkta PTA üretilebilmiştir. Oksidasyon hava ile veya oksijen ile meydana gelir. Ortamda mangan ve kobalt tuzları katalizör olarak kullanılır. Aktif edici olarak brom bileşiği mevcuttur. Bu proses Amoco tarafından geliştirilmiş olup, 200 °C, 20-40 bar'da % 95 asetik asit çözeltisi içinde gerçekleşmektedir.

Su ile 250 °C'de ve basınç altında hidrojen ve palladium katalizörleri ile p-toluik asit gibi safsızlıklar azaltılır. Kristalizasyon ürünü PTA kurutulur ve kristalize edilir.

1.2.3.2. Etilen glükol üretimi

Etilen glükol, etilenden ara ürün olan oksiran (EO) vasıtasıyla üretilir. p-ksilen gibi nafta veya doğal gazdan homojen gaz fazı endotermik reaksiyonu ile buhar-parçalama (steam-cracking) yöntemi ile etilen glükol elde edilir:



Şekil 1.5. Etilen glükol eldesi

KAYNAK: KORTEKS İplik fabrikası eğitim notları. Bursa 2007.

Etilenin oksirana (etilen oksit) oksitlenmesi gümüş katalizör ile gerçekleşir. İstenmeyen ara reaksiyonlar oksiranın ileri oksitlenmesi ve ayrıca etilenin CO₂ ve

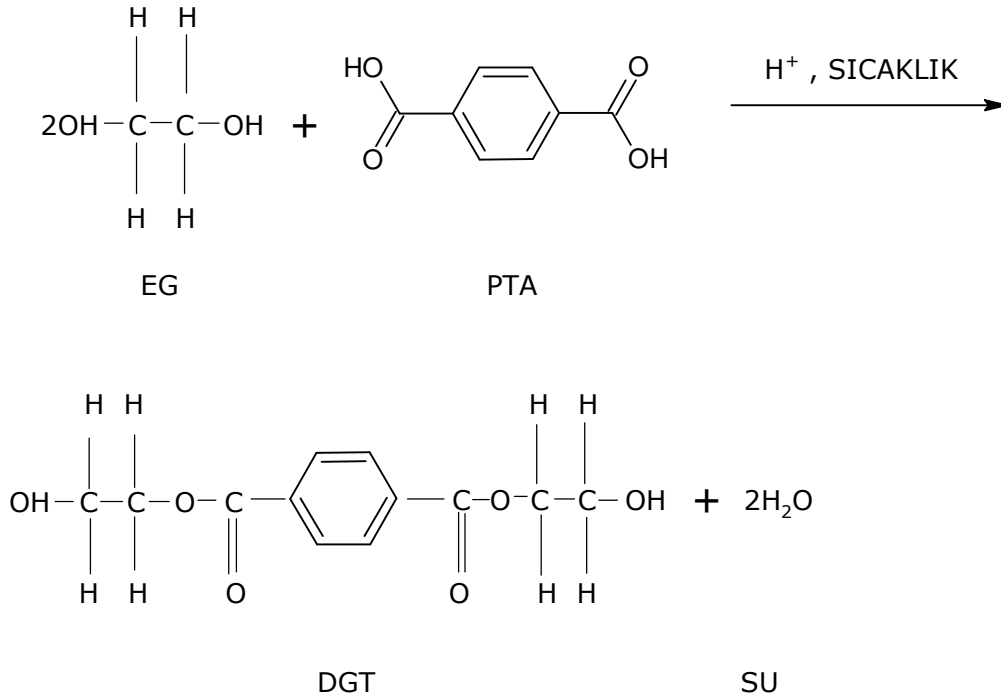
H₂O'a dönüşümüdür. Oksiran aşırı derecede sabit olmayan üçlü halka içerdiği için, oldukça reaktiftir. Su ile reaksiyona girerek etilen glikolü meydana getirir.

Yaklaşık olarak ağırlıkça % 10 kadar daha yüksek glikoller, HO-(CH₂-CH₂-O)_m-H ve çoğunlukla di- veya trietilen glikol (m=2,3) bu reaksiyon esnasında oluşur. Glikol evaporatörlerde konsantre edilir ve fraksiyonlu vakum distilasyonu ile artırılır. Son uygulama olan elyaf üretimi için % 99,9 saflıkta elde edilmelidir.

1.2.4. Poliester üretiminin kimyasal yönü

1.2.4.1. Esterleşme

Esterleşmede 2 mol EG ile 1 mol PTA reaksiyona girer, 1 mol DGT (diglikol tereftalat) oluşurken 2 mol H₂O açığa çıkar :



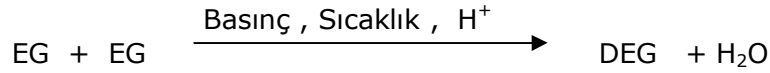
Şekil 1.6. Esterleşme reaksiyonu

KAYNAK: KORTEKS İplik fabrikası eğitim notları. Bursa 2007.

Görüldüğü gibi esterleşme reaksiyonu için ayrı bir katalizöre [Sb(Ac)₃] ihtiyaç yoktur. Açığa çıkan 2 mol suyun anlamı, giren ham maddelerin % 12,4'ünün

sistemden su olarak uzaklaşıyor olduğudur. (Mol ağırlıkları; EG = 62 g/mol, PTA = 166 g/mol, DGT = 254 g/mol, H₂O = 18 g/mol)

Esterleşme reaksiyonunun başlayabilmesi için gerekli minimum sıcaklık 240 °C ve basınç 0,60 bar dolayındadır. Esterleşmenin temel yan reaksiyonu DEG oluşumudur:

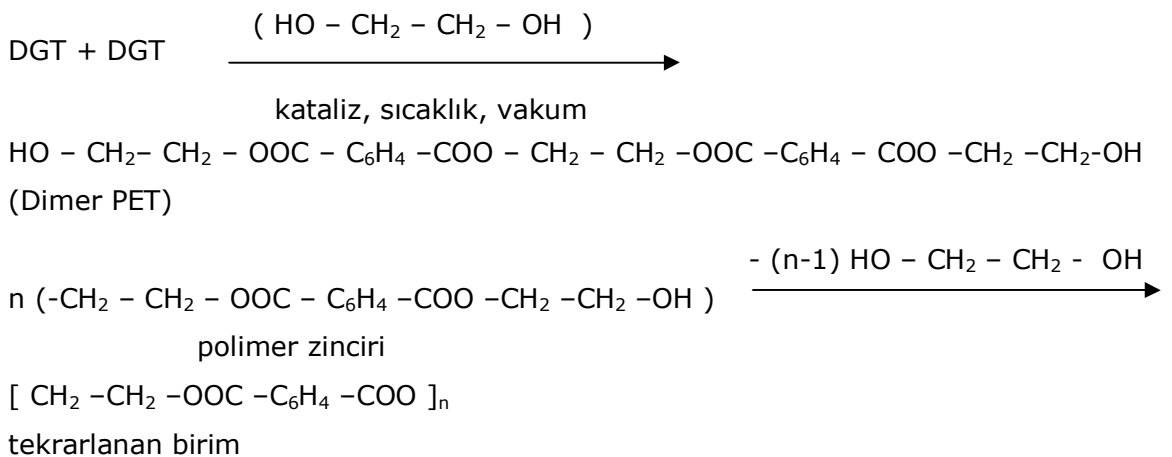


Kullanılan PTA'nın tane iriliği dağılımı esterleşme reaksiyonu için önemli bir parametredir. EG' nin tüm PTA tane yüzeylerini ıslatması gerekir. Tane iriliği ne kadar az ise, reaksiyonun meydana geldiği toplam yüzey o kadar fazla demektir. Bu ise reaksiyon hızının artması anlamına gelir.

1.2.4.2. Polikondensasyon

Polikondensasyon düşük molekül ağırlıklı monomerlerin (DGT) zincir polimer molekülü oluşturmak üzere birbirine bağlanması ve bu arada EG'nin ortamdan uzaklaştırılması kademesidir. Reaksiyon dengesinin sağlanması bakımından özellikle EG'nin beşinci reaktörden gaz fazında tamamen ayrılması şarttır.

Polikondensasyon reaksiyonu kataliz gerektirir ve Sb(Ac)₃ kullanılmaktadır :

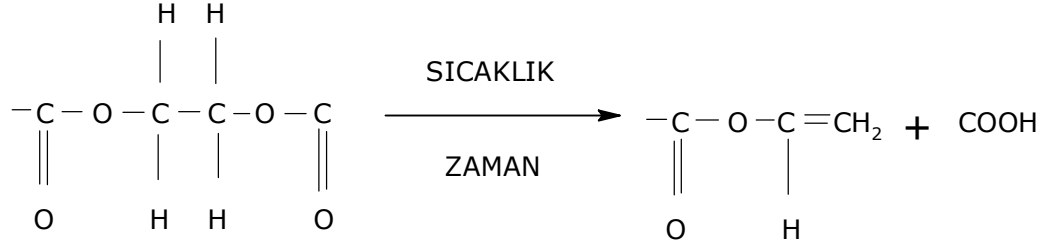


Şekil 1.7. Polikondensasyon reaksiyonu

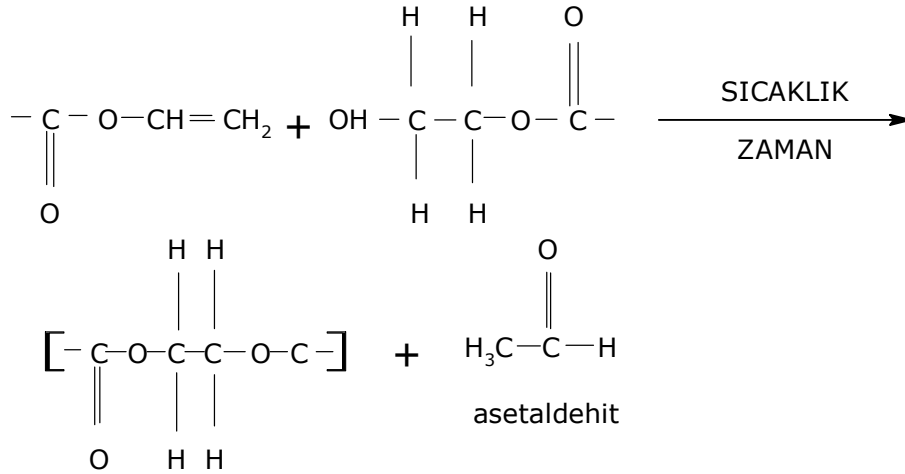
KAYNAK: KORTEKS İplik fabrikası eğitim notları. Bursa 2007.

Polimer zincirine, esterleşme kademesinde yan ürün olarak oluşan veya dışarıdan ekstra olarak katılan DEG molekülleri de EG molekülleri gibi eklenir ve eriyikte kalır.

Yan reaksiyon olarak, özellikle uzun PET zinciri moleküllerinde, termal bozunma (degradation) sonucu COOH ve asetaldehit oluşur:



Asetaldehit vinil grubundan aşağıdaki reaksiyonla açığa çıkar:



Şekil 1.8. Polikondensasyon reaksiyonu sırasında yan reaksiyonla oluşan ürünler
KAYNAK: KORTEKS İplik fabrikası eğitim notları. Bursa 2007.

PET prosesinde meydana gelen reaksiyonların hepsi yukarıda anlatıldığı kadar basit değildir. Karmaşık mekanizmalar sonucu pek çok farklı yapıda oligomerler de oluşur. Bunların cins ve miktarlarının analizi işletmelerde yapılamaz.

Genelde oligomer miktarını % 2,0 dolayına almak gerekir. Bununda çok büyük kısmını halka (cyclic) yapıdaki oligomerler oluşturur, lineer olanlar çok az miktarda olup eriyiğin bozunması ile meydana geldiği kabul edilir.

1.2.5. Poliester üretim prosesleri ve tesisleri

1.2.5.1. Kesikli poliester üretim prosesi

PET kimyası gereği sistem esterleşme ve polikondensasyon olmak üzere iki kısımdan oluştuğundan, batch işletmeler de iki reaktörden oluşmuştur. Bu tip işletmelerin ana özelliği yüksek ürün ve üretim fleksibilitesi ile düşük kapasitedir. Günümüzde özel tip ürün imalatçıları tarafından tercih edilmektedir. Günlük üretim 20-60 ton arasında değişir. Teknoloji ve reaktör kapasitesine bağlı olarak günlük şarj sayısı 8-10 arasındadır. Şarj başına kapasite 1,5-9 tondur. Sistem aynı ekipmanları kullanarak PET, PBT, PEN, PTT ve farklı kopoliesterler üretilebilecek şekilde dizayn edilebilir.

PTA ve EG ile önce pasta hazırlanır. Sonra bu pasta birinci reaktöre gönderilir. Birinci reaktörde EG ve PTA, DGT (diglikol tereftalat)'ye çevrilir. Yan ürün olan su distilasyon kolonundan atılır. Reaksiyon sıcaklığı 240 ile 260 °C, basınçta 0-3 bar arasında değişir.

İkinci reaktörde ise polikondensasyon reaksiyonu gerçekleşir. İstenilen viskoziteye ulaşmak için burada sıcaklık yüksek olup (270- 290 °C) vakum altında çalışılır (0,5-1,5 mbar). Sb(Ac)₃ gibi katalizör kullanması zorunludur.

1.2.5.2. Sürekli polikondensasyon

Bu tip işletmelerin ortaya çıkışı yaklaşık 40 yıl öncesine rastlar. Başlangıçta 20 ton/gün kapasiteli hatlar bu gün 600 ton/güne ulaşmıştır. Tek hatta 1000 ton/günden bahsedilmektedir. Ekonomik sebeplerle son 25 yıldır DMT 'den PTA' ya bir dönüş yaşanmıştır.

Yüksek kapasite iki veya daha fazla yıl durusuz üretim, sabit kalite, sürekli prosesin en önemli avantajlarıdır. Genellikle beş reaktörden oluşan bir işletmede ilk iki reaktör esterleşme, diğer üç reaktörde polikondensasyon işlevi görür. Esterleşme reaktörlerinin gaz fazı çıkışları proses kolonuna beslenmekte olup kolonun tepe ürünü olan su yoğunlaştırılıp atılırken dip ürünü olan EG proseste tekrar kullanılmak üzere geri kazanılır. 16.000-20.000 arası ortalama bir molekül ağırlığına ulaşabilmek için 0,645 civarında I.V. (İntrinsik Viskozite) ile çalışmak gerekir.

Polikondensasyon reaksiyonu için gerekli olan kataliz pastaya, yarı mat üretim için kullanılan TiO_2 de ikinci reaktöre beslenir. Eriyik prepolimer filtresi ve NSF (kesintisiz polimer filtresi- nonstop polymer filter) olmak üzere iki aşamada filtre edilir.

1.2.5.3. Katı hal polikondensasyonu

Şişe cipsi üretiminde gerekli olduğu gibi 0,800 I.V. ve hatta üzeri viskozitelere ulaşmak sıvı hal polikondensasyonunda mümkün değildir. Bunu sağlamak için normal viskoziteli PET cipsler azot ortamında 200-220 °C sıcaklıkta uzunca bir süre tutulur. EG'nin cipten uzaklaşmasını kolaylaştırmak için cips ebatları daha küçüktür. Katı hal polikondensasyonu başlama sıcaklığı 160-180 °C'dir. % 100 amorf yapıda olan normal cips katı hal polikondensasyonu sonunda yaklaşık % 60 kristallik derecesine ulaşır. Proses kademeleri 1. kristalizatör, kurutucu, 2. kristalizatör, SSP (katı hal polikondensasyonu- solid state polycondensation) reaktörü, soğutma ve toz tutma ünitesinden oluşur. Bu kademelerdeki toplam kalış süresi ürüne göre değişmekle birlikte yaklaşık 8-25 saat arasında değişir. SSP prosesinde maksimum ulaşılabilir I.V. 1,05 gibidir.

1.3. Güç tutuşurluk

Gelişen teknoloji, sanayileşmenin artması ve nüfusun giderek çoğalmasına paralel olarak toplu yerleşim bölgelerin fazlalaşması, yangın riskinin ve buna bağlı olarak yangının maddi ve manevi zararlarının artmasına neden olmaktadır.

Bir yangında ortalama sıcaklık 500 °C'ye ve çok süratli olarak da 800 °C ile 1200 °C'ye kadar ulaşabilir. Yangın çıktığı ortamın özelliklerine göre çok kısa bir sürede büyüyerek ortamda yayılabilir.

Polimerler çok yüksek oranda karbon, hidrojen ve oksijen içeren bileşikler oldukları için kolaylıkla ve hızla yanarlar. Polimerlerin yanması sırasında ısı ile birlikte yanma ürünü zehirli ve yanıcı gazlar ortaya çıkar. Ayrıca, ısı etkisiyle polimer zincirlerinin küçük parçalara veya moleküllere parçalanmasıyla ortam daha yanıcı hale gelir. Yanmanın yayılması; yanmanın şiddetine, polimerin buna tepkisine bağlıdır. Polimerin doğal olarak yanmaya dayanıklı olması için; düşük sıcaklıklarda kömürleşmenin çok fazla olması, 400 °C üstünde ısıl kararlılığa sahip olması

(yüksek erime sıcaklığı), 400 °C altında meydana gelen bozunma ürünlerinin yanmayan gazlardan oluşması (CO₂, HCl, H₂O vs.) gerekir [Kısakürek 2003]. İdeal bir yanmayı geciktirici polimer sentezi için:

- Ateşleme ve alev yayılmasına karşı yüksek dirençlilik,
- Düşük tutuşma hızı,
- Düşük hızda ve miktarda duman meydana gelmesi,
- Yanabilen gazları düşük seviyede tutuşabilmeleri ve zehirli olmaması,
- Kullanım sırasında yanıcılığın şiddetinin azaltılabilmesi,
- Belirli kullanım alanı için özelliklerinin ve görünüşlerinin kabul edilebilir olabilmesi,
- Malın fiyatına etkisinin az olması gereklidir [Kısakürek 2003].

Şu an, doğal ve sentetik polimer malzemeler birçok alanda kullanılmaktadır. Polimerlerin yanabilirliğini ve duman oluşumunu azaltmak için yanmayı geciktiricilerin kullanımı, yeni malzemelerin tatbiki ve gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Yanmayı geciktiricilerin talep edildiği başlıca sektörler arasında, inşaat, elektriksel ve elektronik parçalar ve ulaşım ile ilgilene endüstri dalları yer almaktadır. Evsel uygulamalarda kullanılan alev geciktirici malzemelerin gelişimi, çoğunlukla tüketicilerin güvenliği ve çevresel atıklar açısından önem taşımaktadır. Genel olarak başlıca alev geciktiricilerin çevresel etkileri ve zehirlilik değerlerinin ölçümü ve tüketici ürünlerinde kullanılan alev geciktirici çeşitleri hakkında bilgi toplamak ve teşhis etmek için araştırmalar yapılmaktadır. Örneğin, Avrupa Birliği (AB), bromlu difeniloksit yanmayı geciktiricilerinin kullanımını sınırlamayı önermiştir. Çünkü yanma sırasında yüksek derecede toksik ve kuvvetli kanserojen bromlu furanlar ve dioksinler oluşabilir. Yeni alev geciktirici sistemlerin, sık sık değişen yeni çevre yönetmelikleri, standartlar ve test metotlarının isteklerini karşılamak için geliştirilmeleri gereklidir [Lu ve Hamerton 2002].

1.3.1. Yanma mekanizması

Herhangi bir organik malzemede yanma olayı üç basamakta meydana gelmektedir:

- a) Ürünün ısınması,
- b) Makro moleküllerin termik olarak parçalanması (piroliz),
- c) Tutuşma ve yanmanın başlamasıdır.

Belirli bir enerji verilmesi durumunda, ürünün ısınması yani yüzey sıcaklığının artması o ürünün bazı termik özelliklerine (özellikle ısı, ısı iletkenliği, erime ve buharlaşma ısısı) bağlı olarak değişir. Yüzey sıcaklığı belirli bir noktaya ulaştığında piroliz başlamaktadır. Pirolizin yavaş olması durumunda yanıcı gaz karışımı meydana gelmezken, artan sıcaklığın etkisiyle piroliz hızı da arttığından yanıcı gaz karışımı meydana gelmekte ve bir kıvılcımla kendiliğinden tutuşabilmektedir. Piroliz reaksiyonu ürünleri sıralanacak olursa;

- 1) *Yanıcı gazlar*; tutuşmaya neden olur.
- 2) *Yanmayan gazlar*; ateşin soğumasına ve özellikle ağır yanma gazları yanan yüzeyin etrafını sararak hava oksijeni ile temasın azalmasına yardımcı olur.
- 3) *Yanmayan sıvı parçalanma ürünleri*; bu ürünlerin buharlaşma ısısı sıcaklığın düşmesine yardımcı olur.
- 4) *Katı kömürleşme artıkları*; yanıcı gazların dışarıya difüzyonunu azaltır ve ısı izolasyonu sağlayarak termik parçalanmayı yavaşlatır [Bikales 1967].

1.3.1.1. Polimerlerin yanması

Polimerler yanabilen maddelerdir. Evlerde veya sinema, tiyatro vb. yerlerde polimerlerden yapılmış halı, sandalye, mobilya, koltuk, panel türü eşyalar yaygın kullanılır. Polimerlerin yanması sırasında ısı ile birlikte yanma ürünü toksik ve yanıcı gazlar ortaya çıkar. Ayrıca, ısı etkisiyle polimer zincirlerinin küçük parçalara veya moleküllere parçalanmasıyla ortam daha yanıcı hale gelir [Saçak 2002].

Yanma üç aşama üzerinden gerçekleşir. İlk aşamasında polimerik malzeme ısınır, ikinci aşamada ısı etkisiyle bozunmaya başlar ve son aşamada bozunma sonucu oluşan yanıcı gazlar alevlenerek malzeme tutuşur. Yanma bölgesi, polimerik malzeme yüzeyine dik doğrultuda özellikleri farklı birkaç katmana ayrılır.

Malzemenin yanma bölgesinden yeterince uzaktaki iç kısımları yanmadan etkilenmemiş bölgedir. Bu katmanın hemen üzerinde ısınmış, ancak yanmanın zararlarının gözlenmediği tabaka yer alır. Daha sonra yanmanın etkisi ile bozunmuş ve kurum, zift vb. atıkların bulunduğu malzeme yüzeyindeki piroliz bölgesine geçilir.

Piroliz bölgesine en yakın katman, polimerin bozunması ile oluşan gazların bulunduğu katmandır. Gaz katmanındaki yanıcı gazlar, hava (oksijen) ile karışarak

alevlenme bölgesinde yanarlar ve en dış katman olan yanma ürünleri bölgesine geçerler [Saçak 2002].

Alevlenme, polimerin bozunarak oluşturduğu yanıcı gazların havadaki oksijenle etkileştiği anda görülen bir olaydır. Yanma sırasında polimer zincirleri daha yanıcı olan küçük zincirlere veya moleküllere parçalanırlar ve ortamın alevlenme özelliği sürekli artar. Polimerin yanması sırasında oluşacak gazların türü, polimerin ve katkı maddelerinin yapısına yakından bağlıdır. Polivinil klorür, politetrafloretillen gibi yapılarında halojen atomları bulunan polimerler yandığında karbon, hidrojen veya başka atomlar yanında halojenler de salınır. Halojen atomları hidrojenle birleşirler ve HF, HCl, HBr, HI türü ağır gazlar oluştururlar. Ağır gaz tabakası yanma bölgesinin üstünü örterek oksijeni yanma bölgesinden uzak tutar ve yanmayı engeller. Termoset polimerlerin yanması sırasında malzeme yüzeyinde daha çok kül gibi katı yanma atıkları oluşur ve bu atık tabakaları ileri yanmayı önler. Polimerler genelde yanıcı maddelerdir, ancak alev kaynağından uzaklaştırıldıklarında yukarıda verilen örneklere benzer etkiler sonucu çoğu polimerin yanması durur. Bu nedenle polimerler, kendiliğinden sönebilen malzemeler grubunda değerlendirilirler.

Yanma sırasında açığa çıkan zehirli gazlar, en az alevler kadar insan sağlığı açısından tehlikelidir. Evlerde kullanılan halılar, plastik sandalyeler, giyecekler ve koltuk, kanepeler döşemelerin çoğu polimerlerden yapılmıştır ve yanma sırasında zehirli gazlar salabilirler. Bu tür malzemelerin alevlenme özelliği, içlerine alevlenmeyi geciktirici adı verilen kimyasallar katılarak azaltılır.

Polimerler veya reaktif monomerler doğal olarak alev geciktirici P, Si, B, N ve diğer muhtelif elementleri içermektedirler. Yanmayı önleyiciliği arttırmak için, kendi başlarına veya geçerli hacimde ticari polimerlere eklenerek kullanılabilirler. Bu moleküllerin sentetik kimyası, bunların termal kararlılıkları ve alev geciktirici özellikleri ile birlikte tartışılmaktadır [Lu ve Hamerton 2002].

Alevlenmeyi geciktiricilerin, polimerin yanmasını belli süre engellemesi veya yavaşlatması aşağıda sıralanan olumlu sonuçlara yol açar:

- Yanma yerinden uzaklaşma zamanı 15 kat artar.
- Yanma ısısının yalnız % 25 kadarı dışarı salınır. % 50 daha az malzeme yanar.
- Zehirli gazların üçte biri dışarı salınır.

Yanmanın adımları göz önüne alındığında yanmanın önlenmesi için çeşitli yöntemler vardır;

—Isının uzaklaştırılması veya soğutma uygulanması; ısının belli bir noktada birikmesini önleyen ısı-absorblayıcı ürünlerle yapılabilmektedir.

—Pirroliz sıcaklığının (T_p) yükseltilmesi; materyali ısıya dayanıklı hale getirmektedir.

—Buharlaşmanın önlenmesi; uçucu olmayan kömür halindeki ürünlerinin oluşmasının sağlanması anlamına gelmektedir. Bu etki katı fazda etkili olan kükürt, fosfor ve bor içeren güç tutuşurluk maddeleriyle elde edilmektedir. Oluşan asitler tekstilin hidrosil grupları ile birlikte sağlam, uçucu olmayan esterler oluşturmaktadır ve bu da kömürleşme oluşmasını desteklemektedir.

—Yanmanın önlenmesi; oksijenin yanma bölgesinden uzaklaştırılması ve dolayısıyla oksidasyonun durdurulmasıyla yapılmaktadır. Bu prensip, karbondioksit ve karbon tetraklorür içeren yangın söndürücülerde kullanılmaktadır. Gaz fazında etkili olan bir yanma önleme yöntemidir [Kutlu 2002].

1.3.1.2. Polimerlerin yanmayı önleme mekanizması

Polimer yanma önleyicilerin tanımı, İkinci Dünya Savaşından bu yana birtakım köklü değişikliklere uğramıştır. Ana gelişmeler; klor parafin, antimon oksit, klorin içeren doymamış poliesterler, oksijen indeks metodu, yanma önleyici sistemlerdir [Lu 2002].

Yanma önleyiciler, ısınma, piroliz, tutuşma veya alev yayılması sırasında yanma sürecini bölmek için kimyasal ve/veya fiziksel bir mekanizma aracılığıyla ya buhar evresinde ya da yoğunlaşma/sıvılaşma/yoğuşma evresinde harekete geçerler. Örneğin, doldurucuların (filler) birleşmesi temelde polimerin hafifletilmesini ve ayrışma gazlarının yoğunlaşmasının azaltılmasını sağlar. Suyla karıştırılmış (hydrated) doldurucular aynı zamanda yanma yüzeyindeki piroliz bölgesini soğutmak için endotermik olarak çözülürler ya da alev almaya gazlar salarlar.

Yanma önleyici mekanizmaların bir başka esas kategorisi "şişme" (intumescent) olarak bilinir ki bunda maddeler ateşe ya da ısıya maruz kaldıklarında şişerek genelde karbonlu, gözenekli bir köpük yığını oluştururlar ve bu ısı, hava ve piroliz ürününe bir bariyer görevi görür. Bu malzemelerin formülasyonunda, genelde bir tabaka oluşturucu aracı, tabaka oluşumu için bir katalizör ve köpüren bir aracı

bulunur. Halojenli olanlar buhar evresinde seyreltici ve sıcaklık düşürücü veya alevin büyümesini önleyen veya yavaşlatan serbest radikal tuzağı olarak davranırlar. Fosforlu olanlar polimerik maddenin üzerinde bir tabaka (char) oluşturarak yanmanın başlaması için gerekli ısı ve hava transferini engelleyerek etkili olurlar. Halojen atomları (brom ya da klor gibi) yaygın olarak kullanılsa da yanma sırasında oluşan hidrojen halojenürün zehirliliği ve metal parçaları paslandırması dezavantajlardır. Bu tip zehirli ve aşındırıcı gazların oluşmasını önlemeye yönelik giderek artan bir talep, halojen içermeyen yanma önleyicilerin geliştirilmesini sağlamıştır. Polimerlerde yanma önleyiciliği sağlamada iki yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar aditif tip ve reaktif tip olarak bilinir. Yaygın olarak kullanılan aditif tip yanma önleyiciler genelde fiziksel yollarla polimeriklerle birleştirilirler. Görünürde bu en ekonomik, hızlı ve kolay yoldur. Ancak, düşük uyumluluk, süzülme ve mekanik özelliklerdeki azalma gibi problemleri vardır. Reaktif yanma önleyicilerin uygulanması, ya yeni yanma önleyici polimerler tasarlanmasını ya da var olan polimerlerin zincir içinde veya asılı bir grup olarak yanma önleyici bir birimle kopolimerizasyonunu içerir. Şu anda yeni polimer tasarımı üretim ve işlenmede yeterli uyumluluktan yoksundur ve kullanılacak yeni malzemenin seçilmesiyle ilgili masraftan dolayı ekonomik değildir. Bu durum, modifikasyon yaklaşımının daha çok tercih edilmesine yol açar çünkü elektron paylaşımıyla yanma önleyici birimin polimer sırt kemiğine yerleştirilmesi kalıcı yanma önleyicilik verir ve özgün fiziksel ve mekanik özellikler korunur. Araştırmalar bu yönde yoğunlaşmıştır ve sonuçlar birimin ağırlığının küçük bir yüzdesinin bile polimer zinciriyle birleştirilmesinin polimerin yanma önleyiciliğini dikkate değer ölçüde ilerletebildiğini göstermektedir [Kracklauer ve ark. 1978].

1.3.2. Yanma önleyiciler

1.3.2.1. Fosfor bazlı yanma önleyiciler

Fosfor içeren yanma önleyicilerin alanı oldukça geniş ve malzemeler çok yönlüdür. (Fosfinler, fosfin oksitler, fosfan bileşimleri, fosfonatlar, elementel kırmızı fosfor, fosfitler ve fosfatlar). Ana hatlarıyla üç kısma ayrılırlar;

- Basit reaktif fosfat monomerleri
- Lineer polifosfazenler
- Aromatik fosfazenler

Burada tartişılan bütün birleşimler ya bütün polimer zincirleridir, ya da elektron paylaşımıyla kopolimer zincirinin parçasını oluştururlar. Bunlar polimer zincirlerine homopolimerizasyon, ko-polimerizasyon, yüzey modifikasyonu ya da karışma yoluyla yerleştirilebilirler. Bu birleşimler çoğunlukla yanma önleyicilik fonksiyonlarını, karbonlu ckelti ya da tabaka miktarını arttıarak, yoğunlaşma evresinde yerine getirirler ki iki tabaka oluşturucu mekanizma vardır;

- a) Ayrışma dahilindeki kimyasal reaksiyonların yönünü CO yada CO₂ yerine karbon üreten reaksiyonlardan yana değiştirmek,
- b) Koruyucu tabakadan oluşan bir yüzey tabakası oluşturmak.

Yapıştırıcılarda, kaplamalarda, havacılık ve elektronik endüstrilerindeki karmaşık kompozitlerdeki yaygın kullanımlarından dolayı, yanma önleyici epoksi reğinelerine olan talep oldukça fazladır. Epoksi reğinelerinde yanma önleyiciliği geliştirmenin en etkili yolu polimer sırt kemiğine ya da yan zincirine fosfor içeren kimyasal birimler yerleştirmektir [Kracklauer ve ark. 1978].

Bir epoksi reğinesinde sağlanabilen en yüksek yanma önleyicilik derecesi, fosfor içeren oksiranlar ya da fosfor içeren krleme araçları kullanılarak elde edilmiştir. Fosfor içeren oksiranların daha iyi yanma önleyicilik vermelerinin sebebi, basitçe onların ağırlık yüzdelerinin daha çoğunun fosfor olmasıdır. Dikkat çeken bir başka basit yapı, 9,10-dihydro-9-oxa-10-fosfafenantren-10-oksit'tir (DOPO). DOPO bazlı epoksit kullanılarak elde edilen polimer % 54'e varan LOI (limited oxygen index) değerine sahiptir. Bu malzemelerin iyi yanma nleyiciliğe ulaşması için, epoksi reçinesi zincirine yalnızca % 1,7 (w/w) fosfor eklenmesi yeterlidir. Fosfor içeriği ne kadar fazla olursa LOI değeri o kadar yüksek olur [Kracklauer ve ark. 1978].

Post-polimerizasyon, fosforilasyon ve fosfonilasyon yanma önleyiciliği geliştirmede oldukça etkilidir. Fosforil PVOH örneklerinde artan fosfor içeriğiyle beraber sabit bir oranda artan LOI değeri gözlenmiştir. Vinil fosfatların PS, poli(metil metakrilat) (PMMA) poli(akrilonitril) ve poli(akrilamit) gibi ürün polimerleri olarak kopolimerizasyonu, arttırılmış yanma önleyiciliği beraberinde getirmiştir. Poli(fosfatester)ler yalnızca iyi yanma önleyicilik sergilemekle kalmaz, aynı zamanda cazip plastikleştirme özellikleri de taşırlar. Bu polimerlerin LOI değerinin sürekli >40 olduğu anlaşılmıştır. Poli(fosforamit ester)ler solüsyon ya da ara yüzeysel polikondensasyonla sentezlenebilir. Bu polimer sınıfı yüksek LOI değerinin (>50) de ortaya koyduğu düşük alev alırlık ve çok yüksek kok bırakımı (% 52–78)

ile ayırt edilir. Yanma önleyici bir poli(ester) poli(etilen-1,4-terephthalate) (PET) ya da poli(etilen-2,6 naphthalate) (PEN) ile kopolimerize edilmiş, ortaya çıkan fosfor içerikli kopolimerler, PET ve PEN için ayrı ayrı % 0,75 – 0,5 gibi düşük fosfor içerikleriyle olağanüstü yanma önleyicilik sergilerler [Kracklauer ve ark. 1978].

Polifosfazenler polimer zincirlerinde fosfor bulunmasından dolayı, kalıtsal olarak yanma önleyicidirler, yüksek ısı stabilitesi, alev dayanıklılık, yüksek LOI değeri ve düşük duman evrimi özellikleri sergilerler. LOI değeri % 27-33 civarlarındadır. İskeletsel azot ve fosfor atomları olan siklotrifosfazenler, yanma önleyicilik ve kendini söndürebilirlik gibi alışılmadık ısı özellikleri sergilerler. Amino siklotrifosfazenler bis- ya da tris-maleimido türevleri hazırlamak ve geliştirilmiş alev ve ısı dayanıklılığı olan polimerler elde etmek için bunların polimerizasyonunda kullanılırlar. Alev özelliği test edildiğinde, nerdeyse alev almaz olduğu söylenir [Lewin 1997].

1.3.2.2. Silikon bazlı yanma önleyiciler

Araştırmalar, değişik polimerik malzemelere nispeten az miktarda silikon bileşimleri eklenmesinin, hem yoğunlaşma evresinde tabaka oluşturma hem de buhar evresinde aktif radikallerin tutulması yoluyla, onların yanma önleyiciliklerini önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir. Bunlar çevre dostu aditifler olarak değerlendirilirler çünkü kullanımları mevcut malzemelerle karşılaştırıldığında çevre üzerindeki zararlı etkide bir azalmaya yol açarlar. Kil ve kaolin gibi silikat malzemelerden elde edilen organik-inorganik nano-kompozitler, yayınlarda yeni bir kavram olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak burada odak noktası polimerlerin sırt kemiğini ya da asılı grubunu oluşturan reaktif lineer silanlar/siloksanlar ve silseskioksanlar olacaktır. Kovalent bağlanma içeren soljel sürecinden elde edilen organik-inorganik nanokompozitler de dahil edilmiştir. Isı yayma oranında toz siloksanlar % 70-80, sıvı siloksanlar % 49-78 azalma sağlarlar. Hidroksille bağlanmış poli(dimetil siloksan) (PDMS) doğrudan epoksi reçinesi formülasyonunda kullanılabilir. Epoksi reçinesi sistemine siloksan birimleri eklenmesi, hem matris sisteminin hem de kompozit malzemelerin dielektrik gücünü, karşılaştırmalı dayanım endeksini, yüzey direncini ve ark direncini artırır. Hidroksille bağlanmış PDMS aynı zamanda bir blok kopolimer biçimindeki poli(üretan)ların yanıcılığını arttırmak için kullanılır. Silikonize blok kopolimerin PDMS içeriği ne kadar yüksekse, LOI değeri de o kadar yüksektir. Siloksan katılması aynı zamanda, yüksek

performans havacılık ve diğer mühendislik uygulamalarında gereken eğilebilirlik ve çarpışma özelliklerini de geliştirir [Lewin 1997].

Bir başka komplike yaklaşım, silikon içeren epoksitlerin sentezlenmesidir. Bu epoksitler kendi başlarına kürlenip homopolimerler oluşturulabilir ya da başka epoksi komonomerleriyle karıştırılıp kürlü epoksi matrisleri elde edilebilir. Silikon içeren epoksinin diamin kürlenme aracıyla karıştırılması, reçine sistemine % 9'dan daha yüksek bir silikon içeriği sağlar ve bu mükemmel yanma önleyicilik ve yüksek tabaka bırakımı demektir. Poli(stiren) (PS) ve polivinilalkol (PVOH) bir dizi klorosilan ile silile edilmiştir ve sonuçlar, azaltılmış yanıcılık ve arttırılmış tabaka bırakımı açısından önemlidir. Kimyasal bağlanma yoğunlaşma evresinde silikonu tutar ve bu camsı bir tabaka oluşumuna yol açan hayati bir süreçtir ve ısı ile kütle transferine karşı bir bariyer görevi görür. Polihedral oligomerik silseskioksan (POSS) yardımcı kimyasalları, monomerler ve polimerler nanogüçlendirilmiş plastiklerin hazırlanması için yeni bir kimyasal hammadde teknolojisi olarak ortaya çıkmıştır. POSS yardımcı kimyasallarının lineer termoplastikler ya da termoset ağlarına eklenmesi, polimerik sistemin kompozisyonu, lokal yapısı ve zincir hareketliliğini modifiye etmek için kullanılabilir. Bu modifikasyonlar birçok polimerik reçinenin termal, oksidatif ve boyutsal stabilitelerini etkileyip, arttırılmış camsı geçiş ısı, arttırılmış oksijen geçirgenliği, azaltılmış yanıcılık ve ısı evrimine ve modifiye mekanik özelliklere yol açarak bunların özelliklerini çok sayıda yüksek performans mühendislik uygulamalarına yükseltebilir [Kracklauer ve ark. 1978].

Yanmaz poli(imid)/silika nano-kompozitler bir soljel işleme metodu kullanılarak hazırlanır. Sonuçta silika partiküllerinin polimer matrislerinde agregasyonundan kaçılmış olur; bunun yerine partiküller polimer matrislerine homojen olarak dağıtılır. Yanma sırasında, yüzeyde silika oluşur ve polimerin ileri ayrışmasını önleyebilir, ısı ve alev dayanıklılığını arttırır.

1.3.2.3. Bor bazlı yanma önleyiciler

Boratlar ve borik asit, özellikle halojene polimerler ve halojen polimer sistemleriyle, sinerjik etkisi olan yerleşmiş yanma önleyicilerdir. Bor bileşikleri yoğunlaşma evresinde harekete geçip ayrışma sürecini CO ya da CO₂ yerine karbon oluşumu lehinde yönlendirirler. Aynı zamanda, yanma önleyiciliğin, karbon oksidasyonunu önlemek için oksijen ulaşımına bir bariyer görevi yapan koruyucu bir

tabaka (char) oluşumuyla ilgili olduğu varsayılmaktadır. Bor içeren yanma önleyiciler, antimon oksit gibi geleneksel yanma önleyicilerden daha ucuz, daha az toksik alternatifler olarak geliştirilir. Önceleri aromatik borik asitler yanma önleyici olarak kullanılırdı, ancak artık devre dışı kalma sürecindedir.

Polimere karboran birimlerinin dahil edilmesinin yanma önleyicilik bağlantılı uygulamaları olmasa da, karboran içeren polimerlerin tabaka (char) oluşturma özellikleri vardır. Tris(2-hidroksipropil) borat ki borik asitten hazırlanabilir, reaktif tip bir yanma önleyicidir ve katı PU-poli(izosiyanürat) köpüklerinde kullanılır. Genel olarak, polimere karboran birimleri dahil edilmesi arttırılmış termal stabiliteye yol açar, yanma önleyicilik bağlantılı uygulamaları olmasa da, karboran içeren polimerlerin tabaka (char) oluşturma özellikleri bu alanda ele alınabilir [Lewin 1997].

Poli(eter keton)ları esas alan lineer, termoplastik polimerler geliştirmeye çalışmış bu malzemelerin azot altında 850 °C'ye kadar çok yüksek kütle retansiyonu (% 93'e kadar) ile ayırt edildiği ve yanmaya aşırı direnç gösterdikleri görülmüştür.

Geliştirilen poli(karboran siloksan asetilen) bazlı seramik malzemeler, yüksek ısı stabilitesi, sertlik, kimyasal eylemsizlik, işlenebilirlik ve çözülerek tek bir polimerik sistem olma gibi istenilir özelliklere sahip oldukları için tercih edilirler. Isı uygulandığında, yüksek tabaka (char) oluştururlar [Kandola ve Harrock 1999].

1.3.2.4. Azot bazlı yanma önleyiciler

Azot içeren yanma önleyiciler çevre dostudur çünkü daha az toksiktirler ve polimerlerde bulunanlara ek olarak element barındırmazlar. Yanma sırasında hiç dioksin ve halojen asitleri yan ürünü yoktur. Aynı zamanda geri dönüşüm için de uygundur. En önemli reaktif tip organik azot yanma önleyiciler melamin ve türevleridir. Klorlu kauçuk, vinil ve epoksi kaplamaları gibi değişik melamin fosforik asit tuzlarının oluşturduğu kaplamalar, katı PU köpüğü ya da naylon sistemlerde uygulanmışlardır. İyi yanma önleyicilik sağlarlar. Yanıcılığı azaltmak için yaygın olarak kullanılan bir strateji, piroliz bölgesini soğutmak için endotermik olarak su evrimi sağlayan hidratlı alumina ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) gibi bileşimlerin kullanımını içerir. Varlıkları reçinenin hidrolizini sağladığı ve ayrışmaya yol açtığı için bunların poli(siyanürat)larla kullanılmamasına özen gösterilmelidir [Lewin 1997].

Özlerinde yanma önleyici özellikler olan yeni azot içeren polimerler geliştirilmektedir. Oksazen reçinesi bu yeni gelişmelerden biridir. Avantajları; iyi mekanik ve elektrik özellikler, iyi işlenme karakteristikleri ve düşük yoğunluk, az zehirlilik ve az aşındırıcılıktır. Polimere -NH- bağı ilave edilmesinin daha iyi yanma önleyicilik özelliğine sahip olduğu ortaya çıkmıştır [Kracklauer ve ark. 1978].

1.3.2.5. Karışık elementler

Organometalik ve inorganik geçiş metal bileşikleri aditif yanma önleyiciler olarak yaygın olarak kullanılmışlardır. Mg, Cr, Mn, Sn, Ba ve U'nun yakıtı zengin H₂-O₂-N₂) karışımlarındaki hidrojen atomlarının yeniden karışmasını güçlendirdiği keşfedilmiştir. Na, Co, Ni, Cu, V, Zn, Ga, Th, Ge ve La metalleri o kadar etkili değillerdir, Ca, Sb, Pb, Ti ve Si bileşimleri ve birçok başkaları inhibitör aktivitesi gösterirler. Zor kısım, metali polimer zincirine yerleştirip, azaltılmış malzeme miktarı kullanarak onun yanma önleyicilik üzerindeki etkisini arttırmak ve aynı zamanda mekanik ve diğer özelliklere gelebilecek herhangi bir zararı minimumda tutmaktır.

Antimon polimeri başka polimerlerle Sb₂O₃'ten daha uyumludur ve yanma önleyici olarak ondan neredeyse iki kat daha etkilidir. Vanadyum bileşikleri çapraz bağlı, metal koordineli polimerler hazırlamak için kullanılır. LOI'deki ve entümesan tabaka (char) oluşumundaki büyük artışın altında yatan yanma önleyicilik mekanizması henüz bilinmemektedir, ama FeCl₃'ünküyle benzer olduğu düşünülmektedir. Nikel ve çinko bileşimleri eklenmesinin LOI ve tabaka (char) bırakımı üzerinde ya hiç etkisi yoktur ya da çok az vardır. Koordinasyonun ve buna bağlı olarak yanma önleyici etkinin geçiş metalinin "d" orbitalleri ile ilgili olduğu önerilmiştir [Lewin 1997].

Çizelge 1.4.'de bazı güç tutuşurluk kimyasalları ve uygun oldukları lif grupları verilmiştir.

Çizelge 1.4. Bazı güç tutuşurluk maddeleri ve kullanıldıkları lifler

Güç Tutuşurluk Maddeleri	Kullanıldıkları Lifler
Tetrakis(hidroksimetil) fosfonyum hidroksit Tris hidroksimetil fosfor Tris(hidroksimetil) fosfor oksit Tetrakis(hidroksimetil) fosfonyum amonyum hidroksit	Pamuk
Amonyum sülfamat	Keten
Organik borat fosfaz Fosfonyum tuzu Organik fosfat	Viskoz
Antimon-brom bileşikleri Antimon pentaoksit (Sb_2O_5) İnorganik tuzlar Organik halojen Organik fosfor bileşikleri	PES/Pamuk
Antimon Klorlanmış bileşikler Organik halojen Organik fosfat Fosfonat	Poliester

KAYNAK: KUTLU, B. 2002. Isıya Dayanıklı ve Isıdan Koruyucu Giysilerin Termal Analizi ve Performans Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir. s. 6.

1.3.2.6. Alev geciktirici lifler

Birçok lif yüksek sıcaklığa dayanıklı olduğu için alevlenmeyi geciktirici olarak kullanılmaktadır. Doğal, rejenere, sentetik ya da onların karışımları halindeki birçok tekstil lifi, çoğu yanıcı olan oldukça kararsız ürünler oluşturarak 400 °C'nin altında bozunmaktadırlar. Tutuşma sıcaklıkları 400–600 °C arasında ve sınırlayıcı oksijen indeksi yanmayı destekleyecek şekilde % 25'in altındadır. Yalnızca yün lifinin LOI değeri % 25,2'dir. Bazı tekstil liflerinin termal özellikleri **çizelge 1.5.**'te verilmiştir. Isı, lifte kimyasal olduğu kadar fiziksel değişiklik de yapmaktadır. Termoplastik liflerde, fiziksel değişimler iki aşamalıdır. Birinci fiziksel değişim camlaşma sıcaklığında (T_g) gerçekleşmekte; ikinci değişim de erime sıcaklığında (T_m)'de erime şeklinde olmaktadır. Bunun yanında kimyasal değişimler, termal bozunmaların (piroliz) olduğu T_p sıcaklığında ve ardından oksidasyon ve yanmanın olduğu T_c sıcaklığında meydana gelmektedir [Kutlu 2002].

Yanma özellikleri bakımından konvansiyonel tekstil lifleri dört gruba ayrılmaktadır:

a)Yüksek derecede yanıcı lifler: Selülozik lifler (pamuk, viskoz, asetat, triasetat, keton) bu gruptadır. Karbon, yakıt gibi davranan hidrojen ve yanmayı destekleyen oksijenden oluşmaktadır.

b)Yanmayı güçlükle destekleyen lifler: Protein lifleri (yün, ipek) bu gruptadır, çünkü azot içerirler. Azot yanmamakta ve yanmayı desteklememektedir. Bu yüzden lifler çok zor yanmaktadır. Oluşan karbonlu yapı da alevi önleme eğilimindedir.

c)Eriyerek yanan lifler: Naylon ve perlon gibi poliamidler, terilen ve dakron gibi poliesterler, orlon ve krilon gibi akrilikler bu gruptadır. Bu lifler kolaylıkla yanmaktadırlar ve düşük yumuşama ve erime sıcaklıklarına sahiptirler. Alevle karşılaştıklarında eriyerek alevli bir şekilde bütünüyle yanmaktadırlar.

d)Yanmayan lifler: Bu grupta, polivinilklorür (Vinyon, Rovil, Thermovil) lifleri bulunmaktadır. Liflerin içerdiği klor yapısal olarak güç tutuşurdur ve liflere çok iyi güç tutuşurluk özelliği katmaktadır. Bazı tekstil liflerinin termal özellikleri **çizelge 1.5.**'te verilmiştir.

Çizelge 1.5. Bazı tekstil liflerinin termal özellikleri

Lif	Yumuşama (°C)	Erime (°C)	Piroliz (°C)	Tutuşma (°C)	AH (kJ/g)	LOI %
Yün			245	600	27	25,2
Pamuk			350	350	19	18,4
Viskoz			350	420	19	18,9
Triasetat	172	290	305	540		18,4
Poliamid 6	50	215	431	450	39	20-21,5
Poliamid 6.6	50	265	403	530	32	20-23
Poliester	80-90	255	420-477	450-480	24	20-21,5
Akrilik	100	>220	290	>250	32	18-18,2
Polipropilen	-20	165	469	550	44	18,6
Modakrilik	<80	>240	273	690		26,8-30
PTFE	-17	180-210	>220	532	11	60
Nomex	275	375	310	500	30	28,5
Kevlar	340	560	590	>550		29
PBI	>400		>500	500		40-42

KAYNAK: KUTLU, B. 2002. Isıya Dayanıklı ve Isıdan Koruyucu Giysilerin Termal Analizi ve Performans Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir. s. 48.

1.3.2.7. Güç tutuşur poliester lifleri

Hem fosfor içeren hem de brom içeren güç tutuşurluk maddelerinin poliester üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. Fosfor bileşiklerinin etkisi hem sıvı/katı fazda hem de gaz fazındadır. Ancak fosfor içeren Trevira T271 (Hoechst), gaz fazlı etki gösteren brom içeren Dacron 900F (Du Pont)'ye göre daha düşük performans göstermektedir. Polifosfonat içeren Heim (Toyobo Co.) lifleri de bazen bromlu liflerden daha az etki göstermektedirler.

Diğer ticari ürünler arasında, Spectran (Monsanto) ve GH (Toyobo) lifleri bulunmaktadır. Poliester için kullanılan önemli güç tutuşurluk maddeleri: trifenil fosfinoksit 3,5-dibromteraftalat, dekabromdifenileter, tribromdifenildir. Ayrıca Mobil Chemical tarafından üretilen Antiblaze 19 adında oligomerik çiklik yapısındaki madde de oldukça etkili, dayanıklı, zehirsiz ve hidrolitik dayanıma sahip bir güç tutuşurluk maddesidir. Ayrıca metilen-bis (akrilamid) ve düşük molekül ağırlıklı vinil fosforik asitetilen glikol-ester kombinasyonu da PES üzerinde etkili bulunmuştur. Sentetik liflerde güç tutuşurluk, güç tutuşurluk maddelerinin lif üretimi sırasında monomerlere eklenip kopolimerizasyon yapılmasıyla elde edilmektedir.

1.3.3. Güç tutuşurluk bitim işlemi

Güç tutuşur apreler; yanmayı, dumanı ve yangın sonucu ölümleri engelleyen veya azaltan hayat kurtarıcı ürünlerdir. Güç tutuşurluğun önemi ülkeler arasında farklılık göstermektedir. Güç tutuşur malzemeler Amerika için çok önemli olup hayat kurtaran ürünler olarak kabul edilmekte, İngiltere'de ev tekstili için zorunluluk var iken, Avrupa ülkeleri çevre ve sağlık üzerine odaklanarak daha şüpheli yaklaşmaktadır. Birçok yanıcı organik malzemelerin eklenecek özel katkı malzemeleri ile tutuşmaları engellenebilir. Çalışma şekilleri ve özellikleri farklı çok çeşitli güç tutuşur apre malzemeleri mevcut olup, uygulanmalarında önemli olan elyaf cinsi, elyaf kompozisyonu ve oranları, tekstil materyalinin kullanım alanları ve tekstil materyaline uygulanacak test metodları ve güç tutuşur apre uygulama metodlarıdır [Kayatürk 2003].

Uygulandığı materyalin elyaf yapısına, türüne, ağırlıklarına, dokuma yapılarına, elyaf kombinasyonlarına, yıkamaya veya kuru temizlemeye dayanıklılıklarına göre çeşitlilik gösteren güç tutuşur malzemeler fulard, sprey,

kaplama veya köpük yöntemi ile uygulanabilir. Uygulama metotları kullanılacak tekstil materyaline veya kullanım alanlarına göre değişiklik göstermektedir. Güç tutuşur malzemelerin kaplama yerine fulardda uygulanması verimliliklerini arttırır. Çünkü kimyasal kumaşın içine nüfuz ettiği zaman en iyi performansı gösterir. Kaplama olarak kullanılan güç tutuşur malzemelerdeki suda çözülmeyen malzemeler güç tutuşur kimyasalların kumaşın içine nüfuz etmesini engeller bu durumda kalın kumaşlarda verim düşmesi gözlenir.

1.3.4. Güç tutuşurluk özelliğinin test edilmesinde kullanılan yöntemler

Türkiye’de güç tutuşurluk ile ilgili herhangi bir yasa olmamasına rağmen, Amerika’ya, İngiltere’ye satılan bazı tekstil materyallerinde güç tutuşurluk uygulamaları zorunlu tutulmaktadır. İhracatın % 80’nini Avrupa, UK, USA yapan tekstil üreticilerinin farklı ülkelerde uygulamada olan yangın güvenliği düzenlemelerini, test metodlarını veya standartlarını bilmesi gerekmektedir. Farklı ülkelerde uygulanan güç tutuşur standartları **çizelge 1.6.**’da verilmiştir [Kısakürek 2003].

Çizelge 1.6. Güç tutuşurluk test standartları

Ülke	Standart	Test	Kullanım Yeri
Avrupa normu	EN1021 part 1 ve 2	Sigara ve kibrit	Düşük tehlikeli topluma açık yerler
İngiltere	BS 5852 part1	Sigara ve kibrit	Perde/Döşemelik
İngiltere	BS 5852 part2	Crib 5	Ev içi kullanım
İtalya	CSE RF1/75/A&3/77	Clase 1	Topluma açık yerlerde perde/döşemelik
Almanya	DIN 4102 part1	B1	Topluma açık yerlerde perde/döşemelik
Fransa	NFP 92-503	M1	Topluma açık yerlerde perde/döşemelik
İspanya ve Portekiz	NFP 92-503	M1	Topluma açık yerlerde perde/döşemelik

KAYNAK: KISAKÜREK, D. 2003. Yanmaya Dayanıklı Polimerler. XVII. Ulusal Kimya Kongresi. İstanbul, 8-11 Eylül 2003, s.Ç-20.

Yakma testleriyle kolay tutuşma, alev yayılma boyu ve oranı, açığa çıkan ısının miktarı, için için yanma, yanma ürünlerinin miktarı ve zehirliliği ölçülmektedir. Fakat bu testlerde bulunan ölçüm sonuçları, tutuşturma kaynağının özelliklerine, kumaşın ve tutuşturma kaynağının yerleşimine ve çevresel koşullara bağlıdır.

Tutuşma kolaylığı testi standart bir tutuşturma kaynağının bir kumaşa, kumaşın tutuşması için temas ettirilmesi gereken süreyle ters orantılı bir nicelik olarak tanımlanmaktadır. Testte kumaşların tutuştuğu (alevli ya da alevsiz) andaki ısı akışı bulunmaktadır. Tutuşma zamanını etkileyen, parametreler arasında, örneğin hazırlanması (kondisyonlama), açısı, tutuşma noktası, kumaş ağırlığı ve eğer termoplastik ise çekerek alevden uzaklaşması sayılabilmektedir.

Alev yayılma testlerinde, test örneğinin alevden zarar görmüş olan alanı ya da uzunluğu belirlenmektedir. Bu testin çeşitli versiyonlarında, testlerde kullanılan test örneği boyutları birbirinden çok farklıdır. Bu test sonuçlarını etkilemektedir. Çünkü alev yayılımı genelde, kumaşın alev yayılmasına paralel doğrultudaki boyunun artmasıyla artmaktadır. Alev yayılımı testleri, en çok 45 °C eğik, dik ve yatay yerleştirilmiş örneklerde uygulanmaktadır. Yatay pozisyonda oldukça yavaş yanan akrilik ve asetat lifleri dışındaki liflerde, kumaş yerleşim açısı sonuçları çok fazla etkilememektedir.

45 °C eğik yakma testlerinde, (DIN 54332), 45 °C açıyla yerleştirilmiş olan test örneği belirli bir süre, alt kenarında standart bek alevine maruz bırakılmaktadır. Deney sonunda, bek çekildikten sonra alevli yanma süresi, için için yanma süresi, belirli bir uzunluğa kadar yanması için geçen süre gibi veriler belirlenip değerlendirme yapılmaktadır.

Dikey yakma testleri, (DIN53906, DIN54336, B SEN 532:1995), eğik ve yatay yakma testlerine göre geçilmesi daha zor olan testlerdir. Eğik yakma testindeki gibi belirli bir süre bek alevi etkisinde tutulmaktadır. Yanma boyu, alevli yanma süresi, için için yanma süresi ölçülmektedir.

Sınırlayıcı oksijen indeksi (Limiting Oxygen Index: LOI), daha önce de değinildiği gibi, materyalin yanmasını desteklemesi için gerekli en az oksijen konsantrasyonudur. Test, oksijen-azot atmosferinde dikey yerleştirilmiş bir örneği hidrojen aleviyle en üst kenarından tutuşturarak yapılmaktadır. Kumaşlar üstten alta doğru yanmaktadır. Kumaş yandığında, oksijen ve azot akımları, örnek yavaş

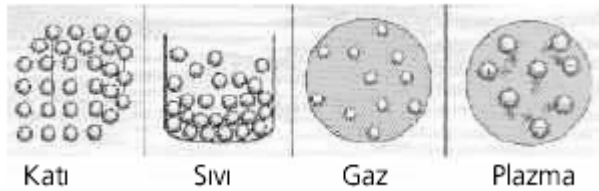
ve kararlı bir şekilde tamamıyla yanana kadar ayarlanmaktadır. Sonuçlar tutarlı bir hal alana kadar test tekrarlanmaktadır. Havadaki oksijen oranı yaklaşık % 21 olduğu için % 21'den küçük LOI değerine sahip materyaller havada kolaylıkla yanmaktayken % 21'den büyük olanların yanmak için ek oksijene ihtiyaçları olmaktadır.

1.4. Plazma Teknolojisi

1.4.1. Plazmanın tanımı

Plazma terimi, ilk defa 1929'da Langmuir tarafından iyonlarına ayrılmış bir gaz olarak tanımlanmıştır. İyonlarına ayrılmış gaz olan plazma, içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton, nötral atom veya molekül içeren bir karışımdır. Plazma maddenin katı, sıvı ve gaz hallerinden oldukça farklılık göstermesinden dolayı maddenin dördüncü hali olarak da ifade edilir. Bu haller arasında esas fark sahip oldukları enerjidir.

Termal dengedeki katı bir madde, sabit basınçta sıcaklığının artırılması ile sıvı hale geçmekte, sıcaklık arttırılmaya devam ederse sıvı, gaz haline geçmektedir. Sıcaklığın artması ile gaz içindeki moleküller rastgele doğrultularda serbestçe hareket eden gaz atomlarını oluşturmak için ayrışmaktadır. Eğer sıcaklık daha fazla arttırılırsa gaz atomları veya molekülleri iyonize olmakta ve maddenin dördüncü hali olan *plazmayı* oluşturmaktadır. Aşağıdaki şekilde maddenin sıcaklığının arttırılması ile meydana gelen hal değişimi gösterilmektedir.



Şekil 1.9. Sıcaklık artışı ile maddenin hal değişimi

KAYNAK: <http://www.plasmas.org/rot-plasmas.htm>

Plazma çok yüksek sıcaklıklarda güçlü elektrik ve/veya magnetik alanlarla oluşturulabilmektedir. 10.000 K'nin üzerindeki sıcaklıklarda tüm molekül ve atomlar iyonize olmaktadır.

Maddenin gaz hali ile plazma hali arasında bazı temel farklılıklar bulunmaktadır. Bunlar:

- Gazlar elektriği iletmezken plazma iyi bir iletkenidir. Bunun nedeni gazların nötral parçacıklardan plazmanın ise iyonize olmuş gazlardan oluşmasıdır.
- Gazlar boşluğu doldurma eğiliminde olmasına rağmen plazmalarda toplanma eğilimi vardır.
- Gazlarda moleküller ve atomlar arasındaki çekim kuvvetleri zayıf iken plazmalarda yüklü parçacıklar arasındaki Coulomb çekim kuvvetleri çok uzak mesafelerde bile etkili olmaktadır.

Plazmada çeşitli reaksiyonlar meydana gelmektedir. İyonizasyon, bağlanma, dissosiyatif iyonizasyon, dissosiyatif bağlanma, birleşme, yük transferi, ayrılma, iyon-iyon birleşmesi, atom-atom birleşmesi bunlara örnek olarak verilebilir. Meydana gelen reaksiyonlar bunlar ile sınırlı olmayıp, uyarılmış atomlar ve moleküller temel enerji seviyelerine döndüklerinde UV'den IR'e kadar farklı fotonlar yaymaktadır.

1.4.2. Plazma teknolojisinin kullanım alanları

Plazma teknolojisi; kağıt endüstrisinde, uzay sanayisinde, tekstil endüstrisinde, biyoloji ve biyomedikalde, iletişim teknolojisinde, elmas yapımında, sterilizasyon ve arıtma sistemlerinde, otomotiv ve uçak endüstrisinde güneş enerjisi ve optik sanayisinde, elektronik çip yapımında, radar ve füzyon araştırmaları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

1.4.3. Plazma teknolojisinin sınıflandırılması

Plazmalar genellikle, plazma türlerinin sıcaklıklarına bağlı olarak sıcaklıkları $10^6 - 10^8$ K' e ulaşabilen '*yüksek sıcaklık plazmaları*' (yıldızlar, termonükleer reaktörler), buna karşılık sıcaklıkları 10^6 K' in çok aşağısında olan '*düşük sıcaklık plazmaları*' diye iki temel gruba ayrılırlar.

Düşük sıcaklık plazmaları da *sıcak plazma* ve *soğuk plazma* olarak kendi aralarında iki kısma ayrılırlar. Sıcak plazmanın gaz sıcaklığı 1000 K' in üzerinde

olup, genelde şimşek çakmasında, elektrik arklarında ve diğer yüksek enerjili ortamlarda oluşur.

Soğuk plazmanın gaz sıcaklığı 1000 K' den düşük olup genelde 300–400 K civarındadır. Düşük sıcaklık plazmalarında moleküller, iyonlar, elektronlar termodinamik olarak dengede değildirler. Elektron sıcaklığı 104–105 K (1–10 eV) ulaşırken, iyon sıcaklığı ise oda sıcaklığına yakındır. Bu nedenle bu plazmalara *soğuk plazma* denmektedir. Plazma haline geçiş için, gaz halindeki maddeye enerji vermek gerekir. Gerekli olan bu enerjiyi, ısı, ışın, manyetik ve elektrik enerjisi şeklinde vermek mümkündür. Bunlardan pratikte en çok kullanılan ve en önemli olan elektrik boşalmasıyla plazma elde etmektir. Bu tür plazma için güç kaynakları doğru akım (DC), düşük frekans, radyo frekansı (RF) veya mikrodalga frekansıdır (MW) [Gril 1993].

Plazmayı oluşturan DC, düşük ve yüksek frekanslı AC (alternatif akım) ve mikrodalga boşalmaları elektrik veya elektromanyetik alanların doğasına bağlı olarak tanımlanabilir. Plazmaları karakterize eden başlıca parametreler; *ortalama serbest yol (free path)*, *debye uzunluğu*, *plazma sıcaklığı* ve *ortalama elektron enerjisi*dir. Burada serbest yol, bir partikülün iki çarpışma arasındaki dairesel mesafesidir ve çarpışmanın muhtemel yapısından ötürü spesifik bir dağılımı vardır. Bu durum aşağıdaki denklem ile açıklanabilir [Denes 1997].

$$\lambda = \frac{1}{n (r_1 + r_2)^2 N} \dots\dots\dots(1.1)$$

Burada; r_1 ve r_2 çarpışan partiküllerin yarıçapları, N partikül yoğunluğudur (Birim hacimdeki partikül sayısı). Plazma elektriksel olarak nötraldır. Her bir partikülün elektrik alanı, çevresini saran partiküllerin elektrik alanı ile etkileşirler. Plazma bölgesi dışında her bir partikülün alanı ihmal edildiğinde sistemin nötralliği sağlanabilir. Her bir partikül potansiyel enerjisinin etrafındaki partikülün elektrik alanı ile kaplanması debye uzunluğu olarak adlandırılır ve nötralleşmenin bozulduğu hacmi tanımlar. Bu parametre aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir [Denes 1997].

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_e}{n_e e^2}} \dots\dots\dots(1.2)$$

Burada; d serbest bölgenin geçirgenliği, e elektron yükü, k Boltzman sabiti, T_e elektronların sıcaklığı ve n_e elektron yoğunluğudur (Birim hacimdeki elektron sayısı).

Plazma kaplama prosesinde reaksiyon çemberi içerisine gaz veya uçucu bileşikler gönderilir. Düşük basınç boşalması ile plazma içinde yüzeyde parçalanma ve/veya iyonlaşma meydana gelir. İyonlaşma ve kaplama prosesleri boyunca güç yoğunluğu, kimyasalın gaz akış hızı, kimyasal gazın asal taşıyıcı gaza oranı, basınç, reaksiyon süresi, reaktör geometrisi, plazma frekansı, reaktör sıcaklığı gibi değişkenler kolaylıkla kontrol edilebilir. İyonlaşmış türlerin oluşumunda gerekli enerji aralığı 0-2 eV olurken elektronlar ve yarı kararlı atomlar 20 eV'un üzerinde enerjiye ulaşırlar. Bununla beraber elektronların sahip olduğu 0.5-2 eV enerji aralığı organik yapılar da dahil bütün kimyasal bağları kırmak için yeterlidir (**Çizelge 1.7.**).

Çizelge 1.7. Bağlanma enerjileri

Bir Atomlu Moleküller	Enerji (eV)	Çok Atomlu Moleküller	Enerji (eV)
C-H	5,3	C=C	7,6
C-N	7,8	C≡C	10,0
C-Cl	4,0	CH ₃ -H	4,5
C-F	5,7	C ₂ H ₅ -H	4,3
C=O	11,2	CH ₂ CH-H	4,8
C-C	6,3	CHC-H	5,7

KAYNAK: DENES, F. 1997. Synthesis and Surface Modification by Macromolecular Plasma Chemistry. Trip. s. 23.

Plazma ortamı herhangi bir organik molekülü parçalamak için yeterli enerjiye sahiptir. Molekül yüksek oranda atomlarına ayrıştığında kaplama meydana gelir ve iyi kalitede film üretilebilir fakat üretilen filmin yapısı başlangıçta kullanılan kimyasalın yapısından oldukça farklılık gösterir. Örneğin; tetrafloroetilen gazı yüksek flor (-CF, -CF₂, -CF₃) grupları içerikli plazma film oluşumuna neden olur. Oluşan bu film, geleneksel serbest radikal polimerizasyon yöntemiyle hazırlanan poli(tetrafloroetilen)'ne (Teflon) benzemez. Geleneksel kimyasal teknikler bazı kimyasallar için özellikle silikon içerikli ince film kaplamaları için uygun olmamaktadır. Son yıllarda, silikon temelli plazma kaplamalar için çok miktarda organosilikon bileşikler denenmektedir. Bu bileşikler özellikle çeliklere uygulama açısından iki misli bağlanma özelliğine ve düşük toksik özelliğe sahip olması nedeniyle gittikçe önem kazanmaktadır.

1.4.4. Plazma yüzey etkileşimi

Plazmada radikaller, elektronlar, iyonlar, nötr atomlar, uyarılmış parçacıklar, UV ışınları bulunur. Herhangi bir yüzey plazmaya maruz kaldığında bu türler tarafından bombardımana uğrar. Bombardıman sonucu yüzeyde bazı bağlar kopar, buharlaşan bazı türler plazma atmosferine katılır ve plazmanın kimyasal bileşimini etkiler. Plazma içindeki türlerin meydana getirdiği etkileşimler:

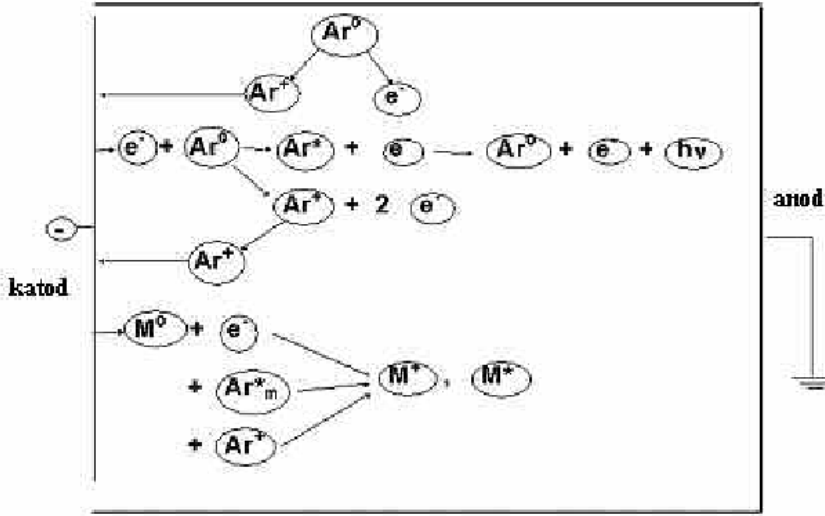
- İyon bombardımanı:
 - Yüzeyde aşınmaya sebep olur.
- UV radyasyonu:
 - Dalga boyu 178 nm'den kısa olan UV ışınları fotoiyonizasyona neden olur.
 - Bağları kopararak serbest radikallerin oluşmasına neden olur.
 - Oluşan radikallerin çapraz bağlar yapmasını sağlar.
- Elektron bombardımanı:
 - Elektronların yüzeyde oluşturdukları etki hakkında çok fazla bilgi olmamakla birlikte, etkinin sadece yüzeyde sınırlanmadığı ve daha derin etkileri olduğu düşünülmektedir.
- Radikaller:
 - Yüzeyde bulunan diğer radikallerle etkileşebilirler.
 - Hidrojen ve flor atomlarının yüzeyden ayrılmasını sağlarlar.
 - Yüzeyde polimerizasyon/çapraz bağlanmanın olmasını sağlarlar.
- Nötral türler:
 - Nötral türlerin bombardımanı büyük oranda bu türlerin kimyasal reaktivitesi ile ilgilidir. Örneğin; doymamış türler radikal içeren yüzeyde polimerize olabilirken, argon atomu gibi soygazlar reaksiyona girmemektedir [Terlingen 1993].

1.4.5. Plazma türleri

Plazmalar donanımın özelliklerine göre glow deşarj, dielektrik bariyer deşarj ve korona deşarj olmak üzere sınıflandırılmaktadır.

1.4.5.1. Glow deşarj (Isı boşalımı)

En eski plazma tipidir. Düşük ve atmosferik basınçta inert veya reaktif bir gazla üretilmektedir. Kapalı bir sistemde bir çift veya bir seri elektroda DC (doğru akım), AC (alternatif akım), RF, MW gibi farklı gerilimler uygulanarak elde edilebilmektedir. Atmosferik basınçta üretilen glow deşarj üniform ve stabil olması açısından avantaj yaratmaktadır. [Verschuren ve Kiekens 2001, Dai ve Kviz 2001, <http://www.webhost.au.ac.be/plasma/pages/what-is-a-glow-discharge.html>]

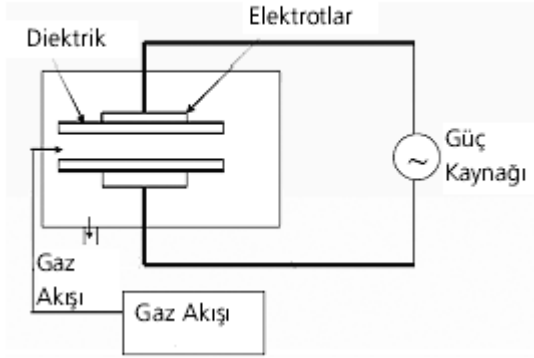


Şekil 1.10. Argon gazının glow deşarj altında gerçekleşen plazma hali
KAYNAK:<http://www.webhost.au.ac.be/plasma/pages/what-is-a-glow-discharge.html>

1.4.5.2. Dielektrik deşarj

En az birisi dielektrik malzeme ile kaplanmış bir elektrot çiftine voltaj uygulanmasıyla oluşmaktadır. Klasik atmosferik plazmalarda meydana gelen arklar sonucunda bölgesel ısınmalar ve uniform olmayan bir etki oluşmaktadır. İşlem sırasında meydana gelen mikro ışınlar dielektrik malzemeye çarptığı anda yüklenmesini sağlamaktadır. Dielektrik üzerindeki yükün hareketliliği sebebiyle yüklenme ışınlarının meydana geldiği bölgelerde olmaktadır. Bu yüzden plazma oluşumu sınırlandırılmaktadır. Bölgesel dielektrik yüklendiğinde ve elektrotlar arasında kalan boşluktaki voltaj düşürüldüğünde ışınlar ortadan kalkmakta ve ark oluşumu önlenmektedir. Işınlar yaklaşık olarak 10 ns (nanosaniye) sürmekte ve 100 µm çapında olmaktadır. Endüstriyel boyuttaki uygulamalarda kullanılan güç

kaynağı genellikle 500 Hz ile 500 kHz arasında değişmektedir [Verschuren ve Kiekens 2001, Dai ve Kviz 2001, Nehra ve ark. 2005].



Şekil 1.11. Dielektrik bariyer deşarj (DBD)

KAYNAK: LYNCH, J.B., P.D. SPENCE, D.E. BAKER, T.A. POSTLETHWAITE. 1999. Atmospheric Pressure Plasma Treatment of Polyethylene via a Pulse Dielectric Barrier Discharge: Comparison Using Various Gas Compositions Versus Corona Discharge in Air. Journal of Applied Polymer Science, 71: p.321.

1.4.5.3. Korona deşarj (Işık boşalımı)

Atmosferik basınç altında, düşük frekansta veya puls şeklindeki yüksek voltlarda bir çift elektrot arasında meydana gelmektedir. Sivri uçlu yüksek voltajlı elektrottan materyale doğru yönlendirilmiş parlak filamentlerle karakterize edilmektedir. Korona boşalması tam bir plazma değildir, iyonlaşma etkisiyle elektronlar ve iyonlar oluşmaktadır. Boşalma enerjisi iyonlaşmamış atomların ve elektronların uyarılması için yeterli olmaktadır. Boşalma sonucu oluşan elektronlar, iyonlar, uyarılmış nötr türler ve fotonlar polimer yüzeyi ile reaksiyona girip, yüzey radikallerinin oluşmasını sağlamaktadır. Bu radikaller daha sonra yüzeyde etkili bir fizikokimyasal modifikasyonun meydana gelmesini sağlayan fonksiyonel grupları oluşturmak üzere yeniden düzenlenmektedir. Uniform olmaması, yüzeyde küçük deliklerin oluşması, işlem kontrolünün zor olması bu işlemin dezavantajları arasında sayılabilmektedir. Uniform etkiler elde edilememesinin temel sebepleri, iyon ve elektron enerjilerindeki değişimler ve her birinin rastgele bir halde bulunmasıdır. Oluşan küçük arklar (korona darbeleri), yüzeyde bölgesel ısınmaya ve dolayısıyla yüzeydeki oyukların oluşmasına sebep olmaktadır [Verschuren ve Kiekens 2001, Dai ve Kviz 2001, Nehra ve ark. 2005].

1.4.6. Plazma işleme etki eden parametreler

Plazmanın fiziksel ve kimyasal özelliklerini dolayısıyla elde edilen yüzey modifikasyon derecesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Parametreler cihaz ile ilgili parametreler, işlem ile ilgili parametreler ve diğer parametreler olarak sınıflandırılabilir [Verschuren ve Kiekens 2001, Nehra ve ark. 2005, Lynch ve ark. 2001, Kang ve Sarmadi 2004, Poletti ve ark. 2003].

1.4.6.1. Cihaz parametreleri

- Elektriksel alanın cinsi,
- Elektrotlar (bağlanma şekli, yüzey alan oranı, elektrotların kaplaması),
- Manyetik alan,
- Gaz akış tertibatı (basınç, kapasite, debi)

Elektriksel Alanın Cinsi: DC, AC, RF, MW gibi farklı kaynaklar kullanılarak plazma oluşturulabilmektedir. Uygulanan elektriksel alan; gazın iyonizasyonunu gerçekleştirecek enerjiyi sağlamalıdır.

Elektrotların Yapısı: Plazma genellikle elektrot çiftleri arasına farklı frekanslarda elektriksel alanın uygulanması ile elde edildiği için, kullanılan elektrotların yapısı işlem etkinliği açısından çok önemlidir. Bu yüzden cihazda bulunan elektrotların şekilleri, yerleşimi, bağlanma şekilleri, toplam yüzey alanına oranı, yüzeyinde kaplama var ise bunun cinsi, kalınlığı, elektriksel özellikleri gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Elektrotların içeride veya dışarıda bulunması plazmanın kimyasal bileşimini etkilerken kapasitif veya indüktif olarak bağlanması homojeniteyi etkilemektedir. Yüzeyde bulunan herhangi bir kaplama ise deşarjların homojenitesini dolayısıyla verimi etkilemektedir [Terlingen 1993, Poletti ve ark. 2003].

Pompa Yapısı: Cihazın içine gaz transferini ve işlem sonunda meydana gelen uçucu bileşiklerin uzaklaşmasını sağlayan pompanın basıncı ve kapasitesi sistemin temizliğini ve işlem süresini etkilemektedir [Terlingen 1993].

1.4.6.2. İşlem parametreleri

Kullanılan gaz özellikleri, uygulanan basınç ve güç, materyal özellikleri işlem parametreleri olarak değerlendirilmekte ve işlem etkinliğini belirlemektedir.

Gaz: Plazmayı oluşturan gaz cinsi, debisi, bileşimi, plazma yoğunluğunu (plazmada bulunan iyonların, elektronların, nötr ve uyarılmış moleküllerin, fotonların oranı) dolayısıyla yüzeyde meydana gelecek modifikasyonu etkilemektedir. Plazma iyonize olmuş gazlardan oluşmaktadır. İyonizasyon herhangi bir nedenden dolayı atomdan bir elektron kopartılması veya atoma bir elektron bağlanması ile atomun yük dengesinin bozulmasıdır. İyonizasyon sonucu oluşan atoma iyon denilmektedir. Bu durum yüksek enerjili elektron veya fotonlardan kaynaklanabilmektedir. İyonizasyon, kimyasal parçalanmalara kıyasla daha yüksek enerjilerde meydana gelme eğilimi göstermektedir.

Reaktif gazlarda 106 molekülden 104'ü serbest radikaller oluştururken, 106 molekülden 1 tanesi iyonize olmaktadır. Bu nedenle reaktif gazlarda baskın olan etki serbest radikal oluşumudur.

Soygazlar havaya nazaran daha kolay iyonize olurlar, yani iyonlaşma potansiyelleri daha düşüktür.

Gazın akış oranı da işlem verimi açısından önemlidir. Akış oranının artması ile aşınma ve polimerizasyon belli bir noktaya kadar artmakta bu noktadan sonra işlem etkinliğini güç belirlemektedir. Gaz miktarının artması ancak gücün de artması ile etkili olabilmektedir.

Plazma işlemi sırasında ortamda hem aşındırma hem de tekrar biriktirme (redeposition) olmaktadır. İşlemin toplam etkisi, kullanılan gaza bağlıdır. Eğer tekrar biriktirme oranı daha fazla ise meydana gelen olay plazma polimerizasyonu olarak adlandırılmaktadır.

Basınç: Plazma işlemleri vakum (düşük basınç) ve atmosferik basınç (yüksek basınç) olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Vakum plazmada işlem kontrollü ve kapalı bir sistemde gerçekleştirilmektedir. Genellikle 40-120 °C gibi düşük sıcaklıklarda çalışıldığından yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmayan organik materyallerin işlemleri için alternatif olmaktadır. İşlem sonunda sıcaklığa bağlı

olmayan ve atmosferik plazma işlemi sonunda gözlenemeyen radikaller oluşmakta böylece daha iyi etkiler elde edilmektedir.

Atmosferik plazma; vakum plazmaya alternatif açık hava basıncında çalışabilen, kontinü çalışmaya uygun, vakum tertibatı gerektirmeyen bir plazma çeşididir. Atmosferik basınç plazmalarında en önemli sorun homejenliktir [Terlingen 1993, Lynch 1999, Canup 2000].

Güç: Uygulanan güç plazma yoğunluğunu direkt olarak etkilemektedir. Gücün artırılması durumunda iyonize olan gaz miktarı artmakta, plazma yoğunluğu dolayısıyla işlem etkinliği artmaktadır [Terlingen 1993].

İşlem Süresi: İşlemin süresinin artması, yüzeyin plazma ile etkileşme süresini arttırdığı için daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Fakat optimum sürenin üzerine çıkılması durumunda materyal zarar görebilmekte veya istenmeyen etkiler gözlenebilmektedir.

Geçiş Hızı: Kontinü atmosferik ve roll to roll vakum plazmalar için geçerli olan bu kriter materyalin plazmaya maruz kalma süresini etkilediği için elde edilen etkilerin derecesini belirlemektedir.

Materyal: Plazma işlemi sadece yüzeyde etkili olduğu için kullanılan materyalin yapısal ve fiziksel özellikleri önemli olmaktadır. Özellikle yüzeyde oluşan serbest radikal miktarı lifin hem yüzey hem yapısal özellikleriyle yakından ilişkilidir. Kullanılan materyalin cinsinin yanında yapısı da işlem verimliliği açısından önem taşımaktadır. Özellikle atmosferik plazmada elde edilen etkiler ince yüzeylerde daha belirgin olmaktadır [Verschuren ve Kiekens 2001, Gril 1993].

Diğer Parametreler: Reaktörün temizliği, cihazın boşalma süresi ve daha birçok parametre sayılabilmektedir. **Çizelge 1.8.**'de plazma işlemine etki eden parametreler ve etkileri özetlenmektedir.

Çizelge 1.8. Plazma işlemine etki eden parametreler

Parametreler	Çeşitleri	Esas Etkisi
Cihaz parametreleri		
Elektrik alanın cinsi	*0-(DC)-10 ¹⁰ Hz	*Plazmanın enerji yoğunluğu
Elektronlar -Şekli -Yerleşimi -Bağlanma şekli -Yüzey alanına oranı -Kaplama	*Çubuk, plaka, sivri uçlu... *İçeride veya dışarıda *Kapasitif veya indüktif *Quartz,...	*İçeride yerleşmiş elektrotlar, plazmanın kimyasal birleşimini etkilemektedir. *Plazma homojenitesini etkilemektedir. *Sadece iç elektrotlarda önemlidir. *Kapasitör görevi görmektedir.
Pompa -Basınç -Kapasite	*10 ⁻² -10 ⁻⁸ mbar *2-250 m ³ /h	*Sistemin temizliğini etkilemektedir. *İşlem süresini etkilemektedir.
İşlem parametreleri		
Gaz -Cinsi -Bileşimi -Debisi		*İşlemin etkisini (aşındırma polimerizasyon)ve etkinliğini belirlemektedir.
Basınç -Vakum -Atmosferik	* 10 mTorr ve 1Torr altındaki basınçlarda *1 Atm	*Plazmanın enerji yoğunluğunu etkilemektedir.
Materyal -Cinsi -Kalınlığı -Gözenekliliği -Gözenek yapısı -Sıcaklığı	*Doğal, sentetik polimerler	*İşlem etkinliğin etkilemektedir.
Güç	*1-10000 W	*Plazmanın enerji yoğunluğunu etkilemektedir.
Süre	*1 s-birkaç saat	*Modifikasyon yoğunluğunu etkilemektedir.
Geçiş hızı	*Roll to roll ve atmosferik plazmalarda	*Plazmaya maruz kalma süresini etkilemektedir.
Bias	*Self bias-500 V	*Aşındırma oranını etkilemektedir.
Diğer parametreler		
Reaktörün temizliği		Atıkların, pisliklerin uzaklaştırılması
Boşalma süresi		Sistemin temizliğini etkilemektedir.
Söndürme gazı	0,01 s-birkaç saat	Yüzey kimyasını etkilemektedir.

KAYNAK: TERLINGEN, J.G.A. Introduction of Functional Groups at Polymer Surfaces by Glow Discharge Techniques. Chapter 2 Functionalization of Polymer Surfaces-Europlasma Technical Papers.

1.4.7. Plazma işleminin sonucunda elde edilen yüzey modifikasyonları

Plazma materyal ile etkileşime geçtiği zaman, plazmayı oluşturan türler çarpışmalar sonunda enerjilerini materyale vermekte; yüzeyde bulunan bazı bağlar kopmakta, radikaller oluşmakta ve buna bağlı olarak yüzeyde modifikasyonlar meydana gelmektedir.

Yüzey aktivasyonu, aşındırma, çapraz bağlanma, zincir kopması, dekrizalizasyon, oksidasyon ve diğer kimyasal reaksiyonlar bu modifikasyonlara örnek olarak verilebilmektedir. Tüm bu modifikasyonların sonunda materyalin temel özellikleri değişmeden kalmaktadır. Plazma işleminin sonunda tekstil mamullerinin hidrofilitesi, adhezyonu, temizliği, sterilizasyonu derecesi, yüzey enerjisi, yüzey sürtünme katsayısı artırılabilir. Bunların yanında uygun monomerler kullanılarak yüzeyde oluşturulan ince film tabakaları ile su/yağ/kir iticilik, güç tutuşurluk, antimikrobiyalite gibi etkiler elde edilebilmektedir [Shenton ve Stevens 2001, Shenton ve ark. 2002, Virk ve ark. 2004, Shahidi ve ark. 2005].

Aşındırma ile yüzeydeki zayıf kovalent bağlar koparılmakta, plazma ile katı yüzey arasındaki etkileşim sonucu gazlı ürünler oluşmaktadır. Materyalde meydana gelen aşınma maddenin buharlaşması sonucu meydana gelmektedir. Aşınma etkisi ile toplam yüzey alanı artmaktadır.

1.4.8. Plazma uygulamalarının etkisinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler

Tekstil mamüllerinin yüzeyinde meydana gelen değişimler hidrofilitate, kapilarite ölçümü ve boyama gibi yöntemlerle göreceli olarak belirlenebilmektedir. Fakat bu yöntemler aletli yöntemler olmadığı için yüzeyde meydana gelen modifikasyon hakkında çok net sonuçlar vermemekte sadece işlemlerin birbiriyle karşılaştırılması amacıyla yapılmaktadır.

Aletli analiz yöntemlerinin yaygınlaştığı günümüzde farklı ekipmanlar kullanarak yüzeyde meydana gelen değişim, oluşan yeni gruplar, kopan veya oluşan bağlar hakkında yorum yapılabilmektedir. Temas açısı ölçümü, SEM (taramalı elektron mikroskobu), AFM (atomik kuvvet mikroskobu), ESCA bu yöntemlerden en sık kullanılanıdır [Terlingen 1993].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Poliester örme kumaşın güç tutuşurluk davranışının incelenebilmesi için, 150 denye 48 filaman, yuvarlak kesitli, yarı mat, güç tutuşur ve normal poliester ipliklerden aynı örme makinasında ve aynı ayarlarla 90 g/m²' lik süprem örme kumaşlar üretilmiştir.

Kullanılan güç tutuşur poliester ipliği fosfor bazlı olup (yaklaşık 5000 ppm) LOI değeri yaklaşık % 33-35 civarındadır.

Plazma aplikasyonu yöntemi ile hidrofilleştirme işlemi için akrilik asit monomeri kullanılmıştır.

Çektirme yöntemine göre yapılan güç tutuşurluk bitim işlemi için alkil fosfonat türevi RucoFlam PSY-E (RUDOLF) kimyasalı kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Deneysel çalışmada; üretilen güç tutuşur ve güç tutuşur olmayan poliester kumaş numuneleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılmış (**çizelge 2.1.**) ve bahsi geçen işlemler uygulanmıştır:

Örnek 1= Fosfor bazlı güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen güç tutuşur örme kumaş.

Örnek 2= Fosfor bazlı güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen güç tutuşur örme kumaş, plazma aplikasyonu ile hidrofilleştirilmiş ve daha sonra çektirme yöntemi ile boyanmıştır.

Örnek 3= Fosfor bazlı güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen güç tutuşur örme kumaş, çektirme yöntemi ile boyanmıştır.

Örnek 4= Güç tutuşur olmayan poliester ipliklerden üretilen örme kumaş.

Örnek 5= Güç tutuşur olmayan poliester ipliklerden üretilen örme kumaş, plazma aplikasyonu ile hidrofilleştirilmiş ve daha sonra çektirme yöntemi ile

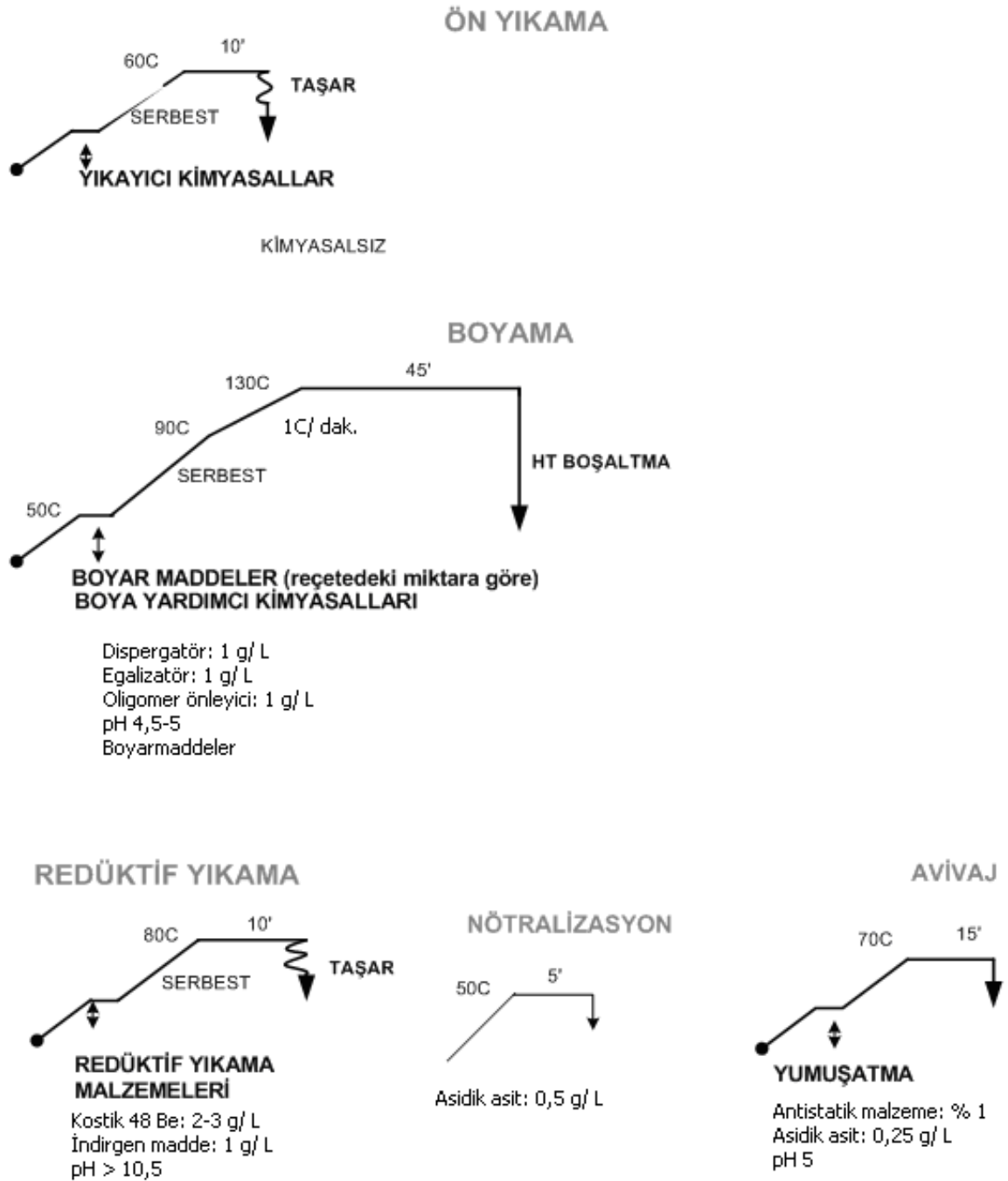
boyanmıştır. Konvansiyonel yöntemle (çektirme yöntemi) güç tutuşurluk apresi yapılmıştır.

Örnek 6= Güç tutuşur olmayan poliester ipliklerden üretilen örme kumaş, çektirme yöntemi ile boyanmıştır. Konvansiyonel yöntemle (çektirme yöntemi) güç tutuşurluk apresi yapılmıştır.

Çizelge 2.1. Deney numunelerinin sınıflandırılması

	Örn. 1	Örn. 2	Örn. 3	Örn. 4	Örn. 5	Örn. 6
Güç tutuşur poliester ipliklerden üretilmiş kumaş	*	*	*			
Güç tutuşur olmayan poliester ipliklerden üretilmiş kumaş				*	*	*
Plazma aplikasyonu ile hidrofilleştirme işlemi		*			*	
Çektirme yöntemine göre boyama		*	*		*	*
Güç tutuşurluk apresi					*	*

Örme işlemi tamamlanan kumaşlar gerekli numune boyutlarında (20 cmx 20 cm) hazırlanmıştır. Öncelikle **örnek 3** (güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaş) ve **örnek 6** (güç tutuşur olmayan poliester ipliklerden üretilen kumaş) ile belirtilen numuneler dispers boyarmadde (Ciba, Terasil Blue RBS, % 2, w/v) ile **şekil 2.1.**'deki diyagramda belirtilen koşullarda numune boyama makinasında boyanmıştır:



Şekil 2.1. Deney numunelerine uygulanan boyama proses şartları

Örnek 2 (güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaş) ve **örnek 5** (güç tutuşur olmayan poliester ipliklerden üretilen kumaş) ile belirtilen numunelere, Hacettepe Üniversitesi'ndeki Teknokent bünyesinde yer alan DELTAMED'te plazma aplikasyonu yöntemi ile akrilik asit monomeri kullanılarak hidrofilleştirme işlemi

yapılmıştır. **Şekil 2.2.**'de deneysel çalışmada kullanılan plazma aplikasyon cihazı Pico LF (düşük frekans- 40 kHz) görülmektedir.



Şekil 2.2. PICO LF (Diener Electronic) plazma aplikasyon cihazı

Plazma aplikasyonu ile poliester kumaş numunelerinin akrilik asit ile hidrofilleştirme işlemi, çeşitli denemeler sonucu başarılı sonuç alınan parametreler (basınç, uygulama süresi, uygulanan güç) belirlenerek aşağıda belirtilmiş olan bu parametrelerde yapılmıştır.

Numuneler öncelikle cihazın içine yerleştirilecek olan cam lamel boyutlarında kesilmiştir (20 cm x10 cm). Hazırlanan numuneler sırayla cam lamel üzerine yerleştirilerek sistem içine konulmuştur. Numune sistem içine yerleştirildikten sonra, sistem basıncı vakum pompası yardımıyla 0,1 mbar'a düşürülmüştür. Daha sonra monomer girişi açılarak basınç 0,3 mbar'a ayarlanmış, 5 dak. süreyle sistem içinden akrilik asit monomerinin geçmesi sağlanmıştır. Bundan sonra "jeneratör" düğmesine basılarak plazma işlemi başlatılmıştır. **Şekil 2.3.**'de plazma işlemi süresince sistem içindeki görüntü görülmektedir. Plazma işlemi 0,2 mbar'da 20 Watt'ta 20 dak. süreyle yapılmıştır. İşlem bitince akrilik asit monomer girişi kapatılarak argon gazı monomer girişi açılmış ve 0,3 mbar'da 5 dak. süreyle ile sistemden argon gazı monomeri geçirilmiştir. İşlem sonunda 5 dak. süreyle vakum pompası çalıştırılmış ve son olarak sistem kapatılmıştır. Plazma aplikasyonu işlemi yapılırken akrilik asitin pompaya zarar vermesini önlemek amacıyla düzenli aralıklarla sisteme sıvı azot beslenmiştir.



Şekil 2.3. Plazma aplikasyonu yöntemi: Akrilik asit monomeri ile hidrofilleştirme işlemi

Plazma aplikasyon yöntemi ile hidrofilleştirilen **örnek 2** (güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaş) ve **örnek 5** (güç tutuşur olmayan poliester ipliklerden üretilen kumaş) numunelerinin yüzey görüntüleri Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Mikroskopi merkezinde Leica M 205 C motorize stereomikroskop ile çekilerek incelenmiştir.

Örnek 2 (güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaş) ve **örnek 5** (güç tutuşur olmayan ipliklerden üretilen kumaş) plazma aplikasyonu ile hidrofilleştirildikten dispers boyarmadde ile daha önceden belirtilen proses şartlarında numune boyama makinasında boyanmıştır.

Örnek 5 (plazma aplikasyonu ile hidrofilleştirilmiş boyalı poliester kumaş) ve **örnek 6** (boyalı poliester kumaş) kumaş numunelerine aşağıda belirtilen şartlarda çektirme yöntemine göre güç tutuşurluk apresi yapılmıştır:

Ön yıkama (2 g/L kostik, 2 g/L yıkayıcı, 40 °C, 20 dak.)

150 g/L alkil fosfonat (RucoFlam PSY-E) ile pH 6, 150 °C, 1,5 dak.

Pick up % 80

2.2.1. Örme kumaşlara uygulanan testler

2.2.1.1. Fransız NF P 92 503-507 test standardına göre güç tutuşurluk testi

Deney numunelerinin güç tutuşurluk özellikleri Fransız NF P 92 503- 507 test standardına göre test edilmiş, testler BERTEKS A.Ş.'de yapılmıştır.

Bu test standardında birbiriyle bağlantılı üç ayrı test işlemi uygulanır. Bunlar:

1. NF P 92 503 (elektrikli bek testi): Bu testte alev kaynağı olarak elektrikli bek alevi kullanılır. Çıkan test sonuçlarına göre kumaş numuneleri M1 ve M4 arasında sınıflandırılır. Numune test cihazına 30 °C eğimle yerleştirilir. Küçük bir bütan alevi kumaş yüzeyine direk olarak uygulanır. Aşağıdaki değerler kaydedilir:

- * Alevin yanma süresi
- * Damlamanın oluşup oluşmadığı
- * Numunede hasar gören kısmın boyutları (genişlik/uzunluk)

2. NF P 92 504 (alev yayılma oranı testi): Bir önceki testte beklenmeyen sonuçlar görülen numunelere uygulanır. Alev sonrası yanan veya yanmayan damlalar gözlemlenir. Alev dikey yerleştirilmiş numuneye uygulanır. İki referans nokta arasında alevin yayılma süresi ölçülür. Damlama varsa kaydedilir.

3. NF P 92 505 (damlama testi): Meydana gelen damlama sayısı kaydedilir. Numune bir ızgara üzerinde ısı kaynağı radyatörün altına yerleştirilir. Damlaların toplanması için yün bir ped kullanılır. Pedin yanıp yanmadığı not edilir. **Çizelge 2.2.**'de çıkan test sonuçlarına göre sınıflandırmanın nasıl yapıldığı belirtilmiştir.

Çizelge 2.2. Fransız test standardına göre numunelerin sınıflandırılması

Metot	Sınıf				
		Yün ped tutuşmadı.	Yün ped tutuşmadı.	Yün ped tutuştu.	Yün ped tutuştu.
NF P 92 - 505	-	Yün ped tutuşmadı.	Yün ped tutuşmadı.	Yün ped tutuştu.	Yün ped tutuştu.
NF P 92 - 503	Damlama yok.	Yanmayan damlamalar	Yanan damlamalar	Yanmayan damlamalar	Yanan damlamalar
Yanma süresi =< 5s	M1	M1	M2	M4	M4
Yanma süresi>5s; hasar görmüş uzunluk< 350mm	M2	M2	M3	M4	M4
Yanma süresi > 5s;hasar görmüş uzunluk 450mm ile 600mm arasında; hasar görmüş genişlik<90mm	M3	M3	M4	M4	M4
NF P 92 - 504	-	-	M4	M4	M4

KAYNAK: <http://www.fr-one.com/en-standards-18.htm>

2.2.1.2. IMO FTP Code Part 7 test standardına göre güç tutuşurluk testi

IMO uluslar arası gemi taşımacılığında güvenliğin geliştirilmesi amacı ile ilgili ölçümleri yapan BM (Birleşmiş Milletler) bünyesinde yer alan uzman bir kuruluştur.

IMO test standardına göre yapılan güç tutuşurluk testleri BERTEKS A.Ş.'de yapılmıştır. IMO FTP Code Part 7 IMO Res.A.471(XII) test metodu dikey olarak kullanılan tekstillere uygulanan bir test metodudur. 5 adet enine 5 adet boyuna olmak üzere en az 10 adet numune test edilir. Numuneler dikey olarak test edilir ve 40 mm yüksekliğinde gaz alevi kullanılır. Alev kumaş yüzeyine ve kumaş kenarına 5 s ve 15 s süre ile uygulanarak hasar gören kısımların büyüklüğü ölçülür.

Güç tutuşur apre yapılmış poliester kumaş numuneleri ve güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaş numuneleri, yıkama dayanımlarının tespit edilebilmesi için 5'er kez 30 °C'de ev deterjanı ile 40 dak. yıkanmış ve güç tutuşurluk testleri tekrar edilmiştir.

2.2.1.3. Emicilik testi

Emicilik testleri **AATCC 79** test standardına göre yapılmıştır. Bu standarda göre tekstil materyallerinin emicilik performansları damlama metodu ile tayin edilir. Testte basit olarak numune kumaş parçasının bir damla suyu ne kadar sürede emdiği ölçülmektedir.

Ölçüm yapılacak ortam şartları % 65±2 relatif rutubette 20±2 °C olacak şekilde ayarlanır. 20 cm × 20 cm ebatlarındaki 5 adet test numunesi (testler 5 tekrarlı yapılacağından) hazırlanır. Numune üzerine 1 cm yükseklikten yaklaşık 0,04 mL su damlası damlatılır ve kronometre çalıştırılır. Damlanın numune yüzeyine düşmesi, emilmesi ve matlaşarak ıslak leke görüntüsüne dönüşmesine kadar geçen süre ölçülür. Ölçümler numune kumaşın ön ve arka yüzeyi için ayrı ayrı yapılır. Ölçülen süre ne kadar kısa olursa, numunenin emicilik değeri o kadar iyi demektir.

Emicilik testleri; plazma aplikasyonu yöntemiyle akrilik asit monomeri kullanılarak hidrofilleştirilmiş kumaş numunelerinin, hidrofilleştirme işlemi görmemiş kumaş numunelerine göre emicilik değerlerinin ne ölçüde değiştiğinin tespit edilebilmesi için uygulanmıştır.

2.2.2. Renk ölçümleri

Plazma aplikasyonu ile hidrofilleştirmenin güç tutuşur poliester kumaşların boya alımına etkisini incelemek üzere, DATA COLOR 600 spektrofotometre ile (D65 10 deg.) boyalı kumaş numunelerinin renk ölçümleri yapılmıştır.

Herhangi bir rengin sayısal değerlerden yararlanılarak yapılan ölçümü ve değerlerin başka yer ve zamanda karşılaştırılması işlemi kolorimetri olarak tanımlanabilir [İçoğlu 2006]. Renklerin sayısal olarak ölçülmesi için 1931'de toplanan uluslar arası komisyonda (CIE) standart yöntemler kabul edilmiştir. Bunlardan biri de spektrofotometrik yöntemdir. Spektrofotometreler madde renginin yoğunluğunun ölçülmesiyle madde miktarının ve konsantrasyonunun bulunmasını sağlayan cihazlardır. Bir reflektans spektrofotometresi ile opak bir substratın rengini ölçmek için 400-700 nm (dalga boyu) arasında bu substratın reflektans/dalga boyu eğrisi ölçülür [Becerir 1998].

Işık olmadan renk oluşumu söz konusu değildir. Bu nedenle farklı ışık kaynaklarının renk ölçümlerine etkisi önemlidir. Renk ölçümlerinde kabul edilen belirli standart ışıklar mevcuttur. D65 olarak kabul edilen standart ışık, gün ışığıdır. Bu çalışmada ölçümler D65 ışığı altında yapılmıştır.

CIELAB renk sistemi, belirlenen bir standart renk ile numune renk arasındaki renk farklılığının hesaplanmasında kullanılır. CIELAB renk sisteminde L^* , a^* , b^* , c^* ve h değerleri renklerin tanımlanmasında kullanılan ana parametrelerdir. Bunlar:

L^* : Işıklılık değeridir. Renk uzayındaki dik eksenidir. Siyah için 0° , beyaz için 100° 'dir. L^* değeri yükseldikçe rengin parlaklığı artar.

a^* ve b^* : Kromatik koordinatlarıdır. CIELAB renk uzayında **$+a^*$** kırmızı yönü, **$-a^*$** yeşili, **$+b^*$** sarıyı, **$-b^*$** ise maviyi göstermektedir.

c^* : Kromadır. Renk uzayının merkezinden yatay doğrultuda uzaklaştıkça rengin kroma değeri artar. Rengin doygunluğu konusunda bilgi verir.

h : Bir nesnenin temel rengidir (kırmızı, mavi, sarı gibi). **c^*** ile apsis düzlemi arasındaki açıdır. **h** açısı; **$+a^*$** boyunca 0° ve 360° , **$+b^*$** için 90° , **$-a^*$** 'da 180° , **$-b^*$** için ise 270° 'dir. Rengin büyüklüğü konusunda bilgi verir.

Belirli bir standart renk ile numune arasındaki renk farklılığı hesaplandığında toplam renk farklılığı DE^* ile ifade edilir. DL^* , Da^* ve Db^* değerleri ise standart

renk ile numune arasındaki L^* , a^* ve b^* parametrelerinin farkını belirtmektedir. Bu bileşenler arasındaki bağıntı ise şöyledir:

$$DE^* = [(DL^*)^2 + (Da^*)^2 + (Db^*)^2]^{1/2} \dots\dots\dots(2.1)$$

2.2.3. FT-IR analizleri

FT-IR spektroskopisi bir molekül tarafından absorblanan infrared radyasyonun titreşim enerjisine dönüşmesi prensibine dayanan bir yöntemdir. FT-IR spektrometresi katı, sıvı, organik ve inorganik bileşiklerin nitel analizlerini gerçekleştirmek ve yapılarındaki fonksiyonel grupları tayin etmek amacıyla kullanılmaktadır.

IR bölgesi elektro manyetik spektrumun görünür bölge ile mikrodalga bölgesi arasında yer alır. Bu bölge yaklaşık olarak 13000 cm^{-1} dalga sayısından başlayarak 33 cm^{-1} dalga sayısına kadar uzanır. IR bölgesi üçe ayrılır. Uygulamaların büyük çoğunluğu temel bölge olan 4000 ile 667 cm^{-1} arasındaki bölgede sınırlanmıştır. Görünür ışığın dalga boyundan daha büyük olan dalga boyları yakın IR bölgesini 12500 ile 3300 cm^{-1} oluşturur. Uzak IR bölgesi ise 675 cm^{-1} ile 250 cm^{-1} arasındadır. Bunun ötesi ise mikrodalga bölgesidir.

Optik izomerler dışında hiçbir bileşiğin IR spektrumu birbirinin eşdeğeri değildir. Önceden yayımlanmış IR spektrum atlaslarına bakarak FT-IR analizlerini yorumlamak mümkündür, ancak bu hem çok zaman alır, hem de bilgilerin sürekli güncellenmesi gerekmektedir. Bu nedenle FT-IR cihazlarının belleğinde önceki çalışmalarla oluşturulan verilerden yararlanır.

Bu çalışmada güç tutuşur polyester kumaşların yüzey karakterizasyonları için FT-IR analizleri TÜBİTAK BUTAL'deki Perkin-Elmer Spectrum 2000 Explorer cihazında yapılmıştır.

Ayrıca plazma işlemi sonucunda kumaş yüzeylerinde meydana gelen değişimlerin gözlemlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla kumaşların stereomikroskop görüntüleri çekilmiştir.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

3.1. Güç Tutuşurluk Test Sonuçları

3.1.1. Fransız NF P 92 503-507 test standardı

Her bir numune için testler 5 tekrarlı yapılmış olup **çizelge 3.1.**'de ortalama değerlere göre test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.1. Güç tutuşurluk testi sonuçları

Numune Cinsi	Alev Süresi (s)	Damla Süresi (s)	Yanan Damla Süresi (s)	Sonuç
Güç tutuşur ipliklerden elde edilmiş kumaş	2,6	0	0	M1
Güç tutuşur ipliklerden elde edilmiş kumaş, 5 yıkama sonrası	2,7	0	0	M1
Güç tutuşur apre işlemi görmüş kumaş	4	0	0	M2
Güç tutuşur apre işlemi görmüş kumaş, 5 yıkama sonrası	6	1	0	M3

Güç tutuşur poliester ipliklerden elde edilmiş kumaşların güç tutuşurluk özelliğinin daha sonradan apre işlemiyle güç tutuşur özellik kazandırılmış kumaşlara nazaran daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 5 yıkama sonrasında elde edilen test sonuçları, apre işlemi görmüş kumaşların güç tutuşurluk özelliğinin yıkamaya bağlı olarak azaldığını göstermektedir.

3.1.2. IMO FTP Code Part 7 test standardı

IMO FTP Code Part 7 test standardına göre test edilen 10'ar adet numune kumaşın ortalama test değerleri ve sonuçları **çizelge 3.2.**'te verilmiştir.

Çizelge 3.2. IMO testi sonuçları

Numune Cinsi	Yüzey						Kenar						Sonuç
	Alevlenme süresi (5-15 s)	Alevlenme (s)	Erime (s)	Yanan damlama	Parlama şeklinde alevlenme	Ağırlık (mm)	Alevlenme süresi (5-15 s)	Alevlenme (s)	Erime (s)	Yanan damlama	Parlama şeklinde alevlenme	Ağırlık (mm)	
Güç tutuşur ipliklerden elde edilmiş kumaş	5	0	0	0	0	45,4	5	0	0	0	0	67	OK
Güç tutuşur ipliklerden elde edilmiş kumaş	15	0	0	0	0	48,3	15	0	0	0	0	72	
Güç tutuşur apre işlemi görmüş kumaş	5	0	0	0	0	48,2	5	0	0	1	0	74	RED
Güç tutuşur apre işlemi görmüş kumaş	15	0	0	0	0	52,6	15	0	0	1	0	80	

IMO test sonuçlarına göre, güç tutuşur poliester ipliklerden elde edilen kumaşların güç tutuşurluk özelliği, sonradan apre işlemi ile güç tutuşur özellik kazandırılan kumaşlara nazaran daha iyi olmaktadır. Apre işlemi görmüş kumaşlarda test sırasında yanan damlamalar görüldüğü için bu kumaşlar testi geçememiştir. Yıkama dayanımlarının tespit edilebilmesi için beş tekrarlı olmak üzere 30 °C'de ev deterjanı ile 40 dak. yıkanan kumaşların yıkama sonrası elde edilen test değerleri ise **çizelge 3.3.**'te görülmektedir.

Çizelge 3.3. Beş yıkama sonrası IMO testi sonuçları

Numune Cinsi	Yüzey						Kenar						Sonuç
	Alevlenme süresi (5-15 s)	Alevlenme (s)	Erime (s)	Yanan damlama	Parlama şeklinde alevlenme	Açıklık (mm)	Alevlenme süresi (5-15 s)	Alevlenme (s)	Erime (s)	Yanan damlama	Parlama şeklinde alevlenme	Açıklık (mm)	
Güç tutuşur ipliklerden elde edilmiş kumaş 5 yıkama sonrası	5	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	69	OK
Güç tutuşur ipliklerden elde edilmiş kumaş 5 yıkama sonrası	15	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	71	
Güç tutuşur apre işlemi görmüş kumaş 5 yıkama sonrası	5	0	0	0	0	52	0	0		2	0	80	RED
Güç tutuşur apre işlemi görmüş kumaş 5 yıkama sonrası	15	0	0	0	0	61	0	0	0	2	0	86	

Beş yıkama sonrasında kumaşların IMO testi sonuçlarına bakıldığında, güç tutuşurluk özelliği apre işlemi ile kazandırılan kumaş numunelerinin yıkama dayanımlarının düşük olduğu ve tekrarlı yıkamalarla fonksiyonel özelliklerinde azalma meydana geldiğinden yanma sonucu meydana gelen açıklıkların boyutunun büyüdüğü ve yanan damlama sayısının arttığı görülmüştür. Oysa güç tutuşur özelliği polimer bazında ipliğe kazandırılmış poliester kumaşların yıkama sonrası dayanımlarında değişim olmadığı tespit edilmiştir.

3.2. Emicilik Testi Sonuçları

Güç tutuşur ipliklerden elde edilmiş poliester kumaşlar ve güç tutuşur olmayan ipliklerden elde edilmiş poliester kumaşlar, akrilik asit monomeri kullanılarak plazma işlemi ile hidrofilleştirilmeden önce ve hidrofilleştirildikten sonra

AATCC 79 test standardına göre test edilmiştir. Test sonuçları **çizelge 3.4.**'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Emicilik testi sonuçları

Kumaş Numunesi	Uygulanan İşlem	Kumaş Yönü	Suyun Emilme Süresi (saniye)					ortalama
			1	2	3	4	5	
Güç tutuşur ipliklerden elde edilmiş poliester kumaş	Hidrofilleştirme öncesi	ön yüz	6	6	6	6	5	5,8
		arka yüz	6	5	6	6	6	5,8
	Hidrofilleştirme sonrası	ön yüz	1	1	1	1	0,9	0,98
		arka yüz	1	1	1	1	1	1
Güç tutuşur olmayan ipliklerden elde edilmiş poliester kumaş	Hidrofilleştirme öncesi	ön yüz	6	4	6	6	6	5,6
		arka yüz	6	6	6	5	6	5,8
	Hidrofilleştirme sonrası	ön yüz	1	0,9	1	1	1	0,98
		arka yüz	1	1	1	0,9	1	0,98

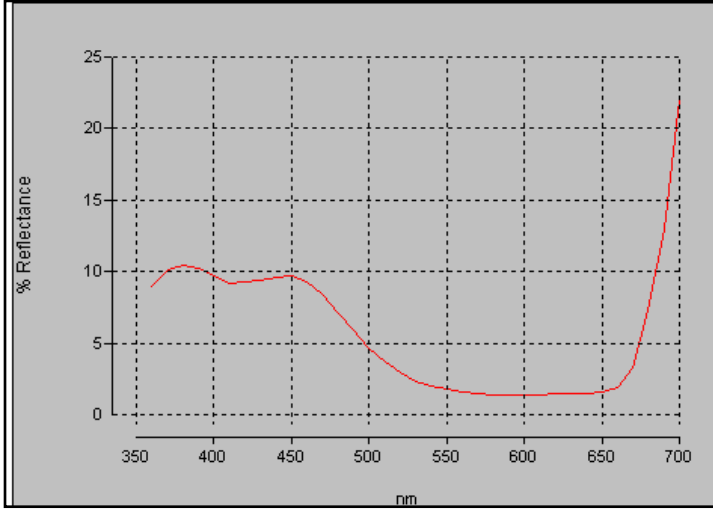
Elde edilen test sonuçları, plazma işlemi ile hidrofilleştirilmiş güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaşların ve güç tutuşur olmayan poliester ipliklerden üretilen kumaşların emicilik değerlerinde belirgin bir iyileşme olduğunu göstermektedir. Kullanılan akrilik asit ($C_3H_4O_2$) monomeri suda çözünebilmesini sağlayan polar gruplar ve yüklü fonksiyonel gruplar içermektedir. Bu da plazma işlemi ile kumaş yüzeyinde polar gruplar oluşturulmasına yardımcı olmuştur.

Plazma işlemi birçok polimerik yüzeyin emicilik değerlerinin iyileştirilmesinde bilinen etkili yöntemlerden biridir. Uygun monomerle plazma işlemi sonucu yüzeyde polar grupların oluşturulması, yüzey oksidasyonu ve yüzey düzgünsüzlüğünün artması emicilik değerlerinin iyileştirilmesini sağlamaktadır.

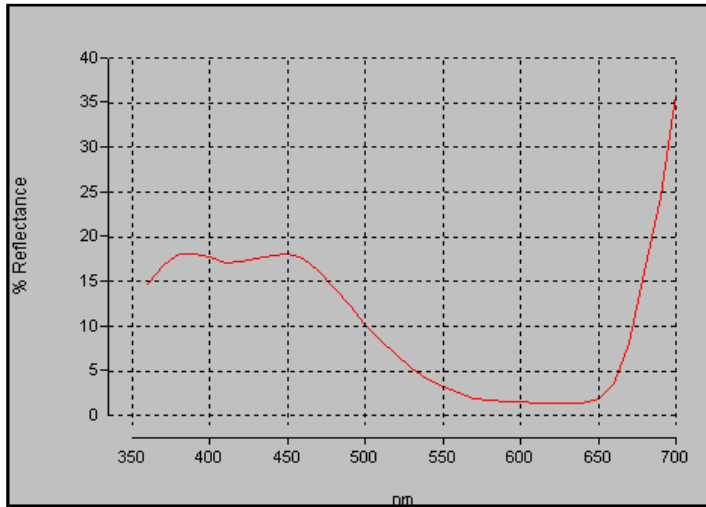
3.3. Renk Ölçüm Sonuçları

Akrilik asit monomeri ile plazma uygulaması sonucu hidrofilleştirme işleminin güç tutuşur poliester örme kumaşların boyarmadde alımına etkisini incelemek amacıyla boyalı kumaş numunelerinin DATA COLOR 600 spektrofotometre ile (D65 10 deg.) renk ölçümleri yapılmıştır.

Plazma işlemleri uygulanmadan önce boyanmış güç tutuşur kumaş numunelerinin renk ölçümlerinden elde edilen reflektans eğrileri **şekil 3.1.**'de verilmiştir.



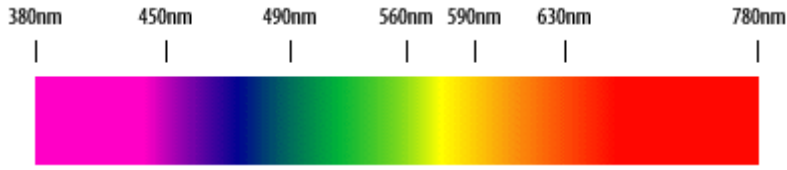
(a) Güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaş



(b) Güç tutuşur apre yapılmış poliester kumaş

Şekil 3.1. Plazma işlemleri öncesi poliester kumaşların reflektans eğrileri

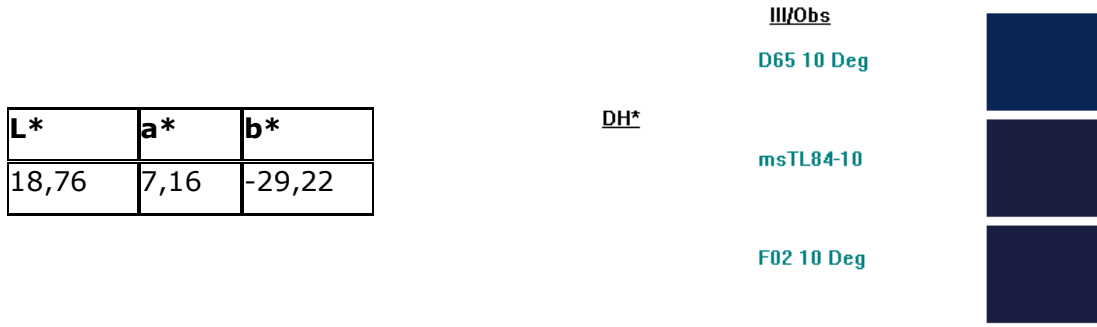
Burada görüldüğü üzere 2 numunenin de % reflektansının minimum olduğu (absorbsiyonun maksimum olduğu) aralık yaklaşık 550-650 nm arasına denk gelmektedir. Bu durumda **şekil 3.2.**'de verilen spektruma bakılarak; absorpsiyonun maksimum olduğu dalga boyu aralığında sarı ışık dalga boyunun tamamının absorblandığı ve dolayısıyla numunelerin renginin mavi olduğu yorumu yapılabilir.



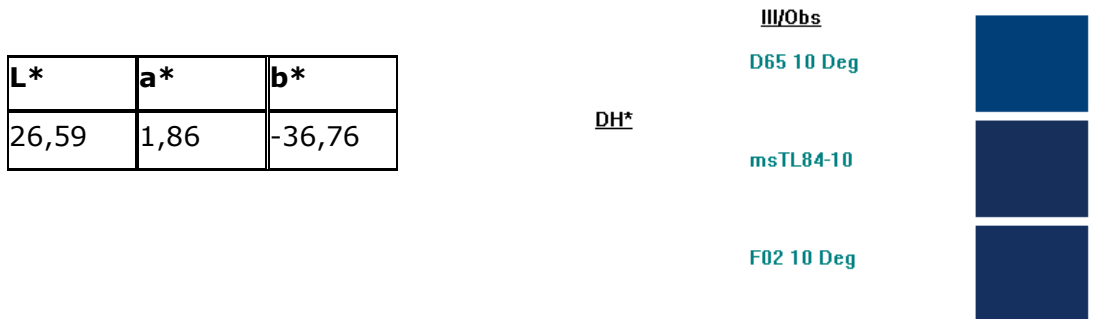
Şekil 3.2. Işık dalga boyuna göre renk spektrumu

Ayrıca yine reflektans eğrilerinden güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaşın aynı dalga boyu için % reflektansının güç tutuşur apre yapılmış poliester kumaşa göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu da güç tutuşur poliester kumaşın güç tutuşur apre yapılmış poliester kumaştan daha koyu renkte olduğunu göstermektedir.

Renk ölçümü yapılan numunelere ait L^* (açıklık/koyuluk, siyah-beyaz eksen), a^* (yeşil-kırmızı eksen) ve b^* (mavi-sarı eksen) değerleri de **şekil 3.3.**'de verilmiştir.



(a) Güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaş

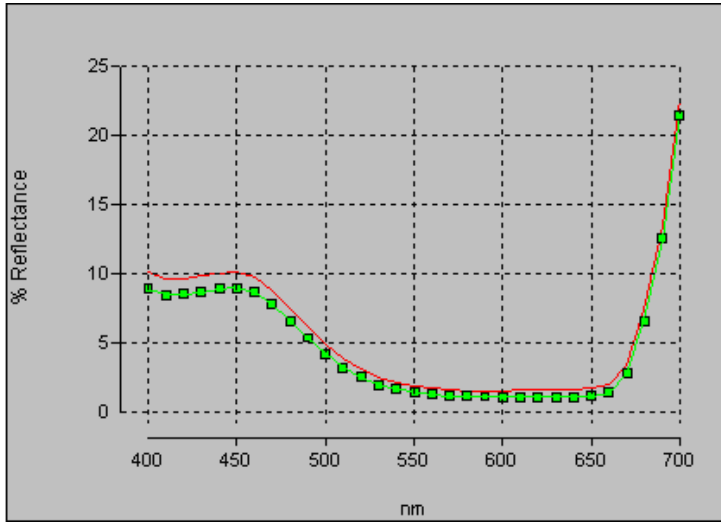


(b) Güç tutuşur apre yapılmış poliester kumaş

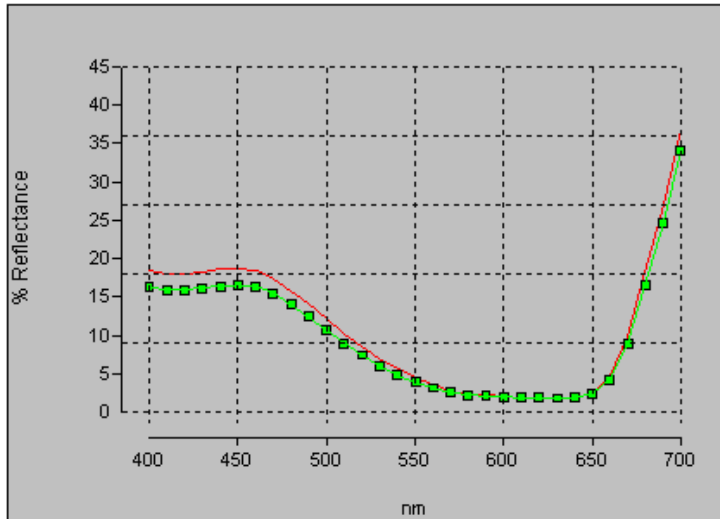
Şekil 3.3. Plazma işlemi öncesi poliester kumaşların renk ölçümleri

Güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaşın L^* , a^* ve b^* değerlerine bakılarak da, güç tutuşur apre yapılmış kumaşa göre daha koyuda ve daha kırmızıda kaldığı söylenebilir.

Plazma aplikasyonu ile hidrofilleştirme işlemi yapıldıktan sonra boyanan numunelerin reflektans eğrileri plazma işlemi öncesi yapılan ölçümlerle kıyaslamalı olarak **şekil 3.4.**'de verilmiştir.



(a) Güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaş



(b) Güç tutuşur apre yapılmış poliester kumaş

— Plazma işlemi öncesi — Plazma işlemi sonrası

Şekil 3.4. Plazma işlemi öncesi ve sonrası poliester kumaşların karşılaştırmalı reflektans eğrileri

Şekil 3.4.'de görüldüğü üzere plazma aplikasyonu yöntemiyle yapılan hidrofilleştirme işlemi güç tutuşur poliester kumaşın ve güç tutuşur apre yapılmış poliester kumaşın reflektans değerlerini bir miktar düşürmüştür. Maksimum absorbans aralığında bu düşüşün güç tutuşur poliester kumaşta güç tutuşur apre yapılmış poliester kumaşa göre bir miktar daha fazla olduğu görülmüştür.

Plazma işlemi öncesi ve sonrası kumaş numunelerine ait renk ölçüm farkları ise **çizelge 3.5.**'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Plazma işlemi öncesi ve sonrası kumaş numunelerine ait renk ölçüm farkları

	DE*	DL*	Da*	Db*
Güç tutuşur poliester kumaş	2,45	-2,39	0,11	-0,50
Güç tutuşur apre yapılmış poliester kumaş	2,60	-1,82	1,03	1,55

Tablodan görüldüğü üzere güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaşın toplam renk farkı değeri güç tutuşur apre yapılmış kumaşın toplam renk farkı değerinden küçüktür. DL* değerlerine bakıldığında güç tutuşur poliester kumaş için farkın daha büyük olduğu görülmektedir.

Dalga boyundaki absorpsiyonun bir ölçüsü olan Kubelka-Munk fonksiyonu, tekstil materyalleri gibi opak (ışığı geçirmeyen) numunelerde bir boyarmadde karışımı ile boyanmış bir numunenin toplam ışık absorpsiyon ve ışık saçma oranının, bu boyarmaddelerin bu numune üzerinde teker teker buldukları zaman gerçekleşen toplam ışık absorpsiyon ve ışık saçma oranları toplamına eşit olduğunu ifade eder [Becerir 2002].

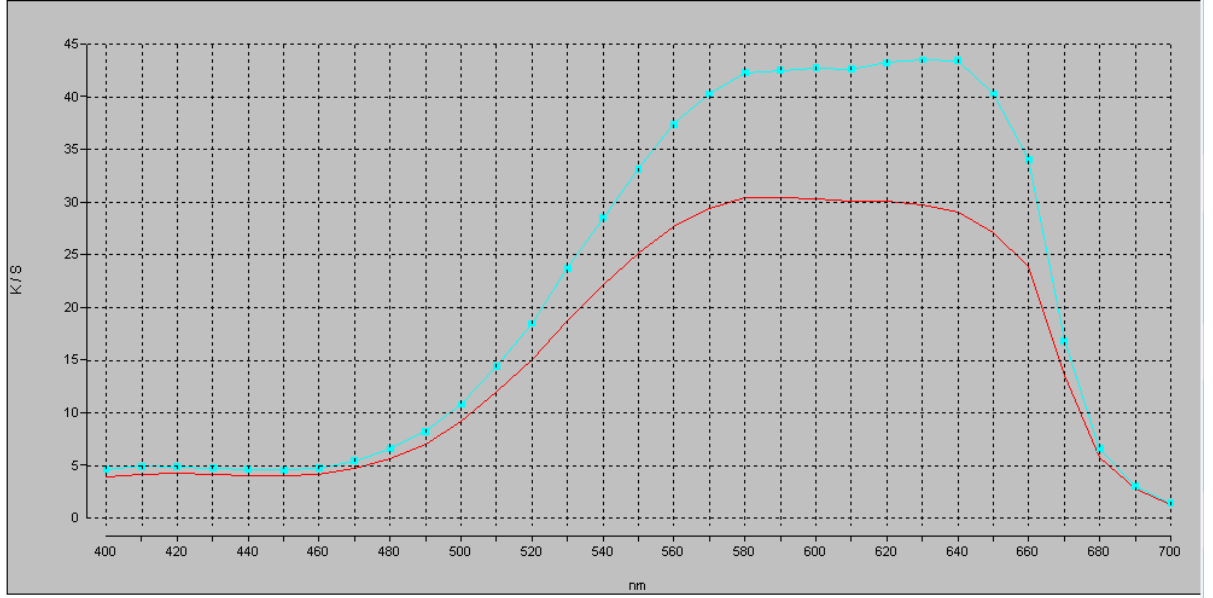
Kubelka-Munk denklemi, $K/S = (1-R)^2/2R$ olarak ifade edilir. Burada:

K: Yüzeyin ışık absorblama katsayısı,

S: Yüzeyin ışık saçma katsayısı,

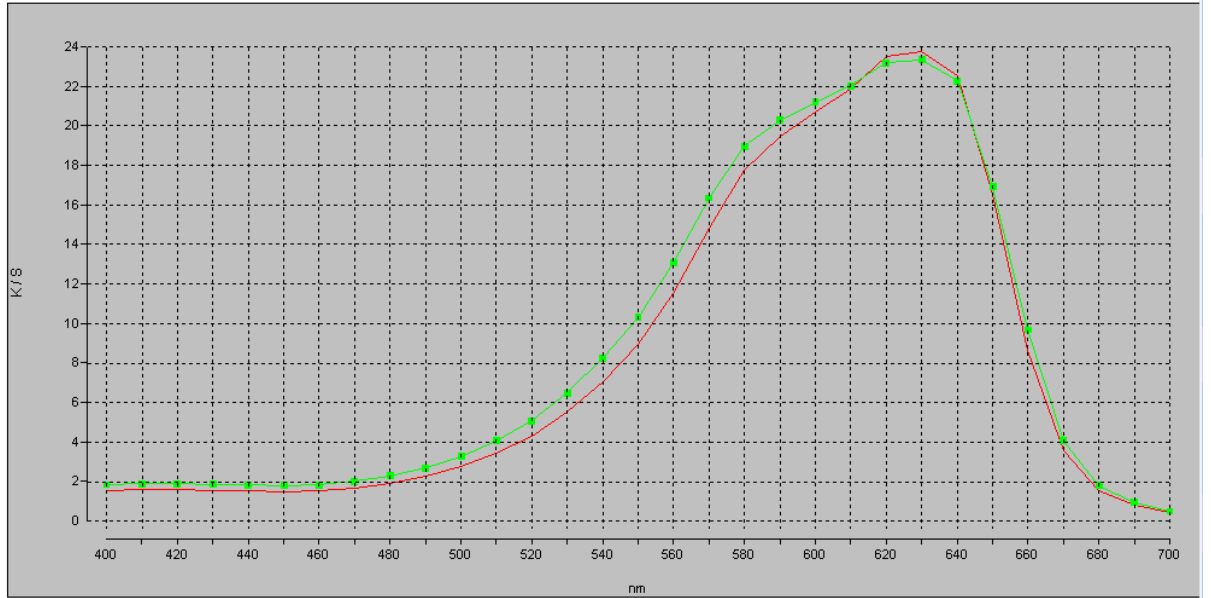
R: Maksimum absorpsiyon dalga boyunda gerçekleşen reflektanstır.

Plazma aplikasyonu yöntemiyle yapılan hidrofilleştirme işlemi öncesi ve sonrası güç tutuşur poliester kumaş ve güç tutuşur apre yapılmış poliester kumaş numunelerinin spektrofotometrede hesaplanan K/S değerleri **şekil 3.5.**'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



(a) Güç tutuşur poliester kumaş

— Plazma işlemi öncesi — Plazma işlemi sonrası



(b) Güç tutuşur apre yapılmış poliester kumaş

— Plazma işlemi öncesi — Plazma işlemi sonrası

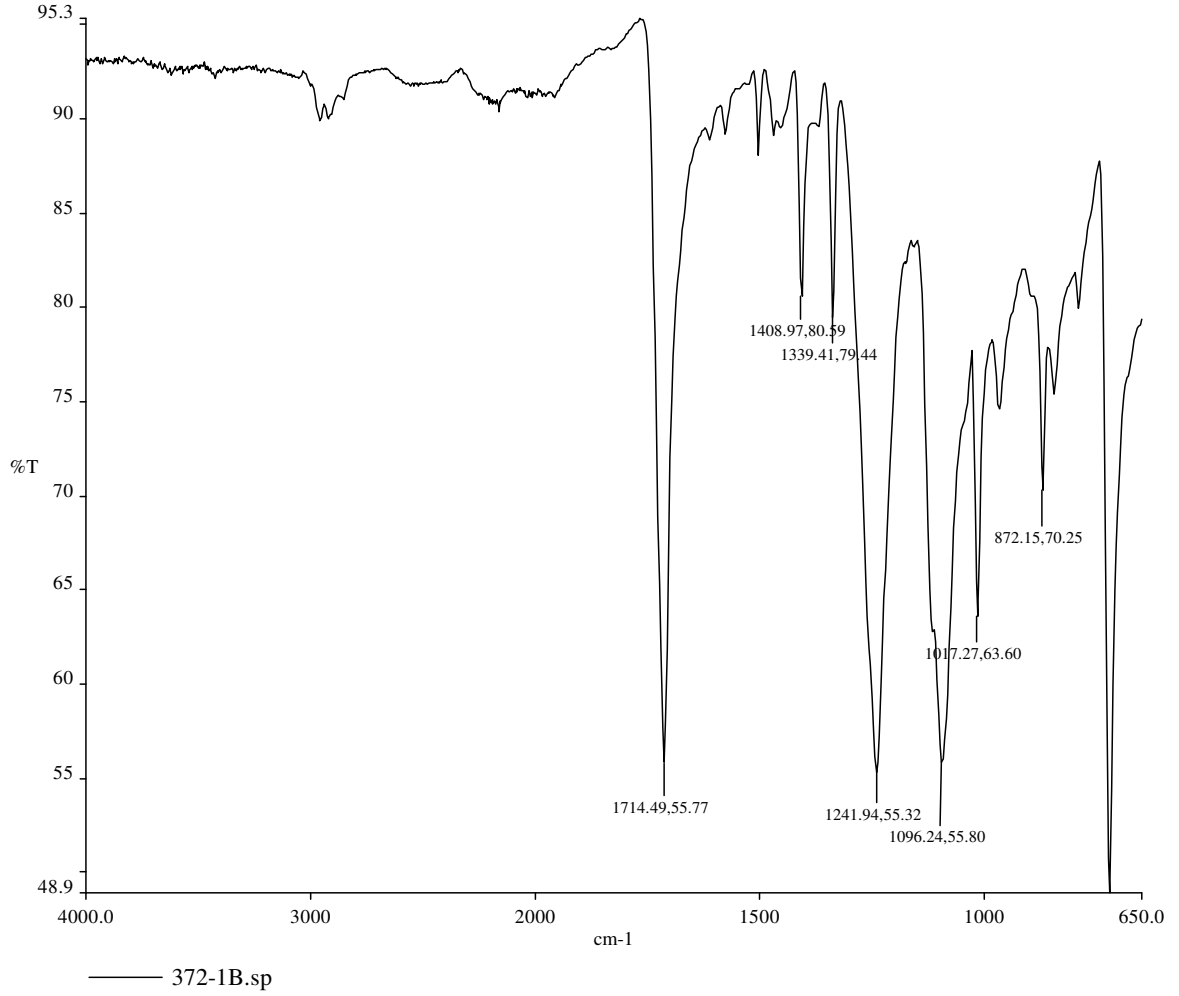
Şekil 3.5. Plazma işlemi öncesi ve sonrası poliester kumaşların karşılaştırmalı K/S değerleri

Şekil 3.5.'de görüldüğü gibi plazma işlemi sonrası poliester kumaşların K/S değerleri plazma işlemi öncesi değerlere göre artış göstermiştir. Maksimum absorbans dalga boyu aralığında plazma işlemi sonrası K/S değerlerindeki artışın güç tutuşur poliester kumaş numunesinde daha fazla olduğu görülmektedir.

3.4. FT-IR Analizi Sonuçları

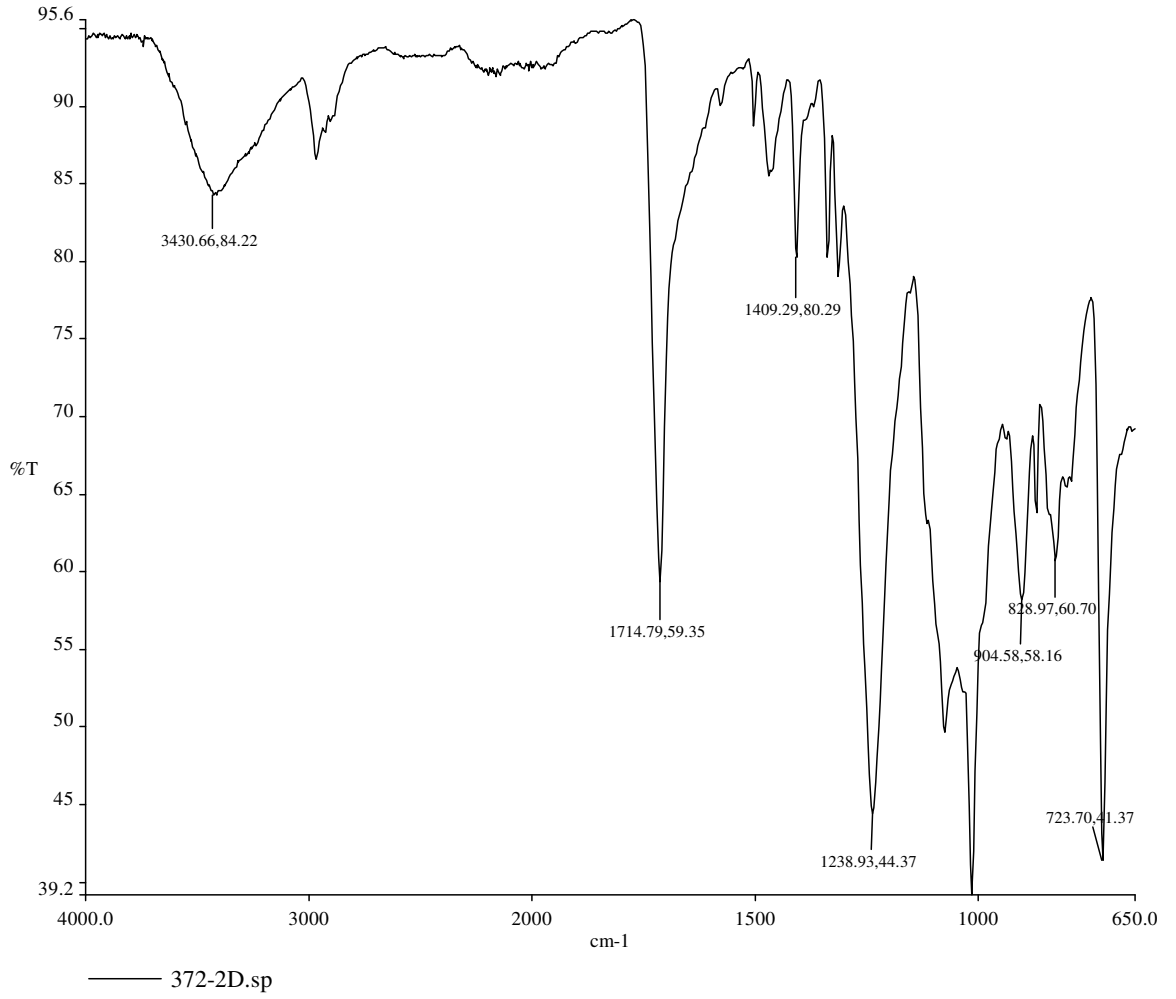
Güç tutuşur poliester kumaşların yüzey karakterizasyonları için TÜBİTAK BUTAL'deki Perkin-Elmer Spectrum 2000 Explorer cihazında yapılan FT-IR analizleri **şekil 3.6.** ve **şekil 3.7.**'de görülmektedir.

Şekil 3.6.'daki fosfor bazlı güç tutuşur poliester ipliklerden elde edilmiş kumaşın FT-IR spektrumları incelendiğinde 1715 cm^{-1} (aromatik ester C=O gerilim titreşimi), 1242 cm^{-1} (aromatik ester C-C-O gerilim titreşimi) ve 1096 cm^{-1} (aromatik ester O-C-C gerilim titreşimi) piklerinin oluştuğu görülmektedir. Bu üç pik de poliestere ait karakteristik piklerdir. Dolayısıyla güç tutuşur poliester kumaş numunesine ait FT-IR analiz eğrisinin konvansiyonel poliester eğrisi ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 3.6. Güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaşın FT-IR analizi

Şekil 3.7.'de ise güç tutuşur apre yapılmış poliester kumaşın FT-IR spektrumu görülmektedir. Numunenin FT-IR eğrisi, konvansiyonel poliester eğrisiyle ile uyumlu olmakla beraber 3430 cm^{-1} 'de konvansiyonel poliester eğrisinde olmayan bir pik yapmıştır.

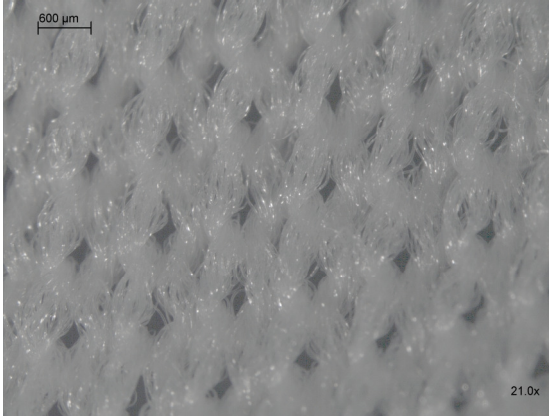


Şekil 3.7. Güç tutuşur apre yapılmış poliester kumaşın FT-IR analizi

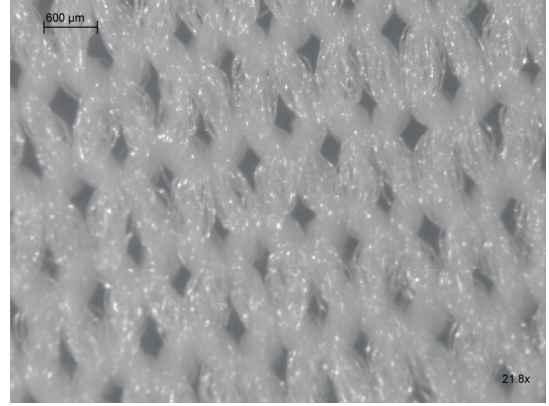
Konvansiyonel poliesterin eğrisinde mevcut olmayan 3430 cm^{-1} piki O-H eğilme ve C-O esneme titreşimlerini göstermektedir. Bu durum apre işlemi ile kazandırılan güç tutuşurluk özelliğinin poliester kumaşın yüzeyinde modifikasyona yol açtığını düşündürmektedir.

3.5. Stereomikroskop Görüntüleri

Akrilik asit monomeri ile plazma uygulaması yöntemine göre hidrofilleştirme işlemi yapılan güç tutuşur poliester kumaşların (eriyikten katkılı) ve standart poliester kumaşların (güç tutuşur olmayan) plazma işlemi öncesi ve sonrası yüzey görüntüleri, alınmıştır. **Şekil 3.8.** ve **şekil 3.9.**'da alınan stereomikroskop görüntüleri görülmektedir.

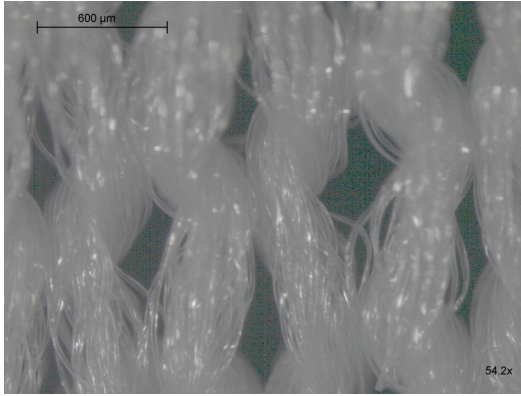


(a) Plazma işlemi öncesi

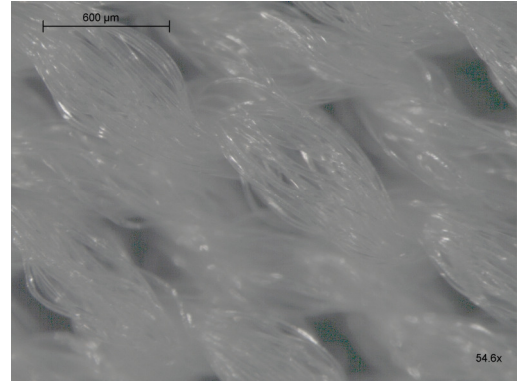


(b) Plazma işlemi sonrası

Şekil 3.8. Standart poliester kumaşın plazma işlemi öncesi ve sonrası stereomikroskop görüntüleri (21,0x büyütme)



(b) Plazma işlemi öncesi



(b) Plazma işlemi sonrası

Şekil 3.9. Güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaşın plazma işlemi öncesi ve sonrası stereomikroskop görüntüleri (54,2x büyütme)

Stereomikroskop görüntülerinden görüldüğü üzere akrilik asit ile plazma uygulaması yöntemiyle yapılan hidrofilleştirme işlemi hem güç tutuşur poliester kumaşların hem de standart poliester kumaşların yüzeyinde parlak bir kaplama şeklinde fark edilmektedir. Ancak görüntülerden anlaşıldığı üzere kaplamalar homojen olmamış ve elyaf boyunca uniform bir dağılım göstermemiştir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tekstil sanayisi ülke ekonomisinde ve dünya ticaretinde çok büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda tekstil sanayisi hem ekonomik hem de teknolojik yönden hızla gelişmeye başlamıştır. Doğal hammadde olan ipek, yün, pamuk vb. lifler insanların her gün artan ihtiyaçlarını ve taleplerini karşılayamamaktadır. Bu sebepten dolayı daha uygun maliyetli olan suni ve sentetik hammaddeler kullanılmaya başlanmıştır.

Gelişen tekstil endüstrisinde her geçen gün müşteri ihtiyaçları artmakta ve çeşitlenmekte sonuç olarak da her ürüne kullanım alanına bağlı olarak çeşitli fonksiyonel özellikler kazandırılması gereği duyulmaktadır. Güç tutuşur özellikli tekstil ürünlerinin askeriye, havacılık, ev tekstili gibi alanlarda kullanımı giderek artan oranlarda ihtiyaç haline gelmiştir. Poliester elyaf da bu kullanım alanlarında ve günlük tekstil ürünlerinde sıklıkla kullanılan bir tekstil hammaddesi olduğundan yapılan bu çalışmada poliester elyafın güç tutuşurluk davranışı incelenmiş ve bu fonksiyonel özelliğin boya alımına etkisi değerlendirilmiştir.

Tekstil materyallerine güç tutuşurluk özelliğinin kazandırılması için üretimin çeşitli aşamalarında farklı metotlar uygulanabilmektedir. Bu metotlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

1. Polimerizasyon adımında; belli fosfor ve/veya halojen içeren komonomerlerin lif oluşturma polimeri içine eklenmesiyle,
2. Lif çekimi sırasında; belli modifiye edici maddelerin lif çekim çözeltisi içine ve lif çekim banyosuna eklenmesiyle,
3. Doğal, rejenere ve sentetik liflerin ve kumaşların, güç tutuşurluk bitim işlemini de içeren yüzey modifikasyonu.

Bu çalışmada poliester örme kumaşlara güç tutuşurluk özelliği iki farklı yöntemle kazandırılmış ve bu iki yöntem arasındaki etkenlik farkı yapılan güç tutuşurluk testleri ile tespit edilmiştir. Polimerizasyon aşamasında lif oluşturma polimeri içerisine fosfor komonomerinin ilave edilmesiyle elde edilmiş olan güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaşların ve kumaş haline geldikten sonra alkil fosfonat türevi kimyasal kullanılarak apre işlemi ile güç tutuşur özellik

kazandırılan kumaşların güç tutuşurluk özellikleri IMO ve Fransız test standartlarına göre test edilmiştir. Test sonuçlarına göre ipliği güç tutuşur özellikte olan kumaşların fonksiyonel özellikleri apre işlemi görmüş kumaşlara göre daha iyi olmaktadır. Bunun nedeni apre işlemi ile kumaşa uygulanan güç tutuşurluk kimyasallarının yüzeyde kalması, lif içine yeterli penetrasyon sağlanamadığı için yeterli etkinliği gösterememesidir. Güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaşlarda ise güç tutuşurluk kimyasalı lifi oluşturan polimere bağlanmış olduğundan daha efektif olmaktadır.

Poliester kumaşların güç tutuşurluk davranışlarının test edilmesi sonucu elde edilen değerler güç tutuşurluk özelliğinin polimerizasyon adımı ipliğe kazandırılmasının daha etken ve kalıcı bir metot olduğunu göstermiştir. İpliği güç tutuşur özellikte olan kumaşların güç tutuşurluk özelliğinin daha iyi olması, apre işleminin istenilen derecede homojen yapılmamış olmasından kaynaklanabileceği gibi kullanılan apre kimyasalının miktarının test standartlarını geçmek için yeterli gelmemesinden de kaynaklanmış olabilir. Ancak reçetedeki güç tutuşurluk kimyasalının kullanım miktarının arttırılması çevresel etmenler ve maliyet açısından çok uygun değildir. Üstelik kullanılan kimyasalın tekrarlı yıkamalar sonucu kumaştan uzaklaşıyor olması, hem güç tutuşurluk özelliğinin zamanla kaybolacağını hem de kumaştan uzaklaşan kimyasal maddenin su ve çevre kirliliğine yol açacağını göstermektedir.

Polimerizasyon aşamasında lif oluşturma polimeri içerisine fosfor komonomerinin ilave edilmesiyle elde edilmiş olan güç tutuşur poliester ipliklerden üretilen kumaşlar ve kumaş haline geldikten sonra alkil fosfonat türevi kimyasal kullanılarak apre işlemi ile güç tutuşur özellik kazandırılan kumaşlar plazma aplikasyonu yöntemiyle akrilik asit monomeri kullanılarak hidrofilleştirilmiştir. Hidrofilleştirme işleminin öncesinde ve sonrasında kumaşların emicilik değerleri ve boyanma davranışları incelenmiştir.

Boyama ve birçok tekstil bitim işlemi için ıslanabilirlik, işlemin efektif bir şekilde yapılabilmesi açısından oldukça önemli olmaktadır. Poliester hidrofobik bir elyaf olup nem absorbe etmez. Bu nedenle giyimde kullanılan birçok poliester kumaş nem emicilik özelliğinin kazandırılması için kimyasal bitim işlemlerine tabii tutulur. Bunun için poliester kumaşın yüzeyi hidrofilik bir bitim işlemi ile kaplanabileceği gibi kimyasal modifikasyonlarla da değiştirilebilir. Hidrofilik bitim işlemleri poliester kumaşların emicilik değerlerinin iyileştirilmesinde kullanılan

başarılı yöntemlerden biridir. Bu çalışmada aynı başarının güç tutuşur poliester kumaşlarda da sağlanıp sağlanamadığı incelenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda; güç tutuşur poliester kumaşların ve güç tutuşur apre yapılmış poliester kumaşların emicilik değerleri, akrilik asit ile yapılan LF plazması sonucunda plazma işlemi öncesine göre oldukça artmıştır.

Maddenin katı, sıvı ve gazdan sonra dördüncü hali olan plazma, iyon, elektron, atom ve moleküllerden meydana gelen iyonize gaz karışımıdır. Plazma sistemlerinin sınıflandırılması; sıcaklık, basınç, kullanılan akım cinsi, kullanılan monomerler, uygulanan substratın cinsine bağlıdır ve sonuçlar hedeflenen etkilere bağlı olarak değişebilmektedir [Karahan ve ark. 2007, Radetic ve ark. 2007].

Son yıllarda, tekstil yüzeylerinin plazma uygulaması ile modifikasyonu, bu yeni teknolojinin öngördüğü potansiyel nedeniyle oldukça fazla sayıda araştırmacının ve sanayicinin dikkatini çekmektedir. Maddenin dördüncü hali olan plazma, lif yüzeyinde nanometre boyutunda fiziksel ve/veya kimyasal değişiklikler oluşturarak tekstil materyallerinin kütleli özelliklerini değiştirebilmektedir. Ayrıca uygulamanın basit olması, kuru bir uygulama yöntemi olması ve de su, kimyasal ve enerji tüketimini azaltması gibi özellikleri ile de çevreci bir uygulama olmaktadır [McCord, 2002].

Plazma uygulaması ile oluşturulan -OH, -OOH ve -COOH polar grupları poliester gibi hidrofobik polimerlerin ıslanabilirliğini belirgin ölçüde arttırmaktadır. Plazma işlemi ile yüzey düzgünlüğünün artması da yüzey alanını artırarak ıslanabilirliği iyileştirmektedir. Wakida ve ark. da [1986] yaptıkları çalışmada plazma işlemi sonrası polyester filmlerinin temas açısı analizleri sonucu ıslanabilirliklerinin arttığını göstermişlerdir. Ancak plazma işlemi ile polimer yüzeylerinin hidrofilleştirilmesinin tek nedeni polar grupların oluşumu değildir. Yüzeyin yüklü hale gelmesi de hidrofilleştirmede büyük bir rol oynamaktadır. Ayrıca yük oluşumu temas açısındaki varyasyonun ve bazı durumlarda polimer yüzey enerjisindeki artışın da nedeni olmaktadır [Gilman 2003].

İki farklı yöntem ile güç tutuşur özellik kazandırılan poliester kumaşların boyanma davranışları plazma uygulaması ile hidrofilleştirme işlemi öncesinde ve sonrasında renk ve reflektans ölçümleri yapılarak değerlendirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucu, polimerden güç tutuşurluk özelliği kazandırılan kumaşların apre

işlemi ile güç tutuşurluk özelliği kazandırılan kumaşlara göre hem plazma aplikasyonu öncesinde hem de plazma aplikasyonu sonrasında daha koyu boyandığı, aynı dalgaboyu için reflektans değerlerinin daha düşükken K/S değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Fosfor bazlı güç tutuşurluk kimyasalı, poliesterin ana molekül zincirine direk olarak veya bir yan zincirle bağlanmakta ve hidrolize karşı mükemmel bir direnç göstermektedir. Poliester ile kopolimerize olabilen ve esterifikasyon ya da transesterifikasyon reaksiyonları verebilen reaktif grupları bulunmaktadır. Üçüncü bir monomerin polimerizasyona katılması, poliester polimer zincirlerinin kompakt yapısını bozmakta ve normal poliesterlere göre daha az kompakt olmasını sağlamaktadır. Oluşan bu yapı da boyarmaddenin life daha iyi penetrasyonunu sağlamaktadır. Oysa apre işlemi ile kumaşa uygulanan fosfor bazlı güç tutuşurluk kimyasalı, lif yapısına dahil edilemediğinden poliester kompakt yapısını korumuş olarak kalır. Yapılan renk ölçümleri de güç tutuşur ipliklerden elde edilen kumaşların güç tutuşur apre yapılmış kumaşlara göre aynı boyama şartlarında daha koyu boyandığını kanıtlamıştır. Ayrıca poliester polimerine eklenen fosfor aditif poliester molekül zincir yapısını değiştirmekte ve bu camlaşma sıcaklığında (T_g) bir düşüşe yol açmaktadır [Levchik 2003]. Bilindiği gibi poliesterin endüstriyel şartlarda boyanması camlaşma sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda yapılmaktadır. Böylece boyarmadde molekülleri lif içine daha iyi penetre olabilmekte ve boyama sonrası soğutma proseslerinde lif içinde kalmaktadır. Bu durum camlaşma sıcaklığındaki düşüşün güç tutuşur ipliklerden elde edilen kumaşların daha koyu boyanmasının açıklanmasında etkisi olduğunu göstermektedir.

Güç tutuşur kumaşların plazma işlemi sonrası ıslanabilirliklerindeki artışa paralel olarak boyanabilirlikleri de gelişmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda plazma işlemi sonrasında kumaşların işlem öncesine göre daha koyu boyandığı ve K/S değerlerinin yükseldiği görülmüştür. Bu, plazma aplikasyonu ile boyarmadde moleküllerinin lif yüzeyine adsorbsiyonunu etkileyen yüzey kristalinitesinin muhtemel değişiminden kaynaklanmaktadır. Ayrıca Addamo ve ark.'nın bir çalışmalarında belirtildiği üzere [2006] bu durum, plazma aplikasyonunun yüzey pürüzlülüğünü arttırmasına bağlı olarak işlem görmüş yüzeyden yansıyan ışığın sürtünmesinin azalmasından da kaynaklanabilmektedir. Artan yüzey alanı, boyama banyosu ve onla temasta olan makromoleküler yüzey arasındaki boyarmadde paylaşım dengesinin modifikasyonları da bu olay üzerindeki diğer etmenlerdir.

Poliester örme kumaşların güç tutuşurluk davranışlarının incelendiği bu çalışmada, güç tutuşurluk özelliğinin kazandırıldığı iki farklı metottan özelliğın polimer bazında ipliğe kazandırıldığı metotun etkenlik ve kalıcılık açısından daha iyi olduğu görülmüştür. Ancak ipliği güç tutuşur olan poliester kumaşların apre işlemleri ile güç tutuşur özellik kazandırılan kumaşlara göre daha koyu boyandığı tespit edilmiştir. Yapılan hidrofilleştirme işleminin iki farklı yolla elde edilen güç tutuşur poliester kumaşlardan ikisinin de emicilik değerlerini iyileştirdiği ve boyama koyuluğunu arttırdığı gözlemlenmiştir.

Yapılan bu çalışmayı geliştirmek için, literatürde bahsi geçen diğer yöntemlerle güç tutuşurluk özelliğinin poliester kumaşlara kazandırılması denenebilir ve bu yöntemlerin karşılaştırılması yapılabilir. Örneğin güç tutuşurluk özelliği plazma uygulaması yöntemi ile kazandırılabilir ve bu işlemin yüzeyde ne gibi modifikasyonlara yol açabileceği görülebilir. Etkenlik/kalıcılık, boyanma ve hidrofilleştirme işlemi sonrası emicilik değerlerindeki iyileşmenin yanı sıra kumaşların fiziksel özelliklerindeki değişimler (mukavemet, yırtılma, boncuklaşma vb.) de tespit edilerek karşılaştırma yapılabilir.

KAYNAKLAR

- ADDAMO, A.R., C. RICCARDI, E. SELLI. 2003. Characterization of Plasma Processing for Polymers. *Surface and Coating Technology*. 174-175: 886-890.
- ADDAMO, A.R., E. SELLI, R. BARNI. 2006. Cold Plasma-Induced Modification of The Dyeing Properties of Poly(ethylene terephthalate) Fibers. *Applied Surface Science*. 252: 2265-2275.
- BALCI, H. 2006. Akıllı (Fonksiyonel) Tekstiller, Seçilmiş Kumaşlarda Antibakteriyel Apre ve Performans Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- BEAKE, B.D., J.S.G. LING, G.J. LEGGETT. 1998. Scanning Force Microscopy Investigation of Poly(ethylene terephthalate) Modified by Argon Plasma Treatment. *J. Mater. Chem.* 8: 1735-1742.
- BECERİR, B. 1998. Renk Ölçüm Cihazlarının Temel Özellikleri. *Tekstil Terbiye ve Teknik*. Eylül sayısı. s. 58-63.
- BECERİR, B. 2002. Renk Eşleştirme İçin Veri Tabanı Hazırlanmasında Kalibrasyon Boyamalarının Değerlendirilmesi. *Tekstil ve Teknik*. Kasım sayısı. s. 182-186.
- BIKALES, N.M. 1967. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology* Plastics Resins, Rubbers, Fibers. John Wiley and Sons Inc., U.S.A. 7:1-64.
- CANUP, L.K. 2000. Non Aqueous Treatment of Fabrics Utilizing Plasmas, A Thesis Submitted to The Graduate Faculty of North Carolina State University in Partial Fulfillment of The Requirements for The Degree of Master of Science Textile Engineering and Science. Raleigh.
- CERNAKOVA, L., D. KOVACIK, A. ZAHORANOVA. 2005. Surface Modification of Polypropylene Non-woven Fabrics by Atmospheric-pressure Plasma Activation Followed by Acrylic Acid Grafting. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 25: 4. p. 427-437.
- CHEN, J.P., Y.P. CHIANG. 2006. Surface Modification of Non-woven Fabric by DC Pulsed Plasma Treatment and Graft Polymerization with Acrylic Acid. *Journal of Membrane Science*. 270:1-2. p.212-220.
- COSTA, T.H.C., M.C. FEITOR, Jr. C. ALVES. 2006. Effects of Gas Composition During Plasma Modification of Polyester Fabrics. *Journal of Materials Processing Technology*. 173: 40-43.
- CUONG, N. K. SAEKI, N. KATAOKA. 2002. Hydrophilic Improvement of PET Fabrics Using Plasma Induced Graft Polymerization. *Journal of The Surface Science Society of Japan*. 23:4. p. 202-208.
- ÇOBAN, S. 1999. Genel Tekstil Terbiyesi ve Bitim İşlemleri. E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Yayını, İzmir. s. 180-185.

DAI, X.J. ve L. KVIZ. 2001. Study of Atmospheric and Low Pressure Plasma Modification on the Surface Properties of Synthetic and Natural Fibers. "An Odyssey in Fibers and Space" Textile Institute 81st World Conference Melbourne. Australia, April 2001.

DENES, F. 1997. Synthesis and Surface Modification by Macromolecular Plasma Chemistry. Trip. s. 23-31.

DONG, Z., Z. LIU, B. HAN. 2002. Modification of Isotactic Polypropylene Film by Grafting of Acrylic Acid Using Supercritical CO₂ as a Swelling Agent. J. Mater. Chem. 12: 3565-3569.

EL-NAGHAR, Kh., M.A. SAUDY, A.I. EATAH, M.M. MASOUD. 2006. DC Pseudo Plasma Discharge Treatment of Polyester Textile Surface for Disperse Dyeing. Journal of The Textile Institute. 97:2. p. 111-117.

GIL'MAN, A.B. 2003. Low-Temperature Plasma Treatment As An Effective Method For Surface Modification of Polymeric Materials. High Energy Chemistry. 37:1. p. 17-23.

GIRAUDA, S., S. BOURBIGOTA, M. ROCHERYA, I. VROMANA, L. TIGHZERTB, R. DELOBELC, F. POUTCH. 2005. Flame Retarded Polyurea with Microencapsulated Ammonium Phosphate for Textile Coating. Polymer Degradation and Stability. 88: 106-113.

GRILL, A. 1993. Cold Plasma In Materials Fabrication. IEEE Press, Piscataway. s. 3-7, 16-19.

GUPTA, B., J. HILBORN, CH. HOLLENSTEIN. 2000. Surface Modification of Polyester Films by RF Plasma. Journal of Applied Polymer Science. 78:5. p. 1083-1091.

HOCKER, H. 2002. Plasma Treatment of Textile Fibers. Pure Appl. Chem. 74:3. p. 423-427.

HOSSAIN, M.M., A.S. HERRMANN, D. HEGEMANN. 2006. Plazma Hydrophilization Effect on Different Textile Structures. Plasma Processes and Polymers. 3:3. p. 299-307.

<http://www.ou.edu/class/che-design/a-design/projects/2005/Flame%20retardant-%20Presentation.pdf>, Erişim Tarihi: 12.12.2008. Konu: Flame Retardancy.

http://izoder.org.tr/yanginyalitimi/genel/YANGIN%20YALITIMI_GIRIS.pdf, Erişim Tarihi: 12.02.2009. Konu: Yangın Yalıtımı.

<http://nucleus.istanbul.edu.tr/~cfe/dorduncu/mak1/>, Erişim Tarihi: 06.04.2009. Konu: Maddenin 4. Hali Plazma ve Temel Özellikleri.

<http://www.fibre2fashion.com/industry-article/technology-industry-article/advanced-protective-textiles/advanced-protective-textiles1.asp>, Erişim Tarihi: 10.04.2009. Konu: Advanced Protective Textiles by D. Gopalakrishnan.

İÇOĞLU, H.İ. 2002. Pamuklu Dokunmuş Kumaşların Reaktif Boyarmaddelerle Boyanması ve Uygulama Yöntemlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. s. 39-41-42.

KABAYEV, M., G. KAZAKEVICIUTE. 2005. Plasma and UV Excimer Treatment of Textile Materials. Cost 628 Meeting, Bucharest. Lithuanian Textile Institute. 17-18th March 2005.

KANDOLA, BK. ve AR. HARROCK. 1999. Complex Char Formation In Flame Retardant Fiber/Intumescent Combinations: Physical and Chemical Nature of Char. Textile Research Journal. s. 69, 374-381.

KANG, J.-Y. ve M. SARMADI. 2004. Textile Plasma Treatment Review-Natural Polymer Based Textiles. AATCC Review, p. 28-32.

KARAHAN, H.A., A. DEMİR, E. ÖZDOĞAN. 2007. Tekstil Malzemelerinin Yüzey Modifikasyonlarında Kullanılan Bazı Yöntemler. Tekstil ve Konfeksiyon. 17:4. p. 248-255.

KARAHAN, A., A. DEMİR, E. ÖZDOĞAN. 2008. Plazma Teknolojisi ve Temel Özellikleri1-2. Tekstil Teknoloji. 127-128: 116-120, 102-106.

KAYATÜRK, N. 2003. Florokarbon Esaslı Su, Yağ ve Kir İtici Apre Uygulamaları. Uluslar arası Isparta Tekstil Kongresi. Isparta.

KISAKÜREK, D. 2003. Yanmaya Dayanıklı Polimerler. XVII. Ulusal Kimya Kongresi. İstanbul, 8-11 Eylül 2003, s.Ç-20.

KOTRESH, T.M., R. INDUSHEKAR, M.S. SUBBULAKSHMI, S.N. VIJAYALAKSHMI, A.S. KRISHNA PRASAD, A.K. AGRAWAL. 2006. Evaluation of Commercial Flame Retardant Polyester Curtain Fabrics in the Cone Calorimeter. Journal of Industrial Textiles. 36:1. p. 47-58.

KRACKLAUER, J., 1978. Flame Retardant Polymeric Materials. In: M. LEWIN, SM. Atlas, EM. Pearce (Editors). Plenum Pres, New York. s. 115-118.

KURBANLI, R., R. MİRZAOĞLU, G. AHMEDOVA, R. ŞEKER, E.ÖZCAN. 1998. Boya ve Tekstil Kimyası ve Teknolojisi. S.Ü. Fen-Edeb. Fak. Yayınları, Konya. s. 103-105.

KUTLU, B. 2002. Isıya Dayanıklı ve Isıdan Koruyucu Giysilerin Termal Analizi ve Performans Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir. s. 6, 41, 48-49.

LEVHICK, S.V., D.A. BRIGHT, G.R. ALESSIO. 2003. Phosphorus-containing Fire Retardant Thermoplastic Polyester Composition. United States Patent, Patent no: US 6.569.928 B1.

LEVHICK, S.V., E.D. WEIL. 2006. A Review of Recent Progress in Phosphorus-based Flame Retardants. Journal of Fire Sciences. 24:5. p. 345-364.

LEWIN, M. 1997. Flame Retardancy of Polymeric Materials. Chem Oggi- Chem Today. s. 6-7, 15, 41.

- LI, S., D. JINJIN. 2007. Improvement of Hydrophobic Properties of Silk and Cotton by Hexafluoropropene Plasma Treatment. *Applied Surface Science*. 253: 5051–5055.
- LU, S., I. HAMERTON. 2002. Recent Developments in the Chemistry of Halogen Free Flame Retardant Polymers. *Progress in Polymer Science*, 27:1661-1712.
- LYNCH, J.B., P.D. SPENCE, D.E. BAKER, T.A. POSTLETHWAITE. 1999. Atmospheric Pressure Plasma Treatment of Polyethylene via a Pulse Dielectric Barrier Discharge: Comparison Using Various Gas Compositions Versus Corona Discharge in Air. *Journal of Applied Polymer Science*, 71: 319-331.
- MATTHEWS, S.R., Y.J. HWANG, M.G. MCCORD. 2004. Investigation into Etching Mechanism of Polyethylene Terephthalate (PET) Films Treated in Helium and Oxygenated-Helium Atmospheric Plasmas. *Journal of Applied Polymer Science*. 94:6. p.2383-2389.
- MCCORD, M.G. 2002. Modifying Nylon and Polypropylene Fabrics with Atmospheric Pressure Plasmas. *Textile Research Journal*. 72:6. p. 491-498.
- MORENT, R., N. DE GEYTER, C. LEYS. 2006. Measuring the Wicking Behaviour of Textiles by the Combination of a Horizontal Wicking Experiment and Image Processing. *Review of Scientific Instruments*. 77:9. p.1-7.
- MORENT, R., N. DE GEYTER, J. VERSCHUREN, K. DE CLERCK, P. KIEKENS, C. LEYS. 2008. Non-Thermal Plasma Treatment of Textiles. *Surface and Coatings Technology*. 202:14. p. 3427-3449.
- MOSTASHARI, S.M., S. Z. MOSTASHARI. 2008. Ammonium Chloride as a Flame Retardant in a Polyester Fabric and its Detection. *International Journal of Polymeric Materials*. 57:4. p. 355–361.
- MULLER, T. 2000. Flame Retardancy on Textiles. *Melliand English*. 2:11. p. 234-236.
- NAVANEETHA P.K., V. SELVARAJAN. 2008. Non-thermal Plasma Treatment for Hydrophilicity Improvement of Grey Cotton Fabrics. *Journal of Material Processing Technology*. 199:2008. p. 130-139.
- NEHRA, S., C.L. BHAUMIK MITTAL, M.L. GULRAJANI, H.K. DWIVEDI. 2005. Atmospheric Pressure Non-thermal Plasma Source and Its Application in Textile Processing. *V. Melliand International*, 11: 60-61.
- ÖKTEM, T., N. SEVENTEKİN, H. AYHAN. 2000. Modification of Polyester and Polyamide Fabrics by Different In Situ Plasma Polymerization Methods. *Turkish Journal of Chemistry*. 24:3. s. 275-286.
- ÖZCAN, G., H. DAYIOĞLU, C. CANDAN. 2002. Yumuşatıcıların Örne Kumaşın Güç Tutuşurluk Özelliklerine Etkisi, *İtüdergisi/D Mühendislik*. 1:2. s. 99-106.
- PICHAL, J., J. KOLLER, T. VATUNA. 2005. PES Fabric Modification with a Corona Discharge. *Problems of Atomic Science and Technology, Plasma Physics*. 10: 175-177.

POLETTI, G., F. ORSINI, A. RAFFALE-ADDAMO, C. RICCARDI, E. SELLI. 2003. Cold Plasma Treatment of PET Fabrics: AFM Surface Morphology Characterisation. *Applied Surface Science*. 219: 311-316.

RAETHER, L.O. ve R.C. KIDDER. 1988. The Market For Flame Retardants in the U.S.A. Current Analysis. *Handbook of Flame Retardant Chemicals and Fire Testing Services*. Technomic Publishing Company, Inc. Pennsylvania. p.1-5, U.S.A.

RADETIC, M., P. JOVANCIC, N. PUAC. 2007. Environmental Impact of Plasma Application to Textile. *Journal of Physics, Conference Series*. 71: 1-11.

RAMACHANDRAN, T., T. KARTHICK. 2008. Novel Trends in Textile Wet Processing. *IE(I) Journal-TX*. 89: 3-10.

SAÇAK, M. 2002. Polimer Kimyası. *Gazi Kitabevi, Ankara*. s. 85-89, 221-224, 275-297, 393-397.

SAIHI, D., I. VROMAN, S. GIRAUD, S. BOURBIGOT. 2006. Microencapsulation of Ammonium Phosphate with a Polyurethane Shell. Part II. Interfacial Polymerization Technique. *Science Direct Reactive & Functional Polymers*. 66: 1118-1125.

SARMADI, A.M., Y.A. KWON. 1993. Improved Water Repellency and Surface Dyeing of Polyester Fabrics by Plasma Treatment. *Textile Chem. Color*. 25:3. p. 33-40.

SHAHIDI, S., M. GHORANNEVISS, B. MOAZZENCHI, D. DORRANIAN, A. RASHIDI. 2005. Water Repellent Properties of Cotton and PET Fabrics Using Low Temperature Plasma of Argon. XXVIIth ICPIG. Eindhoven, The Netherlands, 18-22 July 2005.

SHENTON, M.J. ve G.C. STEVENS. 2001. Surface Modification of Polymer Surfaces: Atmospheric Plasma versus Vacuum Plasma Treatments. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 34: 2761-2768.

SHENTON, M.J., G.C. STEVENS, X. DUAN, N. WRIGHT. 2002. Chemical Surface Modification of Polymers Using Atmospheric Pressure Nonequilibrium Plasmas and Comparisons with Vacuum Plasmas. *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry*. 40: 95-109.

TERLINGEN, J.G.A. 1993. Introduction of Functional Groups at Polymer Surfaces by Glow Discharge Techniques. Chapter 2 Functionalization of Polymer Surfaces-*Europlasma Technical Papers*.

TSAFACK, M.J., J. LEVALOIS-GRUTZMACHER. 2006. Plasma-Induced Graft Polymerization of Flame Retardant Monomers onto PAN Fabrics. *Surface and Coatings Technology*. 200:11. p. 3503-3510.

TSAFACK, M.J., J. LEVALOIS-GRUTZMACHER. 2007. Towards Multifunctional Surfaces Using the Plasma-Induced Graft Polymerization (PIGP) Process: Flame and Waterproof Cotton Textiles. *Surface and Coatings Technology*. 201:12. p. 5789-5795.

VERSCHUREN, J. 2003. Cold Plasma Technology for Textile Products, Taking into Account Their Specific Properties. Industry-Ready Innovative Research, 1st Flanders Engineering PhD Symposium. Brussels.

VERSCHUREN, J., P. KIEKENS. 2005. Gas Flow Around Through Textile Structures During Plasma Treatment. *Autex Research Journal*. 5:3. p. 154-161.

VERSCHUREN, J., P. KIEKENS, L. CHRISTOPHE. 2007. Textile-specific Properties that Influence Plasma Treatment, Effect Creation and Effect Characterization. *Textile Research Journal*. 77:10. p. 727-733.

VIRK, R.K., G.N. RAMASWAMY, M.A. BOURHAM, B.L. BURES. 2004. Plasma and Antimicrobial Treatment of Nonwoven Fabrics for Surgical Gowns. *Textile Research Journal*. 74(12): 1073-1079.

WAKIDA, T., H. KAWAMURA, J.C. SONG. 1986. Surface Free Energy of PET and Nylon Films Treated with Low Temperature Plasma. *Sen-I Gakkaishi*. 43:7. p. 384.

WANG, W., L. WANG, CHEN X. 2006. Study on the Graft Reaction of Poly(propylene) Fiber with Acrylic Acid. *Macromolecular Materials and Engineering*. 291:2. p. 173-180.

WEI, Q., Y. LIU, D. HOU, F. HUANG. 2007. Dynamic Wetting Behaviour of Plasma Treated PET Fibers. *Journal of Materials Processing Technology*. 194:1-3. p. 89-92.

YANG, S.C., J.P. KIM. 2008. Flame Retardant Polyesters. III. Fibers. *Journal of Applied Polymer Science*. 108:4. p. 2297-2300.

ZHANG, G.C., X.M. LIU. 2007. Study of Spinning Performance of Phosphate Flame Retardant Polyester. *Juzhi Gongye (Polyester Industry)*. 20:2. p. 29-30.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Karayazı'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bursa'da tamamladı. 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine başladı. 2006 yılındaki mezuniyetinin ardından İSKO Dokuma İşletmeleri San. ve Tic. A.Ş.'de bir süre çalıştıktan sonra Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladı. 2007 yılında Zorlu Holding Tekstil Grubu'nun açmış olduğu yönetici yetiştirme programına kabul edildi. Halen Zorlu Holding bünyesindeki KORTEKS İPLİK fabrikasında iş geliştirme mühendisi olarak görev yapmaktadır.

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim sırasında gösterdiği ilgi, destek ve emeği için danışmanım Doç. Dr. Dilek Toprakkaya Kut'a teşekkür ederim.

Lisans eğitimimden bu yana bende çok büyük emekleri bulunan Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği bölüm hocalarıma teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimim sırasında bana yurtiçi yüksek lisans bursu vererek maddi destek sağlayan TÜBİTAK-BİDEB'e teşekkür ederim.

Plazma laboratuvarında çalışmamı sağlayan Hacettepe Üniversitesi'nden Prof. Dr. Mehmet Mutlu'ya ve laboratuvar çalışmalarım süresince bana yardımcı olan Sn. Lale Öztürk'e teşekkür ederim.

Stereo mikroskop görüntülerini almamda bana yardımcı olan Uludağ Üniversitesi'nden Prof. Dr. Gökay Kaynak'a teşekkür ederim.

Güç tutuşurluk apre çalışmalarında ve güç tutuşurluk testlerinin yapılmasında bana yardımcı olan Sn. Ekrem Akbulut'a teşekkür ederim.

Çalışmalarımda büyük desteğini gördüğüm Sn. Murat Sağdıç'a ve KORTEKS İPLİK A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Son olarak benim var olmamı ve bu noktada olmamı sağlayan, her zaman her konuda sonsuz güvenlerini ve desteklerini hissettiğim sevgili aileme teşekkür ederim.